

Ευάγγελος Ακύλας^{*,**✉}, Στυλιανός Χατζηπέτρου*, Ηλίας Γραβάνης*,
Ανδρέας Νικολαΐδης^{*,***}, Φαίδων Κυριακίδης*

* Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής

** Κέντρο Αριστείας «Ερατοσθένης»

*** Ωκεανογραφικό Κέντρο Πανεπιστημίου Κύπρου

✉ evangelos.akylas@cut.ac.cy

Διαδραστική απεικόνιση και εκτίμηση του αιολικού δυναμικού στη θαλάσσια περιοχή της Κύπρου

Περίληψη

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος Interreg ΘΑΛ-ΧΩΡ 2, με τη συνδυασμένη χρήση μετεωρολογικών μετρήσεων σε όλο το νησί, προγνώσεων του ανέμου από μετεωρολογικά μοντέλα υψηλής ανάλυσης, και στοιχείων από δύο ευρωπαϊκές βάσεις μετεωρολογικών δεδομένων, δημιουργήθηκε βάση δεδομένων για την αποτύπωση μιας όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστης εικόνας της χωρικής και χρονικής κατανομής του θαλάσσιου αιολικού δυναμικού, σε ετήσια και σε εποχική βάση. Η αποτυπωμένη πληροφορία αναλύθηκε, συνδυάστηκε και έγινε επέκτασή της σε υψηλότερη ανάλυση 1x1 km, σε ωριαία βάση, για ορίζοντα δεκαετίας. Τα αποτελέσματα κωδικοποιήθηκαν σε εύχρηστη πλατφόρμα Excel, η οποία μπορεί να δοθεί σε οποιονδήποτε ενδιαφερόμενο χρήστη για να εκτιμήσει το αιολικό δυναμικό σε οποιοδήποτε σημείο της Κύπρου, καθώς και της παράκτιας περιοχής της, με αυτόματη παρεμβολή μεταξύ των εκτιμήσεων. Η πλατφόρμα επιτρέπει την εξαγωγή ολικής εικόνας για τον άνεμο στην περιοχή της Κύπρου και, εκτός από τη χωρική εστίαση, δίνει τη δυνατότητα χρονικής επιλογής οποιασδήποτε περιόδου συγκεκριμένων διαστημάτων ωρών, μηνών

15

και ετών, για την περίοδο 2008-2019. Επίσης, αποδίδονται στατιστικές πληροφορίες για τη μέση, μέγιστη, ελάχιστη τιμή, τη διακύμανση της ταχύτητας, καθώς και για τους συντελεστές της κατανομής Weibull. Παράλληλα, παρατίθενται αυτόματα και πληροφορίες για την ημερήσια, μηνιαία και ετήσια κατανομή της ταχύτητας, όπως και οι κατανομές Weibull. Σε μελλοντικό χρόνο, οι παραπάνω δυνατότητες θα προσφέρονται και διαδικτυακά.

Λέξεις-κλειδιά

Γαλάζια Ανάπτυξη, παραγωγή ενέργειας, υπεράκτιο αιολικό δυναμικό

1. Εισαγωγή

Καθώς οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής γίνονται διαρκώς πιο εμφανείς και έντονες, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, και, προφανώς, η αιολική ενέργεια ιδιαίτερα, έχουν βρεθεί στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος. Οι αυξανόμενες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σηματοδοτούν μια άνευ προηγουμένου δυναμική για την απεμπλοκή της αγοράς της ενέργειας από τη μη βιώσιμη πρακτική των ορυκτών καυσίμων. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι ο άνεμος θα παίξει κομβικό ρόλο στην αντιμετώπιση των παραπάνω προκλήσεων, για την απεξάρτηση από τους υδρογονάνθρακες (Carvalho et al., 2017). Σύμφωνα με τις προβλέψεις των εμπειρογνομόνων, η αιολική ενέργεια θα μπορούσε να συμβάλει μέχρι και 15% της παγκόσμιας αγοράς της ενέργειας μέχρι το έτος 2025, δεδομένου ότι παρέχονται κυβερνητικά υποστηριζόμενα οικονομικά κίνητρα και βελτιωμένες τεχνολογίες (Lee et al., 2009). Όμως, από την άλλη πλευρά, η αιολική ενέργεια παρουσιάζει και μειονεκτήματα, δεδομένου ότι δεν εξασφαλίζει συνεχή παροχή ρεύματος, ενώ και οι κατάλληλες θέσεις για εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων συνήθως βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές (Chomproo-Inwai et al., 2008). Προκειμένου να είναι δυνατή η αξιόπιστη και ολοκληρωμένη αξιοποίηση των πόρων αιολικής ενέργειας, απαιτείται λεπτομερής μελέτη των χαρακτηριστικών του ανέμου σε κάθε πιθανή περιοχή εγκατάστασης ξεχωριστά (Gungor and Eskin, 2008; Akylas et al., 1997; 1999). Σε αυτό το πλαίσιο, αν και η κερσαία αιολική τεχνολογία έχει ήδη φτάσει σε ένα ώριμο στάδιο ανάπτυξης, το υπεράκτιο αιολικό δυναμικό εξακολουθεί να αναδεικνύεται σε μία ελκυστική πηγή ενέργειας για περαιτέρω ανάπτυξη. Τα τελευταία στοιχεία δείχνουν μια αυξητική τάση της ετήσιας εγκατάστασης υπεράκτιας αιολικής ισχύος, με τη συνολική υπεράκτια αιολική δυναμικότητα να έχει ήδη ξεπεράσει τα 35 GW (Energy and Special, 2019). Ήδη, εντός του 2019, η Ευρώπη προσέθεσε 3.6 GW καθαρής υπεράκτιας ισχύος, φτάνοντας συνολικά τα 22 GW (Wind Europe, 2021). Αυτό μεταφράζεται σε εκατοντάδες νέες υπεράκτιες ανεμογεννήτριες που συνδέονται στο ηπειρωτικό δίκτυο, ενώ υπογραμμίζει και τη μεγάλη σημασία της υπεράκτιων τεχνολογιών αιολικής ενέργειας για την αντιμετώπιση ενεργειακών ζητημάτων που σχετίζονται με τα νησιά.

Τα τελευταία χρόνια έχουν καταβληθεί σημαντικές προσπάθειες για την ενθάρρυνση των επενδύσεων στην αιολική ενέργεια στην Κύπρο και υπάρχουν σχέδια για επέκταση της αιολικής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του κράτους. Συνολικά, η ενεργειακή διαθεσιμότητα και η ασφάλεια του εφοδιασμού αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες για την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη της χώρας. Αν και η αιολική ενέργεια είναι μια μορφή ανανεώσιμης ενέργειας που τυγχάνει ολοένα και μεγαλύτερης εμπορικής επιτυχίας σε παγκόσμιο επίπεδο, η Κύπρος

υστερεί ως προς αυτή την παγκόσμια τάση. Παρά τη μεγαλύτερη αύξηση της ενεργειακής ζήτησης μεταξύ της Ευρωπαϊκής Ένωσης από το 1990, η Κύπρος εξακολουθεί να βασίζεται στις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων για να καλύψει τις αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις. Κατά συνέπεια, η χώρα δεν έχει ακόμη επιτύχει τους στόχους που έχει θέσει η Ε.Ε. σχετικά με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά και σε σχέση με το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας που αναπτύχθηκε πρόσφατα. Λόγω των περιορισμένων προσπαθειών που γίνονται για την αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού της, μόνο το 13% της συνολικής ανανεώσιμης ενέργειας στην Κύπρο παράγεται από αιολική ενέργεια (Kythreotou, 2020), ενώ όλα τα υφιστάμενα αιολικά πάρκα βρίσκονται στην ξηρά, όπου το αιολικό δυναμικό πεδίο είναι γενικά περιορισμένο (Kastanas et al., 2014). Η στροφή προς το υπεράκτιο αιολικό δυναμικό θα μπορούσε να αποτελέσει, ενδεχομένως, ευκαιρία για μεγαλύτερη εγχώρια παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, αναμφίβολα, όμως, είναι αναγκαίο να καταβληθούν περαιτέρω προσπάθειες για την αξιολόγηση του εν λόγω δυναμικού.

Σήμερα εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη επιστημονικών εργασιών που σχετίζονται με την κατανομή και τη λεπτομερή εκτίμηση του αιολικού δυναμικού στην Κύπρο. Οι Pashardes and Christofides (1995) ήταν οι πρώτοι που παρέθεσαν έναν γενικό καταγραφικό χάρτη του ανέμου στην Κύπρο. Οι Jacovides et al. (2001) εξέτασαν και παρουσίασαν στατιστικά στοιχεία του ανέμου σε πέντε παράλιες τοποθεσίες του νησιού, ενώ μόλις πρόσφατα οι Georgiou et al. (2012) μελέτησαν λεπτομερώς ένα τμήμα της ευρύτερης περιοχής της Λάρνακας. Επίσης, οι Kastanas et al. (2014) ξεκίνησαν μία προσπάθεια επικαιροποίησης των αιολικών δεδομένων αλλά και μοντελοποίησης του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού στην Κύπρο. Επικεντρώθηκαν στο δυτικό τμήμα του νησιού και ενσωμάτωσαν αρκετές τεχνικές, συμπεριλαμβανομένων των GIS και της χρήσης μοντέλων ροής, για την αποτύπωση του αιολικού δυναμικού σε χερσαία τμήματα στο δυτικό τμήμα του νησιού.

Στα πλαίσια του ΘΑΛ-ΧΩΡ 2, στο συγκεκριμένο πακέτο εργασίας, γίνεται προσπάθεια συμβολής στη μελέτη του αιολικού δυναμικού στο νησί, εστιάζοντας στη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης βάσεως δεδομένων για τη μελέτη των χαρακτηριστικών του ανέμου, κυρίως στα παράλια και υπεράκτια της Κύπρου, χρησιμοποιώντας μετρήσεις από μετεωρολογικούς σταθμούς, στοιχεία από τις ευρωπαϊκές βάσεις δεδομένων, καθώς και στοιχεία από προγνώσεις από το μετεωρολογικό μοντέλο Open Skiron/ETA, σε ανάλυση 10x10 km. Συγκεκριμένα, αξιοποιούνται, μέσω ανάλυσης, τόσο οι χρονοσειρές των μετρήσεων του ανέμου απ' όλους τους διαθέσιμους παράκτιους μετεωρολογικούς σταθμούς σε περιοχές της ελεύθερης και της κατεχόμενης Κύπρου όσο και πληροφορία για τις τιμές του ανέμου από μοντέλα πρόγνωσης και από βάσεις δεδομένων, καθώς και για την καταγραφή μιας αρχικής κατανομής αναφοράς στον χώρο και στον χρόνο. Η παραπάνω πληροφορία ανάγεται σε υψηλή ανάλυση 1x1 km και αποτυπώνεται σε διαδραστική πλατφόρμα που επιτρέπει την εξαγωγή ολικής εικόνας για τον άνεμο στην περιοχή της Κύπρου, με πλήρη χωρική και χρονική εστίαση.

..... 2. Ανάλυση μετεωρολογικών δεδομένων για τον άνεμο

Το νησί της Κύπρου βρίσκεται στη νοτιοανατολική μεσογειακή λεκάνη, μεταξύ 34.6° και 35.6° βόρειου γεωγραφικού πλάτους και 32° και 34.5° γεωγραφικού μήκους. Κατά τη χειμερινή-υγρή περίοδο (Νοέμβριος έως Μάρτιος), η Κύπρος επηρεάζεται από υφέσεις-συστήματα χαμηλών πιέσεων που διασχίζουν τη Μεσόγειο προς τα ανατολικά. Κατά τη διάρκεια της ξηρής-θερινής περιόδου, το νησί βρίσκεται υπό την επίδραση σφήνας χαμηλών πιέσεων που εκτείνονται από την ηπειρωτική Ασία. Συνήθως, οι επικρατούντες άνεμοι στην Κύπρο είναι ασθενείς έως μέτριοι σε



Σχήμα 1. Θέσεις μερικών από τους παράλιους μετεωρολογικούς σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη του ανέμου στην περιοχή της Κύπρου: (a) Λάρνακα, (b) Ακρωτήρι, (c) Πάφος, (d) Αμμόχωστος, (e) Γιαλούσα, (f) Λιμνίτης.

ένταση. Ισχυροί άνεμοι (με ταχύτητες μεγαλύτερες των 34 κόμβων) είναι σπανιότεροι, και εμφανίζονται κυρίως σε προσήνεμες περιοχές, όταν συστήματα χαμηλών πιέσεων επιδρούν στο νησί (Pashardes & Christofides, 1995). Η ροή του ανέμου επηρεάζεται, σε πολύ μεγάλο βαθμό, από την τοπογραφία, η οποία συντελεί στον σχηματισμό τοπικών ροών. Επίσης, ο ορεινός όγκος του Τροόδους και η οροσειρά του Πενταδάκτυλου παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της ροής του ανέμου πάνω από το νησί, καθώς και στη δημιουργία τοπικών σχηματισμών ανέμου. Συν τους άλλους, η παρουσία της θάλασσας γύρω από την Κύπρο ασκεί ισχυρή επίδραση στη διαμόρφωση τοπικών συνθηκών ροής, με τη δημιουργία θαλάσσιας αύρας κατά τη διάρκεια της ημέρας, η οποία αντιστρέφεται και ενισχύεται από καταβατικές ροές, ενίοτε, κυρίως στα βόρεια του νησιού, κατά τη διάρκεια της νύκτας (Kastanas et al., 2014). Σε κάθε περίπτωση, πάντως, η παρουσία ροής από τη θάλασσα προς την ξηρά κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι εμφανής και μπορεί να εισχωρήσει έως και 20 km εντός της ξηράς, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο, λόγω της έντονης διαφοροποίησης της θερμοκρασίας ξηράς-θάλασσας (Jacovides et al., 2002), αλλά και λόγω της επίδρασης της τραχύτητας του νησιού στη γενικότερη δυτική κυκλοφορία.

Όσον αφορά το καθεστώς του ανέμου πάνω από τη θάλασσα, δεν υπάρχουν σαφείς βιβλιογραφικές αναφορές. Η συγκεκριμένη εργασία επιχειρεί, εκτός των άλλων, να καλύψει μερικώς και αυτό το κενό, χρησιμοποιώντας και αναλύοντας στοιχεία από μετρήσεις του ανέμου σε παράλιες περιοχές, από μοντελοποιημένες καταγραφές του ανέμου σε βάσεις δεδομένων, αλλά και από μοντέλα πρόγνωσης.

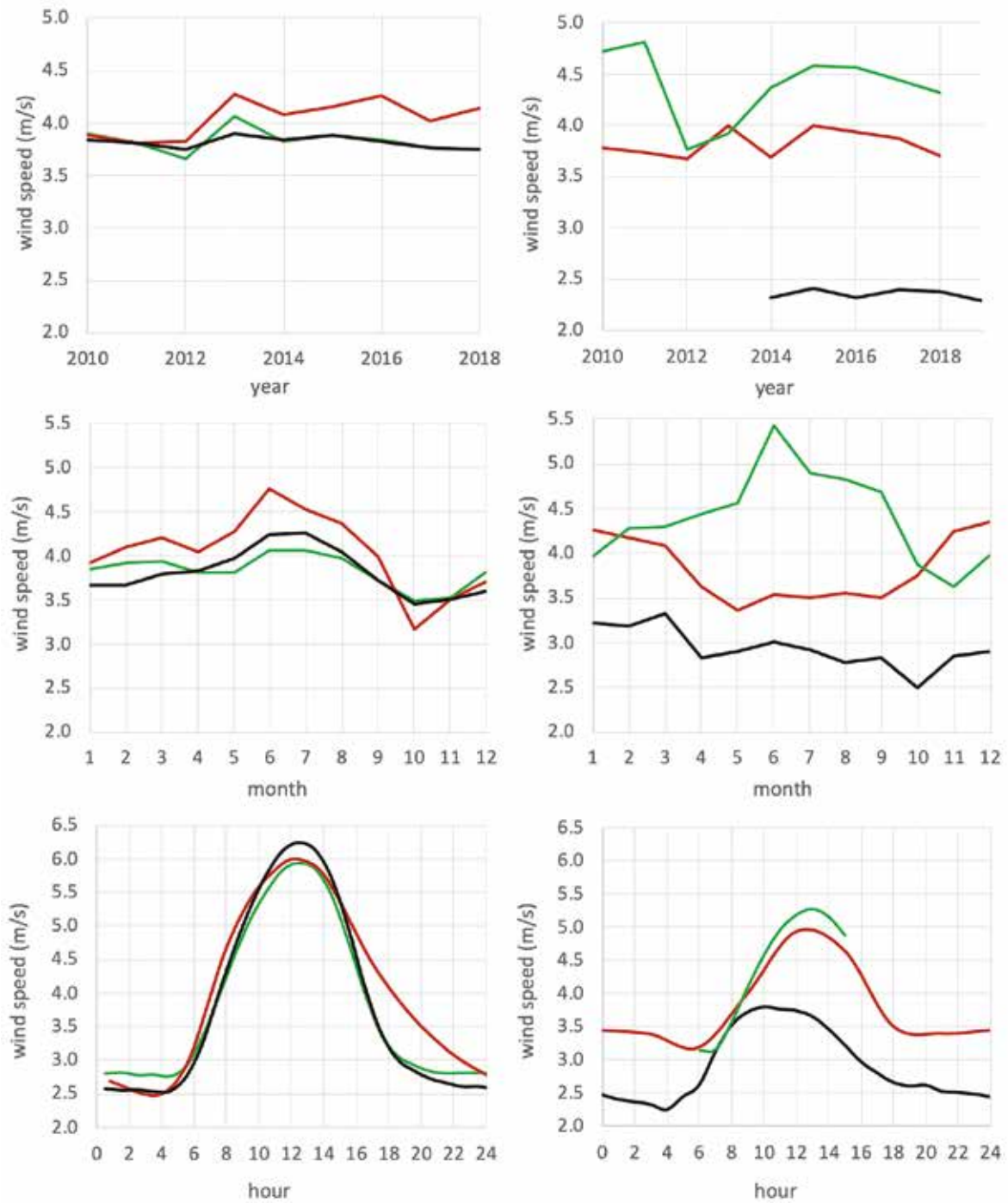
2.1 Μετρήσεις του ανέμου

Στα πλαίσια του παρόντος πακέτου εργασίας, συγκεντρώθηκαν και αναλύθηκαν διεξοδικά μετεωρολογικά δεδομένα που προέρχονται από ωριαίες μετρήσεις μετεωρολογικών υπηρεσιών της Κύπρου στο νότιο και στο βόρειο τμήμα του νησιού, σε ύψος 10 m. Τα δεδομένα αφορούν σταθμούς στο εσωτερικό του νησιού και στα παράλια με ποικίλη χρονική πληρότητα εντός της 20ετίας

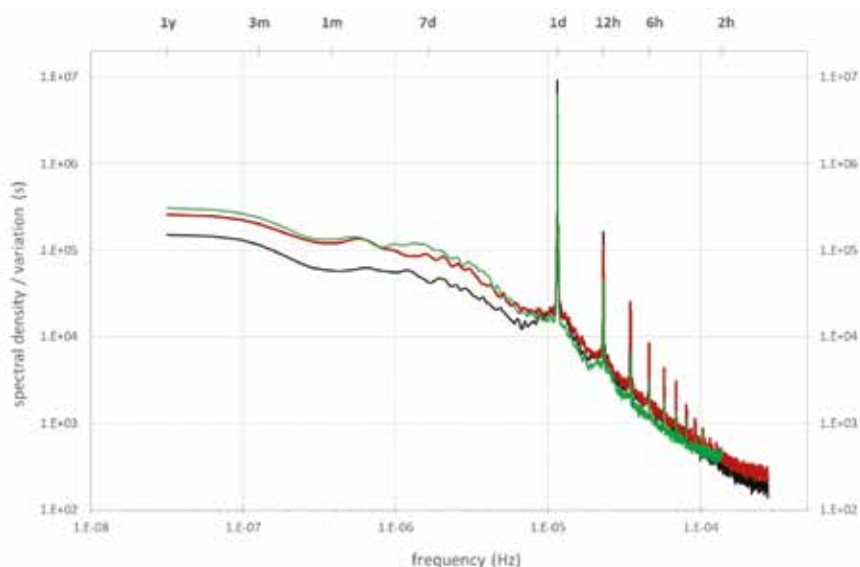
2000-2019. Εδώ παρουσιάζονται ενδεικτικά, αποτελέσματα από έξι παραλιακά σημεία (σχ. 1), και συγκεκριμένα, από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Λάρνακας (34.88N, 33.62E, 2.5m), του Ακρωτηρίου (34.59N, 32.99E, 23m), της Πάφου (34.72N, 32.49E, 12.5m), του Λιμνίτη (35.17N, 32.74E, 20m), της Γιαλούσας (35.53N, 34.19E, 123m) και της Αμμοχώστου (35.14, 33.94, 0m). Οι ωριαίες μετρήσεις της ταχύτητας καλύπτουν χρονική διάρκεια δέκα (10) ετών, από το 2009 έως το 2018 για τους τρεις σταθμούς των νότιων παραλίων, όπως και για τον σταθμό της Αμμοχώστου στα βόρεια. Στον Λιμνίτη, οι μετρήσεις του ανέμου είναι διαθέσιμες ανά τρίωρο για την περίοδο 2014-2020, στη δε Γιαλούσα καλύπτουν το διάστημα από 6:00 έως 15:00 GMT σε ωριαία βάση, τη περίοδο 2009-2018.

Στο σχήμα 2 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η εξέλιξη της μέσης ετήσιας, μηνιαίας και ωριαίας ταχύτητας του ανέμου στις έξι θέσεις μέτρησης. Όσον αφορά τη νότια ακτή της Κύπρου, δεν παρατηρείται αξιόλογη τάση μεταβολής της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου, με τις τιμές να παραμένουν κοντά στα 4 m/s και για τους τρεις διαθέσιμους μετεωρολογικούς σταθμούς. Ως προς την εποχιακή διακύμανση, παρατηρείται μία συνολική μικρή αύξηση της μέσης ταχύτητας προς τους θερινούς μήνες, και ελαχιστοποίηση κατά τον Οκτώβριο. Ειδικά στην περιοχή του Ακρωτηρίου, η εποχικότητα είναι εντονότερη, με τον Ιούνιο να εμφανίζεται με αυξημένη δραστηριότητα και μέση τιμή ταχύτητας ανέμου 4.7 m/s, που ελαχιστοποιείται κατά τον Οκτώβριο σε λίγο πάνω από τα 3 m/s. Στους τρεις ενδεικτικούς μετεωρολογικούς σταθμούς στα βόρεια παράλια, στην κατεχόμενη περιοχή, η ταχύτητα του ανέμου εμφανίζεται λίγο μειωμένη, με μέσες τιμές γύρω στα 4 m/s στην περιοχή της Αμμοχώστου, αλλά μικρές ταχύτητες στη Γιαλούσα. Στην περιοχή του Αστρομερίτη, η αρκετά αυξημένη μέση τιμή που παρατίθεται οφείλεται στο μειωμένο διαθέσιμο χρονικό εύρος των μετρήσεων από τις 6 έως τις 15 UTC. Ως προς την εποχική διακύμανση, στη βόρεια ακτή του νησιού παρουσιάζεται, σε γενικές γραμμές, αντίθετη συμπεριφορά, με μεγιστοποίηση του ανέμου κατά τους χειμερινούς μήνες στους σταθμούς του Λιμνίτη και της Γιαλούσας. Στην περιοχή του Λιμνίτη, η εποχική διαφορετικότητα θα μπορούσε να αποδοθεί και στην απουσία από το δείγμα των νυκτερινών τιμών. Όμως, η γενικότερη διαφοροποίηση των βορείων παραλίων σχετίζεται, κατά κύριο λόγο, με τη χαρακτηριστική τους μικρή ημερήσια διακύμανση, η οποία είναι σαφώς μειωμένη σε σύγκριση με τα νότια παράλια, παρουσιάζοντας αυξημένες νυκτερινές και μειωμένες μεσημβρινές ταχύτητες, σε συμφωνία τους Kastanas et al. (2014). Αντίθετα, στα νότια παράλια, το κυρίαρχο χαρακτηριστικό είναι η έντονη ημερήσια διακύμανση, που διαφοροποιεί πλήρως τις μέσες μεσημβρινές (6-6.5m/s) από τις νυκτερινές (2.5m/s) τιμές. Η διακύμανση αυτή, όπως αναλύεται στη συνέχεια, μεγιστοποιείται κατά τη θερινή περίοδο και επηρεάζει την ενεργειακή διαθεσιμότητα.

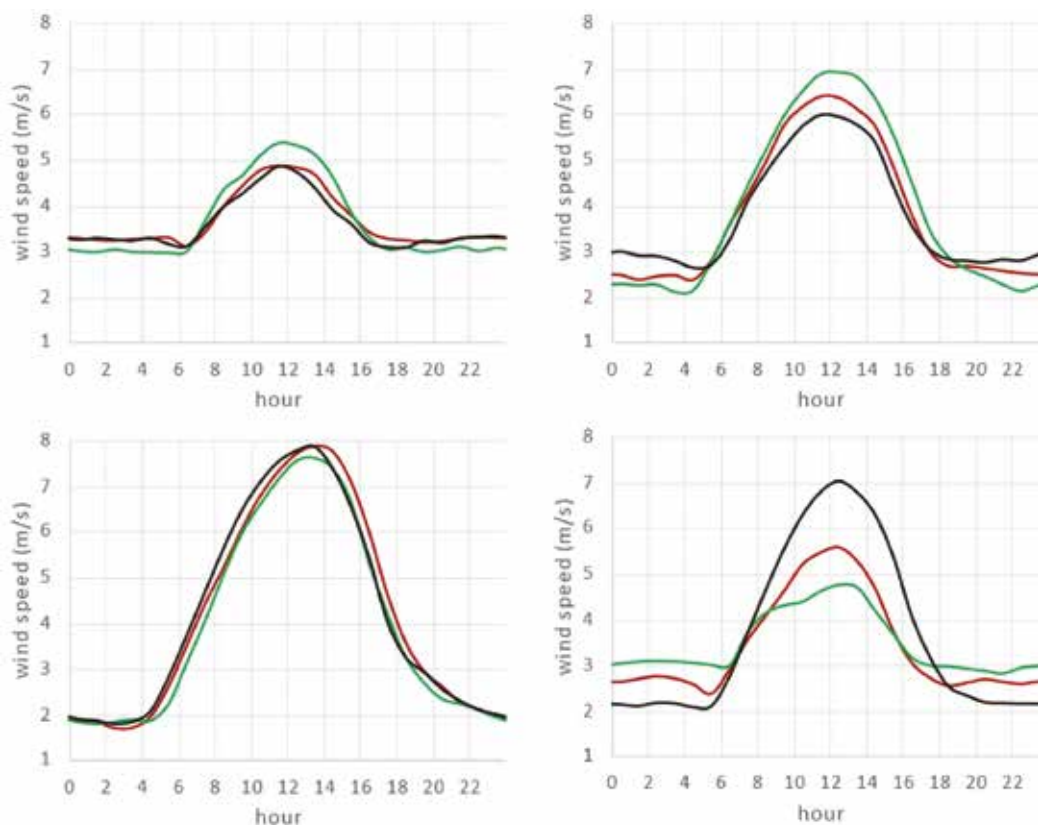
Η ενδεικτική φασματική ανάλυση της ταχύτητας του ανέμου στους τρεις νότιους παραλιακούς σταθμούς, που παρουσιάζεται στο σχήμα 3, δείχνει την κυρίαρχη μεγιστοποίηση των ενδοημερήσιων φασματικών συνιστωσών σε περιόδους 24, 12, 8 και 6 ωρών. Οι περίοδοι αυτές σχετίζονται, προφανώς, με την έντονη ημερήσια διακύμανση του ανέμου στα νότια παράλια και συνολικά συνεισφέρουν στο 30-35% της διακύμανσης της ταχύτητας του ανέμου, η οποία μεταφράζεται σε αντίστοιχη διακύμανση της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας. Ως προς τις ενδοετήσιες, βραχύσυχνες φασματικές συνιστώσες, η συμπεριφορά των σταθμών είναι παρεμφερής και αποδίδει επίσης σημαντική συνεισφορά στην ολική διακύμανση. Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται ενδεικτικά η ωριαία εξέλιξη της μέσης ταχύτητας του ανέμου ανά μήνα, για τον μετεωρολογικό σταθμό του Ακρωτηρίου, και αναδεικνύεται η σταδιακή, έντονη αύξηση της ημερήσιας διακύμανσης του ανέμου από τον χειμώνα προς το θέρος. Κατά τη χειμερινή περίοδο, το ημερήσιο εύρος είναι σχετικά μικρό, παρουσιάζοντας ομοιότητες με τη βόρεια πλευρά του



Σχήμα 2. Μέση ετήσια, μηνιαία και ημερήσια (από πάνω προς τα κάτω) εξέλιξη της ταχύτητας του ανέμου στους σταθμούς της Λάρνακας (μαύρο), του Ακρωτηρίου (κόκκινη γραμμή) και της Πάφου (πράσινο), στα αριστερά, και της Γαλιούσσας (μαύρο), της Αμμοχώστου (κόκκινο) και του Λιμνίτη (πράσινο), στα δεξιά.



Σχήμα 3. Φασματική κατανομή της διακύμανσης της ταχύτητας του ανέμου ανά συχνότητα (κάτω άξονας) και περίοδο (πάνω άξονας) στους μετεωρολογικούς σταθμούς της Λάρνακας (μαύρο), της Πάφου (κόκκινο) και του Ακρωτηρίου (πράσινο).



Σχήμα 4. Μέση ωριαία εξέλιξη της ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια της ημέρας, στον μετεωρολογικό σταθμό του Ακρωτηρίου, ανά μήνα του έτους. Οι μήνες παρουσιάζονται ανά τρεις κατά εποχή, ξεκινώντας άνω αριστερά από τους Δεκέμβριο (μαύρη καμπύλη), Ιανουάριο (κόκκινη καμπύλη) και Φεβρουάριο (πράσινη καμπύλη). Το σχήμα συνεχίζεται δεξιόστροφα.

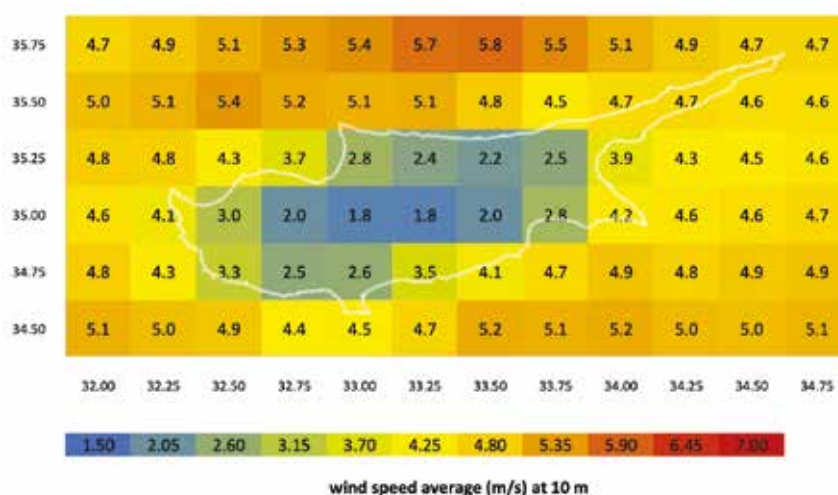
νησιού (Σχ. 2). Κατά τη διάρκεια του έτους και προς το θέρος, όμως, σταδιακά, οι μέσες ταχύτητες του ανέμου κατά τις βραδινές ώρες μειώνονται, λόγω της γενικότερα πιο ήπιας τότε ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, και κατά τις μεσημβρινές ώρες μεγιστοποιούνται, φτάνοντας σε τιμές που προσεγγίζουν τα 8 m/s. Αυτό το επίμονο ημερήσιο σχήμα και η έντονη διαφοροποίηση βάσει εποχής και ώρας της ημέρας, χαρακτηρίζουν τη λειτουργία του ανέμου στα νότια παράλια και επηρεάζουν έντονα την εποχιακή διαθεσιμότητα αιολικής ενέργειας, κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψη στον όποιον προγραμματισμό (Akylas et al., 1997; 1999).

2.2 Βάσεις δεδομένων ανέμου ERA5 και COSMO-REA6

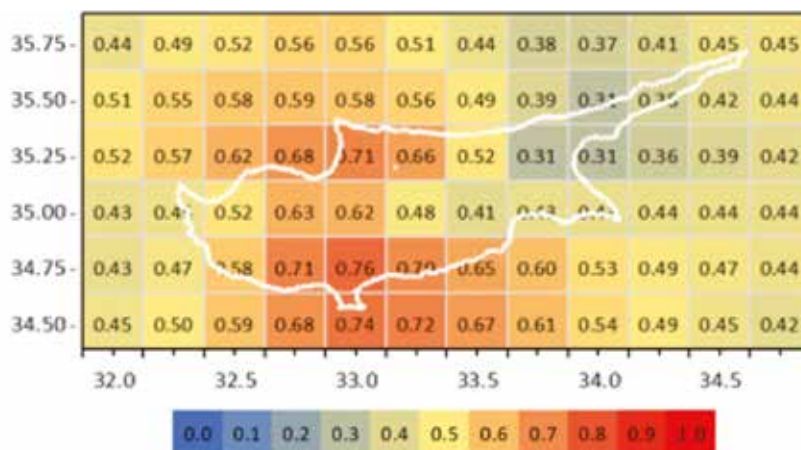
Το σύστημα ανα-επεξεργασίας (reanalysis) μετεωρολογικών δεδομένων ERA5 του ECMWF (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>) παρέχει ωριαίες εκτιμήσεις για μεγάλο αριθμό ατμοσφαιρικών, χερσαίων και ωκεάνιων κλιματικών μεταβλητών. Το ERA5 συνδυάζει μεγάλο εύρος ιστορικών παρατηρήσεων αλλά και αποτελεσμάτων προσομοιώσεων μετεωρολογικών μοντέλων σε παγκόσμια κλίμακα, χρησιμοποιώντας προηγμένα συστήματα μοντελοποίησης και εξομοίωσης δεδομένων, οδηγώντας σε ανα-επεξεργασμένα (re-analysis data) στοιχεία που ανταποκρίνονται, σε μεγάλο βαθμό, στην αποτύπωση της κλιματικής κατάστασης.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής συγκεντρώθηκαν και αναλύθηκαν ωριαία ανα-επεξεργασμένα στοιχεία για την περίοδο της 20ετίας 2000-2019 από το ERA5/ECMWF, σε ανάλυση 0.25 μοιρών (περίπου 27x27 km), που αντιστοιχεί σε 72 σημεία στην περιοχή της Κύπρου, όπως φαίνεται στο σχήμα 5, στα 10 m ύψος από την επιφάνεια του εδάφους. Σε γενικές γραμμές, ως προς τις μέσες τιμές, διαφαίνεται ξεκάθαρα η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου σε τιμές γύρω στα 5-6 m/s πάνω από τη θάλασσα, σε σχέση με τιμές γύρω στα 2-3 m/s πάνω από την ξηρά (Σχ. 5). Στα βόρεια τμήματα της νήσου παρουσιάζεται αυξημένη ατμοσφαιρική κυκλοφορία, σε σχέση με τα νότια, με τις τιμές του ανέμου που πλησιάζουν ή και υπερβαίνουν τα 6 m/s καθώς απομακρυνόμαστε από την ξηρά (~ 25 km).

Αν και σε αραιή ανάλυση, και εμφανίζοντας έντονη διαφοροποίηση μεταξύ των χερσαίων και θαλάσσιων κελιών του πλέγματος, τα συγκεκριμένα αποτελέσματα παρουσιάζουν ανεκτή συμ-



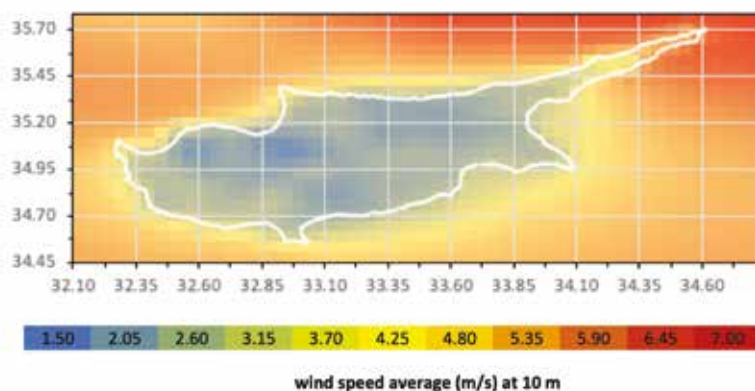
Σχήμα 5. Μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου (m/s) στην ευρύτερη περιοχή της Κύπρου για την περίοδο 2000-2019, από την επεξεργασία ωριαίων στοιχείων του ERA5 σε χωρική ανάλυση 27x27 km.



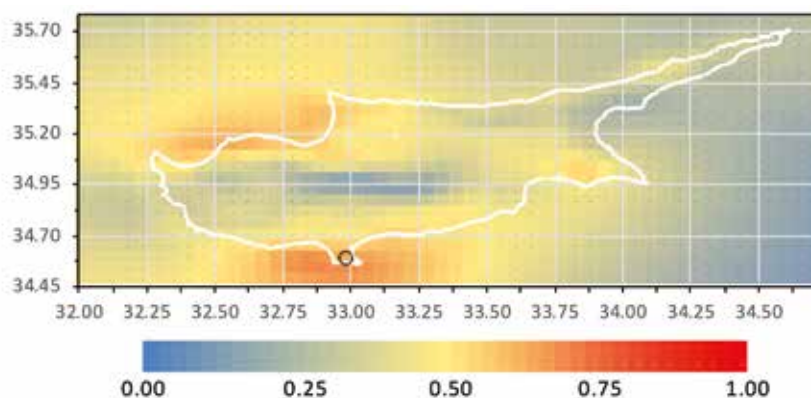
Σχήμα 6. Οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ της χρονοσειράς των μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου στο Ακρωτήριο και των εκτιμήσεων του ERA5 στην ευρύτερη περιοχή της Κύπρου.

φωνία με τις μετρήσεις του ανέμου στις παραλιακές περιοχές. Για παράδειγμα, στο σχήμα 6 που ακολουθεί, φαίνεται η χωρική κατανομή του συντελεστή συσχέτισης (correlation coefficient) μεταξύ της χρονοσειράς της μετρημένης ταχύτητας του ανέμου στον σταθμό του Ακρωτηρίου και των αντίστοιχων ωριαίων εκτιμήσεων του ERA5 στην ευρύτερη περιοχή της Κύπρου. Η μεγιστοποίηση του συντελεστή συσχέτισης (0.75) στα σημεία του πλέγματος που βρίσκονται πλησιέστερα της θέσης μέτρησης είναι ενδεικτική της επαρκούς, γενικά, συμφωνίας των δεδομένων αυτών με τις μετρήσεις, αν και η χαμηλή ανάλυση και η έντονη διαφοροποίηση μεταξύ του θαλάσσιου και χερσαίου χαρακτήρα των κελιών του πλέγματος χρήζουν περαιτέρω ανάλυσης.

Στο ίδιο μήκος κύματος, αλλά με πολύ μεγαλύτερη ανάλυση, κινούνται και οι εκτιμήσεις για το πεδίο του ανέμου στην Κύπρο από το σύστημα Cosmo-REA6. Το σύστημα ανα-επεξεργασίας δεδομένων υψηλής ανάλυσης COSMO-REA6 (<https://reanalysis.meteo.uni-bonn.de/?COSMO-REA6>) έχει αναπτυχθεί με βάση το μοντέλο NWP/COSMO. Το περιφερειακό σύστημα για την ηπειρωτική Ευρώπη ταιριάζει με τον τομέα των προδιαγραφών CORDEX EURO-11, και, μάλιστα, σε υψηλότερη χωρική ανάλυση 0.055° (6 km), αφομοιώνοντας και τα δεδομένα παρατήρησης. Το σύνολο δεδομένων καλύπτει την περίοδο από το 1995 έως και τον Αύγουστο του 2019, αλλά στην παρουσίαση αυτή επικεντρωθήκαμε στην περίοδο 2009-2019, δεδομένου ότι υπήρχαν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα. Οι μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου για τη συνολική χρονική περίοδο παρουσιάζονται στο σχήμα 7, και εμφανίζουν, σε γενικές γραμμές, συμφωνία με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των χαμηλότερης ανάλυσης στοιχείων του ERA5, που προαναφέρθηκαν. Στα βόρεια τμήματα της νήσου παρουσιάζεται αυξημένη η ατμοσφαιρική κυκλοφορία. Ιδιαίτερα στα βορειοανατολικά, καθώς απομακρυνόμαστε από την ακτή, μεγιστοποιείται, φτάνοντας σε τιμές που πλησιάζουν ή και ξεπερνούν τα 6.5 m/s, μεγαλύτερες σε σχέση με τις εκτιμήσεις του ERA5. Στα νότια παράλια, οι μέσες ταχύτητες φτάνουν τα 5 m/s και δείχνουν να μεγιστοποιούνται πλησίον του Ακρωτηρίου, σε μικρή απόσταση από την ακτή (5-10 km), σε συμφωνία και με τις μετρήσεις. Στη γενικότερη συμφωνία των δεδομένων με τις μετεωρολογικές παρατηρήσεις συνηγορεί και η μεγιστοποίηση του συντελεστή συσχέτισης (correlation coefficient) μεταξύ της χρονοσειράς της μετρημένης ταχύτητας του ανέμου στον σταθμό του Ακρωτηρίου και των αντίστοιχων ωριαίων εκτιμήσεων του Cosmo-REA6, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 8. Η μεγιστοποίηση του συντελεστή συσχέτισης (0.70) στα σημεία του πλέγματος που βρίσκονται πλησιέστερα της θέσης μέτρησης είναι ενδεικτική της ικανοποιητικής, σε γενικές γραμμές, συμφωνίας των



Σχήμα 7. Μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου (m/s) στην ευρύτερη περιοχή της Κύπρου για την περίοδο 2009-2019, από την επεξεργασία ωριαίων στοιχείων του COSMO-REA6 σε χωρική ανάλυση 6x6 km.



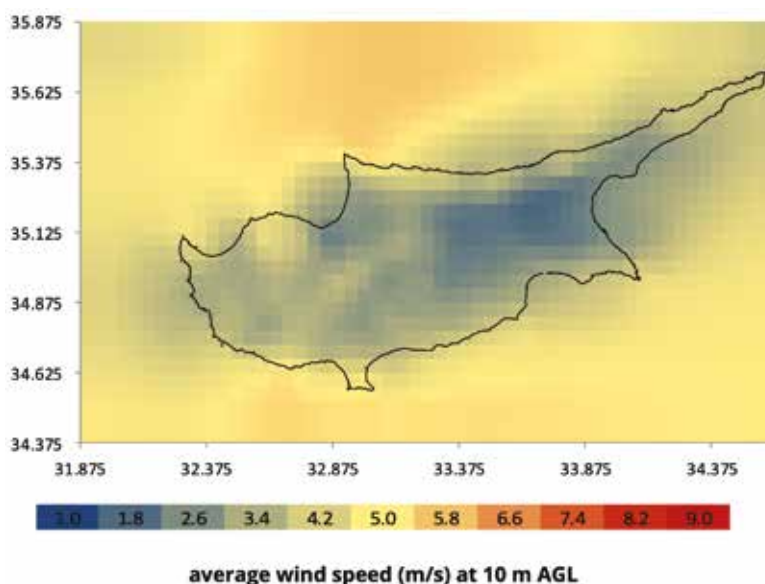
Σχήμα 8. Οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ της χρονοσειράς των μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου στο Ακρωτήρι και των εκτιμήσεων του Cosmo-REA6, στην ευρύτερη περιοχή της Κύπρου.

δεδομένων αυτών με τις μετρήσεις, αν και οι αντίστοιχες τιμές του συντελεστή συσχέτισης από τα χαμηλότερης ανάλυσης δεδομένα ERA5 είναι λίγο μεγαλύτερες. Αναμφίβολα, οφείλουμε να δεχθούμε ότι τα δεδομένα του Cosmo εξασφαλίζουν μία αξιόπιστη στατιστική περιγραφή, υστερούν λίγο όμως ως προς την αποτύπωση της έντονης ημερήσιας διακύμανσης του ανέμου στα νότια παράλια που συζητήθηκε νωρίτερα, στο εδάφιο 2.1.

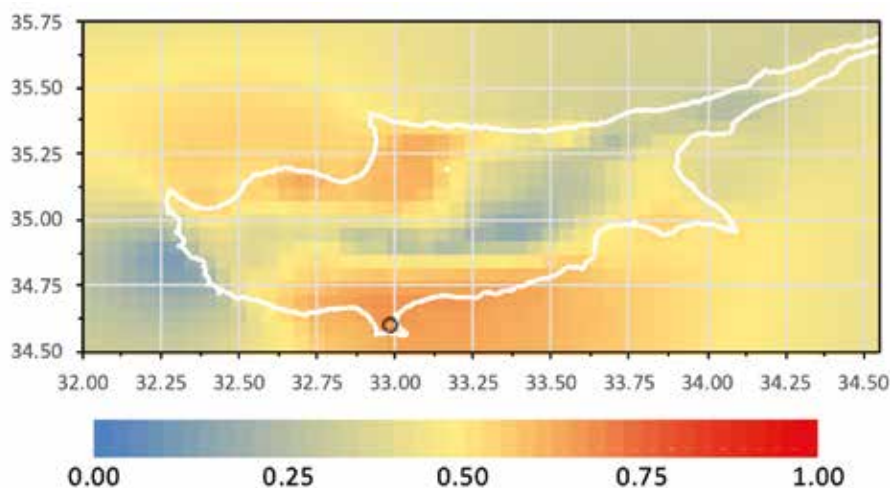
2.3 Προγνώσεις του ανέμου

Επιπροσθέτως, όσον αφορά την περίοδο 2016-2019, στην παρούσα εργασία συγκεντρώθηκαν και μελετήθηκαν και οι 24ωρες, ωριαίες προγνώσεις του ανέμου από το OPEN SKIRON (<https://openskiron.org/he>), το οποίο είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα μετεωρολογικής πρόγνωσης περιορισμένης περιοχής που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο Αθηνών. Χρησιμοποιείται σε περισσότερα από 20 ερευνητικά ινστιτούτα και Μετεωρολογικές Υπηρεσίες σε όλο τον κόσμο και βασίζεται στο μοντέλο Eta/NCEP. Λειτουργεί επιχειρησιακά στο Πανεπιστήμιο Αθηνών (<http://forecast.uoa.gr>) και είναι το κύριο προγνωστικό εργαλείο της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας της Ελλάδας, όπου έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί από το 1996. Τα δεδομένα που χρησι-

μποιήθηκαν αφορούν προγνώσεις για τις ωριαίες τιμές της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου που ανανεώνονται σε 24ωρη βάση, από την ανοικτής πρόσβασης έκδοση του μοντέλου, στην ιστοσελίδα <https://openskiron.org/en/openskiron>. Η γεωγραφική κάλυψη των προγνωστικών δεδομένων αφορά την ίδια γεωγραφική περιοχή που αναφέρθηκε νωρίτερα, με υψηλή ανάλυση που αντιστοιχεί σε 10x10 km, στα 10 m ύψος από την επιφάνεια του εδάφους, όπως φαίνεται στο σχήμα 9, για τη χρονική περίοδο 2016-2019. Και σε αυτή την περίπτωση, ως προς τις μέσες τιμές, διαφαίνεται η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου σε τιμές γύρω στα 5-6 m/s πάνω από τη θάλασσα, σε σχέση με τιμές γύρω στα 2-4m/s πάνω από την ξηρά (Σχ. 9). Στα βόρεια τμήματα της νήσου παρουσιάζεται αυξημένη ατμοσφαιρική κυκλοφορία, σε σχέση με τα νότια, με τις τιμές του ανέμου να πλησιάζουν ή και να ξεπερνούν τα 6 m/s καθώς απομακρυνόμαστε από την ξηρά. Στα νότια παράλια, η ταχύτητα μεγιστοποιείται μεταξύ του Ακρωτηρίου και της Πάφου, σε συμφωνία με τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν νωρίτερα. Και σε αυτή την περίπτωση, όμως, η έντονη ημερήσια διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου, όπως προκύπτει από τις μετρήσεις, ειδικά στη νότια ακτογραμμή, δεν αποδίδεται ικανοποιητικά. Παράλληλα, στο σχήμα 10 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του συντελεστή συσχέτισης (correlation coefficient) μεταξύ της χρονοσειράς της μετρημένης ταχύτητας του ανέμου στον σταθμό του Ακρωτηρίου και των αντίστοιχων ωριαίων εκτιμήσεων του OPEN SKIRON στην ευρύτερη περιοχή της Κύπρου. Η μεγιστοποίηση του συντελεστή συσχέτισης (0.69) στα σημεία του πλέγματος που βρίσκονται πλησιέστερα της θέσης μέτρησης είναι ενδεικτική της επαρκούς συμφωνίας των δεδομένων αυτών με τις μετρήσεις. Όμως, στην παρούσα φάση, δεν επιτρέπει τη χρήση των δεδομένων αυτών για ακριβή βραχυπρόθεσμη πρόγνωση, δεδομένης της χαμηλότερης γραμμικής συσχέτισης, η οποία οφείλεται κυρίως στην ανεπαρκή περιγραφή των έντονων ενδοημερήσιων διακυμάνσεων. Όπως και στις βάσεις δεδομένων που παρουσιάστηκαν νωρίτερα, η έντονη διαφοροποίηση μεταξύ του θαλάσσιου και χερσαίου χαρακτήρα των κελιών, ακόμη και στη βάση της υψηλής ανάλυσης του συγκεκριμένου πλέγματος, χρήζει περαιτέρω ανάλυσης και συνεκτίμησης στο μέλλον, προκειμένου να καταστεί ακριβέστερος ο χαρακτήρας των προγνώσεων, ιδιαίτερα στη νότια ακτογραμμή της Κύπρου.



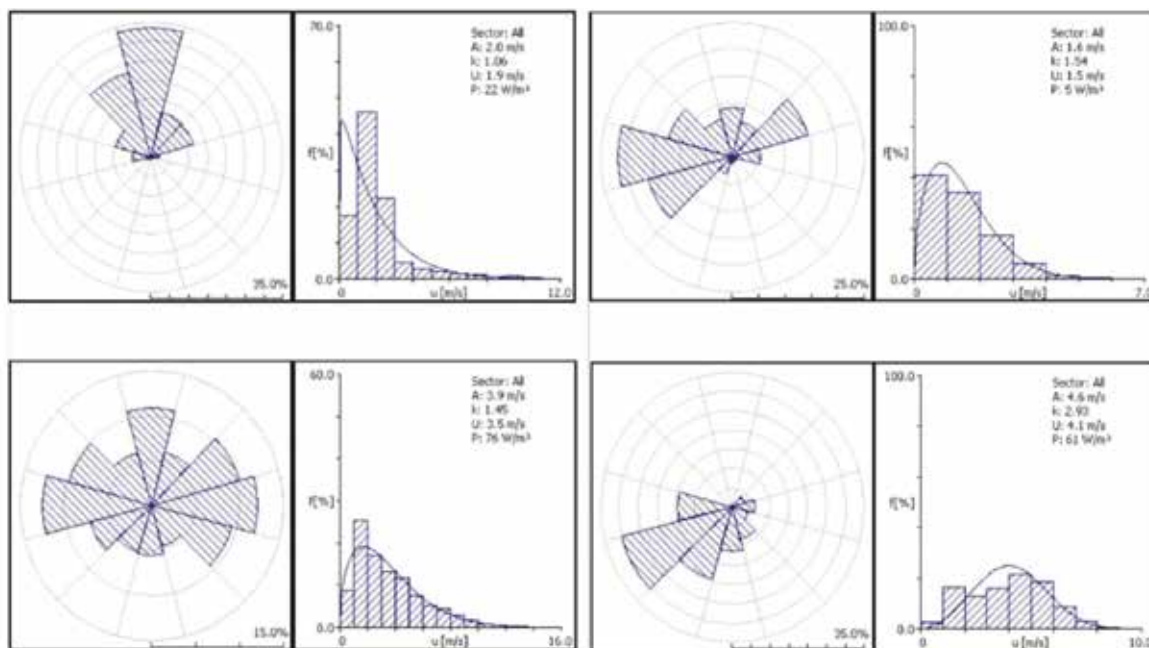
Σχήμα 9. Μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου (m/s) στην ευρύτερη περιοχή της Κύπρου για την περίοδο 2016-2019, από την επεξεργασία ωριαίων στοιχείων του Open-Skiron σε ανάλυση 10x10 km.



Σχήμα 10. Μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου (m/s) στην ευρύτερη περιοχή της Κύπρου για την περίοδο 2016-2019, από την επεξεργασία ωριαίων στοιχείων του Open-Skiron σε χωρική ανάλυση 10x10 km.

..... 3. Συνδυασμός της υφιστάμενης πληροφορίας σε υψηλότερη ανάλυση

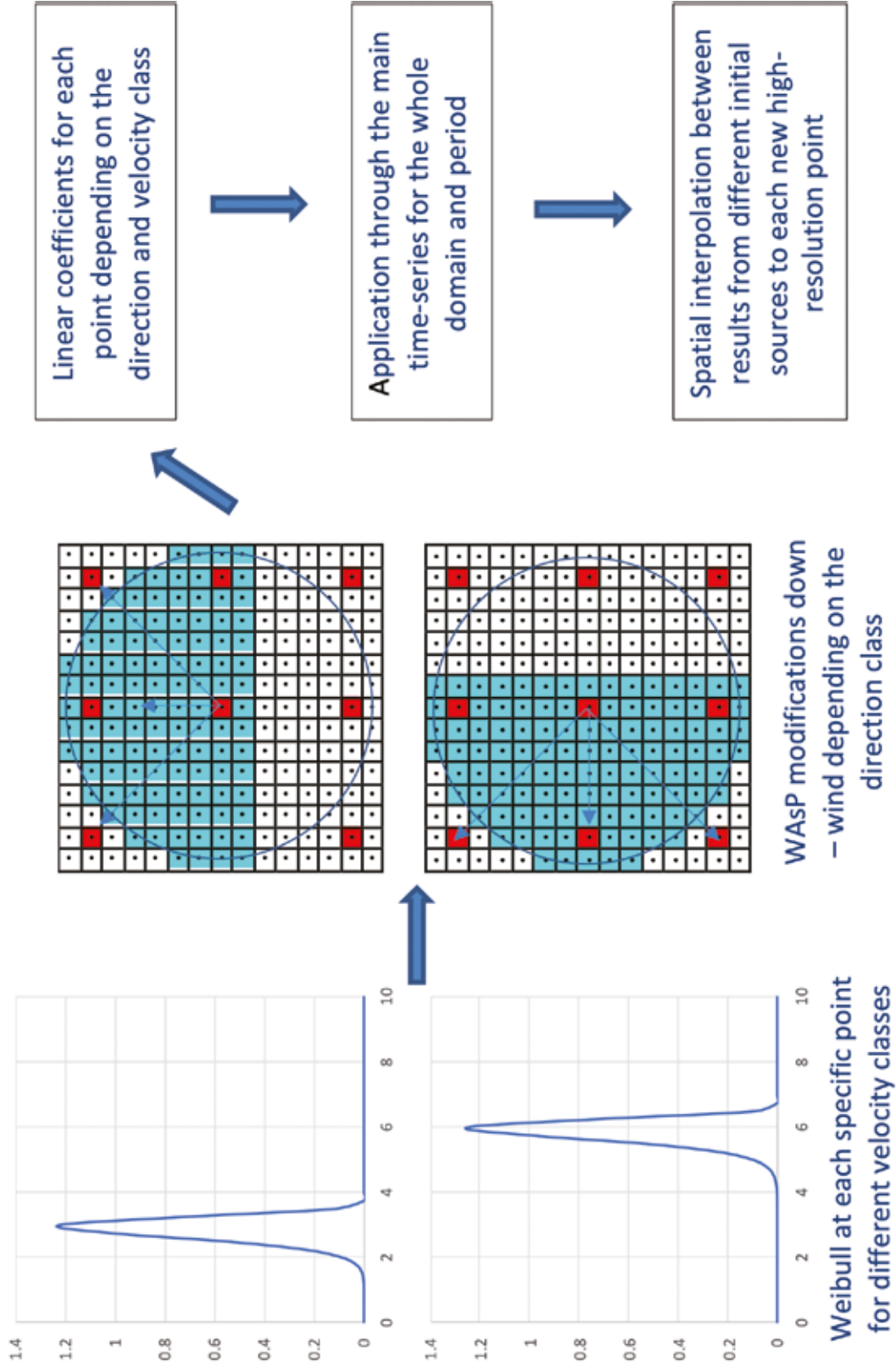
Η μετεωρολογική πληροφορία για τον άνεμο στην περιοχή της Κύπρου, που συγκεντρώθηκε και παρουσιάστηκε νωρίτερα, όπως αποτυπώθηκε, τόσο από τις μετρήσεις στους μετεωρολογικούς σταθμούς όσο και από τα δεδομένα υψηλής ανάλυσης από το Cosmo REA, επεκτάθηκε σε υψηλότερη ανάλυση 1x1 km με εξαντλητική και εξαιρετικά χρονοβόρα χρήση του μοντέλου ροής WAsP. Το WAsP (<https://www.wasp.dk/wasp>) είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο πρόγραμμα για την εκτίμηση της χωρικής κατανομής του ανέμου, του αιολικού δυναμικού και της παραγωγής ενέργειας από ανεμογεννήτριες και αιολικά πάρκα. Ο προορισμός του μοντέλου WAsP έγκειται στην παροχή ενός κατάλληλου φυσικού υπόβαθρου μοντέλων για την τροποποίηση της ατμοσφαιρικής ροής μέσα στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα, λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις της πολυπλοκότητας του εδάφους, τις επιδράσεις από εμπόδια, την τοπική τραχύτητα του εδάφους, αλλά και τις αλλαγές της εντός της περιοχής μελέτης (Beller, 2009; Mortenssen et al., 2004). Οι εκτιμήσεις του βασίζονται στα δεδομένα του ανέμου που μετρήθηκαν σε έναν αριθμό σταθμών στην ίδια περιοχή. Το WAsP χρησιμοποιεί ως στοιχεία εισόδου τη γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης, μέσω των ισοΰψών του εδάφους, και τις κλάσεις της τραχύτητας, προκειμένου να εκτιμήσει τη στατιστική του ανέμου πάνω από τα ζητούμενα σημεία, διαταράσσοντας και τροποποιώντας τη γνωστή στατιστική του ανέμου πάνω από ένα δεδομένο σημείο της περιοχής ενδιαφέροντος. Δηλαδή, χρησιμοποιείται η τοπική κλιματολογία και, σε συνδυασμό με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της τοποθεσίας του σταθμού, το φυσικό μοντέλο μετατρέπει το σύνολο των δεδομένων ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου που μετρήθηκε απ' οποιοδήποτε σημείο σε αυτό που θα αντιστοιχούσε σε περιβάλλον επίπεδο με ομοιογενές έδαφος και χωρίς κανένα εμπόδιο. Στη συνέχεια, η εν λόγω διορθωμένη ροή, ακολουθώντας αντίστροφη διαδικασία, ανάγεται στατιστικά στις υπό εξέταση ζητούμενες περιοχές, έχοντας λάβει υπόψη τα ιδιαίτερα τοπικά τους χαρακτηριστικά, κάτι που παρουσιάζεται ενδεικτικά στο σχήμα 11.



Σχήμα 11. Αλλαγή της στατιστικής κατανομής της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου, όπως μετρήθηκε στο αρχικό σημείο αναφοράς εισόδου, λόγω της μετακίνησης σε περιοχές διαφορετικής τραχύτητας και μορφολογίας.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε στο συγκεκριμένο πακέτο εργασίας παρατίθεται στο σχήμα 12 και συνίσταται στην εκτίμηση της αλλαγής του ανέμου μεταξύ του γνωστού σημείου εισόδου κάθε φορά και των ζητούμενων σε μεγαλύτερη ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκε ανά κλάση διεύθυνσης (εύρους 90°) η επίδραση συγκεκριμένων κλάσεων ταχύτητας (εύρους 1 m/s) στη ροή κατάντι κάθε σημείου του κελιού του αρχικού πλέγματος με ανάλυση 6x6 km ως προς κελιά μεγαλύτερης ανάλυσης 1x1 km. Λόγω της προαναφερόμενης ιδιαιτερότητας του WASP, να δέχεται ως είσοδο τη στατιστική του ανέμου σε μορφή Weibull (Weibull, 1951; Seguro and Lambert, 2000), οι κλάσεις της ταχύτητας δημιουργήθηκαν ως στατιστική κατανομή πιθανότητας με μικρό εύρος γύρω από την τιμή αναφοράς. Η αλλαγή της ταχύτητας ανά κελί εξόδου κωδικοποιήθηκε σε γραμμική συναρτησιακή μορφή, έτσι ώστε να μπορεί να επαναληφθεί η διαδικασία χωρίς τη χρήση πλέον του WASP, για οποιαδήποτε εμφάνιση τιμής ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου στο κελί εισόδου. Στη συνέχεια, αυτοματοποιήθηκε η διαδικασία του υπολογισμού της ταχύτητας σε οποιοδήποτε σημείο του νέου πυκνότερου πλέγματος βάσει των κωδικοποιημένων εκτιμήσεων της ταχύτητας από διαφορετικά σημεία του αρχικού πλέγματος, με τελική παρεμβολή μεταξύ τους.

Κατ' αυτόν τον τρόπο κατέστη εφικτή η επέκταση της καταγεγραμμένης πληροφορίας απ' όλο το εύρος της χρονοσειράς των στοιχείων του Cosmo REA σε ανάλυση 1x1 km, ενώ συμπεριλήφθηκε με παρεμβολή και η επίδραση από τις χρονοσειρές των μετεωρολογικών σταθμών, όπου ήταν διαθέσιμες. Εδώ, οφείλουμε να επισημάνουμε ότι από τη στιγμή που έχουν εξαχθεί οι συναρτησιακές σχέσεις για την αναγωγή της ταχύτητας του ανέμου στα νέα σημεία, δεν είναι αναγκαία η οποιαδήποτε επανάληψη της εκτεταμένης χρήσης του WASP. Η ίδια διαδικασία του down scaling που αναπτύχθηκε, πλέον μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα και σε οποιαδήποτε άλλη βάση δεδομένων, καθώς και στα αποτελέσματα των διαθέσιμων προγνωστικών μοντέλων, προκειμένου να επιτευχθεί η βραχυπρόθεσμη πρόγνωση του αιολικού δυναμικού σε επιλεγμένα σημεία του θαλάσσιου χώρου, όταν η ποιότητα της πρόγνωσης είναι επαρκής.

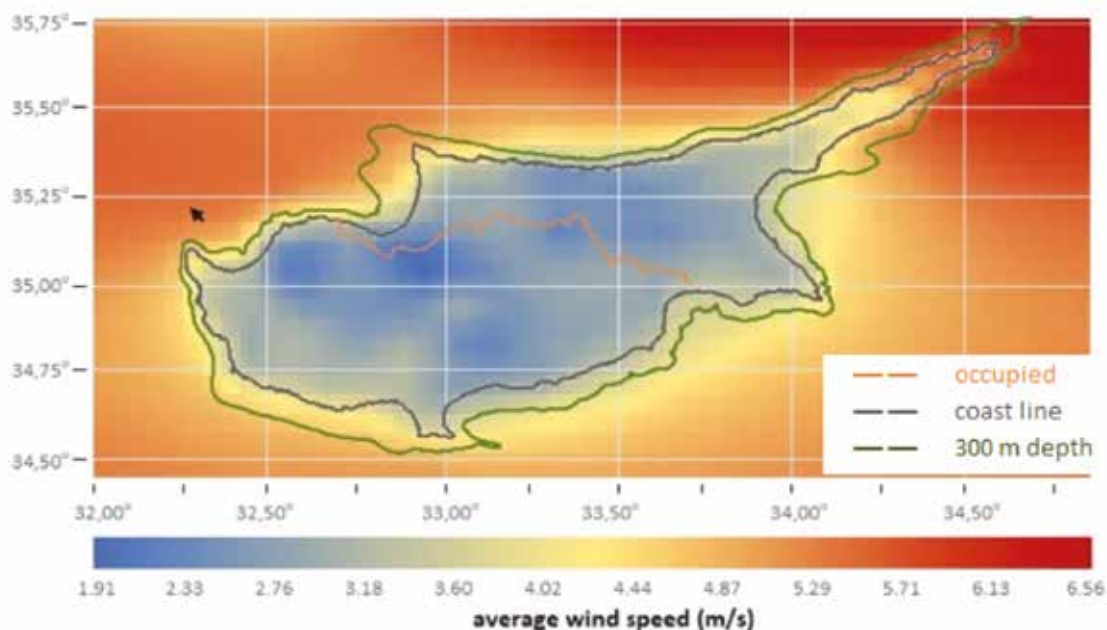


Σχήμα 12. Η ακολουθία της διαδικασίας που εφαρμόστηκε για την επέκταση της πληροφορίας από το αρχικό πλέγμα του Cosmo REA των 6x6 km σε ανάλυση 1x1 km. Το τμήμα της εξαγωγής των συναρτησιακών σχέσεων μετατροπής της ταχύτητας. Η διαδικασία έχει οδηγήσει σε αυτοματοποιημένο *****

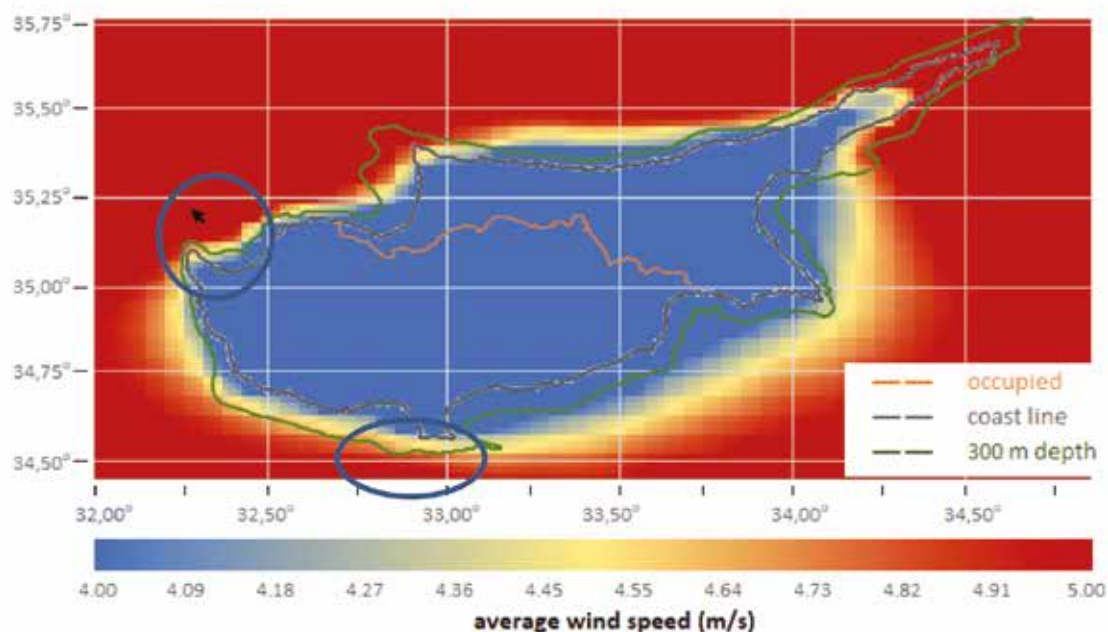
4. Δημιουργία δια-δραστικής πλατφόρμας

Η ωριαία βάση αναφοράς αρχικής ανάλυσης 1x1 km που παρουσιάστηκε προηγουμένως, κωδικοποιήθηκε σε εύχρηστη πλατφόρμα excel, η οποία μπορεί να δοθεί σε οποιονδήποτε ενδιαφερόμενο χρήστη, προκειμένου να εκτιμήσει το αιολικό δυναμικό σε οποιοδήποτε σημείο της Κύπρου και της παράκτιας περιοχής της, με αυτόματη παρεμβολή μεταξύ των αρχικών εκτιμήσεων. Η πλατφόρμα επιτρέπει την εύκολη εξαγωγή ολικής εικόνας για τον άνεμο στην περιοχή της Κύπρου και, εκτός από τη χωρική εστίαση, επιτρέπει τη χρονική επιλογή οποιασδήποτε περιόδου συγκεκριμένων ωρών, μηνών και ετών από το διάστημα 2009-2019. Επιπροσθέτως, αποδίδονται για οποιοδήποτε επιλεγμένο σημείο από τον χρήστη, στατιστικές πληροφορίες για τη μέση, τη μέγιστη, την ελάχιστη τιμή, τη διακύμανση της ταχύτητας, καθώς και για τους συντελεστές της κατανομής Weibull (Cohen, 1973; Akdag and Dinler, 2009; Akylas et al., 2010). Συν τοις άλλοις, η πλατφόρμα δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει τη λεπτομέρεια της χρωματικής κλίμακας της παρουσίασης, προκειμένου να επιτευχθεί μία ακριβής αναπαράσταση. Στο σχήμα 13 παρουσιάζονται, ενδεικτικά, αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα από την αυτοματοποιημένη επεξεργασία που έλαβε χώρα και διατίθεται από τη διαδραστική πλατφόρμα, ως προς τις μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου στα 10 m (ASL) για την περίοδο των ετών 2008-2019, σε χωρική ανάλυση 1x1 km. Οι τιμές στη θαλάσσια περιοχή της Κύπρου φτάνουν τα 6.5m/s στα βορειοανατολικά παράλια της κατεχόμενης περιοχής, όπου και παρουσιάζεται το μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό με βάση την περιγραφή που αποδίδει και το Cosmo-REA6. Στην υπόλοιπη θαλάσσια περιοχή, οι ταχύτητες είναι της τάξεως των 5.5 m/s, με μέγιστες τιμές στα βορειοδυτικά που προσεγγίζουν τα 6 m/s. Προφανώς, οι τιμές αυτές μειώνονται καθώς πλησιάζουμε προς στην ακτογραμμή.

Προσπαθώντας να εντοπίσουμε περιοχές πλησίον, κατά το δυνατόν, της ακτογραμμής με πιθανώς αξιοποιήσιμο δυναμικό, στο σχήμα 14 που ακολουθεί εστιάζουμε, με αλλαγή της επιλογής της χρωματικής κλίμακας, σε περιοχές με δυναμικό πάνω από 5 m/s, για την ίδια περίοδο 2008



Σχήμα 13. Μέσες τιμές του ανέμου στην περιοχή της Κύπρου για την περίοδο 2008-2019.



Σχήμα 14. Μέσες τιμές του ανέμου στην περιοχή της Κύπρου για την περίοδο 2008-2019. Η κλίμακα εστιάζει στις περιοχές που έχουν αιολικό δυναμικό πάνω από 5 m/s.

-1019. Με την αλλαγή της κλίμακας καθίσταται εμφανής η βελτίωση της ανάλυσης στη μετάβαση της ταχύτητας προς μεγαλύτερες τιμές από την ακτή προς τη θάλασσα. Σε πρώτη ανάγνωση, όλες αυτές οι περιοχές (πλην των βορειοανατολικών παραλίων) βρίσκονται πέραν της ισοβαθούς των 300 m, δηλαδή έχουν βάθη επαρκή για να δεχτούν πλωτές ανεμογεννήτριες. Σε σχέση με την απόσταση από την ακτογραμμή, είναι ξεκάθαρο πως η περιοχή του Ακάμα στα βορειοδυτικά παρουσιάζει το μέγιστο πιθανό ενδιαφέρον, τόσο λόγω της μεγιστοποίησης των τιμών της ταχύτητας σε 5.5 m/s (για τις ελεύθερες περιοχές) όσο και λόγω της εγγύτητας με την ξηρά. Όμως, επιβάλλεται να συνεκτιμηθεί και η ιδιαιτερότητα της εν λόγω περιοχής ως προς άλλους απαγορευτικούς παράγοντες (απρόσιτη περιοχή, προστατευμένα περιβάλλοντα κ.λπ). Μία δεύτερη περιοχή, που είναι πολύ ενδιαφέρουσα, αφορά τα νότια του Ακρωτηρίου της Λεμεσού, λόγω της εκεί έντονης δραστηριότητας. Οι τιμές της ταχύτητας στα εν λόγω σημεία αυξάνονται γρήγορα από τα 4 m/s στα παράλια, σε πάνω από τα 5 m/s αμέσως μετά την ισοβαθή των 300 m, σε μία απόσταση από την ξηρά κάτω των 5 km. Με ενδεικτική αναγωγή τυπικού λογαριθμικού προφίλ του ανέμου στα 100 m από την επιφάνεια της θάλασσας (Akylas et al., 2001; 2003; 2005), ένα εφικτό, και μάλιστα συνηθισμένο ύψος εγκατάστασης των σύγχρονων θαλάσσιων ανεμογεννητριών, αναμένεται, ως προς τη μέση ταχύτητα, αύξηση της τάξεως του 25-30%. Η εν λόγω αύξηση, κατά τα φαινόμενα, μεγιστοποιείται προς τις μεσημβρινές ώρες των θερινών μηνών και μας επιτρέπει να συμπεράνουμε ότι πληροί τις προϋποθέσεις για επωφελή αξιοποίησή της.

Παράλληλα, από την πλατφόρμα υπολογίζονται και παρατίθενται αυτόματα, πληροφορίες σε μορφή γραφημάτων, για την ημερήσια, τη μηνιαία και την ετήσια κατανομή της ταχύτητας, καθώς και οι στατιστικές κατανομές Weibull (Weibull, 1951; Seguro and Lambert, 2000), αναφορικά με την επιλογή του χρήστη ως προς το γεωγραφικό σημείο και τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο αναφοράς. Όλα τα παραπάνω προσφέρονται και παρατίθενται σε φιλική για εκτύπωση φόρμα, σε μορφή έκθεσης – report, όπως παρουσιάζεται στα σχήματα 15 και 16 που ακολουθούν.

selection of period and location

years from 2008 to 2019
 months from 1 to 12
 hours from 0 to 23
 choice (1 - 3)* 1 average / standard deviation

* 1: average/standard deviation, 2: maximum/minimum, 3: Weibull parameters

Chromatic scale ** of average wind speed (m/s):
 the scale is set to a minimum - maximum configuration

** 0: set limit values, else default: 1

Chromatic scale ** of s.d of the wind speed (m/s):
 the scale is set to a minimum - maximum configuration

** 0: set limit values, else default: 1

selection of location ***

latitude: 35.50
 longitude: 33.75

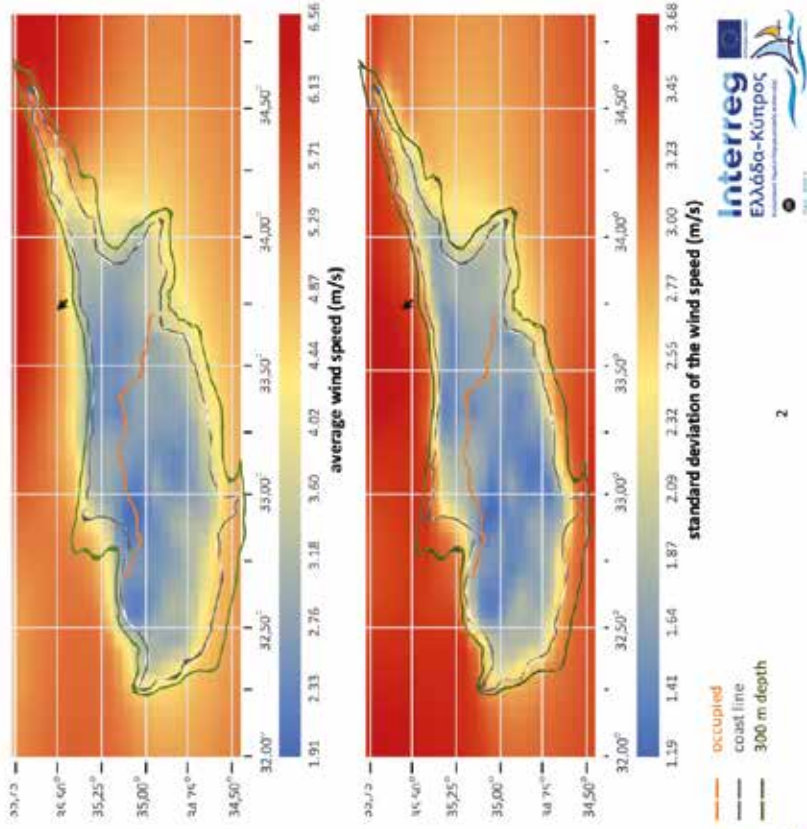
average speed:	3.99 m/s
standard dev:	2.78 m/s
maximum speed:	7.74 m/s
minimum speed:	0.61 m/s
Weibull param. a:	5.7
Weibull param. b:	1.59

*** select the latitude and the longitude (deg) of any point. In the maps



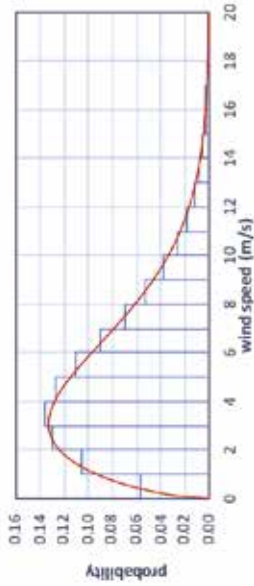
1

wind speed distribution in the area of Cyprus



Σχήμα 15. Δυνατότητες επιλογής θέσης και χρονικής περιόδου για την εξαγωγή του αιολικού δυναμικού.

wind statistics for the location and period selected



sample histogram { — } and fitted Weibull (—) probability density of the wind speed the location and period selected

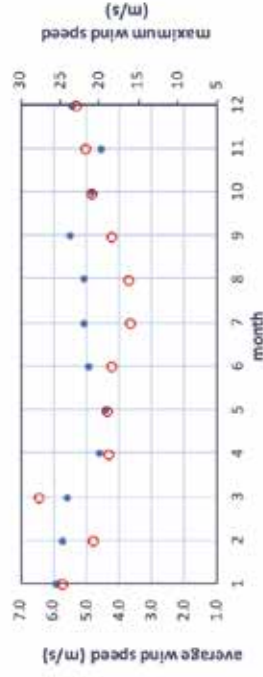
for



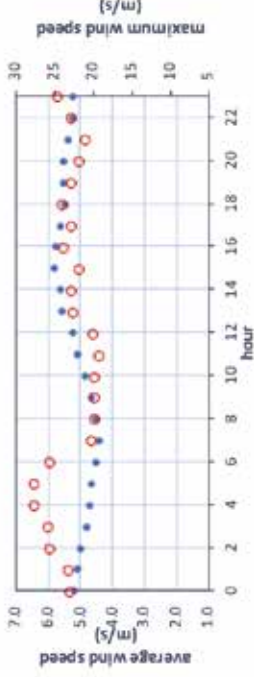
average (■) and maximum (●) annual wind speed for the location and the period selected



wind statistics for the location and period selected



average (■) and maximum (●) monthly wind speed for the location and the period selected



average (■) and maximum (●) hourly wind speed for the location and the period selected



Σχήμα 16. Υπολογισμοί στατιστικών μεγεθών για τη χρονική περίοδο και τη γεωγραφική θέση που επελέγησαν.

5. Συμπεράσματα

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος Interreg ΘΑΛ-ΧΩΡ 2, με τη συνδυασμένη χρήση μετεωρολογικών μετρήσεων σε όλο το νησί, προγνώσεων του ανέμου από το μετεωρολογικό μοντέλο υψηλής ανάλυσης OPEN SKIRON, και στοιχείων από δύο ευρωπαϊκές βάσεις μετεωρολογικών δεδομένων, δημιουργήθηκε βάση δεδομένων για την αποτύπωση μιας όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστης εικόνας της χωρικής και χρονικής κατανομής του θαλάσσιου αιολικού δυναμικού σε εποχική και σε ετήσια βάση.

Τα δεδομένα από τους διαθέσιμους παράκτιους μετεωρολογικούς σταθμούς συμφωνούν, σε γενικές γραμμές, με τη στατιστική των βάσεων δεδομένων, εξαιρουμένης της χαρακτηριστικής έντονης ημερήσιας διακύμανσης που μεγιστοποιείται στα νότια παράλια της Κύπρου. Σε αυτή την περίπτωση, τα ERA5 δεδομένα, λόγω του αραιότερου πλέγματος, αποδίδουν με σαφήνεια μία έντονη διαφοροποίηση μεταξύ των θαλάσσιων και των χερσαίων κελιών, η οποία δύναται να αξιοποιηθεί στο μέλλον για να βελτιώσει την πληροφορία από προγνωστικά μοντέλα μεγαλύτερης ανάλυσης αλλά μικρότερης ακρίβειας ως προς την περιγραφή.

Η αποτυπωμένη πληροφορία αναλύθηκε, συνδυάστηκε και έλαβε χώρα επέκτασή της με εκτενή χρήση του προγράμματος WASP σε υψηλότερη ανάλυση 1x1 km, και σε ωριαία βάση, για ορίζοντα δεκαετίας. Τα αποτελέσματα κωδικοποιήθηκαν σε εύχρηστη πλατφόρμα Excel, η οποία μπορεί να δοθεί σε οποιονδήποτε ενδιαφερόμενο χρήστη, ούτως ώστε αυτός να εκτιμήσει το αιολικό δυναμικό σε οποιοδήποτε σημείο της Κύπρου και της παράκτιας περιοχής της, με αυτόματα παρεμβολή μεταξύ των εκτιμήσεων. Η πλατφόρμα επιτρέπει την εξαγωγή ολικής εικόνας για τον άνεμο στην περιοχή της Κύπρου και, εκτός από τη χωρική εστίαση, επιτρέπει τη χρονική επιλογή οποιασδήποτε περιόδου συγκεκριμένων διαστημάτων ωρών, μηνών και ετών, από την περίοδο 2008-2019. Επίσης, αποδίδονται στατιστικές πληροφορίες για τη μέση, τη μέγιστη, την ελάχιστη τιμή, τη διακύμανση της ταχύτητας, καθώς και για τους συντελεστές της κατανομής Weibull. Παράλληλα, παρατίθενται αυτόματα πληροφορίες για την ημερήσια, τη μηνιαία και την ετήσια κατανομή της ταχύτητας, καθώς και οι κατανομές Weibull. Στο μέλλον, οι προαναφερόμενες πληροφορίες θα παρέχονται και διαδικτυακά.

Βιβλιογραφία – αναφορές

- Akdağ, S. A., and Dinler, A. (2009). A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications. *Energy conversion and management*, 50(7), 1761-1766.
- Akylas, E., Tombrou, M., Panourgias, J., and Lalas, D. (1997). The use of common meteorological predictions in estimating short term wind energy production in complex terrain. In: Watson R, editor. *Proceedings of European wind energy conference*, Dublin Castle, Ireland, 1997. p. 329-32.
- Akylas, E., Lalas, D. P., Pesmajoglou, S., Sakellariou, N., and Tombrou, M. (1999). Investigation of the effects of wind speed forecasts and economic evaluation of the increased penetration of wind energy for the island of Crete. In *EWEC'99*, p. 1074-1077.
- Akylas, E., Tombrou, M., Lalas, D., and Zilitinkevich, S. (2001). Surface fluxes under shear-free convection, *Q. J.R. Meteorol. Soc.* 127, 2001, 1183-1197.
- Akylas, E., Tsakos, Y., Tombrou, M., and Lalas, D. (2003). Considerations on minimum friction velocity, *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 129, 2003, 1929-1943.
- Akylas, E., and Tombrou, M. (2005). Reconsidering a generalized interpolation between the Kansas type formulae and free convection forms, *Boundary-Layer Met.* 15, 2005, 381-398.

- Akylas, E., Zavros, P., Skarlatos, D., and Fyrillas, M. (2010). Weibull distribution and wind speed timeseries, 3rd International Conference of the ERCIM, 10-12 December 2010, London, UK, abstract E756.
- Beller, C. (2009). Urban wind energy-state of the art 2009. Danmarks Tekniske Universitet, Risø National laboratoriet for Bæredygtig Energi.
- Carvalho, D., Rocha, A., Gómez-Gesteira, M., and Silva Santos, C. (2017). Potential impacts of climate change on European wind energy resource under the CMIP5 future climate projections, *Renew. Energy*, 101 (2017), pp. 29-40, 10.1016/j.renene.2016.08.036
- Chompooinwai, C., Leelajindakraierk, M., Banjongjit, P. F., and Wei-Jen, L. (2008). Design optimization of Wind Power planning for a country with low- medium-wind-speed profile. *IEEE Trans. Indus. Applic.* 44:1341-1347.
- Cohen, C. (1973). The Reflected Weibull Distribution. *Technometrics*, Vol. 15, No. 4 (Nov., 1973), pp. 867-873.
- Energy, W., and Special, O. (2019). Offshore Wind Outlook 2019: World Energy Outlook Special Report (2019), [www.iea.org/t & amp;c/](http://www.iea.org/t&am;c/), Accessed 13th Jul 2020.
- Georgiou, A., Polatidis, H., and Haralambopoulos, D. (2012). «Wind energy resource assessment and development: Decision analysis for site evaluation and application». *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 34.19 (2012): 1759- 1767.
- Gungor, A., and Eskin, N. (2008). The characteristics that define wind as an energy source. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects* 30:842-855.
- Jacovides, C. P., Theophilou, C., Tymvios, F. S., and Pashiardes, S. (2002). Wind statistics for coastal stations in Cyprus. *Theoretical and applied climatology*, 72(3-4), 259-263.
- Kastanas, I., Georgiou, A., Zavros, P., and Akylas, E. (2014). An integrated GIS-based method for wind-power estimation: Application to western Cyprus, *Open Geosciences* 6(1):79-87 DOI:10.2478/s13533-012-0162-3.
- Kythreotou, N. (2020). Cyprus' Integrated National Energy and Climate Plan for the Period 2021-2030, (2020).
- Lee, A. H. I., Chen, H. H., and Kang, H. (2009). Multicriteria decision making on strategy selection of wind farms. *Renew. Energy* 34:120-126.
- Mortensen, G. N., Heathfield, N. D., Myllerup, L., Landberg, L., and Rathmann, O. (2004). Getting Started with WAsP, Roskilde, Denmark: Risø National Laboratory.
- Pashardes, S., and Christofides, C. (1995). Statistical analysis of wind speed and direction in Cyprus. *Solar Energy* 55:405-414.
- Seguro, J. V., & Lambert, T. W. (2000). Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 85, 75- 84.
- Weibull, W. (1951). A statistical distribution function of wide applicability. *J. Appl. Mech.* 18: 293-7.
- Wind Europe (2021). Offshore Wind in Europe - Key Trends and Statistics 2020 (2021), <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/offshore-wind-in-europe-key-trends-and-statistics-2020>