



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΣΑΚΙΡΗ ΑΛΙΚΗ ΜΑΡΙΑ

ΑΕΜ: 5362

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Κωνσταντία Τολίκα



ΤΑ ΠΙΟ ΙΣΧΥΡΑ ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΑΝΕΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ
THE MOST INTENSIVE WIND EPISODES IN GREEK AREA

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020

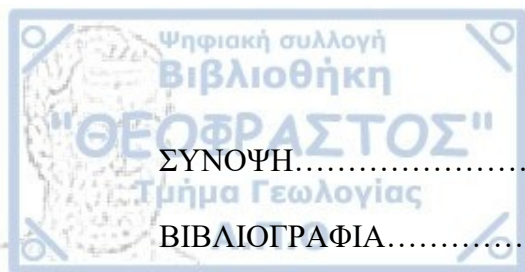


Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου Κωνσταντία Τολίκα για την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξή της κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	σελ. 5-7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	
1.1 Ορισμός ανέμου.....	σελ. 8-9
1.2 Κατηγορίες ισχυρού ανέμου.....	σελ. 10-12
1.3 Ταξινόμηση ανέμου.....	σελ. 13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	
2.1 Η γεωμορφολογία της Ελλάδας.....	σελ. 14
2.2 Το κλίμα της Ελλάδας.....	σελ. 14-15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΙΣΧΥΡΩΝ ΑΝΕΜΩΝ ΣΤΗΝ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ	
3.1 Άνεμος Βαρδάρης.....	σελ. 16-20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΚΡΑΙΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΑΝΕΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ	
4.1 Tornadoes, Waterspouts και Dust Devils.....	σελ. 21-27
4.2 Πρόγνωση τυφώνων.....	σελ. 28-29
4.3 Ανεμοστρόβιλος στα Ιωάννινα.....	σελ. 29-33
4.4 Ανεμοστρόβιλος στη Χαλκιδική.....	σελ. 34-35
4.5 Ανεμοστρόβιλος στην Πελοπόννησο.....	σελ. 36-38
4.6 Ισχυροί άνεμοι στη Λευκάδα.....	σελ. 39-40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΤΗΣΙΕΣ	
5.1 Λίγα λόγια για τους Ετησίες.....	σελ. 41-43
5.2 Ετησίες στο Αιγαίο.....	σελ. 43-48
5.3 Ετησίες στο Σαρωνικό κόλπο.....	σελ. 48-50
5.4 Ετησίες και ανεμοστρόβιλος στην Αθήνα.....	σελ. 50-52
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	σελ. 52-54



ΣΥΝΟΨΗ.....σελ. 55

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ. 56-61

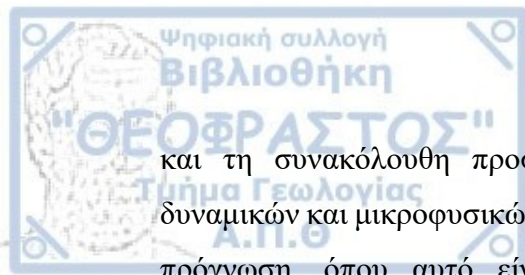
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα από πάντα γοήτευαν την ανθρωπότητα, παρακινώντας, έτσι, μελετητές και ερευνητές να ασχοληθούν περισσότερο με αυτά και πιο συγκεκριμένα να ασχοληθούν με τους μηχανισμούς που τους παρήγαγαν αλλά και με τις επιπτώσεις επιφέρουν στα οικοσυστήματα. Οι ακραίες κλιματικές συνθήκες που σχετίζονται με τους ανέμους και τις καταιγίδες, έχουν αντίκτυπο στην οικολογία, στις κατοικημένες περιοχές, στη ναυσιπλοΐα, σε εγκαταστάσεις διαφόρων υποδομών, αλλά ακόμα και στον τουρισμό. Πολλές φορές, ανάλογα με την ισχύ του συμβάντος ανέμου, μπορεί να προκληθεί και απώλεια ζωής.

Βίαια καιρικά φαινόμενα, όπως για παράδειγμα, οι ανεμοστρόβιλοι ήταν γνωστά για τον αρχαίο πολιτισμό. Σχεδόν όλοι οι κλασικοί φιλόσοφοι έχουν δείξει ενδιαφέρον για αυτά και έχουν δώσει εξηγήσεις για τα φαινόμενα. Ο Έλληνας φιλόσοφος Αριστοτέλης (384–322 π.Χ.) σε έρευνά του παρουσίασε ίσως την πιο γνωστή έκθεση των φυσικών ακραίων φαινομένων λέγοντας: *«Ἄρα ο ανεμοστρόβιλος προέρχεται από την αποτυχία ενός αρχικού κυκλώνα να ξεφύγει από το νέφος του»*. Αργότερα, ο Ρωμαίος ποιητής και φιλόσοφος Titus Lucretius Carus (90-50 π.Χ.) στο έργο του «De Rerum Natura» (Φύση του Σύμπαντος), υπέβαλε έρευνα για δύο μηχανισμούς σχηματισμού ανεμοστροβίλων αλλά και ο Gaius Plinius Secundus, γνωστός ως Πλίνιος ο Πρεσβύτερος (23–79 μ.Χ.), Ρωμαίος φυσικός φιλόσοφος, ανέπτυξε πιο προχωρημένες ιδέες πάνω σε αυτό το θέμα και τις παρουσίασε στο βιβλίο του με όνομα «Φυσική Ιστορία» (Matsangouras et al., 2014).

Έρευνες του Sioutas (2008) έδειξαν ότι παρατηρείται σταδιακή αύξηση των εμφανίσεων ακραίων ανέμων στο Αιγαίο πέλαγος τη χειμερινή περίοδο και κυρίως στο νοτιοδυτικό Πέλαγος. Αντιθέτως, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο οι ακραίοι άνεμοι, σύμφωνα με την ίδια έρευνα, φαίνεται να ελαττώνονται στο βόρειο και το νότιο Αιγαίο Πέλαγος αλλά και στο νοτιοανατολικό αντίστοιχα, όπως επίσης ελάττωση ακραίων φαινομένων παρατηρείται και στο Ιόνιο Πέλαγος.

Για αυτό το λόγο, όλο και περισσότεροι μετεωρολόγοι και κλιματολόγοι, στρέφουν το ερευνητικό τους ενδιαφέρον στα ακραία καιρικά φαινόμενα και τις επιπτώσεις που φέρουν στα οικοσυστήματα και την ανθρώπινη ζωή. Ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά στο φαινόμενο των ακραίων ανέμων το ενδιαφέρον εστιάζεται στα εξής ερευνητικά πεδία: την κλιματολογική μελέτη με στόχο την κατανόηση των φαινομένου και επεισοδίων



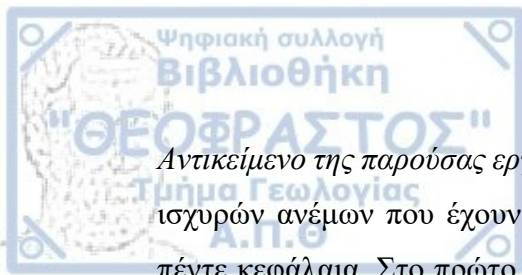
και τη συνακόλουθη προσπάθεια εκτίμησής του, τη μελέτη των συνοπτικών, δυναμικών και μικροφυσικών χαρακτηριστικών του, στοχεύοντας στη βραχυπρόθεσμη πρόγνωση, όπου αυτό είναι εφικτό, και στην παθητική προστασία και την αποκατάσταση των ζημιών στις περιοχές που πλήττει.

ABSTRACT

Extreme weather events have always fascinated humanity, prompting researchers to focus more on them and especially on the mechanisms that produced them and their effects on ecosystems. Extreme weather conditions related to winds and storms have an impact on ecology, residential areas, navigation, facilities, and even tourism. Many times, depending on the strength of the wind event, life loss can be caused. Violent weather phenomena, such as tornadoes, were well-known to ancient civilization. Almost all classical philosophers have shown interest in them and have given explanations for the phenomena. The Greek philosopher Aristotle (384-322 BC) in his research presented perhaps the most famous account of natural extreme phenomena, saying: "So the tornado comes from the failure of an initial cyclone to escape its cloud." Later, the Roman poet and philosopher Titus Lucretius Carus (90-50 BC) in his work "De Rerum Natura" (Nature of the Universe), researched two mechanisms of formation of tornadoes and Gaius Plinius Secundus, known as Pliny The Elder (23–79 AD), a Roman natural philosopher, developed more advanced ideas on this subject and presented them in his book entitled "Natural History" (Matsangouras et al., 2014).

Research by Sioutas, 2008 showed that there is a gradual increase in the occurrence of extreme winds in the Aegean Sea during the winter and mainly in the southwestern Sea. On the contrary, in summer and autumn, extreme wind events seem to decrease in the northern and southern Aegean Sea and in the southeastern respectively, as well as a decrease of extreme weather events has been noticed in the Ionian Sea.

For this reason, more and more meteorologists and climatologists are turning their attention to extreme weather events and their effects. In particular, regarding extreme wind events, the focus is on the following research areas: the climatic study aimed at understanding the phenomenon and episodes and the consequent effort to assess it, the study of its concise, dynamic and microphysical characteristics, aiming at the short-term forecast, where possible, and protection and repair of damaged areas.



Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η εξέταση συμβάντων και επεισοδίων των πιο ισχυρών ανέμων που έχουν συμβεί στον ελλαδικό χώρο. Η εργασία διακρίνεται σε πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, αναλύονται οι θεωρητικές έννοιες του ανέμου και οι κατηγορίες του. Στο δεύτερο γίνεται μία γεωμορφολογική και κλιματολογική παρουσίαση της περιοχής μελέτης. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται ο άνεμος Βαρδάρης και ένας γεγονός στο οποίο παρατηρήθηκε μεγάλη ριπή ανέμου, στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται είδη ισχυρών ανέμων όπως τα Tornadoes, Waterspouts και Dust Devils αλλά ακόμη αναφέρονται βίαια επεισόδιά τους μαζί με τις συνέπειες που έφεραν αυτά. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, ακολουθεί η ανάλυση για τους Ετησίες ή αλλιώς Μελέμια, μαζί με τις περιοχές που τους συναντάμε. Μεθοδολογικά, η εκπόνηση της εργασίας βασίστηκε σε δευτερογενείς πηγές, μελέτες και επιστημονικά άρθρα.

Λέξεις κλειδιά: άνεμοι, δυνατοί άνεμοι, σίφωνες ξηράς, σίφωνες θάλασσας, επεισόδια δυνατών ανέμων, ταχύτητα ανέμου, επιπτώσεις δυνατών ανέμων, πρόγνωση ανέμων

Key words: winds, strong winds, tornadoes, funnel clouds, waterspouts, dust devils, velocity of wind, results of strong winds, predict of the winds

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:Θεωρητικές έννοιες

1.1 Ορισμός του ανέμου

Ως άνεμος χαρακτηρίζεται ο ατμοσφαιρικός αέρας που κινείται σε σχέση με την επιφάνεια της Γης και το έδαφος, και αποτελεί ένα από τα πιο οικεία φυσικά φαινόμενα. Προκαλείται από τις δυνάμεις βαρύτητας, τριβής και βαροβαθμίδας αλλά και από φαινόμενα μαγνητικής και παλιρροιακής φύσης. Ο άνεμος προσδιορίζεται από τη διεύθυνση και την ένταση ή ταχύτητα του. Οι ασθενείς ως μέτριες εντάσεις του ευνοούν την αλιεία, τον τουρισμό και τη ναυσιπλοΐα σε περιοχές κοντά σε ακτές και θάλασσες, ενώ οι μέτριοι ως ισχυροί άνεμοι, σε ένταση, βοηθούσαν παλιότερα στη λειτουργία ανεμόμυλων, ανεμαντλιών για την άρδευση και ύδρευση ενώ σήμερα βοηθά στην ομαλή λειτουργία των ανεμογεννητριών. Σε αντίθεση με τα παραπάνω, οι πολύ ισχυροί άνεμοι είναι δυνατό να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα στα παραπάνω αλλά και καταστροφές στην περιοχή περιφερειακά (Λαζαρίδης, 2016). Η ένταση του εκφράζεται με την ταχύτητα ή την πίεση που ασκεί ο άνεμος πάνω στην επιφάνεια των διαφόρων σωμάτων. Από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα η ένταση του ανέμου μετριέται σε κλίμακα Beaufort (Μποφόρ) καθώς και σε m/sec όπως και σε km/h. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τα στοιχεία των ισχυρών ,σε ένταση, δυνάμεων :

- Πίνακας 1: Η κλίμακα Beaufort για τον χαρακτηρισμό της έντασης του ανέμου (Μακρογιάννης Τ. Ι., Σαχσαμάνογλου Χ. Σ., ''ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ)

	Χαρακτηρισμός	m/s	Km/h	Beaufort
1.	ισχυρός	10.8-13.8	39-49	6
2.	Σχεδόν θυελλώδης	13.9-17.1	50-61	7
3.	θυελλώδης	17.2-20.7	62-74	8
4.	Πολύ θυελλώδης	20.8-24.4	75-88	9
5.	θύελλα	24.5-28.4	89-102	10

6.	Ισχυρή θύελλα	28.5-32.6	103-117	11
7.	τυφώνας	>32.6	>118	12

Ισχυρός άνεμος, λοιπόν, θεωρείται ο άνεμος που πνέει με ταχύτητα από 6 Μποφόρ και πάνω, "χτυπάει" στην πληγείσα περιοχή και μπορεί να προκαλέσει από υλικές ζημιές και καταστροφή της εν λόγω περιοχής μέχρι και, σε ορισμένες περιπτώσεις, θάνατο. Όπως θα αναλυθεί και παρακάτω, ισχυροί άνεμοι στην Ελλάδα παρατηρούνται κυρίως στη Βόρεια και δυτική Ελλάδα και στην περιοχή του Αιγαίου Πελάγους και την Αττική. Κατά κύριο λόγο, συνδέονται με ακραίες βροχοπτώσεις και την εκδήλωση κάποιας θύελλας ή/και τυφώνα. Αυτό συμβαίνει είτε σε παράκτιες περιοχές είτε μεσοπέλαγα.

Κατά τη χειμερινή περίοδο η Ελλάδα, και γενικότερα όλη η Μεσόγειος, υπόκειται από την επίδραση χαμηλών πιέσεων του Ατλαντικού και της Μεσογείου όπου μαζί με το σιβηρικό αντικυκλώνα ή με το μόνιμο αντικυκλώνα των Αζορών αλλά και τους αντικυκλώνες της Ευρώπης και της σκανδιναβικής χερσονήσου, συνδυάζονται και φέρουν ως αποτέλεσμα έντονη κυκλοφοριακή δραστηριότητα και ισχυρό πεδίο ανέμων πάνω από την Ελλάδα που συνεχώς αλλάζει διεύθυνση και ένταση (Λαζαρίδης, 2016).

Τα ακραία επεισόδια ισχυρών ανέμων αναφέρονται σε γεγονότα στα οποία η τιμή της ταχύτητας ανέμου υπερβαίνει τα 20 m / s (Chronis et al., 2010). Για να χαρακτηριστεί ένα φαινόμενο ακραίο, πρέπει να τηρεί ένα, ή τον συνδυασμό περισσότερων, από τα εξής κριτήρια (Karavokiros et al. 2013):

- Να έχει καταγραφεί μία ή περισσότερες από μία μετρήσεις από συγκεκριμένες παραμέτρους (ένταση, κατεύθυνση, φορά).
- Να υπάρχει μια τιμή που να καθορίζει το ανώτερο και το κατώτερο όριο.
- Να υπάρχει μια χρονική περίοδος στην οποία αναφέρονται τα όρια. Με βάση αυτή την περίοδο υπολογίζεται η μέγιστη τιμή του συμβάντος.

Κατά συνέπεια, όταν ένα συμβάν ανέμου ξεπεράσει είτε το ανώτατο είτε το κατώτατο όριο (ή και τα δυο) τότε αναφερόμαστε σε ακραίο επεισόδιο. Αυτά τα κατώτατα όρια διασφαλίζουν ότι τα ακραία γεγονότα επιλέγονται βάσει της χαμηλής συχνότητας εμφάνισης / σπανιότητας και όχι της έντασής τους (Karavokiros et al. 2013).

1.2 Κατηγορίες ισχυρού ανέμου

Παρακάτω αναλύονται εν τάχει μερικά φαινόμενα- κατηγορίες ισχυρών ανέμων που τις συναντάμε ανά τον κόσμο και κυρίως σε παραθαλάσσιες περιοχές.

- **Τυφώνας.** Πρόκειται για βίαιους στροβίλους που καλύπτουν εκτεταμένες σχετικά περιοχές και είναι ιδιαίτερα συχνοί πάνω από τα δυτικά τμήματα του Ειρηνικού και του Ατλαντικού ωκεανού, τον Ινδικό ωκεανό, την Καραϊβική θάλασσα και τον Κόλπο του Μεξικού. Στο κέντρο της διατάραξής τους η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια είναι πολύ χαμηλή, ενώ αυξάνεται απότομα από το κέντρο προς τα έξω με αποτέλεσμα οι άνεμοι να πνέουν κυκλικά με εξαιρετικά μεγάλες ταχύτητες, συνήθως γύρω στα 45 m/s κοντά στο κέντρο τους, ενώ στην ευρύτερη και γύρω περιοχή από τον τυφώνα η ταχύτητα φτάνει τις τιμές 25-35 m/s. Αυτό τους καθιστά εξαιρετικά επικίνδυνους ιδίως στη ναυσιπλοΐα και τη διέλευση των πλοίων. Επιπλέον καθώς ο τυφώνας κινείται προς τις ακτές, ωθεί το νερό δημιουργώντας το λεγόμενο «τυφωνικό κύμα» το οποίο προκαλεί μεγάλες καταστροφές στα λιμάνια και τις ακτές (ΕΚΔΟΤΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΠΑΠΥΡΟΣ).
- **Ανεμοστρόβιλοι.** Πρόκειται για ακραία φαινόμενα που σχετίζονται με σοβαρές καταιγίδες και μπορούν να συμβούν οποιαδήποτε στιγμή του έτους και σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου. Είναι σφοδρές κυκλωνικές θύελλες με σχετικά μικρή διάμετρο αλλά με ανέμους που περιστρέφονται ταχύτατα και σχηματίζουν στρόβιλο. Η σχετικά χαμηλή πίεση στο κέντρο της χοανοειδούς στροβιλώδους κίνησης του σίφωνα προκαλεί ψύξη και συμπύκνωση των υδρατμών με αποτέλεσμα η θύελλα να γίνεται ορατή με τη μορφή περιστρεφόμενης στήλης νεφών ενώ μετακινούνται με ταχύτητα που φτάνει τα 48- 64 χλμ/ ώρα. (P. T. Nastos and J. T. Matsangouras 2010). Έχουν μικρότερη έκταση και ένταση σε σχέση με τους σίφωνες και τους συναντάμε σε όλες τις ηπείρους με εξαίρεση την Ανταρκτική ενώ οι πιο βίαιοι ανεμοστρόβιλοι συναντώνται στις Η.Π.Α. Ένας μέσος ανεμοστρόβιλος έχει

διάμετρο περίπου 100 έως 200 μέτρα με ταχύτητα ανέμου 150-200 km / h (42 - 56 m / s) και χρόνο ζωής λίγα λεπτά. (Gkarakis et al. 2015)

- **Ιστορική αναδρομή:** Οι περιστρεφόμενοι άνεμοι σύμφωνα με την παράδοση (συνώνυμοι με τον «στρόβιλο» = δίνη στα αρχαία ελληνικά), είχαν τα ονόματα: ανεμοστρόβιλας, ανεμοστρουβίλος, ανεμοστρόφουλας, ανεμορούφουλας και ανεμοστρουφούλας. Αυτά τα συνώνυμα ήταν σύνθετες λέξεις άνεμος + στρόβιλας ή ρούφουλας που σημαίνει δίνη και το νόημα αυτών των λέξεων στις νεοελληνικές παραδόσεις αποκαλύπτει ότι οι περιστρεφόμενοι άνεμοι «περιστρέφονται βίαια». Ο Charles du Fresne, o sieur du Cange ή Ducange (1610–1688), ένας διακεκριμένος φιλόλογος και ιστορικός του Μεσαίωνα και του Βυζαντίου, στο σημαντικό έργο του «Glossarium mediae et infimae Latinitatis» (Γλωσσάριο μεσαιωνικών και τέλη Λατινικών, 1678) χρησιμοποίησε το συνώνυμο anemostrofilon λέγοντας «η έντονη καταιγίδα αναπτύχθηκε συνοδευόμενη από αέρα και οι ανεμοστρόβιλοι συνέτριψαν τα πλοία τους». Στον Παρνασσό (Πολίτης, 1880), μια ιστορική ελληνική εφημερίδα που περιλαμβάνει κυρίως φιλολογικά, ιστορικά - αρχαιολογικά και επιστημονικά δοκίμια, αποκάλυψε ότι κατά τη μεσαιωνική εποχή οι ανεμοστρόβιλοι, όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες, θεωρούνταν ότι προέρχονταν συνήθως από δαιμονικές δυνάμεις. Αυτή η δεισδαιμονία στην Ελλάδα προήλθε από τον θόρυβο που δημιουργείται κατά την κίνηση του ανεμοστρόβιλου. Παρόλο που πιστευόταν σε πολλά μέρη στην Ελλάδα ότι οι ανεμοστρόβιλοι προέρχονται από κακά πνεύματα, υπήρχαν αρκετά μέρη, ιδίως στη βόρεια, δυτική και κεντρική Ελλάδα, όπου οι άνθρωποι πίστευαν ότι οι ανεμοστρόβιλοι προέρχονταν από νεράιδες. Μια άλλη αναφορά των ανεμοστροβίλων βρίσκεται στο ποίημα του Ομήρου την Ιλιάδα, όπου η Ελένη καταράστηκε τον εαυτό της, ζητώντας μια ανεμοθύελλα να την ανεβάσει ψηλά στον ουρανό (Matsangouras et al., 2014).
- **Tornadoes.** Αφορούν τους σίφωνες της ξηράς οι οποίοι αποτελούνται από ένα μεγάλο στρόβιλο αέρα με εξαιρετικά υψηλή ορμή. Έχουν τη λεγόμενη μορφή «προβοσκίδα» η οποία εκτείνεται από τη βάση κάποιου καταιγιδοφόρου νέφους (συνήθως Cumulonimbus) και φτάνει ακόμα και μέχρι την επιφάνεια του εδάφους. Όταν δημιουργούνται, η ατμόσφαιρα χαρακτηρίζεται από μεγάλη ατμοσφαιρική αστάθεια ενώ η ταχύτητα του ανέμου πλησιάζει την τιμή των

100 m/s μέσα στο στρόβιλο ενώ σε σπάνιες περιπτώσεις φτάνει μέχρι και την τιμή των 200 m/s. Ωστόσο, η μετακίνησή τους στη ξηρά γίνεται με πολύ μικρή ταχύτητα. Περίπου με 15 m/s. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τους είναι η μεγάλη πτώση της τιμής της ατμοσφαιρικής πίεσης, από την περιφέρεια ως το κέντρο, η οποία φτάνει τα 25 mbar. Το αποτέλεσμα αυτής της πτώσης είναι πρόκληση μεγάλης βαροβαθμίδας. Η κίνηση θαλασσίων πολικών αερίων μαζών πάνω από τροπικές θαλάσσιες αέριες μάζες είναι το κύριο χαρακτηριστικό του μηχανισμού τους. Η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται από 4 με 5 ώρες ενώ παρατηρούνται συχνά με ακραίες τιμές και επιπτώσεις στα νότια τμήματα των Η.Π.Α (ΕΚΔΟΤΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΠΑΠΥΡΟΣ)

Waterspout. Αφορούν τους θαλάσσιους σίφωνες που διέρχονται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας σχηματίζοντας στήλες από περιστρεφόμενα νέφη οι οποίες εκτείνονται από την ταραγμένη επιφάνεια της θάλασσας μέχρι τη βάση κάποιου καταιγιδοφόρου νέφους. Εξαιτίας του στροβιλισμού αυτού, πολλές φορές ο σίφωνα μεταφέρει μέσα του και μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού αλλά και ό,τι εμπεριέχει αυτό, δηλαδή τα ψάρια. Το αποτέλεσμα αυτού είναι το λεγόμενο «fish rain». Είναι μικρότεροι από τους σίφωνες ξηράς με διάμετρο που φτάνει τα 150 μέτρα. Η διάρκεια ζωής τους είναι από 10 μέχρι και 30 λεπτά. Η στροβιλιζόμενη στήλη αποκτά όλο και μεγαλύτερη κλίση με την πάροδο του χρόνου λόγω ταχύτερης αλλαγής της διεύθυνσης και της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος στο στρώμα κάτω από την καταιγίδα (Nastos & Matsangouras 2010).

- **Dustdevil ή αλλιώς «διάβολοι σκόνης».** Όπως συμβαίνει σε όλους τους ανεμοστροβίλους στο βόρειο ημισφαίριο, η φορά τους είναι δεξιόστροφη, σε αντίθεση με το νότιο ημισφαίριο όπου η φορά είναι αριστερόστροφη. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται λόγω του ιξώδους του ατμοσφαιρικού αέρα, ιδιαίτερα όταν θερμές μάζες του υψώνονται με ταχύτητα που υπερβαίνουν κάποιο σχετικό «κρίσιμο όριο», ή όταν συναντιούνται αντίθετα ρεύματα αέρος. Μπορεί επίσης να δημιουργηθεί σε κάποιο αιφνίδιο εμπόδιο κινούμενης μάζας αέρος, όπως συμβαίνει κυρίως σε κορυφές βουνών. Τυχόν συνδυασμός δύο παραπάνω παραγόντων αυξάνει πολύ την ένταση του φαινομένου. Στην αγγλική ορολογία ονομάζονται και whirlwinds ή «στήλες άμμου» (sandpillars).

1.3 Ταξινόμηση ανέμου

Για τη μέτρηση της ταχύτητας των ανέμων μέσα στους τυφώνες χρησιμοποιείται η κλίμακα TORRO, γνωστή επίσης και ως Κλίμακα-T (T-Scale). Αναπτύχθηκε από τον Δρ. Terence Meaden της Tornado and Storm Research Organization (TORRO), μια μετεωρολογική οργάνωση για σίφωνες και καταιγίδες στο Ηνωμένο Βασίλειο, ως συμπλήρωμα και προέκταση της κλίμακας Beaufort (Μποφόρ). Σύμφωνα με αυτή, οι τυφώνες με βάση την ταχύτητά τους ταξινομούνται ως εξής:

*Πίνακας 2: Η κλίμακα Torro για τον χαρακτηρισμό των τυφώνων
(<http://www.torro.org.uk/tscale.php>)*

Κατηγορία	m/s	Km/h	Χαρακτηρισμός
T0	17-24	63-87	Ασθενής
T1	25-32	88-116	Ασθενής
T2	33-41	117-148	Ασθενής
T3	42-51	149-184	Ασθενής
T4	52-61	185-220	Ισχυρός
T5	62-72	221-260	Ισχυρός
T6	73-83	261-299	Ισχυρός
T7	84-95	300-342	Ισχυρός
T8	96-107	343-385	Βίαιος
T9	108-120	386-432	Βίαιος
T10	121-134	433-482	Βίαιος
T11	135-142	483-515	Βίαιος
T12	>144	>515	Βίαιος



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Περιοχή μελέτης

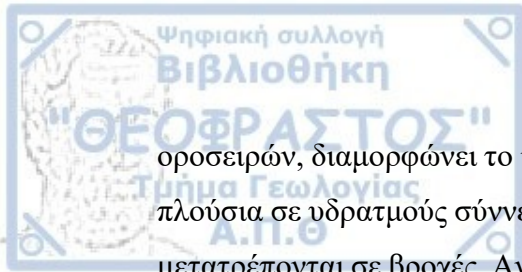
2.1 Η γεωμορφολογία της Ελλάδας

Η Ελλάδα ($34^{\circ} \text{N} < \varphi < 42^{\circ} \text{N}$, $19^{\circ} \text{E} < \lambda < 29^{\circ} \text{E}$) βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο της Ευρώπης και στο νοτιότερο άκρο της χερσονήσου του Αίμου ενώ παράλληλα χαρακτηρίζεται από πολύπλοκη τοπογραφία. Η Ανατολική Μεσόγειος διακρίνεται από ακτές όπου βρίσκονται τα νησιωτικά της συμπλέγματα και το μεγαλύτερο νησί της χώρας, η Κρήτη. Συνορεύει στα βορειοδυτικά με την Αλβανία, στα βόρεια με τη Βουλγαρία και την πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας (Π.Γ.Δ.Μ.) και στα βορειοανατολικά με την Τουρκία. Ανατολικά βρέχεται από το Αιγαίο Πέλαγος, στα δυτικά από το Ιόνιο Πέλαγος και νότια από το Λιβυκό Πέλαγος. Βρίσκεται στην εύκρατη ζώνη και λόγω της θέσης της έχει μεγάλη ηλιοφάνεια. Στο βόρειο τμήμα της, που βρίσκεται σε μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος, το κλίμα είναι ψυχρότερο από αυτό στο νότιο τμήμα της. Άλλο ένα χαρακτηριστικό της Ελλάδας είναι τα υψηλά βουνά της τα οποία ξεπερνούν σε πληθώρα τις 40 βουνοκορφές και σε ύψος τα 2000 μέτρα με μεγαλύτερο βουνό τον Όλυμπο στην κεντρική Μακεδονία.

2.2 Το κλίμα της Ελλάδας

Το κλίμα της Ελλάδας, γενικά, είναι εύκρατο μεσογειακό. Δηλαδή ήπιοι και υγροί χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και γενικά μακρές περίοδοι ηλιοφάνειας κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Ωστόσο, παίζουν σημαντικό ρόλο σε αυτό, και άλλοι παράγοντες όπως η θέση της κοντά στη Σαχάρα (μεταφέρονται από εκεί νότιοι θερμοί άνεμοι) που κάνουν το κλίμα πιο ήπιο στις περιοχές που επηρεάζει αλλά και οι ψυχροί και ξηροί άνεμοι που πνέουν από τη Σιβηρία οι οποίοι ρίχνουν τη θερμοκρασία στις περιοχές που τους δέχονται.

Ακόμη, τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας παίζουν σημαντικό ρόλο στο μικρόκλίμά της. Η οροσειρά της Πίνδου, η οποία κυριαρχεί σχεδόν σ' ολόκληρη την δυτική Ελλάδα και ουσιαστικά αποτελεί συνέχεια των Ιλλυρικών και Δαλματικών



οροσειρών, διαμορφώνει το κλίμα των περιοχών που χωρίζει: στο δυτικό τμήμα της τα πλούσια σε υδρατμούς σύννεφα που έρχονται από το Ιόνιο, καθώς φτάνουν στα βουνά μετατρέπονται σε βροχές. Αντίθετα, στο ηπειρωτικό τμήμα της Ελλάδας που βρίσκεται ανατολικά της οροσειράς, οι βροχοπτώσεις είναι λιγότερες και η επίδραση των βόρειων ψυχρών ανέμων εντονότερη.

Ωστόσο, οι τοπικοί άνεμοι που πνέουν τον ελληνικό χώρο, αποτελούν σπουδαίο παράγοντα στο χαρακτηρισμό του κλίματος της Ελλάδας. Στην κεντρική Μακεδονία σημαντικός είναι ο βόρειος άνεμος ο λεγόμενος Βαρδάρης, που πνέει το χειμώνα, ο νοτιοδυτικός θερμός και ξηρός άνεμος ο Λίβας που πνέει το καλοκαίρι και οι Ετησίες που πνέουν κυρίως στο τέλος της άνοιξης και όλο το καλοκαίρι στο Αιγαίο Πέλαγος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΙΣΧΥΡΩΝ ΑΝΕΜΩΝ ΣΤΗΝ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

3.1 Ο Βαρδάρης

Οι άνεμοι μαζί με τις βροχοπτώσεις αποτελούν μερικές από τις κυριότερες μετεωρολογικές παραμέτρους που επιδρούν και χαρακτηρίζουν τις τοπικές κλιματικές συνθήκες (τοπικό κλίμα). Έχουν άμεσα αποτελέσματα στη ζωή του ανθρώπου και θα λέγαμε ότι καθορίζει και την ποιότητα αυτής. Έτσι, η γεωγραφική κατανομή των ανέμων, και ειδικά των ισχυρών, στην ελληνική περιοχή αποτέλεσαν αντικείμενο έρευνας πολλών μελετητών τις τελευταίες δεκαετίες.

Ξεκινώντας από το βόρειο τμήμα της Ελλάδας, το οποίο θα λέγαμε ότι συγκαταλέγεται στο τμήμα που χαρακτηρίζεται από σχετικά έντονης μορφής ανέμους, μερικά παραδείγματα ανέμων είναι ο Βαρδάρης στην κοιλάδα του Αξιού, ο Χορτιάτης στη Θεσσαλονίκη, ο Ρουπελιώτης στην κοιλάδα του Στρυμόνα και ο καταβατικός άνεμος τύπου Μπόρα που ενσκήπτουν στις παράκτιες περιοχές της Ηπείρου.

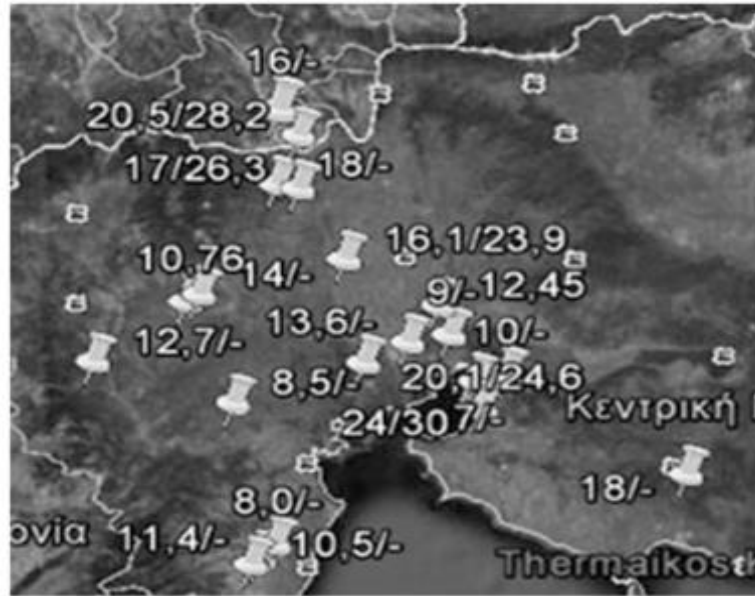
Η παρούσα εργασία θα επεκταθεί περισσότερο στον άνεμο Βαρδάρη, κατά τον οποίο έχουν καταγραφεί ακραίες τιμές της ταχύτητάς του. Πρόκειται για έναν ισχυρό ψυχρό τοπικό βορειοδυτικό άνεμο που λαμβάνει χώρα στην πεδιάδα του Αξιού, Κεντρικά-Βόρεια της Ελλάδας, διασχίζοντας τον Πάικο και την Κερκίνη και επηρεάζοντας τη Θεσσαλονίκη. Ξεκινά την πορεία του από τα ορεινά των Σκοπίων και καταλήγει στο Θερμαϊκό κόλπο και το βορειοδυτικό Αιγαίο. Δημιουργείται από το συνδυασμό υψηλών πιέσεων στα νότια Βαλκάνια με τις χαμηλές πιέσεις στο Αιγαίο και στην ανατολική Ευρώπη (Koletsis et al., 2015). Κυριαρχεί κατά τη ψυχρή περίοδο συνήθως, είτε τον τελευταίο μήνα του φθινοπώρου, είτε το χειμώνα, είτε τον πρώτο μήνα της άνοιξης και έχει σταθερή πορεία και υψηλή ένταση με χαμηλές θερμοκρασίες και υγρασία επηρεάζοντας υποδομές και τον αγροτουρισμό προκαλώντας ζημιές τόσο μέσα στην πόλη όσο και στα περίχωρα. Ακόμη, ο άνεμος αυτός ευθύνεται για την πρόκληση χιονοθύελλας στην περιοχή της Θεσσαλονίκης (Μακρογιάννης & Σαχσαμάνογλου, 2004). Έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον επειδή επηρεάζει τόσο τον άνθρωπο όσο και το τοπικό περιβάλλον. Παρά την σπουδαιότητά του, υπάρχουν μόνο μερικές μελέτες για τον άνεμο λόγω έλλειψης λεπτομερούς έρευνας υψηλής ανάλυσης της χωροχρονικής κατανομής της και του σχετικού ρόλου των συνοπτικών και τοπικών συνθηκών στην ανάπτυξή της.

Πέρα από τα παραπάνω, έχει καταγραφεί ένα γεγονός κατά το οποίο παρατηρήθηκαν έντονοι άνεμοι με υψηλές ριπές ανέμου το οποίο προκάλεσε προβλήματα στην Κεντρική Μακεδονία. Πρόκειται για ένα επεισόδιο ξηρού και κρύου ανέμου Βαρδάρη στις που συνέβη στις 10 Νοεμβρίου 2007. Χαρακτηρίστηκε από ανέμους με μέσες ταχύτητες που ξεπερνούσαν τα 20 m /s έχοντας βορειοδυτική κατεύθυνση, προκαλώντας καταστροφές σε υποδομές σε όλη την κοιλάδα του Αξιού. Σύμφωνα με τους Tsourouridis et al. (2012), τα δεδομένα προήλθαν από τέσσερις σταθμούς κατά μήκος του Αξιού, που τοποθετήθηκαν στις περιοχές Εύζωνοι, Αξιούπολη, Ακροπόταμο και Κύμينا. Η έρευνα βασίστηκε σε δεδομένα παρατήρησης με τη βοήθεια του Weather Research and Forecasting model WRF-ARW αλλά και σε μετρήσεις από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, του τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας Α.Π.Θ. και του τμήματος Γεωπονίας του Α.Π.Θ., του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (NOA), τον Ελληνικό Οργανισμό Γεωργικής Ασφάλισης (ΕΛΓΑ) και την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων χρειάστηκε ο κάθε σταθμός να είναι εξοπλισμένος με ανεμογεννήτριες, ένα βροχόμετρο, έναν αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας και ένα βαρόμετρο. Ο άνεμος και η θερμοκρασία/ υγρασία μετρήθηκαν στα 10μ και 2μ πάνω από το έδαφος. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι σταθμοί τοποθετήθηκαν σε αγροτική περιοχή για να αποφευχθούν τυχόν σφάλματα στις μετρήσεις.

Το γεγονός ξεκίνησε στις 9 Νοεμβρίου 2007 στις 18:00UTC και διήρκησε συνολικά 30 ώρες. Σύμφωνα με τους Tsourouridis et al., 2012 το επεισόδιο συσχετίστηκε με τον συνδυασμό ενός αντικυκλώνα στη Δυτική Ευρώπη και μιας παροδικής βαρομετρικής ύφεσης στην Ελλάδα. Η μέγιστη ταχύτητα ανέμου έφτασε τα 20,5 m/s με ριπή ανέμου στα 28,2 m/s.

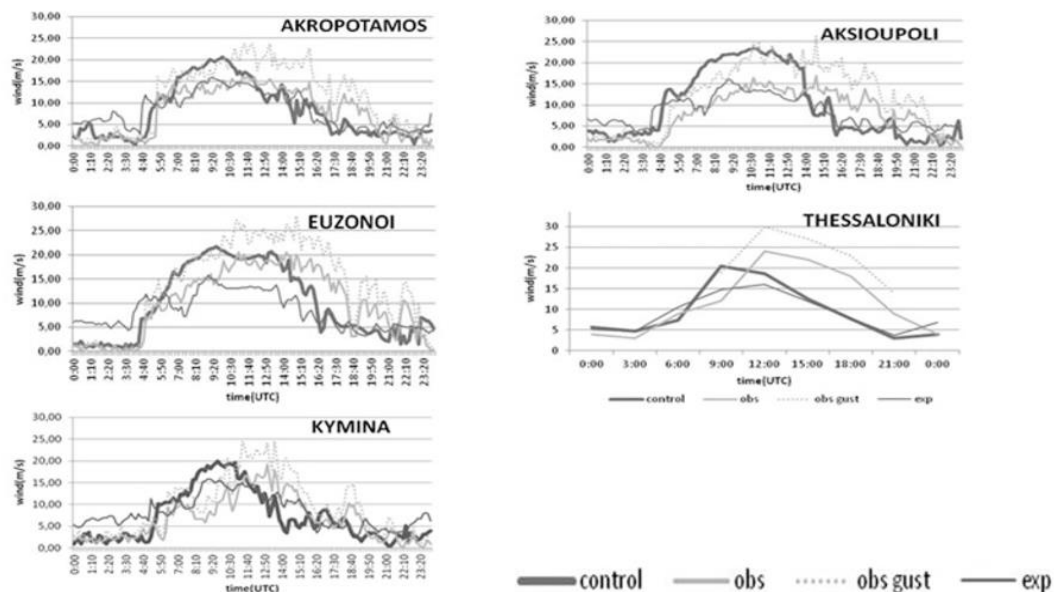
Μέσω αναλύσεων βγήκε το συμπέρασμα ότι μεγάλο ρόλο έπαιξε η διεύθυνση του ανέμου. Σύμφωνα με τους Koletsis, et al. (2015) ο κυρίαρχος άνεμος σε κάθε σταθμό ήταν ο βορειοδυτικός. Ο δυνατότερος άνεμος καταγράφηκε στο σταθμό των Ευζώνων, ο οποίος παρατηρήθηκε κατά τις πρωινές και απογευματινές ώρες και παρουσίασε μέγιστο μεταξύ 09:00 UTC – 14:00UTC καθώς επίσης η δυνατότερη ριπή ανέμου εντοπίστηκε στους σταθμούς των Κυμίνων και των Ευζώνων με ταχύτητα 29 m/s και 28 m/s αντίστοιχα. Επίσης οι μέσες χειμερινές θερμοκρασίες ήταν χαμηλότερες κατά 1-5 °C όταν ο άνεμος έπνευσε από τα βορειοδυτικά. Όσον αφορά στους μεταβατικούς μήνες, έχουμε παρόμοια αποτελέσματα αλλά με μικρότερες θερμοκρασιακές διαφορές,

όπως είναι αναμενόμενο. Τέλος, οι τιμές της τάσης ατμών (vapor pressure) του βορειοδυτικού ανέμου τους χειμερινούς μήνες καταγράφηκαν κάτω από 2 Pa και κατά τους μεταβατικούς μήνες έφτασαν περίπου στο 1 Pa. Αυτό αυτόματα σημαίνει ότι ο άνεμος πάνω από τις περιοχές αυτές είναι και πιο ξηρός.



Σχήμα 1. Επικρατών άνεμος m/s και ριπή ανέμου στα 10 m (Tsopouridis et al., 2012).

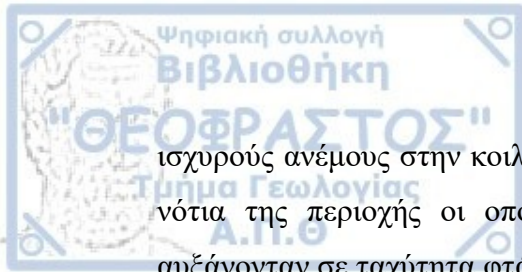
Στο Σχήμα 1. απεικονίζεται η χωρική κατανομή της μέγιστης ταχύτητας του παρατεταμένου ανέμου και η ριπή του ανέμου, στα 10 m πάνω από την επιφάνεια για κάθε σταθμό. Οι μέγιστες ταχύτητες ανέμου εμφανίστηκαν κατά μήκος του ποταμού Αξιού με 20,5 m/s και ριπές μέχρι 28,2 m/s στο σταθμό των Ευζώνων και στο αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης με 24 m/s και ριπές έως 31,9 m/s. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η μεγαλύτερη ταχύτητα ανέμου παρατηρήθηκε στους Ευζώνους.



Σχήμα 2. Παρατεταμένος άνεμος m/s και ριπή ανέμου m/s στα 10 m πάνω από την επιφάνεια των κάθε σταθμών (Tsourouridis et al., 2012).

Στο Σχήμα 2. φαίνεται ο χρόνος που χρειάστηκε για να εξελιχθεί ο άνεμος και να πάρει τις τελικές τιμές της έντασής του. Το φαινόμενο εμφανίστηκε περίπου στις 04:40 UTC στους Ευζώνους και περίπου 1-1,5 ώρες αργότερα στα Κύμينا. Σε όλους τους σταθμούς, η ταχύτητα του παρατεταμένου ανέμου υπερέβηκε τα 15 m/s, ενώ. Το γεγονός του ανέμου σχετίστηκε με ένα σύστημα χαμηλής πίεσης με ελάχιστη πίεση 997 hPa που επικεντρώθηκε στον Θερμαϊκό Κόλπο στις 06:00 UTC στις 10/11/07 (κατά την έναρξη του συμβάντος). Κατά τις επόμενες ώρες κινήθηκε προς τα ανατολικά-βορειοανατολικά. Η αλληλεπίδραση μιας βαρομετρικής ύφεσης στα νότια Βαλκάνια με έναν αντικυκλώνα στη Δυτική Ευρώπη και στον ανατολικό Ατλαντικό, δημιούργησε μια ισχυρή βαροβαθμίδα που προκάλεσε το επεισόδιο του Βαρδάρη το οποίο επηρέασε και την κεντρική Μακεδονία.

Όσον αφορά τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής, σύμφωνα με έρευνες των Koletsis, et al. (2015) οι οποίοι έρχονται σε συμφωνία με τους Tsourouridis et al. (2012), σημαντικό ρόλο στη ροή του ανέμου έπαιξε η τοπογραφία της περιοχής και ο καναλισμός (channeling) του ανέμου στον Αξιό. Ειδικότερα, μέσα από αριθμητικές αναλύσεις του μοντέλου WRF, φαίνεται ότι οι φυσικοί μηχανισμοί που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια αυτού του επεισοδίου είναι τόσο λόγω της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας όσο και λόγω καναλισμού της περιοχής. Πιο ειδικά, μισή ώρα πριν τους



ισχυρούς ανέμους στην κοιλάδα του Αξιού, επικράτησαν άνεμοι με ταχύτητα 10 m/s νότια της περιοχής οι οποίοι όσο πλησίαζαν την περιοχή ενδιαφέροντος τόσο αυξάνονταν σε ταχύτητα φτάνοντας την τιμή των 16 m/s.

Συμπερασματικά, τόσο ο καναλισμός (channeling) όσο και τα συνοπτικά χαρακτηριστικά της περιοχής (ένα βαρομετρικό χαμηλό και ένας αντικυκλώνας στη δυτική Ευρώπη) επηρέασαν στη δημιουργία αυτού του ισχυρού ανέμου στην περιοχή του Αξιού. Το εξεταζόμενο φαινόμενο αναφέρεται σε ένα συμβάν που έλαβε χώρα στις 10 Νοεμβρίου. Βρέθηκε πως, κατά μήκος του Αξιού, η ταχύτητα του ανέμου καταγράφηκε με περίπου 20,5 m/s και στη νότια ακτή του Θερμαϊκού με 24 m/s.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΚΡΑΙΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΑΝΕΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

4.1 Tornadoes, Waterspouts και Dust Devils

Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν κάποιες ειδικές περιπτώσεις ανέμων που προκλήθηκαν ανεξαρτήτως των παραπάνω και θεωρούνται ως ξεχωριστά μεμονωμένα συμβάντα τα οποία έχουν καταγραφεί κατά το πέρασμα του χρόνου προκαλώντας ζημιές στις γύρω περιοχές αλλά και υλικές ζημιές. Τέτοια γεγονότα ανέμου συνδέονται με τη δημιουργία ανεμοστρόβιλων- τυφώνων.

Πριν συνεχίσουμε στην ανάλυση αυτών των γεγονότων, πρώτα θα πρέπει να αναλυθεί σε βάθος η λειτουργία ενός ανεμοστρόβιλου. Πρόκειται για έναν σχηματισμό με μικρές κατά κανόνα διαστάσεις και σύντομη διάρκεια ζωής που συνδέεται με ισχυρούς ανέμους, προκαλώντας εκτεταμένες ζημιές και σε πολλές περιπτώσεις απώλειες ζωής. Σχηματίζεται πάνω από τη στεριά και είναι στην ουσία μια κατακόρυφη στήλη ατμοσφαιρικού αέρα με έντονη περιστροφή και επεκτείνεται από τη βάση των νεφών μιας καταιγίδας προς το έδαφος, εμφανίζοντας τη χαρακτηριστική χοάνη. Όταν η χοάνη εφάπτεται με το έδαφος ονομάζεται tornado, δηλαδή ανεμοστρόβιλος (<https://www.meteo.gr/pdf/anemostrovilos.pdf>).

Ο εικοστός πρώτος αιώνας, και συγκεκριμένα οι πρώτες δύο δεκαετίες του, αποτέλεσε αιώνας για συνεχή καταγραφή δεδομένων και παρατήρησης για συμβάντα όπως ανεμοστρόβιλους, τυφώνες και σίφωνες. Αυτά τα γεγονότα, από τα αρχαία κιόλας χρόνια, αποτελούσαν άξια παρατήρησης καθώς στο πέρασμα τους, και μέσα σε μόνο λίγα λεπτά ακόμα και δευτερόλεπτα, μπορούν να καταστρέψουν ό,τι βρουν στο πέρασμά τους. Ωστόσο, υπάρχουν μόνο λίγες μελέτες πάνω σε αυτά τα ραγδαία φαινόμενα (Sioutas, 2003 και Sioutas 2010) (Nastos & Matsangouras 2010, Gkarakis et al. 2015, Marta et al., 2008, Matsangouras et al., 2014).

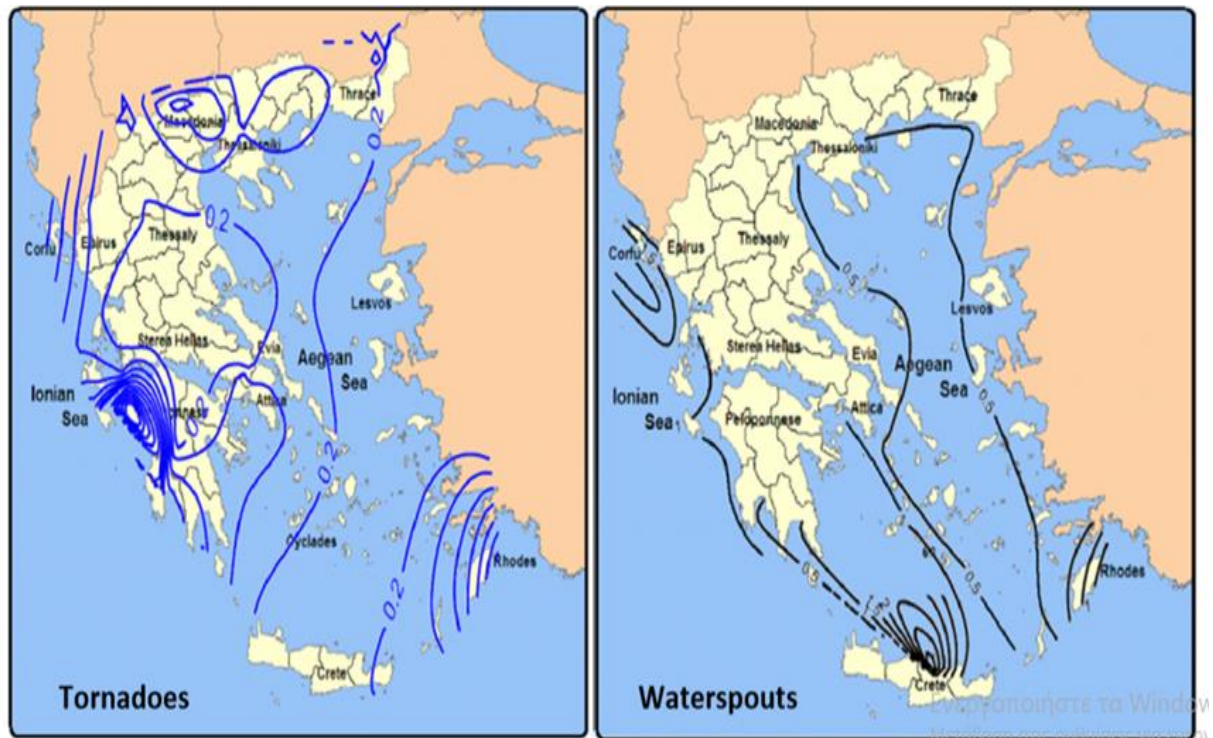
Τα δεδομένα από τα οποία αντλούνται πληροφορίες για αυτά τα γεγονότα ισχυρών ανέμων προέρχονται μέσα από παρατηρήσεις του «Laboratory of Climatology and Atmospheric Environment, University of Athens (LACAE)» και το «European Severe Storm Laboratory (ESSL)» το οποίο συνεργάζεται με το «European Severe Weather Database (ESWD)». Ακόμα, χρήσιμες ήταν οι πληροφορίες μέσω ενός συνόλου δεδομένων της ανάλυσης ERA-40 αλλά και αρχεία εφημερίδων, ιστορικά αρχεία, δημοσιευμένη βιβλιογραφία, διοικητικά αρχεία και εκθέσεις της Ελληνικής Εθνικής



Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (HNMS). Επιπλέον, σημαντικές είναι οι αναφορές μαρτύρων, πληροφορίες που συνοδεύονται από φωτογραφίες ή βίντεο και παρέχονται ειδικά από τον Τύπο και τις τηλεοπτικές ειδήσεις για ανεμοστρόβιλους και τις ζημιές αυτών, δεδομένα από επιτόπιες έρευνες, παρατηρήσεις μετεωρολογικών σταθμών, αναφορές ζημιών από τη γεωργία, και κάθε σχετική πληροφορία από τις τοπικές αρχές, τις δημόσιες και ιδιωτικές υπηρεσίες.

Πολυετείς έρευνες, οι πρώτες διεξήχθησαν από το 1709 μέχρι το 1999 και οι δεύτερες από το 2000 μέχρι και το 2012, κατέγραψαν στο σύνολο 612 συμβάντα «ανεμοστροβλικής» δραστηριότητας εκ των οποίων τα 171 ήταν ανεμοστρόβιλοι, τα 374 σίφωνες θαλάσσης (waterspouts) και τα 67 σύννεφα χοάνης (funnel clouds). Βάσει αυτής της ιστορικής βάσης δεδομένων, η χωρική κατανομή αποκαλύπτει μια τάση ανάπτυξης των ανεμοστρόβιλων στις δυτικές και νότιες παράκτιες περιοχές της Ελλάδας. Το περίπλοκο εσωτερικό έδαφος της Ελλάδας μαζί με το Ιόνιο Πέλαγος στα δυτικά και το Αιγαίο στα ανατολικά φαίνεται να είναι μια ευνοϊκή περιοχή για τέτοια φαινόμενα. Παρόλο που ανεμοστρόβιλοι μπορούν να εμφανιστούν οπουδήποτε στην ηπειρωτική Ελλάδα, τους συναντάμε συχνότερα κατά μήκος της Αττικής, της Θεσσαλίας και της βόρειας Ελλάδας (κεντρική Μακεδονία). Πιο συγκεκριμένα, η βορειοδυτική Πελοπόννησος και τα βόρεια τμήματα της Κρήτης (νότιο Αιγαίο) φαίνεται να είναι οι ευνοϊκές περιοχές για την ανάπτυξη ανεμοστρόβιλου καθώς επίσης κάνουν την εμφάνισή τους ακόμα και στα κεντρικά και νότια τμήματα της Κέρκυρας, τη Ζάκυνθο και γύρω από τον Μεσσηνιακό κόλπο νότια της Πελοποννήσου και στα βόρεια τμήματα της Ρόδου. Παρομοίως, waterspouts μπορούν να εμφανιστούν οπουδήποτε πάνω από το Ιόνιο και το Αιγαίο Πέλαγος, αλλά εμφανίζονται συχνότερα γύρω από την Κρήτη, τα νησιά των Σποράδων και τα νησιά της Κέρκυρας, ενώ σύννεφα χοάνης συναντώνται πιο συχνά στο Σαρωνικό κόλπο.

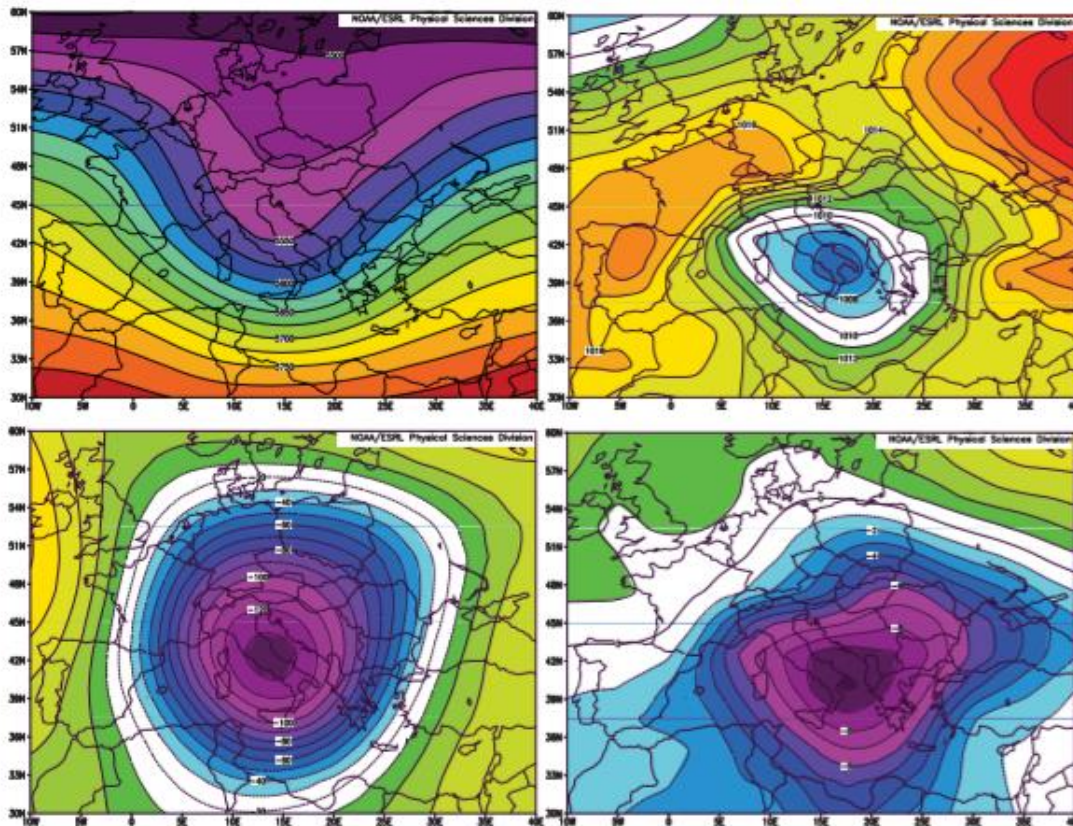
Ένα κοινό χαρακτηριστικό για αυτές τις περιοχές είναι η απουσία τοπογραφίας η οποία επιτρέπει τη δημιουργία έντονων στροβιλισμών. Επιπλέον, αυτές οι περιοχές χαρακτηρίζονται ως πυκνοκατοικημένες περιοχές (περισσότεροι από 70 πολίτες/ km²) με βάση την απογραφή του 2011, που διεξήχθη από την Ελληνική Στατιστική Αρχή. Η πλειονότητα των εκδηλώσεων Waterspouts εκδηλώνονται κοντά στις ακτές ενώ λιγότερα waterspout έχουν αναφερθεί πάνω από τις ανοικτές θάλασσες από ό,τι κοντά στην ακτή λόγω της υψηλότερης πυκνότητας πληθυσμού κοντά στις ακτές.



Σχήμα 3. Η γεωγραφική κατανομή των ανεμοστροβίλων/ waterspouts για τη χρονική περίοδο μελέτης 2000- 2014 (Gkarakis et al., 2015).

Σε αυτές τις γεωγραφικές περιοχές παρατηρείται ότι οι αλληλεπιδράσεις ατμόσφαιρας-εδάφους παρέχουν ασταθείς καιρικές συνθήκες, οι οποίες είναι ευνοϊκές για τη δημιουργία ανεμοστροβίλων, ειδικά κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (η κυρίαρχη εποχή) όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας φτάνει στο μέγιστο στην περιοχή του Ιονίου. Παράλληλα, ψυχρά μέτωπα αναπτύσσουν σημαντικές ασταθείς συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, η δημιουργία ενός ανεμοστροβίλου στη δυτική Ελλάδα σχετίζεται με τη δημιουργία μιας ευρείας βαρομετρικής σκάφης σε ισοβαρικό επίπεδο των 500 hPa στην κεντρική και νότια Ιταλία η οποία έχει σχέση με ένα νοτιοδυτικό στρώμα αέρα της ανώτερης ατμόσφαιρας πάνω από τη δυτική Ελλάδα (Σχήμα 4). Ο Sioutas, 2010 παρουσίασε ότι μια βαρομετρική σκάφη (trough) σχετίζεται, σχεδόν πάντα, με την εμφάνιση ανεμοστροβίλων στην Ελλάδα, ενώ οι Nastos & Matsangouras, 2014 έδειξαν ότι η ισοβαρική πίεση στα 500 hPa και η πίεση της στάθμης της θάλασσας (sea level pressure SLP) είναι ευνοϊκές για τη δημιουργία ανεμοστροβίλων στο Ιόνιο

Πέλαγος και συγκεκριμένα στα βορειοδυτικά από αυτό, στη βορειοδυτική Πελοπόννησο και στο νότιο Αιγαίο.



Σχήμα 4. Περιγράφεται η συνοπτική διαδικασία στα 500 hPa για τη δημιουργία ενός ανεμοστρόβιλου κατά την περίοδο 1 Σεπτεμβρίου 1948 μέχρι 31 Δεκεμβρίου 2012. (Matsangouras et al., 2014).

Σε έρευνα του Sioutas, 2003, τέσσερις συνοπτικοί τύποι ανεμοστρόβιλων αναγνωρίστηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν σύμφωνα με την κυκλοφορία επιπέδου 500 hPa, τη θέση και τον προσανατολισμό του άξονα της βαρομετρικής σφήνας και της σκάφης, σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της κυκλοφορίας. Αυτοί οι τύποι αποκαλούνται ως: νοτιοδυτική ροή - southwest flow (SW), βαρομετρική σκάφη μεγάλου μήκους κύματος - longwave trough (LW), κλειστό χαμηλό - closed low (CLOSED) και βαρομετρική σκάφη μικρού μήκους κύματος - shortwave trough (SWT). Τα τεκμηριωμένα κρούσματα ανεμοστρόβιλου στην Ελλάδα ταξινομήθηκαν χρησιμοποιώντας αυτούς τους τύπους και τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω.

- Ο τύπος SW περιλαμβάνει μια βαρομετρική σκάφη μεγάλου κύματος στα δυτικά της Ελλάδας και μια βαρομετρική σφήνα μεγάλου κύματος προς τα βορειοανατολικά. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η νοτιοδυτική ροή υψώνεται σε όλη την Ελλάδα. Οι συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια είναι ένας κυκλώνας επιφανείας, με μετωπικά κύματα ευθυγραμμισμένα κυρίως από νοτιοδυτικά προς βορειοανατολικά. Παραδείγματα αυτού του τύπου ήταν ένας μικρός ανεμοστρόβιλος (T5) στην Κέρκυρα και δύο γεγονότα waterspout στη Μεσσηνία στις 19 Νοεμβρίου 2000.
- Ο τύπος LW περιλαμβάνει μια βαρομετρική σκάφη που μεταφέρεται σε αργή κίνηση δυτικά ή βορειοδυτικά και η μάζα του αέρα μπορεί να χαρακτηριστεί ως μέτρια ασταθής ενώ ένα μέτωπο χαμηλής πίεσης βρίσκεται στα ανατολικά ή νοτιοανατολικά της Ελλάδας. Η ανάλυση 500hPa στις 27 Νοεμβρίου 00:00 UTC έδειξε μια βαρομετρική σκάφη πάνω από την Κεντρική Ευρώπη που εκτεινόταν προς τα νότια της Ελλάδας. Τα αποτελέσματα ήταν ένας ασθενής ανεμοστρόβιλος στην Πελοπόννησο, ένας ισχυρός ανεμοστρόβιλος μεγέθους T3 (κλίμακα Torro scale) στην Ελιά και ένας μεγέθους T4 στη Μεσσηνία.
- Ο τύπος CLOSED χαρακτηρίζεται από μια ροή θερμότητας (closed iso-height low) στα 500 hPa πάνω από την εν λόγω περιοχή. Στο ώριμο στάδιο αυτού του τύπου, το χαμηλό κέντρο μπορεί να διαχωριστεί εντελώς από την ευρύτερη κυκλοφορία. Στην επιφάνεια, μια περιοχή χαμηλής πίεσης βρίσκεται συνήθως κάτω από το κέντρο του βαρομετρικού χαμηλού. Ένας τέτοιος τύπος εμφανίστηκε στις 27 Ιουλίου 2002. Ολόκληρη η περιοχή της Κεντρικής Μεσογείου, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, επηρεάστηκε από ένα κλειστό χαμηλό σύστημα. Ένας ανεμοστρόβιλος μεγέθους T4 χτύπησε το διεθνές αεροδρόμιο της Αθήνας «Ελευθέριος Βενιζέλος», και ένας άλλος με ένταση T3 σημειώθηκε στην Περαιά, νότια της Θεσσαλονίκης.
- Ο τύπος SWT συνδέεται με ένα βαρομετρικό χαμηλό στα βόρεια ενώ η ψύξη του αέρα αποσταθεροποιεί τη μάζα του. Τα επιφανειακά χαμηλά και μέτωπα βρίσκονται γενικά στα νότια και νοτιοανατολικά του χαμηλού. Ένα παράδειγμα περίπτωσης του συνοπτικού μοτίβου τύπου SWT εμφανίστηκε στην ανάλυση 500 hPa της 11ης Ιουλίου 2001 στις 12:00 UTC με αποτέλεσμα την εμφάνιση ενός ανεμοστρόβιλου που έπληξε τον Πλάτανο, στην κεντρική Μακεδονία.



Με βάση τα καταγεγραμμένα γεγονότα, η μηνιαία μεταβλητότητα αποκαλύπτει μια τάση δημιουργίας των ανεμοστρόβιλων κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα ενώ εμφανίζει μέγιστο τον Οκτώβριο, ακολουθούμενο από τον Σεπτέμβριο, τον Νοέμβριο, τον Δεκέμβριο, τον Μάιο και τον Ιούλιο. Ο Οκτώβριος είναι ο μήνας με την υψηλότερη συχνότητα ανεμοστρόβιλου (με βάση τα γεγονότα), ακολουθούμενος από τον Νοέμβριο. Ο συχνότερος μήνας για τα waterspouts είναι ο Σεπτέμβριος ακολουθούμενος από τον Οκτώβριο και τον Δεκέμβριο ενώ για τα Funnel clouds αναφέρονται υψηλότερες συχνότητες κατά τη διάρκεια του χειμώνα, την άνοιξη και το φθινόπωρο, έναντι χαμηλότερης συχνότητας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Από κλιματολογικής άποψης, ο Νοέμβριος και ο Ιανουάριος είναι μήνες αυξημένης αστάθειας και έντονης καταιγίδας για τη δυτική και νότια Ελλάδα, ενώ ο Ιούλιος είναι ο μήνας αυξημένης αστάθειας για τη βόρεια Ελλάδα.

Οι ανεμοστρόβιλοι αναπτύσσονται συνήθως κατά τη διάρκεια των πρωινών ωρών, καθώς περισσότερο από το 75% όλων των περιπτώσεων συμβαίνουν κατά τις 08:00 έως τις 15:00 UTC με μέγιστο στις 12:00 UTC. Η συχνότητα εμφάνισης των waterspouts έχει δύο μέγιστα κατά τη διάρκεια της ημέρας, το πρώτο νωρίς το πρωί (07:00–09:00 UTC) και το δεύτερο μετά το μεσημέρι (14:00–15:00 UTC).

Οι ανεμοστρόβιλοι και τα waterspout, από το 2000 μέχρι το 2012, προκάλεσαν περισσότερους από 29 θανάτους και περισσότεροι από 114 ανθρώπους τραυματίστηκαν, ενώ σε πολλές περιπτώσεις είχαν μεγάλη επίδραση στην τοπική κοινωνία καθώς καταγράφηκαν πολλές ζημιές σε καλλιέργειες (Matsangouras et al., 2014)

Ο πρώτος ανεμοστρόβιλος που έχει καταγραφεί αναφέρεται σε ένα waterspout στη Γασίτσα της Κέρκυρα στις 13 Φεβρουαρίου 1709, προκαλώντας έναν θάνατο. Τα πιο αξιοσημείωτα γεγονότα που καταγράφηκαν τον εικοστό αιώνα εμφανίστηκαν το φθινόπωρο και αφορούν: το βίαιο waterspout που έφτασε στην ξηρά και έπληξε τον Αστακό στην Αιτωλοακαρνανία (παράκτια αστική περιοχή στη δυτική Ελλάδα) στις 18 Οκτωβρίου 1934, το «fish-rain» γεγονός όπου η δραστηριότητα του ανεμοστρόβιλου απορρόφησε και εκτίναξε τα ψάρια από τις κοντινότερες λίμνες στο χωριό Άλωνα του νομού Φλώρινας (βορειοδυτικά της Ελλάδας, κοντά στις λίμνες των Πρεσπών) στις 13-15 Οκτωβρίου 1951 και ένα waterspout, το οποίο προκάλεσε αρκετές ζημιές στην Κέρκυρα την 1η Σεπτεμβρίου 1973. Ένας ακόμη επιζήμιος ανεμοστρόβιλος έλαβε χώρα στο νησί της Ζακύνθου, στις 3 Απριλίου 2008. Αυτός ο ανεμοστρόβιλος σχηματίστηκε για πρώτη φορά ως Waterspout στον κόλπο του Λαγανά



και μετά μετακινήθηκε στην ξηρά και εντατικοποιήθηκε, με αποτέλεσμα να τραυματιστεί σοβαρά μια γυναίκα (Sioutas, 2003). Ένα πιο έντονο γεγονός συνέβη στις 11 Αυγούστου 1902, όταν, ένας ανεμοστρόβιλος προκάλεσε τον εκτροχιασμό του τοπικού τρένου της Αθήνας και περισσότεροι από 50 επιβάτες τραυματίστηκαν καθώς εννέα από τα βαγόνια εκτροχιάστηκαν στην προαστιακή περιοχή του Ηρακλείου. Ο πιο θανατηφόρος ανεμοστρόβιλος στην ελληνική ιστορία έλαβε χώρα στη λίμνη Μέγδοβα της Καρδίτσας (κεντρική Ελλάδα) το πρωί της 17ης Δεκεμβρίου 1959. Η εφημερίδα Ελευθερία (ΕΥ ΕΠΙΑ) ανέφερε στις 18 Δεκεμβρίου 1959 ότι 21 εργαζόμενοι έχασαν τη ζωή τους όταν το σκάφος τους καταστράφηκε από ένα επεισόδιο Waterspout. Αυτοί οι θάνατοι που προκλήθηκαν από τα Waterspout δεν ήταν οι μόνοι, καθώς στις 8 Σεπτεμβρίου 1963 ένας νεροστρόβιλος στο λιμάνι της Καλαμάτας προκάλεσε το θάνατο ενός ναυτικού. Στις 8 Ιουλίου 1963, ένας ανεμοστρόβιλος σχηματίστηκε το απόγευμα κοντά στην Καλαμάτα προκαλώντας σημαντική ζημιά κοντά στα χωριά Μάνεση και Στέρνα. Οι ανεμοστρόβιλοι όχι μόνο προκάλεσαν ζημιές σε κατασκευές, αλλά και σε καλλιέργειες, καθώς περισσότερα από δύο χιλιάδες ελαιόδεντρα ξεριζώθηκαν και τρεις άντρες τραυματίστηκαν. Τέλος στις 19 Οκτωβρίου 1976, ένας ανεμοστρόβιλος σχηματίστηκε στο νησί της Ρόδου, προκαλώντας σημαντικές ζημιές ενώ έξι άνθρωποι τραυματίστηκαν.

Ένας ακόμη τύπος ανεμοστρόβιλου είναι τα Dust devils τα οποία εμφανίζονται συνήθως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε συνθήκες έντονης θέρμανσης επιφάνειας ή αυξημένης αστάθειας. Έχουν διάμετρο από 1 m έως δεκάδες μέτρα και ύψος από μερικά μέτρα έως εκατοντάδες μέτρα. Στη δεκαετή βάση δεδομένων, ένας συνολικός αριθμός έξι ισχυρά αναπτυγμένων Dust devils έχουν καταχωρηθεί σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας, όπως την Αττική, τη Φλώρινα, την Πέλλα, τη Χαλκιδική και την Πάτμο. Ένα ισχυρό γεγονός Dust devil με ύψος πάνω από 70 μέτρα και διάρκεια ζωής λιγότερο από 10 λεπτά, όπως αναφέρουν οι Sioutas and Tsitouridis, 2008 στο Sioutas, 2010, παρατηρήθηκε στις 16 Μαΐου 2007, στη Δυτική Μακεδονία.

4.2 Πρόγνωση τυφώνων

Παρά τη σημαντική πρόοδο των τελευταίων ετών στην κατανόηση του σχηματισμού των ανεμοστρόβιλων, οι φυσικοί μηχανισμοί και η πρόβλεψη αυτών είναι ακόμη υπό έρευνα. Η πρόβλεψη της εμφάνισης είναι δύσκολη λόγω της πολυπλοκότητας και της ποικιλίας των ταυτόχρονων ευνοϊκών συνθηκών, με την επικρατούσα τεχνική των προβλέψεων των ανεμοστρόβιλων και των σημερινών μεθόδων και δεικτών ραντάρ Doppler. Παρόλο που σήμερα υπάρχουν πολλά εργαλεία πρόγνωσης, η πρόβλεψη ανεμοστρόβιλων φαίνεται να είναι ακόμα αδύνατη σε μακροπρόθεσμες περιόδους. Η έρευνα προβλέψεων των Tornado βρίσκεται σε εξέλιξη προκειμένου να κατανοήσει και να ερμηνεύσει την εξέλιξη ενός τόσο ακραίου κι βίαιου γεγονότος. Οι ανεμοστρόβιλοι έχουν καταγραφεί σε όλο τον κόσμο με σημαντικές επιπτώσεις, ενώ έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες που υποδεικνύουν την εμφάνιση ανεμοστρόβιλων σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες (Matsangouras & Nastos, 2010).

Βάσει αυτής της ιστορικής βάσης δεδομένων, όπως φάνηκε και παραπάνω, η χωρική κατανομή αποκαλύπτει μια τάση ανάπτυξης ανεμοστρόβιλου στις δυτικές και νότιες παράκτιες περιοχές της Ελλάδας (Σιούτας, 2003). Το περίπλοκο εσωτερικό έδαφος της Ελλάδας μαζί με το Ιόνιο Πέλαγος στα δυτικά και το Αιγαίο στα ανατολικά φαίνεται να είναι μια ευνοϊκή περιοχή για τέτοια φαινόμενα, όπως ο ανεμοστρόβιλος και τα Waterspouts (Nastos & Matsangouras 2010). Οι παράκτιες περιοχές φαίνεται να προτιμώνται για την ανάπτυξη ανεμοστρόβιλου, με πολλούς καταστροφικούς ανεμοστρόβιλους να ξεκινούν ως Waterspouts. Έντονοι ανεμοστρόβιλοι μπορούν να εμφανιστούν σχεδόν οπουδήποτε εντός της χώρας. Με βάση τις έρευνες που έχουν γίνει πάνω στις κλιματολογικές και συνοπτικές συνθήκες του ανεμοστρόβιλου, περίπου έξι ανεμοστρόβιλοι συμβαίνουν στην Ελλάδα ετησίως (Sioutas, 2003) αλλά δεν μπορεί εύκολα να υπάρχει πρόβλεψη για το χρόνο και τον τόπο για το που θα εκτονωθεί ένα τέτοιο φαινόμενο.

Η μελλοντική έρευνα ανεμοστρόβιλου στην Ελλάδα περιλαμβάνει τη λήψη μιας πιο ολοκληρωμένης βάσης δεδομένων για την τεκμηρίωση και ανάλυση των κλιματολογικών χαρακτηριστικών. Η συμβολή σε μια ευρωπαϊκή βάση δεδομένων ανεμοστρόβιλου έχει επίσης μεγάλη σημασία. Η κλιματική αλλαγή έχει προωθήσει μια ευρεία μελέτη για τις πιθανές επιπτώσεις, λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, τη

διάρκεια και την ένταση των καταιγίδων του ανέμου σε ένα μελλοντικό κλίμα σε σύγκριση με το σήμερα. Πρόσφατες μελέτες των Knippertz et al., 2000, Rockel & Woth, 2007, Schwierz et al., 2008, Ulbrich et al., 2008 αναμένουν αύξηση τόσο της έντασης όσο και της συχνότητας των ισχυρών ανέμων που προκαλούν καταιγίδες στην Ευρώπη το 2071 –2100 σε σύγκριση με το παρόν.

Συνοπτικά, αν και φαίνεται πιθανό να υπάρξει αύξηση των ακραίων ανέμων πάνω από το Βόρειο Ατλαντικό και την Κεντρική Ευρώπη, λόγω της μη έγκυρης πρόβλεψης των ανεμοστρόβιλων αυτό δεν αποτελεί θεωρία εμπιστοσύνης και δεν είμαστε βέβαιοι αν αυτή η αυξητική τάση θα ισχύσει στο μέλλον. Μέχρι στιγμής, τα στοιχεία παρατήρησης της αυξημένης έντασης των κυκλώνων και των σχετικών επιφανειακών ανέμων τους στον Βόρειο Ατλαντικό και την Ευρώπη δεν είναι πειστικά όταν εξετάζουμε μακροπρόθεσμες τάσεις (π.χ. τα τελευταία 100 χρόνια).

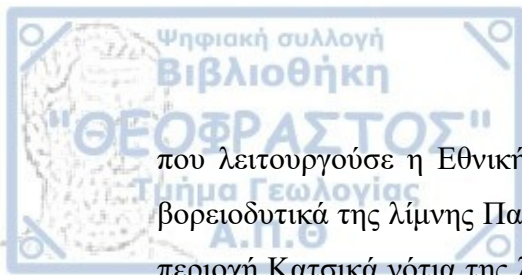
Στη συνέχεια παραχωρούνται κάποιες ιδιαίτερες περιπτώσεις «ανεμοστροβιλικής» δραστηριότητας που έχουν καταγραφεί στην Ελλάδα και έχουν φέρει δυσάρεστα αποτελέσματα στις περιοχές που έπληξαν αλλά και στον άνθρωπο.

4.3 Ανεμοστρόβιλος στα Ιωάννινα

Πρόκειται για τον πιο ισχυρό ανεμοστρόβιλο που καταγράφηκε τη δεκαετία του '90 στη βορειοδυτική Ελλάδα. Αφορά στην εκδήλωση ενός ανεμοστρόβιλου στην περιοχή των Ιωαννίνων που πραγματοποιήθηκε στις 25 με 26 Μαρτίου το 1998.

Σύμφωνα με αναλύσεις των Koletsis et al. (2009), η ριπή ανέμου του ανεμοστρόβιλου έφτασε περίπου στα 30 m/s προκαλώντας καταστροφή δέντρων και κατοικιών, διακοπή λειτουργίας του ηλεκτρικού ρεύματος και πλημμύρα της λίμνης Παμβώτιδας των Ιωαννίνων. Μελέτες έδειξαν ότι στην κατεύθυνση του ανέμου σημαντικό ρόλο έπαιξε το όρος Μιτισκέλι στα Ιωάννινα. Πρόκειται για ένα μακρόστενο βουνό προσανατολισμένο βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά, με ψηλότερη κορυφή 1810 μέτρα και μέσο ύψος 1340 μέτρα. Λόγω της θέσης του δημιουργούνται βορειοανατολικοί άνεμοι που εκτείνονται περιστασιακά από την κορυφή του βουνού προς την πόλη των Ιωαννίνων.

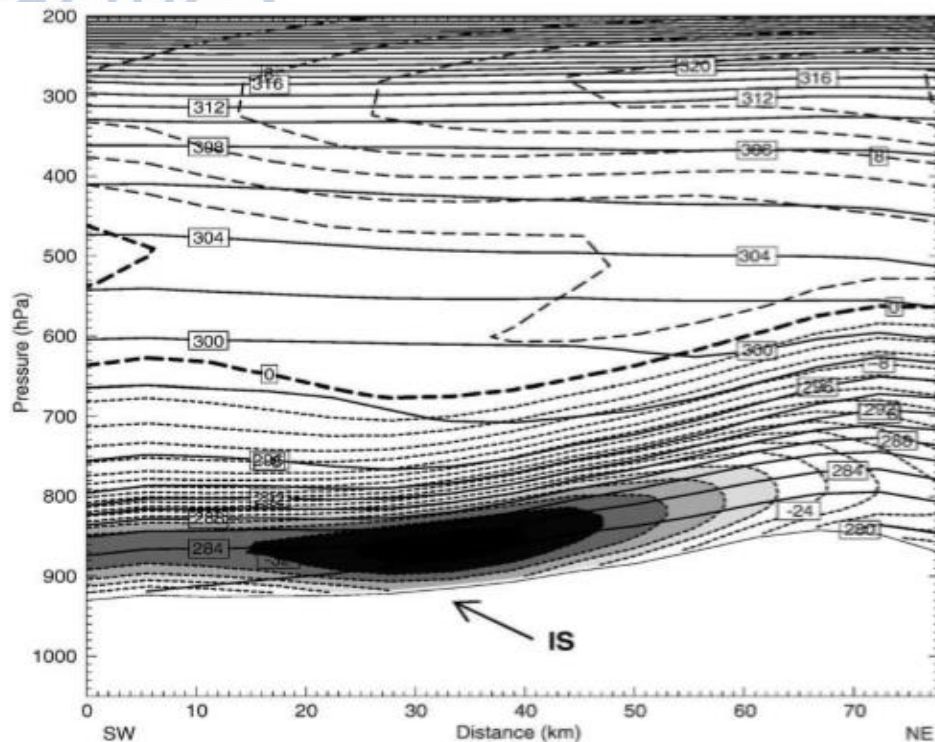
Τα δεδομένα βασίστηκαν στη χρήση αναλύσεων που παρέχει το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών Προβλέψεων (ECMWF) και CNTL. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν οι παρατηρήσεις από δύο μετεωρολογικούς σταθμούς, ο σταθμός



που λειτουργούσε η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία στο αεροδρόμιο Ιωαννίνων βορειοδυτικά της λίμνης Παμβώτιδας και ο γεωργικός μετεωρολογικός σταθμός στην περιοχή Κατσικά νότια της λίμνης Παμβώτιδας. Οι δύο σταθμοί βρίσκονται στα όρια της Λίμνης Παμβώτιδας και απέχουν κατά 9χλμ. η μια από την άλλη.

Ο άνεμος διένυσε την εξής πορεία: στις 18:00 UTC 25 Μαρτίου του 1998, λίγες ώρες πριν από τους ισχυρούς ανέμους, κατά μήκος της δυτικής πλευράς του βουνού Μιτσικέλι, επικράτησε ένα βαρομετρικό χαμηλό με πίεση 996 hPa το οποίο ακολούθησε μια νοτιοανατολική πορεία. Στις 00:00 UTC 26 Μαρτίου ένα βαρομετρικό χαμηλό των 500 hPa κινήθηκε ανατολικά και εμβάθυνε στα 30 μέτρα αγγίζοντας την τιμή των 994 hPa ενώ παράλληλα η τιμή της βαροβαθμίδας αυξήθηκε πάνω από τη βορειοδυτική Ελλάδα. Ο σταθμός στην περιοχή Κατσικά για τη μέση ταχύτητα ανέμου, έδωσε μια τιμή που υπερβαίνει τα 10 m/s, από 02:00 έως 06:00 UTC 26 Μαρτίου, και ριπή ανέμου στις 04:00 UTC με τιμή 12 m/s με κατεύθυνση βορειοανατολικά ενώ οι μετρήσεις του σταθμού του αεροδρομίου Ιωαννίνων έδωσαν για τη μέση ταχύτητα ανέμου τιμή άνω των 20 m/s, από 03:00 έως 12:00 UTC, και ριπές ανέμου 30 m/s με ανατολική-βορειοανατολική κατεύθυνση. Η διαφορά της ταχύτητας ανέμου στους παραπάνω μετεωρολογικούς σταθμούς δείχνει την τοπική μεταβλητότητα της ροής του ανέμου κατά τη διάρκεια του συμβάντος. Η ένταση του ανέμου εξασθενεί όταν το βαρομετρικό χαμηλό των 500 hPa κινείται προς τα νοτιοανατολικά. Κατά το μοντέλο CNTL, παρατηρήθηκαν κατά στη διάρκεια της νύχτας στις 25 Μαρτίου 1998 και στις πρώτες πρωινές ώρες της επόμενης ημέρας (μεταξύ 21:00 και 06:00 UTC) καταστροφικοί δυτικοί άνεμοι με ριπή ανέμου που έφτασε στα 31 m/s στη δυτική περιοχή του βουνού Μιτσικέλι. Έξι ώρες αργότερα και λίγο πριν την εμφάνιση των έντονων ανέμων, το βαρομετρικό χαμηλό κινήθηκε ανατολικά-νοτιοανατολικά.

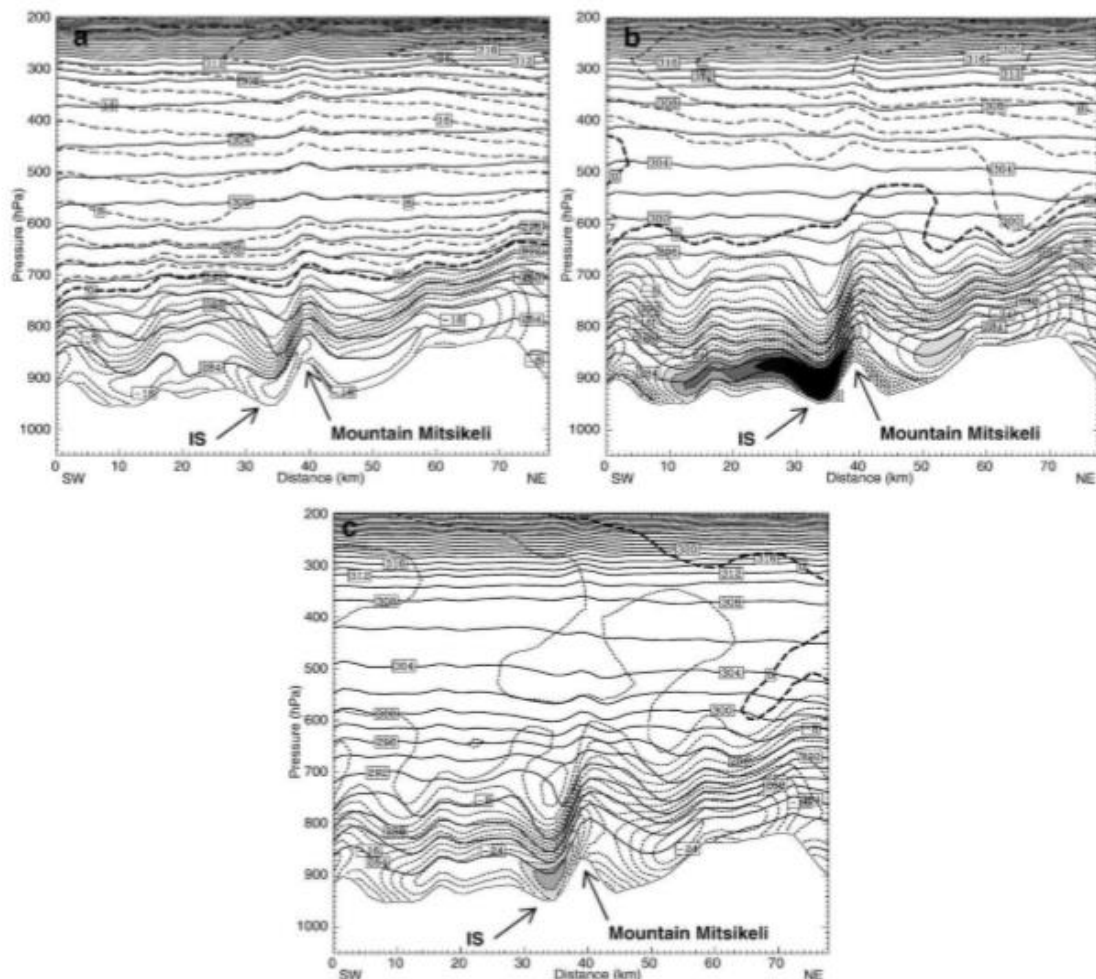
Παρακάτω αποδίδεται σχηματικά η κατακόρυφη μεταβολή των ταχυτήτων του ανέμων σε κάθε ισοβαρικό επίπεδο και ο ρόλος που έπαιξε το όρος Μιτσικέλι στην πραγματοποίηση του συμβάντος και πως το επηρέασε μέσω των grid για 8 χλμ και 2 χλμ. αντιστοίχως.



Σχήμα 5. Νοτιοδυτική- βορειοανατολική κάθετη διατομή της δυνητικής θερμοκρασίας και της κάθετης προς το βουνό συνιστώσας του ανέμου (διακεκομμένη γραμμή, σε διαστήματα 2 m/s), στις 0300U TC 26 Μαρτίου 1998.

Στο Σχήμα 5 οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν τις αρνητικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου. Οι σκιασμένες περιοχές αντιστοιχούν σε ταχύτητα ανέμου που υπερβαίνει τα 26 m/s. Το βέλος με το αναγραφόμενο IS αναπαριστά το Σταθμό Ιωαννίνων. (Koletsis et al., 2009)

Όταν η πίεση φτάνει την τιμή των 850 hPa, τότε η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται φτάνοντας μέχρι τα 34 m/s. Στη υπήνεμη πλευρά του όρους η πίεση κυμαίνεται στα 600 hPa ενώ στα κατάντη στα 650 hPa.



Σχήμα 6. Για το α: στις 12:00 UTC 26 Μαρτίου, b στις 03:00 UTC 26 Μαρτίου, c στις 12:00 UTC 26 Μαρτίου μέσω του MM5 grid 3. (Koletsis et al., 2009).

Πιο αναλυτικά, η εικόνα δείχνει το όρος Μιτσικέλι. Σε όλη την έκτασή του η ταχύτητα ανέμου έφτασε τα 18 m/s (Σχήμα 6α), με πίεση 700 hPa. Στις 03:00 UTC (Σχήμα 6b), η θερμοβαθμίδα αυξάνεται, αυξάνοντας έτσι την στατική σταθερότητα. Η πίεση κυμάνθηκε στα 600 hPa και η ταχύτητα του ανέμου έφθασε τα 22 m/s. Ως αποτέλεσμα αυτών των αλλαγών, η ταχύτητα του ανέμου στην υπήνεμη πλευρά του βουνού έφτασε την τιμή των 30-32 m/s, ακολουθούμενη από μια μορφή jumplike (απότομη αναπήδηση) που αναπτύχθηκε προς τα κάτω από το βουνό. Επίσης, έλαβε χώρα ένας αεροχείμαρρος κατά την αντίθετη πλευρά του όρους. Στις 12:00 UTC 26 Μαρτίου 1998 (Σχήμα 6c), η ταχύτητα του ανέμου που προσκρούει στο βουνό μειώθηκε στα 16 m/s, η πίεση μειώθηκε κατά πολύ και η μορφή jumplike περιορίστηκε στα υψηλά επίπεδα. Ως αποτέλεσμα οι άνεμοι στην υπήνεμη πλευρά μειώθηκαν στα 24 m/s. Επίσης αυτό

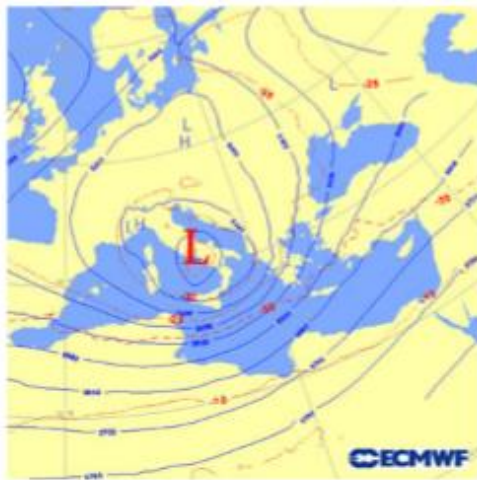
που διαπιστώνεται είναι ότι στα 700 hPa περίπου και στα κατάντη του βουνού υπάρχει μια περιοχή όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι σχεδόν μηδέν.

Στα ανάντη και κατάντη του όρους βρέθηκαν τα εξής: στην περιοχή των Ιωαννίνων (λαμβάνεται ως περιοχή πάνω από το βουνό) μέχρι τις 12:00 UTC 25 Μαρτίου 1998, το μοντέλο upwind (άνω μεταφοράς) είναι εμφανές στα 650 hPa με βορειοανατολική διεύθυνση. Στη θέση του ανέμου (Αεροδρόμιο Ιωαννίνων) η χαμηλού επιπέδου ανατολική ροή μειώνεται με το ύψος (αντίστροφη διάτμηση αέρα) και στρέφεται στις πιο νότιες κατευθύνσεις μέχρι 700 hPa. Επικρατεί μείωση της ταχύτητας του ανέμου μεταξύ 800-750 hPa και παρατηρήθηκε αντίστροφη κατακόρυφη διάτμηση ανέμου και αλλαγή στην κατεύθυνση του ανέμου. Εκεί όπου ο άνεμος ανεβαίνει την πλευρά του βουνού, επικρατεί ένα σταθερότερο στρώμα μεταξύ 850 και 700 hPa το οποίο είναι επάνω από την κορυφή του βουνού. Μεταξύ 800 και 700 hPa η ταχύτητα ανέμου ήταν 0-2 m/s, ενώ ο αριθμός Richardson (Ri) *(παράμετρος που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη περιδινήσεων και της καταστροφής των ρευμάτων πυκνότητας στο νερό ή την ατμόσφαιρα)* ήταν 0.25 στο στρώμα των 750-800 hPa και αρνητικός στα 750 hPa. Αυτά τα χαρακτηριστικά δείχνουν την ύπαρξη μιας περιοχής στην οποία ο άνεμος «διασπάται» κι συμπεριφέρεται διαφορετικά όταν την ανέρχεται και αλλιώς όταν την διέρχεται. Επίσης, οι ισχυροί άνεμοι εντοπίζονται στα κατάντη, σε απόσταση λίγων χιλιομέτρων από την περιοχή του βουνού Μιτσικέλι, ενώ η βορειοανατολική ροή επιβραδύνεται στην πλευρά του βουνού προς τα εμπρός. Η συνοπτική ανάλυση έδειξε ότι ο συνδυασμός ενός επιφανειακού συστήματος χαμηλής πίεσης τοποθετημένος αρχικά νοτιοδυτικά της ηπειρωτικής Ελλάδας κινούμενος προς τα ανατολικά με ένα σύστημα υψηλής πίεσης που επικρατεί στην κεντρική Ευρώπη και τα Βαλκάνια, προκαλεί ισχυρή πίεση κατά μήκος της περιοχής της Βορειοδυτικής Ελλάδας όπου ξεκινά μια ισχυρή βορειοανατολική ροή που προσκρούει στο βουνό Μιτσικέλι.

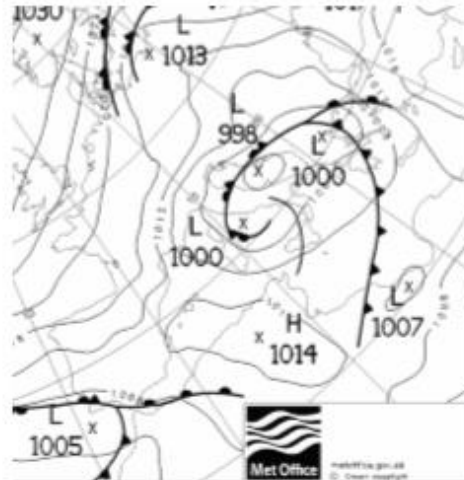
4.4 Ανεμοστρόβιλος στη Χαλκιδική

Ένα ακόμη γεγονός ανεμοστρόβιλου, πραγματοποιήθηκε στις 12 Φεβρουαρίου 2010 στο χωριό Βράσταμα, στο νομό Χαλκιδικής (Βόρεια Ελλάδα). Ο ανεμοστρόβιλος αναπτύχθηκε περίπου μεταξύ 17:10 και 17:35 UTC και χαρακτηρίστηκε ως F2 (κλίμακα Fujita) ή T4-T5 της κλίμακας TORRO προκαλώντας πολλές ζημιές σε κτίρια και σε χωράφια.

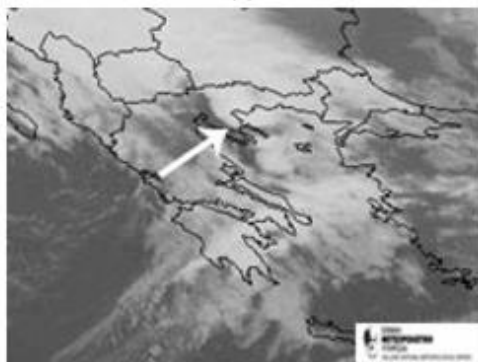
Σύμφωνα με τους Matsangouras et. al. (2011) και μέσω των αναλύσεων που διεξήχθησαν, βρέθηκε ότι στο ανώτερο τμήμα του αέρα την ημέρα της εκδήλωσης του συμβάντος στην αρχή επικράτησε κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στο ισοβαρικό επίπεδο των 500 hPa πάνω από την κεντρική Ιταλία η οποία συσχετίστηκε με μάζες ψυχρού αέρα. Το κλειστό χαμηλό ρεύμα προκάλεσε ένα ανώτερο ρεύμα αέρα νοτιοδυτικά στην περιοχή ενδιαφέροντος στις 12:00UTC (δεδομένα μέσα από το διακομιστή ECMWF). Στο μέσο επίπεδο της θάλασσας, το βαρομετρικό χαμηλό ήταν τοποθετημένο πάνω από την κεντρική Αδριατική Θάλασσα στις 12:00 UTC και συνδέθηκε με ένα ψυχρό μέτωπο (πάνω από τη δυτική Ελλάδα) μετακινούμενο ανατολικά. Στις 18:00 UTC η ανάλυση πίεσης του UKMO MSL έδειξε ότι το ψυχρό μέτωπο εκτεινόταν προς την Πελοπόννησο. Δορυφορικές εικόνες MSG-2 αποκάλυψαν συμπαγή σύννεφα (Cb) στις 17:00 UTC που σχετίζονται με το ψυχρό μέτωπο. Παρακάτω φαίνεται χρονικά όλη αυτή η διαδικασία που περιεγράφηκε.



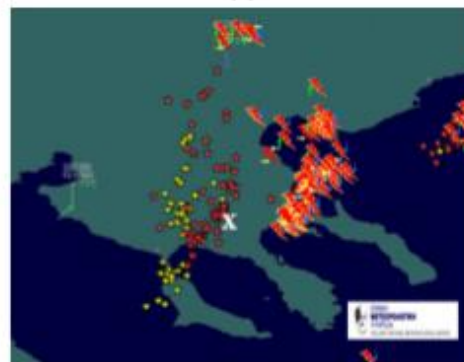
(a)



(b)



(c)



(d)

Σχήμα 7. Συνοπτική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας για τον ανεμοστρόβιλο στο Βράσταμα Χαλκιδικής. (Matsangouras et. al., 2011).

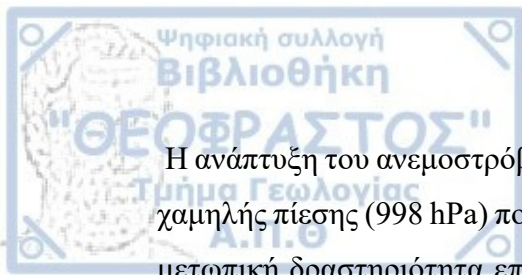
Στο Σχήμα 7 στην εικόνα a φαίνεται το ισοβαρικό χαμηλό πάνω από την Ιταλία στις 12:00 UTC, στη b φαίνεται πώς το ψυχρό μέτωπο εκτείνεται από τη βόρεια Ελλάδα στην Πελοπόννησο μέσω της περιοχής που πραγματοποιήθηκε ο ανεμοστρόβιλος, η c πρόκειται για μια δορυφορική φωτογραφία όπου αναπαριστά τα σύννεφα της περιοχής στις 17:30 UTC και στην d το λευκό "X" δηλώνει τη θέση του ανεμοστρόβιλου ενώ τα κίτρινα αστέρια, τα κόκκινα αστέρια και οι κόκκινες ακίδες δείχνουν τους κεραυνούς στις 17:00, 17:30 και 18:00 UTC, αντίστοιχα (Matsangouras et. al., 2011).

4.5 Ανεμοστρόβιλος στην Πελοπόννησο

Παρόμοιο γεγονός σίφωνα στην Ελλάδα ήταν ο ανεμοστρόβιλος στις 25 Μαρτίου 2009 στο χωριό Βάρδα, βορειοδυτικά της Πελοποννήσου, που χτύπησε την περιοχή στις 10:30 UTC. Η ένταση του χαρακτηρίστηκε ως T4-T5 (κλίμακα TORRO) και ως εκ τούτου προκάλεσε οικονομικό αντίκτυπο στην περιοχή της τάξης των 350.000 €.

Πιο αναλυτικά, σύμφωνα με τους Matsangouras et al., 2015, ο ανεμοστρόβιλος σχηματίστηκε 2 χλμ. νοτιοδυτικά του χωριού Βάρδα και ενώ άλλαξε πορεία έχοντας διεύθυνση νοτιοανατολική διέσχισε τα χωριά Νέα Μανολάδα και κατέληξε στο προάστιο του χωριού Λάπα. Η ταχύτητά του προσέγγισε τα 65 m/s, για αυτό άλλωστε χαρακτηρίστηκε ως T4-T5, και διήρκεσε 10-12 λεπτά εκτελώντας μια διαδρομή των 10 χιλιομέτρων. Οι ζημιές που προκάλεσε ανήλθαν στα 400.000 € περίπου και εντοπίστηκαν στις στέγες των κτιρίων, στα θερμοκήπια και στα αγροκτήματα. Για τη μελέτη του σίφωνα η συνοπτική ανάλυση βασίστηκε στα δεδομένα του ECMWF και η ανάλυση πραγματοποιήθηκε στο Εθνικό Κέντρο Περιβαλλοντικής Πρόβλεψης και στο Εθνικό Κέντρο Έρευνας για την Ατμόσφαιρα NCEP-NCAR σε συνεργασία με την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία HNMS.

Από συνοπτική άποψη, στο ισοβαρικό επίπεδο των 500 hPa εντοπίστηκε μία βαρομετρική σκάφη (trough) πάνω από το Ιόνιο Πέλαγος η οποία συνδέθηκε με ένα νοτιοδυτικό ρεύμα αέρα πάνω από τη βορειοδυτική Πελοπόννησο ενώ στο ίδιο επίπεδο, μια ψυχρή αέρια μάζα των -25°C πάνω από τη βορειοδυτική Πελοπόννησο με ένα θερμό βαρομετρικό θύλακα (thermal trough line) πάνω από τη δυτική Πελοπόννησο συνδέονται με θετικές ανωμαλίες του στροβιλισμού. Στο ισοβαρικό επίπεδο των 850 hPa προκλήθηκε ένας κυκλώνας στη βορειοδυτική Ελλάδα συνοδευόμενος από ένα trough line πάνω από το Ιόνιο υποδηλώνοντας ένα νοτιοδυτικό ρεύμα αέρα πάνω από τη βορειοδυτική Πελοπόννησο. Το ίδιο συνέβη και με την στάθμη των 950 hPa. Η αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από τη βορειοδυτική Πελοπόννησο στα 850 hPa διαχώρισε τη ψυχρή αέρια μάζα από τη θερμή και την υγρή. Η κατακόρυφη ανάλυση ανέμου σε ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa εμφάνισε ανοδικές ταχύτητες -0,6, -0,8, -0,4 και -0,2 Pa/s στη Βορειοδυτική Πελοπόννησο αντίστοιχα. Η ανάλυση απόκλισης και σύγκλισης στα 500 hPa, φανέρωσε μια περιοχή απόκλισης σε σχέση με τη βορειοδυτική Πελοπόννησο, ενώ στα χαμηλότερα ισοβαρικά επίπεδα η σύγκλιση εμφανίστηκε στα 850 και στα 925hPa.

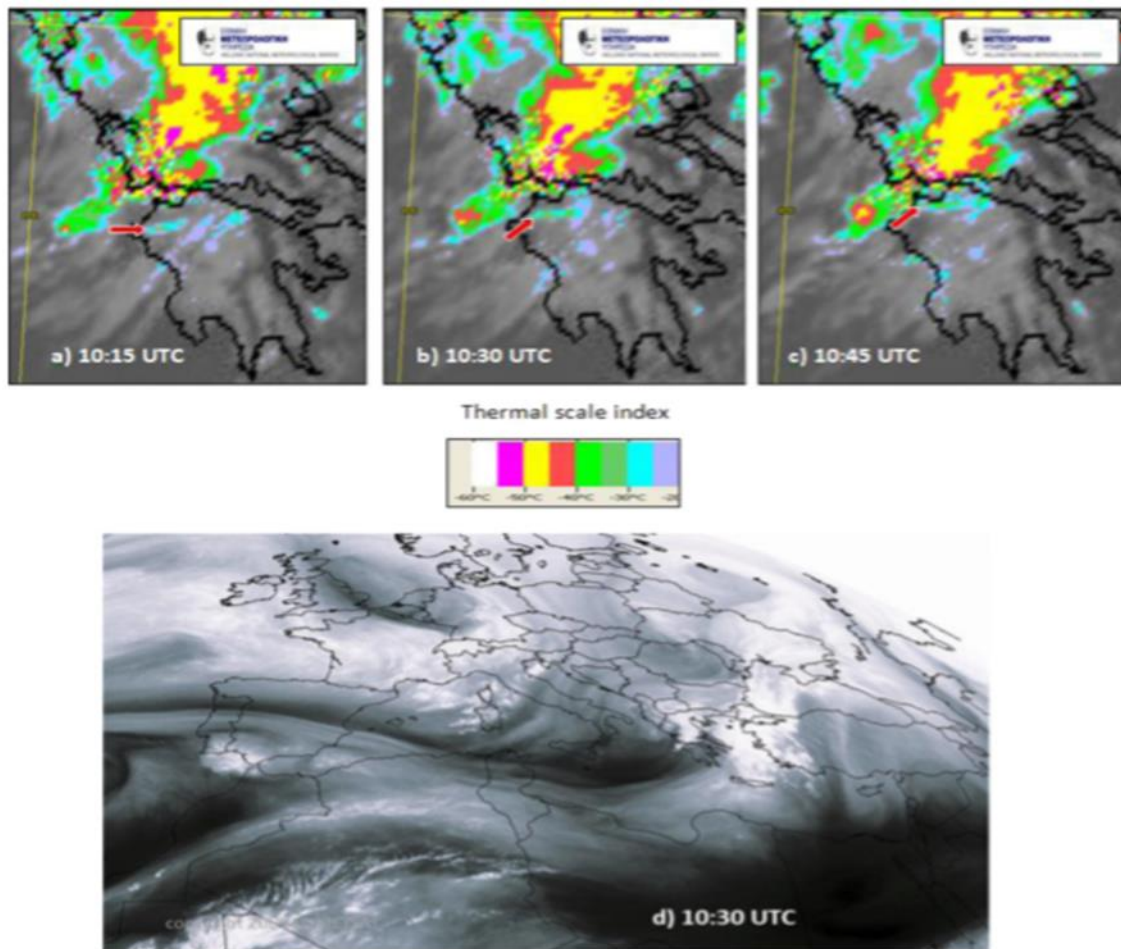


Η ανάπτυξη του ανεμοστρόβιλου χαρακτηρίστηκε από την παρουσία ενός συστήματος χαμηλής πίεσης (998 hPa) που βρέθηκε βόρεια του Κόλπου του Taranto. Έτσι, η ψυχρή μετωπική δραστηριότητα επεκτάθηκε από τη βορειοδυτική Ελλάδα στο βόρειο Ιόνιο Πέλαγος και πιο νότια πάνω από τη βόρεια Λιβύη. Παρατηρήσεις από τον μετεωρολογικό σταθμό LGAD έδειξαν έναν νοτιοδυτικό άνεμο ο οποίος έφτασε τους 21 κόμβους ο οποίος συνοδευόταν από βροχή ενώ η ατμοσφαιρική πίεση άρχισε να πέφτει.

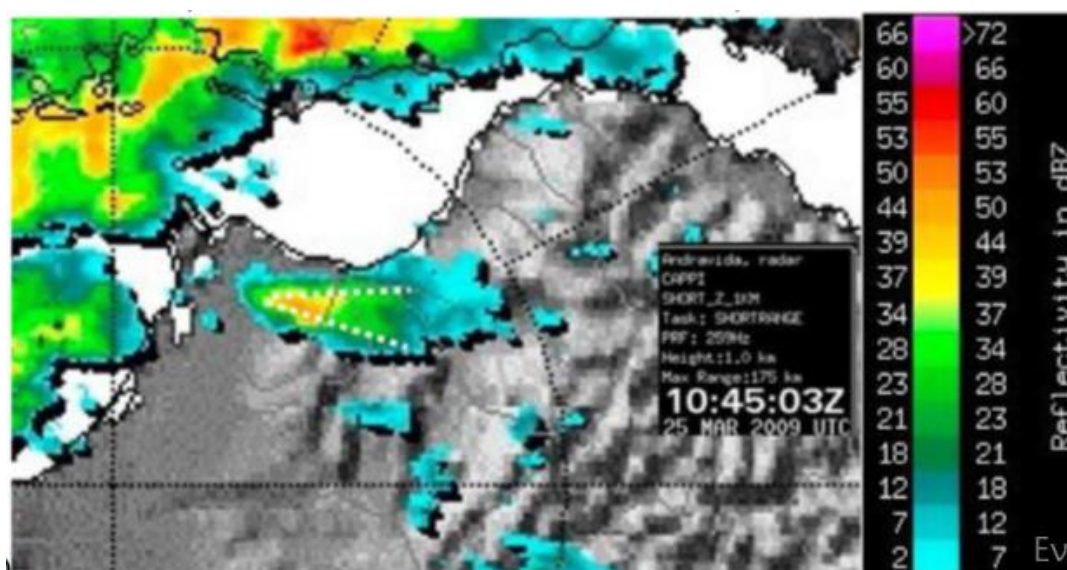
Σύμφωνα με τους Nastos & Matsangouras, 2014, εκτεταμένη σκάφη (broad trough) εμφανίστηκε στην ανατολική Ευρώπη πηγαίνοντας προς τα νότια της Ιταλίας και ένας κυκλώνας εγκαταστάθηκε στο Ιόνιο. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο σίφωνας συνοδεύτηκε από μετωπική δραστηριότητα.

Δορυφορικές εικόνες του Meteosat έδειξαν ισχυρές νοτιοδυτικές ροές ανέμου καθώς και μια ξηρή ζώνη (dry zone) η οποία εξαπλωνόταν ανατολικά και είχε σχέση με μια ξηρή εισχώρηση (dry intrusion) στα μέσα επίπεδα της τροπόσφαιρας. Τα σύννεφα συσσωρευόντουσαν καθώς το dry intrusion κατευθυνόταν προς την ακτή. Η συσσώρευση αυτή των νεφών συσχετίζεται με τη δημιουργία των σιφώνων. Τέλος είναι σημαντικό να αναφερθεί πως ο συγκεκριμένος ανεμοστρόβιλος είναι σχήματος V (Σχήμα 8 και 9).

Στη συνέχεια παρατίθενται φωτογραφίες από το δορυφόρο όπου φαίνεται η εξέλιξη του ανεμοστρόβιλου στις 10:15, 10:30, 10:45 UTC, ενώ στην τελευταία εικόνα φαίνεται μία ξηρή εισβολή.



Σχήμα 8. Δορυφορικές εικόνες με την εξέλιξη του ανεμοστρόβιλου (Matsangouras, et al. 2015)



Σχήμα 9. Οι άσπρες βούλες δείχνουν το σχήμα V του σίφωνα (Matsangouras et al., 2015).

4.6 Ισχυροί άνεμοι στη Λευκάδα

Το τελευταίο γεγονός ισχυρών ανέμων της δυτικής Ελλάδας που αναλύεται, έλαβε χώρα στις 10 Νοεμβρίου το 2007 στη Λευκάδα. Οι άνεμοι ήταν βορειοδυτικοί με ταχύτητα ανέμου που έφτασε μέχρι και τα 22,64 m/s.

Οι μετεωρολογικές συνθήκες καταγράφηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό «Davis» ο οποίος ήταν εγκατεστημένος στην ακτή σε ύψος 6 μέτρων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονες υδροδυναμικές μετρήσεις με τη χρήση ενός μετρητή παλίρροιας / κύματος καταγραφής, τοποθετημένο περίπου 40 εκατοστά πάνω από τον πυθμένα του νερού με βάθος 3 μέτρων. Οι μετρήσεις του αέρα της ευρύτερης περιοχής του βορειοανατολικού Ιονίου Πελάγους διερευνήθηκαν χρησιμοποιώντας τα αρχεία ανέμου (στα χρόνια 1961-2010) των παράκτιων μετεωρολογικών σταθμών της Ελληνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας στο Άκτιο και στην Ανδραβίδα, ενώ οι συνθήκες του αέρα κοντά στην ακτή του νησιού και οι ατμοσφαιρικές προβλέψεις βασίστηκαν στο Atmospheric Modelling & Weather Forecasting Group (AM & WFG) του πανεπιστημίου Αθηνών και στο ECMWF (εκδοχή WAM). Η θερμοκρασία της θάλασσας στη γειτονική ζώνη μετρήθηκε επίσης από το μετρητή στάθμης νερού, σε βάθος νερού 2,9 m. Για την τεκμηρίωση των επιπτώσεων που έφερε η καταιγίδα στην παραλία, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα προφίλ παραλίας στα οποία μελετήθηκαν τα τοπογραφικά τους χαρακτηριστικά. Αυτά τα προφίλ εξετάστηκαν εποχιακά (μεταξύ Απριλίου 2007 και Ιουνίου 2008), με τη χρήση του σταθμού NIKON A20, για την παρακολούθηση των τοπογραφικών αλλαγών της ακτής. Τα επιφανειακά δείγματα ιζημάτων συλλέχθηκαν από την ακτή σε κάθε προφίλ και έγινε η ανάλυση της κοκκομετρίας τους με τη χρήση κόσκινου, σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται από τον Folk (1974), προκειμένου να αποκαλυφθούν αλλαγές στην υφή του ιζήματος.

Σύμφωνα με τους Ghionis et al. (2015) οι μετεωρολογικές και συνοπτικές συνθήκες που επικράτησαν στην περιοχή της Λευκάδας αφορούσαν ένα σύστημα χαμηλών πιέσεων, ξεκινώντας με ένα βαρομετρικό χαμηλό στα 1021,5 hPa στις 06:00 UTC της 9ης Νοεμβρίου το οποίο έφτασε την τιμή των 1001,7 hPa στις 06:00 UTC της 10ης Νοεμβρίου, ακολουθούμενο από μια ταχεία αύξηση που έφτασε μέχρι και την τιμή των 1019,1 hPa στις 10:00 UTC της 11ης Νοεμβρίου. Το εν λόγω συμβάν ξεκίνησε με την εμφάνιση μιας καταιγίδας στη βόρεια ακτή της Λευκάδας στις 02:00 UTC 10 Νοεμβρίου με ταχύτητα ανέμου στα 7,6 m/s από τα δυτικά, η οποία αυξήθηκε γρήγορα

μέχρι την τιμή των 15,8 m/s από τα βορειοδυτικά στις 03:00 UTC. Κατά την περίοδο της ταχείας αύξησης της βαρομετρικής ύψησης που ακολούθησε, η ταχύτητα του ανέμου αυξήθηκε γρήγορα στα 21 m/s από τα βορειοδυτικά και παρέμεινε περίπου στα 20 m/s από την ίδια κατεύθυνση έως τις 15:30 UTC. Στη συνέχεια, η ταχύτητα του ανέμου άρχισε να μειώνεται, πέφτοντας στα 9,8 m/s με κατεύθυνση βόρεια στις 18:00 UTC και παρέμεινε μεταξύ 3,0 και 5,0 m/s μέχρι τις 21:00 UTC 10 Νοεμβρίου. Καθώς η βαρομετρική πίεση συνέχισε να αυξάνεται με χαμηλότερο ρυθμό έως τις 10:00 UTC της 11ης Νοεμβρίου, οι άνεμοι μεταβλήθηκαν από τις ανατολικές κατευθύνσεις με ταχύτητες μικρότερες από 2 m/s και παρέμειναν έτσι μέχρι που το συμβάν σταμάτησε στις 12:00 UTC 11 Νοεμβρίου.

Όσον αφορά την κατάσταση της θάλασσας, οι προαναφερθέντες ισχυροί βορειοδυτικοί άνεμοι που έπνεαν πάνω από το Βόρειο Ιόνιο και την Αδριατική Θάλασσα παρήγαγαν μεγάλα κύματα με ύψη που έφτασαν πάνω από 6 μέτρα στο ανοιχτό Ιόνιο Πέλαγος. Αυτά τα κύματα άρχισαν να φθάνουν στην παράκτια ζώνη της Βόρειας Λευκάδας στις 01:00 UTC 10 Νοεμβρίου, δημιουργώντας πλημμύρες στα βορειοδυτικά του νησιού. Η συνολική διάρκεια των συνθηκών θύελλας (ύψη κύματος > 1,6 m) στην παράκτια ζώνη της Βόρειας Λευκάδας διήρκεσε 22 ώρες, ενώ η συνολική διάρκεια των ισχυρών ανέμων κράτησε 39 ώρες.

Το αποτέλεσμα αυτών, ήταν η άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά 8 εκατοστά και η καταστροφή της παράκτιας περιοχής των παραλιών στο βόρειο τμήμα του νησιού. Επίσης άλλες επιπτώσεις του φαινομένου ήταν η μείωση του προφίλ της παραλίας και η μείωση της μέσης κλίσης της όψης της παραλίας λόγω της απομάκρυνσης των ιζημάτων από το άνω μέρος της παραλίας και τη μερική εναπόθεση στο κάτω μέρος της παραλίας. Εκτός από τα παραπάνω, το συμβάν καταιγίδας του Νοεμβρίου 2007 χαρακτηρίστηκε ως το πιο έντονο σε σχέση με οποιαδήποτε προηγούμενη καταιγίδα στο βόρειο τμήμα που έχει καταγραφεί κατά τη διάρκεια των σαράντα ετών λειτουργίας του μετεωρολογικού σταθμού του Ακτίου. Προς το παρόν, δεν είναι σαφές εάν οι παραπάνω αλλαγές στην κατεύθυνση, τη συχνότητα και την ένταση της καταιγίδας οφείλονται στην κλιματική αλλαγή ή σε μια δεκαδική μεταβλητότητα στο αιολικό καθεστώς του Ιονίου, που μπορεί να σχετίζεται με την ταλάντωση (Oscillation) του Βόρειου Ατλαντικού και τη Μεσογειακή ταλάντωση Ghionis et al. (2015).

Ανυπολόγιστες είναι οι επιπτώσεις που δημιουργούνται από έναν άλλο τύπο ανέμου που συναντάμε στον ελλαδικό χώρο ο οποίος είναι περισσότερο γνωστός και επηρεάζει τις ζωές τόσο των ανθρώπων και τις εργασίες τους όσο και τον τουρισμό της χώρας, οι λεγόμενοι Ετησίες, ή αλλιώς Μελέμια. Πρόκειται για ανέμους χαρακτηριστικής σταθερότητας που πνέουν στην κατώτερη ατμόσφαιρα στο βόρειο τμήμα διασχίζοντας το Αιγαίο κυρίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και των αρχών του φθινοπώρου, δηλαδή από τον Μάιο μέχρι τον Οκτώβριο.

Πιο συγκεκριμένα, πνέουν κυρίως βορειοανατολικά στο βόρειο Αιγαίο, βόρεια στο κεντρικό και νότιο Αιγαίο και βορειοδυτικά κοντά στις νοτιοδυτικές τουρκικές ακτές. (Αναγνωστοπούλου κ.ά., 2013). Η κύρια αιτία τους είναι ο συνδυασμός ενός συστήματος χαμηλής πίεσης που εκτείνεται από την Τουρκία στην βορειοδυτική Ινδία και ενός κέντρου υψηλής πίεσης στην Κεντρική και Νότια Ευρώπη (Metaxas & Bartzokas, 1993). Ο μέσος όρος των μέγιστων τιμών περιλαμβάνεται μεταξύ 15m/s και 17m/s στο νότιο Αιγαίο. Περιστασιακά, μπορεί να προκαλέσουν ξαφνικό άνεμο και έτσι να συνδέονται με βίαιη καταιγίδα. Αυτή είναι η πιο επικίνδυνη κατάσταση για το Αιγαίο και τον Σαρωνικό κόλπο και συμβαίνει όταν η κυκλοφορία συνδυάζεται με μια ροή ψυχρού αέρα σε ανώτερα επίπεδα από περισσότερα βόρεια γεωγραφικά πλάτη, ενώ στην επιφάνεια ο θερμός αέρας συνεχίζει να έλκεται γύρω από τη χαμηλή θερμότητα. Με το πέρασμά τους αυξάνουν την ταχύτητα της εξάτμισης και αυτό έχει ως αποτέλεσμα το αίσθημα δροσιάς πάνω μας (Χρονοπούλου-Σερέλη & Φλόκας, 2010).

Μερικές περιπτώσεις στις οποίες οι Ετησίες κάνουν αισθητή την παρουσία τους και κυριαρχούν δημιουργώντας, τυχόν, προβλήματα στις περιοχές του Ελλαδικού χώρου, συμβαίνουν στα νησιά του Αιγαίου. Μερικές επιπτώσεις τους είναι η πρόκληση προβλημάτων στη διέλευση πλοίων κατά τη διάρκεια της υψηλής τουριστικής περιόδου (Koletsis et al., 2009), το Σαρωνικό Κόλπο και την Αθήνα. Ειδικότερα, η σταθερή ταχύτητα του ανέμου αυτού επιτυγχάνει συχνά επιφανειακές τιμές που ξεπερνούν τα 15 μέτρα, με ριπές πάνω από 20-25 m/s που μπορούν να συμβάλουν στην ταχεία εξάπλωση των δασικών πυρκαγιών (Kotroni, 2001).

Ένα σημαντικό κριτήριο με βάση το οποίο επηρεάζονται οι Ετησίες είναι τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Το Αιγαίο Πέλαγος, και κυρίως το νότιο τμήμα του, είναι η πιο ανεμώδης περιοχή της Ελλάδας. Η πληθώρα των νησιών σε συνδυασμό με τους στενούς διαύλους που δημιουργούνται μεταξύ αυτών, καναλίζουν τον άνεμο (όπως θα αναλύσουμε αργότερα) και έχουν σαν αποτέλεσμα τη συνεχή αλλαγή του διανύσματος του ανέμου (Ρωσσιάδου κ.ά., 2002).

Το Αιγαίο περιβάλλεται από ψηλά βουνά στην ηπειρωτική Ελλάδα, τα νότια Βαλκάνια και την Τουρκία. Στο νότιο άκρο του Αιγαίου βρίσκεται το ορεινό νησί της Κρήτης, αλλά και διάφορα άλλα νησιά γύρω του. Όπως αναφέρθηκε από τους Brody & Nestor, 1989 αυτά τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά συνδυάζονται συχνά για να δημιουργήσουν τη διοχέτευση της ροής από τις παράκτιες κοιλάδες, τα κανάλια μεταξύ των νησιών και της ηπειρωτικής χώρας, καθώς και τα εμπόδια στα διάφορα ορεινά φράγματα. Επιπλέον, τα βουνά που είναι προσανατολισμένα κάθετα στην κατεύθυνση των Ετησίων (π.χ. τα βουνά της Κρήτης) εμποδίζουν τη ροή και δίνουν ήρεμες θάλασσες στην πλευρά των πρόποδων, ενώ κατά την ξηρασία από τις παράκτιες κοιλάδες παρατηρούνται συχνά ισχυροί τοπικοί άνεμοι. Οι Metaxas & Bartzokas, 1994 μέσα από μελέτες έδειξαν ότι τον Ιούλιο και τον Αύγουστο η συχνότητα των ετησίων εξαρτάται από την πίεση στην κεντρική Μεσόγειο και την Κεντρική Ευρώπη, με κέντρο στη βόρεια Αδριατική ή την πρώην Γιουγκοσλαβία. Η υψηλή πίεση στις περιοχές αυτές αντιστοιχούσε σε υψηλή συχνότητα εμφάνισης των ανέμων αυτών. Σύμφωνα με τους Repapis et al., 1978 και Τριτάκης, 1984, οι Ετησίες στο Αιγαίο εμφανίζονται όταν ένα σύστημα χαμηλής πίεσης βρίσκεται στο κεντρικό Ιράκ σε συνδυασμό με ένα κέντρο υψηλής πίεσης στην περιοχή των βόρειων Βαλκανίων-κεντρικής Ευρώπης, ενώ σύμφωνα με τον Pezzoli, 2005 για το Σαρωνικό κόλπο, Ετησίες εμφανίζονται όταν η κυκλοφορία συνδυάζεται με μια ροή ψυχρού αέρα σε ανώτερα επίπεδα από τα βόρεια γεωγραφικά πλάτη, ενώ ταυτόχρονα στην επιφάνεια ο θερμός αέρας συνεχίζει να έλκεται γύρω από τη χαμηλή θερμότητα. Αυτός ο συνδυασμός καθιστά την ατμόσφαιρα εξαιρετικά ασταθής με αποτέλεσμα την εμφάνιση έντονων καταιγίδων (Burroughs & Lynagh, 1999). Αρκετά στοιχεία για την αλληλεπίδραση των ετησίων με τα τοπογραφικά στοιχεία δεν υπάρχουν γιατί δεν υπάρχουν λεπτομερείς μετρήσεις παρά μόνο συνοπτικές μετρήσεις πάνω από τα νησιά του Αιγαίου και κάποιες μετρήσεις πλοίων. Ωστόσο έχουν καταγραφεί μεμονωμένες

περιπτώσεις, με μερικά συμβάντα ετησίων στο Αιγαίο, στο Σαρωνικό κόλπο και την περιοχή της Αθήνας.

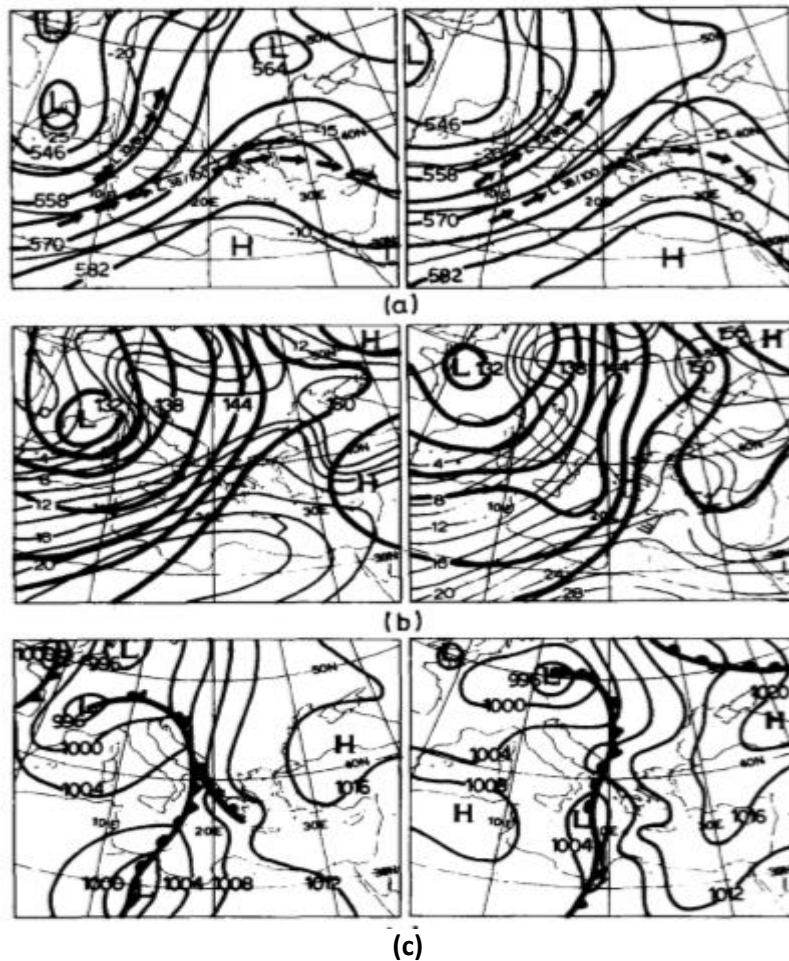
5.2 Ετησίες στο Αιγαίο

Ένα καταγεγραμμένο συμβάν κατά το οποίο παρατηρήθηκαν υψηλές ταχύτητες ανέμων έλαβε χώρα στο Αιγαίο στις 18 Ιουλίου το 1998. Τα δεδομένα προέρχονται από μετρήσεις αέρος που συλλέγονται από το ευρωπαϊκό σύστημα ERS-2, οι οποίες περιλαμβάνουν λεπτομέρειες μεσαίας κλίμακας καθώς και κάλυψη δεδομένων σε μεγάλες θαλάσσιες περιοχές χωρίς σταθμούς παρακολούθησης της επιφάνειας (π.χ. θαλάσσια περιοχή γύρω από την Κρήτη). Επιπλέον πραγματοποιήθηκαν αριθμητικές προσομοιώσεις μεγάλης χωρικής ανάλυσης με τη βοήθεια του υδροστατικού μοντέλου Bologna Limited Area (BOLAM).

Το γεγονός που περιγράφεται ξεκίνησε το πρωί της 18ης Ιουλίου 1998 με βόρειο άνεμο που ξεπερνούσε τα 10 m/s πάνω από το Αιγαίο και μέγιστο άνεμο ο οποίος σημειώθηκε στις 21 Ιουλίου με ριπή ανέμου που έφτανε τα 21 m/s. Οι παρατηρήσεις για να θεωρηθούν ακριβείς, επιλέχτηκε να παρθούν από το σταθμό της Νάξου όπου οι άνεμοι είναι πιο αντιπροσωπευτικοί. Ο άνεμος κατέγραψε την εξής πορεία: στις 19 Ιουλίου παρατηρήθηκε ένα σύστημα χαμηλής πίεσης στη νότια Τουρκία με βαρομετρικό χαμηλό στα 1006 hPa πάνω από τη νοτιοδυτική Τουρκία. Αυτό θεωρείται ότι είναι αποτέλεσμα μια θερμικής επέκτασης από τη Ασία λόγω υπερθέρμανσης του εδάφους. Οι συνοπτικές μετρήσεις από τη Νάξο έδειξαν 14 m/s παρατεταμένου ανέμου εντός της χρονικής περιόδου 06:00-12:00 UTC, με ριπές ανέμου να φθάνουν τα 18 m/s στις 09:00 UTC. Στα 300 hPa το γεωδυναμικό ύψος οριοθετείται δίνοντας δυτικούς ανέμους. 24 ώρες αργότερα το βαρομετρικό χαμηλό της νοτιοδυτικής Τουρκίας εμβάθυνε στα 1004 hPa καθώς η βαροβαθμίδα στο Αιγαίο γινόταν όλο και πιο έντονη. Στη συνέχεια ακολούθησαν έντονοι άνεμοι με ριπή ανέμου που έφτασε ως τα 21 m/s. Τέλος παρατηρήθηκε μία βαρομετρική σκάφη (trough) στο ανατολικό τμήμα της τάξης των 500 hPa ενώ μια βαρομετρική σφήνα (ridge) κυριαρχούσε στο Ιόνιο Πέλαγος. Σύμφωνα με τους Brody and Nestor, 1989, αυτή η δομή είναι τυπική κατά τη δημιουργία ενός καθεστώτος ετησίων.

κέντρο τη βορειοδυτική Λιβύη και πίεση κάτω από τα 1000 hPa. Αυτή η βαρομετρική ύφεση βρισκόταν σε μια χαμηλή τροποσφαιρική ζώνη, καθώς η θερμική βαθμίδα των 850 hPa μετακινούνταν νοτιοανατολικά. Ζεστά και κρύα μέτωπα που σχετίζονται με την κινούμενη βαρομετρική ύφεση έφτασαν στην Κρήτη. Στις επόμενες 12 ώρες το κρύο μέτωπο εντατικοποιήθηκε και κινήθηκε με μεγαλύτερη ταχύτητα προς τα ανατολικά ενώ ταυτόχρονα, πραγματοποιήθηκε αντικυκλογένεση στην νοτιοδυτική Τουρκία στην κατώτερη τροποσφαιρική ροή. Η δημιουργία αντικυκλώνα, σε συνδυασμό με την βαρομετρική ύφεση που προχωρούσε προς την Κρήτη, είχε ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της βαροβαθμίδας μπροστά από την βαρομετρική ύφεση. Αυτό ενέτεινε τον προσανατολισμό των θερμών και ξηρών αέριων μαζών της Βόρειας Αφρικής στην κατώτερη τροπόσφαιρα. Στις 12:00 UTC στις 16 Μαΐου 1984 ένα θερμό μέτωπο στα 850 mbar πέρασε πάνω από την Κρήτη, ενώ ο άνεμος άλλαξε κατεύθυνση, έγινε νότιος και ισχυρότερος. Αυτή η παραλλαγή είχε ως αποτέλεσμα το εύρος της ζεστής και ξηρής μάζας πάνω από την Κρήτη τουλάχιστον στα 850 mbar.

Η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας νότια της Κρήτης ήταν 17-18 ° C κατά την περίοδο από 11 έως 17 Μαΐου 1984 ενώ οι θερμοκρασίες στους παράκτιους σταθμούς της Λιβύης Μπενίνα και Τομπρούκ κυμάνθηκαν, στις 16 Μαΐου 1984, από 22 ° C έως τη μέγιστη τιμή των 34 ° C περίπου. Ο άνεμος που πνέει στην περιοχή λέγεται σιρόκος. Είναι νότιος άνεμος και μεταφέρει τον ζεστό, ξηρό αέρα από τη Λιβύη προς τα βόρεια πάνω από τη ψυχρή θάλασσα. Αυτός ο αέρας ψύχεται από κάτω και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία της ανάστροφης θερμοκρασίας. Η ροή υδρατμών από τη θάλασσα παγιδεύεται κάτω από την αναστροφή αφήνοντας τον αέρα πάνω τόσο ξηρό όσο ήταν πάνω από την έρημο της Σαχάρας.



Σχήμα 10. Συνοπτική κατάσταση στις 0000 UTC (αριστερά) και 1200 UTC (δεξιά) στις 16 Μαΐου 1984.

Στην (α) εμφανίζεται η χωρική κατανομή των πιέσεων - γεωδυναμικών στα 500 hPa, στην (b) στα 850 hPa. Οι χοντρές γραμμές δείχνουν τα ψυχρά και θερμά μέτωπα στις ισοβαρικές των (α) 6 dam και (β) 3 dam. Οι λεπτές γραμμές είναι οι ισοθερμικές για κάθε (α) 2 °C και (β) 5 °C. (c) ισοβαρικές για τη μέση πίεση της στάθμης της θάλασσας στα 4 hPa. Τα έντονα βέλη στο (α) δείχνουν τη θέση του κύριου άξονα του jet stream. (Prezerakos, 1991).

Η συνοπτική κατάσταση που περιγράφεται παραπάνω φαίνεται να είναι ευνοϊκή για γεγονότα με πολύ χαμηλή υγρασία στη βόρεια Κρήτη κατά τη διάρκεια της άνοιξης και δίνει ικανοποιητική επεξήγηση για την άφιξη του ζεστού και πολύ ξηρού αέρα που προέρχεται απευθείας από την έρημο της Σαχάρας πάνω από το πολύ ορεινό έδαφος της Κρήτης. Η αντικατάσταση του υγρού και ψυχρού επιφανειακού αέρα της Μεσογείου, που συνήθως βρίσκεται στις ακτές της βόρειας Κρήτης, από αυτόν τον



ζεστό, εξαιρετικά ξηρό αέρα στις 16 Μαΐου 1984, αποδίδεται στην ανατροπή της ροής λόγω των ορεινών όγκων που βρίσκονται στην Κρήτη.

Η ροή του αέρα διένυσε την εξής πορεία: το πρωί της 16ης Μαΐου ο άνεμος ήταν ασθενής με νοτιοανατολική κατεύθυνση και ταχύτητα 5 κόμβων. Στις 10:50 UTC εμφανίζεται η πρώτη ριπή ανέμου που έφτασε στους 30 κόμβους ενώ η ριπή ανέμου έφτασε μέχρι και τους 55 κόμβους στις 24:00 UTC. Η θερμοκρασία κυμάνθηκε από τους 26.8 °C μέχρι τους 31 °C ενώ η μέση σχετική υγρασία με τιμή 7,7 %, έφτασε μέγιστο στο 19 %. Έτσι ο άνεμος χαρακτηρίστηκε ως μέτριος- ισχυρός και ξηρός. Στον πίνακα παρακάτω φαίνεται η εξέλιξη του ανέμου κατά τη διάρκεια της ημέρας (τι ταχύτητα είχε και πίεση ανά μία ώρα).

Πίνακας 3: Χρονική κατανομή της ροής του ανέμου σε σχέση με την πίεση και την ταχύτητα ανέμου στις 16 Μαΐου. (Prezerakos, 1991)

Ώρα σε UTC	Πίεση σε mbar	Μέση ταχύτητα ανέμου σε κόμβους (kn)
10:00	1012	15
11:00	1012	25
12:00	1012	25
13:00	1011	15
14:00	1010	25
15:00	1010	10
16:00	1010.5	15
17:00	1011	15
18:00	1011	25
19:00	1011	25
20:00	1011	15
21:00	1009	35
22:00	1009	25
23:00	1010.5	35
24:00	1009	35

Ο πιθανός μηχανισμός για την παραγωγή της πολύ χαμηλής υγρασίας που παρατηρήθηκε στο Ηράκλειο στις 16 Μαΐου 1984 φαίνεται να είναι η ροή πολύ ξηρού και ζεστού αέρα που προέρχεται απευθείας από τη Σαχάρα σε όλη την οροσειρά της Κρήτης. Αυτός ο αέρας, που συνήθως είναι πολύ θερμότερος από τη θάλασσα κατά την άνοιξη, ψύχθηκε από κάτω, δημιουργώντας αναστροφή θερμοκρασίας επιφανείας. Αυτή η αναστροφή ανέστειλε την κατακόρυφη ροή των υδρατμών και εμπόδισε τον ατμοσφαιρικό αέρα στη στήλη να εμπλουτιστεί με υγρασία εκτός από ένα πολύ ρηχό στρώμα. Ο αέρας από το νότο έφτασε στην Κρήτη, αφήνοντας το χαμηλό τροποσφαιρικό, υγρό, ρηχό στρώμα του στην πλευρά της οροσειράς που πνέει ο άνεμος. Αυτό το μπλοκάρισμα, σε συνδυασμό με το ύψος της οροσειράς, δημιούργησε ισχυρούς καταβατικούς ανέμους στο Ηράκλειο.

5.3 Ετησίες στο Σαρωνικό κόλπο

Εκτός από το Αιγαίο και τα νησιά του, μια άλλη περίπτωση όπου οι Ετησίες κάνουν την εμφάνισή τους (μαζί με τη θαλάσσια αύρα) και δημιουργούν έντονους ανέμους βρίσκεται στο Σαρωνικό Κόλπο. Ο Σαρωνικός κόλπος αποτελεί εγκόλπωση του Αιγαίου που ορίζεται βόρεια από τις ακτές του νομού Αττικής, βορειοδυτικά και δυτικά από τις ακτές της Μεγαρίδας, του νομού Κορινθίας και νοτιοδυτικά από τις ακτές του νομού Αργολίδος. Σύμφωνα με τον Pezzoli, 2005 η θαλάσσια αύρα που επηρεάζει τη δυτική ακτή της χερσονήσου της Αττικής μαζί με τους Ετησίες, μπορούν να συγκλίνουν στην παράκτια ζώνη της χερσονήσου της Αττικής, με αποτέλεσμα η ταχύτητα του ανέμου της βαροβαθμίδας να κυμαίνεται ανάλογα με την ταχύτητα του θερμικού ανέμου (thermal wind).



Σχήμα 11. Ο Σαρωνικός κόλπος. Τα βέλη δείχνουν την κύρια κατεύθυνση της θαλάσσιας αύρας στα νοτιοδυτικά και των ετησίων στα βορειοανατολικά (Pezzoli, 2005).

Πιο αναλυτικά: όπως αναφέρθηκε ο Pezzoli, 2005, ανάμεσα στην περιοχή που βρίσκεται νότια και νοτιοδυτικά της Τουρκίας και των μεγάλων πιέσεων στο βόρειο τμήμα του Αιγαίου και στη χερσόνησο των Βαλκανίων, μια θερμική ροή μπορεί να αποκατασταθεί από νότια σε βορειοανατολική. Μετρήσεις του αεροδρομίου «Ελληνικό», κοντά στην περιοχή, δείχνουν ότι ο άνεμος στην ανώτερη ατμόσφαιρα στα 800 m είναι ισχυρότερος από 7 m/s και φυσάει πάντα από βόρεια ή βορειοανατολικά «χτυπώντας» την περιοχή της Αθήνας. Στην επιφάνεια, το πρωί, ο άνεμος είναι γενικά αδύναμος και φυσάει βόρεια- βορειοανατολικά, δυναμώνει πάνω από τη θάλασσα και φτάνει στους λόφους, αλλάζοντας πορεία και κατεύθυνση και αργά το απόγευμα ξαναεμφανίζεται από το βορρά. Η θερμοκρασία της επιφανείας κατά το καλοκαίρι είναι περίπου 35°C το απόγευμα, φτάνοντας μερικές φορές 40-43°C, ενώ η θερμοκρασία της θάλασσας είναι περίπου 25°C. Αυτή η απόκλιση της θερμοκρασίας δημιουργεί ακριβώς πάνω από τη θάλασσα ένα λεπτό στρώμα αέρα στο οποίο η θερμοκρασία αυξάνεται με το υψόμετρο (θερμική αναστροφή). Αυτό το λεπτό στρώμα σταθερά επιβραδύνει τους Ετησίες στη θάλασσα, ακόμη και πολύ κοντά στην ακτή.



Αυτό το φαινόμενο της θερμικής αναστροφής εξηγεί τη δημιουργία περιοχών ηρεμίας στη θάλασσα.

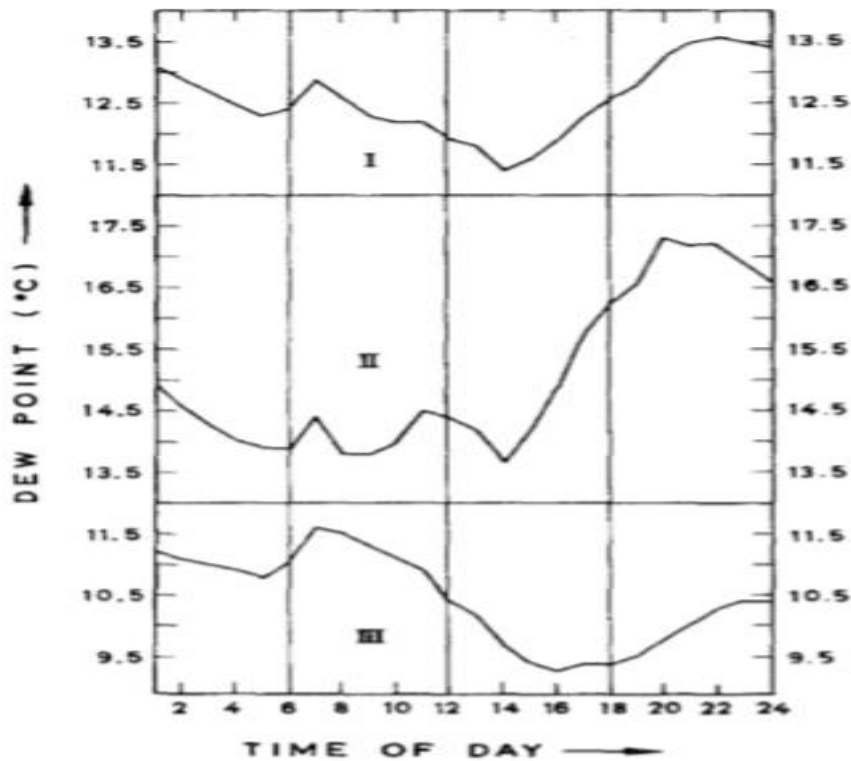
Όταν οι Ετησίες είναι αδύναμοι (λιγότερο από 5 m/s στην ανώτερη ατμόσφαιρα) και καθώς είναι ζεστοί, δεν μπορούν να αποτρέψουν τη θαλάσσια αύρα που πνέει από τα νοτιοδυτικά να φτάσει στη νοτιοδυτική παράκτια ζώνη της Αττικής. Αργά το απόγευμα, η μείωση της θερμοκρασίας οδηγεί σε ενδυνάμωση του ετησία, που ωθεί πίσω τη θαλάσσια αύρα μπροστά στην ανοικτή θάλασσα (A. Pezzoli, 2005).

5.4 Ετησίες και ανεμοστρόβιλος στην Αθήνα

Όπως είναι αναμενόμενο, η ύπαρξη των Ετησίων στο Σαρωνικό κόλπο και στο Αιγαίο, επηρεάζει και την πόλη των Αθηνών, ειδικά για τους θερινούς μήνες. Είναι πολύ πιθανό κατά τη διάρκεια της μέρας, οι Ετησίες να διακόπτονται από τη θαλάσσια αύρα και το αντίθετο. Πρόκειται για θερμότερους και ξηρότερους ανέμους σε σχέση με τη θαλάσσια αύρα και πνέουν στην πόλη κυρίως τον Ιούλιο, τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο (Karapiperis 1963). Σύμφωνα με προηγούμενη μελέτη του ίδιου ερευνητή (Karapiperis, 1953), οι Ετησίες μπορούν να εμφανιστούν μέχρι και για 19 ημέρες παρατεταμένα κατά τη διάρκεια του Ιουλίου, του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου. Συγκεκριμένα, ο μέσος όρος ημερών για το 1893-1937 όπου οι άνεμοι Ετησίες πνέουν ασταμάτητα είναι 4,6 για τον Μάιο, 5,3 για τον Ιούνιο, 12,1 για τον Ιούλιο, 13,4 για τον Αύγουστο, 10,6 για τον Σεπτέμβριο και 6,0 για τον Οκτώβριο.

Σύμφωνα με παρατηρήσεις που έγιναν στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, όπου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα και στοιχεία για τον υπολογισμό των τιμών σημείου δρόσου αλλά και δεδομένα που υπολογίστηκαν με τη βοήθεια των τύπων Lambert, η θαλάσσια αύρα στην Αθήνα φυσά σχεδόν πάντα από τα νοτιοδυτικά όλες τις εποχές. Εμφανίζεται ειδικά στη ζεστή περίοδο κατά τη διάρκεια των ημερών που λείπουν ατμοσφαιρικές διαταραχές. Η θαλάσσια αύρα ξεκινάει συνήθως 3 ή 4 ώρες μετά την ανατολή του ηλίου, φτάνει στο μέγιστό της το απόγευμα και σταδιακά μειώνεται μέχρι το ηλιοβασίλεμα, όταν σταματά εντελώς. Πιο συχνά εμφανίζεται τον Μάιο, τον Ιούνιο και τον Οκτώβριο, που είναι οι μήνες με μικρή συχνότητα εμφάνισης των Ετησίων. Η μέση συχνότητα της θαλάσσιας αύρας κατά τους χειμερινούς μήνες είναι, συνήθως, μικρή, και ένας ολόκληρος μήνας μπορεί να περάσει την εμφάνιση θαλάσσιας αύρας. Αυτό συνέβη σε 25 από τους 120 θερινούς μήνες που μελετήθηκαν.

Παρακάτω (Σχήμα 12), φαίνεται η μέση ημερήσια πορεία του ανέμου για τον Ιούλιο του 1921-1930. Το I αντιπροσωπεύει τις μέρες του Ιουλίου, το II δείχνει τις μέρες μόνο με θαλάσσια αύρα, και το III δείχνει τις μέρες που πνέουν μόνο Ετησίες. Ο οριζόντιος άξονας δείχνει το χρόνο μες τη μέρα και η κάθετος το σημείο δρόσου σε βαθμούς Κελσίου.



Σχήμα 12. Ημερήσια πορεία του ανέμου στην Αθήνα για την χρονική περίοδο 1921-1930. (Karapiperis, 1964).

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, η καμπύλη III απεικονίζει την ημερήσια πορεία του σημείου δρόσου για τις ημέρες του Ιουλίου στις οποίες φυσούν μόνο οι Ετησίες άνεμοι, όπου παρουσιάζεται μια διπλή διακύμανση, η οποία διαφέρει από την καμπύλη όλων των ημερών I. Έτσι, το κύριο μέγιστο στις μέρες που φυσάει ο άνεμος των Ετησίων, διαρκεί για 7 ώρες ενώ μπορεί να παρατηρηθεί μεγάλη διακύμανση στις καμπύλες I και III. Αυτή η ημερήσια διακύμανση του σημείου δρόσου με τους Ετησίες ανέμους διαφέρει επίσης ουσιαστικά από εκείνη των ημερών με θαλάσσια αύρα που φαίνονται στη καμπύλη II. Το σχήμα απεικονίζει το πόσο διαφορετική είναι η επίδραση



της θάλασσας αύρας στην Αθήνα και των Ετησίων στην ημερήσια πορεία του σημείου δρόσου. (Karapiperis, 1964)

Η ημερήσια πορεία του σημείου δρόσου κατά τον Ιούλιο στην Αθήνα δείχνει μια διπλή διακύμανση (καμπύλη I), όπου οι μέσες τιμές των ακραίων τιμών συμβαίνουν τις απογευματινές ώρες. Όταν η ημερήσια πορεία του σημείου δρόσου σε μέρες, όπου επικρατεί μόνο η θαλάσσια αύρα, είναι κατά μέσο όρο τον Ιούλιο, φαίνεται από την καμπύλη II του σχήματος ότι υπό την επίδραση της θαλάσσιας αύρας η διπλή διακύμανση της ημερήσιας πορείας του σημείου δρόσου γίνεται τριπλή.

Ωστόσο, εκτός από τη θαλάσσια αύρα και τους Ετησίες, στην Αθήνα έχει καταγραφεί ένα γεγονός σίφωνα στην περιοχή του αεροδρομίου της Αθήνας (Διεθνής Αερολυμένας, Ελευθέριος Βενιζέλος) στις 27 Ιουλίου το 2002. Πιο συγκεκριμένα, ο σίφοντας ξεκίνησε στις 10:20 UTC και χαρακτηρίστηκε ως T4 (Torro Scale) δηλαδή ισχυρός ανεμοστρόβιλος. Η συνοπτική ανάλυση έγινε από το European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) και το NCEP/NCAR .

Σύμφωνα με τους Matsangouras & Nastos, 2010 ο ανεμοστρόβιλος σχηματίστηκε μετά την εμφάνιση ισχυρής καταιγίδας που προκλήθηκε από ασταθείς ατμοσφαιρικές συνθήκες στα νοτιοδυτικά της Αθήνας. Η καταιγίδα εντοπίστηκε πρώτα στις 09:30 UTC πάνω από τον Σαρωνικό κόλπο (νότια της Αθήνας και καθώς ενισχύθηκε, άρχισε να κινείται 2 χιλιόμετρα αλλάζοντας κατεύθυνση στα βορειοανατολικά διασχίζοντας το αεροδρόμιο προκαλώντας αρκετές ζημιές. Εν συνεχεία, ενώ αποδυναμώθηκε, σχημάτισε ένα σύννεφο σε σχήμα «χωνί» στον ουρανό που υποδηλώνει τη διάχυση του ανεμοστρόβιλου. Αν και το γεγονός του ανεμοστρόβιλου διήρκεσε μόνο 10 λεπτά, προκάλεσε αρκετές ζημιές σε κατασκευές του αεροδρομίου, κατά τη διέλευσή του, αλλά και τη μετακίνηση ενός σταθμευμένου αεροπλάνου. Επίσης αναχωρήσεις και αφίξεις ακυρώθηκαν για προληπτικούς λόγους καθώς ο ανεμοστρόβιλος θα δημιουργούσε αναταράξεις στις πτήσεις.

Το γεγονός χαρακτηρίστηκε από ένα ισοβαρικό χαμηλό των 500 hPa που σχετίζεται με χαμηλές θερμοκρασίες στην περιοχή ενδιαφέροντος προκαλώντας μια ανώτερη ροή αέρα στα νοτιοδυτικά. Η κυκλωνική κυκλοφορία ήταν στο επίπεδο των 700 hPa φτάνοντας στα 850 hPa από το επίπεδο της θάλασσας (MSL) προκαλώντας έναν

βορειοδυτικό αεροχείμαρρο στην περιοχή, (Matsangouras & Nastos, 2010). **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Τις τελευταίες δεκαετίες τα ακραία κλιματικά φαινόμενα συγκεντρώνουν ολοένα και περισσότερο το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, εξαιτίας των σημαντικών επιπτώσεών τους στο περιβάλλον, στα οικοσυστήματα, στη γεωργία, στην οικονομία, στη ναυτιλία και στον τουρισμό. Ειδικότερα, τα φαινόμενα ισχυρών ανέμων που τοποθετούνται στο επίκεντρο της παρούσας εργασίας, αποτελούν μια φυσική καταστροφή που συνδέεται με έντονες βροχοπτώσεις, καταστροφή κτηματικών περιουσιών, σοβαρές επιπτώσεις στον τουρισμό, ακόμα και με αφαίρεση ανθρώπινης ζωής. Ως εκ τούτου, δεδομένα που έχουν καταγραφεί σε ολόκληρο, σχεδόν, τον πλανήτη, φαινόμενα ισχυρών ανέμων φαίνεται να έχουν καθοριστικό αντίκτυπο σε κοινωνικοοικονομικό επίπεδο. Τα καθημερινά συστήματα πρόγνωσης καιρού προσελκύουν σαφώς το ενδιαφέρον του κοινού, καθώς μεγάλο μέρος του προγραμματισμού της καθημερινής ζωής των πολιτών εξαρτάται από τις προβλέψεις τους. Απεναντίας, τα συστήματα παρακολούθησης καιρού σε πραγματικό χρόνο και οι αναφορές καιρού συγκεντρώνουν πολύ μικρότερο μερίδιο του δημοσίου συμφέροντος. Ωστόσο, αυτές οι υπηρεσίες παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για όλους, μετεωρολογικούς εμπειρογνώμονες και κοινούς ανθρώπους, οι οποίοι, όχι μόνο ανατρέχουν με αυξημένο ενδιαφέρον στα ακραία καιρικά γεγονότα του παρελθόντος, αλλά παρακολουθούν από κοντά και στις τρέχουσες καιρικές συνθήκες.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι τα ακραία καιρικά φαινόμενα δεν καθορίζονται καθολικά. Οι περισσότεροι ορισμοί που σχετίζονται με τη θερμοκρασία, όπως τα κύματα θερμότητας ή οι ακραίες συνθήκες παγετού, αναφέρονται στον παρατηρούμενο ημερήσιο μέσο όρο και / ή τις ελάχιστες / μέγιστες τιμές τους (Karavokiros, 2013).

Στρέφοντας την προσοχή στα εγχώρια δεδομένα, τα πιο αξιοσημείωτα φαινόμενα ισχυρών ανέμων εντοπίζονται στην Κεντρική και Δυτική Ελλάδα. Το γεγονός αυτό μπορεί να ερμηνευτεί εστιάζοντας σε συγκεκριμένες συνθήκες και τοπογραφικά στοιχεία που τις καθιστούν πιο επιρρεπείς σε τέτοια περιστατικά ακραίων μετεωρολογικών φαινομένων. Πέραν των τοπικών ανέμων όμως, λαμβάνουν χώρα και εξαιρετικά ακραία φαινόμενα όπως οι γνωστοί σε όλους ανεμοστρόβιλοι, είτε μεγάλης είτε μικρής κλίμακας. Παρ' όλο που η χώρα μας δεν έχει πληγεί από τέτοιο είδους

έντονα καιρικά γεγονότα, καθόσον τουλάχιστον προκύπτει από τις μέχρι τώρα γνώσεις μας επί του θέματος, δεν σημαίνει ότι είναι αδύνατο να συμβούν μελλοντικά, καθώς συνοπτικές διαδικασίες ορίζουν ικανή τη δημιουργία τους. Εκτός από συνοπτικές διαδικασίες όμως, τοπογραφικά χαρακτηριστικά σε κάθε γωνία της Ελλάδας, είναι ικανά να ορίσουν τις κλιματολογικές και καιρικές συνθήκες που δύναται να επικρατήσουν στη χώρα, για παράδειγμα τα όρη και τα βουνά μπορούν να ανακάμψουν (όπως είδαμε παραπάνω στις αντίστοιχες αναφορές) και να τροποποιήσουν τη ροή των ανέμων.

Οι πολυάριθμες έρευνες κλιματολόγων και επιστημόνων σε συναφή πεδία έχουν αποδείξει την αυξητική τάση των εμφανίσεων των έντονων ανέμων, χωρίς αυτό να συνεπάγεται πάντα με την ορθή και έγκυρη πρόβλεψή τους. Αναφορικά με τα ακραία φαινόμενα, καμία πρόγνωση αυτών δεν μπορεί να είναι 100% ακριβής και αξιόπιστη. Ωστόσο, η εμφάνιση ισχυρών ανέμων και τυφώνων τόσο στα δυτικά της Ελλάδος, όσο και στα νησιά του Αιγαίου παρουσιάζει αυξητική τάση τα τελευταία χρόνια. Η πρόγνωση επικεντρώνεται στην εκτίμηση και την ανάλυση ακραίων ταχυτήτων ανέμου βάσει δύο μεθόδων: το μέγιστο όριο και το ετήσιο μέγιστο. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή είναι παρατηρήσεις από σταθμούς τοποθετημένους στα ελληνικά νησιά και η μοντελοποίηση τους αποθηκεύεται σε μια βάση δεδομένων (P. Patlakas et al., 2016). Επομένως, όπου υπάρχουν ενδείξεις για εμφάνιση ακραίων φαινομένων, τα μέτρα ασφαλείας πρέπει να είναι αυστηρά και οι αρχές να βρίσκονται σε συνεχή επαγρύπνηση και επικοινωνία με τους αρμόδιους φορείς που παρακολουθούν τις καιρικές αλλαγές στις περιοχές αυτές, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για τουριστικά θέρετρα.



ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν συνοπτικά και κλιματικά τα ακραία φαινόμενα ανέμων στην Ελλάδα μαζί με τις επιπτώσεις τους. Πιο συγκεκριμένα, ερευνήθηκαν οι άνεμοι που κατέγραψαν ριπή ανέμου πάνω από 10 m/s , τιμή που τους χαρακτηρίζει ως «ισχυρούς».

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με έντονη και περίπλοκη τοπογραφία και μορφολογία. Βρίσκεται σε σημείο που δέχεται τα καιρικά και κλιματικά χαρακτηριστικά της Μεσογείου και των Βαλκανίων κυρίως. Ως εκ τούτου, υπάρχουν κάποιοι άνεμοι που πνέουν για συγκεκριμένους μήνες όλο το χρόνο και σε συγκεκριμένα μέρη της χώρας μας. Αυτοί οι άνεμοι είναι ο Βαρδάρης και οι Ετησίες ή αλλιώς μελέμια. Παρ' όλα αυτά, έχουν καταγραφεί φαινόμενα ανέμων με ακραίες ταχύτητες αλλά και φαινόμενα ανεμοστρόβιλων- τυφώνων.

Η συγκεκριμένη πτυχιακή έχει ως κύριο μέλημά της την ανάλυση αυτών των ανέμων. Ειδικότερα στο τρίτο κεφάλαιο έγινε πλήρης αναφορά για τα χαρακτηριστικά του Βαρδάρη αλλά και ένα γεγονός που συνέβη και έχουν καταγραφεί μεγάλες ταχύτητες ανέμου. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύθηκαν εκτενώς τα γενικά χαρακτηριστικά των τυφώνων, ανεμοστρόβιλων και σιφώνων αλλά και οι ιδιαίτερες περιπτώσεις τους με τις ακραίες τιμές τους ενώ η ίδια αναφορά έγινε και στο πέμπτο κεφάλαιο για τους Ετησίες. Μια ακόμη αναφορά διεξήχθη για την πρόβλεψη της «ανεμοστροβιλικής» δραστηριότητας.

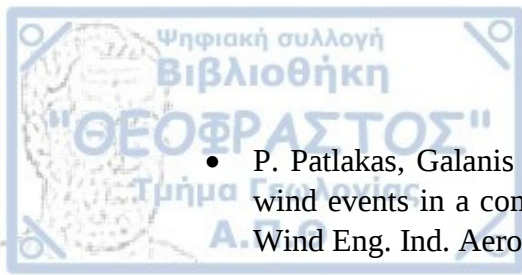
Στόχος αυτής της εργασίας ήταν να γίνει η γνωστοποίηση όλων αυτών των δεδομένων και καταγραφών και ίσως η αρχή για μια έρευνα που αφορά την ακριβή πρόβλεψη και έγκυρη αλλά και έγκαιρη πρόγνωση των έντονων ανέμων για την αποφυγή τόσο των οικολογικών και υλικών καταστροφών όσο και της απώλειας ζωής.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Anagnostopoulou C., Zanis P., Katragkou E., Tegoulas I., Tolika K., 6 September 2013, "Recent past and future patterns of the Etesian winds based on regional scale climate model simulations"
- Bagiorgas H.S., Mihalakakou G. & Matthopoulos D., 28 Feb 2008, International Journal of Green Energy, 5:1-2, 120-137, DOI: 10.1080/15435070701839488 To link to this article: <https://doi.org/10.1080/15435070701839488>, "A Statistical Analysis of Wind Speed Distributions in the Area of Western Greece"
- Chronis T., Papadopoulos & Nikolopoulos E. I., 27 July 2010, Hellenic Center for Marine Research (HCMR), 46.7 km Athens-Sounion Avenue, 19013 Anavyssos, Greece, "QuickSCAT observations of extreme wind events over the Mediterranean and Black Seas during 2000–2008"
- Chronis T., Papadopoulos V. & Nikolopoulos E. I., Hellenic Center for Marine Research (HCMR), INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY Int. J. Climatol. 31: 2068–2077 (2011) Published online 13 September 2010 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.2213, "QuickSCAT observations of extreme wind events over the Mediterranean and Black Seas during 2000–2008"
- DAFKA S., TORETI A., LUTERBACHER J., ZANIS P., TYRLIS E., XOPLAKI E., 2 February 2018, "Simulating Extreme Etesians over the Aegean and Implications for Wind Energy Production in Southeastern Europe"
- Dafka S., Xoplaki E., Toreti A., Zanis P., Tyrlis E., Zerefos C., Luterbacher J., 28 November 2015, "The Etesians: from observations to reanalysis"
- Della-Marta P. M. , Mathis H., Frei C., Liniger M. A., Kleinn J & Appenzellera C, 11 December 2008, "The return period of wind storms over Europe"



- P. Patlakas, Galanis G., Barranger N., Kallos G., 7 January 2016, "Extreme wind events in a complex maritime environment: Ways of quantification", J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 149 (2016) 89–101
- Ghionis G., Poulos S., Kampanis N., Verikiou E., Karditsa A., Alexandrakis G., Andris P., Faculty of Geology and Geoenvironment, Department of Geography and Climatology, National and Kapodistrian University of Athens, Zografou, Athens, Greece, Institute of Applied and Computational Mathematics, Heraklion, Crete, 2008, "The effects of a severe storm event on the NW coast of Lefkada Island, Ionian Sea (Greece)."
- GHIONIS G., POULOS S.E., VERYKIOU E., KARDITSA A., ALEXANDRAKIS G. & ANDRIS P. Department of Geography and Climatology, Faculty of Geology and Geoenvironment, University of Athens, Zografou, 15784 Athens, Greece, 14 September 2015, "The Impact of an Extreme Storm Event on the Barrier Beach of the Lefkada Lagoon, NE Ionian Sea (Greece)"
- Gkarakis K., Zigras D., Tsikoti I., Sioutas M., 2015, RES Lab, Department of Energy Technology Engineering, Technological Educational Institute of Athens (TEI Athens), Energy and Bioclimatic Design Department, Municipality of Thessaloniki, ELGA -Meteorological Applications Centre, Airport Macedonia, "Extreme weather phenomena in Greece: Tornadoes and waterspouts. An unknown threat for windfarms"
- HELMIS C. G., ASIMAKOPOULOS D. N., PAPADOPOULOS K. H., KASSOMENOS P., KALOGIROS J. A., PAPAGEORGAS P. G. & BLIKAS S., Department of Applied Physics, University of Athens, Panepistimioupolis, Athens, Greece, August 1997, "AIR MASS EXCHANGE BETWEEN THE ATHENS BASIN AND THE MESSOGIA PLAIN OF ATTICA, GREECE", PII: S1352--2310(97)00169-6
- Karavokiros G., Baltas E. & Mimikou M., April 2013, "Identification of extreme weather phenomena in near real-time" Laboratory of Hydrology and Water Resources, National Technical University of Athens
- KARAPIPERIS P. P., General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics in Berkeley, California, August 19-31, 1963, National



Observatory of Athens and University of Athens, Greece, '' The Influence of Sea Breeze and Etesian Winds on the Diurnal March of Dew Point at Athens, Greece''

- KARAPIPERIS P. P., National Observatory of Athens and University of Athens, 1953, ''CHARACTERISTICS OF LOCAL WINDS AT ATHENS, GREECE''
- KATSOULIS B.D., AMBEZIDIS H. D., Department of Physics, laboratory of Meteorology, University of Ioannina Ioannina, Greece, Meteorological Institute, National Observatory of Athens, 27 June 1986, '' Surface Winds and Horizontal Mesoscale Wind Spectra in Athens, Greece. ''
- Koletsis I., Giannaros T.M., Lagouvardos K., Kotroni V., National Observatory of Athens, Institute for Environmental Research and Sustainable Development, 29 December 2015, Athens, Greece, '' Observational and numerical study of the Vardaris wind regime in northern Greece''
- Koletsis I., Lagouvardosa K., Kotronia V., Bartzokas A., National Observatory of Athens, Institute of Environmental Research and Sustainable Development, Athens, Greece, University of Ioannina, Laboratory of Meteorology, Department of Physics, Ioannina, 20 May 2009, '' Numerical study of a downslope windstorm in Northwestern Greece''
- KOTRONI V., LAGOUVARDOS K. & LALAS D., National Observatory of Athens, Greece 9 April 2001, '' The effect of the island of Crete on the Etesian winds over the Aegean Sea'', Q. .I. R. Meteorol. SOC. (2001), 127, pp. 1917-1937
- Matsangouras I. T. , Nastos P. T., Bluestein H. B. & Sioutas M. V., Laboratory of Climatology and Atmospheric Environment, 2014, Faculty of Geology and Geoenvironment, University of Athens, Greece, School of Meteorology, University of Oklahoma, Norman, OK, USA, ELGA – Meteorological Applications Centre, Airport Macedonia, Thessaloniki, Greece, '' A climatology of tornadic activity over Greece based on historical records''
- Matsangouras I.T., Nastos P.T., Pytharoulis I., Laboratory of Climatology and Atmospheric Environment, Faculty of Geology and Geoenvironment, University of Athens, University Campus GR15784, 23 August 2015 Athens,



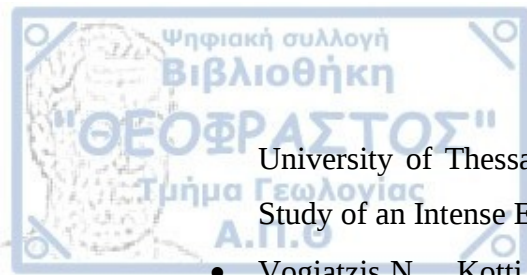
Greece Hellenic National Meteorological Service, Hellinikon GR 16777, Department of Meteorology and Climatology, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, University Campus, GR 54124, Thessaloniki, Greece, '' Study of the tornado event in Greece on March 25, 2009: Synoptic analysis and numerical modeling using modified topography''

- Matsangouras I. T. & Nastos P. T., 12 March 2010, Laboratory of Climatology and Atmospheric Environment, Faculty of Geology and Geoenvironment, University of Athens, Panepistimiopolis, Athens, Greece, '' The 27 July 2002 tornado event in Athens, Greece''
- Matsangouras I. T. , Nastos, P. T. & Pytharoulis I., Laboratory of Climatology and Atmospheric Environment, Faculty of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Greece, Department of Meteorology and Climatology, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, Greece, 20 July 2011, '' Synoptic-mesoscale analysis and numerical modeling of a tornado event on 12 February 2010 in northern Greece''
- Metaxas D. A. and Bartzokas A. November 15, 1993, Pressure Covariability over the Atlantic, Europe and N. Africa. Application: Centers of Action for Temperature, Winter Precipitation and Summer Winds in Athens, Greece, Laboratory of Meteorology, Department of Physics, University of Ioannina, Greece
- Nastos P. T. & Matsangouras I. T., 7 July 2010, Laboratory of Climatology and Atmospheric Environment, Faculty of Geology and Geoenvironment, University of Athens, Panepistimiopolis, 157 84 Athens, Greece, '' Tornado activity in Greece within the 20th century''
- Nastos P. T. & Matsangouras I. T., Laboratory of Climatology and Atmospheric Environment, Faculty of Geology and Geoenvironment, University of Athens, University Campus, 15784, Athens, Greece, 10 September 2014, '' Analysis of synoptic conditions for tornadic days over western Greece''
- Papagiannaki K., Lagouvardos K. & Kotroni V., Institute of Environmental Research and Sustainable Development, National Observatory of Athens,



Athens, Greece, 20 March 2013, `` A database of high-impact weather events in Greece: a descriptive impact analysis for the period 2001–2011``

- Pezzoli A., 7 June 2005, DITIC, Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italy, `` Observation and analysis of etesian wind storms in the Saroniko Gulf``
- Poupkou A., Zanis P., & Nastos P., Papanastasiou D., Melas D., Tourpali K. & Zerefos C., 30 April 2011, `` Present climate trend analysis of the Etesian winds in the Aegean Sea``
- PREZERAKOS N. G., Hellenic National Meteorological Service, Athens, 1991, `` AN EXCEPTIONAL EVENT OF DOWNSLOPE WINDS ASSOCIATED WITH EXTREMELY LOW HUMIDITY IN CRETE``
- Sioutas M. V., 28 March 2003, ELGA-Meteorological Applications Center, International Airport Macedonia, 55103 Thessaloniki, Greece, `` Tornadoes and waterspouts in Greece``
- Sioutas M. V., ELGA—Meteorological Applications Centre, International Airport Macedonia, 55103 Thessaloniki, Greece, 17 August 2010, ``A tornado and waterspout climatology for Greece``
- Tsopouridis L., Pytharoulis I., Karacostas T., Zanis P. & Tegoulis I., Department of Meteorology and Climatology, School of Geology, Aristotle



University of Thessaloniki, Thessaloniki 54124, Greece, 2012, “Numerical Study of an Intense Episode of Vardaris Wind”

- Vogiatzis N. , Kotti K., Spanomitsios S.& Stoukides M., 29 November 2003, “Analysis of wind potential and characteristics in North Aegean, Greece”

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

- ΕΓΚΥΚΛΟΠΑΙΔΕΙΑ “ΤΟ ΒΗΜΑ”, COPYRIGHT ΠΑΠΥΡΟΣ ΓΡΑΦΙΚΑΙ ΤΕΧΝΑΙ ΑΕ
- Λαζαρίδης Μ., 2016, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ΄, “Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας”
- Μακρογιάννης Τ. Ι., Σαχσαμάνογλου Χ. Σ., Εκδόσεις ΧΑΡΙΣ, “ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ
- Μπαλαφούτης Χ. Ι., Μαχαίρας Π. Χ., ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΓΙΑΧΟΥΔΗ, “ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ”
- Χρονοπούλου- Σερέλη ΑΙ., Φλόκας Α. Α., Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2010, “ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ”

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

<https://www.meteo.gr/pdf/anemostrovilos.pdf>

<http://www.torro.org.uk/tscale.php>