



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΑΓΓΕΛΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΥ

**ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΨΥΧΡΗΣ ΕΙΣΒΟΛΗΣ ΤΟΥ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ ΤΟΥ 2019 ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2022**





ΑΓΓΕΛΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΥ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5411

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΨΥΧΡΗΣ ΕΙΣΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ ΤΟΥ
2019 ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Ιωάννης Πυθαρούλης, Αναπλ. Καθηγητής

© Άγγελος Θεοδώρου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΨΥΧΡΗΣ ΕΙΣΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ ΤΟΥ
2019 ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ – Διπλωματική Εργασία

© Angelos Theodorou, School of Geology, Dept. of Meteorology and Climatology,
2022

All rights reserved.

SYNOPTIC STUDY OF THE JANUARY 2019 COLD INVASION IN
THESSALONIKI – Bachelor Thesis



Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: Ξημέρωμα στις 05 Ιανουαρίου 2019 στο Μόδι Θεσσαλονίκης, έπειτα από σφοδρή χιονόπτωση.



Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Σκοπός της εργασίας	7
1.2. Ψυχρές εισβολές και χιονόπτωση	7
1.3. Ψυχρές εισβολές, παγετός και εγκλωβισμός ψύχους	8
1.4. Χιονοπτώσεις στην Βόρεια Ελλάδα	9
1.5. Συνοπτική κυκλοφορία σε περιπτώσεις χιονοπτώσεων στην Θεσσαλονίκη	10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο. ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

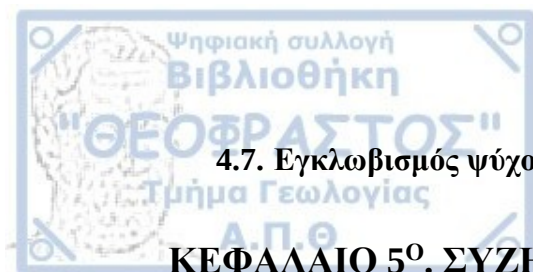
2.1. Περιορισμοί	12
2.2. Δεδομένα	12
2.3. Μετεωρολογικοί σταθμοί και περιοχές μελέτης	13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

3.1. Δορυφορικές εικόνες χιονοκάλυψης	16
3.2. Θερμοκρασία 2μ	22
3.3. Εκτιμώμενα ύψη χιονιού και χάρτες νετού	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

4.1. Θερμοκρασία στα 850 hPa	55
4.2. Γεωδυναμικά ύψη στα 500 hPa και πίεση στην μέση στάθμη της θάλασσας	65
4.3. Πάχος στρώματος 1000 – 500 hPa	71
4.4. Υγρασία και Άνεμος στα 700 hPa	76
4.5. Ισόθερμη των 0°C (Iso 0°C)	87
4.6. Άνεμος στην επιφάνεια	88



4.7. Εγκλωβισμός ψύχους

91

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

94

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

97

ABSTRACT

97

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός της εργασίας

Η συγκεκριμένη εργασία πραγματεύεται τη μελέτη μιας έντονης ψυχρής εισβολής, η οποία έλαβε χώρα τον Ιανουάριο του 2019 και επηρέασε κυρίως την βόρεια Ελλάδα, προκαλώντας πυκνές χιονοπτώσεις με μια ταυτόχρονη, απότομη πτώση της θερμοκρασίας.

Ο λόγος για τον οποίο πραγματοποιείται αυτή η εργασία αφορά, αφενός, την απουσία οποιασδήποτε άλλης μελέτης για το συγκεκριμένο συμβάν και, αφετέρου, το γεγονός ότι πρόκειται για ένα σπάνιο συνδυασμό καιρικών φαινομένων.

Εάν και το σύνηθες είναι οι χιονοπτώσεις να συμβαίνουν στην Βόρεια Ελλάδα κυρίως κατά τον μήνα Ιανουάριο (Λιβαδάς και Στεργίου, 1975), όπως και στην περίπτωση της παρούσας μελέτης, το αξιοσημείωτο της εν λόγω περίπτωσης ήταν το μεγάλο ύψος χιονιού που παρατηρήθηκε σε πολλές περιοχές της Βόρειας χώρας, ιδίως στα ανατολικά τμήματα της Κεντρικής Μακεδονίας, όπως θα συζητηθεί αργότερα, και η παράταση των χιονοπτώσεων για μερικές ημέρες ακόμη, παρά την αποχώρηση του ψύχους.

Για τον λόγο αυτό, η εργασία εστιάζει περισσότερο στα αποτελέσματα της ψυχρής εισβολής στον Νομό Θεσσαλονίκης, ο οποίος φαίνεται να επηρεάστηκε σε ιδιαίτερα σημαντικό βαθμό συγκριτικά με άλλες περιοχές της Βόρειας Ελλάδας.

Για παράδειγμα, το ύψος του χιονιού στην παραθαλάσσια περιοχή της Ασπροβάλτας και των Νέων Βρασμών (στα Ανατολικά τμήματα του Νομού Θεσσαλονίκης) σύμφωνα με κατοίκους της περιοχής, ξεπέρασε το πρωινό της 6^{ης} Ιανουαρίου τα 35 εκατοστά, κάτι το οποίο είχε να συμβεί από τον Δεκέμβριο του 2001. Σε άλλες πεδινές περιοχές το πάχος του χιονιού ξεπέρασε τα 50 εκατοστά, ενώ η χιονοκάλυψη διατηρήθηκε για περίπου τρεις (3) εβδομάδες.

Αξίζει να αναφερθεί ότι η εργασία εστιάζει περισσότερο στα αίτια και τα αποτελέσματα που προκάλεσε το ίδιο το φαινόμενο του χιονιού και όχι τόσο στις συνέπειες που μπορεί να προκάλεσε ο ισχυρός παγετός ανά περιοχές.

1.2 Ψυχρές Εισβολές και Χιονόπτωση

Οι χιονοπτώσεις οι οποίες προκύπτουν σε χαμηλά υψόμετρα στη χώρα μας συνδέονται άρρηκτα με το φαινόμενο της ψυχρής εισβολής.

Γενικά, ορίζεται ως ψυχρή εισβολή η γρήγορη κίνηση πολύ ψυχρού αέρα σε περιοχές από υψηλότερα σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη (όπως για παράδειγμα από τον Βόρειο Πόλο στην ΝΑ Μεσόγειο) (Βάρφη 2009). Συχνά, μπορεί να θεωρηθεί ακραία εάν είναι μεγάλης διάρκειας και να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην οικονομία και την κοινωνία (Anagnostopoulou et al., 2017).

Στην ουσία, η μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της θερμής μεσογείου και του ψυχρού εσωτερικού της Ευρώπης, κατά τους χειμερινούς μήνες, ενισχύει την κάθοδο ψυχρών αερίων μαζών (Λιβαδάς 1955), οι οποίες συναντώντας τις θερμές

μάξες της χώρας μας προκαλούν τον σχηματισμό μετώπων κακοκαιρίας (Κυριαζόπουλος 1948). Ο Prezerakos (1990) παρατήρησε ότι άνοδος μιας μεγάλης κλίμακας αντικυκλωνικής ράχης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην δημιουργία βαρομετρικών χαμηλών στην περιοχή της Μεσογείου. Σε συνδυασμό με χαμηλές θερμοκρασίες μπορούν να προκληθούν χιονοπτώσεις στην Ελλάδα, όπως συμπεράνε και ο Γιαννουλάκης (2014) στην μελέτη του για το φαινόμενο της χιονόπτωσης στην Θεσσαλονίκη. Το ίδιο παρατηρείται και για την περιοχή της Βορειοδυτικής Ελλάδας, όπου οι χιονοπτώσεις συνδέονται με την ύπαρξη αντικυκλώνα στην Δυτική – Βορειοδυτική Ευρώπη και βαρομετρικού χαμηλού στο Ιόνιο Πέλαγος (Dafis et. al., 2015).

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι δεν απαιτείται πάντα κάποια σημαντική ψυχρή εισβολή για να προκληθούν χιονοπτώσεις σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Σύμφωνα με τον Κυριαζόπουλο (1948), στα όρη της Μακεδονίας, εντοπίζονται χιόνια άνω των 1000μ. σχεδόν ολόκληρο τον χειμώνα και άνω των 2000μ. από τον Οκτώβριο έως τον Μάιο. Στον Όλυμπο, μάλιστα, σημειώνονται κατά μέσο όρο τρία (3) φαινόμενα χιονοπτώσεων κάθε καλοκαίρι, άνω των 2500 μέτρων (Sahsamanoglou, 1989). Βέβαια, με τις σταδιακές μεταβολές του κλίματος που βιώνουμε, ίσως να μην ισχύουν επακριβώς αυτά για την σημερινή εποχή, ωστόσο, η γενική ιδέα είναι ότι είναι συχνό φαινόμενο η εμφάνιση χιονοπτώσεων στα ορεινά της βόρειας Ελλάδας. Η μελέτη εστιάζει στα μεγάλα ύψη χιονιού που παρατηρήθηκαν σε πεδινές και παραθαλάσσιες περιοχές.

Άλλο ένα σημαντικό στοιχείο για τις ψυχρές εισβολές, είναι το ότι δεν προκαλούν πάντα και παντού φαινόμενα χιονόπτωσης, παρά μόνο μια σημαντική πτώση της θερμοκρασίας. Ουκ ολίγες είναι οι περιπτώσεις όπου μια ισχυρή ψυχρή εισβολή, Σιβηρικής προέλευσης παραδείγματος χάρη, κινείται προς το Αιγαίο Πέλαγος, προκαλεί χιονοπτώσεις σε περιοχές όπως η Εύβοια, η Ανατολική Στερεά Ελλάδα και η Ανατολική Πελοπόννησος (Prezerakos and Angouridakis, 1984), αλλά στην Μακεδονία και την Θράκη ο καιρός είναι αίθριος (βέβαια με εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες), π.χ. Ιανουάριος 2002 (Lagouvardos and Kotroni, 2002), Φεβρουάριος 2008 (Louka et al., 2010), Φεβρουάριος 2021 (E.M.Y., 2021).

1.3 Ψυχρές εισβολές, παγετός και εγκλωβισμός ψύχους

Αποτελεί γεγονός ότι η θέρμανση και η ψύξη της ατμόσφαιρας γίνεται από την επιφάνεια της γης και όχι άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία (Μαχαιράς και Μπαλαφούτης, 1985). Αυτό συμβαίνει καθώς το έδαφος είναι καλύτερος αγωγός της θερμότητας από ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας.

Έτσι, είναι φυσικό η θερμοκρασία να ελλατώνεται καθώς αυξάνεται η απόσταση από το έδαφος.

Παρόλα αυτά, υπάρχει η περίπτωση υπό ειδικές συνθήκες η θερμοκρασία στα χαμηλότερα υψόμετρα να είναι χαμηλότερη από την θερμοκρασία υψηλότερα, κάτι το οποίο ονομάζεται θερμοκρασιακή αναστροφή (Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου, 2004).

Οι θερμοκρασιακές αναστροφές θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικές για την συγκεκριμένη μελέτη, καθώς προσφέρουν αποτελεσματική εξήγηση για φαινόμενα

ακραία χαμηλών θερμοκρασιών, αλλά και τη διατήρηση τους για κάποιο εύλογο χρονικό διάστημα.

Για παράδειγμα, υπό ήρεμες καιρικές συνθήκες (όπως για παράδειγμα όταν επικρατεί άπνοια και απουσιάζουν οι νεφώσεις), είναι εφικτό ο αέρας που βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος να ψυχθεί πιο γρήγορα από τον υπερκείμενο αέρα. Η απουσία νεφώσεων είναι σημαντικός παράγοντας για να παρατηρηθεί το εν λόγω φαινόμενο, μιας και έτσι ευνοείται η απώλεια θερμότητας από το έδαφος εξαιτίας της ακτινοβολίας του. Στην περίπτωση ύπαρξης νέφωσης η θερμότητα εγκλωβίζεται και αδυνατεί να διαφύγει στα υψηλότερα τμήματα της ατμόσφαιρας.

Επιπρόσθετα, δεδομένου ότι ο ψυχρός αέρας είναι πιο βαρύν και πιο πυκνός από τον θερμό αέρα, συμβαίνει συχνά να κατέρχεται αυτός ο κρύος αέρας από τις πλαγιές και τις κορυφές γειτονικών βουνών στην βάση της κοιλάδας που βρίσκεται αμέσως χαμηλότερα.

Έτσι, κατά την διάρκεια ψυχρών εισβολών, υπό αίθριες συνθήκες, είναι πολύ συχνό φαινόμενο να παρατηρούνται ακραία χαμηλές θερμοκρασίες και παγετός σε περιοχές που βρίσκονται στις βάσεις κοιλάδων.

Εν συνεχεία της προηγούμενης αναφοράς, ότι είναι συχνό να κατέρχεται ψυχρός αέρας σε κοιλάδες από γειτονικά βουνά, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να αναφερθεί η παρακάτω παρατήρηση.

Ο ψυχρός αέρας, ο οποίος είναι βαρύν και πυκνός από την φύση του, κατέρχεται στις κοιλάδες και εξαιτίας της γεωμορφολογίας τους, μπορεί να εγκλωβιστεί εκεί για αρκετές ώρες, ανεξάρτητα των αλλαγών που μπορεί να προκύψουν στις μετεωρολογικές συνθήκες (Ahrens, 1998).

Έτσι, μετά το πέρας μιας ψυχρής εισβολής, είναι δυνατόν να εγκλωβιστεί ένα τμήμα του ψύχους στη βάση μιας κοιλάδας για κάποιο χρονικό διάστημα, ενώ στις πλαγιές και κορυφές βουνών το ψύχος αυτό θα έχει ήδη αποχωρήσει.

1.4 Χιονοπτώσεις στην Βόρεια Ελλάδα

Το αξιοσημείωτο με την Βόρεια Ελλάδα είναι ότι τις περισσότερες ημέρες χιονόπτωσης τις έχει ο Ιανουάριος και ότι όταν χιονίζει, σχεδόν πάντα υπάρχει χιονόστρωση (Λιβαδάς και Στεργίου, 1975). Μάλιστα, σύμφωνα με τον Κυριαζόπουλο (1948), οι ημέρες χιονόστρωσης ξεπερνούν τις ημέρες χιονόπτωσης, κάτι που προδίδει την άμεση σύνδεση των χιονοπτώσεων με τις ψυχρές εισβολές, οι οποίες φαίνεται να έχουν μια κάποια σχετική διάρκεια στο βόρειο κομμάτι της χώρας, όταν αυτές συμβαίνουν.

Παρά το γεγονός ότι η Ελλάδα είναι μια πολύ μικρή χώρα, είναι διαφορετικοί οι μηχανισμοί με τους οποίους προκαλούνται χιονοπτώσεις στα διάφορα τμήματά της.

Για την εκδήλωση χιονόπτωσης σε μια περιοχή, απαιτείται η ανατροφοδότηση με κάποια ποσά υγρασίας της ψυχρής αέρας μάζας. Αυτό μπορεί να συμβεί, λόγω χάρη, με την ύπαρξη μιας κακοκαιρίας κοντά στην ψυχρή μάζα.

Σύμφωνα με τους Trigo et al. (2002), στην περιοχή της Μεσογείου, δημιουργούνται τέτοιες κακοκαιρίες συχνά κατά τους χειμερινούς μήνες στον κόλπο της Γένοβας (Δυτικά της Ιταλίας) και στο Αιγαίο Πέλαγος.

Έχει παρατηρηθεί (Γιαννουλάκης 2014) ότι κακοκαιρίες προερχόμενες από τα δυτικά, σε συνδυασμό με ψυχρές αέριες μάζες από Βορρά, είναι υπεύθυνες για την πρόκληση φαινομένων χιονόπτωσης στην βόρεια χώρα, σε αντίθεση με την ανατολική και νότια χώρα, η οποία ευνοείται περισσότερο με χιονοπτώσεις εάν η κακοκαιρία δημιουργηθεί στο Αιγαίο.

Βάσει παρατηρήσεων του Κυριαζόπουλου (1948), στην Ελλάδα, οι χιονοπτώσεις είναι συχνότερες και ισχυρότερες όσο πιο βόρεια και εσωτερικά αυτής, κάτι το οποίο δεν συνδέεται μόνο με την προέλευση των κακοκαιριών που αναφέρθηκε, αλλά και με την ορειογραφία ενός τόπου. Σύμφωνα με τον ίδιο, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν τα εξής:

- Προσανατολισμός
- Σχήμα βουνού
- Μέγεθος ορεινού όγκου
- Απόσταση από την θάλασσα

Η Ελλάδα έχει γενικά ορεινό ανάγλυφο και τέτοιες τοπικότητες στα φαινόμενα χιονοπτώσεων είναι εμφανείς. Το σημαντικό είναι ότι η απουσία σημαντικών ορεινών όγκων από βορρά διευκολύνει την κάθοδο κυμάτων ψύχους (Λιβαδάς 1955).

1.5 Συνοπτική κυκλοφορία σε περιπτώσεις χιονοπτώσεων στη Θεσσαλονίκη

Για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, τα φαινόμενα χιονοπτώσεων κατά το παρελθόν φαίνεται να συνδέονται με συγκεκριμένους τύπους καιρού. Με λίγα λόγια, η προέλευση και η τροχιά των κακοκαιριών, αλλά και των ψυχρών αερίων μαζών, φαίνονται ανά περίπτωση να ακολουθούν συγκεκριμένα μοτίβα.

Σύμφωνα με τον Γιαννουλάκη (2014), στην μελέτη του για το φαινόμενο της χιονόπτωσης στην πόλη της Θεσσαλονίκης, φαίνεται ότι αυτοί οι τύποι καιρού είναι τέσσερις:

- Βορειοδυτική Κυκλοφορία (North - West), η οποία είναι και η πιο συνηθισμένη. Σύστημα καλού καιρού (αντικυκλώνας) εντοπίζεται στην Βορειοδυτική Ευρώπη, ενώ μια κακοκαιρία (βαρομετρικό χαμηλό) δημιουργείται στην Μεσόγειο. Κατά την κίνησή της, εντοπίζεται ψυχρό μέτωπο το οποίο με προσανατολισμένη τροχιά, από τα Βορειοδυτικά προς τα Νοτιοανατολικά, σε συνδυασμό με ψυχρή αέρια μάζα προκαλεί χιονοπτώσεις κατά το πέρασμά του.
- Έντονα μεσημβρινή Κυκλοφορία (High-Low). Στην συγκεκριμένη περίπτωση, τα συστήματα καλού και κακού καιρού στην Ευρώπη έχουν μεγάλο πλάτος και παρατηρούνται από Βορρά προς Νότο πολλοί συνδυασμοί υψηλών και χαμηλών βαρομετρικών συστημάτων.
- Νοτιοδυτική Κυκλοφορία (South – West). Ο αντικυκλώνας βρίσκεται μεν στην Βορειοδυτική κυρίως Ευρώπη, όπως την περίπτωση της Βορειοδυτικής, ωστόσο έχει μια σαφώς πιο Βορειοανατολική διάταξη (προς την Ανατολική Σκανδιναβία) και ο ψυχρός αέρας κινείται από τα Βορειοανατολικά (πχ Σιβηρία) προς τα Νοτιοδυτικά (πχ Ιόνιο), δημιουργώντας μέτωπα με διάταξη Νοτιοδυτική – Βορειοανατολική.



- Κυκλοφορία τύπου Ωμέγα εμποδισμού. Εάν και συνήθως η Ελλάδα μένει εκτός κακοκαιριών με αυτόν τον τύπο κυκλοφορίας καιρού στην Ευρώπη, έχουν σημειωθεί περιπτώσεις όπου ευνοήθηκε η Βόρεια Ελλάδα με χιονοπτώσεις, ενώ κυριαρχεί “Ωμέγα Εμποδισμός”. Πρόκειται για την περίπτωση όπου ένας Αντικυκλώνας, με διάταξη από Βορρά προς Νότο, εγκλωβίζεται ανάμεσα σε δύο συστήματα κακοκαιριών εκατέρωθέν του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο – ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Περιορισμοί

Η κακοκαιρία που μελετάται στην παρούσα εργασία προκάλεσε έντονα φαινόμενα χιονόπτωσης σε ολόκληρη τη Βόρεια Ελλάδα και κυρίως στα ανατολικά τμήματα της Κεντρικής Μακεδονίας.

Η σχετική απουσία μετεωρολογικών σταθμών σε αυτές τις περιοχές (τουλάχιστον την περίοδο μελέτης, το 2019) οδηγεί σε κάποιους περιορισμούς, όσον αφορά τις παρατηρήσεις του καιρού στην επιφάνεια του εδάφους. Για τις συγκεκριμένες περιοχές θα αναφερθούν μετρήσεις γειτονικών σταθμών, κατά βάση του δικτύου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) και κάποιες ενδεικτικές παρατηρήσεις ερασιτεχνών και απλών κατοίκων, με μια επιφύλαξη πάντα ως προς την εγκυρότητα αυτών.

Ένας σημαντικός λόγος για τον οποίο η ύπαρξη μετεωρολογικών σταθμών σε διάφορες περιοχές καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική, αφορά το γεγονός ότι οι μετρήσεις υετού γίνονται μόνο από μετεωρολογικούς σταθμούς. Έτσι, δεδομένης της απουσίας τέτοιων σημαντικών σταθμών σε διάφορες περιοχές του πλανήτη, πραγματοποιούνται σημαντικές προσπάθειες εκτίμησης του υετού με μεθόδους τηλεπισκόπησης. Οι συχνότερες μέθοδοι αφορούν μετρήσεις από δορυφόρους ή radar. Οι μετρήσεις, ωστόσο, που προκύπτουν είναι συχνά ανακριβείς, μιας και είναι δύσκολο η κάθε μέθοδος να καλύψει όλα τα πιθανά, ποικιλόμορφα συστήματα καιρού που προκαλούν υετό.

2.2 Δεδομένα

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθούν, πλην των μετρήσεων μετεωρολογικών σταθμών, χάρτες υετού του Climate Forecast System (CFS). Στην ουσία, πρόκειται για χάρτες αναδρομικών αναλύσεων (reanalysis) που κατασκευάστηκαν με τη χρήση δεδομένων σταθμών, δορυφόρων, ραδιοβολίσεων και αριθμητικών προγνώσεων.

Άλλο ένα πρόβλημα που προκύπτει στη μελέτη χιονόπτωσης είναι το γεγονός ότι οι μετεωρολογικοί σταθμοί δεν μπορούν να την καταγράψουν άμεσα. Αφού συσσωρευτεί χιόνι στον κώνο του βροχομέτρου, απαιτείται αυτό πρώτα να λιώσει για να καταγραφεί υετός.

Σε περιοχές όπου η χιονόπτωση είναι ένα σύννηθες φαινόμενο, χρησιμοποιούνται θερμικά καλύμματα τα οποία τροφοδοτούνται με ηλεκτρικό ρεύμα και προκαλούν σχεδόν άμεσο λιώσιμο του χιονιού στον κώνο (Grossi et al., 2017). Κάτι τέτοιο, βέβαια, δεν εφαρμόζεται στην Ελλάδα ακόμη, οπότε, η μέτρηση της χιονόπτωσης καθίσταται προβληματική και βασίζεται κυρίως στο ύψος της χιονοκάλυψης μετρημένο με χάρακα ή μεζούρα.

Για τον λόγο αυτό, δεν θα αναφερθούν στην παρούσα εργασία ποσά υετού που καταγράφηκαν από αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς κατά τη διάρκεια χιονοπτώσεων, καθώς τα δεδομένα αυτά δεν θεωρούνται σε καμία περίπτωση ακριβή και αξιόπιστα.

Χρήσιμο εργαλείο για την κατανόηση της έκτασης των χιονοπτώσεων είναι οι δορυφορικές εικόνες της NASA που παραθέτονται στο 3^ο κεφάλαιο. Πρόκειται για

Γεωγραφική Απεικόνιση Χάρτη με επίπεδο βάσης Terra/MODIS/True Color & Corrected Reflectance (wvs.earthdata.nasa.gov).

Όσο αφορά την δομή της ατμόσφαιρας καθ' ύψος, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από ραδιοβολήσεις διαφόρων Μετεωρολογικών Κέντρων στην Ελλάδα και τα Βαλκάνια, από αρχεία του Πανεπιστημίου του Wyoming.

Τέλος, όσο αφορά τους χάρτες ανώτερης ατμόσφαιρας, θερμοκρασίας στα 2μ, ανέμου στα 10 μέτρα και πίεσης στις μέση στάθμη της θάλασσας, τα δεδομένα είναι από 6-ωρες πλεγματικές επιχειρησιακές αναλύσεις του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF) με χωρική διακριτοποίηση $0.1^\circ \times 0.1^\circ$. Η απεικόνιση τους έγινε με τη χρήση του λογισμικού "Open GrADS".

Θερμές ευχαριστίες στην Εθνική Μετεωρολογική υπηρεσία, στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, στο δίκτυο του Northmeteo, στο European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, στην National Aeronautics and Space Administration και στο Climate Forecast System για την παροχή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη μελέτη.

Πιο συγκεκριμένα, ευχαριστίες στον κύριο Νικόλαο Παπαδόπουλο για την προσφορά του να μοιραστεί τα δεδομένα του σταθμού του (Αυτόματος Μετεωρολογικός Σταθμός Ασπροβάλτας), καθώς και στον μετεωρολόγο Σταύρο Κέππα (Σταθμοί δικτύου northmeteo) για τις ανάγκες τις παρούσας εργασίας.

2.3 Μετεωρολογικοί σταθμοί και περιοχές μελέτης

Για την συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα διαφόρων μετεωρολογικών σταθμών από τρεις (3) διαφορετικούς φορείς: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.), Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (Ε.Α.Α.) και από μετρήσεις ιδιωτών της ιστοσελίδας Northmeteo.gr.

Παρακάτω αναφέρονται με την μορφή λίστας οι διάφοροι αυτοί σταθμοί (Πίνακας 2.3.1). Επίσης, με τη βοήθεια της εφαρμογής Google Earth Pro, μπόρεσαν να απεικονιστούν αυτοί οι σταθμοί, μαζί με άλλες περιοχές που αναφέρονται στην εργασία (Σχήμα 2.3.1).

Περιοχή	Υψόμετρο	Πηγή
Άνω Τούμπα	68μ	Northmeteo
Ασπροβάλτα	16μ	E.A.A.
Θεσσαλονίκη	2μ	E.M.Y.
Θεσσαλονίκη	5μ	E.A.A.
Κηφισιά, Θεσ/νίκης	61μ	Northmeteo
Λαγκαδάς	87μ	E.A.A.
Λάρισα	74μ	E.M.Y.
Στρατώνι	5μ	E.A.A.
Χρυσούπολη	4μ	E.M.Y.

Πίνακας 2.3.1. Στοιχεία μετεωρολογικών σταθμών εργασίας.

Ο σταθμός της Ασπροβάλλτας είναι ένας αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός Davis Vantage Pro2 και είναι μέλος του δικτύου σταθμών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ). Βρίσκεται σε υψόμετρο 16μ από την επιφάνεια της θάλασσας και είναι μια σχετικά θερμή περιοχή του νομού Θεσσαλονίκης. Φαίνεται στις περισσότερες περιπτώσεις να σημειώνει από τις υψηλότερες θερμοκρασίες στον νομό, εάν και κάτι τέτοιο δεν μπορεί ακόμη να επιβεβαιωθεί επισήμως, εξαιτίας της απουσίας πυκνού δικτύου σταθμών. Παρόλα αυτά, τα δεδομένα του είναι ένα πάρα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την μελέτη ποικίλων καιρικών φαινομένων στην περιοχή. Από την άλλη, οι σταθμοί της Άνω Τούμπας και της Κηφισιάς ανήκουν στο δίκτυο του Northmeteo. Πρόκειται για μια αρκετά εκτεταμένη ομάδα επαγγελματιών και ερασιτεχνών μετεωρολόγων, η οποία εδρεύει στην Θεσσαλονίκη.

15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

3.1 Δορυφορικές εικόνες χιονοκάλυψης

Η ψυχρή εισβολή που έλαβε χώρα τον Ιανουάριο του 2019, συνοδεύτηκε από σημαντικές χιονοπτώσεις, κυρίως για την Βόρεια Ελλάδα. Αυτό είναι αρχικά εμφανές από τη δορυφορική εικόνα της NASA, στις 8 Ιανουαρίου, σχεδόν τρεις ημέρες μετά το πέρας των χιονοπτώσεων (Σχήμα 3.1.1, 3.1.2). Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη ημερομηνία καθώς τότε μόνο απουσίαζαν πλήρως οι οποιεσδήποτε νεφώσεις από την δορυφορική. Έτσι, είναι πολύ πιο ευδιάκριτη η χιονοκάλυψη ανά περιοχή.



Σχήμα 3.1.1: Δορυφορική εικόνα 08-01-2019, Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα, Suomi NPP/NOAA-20. Πηγή: (wvs.earthdata.nasa.gov)



Σχήμα 3.1.2: Δορυφορική εικόνα 08-01-2019, Νομός Θεσσαλονίκης, Suomi NPP/NOAA-20. Πηγή: (wvs.earthdata.nasa.gov)

Είναι εύκολα παρατηρήσιμο στη δορυφορική εικόνα της 11^{ης} Ιανουαρίου ότι μετά από δεύτερο κύμα χιονοπτώσεων που συνέβη την 09^η του ίδιου μήνα, η ίδια περιοχή ανανέωσε στην ουσία της χιονοκάλυψή της (Σχήμα 3.1.3). Μάλιστα, παρά το πέρας της ψυχρής εισβολής, συγκεκριμένες πεδινές περιοχές παρέμειναν χιονισμένες για πολλές ημέρες ακόμη, τουλάχιστον μέχρι την 17 Ιανουαρίου (Σχήμα 3.1.4).



Σχήμα 3.1.3: Δορυφορική εικόνα 11-01-2019, περιοχή Κεντρικής Μακεδονίας, Suomi NPP/NOAA-20. Πηγή: (wvs.earthdata.nasa.gov)

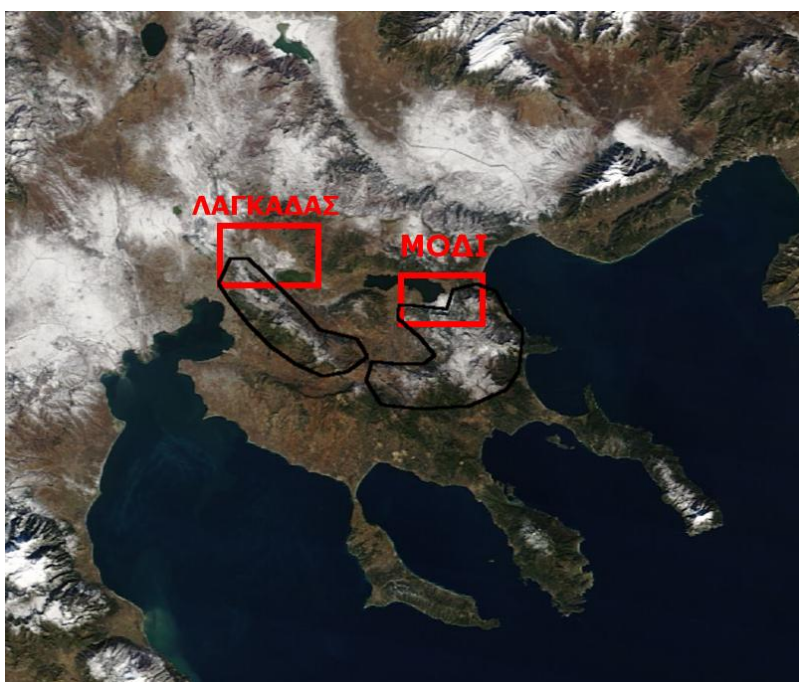


Σχήμα 3.1.4: Δορυφορική εικόνα 17-01-2019, περιοχή Κεντρικής και Ανατολικής Μακεδονίας, Suomi NPP/NOAA-20. (Πηγή: wvs.earthdata.nasa.gov)

Η διατήρηση της χιονοκάλυψης σε μεγάλες εκτάσεις οφείλεται αφενός στον προσανατολισμό των πεδινών περιοχών, αλλά και στις ιδιότητες τους όσο αφορά τον εγκλωβισμό ψύχους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περιοχή στα ανατολικά τμήματα του Νομού Θεσσαλονίκης, όπου εξαιτίας των ορεινών όγκων του Στρατονικού Όρους (Σχήμα 3.1.5, μαύρα περιθώρια στα ανατολικά), η πεδινή περιοχή

που αποτελείται από τα χωριά Μόδι και Νέα Μάδυτος και βρίσκεται αμέσως Βορειότερα των ορέων παρέμεινε χιονισμένη.

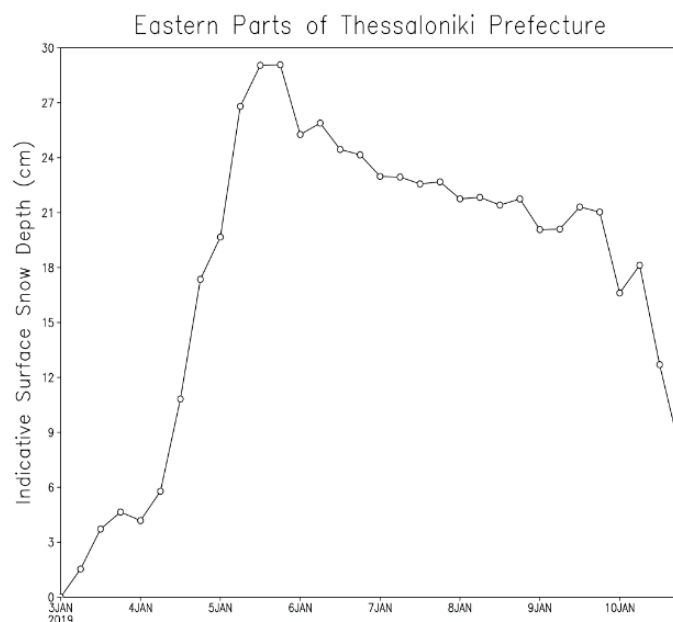
Το ίδιο φαίνεται να συμβαίνει και στην περιοχή αμέσως Βορειοδυτικά της λίμνης Κορώνειας, όπου οι περιοχές του Λαγκαδά, του Δρυμού, τη Λητής και του Μελλισοχωρίου είχαν ακόμη ικανοποιητικά επίπεδα χιονόστρωσης, αυτή την φορά εξαιτίας των ορεινών όγκων του Χολωμόντα-Χορτιάτη-Σιβρίου (Σχήμα 3.1.5, μαύρα περιθώρια στα δυτικά). Το γεγονός ότι τα συγκεκριμένα όρη βρίσκονται Νότια των προαναφερθέντων περιοχών, σημαίνει ότι περιορίζεται η έλευση θερμών, νότιας διεύθυνσης ανέμων, αλλά και το ότι περιορίζεται η διάρκεια της ηλιοφάνειας. Επίσης, πρόκειται για περιοχές στις βάσεις κοιλάδων, στις οποίες συχνά εγκλωβίζεται πολύ ψυχρός αέρας (Σχήμα 3.1.5). Όλα τα παραπάνω συμβάλλουν στη διατήρηση της χιονοκάλυψης σε μια περιοχή.



Σχήμα 3.1.5: Δορυφορική εικόνα 17-01-2019. Επιλεγμένες οι περιοχές Λαγκαδά στα δυτικά και Μοδίου στα ανατολικά, Suomi NPP/NOAA-20. (Πηγή: wvs.earthdata.nasa.gov)

Άλλο ένα αίτιο για τη διατήρηση της χιονοκάλυψης έως τότε, ήταν και τα μεγάλα ύψη χιονιού που σημειώθηκαν στις εν λόγω περιοχές. Ενδεικτικά, το ύψος του χιονιού στην παραθαλάσσια περιοχή των Νέων Βρασνών Θεσσαλονίκης, στα ανατολικά του νομού, ξεπέρασε τα 35 εκατοστά.

Στο Σχήμα 3.1.6 είναι εμφανής η πολύ απότομη αύξηση της χιονοκάλυψης κατά την 4^η και 5^η Ιανουαρίου του 2019. Εντοπίζεται, επίσης, ένα μικρό επεισόδιο ανανέωσης της χιονόστρωσης την 9^η Ιανουαρίου.



GrADS/COLA

Σχήμα 3.1.6: Ενδεικτικό ύψος χιονιού για τα ανατολικά τμήματα του Νομού Θεσσαλονίκης (Lat. 40.6, Lon. 23.6), σύμφωνα με δεδομένα επιχειρησιακών αναλύσεων του E.C.M.W.F..

Σχετικά μεγάλα ύψη χιονιού σημειώθηκαν και στην πόλη της Θεσσαλονίκης, όπως φαίνεται από τις παρακάτω εικόνες του Northmeteo (Σχήμα 3.1.7, Σχήμα 3.1.8). Δυστυχώς όμως, δεν υπάρχει κάποια διαθέσιμη εικόνα η οποία να μαρτυρά επακριβώς το ύψος της χιονοκάλυψης.

Παρόλα αυτά, σύμφωνα με δεδομένα METAR της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, χιονοπτώσεις ξεκίνησαν στην πόλη της Θεσσαλονίκης σε γενικές γραμμές από τις 07:50 της 04 του Ιανουαρίου και σταμάτησαν την επόμενη ημέρα στις 14:20 (τοπικές ώρες). Επομένως, η συνολική διάρκεια της χιονόπτωσης ήταν περίπου 30 ώρες.



Σχήμα 3.1.7: Εκκλησία Αγίου Δημητρίου, Θεσσαλονίκη, 05-01-2019. (Πηγή: northmeteo.gr)



Σχήμα 3.1.8: Λευκός Πύργος, Θεσσαλονίκη, 05-01-2019. (Πηγή: northmeteo.gr)

Στο Μόδι Θεσσαλονίκης, στα ανατολικά του νομού, χωριό της περιοχής όπου βρίσκεται σε υψόμετρο 120μ και αναφέρθηκε πριν για την διατήρηση της χιονοκάλυψης του, το ύψος του χιονιού την 5^η Ιανουαρίου ξεπέρασε τα 50 εκατοστά (Σχήμα 3.1.9 - 3.1.11). Τέλος, όπως φαίνεται και από τη δορυφορική της 24^{ης} Ιανουαρίου (Σχήμα 3.1.12), ο κύριος όγκος του χιονιού στις περισσότερες περιοχές εξαφανίστηκε. Εξαιρέση αποτελούν τα ορεινά.



Σχήμα 3.1.9: Μέτρηση χιονοκάλυψης (cm), Μόδι Θεσσαλονίκης, 05-01-2019



Σχήμα 3.1.10: Μέτρηση χιονοκάλυψης (cm), Μόδι Θεσσαλονίκης 05-01-2019



Σχήμα 3.1.11: Άνθρωπος αναστήματος 1.82μ., Μόδι Θεσσαλονίκης, 05-01-2019



Σχήμα 3.1.12: Δορυφορική εικόνα 24-01-2019, περιοχή Κεντρικής Μακεδονίας, Suomi NPP/NOAA-20. (Πηγή: wvs.earthdata.nasa.gov)

3.2 Θερμοκρασία 2μ

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η πορεία της θερμοκρασίας στα 2μ κατά την έλευση της ψυχρής εισβολής, καθώς δεν επρόκειτο για κάποια ακραία ψυχρή εισβολή (όπως αυτή του 2017), ωστόσο, οι χιονοπτώσεις που προκλήθηκαν την περίοδο μελέτης ήταν σαφώς πολύ πυκνές και μεγάλης διάρκειας.

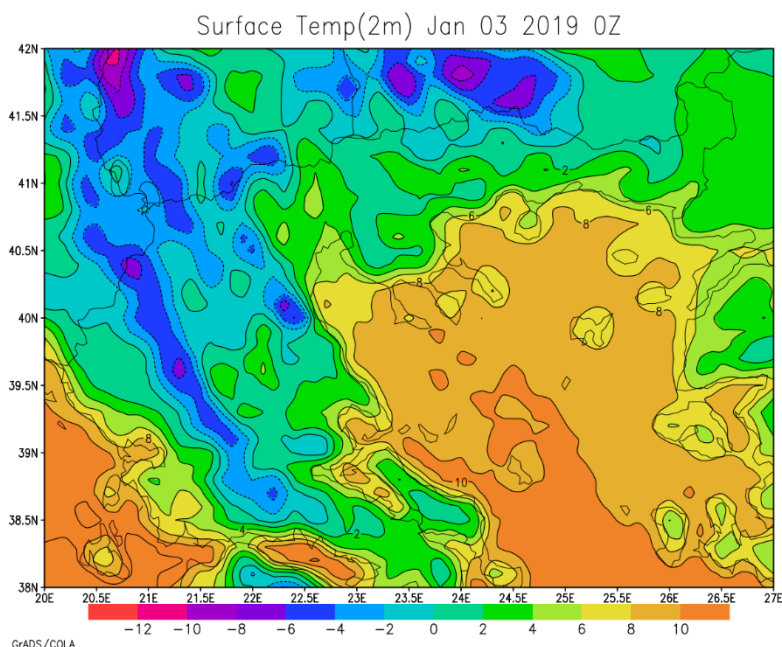
Όπως φαίνεται παρακάτω, πολλές περιοχές βρισκόταν συνεχώς πολύ κοντά στους 0°C, με λίγα λόγια εντελώς οριακά για φαινόμενα χιονόστρωσης. Παρόλα αυτά, παρατηρήθηκαν μεγάλα ύψη χιονιού.

Για την ευκολότερη κατανόηση των διαγραμμάτων και χαρτών που θα παρατεθούν παρακάτω, κρίνεται απαραίτητη η επεξήγηση της ώρας "Z", ή αλλιώς ώρας "UTC" (Universal Time Coordinated). Πρόκειται στην ουσία για την παγκόσμια ώρα και η τοπική ώρα της Ελλάδας διαφέρει κατά δύο (2) ώρες τον χειμώνα και κατά τρεις (3) ώρες το καλοκαίρι. Επομένως, στην περίπτωση του 0Z, γίνεται αναφορά στις 02:00 ώρα Ελλάδας τον χειμώνα και 03:00 το καλοκαίρι. Αντίστοιχα, τον χειμώνα, "12Z" σημαίνει 14:00 ώρα Ελλάδας ενώ το καλοκαίρι 15:00.

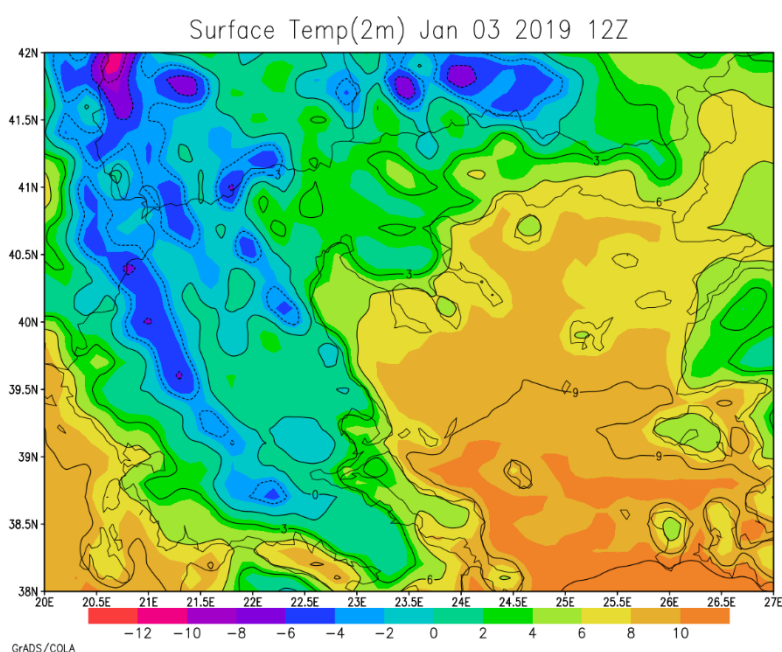
3.2.1 3 Ιανουαρίου 2019

Ξεκινώντας από την Πέμπτη, 03 Ιανουαρίου 2019, οι θερμοκρασίες μπορεί να ήταν μεν χαμηλές, συγκεκριμένα για την Κεντρική Μακεδονία από 2 έως 4 βαθμούς κελσίου, ωστόσο ήταν απαγορευτικές για χιονόπτωση στα πεδινά, πλην κάποιων πολύ βορείων τμημάτων της χώρας και της Δυτικής Μακεδονίας, η οποία ούτως ή άλλως βρίσκεται κατά βάση σε υψόμετρο άνω των 400μ.

Η θερμοκρασία στα πεδινά τμήματα της Κεντρικής Μακεδονίας, όπως φαίνεται και στους παρακάτω χάρτες ανάλυσης του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF), κυμάνθηκε από 2 έως 4 βαθμούς κελσίου (Σχήμα 3.2.1, Σχήμα 3.2.2).



Σχήμα 3.2.1: Χάρτης της Θερμοκρασίας 2μ. (°C) στις 03-01-2019, 0Z. Δεδομένα: επιχειρησιακές αναλύσεις ECMWF.



Σχήμα 3.2.2: Θερμοκρασία (°C), 03-01-2019 12Z. Δεδομένα: επιχειρησιακές αναλύσεις ECMWF.

Σύμφωνα με δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών, βροχοπτώσεις σημειώθηκαν εκείνη την ημέρα στα χαμηλά υψόμετρα της Κεντρικής Μακεδονίας, όπως για παράδειγμα στον αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό της Ασπροβάλτας (Davis Vantage Pro2), όπου οι πρώτες σταγόνες βροχής άρχισαν να πέφτουν στις 06:00 πμ, ενώ τότε η θερμοκρασία βρισκόταν στους 5.4°C. Τα φαινόμενα στην περιοχή ήταν γενικά ασθενή έως και μέτριας έντασης.

Όπως φαίνεται και από τους μετεωρολογικούς σταθμούς του δικτύου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, του δικτύου του Northmeteo και της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Πίνακας 3.2.1.), σημειώθηκαν ελαφρά ποσά νετού με χαμηλές γενικά θερμοκρασίες. Να σημειωθεί ότι οι μέγιστες θερμοκρασίες σημειώθηκαν στην αρχή της ημέρας και οι ελάχιστες στο τέλος της, κάτι που προδίδει την σταδιακή έλευση της ψυχρής εισβολής.

Σταθμός	Φορέας	Υετός (mm)	Μέγιστη T°C	Ελάχιστη T°C
Θεσσαλονίκη	E.A.A.	2.4	5.9	2.2
Λαγκαδάς	E.A.A.	2.4	3.8	-0.4
Ασπροβάλτα	E.A.A.	2.2	6.1	3.1
Στρατώνι	E.A.A.	10.6	6.6	3.4
Άνω Τούμπα	Northmeteo	6.2	5.6	1.2
Κηφισιά, Θεσ/νίκης	Northmeteo	2.1	5.8	1.7
Θεσσαλονίκη	E.M.Y.	2.0	5.2	2.6
Λάρισα	E.M.Y.	7.0	4.0	0.2

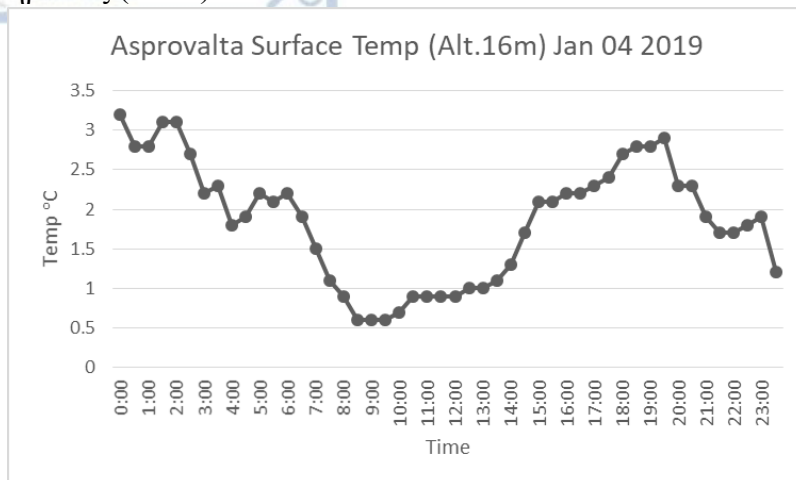
Πίνακας 3.2.1. Μέγιστες – ελάχιστες θερμοκρασίες και υετός για σταθμούς κοντά στην περιοχή μελέτης, 03-01-2019.

3.2.2 4 Ιανουαρίου 2019

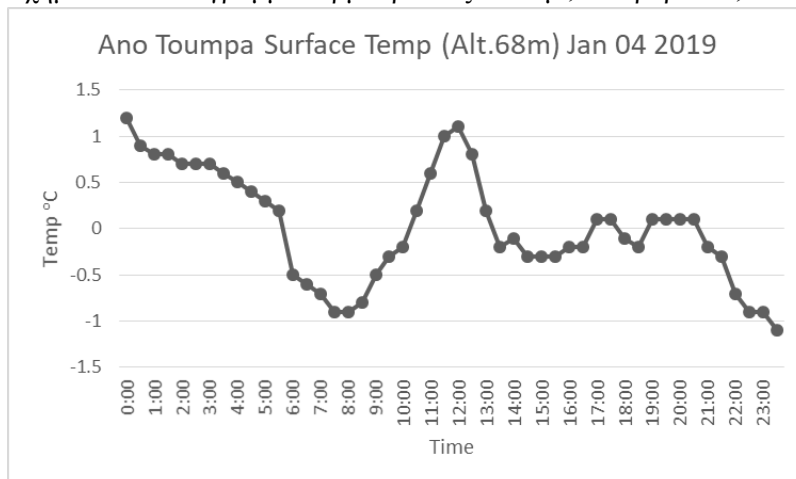
Την επόμενη ημέρα, Παρασκευή 04 Ιανουαρίου 2019, επήλθε σημαντική πτώση της θερμοκρασίας και οι οποιοσδήποτε βροχές μετατράπηκαν σε χιονοπτώσεις, ακόμη και σε παραθαλάσσια τμήματα της Κεντρικής και Βόρειας Ελλάδας.

Η θερμοκρασία έμεινε κοντά στους 0°C σε όλη τη διάρκεια της ημέρας. Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 3.2.3) φαίνεται η πορεία της θερμοκρασίας στον σταθμό της Ασπροβάλτας για την 4^η Ιανουαρίου, ανά 30 λεπτά. Επίσης, έχουν προστεθεί διαγράμματα από δεδομένα αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών στην Άνω Τούμπα και Κηφισιά Θεσσαλονίκης (Σχήμα 3.2.4, Σχήμα 3.2.5).

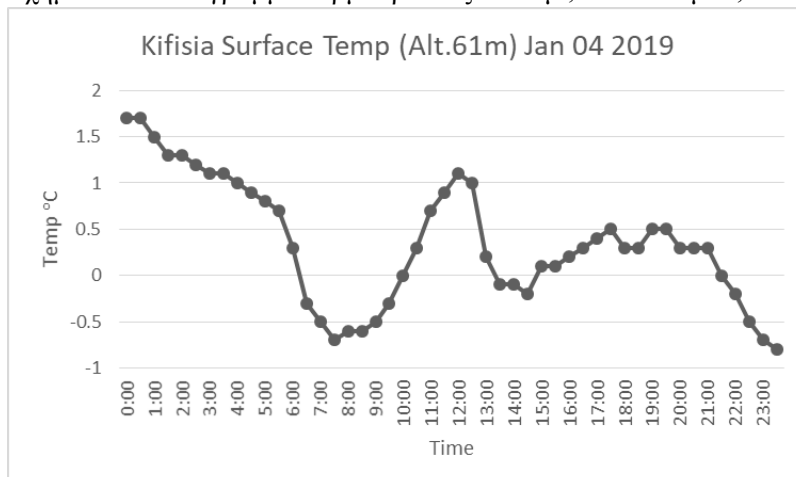
Να σημειωθεί ότι διατηρείται πάντα μια επιφύλαξη ως προς την εγκυρότητα και ακρίβεια των δεδομένων από σταθμούς που δεν είναι της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ).



Σχήμα 3.2.3: Διάγραμμα θερμοκρασίας στα 2μ., Ασπροβάλτα, 04-01-2019



Σχήμα 3.2.4: Διάγραμμα θερμοκρασίας στα 2μ., Άνω Τούμπα, 04-01-2019



Σχήμα 3.2.5: Διάγραμμα θερμοκρασίας στα 2μ., Κηφισιά, 04-01-2019

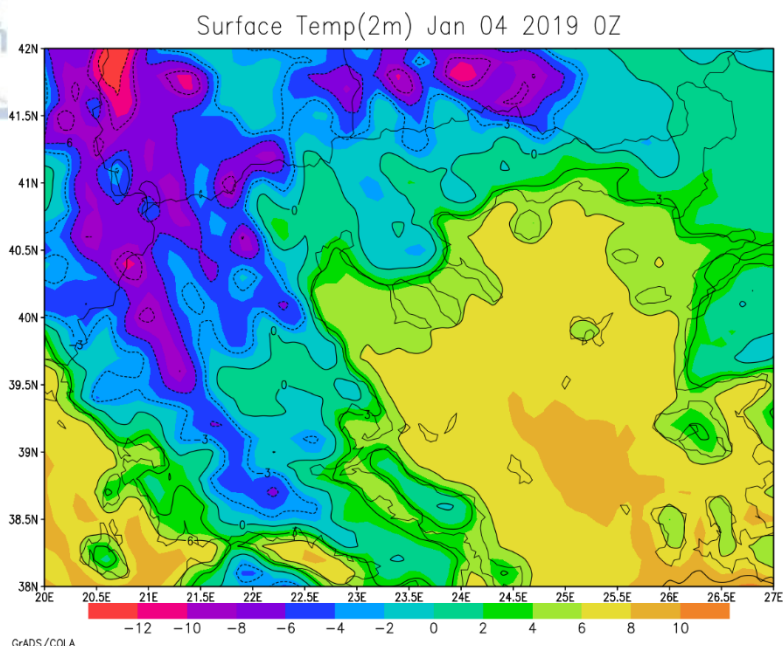
Οι μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασιακές τιμές που μετρήθηκαν στις 4/1/2019 παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.2. Πλήν της Ασπροβάλας, του Στρατωνίου

Χαλκιδικής και της Χρυσούπολης Καβάλας σημειώθηκε παντού παγετός, ενώ αυτός ήταν ολικός στον Λαγκαδά Θεσσαλονίκης.

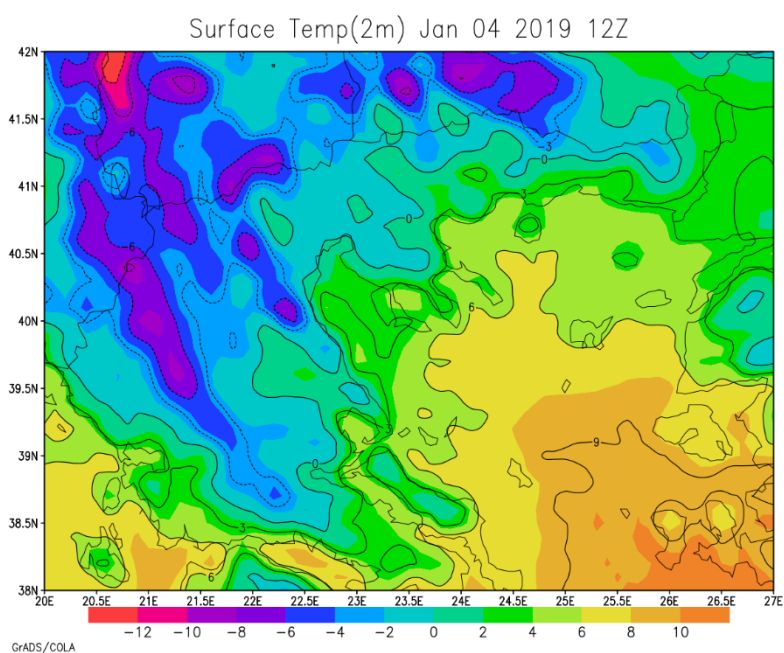
ΣΤΑΘΜΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
Θεσσαλονίκη (ΕΑΑ)	-0.9	2.4
Λαγκαδάς (ΕΑΑ)	-2.3	-0.1
Ασπροβάλτα (ΕΑΑ)	0.5	3.5
Στρατώνι (ΕΑΑ)	0.7	4.7
Άνω Τούμπα (Northmeteo)	-1.3	1.3
Κηφησιά, Θεσ/νίκης (Northmeteo)	-1.0	1.7
Θεσσαλονίκη (ΕΜΥ)	-0.6	1.8
Λάρισα (ΕΜΥ)	-1.2	0.6
Χρυσούπολη (ΕΜΥ)	1.8	3.2

Πίνακας 3.2.2: Μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες (°C) σε περιοχές της Βόρειας Ελλάδας και της Λάρισας, 04-01-2019

Στους παρακάτω χάρτες επιχειρησιακών αναλύσεων του ECMWF, φαίνεται η πορεία της θερμοκρασίας στην επιφάνεια κατά την 4^η του Ιανουαρίου για την Κεντρική και την Βόρεια Ελλάδα (Σχήμα 3.2.6, 3.2.7). Είναι εύκολα παρατηρήσιμο ότι η θερμοκρασία στον Νομό Θεσσαλονίκης παρέμεινε κοντά στους 0°C καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας, ελαφρώς κάτω αυτής της τιμής νωρίς το πρωί (Σχήμα 3.2.6) και ελαφρώς πάνω αργά το μεσημέρι (Σχήμα 3.2.7).



Σχήμα 3.2.6: Θερμοκρασία (°C), 04-01-2019 0Z. Δεδομένα: επιχειρησιακές αναλύσεις ECMWF.



Σχήμα 3.2.7: Θερμοκρασία (°C), 04-01-2019 12Z. Δεδομένα: επιχειρησιακές αναλύσεις ECMWF.

3.2.3 5 Ιανουαρίου 2019

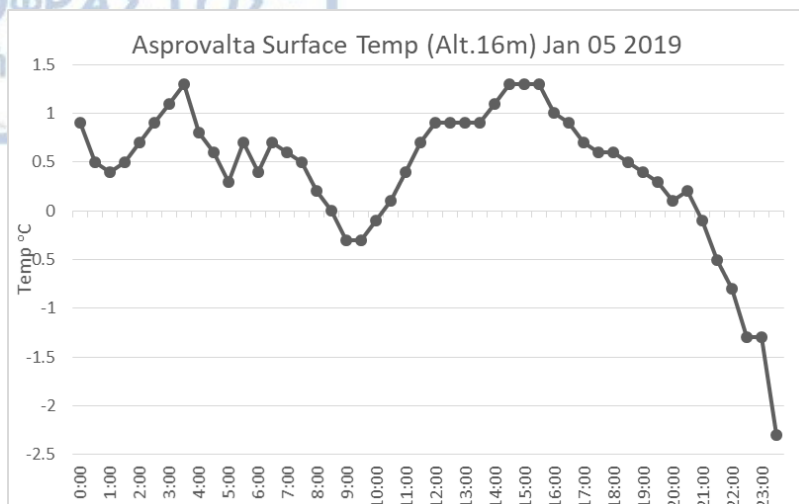
Το Σάββατο, 05 Ιανουαρίου, η θερμοκρασία βρισκόταν ελαφρώς υπό του μηδενός σχεδόν σε όλα τα πεδινά και παραθαλάσσια τμήματα της περιοχής ενδιαφέροντος

(Πίνακας 3.2.3). Όπως είναι λογικό, σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές οι θερμοκρασίες ήταν ακόμη χαμηλότερες. Οι θερμοκρασίες ήταν ελαφρώς χαμηλότερες συγκριτικά με την προηγούμενη ημέρα, ευνοώντας πλέον την αύξηση του πάχους της χιονοκάλυψης σε παραθαλάσσιες περιοχές του Νομού Θεσσαλονίκης.

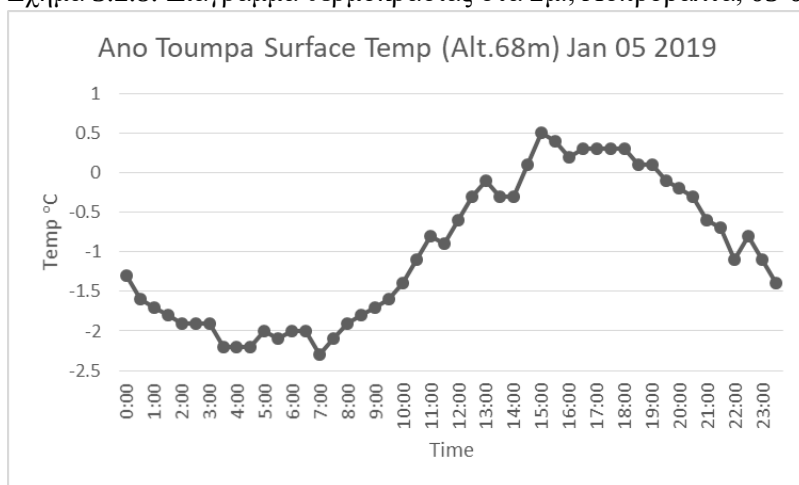
ΣΤΑΘΜΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
Θεσσαλονίκη (ΕΑΑ)	-2.3°C	1.1°C
Λαγκαδάς (ΕΑΑ)	-11.8°C	-0.1°C
Ασπροβάλτα (ΕΑΑ)	-2.6°C	1.4°C
Στρατώνι (ΕΑΑ)	-0.6°C	2.1°C
Άνω Τούμπα (Northmeteo)	-2.3°C	0.6°C
Κηφησιά, Θεσ/νίκης (Northmeteo)	-2.1°C	1.0°C
Θεσσαλονίκη (ΕΜΥ)	-2.0°C	1.2°C
Λάρισα (ΕΜΥ)	-4.8°C	2.6°C
Χρυσούπολη (ΕΜΥ)	-0.8°C	0.6°C

Πίνακας 3.2.3: Μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες (°C) σε περιοχές της Βόρειας και Κεντρικής Ελλάδας, 05-01-2019

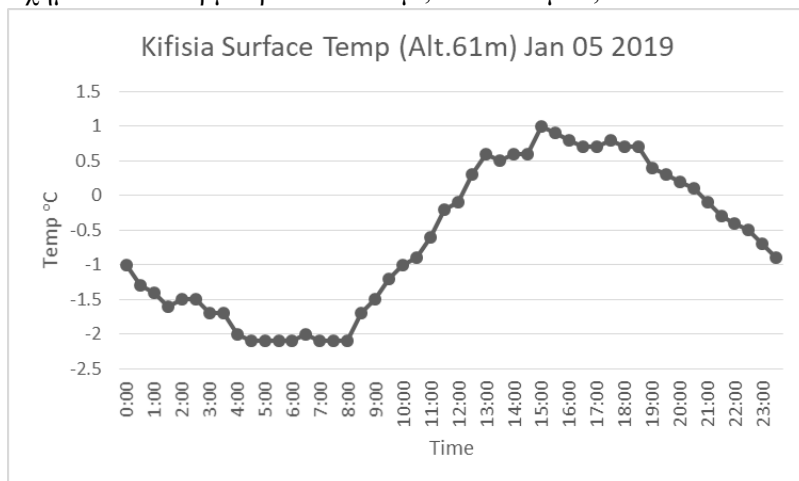
Στα παρακάτω διαγράμματα (Σχήμα 3.2.8, Σχήμα 3.2.9, Σχήμα 3.2.10) φαίνεται η πορεία της θερμοκρασίας καθόλη την διάρκεια της ημέρας για την Ασπροβάλτα, την Άνω Τούμπα και την Κηφησιά Θεσσαλονίκης. Για τους σταθμούς της Άνω Τούμπας και Κηφησιάς παρατηρείται μια παρόμοια πορεία και διακύμανση της θερμοκρασίας, με ελάχιστο νωρίς το πρωί και μέγιστο περί της 14:30 τοπικής ώρας. Η μόνη διαφορά είναι ότι η Άνω Τούμπα είχε ελαφρώς χαμηλότερη θερμοκρασία, η οποία ξεπέρασε ελαφρώς τους 0°C μόνο το διάστημα 13:00 με 18:30 τοπικής ώρας. Ο σταθμός της Ασπροβάλλτας, από την άλλη, παρουσίασε διακυμάνσεις στην θερμοκρασία έως και τις 15:00 τοπικής ώρας και απότομη πτώση μετέπειτα. Οι υπό του μηδενός θερμοκρασίες για την Βόρεια Ελλάδα φαίνονται και στους παρακάτω χάρτες ανάλυσης του ECMWF (Σχήμα 3.2.11, Σχήμα 3.2.12).



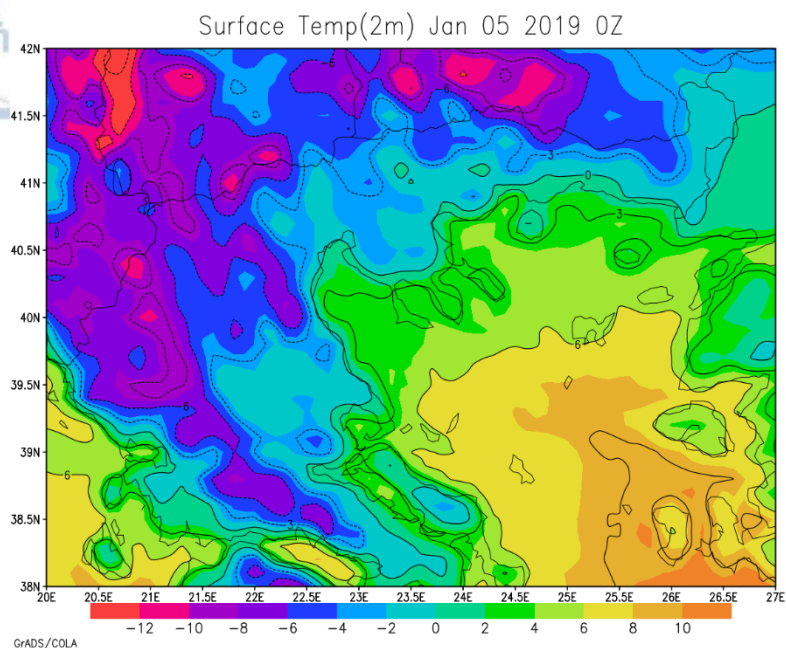
Σχήμα 3.2.8: Διάγραμμα θερμοκρασίας στα 2μ., Ασπροβάλτα, 05-01-2019



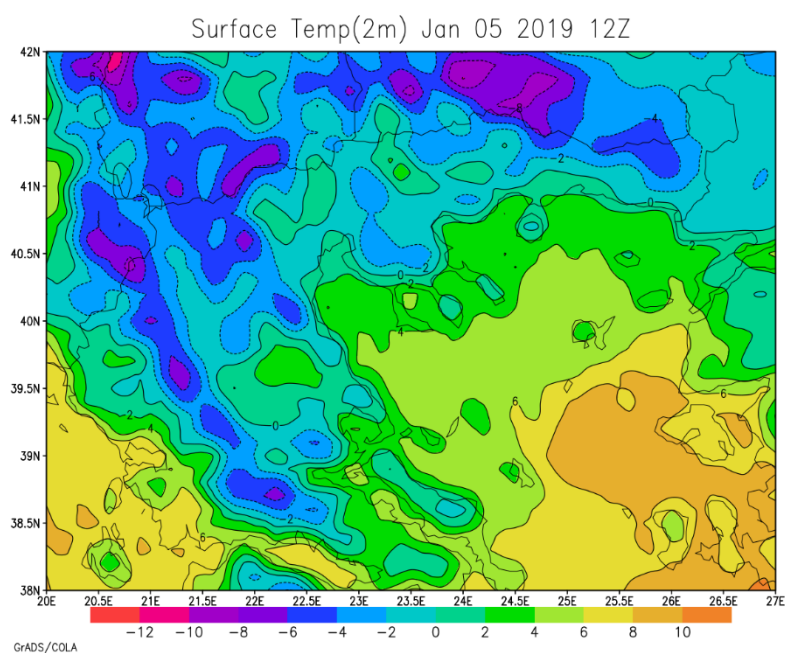
Σχήμα 3.2.9: Θερμοκρασία στα 2μ., Άνω Τούμπα, 05-01-2019



Σχήμα 3.2.10: Θερμοκρασία στα 2μ., Κηφισιά, 05-01-2019



Σχήμα 3.2.11: Θερμοκρασία (°C), 05-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



Σχήμα 3.2.12: Θερμοκρασία (°C), 05-01-2019 12Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

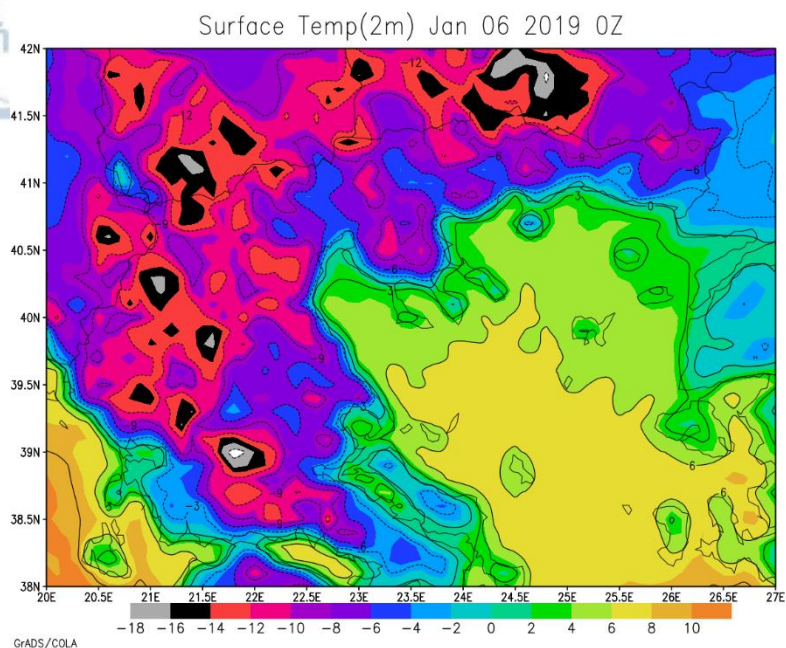
3.2.4 6 Ιανουαρίου 2019

Ισχυρός παγετός σημειώθηκε το πρωί της Κυριακής 06 Ιανουαρίου 2019, όπου λόγω της ξαστεριάς και του χιονοσκεπούς εδάφους, οι θερμοκρασίες σε παραθαλάσσια τμήματα έπεσαν ακόμη και κάτω από τους -6°C. Παρόλα αυτά, το μεσημέρι, στις ίδιες περιοχές, οι θερμοκρασίες ξεπέρασαν ελαφρώς το μηδέν, λόγω και της ηλιοφάνειας

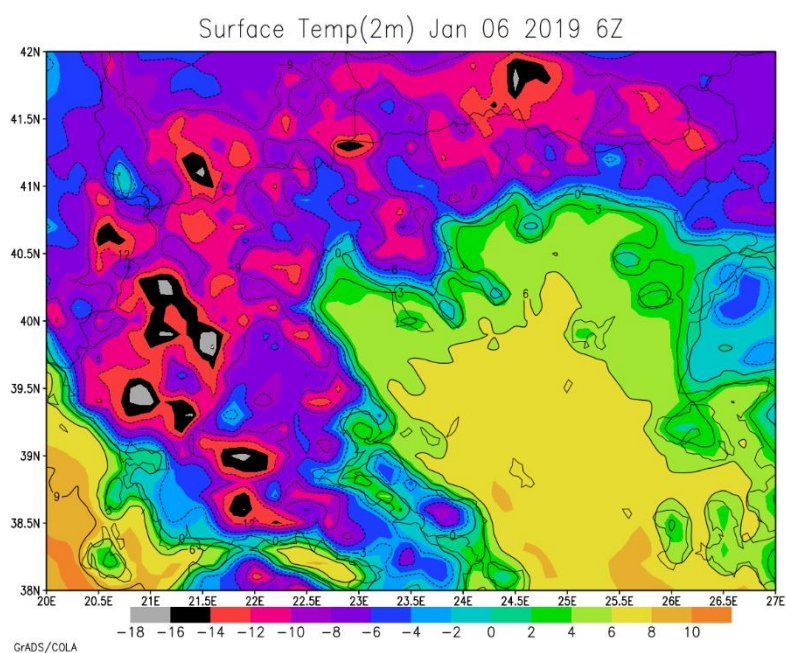
που επικράτησε. Οι θερμοκρασίες στην περιοχή ενδιαφέροντος έπεσαν σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα. Σύμφωνα με τους σταθμούς (Πίνακας 3.2.4), με εξαίρεση την Λάρισα, τον Λαγκαδά και την Χρυσούπολη, οι ελάχιστες θερμοκρασίες ήταν της τάξης των -4.3°C με -2.0°C, ενώ οι μέγιστες της τάξης των 4.4°C με 5.3°C. Στους χάρτες επιχειρησιακών αναλύσεων του ECMWF φαίνεται για τον νομό Θεσσαλονίκης οι θερμοκρασίες να πέσανε χαμηλότερα των -6°C, ωστόσο ο παγετός να μην ήταν ολικός (Σχήματα 3.2.13-3.2.15).

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
Θεσσαλονίκη (ΕΑΑ)	-2.3°C	4.7°C
Λαγκαδάς (ΕΑΑ)	-13.6°C	2.4°C
Ασπροβάλτα (ΕΑΑ)	-4.3°C	5.2°C
Στρατώνι (ΕΑΑ)	-2.8°C	5.3°C
Άνω Τούμπα (North)	-2.0°C	4.7°C
Κηφησιά, Θεσ/νίκης (North)	-2.1°C	4.7°C
Θεσσαλονίκη (ΕΜΥ)	-4.2°C	4.4°C
Λάρισα (ΕΜΥ)	-8.6°C	0.8°C
Χρυσούπολη (ΕΜΥ)	-4.0°C	2.0°C

Πίνακας 3.2.4: Μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες (°C) σε περιοχές της Βόρειας Ελλάδας, 06-01-2019

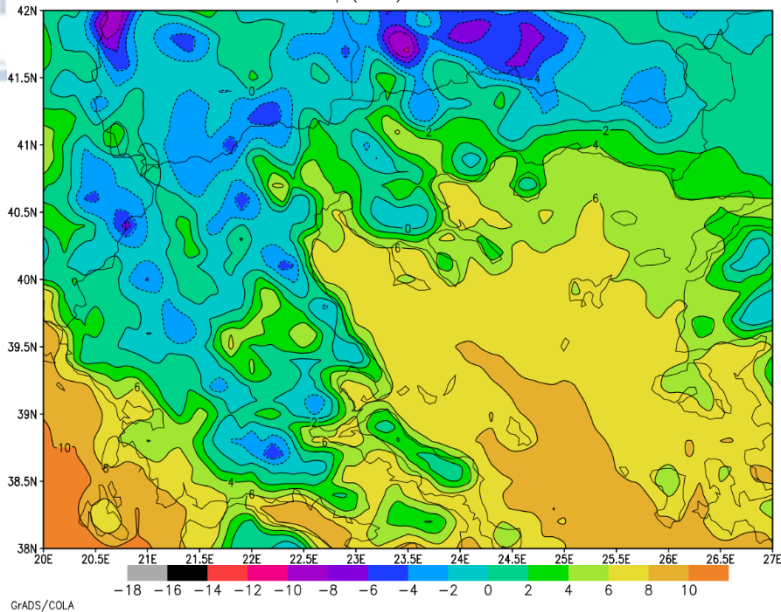


Σχήμα 3.2.13: Θερμοκρασία (°C), 06-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



Σχήμα 3.2.14: Θερμοκρασία (°C), 06-01-2019 6Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

Surface Temp(2m) Jan 06 2019 12Z

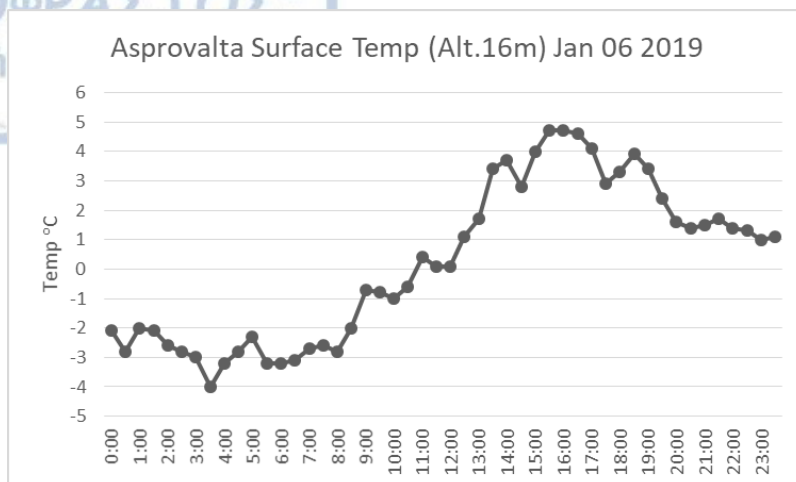


Σχήμα 3.2.15: Θερμοκρασία (°C), 06-01-2019 12Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

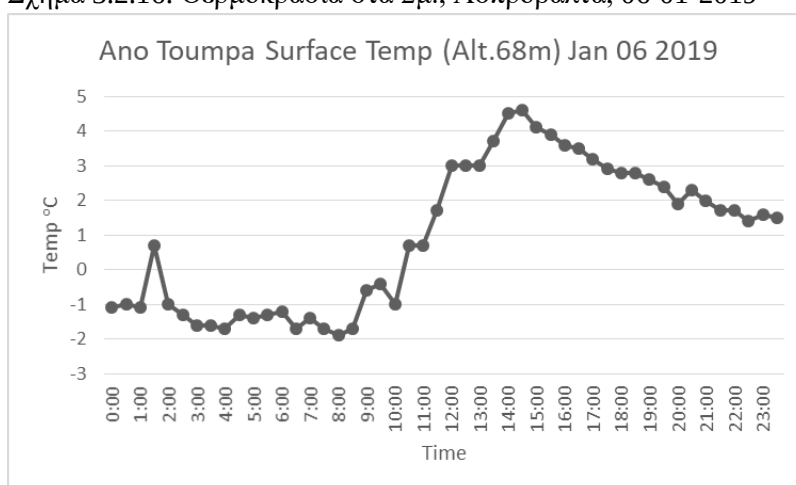
Εκείνη την ημέρα ο σταθμός της Ασπροβάλτας (Σχήμα 3.2.16) κατέγραψε ελάχιστη -4.3°C, στις 03:20 το ξημέρωμα, ενώ γενικά οι θερμοκρασίες ήταν πολύ χαμηλές, τουλάχιστον έως και τις 13:00 το μεσημέρι, ενώ ο σταθμός του Λαγκαδά Θεσσαλονίκης κατέγραψε μια αρκετά χαμηλή ελάχιστη θερμοκρασία, μόλις -13.6°C. Ο Λαγκαδός βρίσκεται σε υψόμετρο 85μ. Είναι μια ανοιχτή και επίπεδη περιοχή, στην οποία ευνοούνται οι θερμοκρασιακές αναστροφές και ο εγκλωβισμός ψύχους. Έτσι, είναι γνωστό μέρος για την καταγραφή σχετικά ακραία χαμηλών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια ψυχρών εισβολών. Στην πόλη της Θεσσαλονίκης η ελάχιστη θερμοκρασία έφτασε τους -2.3°C.

Να σημειωθεί ότι στα διαγράμματα (π.χ. Σχήμα 3.2.16, 3.2.17 κλπ), η λήψη των θερμοκρασιών είναι ανά 30 λεπτά, επομένως οι ελάχιστες και οι μέγιστες θερμοκρασίες ίσως δεν ταυτίζονται με αυτές που αναφέρονται στους πίνακες.

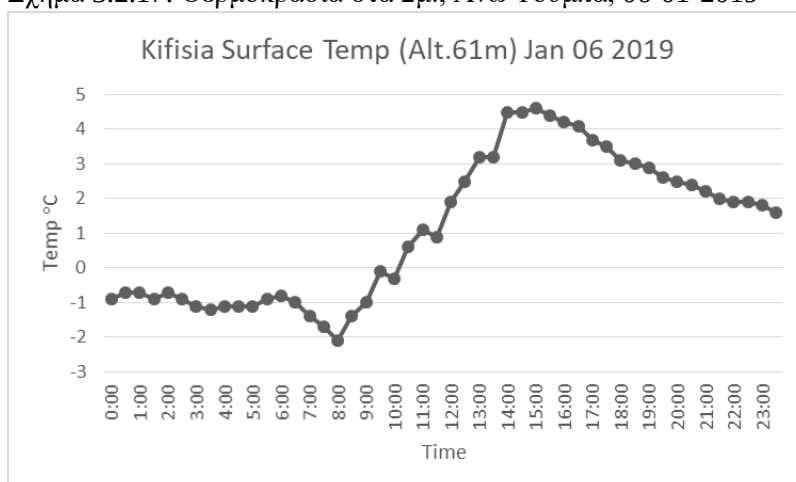
Η πορεία της θερμοκρασίας στην Άνω Τούμπα (Σχήμα 3.2.17) και στην Κηφησιά (Σχήμα 3.2.18) φαίνεται να ακολουθήσε παρόμοια πορεία με αυτήν της Ασπροβάλτας. Οι θερμοκρασίες για τους σταθμούς του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης φαίνεται να είναι σχεδόν ίδιες, με ελάχιστες περί των -2°C και μέγιστες περί των 5°C.



Σχήμα 3.2.16: Θερμοκρασία στα 2μ., Ασπροβάλτα, 06-01-2019



Σχήμα 3.2.17: Θερμοκρασία στα 2μ., Άνω Τούμπα, 06-01-2019



Σχήμα 3.2.18: Θερμοκρασία στα 2μ., Κηφισιά, 06-01-2019

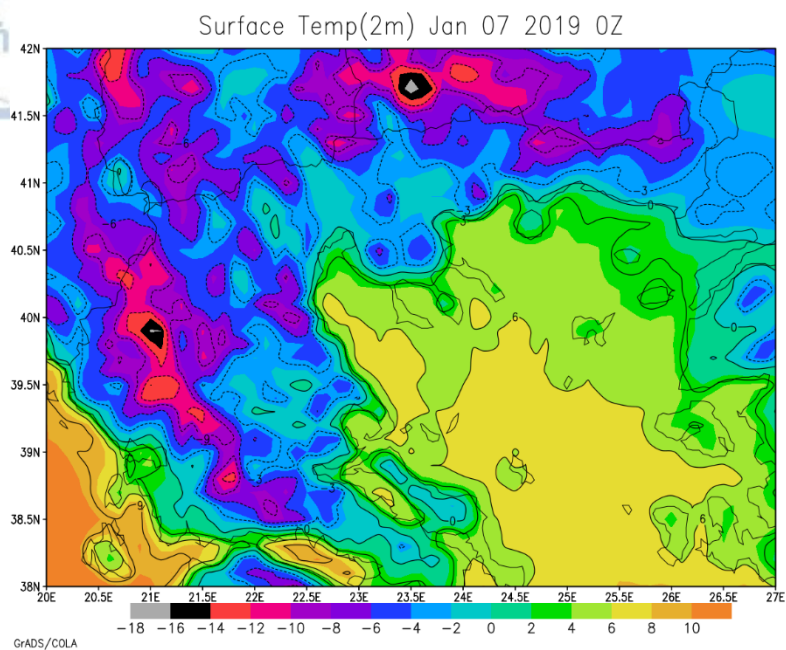
Την Δευτέρα, 7^η του Ιανουαρίου 2019, επικρατούσε γενικά συννεφιά κατά τις μεταμεσονύχτιες και πρώτες πρωινές ώρες. Έτσι, όπως φαίνεται και στους παρακάτω χάρτες (Σχήμα 3.2.19, Σχήμα 3.2.20), αλλά όπως προδίδουν επίσης και τα δεδομένα των σταθμών (Πίνακας 3.2.5), οι θερμοκρασίες δεν μειώθηκαν περαιτέρω.

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
Θεσσαλονίκη (ΕΑΑ)	-1.6°C	2.6°C
Λαγκαδάς (ΕΑΑ)	-12.6°C	1.0°C
Ασπροβάλτα (ΕΑΑ)	-2.8°C	3.8°C
Στρατώνι (ΕΑΑ)	-1.6°C	4.4°C
Άνω Τούμπα (North)	-2.4°C	1.9°C
Κηφησιά, Θεσ/νίκης (North)	-2.0°C	2.5°C
Θεσσαλονίκη (ΕΜΥ)	-1.0°C	2.4°C
Λάρισα (ΕΜΥ)	-4.8°C	4.4°C
Χρυσούπολη (ΕΜΥ)	-4.2°C	4.0°C

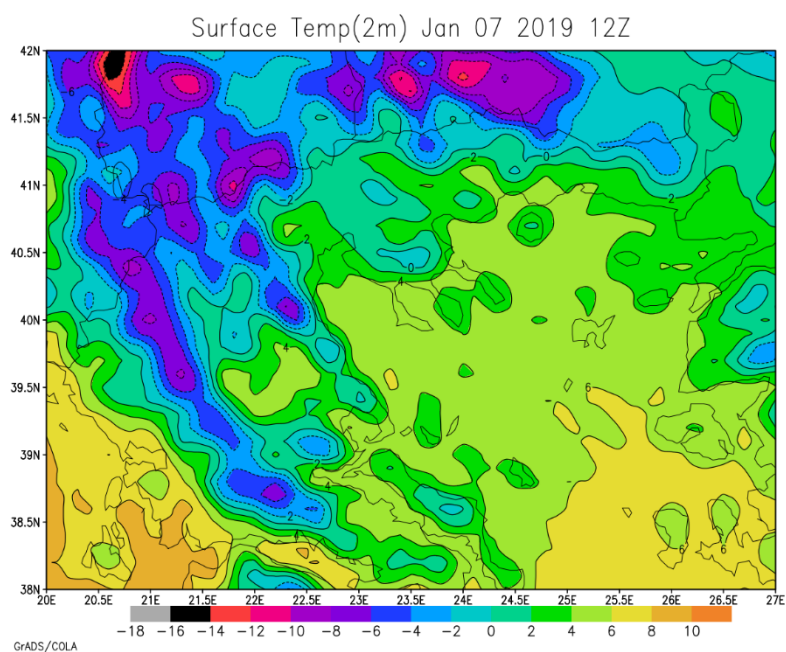
Πίνακας 3.2.5: Μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες (°C) σε περιοχές της Βόρειας Ελλάδας, 07-01-2019

Στην Ασπροβάλτα, ο σταθμός κατέγραψε θερμοκρασία -0.8°C νωρίς το πρωί, ωστόσο, γρήγορα ο καιρός έγινε αίθριος και με την δύση του ηλίου η θερμοκρασία άρχισε να πέφτει απότομα. Έτσι, η ελάχιστη της ημέρας καταγράφηκε αργά το βράδυ, στις 23:20 (-2.8°C). Η μέγιστη θερμοκρασία δεν ξεπέρασε τους 3.8°C. Αντίστοιχα, οι ελάχιστες θερμοκρασίες στην περιοχή της Κηφησιάς στην Θεσσαλονίκη (υψόμετρο 5μ), αλλά και στο Στρατώνι Χαλκιδικής (υψόμετρο 5μ) σημειώθηκαν επίσης αργά το βράδυ, καταγράφοντας και οι δύο περιοχές ελάχιστη στους -1.6°C.

Όπως φαίνεται και στους παρακάτω χάρτες (Σχήμα 3.2.19, 3.2.20), όσο αφορά την Κεντρική Μακεδόνια σημειώθηκε παγετός ο οποίος ήταν ολικός μόνο σε κάποια ορεινά τμήματα του νομού Χαλκιδικής.



Σχήμα 3.2.19: Θερμοκρασία (°C), 07-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



Σχήμα 3.2.20: Θερμοκρασία (°C), 07-01-2019 12Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

3.2.6 8 Ιανουαρίου 2019

Με τον αίθριο καιρό και το ψύχος να επιμένει, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες της ψυχρής εισβολής καταγράφηκαν στην Ελλάδα την Τρίτη 08 Ιανουαρίου (Πίνακας 3.2.6).

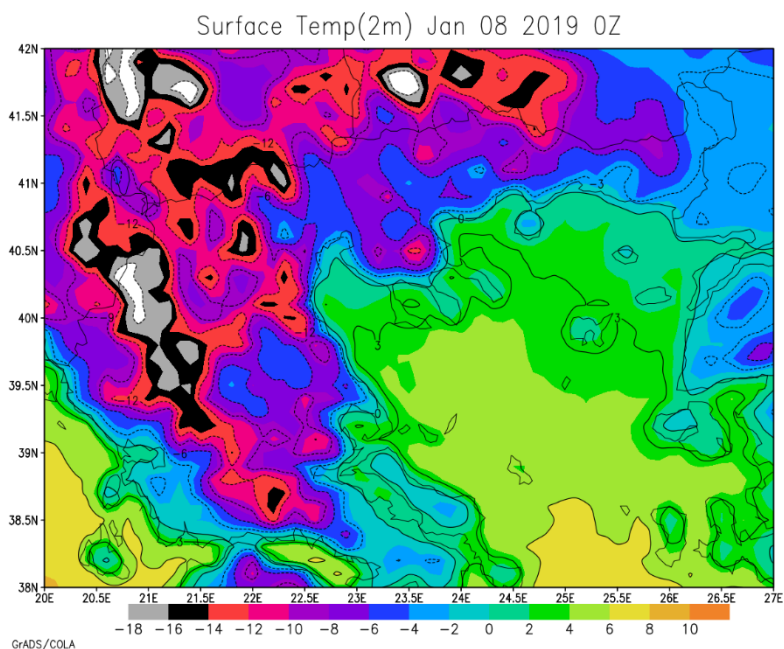
Σταθμός	Υψόμετρο (μ.)	Δίκτυο	Ελάχιστη T°C
Νευροκόπι	585	E.A.A.	-20.9
Φλώρινα	637	E.A.A.	-18.8
Πτολεμαίδα	606	E.A.A.	-18.6
Λαγκαδάς	84	E.A.A.	-14.3
Δράμα	84	E.A.A.	-11.1
Διδυμότειχο	35	E.A.A.	-10.4
Σέρρες	32	E.A.A.	-10.1
Χαλάστρα	1	E.A.A.	-8.4
Ασπροβάλτα	16	E.A.A.	-6.7
Θεσσαλονίκη	5	E.A.A.	-3.4

Πίνακας 3.2.6. Ελάχιστες θερμοκρασίες (°C) σε περιοχές της Βόρειας Ελλάδας, 08-01-2019.

Σημειώθηκε ολικός παγετός σχεδόν σε όλες τις προαναφερθείσες περιοχές. Για τις περιοχές εντός και πέριξ του νομού Θεσσαλονίκης, σημειώθηκαν οι μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες που φαίνονται στον πίνακα 3.2.7. Η υψηλότερη θερμοκρασία καταγράφηκε στην Κηφισιά Θεσσαλονίκης, με μέγιστη στους 1.8°C. Οι χαμηλές θερμοκρασίες που καταγράφηκαν από τους μετεωρολογικούς σταθμούς, μπορούν να επιβεβαιωθούν και από τους χάρτες ανάλυσης του E.C.M.W.F. (Σχήμα 3.2.21, Σχήμα 3.2.22).

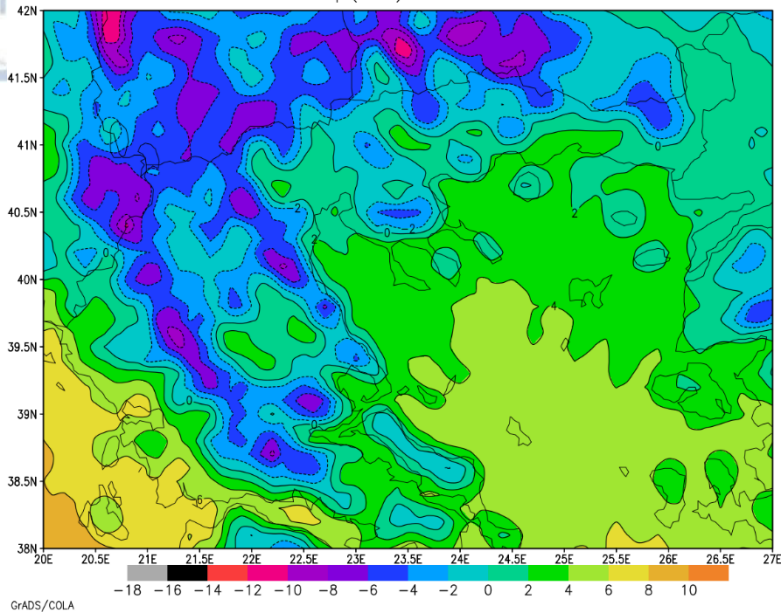
ΣΤΑΘΜΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
Θεσσαλονίκη (ΕΑΑ)	-3.4°C	0.7°C
Λαγκαδάς (ΕΑΑ)	-14.3°C	-1.9°C
Ασπροβάλτα (ΕΑΑ)	-6.7°C	0.2°C
Στρατώνι (ΕΑΑ)	-3.1°C	1.3°C
Άνω Τούμπα (North)	-4.1°C	1.4°C
Κηφησιά, Θεσ/νίκης (North)	-3.8°C	1.8°C
Θεσσαλονίκη (ΕΜΥ)	-4.8°C	0.8°C
Λάρισα (ΕΜΥ)	-8.8°C	-1.4°C
Χρυσούπολη (ΕΜΥ)	-6.2°C	0.8°C

Πίνακας 3.2.7: Μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες (°C) σε περιοχές της Βόρειας Ελλάδας, 08-01-2019



Σχήμα 3.2.21: Θερμοκρασία (°C), 08-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

Surface Temp(2m) Jan 08 2019 12Z

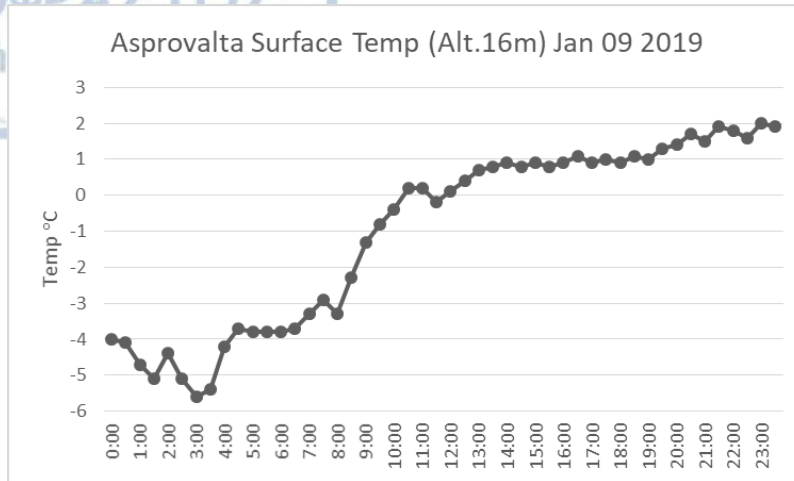


Σχήμα 3.2.22: Θερμοκρασία (°C), 08-01-2019 12Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

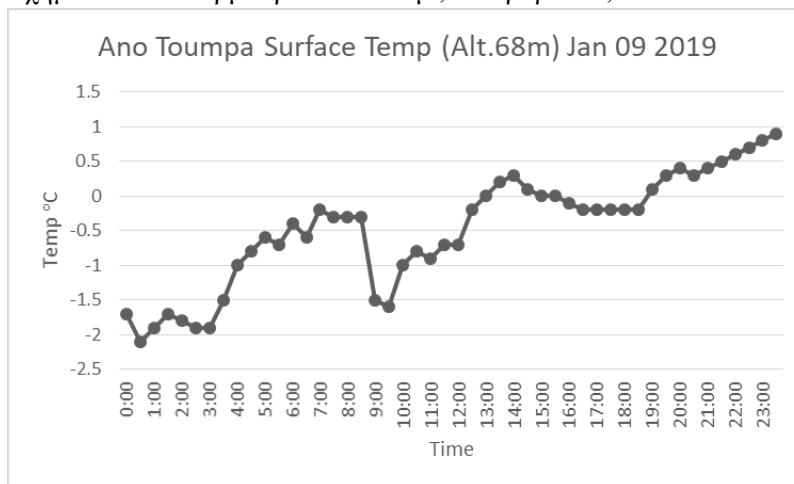
3.2.7 9-10 Ιανουαρίου 2019

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η Τετάρτη 09 Ιανουαρίου, όπου με την έλευση θερμού μετώπου κατά τις μεσημβρινές ώρες το ψύχος άρχισε να εκτοπίζεται, πλην των κοιλάδων στις οποίες αυτό εγκλωβίστηκε, προσφέροντας έτσι έναν νέο γύρο χιονοπτώσεων στα πεδινά και παραθαλάσσια, αυστηρά όμως της Βόρειας Χώρας.

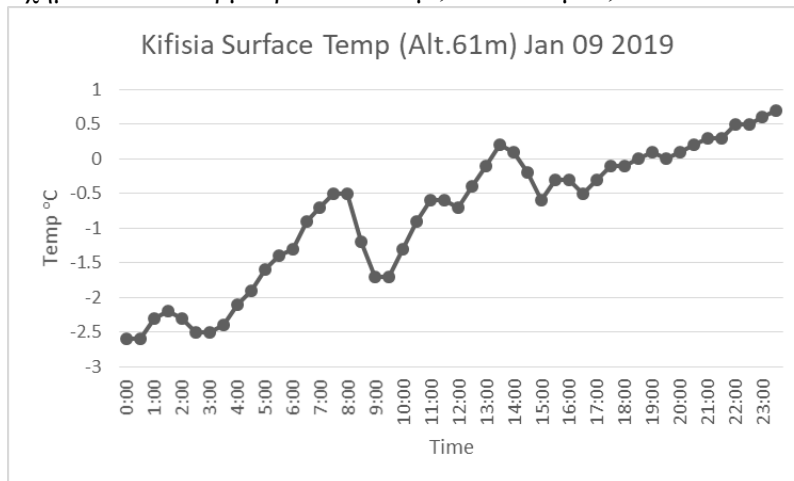
Σύμφωνα με δεδομένα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, στην πόλη της Θεσσαλονίκης ξεκίνησε το δεύτερο κύμα χιονοπτώσεων στις 11:00 και έληξε στις 20:00 της ίδιας ημέρας. Η θερμοκρασία στον νομό Θεσσαλονίκης ανέβηκε το μεσημέρι σχεδόν παντού κοντά στους 0°C, και παρέμεινε εκεί καθόλη την διάρκεια της ημέρας, έως αργά το βράδυ. Στα Σχήματα 3.2.23 – 3.2.25 φαίνεται η πορεία της θερμοκρασίας καθόλη την διάρκεια της ημέρας για την Ασπροβάλτα, την Άνω Τούμπα και την Κηφισιά Θεσσαλονίκης. Στους χάρτες ανάλυσης του ECMWF φαίνεται η άνοδος της θερμοκρασίας, η οποία ξεκίνησε σταδιακά από τις πρώτες μεσημβρινές ώρες (Σχήματα 3.2.26 - 3.2.29).



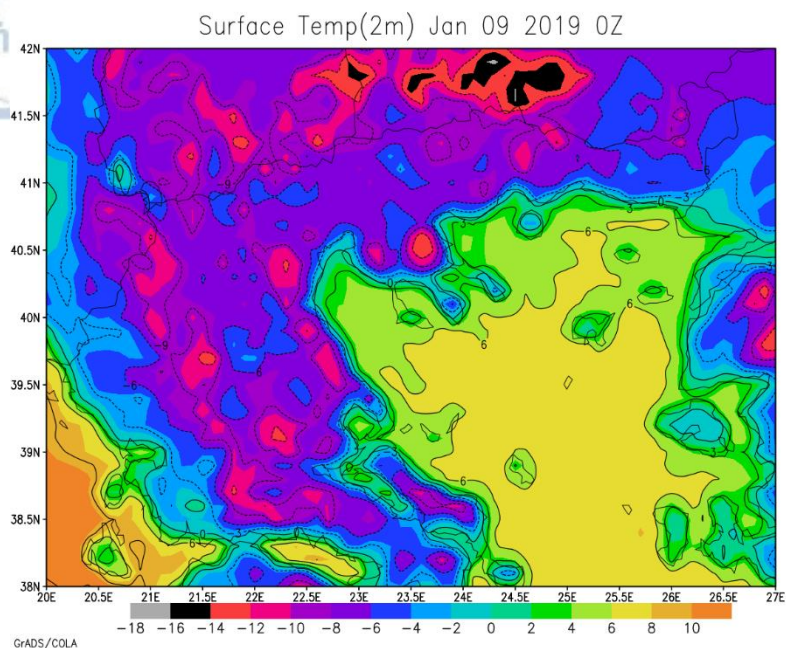
Σχήμα 3.2.23: Θερμοκρασία στα 2μ., Ασπροβάλτα, 09-01-2019



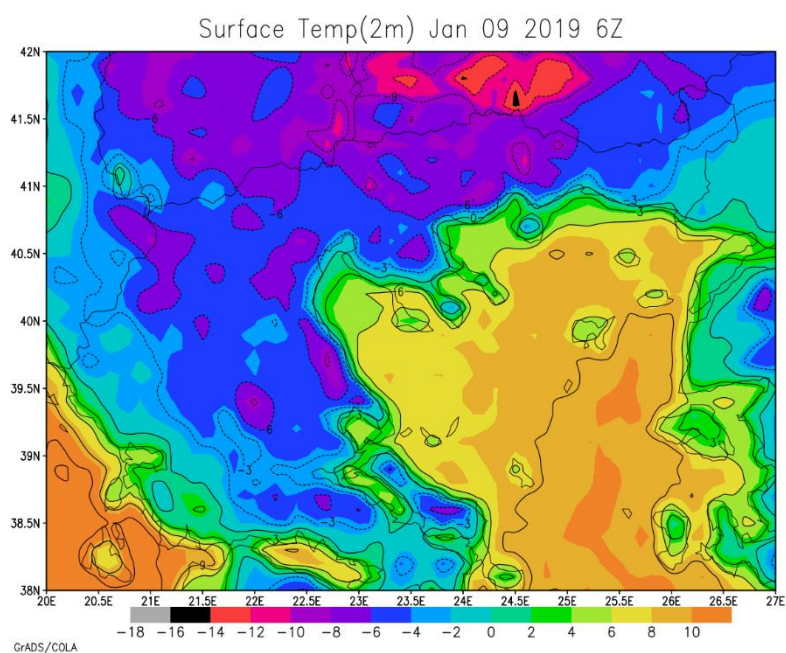
Σχήμα 3.2.24: Θερμοκρασία στα 2μ., Άνω Τούμπα, 09-01-2019



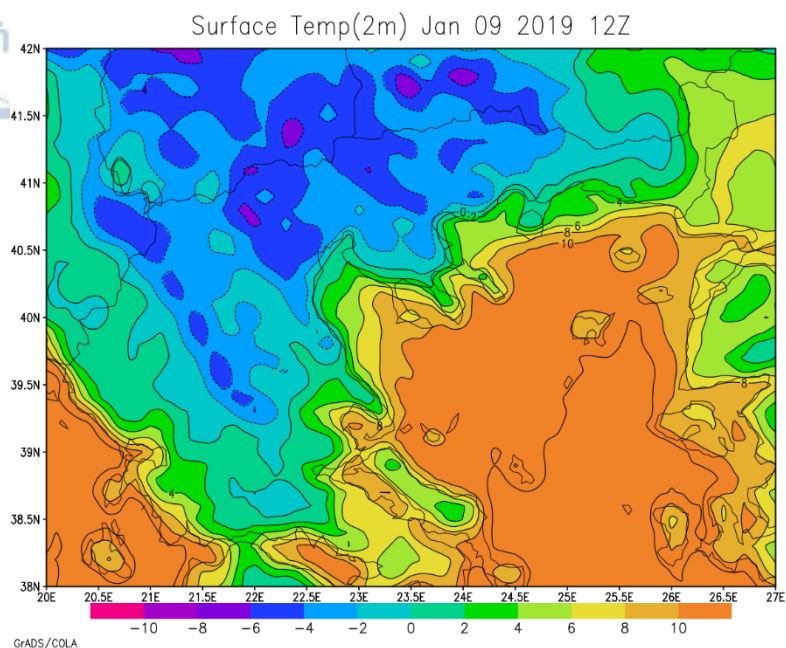
Σχήμα 3.2.25: Θερμοκρασία στα 2μ., Κηφισιά, 09-01-2019



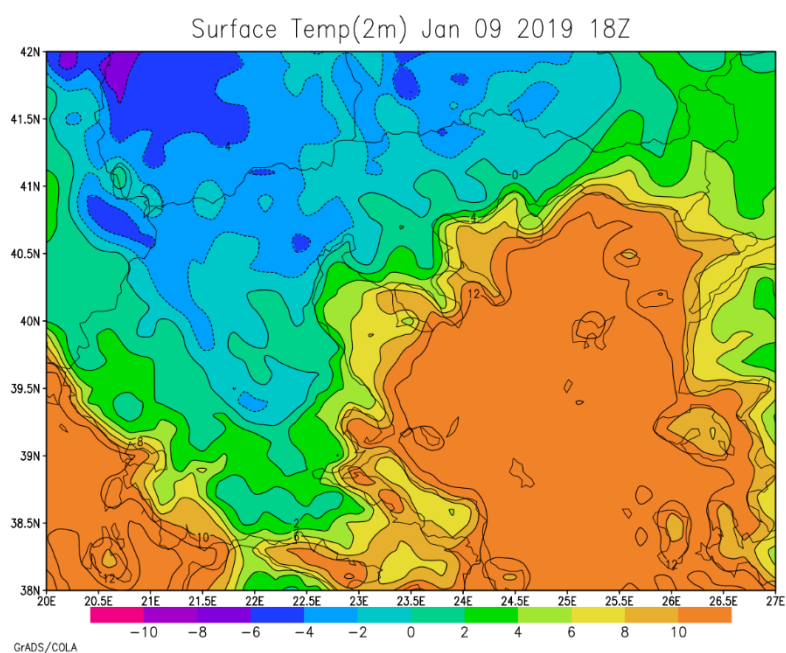
Σχήμα 3.2.26: Θερμοκρασία (°C), 09-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



Σχήμα 3.2.27: Θερμοκρασία (°C), 09-01-2019 6Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

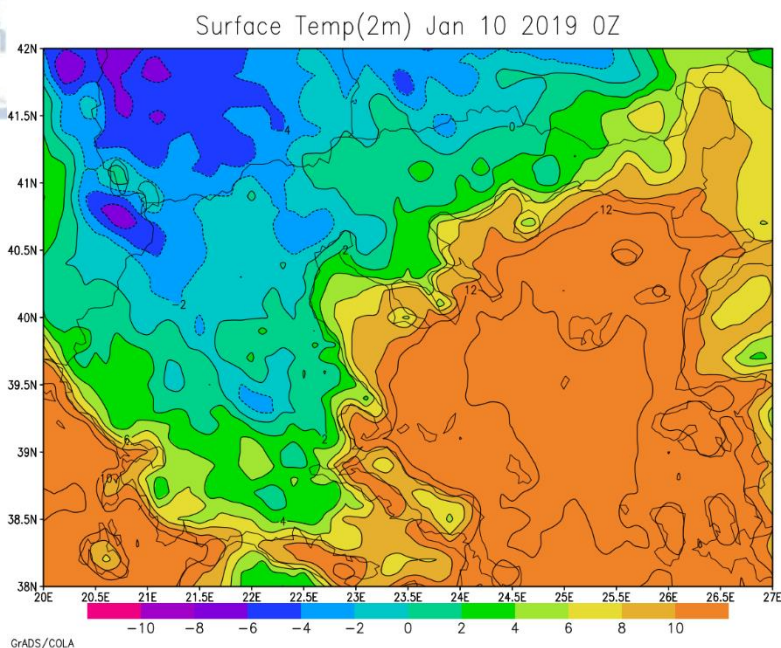


Σχήμα 3.2.28: Θερμοκρασία (°C), 09-01-2019 12Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



Σχήμα 3.2.29: Θερμοκρασία (°C), 09-01-2019 18Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

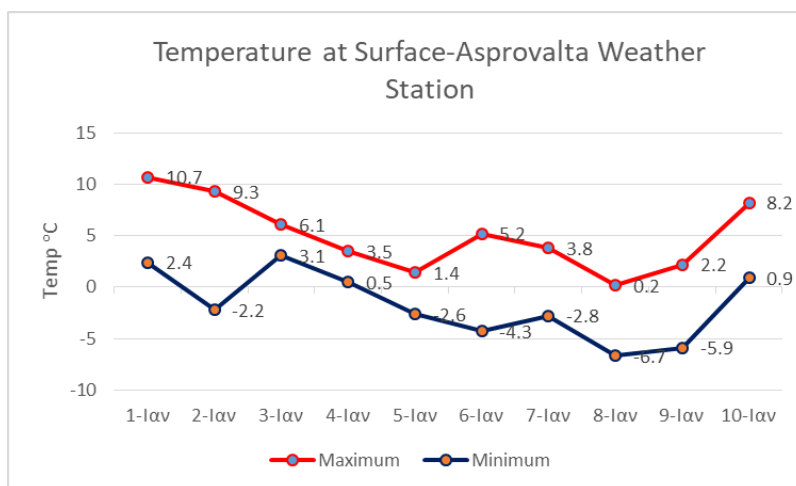
Τέλος, ήδη από τις βραδινές ώρες της 9^{ης} Ιανουαρίου, η θερμοκρασία σημείωσε άνοδο και μπορεί να θεωρηθεί ότι η ψυχρή εισβολή που μελετάται, έλαβε οριστικά λήξη την Πέμπτη 10 Ιανουαρίου 2019 (Σχήμα 3.2.30).



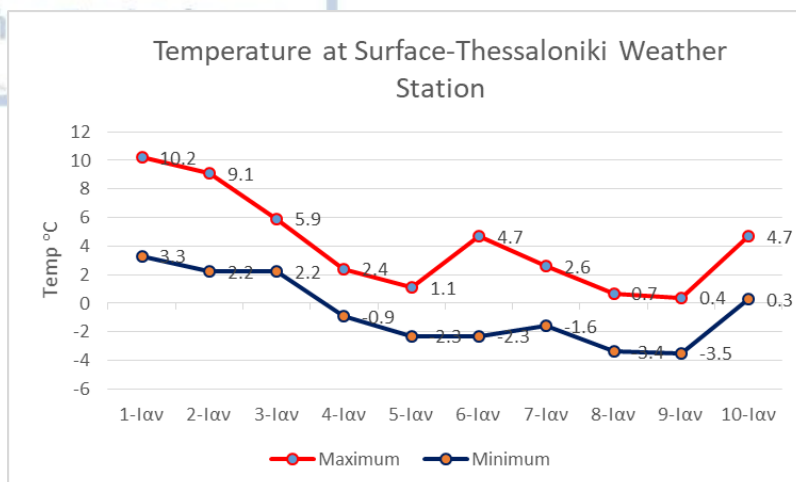
Σχήμα 3.2.30: Θερμοκρασία (°C), 10-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

3.2.8 1-10 Ιανουαρίου 2019

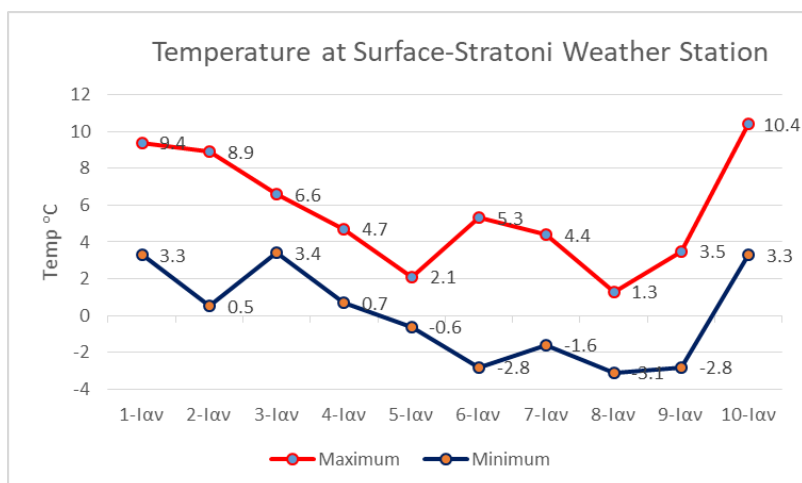
Παρακάτω φαίνεται ενδεικτικά η πορεία της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας στην επιφάνεια για διάφορες περιοχές της Κεντρικής και Ανατολικής Μακεδονίας, σύμφωνα με δεδομένα αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών του δικτύου του ΕΑΑ (Σχήμα 3.2.31 - 3.2.37). Φαίνεται ότι για όλες τις περιοχές η θερμοκρασία είχε πτωτική τάση ήδη από την 1^η του Ιανουαρίου, ενώ οι χαμηλότερες θερμοκρασίες σημειώθηκαν από την 6^η έως την 8^η του ίδιου μήνα. Ξεκάθαρη είναι, επίσης, και η απότομη άνοδος της θερμοκρασίας από την 9^η του Ιανουαρίου και μετά.



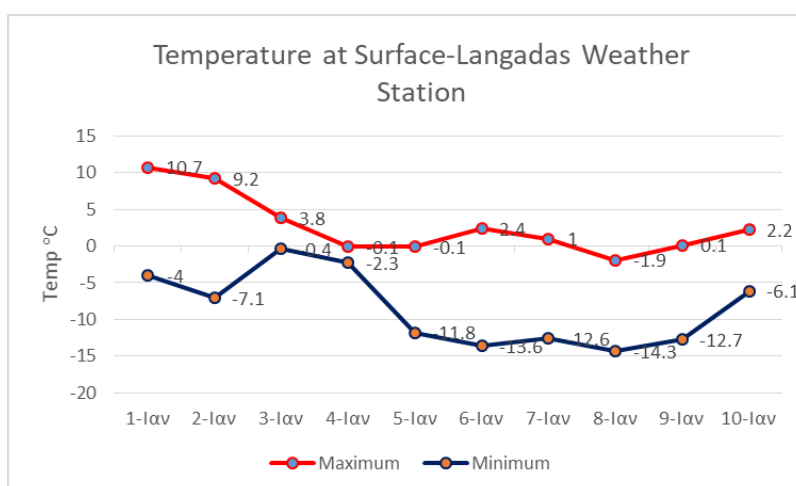
Σχήμα 3.2.31: Διάγραμμα θερμοκρασίας στα 2μ., Ασπροβάλτα(16μ), 01 έως 10 Ιανουαρίου 2019



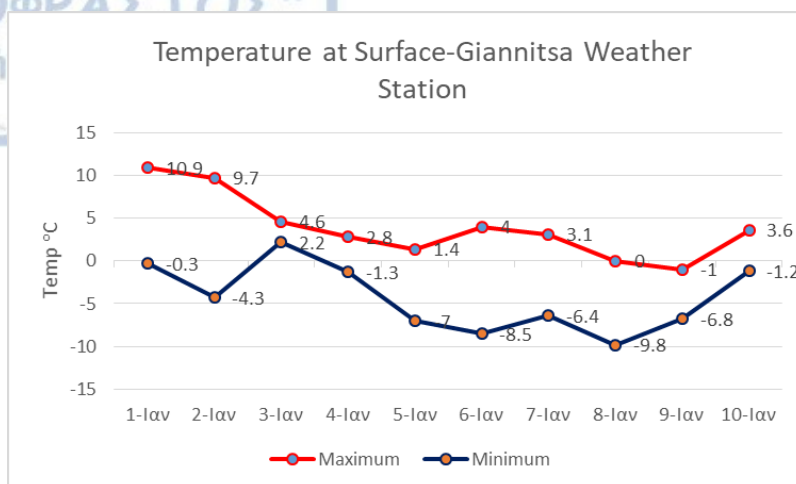
Σχήμα 3.2.32: Διάγραμμα θερμοκρασίας στα 2μ., Θεσσαλονίκη(5μ) (ΕΑΑ), 01-10 Ιανουαρίου 2019



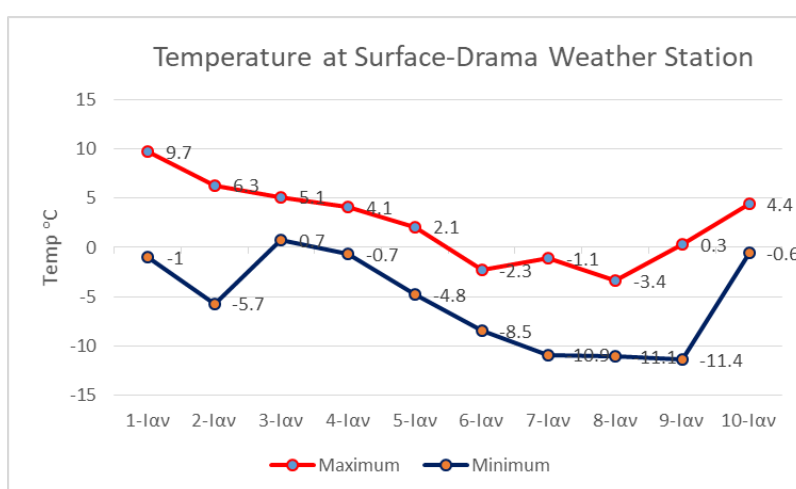
Σχήμα 3.2.33: Διάγραμμα θερμοκρασίας στα 2μ., Στρατώνι(5μ), 01-10 Ιανουαρίου 2019



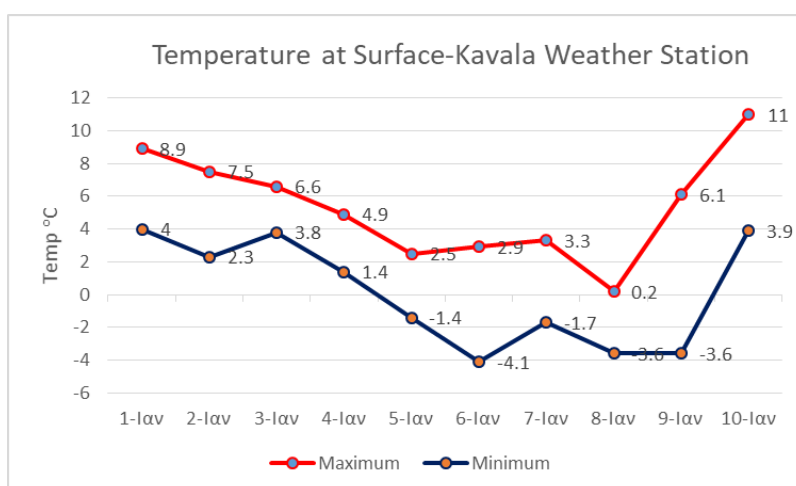
Σχήμα 3.2.34: Διάγραμμα θερμοκρασίας στα 2μ., Λαγκαδάς(84μ), 01-10 Ιανουαρίου 2019



Σχήμα 3.2.35: Διάγραμμα θερμοκρασίας στα 2μ., Γιαννιτσά(35μ), 01-10 Ιανουαρίου 2019



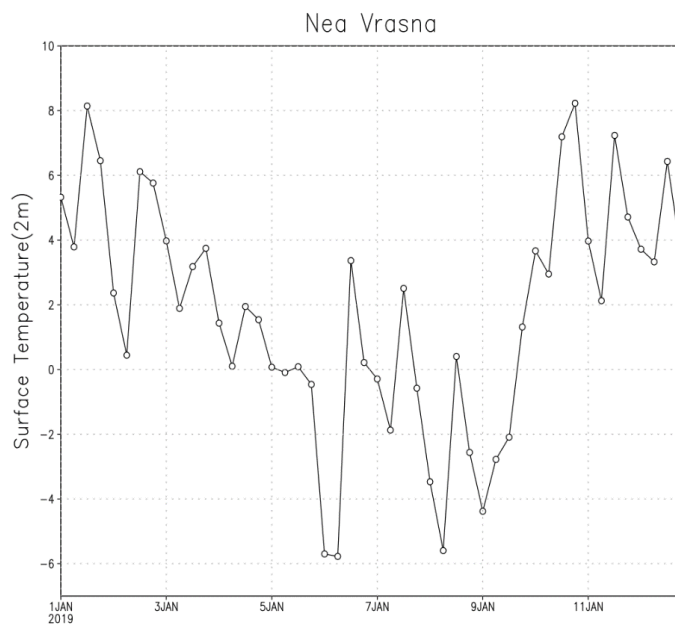
Σχήμα 3.2.36: Διάγραμμα θερμοκρασίας στα 2μ., Δράμα(84μ), 01-10 Ιανουαρίου 2019



Σχήμα 3.2.37: Διάγραμμα θερμοκρασίας στα 2μ., Καβάλα(90μ), 01-10 Ιανουαρίου 2019

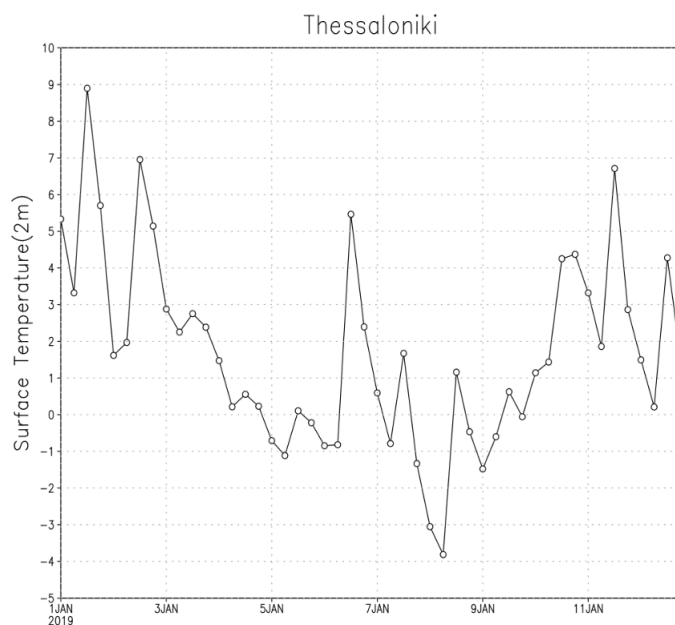
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ομοιότητες στις θερμοκρασίες που δίνουν οι αναλύσεις του ECMWF για τις παρακάτω περιοχές, όσο αφορά την θερμοκρασία στην επιφάνεια (Σχήμα 3.2.38 - 3.2.40). Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η πορεία της θερμοκρασίας ταυτίζεται με τις μετρήσεις των σταθμών, αν και οι τιμές δεν είναι

ακριβώς οι ίδιες. Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι το σφάλμα θα ήταν μικρής σημασίας εάν χρειαστεί να χρησιμοποιηθούν αυτές οι μετρήσεις σε περιοχές όπου απουσιάζουν μετεωρολογικοί σταθμοί.



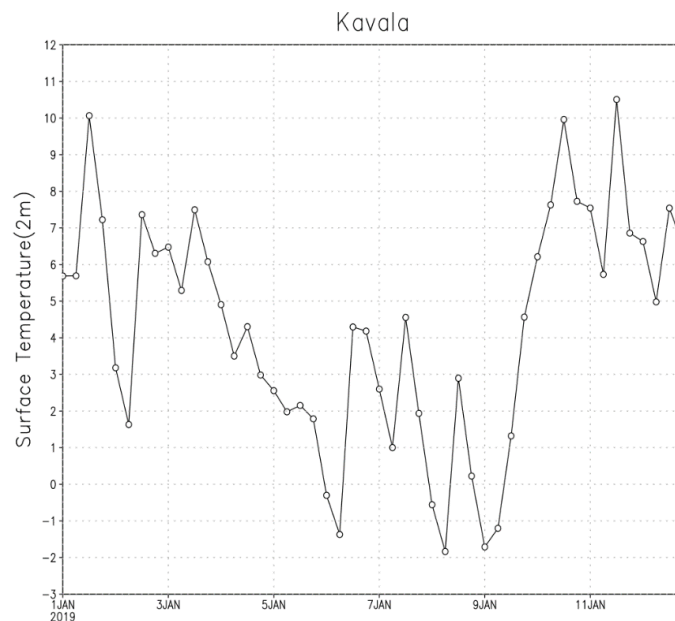
GrADS/COLA

Σχήμα 3.2.38: Διάγραμμα θερμοκρασίας στα 2μ., Νέα Βρασνά(5μ) (ECMWF), 01-12 Ιανουαρίου 2019



GrADS/COLA

Σχήμα 3.2.39: Διάγραμμα θερμοκρασίας στα 2μ., Θεσσαλονίκη(5μ) (ECMWF), 01-12 Ιανουαρίου 2019



GrADS/COLA

Σχήμα 3.2.40: Διάγραμμα θερμοκρασίας στα 2μ., Καβάλα(90μ) (ECMWF), 01-10 Ιανουαρίου 2019

3.3 Εκτιμώμενα ύψη χιονιού και χάρτες υετού

Όπως προαναφέρθηκε, το ψύχος εγκαταστάθηκε οριστικά στην Βόρεια Ελλάδα ήδη από την Παρασκευή 04 Ιανουαρίου 2019. Νωρίς το πρωί της Παρασκευής είχαν μετατραπεί πλέον όλα τα φαινόμενα υετού σε χιονοπτώσεις, ακόμη και στα παραθαλάσσια τμήματα. Για τον νομό Θεσσαλονίκης, τα φαινόμενα κράτησαν μέχρι και το απόγευμα της 5^{ης} Ιανουαρίου, όπου και η σημειώθηκε η μέγιστη συσσώρευση χιονιού.

Το πρόβλημα με τη χιονόπτωση είναι το γεγονός ότι είναι αδύνατη η ακριβής μέτρηση της από αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς. Μπορεί να μετρηθεί το 'liquid water equivalent' μετά το λιώσιμο της ποσότητας του χιονιού που συσσωρεύεται στο κωνικό βροχόμετρο, ωστόσο, η εκτίμηση του ύψους χιονιού στηρίζεται αποκλειστικά σε μετρήσεις εδάφους με χάρακα ή μεζούρα. Να σημειωθεί ότι εξαιτίας της πιθανής ύπαρξης ανέμων η συσσώρευση χιονιού στο έδαφος μπορεί να μην είναι ομοιόμορφη. Έτσι, η ορθή μέτρηση του πάχους της χιονοκάλυψης απαιτεί την εύρεση ενός αντιπροσωπευτικού σημείου (Φλόκας, 1997), ή, εάν αυτό δεν είναι εφικτό, την μέτρηση σε τουλάχιστον τρία (3) σημεία και την εξαγωγή του μέσου όρου (NOAA, 2009).

Άλλος ένας τρόπος, ο πιο συχνός, είναι η αναγραφή ενός εύρους ύψους χιονιού σε μια περιοχή. Για παράδειγμα, εάν σε μια περιοχή μετρήθηκαν από διαφορετικά άτομα ή σε διαφορετικά σημεία ύψη χιονιού 14cm, 20cm και 17cm, τότε για την συγκεκριμένη περιοχή, αντί να επιλεγεί μια τιμή (πχ η μέση), θα αναφερθεί 14-20cm.

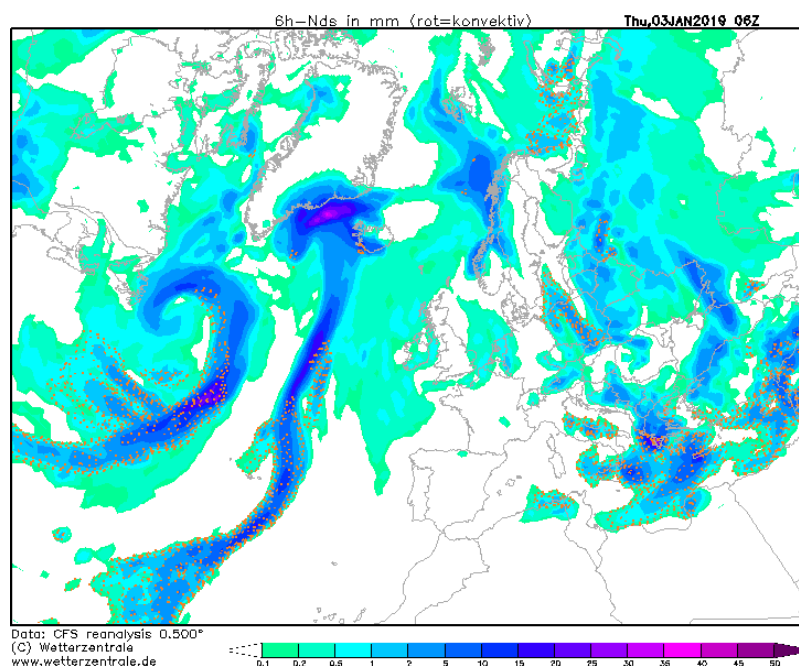
Στην παρούσα μελέτη θα αναφερθούν εύρη τιμών χιονοκάλυψης για διάφορες περιοχές του νομού Θεσσαλονίκης, το Σάββατο 05 Ιανουαρίου 2019, όπου και σημειώθηκαν τα μεγαλύτερα ύψη (Πίνακας 3.3.1).

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΥΨΟΣ ΧΙΟΝΙΟΥ (σε cm)
Μόδι (120μ)	50-60
Νέα Βρασνά (5μ)	25-35
Θεσσαλονίκη (5μ)	20-30
Δρυμός (200μ)	30-40

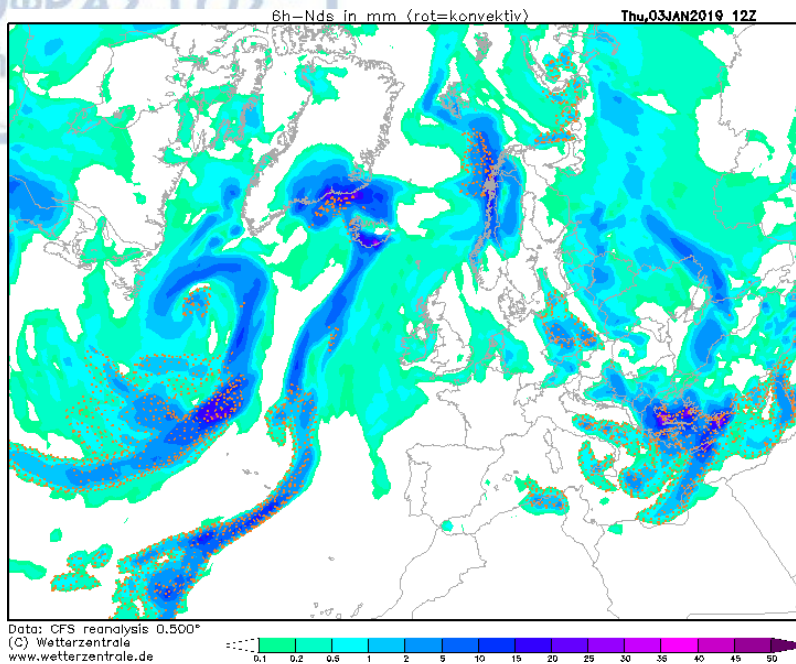
Πίνακας 3.3.1: Ύψη χιονιού (cm) σε περιοχές του Νομού Θεσσαλονίκης, 05-01-2019

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι χάρτες αναδρομικής ανάλυσης νετού του συστήματος CFS (Climate Forecast System), μέσω των οποίων, συνδυαστικά με τους προηγούμενους χάρτες και τα δεδομένα θερμοκρασιών μετεωρολογικών σταθμών, μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα για την ποσότητα και την ένταση των χιονοπτώσεων.

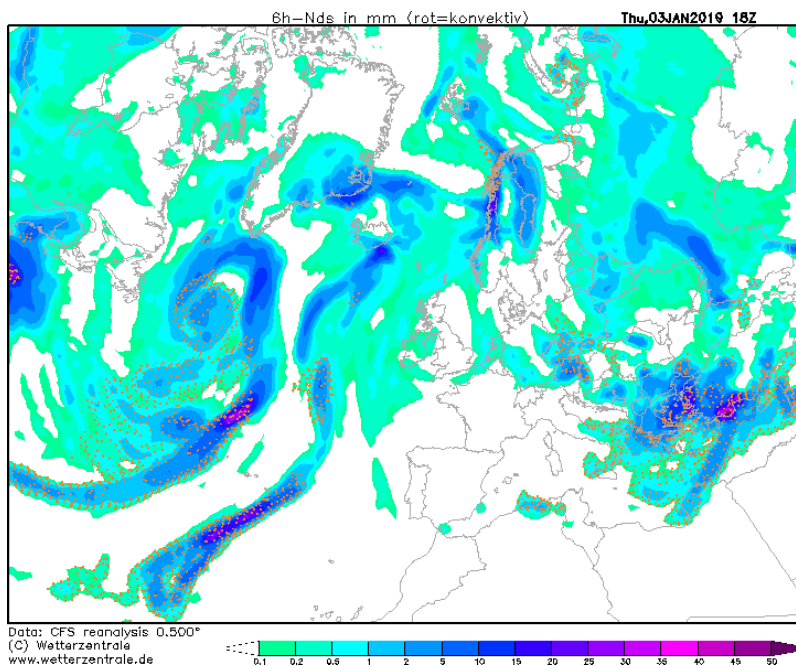
Για την πρώτη φάση της κακοκαιρίας, εστιάζοντας πάντα στην περιοχή του νομού Θεσσαλονίκης, η οποία ξεκίνησε στις 03 του Ιανουαρίου και έλαβε τέλος στις 06 του ίδιου μήνα, τα φαινόμενα σύμφωνα με τους χάρτες (Σχήμα 3.3.1...3.3.9) φαίνεται ότι είχανε τη μέγιστη έντασή τους το βράδυ της 04 του Ιανουαρίου (Σχήμα 3.3.6) και το πρωί της 05 του Ιανουαρίου (Σχήμα 3.3.7). Πράγματι, κάτι τέτοιο μπορεί να επιβεβαιωθεί και από τις παρατηρήσεις στην επιφάνεια.



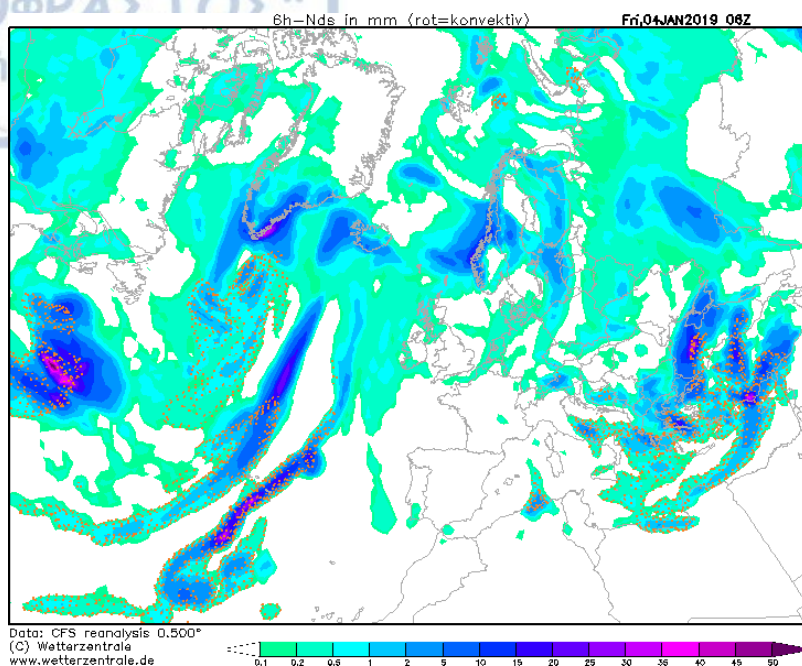
Σχήμα 3.3.1: Χάρτης νετού αναδρομικής ανάλυσης (CFS), 03-01-2019 6Z. (Πηγή: <https://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.php>)



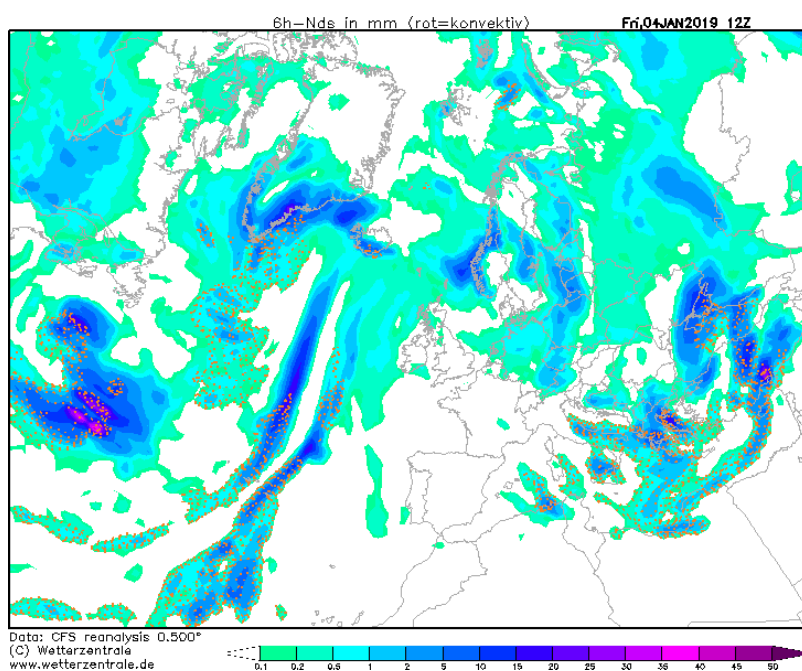
Σχήμα 3.3.2: Χάρτης νετού αναδρομικής ανάλυσης (CFS), 03-01-2019 12Z. (Πηγή: <https://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.php>)



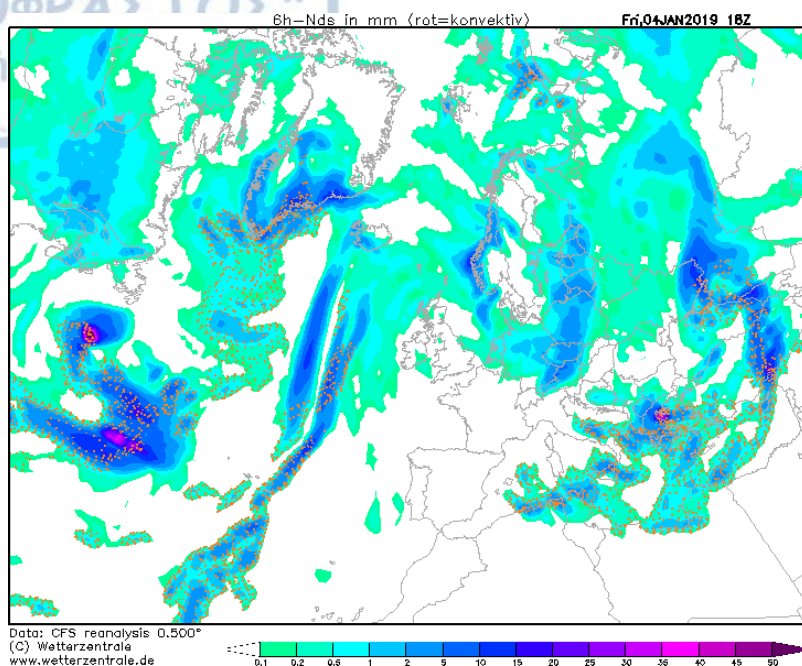
Σχήμα 3.3.3: Χάρτης νετού αναδρομικής ανάλυσης (CFS), 03-01-2019 18Z. (Πηγή: <https://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.php>)



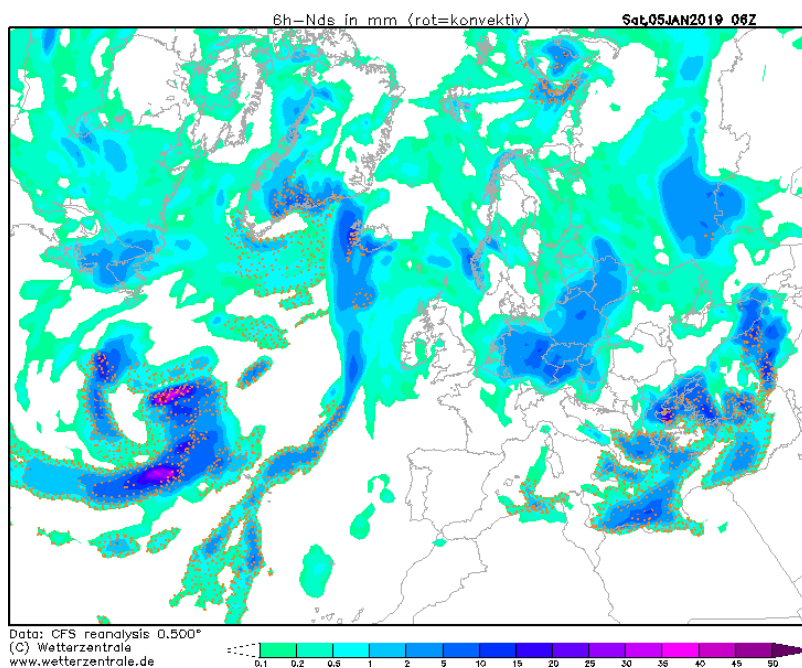
Σχήμα 3.3.4: Χάρτης νετού αναδρομικής ανάλυσης (CFS), 04-01-2019 6Z. (Πηγή: <https://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.php>)



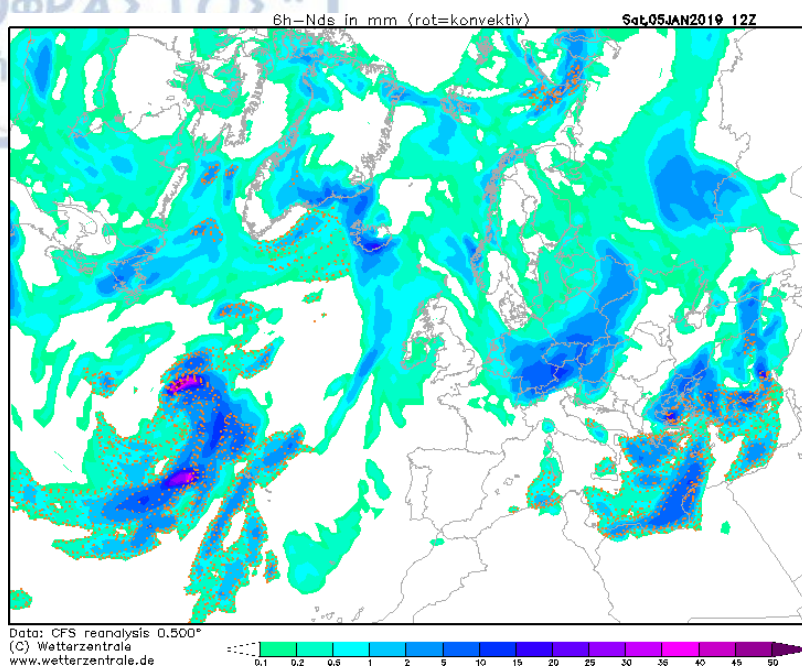
Σχήμα 3.3.5: Χάρτης νετού αναδρομικής ανάλυσης (CFS), 04-01-2019 12Z. (Πηγή: <https://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.php>)



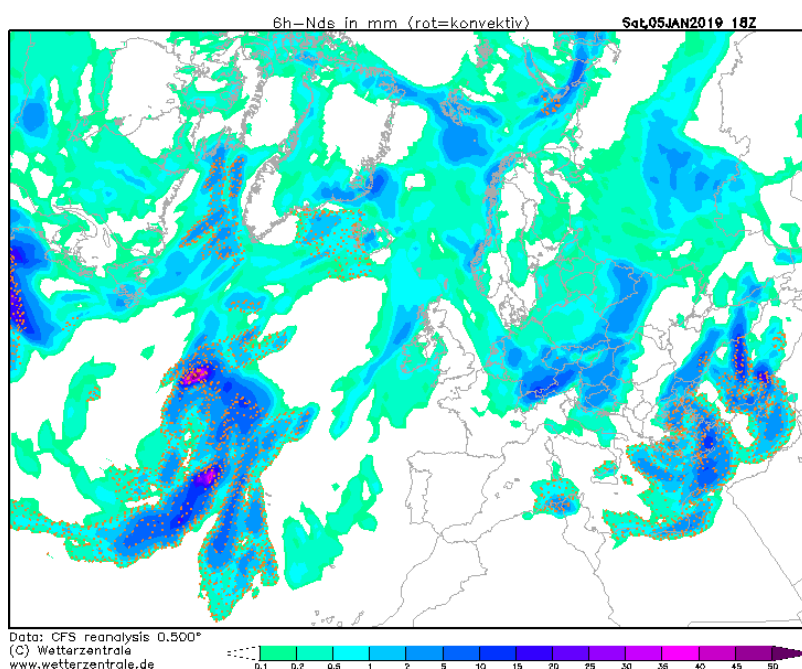
Σχήμα 3.3.6: Χάρτης νετού αναδρομικής ανάλυσης (CFS), 04-01-2019 18Z. (Πηγή: <https://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.php>)



Σχήμα 3.3.7: Χάρτης νετού αναδρομικής ανάλυσης (CFS), 05-01-2019 6Z. (Πηγή: <https://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.php>)



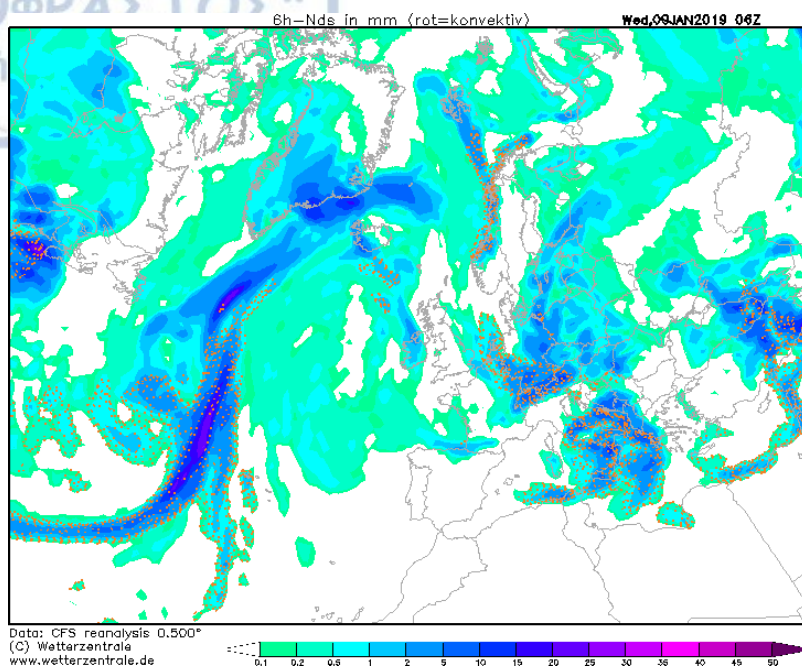
Σχήμα 3.3.8: Χάρτης νετού αναδρομικής ανάλυσης (CFS), 05-01-2019 12Z. (Πηγή: <https://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.php>)



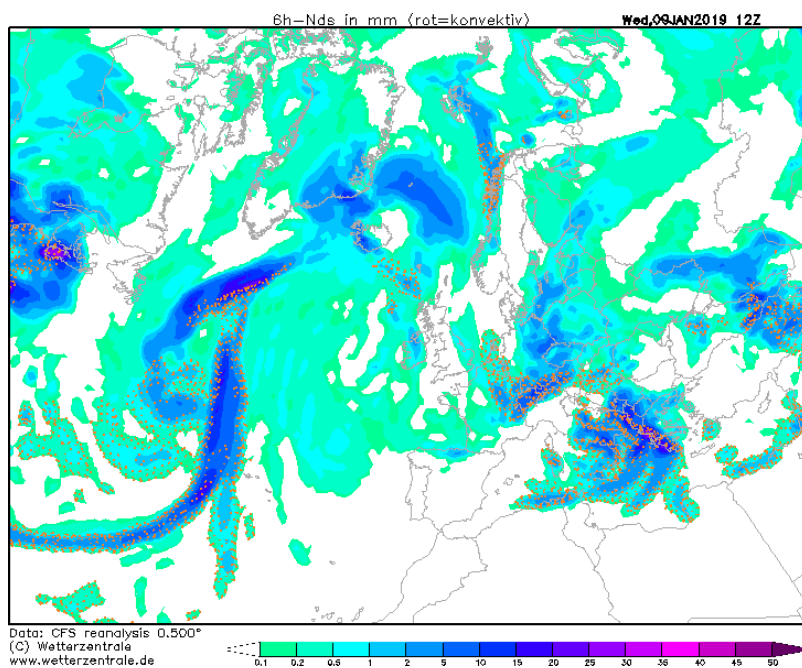
Σχήμα 3.3.9: Χάρτης νετού αναδρομικής ανάλυσης (CFS), 05-01-2019 18Z

Στην δεύτερη φάση της κακοκαιρίας, στις 09 του Ιανουαρίου, τα φαινόμενα φαίνεται να ξεκίνησαν τις μεσημβρινές ώρες στην Κεντρική Μακεδονία, μιάς και δεν φαίνεται νετός στους χάρτες αναδρομικής ανάλυσης για την ώρα 6Z (Σχήμα 3.3.10), και να έλαβαν την μέγιστη ένταση τους το απόγευμα (Σχήμα 3.3.11, Σχήμα 3.3.12).

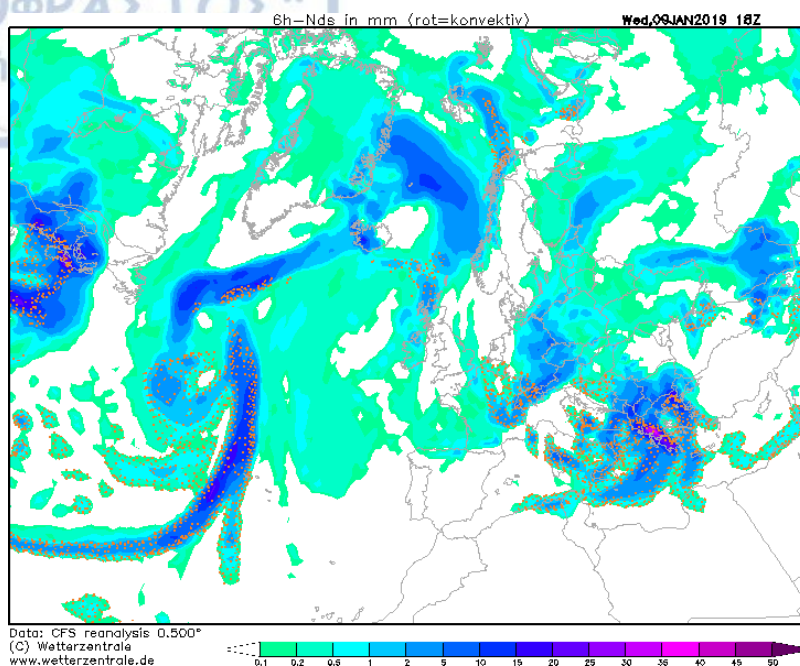
Τα δεδομένα θερμοκρασιών των σταθμών στον Νομό Θεσσαλονίκης, τα οποία αναφέρθηκαν προηγουμένως, προδίδουν ότι τα εν λόγω φαινόμενα αφορούσαν χιονοπτώσεις.



Σχήμα 3.3.10: Χάρτης υετού αναδρομικής ανάλυσης (CFS), 09-01-2019 6Z. (Πηγή: <https://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.php>)



Σχήμα 3.3.11: Χάρτης υετού αναδρομικής ανάλυσης (CFS), 09-01-2019 12Z. (Πηγή: <https://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.php>)



Σχήμα 3.3.12: Χάρτης νετού αναδρομικής ανάλυσης (CFS), 09-01-2019 18Z. (Πηγή: <https://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.php>)

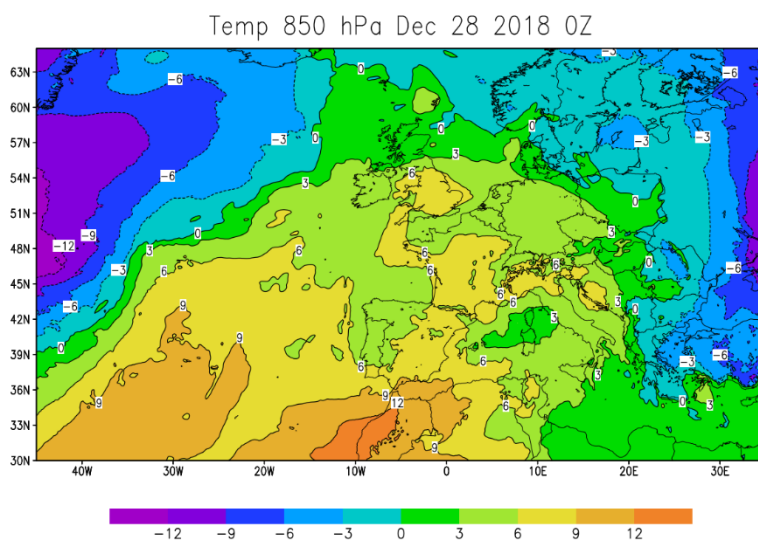
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο – ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

4.1 Θερμοκρασία στα 850 hPa

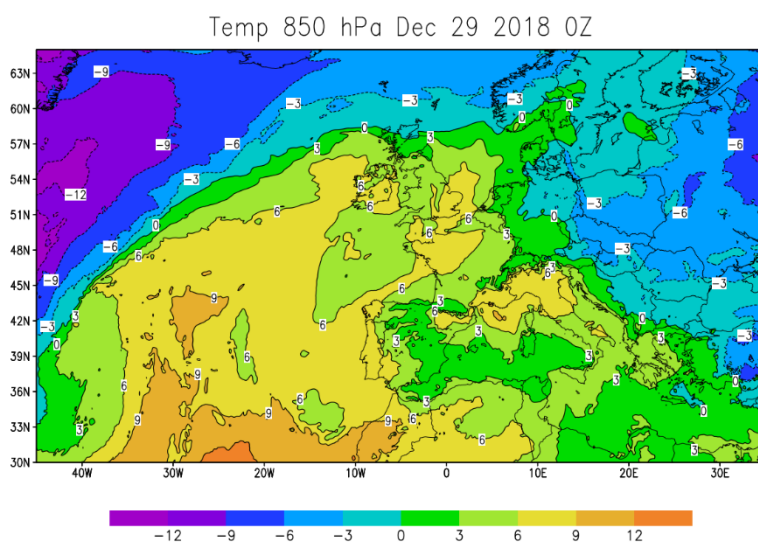
Για τον εντοπισμό ψυχρής ή θερμής εισβολής στην κατώτερη τροπόσφαιρα, συχνά χρησιμοποιείται η στάθμη των 850 hPa, που βρίσκεται περίπου στα 1500 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας, καθώς σε εκείνο το ύψος η αέρια μάζα επηρεάζεται λιγότερο από τοπογραφικούς παράγοντες.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η πορεία της θερμοκρασίας στη συγκεκριμένη στάθμη μερικές ημέρες πριν, κατά τη διάρκεια και μερικές ημέρες μετά το πέρας της ψυχρής εισβολής που έλαβε χώρα τον Ιανουάριο του 2019. Στους παρακάτω χάρτες ανάλυσης του ECMWF για την Ευρωπαϊκή ήπειρο φαίνεται ξεκάθαρα η προέλευση της ψυχρής αέριας μάζας και η ταχύτατη κίνησή της προς την Νοτιοανατολική Μεσόγειο, ξεκινώντας από την 28^η Δεκεμβρίου του 2018 (Σχήμα 4.1.1) και φθάνοντας έως την 11^η του Ιανουαρίου του 2019 (Σχήμα 4.1.19).

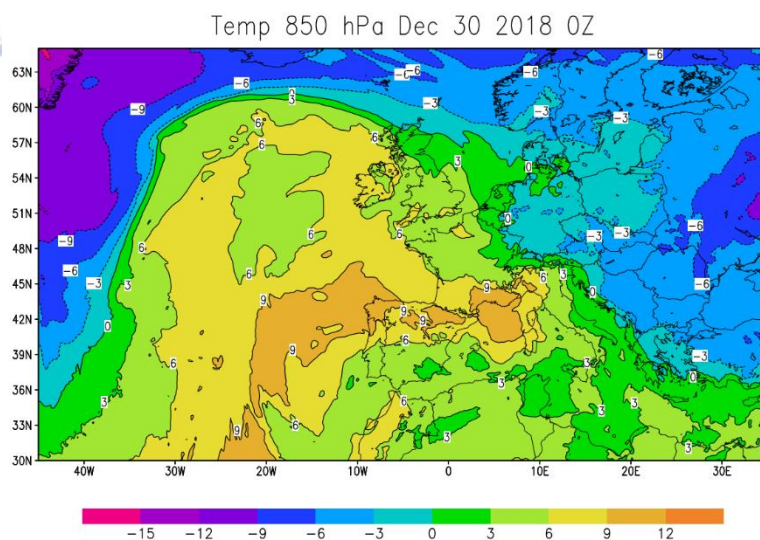
Η ψυχρή αέρια μάζα εντοπίζεται στο Νοτιοανατολικό άκρο της Σκανδιναβίας ήδη από την 2^η του Ιανουαρίου με τιμές περί των -12°C στα 850 hPa στην Βόρεια Σουηδία (Σχήμα 4.1.6.) και κινείται Νότια – Νοτιοδυτικά προς την Νοτιοανατολική Μεσόγειο (η οποία είχε πριν την εισβολή θερμοκρασιακές τιμές στα 850 hPa από -3°C έως 3°C), και συγκεκριμένα προς το Ιόνιο Πέλαγος (Σχήμα 4.1.6). Φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την Βόρεια Ελλάδα ήδη από την 4^η του Ιανουαρίου, όπου οι τιμές πέφτουν απότομα στους -6°C (Σχήμα 4.1.8), ενώ αποχωρεί σταδιακά από το απόγευμα της 9^{ης} Ιανουαρίου (Σχήμα 4.1.17). Η ισόθερμος των 0°C για την προαναφερθείσα στάθμη πίεσης κάλυψε ολόκληρη την χώρα από τις 04 του Ιανουαρίου έως και το απόγευμα της 09 του ίδιου μήνα. Γενικά, η πορεία της θερμοκρασίας στα 850 hPa αποτυπώνεται στους παρακάτω χάρτες με ημερολογιακή σειρά (Σχήμα 4.1.1...Σχήμα 4.1.19).



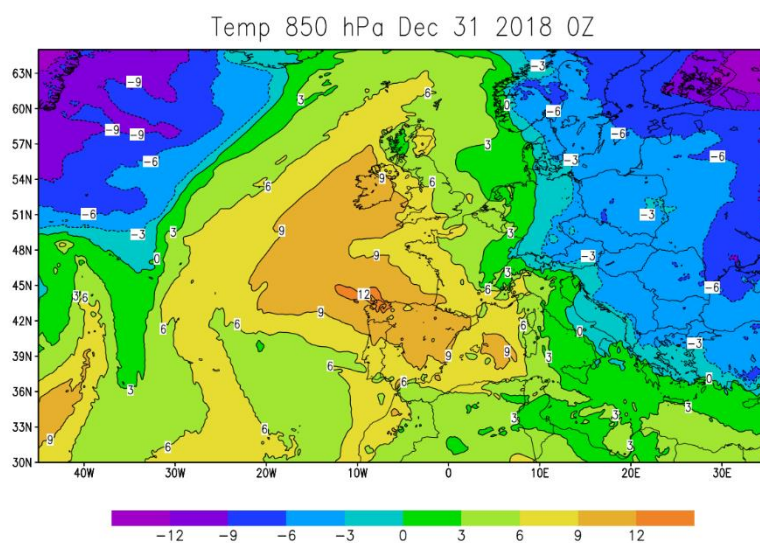
Σχήμα 4.1.1: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 28-12-2018 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



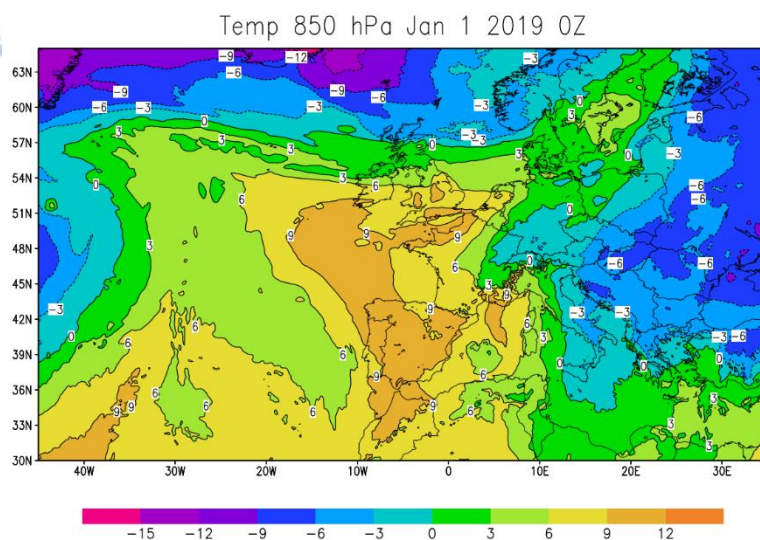
Σχήμα 4.1.2: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 29-12-2018 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



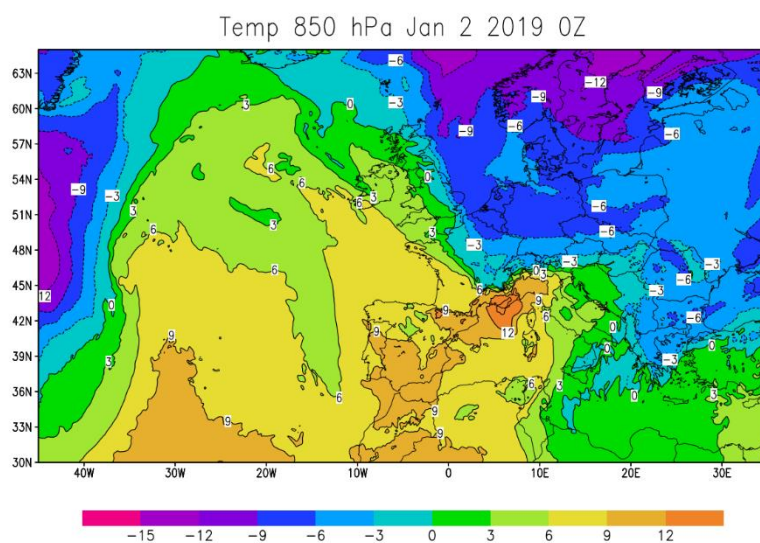
Σχήμα 4.1.3: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 30-12-2018, 0Z Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



Σχήμα 4.1.4: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 31-12-2018 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

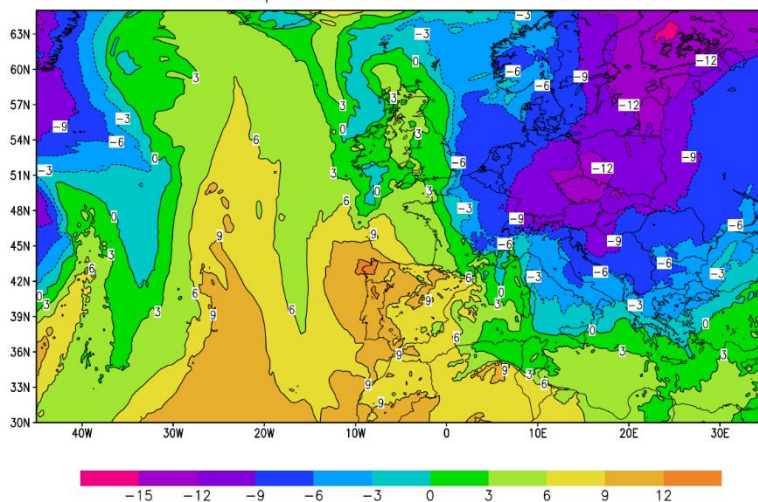


Σχήμα 4.1.5: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 01-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



Σχήμα 4.1.6: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 02-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

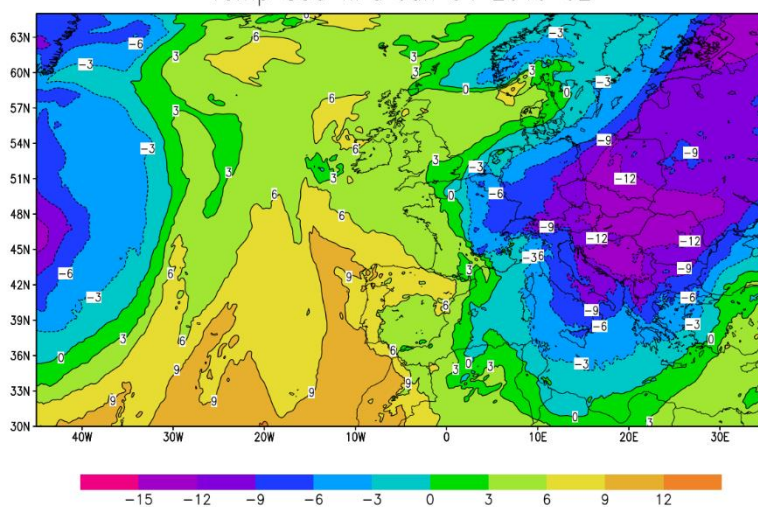
Temp 850 hPa Jan 3 2019 0Z



GrADS/COLA

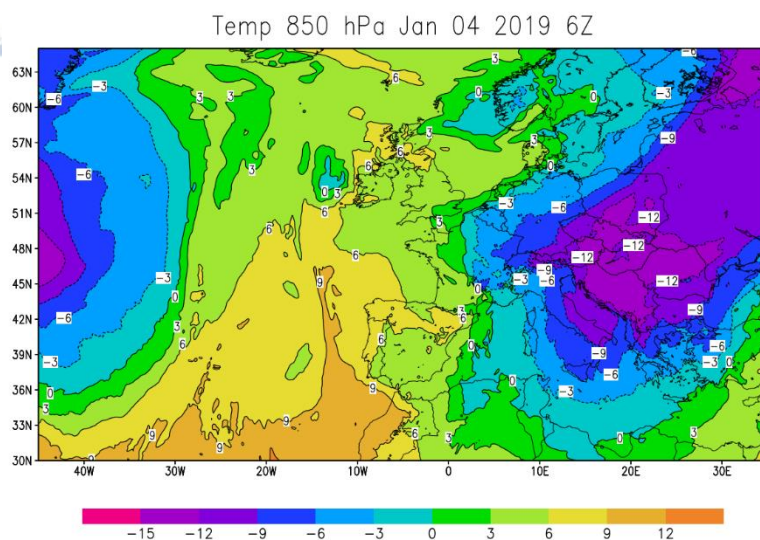
Σχήμα 4.1.7: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 03-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

Temp 850 hPa Jan 04 2019 0Z

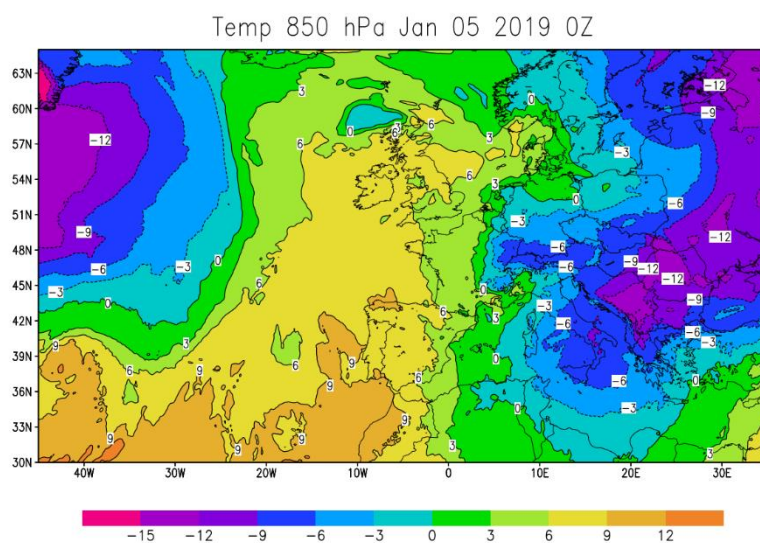


GrADS/COLA

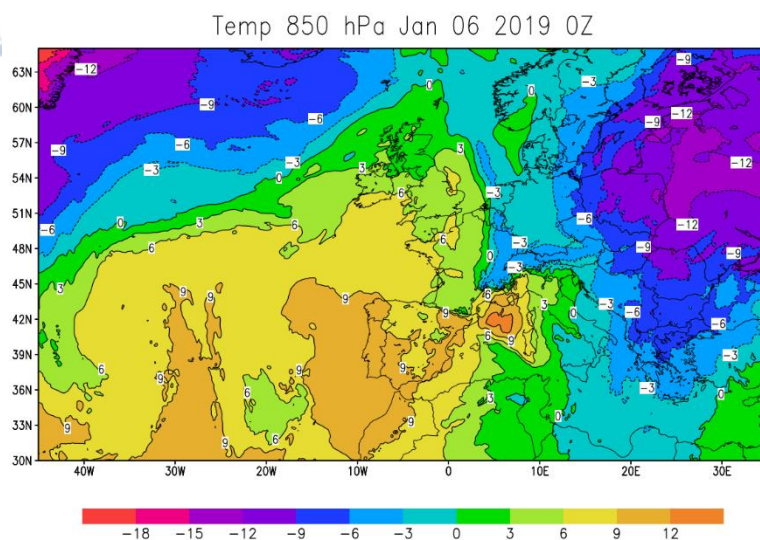
Σχήμα 4.1.8: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 04-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



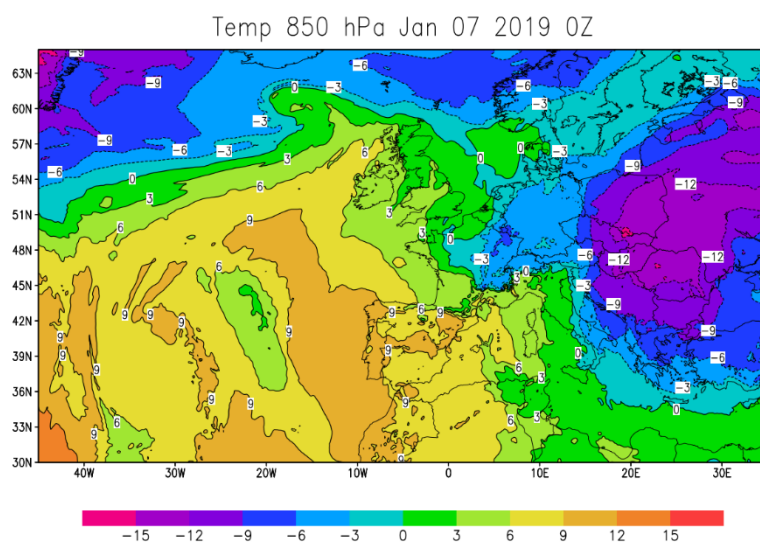
Σχήμα 4.1.9: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 04-01-2019 6Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



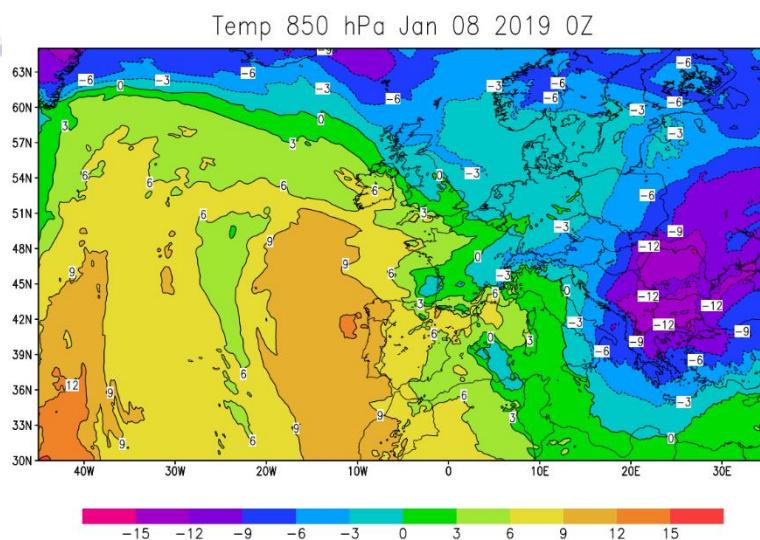
Σχήμα 4.1.10: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 05-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



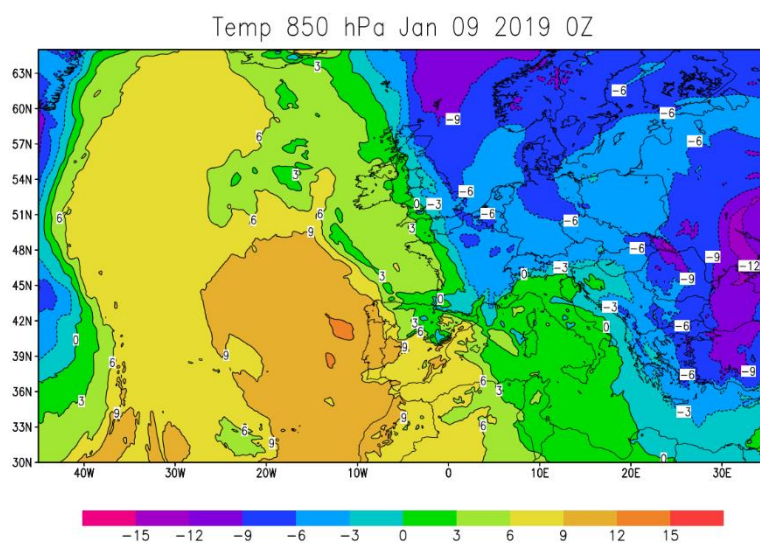
Σχήμα 4.1.11: Θερμοκρασία στα 850hPa, Ευρώπη, 06-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



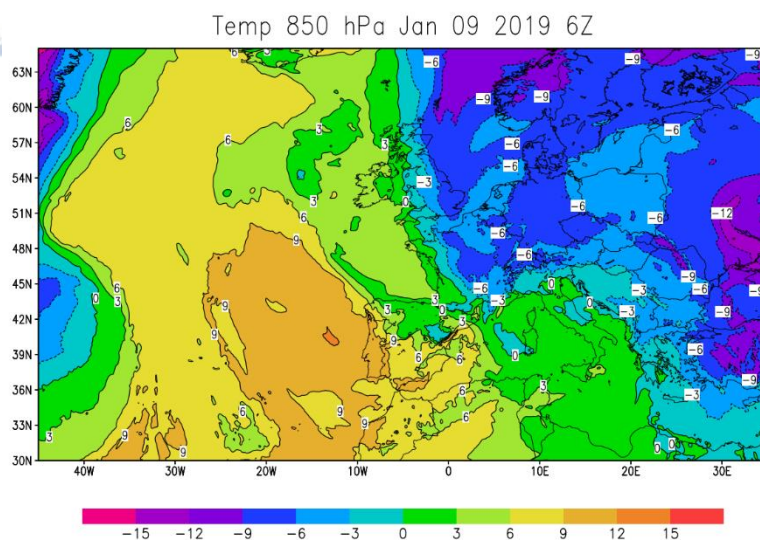
Σχήμα 4.1.12: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 07-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



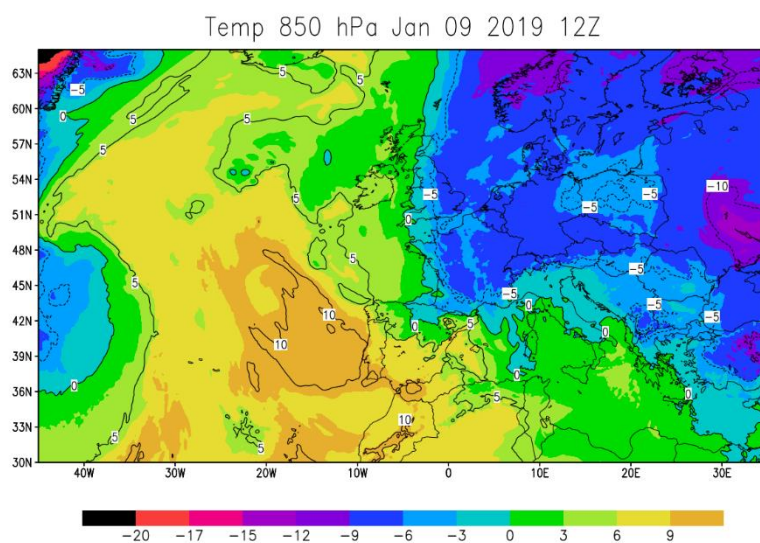
Σχήμα 4.1.13: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 08-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



Σχήμα 4.1.14: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 09-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

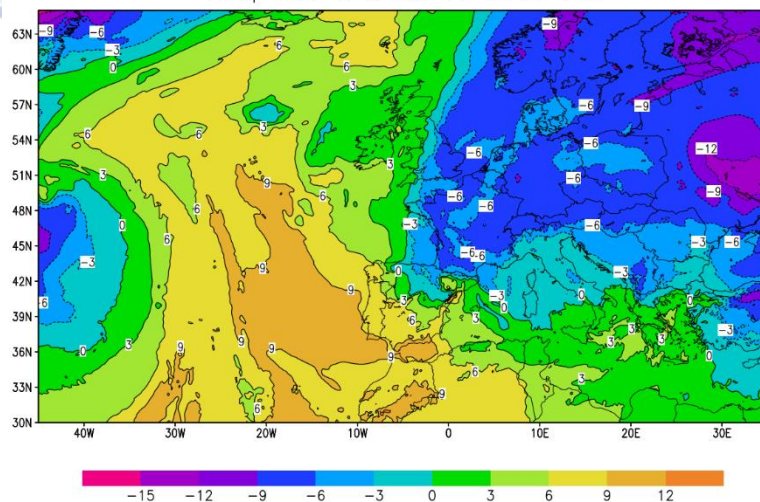


Σχήμα 4.1.15: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 09-01-2019 6Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



Σχήμα 4.1.16: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 09-01-2019 12Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

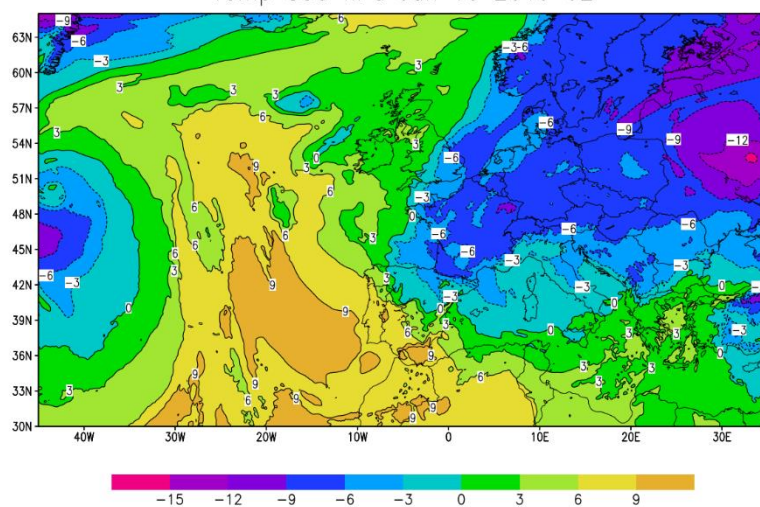
Temp 850 hPa Jan 09 2019 18Z



GrADS/COLA

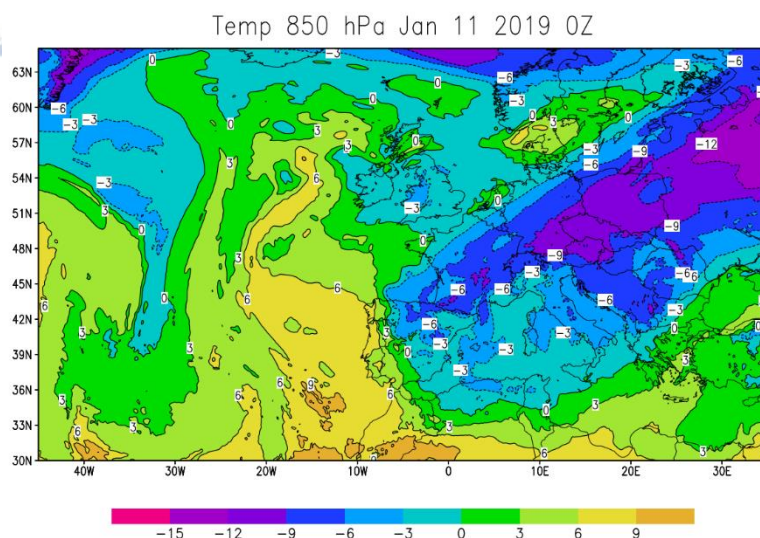
Σχήμα 4.1.17: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 09-01-2019 18Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

Temp 850 hPa Jan 10 2019 0Z



GrADS/COLA

Σχήμα 4.1.18: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 10-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



Σχήμα 4.1.19: Θερμοκρασία (°C) στα 850hPa, Ευρώπη, 11-01-2019, 0Z Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

4.2 Γεωδυναμικά ύψη στα 500 hPa και πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας

Στη μετεωρολογία χρησιμοποιείται η ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa καθώς είναι κοντά στη στάθμη μηδενικής απόκλισης και απουσιάζουν πιθανές έντονες κατακόρυφες κινήσεις του ανέμου. Επομένως, τα 500 hPa αποτελούν το κατάλληλο ύψος για την παρατήρηση καθαρά οριζοντίων κινήσεων στα διάφορα μετεωρολογικά συστήματα (American Meteorological Society, 2012).

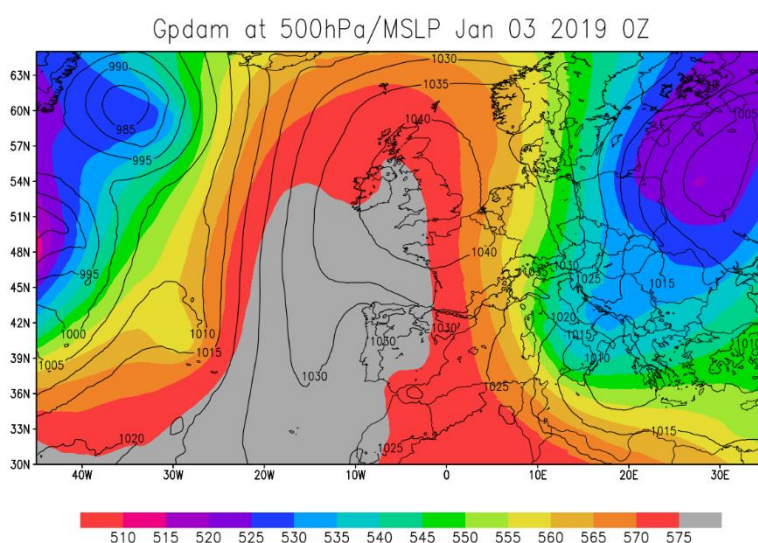
Στους παρακάτω χάρτες ανάλυσης του ECMWF, προβάλλεται το ύψος των 500 hPa, σε συνδυασμό με την ατμοσφαιρική πίεση στην μέση στάθμη της θάλασσας (MSLP-Mean Sea Level Pressure). Σκοπός είναι η παρατήρηση της κίνησης και των χαρακτηριστικών των βαρομετρικών χαμηλών και των αντικυκλώνων στην Ευρωπαϊκή ήπειρο κατά την περίοδο μελέτης.

Στους παρακάτω χάρτες ανάλυσης του ECMWF, φαίνεται ο σχηματισμός ενός βαρομετρικού χαμηλού στο Ιόνιο Πέλαγος ήδη από την 3^η του Ιανουαρίου (Σχήμα 4.2.1). Στις 04 του Ιανουαρίου (Σχήμα 4.2.2), το κέντρο του χαμηλού είχε ήδη αποχωρήσει και από το Αιγαίο πέλαγος προς τα Βορειοανατολικά και ένα νέο χαμηλό στις 05-01-2019 (Σχήμα 4.2.3) προκάλεσε τις πυκνές χιονοπτώσεις στην χώρα.

Ένα νέο βαρομετρικό χαμηλό προσέγγισε την χώρα από τα δυτικά την 9^η του Ιανουαρίου και, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, αυτό φαίνεται να είναι

υπεύθυνο για τον νέο γύρο χιονοπτώσεων που απασχόλησε την Βόρεια Ελλάδα. Στο ενδιαμέσσο χρονικό διάστημα από τις δύο προαναφερθείσες κακοκαιρίες, παρατηρείται επέκταση του αντικυκλώνα σε μεγαλύτερο τμήμα της Ευρώπης (Σχήματα 4.2.4, 4.2.5, 4.2.6,) και η ταυτόχρονη παρουσία ενός αυλώνα στην στάθμη των 500 hPa αμέσως ανατολικότερα της Βόρειας Ελλάδας. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την πρόκληση ανέμων βόρειων διευθύνσεων και την μεταφορά ψύχους προς την χώρα.

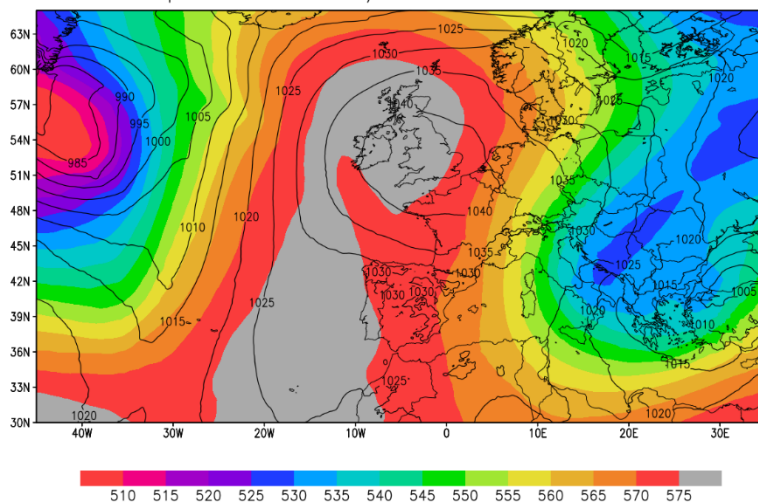
Το ύψος των 500 hPa καθόλη τη διάρκεια της ψυχρής εισβολής, από τις 04 του Ιανουαρίου έως τις 08 του Ιανουαρίου για την Βόρεια Ελλάδα, βρισκόταν περίπου στα 5300 μέτρα.



GrADS/COLA

Σχήμα 4.2.1: Χάρτης γεωδυναμικού ύψους στα 500 hPa (χρωματική κλίμακα σε gpdam) και πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (ισοβαρείς σε hPa) στις 0Z, 03-01-2019. Δεδομένα: επιχειρησιακές αναλύσεις ECMWF.

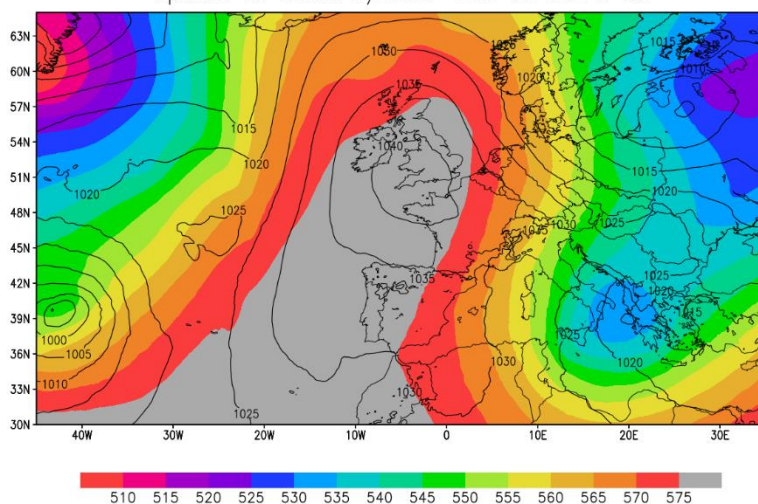
Gpdam at 500hPa/MSLP Jan 04 2019 0Z



GrADS/COLA

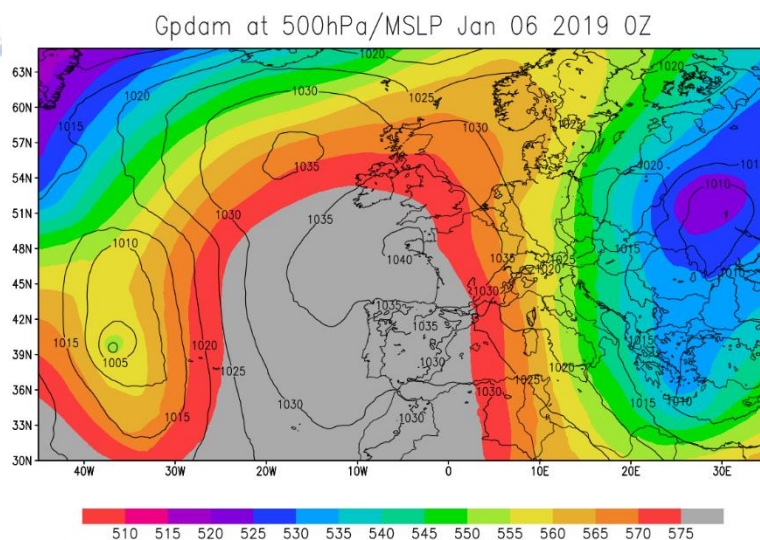
Σχήμα 4.2.2: Χάρτης γεωδυναμικού ύψους στα 500 hPa (χρωματική κλίμακα σε gpdam) και πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (ισοβαρείς σε hPa) στις 0Z, 04-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

Gpdam at 500hPa/MSLP Jan 05 2019 0Z



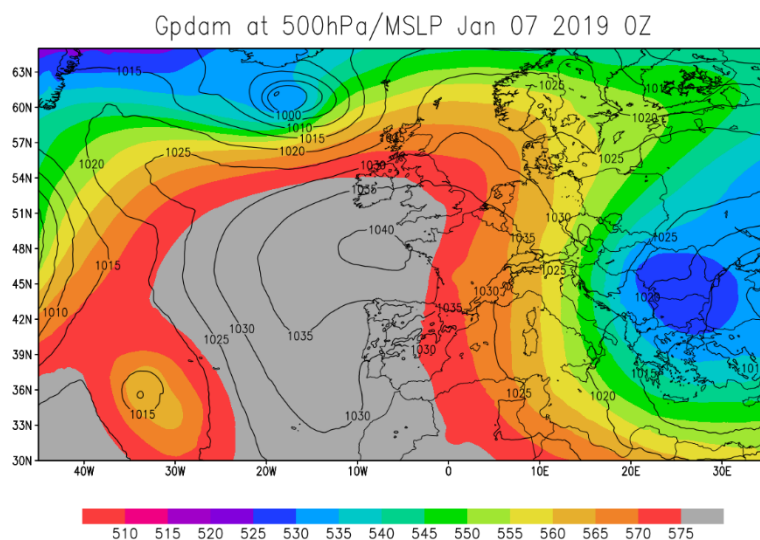
GrADS/COLA

Σχήμα 4.2.3: Χάρτης γεωδυναμικού ύψους στα 500 hPa (χρωματική κλίμακα σε gpdam) και πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (ισοβαρείς σε hPa) στις 0Z 05-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



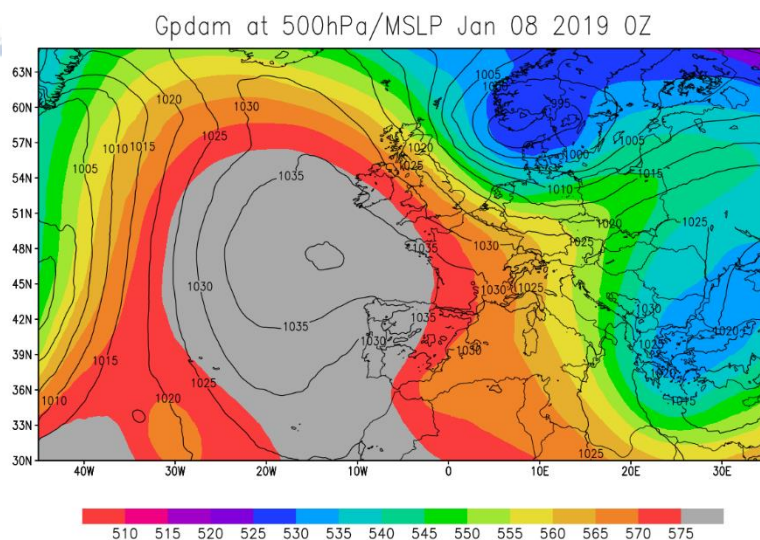
GrADS/COLA

Σχήμα 4.2.4: Χάρτης γεωδυναμικού ύψους στα 500 hPa (χρωματική κλίμακα σε gpdam) και πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (ισοβαρείς σε hPa) στις 0Z, 06-01-2019 Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



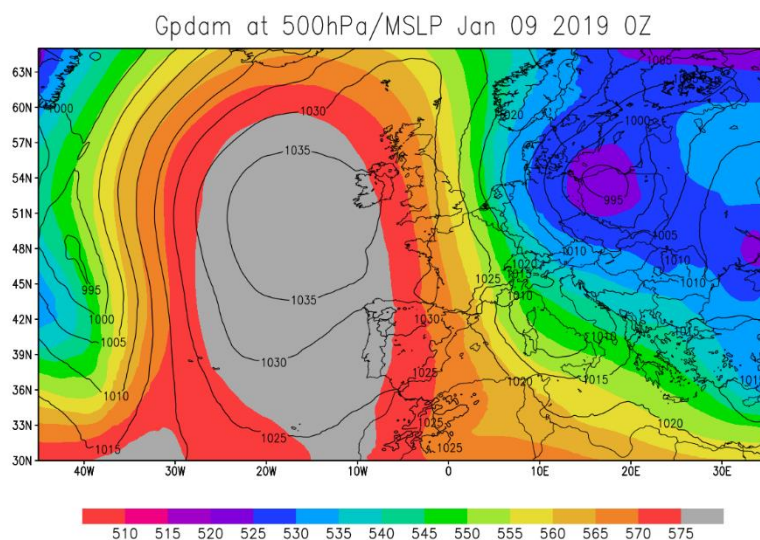
GrADS/COLA

Σχήμα 4.2.5: Χάρτης γεωδυναμικού ύψους στα 500 hPa (χρωματική κλίμακα σε gpdam) και πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (ισοβαρείς σε hPa) στις 0Z 07-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



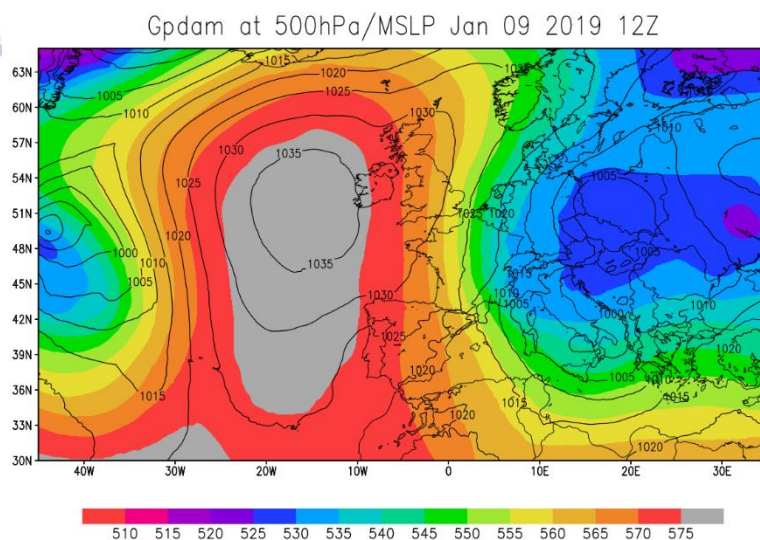
GrADS/COLA

Σχήμα 4.2.6: Χάρτης γεωδυναμικού ύψους στα 500 hPa (χρωματική κλίμακα σε gpdam) και πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (ισοβαρείς σε hPa) στις 0Z, 08-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



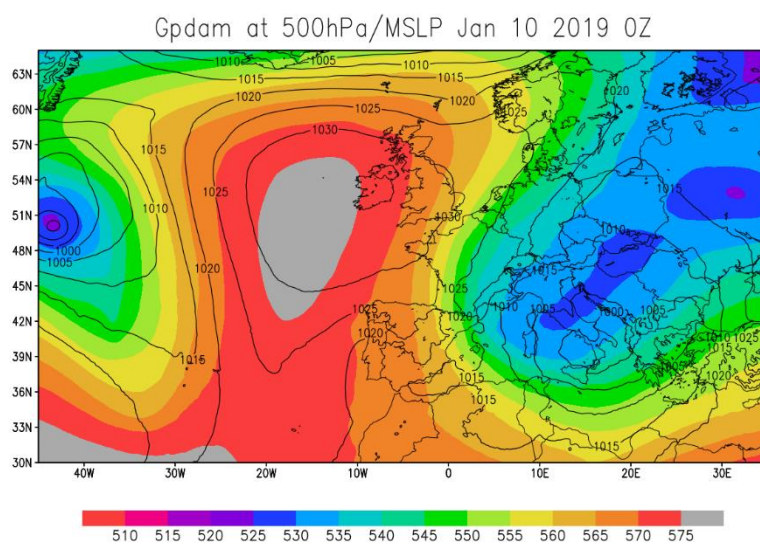
GrADS/COLA

Σχήμα 4.2.7: Χάρτης γεωδυναμικού ύψους στα 500 hPa (χρωματική κλίμακα σε gpdam) και πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (ισοβαρείς σε hPa) στις 0Z 09-01-2019 0Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



GrADS/COLA

Σχήμα 4.2.8: Χάρτης γεωδυναμικού ύψους στα 500 hPa (χρωματική κλίμακα σε gpdam) και πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (ισοβαρείς σε hPa) στις 09-01-2019 12Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



GrADS/COLA

Σχήμα 4.2.9: Χάρτης γεωδυναμικού ύψους στα 500 hPa (χρωματική κλίμακα σε gpdam) και πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (ισοβαρείς σε hPa) στις 0Z 10-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

4.3 Πάχος στρώματος 1000-500 hPa

Το πάχος του στρώματος ανάμεσα στα 1000 και τα 500 hPa είναι ανάλογο της μέσης θερμοκρασίας του στρώματος και αποτελεί έναν εμπειρικό και αποτελεσματικό δείκτη πιθανής χιονόπτωσης σε περιπτώσεις υετού, καθώς έχουν παρατηρηθεί τα εξής:

Τιμές κάτω από 510 grdam σχετίζονται με αέρα αρκτικής προέλευσης, ενώ τιμές άνω των 570 grdam με αέρα τροπικής προέλευσης. Φαίνεται ότι η τιμή των 540 grdam διαχωρίζει τις πολικές αέριες μάζες από αυτές των μέσων γεωγραφικών πλατών και συνήθως από αυτή την τιμή και χαμηλότερα παρατηρούνται φαινόμενα χιονόπτωσης στην επιφάνεια, τουλάχιστον για τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (https://www.weather.gov/source/zhu/ZHU_Training_Page/Miscellaneous/Heights_Thicknesses/thickness_temperature.htm. 'Reading thickness lines', by Jeff Habby, 2003).

Πάντως, σύμφωνα με τον Γιαννουλάκη (2014), στη μελέτη του για το φαινόμενο της χιονόπτωσης στην πόλη της Θεσσαλονίκης, μια μέση τιμή είναι τα 528 grdam στις περιπτώσεις χιονοπτώσεων. Για την περίπτωση Νοτιοδυτικής Κυκλοφορίας, όπως την περίπτωση που πραγματεύεται η συγκεκριμένη μελέτη, η μέση τιμή για το πάχος του στρώματος 1000-500 hPa είναι τα 529 dam.

Σύμφωνα με ραδιοβολίσεις που πραγματοποιήθηκαν στο αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης, προέκυψαν οι τιμές του Πίνακα 4.3.1. Πράγματι, οι τιμές ήταν μονίμως κάτω των 540 grdam, αλλά και πολύ κοντά στον μέσο όρο των 529 grdam.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 1000-500hPa (dam)
03-01-2019	528.9
04-01-2019	522.3
05-01-2019	521.1
06-01-2019	522.7
07-01-2019	519.9
08-01-2019	515.9
09-01-2019	530.1
10-01-2019	538.6

Πίνακας 4.3.1: Πάχος Στρώματος 1000-500 hPa από ραδιοβολίσεις στο αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης από 3/1/2019 έως 10/1/2019.

Από τις αναλύσεις του ECMWF, προκύπτουν οι τιμές του Πίνακα 4.3.2 για το Μόδι Θεσσαλονίκης, περιοχή που όπως προαναφέρθηκε σημείωσε πολύ μεγάλα ύψη χιονιού και φαίνεται να είναι παρόμοιες με αυτές της Θεσσαλονίκης.

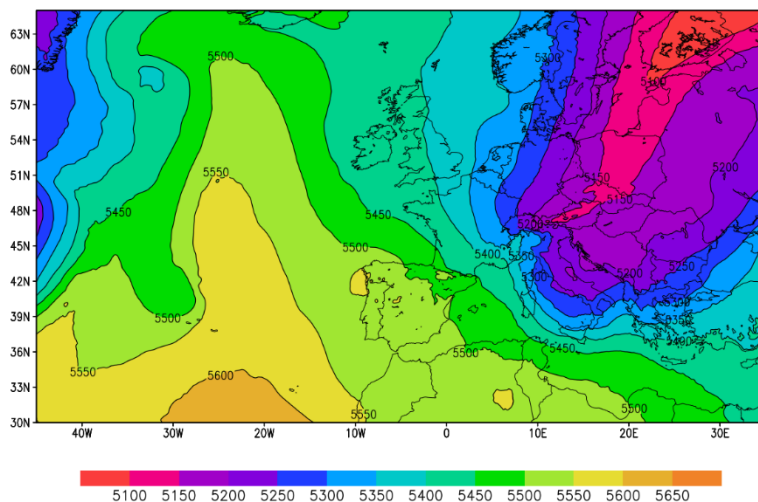
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 1000-500hPa (dam)
03-01-2019	528.5
04-01-2019	522.5
05-01-2019	522
06-01-2019	522.3
07-01-2019	518.2
08-01-2019	514
09-01-2019	528.7
10-01-2019	539.8

Πίνακας 4.3.2: Πάχος Στρώματος 1000-500hPa από επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF στο Μόδι Θεσσαλονίκης, 03 έως 10-01-2019

Στους παρακάτω χάρτες ανάλυσης του ECMWF (Σχήματα 4.3.1 – 4.3.8), φαίνονται οι μεταβολές του πάχους στρώματος 1000-500 hPa για την περιοχή της Ευρώπης από τις 03 Ιανουαρίου 2019 έως και τις 10 Ιανουαρίου 2019.

Οι τιμές ήταν ιδιαίτερα χαμηλές για την περιοχή της Ελλάδας ήδη από την 3^η του Ιανουαρίου με τιμές κάτω των 5300 grm για την βόρεια Ελλάδα (Σχήμα 4.3.1), ενώ έφτασαν σε ένα ελάχιστο την 8^η του Ιανουαρίου, με τιμές κάτω των 5100 grm για την βορειοανατολική χώρα (Σχήμα 4.3.6), κάτι ιδιαίτερα ενδιαφέρον, καθώς την ίδια ημέρα οι θερμοκρασίες στα 850 hPa έφτασαν στα χαμηλότερα επίπεδα (Σχήμα 4.1.13) σε σύγκριση με όλες τις ημέρες της μελέτης.

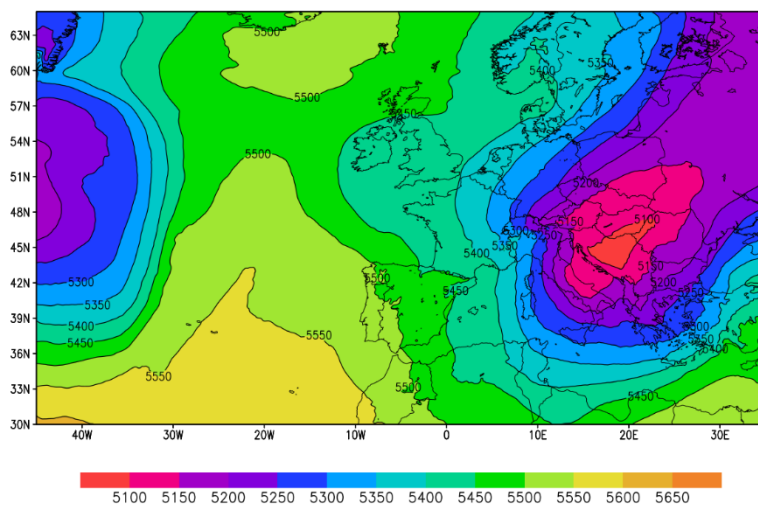
Thickness 500–1000hPa Jan 03 2019



GrADS/COLA

Σχήμα 4.3.1: Πάχος Στρώματος 1000-500 hPa (gpm) στην Ευρώπη στις 0Z, 03-01-2019.
Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

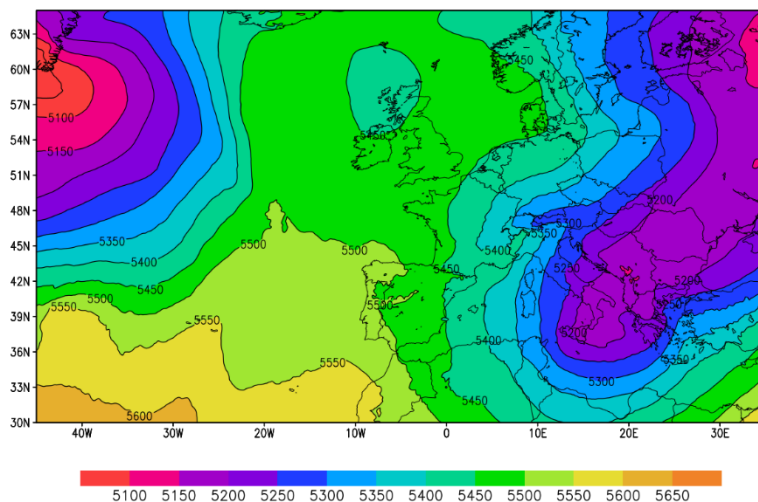
Thickness 500–1000hPa Jan 04 2019



GrADS/COLA

Σχήμα 4.3.2: Πάχος Στρώματος 1000-500 hPa (gpm) στην Ευρώπη στις 0Z, 04-01-2019.
Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

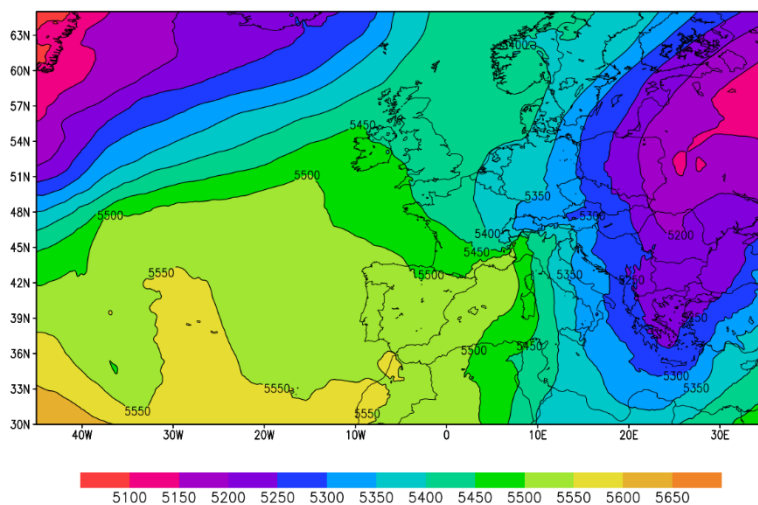
Thickness 500–1000hPa Jan 05 2019



GrADS/COLA

Σχήμα 4.3.3: Πάχος Στρώματος 1000-500 hPa (gpm) στην Ευρώπη στις 0Z, 05-01-2019.
Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

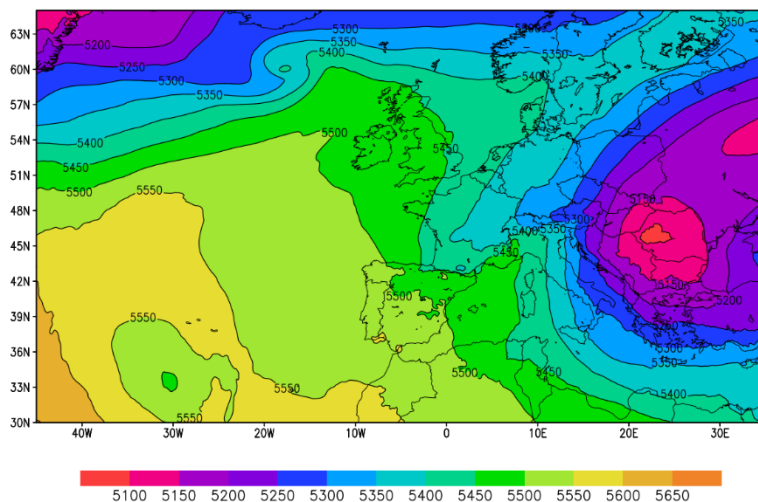
Thickness 500–1000hPa Jan 06 2019



GrADS/COLA

Σχήμα 4.3.4: Πάχος Στρώματος 1000-500 hPa (gpm) στην Ευρώπη στις 0Z, 06-01-2019.
Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

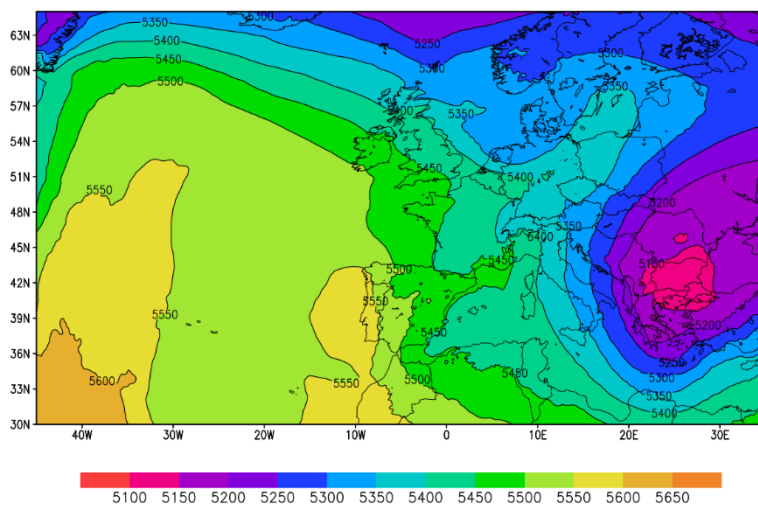
Thickness 500–1000hPa Jan 07 2019



GrADS/COLA

Σχήμα 4.3.5: Πάχος Στρώματος 1000-500 hPa (gpm) στην Ευρώπη στις 0Z, 07-01-2019.
Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

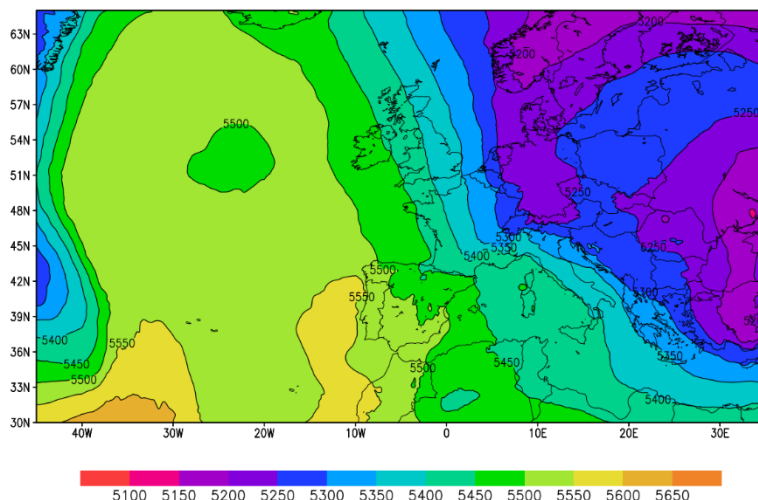
Thickness 500–1000hPa Jan 08 2019



GrADS/COLA

Σχήμα 4.3.6: Πάχος Στρώματος 1000-500 hPa (gpm) στην Ευρώπη στις 0Z, 08-01-2019.
Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

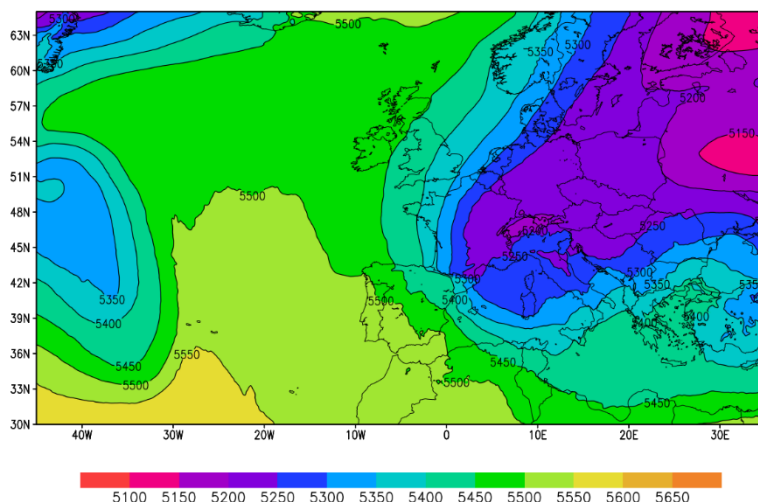
Thickness 500–1000hPa Jan 09 2019



GrADS/COLA

Σχήμα 4.3.7: Πάχος Στρώματος 1000-500 hPa (gpm) στην Ευρώπη στις 0Z, 09-01-2019.
Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

Thickness 500–1000hPa Jan 10 2019



GrADS/COLA

Σχήμα 4.3.8: Πάχος Στρώματος 1000-500 hPa (gpm) στην Ευρώπη στις 0Z, 10-01-2019.
Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

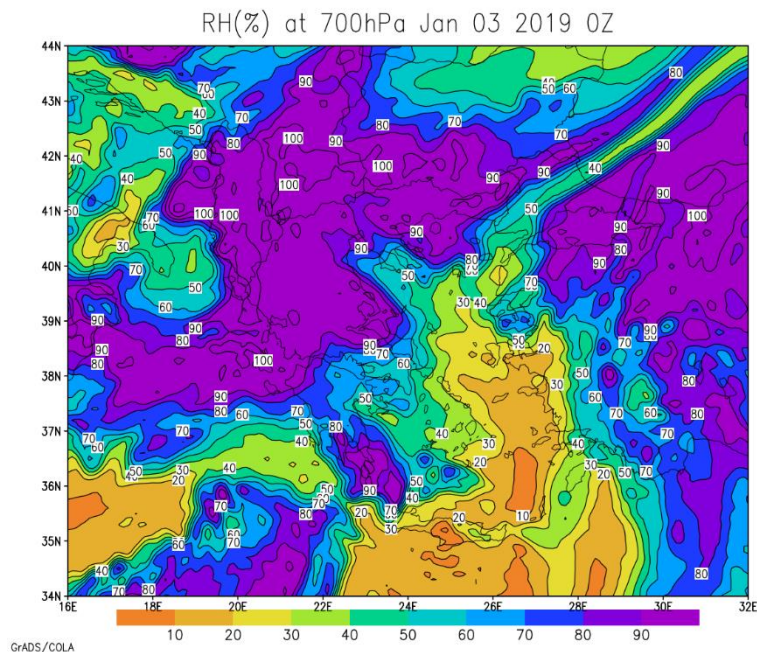
4.4 Υγρασία και Άνεμος στα 700 hPa

Η Ελλάδα είναι μια πολύπλοκη γεωμορφολογικά χώρα η οποία αποτελείται από πολλές οροσειρές και περιβάλλεται κατά κύριο λόγο από θαλασσινό νερό. Επομένως, η μεταφορά υγρασίας από τη θάλασσα στον ηπειρωτικό κορμό της χώρας μπορεί να συμβεί με τη βοήθεια κατάλληλου ανεμολογικού πεδίου.

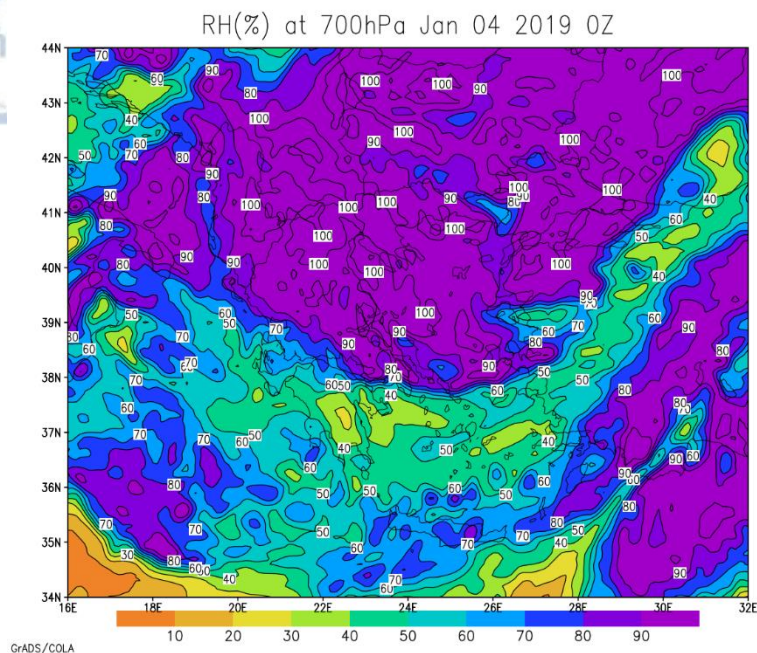
Σε ένα βαρομετρικό χαμηλό, ο κύριος όγκος των νεφώσεων βρίσκεται περίπου στο ύψος των 700 hPa. Επομένως, μελετώνται τα ποσά σχετικής υγρασίας σε εκείνο το ύψος ως δείκτης πιθανών κατακρημνισμάτων. Μελετάται, επίσης, ο άνεμος σε εκείνο το ύψος, καθώς μπορεί να μεταφέρει στις νεφώσεις ικανοποιητικά ποσά υγρασίας από τη θάλασσα και να αυξήσει την πιθανότητα και ποσότητα του νετού.

Για παράδειγμα, για την περιοχή του Στρυμονικού Κόλπου, ο οποίος περιβάλλεται από θάλασσα στα ανατολικά και νοτιοανατολικά, σε περίπτωση ενός βαρομετρικού χαμηλού, άνεμος Νοτιοανατολικής διεύθυνσης στα 700 hPa μπορεί να τροφοδοτήσει με μεγάλα ποσά υγρασίας τα νέφη και να προκαλέσει μεγάλα ποσά νετού. Το ίδιο ισχύει και για την περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου, ωστόσο σε αυτήν την περίπτωση με άνεμο Νοτιοδυτικής διεύθυνσης. Ειδικά για περιπτώσεις χιονόπτωσης, οι άνεμοι στην επιφάνεια για τον νομό Θεσσαλονίκης ιδανικά θα πρέπει να είναι Βόρειων γενικά διευθύνσεων για την διατήρηση των χαμηλών θερμοκρασιών που απαιτούνται.

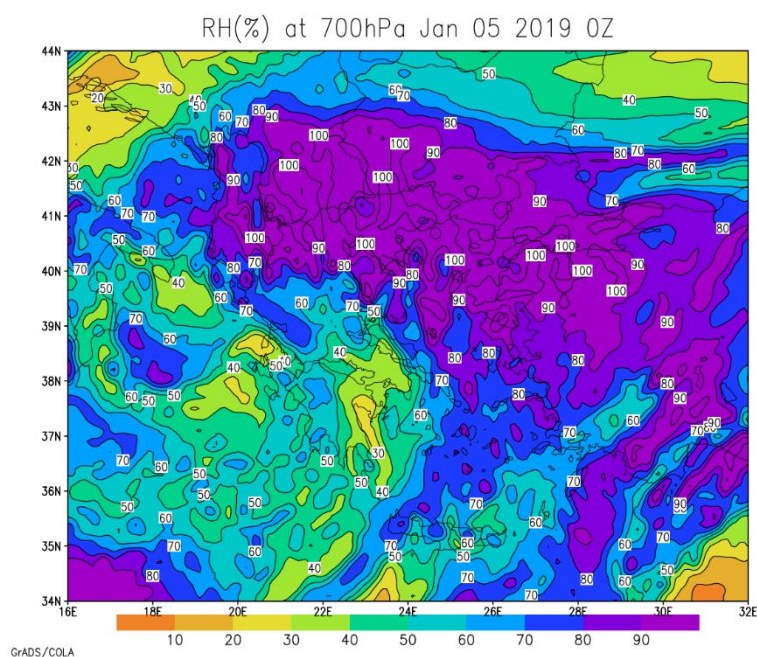
Στα Σχήματα 4.4.1- 4.4.9 παρουσιάζονται χάρτες ανάλυσης του ECMWF για τη σχετική υγρασία στα 700 hPa. Είναι εμφανές ότι για την περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας, η σχετική υγρασία στα 700 hPa είναι στο 100% τις ημέρες χιονόπτωσης, δηλαδή την 4^η, 5^η και 9^η του Ιανουαρίου (Σχήματα 4.4.2, 4.4.3, 4.4.7, 4.4.8).



Σχήμα 4.4.1: Χάρτης Σχετικής Υγρασίας (%) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z 03-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

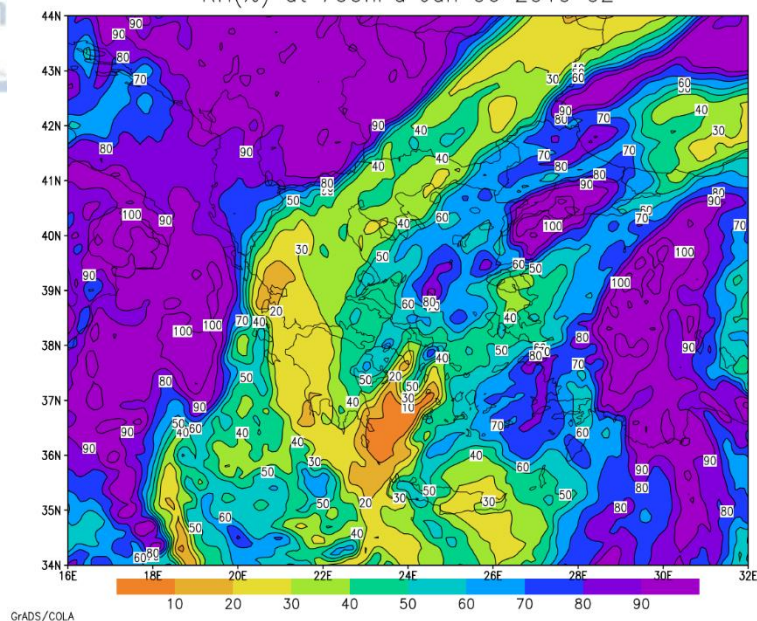


Σχήμα 4.4.2: Χάρτης Σχετικής Υγρασίας (%) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z, 04-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



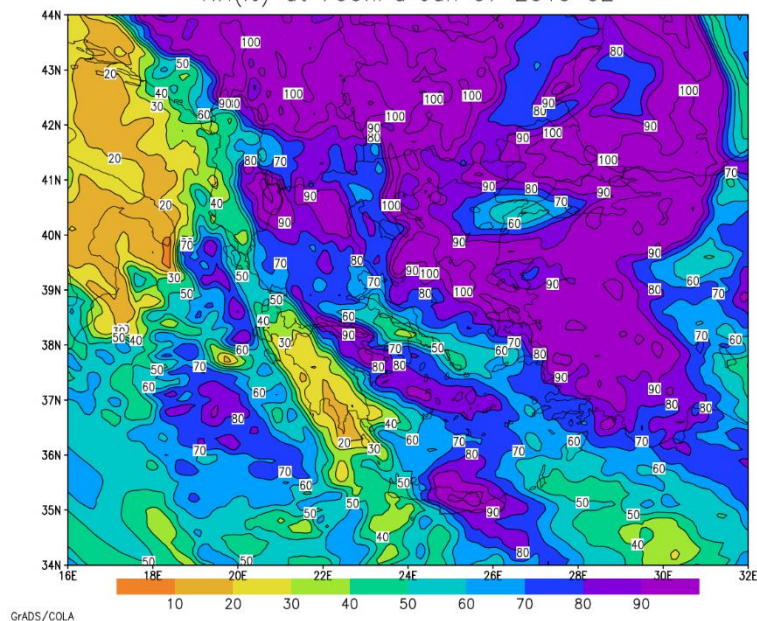
Σχήμα 4.4.3: Χάρτης Σχετικής Υγρασίας (%) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z, 05-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

RH(%) at 700hPa Jan 06 2019 0Z

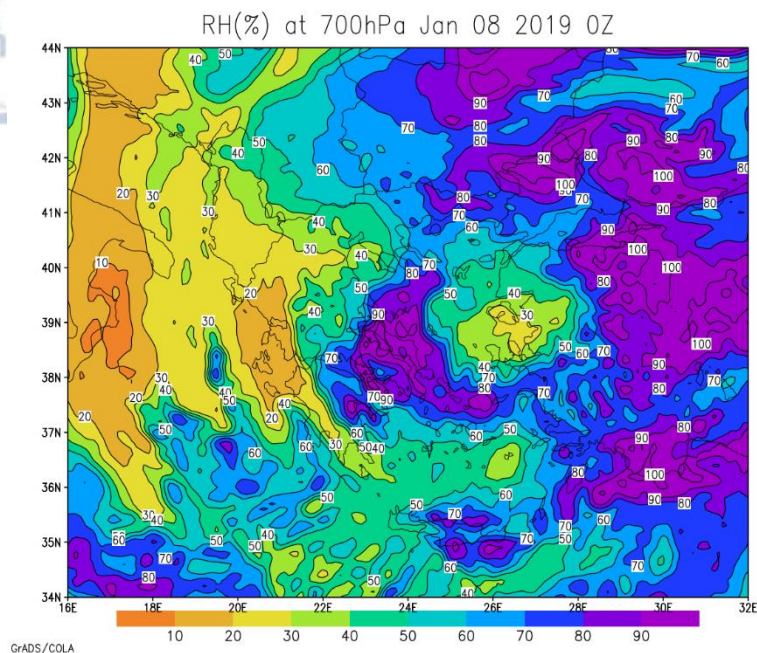


Σχήμα 4.4.4: Χάρτης Σχετικής Υγρασίας (%) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z, 06-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

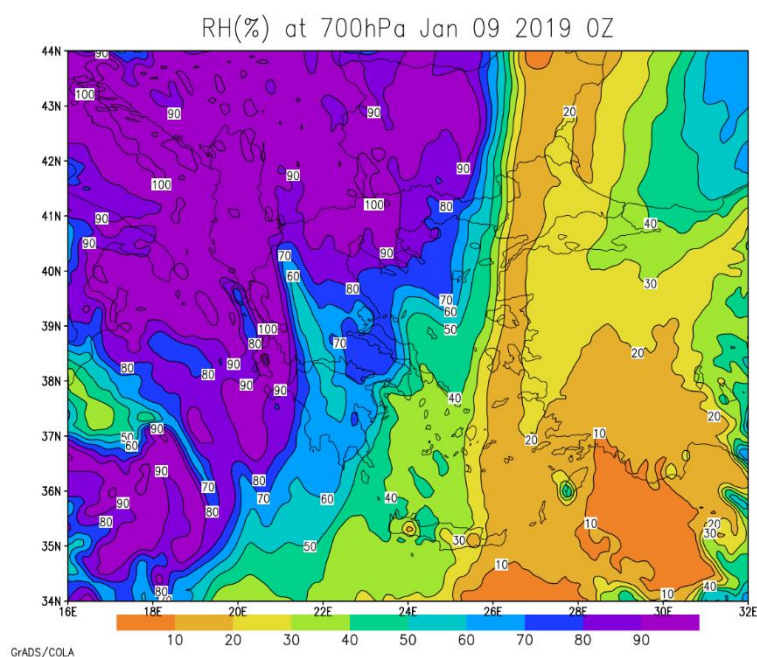
RH(%) at 700hPa Jan 07 2019 0Z



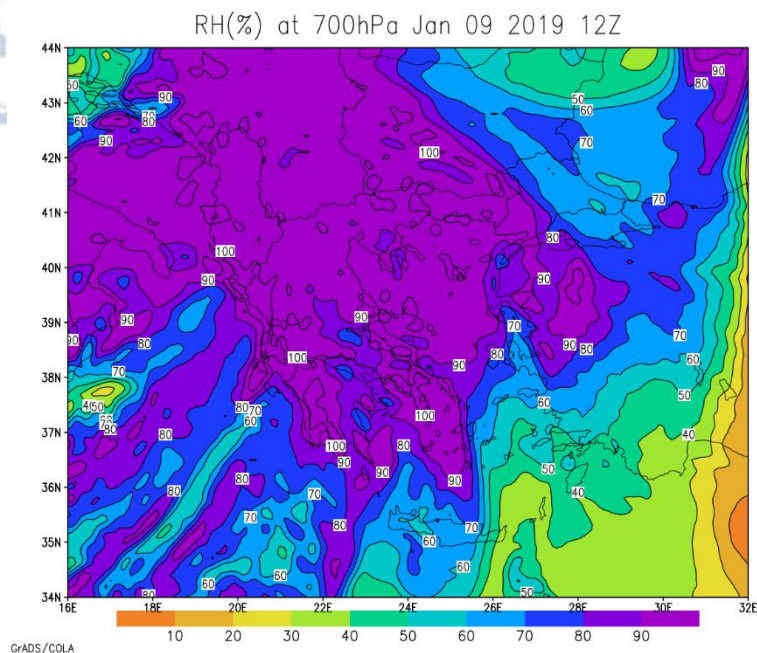
Σχήμα 4.4.5: Χάρτης Σχετικής Υγρασίας (%) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z, 07-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



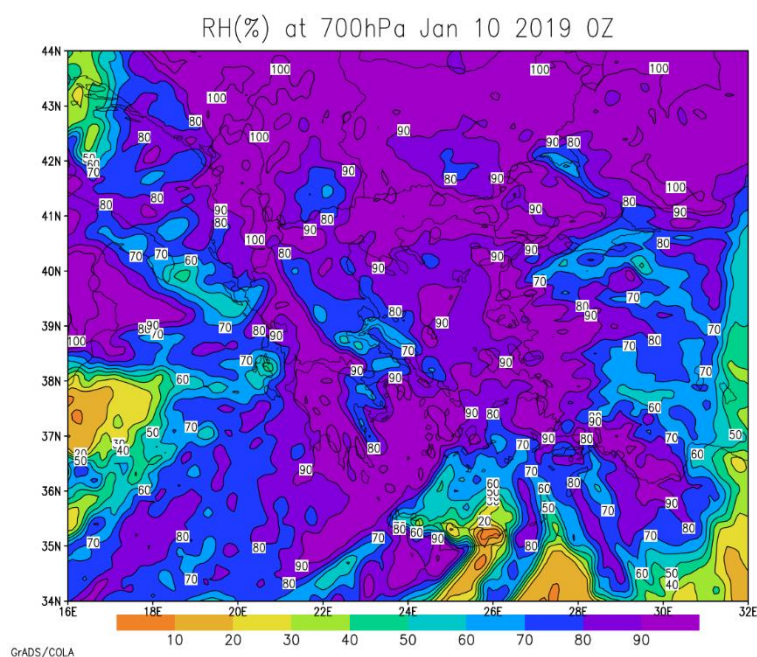
Σχήμα 4.4.6: Χάρτης Σχετικής Υγρασίας (%) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z, 08-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



Σχήμα 4.4.7: Χάρτης Σχετικής Υγρασίας (%) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z, 09-01-2019 Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

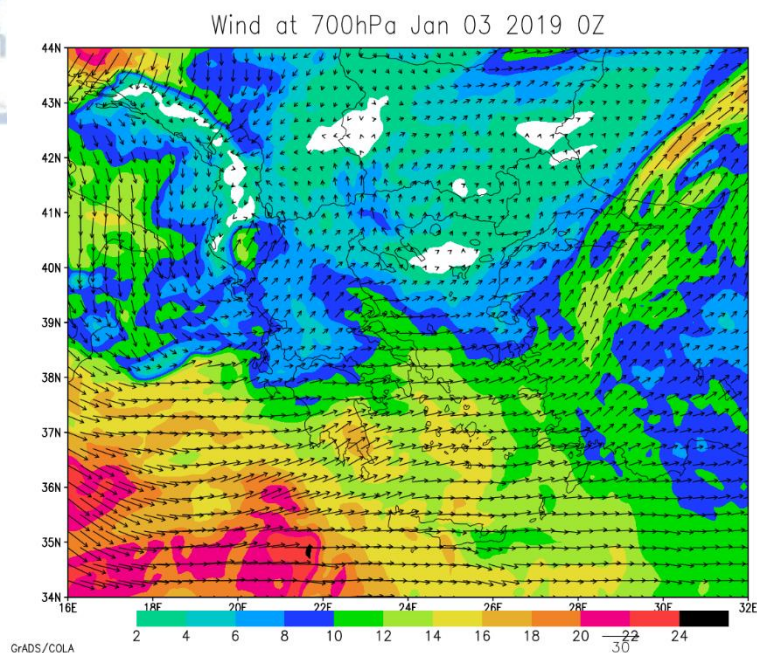


Σχήμα 4.4.8: Χάρτης Σχετικής Υγρασίας (%) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z, 09-01-2019 12Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

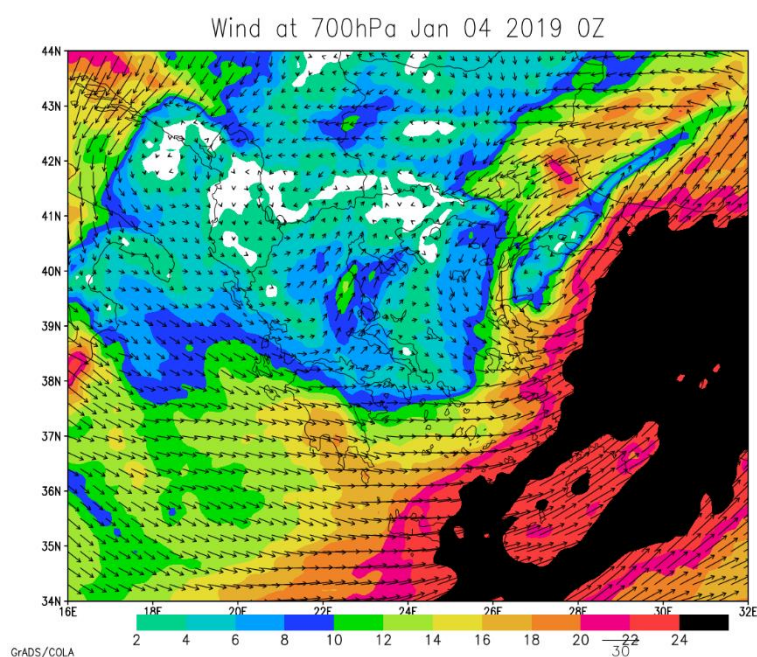


Σχήμα 4.4.9: Χάρτης Σχετικής Υγρασίας (%) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z, 10-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

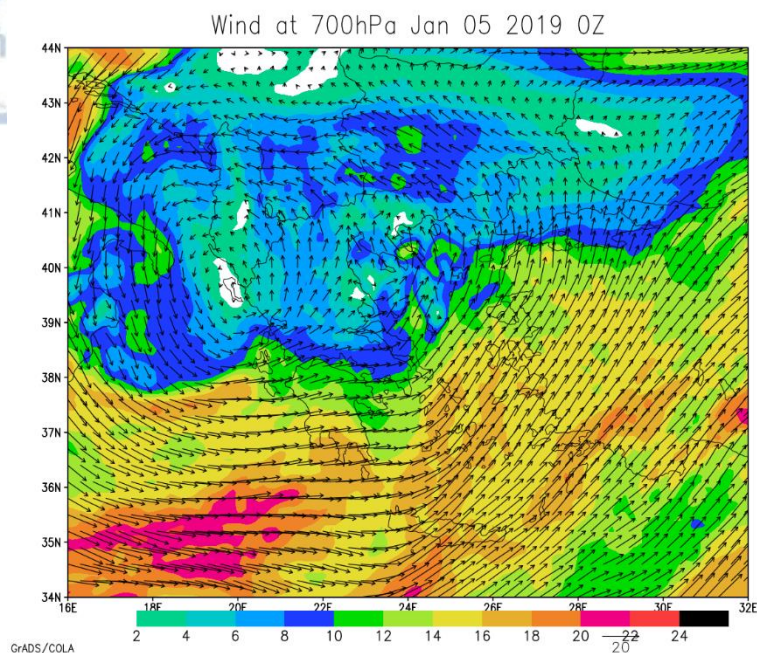
Στους παρακάτω χάρτες του ανεμολογικού πεδίου στα 700 hPa (Σχήματα 4.4.10-4.4.19) φαίνεται για την περιοχή του Στρυμωνικού Κόλπου, η οποία σημείωσε μεγάλα ύψη χιονιού, ότι πράγματι ο άνεμος στα 700 hPa την ημέρα της πυκνής χιονόπτωσης, στις 05 του Ιανουαρίου, είναι Νοτιοανατολικός. Μάλιστα, παρατηρούνται κάποιες συγκλίσεις του ανέμου στην συγκεκριμένη περιοχή (Σχήμα 4.4.12).



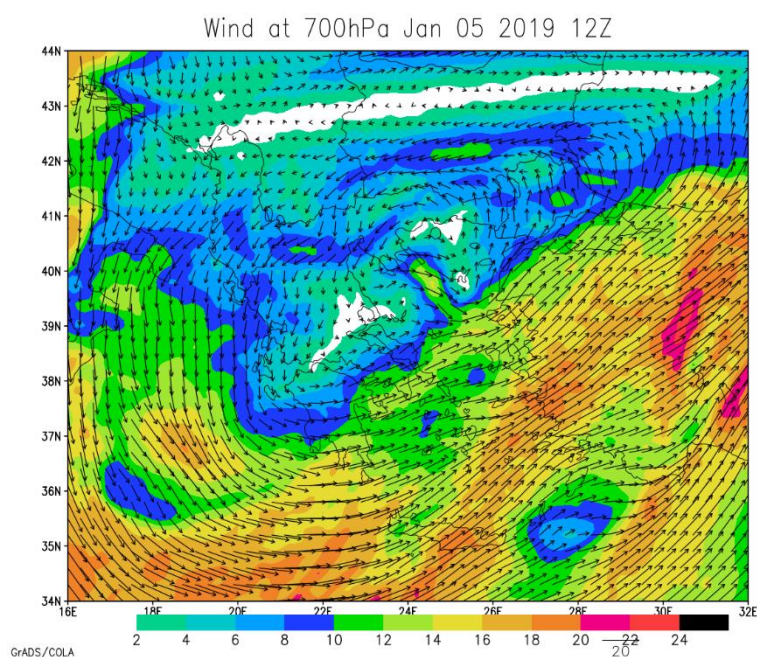
Σχήμα 4.4.10: Χάρτης διεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου (m/s) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z 03-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



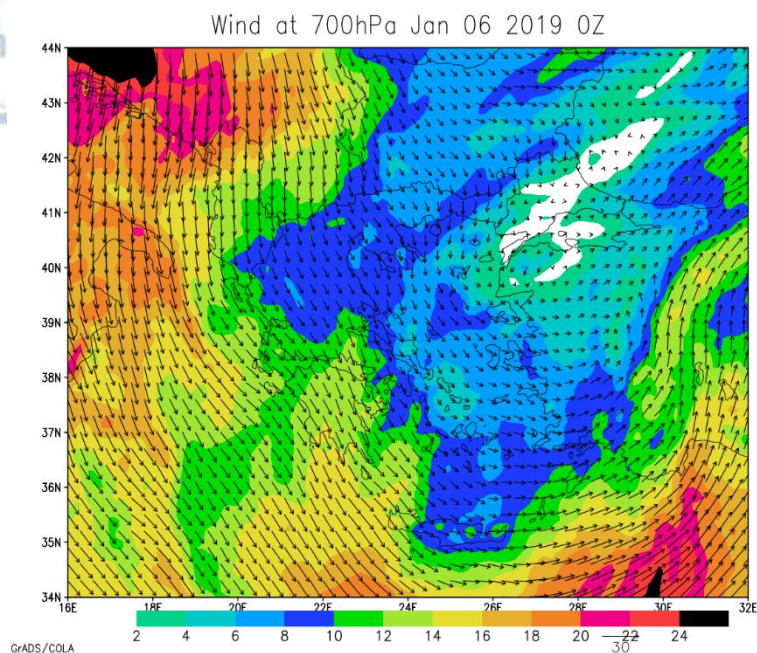
Σχήμα 4.4.11: Χάρτης διεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου (m/s) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z 04-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



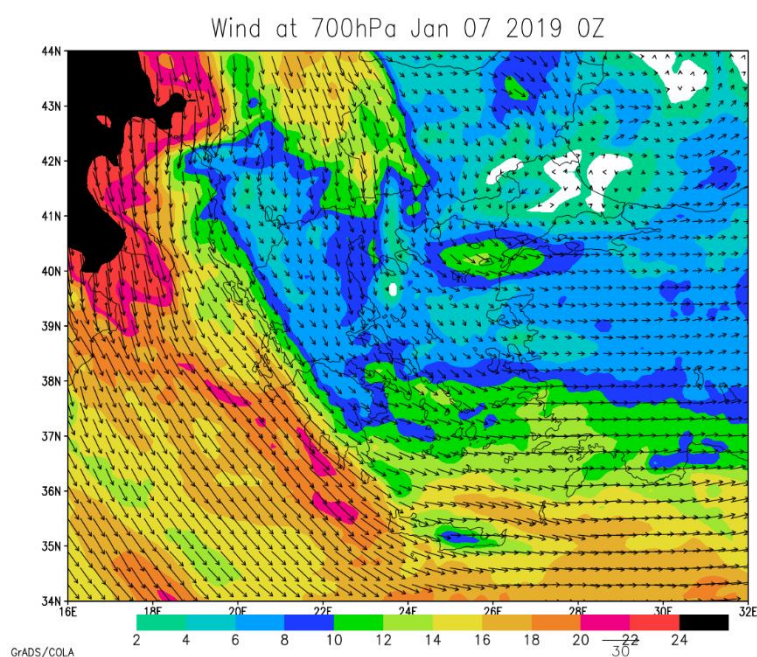
Σχήμα 4.4.12: Χάρτης διεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου (m/s) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z 05-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



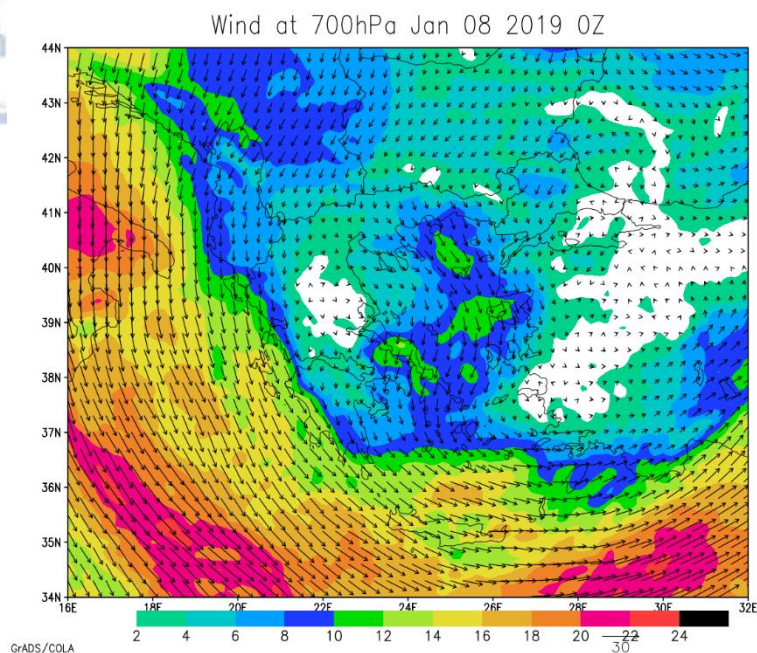
Σχήμα 4.4.13: Χάρτης διεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου (m/s) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z 05-01-2019 12Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



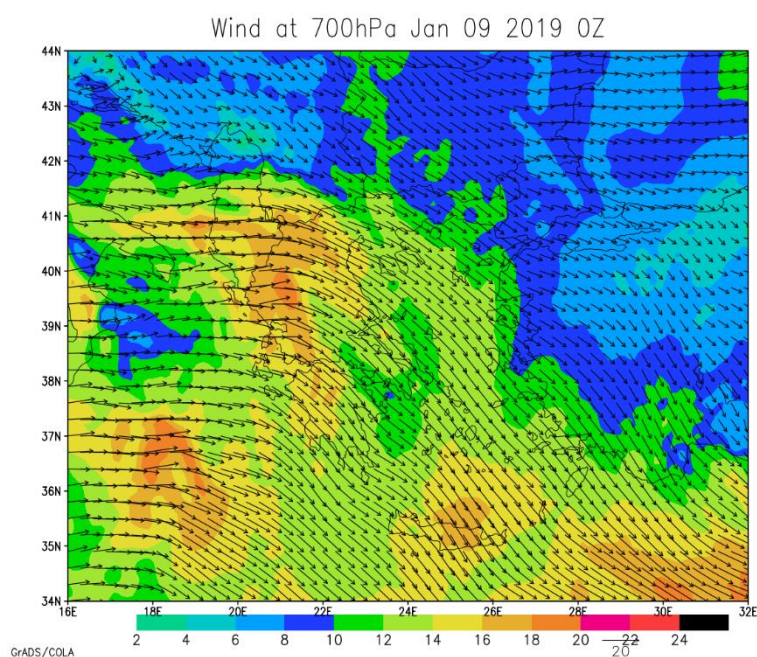
Σχήμα 4.4.14: Χάρτης διεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου (m/s) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z 06-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



Σχήμα 4.4.15: Χάρτης διεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου (m/s) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z 07-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

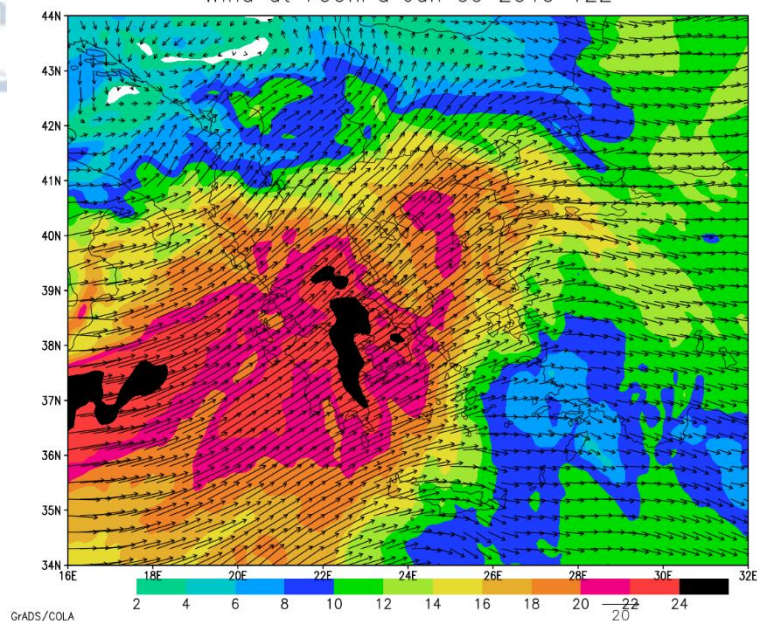


Σχήμα 4.4.16: Χάρτης διεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου (m/s) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z 08-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



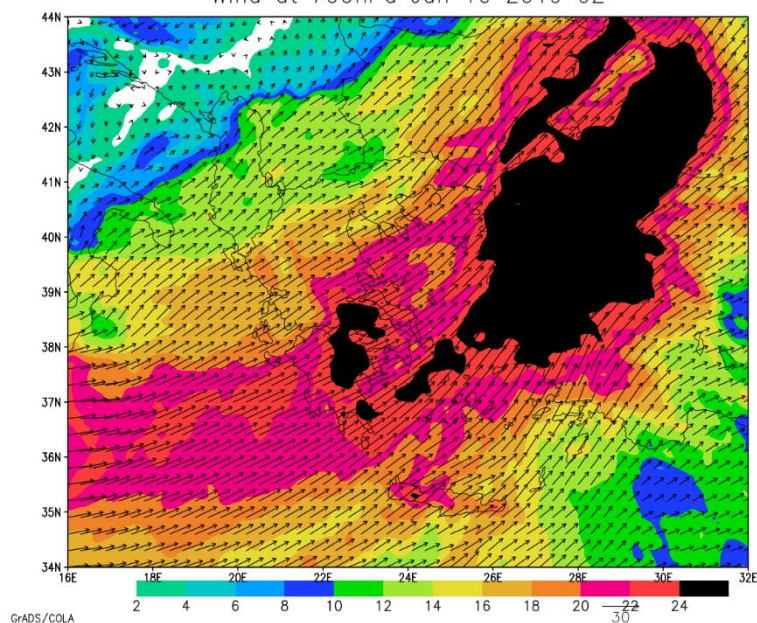
Σχήμα 4.4.17: Χάρτης διεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου (m/s) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z 09-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

Wind at 700hPa Jan 09 2019 12Z



Σχήμα 4.4.18: Χάρτης διεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου (m/s) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 09-01-2019 12Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

Wind at 700hPa Jan 10 2019 0Z



Σχήμα 4.4.19: Χάρτης διεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου (m/s) στην Ελλάδα στα 700 hPa στις 0Z, 10-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

4.5 Ισόθερμη των 0°C (Iso 0°C)

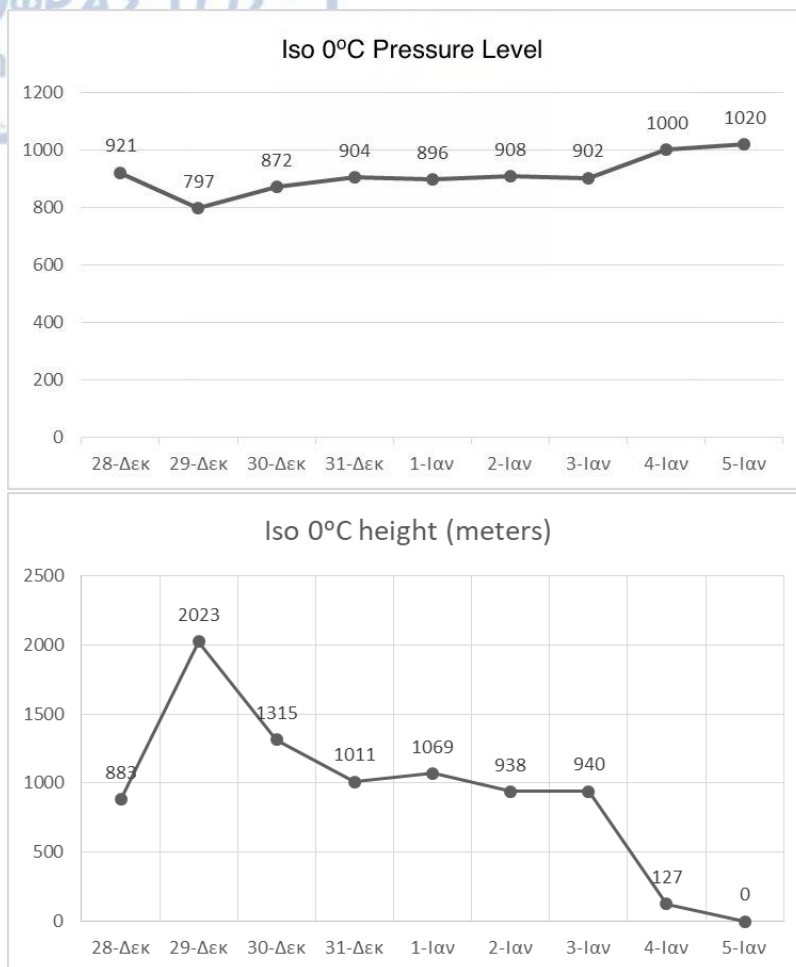
Κατά τη διάρκεια μιας κακοκαιρίας, τα υψόμετρα χιονόπτωσης ποικίλουν, ανάλογα και με τα χαρακτηριστικά της αέριας μάζας. Στην περίπτωση μιας ψυχρής εισβολής, προκαλούνται χιονοπτώσεις μέχρι και σε παραθαλάσσιες περιοχές. Επομένως, τα υψόμετρα χιονόπτωσης θεωρούνται μηδενικά.

Δεδομένου ότι, σε γενικές γραμμές, για χιονόπτωση η οποία θα προκαλέσει χιονόστρωση, απαιτούνται θερμοκρασίες κάτω των 0°C, το ύψος της ισόθερμης των 0°C είναι ένας ικανοποιητικός δείκτης του τύπου του υετού σε μια κακοκαιρία. Για παράδειγμα, εάν η ισόθερμη των 0°C βρίσκεται στα 500 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας, από αυτό το ύψος και υψηλότερα υπάρχει σίγουρα χιονόπτωση με χιονόστρωση. Είναι βέβαιο ότι χιονίζει και χαμηλότερα, ωστόσο οι θερμοκρασίες είναι κατά πάσα πιθανότητα θετικές και η ποιότητα της χιονοκάλυψης είναι κακή.

Από δεδομένα ραδιοβολίσεων για την πόλη της Θεσσαλονίκης, προέκυψε το ύψος της ισόθερμης των 0°C (Iso 0°C, Πίνακας 5.1.1). Να σημειωθεί ότι το υψόμετρο της Ισόθερμης των 0°C υπολογίστηκε με τη βοήθεια ενός εργαλείου γραμμικής παρεμβολής (johndcook.com/interpolator.html). Από τον Πίνακα 4.5.1 και το Σχήμα 4.5.1 γίνεται εύκολα αντιληπτή η πολύ απότομη πτώση των υψομέτρων χιονόπτωσης από την 3^η του Ιανουαρίου, σηματοδοτώντας την έναρξη της ψυχρής εισβολής.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΙΣΟΒΑΡΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ
28-12-2018	928 hPa	883m
29-12-2018	797 hPa	2023m
30-12-2018	872 hPa	1315m
31-12-2018	904 hPa	1011m
01-01-2019	896 hPa	1069m
02-01-2019	908 hPa	938m
03-01-2019	902 hPa	940m
04-01-2019	1000 hPa	127m
05-01-2019	Surface	0m

Πίνακας 4.5.1: Ύψος της ισόθερμης των 0°C από δεδομένα ραδιοβολίσεων στο αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης, στις 00Z από 28-12-2018 έως 05-01-2019



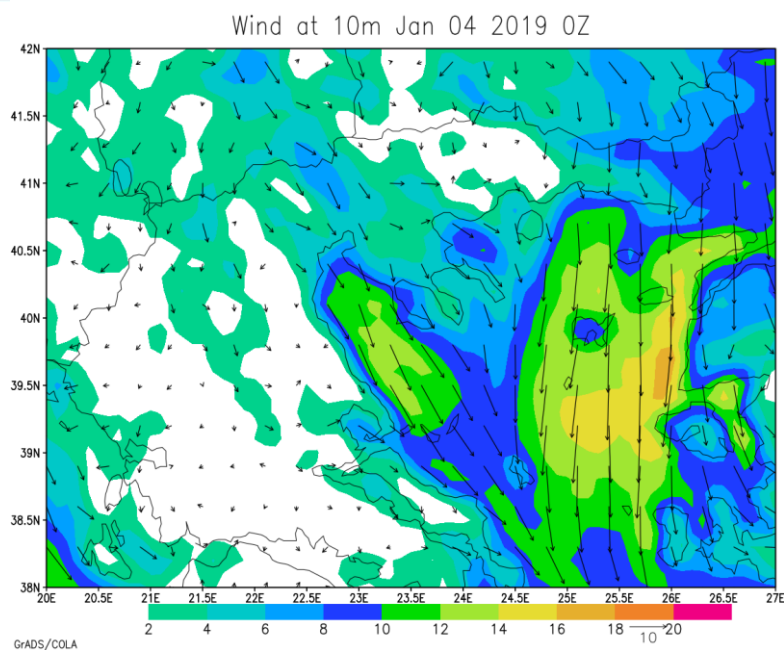
Σχήμα 4.5.1: Ισοβαρική στάθμη (hPa) και ύψος (m) ισόθερμης των 0°C στο αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης, στις 00Z από 28-12-2018 έως 05-01-2019. Δεδομένα: ραδιοβολίσεις.

4.6 Άνεμος στην επιφάνεια

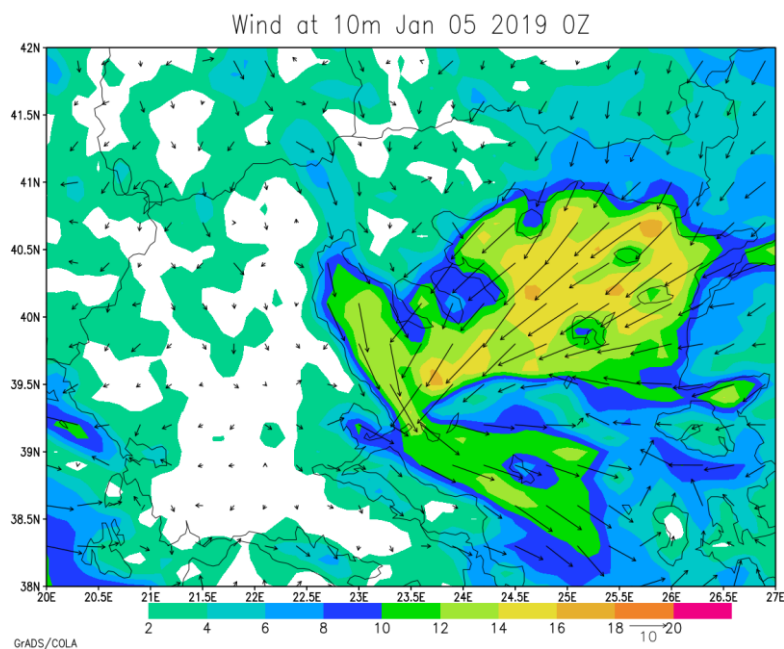
Μία ενδιαφέρουσα μετεωρολογική παράμετρος, κατά τη διάρκεια χιονοπτώσεων, είναι η διεύθυνση και η ένταση του ανέμου κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Εξαιτίας της μορφολογίας του εδάφους, εδώ ο άνεμος παρουσιάζει μεταβολές και δεν είναι της ίδιας μορφής με τον άνεμο σε μεγαλύτερα ύψη στην ατμόσφαιρα. Για διάφορους λόγους, ιδιαίτερα σε ισχυρά βαρομετρικά χαμηλά, μπορεί να προκύψει σύγκλιση των ανέμων σε μια περιοχή. Αυτό σημαίνει ότι άνεμοι διαφορετικών διευθύνσεων συναντώνται σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Με τον συγκεκριμένο τρόπο διαμορφώνεται μια «ζώνη σύγκλισης» και σε αυτές τις ζώνες παρατηρούνται πολύ έντονα φαινόμενα (Met Office, 2018). Στους χάρτες ανάλυσης του ECMWF για την περιοχή της Κεντρικής και Βόρειας Ελλάδας (Σχήματα 4.6.1 – 4.6.6), φαίνεται μια τέτοια σύγκλιση στα ανατολικά τμήματα του νομού Θεσσαλονίκης, στον Στρυμωνικό κόλπο (Σχήμα 4.6.2), η οποία εξηγεί σε μεγάλο βαθμό τα μεγάλα ύψη χιονιού που σημειώθηκαν στις συγκεκριμένες περιοχές, την 5^η του Ιανουαρίου.

Επίσης, φαίνεται και η στροφή των ανέμων σε Νότιες γενικά διευθύνσεις στις 09 του Ιανουαρίου (Σχήμα 4.6.5), σε ολόκληρη την χώρα πλην της Κεντρικής

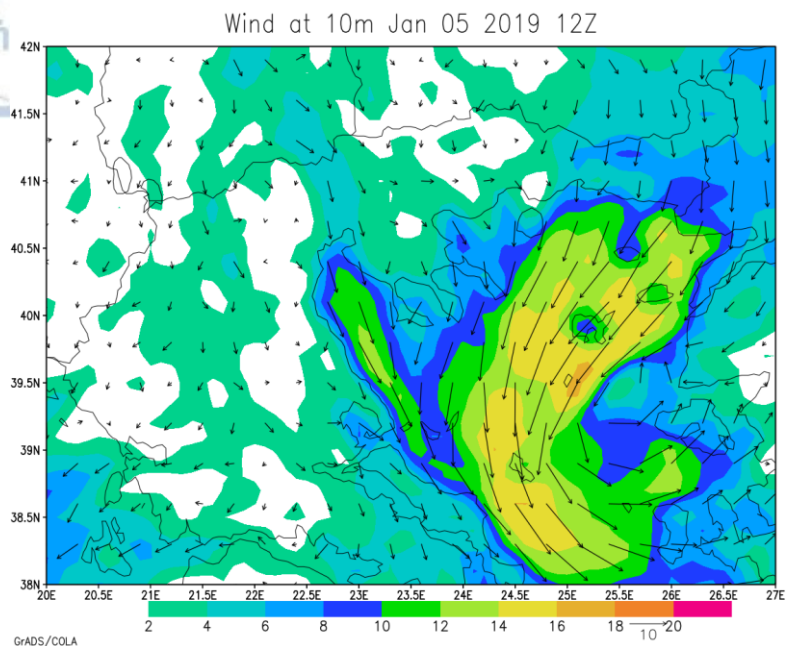
Μακεδονίας, όπου οριακά προκλήθηκαν χιονοπτώσεις. Η θερμοκρασία στην χώρα τότε σημείωσε άνοδο και το ψύχος άρχισε να υποχωρεί.



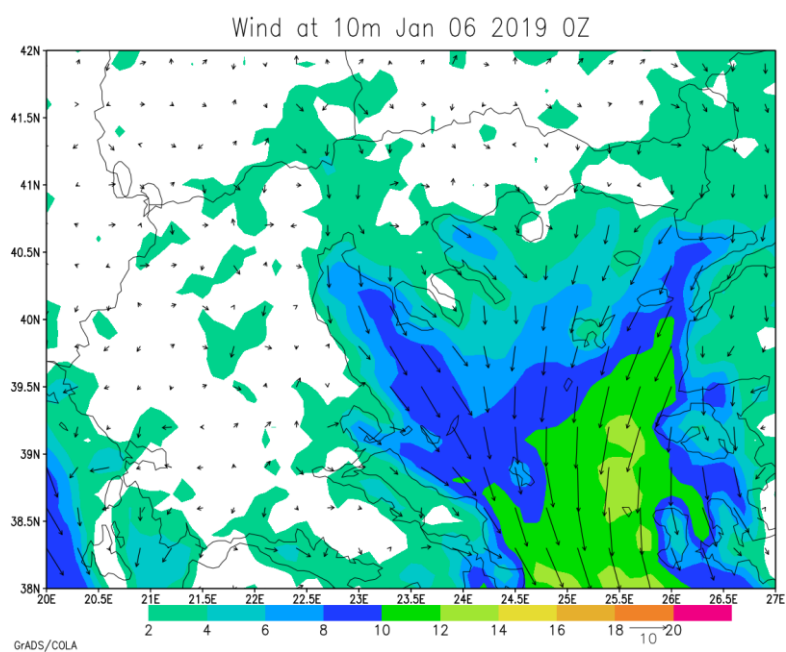
Σχήμα 4.6.1: Χάρτης διεύθυνσης και ταχύτητας (m/s) ανέμου στα 10μ από την επιφάνεια στα 10μ, στην Ελλάδα στις 0Z, 04-01-2019. Δεδομένα: επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



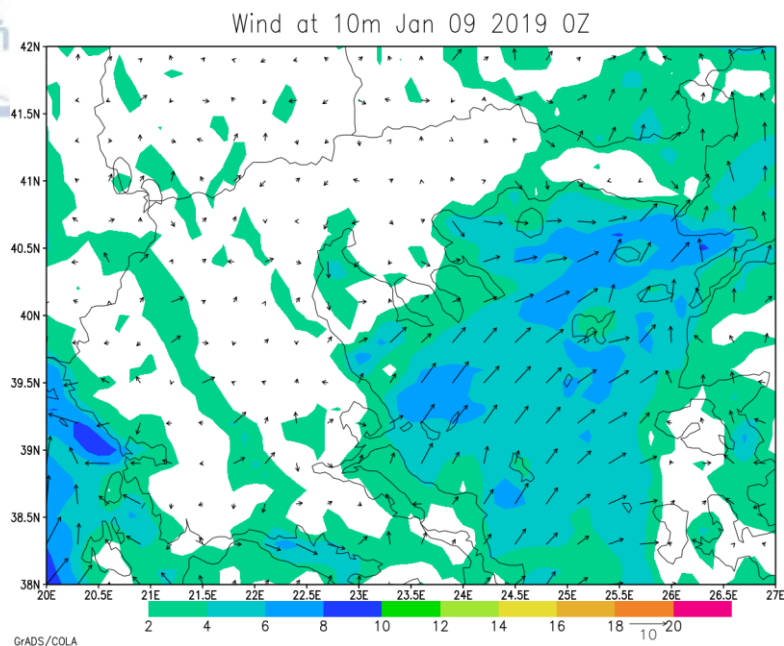
Σχήμα 4.6.2: Χάρτης διεύθυνσης και ταχύτητας (m/s) ανέμου στα 10μ από την επιφάνεια στα 10μ, στην Ελλάδα στις 0Z, 05-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



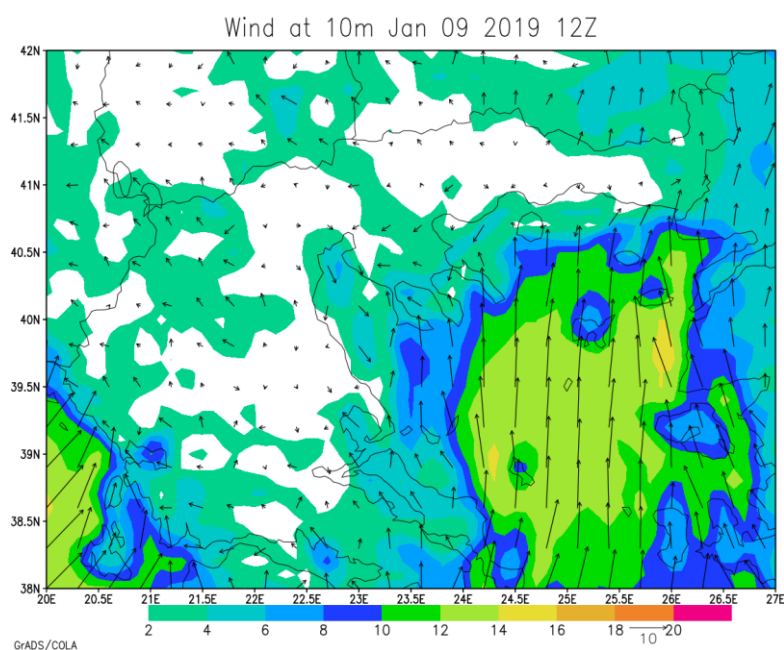
Σχήμα 4.6.3: Χάρτης διεύθυνσης και ταχύτητας (m/s) ανέμου στα 10μ από την επιφάνεια στα 10μ, στην Ελλάδα στις 05-01-2019 12Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



Σχήμα 4.6.4: Χάρτης διεύθυνσης και ταχύτητας (m/s) ανέμου στα 10μ από την επιφάνεια στα 10μ, στην Ελλάδα στις 0Z, 06-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



Σχήμα 4.6.5: Χάρτης διεύθυνσης και ταχύτητας (m/s) ανέμου στα 10μ από την επιφάνεια στα 10μ, στην Ελλάδα στις 0Z, 09-01-2019. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.



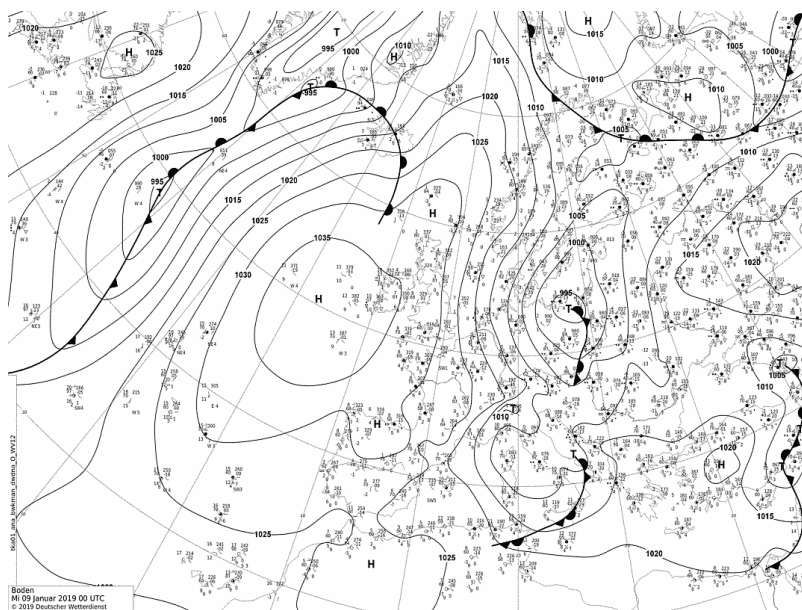
Σχήμα 4.6.6: Χάρτης διεύθυνσης και ταχύτητας (m/s) ανέμου στα 10μ από την επιφάνεια στα 10μ, στην Ελλάδα στις 0Z, 09-01-2019 12Z. Δεδομένα: Επιχειρησιακές αναλύσεις του ECMWF.

4.7 Εγκλωβισμός Ψύχους

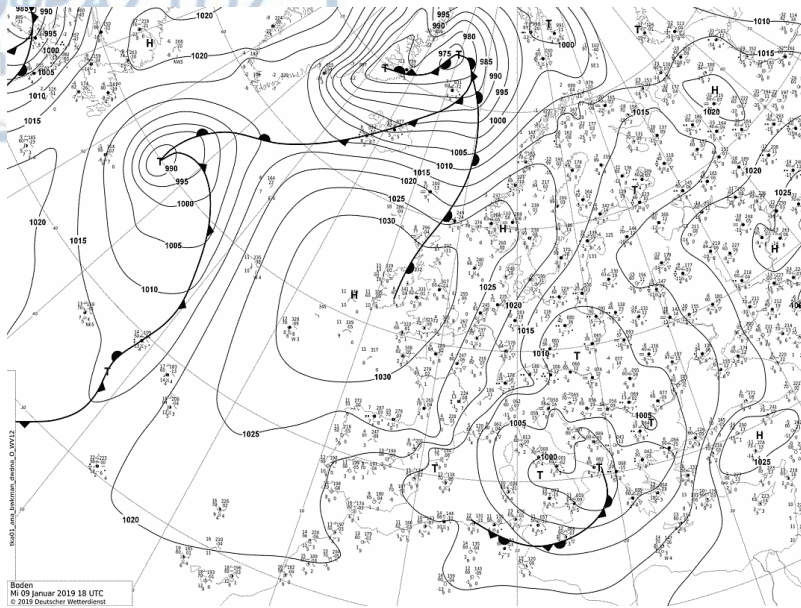
Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, στην περίπτωση ψυχρής εισβολής, μια περιοχή που βρίσκεται στην βάση μιας κοιλάδας και περιβάλλεται από βουνά, κυρίως στα νότια της, μπορεί να σημειώσει ακραία χαμηλές θερμοκρασίες λόγω του

φαινομένου της αναστροφής. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να γίνει ακόμη πιο έντονο στην περίπτωση εκτεταμένης χιονοκάλυψης. Το τμήμα της αέριας μάζας που έρχεται σε επαφή με το χιονοσκεπές έδαφος, καταναλώνει σημαντικά ποσά θερμότητας για την τήξη του χιονιού, με αποτέλεσμα να ψύχεται ακόμη περισσότερο. Το παραπάνω φαινόμενο καλείται και «Αναστροφή Χιονοσκεπούς Εδάφους» (Φλόκας, 1997). Έτσι, η χιονοκάλυψη μπορεί να δημιουργήσει σε μια κοιλάδα ιδιαίτερες μετεωρολογικές συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψιν ότι και η ανακλαστικότητα του χιονιού είναι πολύ υψηλή, με αποτέλεσμα να ανακλά πιο έντονα την ηλιακή ακτινοβολία προς τα πίσω.

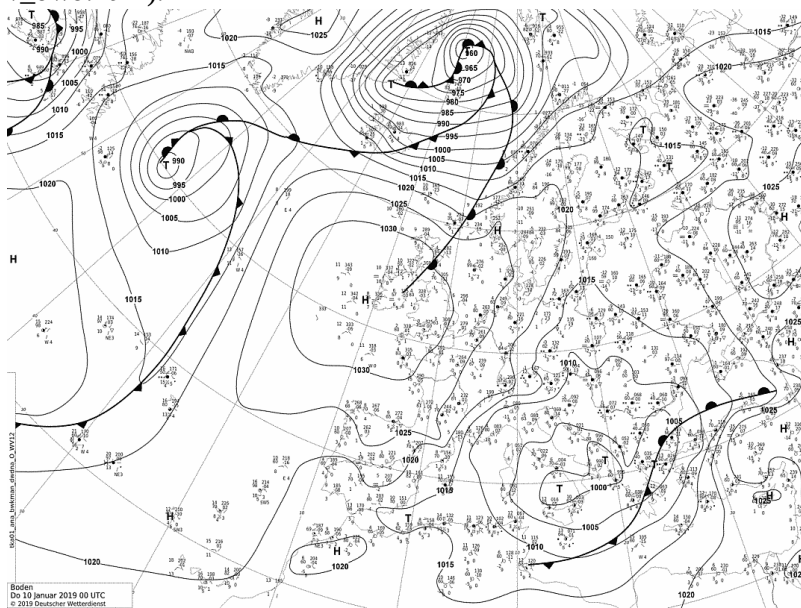
Στην περίπτωση θερμού μετώπου, δηλαδή εάν κατά την κίνηση μιας κακοκαιρίας θερμός αέρας ακολουθεί ψυχρότερη αέρια μάζα (Μακρογιάννης και Σαχσαμανόγλου, 2004), η προυπάρχουσα ψυχρή αέρια μάζα σε μια περιοχή σταδιακά εκτοπίζεται από τις θερμότερες αέριες μάζες. Κάτι τέτοιο, ωστόσο, φαίνεται πως δύσκολα συμβαίνει στην περίπτωση που το ψύχος καταφέρει να εγκλωβιστεί σε κοιλάδες, όπως αυτές που προαναφέρθηκαν. Έτσι, αντί η θερμοκρασία να σημειώσει παντού άνοδο και να σημειωθούν βροχοπτώσεις, στις προαναφερθείσες περιοχές σημειώνονται εκ νέου χιονοπτώσεις, όπως συνέβη και στην περίπτωση της 9^{ης} του Ιανουαρίου. Όπως φαίνεται και στους παρακάτω χάρτες ανάλυσης της Γερμανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, μέσω της ιστοσελίδας του wetter3, (Σχήμα 4.7.1, 4.7.2), το μέτωπο ξεκίνησε από την Ιταλία ως συνεσφιγμένο (ψυχρό μέτωπο συναντά ένα προπορευόμενο θερμό και τελικά ενώνεται με αυτό), ωστόσο πέρασε πάνω από την Βόρεια Ελλάδα με την μορφή θερμού μετώπου (Σχήμα 4.7.3).



Σχήμα 4.7.1: Συνοπτικός μετεωρολογικός χάρτης ανάλυσης επιφανείας για την Ευρώπη και τον Β. Ατλαντικό στις 09-01-2019 0Z. (Πηγή: http://www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html).



Σχήμα 4.7.2: Συνοπτικός μετεωρολογικός χάρτης ανάλυσης επιφανείας για την Ευρώπη και τον Β. Ατλαντικό στις 09-01-2019 18Z. (Πηγή: http://www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html).



Σχήμα 4.7.3: Συνοπτικός μετεωρολογικός χάρτης ανάλυσης επιφανείας για την Ευρώπη και τον Β. Ατλαντικό στις 10-01-2019 0Z. (Πηγή: http://www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο – ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε συνοπτική μελέτη μιας ψυχρής εισβολής, η οποία έλαβε χώρα στις αρχές του Ιανουαρίου του 2019. Γίνεται εστίαση στον Νομό Θεσσαλονίκης, καθώς επρόκειτο για την περιοχή με τις πυκνότερες χιονοπτώσεις στα πεδινά και παραθαλάσσια τμήματά της.

Χρήσιμο εργαλείο για την κατασκευή των χαρτών ήταν το πρόγραμμα “Open GrADS”, μέσω του οποίου έγινε εφικτή η απεικόνιση διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων από αναλύσεις του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF).

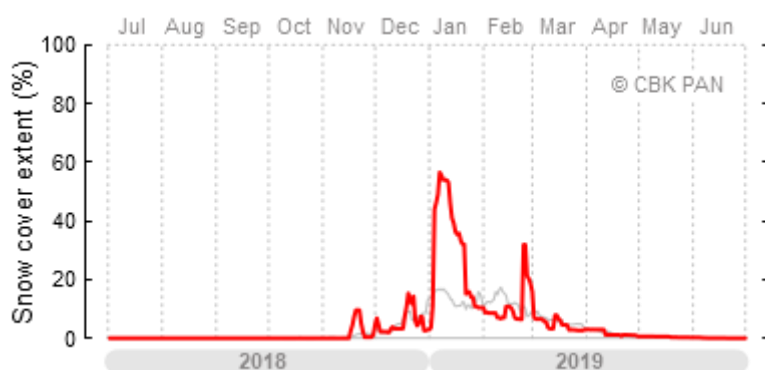
Οι προαναφερθέντες χάρτες κρίνονται μεγάλης σημασίας για την ευκολότερη κατανόηση των συνθηκών που επικρατούσαν στην ανώτερη ατμόσφαιρα την περίοδο της ψυχρής εισβολής. Επιπρόσθετα, βοήθησαν στην δόμηση μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας για τον καιρό κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, μιας και η σχετική έλλειψη μετεωρολογικών σταθμών δημιουργεί σημαντικά κενά στην εκπόνηση τέτοιων εργασιών.

Παρακάτω, παραθέτονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα, όσον αφορά το κύμα ψύχους που επηρέασε σημαντικά τον Νομό Θεσσαλονίκης στις αρχές του Ιανουαρίου του έτους 2019:

- Οι θερμοκρασίες ξεκίνησαν να πέφτουν από την 3^η του Ιανουαρίου, ωστόσο εκείνη την ημέρα ήταν απαγορευτικές για χιονοπτώσεις στα πεδινά, συγκεκριμένα για τον νομό Θεσσαλονίκης από 1.2°C έως 6.1°C. Έτσι, εκείνη την ημέρα σημειώθηκαν κάποιες βροχοπτώσεις και τα χιόνια ήταν περιορισμένα στα μεγαλύτερα γενικά υψόμετρα, ωστόσο όσο πλησίαζε το βράδυ τα υψόμετρα έπεφταν.
- Οι χιονοπτώσεις ξεκίνησαν παντού στον Νομό Θεσσαλονίκης το ξημέρωμα της 4^{ης} του Ιανουαρίου και σταμάτησαν το βράδυ της 5^{ης} του Ιανουαρίου. Τοπικά, ιδιαίτερα στα ανατολικά τμήματα του Νομού, οι χιονοπτώσεις συνεχίστηκαν με ασθενή χαρακτήρα έως και λίγο μετά τα μεσάνυχτα της 6^{ης} του Ιανουαρίου.
- Σημειώθηκαν γενικά μεγάλα ύψη χιονιού, ακόμη και στο κέντρο της Θεσσαλονίκης. Ωστόσο, ένα φαινόμενο σύγκλισης επιφανειακών ανέμων που παρατηρήθηκε και στους χάρτες ανέμου επιφάνειας, θεωρείται υπεύθυνο για την πρόκληση ιδιαίτερα έντονων χιονοπτώσεων στα ανατολικά τμήματα του Νομού Θεσσαλονίκης και σε περιοχές του Νομού Χαλκιδικής, όπου το ύψος του χιονιού σε πολλές περιοχές ξεπέρασε το μισό μέτρο. Τα ύψη χιονιού ήταν τα μεγαλύτερα των τελευταίων 18 ετών.
- Οι θερμοκρασίες έπεσαν σε χαμηλά επίπεδα, ωστόσο, απουσίαζαν φαινόμενα ακραίου παγετού, πλην περιοχών σε κοιλάδες οι οποίες ευνοούν τις θερμοκρασιακές αναστροφές (π.χ. Λαγκαδάς, Μόδι). Συγκεκριμένα, οι θερμοκρασίες σε ολόκληρο τον Νόμο Θεσσαλονίκης έπεσαν κάτω από τους -3°C στις 08 του Ιανουαρίου, ενώ την ίδια ημέρα ο Λαγκαδάς σημείωσε ελάχιστη θερμοκρασία στους -14.3°C.
- Παρατηρήθηκε δεύτερο κύμα χιονοπτώσεων την 9^η του Ιανουαρίου, με την έλευση θερμού μετώπου από τα δυτικά. Οι θερμοκρασίες ανέβηκαν, ωστόσο, στην

περιοχή του Νομού Θεσσαλονίκης το ψύχος εγκλωβίστηκε και οι θερμοκρασίες παρέμειναν κάτω από τους 0°C. Έτσι, δεν παρατηρήθηκαν βροχοπτώσεις. Αίτιο για τον σχηματισμό του μετώπου ήταν η κίνηση ενός αυλώνα, συσχετιζόμενου με το προαναφερθέν κύμα ψύχους, στην Αδριατική θάλασσα, οδηγώντας στην δημιουργία ενός νέου βαρομετρικού χαμηλού.

- Αίτιο για τις χιονοπτώσεις ήταν η αρχική κίνηση του των ψυχρών αερίων μαζών στο Ιόνιο Πέλαγος και η δημιουργία βαρομετρικού χαμηλού, το οποίο κινήθηκε προς το Αιγαίο.
- Πρόσθετοι μετεωρολογικοί παράμετροι, όπως η ύπαρξη Νοτιοανατολικού ρεύματος στην στάθμη των 700hPa στην περιοχή του Στρυμωνικού Κόλπου, ευνόησε τις περιοχές στα ανατολικά τμήματα του Νομού Θεσσαλονίκης, αλλά και την ανατολική Χαλκιδική, να σημειώσουν αξιοσημείωτα ύψη χιονιού.
- Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα του NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), χρησιμοποιώντας έναν διαδραστικό πολυαισθητήρα για την απεικόνιση χιονιού και παγοκάλυψης ("IMS Project"), οι χιονοπτώσεις για την Ελλάδα ήταν άνω του μέσου όρου για το έτος 2019, ιδίως τον Ιανουάριο (Σχήμα 5.1).



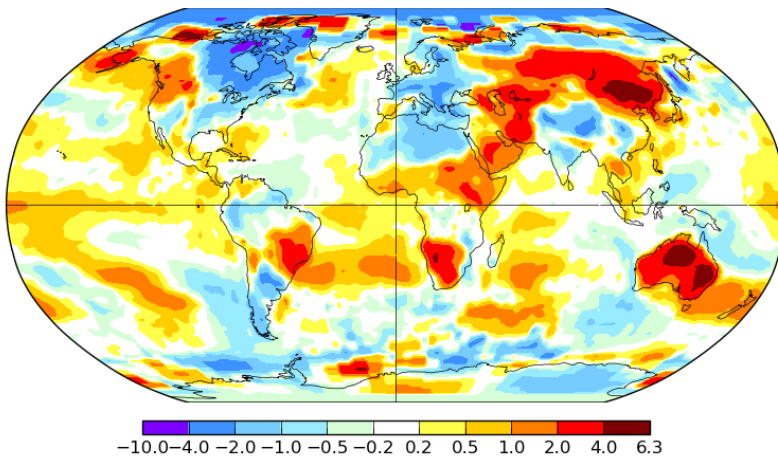
Σχήμα 5.1: Χιονοκάλυψη στην Ελλάδα για το 2019 (κόκκινη γραμμή) και μέσος όρος 2004-2020 (γκρίζα γραμμή). (Πηγή: zoz.cbk.waw).

- Σύμφωνα με δεδομένα αναλύσεων της NASA, ο Ιανουάριος του 2019 ήταν σαφώς ψυχρότερος από τον μέσο όρο των ετών 2006-2020 γενικά για την Ευρώπη, αλλά κυρίως για τα Βαλκάνια (Σχήμα 5.2).

January 2019

T-AIRS(°C) Anomaly vs 2006-2020

0.12



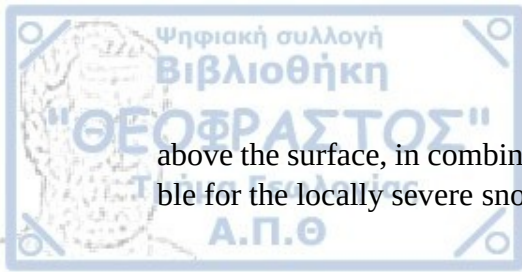
Σχήμα 5.2: Θερμοκρασιακές ανωμαλίες, Ιανουάριος 2019, σε σύγκριση με 2006-2020.
(Πηγή: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/>)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην συγκεκριμένη εργασία μελετάται η περίπτωση ενός κύματος ψύχους, το οποίο ξεκίνησε από τα ανατολικά της Σκανδιναβίας στις 02 Ιανουαρίου 2019 και κινήθηκε ταχύτατα προς την περιοχή της Ελλάδας, όπου και παρέμεινε έως και τις 09 του ίδιου μήνα. Ως αποτέλεσμα ήταν η πρόκληση πολύ ισχυρών χιονοπτώσεων σε συγκεκριμένες περιοχές της Βόρειας Ελλάδας, κυρίως στον Νομό Θεσσαλονίκης όπου εστιάζει και η συγκεκριμένη μελέτη, με ύψη χιονιού που ξεπέρασαν τα 50 εκατοστά σε μερικές πεδινές περιοχές. Αρχικά, παραθέτονται τα αποτελέσματα της ψυχρής εισβολής και των πυκνών χιονοπτώσεων στην επιφάνεια. Έπειτα, γίνεται ανάλυση της συνοπτικής κατάστασης της ατμόσφαιρας, με στόχο την κατανόηση των αιτιών που προκάλεσαν αυτό το φαινόμενο. Η επέκταση ενός αντικυκλώνα στην Δυτική και Βόρεια Ευρώπη και η ύπαρξη ενός αυλώνα αμέσως βορειότερα - βορειοανατολικότερα της Ελλάδας, φαίνεται να ήταν τα κύρια αίτια για την κάθοδο των πολύ ψυχρών αερίων μαζών στην Νοτιοανατολική Ευρώπη. Οι ψυχρές αυτές αέριες μάζες, σε συνδυασμό με βαρομετρικά χαμηλά προερχόμενα από το Ιόνιο, προκάλεσαν χιονοπτώσεις στην Βόρεια κυρίως Ελλάδα. Τέλος, αναλύονται κάποιοι σημαντικοί μετεωρολογικοί παράμετροι, οι οποίοι σχετίζονται άμεσα με το φαινόμενο της χιονόπτωσης, και εξηγούν σε μεγάλο βαθμό τα μεγάλα ύψη χιονιού που σημειώθηκαν τοπικά σε περιοχές του Νομού Θεσσαλονίκης. Μια επιφανειακή σύγκλιση των ανέμων στα ανατολικά του νομού, σε συνδυασμό με γεωμορφολογικούς παράγοντες, ήταν υπεύθυνη για τις τοπικά πολύ ισχυρές χιονοπτώσεις.

ABSTRACT

In this dissertation the case of a cold wave is being studied. It begun from the eastern parts of Scandinavia on January 2nd 2019 and moved towards the region of Greece at high speed, where it remained until January 9th. As a result, severe snowstorms occurred in specific regions of Northern Greece, especially at the Prefecture of Thessaloniki, where in some low altitude flat areas over 50 cm of snow were accumulated. For that reason, this study focuses on this area. Initially, the results of this severe phenomenon are being discussed. Afterwards, an analysis of the synoptic situations of the atmosphere is being made, aiming for a deeper understanding of the causes of this phenomenon. The rise of a high pressure system towards Western and Northern Europe in combination with a trough existing just north - northeast of Greece, seem to be the main reasons for the intrusion of cold air masses in Southeastern Europe. These cold air masses, along with low pressure systems coming from the Ionian Sea, caused snowfalls, mostly in Northern Greece. Lastly, some snowfall related meteorological parameters are being analyzed. These parameters provide an explanation for the increased amount of snow that fell at some parts of the Thessaloniki Prefecture. A convergence line just



above the surface, in combination with some geomorphological factors, were responsible for the locally severe snowfalls.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ahrens, C. D. (1998). *Essentials of Meteorology – An Invitation to the Atmosphere*, 2nd edition. Wadsworth, Inc.

Anagnostopoulou, C., Tolika, K., Lazoglou, G., & Maheras, P. (2017). The exceptionally cold January of 2017 over the Balkan Peninsula: A climatological and synoptic analysis. *Atmosphere*, 8(12), 252.

Dafis, S., Lolis, C. J., Houssos, E. E., & Bartzokas, A. (2016). The atmospheric circulation characteristics favouring snowfall in an area with complex relief in Northwestern Greece. *International Journal of Climatology*, 36(10), 3561-3577.

Grossi, G., Lendvai, A., Peretti, G., & Ranzi, R. (2017). Snow precipitation measured by gauges: Systematic error estimation and data series correction in the central Italian Alps. *Water*, 9(7), 461.

Lagouvardos, K., & Kotroni, V. (2002). The 4–6 January 2002 heavy snowfall over Central and Southern Greece: assessment of MM5 model forecasts. In *Proceedings of the 4th EGS plinius conference, Mallorca, Spain*.

Louka, P., Boucouvala, D., Gofa, F., Balami, M., & Ziakopoulos, D. (2010). Operational forecasting of a snowfall event over the Greater Athens Area. *Advances in Geosciences*, 23, 25-30.

Prezerakos, N. G., & Angouridakis, V. E. (1984). Synoptic consideration of snowfall in Athens. *Journal of climatology*, 4(3), 269-285.

Prezerakos, N. G. (1990). Synoptic flow patterns leading to the generation of north- west African depressions. *International Journal of Climatology*, 10(1), 33-48.

Sahsamanoglou, H. S. (1989). Summer snowfalls over the mount Olympus area. *International Journal of Climatology*, 9(3), 309-319.

Trigo, I. F., Davies, T. D., & Bigg, G. R. (1999). Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region. *Journal of climate*, 12(6), 1685-1696.

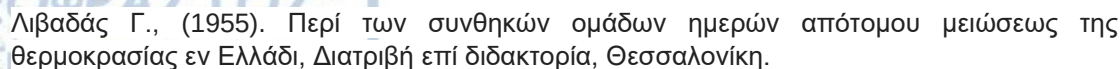
Trigo, I. F., Bigg, G. R., & Davies, T. D. (2002). Climatology of cyclogenesis mechanisms in the Mediterranean. *Monthly Weather Review*, 130(3), 549-569.

Βάρφη, Μ. Σ. (2009). *Συνοπτική και δυναμική μελέτη των θερμών και ψυχρών εισβολών στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο* (No. GRI-2010-4367). Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (2021). Χιονοπτώσεις στην Αττική 15-17 Φεβρουαρίου 2021 – Κλιματικά Στοιχεία (<http://www.emy.gr/emv/el/pdf/snowfall15-17Feb2021.pdf>).

Γιαννουλάκης, Ι. Β. (2014). *Συνοπτική και δυναμική μελέτη του φαινομένου της χιονόπτωσης στη Θεσσαλονίκη* (No. GRI-2015-13601). Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία. Τμήμα Γεωλογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Κυριαζόπουλος Β., (1948). Το χιόνι στην Ελλάδα. Ανάτυπο από το «Βουνό» του Ελληνικού Ορειβατικού Συνδέσμου.



Μακρογιάννης Τ. Ι. και Σαχσαμάνογλου, Χ. Σ., (2004): Μαθήματα Γενικής Μετεωρολογίας. Εκδόσεις ΧΑΡΙΣ Θεσσαλονίκη, 414 σελ.

Μαχαίρας, Π., & Μπαλαφούτης, Χ. (1985). Μαθήματα Γενικής Κλιματολογίας με στοιχεία Βιοκλιματολογίας

Φλόκας Α., (1997): Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Εκδόσεις ΖΗΤΗ Θεσσαλονίκη. 465 σελ.