



**8^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας**

8TH PAN-HELLENIC GEOGRAPHICAL CONFERENCE
of the Greek Geographical Society

Κλιματολογία

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΝΕΦΩΝ ΣΕ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ METEOSAT-8 ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

Κολιός Σ., Φείδας Χ.

Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας, Λόφος Πανεπιστημίου, 81100, Μυτιλήνη

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετάται η συσχέτιση των ηλεκτρικών εκκενώσεων (μεταξύ νεφών και επιφάνειας) με τις τιμές των θερμοκρασιών λαμπρότητας των κορυφών των νεφών στα δυο θερμικά κανάλια 9 και 10 του δορυφόρου Meteosat-8, στις όποιες αντιστοιχούν χωρικά, με σκοπό το βέλτιστο εντοπισμό των μέσης κλίμακας καταιγιδοφόρων νεφικών συστημάτων (ΜΚΣ). Η μελέτη πραγματοποιείται για 35 ημέρες του έτους 2005 με έντονη ηλεκτρική δραστηριότητα στην περιοχή της Μεσογείου. Μετά τη χωρική και χρονική συσχέτιση των ηλεκτρικών εκκενώσεων και των τιμών θερμοκρασίας λαμπρότητας στο κανάλι 9 ακολουθεί ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιείται με βάση τιμές κατωφλίων τόσο στις τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας των νεφών όσο στη διαφορά αυτών. Η ανάλυση καταδεικνύει το γεγονός της συγκέντρωσης των καταγεγραμμένων ηλεκτρικών εκκενώσεων σε μικρές τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας (220 – 230K) ενώ παράλληλα η ένταση του φαινομένου αυξάνεται καθώς οι τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας μειώνονται. Παράλληλα, η καταιγιδοφόρος δραστηριότητα εντοπίζεται σε νεφικά εικονοστοιχεία με διαφορές στη θερμοκρασία λαμπρότητας των καναλιών 9 και 10 (BTD9-10) που βρίσκονται κοντά στο 0 (μεταξύ -1K και 1K). Ως καταλληλότερος συνδυασμός κατωφλίων για το βέλτιστο εντοπισμό των ΜΚΣ βρέθηκε η τιμή θερμοκρασίας λαμπρότητας 228K για το κανάλι 9 και η τιμή 2K για τη διαφορά BTD9-10.

CORRELATION OF LIGHTING ACTIVITY WITH SPECTRAL FEATURES OF CLOUDS IN METEOSAT-8 IMAGERY OVER THE MEDITERRANEAN BASIN

Kolios S., Feidas H.

University of the Aegean, Department of Geography

Abstract

This study is an attempt to correlate cloud to ground lightning activity and brightness temperature in the thermal infrared channels 9 and 10 of Meteosat-8, aiming at the optimum mesoscale convective systems (MCS's) detection. The study covers the Mediterranean basin using lightning and Meteosat-8 data for a period of 35 days of 2005 related to intense lightning activity. After the two datasets have been spatially and temporal correlated, a statistical analysis was conducted aiming at identifying the correlation between various thresholds of brightness temperature, cloud to ground lightnings and convective activity. The sensitivity study based on different thresholds on the brightness temperature in channel 9 and the brightness temperature difference of channels 9 and 10 (BTD9-10) yielded that lightning activity is likely for temperatures 220 – 230K and very small values of BTD9-10. The MCS detection is optimised when a threshold value of 228K for channel 9 is used along with a threshold value of 2K for the BTD9-10.

Λέξεις κλειδιά: ηλεκτρικές εκκενώσεις, δορυφορικές εικόνες, θερμοκρασία λαμπρότητας, καταιγιδοφόρος δραστηριότητα.

Key words: lightnings, satellite images, brightness temperature, convective activity.

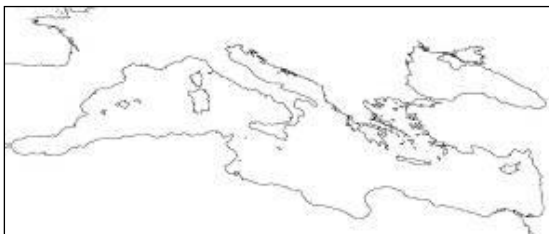
1. Εισαγωγή

Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις αποτελούν βασικό χαρακτηριστικό για τον εντοπισμό της καταιγιδοφόρου δραστηριότητας σε ένα νεφικό σύστημα και των περιοχών με ισχυρά ανοδικά ρεύματα στην ατμόσφαιρα και κατά συνέπεια αποτελούν ένδειξη εκδήλωσης έντονων βροχοπτώσεων και χαλαζόπτωσης. Ο λόγος είναι ότι οι ηλεκτρικές εκκενώσεις αποτελούν φυσική απόρροια της δημιουργίας ηλεκτρικού δυναμικού στα νεφικά συστήματα κατά την παγοποίηση ποσότητας υδρατμών που υπάρχει σε αυτά (π.χ Williams et.al., 2005, Toracinta et.al., 2005). Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις αποτελούν κατά συνέπεια χρήσιμη πληροφορία για τον εντοπισμό καταιγιδοφόρων νεφικών συστημάτων (π.χ Parker et.al., 2000) και την εκτίμηση των ισχυρών βροχοπτώσεων που τα συνοδεύουν (π.χ Latham et. al., 2004; Grecu et al., 2000). Ειδικότερα στη περιοχή της Μεσογείου προηγούμενες μελέτες έχουν αναδείξει το σημαντικό ρόλο των ηλεκτρικών εκκενώσεων στην αξιολόγηση τεχνικών εκτίμησης της βροχόπτωσης (Katsanos et.al., 2006; Papadopoulos et.al., 2005). Πρόσφατες μελέτες εξάλλου επιβεβαιώνουν την συσχέτιση καταιγιδοφόρων συστημάτων μέσης κλίμακας (Correoso et.al.; 2006, Parker et.al., 2000) και των ηλεκτρικών εκκενώσεων. Στην περαιτέρω ανάδειξη της χρησιμότητας των ηλεκτρικών εκκενώσεων για τη μελέτη ακραίων καιρικών φαινομένων σημαντικό παράγοντα αποτελεί η μεγάλη χωρική και χρονική ανάλυση των δεδομένων που παρέχονται από τα σύγχρονα δορυφορικά συστήματα (όπως ο Meteosat-8) στην υπέρυθρη φασματική περιοχή. Από τα δορυφορικά δεδομένα, είναι δυνατό να υπολογιστούν οι τιμές θερμοκρασιών λαμπρότητας σε διάφορες φασματικές περιοχές και σε συνδυασμό με τον αριθμό των ηλεκτρικών εκκενώσεων στις οποίες καταγράφονται, μπορούν να αποτελέσουν βασικό κριτήριο για το διαχωρισμό των καταιγιδοφόρων νεφών (Lutz et.al), την εκτίμηση της έντασης της καταιγιδοφόρου δραστηριότητας καθώς και γενικότερα για την εκτίμηση της βροχόπτωσης με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων.

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια πρώτη προσπάθεια συσχέτισης των φασματικών χαρακτηριστικών των μέσης κλίμακας καταιγιδοφόρων νεφικών συστημάτων (ΜΚΣ) στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, όπως αυτά υπολογίζονται στα δυο κανάλια του θερμικού υπέρυθρου του δορυφόρου Meteosat-8, με τις ηλεκτρικές εκκενώσεις που σχετίζονται με αυτά. Απώτερος σκοπός είναι η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων αυτών για τον ακριβέστερο εντοπισμό των ΜΚΣ στις δορυφορικές εικόνες του Meteosat-8.

2. Δεδομένα

Η περιοχή ενδιαφέροντος της συγκεκριμένης μελέτης καλύπτει την ευρύτερη γεωγραφική περιοχή της Μεσογείου (Σχήμα 1). Η χρονική περίοδος μελέτης καλύπτει συνολικά 35 ημέρες κατανεμημένες σε διαφορετικούς μήνες του έτους 2005, κατά τη διάρκεια των οποίων παρουσιάστηκε έντονη ηλεκτρική δραστηριότητα στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 1. Η γεωγραφική περιοχή μελέτης στο προβολικό σύστημα του Meteosat-8.

Για την περίοδο αυτή συγκεντρώθηκαν δεδομένα ηλεκτρικών εκκενώσεων (μεταξύ νεφών και επιφάνειας) που προέρχονται από το επίγειο δίκτυο καταγραφής ZEUS (Long Range Lightning Detection System), το οποίο παρέχει πληροφοριακό υλικό σε ολόκληρη την

περιοχή ενδιαφέροντος και καταγράφει ηλεκτρικές εκκενώσεις μεταξύ νεφών και εδάφους (Cloud-to-Ground Lightnings) με χρονική ακρίβεια της τάξης των msec και χωρική ακρίβεια 20-25 Km στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Για τις ίδιες ημέρες συλλέχθηκαν επίσης περίπου 3360 εικόνες στο θερμικό υπέρυθρο από το δορυφορικό σύστημα Meteosat-8. Οι συγκεκριμένες δορυφορικές εικόνες διαθέτουν χρονική ανάλυση 15 min και χωρική ανάλυση στην περιοχή μελέτης η οποία κυμαίνεται μεταξύ 4 και 5 Km. Σε κάθε εικόνα χρησιμοποιείται το κανάλι 9 στην φασματική περιοχή 9.8 - 11.8 μm (φασματικό επίκεντρο 10.8 μm) και το κανάλι 10 στην περιοχή 11.0 - 13.0 μm (φασματικό επίκεντρο 12.0 μm).

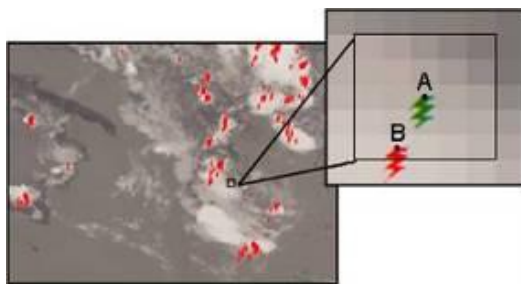
3. Ανάλυση δεδομένων

3.1. Χρονική συσχέτιση των δεδομένων

Τα δεδομένα των ηλεκτρικών εκκενώσεων έχουν διαφορετική χρονική ανάλυση από τα δορυφορικά δεδομένα. Για το λόγο αυτό υπολογίστηκε καταρχήν το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο σαρώνεται από το ραδιόμετρο SEVIRI του Meteosat-8 η περιοχή ενδιαφέροντος και το οποίο είναι κατά προσέγγιση 3min. Με βάση το κέντρο του χρονικού διαστήματος μέσα στο οποίο σαρώνεται η περιοχή ενδιαφέροντος, επιλέχθηκε χρονικό διάστημα $\pm 3\text{min}$ από το επίκεντρο αυτό για την αντιστοίχιση των ηλεκτρικών εκκενώσεων στις δορυφορικές εικόνες. Το σύνολο των ηλεκτρικών εκκενώσεων σε κάθε χρονικό διάστημα $\pm 3\text{min}$ από το χρονικό επίκεντρο κάθε εικόνας αποτελεί το σύνολο των εκκενώσεων που συνδέονται τελικά με κάθε αντίστοιχη δορυφορική εικόνα.

3.2. Χωρική συσχέτιση των δεδομένων

Η χωρική ακρίβεια του συστήματος καταγραφής των ηλεκτρικών εκκενώσεων ZEUS κυμαίνεται μεταξύ 10-25 Km με μέση τιμή τα 20 Km (Chronis et.al., 2006). Έτσι, για κάθε ηλεκτρική εκκένωση που επιλέχθηκε για αντιστοίχιση, δημιουργείται ένα κελί διαστάσεων (40 x 40) Km² με κέντρο, το εικονοστοιχείο στο οποίο αντιστοιχεί η κάθε καταγεγραμμένη ηλεκτρική εκκένωση (οι διαστάσεις του πλέγματος καθορίστηκαν με βάση τη μέση τιμή της χωρικής ακρίβειας που προαναφέρθηκε). Σημειώνεται ότι το κανάλι 9 είναι το πλέον βασικό για τον εντοπισμό καταιγιδοφόρων συστημάτων (Correoso et.al., 2006, Melani, et.al., 2003). Η ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας λαμπρότητας στο κανάλι 9 (10.8 μm) του ραδιομέτρου SEVIRI μέσα στο κελί, αντιπροσωπεύει την περιοχή με τις ισχυρότερες ανοδικές κινήσεις και συνεπώς τη θέση με τη μεγαλύτερη πιθανότητα να έχουν εκδηλωθεί οι ηλεκτρικές εκκενώσεις που κατέγραψε το σύστημα. Η τελική θέση στην οποία αποδίδεται κάθε ηλεκτρική εκκένωση αντιστοιχεί στο εικονοστοιχείο με τη μικρότερη τιμή θερμοκρασίας μέσα στο πλέγμα (Σχήμα 2). Για την ίδια θέση υπολογίζεται και η αντίστοιχη θερμοκρασία λαμπρότητας στο κανάλι 10 (12 μm). Με τον τρόπο αυτό, σε κάθε ηλεκτρική εκκένωση αντιστοιχίζεται μια θερμοκρασία λαμπρότητας της κορυφής του νέφους στα δυο κανάλια 9 και 10.



Σχήμα 2. Απόδοση μιας ηλεκτρικής εκκένωσης (θέση A) στην ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας λαμπρότητας (θέση B) που σημειώνεται σε ένα κελί μεγέθους (40 x 40) Km² στην εικόνα.

3.3. Ανάλυση της συσχέτισης των δεδομένων

Από την αντιστοίχιση ηλεκτρικών εκκενώσεων και τιμών θερμοκρασίας λαμπρότητας στο θερμικό υπέρυθρο (10.8 μm και 12 μm) προέκυψε ένα σύνολο εικονοστοιχείων με συγκεκριμένες τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας στα κανάλια 9 και 10 και συγκεκριμένο αριθμό ηλεκτρικών εκκενώσεων που καταγράφηκαν σε καθένα από αυτά στο διάστημα των 3 min (ένταση ηλεκτρικών εκκενώσεων).

Για τα εικονοστοιχεία αυτά υπολογίστηκε ακόμη η διαφορά των τιμών θερμοκρασίας λαμπρότητας (Brightness Temperature Difference, BTD) μεταξύ των καναλιών 9 και 10 ($\text{BTD}_{9-10} = \text{TB}_{\text{band}9} - \text{TB}_{\text{band}10}$). Έχει αποδειχθεί ότι η διαφορά αυτή αποτελεί κατάλληλο κριτήριο για τη διάκριση των νεφών Cirrus (Θύσανοι) από τα οπτικά παχύτερα νέφη Cumulonimbus (σωρειτομελανίες) και για τον εντοπισμό παγοκρυστάλλων στα νεφικά συστήματα (Lutz et.al., 2003, Melani et.al., 2003). Η τεχνική BTD αξιοποιεί τις διαφορετικές ικανότητες εκπομπής των ημιδιάφανων νεφών τύπου cirrus στις δυο φασματικές περιοχές, λόγω των παγοκρυστάλλων που τα συνθέτουν, για την ταξινόμηση των νεφών τύπου cirrus (νέφη άκρωνα) και των μεγαλύτερου οπτικού πάχους νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης (Inoue, 1985; 1987; 2003). Πιο αναλυτικά, τα νέφη Cirrus αποτελούν υψηλά ημιδιαφανή νέφη τα οποία αποτελούνται από παγοκρυστάλλους και παρόμοιες θερμοκρασίες λαμπρότητας με τα νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης. Λόγω του μικρού οπτικού πάχους των νεφών cirrus, η θερμική ακτινοβολία που καταγράφεται από το παθητικό ραδιόμετρο αποτελεί το άθροισμα της ακτινοβολίας των κορυφών των νεφών Cirrus και της ακτινοβολίας που προέρχεται από χαμηλότερα ατμοσφαιρικά στρώματα ή/και της γήινης επιφάνειας και διέρχεται μέσα από αυτά. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας από τους παγοκρυστάλλους στο κανάλι 9 (10.8 μm) είναι μικρότερη από αυτή στο κανάλι 10 (12.0 μm) με αποτέλεσμα στην πρώτη περίπτωση η ακτινοβολία που προέρχεται κάτω από τα νέφη να διαπερνά σε μεγαλύτερο ποσοστό τα ημιδιαφανή νέφη cirrus από ότι στη δεύτερη περίπτωση. Κατά συνέπεια, η συνολική ακτινοβολία που προέρχεται από την κορυφή ενός νέφους cirrus και καταγράφεται στο κανάλι 9 είναι μεγαλύτερη από την ακτινοβολία που καταγράφεται στο κανάλι 10. Αυτό μεταφράζεται σε διαφορετικές θερμοκρασίες λαμπρότητας στα δυο κανάλια. Νέφη cirrus που καλύπτουν ενεργά νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης εκπέμπουν ως μέλανα σώματα και συνεπώς εμφανίζουν πολύ μικρές τιμές BTD_{9-10} (μικρότερες του 1 K) (Inoue, 1985; 1987; Inoue et al., 2002; Lutz et al., 2003). Αντιθέτως, όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο ενός ΜΚΣ το οπτικό πάχος των νεφών cirrus μειώνεται σταδιακά με αποτέλεσμα να αυξάνονται αντίστοιχα οι τιμές της διαφοράς BTD_{9-10} (1- 2.5 K για παχιά νέφη και μεγαλύτερες των 2.5 K για λεπτά νέφη cirrus).

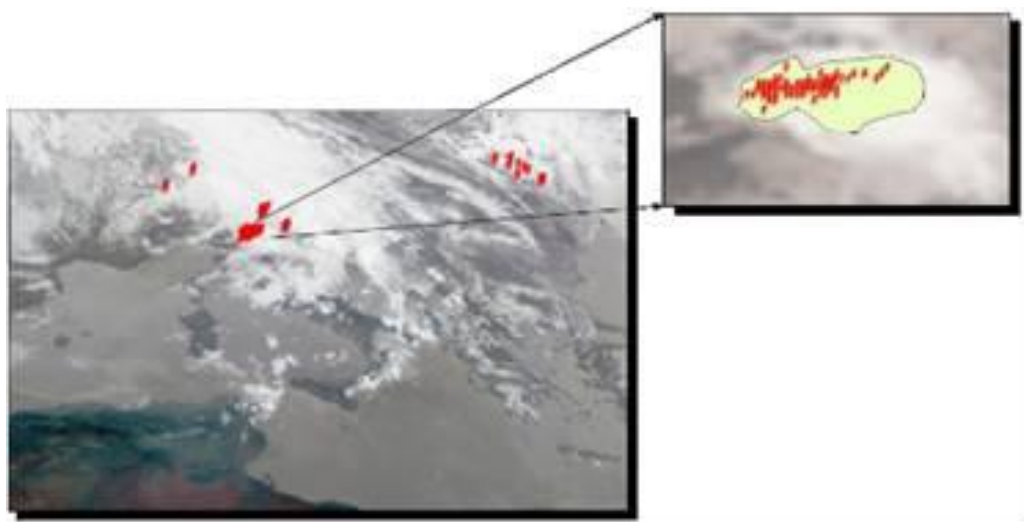
Για το σύνολο των νεφικών εικονοστοιχείων στα οποία αποδόθηκαν ηλεκτρικές εκκενώσεις δημιουργήθηκαν τα ιστογράμματα των απόλυτων και των αθροιστικών κατανομών τόσο στις αντίστοιχες θερμοκρασίες λαμπρότητας όσο και στις διαφορές BTD_{9-10} . Τα ιστογράμματα αυτά αποτέλεσαν τη βάση για την εύρεση του εύρους των θερμοκρασιών λαμπρότητας και διαφορών BTD_{9-10} για το οποίο έχουμε το μεγαλύτερο πλήθος ηλεκτρικών εκκενώσεων.

3.4 Αξιολόγηση των κατωφλίων θερμοκρασίας λαμπρότητας

Με βάση τα αποτελέσματα της προηγούμενης ανάλυσης τέθηκαν διάφορα κατώφλια στη θερμοκρασία λαμπρότητας και αξιολογήθηκε η ικανότητα τους εντοπισμού των μέσης κλίμακας καταγιδοφόρων συστημάτων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η αυτοματοποιημένη μέθοδος εντοπισμού και παρακολούθησης ΜΚΣ που ανέπτυξαν οι Feidas and Cartalis (2001). Η μέθοδος αυτή εξετάζει όλη την περιοχή ενδιαφέροντος σε μια εικόνα του Meteosat-8 στο κανάλι 9 για τον εντοπισμό όλων των κορυφών των νεφών με θερμοκρασία λαμπρότητας μικρότερης από μία τιμή κατωφλίου. Κάθε σύνολο των εικονοστοιχείων με τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας μικρότερης της τιμής κατωφλίου και με αριθμό εικονοστοιχείων μεγαλύτερο από 100 Km^2 καλείται νεφικός πυρήνας. Για κάθε νεφικό πυρήνα που εντοπίζεται, υπολογίζεται μία σειρά παραμέτρων που σχετίζονται με την έκταση,

το σχήμα και το δυναμικό βροχόπτωσης. Στο επόμενο στάδιο του αλγόριθμου παρακολουθούνται (tracking) όλα τα ΜΚΣ από τη δημιουργία τους μέχρι την διάλυσή τους λαμβάνοντας υπόψη τις τυχόν διασπάσεις και συνενώσεις των πυρήνων.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε για το σύνολο των 35 διαθέσιμων ημερών με ηλεκτρική δραστηριότητα για διάφορα κατώφλια θερμοκρασίας λαμπρότητας στο κανάλι 9. Σε κάθε περίπτωση εντοπίστηκαν και συλλέχθηκαν όλα τα νεφικά συστήματα με τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας μικρότερες από αυτές τις τιμές. Από αυτά θεωρήθηκαν ως καταιγισδοφόρα νεφικά συστήματα όλα εκείνα στα οποία, τουλάχιστον σε ένα από τα στάδια εξέλιξής τους σημειώθηκε έστω και μία ηλεκτρική εκκένωση (Σχήμα 3). Ως μη καταιγισδοφόρα θεωρήθηκαν όλα εκείνα τα νεφικά συστήματα στα οποία δεν έχει σημειωθεί καμία ηλεκτρική εκκένωση σε κανένα από τα στάδια εξέλιξής τους. Ως καταλληλότερο κατώφλι θερμοκρασίας επιλέγεται εκείνο που εντοπίζει μεγαλύτερο ποσοστό νεφικών πυρήνων με αποδεδειγμένη καταιγισδοφόρο δραστηριότητα σύμφωνα με το προηγούμενο κριτήριο. Ακολουθώς, για το κατώφλι θερμοκρασίας αυτό εξετάζεται με τον ίδιο τρόπο η δυνατότητα εφαρμογής ενός ακόμη ελέγχου λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά BTD9-10 των θερμοκρασιών λαμπρότητας στα δυο κανάλια 9 και 10.

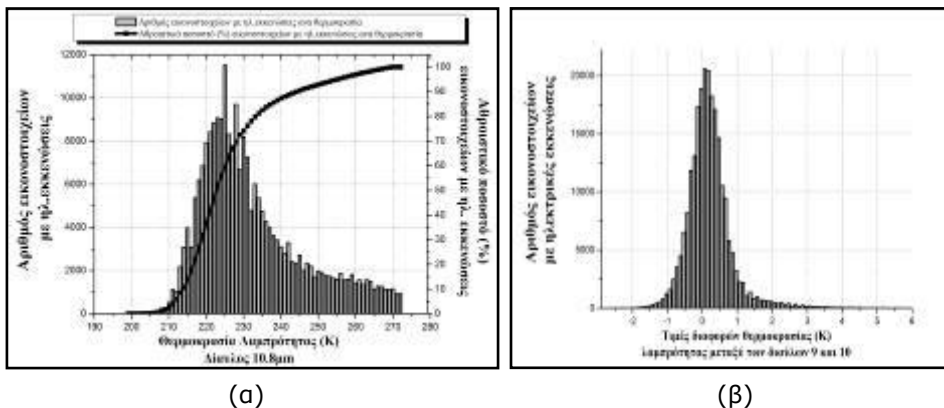


Σχήμα 3. Νεφικός πυρήνας σε εικόνα του καναλιού 9 του Meteosat-8 και οι καταγεγραμμένες ηλεκτρικές εκκενώσεις σε αυτόν. Το σύστημα αυτό χαρακτηρίζεται με βάση το κριτήριο της μιας ηλεκτρικής εκκένωσης ως καταιγισδοφόρο.

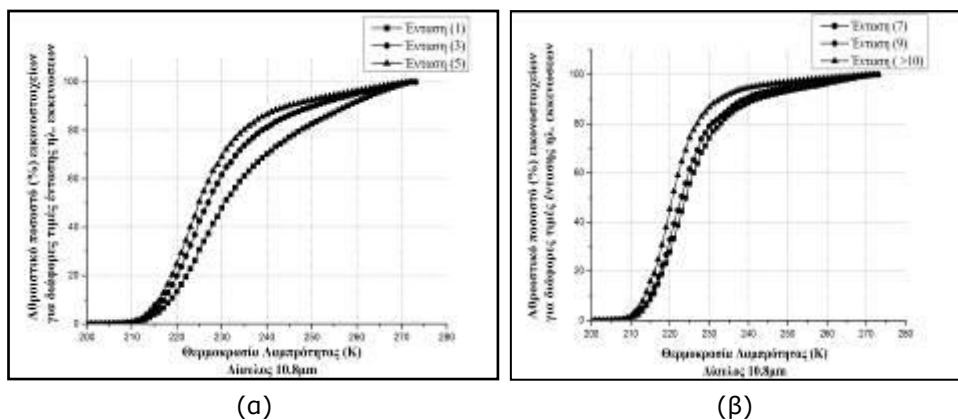
4. Αποτελέσματα

Στο Σχήμα 4α παρουσιάζεται η κατανομή των νεφικών εικονοστοιχείων - στα οποία εντοπίστηκε τουλάχιστον μία ηλεκτρική εκκένωση - στις διάφορες θερμοκρασίες λαμπρότητας. Παρατηρείται ότι το 70% περίπου των εικονοστοιχείων που συνδέονται με μια τουλάχιστον ηλεκτρική εκκένωση εμφανίζουν τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας μικρότερες των 230K. Το μεγαλύτερο πλήθος των εικονοστοιχείων (περίπου το 50%) συγκεντρώνεται σε θερμοκρασίες από 218K ως 230K. Στο Σχήμα 5 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες αθροιστικές κατανομές για διάφορες τιμές έντασης εκδήλωσης ηλεκτρικών εκκενώσεων. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η ένταση των ηλεκτρικών εκκενώσεων ανά εικονοστοιχείο, τόσο το πλήθος των εικονοστοιχείων συγκεντρώνεται σε μικρότερες τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας. Για παράδειγμα, το 90% περίπου των εικονοστοιχείων που συνδέονται με μια ηλεκτρική εκκένωση (τιμή έντασης 1) έχουν θερμοκρασίες μικρότερες των 260K. Το ίδιο ποσοστό των

εικονοστοιχείων που συνδέονται με πάνω από 10 ηλεκτρικές εκκενώσεις (τιμή έντασης μεγαλύτερη από 10) εμφανίζονται σε αρκετά χαμηλότερες θερμοκρασίες (μικρότερες των 230K). Στο Σχήμα 4β παρατηρείται ότι, όπως αναμένονταν, οι τιμές διαφοράς των θερμοκρασιών μεταξύ των καναλιών 9 και 10 συγκεντρώνονται γύρω από το 0.



Σχήμα 4. (α) Το ιστόγραμμα και η αθροιστική κατανομή (%) των νεφικών εικονοστοιχείων στα οποία εντοπίστηκε τουλάχιστον μία ηλεκτρική εκκένωση. (β) Η κατανομή των διαφορών θερμοκρασίας BTD9-10 για τα ίδια εικονοστοιχεία.



Σχήμα 5. Ενδεικτικές αθροιστικές κατανομές των ποσοστών (%) των εικονοστοιχείων για διάφορες τιμές έντασης (αριθμός ηλεκτρικών εκκενώσεων ανά εικονοστοιχείο) (α) για τιμές έντασης 1, 3 και. (β) για τιμές έντασης 7, 9 και μεγαλύτερης από 10.

Με βάση τα προηγούμενα αποτελέσματα, εφαρμόστηκε η αυτοματοποιημένη μέθοδος εντοπισμού και παρακολούθησης ΜΚΣ των Feidas and Cartalis (2001) στο κανάλι 9 των εικόνων Meteosat-8 χρησιμοποιώντας ως κατώφλι θερμοκρασίας λαμπρότητας τιμές που βρίσκονται στο εύρος 220K - 230K με βήμα 2K. Η συγκεκριμένη διαδικασία εφαρμόστηκε για το σύνολο των 35 διαθέσιμων ημερών με ηλεκτρική δραστηριότητα, με στόχο να ελεγχθεί το δυναμικό του κάθε κατωφλίου ή θερμοκρασίας στον εντοπισμό της καταιγιδοφόρου δραστηριότητας σε νεφικά συστήματα μέσης κλίμακας (ΜΚΣ). Για το σκοπό αυτό, θεωρηθήκαν ως καταιγιδοφόρα τα νέφη όλα εκείνα στα οποία, τουλάχιστον σε ένα από τα στάδια εξέλιξής τους, σημειώθηκε έστω και μία ηλεκτρική εκκένωση. Έγινε επεξεργασία άνω των 20000 εικόνων Meteosat-8 που κάλυπταν το διάστημα των 35 αυτών ημερών. Στον Πίνακα 1

παρατίθενται τα ποσοστά των καταιγιδοφόρων νεφών που εντοπίστηκαν με την εφαρμογή διαφορετικών κατωφλίων θερμοκρασίας λαμπρότητας στο εύρος 220 – 230K. Από τον πίνακα αυτόν παρατηρείται ότι αντιπροσωπευτικότερη τιμή θερμοκρασίας λαμπρότητας στο κανάλι 9 του Meteosat-8 για τον εντοπισμό καταιγιδοφόρων νεφικών συστημάτων είναι τα 228K, με ποσοστό επιτυχίας περίπου 60%.

Πίνακας 1. Ποσοστά εντοπισμένων καταιγιδοφόρων νεφών (P_{cv}) με την εφαρμογή διαφορετικών κατωφλίων θερμοκρασίας λαμπρότητας στην περίοδο των 35 ημερών μελέτης.

Τιμή Κατωφλίου Θερμοκρασίας (K)	P_{cv} (%)
200	41,3
222	47,2
224	50,0
226	50,6
228	59,3
230	54,7

Η χρήση του κατωφλίου θερμοκρασίας στο κανάλι 9 βασίζεται στην απλή θεώρηση ότι πολύ ψυχρές κορυφές νεφών αντιστοιχούν σε νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης. Νέφη όμως cirrus που συνήθως βρίσκονται στο ίδιο ύψος εμφανίζουν παρόμοιες θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να εκλαμβάνονται λανθασμένα ως νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης. Για το λόγο αυτό, εξετάστηκε η δυνατότητα αξιοποίησης της διαφοράς στη θερμοκρασία λαμπρότητα των καναλιών 9 και 10 ($BTD9-10 = TBband9 - TBband10$) η οποία, όπως προαναφέρθηκε, μπορεί να αποτελέσει κατάλληλο κριτήριο για τη διάκριση των νεφών cirrus από τα οπτικά παχύτερα νέφη Cumulonimbus, με απώτερο στόχο τη βελτίωση του ποσοστού των καταιγιδοφόρων συστημάτων που εντοπίζονται κάτω από το βέλτιστο κατώφλι των 228K. Για το σκοπό προστέθηκε ένας επιπλέον έλεγχος στον αλγόριθμο εντοπισμού και παρακολούθησης των ΜΚΣ με βάση ένα κατώφλι στη διαφορά $BTD9-10$. Πιο συγκεκριμένα, παράλληλα με το κατώφλι των 228K για τη θερμοκρασία λαμπρότητας, για το οποίο το ποσοστό των καταιγιδοφόρων συστημάτων που εντοπίστηκαν είναι το μεγαλύτερο (Πίνακας 2), εφαρμόζεται ένα επιπλέον κατώφλι για τη διαφορά $BTD9-10$ και υπολογίζεται εκ νέου το ποσοστό των καταιγιδοφόρων νεφών από τους νεφικούς πυρήνες που εντοπίζονται. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας ελέγχονται ενδεικτικά τρία βασικά κατώφλια τιμών $BTD9-10$ (0, 1 και 2). Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής παρατίθενται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Ποσοστά εντοπισμένων καταιγιδοφόρων νεφών (P_{cv}) με την εφαρμογή διαφορετικών κατωφλίων για τη διαφορά $BTD9-10$ στην περίοδο των 35 ημερών μελέτης.

Τιμή Κατωφλίου (K)	P_{cv} (%)
0	49,0
1	51,7
2	63,5

Από τον Πίνακα 3 παρατηρείται ότι η εισαγωγή επιπλέον ελέγχου της διαφοράς $BTD9-10$ βελτιώνει οριακά (από 59.3% σε 63.5%) τα ποσοστά επιτυχίας στην ανίχνευση των ΜΚΣ, για τιμές $BTD9-10$ μικρότερες των 2K. Η τιμή αυτή είναι κατά 1K μεγαλύτερη από το κατώφλι που βρήκε ο Ιπουε (1987; 2002) για το διαχωρισμό των νεφών cirrus από τα οπτικά παχύτερα νέφη τύπου cumulonimbus.

5. Συμπεράσματα

Στην παρούσα μελέτη έγινε μια προσπάθεια συσχέτισης των ηλεκτρικών εκκενώσεων και των φασματικών χαρακτηριστικών των καταιγιδοφόρων νεφικών συστημάτων μέσης κλίμακας με βάση τα δύο θερμικά κανάλια του δορυφόρου Meteosat-8 για την περιοχή της Μεσογείου. Από τη συσχέτιση αυτή προέκυψε ότι μεγάλη συχνότητα εκδήλωσης ηλεκτρικών εκκενώσεων εμφανίζεται σε νεφικά εικονοστοιχεία με θερμοκρασίες λαμπρότητας στο κανάλι 9 (10.8μm) που κυμαίνονται από 220K έως 230K. Όσο αυξάνει η ένταση των ηλεκτρικών εκκενώσεων που καταγράφονται σε ένα νεφικό εικονοστοιχείο τόσο μειώνεται η θερμοκρασία λαμπρότητας του εικονοστοιχείου αυτού. Παρατηρήθηκε ακόμη, σαφής συσώρευση των τιμών διαφοράς των θερμοκρασιών λαμπρότητας των καναλιών 9 και 10 γύρω από το 0 (κυρίως μεταξύ -1K και 1K). Οι πολύ μικρές αυτές τιμές της BTD9-10 κορυφών νεφών που αντιστοιχούν σε νεφικά συστήματα μεγάλου οπτικού πάχους τα οποία με βάση τις θερμοκρασίες των κορυφών τους βρίσκονται σε μεγάλα ύψη (θερμοκρασία μικρότερη των 228K) και συνεπώς αποτελούν νεφικά συστήματα κατακόρυφης ανάπτυξης.

Ο έλεγχος ευαισθησίας που έγινε για διάφορα κατώφλια θερμοκρασίας λαμπρότητας στο κανάλι 9 με σκοπό το βέλτιστο εντοπισμό των καταιγιδοφόρων νεφικών συστημάτων έδειξε ότι το καταλληλότερο κατώφλι είναι η θερμοκρασία των 228K. Σε αυτή την τιμή, το ποσοστό επιτυχίας εντοπισμού των ΜΚΣ είναι περίπου 60%. Το ποσοστό αυτό βελτιώνεται ελαφρά κατά 4.2 ποσοστιαίες μονάδες με τη χρήση ενός επιπρόσθετου κατωφλίου στη διαφορά θερμοκρασίας των καναλιών 9 και 10. Η τιμή του κατωφλίου αυτού βρέθηκε ότι είναι 2K. Η μικρή σχετικά βελτίωση που σημειώθηκε με τη χρήση δύο κατωφλίων οφείλεται στο γεγονός ότι το επιπλέον κατώφλι στη διαφορά BTD9-10 βοηθά στον εντοπισμό με μεγαλύτερη ακρίβεια των καταιγιδοφόρων περιοχών των ΜΚΣ αποκλείοντας τα μικρότερο οπτικού πάχους νέφη τύπου cirrus που επικρατούν στην περιφέρεια του συστήματος και τα οποία δεν συνδέονται με καταιγιδοφόρα δραστηριότητα. Η εξέταση της εισαγωγής και άλλων διαφορών καναλιών του Meteosat-8 (π.χ. της φασματικής περιοχής 10.7 μm και της ζώνης απορρόφησης των υδρατμών στα 6.7 μm) και η εύρεση του καταλληλότερου συνδυασμού των κατωφλίων για το βέλτιστο εντοπισμό των ΜΚΣ αποτελεί το επόμενο στάδιο της παρούσας έρευνας.

Βιβλιογραφία

Greco, M., Anagnostou, E.M., Adler, R.F., 2000: Assessment of the Use of Lightning Information in Satellite Infrared Rainfall Estimation. *J. Hydrometeorol.* 1(3): 211-221.

Chronis, T., Anagnostou, E., 2006: Evaluation of a Long-Range Lightning Detection Network with Receivers in Europe and Africa. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44.

Correoso, J.F., Hernandez, E., Garcia-Herrera, R., Barriopedro, E., Paredes, D. 2006: A 3-year study of cloud-to-ground lightning flash characteristics of MCS over Western Mediterranean Sea. *Atmos. Res.*, 79: 89-107.

Feidas, H. and Cartalis, C., 2001: Monitoring mesoscale convective cloud systems associated with heavy storms with the use of Meteosat imagery, *J. Appl. Meteorol.*, 40, 491-512.

Inoue, T., 1985: On the temperature and effective emissivity determination of semi-transparent cirrus clouds by bi-spectral measurements in the 10 mm window region. *J. Meteor. Soc. Japan*, 63: 88-99.

Inoue, T., 1987: A cloud type classification with NOAA7 split-window measurements. *J. Geophys. Res.*, 92, 3991-4000.

Inoue, T., 2003: Convective/Stratiform rain by PR/TRMM and life stage of deep

convection. Geophysical Research Abstracts, 5, 08446

Inoue, T., Ackerman, S.A., 2002: Radiative effects of various cloud types as classified by the split window technique over the eastern sub-tropical Pacific derived from collocated ERBE and AVHRR data. J. Meteor. Soc. Japan, 80(6): 1383-1394.

Katsanos, D., Viltard, N., Lagouvardos, K, Kotroni, V. 2006: Performance of a rain retrieval algorithm using TRMM data in the Eastern Mediterranean. Advances in Geosciences, 7: 321–325.

Latham, J., Blyth, M., Christian Jr., Deierling, W., Gadian, M. 2004: Determination of precipitation rates and yields from lightning measurements. J. Hydrology, 288: 13–19,.

Lutz, J.H., Inoue, T., Schmetz, J. 2003: Comparison of a split-window and a multi-spectral cloud classification for MODIS observations. J. Meteorol. Soc. Japan, 81: 623–631.

Melani, S., Cattani, E., Levizzani, V., Cervino, M., Toricella, F., Costa, J.M. 2003: Radiative effects of Cirrus clouds on top of deep convective storm in Meteosat second generation SEVIRI channels. Meteorol. and Atm. Physics, 83: 109 -122.

Papadopoulos, A., Chronis, T., Anagnostou, E. 2005: Improving Convective Precipitation Forecasting Through Assimilation of Regional Lightning Measurements in a Mesoscale Model. Mon. Weath. Rev., 133: 1961-1977.

Parker, M., Rutledge, S., Johnson, S. 2000: Cloud to Ground Lightning in Linear Mesoscale Convective Systems. Mon. Weath. Rev., 129: 1232-1242.

Toracinta, R., Mohr, K. 1995: A comparison of WSR-88D Reflectivities, SSM/I Brightness Temperatures and Lightning in Mesoscale Convective System in Texas, Part I: Radar Reflectivity and Lightning. J. Appl. Meteorol., 35: 902 – 918.

Williams, E.R., 2005: Lightning and climate: A review. Atmos. Res., 76: 272–287.