



ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ
ΑΕΡΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ
ΣΕ ΣΧΕΔΟΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 6

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ
ΑΕΡΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Συγγραφείς:

Αδριανός Ρετάλης, Δημήτρης Παρώνης,

ΙΟΥΝΙΟΣ 2008





ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Στόχος.....	3
2. Εισαγωγή.....	3
3. Δορυφορικά δεδομένα MODIS	3
4. Επίγειες μετρήσεις αερολυμάτων	4
5. Χρονοσειρές συγκέντρωσης PM_{10} , AOD για τους 4 σταθμούς μέτρησης	5
6. Κλιματολογική ανάλυση χαρτών οπτικού πάχους αερολυμάτων	8
7. Βιβλιογραφία	10
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	11

1. ΣΤΟΧΟΣ

Η διαχρονική στατιστική μελέτη των επιπέδων αεροσωματιδιακής ρύπανσης με συνδυασμό επίγειων μετρήσεων και δορυφορικών δεδομένων για την περιοχή της Κύπρου. Πιο συγκεκριμένα, η αποτύπωση της κατανομής των αερολυμάτων και ο προσδιορισμός των συσχετισμών μεταξύ των επίγειων μετρήσεων PM_{10} και των τιμών οπτικού πάχους αερολυμάτων (Aerosol Optical Depth-AOD) από δορυφορικές δεδομένα MODIS για διάφορους τύπους επίγειων περιοχών/σταθμών (υποβάθρου, αστικός, βιομηχανικός).

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα αποτελεί μια σημαντική κατεύθυνση στον τομέα της δορυφορικής τηλεπισκόπησης διεθνώς. Ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στην εφαρμογή μεθόδων για την ανίχνευση και παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται τόσο από ανθρωπογενείς πηγές (π.χ. βιομηχανική δραστηριότητα, κίνηση των οχημάτων στα μεγάλα αστικά κέντρα) όσο και στη ρύπανση φυσικής προέλευσης. Η τελευταία είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιοχές της ΝΑ Μεσογείου, όπως είναι η Κύπρος, και αφορά τη μεταφορά σωματιδίων από την έρημο Σαχάρα.

3. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ MODIS

Ο αρχικός σχεδιασμός πρόβλεπε την χρησιμοποίηση εικόνων από τους δορυφορικούς δέκτες NOAA/AVHRR, METEOSAT/SEVIRI-MVIRI και TERRA/AQUA MODIS. Η χωρική και χρονική διακριτική ικανότητα των δεκτών αυτών είναι κατάλληλη για τη μελέτη των σχετικών φαινομένων. Ο συνδυασμός δε εικόνων και από τους τρεις δέκτες ταυτόχρονα, θα εξασφάλιζε καλύτερη συχνότητα κάλυψης (4-5 εικόνες ανά ημέρα).

Στην πορεία υλοποίησης του έργου διαπιστώθηκε ότι η καλύτερη λύση για τις ανάγκες του Έργου ήταν η επιλογή των δορυφορικών δεδομένων MODIS, που σε αντίθεση με τους άλλους δορυφορικούς δέκτες, προσφέρουν έτοιμα προϊόντα με μετρήσεις οπτικού πάχους αερολυμάτων.

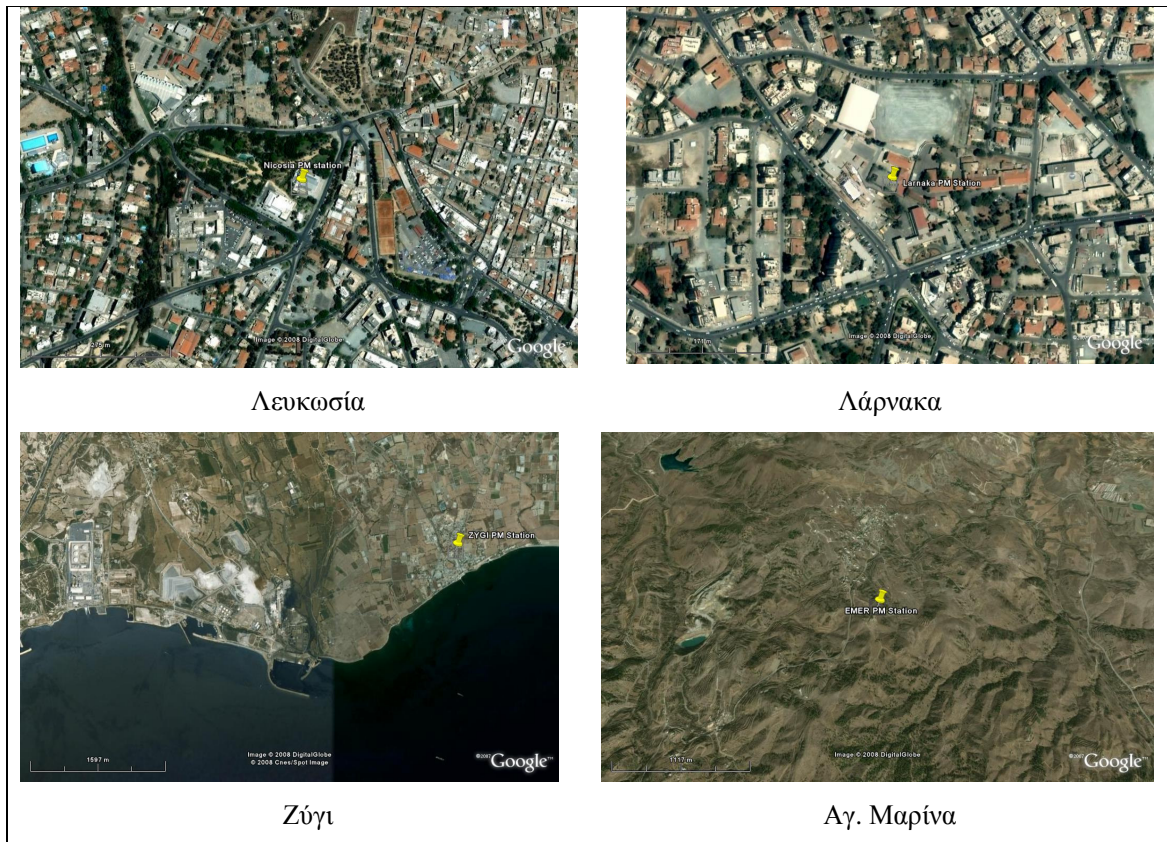
Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε χρονοσειρά εικόνων αρχείου που καλύπτουν χρονική περίοδο τουλάχιστο τριών ετών (2003-2005), διάρκεια που θεωρείται ικανή ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων μέσω στατιστικής ανάλυσης.

Ο δέκτης MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) βρίσκεται εγκατεστημένος στους δορυφόρους Terra και Aqua. Τα διαθέσιμα δεδομένα για τους δύο δορυφόρους τηρούνται αντίστοιχα από τον Απρίλιο του 2000 και τον Μάιο του 2002. Οι μετρήσεις του οπτικού πάχους πραγματοποιούνται τόσο πάνω από την επιφάνεια των ωκεανών (Tanré et al., 1997) όσο και πάνω από την ξηρά (Kaufman et al., 1997), μέσω δύο ανεξάρτητων αλγορίθμων. Για την ανάκτηση των αερολυμάτων πάνω από τους ωκεανούς, χρησιμοποιούνται οι μετρούμενες τιμές ακτινοβολίας σε έξι φασματικές περιοχές (550-2100 nm) με χωρική ανάλυση 500m. Η αναγωγή από τα 500m σε προϊόν με ανάλυση 10km, επιτρέπει την αυστηρή διαλογή των νεφών, την αποφυγή των κενών μεταξύ των δεδομένων και την παραγωγή ενός αξιόλογου τελικού προϊόντος. Το οπτικό πάχος αερολύματος (τ) που τελικά παράγεται έχει ένα σφάλμα της τάξης $\Delta\tau = \pm 0.03 \pm 0.05\tau$ πάνω από ωκεανούς και $\Delta\tau = \pm 0.05 \pm 0.15\tau$ πάνω από ξηρά (Tanré et al., 1997). Όταν μάλιστα στη σύσταση του αερολύματος κυριαρχεί σκόνη παρατηρείται επιπλέον απόκλιση της τάξης +10%.

Για τις ανάγκες του Έργου χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα οπτικού πάχους MODIS level-2 (MOD04_L2, Collection 5) με ανάλυση 10km×10km για τη χρονική περίοδο 2003-2005 από τους δορυφόρους TERRA και AQUA. Από τα δεδομένα αυτά που περιελάμβαναν κατά μέσο όρο μία εικόνα ανά ημέρα υπολογίστηκαν χωρικές μέσες τιμές για την ευρύτερη περιοχή της Κύπρου για την περίοδο 2003-2005.

4. ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ

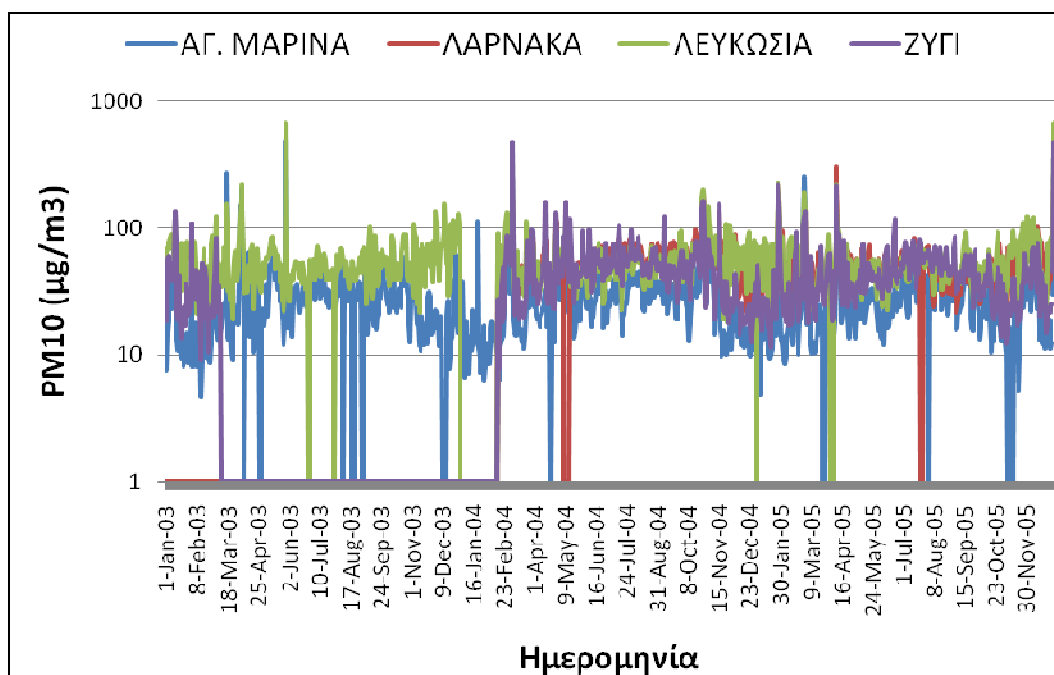
Οι επίγειες μετρήσεις της συγκέντρωσης των αερολυμάτων (PM_{10}) που παρέχονται από τους 4 σταθμούς μέτρησης (Λευκωσία (αστικός-κυκλοφορίας), Λάρνακα (αστικός-κυκλοφορίας), Ζύγι (βιομηχανικός), Αγ. Μαρίνα (υποβάθρου), βλ. παραδοτέο Έργου Αρ. 1) την ευθύνη λειτουργίας και συντήρησης των οποίων έχει το Τμήμα Επιθεώρησης Εργασίας της Κύπρου, χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα φάση ως αναφορά προκειμένου να συνεκτιμηθεί η διαφορά των επιπέδων ρύπανσης στους 4 διαφορετικούς τύπους σταθμών. Στην Εικόνα 1 παρουσιάζονται οι περιοχές στις οποίες βρίσκονται εγκατεστημένοι οι 4 σταθμοί.



Εικόνα 1: Θέσεις σταθμών μέτρησης της συγκέντρωσης αερολυμάτων (PM_{10}).

5. ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ PM_{10} , AOD ΓΙΑ ΤΟΥΣ 4 ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Στο Σχήμα 1 και το Σχήμα 2 δίνονται οι χρονοσειρές PM_{10} και AOD για την περίοδο 2003-2005 για την περιοχή των τεσσάρων σταθμών του επίγειου δικτύου. Το πρώτο διάγραμμα έχει κατασκευασθεί με βάση τις μέσες ημερήσιες τιμές των συγκεντρώσεων των αερολυμάτων και στη δεύτερη με βάση τις χωρικές μέσες τιμές οπτικού βάθους (TERRA, AQUA) που έχουν υπολογισθεί για κάναβο που περιλαμβάνει ολόκληρη την περιοχή της Κύπρου.

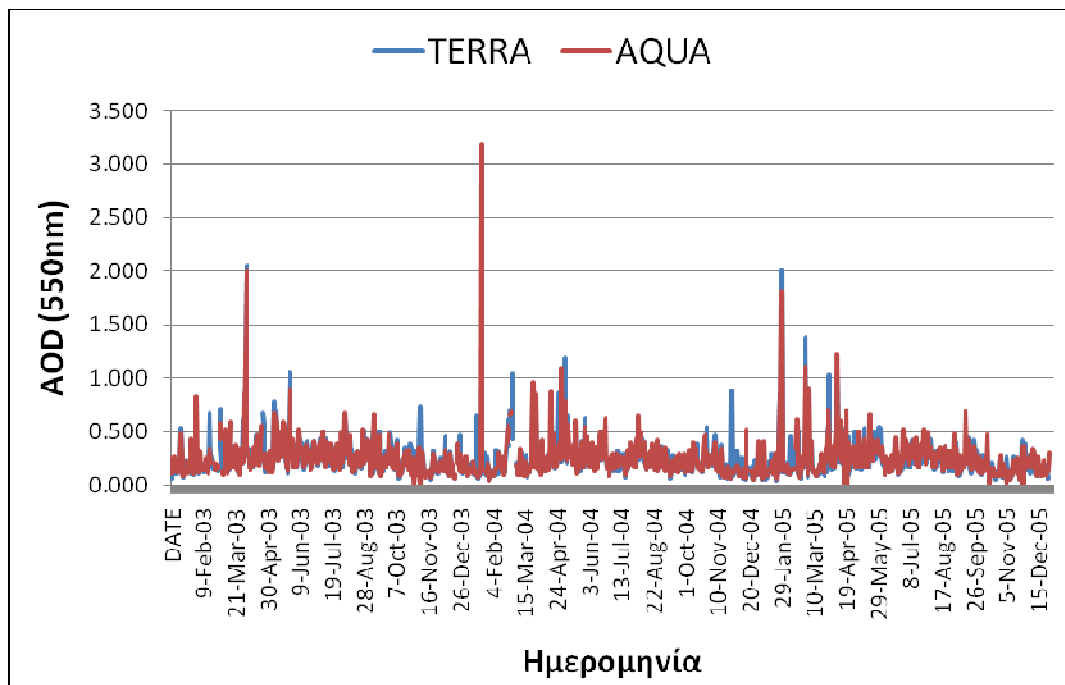


Σχήμα 1: Χρονοσειρά μέσω ημερήσιων τιμών συγκέντρωσης PM_{10} για τους τέσσερις σταθμούς μέτρησης.

Από το Σχήμα 1 παρατηρούμε ότι οι τιμές που αντιστοιχούν στον σταθμό μέτρησης Αγ. Μαρίνα (σταθμός υποβάθρου) είναι σημαντικά μικρότερες καθόλη τη διάρκεια των τριών ετών. Οι σταθμοί Λευκωσίας και Λάρνακας δίνουν παρόμοιες χρονοσειρές χωρίς να υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ τους ενώ ο σταθμός Ζυγίου παρουσιάζει επίσης γενικά υψηλές τιμές. Παρατηρούμε επίσης την ύπαρξη μεγίστων με τιμές που ξεπερνούν τα $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και καταγράφονται από όλους τους σταθμούς και τα οποία σχετίζονται με το φαινόμενο μεταφοράς σκόνης από την έρημο Σαχάρα. Στον πίνακα 1 δίνονται οι αντίστοιχες μέσες τιμές καθώς και οι τυπικές αποκλίσεις που προέκυψαν από τις μέσες ημερήσιες τιμές των τριών ετών.

Σταθμός	Μέση τιμή (2003-2005)	Τυπική απόκλιση (2003-2005)	Μέγιστη τιμή (2003-2005)
Αγ. Μαρίνα	30	30	513
Λευκωσία	56	32	306
Λάρνακα	56	24	665
Ζύγι	45	29	479

Πίνακας 1: Μέση τιμή, τυπική απόκλιση και μέγιστη τιμή συγκέντρωσης PM_{10} που υπολογίστηκαν με βάση τις μέσες ημερήσιες τιμές για την περίοδο 2003-2005.



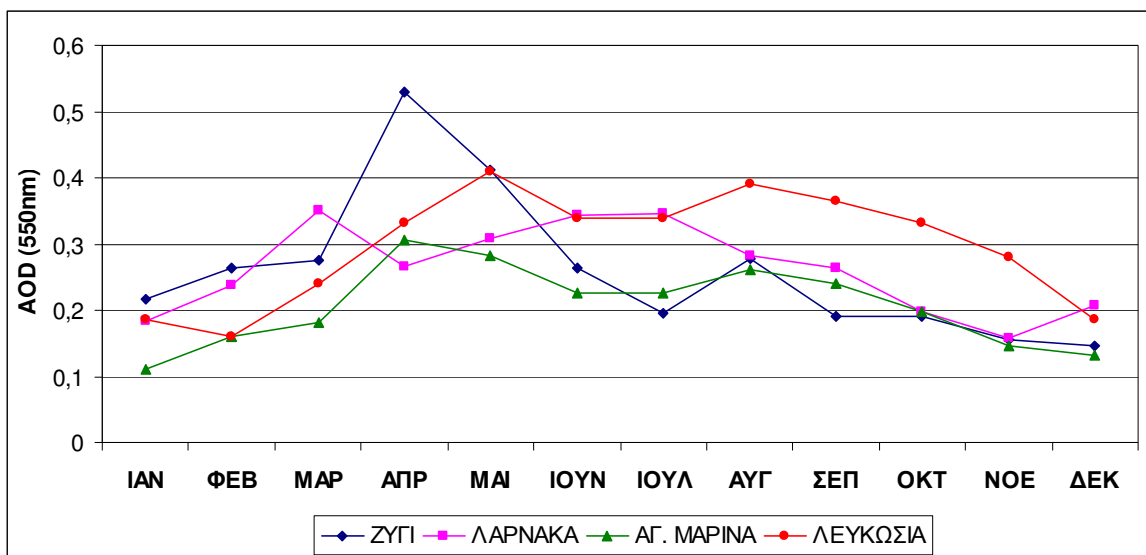
Σχήμα 2: Χρονοσειρά χωρικών μέσων τιμών οπτικού βάθους (TERRA, AQUA) για τους τέσσερεις σταθμούς μέτρησης.

Στο Σχήμα 2 παρατηρούμε ότι οι τιμές οπτικού βάθους από τον δέκτη MODIS κυμαίνονται μεταξύ 0.0–0.5 κατά το μεγαλύτερο μέρος της περιόδου 2003-2005. Τα αντίστοιχα μέγιστα που αντιστοιχούν σε επεισόδια μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα είναι πολύ υψηλά και φτάνουν έως την τιμή 3.2. Οι χρονοσειρές τιμών των δύο δορυφόρων οι οποίες λαμβάνονται με χρονική διαφορά 2-3 ωρών παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές την ίδια συμπεριφορά (βαθμός συσχέτισης $R^2=0.8$). Οι αντίστοιχες μέσες και μέγιστες τιμές παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Δορυφόρος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση 2003-2005	Μέγιστη τιμή 2003-2005
AOD (550nm)-TERRA	0.249	0.178	2.055
AOD (550nm)-AQUA	0.244	0.189	3.188

Πίνακας 2: Μέση και μέγιστη τιμή οπτικού βάθους αερολυμάτων από τον δέκτη MODIS για την περιοχή της Κύπρου.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές του οπτικού βάθους των αερολυμάτων για τους τέσσερις σταθμούς μέτρησης.

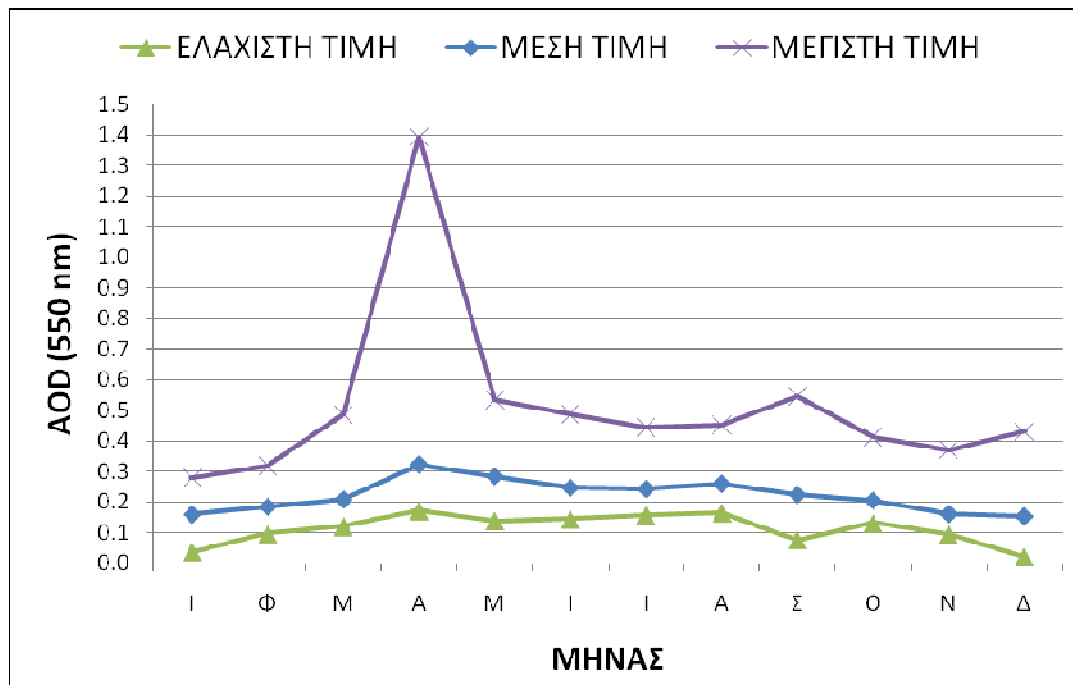


Σχήμα 3: Μέσες μηνιαίες τιμές οπτικού βάθους (TERRA, AQUA) της περιόδου 2003-5 για τους τέσσερις σταθμούς μέτρησης.

6. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΟΠΤΙΚΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΩΝ

Για την κλιματολογική ανάλυση των τιμών του οπτικού βάθους των αερολυμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες του δέκτη MODIS που βρίσκεται εγκατεστημένος στον δορυφόρο TERRA αφού όπως ήδη αναφέρθηκε, η συσχέτιση των δεδομένων από τους δορυφόρους TERRA και AQUA είναι υψηλή. Από το σύνολο των διαθέσιμων εικόνων, υπολογίστηκαν οι μέσοι μηνιαίοι χάρτες κατανομής του οπτικού πάχους των αερολυμάτων για την περίοδο 2003-5, οι οποίοι παρουσιάζονται στο παράρτημα Ι.

Από κάθε μηνιαίο χάρτη, εξήχθησαν οι χωρικές μέσες, μέγιστες και ελάχιστες τιμές του οπτικού βάθους των αερολυμάτων στο μήκος κύματος αναφοράς 550nm οι οποίες δίνονται στο Σχήμα .



Σχήμα 4: Μέσες μηνιαίες τιμές οπτικού βάθους αερολυμάτων TERRA-MODIS για την περιοχή της Κύπρου για την περίοδο 2003-2005.

Στο Σχήμα παρατηρούμε ότι οι τιμές οπτικού βάθους παρουσιάζουν ένα ισχυρό μέγιστο κατά το μήνα Απρίλιο και ένα δευτερεύον μέγιστο κατά το μήνα Σεπτέμβριο (εμφανές στην καμπύλη των μέσων μεγίστων τιμών). Τα παρατηρούμενα μέγιστα των τιμών οφείλονται στα φαινόμενα μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα τα οποία έχουν μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης την περίοδο άνοιξη-καλοκαίρι. Κατά τους μήνες ΝΔΙΦ όλες οι τιμές (μέσες, μέγιστες, ελάχιστες) είναι οι μικρότερες συγκριτικά με τις τιμές κατά τους υπόλοιπους μήνες τους έτους. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι μέσες ελάχιστες τιμές του οπτικού βάθους για την περίοδο αυτή είναι μεγαλύτερες από 0.15 σε αντίθεση με τη χειμερινή περίοδο που προσεγγίζουν το 0.05.

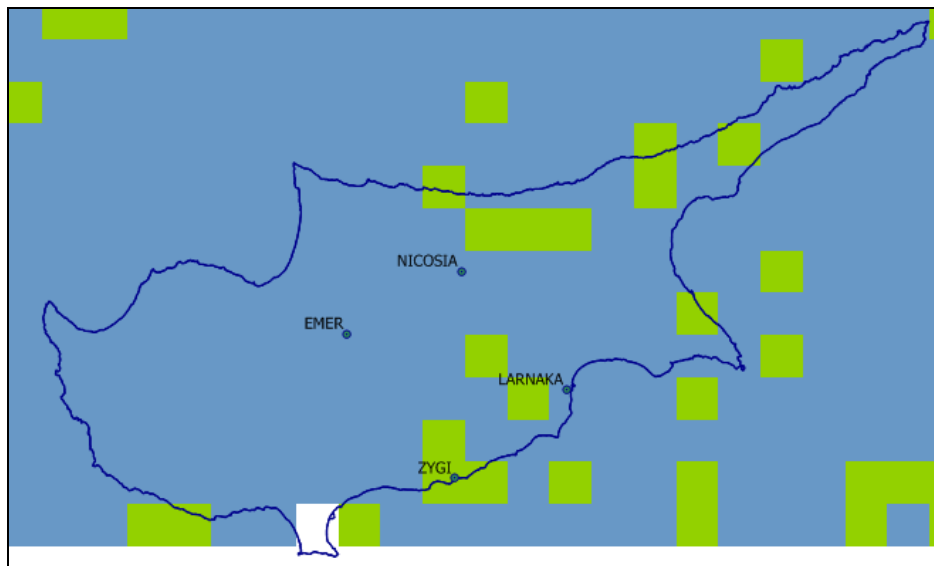
Τα παραπάνω αποτελέσματα, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του Παραδοτέου 7, πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την ολοκλήρωση των εργασιών του Έργου και ειδικότερα του Τελικού Παραδοτέου.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

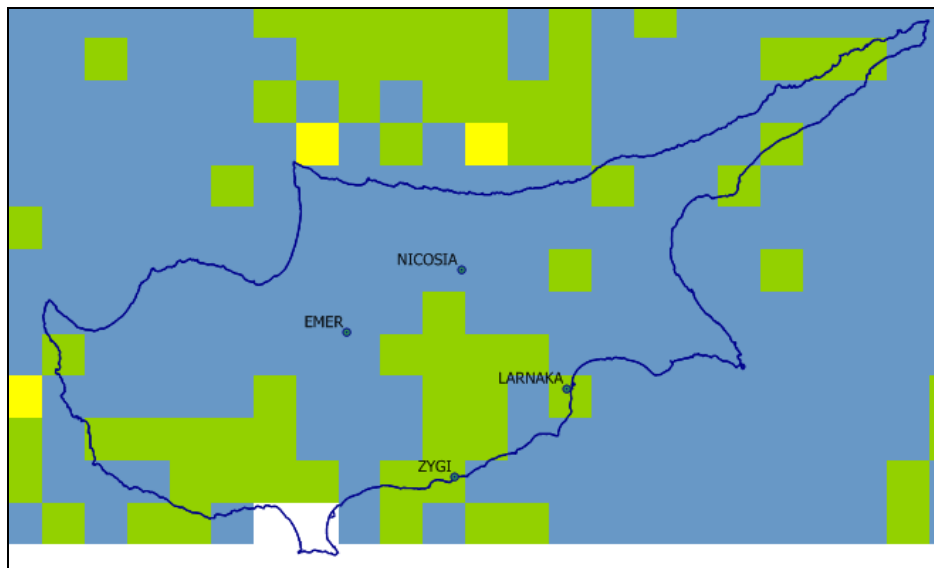
Kaufman, Y. J., D. Tanré, L. Remer, et al., 1997: Remote Sensing of Tropospheric Aerosol from EOS-MODIS Over the Land Using Dark Targets and Dynamic Aerosol Models, *J. Geophys. Res.*, 102, 17051-17067.

Tanré, D., Y. J. Kaufman, M. Herman and S. Mattoo, 1997: Remote sensing of aerosol over oceans from EOS-MODIS, *J. Geophys. Res.*, 102, 16971- 16988.

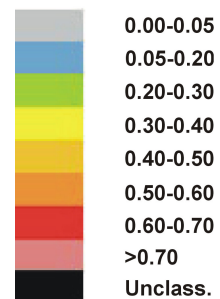
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

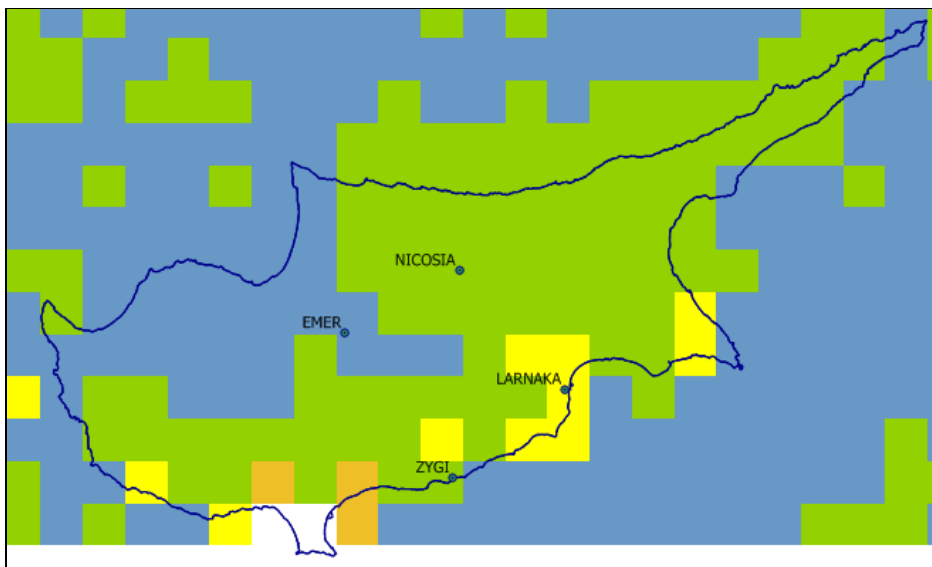


ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ

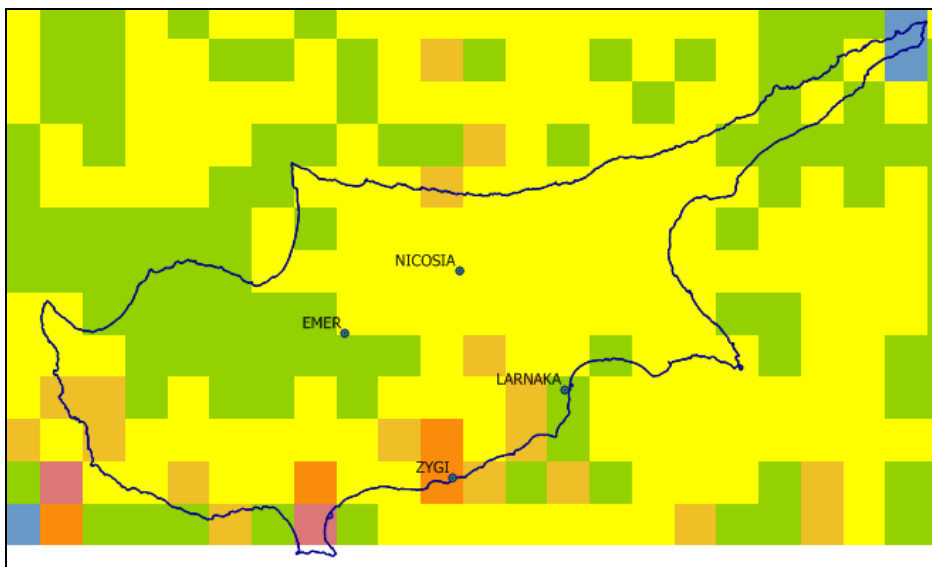
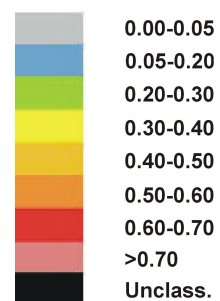


ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ

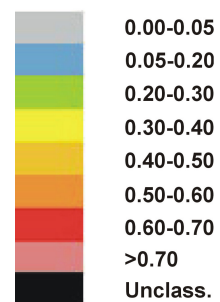


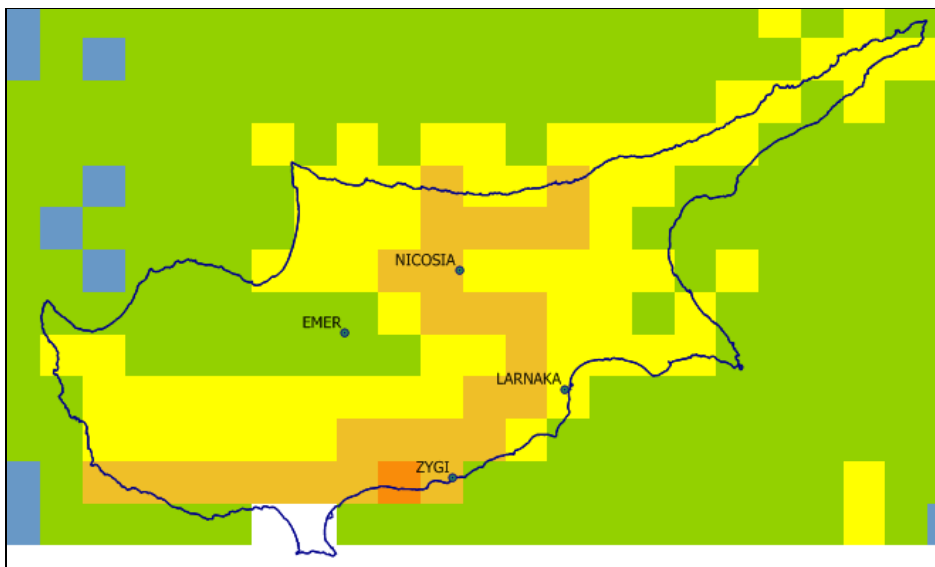


ΜΑΡΤΙΟΣ

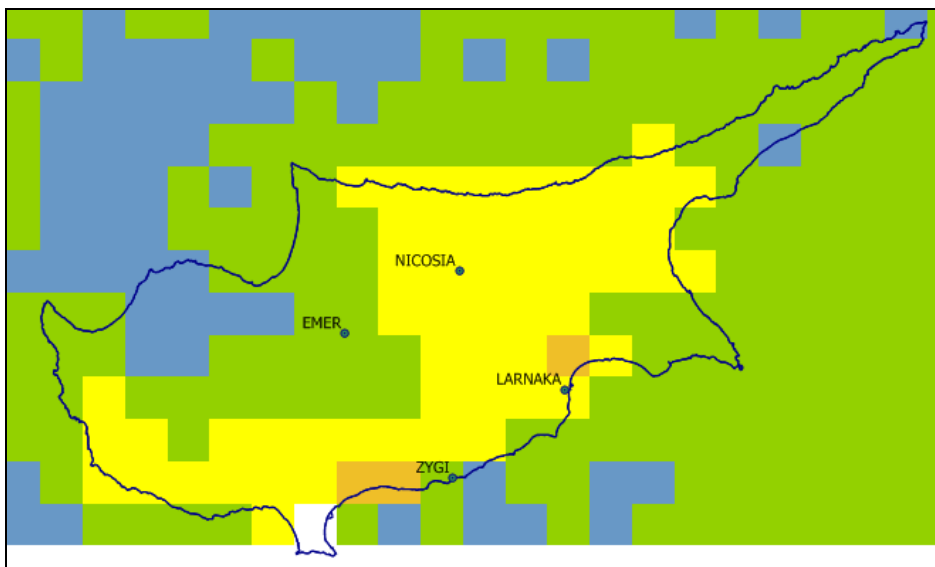


ΑΠΡΙΛΙΟΣ

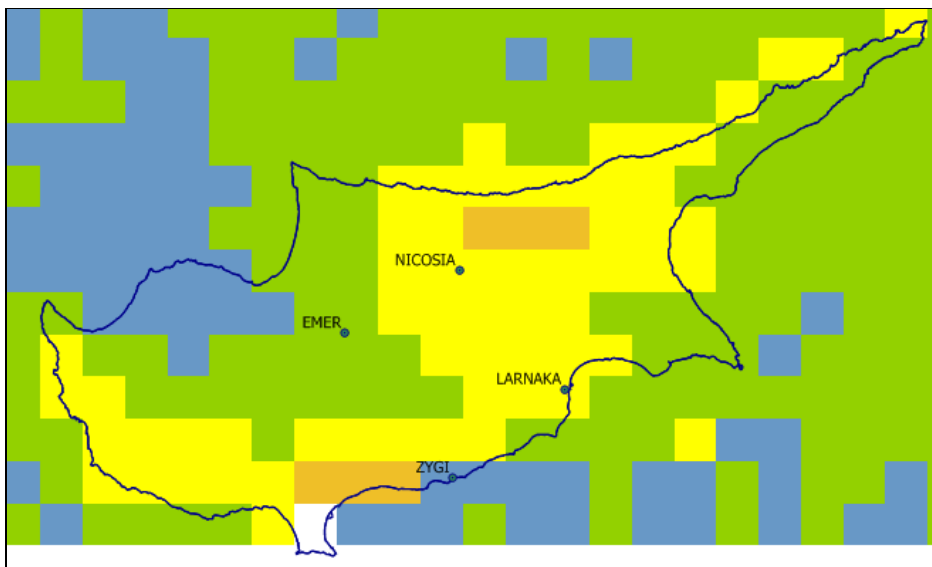




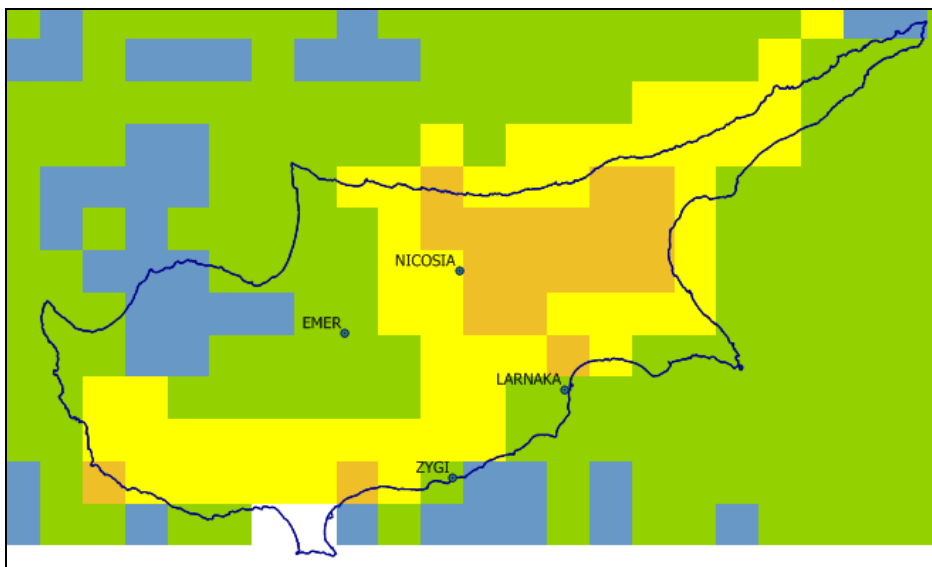
ΜΑΙΟΣ



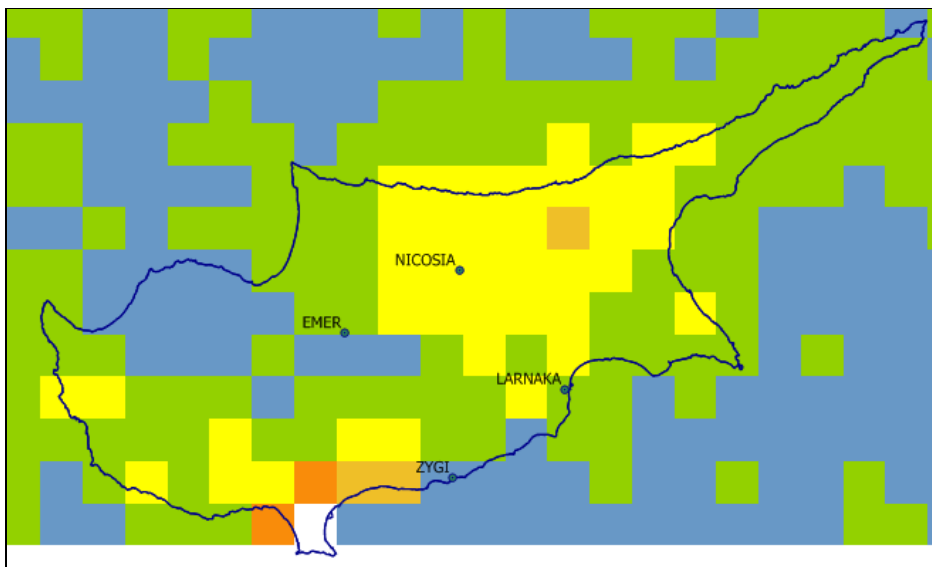
ΙΟΥΝΙΟΣ



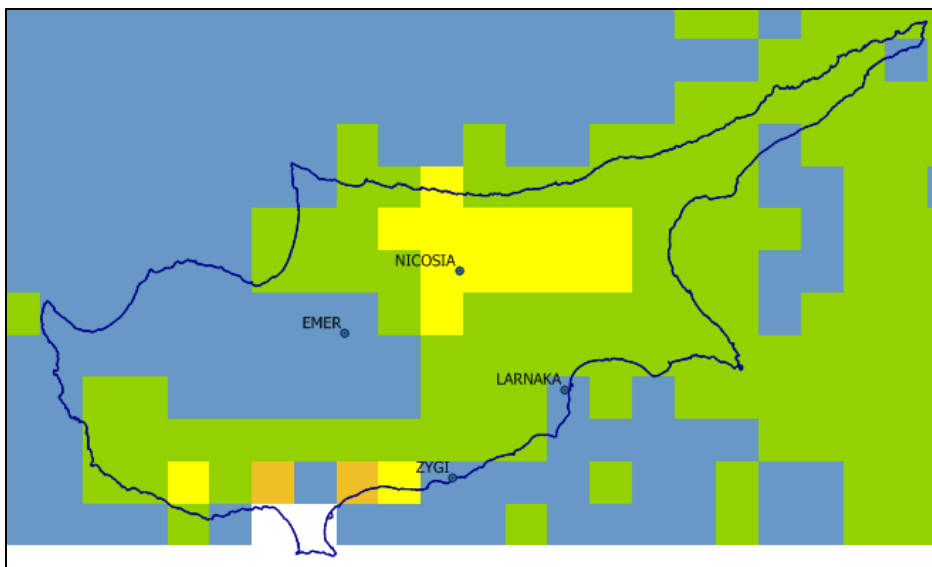
ΙΟΥΛΙΟΣ



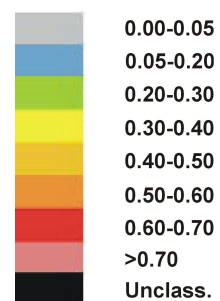
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ

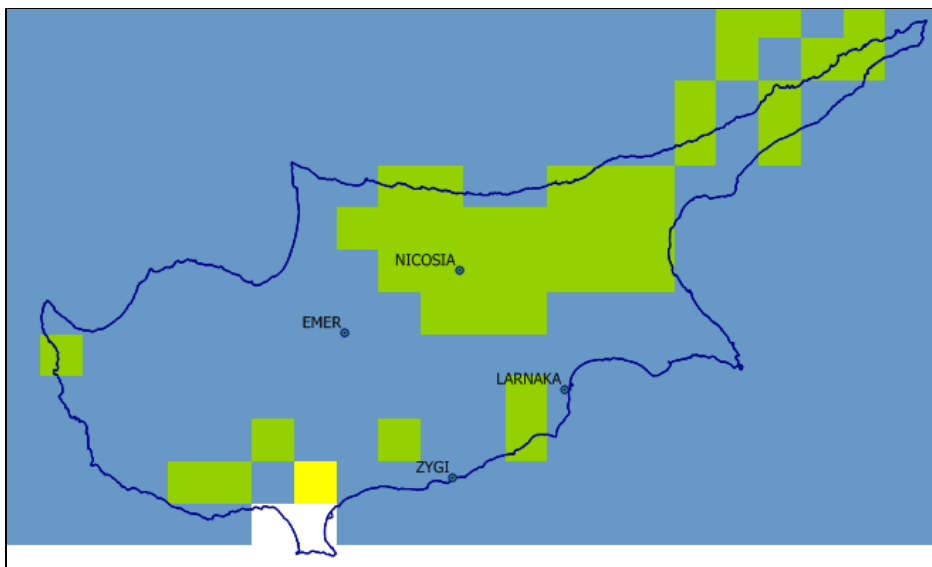


ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ

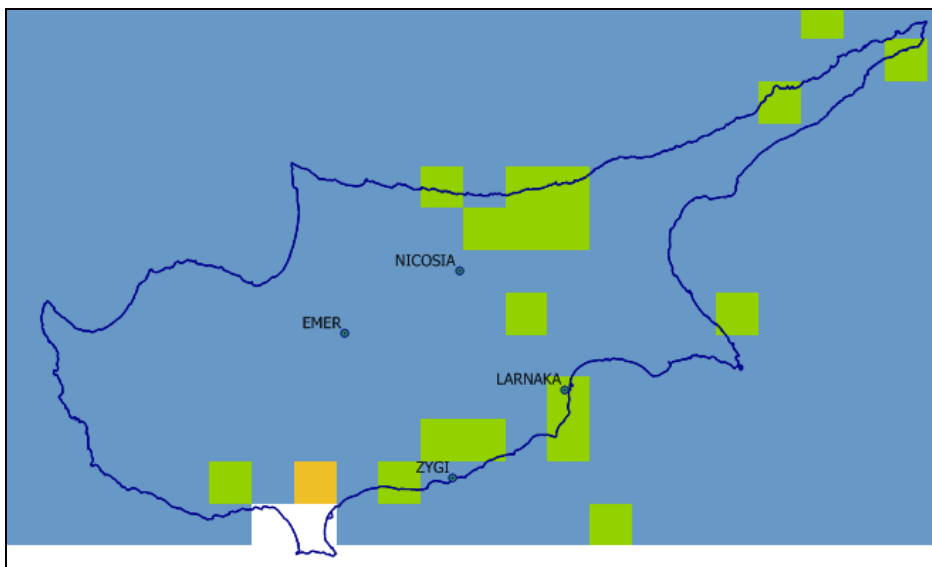


ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ





NOEMBΡΙΟΣ



ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ

