

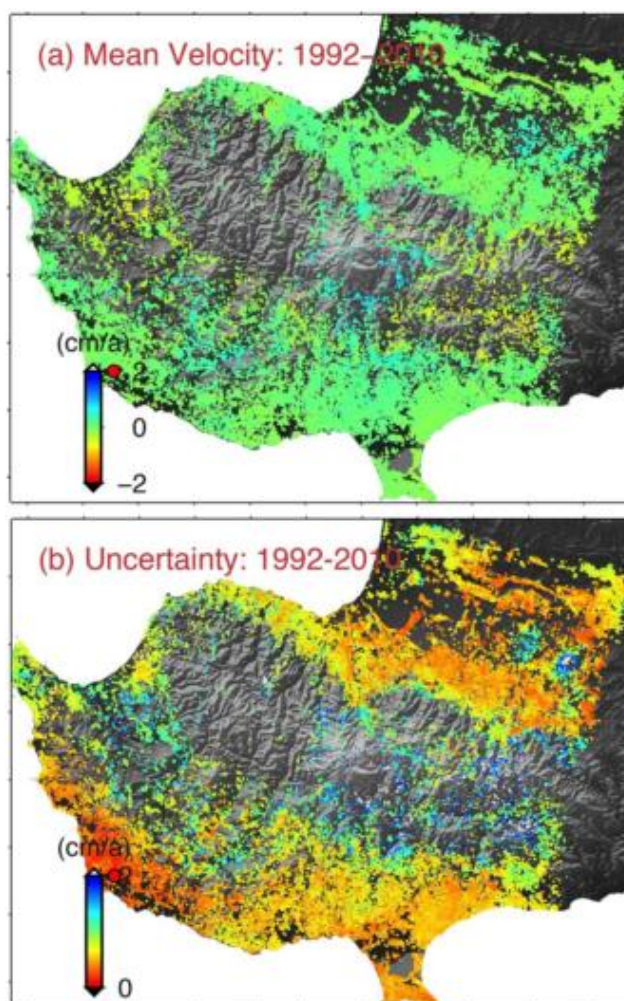


Προκαταρκτική Έκθεση

Επεξεργασία και ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων κατακόρυφων μικροκινήσεων στην Επαρχία Πάφου

Νίκη Κουλέρμου (Γεωλογικός Λειτουργός)

Νοέμβριος 2015



Περιεχόμενα

Εισαγωγή:.....	2
Περιοχή Μελέτης	3
Μεθοδολογία	4
Αξιολόγηση αποτελεσμάτων σε σχέση με τους γεωκινδύνους.....	9
Ταξινόμηση περιοχών σε πολύγωνα επικινδυνότητας.....	9
Συμπεράσματα	26

Εικόνες

Εικόνα 1: Επαρχία της Πάφου	3
Εικόνα 2: Παραδοτέα δορυφορικά δεδομένα σε σχέση με την ζητούμενη περιοχή.	4
Εικόνα 3: Ταξινόμηση του ρυθμού κατακόρυφης μικροκίνησης σε (χιλιοστά/χρόνο)	7
Εικόνα 4: Περιοχή όπου παρουσιάζεται αυξημένη τυπική απόκλιση.....	8
Εικόνα 5: Ταξινόμηση περιοχών σε πολύγωνα επικινδυνότητας.....	10
Εικόνα 6: Ανύψωση λόγω τεκτονισμού	11
Εικόνα 7: Ανύψωση λόγω τεκτονισμού.	12
Εικόνα 8: Ανύψωση λόγω τεκτονισμού	13
Εικόνα 9: Καθίζηση λόγω τεκτονισμού	14
Εικόνα 10: Έξι περιοχές που παρουσιάζουν σχετική καθίζησης λόγω τεκτονισμού	15
Εικόνα 11: Καθίζηση λόγω κατολισθήσεων	16
Εικόνα 12: Σύγκριση της βάσης κατολισθήσεων με τις δορυφορικές μετρήσεις.	17
Εικόνα 13: Πολύγωνα που παρουσιάζουν καθίζηση λόγω κατολισθήσεων.	17
Εικόνα 14: Καθίζηση και ανύψωση λόγω τεκτονισμού και κατολισθήσεων.....	18
Εικόνα 15: Καθιζήσεις και ανυψώσεις λόγω τεκτονισμού και κατολισθήσεων.....	19
Εικόνα 16: Καθιζήσεις και ανυψώσεις λόγω τεκτονισμού και κατολισθήσεων.....	19
Εικόνα 17: Γεωλογικός χάρτης – παρουσία γύψων αλλά και αργιλλικών εδαφών.....	20
Εικόνα 18: Καθίζηση και ανύψωση λόγω τεκτονισμού	21
Εικόνα 19: Καθίζηση και ανύψωση λόγω τεκτονισμού	22
Εικόνα 21: Ανύψωση αγνώστου αιτίας.....	23
Εικόνα 22: Περιοχές που χρειάζονται περισσότερη διερεύνηση	24
Εικόνα 23: Καθίζηση αγνώστου αιτίας	25
Εικόνα 24: Περιοχές που παρουσιάζουν καθίζηση αγνώστου αιτίας	26

Πίνακες

Πίνακας 1: Στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν κατά την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων.....	5
Πίνακας 2: Στατιστικά στοιχεία της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων	6

Εισαγωγή:

Η εφαρμογή της τηλεπισκόπησης και η αξιοποίηση της σε ερευνητικό επίπεδο στο πεδίο των γεωεπιστημών, μπορεί να προσφέρει ποιοτικές και μετρητικές πληροφορίες σε σχετικά χαμηλό κόστος. Η συλλογή και η ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων που προκύπτουν, αποτελούν χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση των καθιζήσεων και ανυψώσεων του εδάφους, αλλά και για τη συσχέτιση τους με υφιστάμενα γεωλογικά δεδομένα για κάθε περιοχή.

Το Τμήμα μας, στην προσπάθεια του να εκσυγχρονίσει και να αναπτύξει νέες μεθόδους μελέτης και παρακολούθησης των γεωκινδύνων, συμμετείχε στο Ευρωπαϊκό πρόγραμμα Terraforma, το οποίο με την εφαρμογή της τηλεπισκόπησης, αποσκοπούσε στη μελέτη και παροχή πληροφοριών, σχετικά με επιφανειακές μετατοπίσεις σε αστικές περιοχές της Ευρώπης. Στη συνέχεια, συμμετείχε στο Ευρωπαϊκό πρόγραμμα Rangeo, όπου δημιούργησε και ανάρτησε στην ιστοσελίδα του, χάρτη γεωκινδύνων για τις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές της επαρχίας Λευκωσίας. Διαπιστώθηκε όμως, η ανάγκη για συνεχή παρακολούθηση και μελέτη των γεωκινδύνων και σε άλλες επαρχίες της Κύπρου.

Αρχικά, επιλέγηκε να μελετηθεί η επαρχία της Πάφου εξαιτίας της αυξημένης σεισμικής επικινδυνότητας που παρουσιάζει, της παρουσίας μεγάλων εκτάσεων από ευπαθή σε κατολισθήσεις εδάφη, καθώς και της πολύπλοκης γεωλογίας που διαθέτει. Επίσης, η επαρχία της Πάφου έχει μελετηθεί γεωλογικά, γεωτεχνικά και νεοτεκτονικά λεπτομερώς, με επιπλέον καταγραφές και χαρτογραφήσεις μεγάλου αριθμού κατολισθήσεων, που αποτελούν πολύτιμα στοιχεία τα οποία διευκολύνουν την ερμηνεία και συσχέτιση τους με τα δορυφορικά δεδομένα.

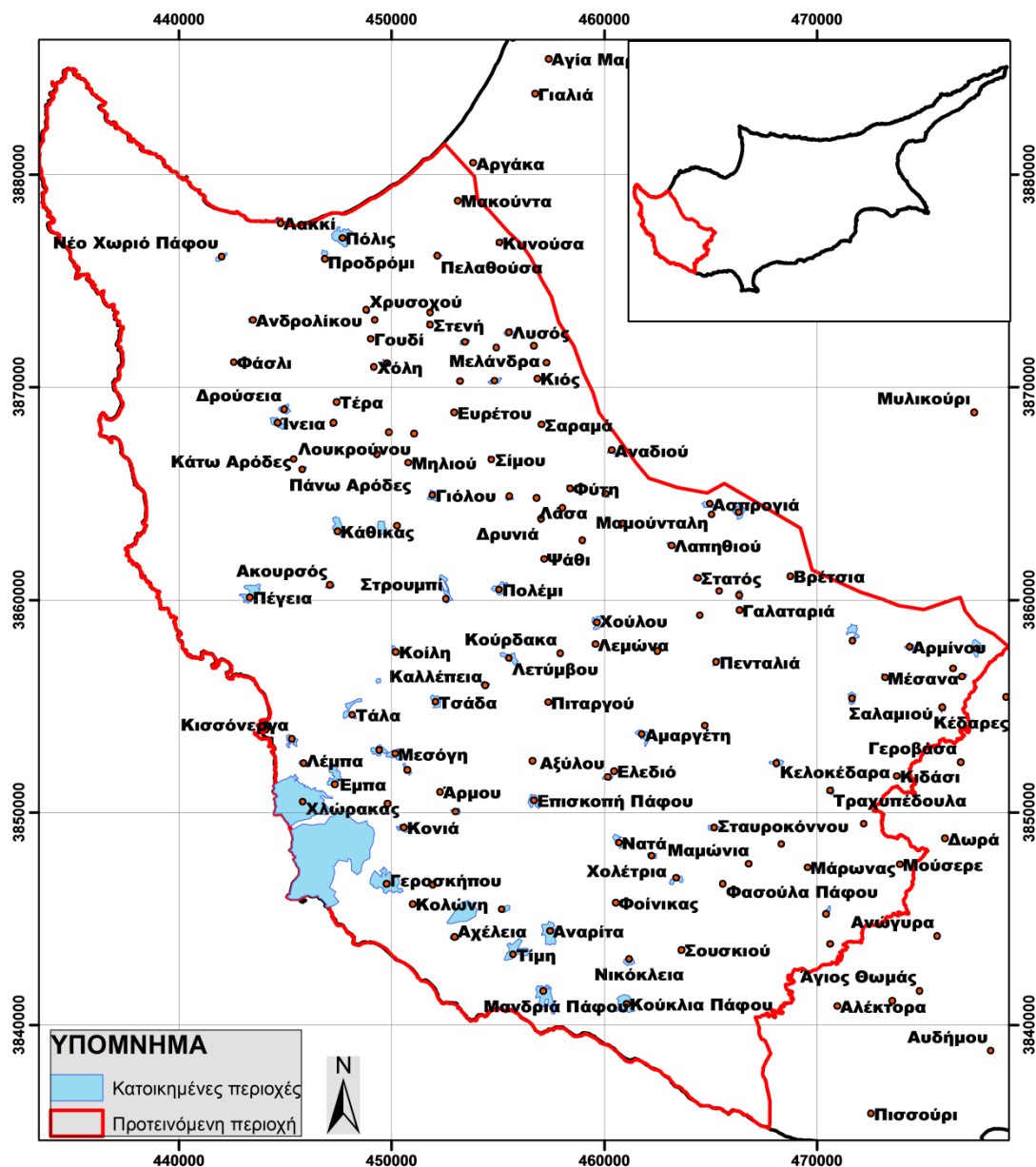
Μετά από την παραλαβή της τελικής έκθεσης και των ψηφιακών δεδομένων που λήφθηκαν, στα πλαίσια του διαγωνισμού που προκηρύχθηκε με αριθμό 13.25.002.013.007 και τίτλο «Προμήθεια επεξεργασμένων ψηφιακών δορυφορικών δεδομένων κατακόρυφων μικρο-μετακινήσεων του εδάφους» που αφορούσε την επαρχία της Πάφου, ξεκίνησε η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων αυτών με τη χρήση του λογισμικού ArcMap GIS.

Η εταιρεία GeoSystems Hellas σε συνεργασία με τις εταιρείες Hexagon Geospatial, Intergraph και Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου, παρέδωσαν τα ψηφιακά δεδομένα και την τελική έκθεση τον Μάιο του 2014, όπου στη συνέχεια το Τμήμα μας εξέτασε/μελέτησε τα δεδομένα αυτά και ζήτησε ορισμένες διευκρινήσεις. Το τελικό προϊόν με τις διορθώσεις, λήφθηκε τον Ιούνιο του 2014, όπου και πλέον ξεκίνησε η ανάλυση και επεξεργασία του. Αξίζει να σημειωθεί πως το τελικό προϊόν, εκτός από την επαρχία της Πάφου περιέχει και μετρήσεις περιοχών άλλων επαρχιών (Λευκωσίας, Λεμεσού, Κερύνειας). Αυτά όμως τα δεδομένα θα τύχουν επεξεργασίας σε μεταγενέστερο στάδιο.

Οι τεχνικές προδιαγραφές που χρησιμοποιήθηκαν, η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό του μέσου ρυθμού κατακόρυφων μικρο-κινήσεων (χιλιοστά/χρόνο), καθώς και τα ευρήματα και τα συμπεράσματα, θα διατυπωθούν και θα σχολιαστούν στην παρούσα έκθεση.

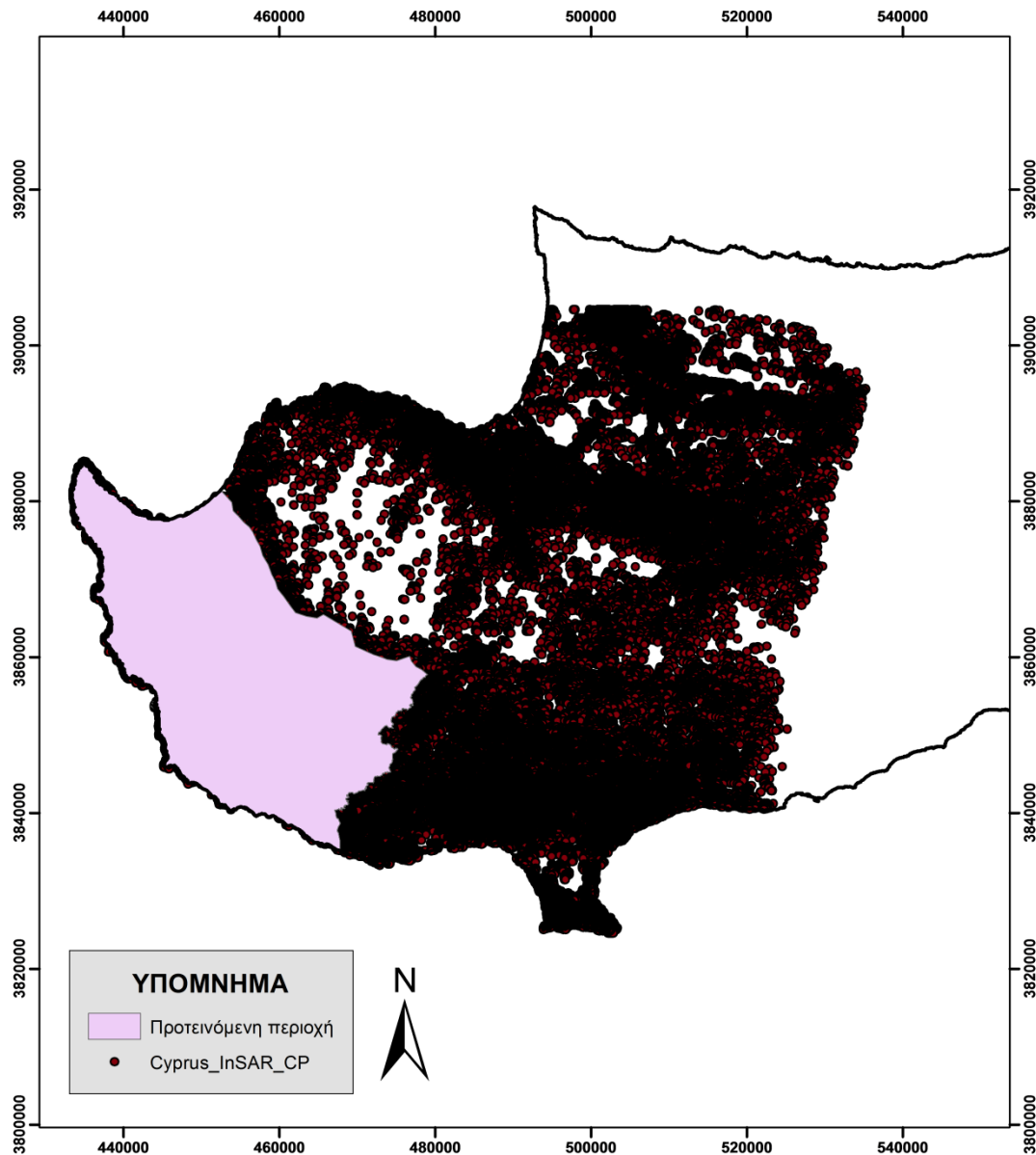
Περιοχή Μελέτης

Στην εικόνα 1, φαίνεται η Επαρχία της Πάφου για την οποία ζητήθηκαν τα δορυφορικά δεδομένα. Από τη συνολική έκταση των 1084km² περίπου της εν λόγω περιοχής, τα 35km² περίπου αντιστοιχούν σε κατοικημένες περιοχές.



Εικόνα 1: Επαρχία της Πάφου όπου φαίνονται οι κατοικημένες περιοχές. Είναι η προτεινόμενη περιοχή για την οποία ζητήθηκαν τα δορυφορικά δεδομένα.

Παρόλο που η προτεινόμενη περιοχή για παροχή των δορυφορικών δεδομένων περιοριζόταν μόνο στην επαρχία της Πάφου, εντούτοις η εταιρεία παρέδωσε δεδομένα για μεγαλύτερη περιοχή όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.



Εικόνα 2: Παραδοτέα δορυφορικά δεδομένα σε σχέση με την ζητούμενη περιοχή.

Μεθοδολογία

Αρχικά, οι δορυφόροι από τους οποίους συλλέχτηκαν οι δορυφορικές εικόνες είναι ο ERS (European Remote Sensing) και ο ENVISAT (Environmental Satellite). Πρόκειται για δορυφόρους οι οποίοι έχουν την ικανότητα συλλογής εικόνων-σκηνών μέσω ενσωματωμένων αισθητήρων (interferometric Synthetic Aperture Radar – InSAR sensors). Η διάρκεια ζωής του δορυφόρου ERS ήταν 10 χρόνια (1992-2001) και χρειαζόταν 35 μέρες για να ολοκληρώσει την τροχιά του γύρω από τη γη. Το 2002, εκτοξεύτηκε ο ENVISAT, ο οποίος εξίσου χρειαζόταν 35 μέρες για να ολοκληρώσει μία τροχιά και λειτούργησε μέχρι το 2010. Οι ενσωματωμένοι αισθητήρες και των δύο δορυφόρων ανίχνευαν ένα ηλεκτρομαγνητικό φάσμα από 4 – 8 GHz (c-band).

Στον πιο κάτω πίνακα (Πίνακας 1), αναφέρονται αναλυτικά: το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των δορυφορικών σκηνών, ο αριθμός των σκηνών

που αναλύθηκαν, οι σκηνές που θεωρήθηκαν σαν σταθερές (Master Scene Dates) και οι τελευταίες σκηνές για κάθε δορυφόρο (Slave Scene Dates) κ.λ.π.

Πίνακας 1: Στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν κατά την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων

Process Date Ημερομηνία Ανάλυσης	14 th May 2014 14 Μαΐου 2014
Software used Λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε	JPL/Caltech ROI_PAC
Version Έκδοση	V3.1 beta June 2004
Analysis type Τύπος Ανάλυσης	SNAPHU algorithm (Chen and Zebker, 2000)
Number of scenes used Αριθμός σκηνών που χρησιμοποιήθηκαν	28 ERS and 39 ENVISAT 28 σκηνές από ERS και 39 από ENVISAT)
Date range of analysis Περίοδος που αναλύθηκε	01 st June 1992 – 14 th October 2010 Από 01 Ιουνίου 1992 μέχρι 14 Οκτωβρίου 2010
Satellite data used Τύπος φάσματος που χρησιμοποιήθηκε και δορυφόροι	C-band ERS and ENVISAT
Master Scene Dates Σκηνές που θεωρήθηκαν σταθερές για κάθε δορυφόρο	ERS 04 th January 2001/ENVISAT 5 th December 2002 ERS 04 Ιανουαρίου 2001/ENVISAT 5 Δεκεμβρίου 2002
Slave Scene Dates Η τελευταία σκηνή για κάθε δορυφόρο	ERS 27 th January 2001/ENVISAT 14 th October 2010 ERS 27 Ιανουαρίου 2001/ENVISAT 14 Οκτωβρίου 2010
Georeference (X,Y) accuracy Ακρίβεια γεωαναφοράς (χ,ψ)	30 m
Reference data used for georeference Τοπογραφικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν	Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)3 arc-second (~90m)
Projection system used Σύστημα συντεταγμένων	UTM Zone 36, WGS84
Area of results Έκταση της περιοχής μελέτης	Total ~1082,4 km ²

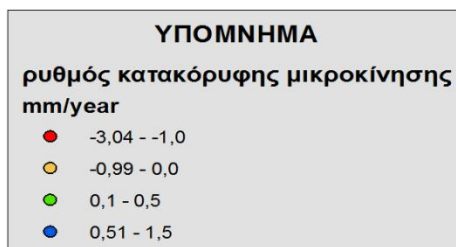
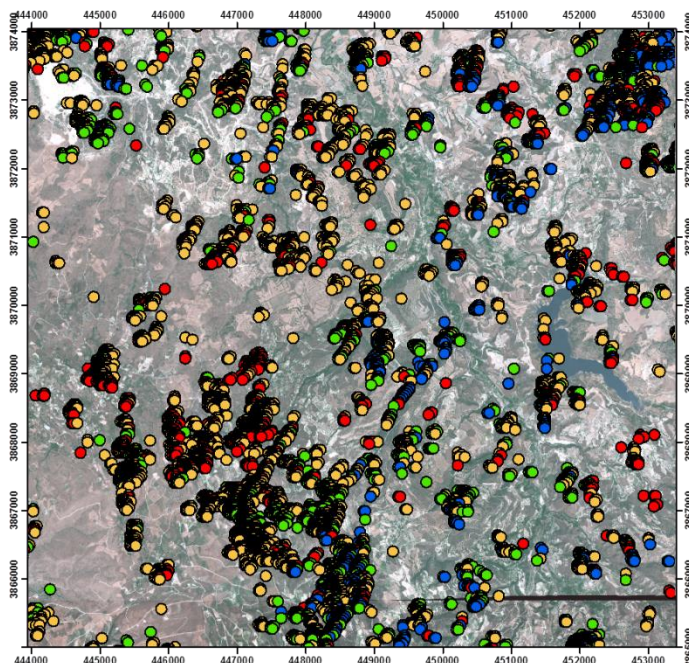
Συνολικά για την επαρχία της Πάφου, ανιχνεύτηκαν 155.385 σημεία τα οποία αναλύθηκαν με τον αλγόριθμο SNAPHU (Chen and Zebker, 2000). Ο αλγόριθμος αυτός, δίνει πληροφορίες για τις κατακόρυφες μετακινήσεις σε mm (είτε καθίζηση είτε ανύψωση). Έτσι, γνωρίζοντας τον χρόνο που λήφθηκε η κάθε εικόνα από το δορυφόρο υπολογίζεται ο ρυθμός κατακόρυφης μικροκίνησης σε χιλιοστά ανά 1 χρόνο (mm/year). Για να λειτουργήσει ο αλγόριθμος και να εντοπίσει διαφορές στη μικροκίνηση κάθε σημείου πρέπει μία σκηνή για κάθε δορυφόρο να θεωρηθεί σταθερή (ERS 27 Ιανουαρίου 2001/ENVISAT 14 Οκτωβρίου 2010).

Από την επεξεργασία των δεδομένων, εντοπίστηκαν 155.385 διάσπαρτα σημεία (Persistent Scatterer points-PS points) με πυκνότητα εμφάνισης ~144 σημεία ανά km². Οι ταχύτητες που έχουν υπολογιστεί, χωρίστηκαν σε 4 διαφορετικές κατατάξεις, όπως παρουσιάζονται και στον πιο κάτω πίνακα (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Στατιστικά στοιχεία της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων

Number of Persistent Scatterer points identified Αριθμός εξακολουθητικά διασκορπισμένων σημείων που ανιχνεύτηκαν	155385 points	
Persistent Scatterer points (PS) density (PS/km ²) Πυκνότητα εμφάνισης των σημείων	~144 PS points / km ²	
Point motion statistics (mm/year classes) Ταξινόμηση του ρυθμού μικροκίνησης (χιλιοστά/χρόνο)	Points in each mm/year class Αριθμός σημείων σε κάθε τάξη	
	Count-Ποσότητα	%
Τάξη A - Class A: -3.7 to -1	8583	5.52
Τάξη B - Class B: -0.99 to 0	83141	53.50
Τάξη C - Class C: 0 to 0.5	46770	30.1
Τάξη D - Class D: 0.51 to 1.5	16892	10.88
Average annual motion rate of the Paphos District. Ετήσιος μέσος ρυθμός κατακόρυφης μικροκίνησης στην Επαρχία Πάφου.	-0,073 mm / year	
Standard deviation of average annual motion rate of the area of interest. Τυπική απόκλιση του ετήσιου μέσου ρυθμού κατακόρυφης μικροκίνησης στην περιοχή ενδιαφέροντος.	~1,9 mm / year	

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3, η πρώτη κατάταξη (τάξη A), στην οποία παρουσιάζεται καθίζηση της τάξης του -3,7 μέχρι -1 mm/year, συμβολίζεται με κόκκινο χρώμα. Η κατάταξη (τάξη B) αφορά καθίζηση της τάξης του -0,99 μέχρι 0 mm/year συμβολίζεται με πορτοκαλί χρώμα. Στην κατάταξη (τάξη C), κατατάσσονται οι ελαφρές ανυψώσεις της τάξης του 0 μέχρι 0,5 mm/year και συμβολίζονται με πράσινο χρώμα. Τέλος, η κατάταξη (τάξη D) περιλαμβάνει τα σημεία που παρουσιάζουν ανύψωση της τάξης του 0,51 μέχρι 1,5 mm/year και συμβολίζονται με μπλε χρώμα.

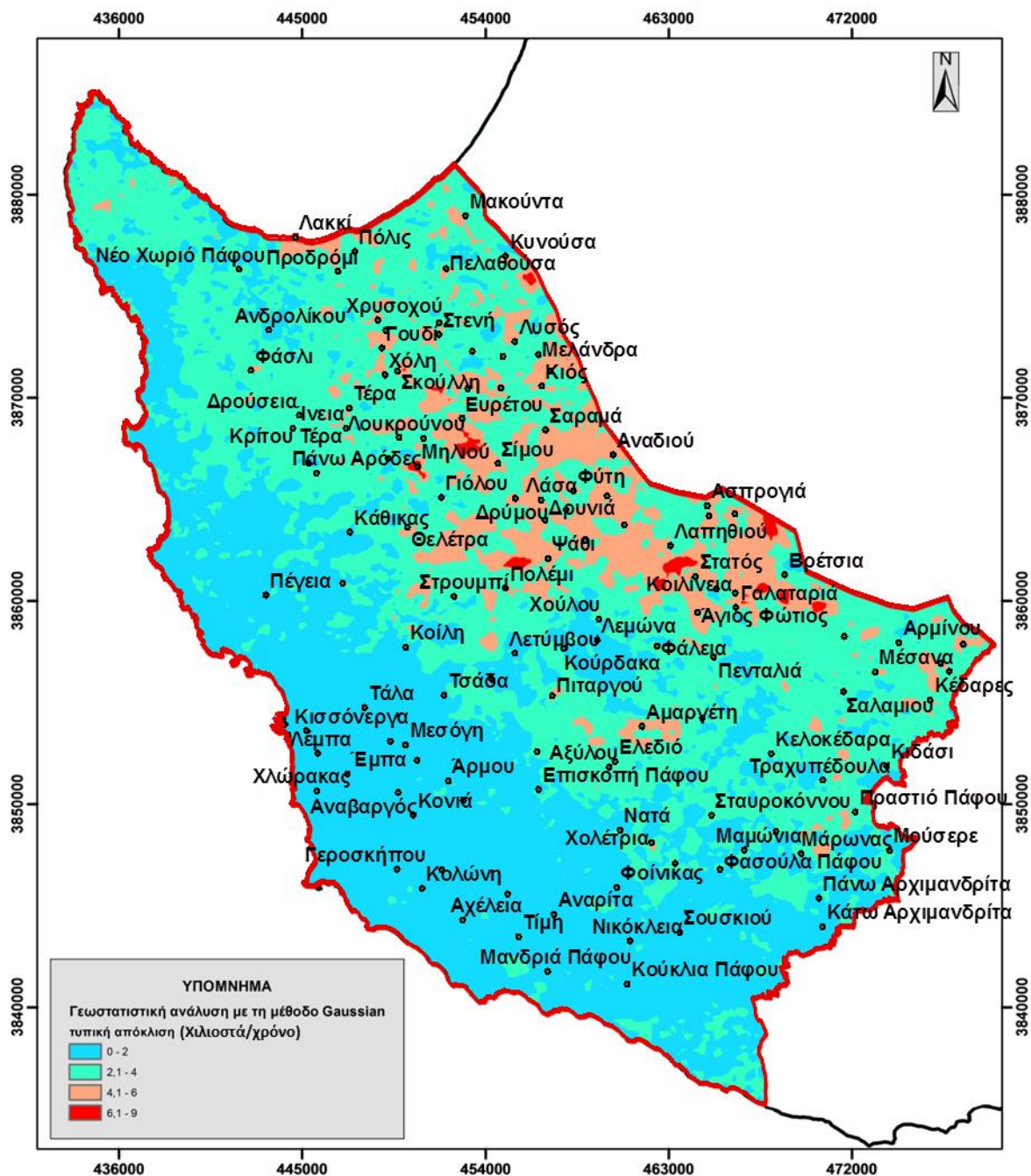


Εικόνα 3: Συμβολισμός των ταξινομήσεων του ρυθμού κατακόρυφης μικροκίνησης σε (χιλιοστά/χρόνο)

Μία άλλη παράμετρος που εξετάστηκε κατά την ανάλυση των δεδομένων, είναι η τυπική απόκλιση (standard deviation) του ρυθμού των κατακόρυφων μικροκινήσεων. Μία μεγάλη τιμή της τυπικής απόκλισης, η οποία και αυτή έχει μονάδες μέτρησης mm/year, υποδηλώνει απότομη κατακόρυφη κίνηση (είτε καθίζηση, είτε ανύψωση).

Με την εφαρμογή της γεωστατιστικής ανάλυσης Kriging, οι τιμές της τυπικής απόκλισης βελτιστοποιούνται με βάση το μοντέλο Gaussian, όπου με την προσθήκη συνδιασπορών τιμών επιτυγχάνεται η καλύτερη γραμμική και αμερόληπτη πρόβλεψη των ενδιάμεσων τιμών τυπικής απόκλισης. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας της εν λόγω μεθόδου είναι ένας χάρτης (εικόνα 3), όπου διαφαίνονται με διάφορα χρώματα τέσσερις διαφορετικές ομάδες τιμών τυπικής απόκλισης:

- Από 0 – 2 mm/year συμβολίζεται με μπλε χρώμα
- Από 2,1 – 4 mm/year συμβολίζεται με πράσινο χρώμα
- Από 4,1 – 6 mm/year συμβολίζεται με πορτοκαλί χρώμα
- Από 6,1 – 9 mm/year συμβολίζεται με κόκκινο χρώμα



Εικόνα 4: Περιοχή όπου παρουσιάζεται αυξημένη τυπική απόκλιση

Οι κύριες αιτίες που οδηγούν στις απότομες κατακόρυφες μικροκινήσεις, είναι ο ενεργός τεκτονισμός της περιοχής, οι ενεργές κατολισθήσεις αλλά και η διόγκωση-συρρίκνωση των αργιλικών εδαφών. Συγκεκριμένα, συγκρίνοντας το μέσο όρο του ρυθμού των κατακόρυφων μικροκινήσεων (mm/year) σε όλη την επαρχία με την τυπική απόκλιση τους, οι περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν καθίζηση λόγω κατολισθήσεων ή ανύψωση και καθίζηση λόγω τεκτονισμού, παρουσιάζουν και αυξημένη τυπική απόκλιση. Αυτό κυρίως συμβαίνει στο ανατολικό, βόρειο και μέρος του κεντρικού τμήματος της υπό μελέτη επαρχίας (κόκκινο χρώμα στην εικόνα 4).

Στην περίπτωση των διογκούμενων-συρρικνωμένων εδαφών, ο μέσος όρος των μετακινήσεων είναι κοντά στο μηδέν και δεν καθιστά ευδιάκριτη την μετακίνησή τους. Για τον λόγο αυτό, ένεκα της αυξημένης διασποράς των τιμών που παρουσιάζουν οι συνεχείς

καθιζήσεις-ανυψώσεις, ο υπολογισμός της τυπικής απόκλισης είναι απαραίτητος για τον εντοπισμό του φαινομένου αυτού.

Αξιολόγηση αποτελεσμάτων σε σχέση με τους γεωκινδύνους

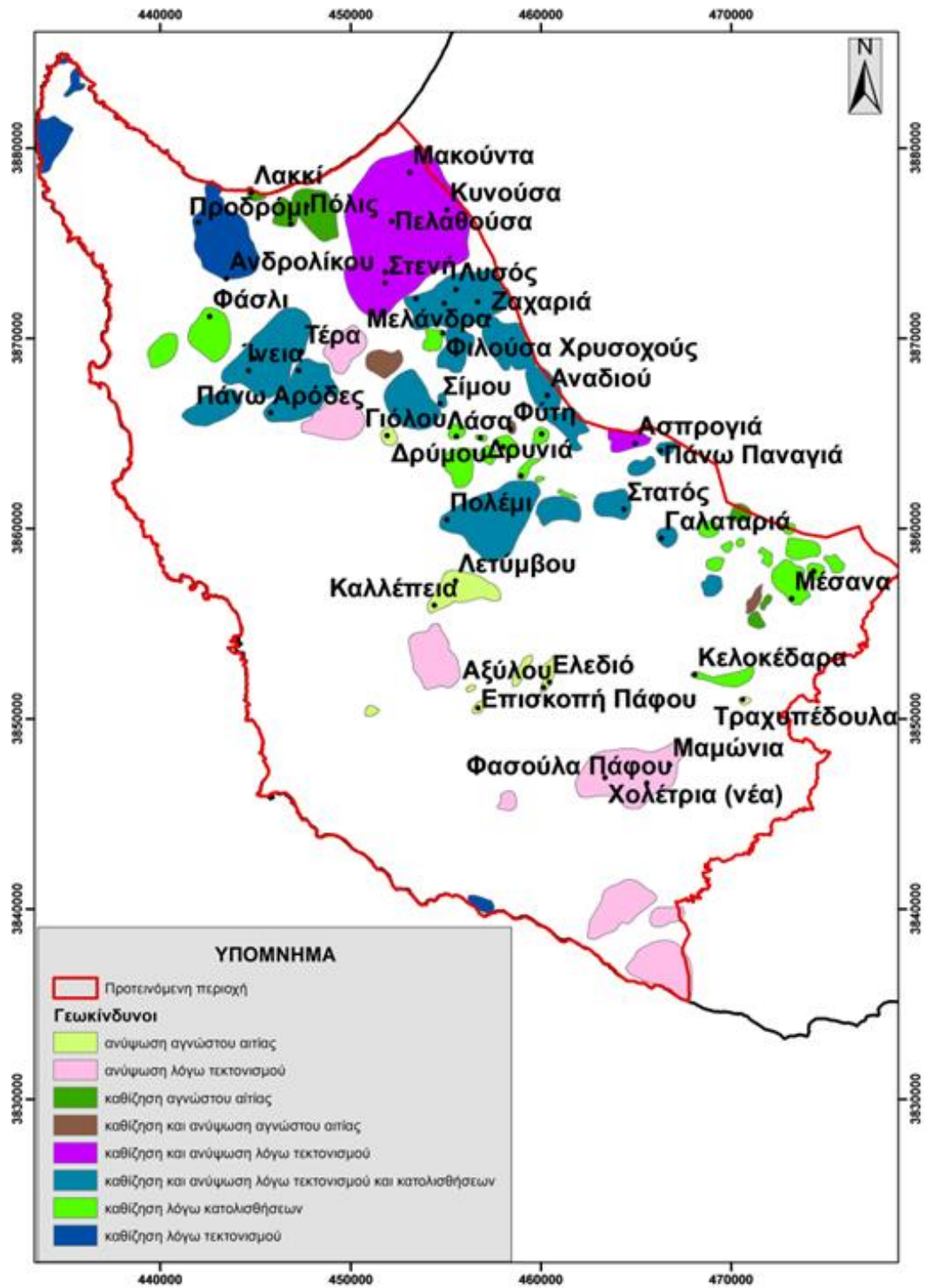
Οι κατακόρυφες μικρο-κινήσεων που εντοπίστηκαν κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων, μπορούν να συσχετιστούν και να ερμηνευθούν με τα πραγματικά αίτια που τις προκαλούν π.χ. κατολισθήσεις, ενεργός τεκτονισμός, διογκώσεις / συρρικνώσεις αργιλικών εδαφών, καθιζήσεις από ταπεινώσεις του υδροφόρου ορίζοντα, υπόγειες στοές κ.λ.π.

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2, το 5,52% του συνόλου των μικρομετακινήσεων αφορά καθιζήσεις και το 10,8% πρόκειται για ανυψώσεις. Οι λόγοι οι οποίοι προκαλούν τέτοιου είδους μικρο-μετακινήσεις μπορεί να είναι:

- Καθίζηση λόγω τεκτονισμού
- Καθίζηση λόγω παρουσίας κατολισθήσεων
- Καθίζηση λόγω παρουσίας καταβοθρών ή υπόγειων στοών
- Καθίζηση λόγω ταπείνωσης υδροφόρου ορίζοντα
- Ανύψωση λόγω τεκτονισμού
- Ανύψωση/καθίζηση λόγω διόγκωσης-συρρίκνωσης εδαφών
- Καθίζηση (σε κτήρια) λόγω φόρτισης του εδάφους ή λόγω μη επαρκούς συμπίεσης ή λόγω ακατάλληλων υλικών επιχωμάτωσης
- Εποχιακές έντονες βροχοπτώσεις

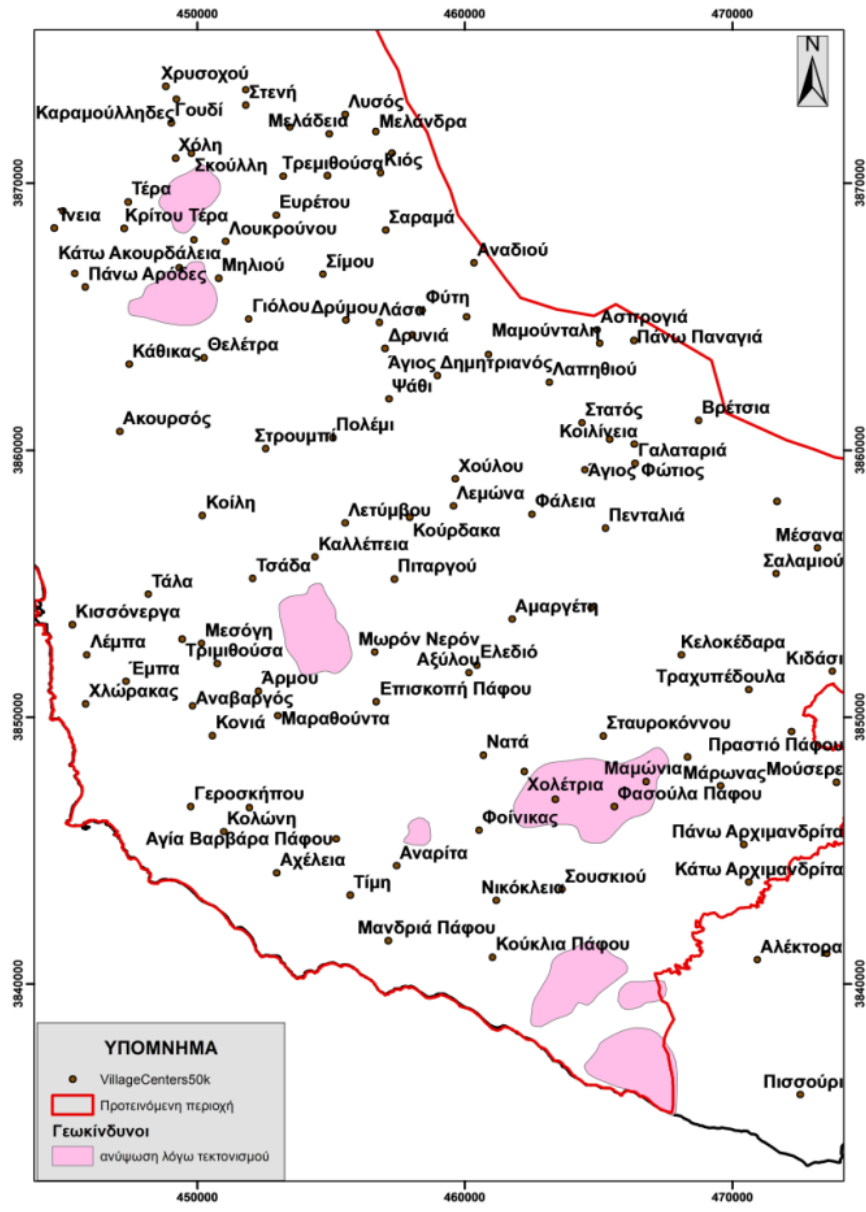
Ταξινόμηση περιοχών σε πολύγωνα επικινδυνότητας

Για τον καλύτερο και ευκολότερο έλεγχο της περιοχής μελέτης, έγινε διαχωρισμός μικρότερων υπο-περιοχών σε πολύγωνα, ανάλογα με την επικινδυνότητα που εμφανίζουν (Εικόνα 5). Συνολικά, διαχωρίστηκαν 73 ξεχωριστά πολύγωνα, τα οποία καταλαμβάνουν συνολική έκταση 224km² δηλαδή το 20,7% της συνολικής έκτασης της επαρχίας Πάφου.



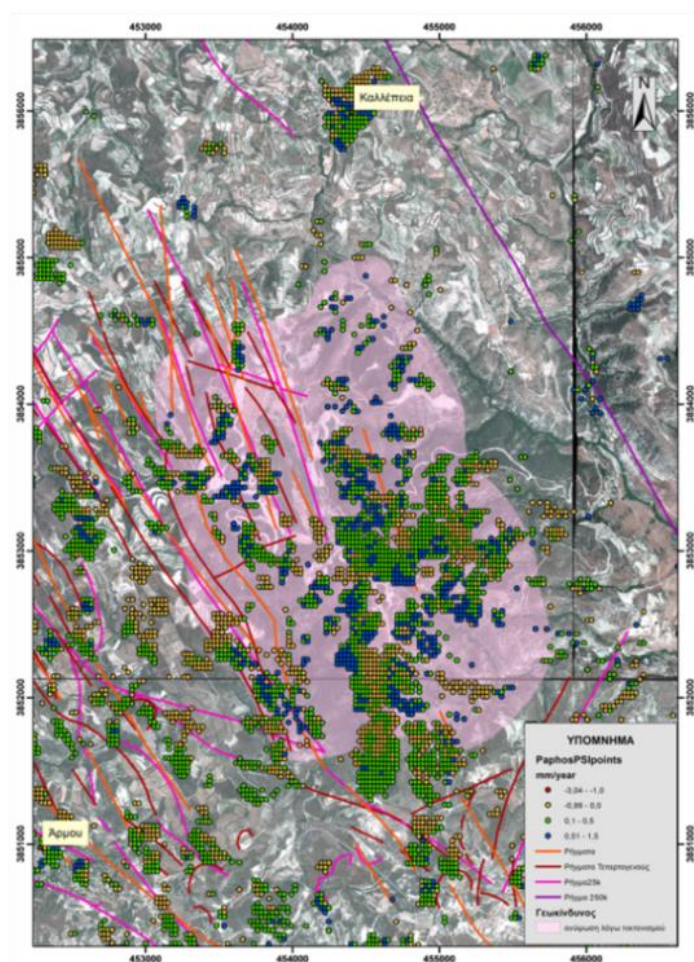
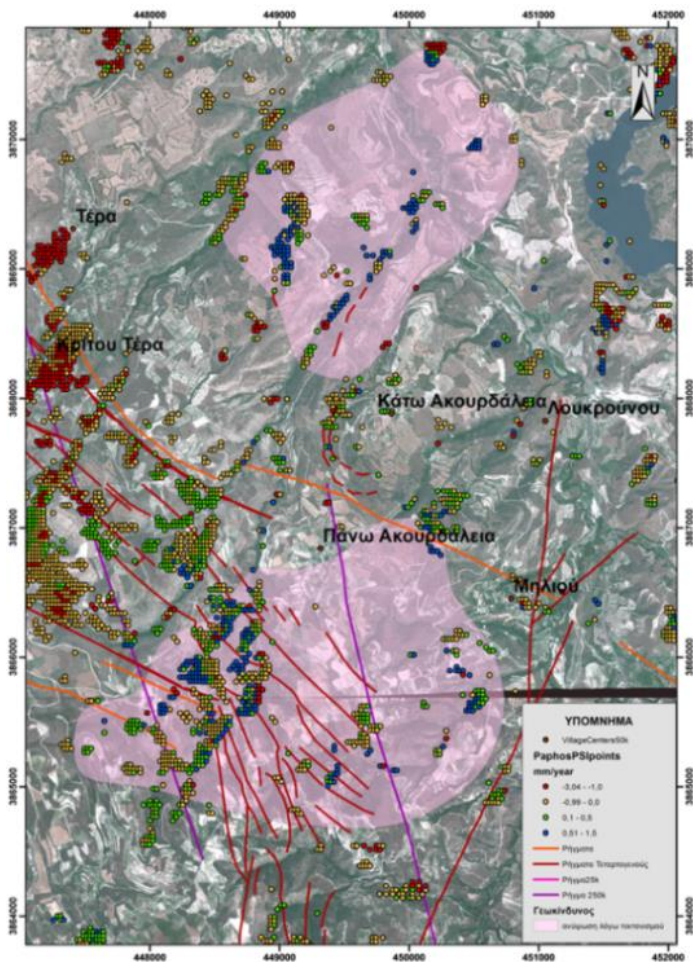
Εικόνα 5: Ταξινόμηση περιοχών σε πολύγωνα επικινδυνότητας

➤ Ανύψωση λόγω τεκτονισμού:

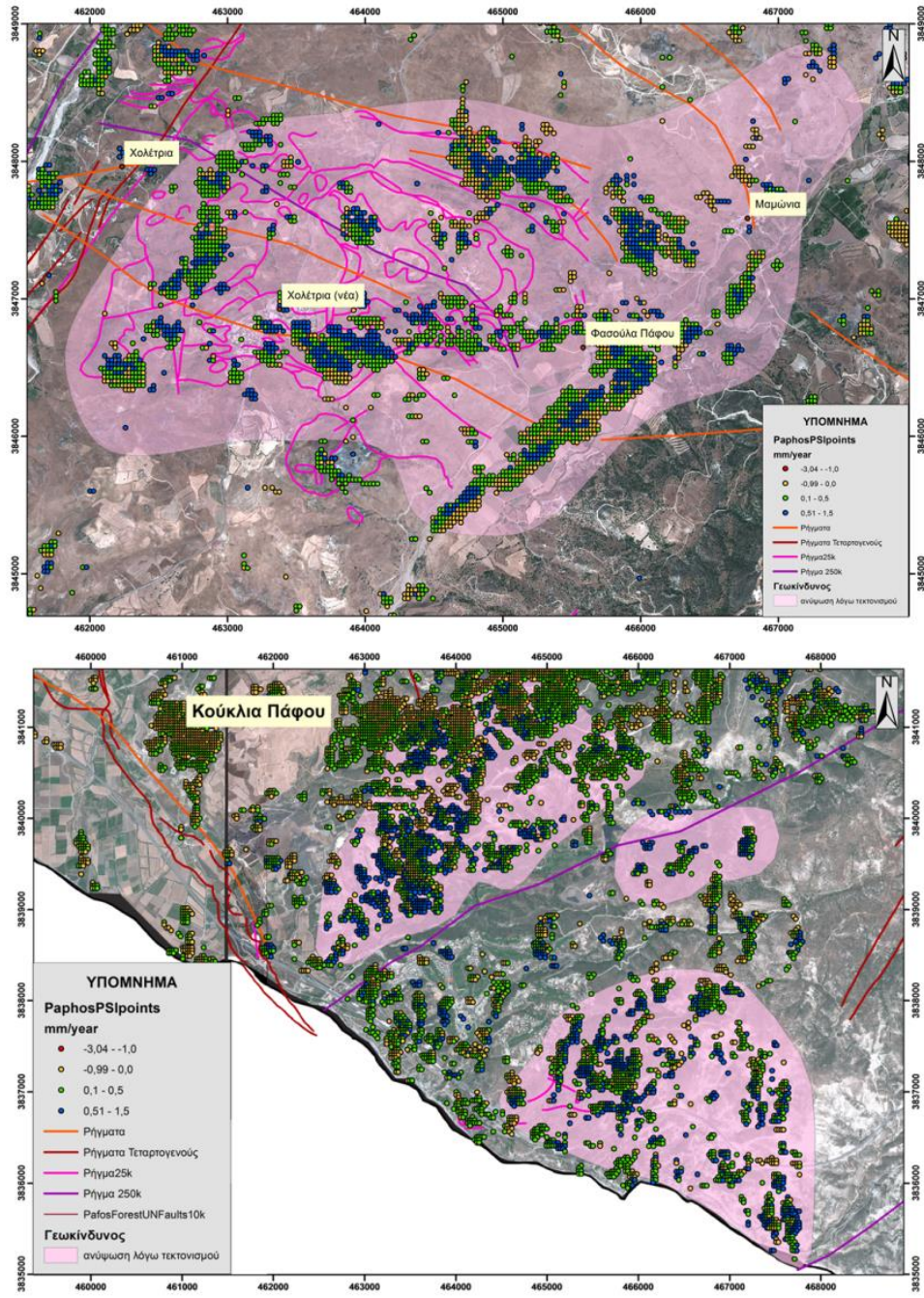


Εικόνα 6: Ανύψωση λόγω τεκτονισμού – Οκτώ πολύγωνα συνολικής έκτασης 43km².

Αξιοποιώντας τα υφιστάμενα δεδομένα που υπάρχουν στο Τμήμα μας βρέθηκαν οκτώ πολύγωνα, τα οποία παρουσιάζουν ανύψωση εξαιτίας της παρουσίας ρηγμάτων Εικόνες 6, 7 και 8. Πρόκειται για τις περιοχές Τέρα, Πάνω Αρόδες, Τσάδα, Χωλέτρια, Αναρίτα και Κούκλια, συνολικής έκτασης 43km² (3,97% της συνολικής έκτασης της επαρχίας Πάφου). Αξίζει να σημειωθεί, πως η ανυψωτική τάση της περιοχής που υποδηλώνει ενεργό τεκτονισμό συνδέεται άρρηκτα με τ' αποτελέσματα της νεοτεκτονικής έρευνας της GEOTER του 2005. Σύμφωνα με την έρευνα αυτή, στην περιοχή της Πάφου υπάρχουν ρήγματα Τεταρτογενούς ηλικίας, τα οποία συγκρίνοντας τα με τις δορυφορικές μετρήσεις, φαίνεται ότι συνδέονται με τοπικές μικρο-ανυψώσεις ή μικρο-καθιζήσεις.

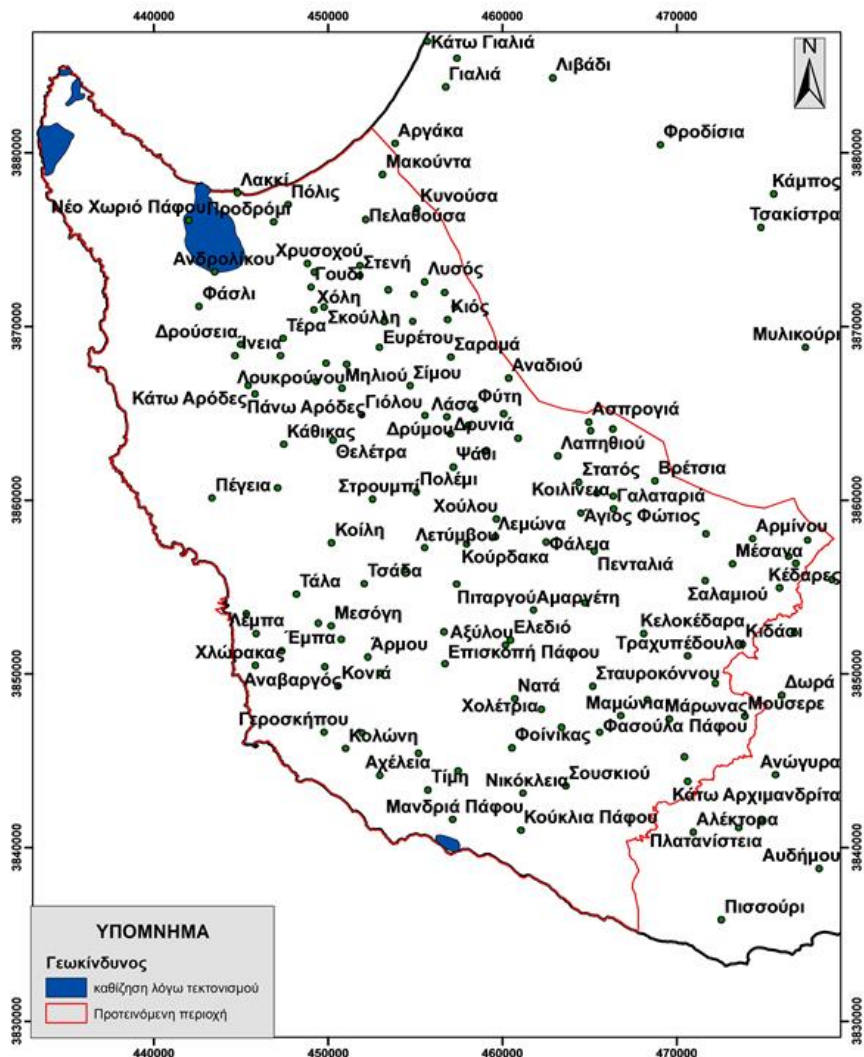


Εικόνα 7: Ανύψωση λόγω τεκτονισμού – τα ρήγματα προκαλούν σχετική ανύψωση.



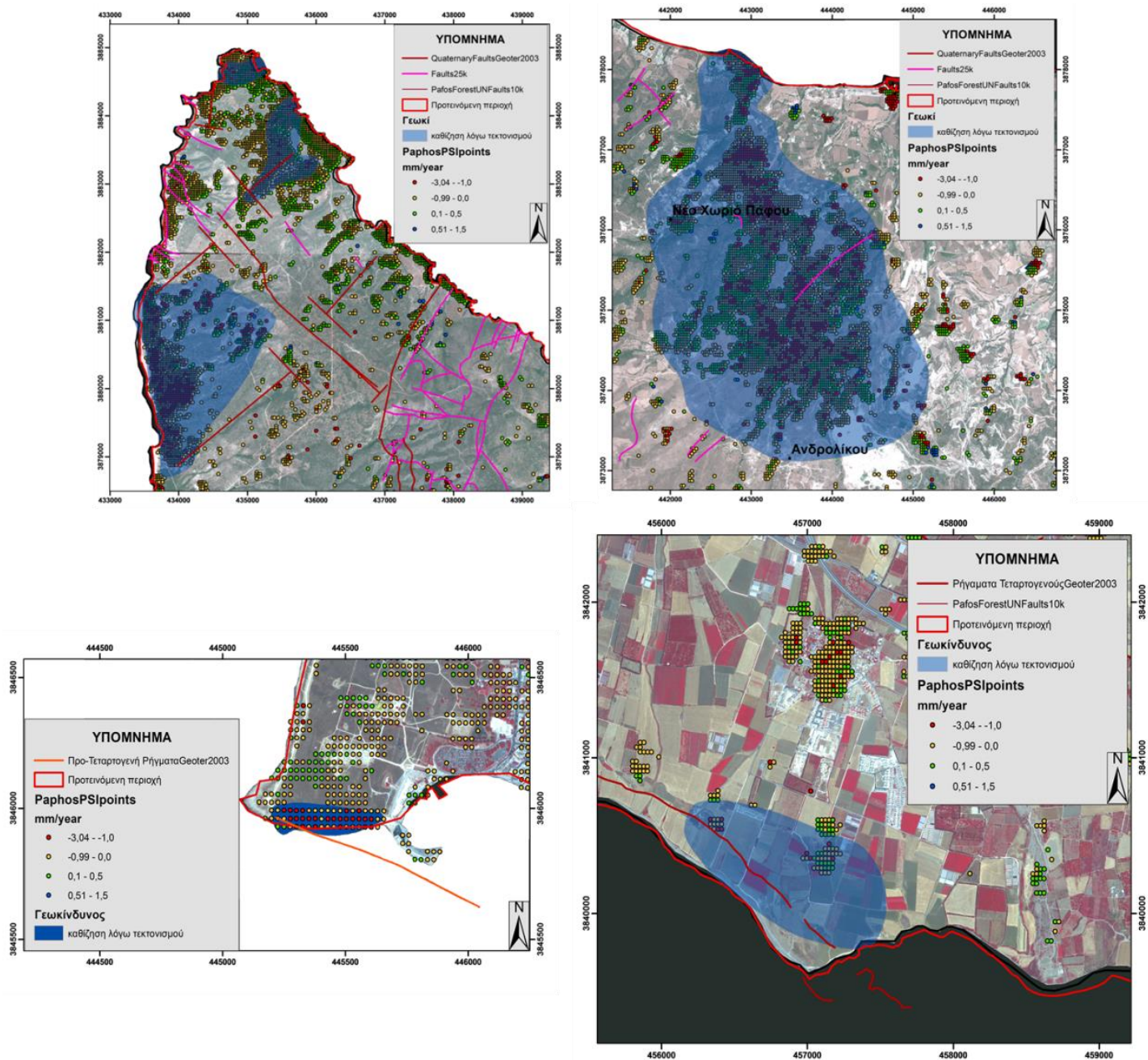
Εικόνα 8: Ανύψωση λόγω τεκτονισμού – τα ρήγματα προκαλούν σχετική ανύψωση.

➤ Καθιζήσεις λόγω τεκτονισμού:



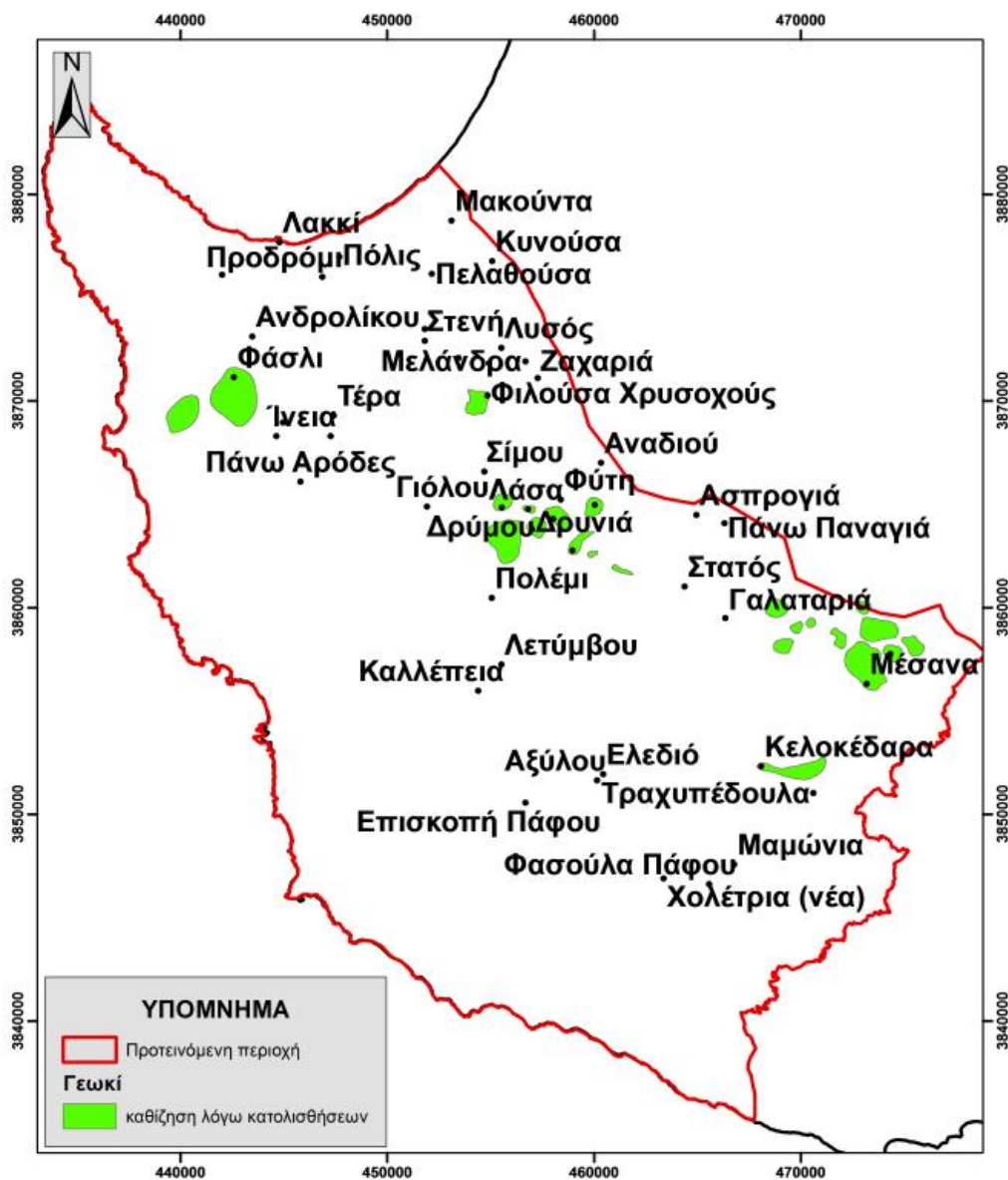
Εικόνα 9: Καθίζηση λόγω τεκτονισμού – έξι πολύγωνα συνολικής έκτασης 17km²

Εντοπίστηκαν έξι περιοχές έκτασης 17km² (1,56% της συνολικής έκτασης της επαρχίας Πάφου), οι οποίες παρουσιάζουν καθιζήσεις λόγω της παρουσίας ρηγμάτων. Οι περιοχές αυτές είναι: Ακάμας, Νέο Χωριό, παραλιακά και νότια του χωριού Μαντριά και δυτικά από το λιμάνι της Πάφου. Φαίνεται ότι τα αποτελέσματα της νεοτεκτονικής μελέτης της GEOTER το 2005 επιβεβαιώνονται από τις δορυφορικές μετρήσεις.



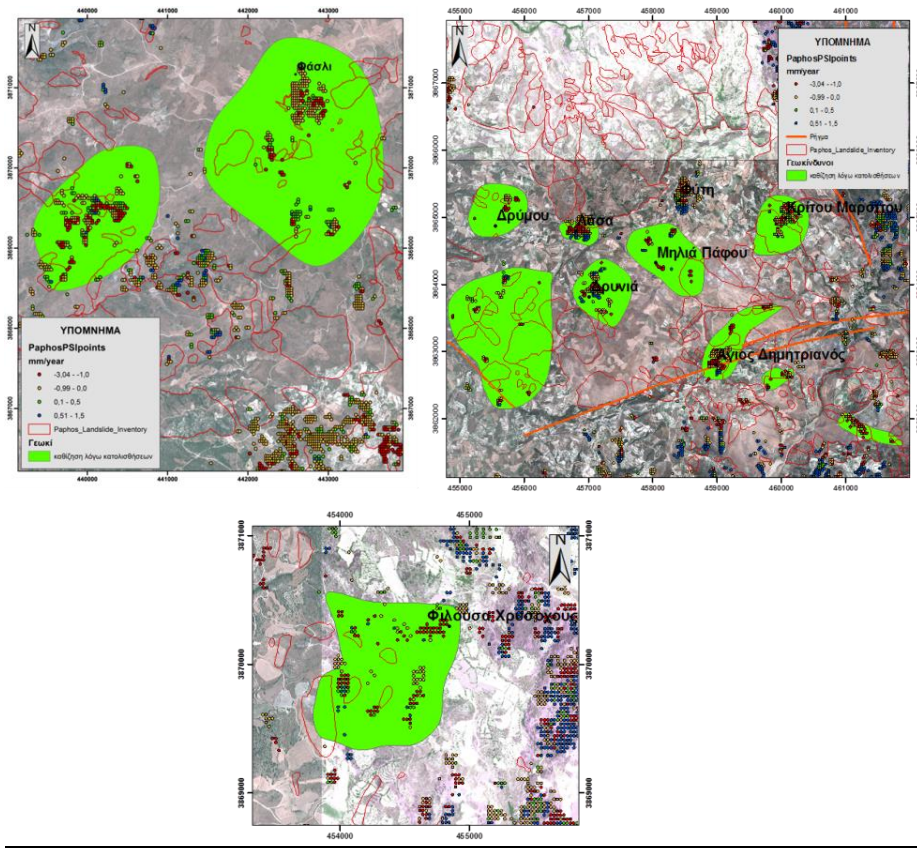
Εικόνα 10: Έξι περιοχές που παρουσιάζουν σχετική καθίζησης λόγω τεκτονισμού

➤ Καθιζήσεις λόγω κατολισθήσεων:

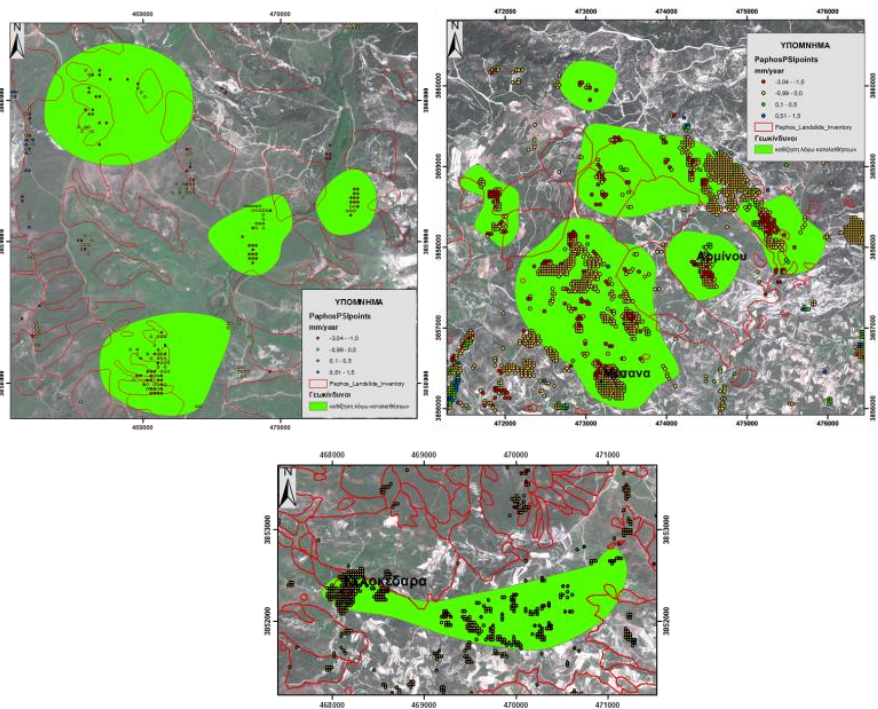


Εικόνα 11: Καθίζηση λόγω κατολισθήσεων – Είκοσι-δυο πολύγωνα συνολικής έκτασης 24km²

Συγκρίνοντας τα σημεία που παρουσιάζουν καθίζηση με την υφιστάμενη βάση των καταγεγραμμένων κατολισθήσεων, εντοπίστηκαν είκοσι δύο πολύγωνα που εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία συνολικής έκτασης 24km² (2,21% της συνολικής έκτασης της επαρχίας Πάφου). Οι περιοχές αυτές είναι: Κελοκέδαρα, Μέσσανα, Άγιος Ιωάννης, Αρμίνου, Βρέτσια, Άγιος Δημητριανός, Δρύμου, Μιλιά, Λάσα, Δρύνι, Κρίτου Μαρότου, Φασλί, και Φιλούσα.

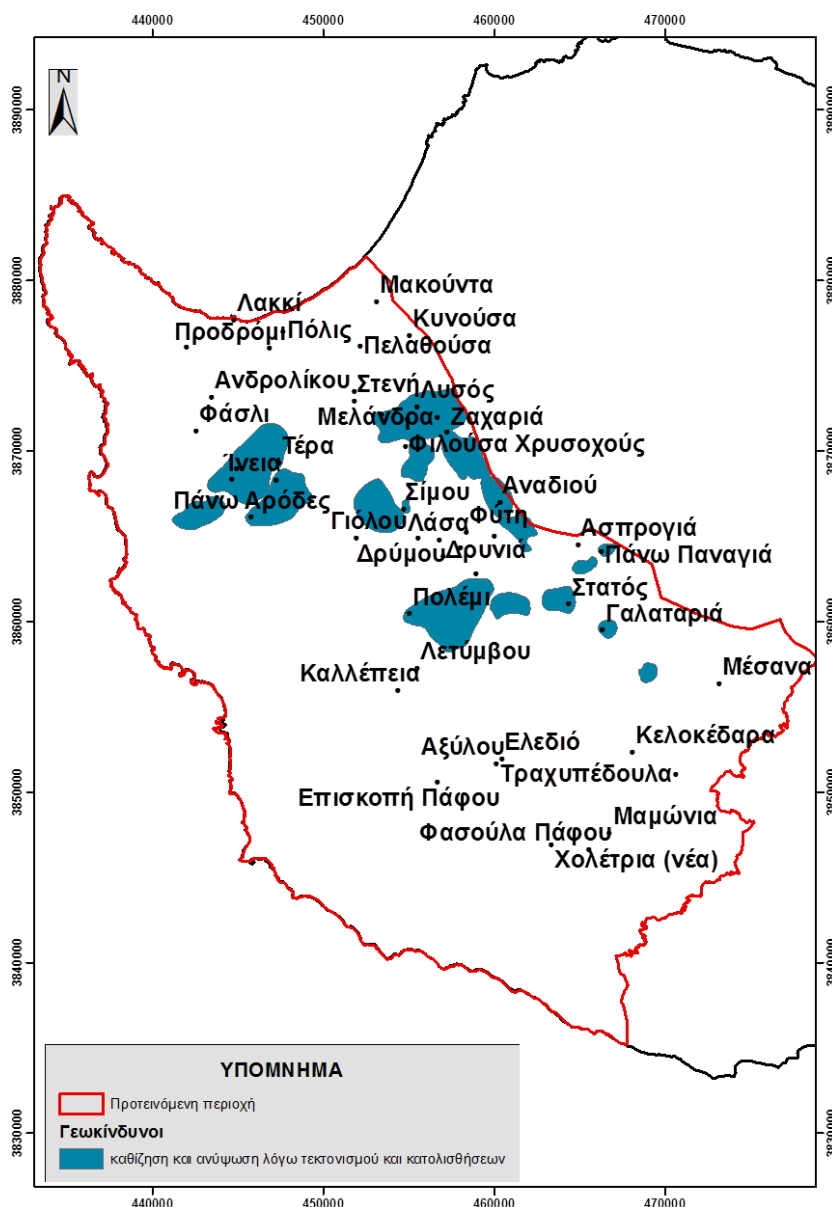


Εικόνα 12: Σύγκριση της βάσης κατοικήσεων με τις δορυφορικές μετρήσεις. Βρέθηκαν συνολικά 22 πολύγωνα τα οποία παρουσιάζουν καθίζηση λόγω κατοικήσεων συνολικής έκτασης 24km²



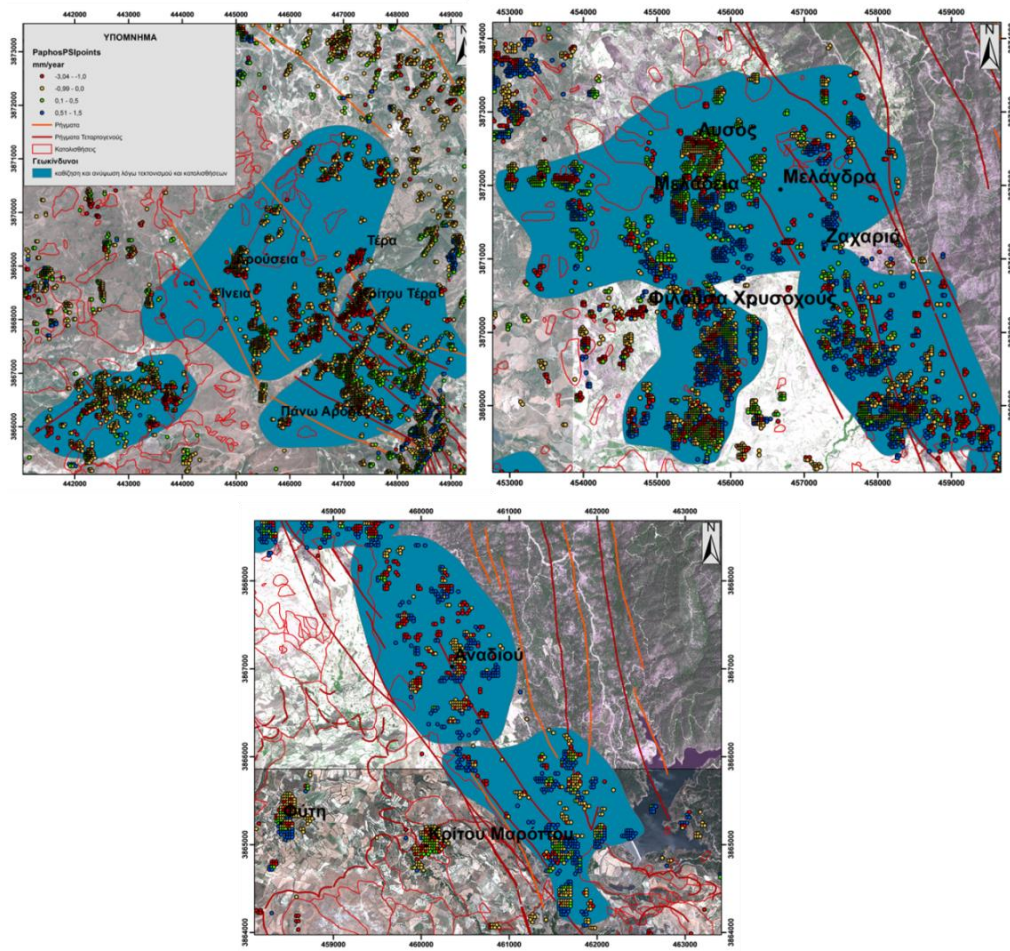
Εικόνα 13: Πολύγωνα συνολικής έκτασης 24km² που παρουσιάζουν καθίζηση λόγω κατοικήσεων.

➤ Καθίζηση και ανύψωση λόγω τεκτονισμού και κατολισθήσεων:

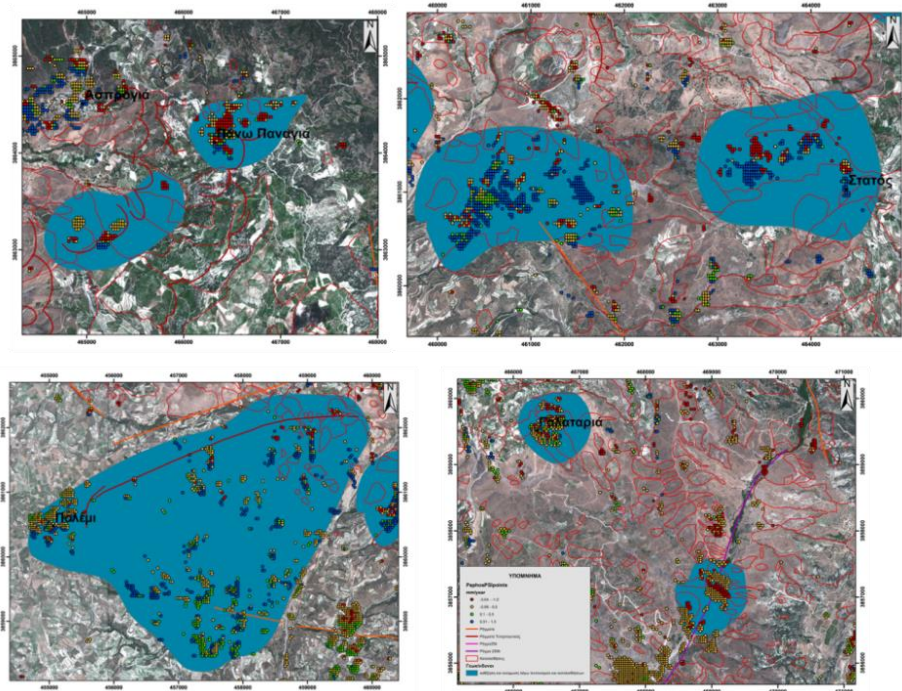


Εικόνα 14: Δεκαεπτά πολύγωνα εντάσσονται στην κατηγορία καθίζησης και ανύψωσης λόγω τεκτονισμού και κατολισθήσεων

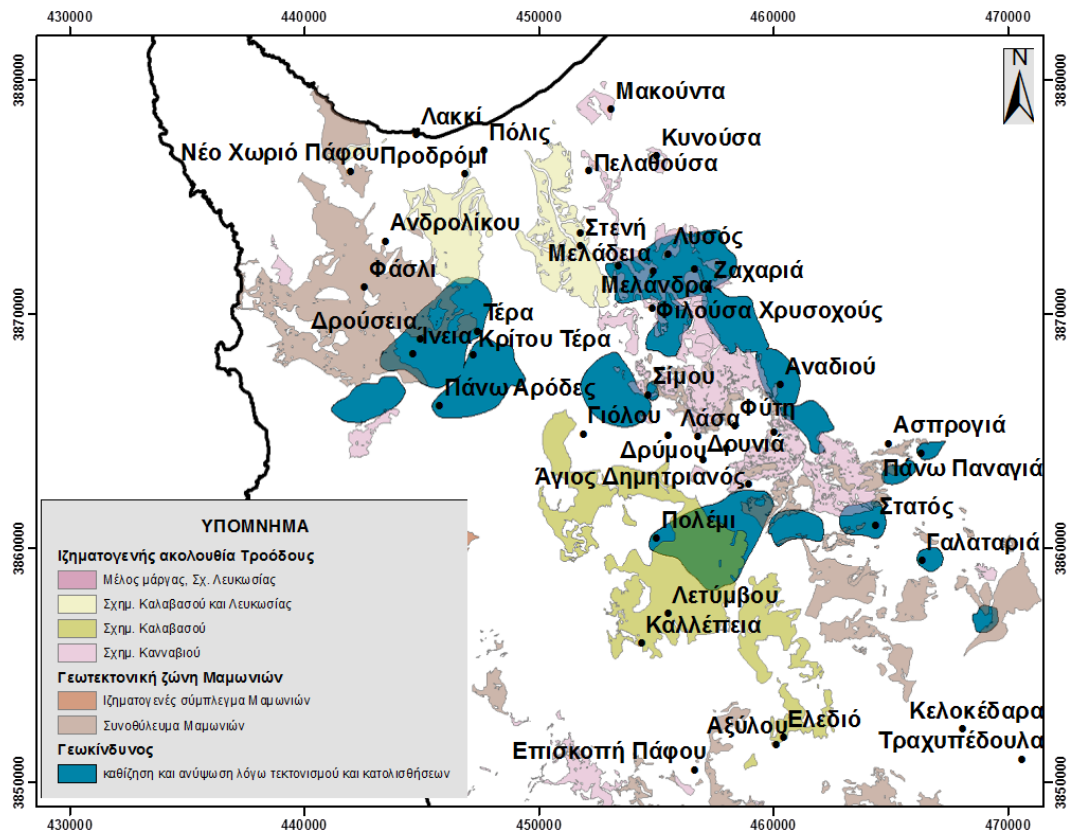
Δεκαεπτά περιοχές συνολικής έκτασης 78km² (7.2% της συνολικής έκτασης της επαρχίας της Πάφου) εντοπίστηκαν να ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Συγκεκριμένα πρόκειται για τα χωριά: Ίνεια, Δρούσεια, Κρίτου Τέρα, Πάνω Αρόδες, Σίμου, Λυσός, Αναδιού, Στατός, Πάνω Παναγιά, Ψάθι, Πολέμι, Γαλαταριά, Λούκρουνο και Μαμουντάλι.



Εικόνα 15: Καθιζήσεις και ανυψώσεις λόγω τεκτονισμού και κατολισθήσεων. Βρέθηκαν συνολικά δεκαεπτά πολύγωνα συνολικής έκτασης 78km²



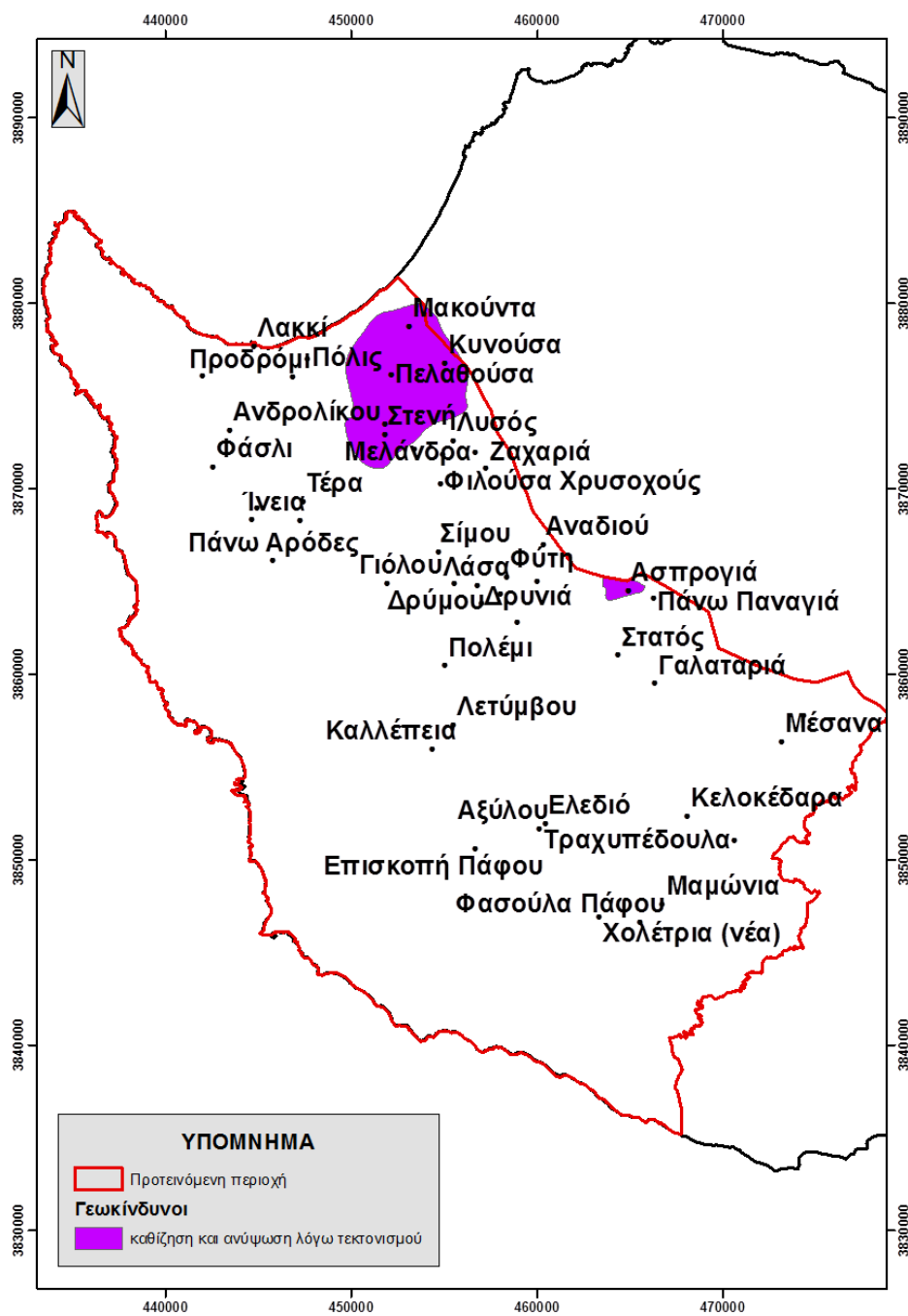
Εικόνα 16: Καθιζήσεις και ανυψώσεις λόγω τεκτονισμού και κατολισθήσεων



Εικόνα 17: Γεωλογικός χάρτης – παρουσία γύψων (Σχημ. Καλαβασού) αλλά και αργιλικών εδαφών

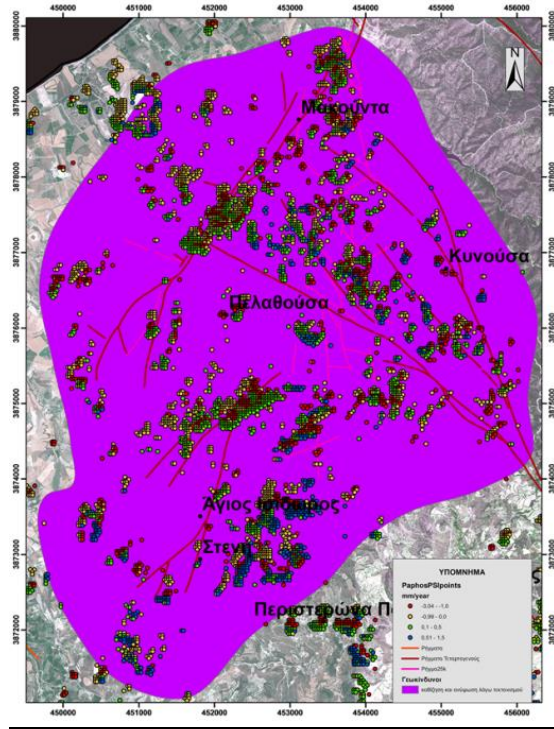
Συσχετίζοντας τις περιοχές αυτές με την παρουσία αργιλικών εδαφών (Μέλος μάργας Σχ. Λευκωσίας, Σχ. Κανναβιού, συνοθύλευμα και ιζηματογενές σύμπλεγμα των Μαμωνιών), φαίνεται ότι αρκετές κατολισθήσεις λαμβάνουν χώρα σε τέτοιου είδους εδάφη. Η παρουσία των γύψων (Σχηματισμός Καλαβασού) στο πολύγωνο που βρίσκεται το χωριό Πολέμι, δεν επηρεάζει τις μετρήσεις εφόσον δεν παρουσιάζονται εμφανείς καθιζήσεις. Στο πολύγωνο αυτό παρουσιάζεται μία σχετική μικρο-ανύψωση που μάλλον σχετίζεται με τον ενεργό τεκτονισμό.

➤ Καθίζηση και ανύψωση λόγω τεκτονισμού:

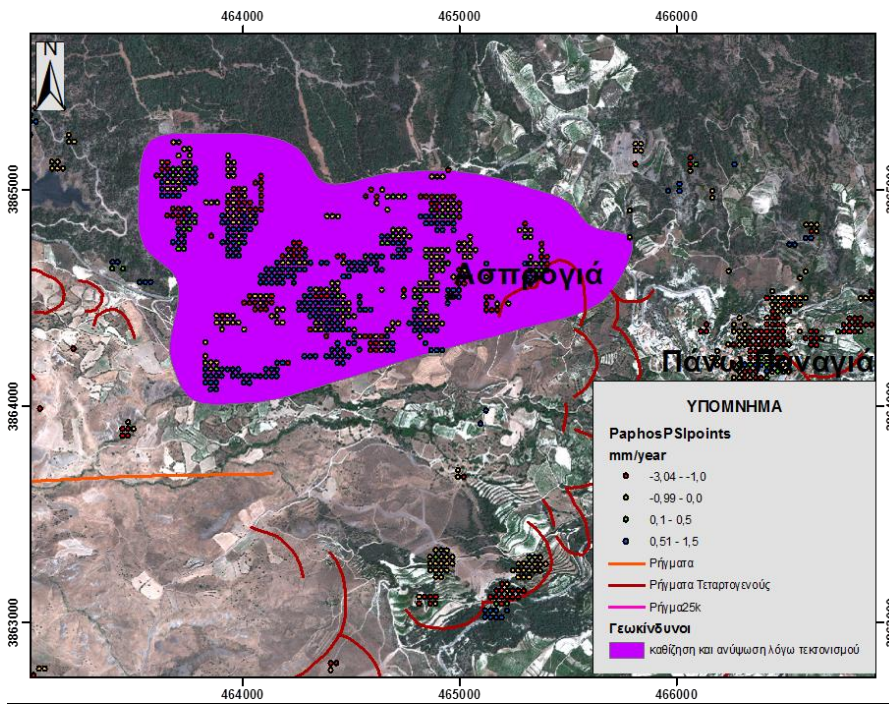


Εικόνα 17: Δύο πολύγωνα που παρουσιάζουν καθίζηση και ανύψωση λόγω τεκτονισμού

Εντοπίστηκαν δύο περιοχές που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία και αφορούν τα χωριά Ασπρογιά και Πελαθούσα, Στενή, Μακούντα και Κινούσα. Τα πολύγωνα αυτά έχουν έκταση 43km² αντιπροσωπεύουν δηλαδή το 3,97% της συνολικής έκτασης της επαρχίας Πάφου.

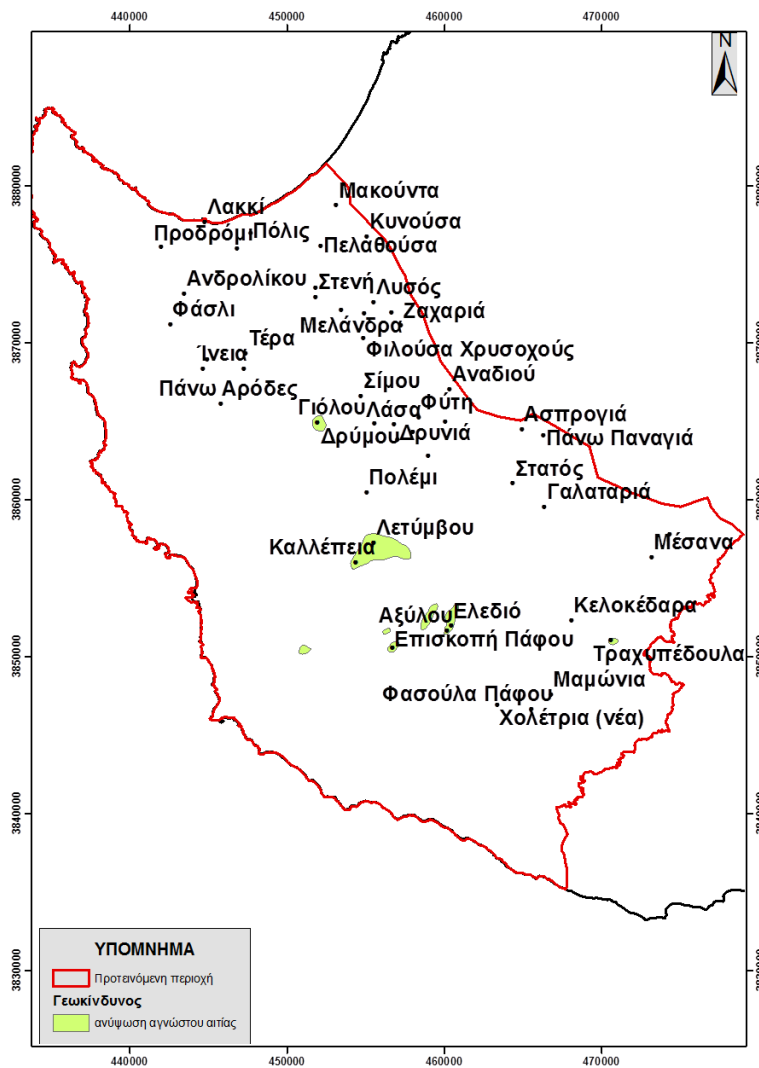


Εικόνα 18: Καθίζηση και ανύψωση λόγω τεκτονισμού



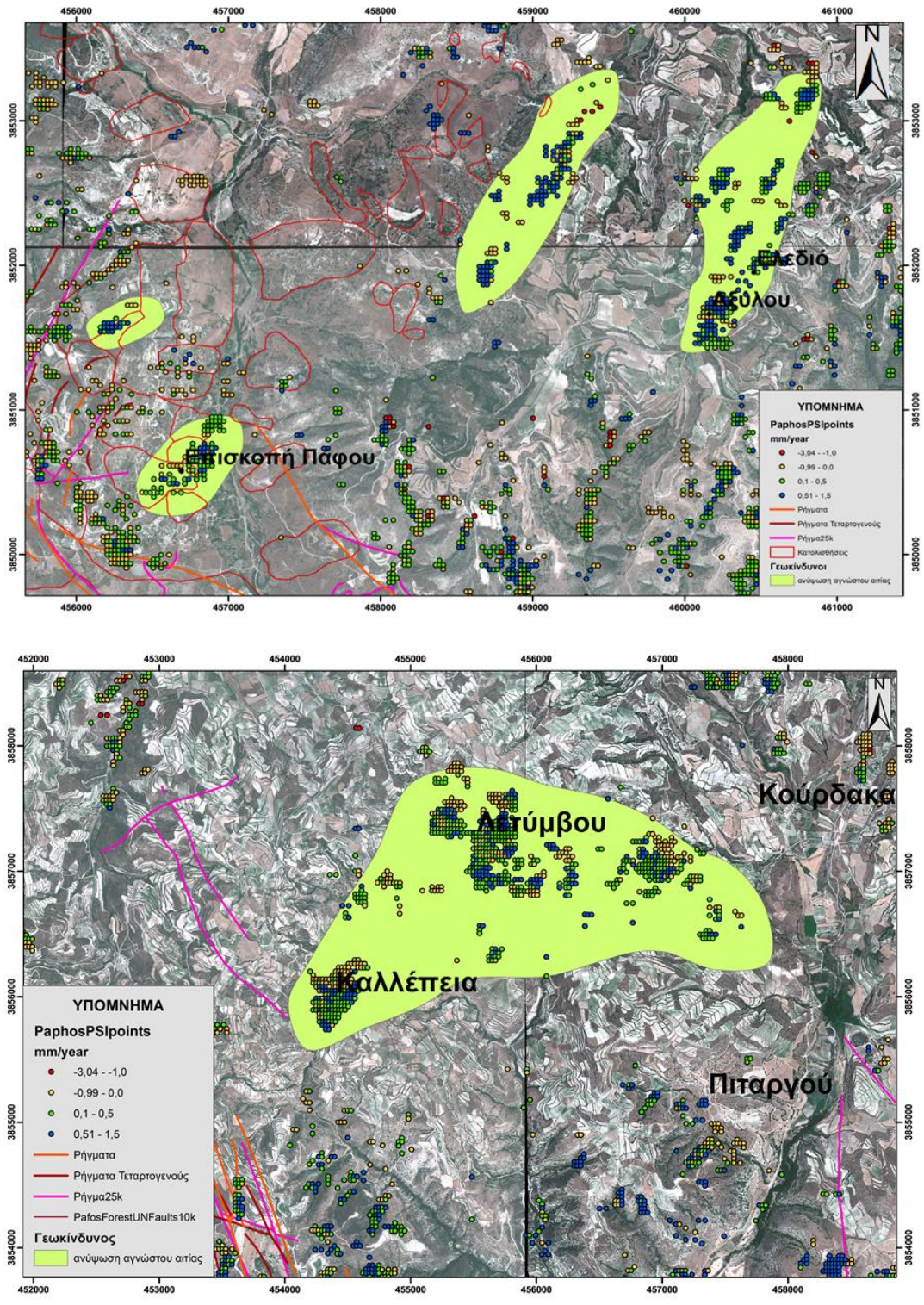
Εικόνα 20: Καθίζηση και ανύψωση λόγω τεκτονισμού

➤ Ανύψωση αγνώστου αιτίας:



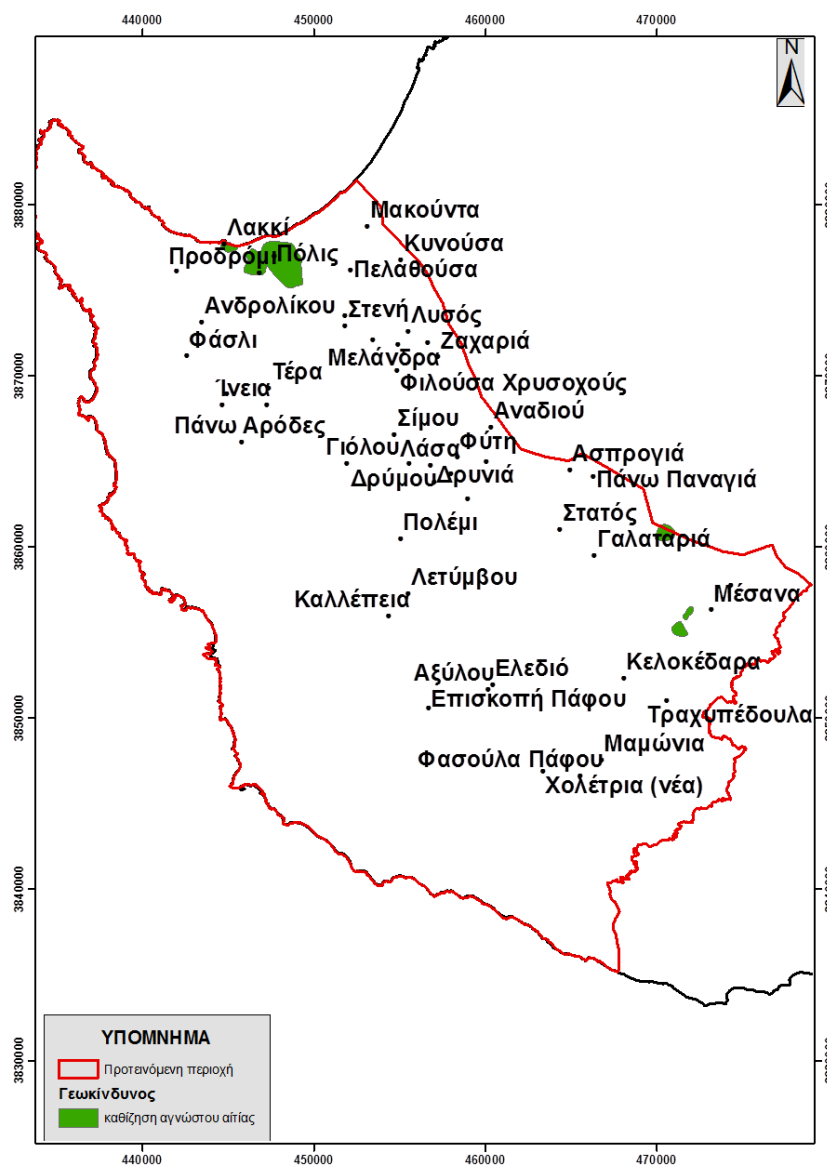
Εικόνα 19: Οκτώ πολύγωνα που παρουσιάζουν ανύψωση αγνώστου αιτίας

Κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων και μελέτη των υφιστάμενων γεωλογικών χαρτών, διαπιστώθηκε ότι πολλές περιοχές παρουσιάζουν ανύψωση χωρίς όμως να υπάρχει κάποιο εμφανές γεωλογικό στοιχείο, που να δικαιολογεί αυτή την ανυψωτική τάση. Οι περιοχές αυτές χρειάζονται περαιτέρω διερεύνηση, έτσι ώστε να εξακριβωθούν τα αίτια των ανυψώσεων. Πρόκειται για οκτώ τέτοιες περιοχές συνολικής έκτασης 8km² (074% της συνολικής έκτασης της επαρχίας Πάφου) και συγκεκριμένα για περιοχές των χωριών Αναβαργού, Επισκοπή, Λετύμβου, Καλλέπεια και Ελεδιώ.



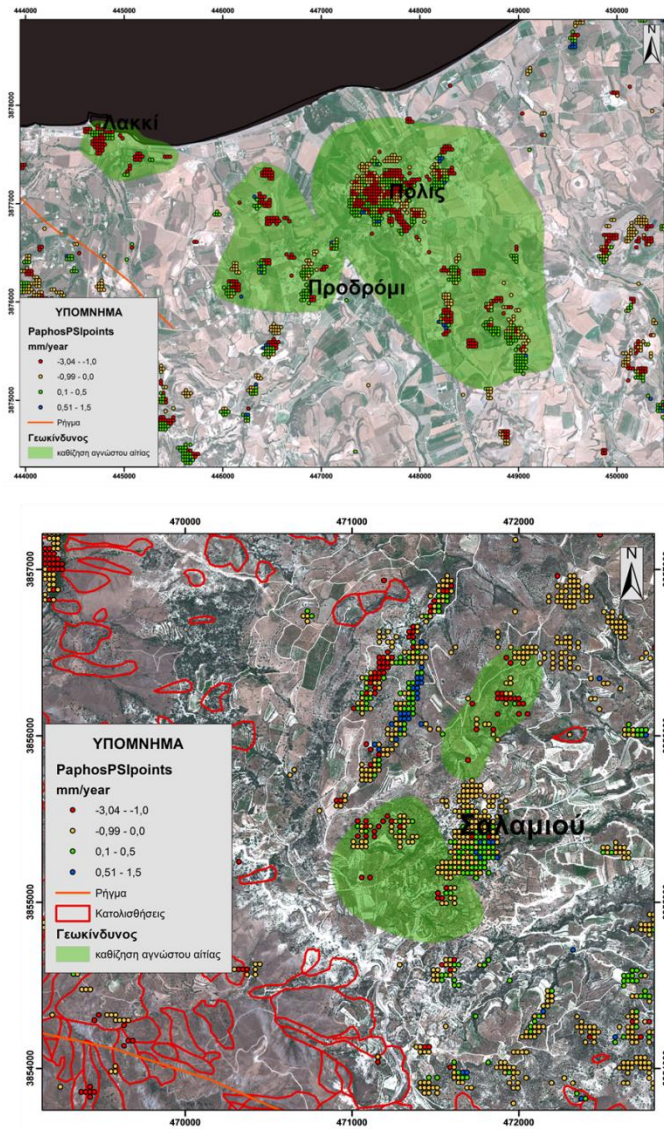
Εικόνα 20: Περιοχές που χρειάζονται περισσότερη διερεύνηση

➤ Καθίζηση αγνώστου αιτίας:



Εικόνα 21: Έξι πολύγωνα που παρουσιάζουν καθίζηση αγνώστου αιτίας

Πρόκειται για έξι πολύγωνα έκτασης 8km^2 (0.74% της συνολικής έκτασης της επαρχίας Πάφου), στα οποία εντοπίστηκαν καθιζήσεις, όμως με την σύγκριση των υφιστάμενων γεωλογικών στοιχείων δεν εντοπίστηκε καμία συσχέτιση τους και ως εκ τούτου χρήζουν περαιτέρω διερεύνηση. Μία πιθανή εξήγηση είναι η παρουσία κατολισθήσεων που να μην είναι εγγεγραμμένες στη βάση δεδομένων του Τμήματος ή/και παρουσία ρηγμάτων. Οι περιοχές αυτές είναι: Σαλαμιού, Βρέτσια, Λακκί, Πόλη Χρυσοχούς, και Προδρόμι.



Εικόνα 22: Περιοχές που παρουσιάζουν καθίζηση αγνώστου αιτίας

Συμπεράσματα

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, παρατηρείται ότι επικρατεί μία γενική ανύψωση της τάξης του 0,5-1,5mm το χρόνο στο ανατολικό και βόρειο μέρος της επαρχίας της Πάφου (Δάσος Πάφου), και μία γενική καθίζηση στα δυτικά και νότια της τάξης του 1,0-3,7mm το χρόνο.

Από τη σύγκριση των γεωλογικών πληροφοριών που υπάρχουν στο Τμήμα μας με τις δορυφορικές μετρήσεις, διαφαίνεται ότι σε πολλές περιοχές τα αποτελέσματα συνάδουν με τις αναμενόμενες μετακινήσεις, είτε αυτές είναι καθιζήσεις, είτε είναι ανυψώσεις. Όμως, σε πολλές άλλες περιοχές, τα δορυφορικά δεδομένα αποδίδουν κατακόρυφες μικρο-κινήσεις, οι οποίες δεν μπορούν να δικαιολογηθούν από τα υφιστάμενα γεωλογικά δεδομένα, χρήζοντας έτσι περαιτέρω διερεύνησης.

Αναλύοντας τα αποτελέσματα της τυπικής απόκλισης των τιμών, παρατηρείται μία απότομη αλλαγή των μικρο-κινήσεων, είτε καθιζήσεων είτε ανυψώσεων, στο κεντρικό, ανατολικό και βόρειο μέρος της επαρχίας. Οι κύριες αιτίες που οδηγούν στις απότομες κατακόρυφες μικροκινήσεις, είναι ο ενεργός τεκτονισμός της περιοχής, οι ενεργές κατολισθήσεις αλλά και η διόγκωση-συρρίκνωση των αργιλικών εδαφών.

Τέλος, με τη λεπτομερέστερη ανάλυση των δεδομένων, καθώς και με την περαιτέρω διερεύνηση των μικροκινήσεων με επιτόπιες επισκοπήσεις, οι υφιστάμενοι Χάρτες Ζωνών Γεωλογικής Καταλληλότητας θα εξεταστούν και θα τύχουν αναθεώρησης σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας.