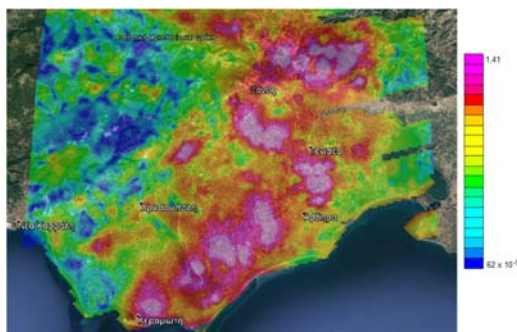


Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής

**“ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΕΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ
ΝΕΣΤΟΥ - ΞΑΝΘΗΣ”**



ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ Γ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ

**Καθ. Τσόκας Ν. Γρηγόριος
&
Δρ. Αλέξανδρος Δ. Σταμπολίδης**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2016

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
2. Γεωλογικά στοιχεία.....	5
3. Επεξεργασία δεδομένων.....	6
4. Συμπεράσματα.....	17
5. Βιβλιογραφία.....	18

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Δρ. Αλέξανδρο Δ. Σταμπολίδη, ΕΔΙΠ του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Α.Π.Θ., που μου ανέθεσε την παρούσα διπλωματική εργασία. Η βοήθειά του ήταν καθοριστική για την επιτυχή έκβαση της εργασίας αυτής.

1. Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην μελέτη και ερμηνεία αερομαγνητικών δεδομένων της περιοχής της Ξάνθης σε σχέση με το γεωλογικό της υπόβαθρο και τις τεκτονικές δομές της περιοχής.

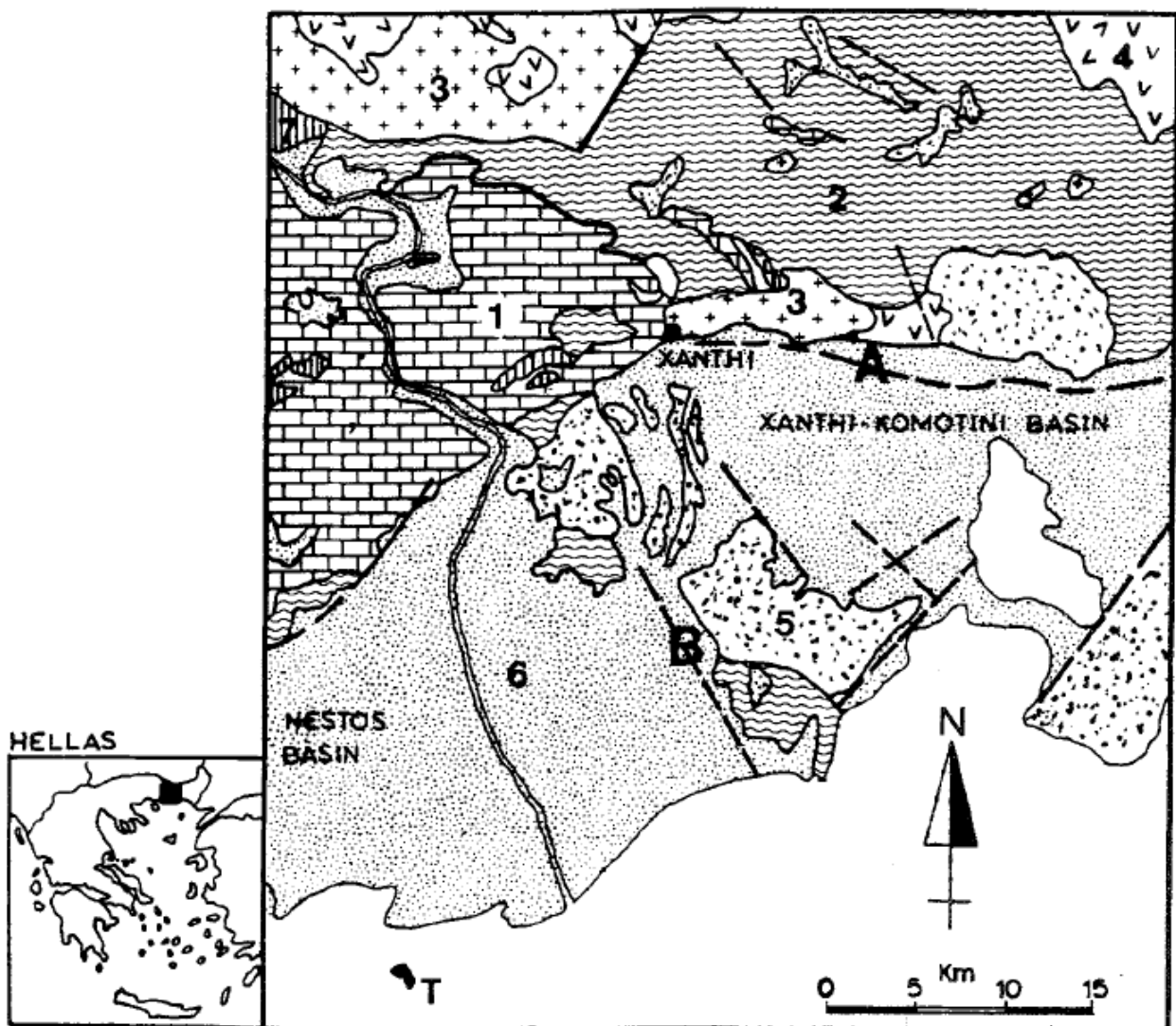
Τα αερομαγνητικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν πάρθηκαν το 1966 με πτήσεις σε διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ που είχαν απόσταση 800 m η μία από την άλλη. Υπήρχε σταθερή απόσταση από το έδαφος 275 ± 75 μέτρων (drape) καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων. Τα δεδομένα ψηφιοποιήθηκαν από τον δρ. Αλ. Σταμπολίδη (Σταμπολίδης, 1999).

Έγινε χρήση κατάλληλου software (Oasis Montaj 8.3, USGS GX) για να εφαρμοστούν στα μαγνητικά δεδομένα φίλτρα, όπως η αναγωγή στον πόλο, η οριζόντια και κατακόρυφη βαθμίδα κ.α. και να συνταχθούν βάσεις δεδομένων ανάλυσης καμπυλότητας με σκοπό τον καθορισμό των ορίων επαφής και το βάθος των μαγνητικών σωμάτων.

Τα αποτελέσματα των διαφόρων φίλτρων προβάλλονται πάνω σε χάρτη Google Earth για συσχέτιση της περιοχής με τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων.

2. Γεωλογικά στοιχεία.

Σύμφωνα με τους Tsokas et al(1996) και αναφορές μέσα εκεί, η πλουτώνια δραστηριότητα που εκδηλώνεται στην οροσειρά της Ροδόπης, σχετίζεται ως επί το πλείστον, χωρικά και χρονικά, με την ανάπτυξη της ορογένεσης των Άλπεων η οποία θεωρείται αποτέλεσμα της προς τα πάνω ώθησης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από το νότιο όριο της Ευρώπης. Τα πλουτώνια πετρώματα της Ξάνθης, ολιγοκαινικής ηλικίας, βρίσκονται στη γραμμή της ζώνης του ρήγματος Καβάλας-Ξάνθης-Κομοτηνής. Η επιφανειακή τους εκδήλωση είναι ως επί το πλείστον στη βόρεια (πάνω) πλευρά του ρήγματος.



Σχήμα 1. 1-Μάρμαρα, 2-Γνεύσιος, 3-Γρανίτης, 4- Ηφαιστειογενή, 5-Μολλασικοί σχηματισμοί, 6-Ιζήματα τεταγμένου, 7-Σχιστόληθος. Δύο κύρια ρήγματα που ονομάζονται (Α) Καβάλας-Κομοτηνής-Ξάνθης και (Β) Αβδήρων τέμνονται κάθετα μεταξύ τους και καθορίζουν την τεκτονική της περιοχής. Ι.Γ.Μ.Ε.(Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, δεύτερη έκδοση, 1983).

Η κοιλάδα του Νέστου καλύπτει το νοτιοδυτικό μέρος της περιοχής που μελετήσαμε (σχήμα 1), ιζήματα του Μειόκαινου που γεμίζουν την μεγαλύτερη περιοχή της κοιλάδας, έχουν αποτεθεί ασυνεχώς στο μεταμορφωμένο υπόβαθρο. Στην άλλη πλευρά η κοιλάδα Ξάνθης-Κομοτηνής καλύπτει το ανατολικό κομμάτι της περιοχής.

Στο βόρειο όριο και των δύο κοιλάδων βρίσκεται το κύριο ρήγμα της περιοχής, το ρήγμα Κομοτηνής-Ξάνθης-Καβάλας. Το ρήγμα χρονολογείται την περίοδο Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου. Ένα άλλο μεγάλο ρήγμα, αυτό των Αβδήρων, χωρίζει τις δύο κοιλάδες τέμνοντάς κάθετα το προαναφερθέν ρήγμα.

3. Επεξεργασία δεδομένων

Σκοπός της ερμηνείας των μαγνητικών δεδομένων είναι ο καθορισμός του τύπου και της θέσεις των μαγνητικών πηγών. Για αυτόν τον σκοπό μια πληθώρα ημι-αυτόματων μεθόδων που βασίζονται στην χρήση των παραγώγων του μαγνητικού πεδίου έχουν αναπτυχθεί για τον καθορισμό των παραμέτρων των μαγνητικών πηγών όπως οι θέσεις των ορίων και τα βάθη τους. Ορισμένες από τις μεθόδους αυτές υπολογίζονται χωρικά ενώ άλλες στο πεδίο των κυματαριθμών με την χρήση της ανάλυσης Fourier. Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν μέσω των υπορουτίνων του USGS GX software για Oasis Montaj 8.3 (Phillips, 2007).

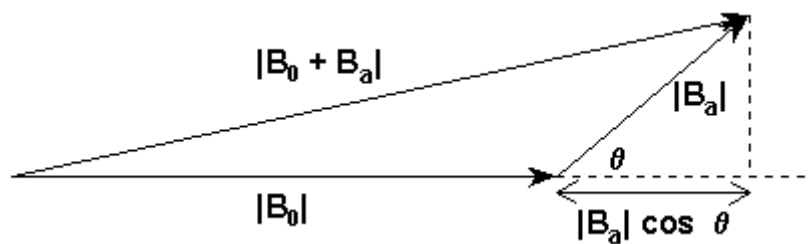
3.1. Ανωμαλία ολικού πεδίου (Total Field Anomaly)

Στην εφαρμοσμένη γεωφυσική συχνά αναφερόμαστε στον όρο “μαγνητική ανωμαλία” (magnetic anomaly). Αυτή ορίζεται ως η παρατηρούμενη μαγνητική τιμή μείον το υπόβαθρο ή τιμή αναφοράς που συνήθως κυριαρχείται από το επαγόμενο πεδίο (μαγνητικό πεδίο της Γης). Έστω $\vec{B}_0$ το μαγνητικό πεδίο της γης και $\vec{B}_a$ το πεδίο της μαγνητικής πηγής. Το πεδίο που μετράμε στην επιφάνεια της γης είναι το άθροισμα του πεδίου της γης και του πεδίου της μαγνητικής πηγής.

Η ανωμαλία του ολικού πεδίου (total field anomaly) είναι η τιμή του μετρούμενου πεδίου μείον την τιμή του γήινου πεδίου.

$$\Delta B = |\vec{B}_0 + \vec{B}_a| - |\vec{B}_0|$$

Επειδή στις περισσότερες περιπτώσεις ισχύει: $|\vec{B}_0| \gg |\vec{B}_a|$
η κατάσταση μπορεί να περιγραφεί από το παρακάτω διανυσματικό διάγραμμα:



Η γωνία θ είναι η γωνία ανάμεσα στο μαγνητικό πεδίο της γης και το ανώμαλο μαγνητικό πεδίο. Με απλή τριγωνομετρία προκύπτει ότι:

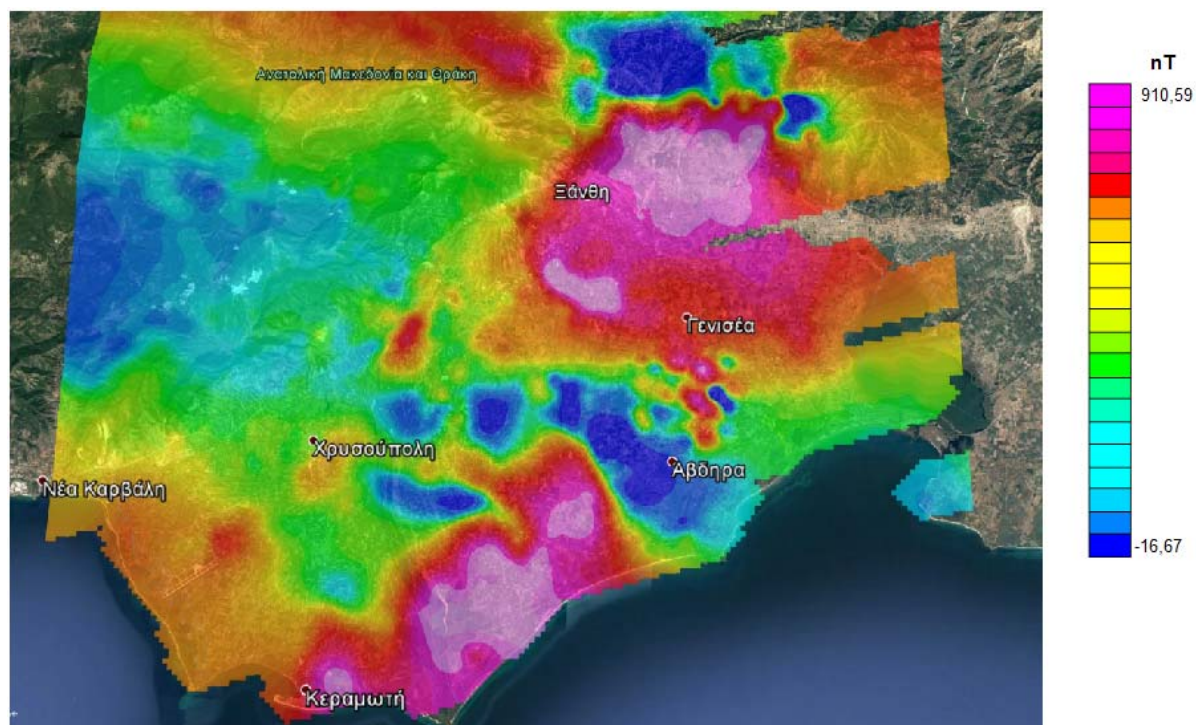
$$|\vec{B}_0 + \vec{B}_a| \cong |\vec{B}_0| + |\vec{B}_a| \cos \theta, \text{ οπότε } \Delta B = |\vec{B}_0 + \vec{B}_a| - |\vec{B}_0| \cong |\vec{B}_a| \cos \theta$$

Ισοδύναμα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το διανυσματικό εσωτερικό γινόμενο για να δείξουμε ότι το ανώμαλο πεδίο είναι προσεγγιστικά ίσο με την προβολή αυτού του πεδίου στη διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου της γης:

$$\Delta B = |\vec{B}_a| \cos \theta = |\hat{B}_0| |\vec{B}_a| \cos \theta = \hat{B}_0 \cdot \vec{B}_a$$

Η ανωμαλία ολικού πεδίου είναι τα μετρούμενα μαγνητικά δεδομένα μετά την απομάκρυνση των διακυμάνσεων που οφείλονται σε μεταβολές του μαγνητικού πεδίου της ιονόσφαιρας χρησιμοποιώντας τα μαγνητικά δεδομένα του σταθμού βάσης και του διεθνούς Γεωμαγνητικού Πεδίου Αναφοράς.

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την μαγνητική ανωμαλία ολικού πεδίου όπως την πήραμε από τις αερομαγνητικές μετρήσεις προβαλλόμενη πάνω σε χάρτη Google Earth της περιοχής που μελετήσαμε.



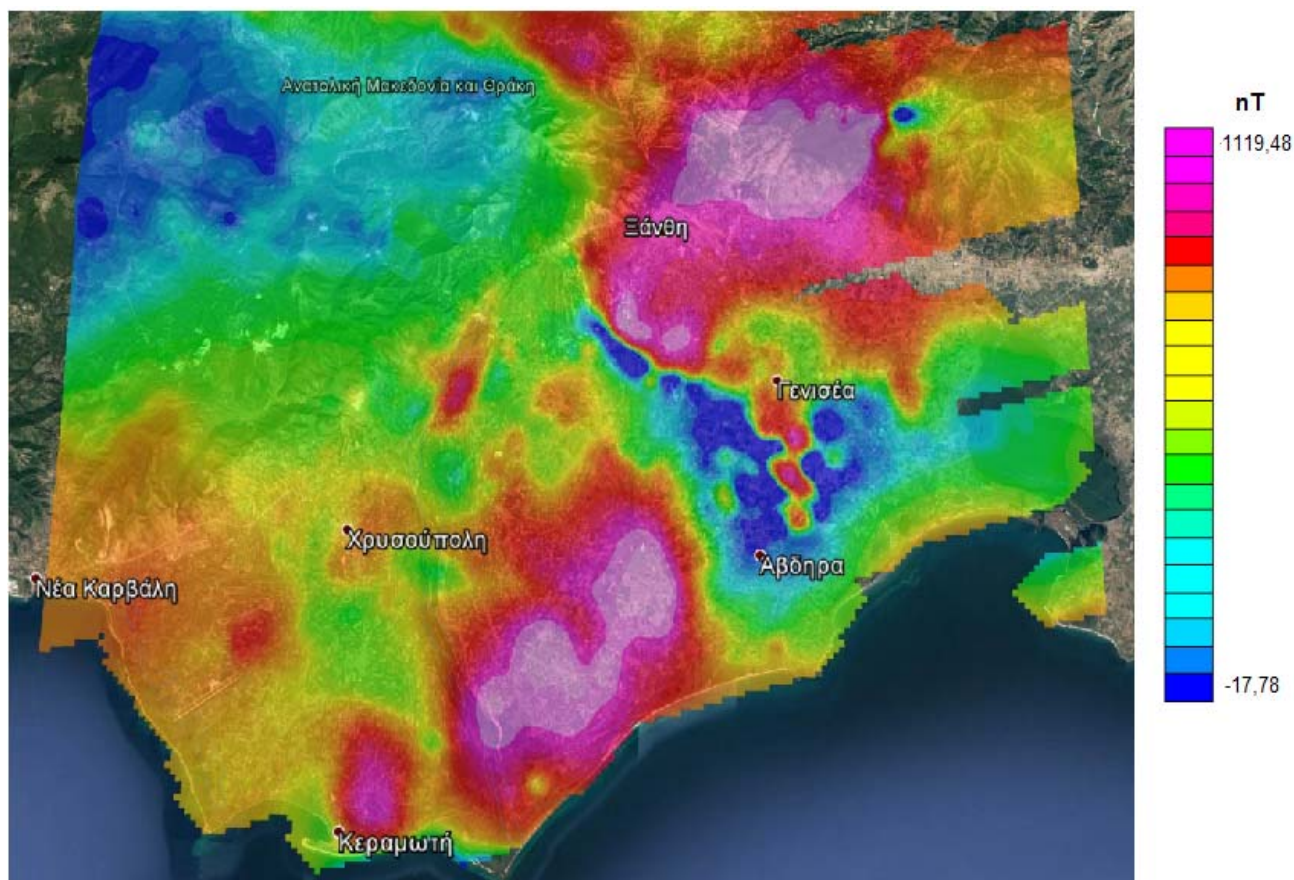
Σχήμα 2. Χάρτης ανωμαλίας ολικού πεδίου.

3.2. Αναγωγή στον πόλο (Reduction to Pole, RTP)

Το σχήμα οποιασδήποτε μαγνητικής ανωμαλίας εξαρτάτε από την έγκλιση και την απόκλιση του κύριου μαγνητικού πεδίου της γης, δηλαδή η ίδια μαγνητική πηγή θα παράγει διαφορετική ανωμαλία ανάλογα με την περιοχή που βρίσκεται. Η αναγωγή στον πόλο μετασχηματίζει το μαγνητικό πεδίου σαν αυτό να βρισκόταν στον πόλο. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα μπορούν να παρασταθούν σε μορφή χάρτη με κατακόρυφο μαγνητικό πεδίο και μηδενική αποκλιση. Με αυτόν τον τρόπο η ερμηνεία των δεδομένων γίνεται ευκολότερη και οι μαγνητικές ανωμαλίες τοποθετούνται συμμετρικά πάνω από τα σώματα που τις προκαλούν.

Τα δεδομένα μετρήθηκαν στα μέσα του 1966. Χρησιμοποιώντας το κατάλληλο μοντέλο IGRF(01/06/1966) για την περιοχή με συντεταγμένες lat: 41° lon: 24,8° υπολογίστηκε η τιμή του πεδίου για την εποχή αυτή $F = 45830,3$ nT, η μαγνητική έγκλιση $I = 57,45^\circ$ και η μαγνητική απόκλιση $D = 1.79^\circ$. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της αναγωγής στον πόλο (σχήμα 3), ενώ οι υπολογισμοί έγιναν με την χρήση της ανάλυσης

Fourier. Παρατηρούμε μια μετάθεση των μαγνητικών ανωμαλιών προς τα ΒΑ.

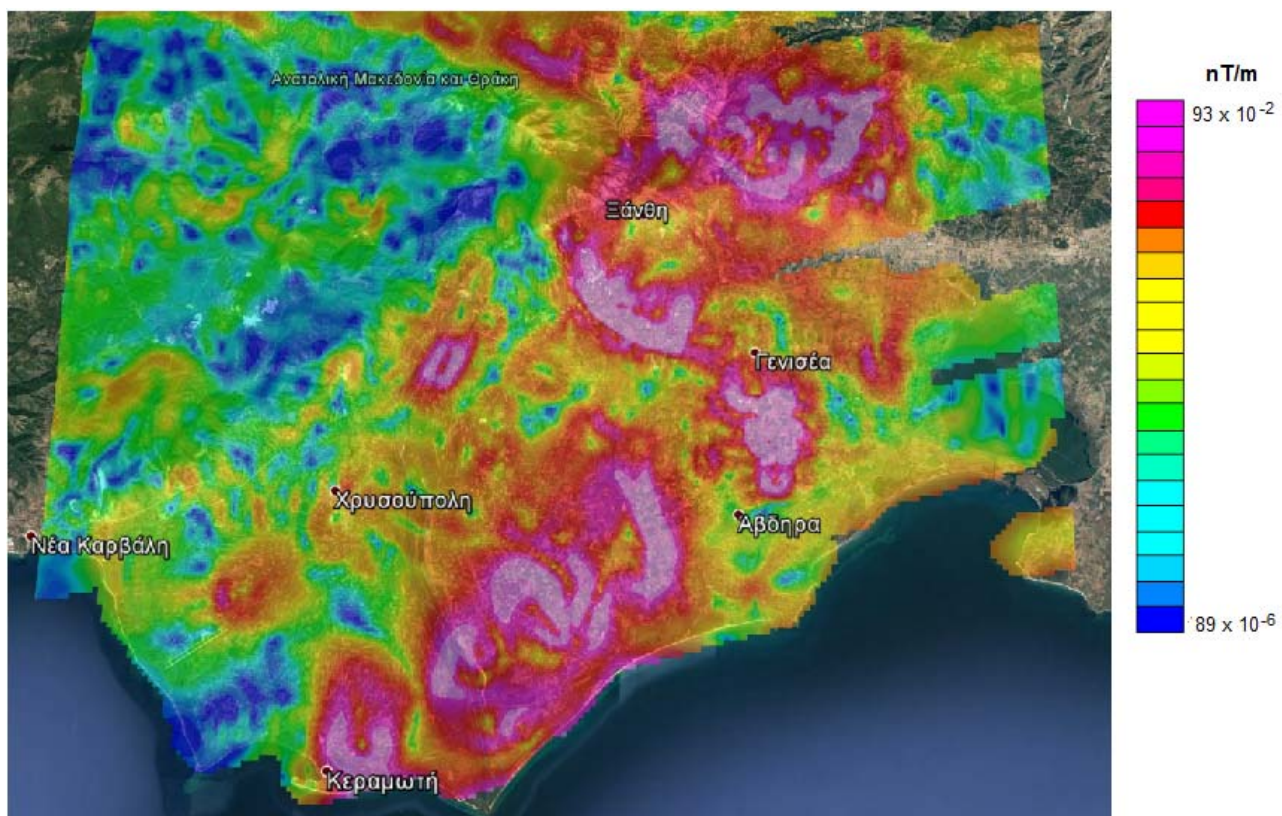


Σχήμα 3. Χάρτης αναγωγής στον βόρειο πόλο.

3.3. Οριζόντια Βαθμίδα (Horizontal Gradient ,HG)

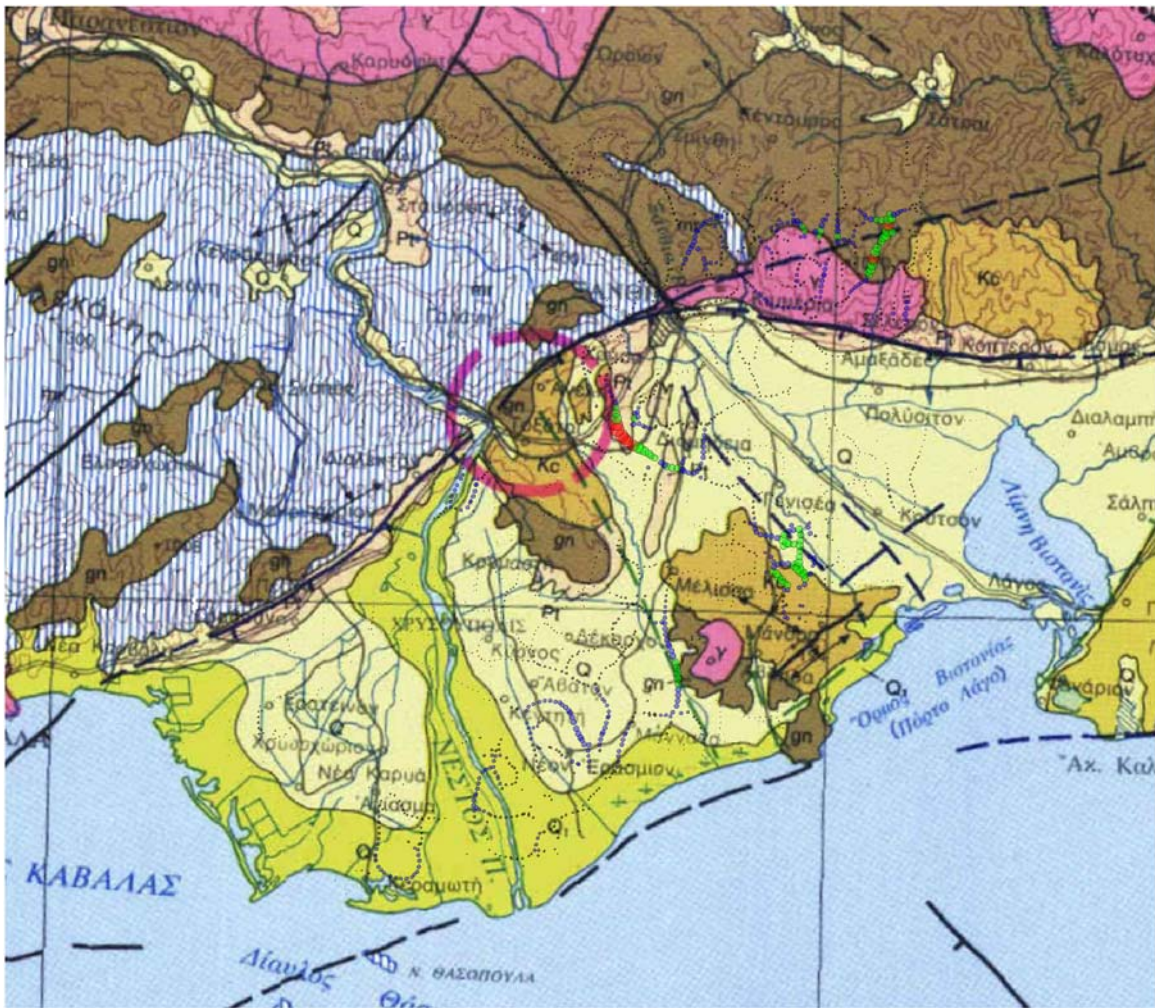
Μετά τη διόρθωση αναγωγής στο πόλο, ένα μαγνητικό σώμα είναι χωρικά πιο άμεσα συσχετισμένο με την σχετική μαγνητική απόκριση (μαγνητική ανωμαλία που προκαλεί αυτό το σώμα). Η μέγιστη οριζόντια βαθμίδα (πιο σωστά τα μέγιστα της συνολικής οριζόντιας βαθμίδας) της ανωμαλίας βρίσκεται κοντά ή πάνω από τα όρια του σώματος. Δηλαδή, ο τελεστής οριζόντιας βαθμίδας σε μορφή χάρτη(που δίνεται στην παρακάτω σχέση), παράγει μέγιστες κορυφογραμμές στα όρια των υπόγειων μαγνητικών σωμάτων και ρηγμάτων. Επιπλέον, η οριζόντια βαθμίδα αναδεικνύει γραμμικά χαρακτηριστικά, που σχετίζονται με τις επαφές.

$$HG = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2}$$



Σχημα 4. Χάρτης Οριζόντιας Βαθμίδας.

Απο τα δεδομένα της οριζόντιας βαθμίδας υπολογίστηκαν τα μέγιστα με την χρήση προγράμματος ανάλυσης καμπυλότητας(σχήμα 5). Παρατηρούμε ότι τα μέγιστα της οριζόντιας βαθμίδας στο νότιο κομμάτι του χάρτη συμπίπτουν με τη νότια απόληξη του ρήγματος των Αβδήρων ενώ κάποια άλλα όρια σωμάτων που αποτυπώνονται στο χάρτη δεν έχουν επιφανειακή εκδήλωση.

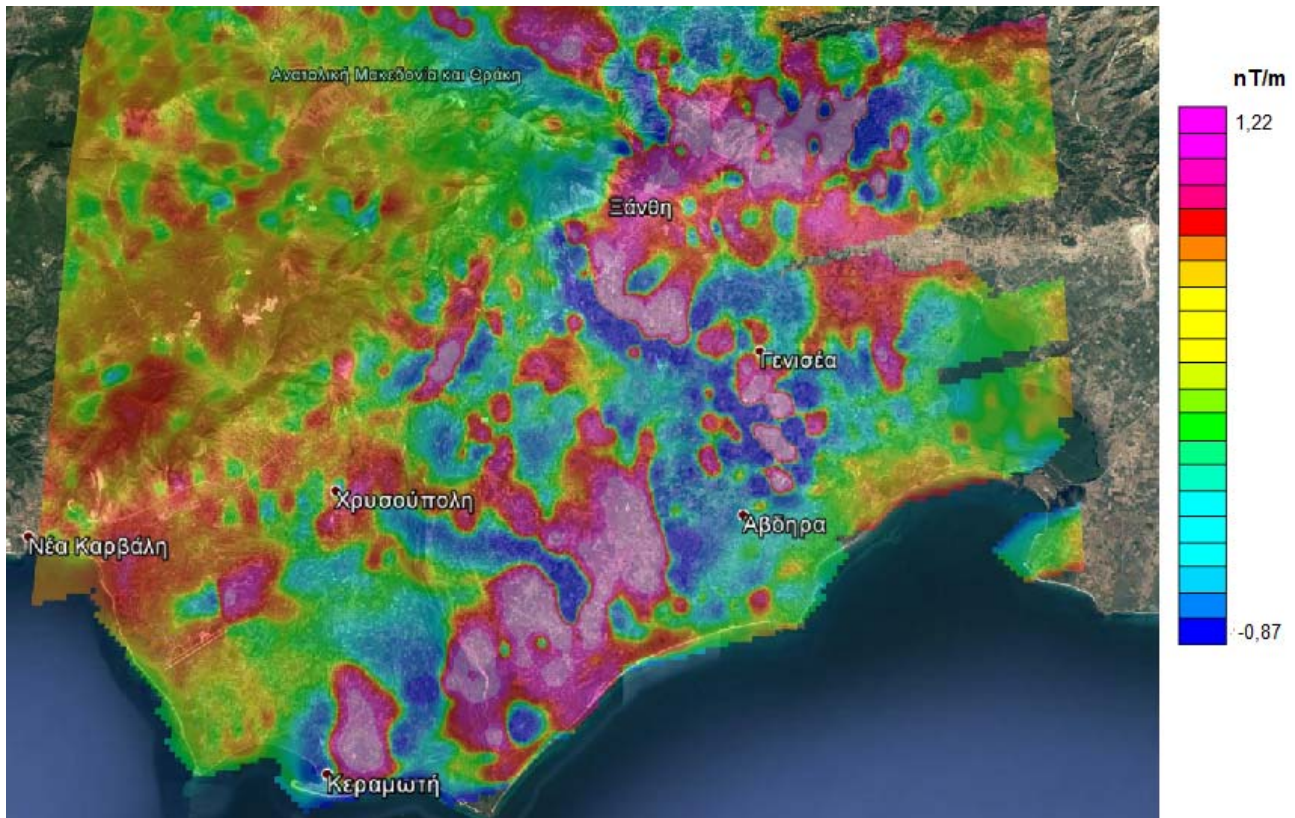


Σχήμα 5. Χάρτης μεγίστων οριζόντιας βαθμίδας.

3.4. Κατακόρυφη Βαθμίδα (Vertical Derivative, VG)

Η κατακόρυφη βαθμίδα (VG), ή ρυθμός μεταβολής μιας μαγνητικής ανωμαλίας σχετίζεται με το βάθος και τη γεωμετρία του σώματος που την προκαλεί. Το φίλτρο VG εξασθενεί τις περιφερειακές ανωμαλίες(βαθύτερες πηγές) και ενισχύει τις τοπικές, πιο μικρές μαγνητικές αποκρίσεις (ρηχές πηγές) και ως τέτοιο είναι ευαίσθητο σε μαγνητικές πηγές και επαφές κοντά στην επιφάνεια καθώς επίσης και στον θόρυβο στα δεδομένα.

$$VG = \frac{\partial M}{\partial z}$$



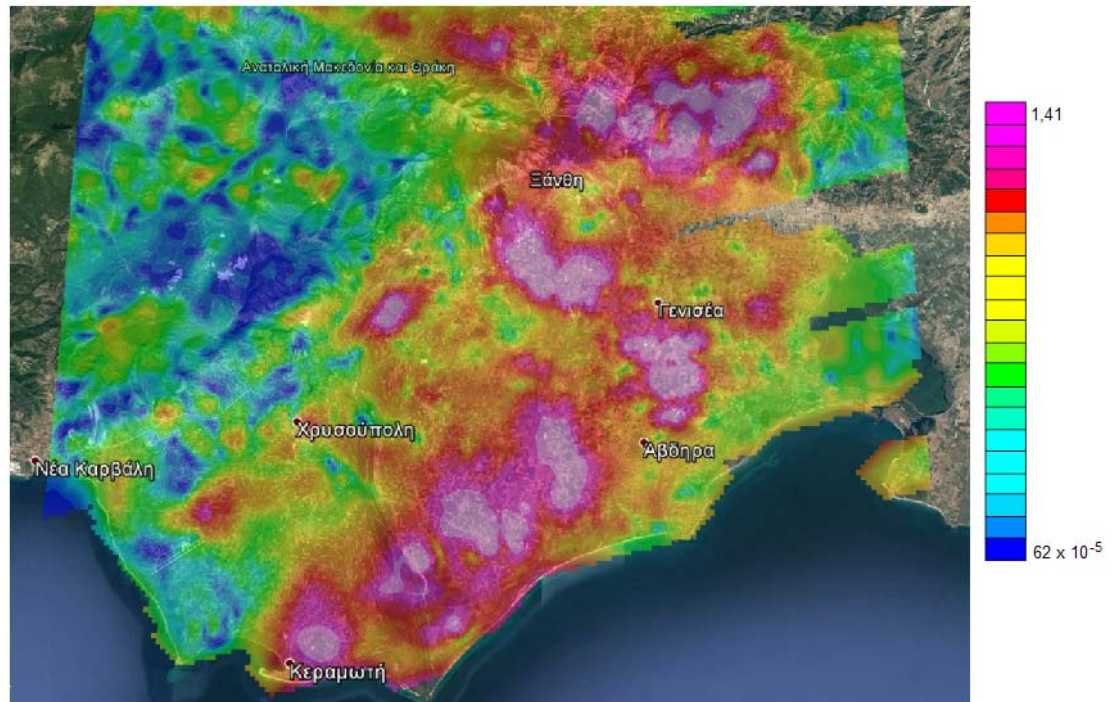
Σχήμα 6. Χάρτης κατακόρυφης βαθμίδας.

Στο σχήμα 6 παρουσιάζεται ο χάρτης της κατακόρυφης βαθμίδας. Οι επιφανειακές πηγές φαίνονται να έχουν μια διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ από την Κεραμωτή μέχρι ΒΔ της Ξάνθης.

3.5. Ολική Βαθμίδα (Total Gradient , Amplitude of Analytic signal)

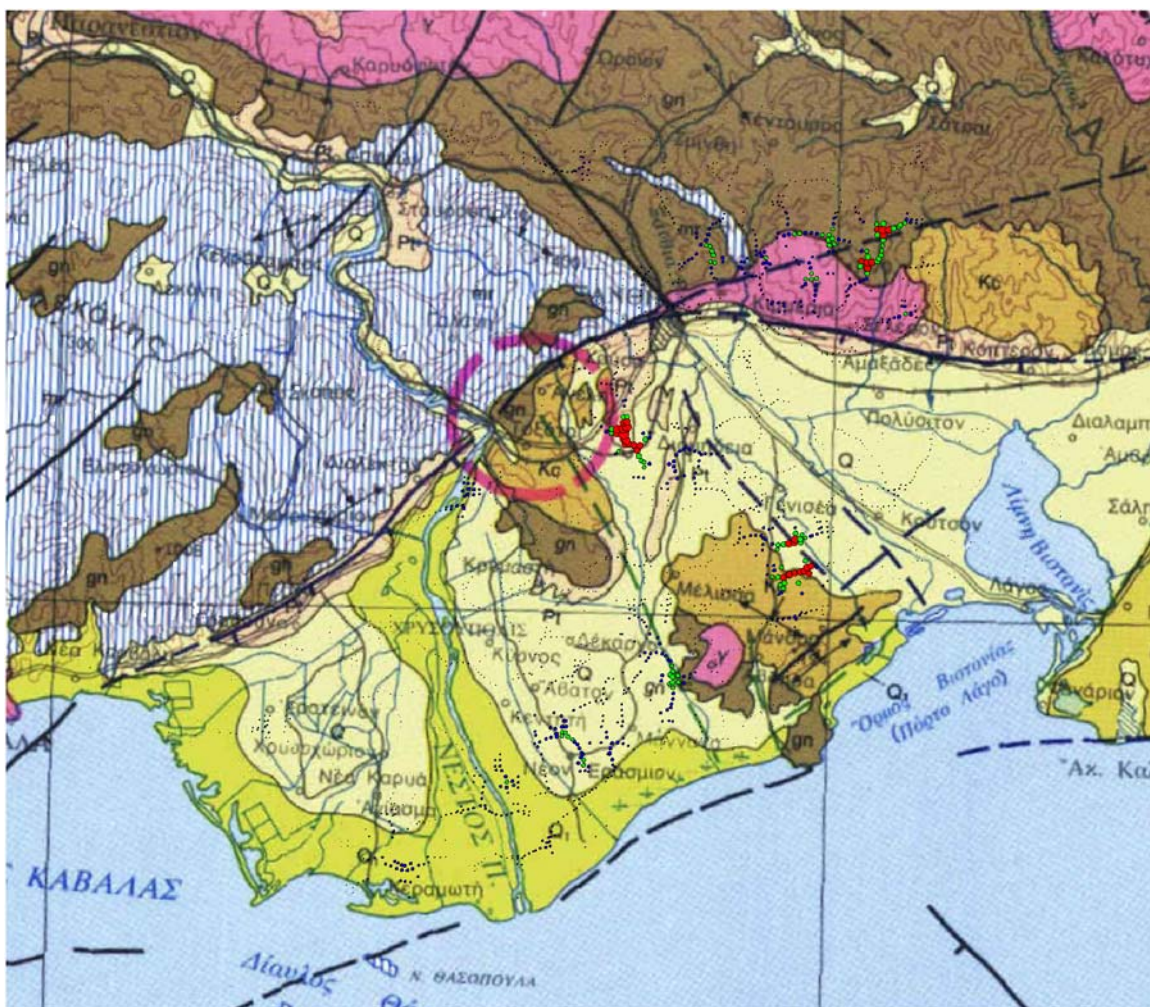
Η ολική βαθμίδα είναι η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων της κάθετης και οριζόντιας βαθμίδας. Όπως και η οριζόντια βαθμίδα, χρησιμοποιείται για να οριοθετηθούν τα άκρα των σωμάτων ή των επαφών. Έχει το πλεονέκτημα έναντι της οριζόντιας βαθμίδας ότι είναι ανεξάρτητη από την βύθιση της επαφής, αλλά και το μειονέκτημα ότι είναι κάπως λιγότερο συνεχής. Συνεπώς, είναι μερικές φορές επωφελής η παράλληλη χρήση και των δύο .

$$TG = |A| = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2}$$



Σχήμα 7. Χάρτης ολικής Βαθμίδας.

Στο σχήμα 7 παρουσιάζεται ο χάρτης της οριζόντιας βαθμίδας. Τα μέγιστα της ολικής βαθμίδας (TG maxima) υπολογίστηκαν με την χρήση προγράμματος ανάλυσης καμπυλότητας(σχήμα 8). Παρατηρούμε ότι υπάρχουν πάρα πολλές ομοιότητες με τον χάρτη του σχήματος 5 αλλά όχι πλήρη ταύτιση.



3.6

Σχήμα 8. Χάρτης μέγιστων ολικής Βαθμίδας.

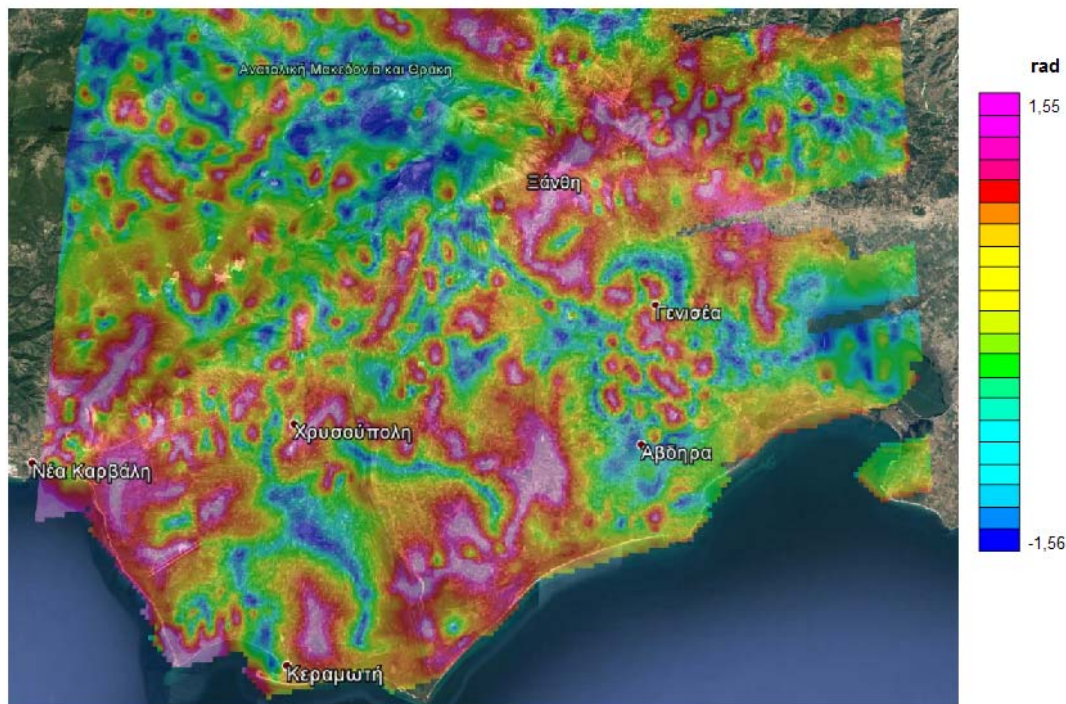
3.6 Γωνία κλίσης (Tilt Derivative ,TD)

Η γωνία κλίσης έχει πολλές ενδιαφέρουσες ιδιότητες (Cooper και Cowan, 2006). Για παράδειγμα, λόγω της φύσης της τριγωνομετρικής συνάρτησης $\arctan$, όλες οι τιμές της κλίσης περιορίζονται σε τιμές μεταξύ $-\pi/2$ και $\pi/2$, ανεξάρτητα από το εύρος της κατακόρυφης παραγώγου ή την απόλυτη τιμή της συνολικής οριζόντιας βαθμίδας. Δηλαδή ενισχύει εξίσου και τις επιφανειακές και τις βαθύτερες μαγνητικές πηγες, σε αντίθεση με την οριζόντια και κατακόρυφη βαθμίδα. Αυτό φαίνεται από την σύγκριση των σχημάτων 4, 6 και 9.

Η γωνία κλίσης είναι το τόξο της εφαπτομένης του κλάσματος της κατακόρυφης βαθμίδας προς την οριζόντια βαθμίδα.

$$TD = \tan^{-1}(VG/HG)$$

14

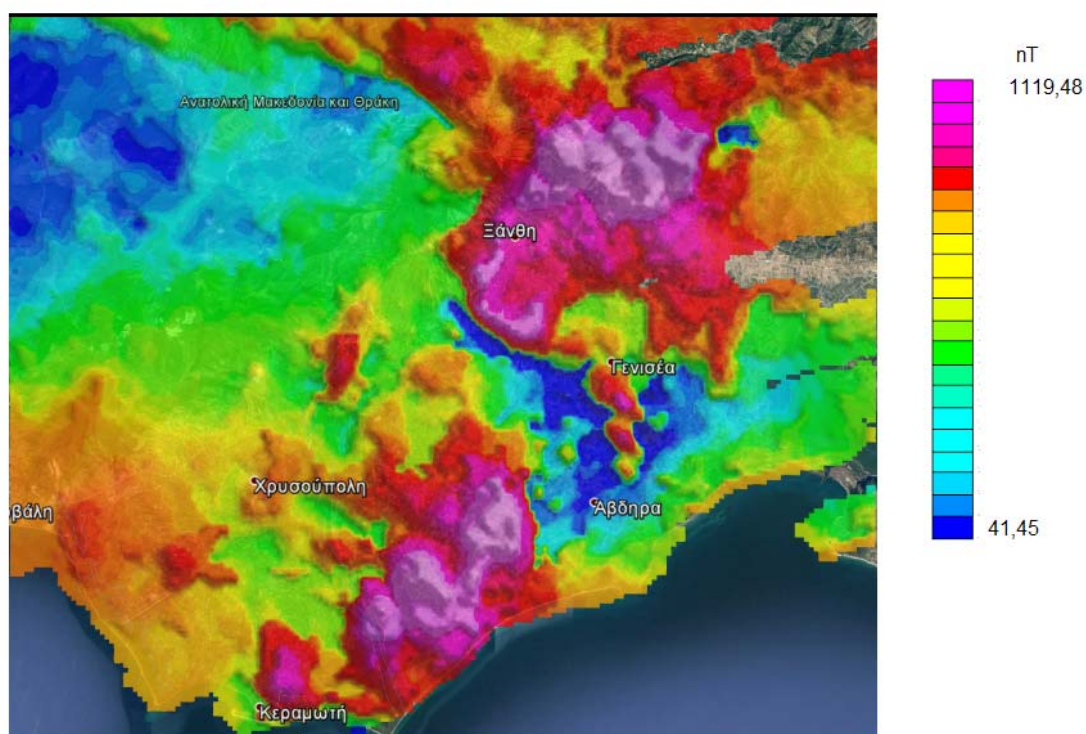


Σχήμα 9. Χάρτης γωνίας κλίσης

3.7 Επιπεδοποίηση (Terracing)

Οι Cordel και McCaffert (1989) παρουσίασαν μια μέθοδο για τον μετασχηματισμό δεδομένων των δυναμικών πεδίων σε επίπεδες ζώνες με όμοιες τιμές της φυσικής ιδιότητας (πυκνότητα ή μαγνήτιση) που χωρίζονται με απότομα όρια μεταξύ τους. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται “επιπεδοποίηση (terracing)” και περιλαμβάνει την χαρτογράφηση της κατανομής της φυσικής ιδιότητας. Το βαρυτικό και μαγνητικό πεδίο που παράγεται από το μοντέλο της φυσικής ιδιότητας δεν προσαρμόζεται απαραίτητα στα δεδομένα, δηλαδή δεν πρόκειται για μέθοδο ισοδύναμων πηγών.

Τελικός σκοπός της επιπεδοποίησης είναι η ανάπλαση των χαρτών των δυναμικών πεδίων σε χάρτες που μποάζουν με γεωλογικούς. Στους οποίους οι μικρές πετρολογικές μεταβολές παραμελούνται μέσα σε ευρύτερες πετρολογικές ενότητες. Εφαρμόστηκε στα δεδομένα μετά την αναγωγή στον πόλο.

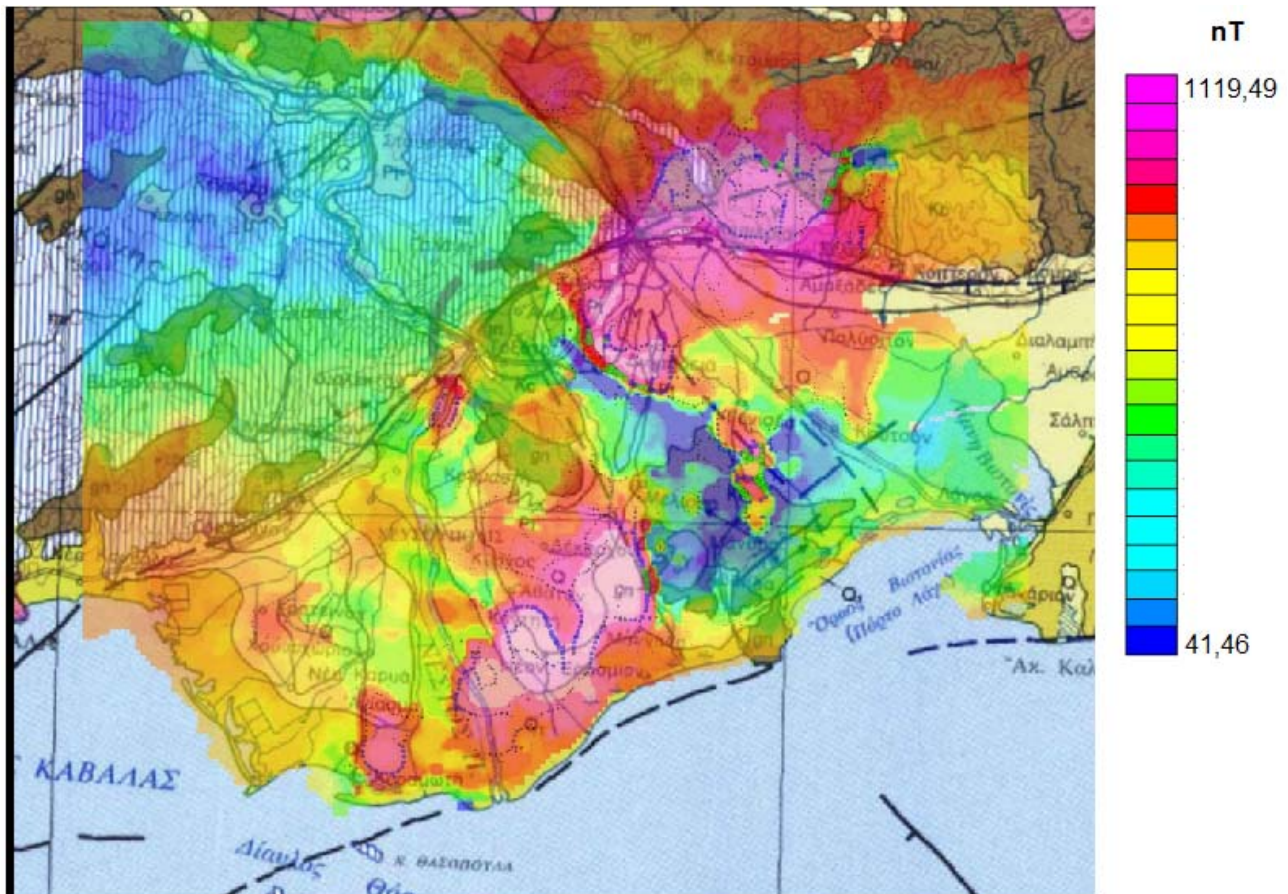


Σχήμα 10. Χάρτης Επιπεδοποίησης(Terracing)

Με θερμά χρώματα(ερυθρά και ιώδη) ναι φαίνονται οι περιοχές με μεγάλη μαγνήτιση. Κάποιες απο αυτες όπως πχ ο γρανιτης της Ξάνθης έχουν επιφανειακή εκδήλωση ενώ κάποιες άλλες στη λεκάνη του Νεστου βρίσκονται θαμμένες κάτω απο τα ιζήματα.

4. Συμπεράσματα

Στο σχήμα 11 βλέπουμε τον συσχετισμό του γεωλογικού χάρτη της περιοχής με κάποια απο τα αποτελέσματα της επεξεργασίας που έγινε στα μαγνητικά δεδομένα(οριζόντια βαθμίδα και επιπεδοποίηση).



Σχήμα 11. Συνθετικός χάρτης ερμηνείας αερομαγνητικών δεδομένων.

Οι σημαντικότερες πηγές μαγνητικών ανωμαλιών είναι οι τριτογενείς γρανιτικές διεισδύσεις και τα ηφαιστειακά πετρώματα. Τα κυριότερα στοιχεία που προκύπτουν από το χάρτη αυτό είναι η προς Νότο συνέχεια του γρανίτη της Ξάνθης, το μαγνητισμένο σώμα κάτω από τα ιζήματα της λεκάνης του Νέστου, και επίσης ότι το ρήγμα των Αβδηρών αποτελεί και μαγνητικό όριο της μαγνητικής ανωμαλίας αυτής. Υπάρχει καλός συσχετισμός τεκτονικής με τις ανωμαλίες του μαγνητικού πεδίου στην περιοχή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Tsokas, G.N., Christofidis, G.C., and Papakostantinou, C., A Geophysical Study of the Granites and the Sedimentary Basins of the Xanthi Area(N.Greece). PAGEOPH, Vol. 146, No. 2 ,365-392, 1996.
- 2.https://www.eoas.ubc.ca/courses/eosc350/content/methods/meth_3/8principles.htm
3. Σταμπολίδης Α. Δ. Το γεωμαγνητικό πεδίο στην Μακεδονία και την Θράκη και η σχέση του με την γεωφυσική και γεωλογική δομή της περιοχής.(Διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη 1999)
4. Phillips, J.D., 2007, Geosoft eXecutables (GX's) developed by the U.S. Geological Survey, version 2.0, with notes on GX development from Fortran code: U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1355.
5. Cordell, L., and McCafferty, A.E., A terracing operator for physical property mapping with potential field data, Geophysics, 54, 621-634, 1989.