

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΣΤΗΝ ΒΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ ΟΠΩΣ ΑΝΑΓΝΩΡΙΖΟΝΤΑΙ ΣΕ ΕΙΚΟΝΕΣ LANDSAT T.M.

Π. Τσόμπος* και C. Bauer**

ΣΥΝΟΨΗ

Ο εντοπισμός, η αξιολόγηση και η διαβάθμιση επιφανειακών θερμοκρασιών μεγάλων περιοχών, δύναται να πραγματοποιηθεί σχετικά γρήγορα, με την βοήθεια της ερμηνείας των θερμικών στοιχείων της σειράς των δορυφόρων LANDSAT. Οι θερμικές αυτές εικόνες, δείχνουν στοιχεία εικόνας (pixel) μεγέθους 120X120m², στην φασματική περιοχή μήκους κύματος από 10,4 έως 12,5 μm, τα οποία μετατρέπηκαν σ' ένα ψηφιακό σήμα από 256 σκάλες (διαβαθμίσεις του τεφρού χρώματος).

Στην περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής (Κεντρική Μακεδονία) μεταξύ Νιγρίτας-Ροδολίβου προς Βορρά και Αρναίας-Κόλπου Ιερισσού προς Νότο, εντοπίστηκαν και αξιολογήθηκαν με τη χρήση G.I.S., διάφορες θερμικές ανωμαλίες μερικές των οποίων πιστεύεται ότι έχουν υδρογεωλογικό ή/και γεωθερμικό ενδιαφέρον.

ABSTRACT

The localization, identification and classification of surfacial temperatures in broad areas can be taken place relatively fast by the use of thermal Landsat data. These thermal data show pixels 120X120m² in the spectral area between 10.4 to 12.5 mm, which have been transformed in a digital signal consisting of 256 levels.

In NE Chalkidiki (Central Macedonia) and in particular in the areas between Nigrita-Rodolibos to the north and Arnea-Ierissos Bay to the south various thermal anomalies have been located and identified. Some of them are considered of possible hydrogeological and/or geothermal interest.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η θερμική εικόνα καταγράφεται στους δορυφόρους της σειράς LANDSAT από τέσσερις ανιχνευτές (detectors) που βρίσκονται στη φασματική ζώνη 6 (Band 6) ο ένας κάτω από τον άλλο. Αυτοί οι ανιχνευτές δείχνουν αποκλίσεις στην λαμπρότητά τους και έτσι γίνεται εφικτή η καταγραφή των "γραμμών" ή "ζωνών" της Εικόνας NASA 1982, 1984.

Κατά την επεξεργασία της εικόνας, στην επίγεια βάση της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας του Διαστήματος ESA (European Space Agency) στην Ιταλία, εισάγονται βασικές διορθώσεις στα πρωτογενή στοιχεία (π.χ. τα πρωτογενή pixel 120x120 m², αναγάγονται σε μονάδες μεγέθους 30 X 30 m²).

Εδώ προστίθενται επιπλέον γραμμές στην εικόνα, σε ακανόνιστα διαστήματα έτσι ώστε οι γραμμές ή ζώνες της εικόνας μετά απ' αυτό, να μην δύναται να

* I.G.M.E., Dpt. for Remote Sensing Applications, 70 Messoghion Str., 11527, Athens, Greece.

** Freie Universitat Berlin-Institut für Geologie-Geoinformatik Malteser str. 74-100 Berlin 46.

διορθωθούν με ένα από τα συνήθη προγράμματα διόρθωσης εικόνας. Για μία σύγκριση, δηλαδή την επίθεση μιας εικόνας σε άλλες εικόνες ή χάρτες, πρέπει όλα τα στοιχεία να μετατραπούν σε ένα κοινό δίκτυο (Γεωαναφορά) και να διορθωθούν ως προς την θέση τους. Π.χ. σε στοιχεία (pixel) μεγέθους 25.25m², τα οποία αντιστοιχούν σε ένα προκαθορισμένο σύστημα προβολής χαρτών. Γι' αυτό πρέπει να επιλεγθούν σημεία αναγωγής, δηλαδή σημεία στην εικόνα τα οποία δύναται να ορισθούν επακριβώς με τις εκάστοτε συντεταγμένες τους (γραμμή ή ζώνη) και σ' έναν κατάλληλο χάρτη με τις αντίστοιχες γεωγραφικές συντεταγμένες (πλάτος, μήκος). Η σκηνή (εικόνα) του θεματικού χαρτογράφου/T.M. (ημέρας) είναι σε όλα τα κανάλια της επιθετικά όμοια. Σημεία λοιπόν αναγωγής δύναται να ορισθούν και στα κανάλια με υψηλότερη γεωμετρική διακριτικότητα.

Η μετατροπή των ποσοτήτων ακτινοβολίας που μετρήθηκε στον δορυφόρο, η οποία δύναται να παρουσιαστεί και ως δεκαδική τιμή (DN=digital numbers) σε παράσταση 8-bit, δύναται σύμφωνα με τον τύπο των SCHOTT & VOLCHCOCK (1985) δίδεται ως :

$$L_{\lambda} = L_{\min} + DN/255 \cdot (L_{\max} - L_{\min}),$$

εδώ L_{λ} είναι η μέση φασματική πυκνότητα ακτινοβολίας επάνω σ' όλα τα πλάτος της ζώνης (ταινίας) του ανιχνευτή σε

[mW.cm⁻².sr⁻¹.μm⁻¹], L_{\min} και L_{\max} [mW.cm⁻².sr⁻¹.μm⁻¹] είναι οι μικρότερες και μεγαλύτερες τιμές των φασματικών πυκνοτήτων ακτινοβολίας των δορυφορικών σκηνών. Αυτές οι τιμές αναγράφονται συνήθως στις μαγνητοταινίες των εικόνων.

Η μετατροπή της φασματικής πυκνότητας της ακτινοβολίας σε τιμές θερμοκρασίας πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τον τύπο των SCHOTT & VOLCHCOCK (1985) με τιμές από την βιβλιογραφία SINGH, S.M. (1988) ως εξής:

$$T_{\text{sat}} = K_2 / (K_1 / L_{\lambda})^{-1}$$

ln είναι ο φυσικός λογάριθμος, K_1 και K_2 για τον Landsat-5 έχουν τις τιμές :

$$K_1 = 60.776 \text{ [mW.cm}^{-2}\text{.sr}^{-1}\text{.}\mu\text{m}^{-1}\text{]}$$

$$K_2 = 1260.56 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Χαρακτηριστικές τιμές για L_{\min} και L_{\max} είναι 0.124 και 1.560 [mW.cm⁻².sr⁻¹.μm⁻¹] αντίστοιχα.

Έτσι για την μετατροπή των δορυφ. στοιχείων σε στοιχεία θερμοκρασίας που πραγματοποιήθηκε σε ακέραια βήματα έχουμε (Βλέπε Πίνακα 1).

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΟΜΑΛΙΕΣ ΣΤΗΝ ΒΑ ΧΑΛΚΙΑΙΚΗ

Η επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας του θεματικού χαρτογράφου LANDSAT 5 T.M. με συντεταγμένες 183, 32 (11 Νοεμβ. 1985) πραγματοποιήθηκε στο Ινστιτούτο Γεωπληροφορικής-Τηλεπισκόπησης της Γής του Ελεύθερου Πανεπιστημίου του Βερολίνου.

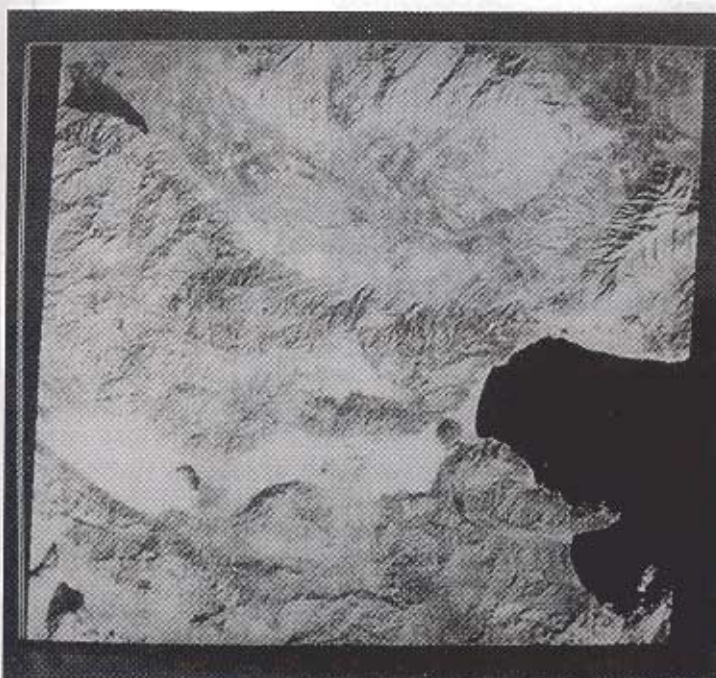
Η ψηφιακή επεξεργασία της εικόνας αυτής έγινε στο Σύστημα επεξεργασίας εικόνων ERDAS. Από τα τοπογραφικά φύλλα της περιοχής που καλύπτει η εικόνα, κλίμακας 1: 50.000 ορίσθηκαν σημεία προσαρμογής και τελικά έγινε η γεωμετρική διόρθωση της εικόνας με την χρήση της μεθόδου "nearest neighbor". Το μέγεθος των στοιχείων εικόνας (pixel) ορίσθηκε με 25X25m² στο UTM δίκτυο της διορθωμένης εικόνας. Επίσης για την καλύτερευση της αναγνώρισης μικρότερων λεπτομερειών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της "ενίσχυσης των ορίων της εικόνας" (Edge enhancement).

Οι φασματικές ζώνες του θεματικού Χαρτογράφου 3 (0,63-0,69 μm), 4 (0,76-0,90 μm) και 7 (2,08-2,35 μm) της γεωμετρικά διορθωμένης εικόνας, απεικονήθηκαν σ' έναν εκτυπωτή OPTRONICS με μέγεθος στοιχείων εικόνας (pixel) από 50X50μm² σε μία μπλέ-πράσινο και κόκκινο ψευδοέγχρωμη σύνθεση (Φωτογράφιση με φίλμ Ektachrome) Εικ.1.

Πίν. 1: Μετατροπή των ποσοτήτων ακτινοβολίας, σε τιμές θερμοκρασίας.

Table 1: Transformation of EM radiation quantity on Satellite in thermal values.

Διαβαθμίσεις τερνού χρώματος	L_{λ}	Tset ^{°K}	Tset ^{°C}
105.00	0.72	282.02	9.87
106.00	0.72	283.51	10.36
107.00	0.73	284.00	10.85
108.00	0.73	284.49	11.34
109.00	0.74	284.98	11.83
110.00	0.74	285.47	12.32
111.00	0.75	285.95	12.80
112.00	0.75	286.43	13.28
113.00	0.76	286.91	13.76
114.00	0.77	287.38	14.23
115.00	0.77	287.86	14.71
116.00	0.78	288.33	15.18
117.00	0.78	288.80	15.65
118.00	0.79	289.27	16.12



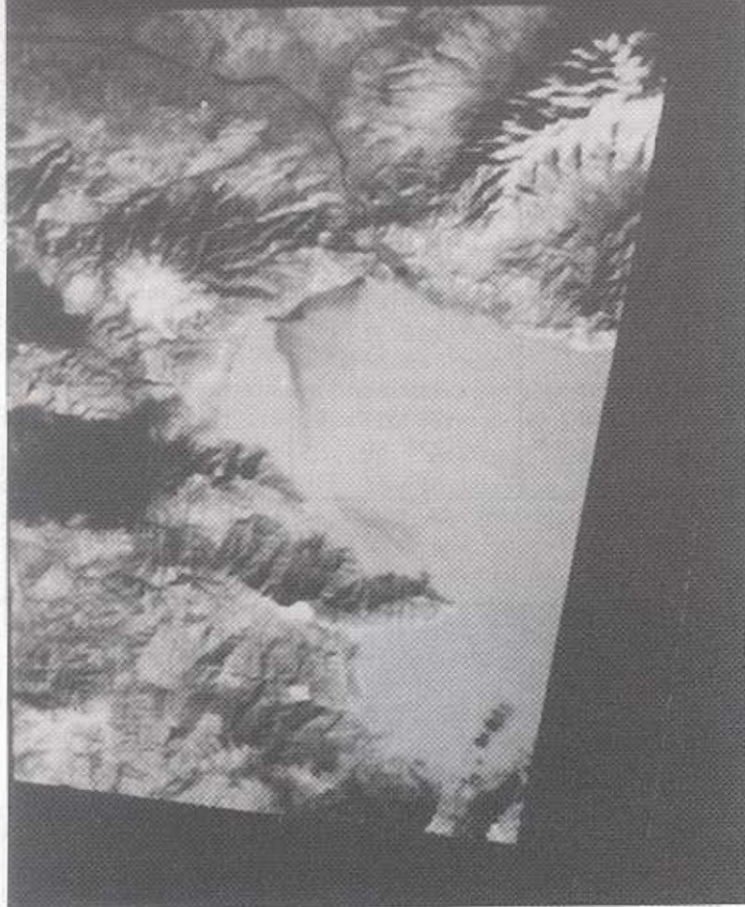
Εικ. 1.: Ψευδοέγχρωμη σύνθεση εικόνας (F.C.C. 7,5,2) του LANDSAT T.M. 11.11.85.

Phot. 1: False Colour Composite F.C.C. 7,5,2, of the LANDSAT T.M. Imagery 11.11.85.

Το κανάλι 6 (10,40-12,50 μ m) του θεματικού χαρτογράφου LANDSAT επεξεργάστηκε με ένα φίλτρο μέσου όρου λόγω των εντονων γραμμώσεων, πριν την γεωμετρική διόρθωση της εικόνας. Μετά την διόρθωση, οι δεκαδικές τιμές, υπολογίστηκαν σε θερμοκρασίες με την χρήση ενός levelslicing του ERDAS Εικ. 2.

Η Εικόνα 2 αποδίδει το αποτέλεσμα της επεξεργασίας του καναλιού 6 ή θερμικού καναλιού της δορυφορικής εικόνας 183/32 του θεματικού χαρτογράφου LANDSAT 5 T.M. Εδώ διακρίνονται χρωματικές διαφορές μεταξύ του λευκού και μαύρου χρώματος (γκρίζες διαβαθμίσεις) οι οποίες εκφράζουν τις διαφορετικές θερμοκρασίες της επιφάνειας που απεικονίζεται. (GUNTER, R. 1977, ΤΣΟΜΠΟΣ Π. 1990).

TM 183-32 Band 6, thermal IR



Εικ. 2: Κανάλι 6 της εικόνας T.M. του LANDSAT 5 της ΒΑ Χαλκιδικής.

Phot.2: Channel 6 of LANDSAT 5 T.M. scene of NE Chalkidiki.

Σύμβολον.

Η θερμική ανωμαλία N° 2 οφείλεται στην μεγαλύτερη θέρμανση των νότιων παρυφών του όρους Σύμβολον. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι τα εδάφη προέρχονται κυρίως από πλειοκαινικούς αργίλους και λατύπες μαρμάρων καθώς και κρυσταλλικά μάρμαρα. Στο ανατολικό τμήμα της θερμικής αυτής ανωμαλίας και εντός των μαρμάρων βρίσκονται τα γνωστά ιαματικά θερμά λουτρά Ελευθερών.

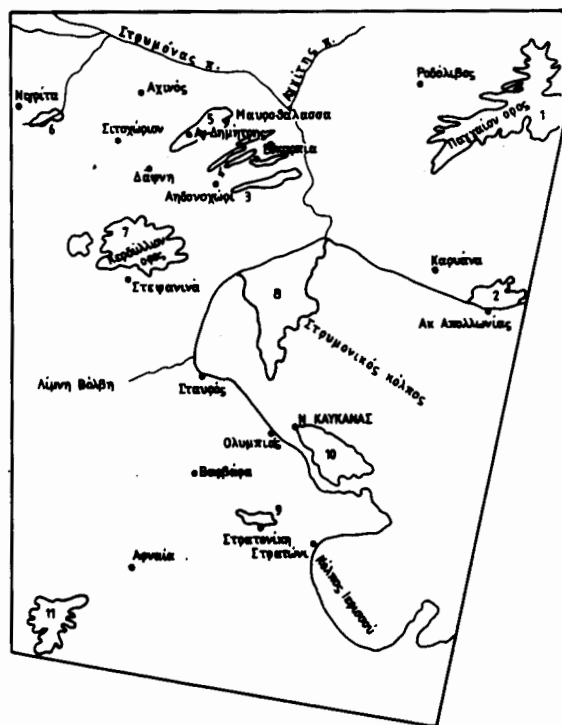
Οι θερμικές ανωμαλίες 3 έως 6 οφείλονται σε μικρές εκροές θερμών υδάτων στις βόρειες παρυφές του όρους Κερδύλλια στην περιοχή μεταξύ Αηδονοχωριού και των γνωστών θερμών εκφορτίσεως της Νιγρίτας. Στην μεγέθυνσή της περιοχής αυτής στην Εικόνα 3 φαίνονται επακριβώς, μετά την σύγκριση της θερμικής απεικόνισης Εικ. 3 και αυτής των καναλιών 3, 4 και 7 Εικ.1 σε θέσεις ανάβλυσης θερμών υδάτων (Σχ. 2).

Η θερμική ανωμαλία 7, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, διότι κατά την σύγκρισή της με την Εικ. 1, φαίνεται ότι η περιοχή της θερμικής αυτής

Αυτές οι θερμικές ανωμαλίες, μερικές εκ των οποίων καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις και οφείλονται κυρίως στη θέση των παρυφών των βουνών ως προς την θέση του ηλίου. Οι παρυφές που επιδέχονται την ακτινοβολία του ηλίου θερμαίνονται γρηγορότερα και έτσι παρουσιάζονται πιο ανοικτόχρωμες από τις πλευρές που σκιάζονται, LIST F.U. D BAUER, C. (1992), SCANVIC, J.V. (1983).

Η θερμική ανωμαλία N° 1 στο Σχ. 1 απεικονίζει τις υψηλότερες κορυφές του όρους Παγγαίου, οι οποίες αποτελούνται εξολοκλήρου από λευκούς ασβεστολίθους. Οι ασβεστολίθοι αυτοί όπως φαίνεται και στην Εικ. 1 δεν καλύπτονται από βλάστηση και αυτός είναι ο κύριος λόγος που θερμαίνονται περισσότερο σε σύγκριση με τις νότιες παρυφές του Παγγαίου όρους, ή τις βόρειες παρυφές του όρους

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ Β.Α. ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ
ΑΠΟ LANDSAT T.M. 138/32 ΚΑΝΑΛΙ 6



Σχ. 1: Θερμικές ανωμαλίες της ΒΑ Χαλκιδικής από την 183/32 Κανάλι 6 του LANDSAT 5 T.M.

Fig. 1: Thermal anomalies in NE Chalkidiki from the 183/32 channel 6 of LANDSAT 5 TM.

ανωμαλίας, καλύπτεται πλήρως από βλάστηση. Εξετάζοντας την θερμική αυτή ανωμαλία πληρέστερα με την βοήθεια του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών Atlas, βλέπουμε ότι δεν αποτελείται από ενιαία θερμοκρασία αλλά διαβαθμίζεται από το κέντρο της προς την περιφέρεια σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (Σχ. 3).

Επιθέτοντας τον γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. στην ανωμαλία αυτή πάλι με την χρήση του G.I.S. Atlas καθώς και την ερμηνεία των μεγάλων τεκτονικών ασυνεχειών που αναγνωρίστηκαν στην περιοχή αυτή σε εικόνες LANDSAT T.M. (Σχ. 4) διαπιστώνεται ότι το κέντρο της θερμικής ανωμαλίας, βρίσκεται στην τομή δύο μεγάλων τεκτονικών συστημάτων με διεύθυνση Β-Ν και ΒΑ/ΝΔ. Επίσης έχουμε έντονη παρουσία ασβεστολιθικών πετρωμάτων μεταξύ σχιστολίθων, γνευσίων και υπερβασικών πετρωμάτων. Πιστεύουμε ότι η θέση αυτή, θα πρέπει να ερευνηθεί ειδικότερα από την πλευρά της γεωθερμική άποψη.

Οι θερμικές ανωμαλίες 8 και 10 βρίσκονται στον θαλάσσιο χώρο του Στρυμωνικού κόλπου. Η Ν° 8 δείχνει τη διασπορά των ψυχρότερων υδάτων του Στρυμόνα στο θαλάσσιο περιβάλλον του Κόλπου, με

ενδείξεις για πιθανές υποθαλάσσιες εκφορτίσεις στο δυτικό τμήμα της ανωμαλίας (Εικ. 2).

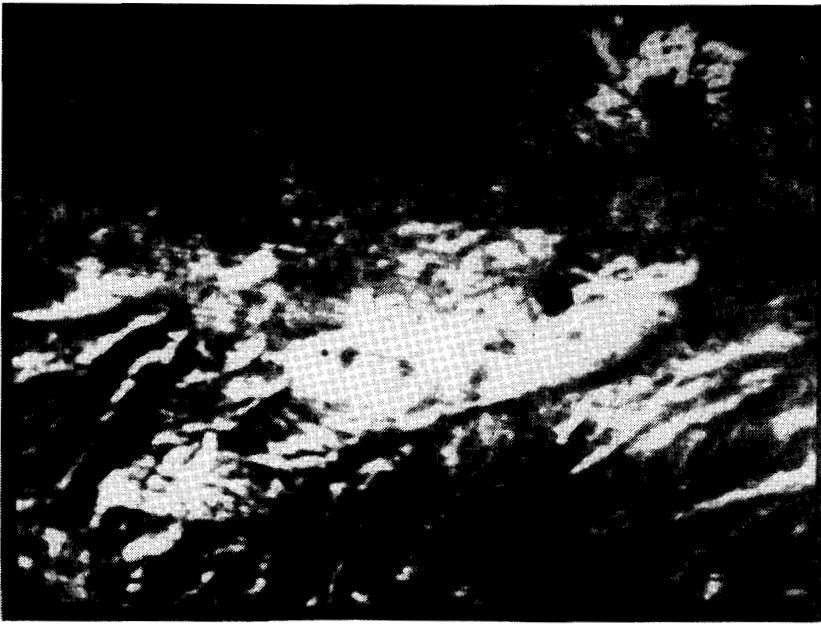
Η Ν° 10 βρίσκεται νοτίως της νήσου Καυκάνας έναντι της πόλεως Ολυμπιάδα. Και στην περίπτωση αυτή η ανωμαλία αυτή πιθανόν να οφείλεται σε εκφορτίσεις γλυκών υδάτων στην προέκταση του μεγάλου ρήγματος διεύθυνση Α-Δ στα νότια όρια της λίμνης Βόλβη-Ολυμπιάδα-Ν. Καυκάνας.

Η θερμική ανωμαλία Ν° 9 οφείλεται σε πρόσφατη πυρκαγιά πριν από την ημερομηνία λήψης της δορυφορικής εικόνας. Αυτό διαπιστώθηκε κατά την σύγκρισή της με συνδυασμούς άλλων καναλιών. Στην εικόνα 1 με ερυθρό χρώμα αποτυπώνεται η τέφρα των κατεστραμμένων από τη φωτιά περιοχών (HABERACKER, P. 1985).

Η ανωμαλία Ν° 11 βρίσκεται επίσης σε περιοχή με εναλλαγές ασβεστολιθικών πετρωμάτων νοτίως του γρανίτη της Αρναίας, χωρίς να ερευνηθεί περαιτέρω.

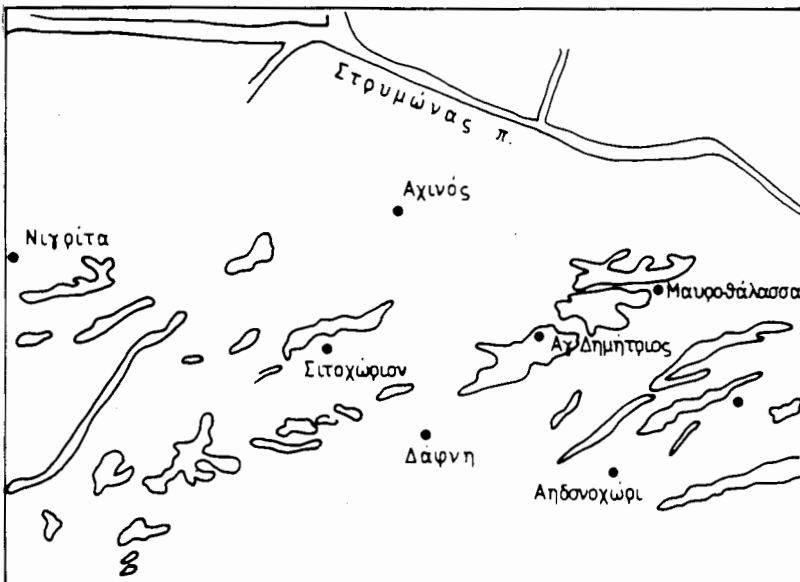
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι η επεξεργασία των θερμικών στοιχείων η σύγκρισή τους με άλλα φασματικά στοιχεία της σειράς των δορυφόρων LANDSAT, καθώς και η αλληλοεπίθεσή τους και σύγκρισή τους με γεωλογικές-τεκτονικές



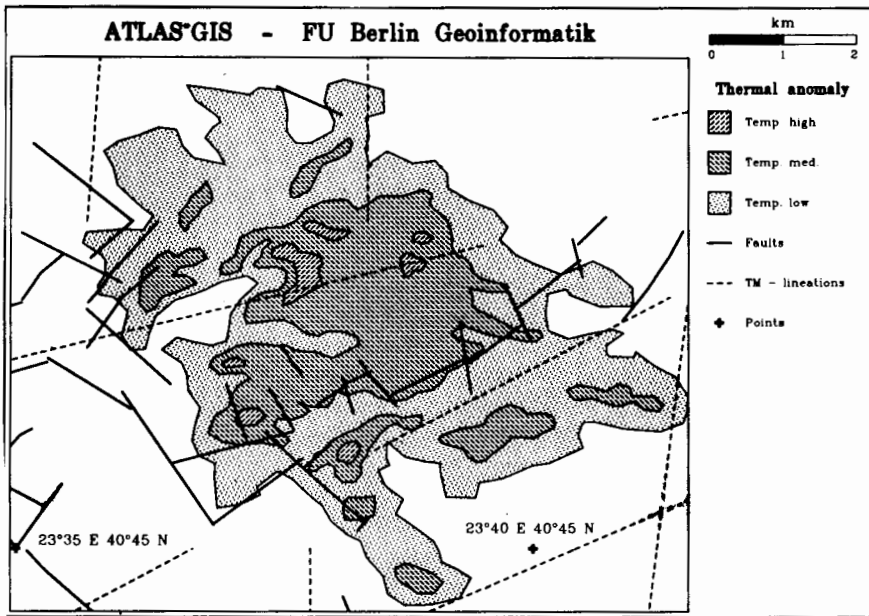
Εικ. 3: Ασπρόμαυρη μεγέθυνση κανάλι 6 της εικόνας LANDSAT 5 T.M. μεταξύ της Νιγρίτας-Αηδονοχωρίου.

Phot. 3: BW enlargement channel 6 of LANDSAT 5 T.M. Imagery between Nigrita and Aidionochori.

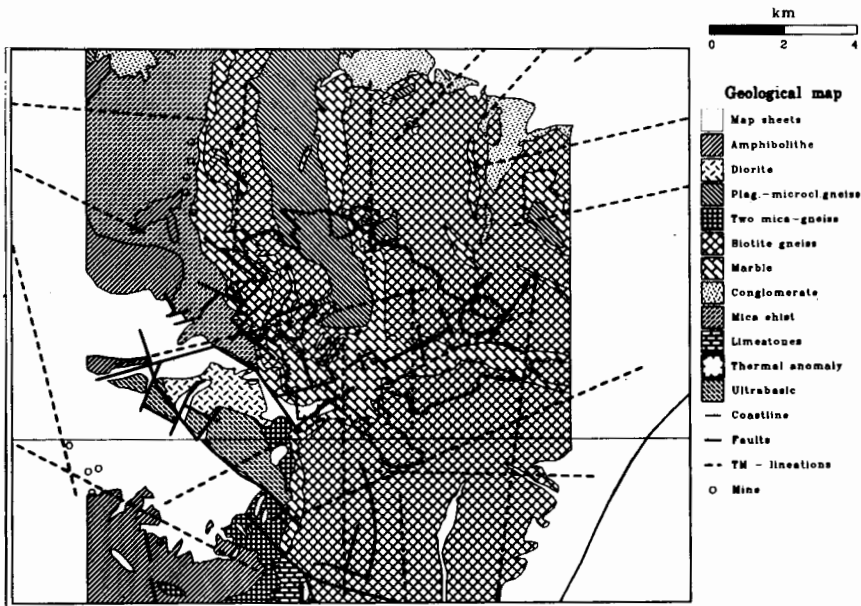


Σχ. 2: Θερμικές ανωμαλίες στην περιοχή μεταξύ Νιγρίτας και Αηδονοχωρίου από το κανάλι 6 της Εικόνας LANDSAT T.M. 183/32.

Fig. 2: Thermal anomalies in the area between Nigrita and Aidionochori from LANDSAT/T.M. Imagery, Channel 6.



Σχ.3: Θερμικές διαβαθμίσεις της θερμικής ανωμαλίας 7 βόρεια των Στεφανινών.
 Fig.3: Thermal classification of the anomaly N° 7 north of Stefanina.



Σχ. 4: Αλληλοεπίθεση θερμικών, γεωλογικών και τεκτονικών πληροφοριών στην περιοχή της θερμικής ανωμαλίας N° 7 με χρήση του G.I.S. Atlas.
 Fig. 4: Overlapping of thermal, geological and tectonical information in the area N° 7, by the mc of Atlas G.I.S.

πληροφορίες με την χρήση των Γ.Σ.Π., βοηθούν στον εντοπισμό, αξιολόγηση και διαβάθμιση επιφανειακών θερμοκρασιών μεγάλων περιοχών σε πολύ σύντομο χρόνο.

Στην περιοχή βορείως των Στεφανινών στην ΒΑ Χαλκιδική εντοπίστηκε θερμική ανωμαλία που χρήζει περαιτέρω έρευνας, λόγω της πιθανής της σχέσης με το γνωστό Γεωθερμικό πεδίο της ευρύτερης περιοχής. Επίσης στο θαλάσσιο περιβάλλον νοτίως της νήσου Καυκάνας εντοπίστηκε μεγάλη εκφόρτιση ψυχρών υδάτων η οποία πιθανόν να συνδέεται με την προέκταση του μεγάλου ρήγματος Α-Δύσης της λίμνης Βόλβης-Ολυμπιάδα-Νήσου Καυκάνας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ERDAS (Software Erdas 74).
- ESA European Space Agency (1984). TM digital product description. Earthnet Programme Office, Rev. 1., 19S., Fucino.
- GUNTHER, R. (1977). Zur Prospection auf geothermale Anomalien, Erfahrungen einer Modelluntersuchung in Polichnitos, Lesbos (Griechenland). Geol. Rundschau 66, 1, 10-33, Stuttgart 1977.
- HABERACKER, P. (1985). Digitale Bildverarbeitung, Grundlagen und Anwendungen. 377 S., München (Hanser).
- LIST, F. K. and BAUER, C., (1992). Thermalkartierung von Berlin.- Endbericht für Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz.- Mskr., 5 pp., Berlin (FU).
- NASA (1982). Landsat Data User Notes.- U.S. Geol. Survey/NOAA/Sioux Falls.
- NASA (1984). A prospectus for Thematic Mapper research in the Earth Sciences. NASA Tech. Memo. 86149, 66 pp., Goddard Space Flight Center, Greenbelt.
- SCANVIC, J.V. (1983). Utilisation de la teledetection dans les sciences de la terre. B.R.G.M. Manuels et Methodes N° 7 Orleans 1983.
- SCHOTT, J. R. and VOLCHOCK, W. J. (1985). Thematic Mapper infrared calibration. Photogramm. Eng. remote Sens., 51, 9, p. 1351-1357, Falls Church, VA.
- SINGH, S. M. (1988). Brightness temperature algorithms for Landsat Thematic Mapper data. Remote Sens. Envir., 24, p. 509-512, New York, N.Y.
- ΤΣΟΜΠΟΣ, Π. (1990). Υδρογεωλογικές έρευνες στα Βόρεια Παράλια της Ν. Κρήτης με τη βοήθεια της θερμικής υπέρυθρης αεροφωτογράφισης. Δελτίο Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., XXV/4 289-302 1991-5° Συνέδριο Ε.Γ.Ε., Θεσ/νίκη, Μάιος 1990.