

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ V**

### **ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ**

#### **1. Γενικά**

Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι του ερευνητικού προγράμματος, απαραίτητη ήταν η πολυθεματική προσέγγιση του προβλήματος, μέσα από την επεξεργασία πλήθους και διαφόρου είδους δεδομένων σχετικών με την τοπογραφία, γεωλογία, τεκτονική, μορφοτεκτονική, τις δορυφορικές εικόνες Ραντάρ, τα σεισμολογικά και τα γεωδαιτικά δεδομένα GPS (Εικόνα 1). Τα δεδομένα ήσαν διαφόρου τύπου (ascii, raster, διανυσματικά (vector), αναλογικά) σε διαφορετικά χαρτογραφικά συστήματα (Transverse Mercator, γεωγραφικές συντεταγμένες κ.ά.) και γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς (WGS'84, HGRS'87). Κρίθηκε αναγκαίο, η διαχείριση της πολυθεματικής πληροφορίας να γίνει μέσα από ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ / GIS) με σκοπό:

- Την προσαρμογή των δεδομένων σε Κοινό Χαρτογραφικό Προβολικό Σύστημα (Map Projection) και Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (Datum).
- Την ανάπτυξη και οργάνωση της Βάσης Δεδομένων με την απαραίτητη πληροφορία, ώστε ανά πάσα στιγμή να είναι δυνατή η διαχείριση, ανάλυση καθώς και ενημέρωση αυτής.
- Την σύνθεση και διαχείριση θεματικών και συνθετικών επιπέδων πληροφορίας σχετικών με Τοπογραφικά, Γεωλογικά, Τεκτονικά και Γεωδαιτικά δεδομένα καθώς και χαρτών όπως: Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου, Γεωλογικό Χάρτη, Χάρτη Σεισμικών Επικέντρων.
- Την εύκολη εξαγωγή συμπερασμάτων συνδυάζοντας διάφορα θεματικά επίπεδα και χάρτες.

Η Ανάπτυξη Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών για την περιοχή μελέτης ακολουθεί τα παρακάτω στάδια:

## 2. Εισαγωγή Δεδομένων

Η εισαγωγή και επεξεργασία των δεδομένων έγινε με την χρήση των λογισμικών ArcView και Arc/Info 8.1 & 8.2 του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών ArcGIS (ESRI, 2001). Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ταξινόμηση των δεδομένων - στοιχείων σε γεωγραφικές ενότητες – θεματικά επίπεδα (shapefiles), όπου κάθε στοιχείο μέσα σε αυτά, ορίζεται από την γεωγραφική θέση (χωρική πληροφορία) και τα περιγραφικά χαρακτηριστικά του (γραφική πληροφορία). Θεματικά επίπεδα δημιουργήθηκαν σύμφωνα με τις ακόλουθες κατηγορίες:

Γραμμικά χαρτογραφικά στοιχεία (polylines)	Τοπογραφικά στοιχεία: Ισοϋψείς ανά 20m αλλά και ανά 10 m ή και 5m, σε συγκεκριμένες περιοχές
	Τεκτονικά δεδομένα: ρήγματα και τεκτονικές επαφές
Επιφανειακά χαρτογραφικά στοιχεία (polygons)	Γεωλογικοί σχηματισμοί
Σημειακά χαρτογραφικά στοιχεία (points)	Σεισμολογικά δεδομένα
	Θέσεις GPS μερήσεων

Ακολούθησε η προσαρμογή των δεδομένων σε κοινό χαρτογραφικό προβολικό σύστημα και συγκεκριμένα το «Transverse Mercator» καθώς επίσης και στο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς «ΕΓΣΑ'87» (HGRS'87) με Σφαιροειδές (Spheroid) το GRS'80.

## 3. Θεματικά Επίπεδα - Οργάνωση Βάσης

Επόμενο βήμα ήταν η οργάνωση της βάσης δεδομένων με την προσθήκη όλης της απαιτούμενης περιγραφικής πληροφορίας σε κάθε θεματικό επίπεδο ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες της μελέτης. Τα θεματικά επίπεδα που παρήχθησαν δίδονται στον Πίνακα Ι.

**ΠΙΝΑΞ Ι**  
Θεματικά Επίπεδα Βάσης Δεδομένων Κεφαλληνίας

Θεματικά επίπεδα (shapefiles)	Στοιχεία
coastline	Ακτογραμμή (ως γραμμή)
contours	Ισοϋψείς (ως γραμμές)
epic01up5	Επίκεντρα σεισμών (ως σημεία), μεγέθους μεγαλύτερου του 5, ταξινομημένα σε σχέση με το βάθος και το μέγεθος, περιόδου 1966-2002
epic01l5 epic0102	Επίκεντρα σεισμών (ως σημεία), μεγέθους μικρότερου του 5, ταξινομημένα σε σχέση με το βάθος και το μέγεθος περιόδου 1966-2001 και 2001-2002, αντίστοιχα
epic65e	Επίκεντρα σεισμών (ως σημεία), μεγέθους μεγαλύτερου του 5, ταξινομημένα σε σχέση με το βάθος και το μέγεθος, περιόδου 1900-1965
epichiste	Ιστορικοί σεισμοί (ως σημεία)
gps2c	Θέσεις σταθμών GPS (ως σημεία)
tektonikes_epafes	Ρήγματα, επωθήσεις και εφίππευσεις (ως γραμμές)
lithologia	Γεωλογικοί σχηματισμοί (ως πολύγωνα), όπως έχουν ταξινομηθεί κατά την γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής και τα γεωλογικά όρια (ως γραμμές)

Η δημιουργία της βάσης δεδομένων, ως γνωστόν, δεν είναι αναγκαία μόνο για την σχεδίαση θεματικών ή συνθετικών χαρτών. Αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την εκμετάλλευση της δυνατότητας των ΣΓΠ ως προς την επεξεργασία και διαχείριση των δεδομένων, ανάλογα με τους σκοπούς - επιδιώξεις κάθε μελέτης. Για τον σκοπό αυτόν είναι απαραίτητη η προσθήκη κάποιων επί πλέον πεδίων σε κάθε επικάλυψη, ώστε αυτές να ενημερωθούν με όλες τις απαραίτητες παραμέτρους, οι οποίες χαρακτηρίζουν κάθε γεωλογικό, τεκτονικό, σεισμολογικό ή γεωδαιτικό στοιχείο (γραφική πληροφορία). Έτσι λοιπόν:

i) Στα θεματικά επίπεδα των σεισμικών επικέντρων δημιουργούνται τα πεδία “year”, “date”, “hr\_min\_sec”, “lat\_n”, “long\_e”, “h\_km”, “m”, “codeh”, “codem”, “codehm”, με την παρακάτω αντιστοίχιση:

year	Χρονολογία σεισμικού γεγονότος
date	Ημερομηνία σεισμικού γεγονότος
hr_min_sec	Ωρα σεισμικού γεγονότος
long_e, lat_n	Συντεταγμένες λ και φ επικέντρου
h_km	Βάθος (H) επικέντρου
m	Μέγεθος (M) σεισμικού γεγονότος
codeh	Κωδικός ομαδοποίησης συναρτήσει του βάθους (h) όπου παίρνει την τιμή 1 όταν $0 \leq h \leq 10$ και 2 όταν $h > 10$
codem	Κωδικός ομαδοποίησης συναρτήσει του μεγέθους, όπου παίρνει την τιμή 1 όταν $5 \leq M < 5.5$ και 2 όταν $M \geq 5.5$
codehm	Κωδικός ομαδοποίησης συναρτήσει του βάθους και του μεγέθους με τιμές από 1 ως 4

ii) Στο θεματικό επίπεδο “gps2c” περιλαμβάνονται τα πεδία “easting\_x”, “northing\_y”, “ell\_height”, “error\_x”, “error\_y”, “error\_z”, με την παρακάτω αντιστοιχία:

easting_x, northing_y	Συντεταγμένες (x,y) των σημείων - θέσεων
ell_height	Υψόμετρο θέσης
error_x	Σταθερή απόκλιση (standard deviation) κατά τον άξονα X
error_y	Σταθερή απόκλιση κατά τον άξονα Y
error_z	Σταθερή απόκλιση κατά τον άξονα Z

iii) Στα θεματικά επίπεδα “contours” και “coast” περιλαμβάνεται το πεδίο “elev”, στο οποίο αντιστοιχίζεται το υψόμετρο.

iv) Στο θεματικό επίπεδο των τεκτονικών επαφών “tektonikes\_epafes” προστίθεται το πεδίο “line”, στο οποίο αντιστοιχίζονται οι κατηγορίες των ρηγμάτων και τεκτονικών επαφών με συγκεκριμένο κωδικό ως εξής:

line	Κατηγορία
0	Επώθηση
1	Επώθηση πιθανή ή καλυμμένη
10	Εφίπλευση
11	Εφίπλευση πιθανή ή καλυμμένη
20	Ρήγμα
21	Ρήγμα πιθανό ή καλυμμένο

ν) Στο θεματικό επίπεδο “lithologia” προστίθεται το πεδίο “sximatismos”, στο οποίο έγινε η ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών.

Η βάση δεδομένων δύναται να ενημερώνεται συνεχώς (διορθώνεται ή εμπλουτίζεται με νέα στοιχεία), ανάλογα με τα νεότερα δεδομένα και τις εκάστοτε εξελίξεις και ανάγκες, έχει δηλαδή διαχρονική αξία.

#### **4. Σύνθεση Χαρτών**

##### **4.1. Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (ΨΜΑ/DTM)**

Βασικό στοιχείο στην συγκεκριμένη μελέτη, αλλά και γενικότερα στην ευρύτερη γεωφυσική έρευνα αποτελεί το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (ΨΜΑ / DTM). Στην συγκεκριμένη περίπτωση το ΨΜΑ της Κεφαλληνίας παρήχθη από τους τοπογραφικούς χάρτες της ΓΥΣ κλίμακος 1/50.000, με ψηφιοποίηση των ισοϋψών (ισοδιάστασης 20m), των τριγωνομετρικών και άλλων υψομετρικών σημείων, τα οποία εκρίθησαν απαραίτητα σε συγκεκριμένες περιοχές. Η μεθοδολογία που κάθε φορά εφαρμόζεται για την παραγωγή ΨΜΑ, με την χρήση επίγειων δεδομένων, μέσω ΣΓΠ, εξαρτάται από πολλές παραμέτρους (είδος δεδομένων, ανάγλυφο, χρήση του ΨΜΑ). Το αποτέλεσμα εξαρτάται από τις παραμέτρους του αλγόριθμου, το μέγεθος κυψελίδας, την κλίμακα κ.ά. (Βασιλοπούλου, 1999, Vassilopoulou, 2001; Vassilopoulou & Hurni, 2001; Vassilopoulou et al, 2002). Το ΨΜΑ της Κεφαλληνίας “dem20c” παρήχθη μέσω του λογισμικού ArcGIS 8.1 με την εφαρμογή του αλγόριθμου TOPOGRID, οπότε και είναι μορφής καννάβου (grid). Τα χαρακτηριστικά του δίδονται στον παρακάτω Πίνακα II.

**ΠΙΝΑΞ II**  
Χαρακτηριστικά ΨΜΑ Κεφαλληνίας

Μέγεθος κυψελίδας	: 20 m
Γραμμές	: 2505
Στήλες	: 2193
Τύπος	: Floating points
Προβολικό Σύστημα	: TM
Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς	: HGRS'87
Σφαιροειδές	: GRS'80
Μονάδες	: Meters

Στην εικόνα 2 δίδεται το σκιασμένο ανάγλυφο που προέκυψε από το ΨΜΑ της περιοχής. Το ΨΜΑ της Κεφαλληνίας εχρησιμοποιήθη για την παραγωγή των Διαφορικών Συμβολογραφημάτων Ραντάρ της περιοχής. Επίσης, απετέλεσε υπόβαθρο για θεματικές εφαρμογές, όπως σκιασμένο ανάγλυφο ή τρισδιάστατα μοντέλα (3-D) με διαφόρους παραμέτρους ως προς την σκίαση, περιλαμβάνοντας τις θέσεις των GPS μετρήσεων, τα σεισμικά επίκεντρα, τα ρήγματα και τις τεκτονικές επαφές και άλλα στοιχεία της βάσης δεδομένων, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Γενικότερα, το ΨΜΑ είναι απαραίτητο στοιχείο για την γεω-αναφορά και την ορθο-διόρθωση των δορυφορικών εικόνων (Vassilopoulou et al., 2002), καθώς επίσης για την ανάλυση αναγλύφου με την παραγωγή αντιπροσωπευτικών χαρτών (μορφολογικών κλίσεων, μορφολογικών ασυνεχειών, επιφανειών επιπέδωσης κ.ά), (Βασιλοπούλου, 1999; Vassilopoulou, 2001). Αποτελεί βασικό δεδομένο στην ευρύτερη γεωφυσική έρευνα και τις γεω-περιβαλλοντικές εφαρμογές, μέσα από την ανάπτυξη ενός Σ.Γ.Π., τόσο στο εργαστήριο όσο και στο ύπαιθρο, για την παραγωγή χαρτών και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με την γεωμορφολογία, τεκτονική και την γεωδυναμική μελέτη μιας περιοχής, όχι μόνο ποιοτικά, αλλά και ποσοτικά (Βασιλοπούλου, 1999).

#### ***4.2. Προβολή Θέσεων GPS Μετρήσεων***

Η απεικόνιση των θέσεων των GPS μετρήσεων ως σημεία, που περιλαμβάνονται στο θεματικό επίπεδο «grps2c», έγινε με υπόβαθρο το σκιασμένο ανάγλυφο της Κεφαλληνίας (Εικ. 3). Το ΨΜΑ αποτελεί χρήσιμο στοιχείο σε συνδυασμό με την Γεωλογία και την Τεκτονική της περιοχής για μια πρώτη επιλογή των θέσεων στο εργαστήριο, πριν την επαφή με το ύπαιθρο, όπου θα γίνει ο καθορισμός των θέσεων.

#### ***4.3. Χάρτες Σεισμικών Επικέντρων***

Τα επίκεντρα των σεισμών ταξινομήθηκαν σε σχέση με το βάθος (H) και το μέγεθος (M) και παρήχθησαν οι χάρτες διασποράς των επικέντρων ανά χρονικές περιόδους, με υπόβαθρο το ΨΜΑ (Εικ. 4, 5, 6, 7). Τα επίκεντρα περιλαμβάνονται στα θεματικά

επίπεδα «epic0115», «epic65e», «epichiste» και ο συμβολισμός εδόθη συναρτήσει του κωδικού «codehm».

Συμπεράσματα σχετικά με την διασπορά των επικέντρων στην ευρύτερη περιοχή της Κεφαλληνίας, μπορούν να εξαχθούν παρατηρώντας τους χάρτες διασποράς:

- Στην εικόνα 5 η διασπορά των επικέντρων (σεισμοί με μέγεθος  $M < 5$ , περιόδου 1966-2002) είναι χαρακτηριστική και παρουσιάζει δύο διευθύνσεις. Η πρώτη BBA-NNΔ διεύθυνσης με την πλειονότητα των επικέντρων διέρχεται από το δυτικό τμήμα της νήσου (Κόλπος Αργοστολίου και βορειότερα), ενώ η δεύτερη ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, προεκτείνεται από τον θαλάσσιο χώρο νότια της νήσου προς τα ΒΔ, ακολουθώντας τον άξονα της οροσειράς.
- Στην εικόνα 6 (σεισμοί με μέγεθος  $M \geq 5$ , περιόδου 1966-2002) παρατηρείται διασπορά BBA-NNΔ διεύθυνσης, ενώ η δεύτερη ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης στερείται σχεδόν σεισμών. Αυτό οδηγεί στο πιθανό συμπέρασμα ότι οι σεισμοί μεγέθους  $M \geq 5$ , απαντούν κυρίως στον θαλάσσιο χώρο και συμβαίνουν στην σεισμική ζώνη με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση. Η εικόνα 7 (σεισμοί με  $M \geq 5$ , περιόδου 1900-2002) επαληθεύει την διαπίστωση της εικόνας 6.

#### **4.4. Γεωλογικός Χάρτης**

Ο Γεωλογικός Χάρτης της Κεφαλληνίας συνετέθη από τα θεματικά επίπεδα των γεωλογικών σχηματισμών και των ρηγμάτων και τεκτονικών επαφών, σε κλίμακα 1/100.000. Κάθε ενότητα σχηματισμών και τεκτονικών ή κανονικών επαφών αποδόθηκε με συγκεκριμένο συμβολισμό, με βάση τους κωδικούς που εδόθησαν στην βάση δεδομένων (Εικ. 8).

#### **4.5. Τρισδιάστατες Όψεις Διαφορικού Συμβολογραφήματος Ραντάρ**

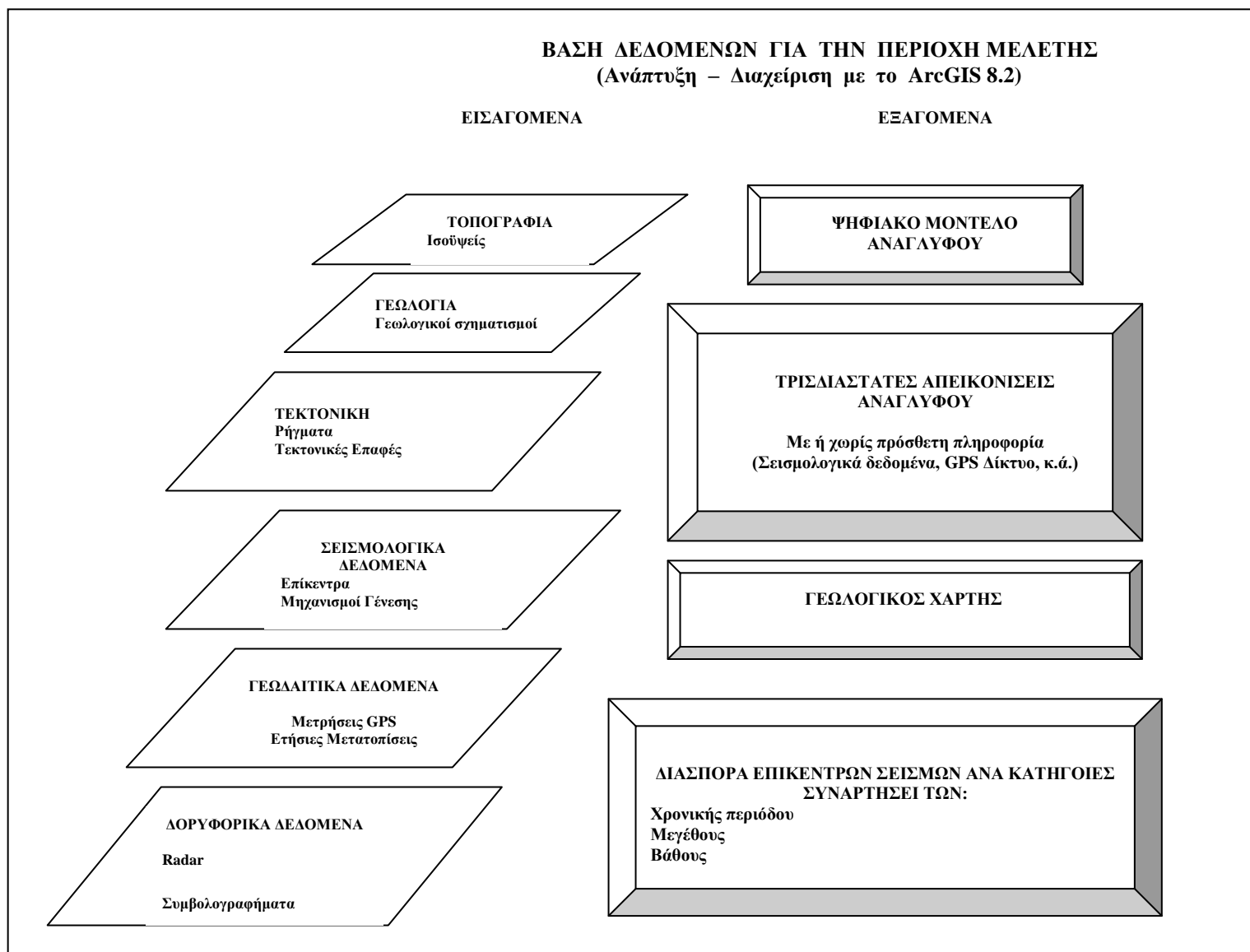
Το ΨΜΑ και οι τρισδιάστατες όψεις του απετέλεσαν υπόβαθρο για αρκετές θεματικές εφαρμογές και την εξαγωγή συμπερασμάτων στην παρούσα μελέτη. Μερικές εξ

αυτών αναφέρθησαν παραπάνω. Στις εικόνες 9 & 10 δίδεται το Διαφορικό Συμβολογράφημα της Κεφαλληνίας (περιόδου Σεπτ.1995 – Αύγ. 1998), σε τρισδιάστατη όψη και σε συνδυασμό με τα τεκτονικά δεδομένα της περιοχής. Στο ΒΔ τμήμα διακρίνεται ο κροσσός συμβολής που εκφράζει την παραμόρφωση.

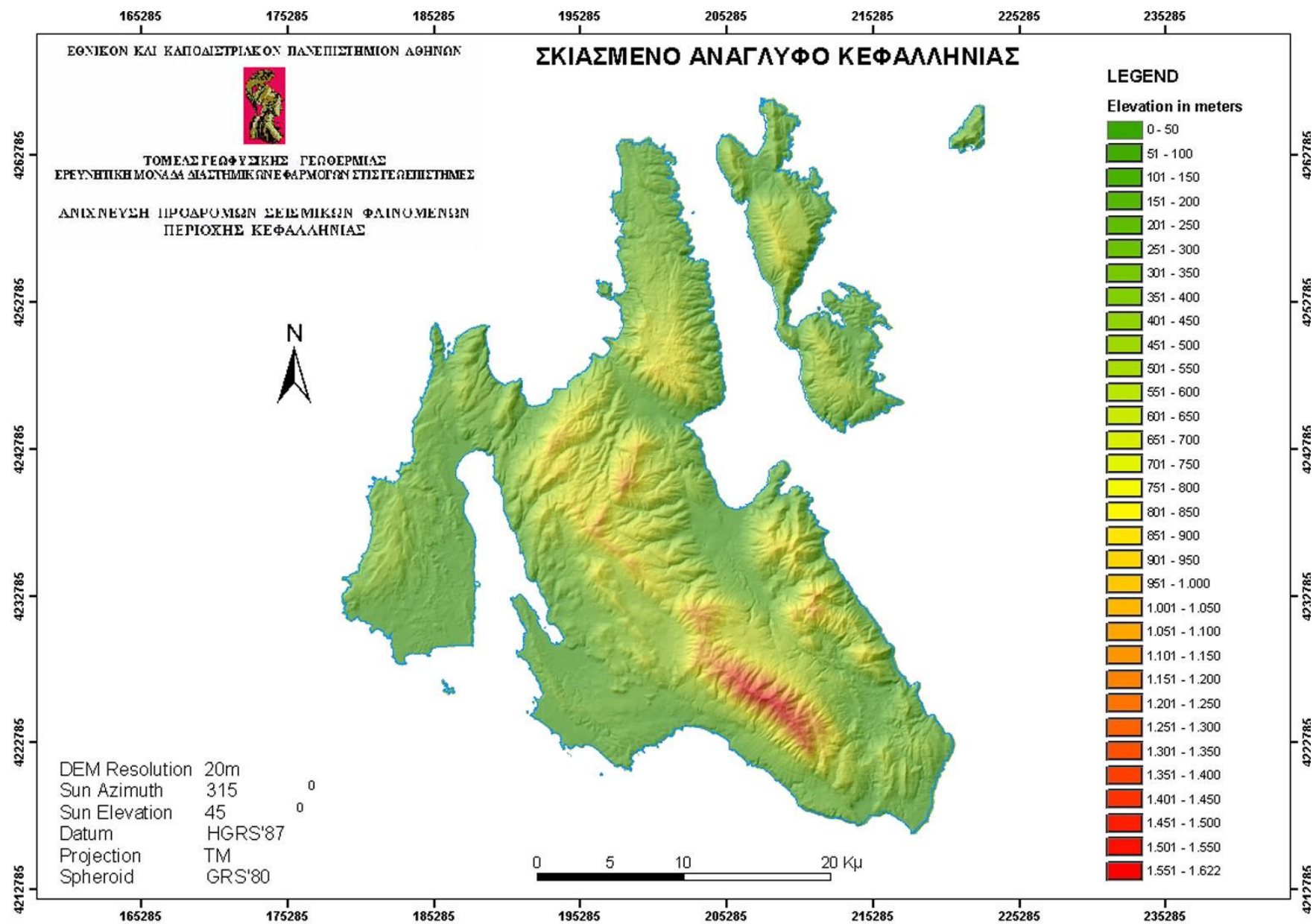
#### ***4.6. Παρατηρήσεις – Προοπτικές***

Στο συγκεκριμένο ερευνητικό πρόγραμμα επετεύχθη η δημιουργία ψηφιακής βάσης δεδομένων μέσα από την ανάπτυξη ΣΓΠ για την περιοχή μελέτης. Αποτέλεσμα της διαχείρισης της βάσης, ήταν η σύνθεση συγκεκριμένων θεματικών επικαλύψεων και χαρτών που άμεσα ο ΟΑΣΠ μπορεί να χρησιμοποιήσει. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η βάση δεδομένων μπορεί να ενημερώνεται ανά πάσα στιγμή, σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες και απαιτήσεις, με σκοπό ως και την περαιτέρω δημιουργία ενός συστήματος λήψεως αποφάσεων για τον σωστό αντισεισμικό σχεδιασμό, οργάνωση και προστασία.

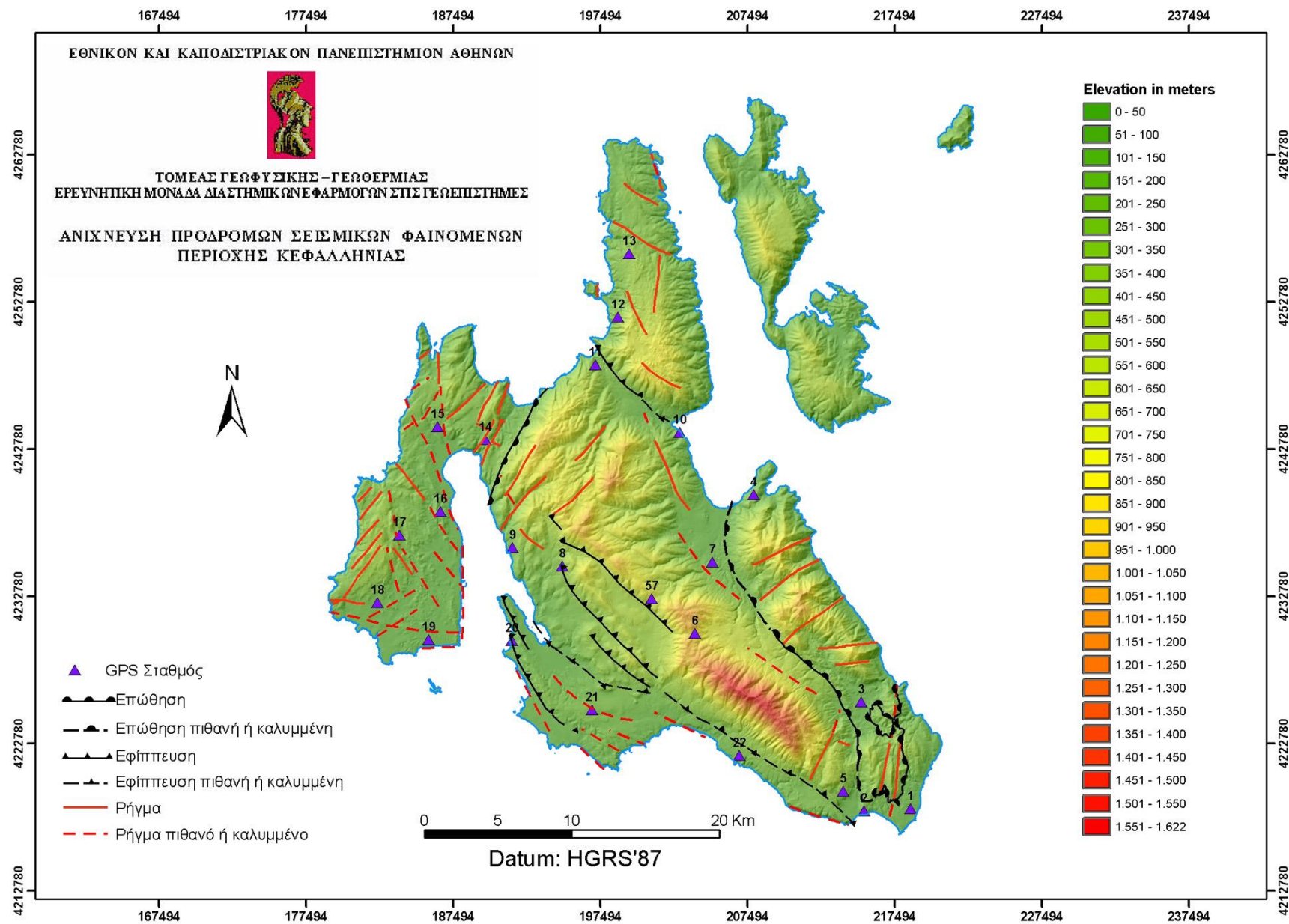




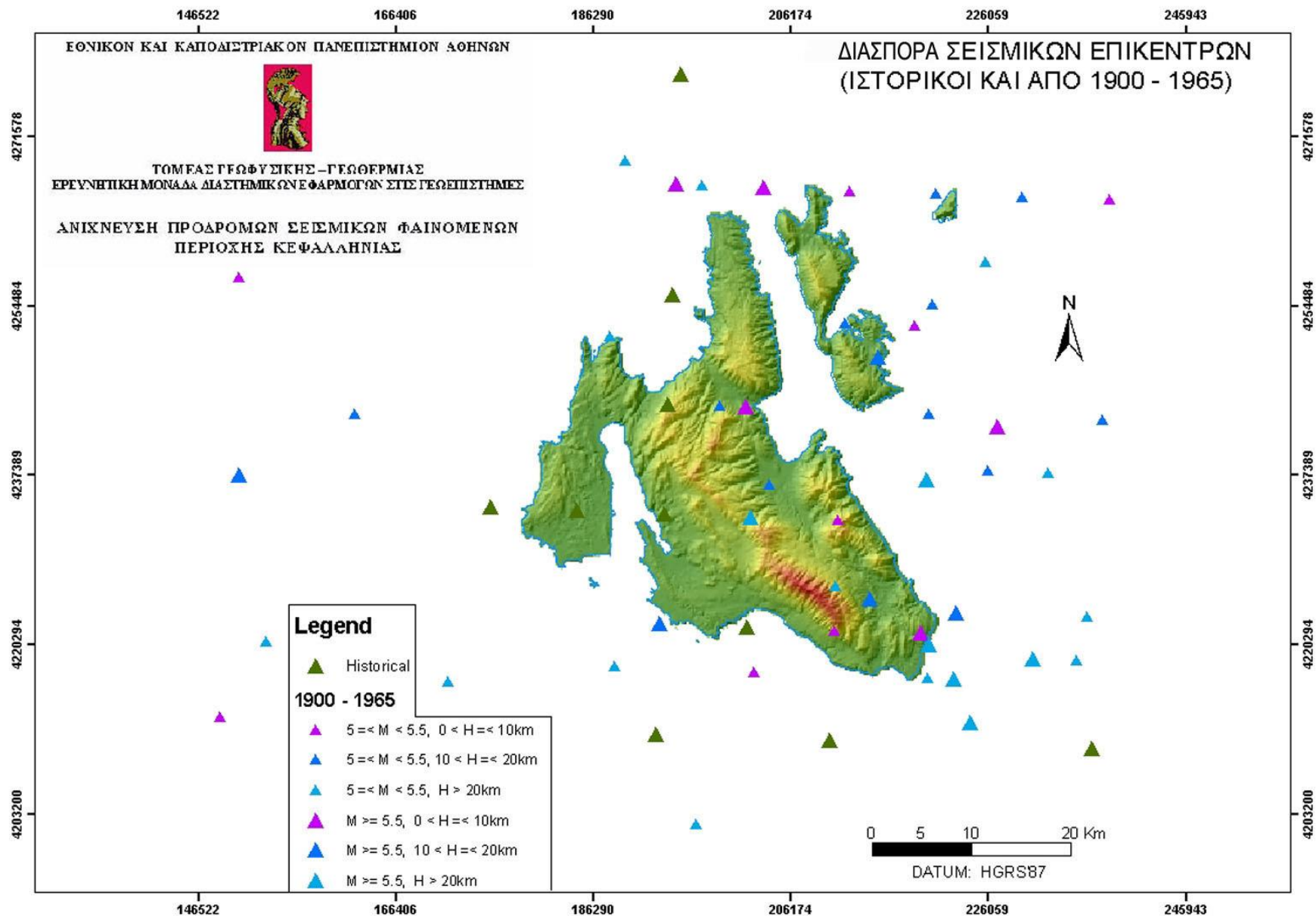
**Εικόνα 1.** Βάση Δεδομένων περιοχής μελέτης



Εικόνα 2. Σκιασμένο Ανάγλυφο Κεφαλληνίας από ΨΜΑ ανάλυσης 20 m.

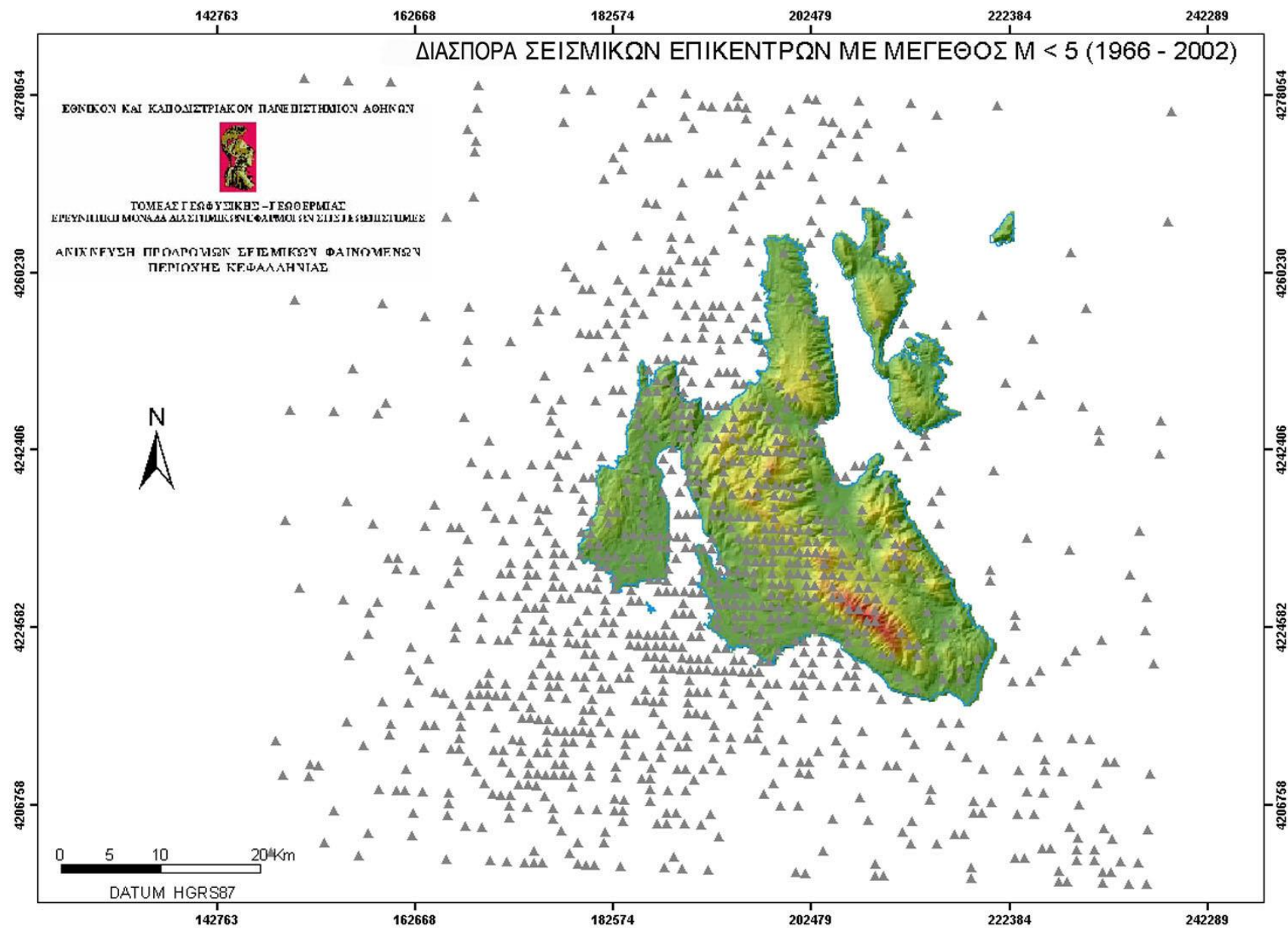


Εικόνα 3. Απεικόνιση των θέσεων GPS μετρήσεων και του Τεκτονικού Ιστού περιοχής, με υπόβαθρο το ΨΜΑ Κεφαλληνίας

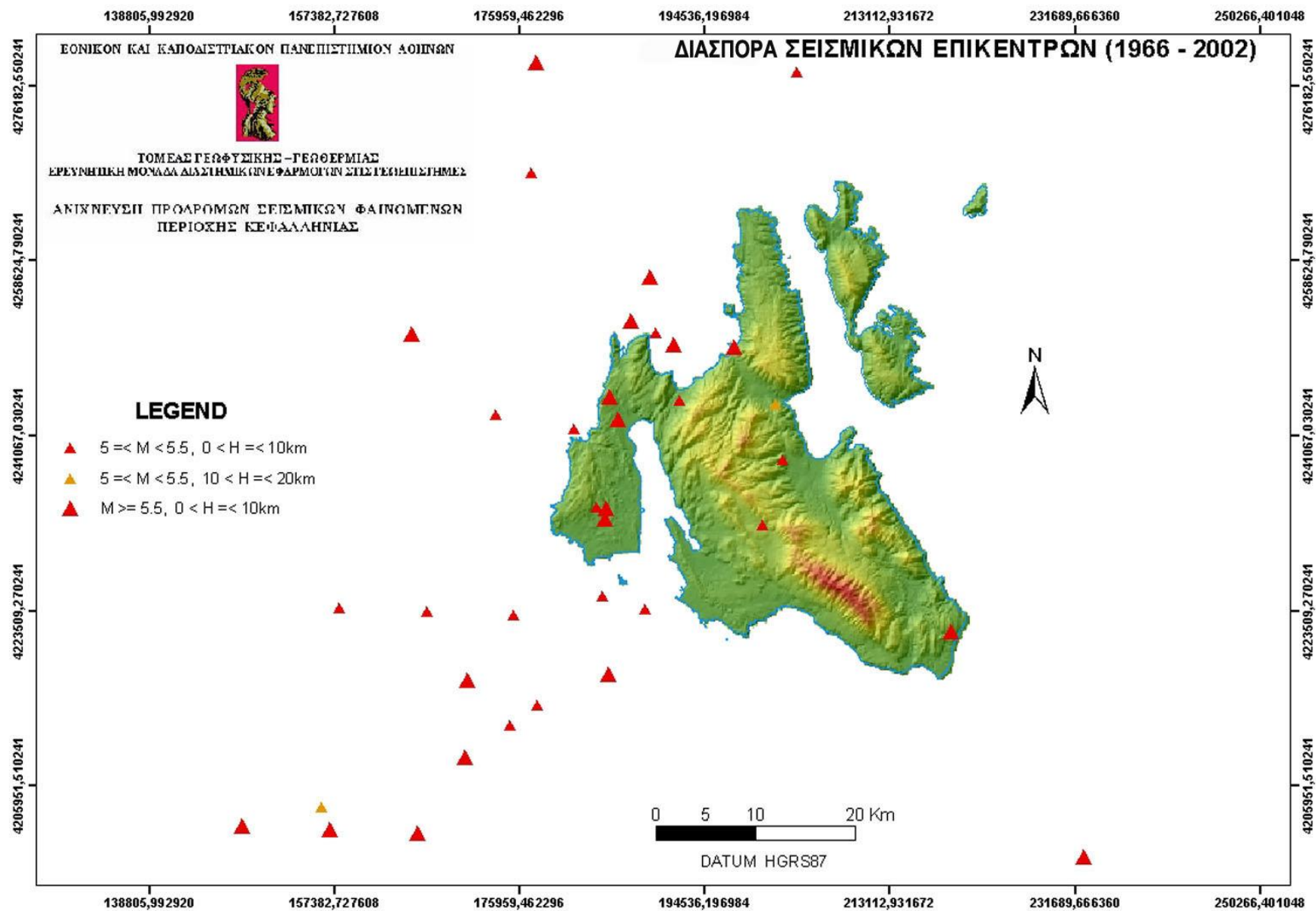


Εικόνα 4. Διασπορά epicέντρων ιστορικών σεισμικών γεγονότων και περιόδου 1900 – 1965

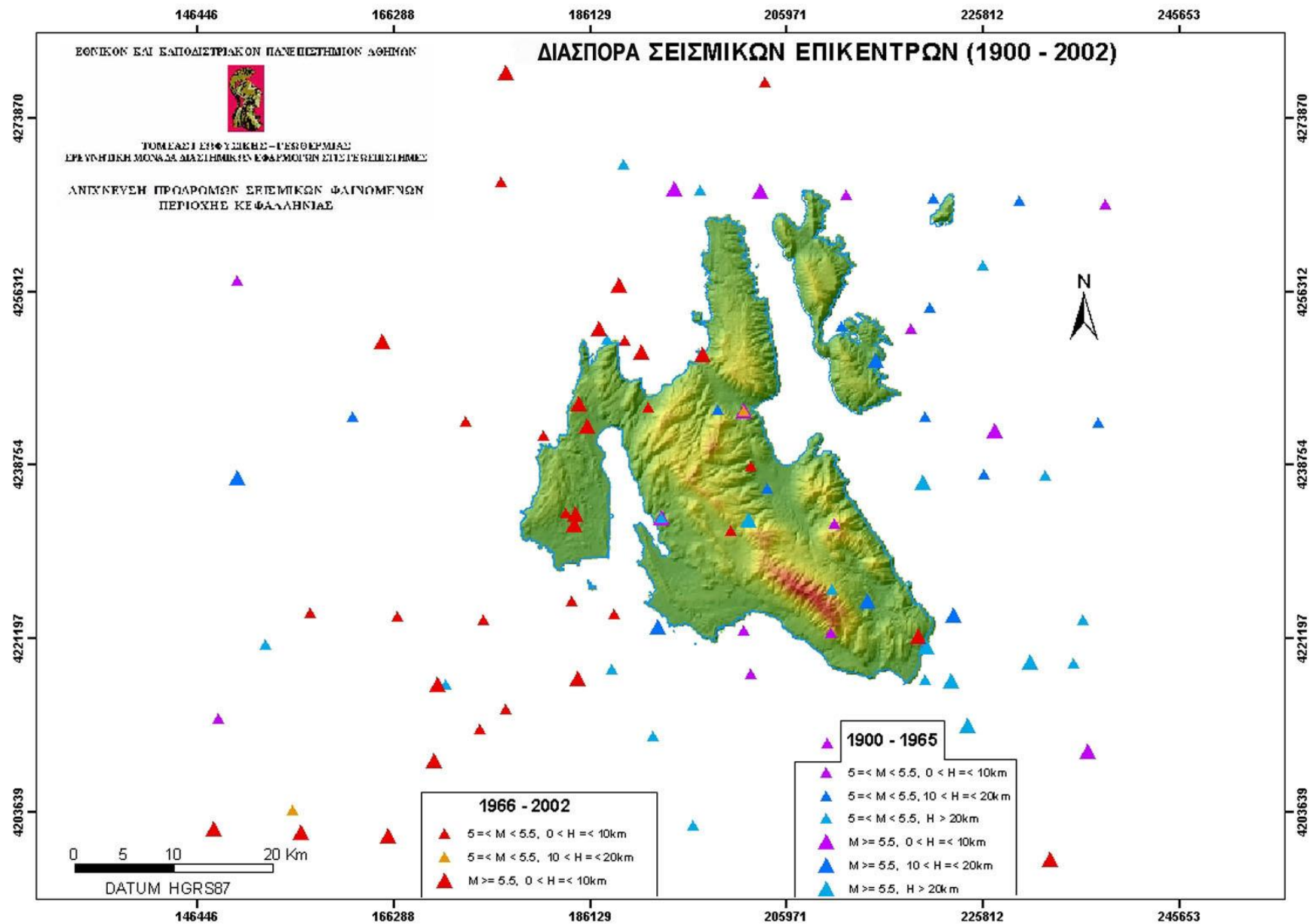




**Εικόνα 5.** Διασπορά σεισμικών epicέντρων μεγέθους  $M < 5$ , περιόδου 1966-2002

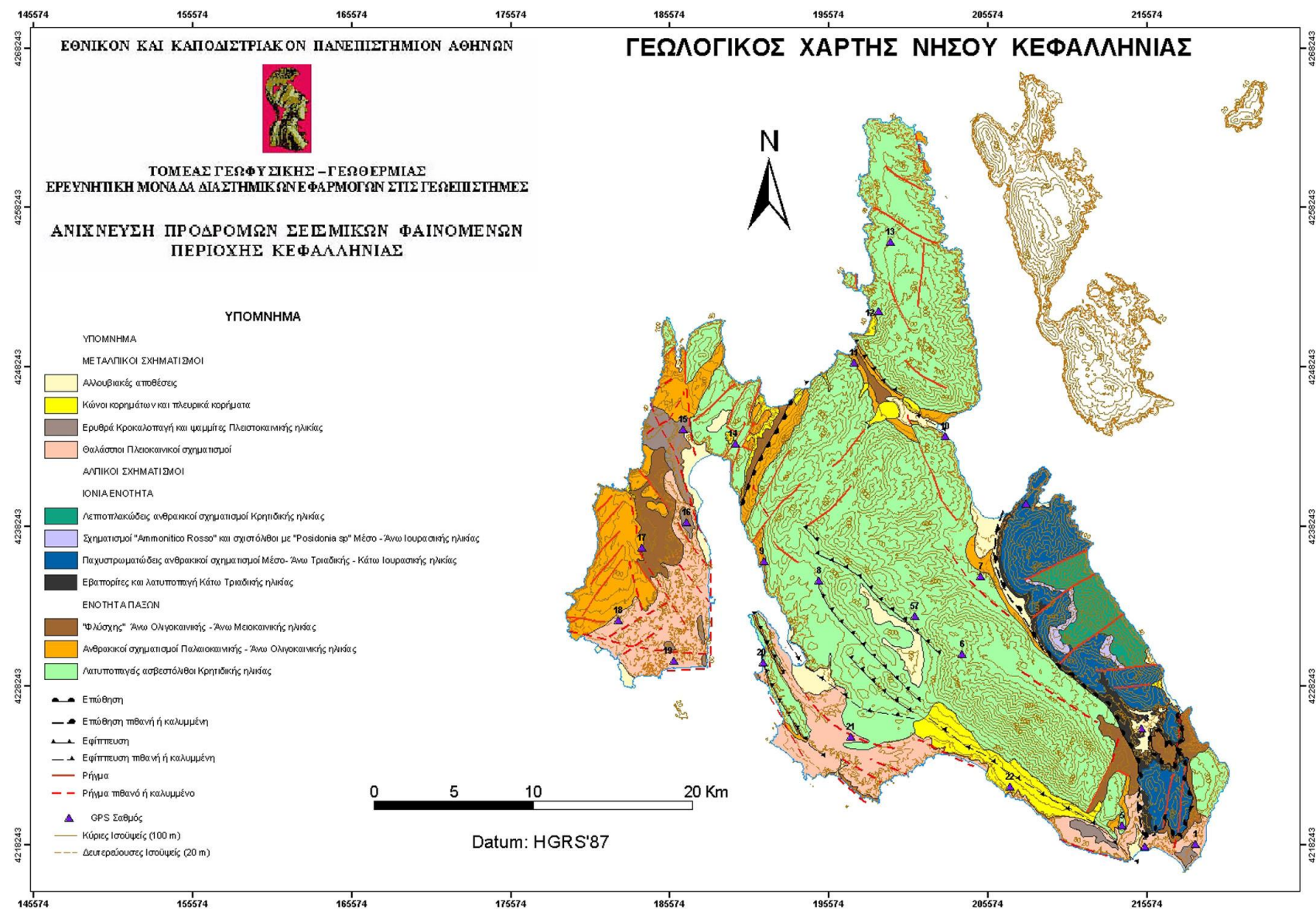


Εικόνα 6. Διασπορά σεισμικών epicέντρων μεγέθους  $M \geq 5$ , περιόδου 1966-2002



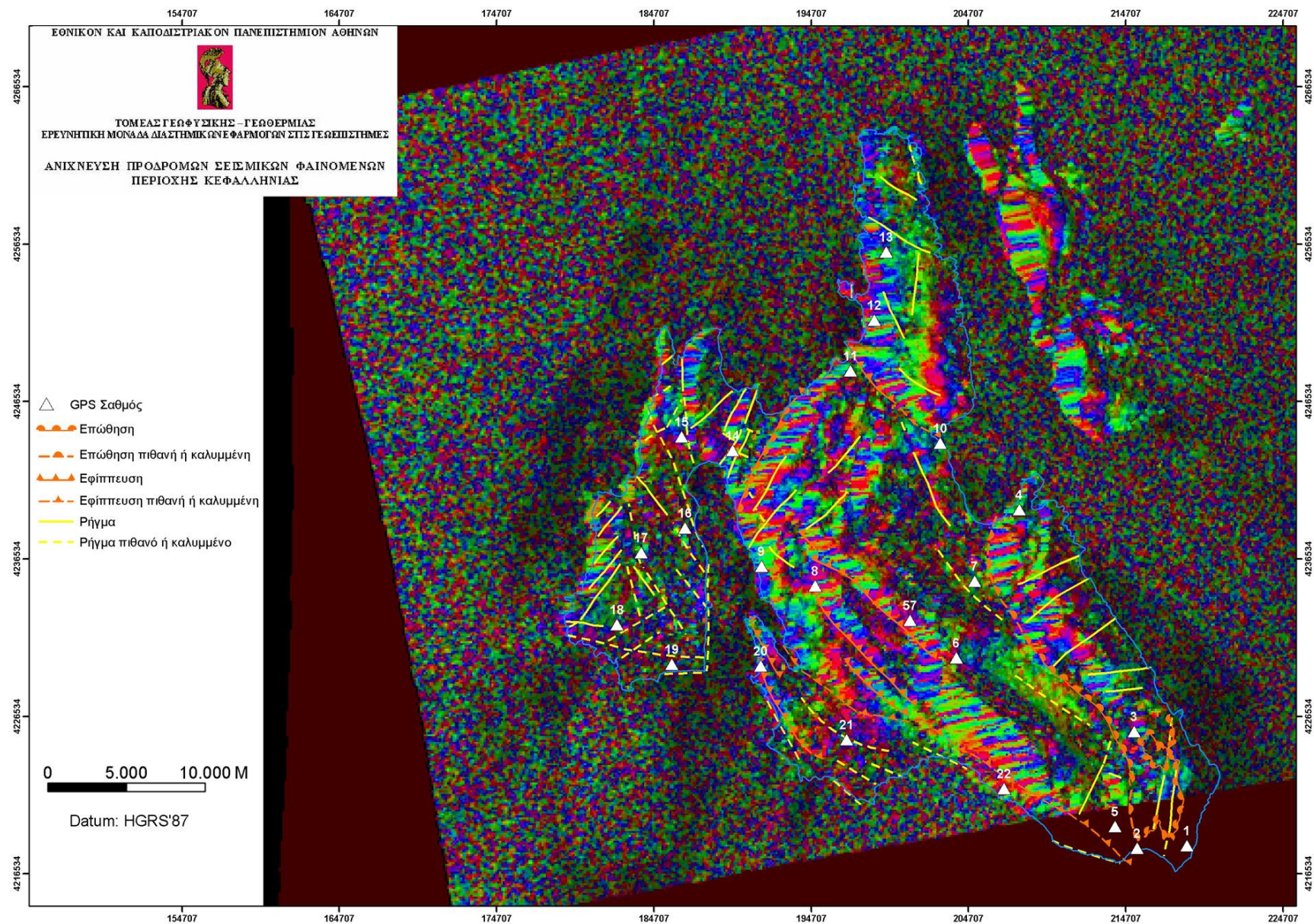
Εικόνα 7. Διασπορά σεισμικών epicέντρων μεγέθους  $M \geq 5$ , περιόδου 1900-2002





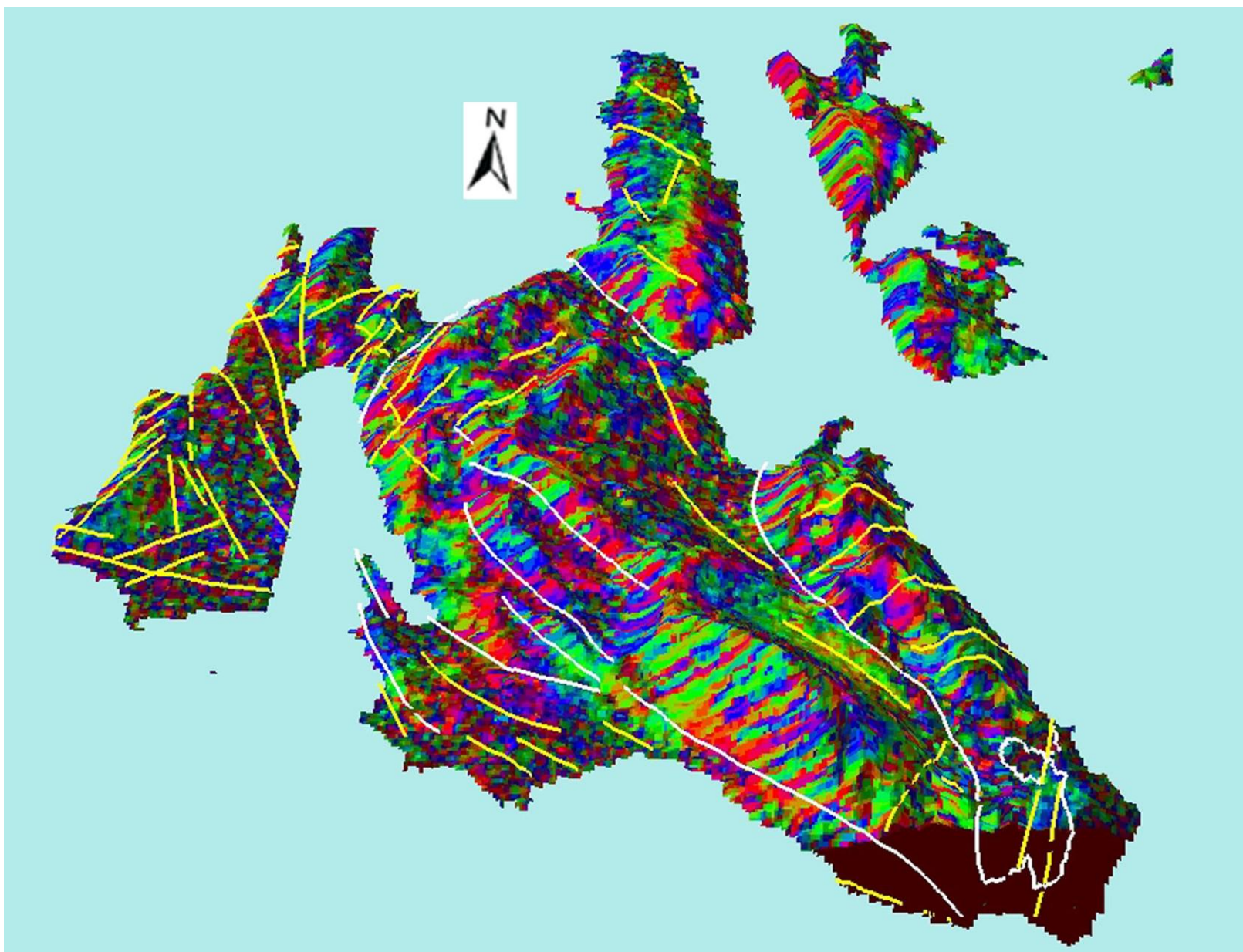
Εικόνα 8. Γεωλογικός Χάρτης Κεφαλληνίας





**Εικόνα 9.** Τρισδιάστατη όψη Συμβολογραφήματος Κεφαλληνίας (περιόδου Σεπτ. 1995–Αύγ. 1998) σε συνδυασμό με τα τεκτονικά δεδομένα της περιοχής. Διακρίνεται ο κροσσός συμβολής στο ΒΔ τμήμα.





**Εικόνα 10.** Τρισδιάστατη όψη Διαφορικού Συμβολογραφήματος Ραντάρ Κεφαλληνίας (περιόδου Σεπτ. 1995–Αύγ. 1998), με προοπτική, σε συνδυασμό με τα τεκτονικά δεδομένα της περιοχής.

## Βιβλιογραφία

Βασιλοπούλου, Σ. (1999). Συμβολή στη Γεωδυναμική της Αργολίδας με την Ανάπτυξη Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (G.I.S.) και τη Χρήση Δεδομένων Τηλεανίχνευσης. *Διδακτορική Διατριβή*, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, 194 σελ.

ESRI (2001). GIS by ESRI, Arc/Info ver.8.

Vassilopoulou, S. (2001). “PROANA” A useful Software for Terrain Analysis and Geoenvironmental Applications – Study Case on the Geodynamic Evolution of Argolis Peninsula, Greece. *Proc. 20<sup>th</sup> International Cartographic Conference*, Beijing, China, pp. 3432-3440.

Vassilopoulou, S. & Hurni, L. (2001). The Use of Digital Elevation Models in Emergency and Socio-Economic Planning: A Case Study at Kos – Yali – Nisyros - Tilos Islands, Greece. *Proc. 20<sup>th</sup> International Cartographic Conference*, Beijing, China, pp. 3424-3431.

Vassilopoulou, S.; Hurni, L.; Dietrich, V.; Baltsavias, M.; Pateraki, M.; Lagios, E. & Parcharidis, Is. (2002). Ortho-Photo Generation using IKONOS-2 Imagery and High Resolution DEM: A Case Study on Volcanic Hazard Monitoring of Nisyros Island (Greece), *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57, 24-38.