

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής
ΠΜΣ Γεωχωρικές Τεχνολογίες



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

<<Ανάλυση των σύγχρονων δορυφορικών ψηφιακών μοντέλων
εδάφους και διερεύνηση της επίδρασής τους στη μοντελοποίηση του
πεδίου βαρύτητας και του γεωειδούς>>

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ:
ΧΡΥΣΟΒΑΛΑΝΤΗΣ- ΙΩΑΝΝΗΣ ΒΑΣΑΚΑΚΗΣ
ΑΜ:1804

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΑΝΔΡΙΤΣΑΝΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ, 2022

University of West Attica
Department of Surveying and Geoinformatics Engineering
MSc Geospatial Technologies



MASTER THESIS

<<Analysis of the recent satellite digital terrain models and investigation of their effect in gravity field and geoid modelling>>

MSc STUDENT: CHRYSOVALANTIS- IOANNIS VASAKAKIS
REGISTRATION NUMBER:1804
SUPERVISOR:VASSILEIOS ANDRITSANOS

ATHENS, OCTOBER, 2022

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής
ΠΜΣ Γεωχωρικές Τεχνολογίες



ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: <<Ανάλυση των σύγχρονων δορυφορικών ψηφιακών μοντέλων εδάφους και διερεύνηση της επίδρασής τους στη μοντελοποίηση του πεδίου βαρύτητας και του γεωειδούς>>

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

α/α	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΑΝΔΡΙΤΣΑΝΟΣ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
2	ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΠΑΓΟΥΝΗΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
3	ΜΙΧΑΗΛ ΓΙΑΝΝΙΟΥ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Χρυσοβαλάντης- Ιωάννης Βασακάκης του Κωνσταντίνου με αριθμό μητρώου 1804, φοιτητή του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών <<Γεωχωρικές Τεχνολογίες>> του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής δηλώνω ότι:

<<Είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δική μου όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου.>>

Ο Δηλών

Χρυσοβαλάντης- Ιωάννης Βασακάκης.



Επιβλέπων Καθηγητής

Βασίλης Ανδριτσάνος

Copyright Χρυσοβαλάντης- Ιωάννης Βασακάκης, 2022

Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής εργασίας από το τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δε δηλώνει απαραίτητως αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρωτίστως, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής μου εργασίας Δρ. Βασίλη Ανδριτσάνο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, την καθοδήγηση και την ευχάριστη συνεργασία μας.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	13
ABSTRACT.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο ΘΕΩΡΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ.....	17
1.1 Γεωειδές-Ορισμός: (Σύμφωνα με τον Stokes).....	17
1.2 Μέτρηση των δευτέρων παραγώγων του δυναμικού της βαρύτητας.....	17
1.3. Ο Τανυστής των βαθμίδων της βαρύτητας.....	18
1.4. Βαρυτοβαθμίδα- Κανονική βαρυτοβαθμίδα.....	18
1.5. Το γεωδαιτικό ενδιαφέρον των ανωμαλιών της βαρύτητας.....	19
Το θεώρημα του Stokes:.....	19
1.6. Το κανονικό πεδίο βαρύτητας του χωροσταθμικού ελλειψοειδούς.....	20
1.7. Γενικά για τα γεωδαιτικά προβλήματα συνοριακών τιμών.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	23
Παγκόσμια Μοντέλα Βαρύτητας.....	23
2.1 Περιγραφή του κεφαλαίου.....	23
2.2 Εισαγωγή.....	24
2.3 Παγκόσμια και τοπικά μοντέλα βαρύτητας- ομοιότητες και διαφορές.....	26
2.4 Αναπαράσταση σήματος και χαρακτηριστικά δεδομένων.....	27
2.5 Νέες δορυφορικές αποστολές.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	34
Ψηφιακά μοντέλα εδάφους (Από τον συλλογικό τόμο “Geoid Determination Theory and Methods” Sanso F, Sideris M Edition 2013).....	34
3.3 Τοπογραφικές αναγωγές και μοντελοποίηση βαρυτικού πεδίου.....	36
3.4 Τοπογραφικές αναγωγές και για την πύκνωση και την κάλυψη της βαρύτητας και τη δημιουργία πλέγματος (gridding).....	38
3.5 Αναγωγές Bouguer.....	39
3.6 Ισοστατική αναγωγή.....	42
3.6.1 Εισαγωγή.....	42
3.6.2 Ισοστατικό μοντέλο Pratt- Hayford.....	42
3.6.3 Ισοστατικό μοντέλο Airy- Heiskanen.....	42
3.6.4 Παρεμβολή και δημιουργία κανάβου (gridding) μέσα από τις τοπογραφικές αναγωγές.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	45
ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	45
4.1. Γενικές πληροφορίες για τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους.....	45
4.1.1. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).....	45
4.1.2. Advanced Spacebrn Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER).....	46
4.1.3 Δορυφορική Αποστολή Tandem-X.....	47
4.1.4 Δορυφορική Αποστολή Copernicus.....	48
4.1.5 Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους ETOPO1.....	49
4.1.6 Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους GSDDEM30.....	50
4.1.7 Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους NASADEM.....	50
Σχήμα 4.25: ΧΑΡΤΗΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (m).....	77

Σχήμα 4.26: ΧΑΡΤΗΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ASTER (m).....	78
Σχήμα 4.28: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ GSDEM30 (m).....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ:.....	95
5.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ DTMs ΣΤΙΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ.....	102
5.1.2. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	104
5.1.4 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ.....	107
5.1.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΙΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ.....	110
5.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ.....	119
5.2.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ (ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ).....	119
5.3.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ:.....	122
5.2.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ (ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ)	124
.....	125
5.2.3 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ (ΑΠΟΥΣΙΑ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ).....	126
.....	128
5.2.4. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ (ΑΠΟΥΣΙΑ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ).....	130
5.2.5. ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ:.....	130
5.2.6 ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ ΥΨΟΥΣ:.....	131
5.3. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΑΓΩΓΕΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.....	138
5.3.1. ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ FAYE ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	138
5.3.2. ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ FAYE ΔΙΧΩΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	141
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο:.....	146
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΜΕΛΕΤΗ:.....	146
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:.....	148
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	152

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 4.25: ΧΑΡΤΗΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (m)	77
Σχήμα 4.26: ΧΑΡΤΗΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ASTER (m)	78
Σχήμα 4.27: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΤΗ ΒΘΥΜΕΤΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ ΕΤΟΡΟ1 (m)	79
Σχήμα 4.28: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ GSDEM30 (m)	80
Σχήμα 4.29: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ Copernicus (m)	81
Σχήμα 4.30: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ NASADEM (m)	82
Σχήμα 4.31: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ Tandem-X (m)	83
Σχήμα 4.32: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-ASTER (m)	88
Σχήμα 4.33: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ ASTER-NASADEM (m)	89
Σχήμα 4.34: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ GSDEM30-NASADEM (m)	90
Σχήμα 4.35: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ GSDEM30-Tandem-X (m)	91
Σχήμα 4.36: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ NASADEM-Copernicus DEM (m)	92
Σχήμα 4.37: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-NASADEM (m)	93
Σχήμα 4.38: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ NASADEM-Tandem-X (m)	94
Σχήμα 4.39: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-Copernicus (m)	95
Σχήμα 4.40: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-GSDEM30 (m)	96
Σχήμα 4.41: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ ASTER-GSDEM30 (m)	97
Σχήμα 5.4: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=999	105
Σχήμα 5.5: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=999	106
Σχήμα 5.6: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (m) ΓΙΑ R1=50, R2=999	110

Σχήμα 5.7: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-ASTER (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=999.....	113
Σχήμα 5.8: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=999.....	114
Σχήμα 5.9: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=50, R2=999.....	117
Σχήμα 5.10: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=999.....	122
Σχήμα 5.11: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=999.....	123
Σχήμα 5.12: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=999.....	124
Σχήμα 5.13: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=999.....	125
Σχήμα 5.14: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ srtm1 (m) ΓΙΑ R1=10, R2=999.....	126
Σχήμα 5.15: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=10, R2=999.....	127
Σχήμα 5.16: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=0.....	128
Σχήμα 5.17: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=0.....	129
Σχήμα 5.18: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=0.....	130
Σχήμα 5.19: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=0.....	131
Σχήμα 5.20: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (m) ΓΙΑ R1=10, R2=0.....	132
Σχήμα 5.21: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=10, R2=0.....	133
Σχήμα 5.22: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ EGM2008 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ srtm1 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=999.....	141
Σχήμα 5.23: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=999.....	142

Σχήμα 5.24: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ EGM2008 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ srtm1 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0.....	143
Σχήμα 5.25: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ EGM2008 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0.....	144

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ DTM (m).....	87
Πίνακας 4.2: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ DTM (m).....	96
Πίνακας 5.1: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ R1=50, R2=999 (mGal).....	111
Πίνακας 5.2: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ R1=50, R2=999 (mGal).....	112
Πίνακας 5.3: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ R1=50, R2=999 (mGal).....	113
Πίνακας 5.4: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ R1=50, R2=999 (mGal).....	116
Πίνακας 5.5: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ R1=50, R2=999 (m).....	117
Πίνακας 5.6: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ R1=50, R2=999 (mGal).....	117
Πίνακας 5.7: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ R1=50, R2=999 (m).....	118
Πίνακας 5.8: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ (mGal).....	120
Πίνακας 5.9: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΟΥ SRTM1 ΤΟΥ 2ΟΥ ΒΗΜΑΤΟΣ (mGal).....	135
Πίνακας 5.10: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 2ΟΥ ΒΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 (mGal).....	136
Πίνακας 5.11: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΝΗΓΜΕΝΩΝ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ srtm1 (mGal)	146
Πίνακας 5.12: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΝΗΓΜΕΝΩΝ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 (mGal).....	146
Πίνακας 5.13: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΝΗΓΜΕΝΩΝ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ srtm1 ΔΙΧΩΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (mGal).....	147

Πίνακας 5.14: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΝΗΓΜΕΝΩΝ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 ΔΙΧΩΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (mGal).....147

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία αναλύονται τα σύγχρονα δορυφορικά ψηφιακά μοντέλα εδάφους και μελετάται η επίδραση των ψηφιακών μοντέλων εδάφους στις ανωμαλίες βαρύτητας καθώς και στις ανωμαλίες ύψους. Ακόμα διερευνάται η επίδραση των ψηφιακών μοντέλων εδάφους στη μοντελοποίηση του πεδίου βαρύτητας. Σε αρχικό βήμα μελετώνται οι ανωμαλίες βαρύτητας και οι ανωμαλίες ύψους για τα σύγχρονα δορυφορικά ψηφιακά μοντέλα εδάφους και τα αποτελέσματα από αυτή τη μελέτη αναλύονται σε στατιστικούς πίνακες.

Σε δεύτερο βήμα αυτής της εργασίας επιλέγονται 2 ψηφιακά μοντέλα εδάφους και γίνεται μελέτη των ανωμαλιών βαρύτητας καθώς και των ανωμαλιών ύψους μεταβάλλοντας την ακτίνα ολοκλήρωσης για τον υπολογισμό των τοπογραφικών επιδράσεων. Κατόπιν αυτού γίνεται στατιστική ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

Σε τρίτο βήμα αυτής της εργασίας υπολογίζονται οι ανωμαλίες βαρύτητας από συγκεκριμένα γεωδυναμικά μοντέλα και μελετάται η εξομάλυνση του πεδίου βαρύτητας με τον υπολογισμό των ανηγμένων ανωμαλιών γίνεται, δηλαδή η απομάκρυνση των υψηλών συχνοτήτων τις οποίες αποτελούν οι ανωμαλίες βαρύτητας από τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους από τις ανωμαλίες βαρύτητας που προκύπτουν από τα γεωδυναμικά μοντέλα. Ακολουθεί στατιστική ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

Οι παραπάνω μελέτες γίνονται με τη χρήση η μη του γενικευμένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους για την επιτάχυνση των υπολογιστικών διαδικασιών και σχολιάζονται οι διαφορές των αποτελεσμάτων για τις 2 περιπτώσεις μελέτης.

ABSTRACT

This Present Diploma Study is focused on the Geodesy and more specific on the Physical Geodesy and the study of the Gravity field. It is focused on the analysis of the recent satellite digital terrain models and their effect in gravity field is investigated. Moreover the effects of the digital terrain models on the geopotential models and the gravity field modeling is studied. In the first step the effect of the gravity and the height anomalies of the satellite digital terrain models is presented and the results of this study are analyzed.

In the second step of this study two digital terrain models are selected in order to study the effect on the gravity and height anomalies more specifically the effect of the integration radius on the topographic effect estimation on the results. This study takes place by using coarse dtm or not of a coarse dtm in order to increase computational speed. Then statistical analysis of the results is being taken place.

In the third step it is focused on the investigation of the effects of the gravity anomalies which are generated by geopotential models in order to make the gravity field smoother. The reduced anomalies are calculated by removing the high frequencies which are produced from the signal produced by the geopotential models.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΘΕΩΡΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

1.1 Γεωειδές-Ορισμός: (Σύμφωνα με τον Stokes)

Ο Stokes θεωρεί το γεωειδές ως μια συνοριακή επιφάνεια, δηλαδή την ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου βαρύτητας που προσεγγίζει τη μέση στάθμη των θαλασσών σε παγκόσμια κλίμακα, χωρίς να λάβουμε υπόψη την επίδραση των θαλάσσιων ρευμάτων, των παλιρροιών, των πλανητικών επιδράσεων και των πλανητικών φαινομένων.

Η κλασική λύση που αναφέρει ο Stokes προϋποθέτει την αναγωγή όλων των μετρήσεων στη συνοριακή επιφάνεια του γεωειδούς. Επομένως οι αναγωγές των μετρήσεων απαιτούν γνώση της πυκνότητας των μαζών μεταξύ της γήινης επιφάνειας των μετρήσεων και της συνοριακής επιφάνειας του γεωειδούς, και επομένως την εισαγωγή κάποιων παραδοχών για την κατανομή των γήινων μαζών.

1.2 Μέτρηση των δευτέρων παραγώγων του δυναμικού της βαρύτητας.

Οι δεύτερες μερικές παράγωγοι του δυναμικού της βαρύτητας σε σχέση με ένα τρισσορθογώνιο τοπικό σύστημα συντεταγμένων, προσδιορίζουν την καμπυλότητα του πεδίου βαρύτητας και είναι απαραίτητες σε γεωδαιτικούς υπολογισμούς όπου λαμβάνεται υπόψη το πεδίο βαρύτητας. Ειδικότερα οι

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} = W_{xy}, \quad \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z} = W_{xz}, \quad \frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z} = W_{yz}, \quad (1.1)$$

και

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = W_{xx}, \quad \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} = W_{yy}, \quad \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y} = W_{xy}, \quad (1.2)$$

προσδιορίζουν την καμπυλότητα των χωροσταθμικών επιφανειών, οι

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z} = W_{xz}, \quad \frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z} = W_{yz}, \quad (1.3)$$

δίνουν την καμπυλότητα της κατακορύφου, ενώ οι

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z} = W_{xz}, \quad \frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z} = W_{yz}, \quad \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = W_{zz}, \quad (1.4)$$

δίνουν τη βαθμίδα της βαρύτητας, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται το πεδίο της βαρύτητας κατά τις διευθύνσεις των αξόνων x, y, z αντίστοιχα. Από τις τελευταίες η

$$\frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = W_{zz}, \quad (1.5)$$

Δηλαδή η κατακόρυφη βαθμίδα βαρύτητας χρειάζεται για την αναγωγή των τιμών βαρύτητας οι οποίες μετρούνται στην πραγματική επιφάνεια της γης, στη φυσική επιφάνεια της γης δηλαδή στο γεωειδές. Οι τιμές των παραγώγων δευτέρας και ανωτέρας τάξης του δυναμικού της βαρύτητας έχουν ιδιαίτερη σημασία για τη βαρυτική διασκόπηση. Οι τιμές αυτών των μεγεθών μπορούν να συνεισφέρουν στην κατασκευή προτύπων διαταρακτικής μάζας, στον προσδιορισμό πυκνοτήτων σε κάθετες τομές και σε άλλες εφαρμογές. Ορισμένες από τις παραγώγους αυτές μπορούμε να τις μετρήσουμε, ενώ άλλες μπορούμε να τις υπολογίσουμε από χάρτες ανωμαλιών της βαρύτητας. Μπορούμε να κάνουμε στατικές μετρήσεις των παραγώγων της δευτέρας τάξης του δυναμικού ή μετρήσεις με όργανα σε κινητή βάση. Στην πρώτη περίπτωση οι μετρήσεις είναι επίγειες. Στη δεύτερη περίπτωση οι μετρήσεις μπορεί να είναι επίγειες με όργανο εγκατεστημένο σε αυτοκίνητο είτε από αέρα. Φυσικά υπάρχει και η περίπτωση μέτρησης των δεύτερων παραγώγων του δυναμικού της βαρύτητας και από το διάστημα με τη χρήση δορυφόρων.

(Αραμπέλος και Τζιαβός, 2007 και Βασακάκης, 2010)

1.3. Ο Τανυστής των βαθμίδων της βαρύτητας

Τα όργανα με τα οποία μπορούμε να μετρήσουμε τις δεύτερες παραγώγους του δυναμικού της βαρύτητας λέγονται βαθμιδόμετρα. Ένα βαθμιδόμετρο προσανατολισμένο σε ένα τοπικό σύστημα αναφοράς της βαρύτητας (όπου ο άξονας z έχει τη διεύθυνση και φορά του g και οι άξονες x και y εκτείνονται στο οριζόντιο επίπεδο προς το βορρά και την ανατολή αντίστοιχα) μετρά τις συνιστώσες του τανυστή των βαθμίδων της βαρύτητας (gravity gradient tensor-Eotvos tensor) ή γραμμικούς συνδυασμούς αυτών.

1.4. Βαρυτοβαθμίδα- Κανονική βαρυτοβαθμίδα

Σε ορισμένες εφαρμογές της Φυσικής Γεωδαισίας όπως π.χ. ο βαρυτημετρικός προσδιορισμός του γεωειδούς απαιτούνται οριακές τιμές της βαρύτητας επάνω στο γεωειδές. Οι μετρήσεις όμως της βαρύτητας γίνονται στην επιφάνεια της γηδολαδή γενικά σε ορθομετρικό υψόμετρο H από το γεωειδές.

Για να αναχθεί η μέτρηση g η οποία έγινε σε υψόμετρο $H \neq 0$ σε αντίστοιχη τιμή g_0 στο γεωειδές ($H=0$) πρέπει να είναι γνωστή η μεταβολή της βαρύτητας μετά του υψομέτρου δηλαδή η τιμή της κατακόρυφης βαθμίδας της βαρύτητας ή βαρυτοβαθμίδας στον ελεύθερο αέρα.

$$\frac{\partial g}{\partial H} = -\frac{\partial^2 W}{\partial^2 z}, \quad (1.6)$$

Το μέγεθος αυτό δεν είναι δυνατό να μετρηθεί άμεσα. Στις πρακτικές εφαρμογές αντί της πραγματικής τιμής της βαρυτοβαθμίδας $\frac{\partial g}{\partial H}$ (1.7), χρησιμοποιείται η κανονική βαρυτοβαθμίδα $\frac{\partial \gamma}{\partial H}$ (1.8) όπου γ η κανονική βαρύτητα που αντιστοιχεί σε πλάτος $\varphi=45^\circ$.

1.5. Το γεωδαιτικό ενδιαφέρον των ανωμαλιών της βαρύτητας.

Μοντέλα βαρύτητας της γης

Για τον προσδιορισμό του εξωτερικού πεδίου βαρύτητας είναι χρήσιμο να εισαχθεί ένα σύστημα αναφοράς το κανονικό πεδίο βαρύτητας (normal gravity field). Πηγή του πεδίου αυτού είναι ένα μοντέλο Γης, το οποίο είναι γνωστό και ως κανονική Γη (normal Earth). Το μοντέλο αυτό ως γεωδαιτικό σώμα αναφοράς πρέπει να έχει ορισμένες ιδιότητες όπως:

- Να είναι μια καλή προσέγγιση της επιφάνειας της γης και του εξωτερικού γήινου πεδίου βαρύτητας.
- Να παράγεται με απλό τρόπο.

Σχετικά με την ιδιότητα αυτή κατάλληλο είναι το ελλειψοειδές εκ περιστροφής (rotational ellipsoid), το οποίο χρησιμοποιείται ήδη ως γεωμετρική επιφάνεια αναφοράς. Για να γίνει το ελλειψοειδές εκ περιστροφής μοντέλο κανονικής Γης, πρέπει εκτός από τις γεωμετρικές παραμέτρους δηλαδή όπως ο μεγάλος ημιάξονας a και η γεωμετρική πλάτυνση f , να εφοδιαστεί με μάζα M και περιστροφική κίνηση με γωνιακή ταχύτητα ω .

Το πεδίο βαρύτητας προκύπτει ως η συνισταμένη των ελκτικών και των φυγόκεντρων δυνάμεων. Αν επιπλέον απαιτήσουμε να είναι η επιφάνεια του ελλειψοειδούς χωροσταθμική επιφάνεια του πεδίου βαρύτητας του μοντέλου αυτού, τότε το πεδίο βαρύτητας έξω από την επιφάνεια του ελλειψοειδούς είναι μονότιμα ορισμένο σύμφωνα με το ακόλουθο θεώρημα:

Το θεώρημα του Stokes:

Αν ένα σώμα μάζας M περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από σταθερό άξονα και αν S είναι μια χωροσταθμική επιφάνεια του πεδίου βαρύτητας το οποίο δημιουργεί το σώμα αυτό, η οποία περικλείει ολόκληρη τη μάζα, τότε το δυναμικό της βαρύτητας στο χώρο έξω από την επιφάνεια S είναι μονότιμα ορισμένο.

Τα στοιχεία M , ω , S είναι γνωστά σαν στοιχεία Stokes.

Αν οι παράμετροι a , f , M , ω πάρουν τιμές που αντιστοιχούν σε αυτές της πραγματικής Γης, τότε το μοντέλο αυτό είναι η καλύτερη προσέγγιση στη γεωμετρία του γεωειδούς, και στο εξωτερικό γήινο πεδίο βαρύτητας, δηλαδή είναι το μέσο γήινο ελλειψοειδές. Με τον όρο γεωειδές (geoid) εννοείται η ισοδυναμική επιφάνεια η οποία προσεγγίζει σε παγκόσμια κλίμακα τη μέση στάθμη της θάλασσας σε

ηρεμία, δηλαδή την υποθετική επιφάνεια της θάλασσας μετά την απομάκρυνση των δυναμικών συνιστωσών της.

- Το μοντέλο της κανονικής βαρύτητας της κανονικής Γης πρέπει ακόμα να συμφωνεί με τους αντικειμενικούς σκοπούς της Γεωφυσικής.

Ιδιαίτερα, η σύγκριση μεταξύ του πραγματικού πεδίου βαρύτητας της Γης και του κανονικού πεδίου βαρύτητας, θα πρέπει να επιτρέπει συμπεράσματα για τη δομή του εσωτερικού της Γης. Αυτό προϋποθέτει ότι το μοντέλο της κανονικής Γης είναι ένα σώμα με ισορροπία υδροστατικού τύπου. Οι χωροσταθμικές επιφάνειες στην περίπτωση αυτή συμπίπτουν με επιφάνειες ίσης πυκνότητας και ίσης πίεσης. Η υδροστατική ισορροπία του μοντέλου της κανονικής Γης, δημιουργείται με μια ανακατανομή των πραγματικών μαζών της Γης. Στον παραπάνω ορισμό του χωροσταθμικού ελλειψοειδούς, δεν έγινε καμιά υπόθεση σχετικά με την κατανομή της μάζας στο εσωτερικό του μοντέλου. Είναι γνωστό πως η κατανομή των μαζών στο εσωτερικό της Γης δεν είναι ομογενής. Ένα μοντέλο αποτελούμενο από αλληπάλληλα κελύφη θα αποτελούσε καλύτερη προσέγγιση της πραγματικότητας, αλλά η επιφάνεια του μοντέλου αυτού δεν θα ήταν ελλειψοειδής. Ο Moritz έδειξε ότι οι μάζες στο εσωτερικό του χωροσταθμικού ελλειψοειδούς είναι δυνατό να διευθετηθούν κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να προσεγγίζουν ικανοποιητικά την πραγματική κατανομή των μαζών στο εσωτερικό της Γης. Για τη βέλτιστη προσέγγιση, η μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ των χωροσταθμικών επιφανειών και επιφανειών ίσης πυκνότητας είναι της τάξης του f^2 . Στην περίπτωση αυτή το χωροσταθμικό ελλειψοειδές μπορεί να χρησιμεύσει και ως γεωφυσικό μοντέλο της Γης.

1.6. Το κανονικό πεδίο βαρύτητας του χωροσταθμικού ελλειψοειδούς.

Έστω γ το διάνυσμα της κανονικής βαρύτητας και U το δυναμικό του κανονικού πεδίου.

Ισχύει

$$\gamma = \text{grad}U, \quad (1.9)$$

Σε αναλογία με το πραγματικό πεδίο, το κανονικό πεδίο είναι το άθροισμα του κανονικού δυναμικού έλξης V και του δυναμικού της φυγόκεντρης επιτάχυνσης Φ δηλαδή

$$U = V + \Phi, \quad (1.10)$$

Το δυναμικό έλξης ικανοποιεί την διαφορική εξίσωση του Laplace $\Delta V = 0$ στο χώρο έξω από το ελλειψοειδές το οποίο περικλείει τη μάζα M . Το δυναμικό έλξης είναι δυνατό να αναπτυχθεί σε σειρά σφαιρικών αρμονικών συναρτήσεων. Αν απαιτήσουμε το κανονικό πεδίο να είναι συμμετρικό ως προς τον άξονα περιστροφής, τότε οι όροι του αναπτύγματος αυτού εκτός των οποίων οι οποίοι περιέχουν αρμονικές των ζωνών, μηδενίζονται.

1.7. Γενικά για τα γεωδαιτικά προβλήματα συνοριακών τιμών.

Όπως είναι γνωστό το αντικείμενο της επιστήμης της γεωδαισίας είναι ο προσδιορισμός του σχήματος της επιφάνειας της Γης και του εξωτερικού γήινου πεδίου βαρύτητας. Για την προσέγγιση του εξωτερικού πεδίου βαρύτητας χρησιμοποιούνται οι θεωρίες των γεωδαιτικών προβλημάτων συνοριακών τιμών. Σύμφωνα με τις οποίες η προσέγγιση επιτυγχάνεται με την ανάλυση παρατηρήσεων διάφορων συνιστωσών της βαρύτητας, οι οποίες αναφέρονται στο σύνορο της γήινης επιφάνειας. Η έννοια της συνοριακής γήινης επιφάνειας ως επιφάνεια αναφοράς όλων των επίγειων παρατηρήσεων, με σκοπό την προσέγγιση του εξωτερικού πεδίου, σχετίζεται άμεσα με τη θεμελιώδη διαφορική σχέση των Laplace και Poisson.

Το γήινο δυναμικό (gravity potential) διακρίνεται σε δύο συνιστώσες:

- Το δυναμικό έλξης (gravitational or attractor potential) που οφείλεται στην έλξη των μαζών με βάση τη Νευτώνεια θεωρία.
- Το φυγοκεντρικό δυναμικό (centrifugal potential) που οφείλεται στην περιστροφική κίνηση της Γης.

Το δυναμικό έλξης ικανοποιεί την εξίσωση του Poisson:

$$\Delta V = -4\pi G\rho, \quad (1.11)$$

Όπου με Δ συμβολίζεται ο τελεστής του Laplace, G είναι η Νευτώνεια σταθερά της παγκόσμιας έλξης και ρ είναι η πυκνότητα των μαζών.

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}, \quad (1.12)$$

Ενώ στην περίπτωση που το σημείο υπολογισμού βρίσκεται εκτός των μαζών ισχύει η εξίσωση του Laplace:

$$\Delta V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0, \quad (1.13)$$

Οι εξισώσεις που ικανοποιούν την παραπάνω σχέση ανήκουν σε μια ειδική κατηγορία συναρτήσεων και ονομάζονται αρμονικές (harmonic functions). Το γήινο πεδίο βαρύτητας δεν ικανοποιεί τη συνθήκη αρμονικότητας, γιατί περιέχει και τον όρο που οφείλεται στο φυγοκεντρικό δυναμικό. Το δυναμικό της βαρύτητας μπορεί να διαχωριστεί σε ένα κανονικό μέρος το οποίο μπορεί να υπολογιστεί με μαθηματικές σχέσεις και σε ένα υπολειπόμενο διαταρακτικό μέρος. Για το διαταρακτικό δυναμικό T ισχύει:

$$T = W - U = V + \Phi - (V' + \Phi) = V - V', \quad (1.14)$$

Όπου V το πραγματικό δυναμικό έλξης, V' το κανονικό δυναμικό έλξης και Φ το φυγοκεντρικό δυναμικό. Το διαταρακτικό δυναμικό προκύπτει από τη διαφορά δύο αρμονικών συναρτήσεων και επομένως ικανοποιεί την εξίσωση του Laplace. Η ιδιότητα της αρμονικότητας είναι θεμελιώδης στα

γεωδαιτικά προβλήματα, γιατί μόνο αρμονικές συναρτήσεις μπορούν να προσδιοριστούν επάνω στη συνοριακή επιφάνεια.

(Αραμπέλος και Τζιαβός, 2007 και Βασακάκης 2010)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Παγκόσμια Μοντέλα Βαρύτητας

2.1 Περιγραφή του κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό συζητείται η ανάπτυξη και η χρήση των Παγκόσμιων Μοντέλων Βαρύτητας και συγκεκριμένα των μοντέλων που περιγράφονται με τη χρήση των σφαιρικών αρμονικών συντελεστών. Το κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται στη συζήτηση για το σχεδιασμό και την επιλογή των εναλλακτικών τεχνικών και στρατηγικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανάπτυξη των Παγκόσμιων Μοντέλων Βαρύτητας. Με την πρόσφατη πρόοδο σε γεωδαιτικές τεχνικές και συγκεκριμένα στη διαθεσιμότητα σε αποστολές χαρτογράφησης του δυναμικού αφενός και η διαθεσιμότητα πολύ υψηλής ανάλυσης μοντέλων βαρύτητας από την άλλη, παρέχονται νέα στοιχεία για τη συζήτηση που ακολουθεί.

Το κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται σε νέες δορυφορικές αποστολές που είναι αφιερωμένες στη χαρτογράφηση του βαρυτικού πεδίου από το διάστημα, καθώς και στις προόδους και τις προκλήσεις που εισάγουν αυτές οι αποστολές στην ανάπτυξη των παγκόσμιων γεωδυναμικών μοντέλων.

Επίσης επικεντρώνεται στο συνδυασμό της πληροφορίας για τη βαρύτητα που λαμβάνεται από τους δορυφόρους, με την πληροφορία για τη βαρύτητα που λαμβάνεται από δεδομένα από την επιφάνεια της γης, τα οποία επιτρέπουν την ανάπτυξη πολύ υψηλής ανάλυσης παγκόσμιων γεωδυναμικών μοντέλων όπως το EGM2008.

Ακόμα συζητείται η ανάπτυξη των παγκόσμιων γεωδυναμικών μοντέλων, όμως παραλείπονται σκόπιμα οι μαθηματικές και αριθμητικές λεπτομέρειες, οι οποίες αναλύονται στις βιβλιογραφικές αναφορές.

Στην επόμενη ενότητα συζητούνται με κάποιες λεπτομέρειες οι μαθηματικές και αριθμητικές διαδικασίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη των γεωδυναμικών μοντέλων. Για το σκοπό αυτό, δύο μοντέλα χρησιμοποιούνται σε αυτή την ενότητα, το EGM96 τα γεωδυναμικά μοντέλα των δορυφορικών αποστολών CHAMP και GRACE και το EGM2008, το οποίο αποτελεί σήμερα το γεωδυναμικό μοντέλο με τη μεγαλύτερη ακρίβεια και επίσης την υψηλότερη ανάλυση.

Η παρούσα ανάλυση εστιάζει στον υπολογισμό του γεωειδούς, ειδικά όσον αφορά την εξάρτηση από τις επιδράσεις της παλίρροιας και τον υπολογισμό της ανωμαλίας ύψους και αποχών του γεωειδούς, που αναφέρονται σε κάποιο ελλειψοειδές αναφοράς και στο κανονικό βαρυτικό δυναμικό.

Στην επόμενη ενότητα γίνεται μια σύντομη συζήτηση για τις προσωρινές διακυμάνσεις του βαρυτικού δυναμικού, που προκύπτουν από την ανακατανομή των μαζών μέσα στη Γη και τις πολύ πρόσφατες εξελίξεις στη χαρτογράφηση και την παρακολούθηση αυτών των διακυμάνσεων από το διάστημα, οι οποίες προέκυψαν από την ανάλυση δεδομένων από την δορυφορική αποστολή GRACE.

2.2 Εισαγωγή

Ένα παγκόσμιο μοντέλο βαρύτητας είναι μια μαθηματική προσέγγιση του εξωτερικού βαρυτικού δυναμικού ενός σώματος που έλκεται. Στην περίπτωση μας το ελκούμενο σώμα είναι η Γη, αν και πολλές από τις έννοιες που συζητάμε ισχύουν εξίσου καλά και για τους άλλους πλανήτες και τα ουράνια σώματα.

Ένα παγκόσμιο μοντέλο βαρύτητας αποτελείται από ένα σύνολο αριθμητικών τιμών για ορισμένες παραμέτρους, τα στατιστικά στοιχεία των σφαλμάτων που σχετίζονται με τις τιμές αυτές (όπως εκφράζονται π.χ. στον πίνακα συμμεταβλητότητας των σφαλμάτων τους) και μια συλλογή μαθηματικών εκφράσεων, αριθμητικών τιμών και αλγορίθμων που επιτρέπουν στον χρήστη για να εκτελέσει:

1. Σύνθεση, δηλαδή υπολογισμός των αριθμητικών τιμών των ποσοτήτων που σχετίζονται με το βαρυτικό δυναμικό, δεδομένης της θέσης του σημείου αξιολόγησης.
2. Μετάδοση σφαλμάτων, δηλαδή υπολογισμός των αναμενόμενων σφαλμάτων των υπολογισμένων συναρτήσεων όπως υπονοείται κατά την μετάδοση των σφαλμάτων των παραμέτρων που καθορίζουν τα παγκόσμια μοντέλα βαρύτητας.

Ένα παγκόσμιο μοντέλο βαρύτητας πρέπει να υποστηρίζει τέτοιους υπολογισμούς σε αυθαίρετα σημεία που βρίσκονται επάνω ή πάνω από την επιφάνεια της Γης, με τρόπο που να είναι αυστηρός και αποτελεσματικός. Επιπλέον ένα παγκόσμιο μοντέλο βαρύτητας πρέπει να πληροί κάποιες προϋποθέσεις οι οποίες απορρέουν από την υποκείμενη φυσική. Δηλαδή θα πρέπει να αντιπροσωπεύει μια βαθμιαία συνάρτηση της θέσης που είναι αρμονική έξω από τις έγκυρες μάζες και μηδενίζεται στο άπειρο ως αντίστροφο της απόστασης μεταξύ του ελκούμενου σημείου και της έγκυρης μάζας. Επιπλέον ένα παγκόσμιο μοντέλο βαρύτητας πρέπει να επιτρέπει τον υπολογισμό οποιουδήποτε συναρτησιακού του πεδίου. Αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο θα πρέπει να διατηρήσει τις σχέσεις (διαφορικές ή ολοκληρωματικές) μεταξύ των διαφόρων συναρτησιακών. Ένα παγκόσμιο μοντέλο βαρύτητας έχει πολλές χρήσεις τόσο λειτουργικές όσο και επιστημονικές, όπως:

1. Εφαρμογές προσδιορισμού τροχιάς απαραίτητες για την παρακολούθηση του διαστήματος (ανίχνευση, παρακολούθηση και πρόβλεψη τροχιάς αντικειμένων που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη).
2. Εφαρμογές αδρανειακής πλοήγησης για τον προσδιορισμό της τροχιάς των αεροπλάνων και των πυραύλων.
3. Υπολογισμοί των αποχών του γεωειδούς, απαραίτητοι για την μετατροπή του γεωμετρικού υψομέτρου σε ορθομετρικό υψόμετρο που αναφέρεται σε μια ισοδυναμική επιφάνεια. Αυτή η εφαρμογή έχει προσελκύσει μεγάλο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια, επειδή ο προσδιορισμός θέσης μέσω GPS και ο προσδιορισμός υψομέτρων γεωειδούς με βαρυτημετρικές μεθόδους, προσφέρουν τη δυνατότητα προσδιορισμού ορθομετρικών υψομέτρων και υψομετρικών διαφορών χωρίς τη χρήση ακριβούς εξοπλισμού και επίπονων διαδικασιών.

4. Ωκεανογραφικές εφαρμογές που απαιτούν την εκτίμηση της δυναμικής τοπογραφίας των ωκεανών και των κλίσεων της, ποσότητες που σχετίζονται άμεσα με την κυκλοφορία των ωκεανών. Αυτή η εφαρμογή θέτει πολύ αυστηρές απαιτήσεις ακρίβειας και ανάλυσης στα παγκόσμια μοντέλα βαρύτητας.
5. Ένα μοναδικό, ακριβές υψηλής ανάλυσης παγκόσμιο μοντέλο βαρύτητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει την επιφάνεια αναφοράς για την υλοποίηση ενός παγκόσμιου κατακόρυφου Datum.
6. Γεωφυσικές εφαρμογές όπου σε συνδυασμό με άλλες πληροφορίες (π.χ. σεισμικά δεδομένα) ένα παγκόσμιο μοντέλο βαρύτητας μπορεί να περιέχει σημαντικές συνθήκες που βοηθούν στον προσδιορισμό των υποκείμενων κατανομών πυκνότητας.

Κάθε μια από αυτές τις εφαρμογές έχει διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά στην ακρίβεια και την ανάλυση του υποστηρικτικού παγκόσμιου μοντέλου βαρύτητας. Για παράδειγμα λόγω της εξασθένησης του πεδίου όσο αυξάνεται το υψόμετρο, μια σχετικά χαμηλή ανάλυση παγκόσμιου μοντέλου βαρύτητας (π.χ. σε σφαιρική επέκταση αρμονικών σε μέγιστο βαθμό 70 ή 90) είναι επί του παρόντος επαρκής για τον ακριβή προσδιορισμό της τροχιάς των περισσότερων δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη. Σε αντίθεση, ο ακριβής προσδιορισμός των κλίσεων της ισοδυναμικής επιφάνειας απαιτεί ένα παγκόσμιο μοντέλο βαρύτητας πολύ μεγαλύτερης ανάλυσης.

Οι γεωδαίτες έχουν αναπτύξει σε διάφορες χρονικές στιγμές, μοντέλα “ειδικού σκοπού”, που βελτιστοποιούν την απόδοση για μια συγκεκριμένη εφαρμογή (π.χ. προσδιορισμός της τροχιάς ενός συγκεκριμένου δορυφόρου, ή ο υπολογισμός της αποχής του γεωειδούς σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Αν και τέτοια “προσαρμοσμένα” μοντέλα έχουν βρει κάποιες χρήσεις στο παρελθόν, ο απώτερος στόχος είναι πάντα η ανάπτυξη ενός μοναδικού, γενικού σκοπού παγκόσμιου μοντέλου βαρύτητας, που αντιμετωπίζει τις διαφορετικές εφαρμογές με βέλτιστο τρόπο.

Η ανάπτυξη ενός παγκόσμιου μοντέλου βαρύτητας είναι μια εργασία που περιλαμβάνει τον βέλτιστο συνδυασμό μιας ποικιλίας δεδομένων (δορυφορικά, χερσαία, θαλάσσια, αερομεταφερόμενα). Αυτό συμβαίνει γιατί δεν υπάρχει ένας τύπος δεδομένων με παγκόσμια κάλυψη και με ομοιόμορφα υψηλή ακρίβεια και υψηλή φασματική ευαισθησία. Τα προαναφερθέντα δεδομένα έχουν συμπληρωματικό χαρακτήρα (όσον αφορά τη φασματική ευαισθησία και την γεωγραφική κάλυψη), έτσι ώστε ο βέλτιστος συνδυασμός τους να επιτρέπει σε ένα παγκόσμιο μοντέλο βαρύτητας να ικανοποιεί την ποικιλία των εφαρμογών που περιγράφηκαν προηγουμένως. Οι λύσεις αυτού του τύπου (π.χ. EGM96), μπορεί να περιλαμβάνουν όχι μόνο παραμέτρους που περιγράφουν το βαρυτικό δυναμικό, αλλά και παραμέτρους που περιγράφουν και τη δυναμική της τοπογραφίας των ωκεανών, παλίρροιες, τις παραμέτρους προσανατολισμού της Γης (Earth Orientation Parameters- EOP) και θέσης σταθμού παρακολούθησης, καθώς και πληθώρα διαταρακτικών παραμέτρων που είναι απαραίτητες για να μοντελοποιηθεί πλήρως το περιεχόμενο ορισμένων τύπων δεδομένων (καθυστερήσεις που σχετίζονται με ορισμένα δορυφορικά δεδομένα παρακολούθησης). Το αποτέλεσμα μιας επιτυχημένης προσπάθειας ανάπτυξης ενός παγκόσμιου μοντέλου βαρύτητας, είναι ένα μοντέλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο για πολλές εφαρμογές, για μεγάλο χρονικό διάστημα.

2.3 Παγκόσμια και τοπικά μοντέλα βαρύτητας- ομοιότητες και διαφορές

Είναι χρήσιμο να ληφθούν υπόψη ορισμένα σημαντικά σημεία που σχετίζονται με την ανάπτυξη και τη φύση των παγκόσμιων και τοπικών μοντέλων βαρύτητας.

1. Το πιο χρονοβόρο, ακριβό και επίπονο έργο στην ανάπτυξη τόσο των παγκόσμιων όσο και των τοπικών μοντέλων βαρύτητας, είναι η συλλογή δεδομένων, η αξιολόγηση και η προεπεξεργασία. Συγκριτικά ο χρόνος που απαιτείται για την εκτίμηση του μοντέλου είναι σχεδόν αμελητέος.
2. Τα υπάρχοντα παγκόσμια μοντέλα βαρύτητας που αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας σφαιρικές αρμονικές ως αντιπροσωπευτική βάση, επιτρέπουν τον υπολογισμό οποιουδήποτε συναρτησιακού του πεδίου (π.χ. αποχές του γεωειδούς, ανωμαλίες βαρύτητας, αποκλίσεις της κατακορύφου, δεύτερης τάξης βαθμίδες του δυναμικού), οπουδήποτε έξω από τις έγκυρες μάζες. Αυτές οι υπολογισμένες τιμές φυσικά υπόκεινται σε σφάλματα. Αντίθετα τα διαθέσιμα τοπικά ή περιφερειακά μοντέλα βαρύτητας, αποτελούνται συνήθως από γεωγραφικά πλέγματα, που περιέχουν τις εκτιμώμενες τιμές ενός ή περισσοτέρων συναρτήσεων του πεδίου (π.χ. αποχές του γεωειδούς, αποκλίσεων της κατακορύφου), δεν μπορούν να υποστηρίξουν τον υπολογισμό των αυθαίρετων πεδίων συναρτησιακού σε οποιασδήποτε θέση.
3. Τα παγκόσμια μοντέλα βαρύτητας συνοδεύονται από ολοένα και πιο ολοκληρωμένα και αξιόπιστη εκτίμηση σφάλματος. Αντίθετα τα υπάρχοντα τοπικά ή περιφερειακά μοντέλα βαρύτητας, σπάνια συνοδεύονται από στατιστικά στοιχεία σφαλμάτων, που υπολογίζονται αυστηρά από τις εκτιμήσεις σφάλματος των δεδομένων εισαγωγής.
4. Ο προσδιορισμός ενός παγκόσμιου μοντέλου βαρύτητας δεν είναι πρόβλημα παρεμβολής. Η επιφάνεια του βαρυτημετρικού γεωειδούς δεν είναι άμεσα παρατηρήσιμη. Πολλαπλές αναλύσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες μελέτες για την ανάλυση και την απεικόνιση διαφόρων επιπέδων λεπτομέρειας, σε μια δεδομένη επιφάνεια γεωειδούς, αντιμετωπίζουν (στην καλύτερη περίπτωση) προβλήματα παρεμβολής, αλλά δεν ανταποκρίνονται στα πολύ πιο απαιτητικά και σημαντικά προβλήματα βαρυτημετρικής εκτίμησης.
Το κύριο πρόβλημα του γεωδαίτη είναι πως να προσδιορίσει το γεωειδές (και άλλες συναρτήσεις πεδίου) από ετερογενή δεδομένα επηρεασμένα από σφάλματα, όχι πως να το παρεμβάλλει.
5. Ο προσδιορισμός ενός τοπικού ή περιφερειακού μοντέλου, ενός δεδομένου συναρτησιακού βαρύτητας, μπορεί να αναχθεί σε πρόβλημα παρεμβολής ή πρόγνωσης, αν η συνάρτηση του ενδιαφέροντος (π.χ. ανωμαλία βαρύτητας) παρατηρείται άμεσα μέσα στην περιοχή ενδιαφέροντος.
6. Το επιχείρημα της χρήσης των σφαιρικών (ή των ελλειψοειδών) αρμονικών ως αντιπροσωπευτικής βάσης για ένα παγκόσμιο μοντέλο βαρύτητας, έχει το μειονέκτημα ότι οι τοπικές ενημερώσεις δεδομένων απαιτούν συνεχείς ενημερώσεις του μοντέλου (εκ νέου υπολογισμός του παγκόσμιου μοντέλου βαρύτητας) θα ήταν αληθινές εάν οι γεωδαίτες

βασίζονται αποκλειστικά σε παγκόσμια μοντέλα βαρύτητας, για όλες τις βαρυτημετρικές εφαρμογές. Προς το παρόν δεν το κάνουν. Επιπλέον ακόμη και αν απαιτείται εκ νέου ο υπολογισμός ενός παγκόσμιου μοντέλου βαρύτητας, λόγω ορισμένης επικαιροποίησης των περιφερειακών δεδομένων βαρύτητας επιφάνειας, ένας τέτοιος υπολογισμός μπορεί να γίνει πολύ αποτελεσματικά και γρήγορα προς το παρόν, υπό την προϋπόθεση ότι το υποκείμενο δορυφορικό μόνο μοντέλο δεν χρειάζεται να υπολογιστεί εκ νέου.

2.4 Αναπαράσταση σήματος και χαρακτηριστικά δεδομένων

Παρόλο που οι γεωδαίτες έχουν μελετήσει την αναπαράσταση του βαρυτικού δυναμικού χρησιμοποιώντας σημειακές μάζες, μεθόδους πεπερασμένων στοιχείων και splines, αυτές οι προσεγγίσεις έχουν περιορισμένη μόνο εφαρμογή στην αναπαράσταση του “στατικού” (δηλαδή μέσου χρόνου) βαρυτικού πεδίου της Γης. Οι σφαιρικές αρμονικές έχουν επικρατήσει ως η τυπική μορφή που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση του βαρυτικού δυναμικού παγκοσμίως, από τις πρώτες μέρες που έγιναν προσδιορισμοί παγκοσμίως μέχρι σήμερα. Πράγματι, το σύνολο των συντελεστών μιας σφαιρικής αρμονικής ανάπτυξης του βαρυτικού δυναμικού, έχει γίνει σχεδόν συνώνυμο με ένα παγκόσμιο γεωδυναμικό μοντέλο. Ο Rapp παρέχει μια ανασκόπηση επάνω στην ανάπτυξη των γεωδυναμικών μοντέλων του εικοστού αιώνα, η οποία περιλαμβάνει μια εκτενή λίστα αναφορών. Το εξωτερικό βαρυτικό δυναμικό της Γης, V , σε ένα σημείο P , καθορίζεται από τη γεωκεντρική του απόσταση (r_p), γεωκεντρικό πλάτος (θ_p), και μήκος (λ_p), μπορεί να εκφραστεί ως:

$$V(r_p, \theta_p, \lambda_p) = \frac{GM}{r_p} \left[1 + \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{\alpha}{r_p} \right)^n \sum_{m=-n}^n C_{nm} Y_{nm}(\theta_p, \lambda_p) \right], \quad (2.1)$$

Όπου GM είναι η γεωκεντρική σταθερά βαρύτητας (το προϊόν της παγκόσμιας σταθεράς βαρύτητας), M η μάζα της Γης συμπεριλαμβανόμενης της ατμόσφαιράς της, και α είναι ένας παράγοντας που σχετίζεται με τους πλήρως κανονικοποιημένους σφαιρικούς αρμονικούς συντελεστές C_{nm} , το α είναι ίσο με τον μεγάλο ημιάξονα του ελλειψοειδούς μοντέλου προσομοίωσης τη Γης. Οι επιφανειακές σφαιρικές αρμονικές συναρτήσεις ορίζονται ως:

$$Y_{nm}(\theta_p, \lambda_p) = \dot{P}_{nm}(\cos \theta_p) * \{ \cos m \lambda_p \}, \quad \text{αν } m \geq 0, \quad (2.2)$$

$$Y_{nm}(\theta_p, \lambda_p) = \dot{P}_{nm}(\cos \theta_p) * \{ \sin m \lambda_p \}, \quad \text{αν } m < 0, \quad (2.3)$$

$\dot{P}_{nm}(\cos \theta_p)$ είναι η πλήρως κανονικοποιημένη συνάρτηση Legendre του πρώτου είδους, βαθμού n και τάξης m . Στην πράξη το άθροισμα των βαθμών περιορίζεται σε έναν περιορισμένο βαθμό N , ο οποίος

εξαρτάται από τα διαθέσιμα δεδομένα. Με τη σειρά του ορίζει (περίπου) την ανάλυση του παγκόσμιου γεωδυναμικού μοντέλου. Ο στόχος της παγκόσμιας μοντελοποίησης του βαρυτικού πεδίου σε υψηλή ανάλυση, είναι να εκτιμηθούν με όσο το δυνατόν καλύτερη ακρίβεια, οι συντελεστές C_{nm} , μέσω του βέλτιστου συνδυασμού βαρυτικής πληροφορίας από ποικίλα δεδομένα. Εξίσου σημαντική είναι η εκτίμηση της αξιοπιστίας των εκτιμήσεων των σφαλμάτων για τις τιμές των συντελεστών C_{nm} . Οι εκτιμώμενες τιμές των συντελεστών C_{nm} μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των συναρτησιακών του πεδίου (αποχές του γεωειδούς, ανωμαλίες βαρύτητας, κλπ) ενώ τα σχετικά σφάλματα (και η συσχέτιση σφάλματος όταν είναι διαθέσιμα) μπορεί να μεταδίδονται για να οδηγήσουν στην εκτίμηση των σφαλμάτων των υπολογιζόμενων συναρτησιακών. Πριν από τη νέα χιλιετία και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων από τις δορυφορικές αποστολές CHAMP και GRACE, τέσσερα είδη βαρυτικής πληροφορίας ήταν συνήθως διαθέσιμα για την ανάπτυξη συνδυαστικών μοντέλων βαρύτητας υψηλού βαθμού όπως το EGM96.

1. Πληροφορίες που λαμβάνονται από την ανάλυση διαταραχών της τροχιάς των δορυφόρων, που προκύπτουν από την παρακολούθηση δεδομένων. Αυτό είναι μεγάλης σημασίας για τον προσδιορισμό του τμήματος των χαμηλών βαθμών του μοντέλου. Τα δορυφορικά μοντέλα έχουν εξελιχθεί από λύσεις σε βαθμό 4 στις αρχές της δεκαετίας του 1960, σε μοντέλα που έχουν ολοκληρωθεί έως τον βαθμό 70 ή 90 που είναι διαθέσιμα προς το παρόν. Αυτές οι εξελίξεις πραγματοποιήθηκαν μέσω της διαθεσιμότητας, ολοένα και πιο ακριβή δεδομένα παρακολούθησης, που αποκτήθηκαν μέσω μιας συνεχόμενης επέκτασης των σχηματισμών των τροχιών γύρω από τη Γη. Τα δεδομένα παρακολούθησης από περίπου 40 δορυφόρους, έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη μιας δορυφορικής μόνο λύσης που υποστηρίζει το EGM96 (υποδηλώνεται EGM96S). Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν συμβολομετρικές παρατηρήσεις Doppler, (radio Doppler and Radio Interferometric Observations), δεδομένα δορυφορικής τηλεμετρίας Laser (Satellite Laser Ranging (SLR)) παρακολούθησης του ραδιοσυστήματος προσέγγισης της τροχιάς DORIS, (Doppler Orbit determination and Radiopositioning Integrated on Satellite) και δεδομένα διαδορυφορικής παρακολούθησης (Satellite to Satellite tracking (SST)) από το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης Global Positioning System (GPS) όπως και παρακολούθηση αναμετάδοσης δεδομένων σε δορυφορικών συστημάτων (TDRSS) σε χαμηλότερες τροχιές γύρω από τη Γη. Παρά τις προόδους αυτά τα είδη των παρατηρήσεων αδυνατούν να προσεγγίσουν την τελική δομή του πεδίου, λόγω της εξασθένησης του βαρυτικού σήματος σε σχέση με το υψόμετρο. Επιπλέον οι διαθέσιμοι δορυφόροι δεν λαμβάνουν δειγματοληπτικά ομοιόμορφα το εύρος των κλίσεων και των υψών, κάτι που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την από-συσχέτιση των αρμονικών συντελεστών, που υπολογίζονται μόνο από δεδομένα παρακολούθησης μέσω δορυφόρου. Αυτό προκαλεί ισχυρή συσχέτιση, κυρίως μεταξύ των συντελεστών υψηλότερου βαθμού και απαιτεί τη χρήση a priori περιορισμών στην ανάπτυξη δορυφορικών- μόνο μοντέλων.
2. Επιφανειακά (χερσαία, θαλάσσια και από αέρος) δεδομένα βαρύτητας που είναι καταρχήν ικανά να επιλύσουν χαρακτηριστικά μεγάλου και μικρού μήκους κύματος του πεδίου βαρύτητας. Αυτό ωστόσο απαιτεί ομοιόμορφα παγκόσμια κάλυψη με πυκνά δεδομένα βαρύτητας ομοιόμορφα υψηλής ακρίβειας. Τα καλύτερα διαθέσιμα σύνολα δεδομένων γύρω στο 1996 (Kenyon και Pavlis 1996) αντιπροσωπεύουν πληροφορίες που προέρχονται από περισσότερες από 4000 πηγές με λεπτομερή δεδομένα βαρύτητας, που συλλέχθηκαν για αρκετές δεκαετίες. Η ακρίβεια και η πυκνότητα των σημειακών δεδομένων ποικίλουν ουσιαστικά με τη γεωγραφική περιοχή, με εκτεταμένες περιοχές (π.χ. Ανταρκτική) να είναι

πρακτικά κενές από μετρήσεις βαρύτητας. Τα δεδομένα ανωμαλίας βαρύτητας επηρεάζονται από διάφορα συστηματικά σφάλματα. Αυτά τα σφάλματα σε συνδυασμό με τη μη-ομοιομορφία της κάλυψης, υποβαθμίζουν της ακεραιότητα του μεγάλου μήκους κύματος των βαρυτικών πληροφοριών, που μπορούν να εξαχθούν από την επίγεια βαρυτημετρία. Παρόλα αυτά η επίγεια βαρυτημετρία και η από αέρος παρέχουν προς το παρόν τα μόνα δεδομένα που μπορούν να επιλύσουν χαρακτηριστικά μικρού μήκους κύματος, ειδικά σε χερσαίες περιοχές. Επιπλέον οι θαλάσσιες μετρήσεις βαρύτητας, βοηθούν στο διαχωρισμό του γεωειδούς από το σήμα της δυναμικής ωκεάνειας τοπογραφίας (Dynamic Ocean Topography-DOT) όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τη δορυφορική αλτιμετρία.

3. Τα δεδομένα δορυφορικής αλτιμετρίας, επέτρεψαν μια αξεπέραστη χαρτογράφηση του πεδίου στους ωκεανούς, τόσο ως προς την ακρίβεια όσο και ως προς την ανάλυση. Οι δορυφορικές αλτιμετρικές αποστολές TOPEX/Poseidon, (T/P) (καθώς και οι ακόλουθες αποστολές Jason-1 Jason-2 και Jason-3) παρέχουν τακτικά εκτιμήσεις υψομέτρων της επιφάνειας της θάλασσας (Sea Surface Height- SSH) οι οποίες για πρώτη φορά δεν είναι επηρεασμένες από το ακτινικό σφάλμα τροχιάς (ακτινικό σφάλμα τροχιάς με RMS στα 2cm). Ωστόσο, οι μετρήσεις αλτιμετρίας περιορίζονται στις περιοχές του ωκεανού, που οριοθετούνται από την κλίση του δορυφόρου, και επιπλέον παρέχουν χαρτογράφηση του αθροίσματος της αποχής του γεωειδούς και της δυναμικής της ωκεάνειας τοπογραφίας. Το γεγονός αυτό αποδυναμώνει κάπως τη συμβολή των δεδομένων αλτιμετρίας στον προσδιορισμό του μεγάλου μήκους κύματος πληροφορίας του βαρυτικού πεδίου και απαιτείται κατάλληλη μοντελοποίηση και εκτίμηση της δυναμικής ωκεάνειας τοπογραφίας όταν τα αλτιμετρικά δεδομένα SSH χρησιμοποιούνται σε λύσεις συνδυασμού. Υπάρχει ωστόσο ένας άλλος τρόπος ενσωμάτωσης αλτιμετρικών δεδομένων σε ένα γεωδυναμικό μοντέλο υψηλού βαθμού, ο οποίος θα συζητηθεί στη συνέχεια.
4. Ο συνδυασμός αλτιμετρικών δεδομένων από διάφορες αποστολές, παρείχε μια πυκνή δειγματοληψία στις περισσότερες περιοχές της επιφάνειας του ωκεανού. Αυτά τα δεδομένα με τη μορφή SSH και/ή κλίσεων SSH, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εκτίμηση των ανωμαλιών βαρύτητας σε όλο τον ωκεανό, σε πολύ καλή ανάλυση.

Οι μέσοι όροι των περιοχών αυτών των τιμών μπορούν να ενωθούν με αντίστοιχες ανωμαλίες βαρύτητας εδάφους και από αέρος και ανωμαλίες βαρύτητας που συνάγονται από μοντέλα τοπογραφικού-ισοστατικού δυναμικού (Pavlis και Rapp 1990), για να παραχθεί ένα πλήρες, παγκόσμιο πλέγμα ανωμαλιών βαρύτητας. Η γεωμετρία των πλεγμάτων αυτών επιτρέπει την εφαρμογή πολύ αποτελεσματικών μεθόδων αρμονικής ανάλυσης (και σύνθεσης), οι οποίες έχουν φέρει επανάσταση στην ανάπτυξη και τη χρήση πολύ υψηλού βαθμού σφαιρικών αρμονικών αναπτύξεων. Αυτές οι προσεγγίσεις επιτρέπουν επίσης αποτελεσματικό συνδυασμό με δορυφορικές μόνο πληροφορίες, όπως έγινε π.χ. από τους Rapp και Pavlis (1990).

Ωστόσο, η ενσωμάτωση αλτιμετρικών δεδομένων σε ένα γεωδυναμικό μοντέλο απαιτεί μια εκ των προτέρων γνώση του σήματος της DOT (ή κάποια άλλη επαναληπτική προσέγγιση), έτσι ώστε οι παραγόμενες από την αλτιμετρία ανωμαλίες βαρύτητας, να εκτιμηθούν από το σωστά διορθωμένο SSH.

Η δορυφορική παρακολούθηση, τα αλτιμετρικά δεδομένα και τα βαρυτημετρικά δεδομένα επιφάνειας, έχουν συμπληρωματικό χαρακτήρα τόσο σε φασματική όσο και σε γεωγραφική έννοια. Ο συνδυασμός τους επιτρέπει τον προσδιορισμό του βαρυτικού πεδίου, σε μια ευρύτερη ζώνη του φάσματός του, με

βελτιωμένη ακρίβεια από ότι μπορεί να επιτευχθεί, χρησιμοποιώντας οποιονδήποτε από τους τρεις τύπους δεδομένων μόνο. Ο συγκεκριμένος τρόπος συνδυασμού αυτών των δεδομένων, προκειμένου να αναπτυχθεί ένα γεωδυναμικό μοντέλο υψηλού βαθμού, αποτελεί στρατηγική λύσης. Τα OSU91A (Rapp 1991) και EGM96 (Lemoine 1998), αντιπροσωπεύουν το αποτέλεσμα της εφαρμογής μιας συγκεκριμένης στρατηγικής λύσης, όπου τα αλτιμετρικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του μέρους του χαμηλού βαθμού αυτών των μοντέλων (μέγιστος βαθμός 50 και 70 αντίστοιχα) όπως και για το τμήμα υψηλότερου βαθμού.

Στη συνέχεια συζητούνται ορισμένα χαρακτηριστικά των παραπάνω τύπων δεδομένων, που είναι ιδιαίτερα σημαντικά για τον αποτελεσματικό τους συνδυασμό.

- Περιεχόμενο πληροφοριών: Οι παρατηρήσιμες ποσότητες στις παραπάνω τέσσερις κατηγορίες περιέχουν πληροφορίες όχι μόνο για το βαρυτικό πεδίο, αλλά και για πολλές άλλες επιδράσεις. Ορισμένες από αυτές τις επιδράσεις έχουν ενδιαφέρον από μόνες τους (π.χ. οι πληροφορίες DOT που περιέχονται στο αλτιμετρικό SSH), ενώ άλλες αντιπροσωπεύουν, τουλάχιστον όσον αφορά τη βαρυτική μοντελοποίηση, (περισσότερο ή λιγότερο) συστηματικό θόρυβο, (π.χ. οι μη-συντηρητικές δυνάμεις που ασκούνται σε έναν δορυφόρο). Σε κάθε περίπτωση η αποτελεσματική ενσωμάτωση ενός συγκεκριμένου τύπου δεδομένων στη λύση συνδυασμού, απαιτεί ακριβή μοντελοποίηση και βέλτιστη εκτίμηση, όλων των επιδράσεων και σημάτων που περιέχονται στις παρατηρήσεις. Διαφορετικά, μπορεί το εκτιμώμενο βαρυτικό μοντέλο να επηρεαστεί σοβαρά από τις εσφαλμένες (ή τις μη-μοντελοποιημένες) συστηματικές επιδράσεις.
- Επικάλυψη φασματικής ευαισθησίας: Η ανάπτυξη ενός γεωδυναμικού μοντέλου μέσω μιας προσαρμογής ελαχίστων τετραγώνων, συνδυάζοντας διαφορετικούς τύπους δεδομένων έχει νόημα, υπό την προϋπόθεση ότι τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην προσαρμογή μοιράζονται κάποιο κοινό βαθμό ευαισθησίας στο βαρυτικό σήμα σε ένα ορισμένο μέρος του φάσματός του (ένα εύρος βαθμών αρμονικών). Διαφορετικά, υπάρχει μικρή “προσαρμογή” σε δεδομένα που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά τμήματα του φάσματος του σήματος. Για παράδειγμα, τα υπάρχοντα δορυφορικά-μόνο μοντέλα, έχουν μια στενή επικάλυψη φασματικής ευαισθησίας, με μοντέλα που ανακτώνται μόνο από δεδομένα βαρύτητας από επιφάνεια. Αυτό περιπλέκει σημαντικά το πρόβλημα του βέλτιστου συνδυασμού αυτών των δύο τύπων δεδομένων. Από την άλλη πλευρά αυτό μπορεί να σημαίνει ότι ο σχεδιασμός και η αντιστροφή εξαιρετικά μεγάλων γραμμικών συστημάτων που αντιστοιχούν σε μοντέλα πολύ υψηλού βαθμού, ενδέχεται να μην είναι απαραίτητη, εάν ένας μοναδικός τύπος δεδομένων, (π.χ. ένα πλήρες, παγκόσμιο, πλέγμα ανωμαλιών βαρύτητας) καθορίζει μοναδικά τον υψηλότερο βαθμό ενός τέτοιου γεωδυναμικού μοντέλου.
- Σχετική επιλογή βαρών της εκτίμησης: Η βέλτιστη εκτίμηση ενός γεωδυναμικού μοντέλου εξαρτάται από τη βέλτιστη ικανότητα των σχετικών βαρών που αντιστοιχούν στους διαφορετικούς τύπους δεδομένων. Λαμβάνοντας υπόψη τις πολυάριθμες πηγές δεδομένων που εμπλέκονται, αυτό είναι ένας πολύ μεγάλος παράγοντας του προβλήματος εκτίμησης της μεταβλητότητας, που περιπλέκεται περαιτέρω από το γεγονός ότι η εξαγωγή βαρυτικών πληροφοριών από τις παρατηρήσεις τροχιάς των δορυφόρων, είναι ένα έντονα μη γραμμικό πρόβλημα. Παρόλο που οι προσεγγιστικές λύσεις σε αυτό το πρόβλημα εκτίμησης βάρους, έχουν χρησιμοποιηθεί με μεγάλη

επιτυχία, πολλές φορές η εμπειρία και η διαίσθηση των προγραμματιστών των μοντέλων, καθοδηγούν την επιλογή των κατάλληλων βαρών δεδομένων περισσότερο από οτιδήποτε άλλο.

2.5 Νέες δορυφορικές αποστολές

Τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη όλων των γεωδυναμικών μοντέλων που δημοσιεύτηκαν μέχρι τα τέλη του εικοστού αιώνα, αντιπροσωπεύουν την παρακολούθηση “στόχων ευκαιρίας”, δηλαδή διαστημικών σκαφών σχεδιασμένων και εξοπλισμένων με όργανα για εφαρμογές εκτός από τη χαρτογράφηση του βαρυτικού πεδίου από το διάστημα. Ως αποτέλεσμα τριών δορυφορικών αποστολών, αυτή η κατάσταση έχει αλλάξει δραματικά τα τελευταία χρόνια. Αυτές οι τρεις αποστολές είναι οι CHAMP, GRACE και GOCE.

Η χαρτογράφηση του βαρυτικού πεδίου από το διάστημα απαιτεί αποστολές που τηρούν όσο το δυνατόν περισσότερο τους ακόλουθους βασικούς σχεδιαστικούς περιορισμούς:

- Αδιάλειπτη παρακολούθηση σε τρεις χωρικές διαστάσεις.
- Μέτρηση ή περιορισμός των επιπτώσεων των μη βαρυτικών δυνάμεων.
- Το τροχιακό υψόμετρο όσο το δυνατόν χαμηλότερο, για να ενισχύσει την ευαισθησία στο βαρυτικό σήμα και κλίση όσο το δυνατόν μεγαλύτερη για να επιτρέπει την (σχεδόν) παγκόσμια κάλυψη.
- Αντιμέτωπιση της εξασθένισης του πεδίου σε σχέση με το υψόμετρο, μέσω της μέτρησης των παραγώγων του δυναμικού.

Και οι τρεις παραπάνω αποστολές έχουν από κοινού διαδορυφορική παρακολούθηση υψηλού-χαμηλού δορυφόρου (Satellite-To-Satellite Tracking- High-Low (SST-hl)) από τον σχηματισμό GPS (και GLONASS στην περίπτωση GOCE) και τη μέτρηση των μη-βαρυτικών δυνάμεων από τα επιταχυνσιόμετρα. Αυτά τα δεδομένα επιτρέπουν εξαιρετικά ακριβή προσδιορισμό τροχιάς και για τις τρεις αποστολές και επιπλέον μπορεί να ενισχύσει τον προσδιορισμό του βαρυτικού πεδίου σε πολύ μεγάλα μήκη κύματος (πολύ χαμηλούς βαθμούς). Επιπλέον ο GRACE περιλαμβάνει τη συνεχή μέτρηση του εύρους μεταξύ δύο πανομοιότυπων δορυφόρων που “κυνηγούν ο ένας τον άλλον”, ο οποίος αποτελεί σχηματισμό διαδορυφορικής παρακολούθησης χαμηλού-χαμηλού δορυφόρου (SST-II). Η συστοιχία των επιταχυνσιομέτρων του GOCE παρέχει τις απαραίτητες μετρήσεις για τον προσδιορισμό του βαρυτικού τανυστή (δηλαδή τον πίνακα 3x3 των χωρικών παραγώγων δεύτερης τάξης του βαρυτικού δυναμικού) στο ύψος της τροχιάς. Ο GOCE είναι μοναδικός με την έννοια ότι θα παρέχει οριακά δεδομένα σε υψόμετρο που καλύπτουν ολόκληρη τη Γη, εκτός από δύο πολικά καλύμματα ακτίνας περίπου 6.7° (λόγω της κλίσης του δορυφόρου). Τα δεδομένα από κάθε μια από τις τρεις αυτές αποστολές έχουν ως αποτέλεσμα διαφορετικές ευαισθησίες στο βαρυτικό φάσμα.

Δύο βασικά ερωτήματα προκύπτουν κατά την εξέταση των δεδομένων από αυτές τις δορυφορικές αποστολές:

1. Ποιος είναι ο βέλτιστος τρόπος ανάλυσης των δεδομένων από αυτές τις αποστολές;

2. Ποιος είναι ο βέλτιστος τρόπος συνδυασμού των δεδομένων τους με υπάρχοντα δεδομένα, π.χ. από επιφανειακή βαρυτημετρία και από δορυφορική αλτιμετρία, προκειμένου να αναπτυχθούν συνδυασμοί βαρυτικών μοντέλων υψηλού βαθμού;

1. **Ανάλυση δεδομένων:** Στην περίπτωση του CHAMP οι βαρυτικές πληροφορίες που εξάγονται από την ανάλυση των διαταραχών μιας χαμηλής τροχιάς. Ωστόσο, η χαμηλή τροχιά του CHAMP σε συνδυασμό με τα δεδομένα του επιταχυνσιόμετρου και με τη διαθεσιμότητα σχεδόν παγκόσμιας κάλυψης δεδομένων παρακολούθησης, που επιτρέπει για πρώτη φορά τον προσδιορισμό παγκόσμιου βαρυτικού μοντέλου μεγάλου μήκους κύματος, από τα δεδομένα ενός δορυφόρου. Ενδεικτική αυτής της “νέας κατάστασης” είναι ότι μια πολύ προκαταρκτική λύση (πλήρης σε βαθμό και τάξη 91) είχε ήδη αναπτυχθεί με βάση δεδομένα του μόνο ενός μηνός του CHAMP και παρουσιάστηκε κατά τη συνάντηση της Διεθνούς Ένωσης Γεωδαισίας (IAG) του 2001 από τον Reigber et al. Παρόλο που έχουν αναπτυχθεί καλύτερα μοντέλα που συμπεριλαμβάνουν τα δεδομένα GRACE, τα οποία που έχουν ξεπεράσει σημαντικά αυτή την προκαταρκτική λύση, η τελευταία χρησίμευσε ως καλό παράδειγμα των βελτιώσεων που έπρεπε να ακολουθήσουν.

Σε σύγκριση με τον CHAMP, η αποστολή GRACE πρόσθεσε και το SST-II, από το οποίο έπρεπε να εξαχθούν βαρυτικές πληροφορίες υψηλότερης ανάλυσης από την ανάλυση των διαφορών της τροχιακής διαταραχής, κατά μήκος της οπτικής γωνίας των δύο δορυφόρων χαμηλής τροχιάς. Κάποιος μπορεί να χρησιμοποιήσει παραδοσιακές- μεθόδους ανάλυσης διαταραχής τροχιάς, για να επεξεργαστεί τα δεδομένα του GRACE και να εξάγει ένα γεωδυναμικό μοντέλο, π.χ. σε σφαιρικές αρμονικές. Το GGM01S (Tapley et al. 2004) και το GGM02S (Tapley et al. 2005) Models υπολογίστηκαν μετά από αυτή τη διαδικασία. Αυτό το σενάριο ανάλυσης αν και δαπανηρό, βρίσκεται ενός των τρεχουσών υπολογιστικών δυνατοτήτων, για μοντέλα που επεκτείνονται σε βαθμό και τάξη 180 ή και παραπάνω. Οι γεωδαίτες έχουν επίσης μελετήσει εναλλακτικές μεθόδους ανάλυσης για αποστολές τύπου GRACE. Τέτοιες μέθοδοι παρέχουν υψηλότερη υπολογιστική αποδοτικότητα, στο κόστος εκτέλεσης ορισμένων προσεγγίσεων. Οι Luthcke et al. (2006) ανέφεραν μηνιαίες βαρυτικές λύσεις που καθορίστηκαν μόνο από αποκλειστικά δεδομένα διαδορυφορικής μεταβολής της απόστασης του GRACE τα οποία επηρεάζονται σημαντικά λιγότερο από ορισμένα συστηματικά σφάλματα, από εκείνες τις λύσεις που ενσωματώνουν ταυτόχρονα τα δεδομένα GPS (SST-hl) στην ανάπτυξή τους. Αφήνοντας για μια στιγμή τις λεπτομέρειες τις βέλτιστης επεξεργασίας δεδομένων GRACE, είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε εδώ την πρόοδο που έχει επιτευχθεί με την αποστολή GRACE. Περίπου 14 μηνών δεδομένων του GRACE μόνο έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη του GGM02S, του οποίου το συνολικό σφάλμα της αποχής του γεωειδούς, σε βαθμό 70 είναι μικρότερο του 1cm. Συγκριτικά το συνολικό σφάλμα της αποχής του γεωειδούς για βαθμό 70 του EGM96, το οποίο απαιτούσε το συνδυασμό των δεδομένων από δεκάδες δορυφόρους, μαζί με την βαρύτητα από επιφάνεια και τη δορυφορική αλτιμετρία ήταν 19 cm. Όσον αφορά το GOCE διάφορες έρευνες για τις διάφορες πτυχές της ανάλυσης δεδομένων της και για την ανάπτυξη ενός γεωδυναμικού μοντέλου από αυτές, μπορούν να βρεθούν στην ESA. Επίσης, διαφορετικές τεχνικές επεξεργασίας δεδομένων του GOCE έχουν παρουσιαστεί (άμεση μέθοδος- direct approach- ανάλυση στη χρονική κλίμακα- time-wise approach και ανάλυση στη χωρική κλίμακα- space-wise approach και μοντέλα που στηρίζονται στις νέες αυτές τεχνικές έχουν δημοσιευτεί (βλ. για περισσότερες πληροφορίες <http://icgem.gfz/potsdam.de/home>) Ένα ιδιαίτερο ζήτημα που λαμβάνει αυξημένη προσοχή αφορά τα

κενά στις πολικές περιοχές και τον αντίκτυπό τους σε σχήματα ανάλυσης, που εκμεταλλεύονται την κανονικότητα και την πληρότητα στην κάλυψη δεδομένων (π.χ. σχήματα σχηματισμού κανονικών εξισώσεων- μπλοκ).

2. Συνδυασμός δεδομένων. Ενώ οι υπάρχουσες δορυφορικές αποστολές χαρτογράφησης βαρύτητας (CHAMP , GRACE και GOCE) έχουν παραδώσει αποτελέσματα σημαντικής εξέλιξης στην ακρίβεια και την ανάλυση των δορυφορικών-μόνο βαρυτικών μοντέλων, εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη συνδυασμού πληροφοριών με επίγεια δεδομένα βαρύτητας και δορυφορικής αλτιμετρίας. Αυτό απαιτείται έτσι ώστε να μπορεί να επιτευχθεί μια επέκταση του βαρυτικού φάσματος, εκμεταλλευόμενοι το πλούσιο περιεχόμενο υψηλής συχνότητας της επιφάνειας και τα αλτιμετρικά δεδομένα. Η υψηλότερη ανάλυση των δορυφορικών μοντέλων που βασίζονται στις δορυφορικές αποστολές GRACE και GOCE θα αυξάνει σημαντικά τη φασματική επικάλυψη με την επιφανειακή βαρύτητα και την αλτιμετρία. Αυτό επιτρέπει για πρώτη φορά την εκτίμηση των μοντέλων υψηλής ανάλυσης της δυναμικής ωκεάνειας τοπογραφίας (DOT) και τη σημαντική μείωση των συστηματικών σφαλμάτων που υπάρχουν στα δεδομένα επιφανειακής βαρύτητας. Οι ολοκληρωμένες λύσεις έχουν το πλεονέκτημα ότι παρέχουν έναν πλήρη πίνακα συμμεταβλητοτήτων σφάλματος που σχετίζεται με όλες τις εκτιμώμενες παραμέτρους. Ωστόσο είναι υπολογιστικά απαιτητικές.

(Από τον συλλογικό τόμο των Sanso F, Sideris M, Edition 2013)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Ψηφιακά μοντέλα εδάφους (Από τον συλλογικό τόμο “Geoid Determination Theory and Methods” Sanso F, Sideris M Edition 2013)

Σε πρακτικές εφαρμογές η τοπογραφία αντιπροσωπεύεται συνήθως από ένα σύνολο ορθογώνιων πρισμάτων, με την πυκνότητα των μαζών να θεωρείται ως σταθερή εντός κάθε πρίσματος. Ως εκ τούτου έχει καταστεί η ανάγκη για ψηφιακά μοντέλα εδάφους- (Digital Terrain Models- DTM)για τον υπολογισμό των τοπογραφικών επιδράσεων στη βαρύτητα και των έμμεσων επιδράσεων στο γεωειδές. Αυτή η αναγκαιότητα είναι πρωταρχικής σημασίας ότι διατίθενται σήμερα παγκόσμια γεωδυναμικά μοντέλα (Digital Terrain Models- GGM) εξαιρετικά υψηλής ανάλυσης όπως το EGM2008 (Από το βιβλίο με τίτλο “Geoid Determination Theory and Methods” των συγγραφέων Fernando Sanso και Michael Sideris)

Το παρόν κεφάλαιο επικεντρώνεται στην εξέταση των συμβατικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των επιδράσεων της τοπογραφίας και της βαθυμετρίας στο γεωειδές και στο σχεδόν γεωειδές. Χρησιμοποιούνται μοντέλα εδάφους και βαθυμετρίας υψηλής ανάλυσης και ακρίβειας, για την παροχή της υψηλής συχνότητας που περιέχεται στο φάσμα του βαρυτικού πεδίου, μέσω διαθέσιμων μεθόδων αναγωγής μαζών (π.χ. διορθώσεων λόγω αναγλύφου- terrain corrections, επιδράσεις Bouguer, υπολλειπόμενο μοντέλο τοπογραφίας- residual terrain model- (RTM)), Σχήματα ισοστατικών αναγωγών- isostatic reduction schemes. Αρκετές άλλες μέθοδοι τοπογραφικής αναγωγής, (Rudzki, Poincare και Prey) μπορεί να είναι εναλλακτικές επιλογές για τον υπολογισμό των επιδράσεων των μαζών στο πεδίο βαρύτητας, αν και δεν χρησιμοποιούνται συνήθως στις γεωδαιτικές εφαρμογές.

Η υψηλής συχνότητας συνεισφορά των τοπογραφικών και βαθυμετρικών επιδράσεων στις ποσότητες που σχετίζονται με το πεδίο βαρύτητας (π.χ. ανωμαλίες βαρύτητας, διαταραχές της βαρύτητας, αποχές του γεωειδούς, αποκλίσεις της κατακορύφου, βαθμίδα βαρύτητας) οφείλεται κυρίως στην υψηλή συσχέτιση των χαρακτηριστικών βαρύτητας μικρού μήκους κύματος με την τοπογραφία και βαθυμετρία.

Στη βασική θεωρία που παρουσιάζεται στο παρόν κεφάλαιο, δίνεται έμφαση στις τοπογραφικές επιδράσεις στους υπολογισμούς του γεωειδούς σε ηπειρωτικές περιοχές, παρόλο που ισχύουν οι ίδιες αρχές στο θαλάσσιο ή ωκεάνιο περιβάλλον, δεδομένων των σχετικών μεταβολών της πυκνότητας και της τυπικής αναπαράστασης της βαθυμετρίας από ένα ψηφιακό μοντέλο βαθυμετρίας (αρνητικά ύψη) σε αντιστοιχία με την αναπαράσταση της ορατής τοπογραφίας από ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

Στις επόμενες ενότητες τα βασικά στοιχεία της μοντελοποίησης του πεδίου βαρύτητας, σε σχέση με τη λύση του γεωδαιτικού προβλήματος των συνοριακών τιμών, με βάση τη θεωρία του Stokes και του Molodenski. Στη συνέχεια, οι συμβατικές αναγωγές στα δεδομένα βαρύτητας περιγράφονται μαζί με τις προκύπτουσες ανωμαλίες βαρύτητας, που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς του γεωειδούς ή σχεδόν γεωειδούς και σε άλλες εφαρμογές στη γεωδαισία και στις γεωεπιστήμες. Επιπλέον οι άμεσες επιδράσεις που προκαλούνται από τις προαναφερόμενες τοπογραφικές αναγωγές συζητούνται και παρουσιάζονται με υπολογιστικά παραδείγματα για διάφορες αναγωγές των μαζών.

Οι αναγωγές που σχετίζονται με ποσότητες του πεδίου βαρύτητας (π.χ. ανωμαλίες βαρύτητας και διαταραχές, υψόμετρα του γεωειδούς, αποκλίσεις της κατακορύφου, κλίσεις του διαταρακτικού δυναμικού) για την επίδραση των τοπογραφικών ή βαθυμετρικών μαζών παίζουν σημαντικό ρόλο στις γεωδαιτικές εφαρμογές και ιδιαίτερα στον υπολογισμό του γεωειδούς.

Στη λύση του BVP (boundary value problem- γεωδαιτικού προβλήματος των συνοριακών τιμών) για τον προσδιορισμό με ακρίβεια των αποχών του γεωειδούς και του σχεδόν γεωειδούς, χρησιμοποιώντας τις προσεγγίσεις του Stokes ή του Molodenski, οι μάζες λαμβάνονται υπόψη με έναν διαφορετικό τρόπο και παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στην λύση του αντίστοιχου προβλήματος. Γενικά μιλώντας η βαρυτική έλξη των τοπογραφικών μαζών δημιουργεί ένα ισχυρό σήμα βαρύτητας, που κυριαρχεί στο φάσμα της βαρύτητας σε μικρότερα μήκη κύματος και για αυτό το λόγο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξομάλυνση της βαρύτητας πριν από κάθε διαδικασία μοντελοποίησης, δηλαδή το πεδίο βαρύτητας μπορεί να εξομαλυνθεί από τις τοπογραφικές αναγωγές. Επιπρόσθετα η παρουσία της τοπογραφίας συνεπάγεται ότι οι παρατηρήσεις της βαρύτητας (π.χ. ανωμαλίες βαρύτητας) δίνονται σε μια μη σταθμική επιφάνεια και κατά συνέπεια σύμφωνα με τη βασική απαίτηση της θεωρίας του Stokes και θα πρέπει να εφαρμόζονται οι μέθοδοι συμπύκνωσης του Helmert ή του Molodenski για να αντισταθμιστεί την επιφάνεια αυτή. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην πράξη οι υπολογισμοί για τις αναγωγές των μαζών είναι σημαντικά μεγαλύτεροι σε σχέση με τις μη σθμικές επιφανειακές διορθώσεις στην προσέγγιση του Molodenski. Οι διορθώσεις τύπου Molodenski δεν έχουν νόημα σε ωκεάνιες περιοχές όπου οι επιφάνειες του γεωειδούς και του σχεδόν γεωειδούς συμπίπτουν και οι διαθέσιμες παρατηρήσεις βαρύτητας αναφέρονται στο γεωειδές. Ωστόσο η βαθυμετρία έχει ισχυρή επίδραση στα δεδομένα βαρύτητας, που είναι συγκρίσιμη ή ακόμα μεγαλύτερη

από την επίδραση της τοπογραφίας. Αν και η επίδραση της βαθυμετρίας στις παρατηρήσεις βαρύτητας θεωρήθηκαν αμελητέες στο παρελθόν, κυρίως λόγω της έλλειψης λεπτομερών πλεγμάτων βαθυμετρικών δεδομένων στο σύγχρονο πεδίο βαρύτητας η μοντελοποίηση των επιδράσεων της βαθυμετρίας, εξετάζεται σοβαρά στις αριθμητικές εφαρμογές για την εκτίμηση των θαλάσσιων μοντέλων γεωειδούς, καθώς είναι άμεσα διαθέσιμα δεδομένα βάθους υψηλής ανάλυσης.

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους και βαθυμετρίας (DTMs και DBMs αντίστοιχα) παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στη μελέτη του πεδίου βαρύτητας, δεδομένου ότι παρέχουν δεδομένα υψηλής συχνότητας του φάσματος του βαρυτικού πεδίου, μέσα από διαθέσιμες μεθόδους αναγωγής μάζας (π.χ. απλές και επιδράσεις Bouguer επιδράσεις λόγω αναγλύφου, μοντέλο υπολειπόμενης τοπογραφίας και ισοστατικές αναγωγές). Η υψηλής συχνότητας συμβολή των τοπογραφικών επιδράσεων στα διαφορετικά περιεχόμενα του πεδίου βαρύτητας, λόγω της υψηλής συσχέτισης του μικρού μήκους κύματος των βαρυμετρικών χαρακτηριστικών της τοπογραφίας/ βαθυμετρίας. Σύμφωνα με τον Schwartz (1984) , περίπου 2% και 34% του φάσματος των υψομέτρων του γεωειδούς και των ανωμαλιών βαρύτητας αντίστοιχα, περιέχονται σε υψηλές συχνότητες (αρμονικούς βαθμούς 360-36.000) όπου οι τοπογραφικές επιδράσεις παίζουν σημαντικό ρόλο. Επιπλέον η προσέγγιση του βαρυτικού πεδίου, του γεωειδούς ή του σχεδόν γεωειδούς, είναι βασισμένη σε μεγάλο βαθμό στη γνωστή διαδικασία <<απομάκρυνσης- επαναφοράς>> (Remove-Restore). Σε αυτή τη μέθοδο τα δεδομένα τοπογραφίας/βαθυμετρίας χρησιμοποιούνται με ένα παγκόσμιο γεωδυναμικό μοντέλο για να εξομαλυνθούν οι παρατηρήσεις, για να μετατραπούν τα δεδομένα σε μορφή κανάβου (grid), για να γίνουν οι μετασχηματισμοί και οι προγνώσεις. Στη γεωφυσική οι τοπογραφικές αναγωγές των ανωμαλιών βαρύτητας χρησιμοποιούνται για να αποκτήσουμε γνώση για την κατανομή των μαζών, της την κατανομή των πυκνοτήτων και διαφοροποιήσεις στη γήινη λιθόσφαιρα και εκτιμούν την ισοστατική αντιστάθμιση των τοπογραφικών χαρακτηριστικών μέσα στον γήινο μανδύα, με τη μορφή εκτίμησης των βαθών Moho δηλαδή, το βάθος της επιφάνειας ασυνέχειας μεταξύ φλοιού κι μανδύα. Ακόμα και

αν οι ανάγκες για τον υπολογισμό των επιδράσεων των μαζών για αυτούς τους δύο κλάδους των γεωεπιστημών έχουν διαφορετικές προελεύσεις απαιτούν και οι δύο υψηλής ακρίβειας και ανάλυσης DTM και DBM. Υψηλότερη ακρίβεια σημαίνει ότι λιγότερα και μικρότερα σφάλματα μεταδίδονται στις τελικές εκτιμήσεις (βαρύτητα, γεωειδές, διακυμάνσεις πυκνότητας) οδηγώντας σε καλύτερες προσεγγίσεις της πραγματικότητας. Υψηλότερη ανάλυση σημαίνει ότι οι επιδράσεις παραποίησης (aliasing effects) μειώνονται η χωρική ανάλυση των εκτιμώμενων πεδίων αυξάνεται έτσι ώστε να αποκτηθεί καλύτερη εικόνα της πραγματικότητας. Μια ποικιλία μεθόδων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των τοπογραφικών επιδράσεων στις παρατηρήσεις του πεδίου βαρύτητας που βρίσκονται σε συντομία επιφάνεια ή στο εξωτερικό της. Αριθμητικές και φασματικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα στη μοντελοποίηση της επίδρασης της μάζας κυρίως με πλέγμα. Η μέθοδος αριθμητικής ολοκλήρωσης είναι μια ακριβής αλλά και πολύ χρονοβόρα διαδικασία στην οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπολογισμοί σημείου ή πλέγματος. Η αναπαράσταση ορθογώνιων πρισμάτων είναι αυστηρό και χρήσιμο μοντέλο για αριθμητική ολοκλήρωση αλλά αριθμητικά ασταθές για μεγάλες αποστάσεις, όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν προσεγγιστικοί τύποι. Ένα πλεονέκτημα της μεθόδου πρίσματος σε ορισμένες εφαρμογές είναι το γεγονός ότι είναι αρχικά σχεδιασμένο για τον υπολογισμό ενός σημείου και έτσι λειτουργεί καλά και παράγει ακόμα καλύτερα αποτελέσματα, όταν υπάρχουν λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με το σημείο υπολογισμού εκτός από τα ύψη του κανονικού πλέγματος. Διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις αριθμητικής ολοκλήρωσης (π.χ. Gaussian quadrature) μπορεί να μοντελοποιήσουν επαρκώς τις επιδράσεις της μάζας σε τοπικές εφαρμογές, αλλά απαιτούνται πρόσθετες υπολογιστικές προσπάθειες. Όσον αφορά τις φασματικές μεθόδους, η τεχνική FFT είναι ένα από τα πιο χρήσιμα εργαλεία για τον χειρισμό μεγάλων όγκων δεδομένων ύψους, αν και πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα προβλήματα που προκύπτουν από την αριθμητική αξιολόγηση αυτής της φασματικής προσέγγισης. Τέλος, χρησιμοποιούνται διαφορετικές μέθοδοι συνδυασμού για την επεξεργασία δεδομένων ύψους, προς τη μοντελοποίηση των τοπογραφικών επιδράσεων. Αυτές οι συνδυασμένες μέθοδοι βασίζονται κυρίως στην επίλυση της αριθμητικής ολοκλήρωσης στην ενδιάμεση ζώνη, γύρω από το σημείο υπολογισμού, και τη χρήση του FFT στην υπόλοιπη περιοχή.

3.3 Τοπογραφικές αναγωγές και μοντελοποίηση βαρυτικού πεδίου.

Σε αυτή την ενότητα γίνεται μια σύντομη συζήτηση για τους γενικούς ολοκληρωματικούς τύπους του δυναμικού και της έλξης της τοπογραφίας της γης. Γίνεται μια συζήτηση για τα δεδομένα που απαιτούνται για την αποτελεσματική αξιολόγησή τους. Στη συνέχεια συζητούνται διαφορετικές μέθοδοι αναγωγής, κάτι που μπορεί να εφαρμοστεί απευθείας στις ανωμαλίες της βαρύτητας προκειμένου να παραχθούν οι κατάλληλες υπολλειματικές ποσότητες βαρυτικού πεδίου, κατάλληλες για παρεμβολή πλέγματος ή πυκνότητας, καθώς είναι χρήσιμο για τη δημιουργία βάσεων δεδομένων βαρύτητας και γεωφυσική ερμηνεία.

3.3.1. Το δυναμικό και η έλξη της τοπογραφίας της Γης.

Η υψηλής ανάλυσης και ακρίβειας μοντελοποίησης της τοπογραφίας της Γης, παίζει σημαντικό ρόλο στην επίλυση των ολοκληρωματικών τύπων στους οποίους αναφερθήκαμε στην προηγούμενη ενότητα, καθώς και στον προσδιορισμό των παραμέτρων του βαρυτικού πεδίου και ειδικά στον υπολογισμό των υψομέτρων του γεωειδούς και του σχεδόν γεωειδούς. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη μικρού μήκους κύματος τοπογραφική επίδραση των ορεινών περιοχών, όπου το διαφορετικό είδος αναγωγής της μάζας έχει κυρίαρχη συμβολή.

Στις πρακτικές ερευνητικές εφαρμογές η τοπογραφία συνήθως αναπαρίσταται από ένα σύνολο ορθογώνιων πρισμάτων με την πυκνότητα των μαζών να θεωρείται σταθερή για κάθε πρίσμα. Ως εκ τούτου έχει καταστεί η ανάγκη για πολύ υψηλής ανάλυσης DTM για τον υπολογισμό των επιδράσεων της τοπογραφίας στη βαρύτητα και τον υπολογισμό της έμμεσης επίδρασης στο γεωειδές. Αυτή η ανάγκη είναι πρωταρχικής σημασίας σήμερα, τη στιγμή που πολύ υψηλής ανάλυσης παγκόσμια γεωδυναμικά μοντέλα όπως το EGM2008 είναι διαθέσιμα και υψηλής ανάλυσης μοντέλα γεωειδούς απαιτούνται. Αν οι πληροφορίες αυτές δεν είναι διαθέσιμες και χρησιμοποιούνται μικρότερης ανάλυσης DTM τότε οι υπολογιζόμενες τοπογραφικές επιδράσεις έχουν σφάλματα λόγω της ανεπαρκούς ανάλυσης (υπο δειγματοληψία) των τοπογραφικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν. Ωστόσο ακόμα και σήμερα σε πολλές χώρες τοπικά DTM υψηλής ανάλυσης δεν είναι διαθέσιμα λόγω έλλειψης δεδομένων ή λόγους εμπιστευτικότητας. Επιπλέον τα διαθέσιμα DTM δεν είναι συνήθως ομοιογενή, δεδομένου ότι προέρχονται από μια απλή (ή και περισσότερες) συγχώνευση των διαθέσιμων δεδομένων ύψους, με την ψηφιοποίηση των διαθέσιμων ιστορικών τοπογραφικών χαρτών, που παρήχθησαν αρχικά με φωτογραμμετρικές μεθόδους. Επομένως ακόμη και αν νέα δεδομένα υψηλότερης ανάλυσης και μεγαλύτερης ακρίβειας σχετίζονται με το πεδίο βαρύτητας διαθέσιμο στην επιστημονική κοινότητα, την ακρίβεια και την ανάλυση των διαθέσιμων DTM και DBM δεν είναι πάντα επαρκή για τον προσδιορισμό του γεωειδούς και του πεδίου βαρύτητας.

Τα προβλήματα που περιγράφηκαν παραπάνω βελτιώθηκαν σημαντικά όταν τα δεδομένα υψηλής ανάλυσης της τοπογραφίας της Γης με παγκόσμια ομοιογενή κάλυψη συλλέχθηκαν από πρόσφατες αποκλειστικές δορυφορικές αποστολές, Το 2000 η η τοπογραφική αποστολή Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (<https://Shuttle Radar Topography Mission>) εκτοξεύτηκε με το διαστημικό λεωφορείο Endeavour και ένας μεγάλος όγκος δεδομένων της τοπογραφίας της Γης συλλέχθηκε. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την κυκλοφορία ενός παγκόσμιου 300 (περίπου 90 m) ψηφιακού μοντέλου εδάφους (SRTM DTM). Ακόμα υψηλότερη ανάλυση DTMs (100 παγκοσμίως περίπου 30 m) διατέθηκαν από το Advance Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) (<https://Advance Spaceborn Thermal Emmision and Reflection Radiometer>) μαζί με δεδομένα ανάκλασης και θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους. Από την ανάλυση των δεδομένων SRTM και την εκτιμώμενη οριζόντια και κατακόρυφη ακρίβεια (γραμμικό σφάλμα 90%) στο επίπεδο των 7 m και στις δύο κατευθύνσεις, έγινε προφανές ότι ένα τέτοιο παγκόσμιο DTM θα μπορούσε να προσφέρει μεγάλη βοήθεια στην προσέγγιση τοπικού και περιφερειακού πεδίου βαρύτητας και προσδιορισμό γεωειδούς. Το τελευταίο αναφέρεται στη χρήση των δεδομένων SRTM είτε για τη συμπλήρωση κενών και για την πυκνότητα των τοπικών ή περιφερειακών ή ηπειρωτικών χωρών DTM ή ως αυτόνομο DTM για τον υπολογισμό των τοπογραφικών επιδράσεων.

Πρέπει να αναφερθεί εδώ ότι μια σφαιρική αρμονική ανάπτυξη της τοπογραφίας της Γης είναι πρόσφατα διαθέσιμη με μέγιστο βαθμό ανάπτυξης 5480. Αυτή η ανάπτυξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το μοντέλο τοπογραφίας SRTM, για τη μοντελοποίηση δομών πεδίου βαρύτητας σε κλίμακες μικρότερες από αυτές που προσφέρονται από το EGM2008 με τη βοήθεια μιας κατάλληλης μεθόδου αναγωγής της μάζας.

Στις θαλάσσιες ή παράκτιες περιοχές τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους αναπαριστώνται από έναν συνδυασμό των DTM και DBM που διατίθενται στις θαλάσσιες περιοχές για στον υπολογισμό της αναγωγής των μαζών στα δεδομένα βαρύτητας. Τα τελευταία μοντέλα βαθυμετρίας που χρησιμοποιούνται ευρέως στο βαρυτημετρικό προσδιορισμό του γεωειδούς, είναι αυτά που αναπτύχθηκαν από τη Διεθνή Διαστημική Υπηρεσία της Δανίας (<https://dtu.denmark.du>) και το Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας (<https://noaa>) Και τα δύο μοντέλα με ανάλυση 10 (περίπου 1,8 km) έχουν παραχθεί από την αντιστροφή μετρήσεων δορυφορικής αλτιμετρίας, και διαφέρουν μόνο όσον αφορά τη μεθοδολογία για την ανάπτυξή τους. Στην πρώτη η αντίστροφη μέθοδος Stokes εφαρμόστηκε στα δεδομένα αλτιμετρίας. Όσον αφορά το δεύτερο το βαθυμετρικό, τα βάθη προήλθαν από αποκλίσεις της κατακορύφου που υπολογίστηκαν από σαρώσεις των δορυφόρων αλτιμετρίας.

Τα μοντέλα βαρυτημετρικού γεωειδούς, χρησιμοποιούν μια σταθερή τοπογραφική πυκνότητα στον υπολογισμό τους. Αυτό οφείλεται κυρίως στην έλλειψη λεπτομερούς μοντέλου πυκνότητας. Όπως έχει αναφερθεί σε πολλές μελέτες, η πραγματική πυκνότητα των τοπογραφικών μαζών μπορεί να διαφέρει περισσότερο από 10% από μια υποθετική σταθερή πυκνότητα, κυρίως σε περιοχές με πολύπλοκους γεωλογικούς σχηματισμούς. Αυτό θα εισαγάγει λάθη στις αναγωγές των μαζών και τα οποία λάθη θα μεταδωθούν στον υπολογισμό των υψομέτρων του γεωειδούς. Επομένως ένα DDM θα ήταν απαραίτητο για τη μοντελοποίηση των τοπογραφικών και βαθυμετρικών μαζών, αν και μοντέλα δύο διαστάσεων επαρκούν για τον υπολογισμό γεωειδούς. Το τελευταίο μπορεί να παραχθεί από πληροφορίες πυκνότητας, που εξάγονται από γεωλογικούς χάρτες. Συστήνεται αν είναι διαθέσιμο ένα μοντέλο DDM να χρησιμοποιείται σε όλα τα στάδια μοντελοποίησης του γεωειδούς, έτσι ώστε να επιφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια στον υπολογισμό των υψομέτρων του γεωειδούς.

3.4 Τοπογραφικές αναγωγές και για την πύκνωση και την κάλυψη της βαρύτητας και τη δημιουργία πλέγματος (gridding)

Πολλές μέθοδοι είναι διαθέσιμες για τη μαθηματική και τη φυσική διαχείριση της συνεισφοράς της τοπογραφίας στις σχετιζόμενες ποσότητες του βαρυτικού πεδίου. Η διαφορά μεταξύ των ποικίλων μεθόδων τοπογραφικής αναγωγής, βασίζεται στον τρόπο που ο καθένας αντιμετωπίζει τις μάζες έξω από το γεωειδές, και από θεωρητική άποψη πρέπει όλες οι μέθοδοι να παρέχουν το ίδιο αποτέλεσμα. Σε αριθμητικές εφαρμογές δύο σημαντικές εκτιμήσεις λαμβάνονται συνήθως υπόψη, στην επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου τοπογραφικής αναγωγής,

- 1) Το μέτρο της έμμεσης επίδρασης που πρέπει να το επαναφέρουμε στις υπολειπόμενες ποσότητες των υψομέτρων του γεωειδούς,
- 2) την ομαλότητα, το μέγεθος και τη μέση τιμή των ανηγμένων ανωμαλιών βαρύτητας, για να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη των υψομέτρων του γεωειδούς, χρησιμοποιώντας τον ολοκληρωματικό τύπο του Stokes ή άλλες μεθόδους βασισμένες στις χωρικές συντεταγμένες και τη συχνότητα.

Το πρώτο είναι ζωτικής σημασίας δεδομένου ότι οι μεγαλύτερες έμμεσες επιδράσεις οδηγούν σε μεγαλύτερα σφάλματα πρόβλεψης κατά τον υπολογισμό τους, έτσι μεγαλύτερα σφάλματα θα μεταδοθούν στις εκτιμήσεις των υψομέτρων του γεωειδούς. Το τελευταίο αναφέρεται στην ομαλότητα των υπολειπόμενων ανωμαλιών βαρύτητας, μετά την τοπογραφική αναγωγή, για χάρη στην ευκολία

ακρίβειας της πρόβλεψης, της δημιουργίας πλέγματος και της λειτουργίας παρεμβολής. Η ανάγκη για μηδενικού μέσου όρου στις υπολειματικές ποσότητες, έγκειται κυρίως στην απαίτηση ότι το υπολειπόμενο πεδίο αντιμετωπίζεται στατιστικά ως τυχαίο σήμα. Έτσι λοιπόν μπορεί να αντιμετωπιστεί από μια στοχαστική διαδικασία, με τη μέθοδο σημειακής προσαρμογής- Least Squares Collocation (LSC). Αν οι ανηγμένες ανωμαλίες βαρυτικού πεδίου έχουν μηδενικό μέσο όρο, τότε το σφάλμα σήματος θεωρείται ελεύθερο από συστηματικές επιδράσεις και τότε το πεδίο μπορεί να θεωρηθεί τυχαίο. Ακόμα μια απαραίτητη διαδικασία του βήματος Remove της μεθόδου Remove-Restore είναι η απομάκρυνση των χαμηλών βαθμών αρμονικών πεδίου, δηλαδή η αναφορά των δεδομένων εισαγωγής σε κάποιο παγκόσμιο γεωδυναμικό μοντέλο (π.χ. EGM2008) το οποίο μειώνει περαιτέρω τις περιφερειακές τάσεις και συμβάλλει στην περαιτέρω εξομάλυνση του υπολειπόμενου πεδίου.

3.5 Αναγωγές Bouguer

Η πλήρης αναγωγή Bouguer απομακρύνει όλες τις τοπογραφικές μάζες που περιέχονται πάνω από το γεωειδές που περιέχεται στην πλάκα Bouguer καθώς και το ακανόνιστο τμήμα της τοπογραφίας που αποκλίνει από την πλάκα Bouguer, δηλαδή τη λεγόμενη τοπογραφική διόρθωση όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Η αναγωγή Bouguer και η τοπογραφική διόρθωση μπορούν να εκφραστούν ως η τοπογραφική κατακόρυφη έλξη, με τις ακόλουθες ολοκληρωματικές εξισώσεις αντίστοιχα:

$$B(x_p, y_p, H_p) = \iiint \rho(x, y, z) (H_p - z) / ((x_p - x)^2 + (y_p - y)^2 + (H_p - z)^2)^{3/2}, \quad (3.1)$$

$$C(x_p, y_p, H_p) = \iiint \rho(x, y, z) (H_p - z) / ((x_p - x)^2 + (y_p - y)^2 + (H_p - z)^2)^{3/2}, \quad (3.2)$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην πρακτική επίλυση των προσεγγιστικών τύπων που αναφέρθηκαν παραπάνω ότι η σειρά συγκλίνει μόνο για κλίση εδάφους μικρότερη των 45° και αυτό γιατί ακόμα και για μικρότερες κλίσεις, αριθμητικές αστάθειες ενδέχεται να προκύψουν στον υπολογισμό των όρων υψηλότερης τάξης, ειδικά όταν οι υπολογισμοί βασίζονται σε DTM υψηλής ανάλυσης. Ωστόσο ο υπολογισμός των όρων ανώτερης τάξης, κυρίως σε αριθμητικά τεστ σε τραχιά εδάφη, εξακολουθούν να είναι σημαντικοί στη σειρά για να λάβουμε ακόμα πιο ακριβή αποτελέσματα λόγω της καλύτερης μοντελοποίησης του μέρους υψηλής συχνότητας της τοπογραφίας. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα των αριθμητικών ασταθειών που αναφέρθηκε πριν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, είτε η αυστηρή ορθογώνια ολοκλήρωση είτε ο συνδυασμός υπολογιστικών μεθόδων βασισμένων σε αριθμητική ολοκλήρωση για μια εσωτερική ζώνη, και διακριτό FFT για την υπόλοιπη περιοχή.

Όταν οι τιμές της πυκνότητας είναι διαθέσιμες σε ένα κανονικό πλέγμα της ίδιας ανάλυσης με τα ύψη, τότε το ολοκλήρωμα (3.1) μπορεί εύκολα να τροποποιηθεί για λογαριασμό διαφορετικών πυκνοτήτων. Έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες όπου οι μεταβλητότητα στην πυκνότητα πλευρικής μάζας, έχουν ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς των τοπογραφικών αναγωγών. Σε αυτή την περίπτωση και όταν εφαρμόζονται τεχνικές FFT απαιτείται επιπλέον υπολογιστική προσπάθεια για τον υπολογισμό των πυκνοτήτων φασμάτων. Το ίδιο πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με τον αυστηρό 3D FFT αλλά αυτή είναι μια χρονοβόρα τεχνική. Ας εξετάσουμε τώρα το αποτέλεσμα των βαθυμετρικών μαζών σε

ένα σημείο που βρίσκεται στην επιφάνεια του γεωειδούς, δηλαδή στην επιφάνεια του ωκεανού δηλαδή στην περίπτωση της θαλάσσιας βαρυτημετρίας. Η μεθοδολογία είναι παρόμοια με εκείνη της προηγούμενης τοπογραφικής διόρθωσης και μόνο το διάστημα ολοκλήρωσης διαφέρει

$$c_b(x_p, y_p, H_p) = G \iiint_{-H}^0 \frac{\Delta\rho(x, y, z)(H_p - z)}{\left((x_p - x)^2 + (y_p - y)^2 + (H_p - z)^2\right)^{3/2}} dx dy dz, \quad (3.3)$$

όπου το H χρησιμοποιείται ως συνάρτηση του βάθους, ο όρος c_b υποδηλώνει την επίδραση της βαθυμετρίας και χρησιμοποιείται για να την ξεχωρίσει από τις τοπογραφικές επιδράσεις c . Η επίδραση αυτή ονομάζεται μερικές φορές στη βιβλιογραφία γεωδαισίας και γεωφυσικής ως επίδραση αντίθεσης πυκνότητας ή βαθυμετρική διόρθωση δεδομένου ότι εκφράζει την κατακόρυφη συνιστώσα έλξης των ελλείψεων της μάζας σε ωκεάνια περιοχή. Αυτή η επίδραση θα πρέπει να προστεθεί στα δεδομένα βαρύτητας στο γεωειδές, το οποίο κάνει αυτό το αποτέλεσμα πάντα θετικό, όπως η αντίστοιχη τοπογραφική επίδραση των ηπειρωτικών μαζών. Η επίδραση αντίθεσης πυκνότητας είναι προφανώς πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη τοπογραφική επίδραση. Στην εξίσωση (3.3) $\Delta\rho$ είναι η αντίθεση πυκνότητας μεταξύ του ανώτερου φλοιού και των βαθυμετρικών μαζών ($\sim 1.67 \text{ gcm}^{-3}$). Η προαναφερθείσα εκτίμηση των βαθυμετρικών μαζών δεν συνδυάζεται με την απομάκρυνση της πλάκας Bouguer, καθώς το σημείο βρίσκεται ήδη στο γεωειδές και η ίδια η βαθυμετρία αντιπροσωπεύει το ανάγλυφο του πυθμένα της θάλασσας.

Ολοκληρώνοντας ως προς z τη σχέση (3.3) και αναπτύσσοντας σε διωνυμική σειρά και θέτοντας $H_p=0$, έχουμε την παρακάτω σειρά των συνελκτικών ολοκληρωμάτων

$$c_b(x_p, y_p) = \frac{1}{2} G \iint \frac{\Delta\rho(x, y) H^2}{l_0^3} dx dy - \frac{3}{8} G \iint \frac{\Delta\rho(x, y) H^4}{l_0^5} dx dy + \dots, \quad (3.4)$$

3.5.1. Ανωμαλίες βαρύτητας Ελεύθερου Αέρα (Free-Air) και Bouguer

Η έλξη της πλάκας Bouguer που εκφράζεται με την (3.5) είναι η άμεση τοπογραφική επίδραση της Bouguer αναγωγής στη βαρύτητα. Οι ανωμαλίες της βαρύτητας σύμφωνα με τη μέθοδο της Bouguer αναγωγής, δηλαδή τις μη πλήρεις ή απλές ανωμαλίες βαρύτητας Bouguer μπορούν να εκφραστούν ως:

$$\Delta g_B = g - \gamma_0 + F - B, \quad (3.5)$$

όπου g είναι η μετρούμενη βαρύτητα στο σημείο P στην επιφάνεια της Γης, γ_0 είναι η κανονική βαρύτητα στο ελλειψοειδές αναφοράς, και F είναι η αναγωγή Ελεύθερου Αέρα. Λαμβάνοντας υπόψη την πλάκα Bouguer μαζί με τις τοπογραφικές διορθώσεις, δηλαδή την έλξη για την πλήρη αναγωγή Bouguer, οι πλήρεις ανωμαλίες Bouguer υπολογίζονται και εκφράζονται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\Delta g_B = g - \gamma_0 + F - B + c, (3.6)$$

Η αναγωγή Ελεύθερου Αέρα F αποτελεί μέρος της διαδικασίας της τοπογραφικής αναγωγής, και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά μιας μέτρησης της βαρύτητας από ένα σημείο P της επιφάνειας της Γης σε ένα σημείο P₀ στο γεωειδές. Η μεταβολή της βαρύτητας που εκφράζεται από αυτή την αναγωγή δίνεται από την πραγματική βαθμίδα βαρύτητας

$$F = \frac{-\partial g}{\partial H} H, (3.7)$$

που αντικαθίσταται στην πράξη από την κανονική βαθμίδα βαρύτητας

$$F = \frac{-\partial \gamma}{\partial H_P} H_P = 0.3086 H_P, (3.8)$$

που είναι επαρκή προσέγγιση για επίπεδα ή μέτρια εδάφη. Στη συνέχεια οι ανωμαλίες βαρύτητας Ελεύθερου Αέρα δίνονται από τον τύπο: $\Delta g_{FA} = g - \gamma_0 + F$, (3.9)

Είναι προφανές ότι οι ανωμαλίες Bouguer της βαρύτητας και Ελεύθερου Αέρα σχετίζονται μέσω του τύπου:

$$\Delta g_B = \Delta g_{FA} - B + c, (3.10)$$

Οι ανωμαλίες βαρύτητας Ελεύθερου Αέρα είναι τα συνήθη διαθέσιμα δεδομένα εισόδου για τον προσδιορισμό του βαρυτημετρικού γεωειδούς και σε έναν αριθμό εφαρμογών σε άλλους κλάδους των γεωεπιστημών. Οι ανωμαλίες Ελεύθερου Αέρα αναφέρονται στη συνοριακή επιφάνεια του γεωειδούς στο πρόβλημα των συνοριακών τιμών του Stokes και στην τοπογραφική επιφάνεια στο πρόβλημα των συνοριακών τιμών του Molodenski. Όσον αφορά στη χρήση ανωμαλιών Bouguer της βαρύτητας στις γεωεπιστήμες, πρέπει να σημειωθεί ότι οι ανωμαλίες βαρύτητας Bouguer χρησιμοποιούνται συχνά στη γεωφυσική για να συναγάγουν γεωλογικές πληροφορίες από δεδομένα βαρύτητας, και σε γεωδαιτικές εφαρμογές για τη λήψη συνοριακών τιμών στο γεωειδές και μετά την πλήρη απομάκρυνση όλων των μαζών πάνω από το γεωειδές. Το επίπεδο προσέγγισης των Bouguer ανωμαλιών βαρύτητας που συζητήθηκε προηγουμένως, χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν σε έναν αριθμό επιπρόσθετων διορθώσεων (π.χ. Bullard B διόρθωση) προκειμένου να ληφθεί υπόψη ένα πιο ρεαλιστικό σφαιρικό σχήμα της Γης. Επιπλέον ένα μειονέκτημα της σφαιρικής προσέγγισης είναι ότι από υπολογιστική άποψη ότι οι τοπογραφικές διορθώσεις που πρέπει να υπολογιστούν από μια παγκόσμια τοπογραφία, ενώ πρέπει να υπολογιστεί σε μια περιορισμένη περιοχή στην επίπεδη περίπτωση.

3.6 Ισοστατική αναγωγή

3.6.1 Εισαγωγή

Στη γενική έννοια της ισοστασίας οι τοπογραφικές μάζες που εζέχουν (βουνά) και οι τοπογραφικές μάζες που λείπουν (ύδατα) αντισταθμίζονται σε μεγάλο βαθμό από αντίστοιχη μάζα που είναι κατανομημένη στο εσωτερικό της Γης. Το μοντέλο Hayford-Pratt και το μοντέλο Airy-Heiskanen έχουν αναπτυχθεί για να εξηγήσουν την ισοσταθμική αντιστάθμιση. Αυτά τα δύο μοντέλα χρησιμοποιούνται ευρέως στις γεωεπιστήμες, αλλά το μοντέλο Airy-Heiskanen έχει γίνει πρότυπο στη γεωδαιτική έρευνα.

3.6.2 Ισοστατικό μοντέλο Pratt- Hayford

Σύμφωνα με το ισοστατικό μοντέλο Pratt-Hayford οι τοπογραφικές μάζες κατανέμονται σε μια επιφάνεια μεταξύ της επιφάνειας αντιστάθμισης και της στάθμης της θάλασσας. Επιπλέον υποτίθεται ότι η πυκνότητα κάτω από το επίπεδο αντιστάθμισης είναι σταθερή ενώ οι μάζες πάνω από το επίπεδο για κάθε στήλη διατομής είναι ίσες. Με αυτή τη μέθοδο αναγωγής οι μάζες απομακρύνονται μαζί με την ισοστατική τους αντιστάθμιση έτσι ώστε αυτό που απομένει είναι ένα ομοιογενές στρώμα με σταθερή πυκνότητα, και σταθερό βάθος αντιστάθμισης.

Η Pratt-Hayford ισοστατική αναγωγή θεωρεί ότι το επίπεδο αντιστάθμισης έχει ένα ομοιόμορφο και σταθερό βάθος D που υποθετικά ισούται με 100χλμ μετρημένο από τη στάθμη της θάλασσας. Οι τοπογραφικές μάζες οριοθετούνται από στήλες διατομής ύψους D που επιτρέπει πλευρικές αλλαγές στην πυκνότητα έτσι ώστε να υπάρχει ισοστατική ισορροπία. Σημειώνεται ότι μια κανονική στήλη (ρ_0) έχει σταθερή πυκνότητα, οι ηπειρωτικές στήλες παράγουν πυκνότητες μικρότερες από ρ_0 , ενώ οι ωκεάνιες στήλες είναι πυκνότερες.

3.6.3 Ισοστατικό μοντέλο Airy- Heiskanen

Το μοντέλο Airy-Heiskanen βασίζεται στην αρχή ότι τα βουνά επιπλέον σε κάποιο είδος υγρού υψηλότερης πυκνότητας που σημαίνει ότι υπάρχει έλλειμμα μάζας κάτω από τα βουνά και μαζικά πλεονάσματα κάτω από τους ωκεανούς. Το μοντέλο Airy-Heiskanen με βάση τις παραδοχές θεωρεί ότι η ισοστατική αντιστάθμιση είναι πλήρης και τοπική, η πυκνότητα των βουνών είναι ίση με $\rho_0=2.67\text{gcm}^{-3}$, η πυκνότητα του μανδύα της Γης ισούται με $\rho_M=3.27\text{gcm}^{-3}$ και το κανονικό πάχος του φλοιού ισούται με $T_0=30\text{χλμ}$.

Η τοπογραφική επίδραση λόγω της Airy-Heiskanen ισοστατικής αναγωγής, σε ένα σημείο στην επιφάνεια της Γης και η αντίστοιχη Airy-Heiskanen αναγωγή είναι η διαφορά της έλξης μεταξύ των τοπογραφικών μαζών, όπως περιγράφηκε από τα διαθέσιμα DTM και οι αντισταθμιζόμενες μάζες σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Delta A_{AH} = A_{top/AH} - A_{comp/AH}, \quad (3.11)$$

ο πρώτος όρος της σχέσης (3.11) εκφράζει την έλξη των τοπογραφικών μαζών και εκφράζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$A_{top/AH} = G \int_0^H \iiint \frac{\rho(x, y, z)(H_p - z)}{\left((x - xp)^2 + (y - yp)^2 + (Hp - z)^2\right)^{(3/2)}} dx dy dz, \quad (3.12)$$

και ο δεύτερος σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$A_{comp/AH} = G \int_{-T_0-d-HP}^{-T_0-HP} \iiint \frac{\Delta\rho(x, y, z)(H_p - z)}{\left((xp - x)^2 + (yp - y)^2 + (Hp - z)^2\right)^{(3/2)}} dx dy dz, \quad (3.13)$$

όπου οι τιμές των ρ και $\Delta\rho$ εξαρτώνται από την περιοχή ενδιαφέροντος (ηπειρωτική ή ωκεάνια). Δεδομένης της Airy- Heiskanen ισοστατικής αναγωγής, οι ισοστατικές ανωμαλίες βαρύτητας μπορούν να υπολογιστούν σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Delta g_{AH} = g - \gamma_0 + F - \Delta A_{AH}, \quad (3.14)$$

3.6.4 Παρεμβολή και δημιουργία κανάβου (gridding) μέσα από τις τοπογραφικές αναγωγές.

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή αυτής της ενότητας, οι μέθοδοι της τοπογραφικής αναγωγής πρέπει να παράγουν ένα εξομαλυσμένο υπολειπόμενο βαρυτικό πεδίο, πιο κατάλληλο για παρεμβολές και πρόγνωση σε κανάβο (gridding), μέσω της μεθόδου της σημειακής προσαρμογής (Least Squares Collocation) ή άλλων συμβατικών τεχνικών (splines, weighted mean, κτλ.). Αυτή η προσέγγιση μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας υψηλής ανάλυσης βάσης δεδομένων βαρύτητας, σε μορφή πλέγματος ή πύκνωσης των τιμών της υπό δοκιμής περιοχής με επιπλέον κάλυψη βαρύτητας, μετά την επαναφορά της επίδρασης της τοπογραφίας σε ένα δεύτερο βήμα μέσα από τη μέθοδο αναγωγής που χρησιμοποιείται.

Όσον αφορά τις μεθόδους τοπογραφικής αναγωγής που συζητήθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο, η πλήρης αναγωγή Bouguer απομακρύνει όλες τις τοπογραφικές μάζες πάνω από το γεωειδές, παράγοντας έτσι εξομαλυσμένες υπολειπόμενες ανωμαλίες βαρύτητας. Οι τοπογραφικές ισοστατικές αναγωγές των μοντέλων Pratt- Hayford και Airy- Heiskanen απομακρύνουν τις επιδράσεις των μαζών σύμφωνα με την ισοστατική αντιστάθμιση και παράγουν εξομαλυσμένες υπολειπόμενες ανωμαλίες βαρύτητας. Τόσο οι Bouguer όσο και οι ισοστατικές αναγωγές έχουν φυσική σημασία και παρουσιάζουν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά για γεωφυσικές εφαρμογές. Το μειονέκτημά τους έγκειται στη μεγάλη

έμμεση επίδραση στο γεωειδές και για τον λόγο αυτόν είναι απαγορευτικές στη χρήση για τον προσδιορισμό του γεωειδούς.

Ωστόσο αυτές οι μέθοδοι αναγωγής μπορεί να έχουν ένα σημαντικό αντίκτυπο στην παρεμβολή βαρύτητας, και έτσι μπορεί να συμβάλλουν στη δημιουργία ενός π.χ. πλεγματού πεδίου βαρύτητας ελεύθερου αέρα, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον προσδιορισμό γεωειδούς. Μια τέτοια διαδικασία φαίνεται παρακάτω:

- Προεπεξεργασία και καθαρισμός των αρχικών σημείων ανωμαλιών βαρύτητας ελεύθερου αέρα από συστηματικά σφάλματα και ακραίες τιμές.
- Απομάκρυνση της τοπογραφικής επίδρασης μέσω της πλήρους αναγωγής Bouguer ή των αντισταθμικών μαζών (ισοστατικό μοντέλο Pratt- Hayford ή Airy- Heiskanen).
- Παρεμβολή (πρόγνωση) σε ένα επιλεγμένο πλέγμα χρησιμοποιώντας π.χ. σημειακή προσαρμογή.
- Επαναφορά της τοπογραφίας μέσω της Bouguer ή ισοστατικής αναγωγής.
- Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να συνδυαστεί και με άλλες λειτουργίες κατά τη διάρκεια του βήματος απομάκρυνσης, δηλαδή την απομάκρυνση της συνεισφοράς ενός παγκόσμιου γεωδυναμικού μοντέλου το οποίο μειώνει περαιτέρω περιφερειακές τάσεις, και καθιστά το ανηγμένο πεδίο πιο κατάλληλο.

(Από τον συλλογικό τόμο “Geoid Determination Theory and Methods” Sanso F και Sideris M Edition 2013)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την πραγματοποίηση αυτής της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν Παγκόσμια Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους για τον υπολογισμό των τοπογραφικών επιδράσεων (Terrain Effects) στην περιοχή ενδιαφέροντος. Η περιοχή μελέτης αναφέρεται στην περιοχή της Αττικής. Γι τον υπολογισμό όμως των τοπογραφικών διορθώσεων επιλέχθηκε περιοχή με διευρυμένα όρια με σχεδόν τη μισή ηπειρωτική Ελλάδα και το Αιγαίο Πέλαγος. Τα όρια υπολογισμού των τοπογραφικών διορθώσεων είναι για $36^{\circ} \leq \varphi \leq 40^{\circ}$ και $22^{\circ} \leq \lambda \leq 26^{\circ}$. Τα Παγκόσμια Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους που χρησιμοποιήθηκαν είναι ανάλυσης 1''X1'' και είναι τα εξής: SRTM1, ASTER, ETOPO1, GSDDEM30, NASADEM, Copernicus, Tandem-X.

4.1. Γενικές πληροφορίες για τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους

4.1.1. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

Η Shuttle Radar Topography Mission είναι μια διεθνής ερευνητική προσπάθεια με την οποία αποκτήθηκε μια υψηλής ανάλυσης βάση τοπογραφικών δεδομένων με σχεδόν παγκόσμια κάλυψη από 56° S έως 60° N για τη δημιουργία της πιο πλήρους τοπογραφικής βάσης δεδομένων υψηλής ανάλυσης πριν από την κυκλοφορία του ASTER GDEM το 2009. Το srtm αποτελείται από ένα ειδικά τροποποιημένο σύστημα ραντάρ, που πέταξε στο Space Shuttle Endeavour κατά την 11ήμερη αποστολή STS-99 το Φεβρουάριο του 2000. Το σύστημα ραντάρ βασίστηκε στο παλαιότερο σύστημα Spaceborne Imaging Radar C/X Synthetic Aperture Radar (SIR C/X SAR) που είχε χρησιμοποιηθεί προηγουμένως στο Shuttle το 1994. Για την απόκτηση των τοπογραφικών δεδομένων το srtm ήταν εξοπλισμένο με δύο κεραίες ραντάρ.

Η χρησιμοποιούμενη τεχνική είναι γνωστή ως συμβολομετρία συνθετικού ανοίγματος. Η Intermap Technologies έπαιζε τον κυριάρχο ρόλο στην επεξεργασία των δεδομένων ραντάρ συμβολομετρίας συνθετικού ανοίγματος.

Τα μοντέλα εδάφους είναι τοποθετημένα σε κομμάτια και το κάθε κομμάτι καλύπτει μία μοίρα γεωγραφικού πλάτους και μία μοίρα γεωγραφικού μήκους και έχουν ονόματα σύμφωνα με τις νοτιοδυτικές γωνίες. Για παράδειγμα το "n45e006" έχει συντεταγμένες από 45° N 6° E μέχρι 46° N 7° E και το "s45w006" έχει συντεταγμένες από 45° S 6° W μέχρι 44° S 5° W. Η ανάλυση των δεδομένων είναι 1 arcsecond (30m κατά μήκος του ισημερινού) και η κάλυψη περιλαμβάνει την Αφρική, την Ευρώπη, την Βόρεια Αμερική, τη Νότια Αμερική, την Ασία και την Αυστραλία. Παρέχεται βάση δεδομένων 1 arcsecond με κάλυψη την Αυστραλία αλλά με δεδομένα που είναι μόνο για κυβερνητική χρήση. Για τον υπόλοιπο κόσμο δεδομένα μόνο 3 arcsecond (90m κατά μήκος του ισημερινού) είναι

διαθέσιμα. Κάθε κομμάτι 1 arcsecond αποτελείται από 3.601 γραμμές και η κάθε γραμμή αποτελείται από 3,601 16 bit bigendian κελιά. Οι διαστάσεις από τα κομμάτια των 3 arcsecond είναι 1.201X1.201. Τα αρχικά υψόμετρα του srtm υπολογίστηκαν σε σχέση με το ελλειψοειδές WGS 84 και μετά οι τιμές του γεωειδούς EGM96 προστέθηκαν σε αυτά για τη μετατροπή των υψομέτρων σε σχέση με το γεωειδές για όλα τα προϊόντα. Τα μοντέλα εδάφους από το srtm χρησιμοποιούνται στα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών.

<https://portal.opentopography.org/raster?opentopoID=OTSRTM.082015.4326.1>

4.1.2. Advanced Spacebrn Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)

Ο προηγμένος διαστημικός μετρητής θερμικής εκπομπής και αντανάκλασης (ASTER) είναι ένα όργανο απεικόνισης 14 καναλιών που λειτουργεί στον δορυφόρο Terra της NASA από το 1999.

Το όργανο με το οποίο είναι εξοπλισμένος ο ASTER έχει αισθητήρα που στο εγγύς υπέρυθρο με 3 μπάντες και στιγμιαίο οπτικό πεδίο 15m (IFOV) συνοδεύεται από μια επιπλέον μπάντα χρησιμοποιώντας ένα δεύτερο τηλεσκόπιο με οπίσθια όψη. Η περισυλλογή των δεδομένων κατά μήκος των στερεοζευγών και η γεωμετρία παράγει έναν λόγο βάσης προς ύψος 0,6. Τον Αύγουστο του 2019 η ASTER Science Team κυκλοφόρησε την έκδοση 3 του ASTER (GDEM) με βάση τη στερεοσυσχέτιση του 1,8 εκατομμυρίων τοπίων (από τη σάρωση) του ASTER. Το DEM έχει θέσεις 1 arcsecond σε γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος (~30m) και χρησιμοποιεί το cloud masking για να αποφευχθούν σφάλματα νεφοκάλυψης στα pixel. Το προσαρμοσμένο λογισμικό αναπτύχθηκε για το σκοπό μείωσης ή εξάλειψης των σφαλμάτων που βρέθηκαν σε προηγούμενες εκδόσεις του GDEM για να γεμίσουν τα κενά που υπάρχουν λόγω του ότι δεν υπάρχει πλήρης κάλυψη. Κάθε πλακίδιο 1X1 μοίρας επιθεωρήθηκε χειροκίνητα για να επικυρωθεί η πληρότητα της αφαίρεσης της ανωμαλίας η οποία ήταν εξαιρετική εκτός από κάποιες μεγάλες καλύψεις πάγου. Το GDEM καλύπτει όλη την επιφάνεια της Γης από 83 μοίρες βόρεια μέχρι 83 μοίρες νότιο γεωγραφικό πλάτος. Αυτή είναι μια μοναδική υψηλής ανάλυσης ψηφιακή βάση δεδομένων υψομετρίας διαθέσιμο σε όλους τους χρήστες χωρίς καθόλου κόστος.

Ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) είναι μια αναπαράσταση της τοπογραφίας της επιφάνειας του εδάφους. Κάθε raster κελί (cell ή pixel) έχει τιμή που αντιστοιχεί στο υψόμετρο πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Η τοπογραφία είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της επιφάνειας της Γης. Τα DEM χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές:

στην εξαγωγή παραμέτρων εδάφους, στη μοντελοποίηση ροής νερού, στη δημιουργία χαρτών αναγλύφου, αναλύσεις εδάφους στη γεωμορφολογία και στη φυσική γεωγραφία, στη μηχανική και στο σχεδιασμό υποδομών, στη χαρτογράφηση με βάση, στη προσομοίωση πτήσεων και σε πολλά άλλα. Μορφομετρικά δεδομένα όπως κλίσεις (slopes), gradients, και προσανατολισμοί κλίσεων (slope aspects) μπορούν να εξαχθούν αυτόματα από DEM. Εικόνες Hillshade, curvature, contour lines, viewshed μπορούν επίσης να υπολογιστούν. Το 2009, η US/Japan Advanced Spaceborne Termal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) κυκλοφόρησε το πρώτο υψηλής ανάλυσης ψηφιακό μοντέλο εδάφους, διαθέσιμο προς όλους τους χρήστες. Το GDEM του ASTER δημιουργήθηκε από τον στερεοσυσχετισμό περισσότερων από 1,2 εκατομμυρίων μεμονωμένων τοπίων του ASTER που περιέχονται στο αρχείο. Το GDEM έχει θέση 1 arcsecond (~30m) σε γεωγραφικό πλάτος και

γεωγραφικό μήκος και κατακόρυφη ακρίβεια που προσεγγίζει τα 10m. Τα δεδομένα τοποθετήθηκαν σε αρχεία πλακιδίων 22.000+1X1 degree γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους και το καθένα συνοδεύεται από ένα αρχείο ποιότητας.

Το έργο ASTER είναι μια κοινή προσπάθεια του υπουργείου οικονομικών βιομηχανίας και εμπορίου της Ιαπωνίας και της Εθνικής Διοίκησης Αεροναυτικής και Διαστήματος της NASA. Η NASA παρείχε το διαστημικό σκάφος και το όχημα εκτόξευσης. Η κοινή επιστημονική ομάδα των ΗΠΑ/Ιαπωνίας είναι υπεύθυνη για τον προγραμματισμό της απόκτησης των δεδομένων, την επιτήρηση της βαθμονόμησης των οργάνων και την αρχειοθέτηση και την διανομή των δεδομένων στους χρήστες. Το όργανο του ASTER που εκτοξεύτηκε από το διαστημικό όχημα Terra της NASA το Δεκέμβριο του 1999, είναι ένα όργανο απεικόνισης με 14 κανάλια με μπάντες στο εγγύς υπέρυθρο (VNIR), μικροκυματικό υπέρυθρο και θερμικό υπέρυθρο. Ο VNIR αισθητήρας έχει μια στερεοσκοπική ικανότητα κατά μήκος της γραμμής σάρωσης χρησιμοποιώντας το εγγύς υπέρυθρο του φάσματος για την απόκτηση των στερεο δεδομένων. Το όργανο VNIR του ASTER έχει δύο τηλεσκόπια: το ένα για τη θέαση του ναδύρ και το άλλο για την θέαση προς τα πίσω με λίγο βάσης προς ύψος 0,6. Η χωρική ανάλυση είναι 15m στο οριζόντιο επίπεδο. Ένα τοπίο αποτελείται από 4100 δείγματα σε 4200 γραμμές που αντιστοιχεί προσεγγιστικά σε περιοχή εδάφους 60X60 Km. Για σχεδόν καθημερινή λήψη εικόνας ο ASTER καταγράφει ένα στερεοζεύγος. Προς το παρόν υπάρχουν περισσότερες από 2,5 εκατομμύρια στερεοεικόνες στο αρχείο. (<https://res.mdpi.com/remotesensing-01156.pdf> Abrams M., Crippen R., and Fujisada H. Edition 4 April 2020)

4.1.3 Δορυφορική Αποστολή Tandem-X

Το Tandem-X είναι μια αποστολή ραντάρ παρατήρησης της Γης που αφορά στην δημιουργία Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους και η οποία αποτελείται από ένα συμβολόμετρο SAR κατασκευασμένο από δύο πανομοιότυπους σχεδόν δορυφόρους, που πετούν σε στενό σχηματισμό. Από έναν τυπικό διαχωρισμό μεταξύ των δορυφόρων από 120m έως 500m έχει δημιουργηθεί ένα παγκόσμιο ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Κύριος σκοπός της αποστολής Tandem-X είναι να δημιουργήσει έναν ακριβή τρισδιάστατο ψηφιακό χάρτη των επιφανειών της Γης που είναι ομοιογενής σε ποιότητα και χωρίς προηγούμενη ακρίβεια. Η απόκτηση των δεδομένων ολοκληρώθηκε τον Ιανουάριο του 2015 και η παραγωγή του παγκόσμιου DEM ολοκληρώθηκε τον Σεπτέμβριο του 2016. Το απόλυτο σφάλμα ύψους είναι περίπου 1m δηλαδή μιας τάξης μεγέθους κάτω των 10m.

Το Tandem-X 90m προέρχεται από το παγκόσμιο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) με θέση 0,4 arcsec (12m) και έχει μειωμένη απόσταση pixel 3 arcsec που αντιστοιχεί σε περίπου 90m στον ισημερινό. Καλύπτει με 150 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα όλες τις χερσαίες εκτάσεις της Γης από πόλο σε πόλο.

Εφαρμογές:

Επιστήμες της γης: γεωλογία, ωκεανογραφία, μετεωρολογία, υδρολογία.

Περιβαλλοντική έρευνα, χρήσεις γης, παρακολούθηση βλάστησης, αστικός σχεδιασμός και σχεδιασμός υποδομών, χαρτογραφία, πλοήγηση, εφοδιαστική, διαχείριση κρίσεων, άμυνα και ασφάλεια.

Το Tandem-X 90m (3 arcsec) DEM είναι μια παραλλαγή προϊόντος του προϊόντος DEM 12m (0,4 arcsec) του προϊόντος DEM στην έκδοση και έχει τα ακόλουθα βασικά χαρακτηριστικά: Το Tandem-X αποτελείται από μια ψηφιακή επιφάνεια μοντέλου (DSM) και δεν αντιπροσωπεύει επιφάνειες της γυμνής γης αλλά π.χ. και βλάστηση ή τεχνητά αντικείμενα που υπάρχουν. Η τρέχουσα έκδοση είναι η μη επεξεργασμένη έκδοση, που σημαίνει ότι κάθε προϊόν Tandem-X DEM μπορεί να περιέχει: επεξεργασία αντικειμένων και προεξοχών, θορυβώδεις περιοχές (π.χ. επιφάνειες νερού, απότομες πλαγιές, πυκνή βλάστηση) με τουλάχιστον εν μέρει αναξιόπιστες τιμές ύψους. Οι επιφάνειες νερού (ή άλλες θορυβώδεις επιφάνειες) δεν φιλτράρονται, δεν οριοθετούνται και δεν μπορούν να γίνουν πιο επίπεδες. Κενά ή μη έγκυρα δεδομένα, περιοχές με τιμές ύψους που λείπουν π.χ. από το σύνολο των υπάρχων δεδομένων δεν θα μπορούσε να υπολογιστεί έγκυρη τιμή ύψους ή όπου όλες οι προσπάθειες απόκτησης απέτυχαν. Δεν έχει εφαρμοστεί κενή πλήρωση ή παρεμβολή στα τρέχοντα σύνολα δεδομένων DEM του Tandem-X. Το οριζόντιο και κατακόρυφο σύστημα αναφοράς (οριζόντιο και κατακόρυφο Datum) των προϊόντων Tandem-X DEM είναι το ελλειψοειδές WGS84 και τα ύψη είναι ελλειψοειδές ύψη.

Ακρίβειες:

Οι παγκόσμιοι στόχοι ακρίβειας για τα προϊόντα DEM Tandem-X 12m (0,4 arcsec) έχουν καθοριστεί ως εξής:

Η απόλυτη οριζόντια ακρίβεια εκφραζόμενη ως κυκλικό σφάλμα σε επίπεδο εμπιστοσύνης 90%: κάτω των 10m. Η απόλυτη κατακόρυφη ακρίβεια εκφράζεται ως γραμμικό σφάλμα σε επίπεδο εμπιστοσύνης 90% για κλίσεις από 20% και κάτω στα 2m και για κλίσεις πάνω από 20% στα 4m.

(<https://geoservice.dlr.de/web/dataguide/tdm90/>)

4.1.4 Δορυφορική Αποστολή Copernicus

Το Copernicus DEM είναι ένα Digital Surface Model (DSM) που αντιπροσωπεύει την επιφάνεια της Γης συμπεριλαμβανομένων κτηρίων, υποδομών και βλάστησης. Αναγνωρισμένα υδάτινα σώματα επιπεδοποιούνται και διασφαλίζεται μια συνεχής ροή των ποταμών, ακτές και ακτογραμμές και ειδικά χαρακτηριστικά όπως τα αεροδρόμια επεξεργάζονται. Διορθώνονται επίσης οι αβάσιμες μορφές εδάφους. Το Copernicus DEM βασίζεται στα δεδομένα του World DEM. Το προϊόν World DEM βασίζεται σε δορυφορικά δεδομένα από ραντάρ που αποκτήθηκαν κατά τη διάρκεια της αποστολής Tandem-X, η οποία χρηματοδοτείται από τη σύμπραξη μεταξύ δημοσίου και ιδιωτικού τομέα του Γερμανικού κράτους εκπροσωπούμενο από το Γερμανικό αεροδιαστημικό κέντρο (DLR) και της Airbus Defence για το διάστημα. Η λειτουργία των δορυφόρων σε τροχιά και η λήψη των δεδομένων και η ενδομετρική επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται από την DLR. Η Airbus Defence and Space βελτιώνει τα επεξεργασμένα δεδομένα. Ο πρωταρχικός στόχος της αποστολής ήταν η δημιουργία ενός παγκόσμιου σταθερού και υψηλής ακρίβειας Digital Surface Model (DSM) βασισμένο στη συμβολομετρία SAR. Οι δύο δορυφόροι TerraSAR-X και Tandem-X λειτουργούσαν ως μονό πέρασμα της συμβολομετρίας SAR, χρησιμοποιώντας τη λειτουργία δύο στατικών InSAR StripMap. Τουλάχιστον δύο σετ δεδομένων που καλύπτουν την επιφάνεια της Γης αποκτήθηκαν για τη δημιουργία του προϊόντος DEM. Η απόκτηση των δεδομένων ξεκίνησε τον Δεκέμβριο του 2010 και ολοκληρώθηκε τον Ιανουάριο του 2015.

Η ICESat η οποία αποτελεί μέρος του προγράμματος Earth Observation Program της NASA ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 2003. Το Geoscience Laser Altimeter System (GLAS) μετρούσε τις αλλαγές στο πάχος του πάγου, στα υψόμετρα του εδάφους και την κάλυψη βλάστησης και κατά προσέγγιση το πάχος του θαλάσσιου πάγου. Το όργανο καθόρισε την απόσταση του δορυφόρου από την επιφάνεια της

Γης και την παρέμβαση των νεφοκαλύψεων και των αερολυμάτων. Αυτό γίνεται με την ακριβή μέτρηση του χρόνου ενός παλμού λέιζερ από την ανάκλασή του στο αντικείμενο μέχρι την επιστροφή του στον δορυφόρο. Τα δεδομένα σχετικά με την απόσταση του ίχνους του λέιζερ από την επιφάνεια της Γης μέχρι τον δορυφόρο καθώς και η θέση του δορυφόρου στο διάστημα συνδυάστηκαν όλα για τον υπολογισμό της θέσης και του υψομέτρου κάθε σημείου μέτρησης στη Γη. Τα δεδομένα υψομετρίας παρέχουν ακριβή και αξιόπιστα δεδομένα αναφοράς σε παγκόσμια κλίμακα. Η ακρίβεια του ICESat retrieved elevations πάνω από παγωμένες εκτάσεις και φιλτραρισμένα υψόμετρα και θέσεις επικυρώθηκαν με ακρίβεια κάτω του μέτρου.

Προκειμένου να παρέχει μια πιο ακριβή σύγκριση δεδομένων οι τιμές των υψομέτρων ICESat ήταν σε σύγκριση με την πηγή DEM του Copernicus DEM το World DEM με την εγγενή του ανάλυση 0,4 arcsecond. Για να συγκρίνετε τα σημεία αναφοράς του ICESat GLAS v33 με τα ίδια οριζόντια WGS 84 και κάθετα συστήματα αναφοράς, EGM 2008 ως Copernicus DEM/World DEM έχει εφαρμοστεί μετασχηματισμός. Η αξιοπιστία του ύψους αναφοράς μειώνεται λόγω της παρουσίας απότομης κλίσης και δασικές ή τεχνητές κατασκευές εντός του ίχνους του ICESat GLAS περίπου 50X70 μέτρων. Επομένως μια διαδικασία φιλτραρίσματος βασισμένη σε χαρακτηριστικά κυματομορφής που παρέχονται με κάθε ICESat GLAS σε κάθε σημείο αναφοράς έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί. Τα ίχνη των σημείων αναφοράς του ICESat GLAS καλύπτουν πολλά κελιά ανάλυσης του DEM. Δεδομένου ότι υπάρχει ισχυρός θόρυβος στο σήμα ραντάρ που αντανακλά η επιφάνεια του νερού, όλα τα ίχνη που αγγίζουν το υδατικό σύστημα αγνοούνται. Η μάσκα σώματος νερού Copernicus DEM εφαρμόζεται για να φιλτράρει τα δεδομένα του ICESat αντίστοιχα. Για την εξάλειψη των σημείων ICESat που βρίσκονται σε ορεινό έδαφος έχει εφαρμοστεί ένα φίλτρο τυπικής απόκλισης. (https://spacedata.copernicus.eu/documents/20126/0/GEO1988-CopernicusDEM_RP-001_ValidationReport_v1.0.pdf Airbus Defence and Space GmbH)

4.1.5 Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους ETOPO1

Το ETOPO1 αναπτύχθηκε για να βελτιώσει την ανάλυση και την ακρίβεια του ETOPO2 v2, 2 arcminute Global Relief Model και σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει την πρόβλεψη τσουνάμι και την μοντελοποίηση, και την προειδοποίηση, καθώς και τη μοντελοποίηση της κυκλοφορίας των ωκεανών. Τα καλύτερα διαθέσιμα περιφερειακά και παγκόσμια σύνολα δεδομένων αποκτήθηκαν από την NGDC και μετατοπίστηκαν σε κοινά οριζόντια και κατακόρυφα δεδομένα. Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα 1984 (WGS 84) το οποίο έχει επιφάνεια αναφοράς τη μέση στάθμη της θάλασσας. Η επεξεργασία δεδομένων η συναρμολόγηση και η αξιολόγηση του ETOPO1 περιγράφονται παρακάτω:

Πηγές δεδομένων και επεξεργασία ακτογραμμών, βαθυμετρίας, τοπογραφίας, ενσωματωμένων δεδομένων βαθυμετρίας και τοπογραφίας, και βασικά ψηφιακά σύνολα δεδομένων αποκτήθηκαν από διάφορες κυβερνητικές υπηρεσίες των ΗΠΑ από διεθνείς οργανισμούς και από ακαδημαϊκά ιδρύματα.

Το Feature Manipulation Engine (FME) χρησιμοποιήθηκε για τη μετατόπιση του συνόλου των δεδομένων σε οριζόντιο και κατακόρυφο Datum το WGS 84 και κατακόρυφο επίπεδο στάθμη της θάλασσας για τη μετατροπή τους σε ESRI ArcGIS shapefiles και rasters. Τα shapefiles και τα rasters εισάγονται στο ArcGIS για την αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων και τη μη αυτόματη επεξεργασία του συνόλου δεδομένων. Επίσης το λογισμικό MB-system version 5.1 χρησιμοποιήθηκε για να γίνουν grid τα δεδομένα και να παραχθεί το παγκόσμιο μοντέλο.

(<https://docslib.org/doc/7770306/etopo1-1-arc-minute-global-relief-model-procedures-data-sources-and-analysis>)

4.1.6 Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους GSDEM30

Με τη δημόσια κυκλοφορία ορισμένων νέων διαθέσιμων συνόλων δεδομένων όπως το SRTM1 και το AW3D30 DEM υπάρχει μια ευκαιρία να ανακατασκευαστεί ένα σύνολο δεδομένων DEM υψηλής ποιότητας συνδυάζοντας τα πλεονεκτήματα της πολλαπλής πηγής DEM με υψηλότερη ανάλυση και καλύτερη ακρίβεια. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται τη γενιά του GSDEM30 το οποίο ανακατασκευάζεται κυρίως από το SRTM1 30m, το ASTER GDEM v2 και το AW3D30 χρησιμοποιώντας την προτεινόμενη στρατηγική ένωσης δεδομένων. Τα ASTER GDEM και AW3D30 DEM προέρχονται από οπτικές παρατηρήσεις και επηρεάζονται αναπόφευκτα από τα σύννεφα και σκιές συννέφων. Έτσι χρησιμοποιήθηκε το SRTM1 ως βάση και τα ζητήματα ποιότητας αντιμετωπίστηκαν από τη συγχώνευση βοηθητικών πληροφοριών. Λαμβάνοντας υπόψη τα παγκόσμια χαρακτηριστικά δεδομένων οι τεχνικές επεξεργασίας δεδομένων ποικίλουν ανάλογα με τη γεωγραφική ζώνη.

Επιπλέον λόγω της σχετικά καλής ποιότητας των δεδομένων του SRTM1 σε επίπεδες περιοχές, χρησιμοποιήθηκε το ASTER GDEM v2 και το AW3D30 DEM για να γεμίσουμε τα κενά των τμημάτων του SRTM1 και να δημιουργηθεί μια βελτιωμένη ομάδα δεδομένων. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ακρίβεια των περιοχών που είναι δύσκολο να παρατηρηθούν είναι σχετικά μικρή. Έτσι χρησιμοποιήθηκε αρχικά η βελτίωση της ακρίβειας με βάση το νευρωνικό δίκτυο (ANN) που καταγράφει τις βοηθητικές τιμές υψομέτρων στα κενά. Τα σημεία ICESat GLAS χρησιμοποιήθηκαν ως ο στόχος αναφοράς στην ενίσχυση της ακρίβειας. Πρώτον τα σημεία GLAS φιλτραρίστηκαν και μετασχηματίστηκαν στο WGS 84/ EGM96. Οι παράμετροι φιλτραρίσματος είναι παρόμοιες με εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενες εργασίες.

(<https://www.preprints.org/manuscript/201906.0036/v1> A Global Seamless DEM Based on Multi-Source Data Fusion (GSDEM-30): Product Generation and Evaluation Yue L, Shen H, Liu L, Yuan Q, Zhang L. Version 1 4 June 2019)

4.1.7 Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους NASADEM

Στόχος της υπηρεσίας αυτής είναι να παρέχει στην επιστημονική και πολιτική κοινότητα ένα υπερασύγχρονο παγκόσμιο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) που προέρχεται από έναν συνδυασμό βελτιώσεων επεξεργασίας του Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) υψομετρικού ελέγχου, πλήρωσης κενού και ένωσης, με τα δεδομένα που δεν ήταν διαθέσιμα τη στιγμή της αρχικής παραγωγής του SRTM. Νέα SRTM DEM δημιουργήθηκαν με βελτιώσεις επεξεργασίας σε πλήρη ανάλυση.

Προτείνεται ένας εκσυγχρονισμός των δημοσίων και ελεύθερα διαθέσιμων δεδομένων DEM. Οι ακριβείς πληροφορίες για την επιφάνεια υψομέτρων αποτελούν κρίσιμο συστατικό για την

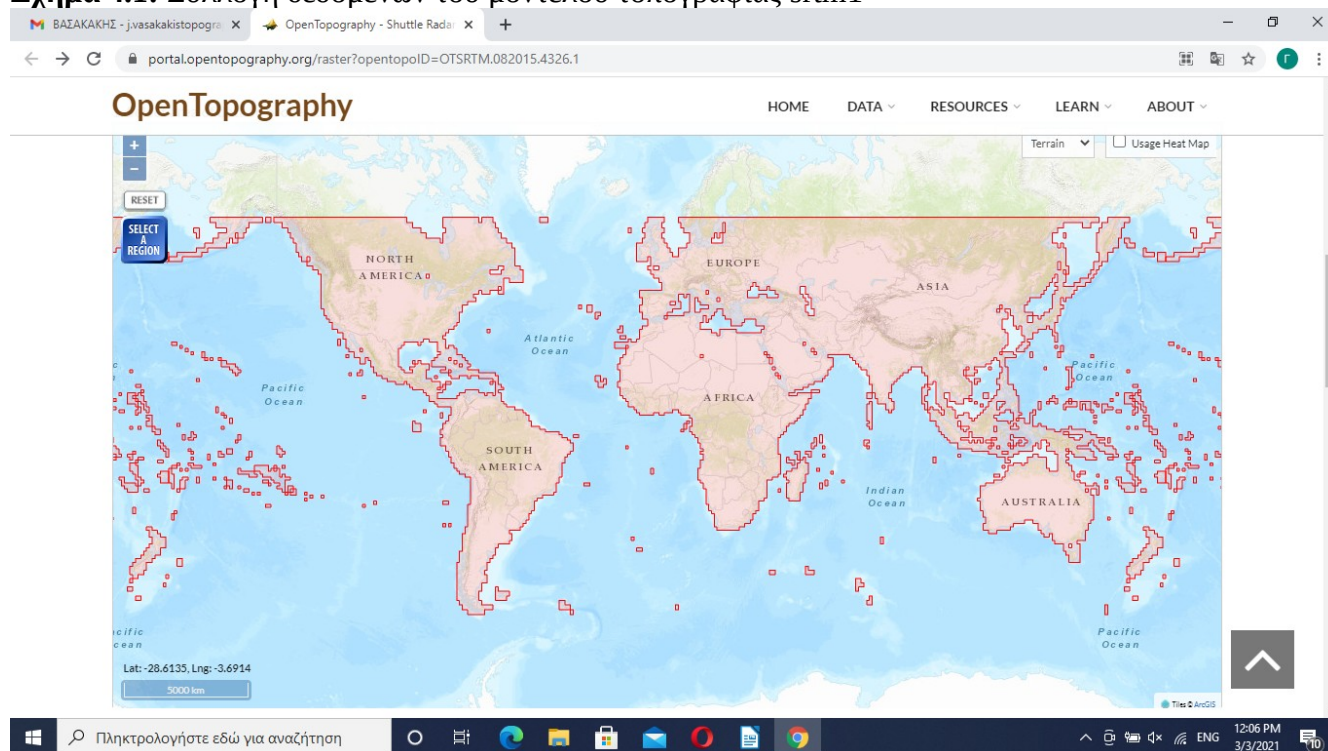
επιστημονική έρευνα και των εμπορικών και στρατιωτικών εφαρμογών. Το τρέχον προϊόν SRTM DEM είναι το πιο ολοκληρωμένο σύνολο δεδομένων που έχει ληφθεί ποτέ στην ιστορία της NASA. Ωστόσο, το αρχικό μνημόνιο μεταξύ της NASA και της NGA έχει κάποιες απαγορεύσεις και περιορισμούς. Η αρχική πλήρη ανάλυση του 1 arcsec είναι προς το παρόν διαθέσιμα μόνο στις ΗΠΑ και τα επίπεδα σφάλματος οπισθοσκέδασης (backscatter) και συνοχής δεν δημοσιεύθηκαν στο κοινό. Με την πρόσφατη λήξη του μνημονίου έχει προταθεί η επανεπεξεργασία των δεδομένων SRTM με βελτιωμένους αλγόριθμους και η ενσωμάτωση βοηθητικών δεδομένων που δεν ήταν διαθέσιμα κατά την αρχική παραγωγή του SRTM, για την παραγωγή και δημοσίευση ενός παγκόσμιου, χωρίς κενά, 1 arcsec DEM (30m), χάρτη σφαλμάτων, με την απόσταση που υποστηρίζεται από τα δεδομένα SRTM πλήρους ανάλυσης. Η επανεπεξεργασία θα αφορά σε ολόκληρο το σύνολο των SRTM δεδομένων από αισθητήρα με βελτιώσεις στους αρχικούς αλγόριθμους επεξεργασίας. Θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα GLAS για την αφαίρεση αντικειμένων στο βέλτιστο βήμα της αλυσίδας SRTM. Θα συγχωνευτούν τα βελτιωμένα DEM strip SRTM τα ASTER και GDEM v2 και τα δεδομένα GLAS χρησιμοποιώντας το λογισμικό μωσαϊκού SRTM για να δημιουργηθεί ένα νέο NASADEM. Το NASADEM είναι μια σημαντική βελτίωση του υπάρχοντος SRTM 3 arcsec, κυρίως επειδή θα παρέχει ένα παγκόσμιο DEM και συναφή προϊόντα σε απόσταση 1 arcsec. Το aster GDEM διατίθεται σε ανάλυση 1 arcsec αλλά έχει πραγματική χωρική ανάλυση κατώτερη από τα δεδομένα SRTM 1 arcsec και έχει πολύ μεγαλύτερα προβλήματα θορύβου ιδιαίτερα σε τροπικές (νεφελώδεις) περιοχές. Σε ανάλυση 1 arcsec το NASADEM θα είναι βελτιωμένο σε σύγκριση με το GDEM σε όλες τις περιοχές κάλυψης του SRTM αλλά θα ενσωματώσει το GDEM για να επεκτείνει την κάλυψη. Το NASADEM θα έχει την καλύτερη ανάλυση, θα είναι ελεύθερα διαθέσιμο προϊόν DEM για το άμεσο μέλλον.
(<https://earthdata.nasa.gov/esds/competitive-programs/measurements/nasadem>)

4.2. Διαδικασία συλλογής δεδομένων

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη συλλογή των δεδομένων περιγράφεται παρακάτω:
Για το SRTM1:

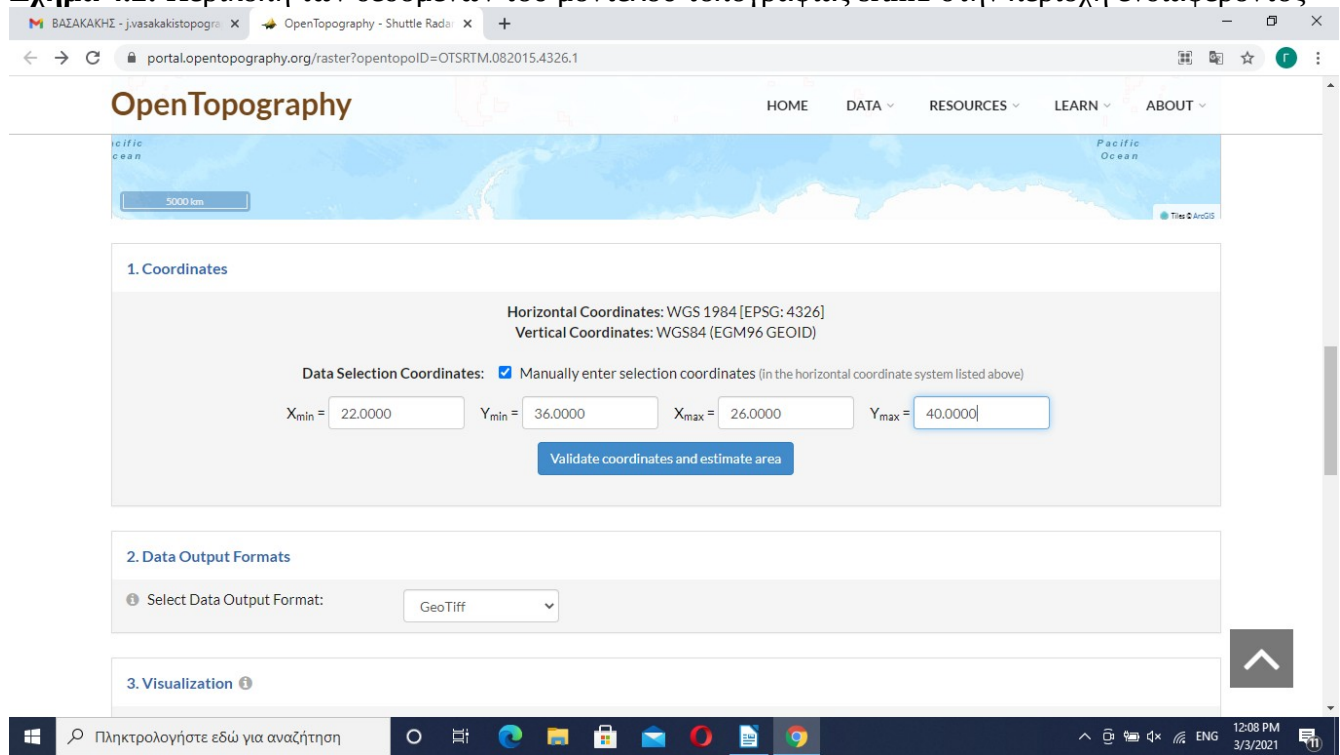
Από την ιστοσελίδα <https://portal.opentopography.org/raster?opentopoID=OTSRTM082015.4326.1> η οποία παρέχει δεδομένα του SRTM1

Σχήμα 4.1: Συλλογή δεδομένων του μοντέλου τοπογραφίας srtm1



όπου επιλέχθηκε η περιοχή ενδιαφέροντος με τις συντεταγμένες της περιοχής αυτής.

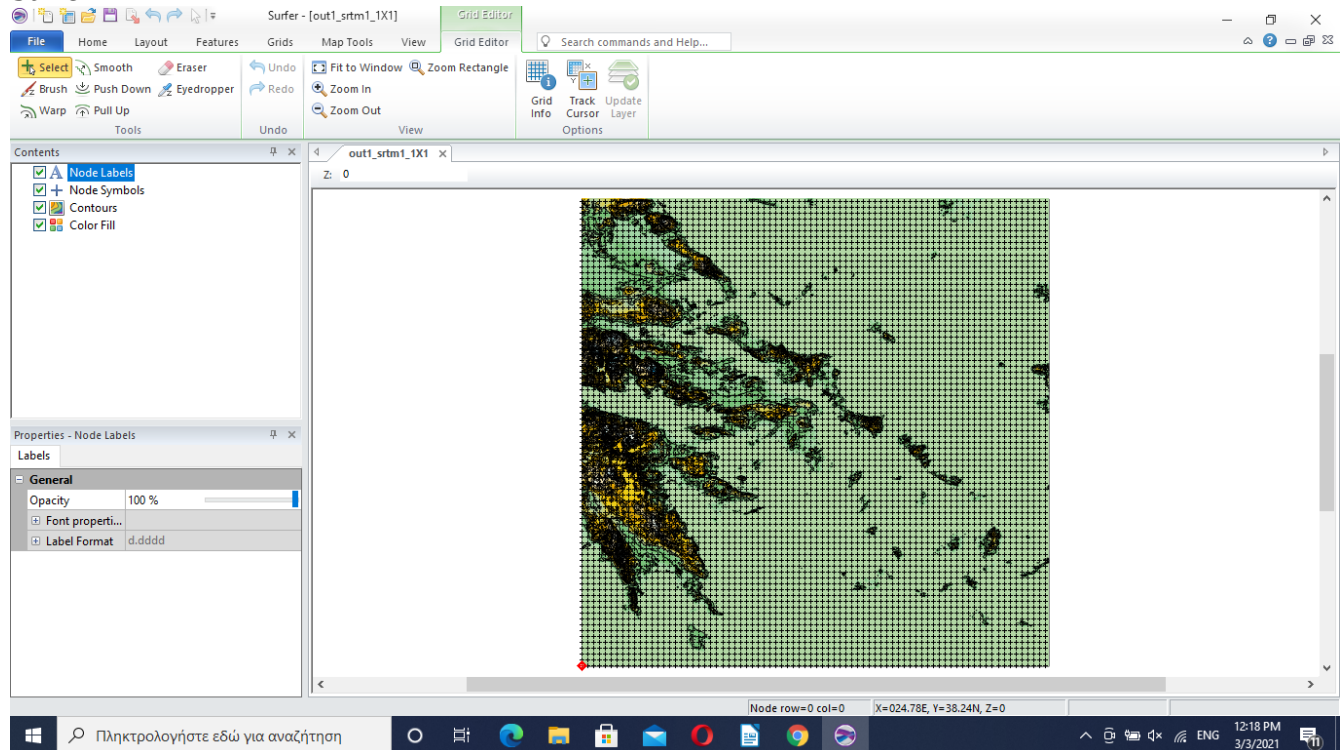
Σχήμα 4.2: Περικοπή των δεδομένων του μοντέλου τοπογραφίας srtm1 στην περιοχή ενδιαφέροντος



Το αρχείο αυτό έχει τη μορφή GeoTiff δηλαδή γεωαναφερμένη εικόνα tif, που είναι έτοιμη για προσπέλαση από κατάλληλο λογισμικό. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την προσπέλαση των εικόνων των ψηφιακών μοντέλων εδάφους και των χαρτών των τοπογραφικών είναι το Surfer (<https://www.goldensoftware.com/products/surfer>) version 16.484

Στη συνέχεια ανοίγοντας το αρχείο στο surfer και φαίνεται ως εξής:

Σχήμα 4.3: Το μοντέλο τοπογραφίας srtm1 στην περιοχή ενδιαφέροντος όπως προσπελάστηκε στο Surfer



Στην προεπισκόπηση του αρχείου φαίνονται τα όρια της περιοχής μελέτης καθώς κι η ισοδιάσταση του κανάβου. Επιπλέον, διακρίνεται η τοπογραφία της περιοχής, ενώ απουσιάζει η βαθυμετρία αφού το SRTM1 δεν παρέχει τέτοια πληροφορία.

Στη συνέχεια από την ιστοσελίδα <https://gis.geography.com/free-global-dem-data-sources/>

Σχήμα 4.4: Συλλογή των δεδομένων του μοντέλου τοπογραφίας ASTER



2 ASTER Global Digital Elevation Model

NASA and Japan's joint operation was the birth of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). As part of this project emerged the [ASTER Global Digital Elevation Model \(GDEM\)](#).



ASTER GDEM boasted a global resolution of 90 meters with a resolution of 30 meters in the United States. Despite its high-resolution and greater coverage (80% of the Earth), dissatisfied users expressed issues with its artifacts often in cloudy areas.

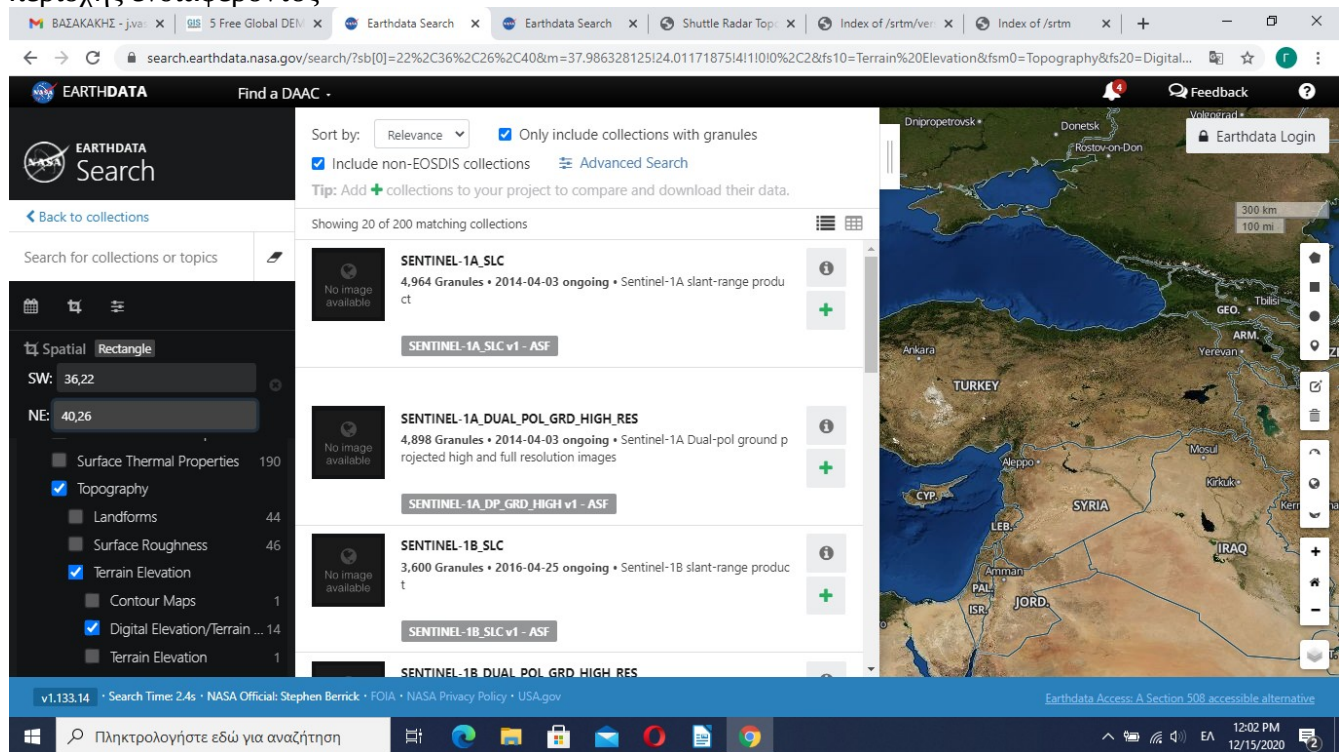
ASTER GDEM used stereoscopic pairs and digital image correlation methods. Based on two images at different angles, it used stereo pairs and [photogrammetry](#) to measure elevation. However, the amount of cloud cover affected the accuracy of ASTER which wasn't the case for SRTM DEM. Because of [how passive and active sensors work](#), this had the most significant effect on quality of DEM.

But over time, ASTER DEM data has improved its products with artifact

και στη συνέχεια επιλέγεται το ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM)

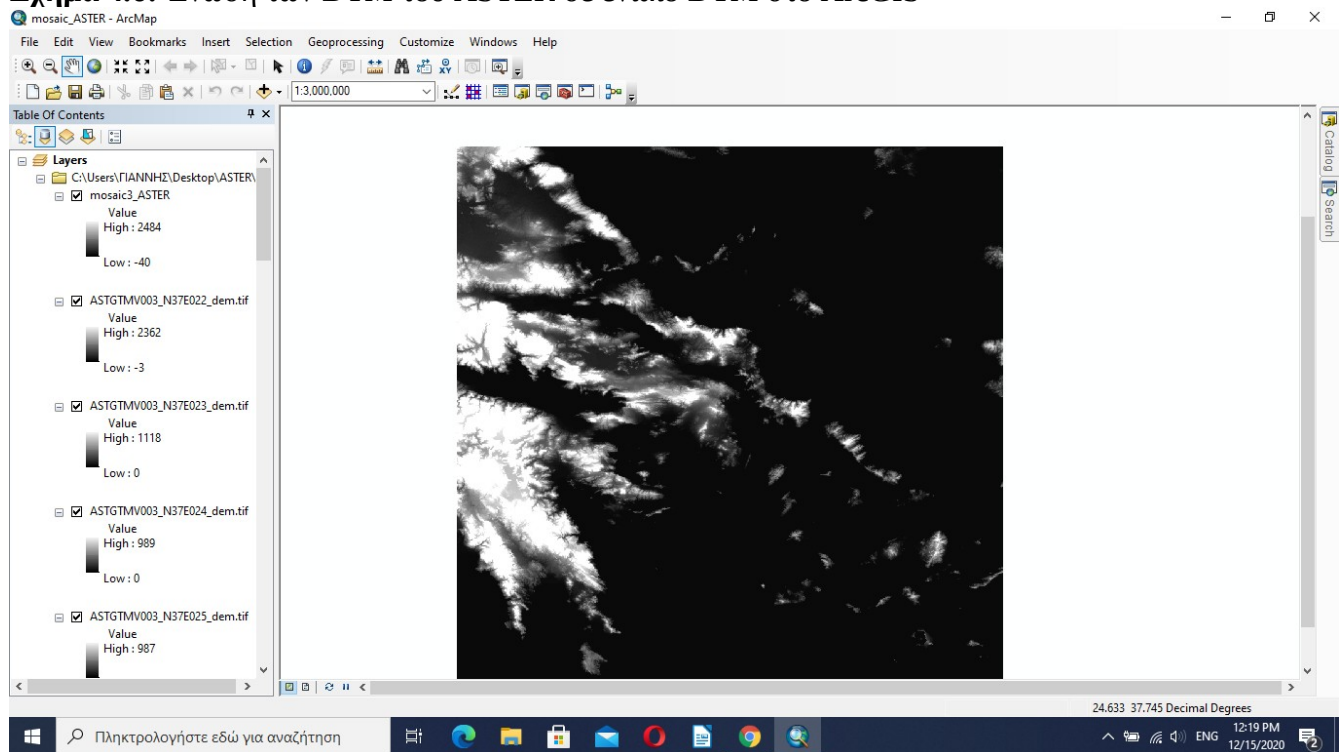
Στη συνέχεια ορίζεται από το keywords Topography<Terrain Elevation<Digital Elevation και μετά από το Rectangle οριοθετείται η περιοχή ενδιαφέροντος γράφοντας τις συντεταγμένες στο SW (36,22) και NE(40,26).

Σχήμα 4.5: Συλλογή των δεδομένων του μοντέλου τοπογραφίας ASTER με τις συντεταγμένες της περιοχής ενδιαφέροντος



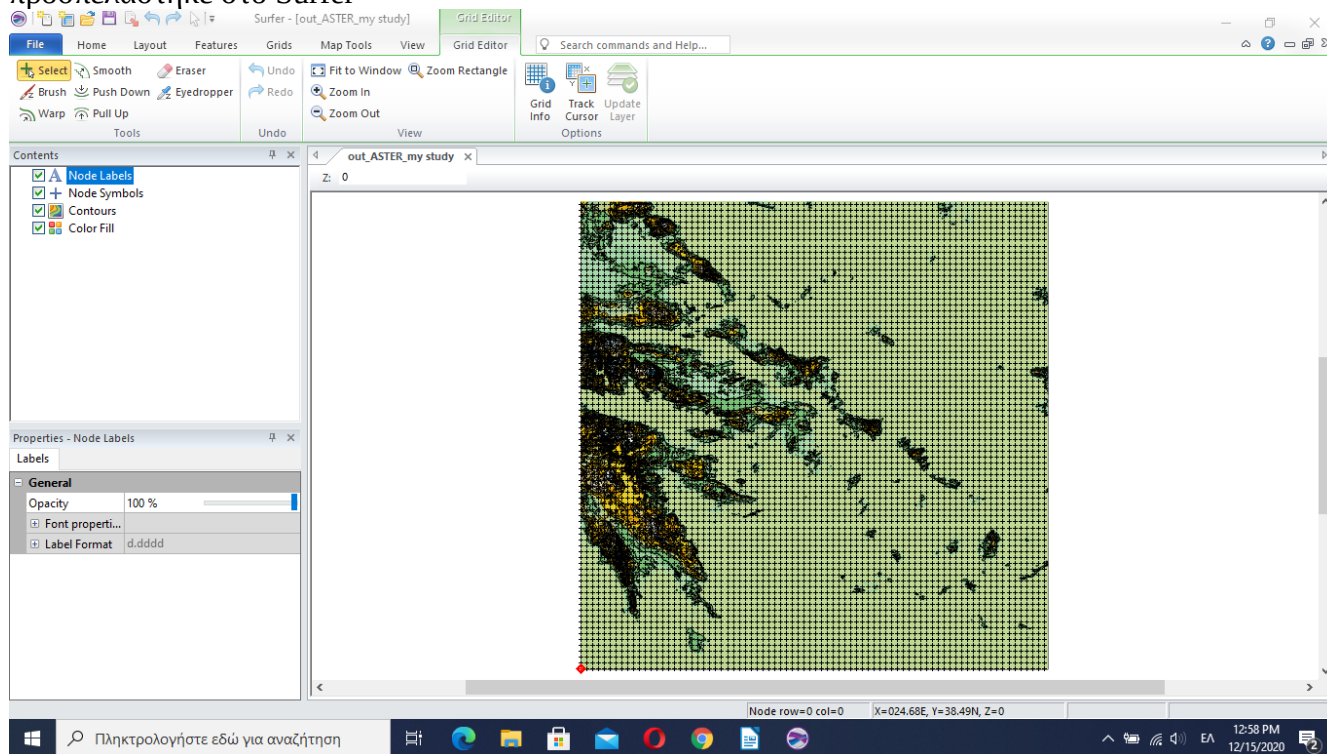
Παρατηρείται ότι τα δεδομένα του ASTER διακρίνονται σε τμηματικά αρχεία για την περιοχή μελέτης. Η διαδικασία αυτή επιλέχτηκε από την υπηρεσία διανομής σε σκοπό την ευκολότερη διαχείριση και μεταφορά των δεδομένων από τους χρήστες. Απαραίτητη λοιπόν κρίνεται η διαδικασία ενοποίησης των τμηματικών αυτών αρχείων με σκοπό την δημιουργία ενιαίου ψηφιακού μοντέλου εδάφους για την περιοχή μελέτης. Η ενοποίηση αυτή μπορεί να γίνει με τη χρήση διάφορων λογισμικών επεξεργασίας ψηφιακών δεδομένων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχτηκε το λογισμικό Geographic Information System (GIS) για την ενοποίηση των αρχείων. Συγκεκριμένα στο ArcGIS (<https://arcgis.com./index.html>) ενοποιήθηκαν τα αρχεία του ASTER με την εντολή Mosaic to New Raster και το αποτέλεσμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Σχήμα 4.6: Ένωση των DTM του ASTER σε ενιαίο DTM στο ArcGIS



Στη συνέχεια τα δεδομένα του ASTER μετασχηματίζονται σε μορφή αναγνώσιμη από το surfer με την εντολή Export data και επιλέγεται μορφή tif. Στη συνέχεια προσπελάστηκε το αρχείο στο surfer επιλέγοντας tif το grid από το file- format.

Σχήμα 4.7: Τα δεδομένα του μοντέλου τοπογραφίας ASTER στην περιοχή ενδιαφέροντος όπως προσελάστηκε στο Surfer



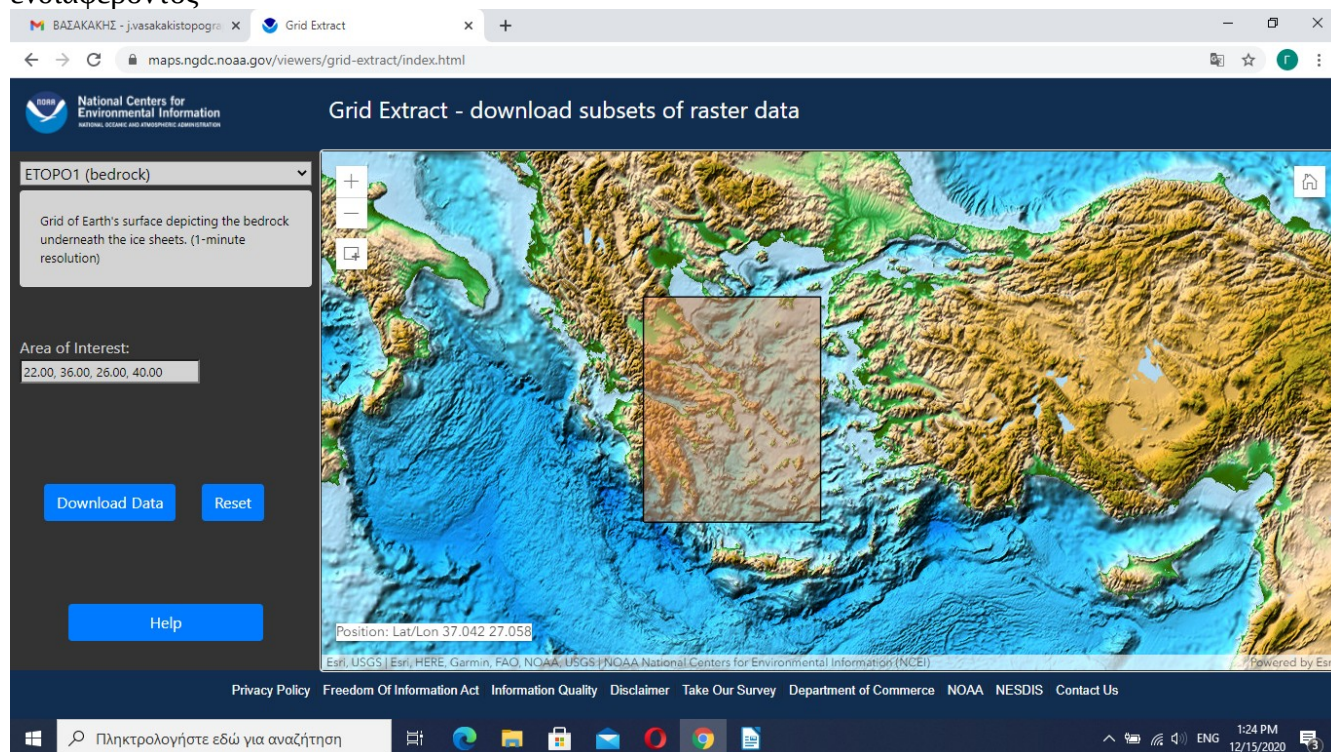
Το επόμενο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους που μελετήθηκε είναι το ΕΤΟΡΟ (<https://ngdc.noaa.gov/mgg/global/>) από την ιστοσελίδα του οργανισμού NOAA όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

Σχήμα 4.8: Συλλογή των δεδομένων του μοντέλου τοπογραφίας- βαθυμετρίας ΕΤΟΡΟ1

The screenshot shows the NOAA ETOPO1 Global Relief Model website. The main content area is titled "ETOPO1 Global Relief Model". It includes a globe on the left, a world map in the center, and descriptive text on the right. The text explains that ETOPO1 is a 1-arc-minute global relief model of Earth's surface that integrates land topography and ocean bathymetry. It is used to calculate the Volumes of the World's Oceans and to derive a Hypsographic Curve of Earth's Surface. The page also lists Grid Versions: ETOPO1 Ice Surface and ETOPO1 Bedrock, each with grid-registered and cell-registered netCDF, georeferenced TIFF options. A Global Grids section lists deprecated models like ETOPO2 and ETOPO5. The website navigation bar includes categories like Bathymetry & Relief, Coastal DEMs, Fishing, Global, Lakes, Multibeam, and NOS. The browser's address bar shows "ngdc.noaa.gov/mgg/global/" and the Windows taskbar at the bottom displays the date 12/15/2020 and time 1:17 PM.

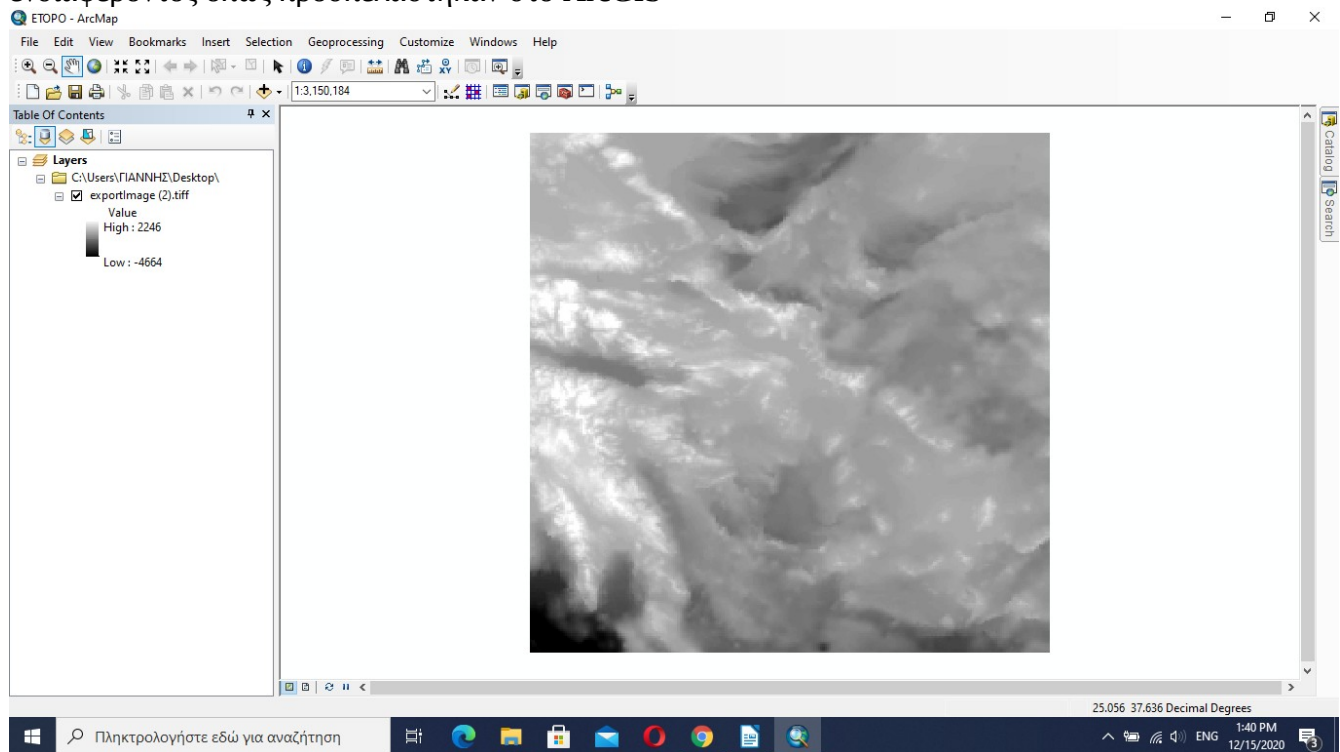
Επιλέγοντας Extract Custom Grid βάζουμε τις συντεταγμένες για την περιοχή ενδιαφέροντος και παρατηρούμε ότι την επιλέγει όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

Σχήμα 4.9: Περικοπή των δεδομένων του μοντέλου τοπογραφίας- βαθυμετρίας ETOPO1 στην περιοχή ενδιαφέροντος



Το αρχείο από την ιστοσελίδα NOAA έχει τη μορφή .tif
Στη συνέχεια με εισαγωγή στο arcgis μετατράπηκε σε μορφή αναγνώσιμη από το surfer όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

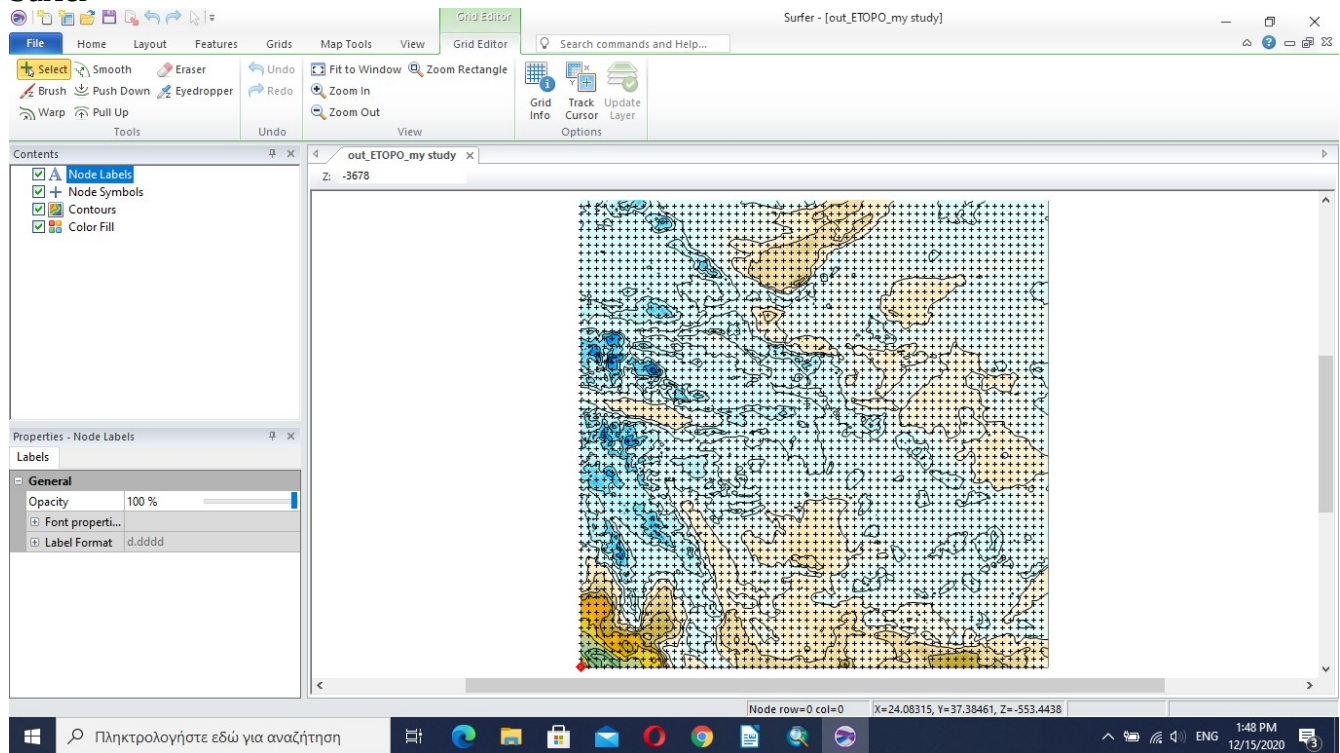
Σχήμα 4.10: Τα δεδομένα του μοντέλου τοπογραφίας- βαθυμετρίας ΕΤΟΡΟ1 στην περιοχή ενδιαφέροντος όπως προσπελάστηκαν στο ArcGIS



Κατόπιν, έγινε μετατροπή του αρχείου σε μορφή αναγνώσιμη για το surfer κάνοντας Export data σε μορφή κανάβου (grid).

Στη συνέχεια ανοίγοντας το αρχείο στο surfer βλέπουμε την παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η προεπισκόπηση της περιοχής μελέτης και των δεδομένων του ψηφιακού μοντέλου εδάφους ΕΤΟΡΟ1. Όπως μπορεί να παρατηρήσει κάποιος το ΕΤΟΡΟ1 περιέχει και πληροφορίες για τη βαθυμετρία για την περιοχή μελέτης.

Σχήμα 4.11: Τα δεδομένα του μοντέλου τοπογραφίας- βαθυμετρίας ETOPO1 με προσπέλαση στο Surfer



Για την πληρότητα της μελέτης απαιτούνται κι άλλα ψηφιακά μοντέλα εδάφους υψηλότερης διακριτικής ικανότητας.

Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιήθηκαν περαιτέρω για την τοπογραφική αναγωγή της βαρύτητας και τη σύγκριση των επιδράσεων στη βαρύτητα και στο γεωιδές από τη χρησιμοποίηση διαφορετικών DEM. Τα λεπτομερή ψηφιακά μοντέλα εδάφους αναζητήθηκαν από τον κατάλογο Free Global DEMs (https://usna.edu/Users/oceno/pguth/md_help/html/global_dems/html)

Σχήμα 4.12: Κατάλογος με τα διαθέσιμα DTM

Free Global DEM	Spacing	Source	Producer	Horizontal Datum	Vertical Datum	Precision	Pixel Is	Points per degree	Years Acquired	Characteristics
SRTM (v3)	1"	C band radar	NASA	WGS84	Orthometric	Integer	Point or Area		2000 (11 days)	Does not cover high latitudes. Several editions. Instantaneous snapshot of topography
ASTER GDEM	1"	Stereo NIR imagery	NASA / JAXA	WGS84	Orthometric	Integer	Area		2000-2013	Coverage extends closer to the poles than SRTM.
ALOS World 3D AW3D30	1"	Stereo pan imagery	JAXA	WGS84	Orthometric	Integer	Area		2006-2011	
NASADEM	1"	C band radar	NASA	WGS84	Orthometric	Integer			2000 (11 days)	Two beta versions, with and without hole filling. Complete reprocessing of SRTM. Final version in HGT format
Copernicus DEM GLO30	1"	X band radar, Edited WorldDEM	ESA/Airbus	WGS84	Orthometric	Floating point			2010-2015	
GSDEM-30	1"	Radar + stereo NIR imagery + stereo pan imagery	China	WGS84	Orthometric	Floating point	Area			Combines SRTM + ASTER + AW3D30. This may no longer be available.
MERIT	3"	Radar + Stereo pan imagery	Univ. Tokyo	WGS84	Orthometric	Floating point	Area			Combines ASTER and SRTM. 5 degree tiles. Due to the compression used, GDAL must be present for MICRODEM to open.
Tandem_X	3"	x band radar	DLR	WGS84	Ellipsoidal	Floating point	Point		2010-2015	Derived from much higher resolution data which is only available commercially or by application for research.
Copernicus DEM GLO90	3"	X band radar, Edited WorldDEM	ESA/Airbus	WGS84	Orthometric	Floating point	Point			Finer resolution available with restrictions

[OpenTopography](#) now has both ellipsoidal and orthometric versions of:

- [SRTM](#)
- [ALOS World 3D AW3D30](#)
- [Directions for Global DEM from OpenTopography.](#)

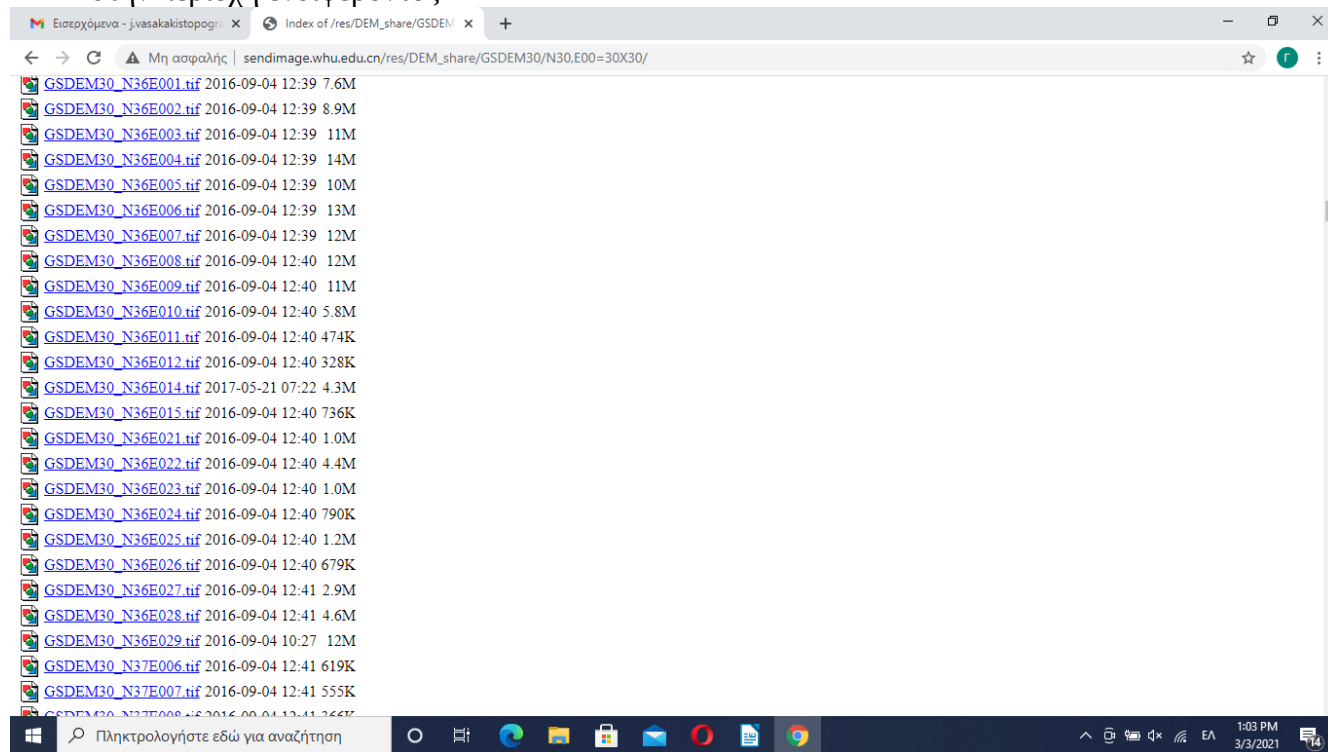
Από αυτά το SRTM, το ASTER, το NASADEM και το GSDEM30 είναι ανάλυσης 1''X1'' δηλαδή έχουν ισοδιάσταση 0.000277777777 X 0.000277777777 deg~ (δηλαδή κανάβο 30m) ενώ το Tandem-X είναι ανάλυσης 3''X3'' δηλαδή έχει ισοδιάσταση 0.000833333333 X 0.000833333333 deg~ (δηλαδή κανάβο 90m).

Το Copernicus DEM είναι σε 2 εκδόσεις:

1. 1''X1'' arc-second
2. 3''X3'' arc-second

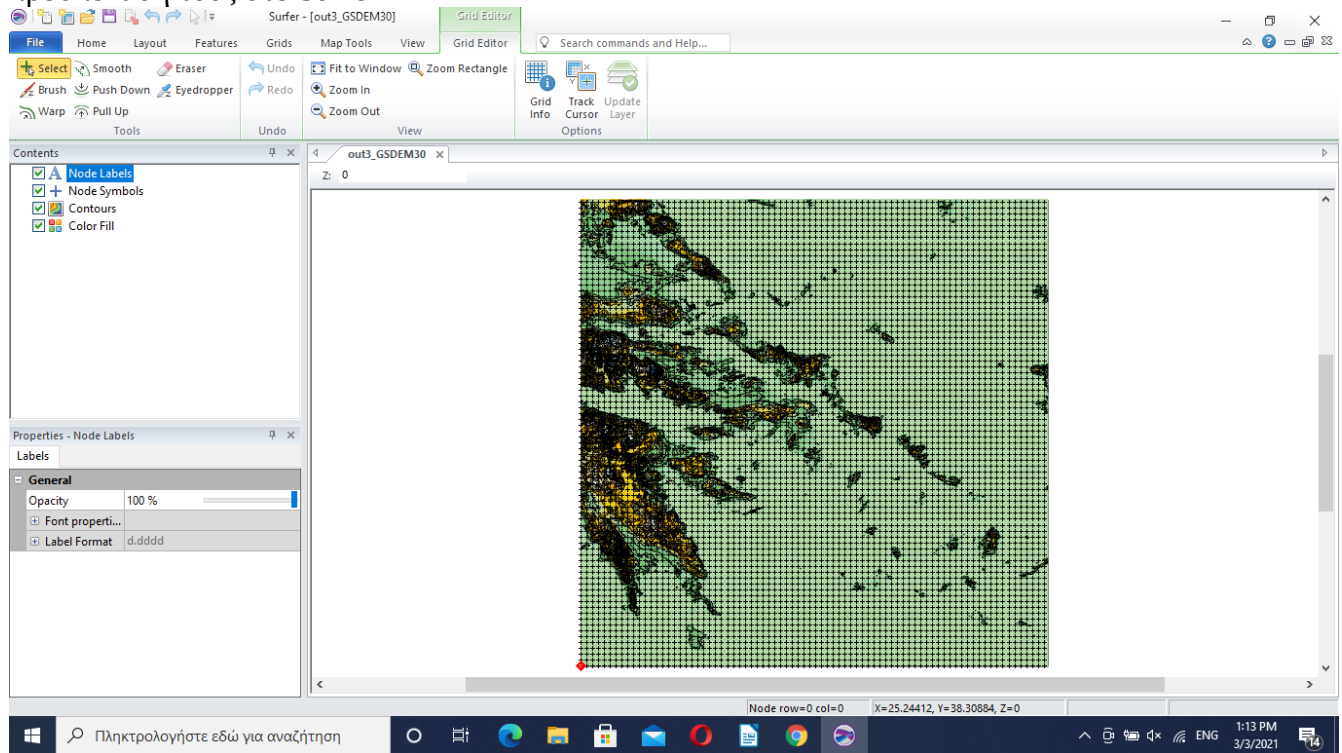
Στη συνέχεια έγινε η επιλογή του GSDEM30 από τον κατάλογο από τον οποίο κατέβηκαν τα τμηματικά του αρχεία για την περιοχή ενδιαφέροντος σύμφωνα με τις συντεταγμένες γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους της περιοχής.

Σχήμα 4.13: Συλλογή των δεδομένων του μοντέλου τοπογραφίας GSDEM30 με τις συνταγμένες των DTM στην περιοχή ενδιαφέροντος



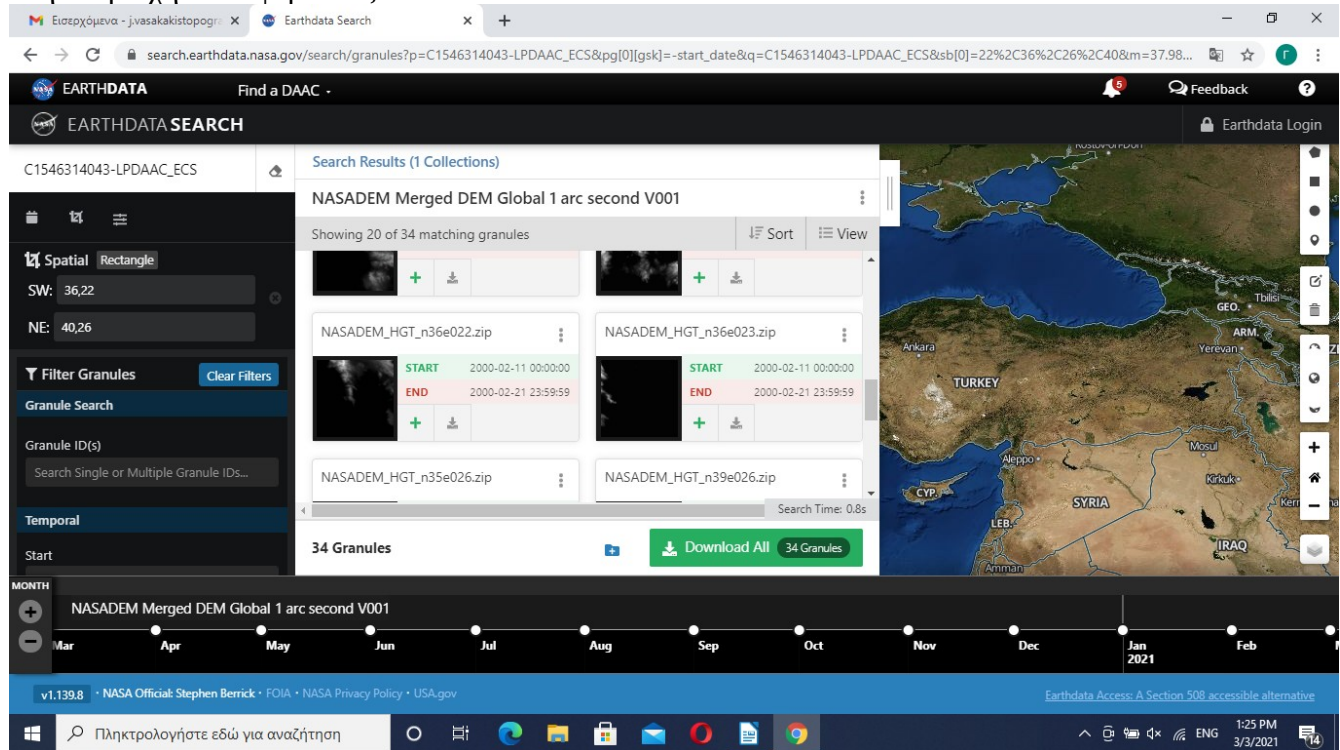
Στη συνέχεια με εισαγωγή των κομματιών αυτών στο QGIS (<https://www.qgis.org/en/site/>) και με την εντολή Raster- Merge δημιουργείται ένα γενικό DEM από την ενοποίηση των τμηματικών αρχείων. Κατόπιν, εισάγεται το αρχείο αυτό στο surfer:

Σχήμα 4.14: Τα δεδομένα του μοντέλου τοπογραφίας GSDEM30 στην περιοχή ενδιαφέροντος με την προστέλασή τους στο Surfer



Στο επόμενο βήμα χρησιμοποιήθηκε το NASADEM (<https://search.nasa.gov>) επιλέγοντάς το από τον παραπάνω κατάλογο των DEM:

Σχήμα 4.15: Συλλογή των δεδομένων του μοντέλου τοπογραφίας NASADEM με τις συντεταγμένες στην περιοχή ενδιαφέροντος

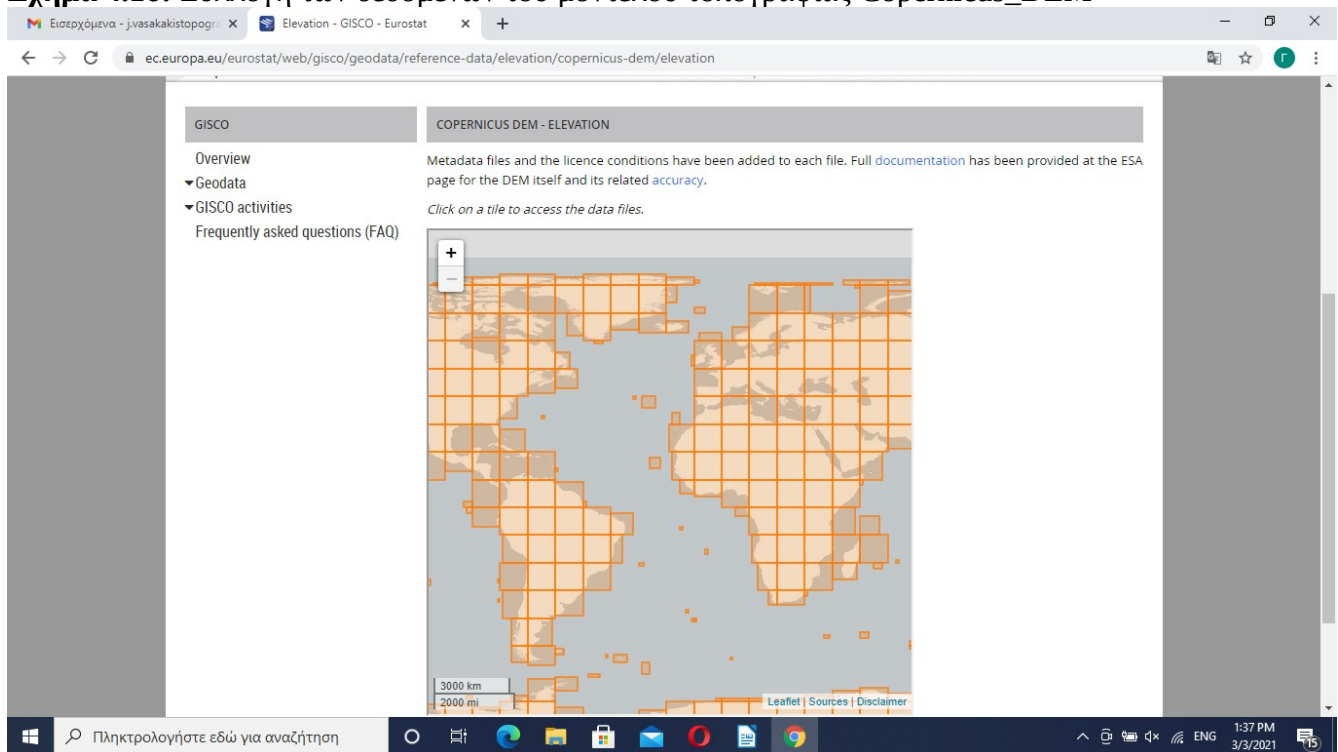


Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα επιλέγεται η περιοχή ενδιαφέροντος με τις συντεταγμένες και στη συνέχεια επιλέγονται τα κομμάτια του NASADEM που αντιστοιχούν στην περιοχή αυτή με το αντίστοιχο γεωγραφικό μήκος και πλάτος.

Ακολουθεί η περιγραφή για τη συλλογή των DEM στην περιοχή ενδιαφέροντος είναι το κατέβασμα του Copernicus DEM 3''X3'' επιλέγοντας την ιστοσελίδα του:

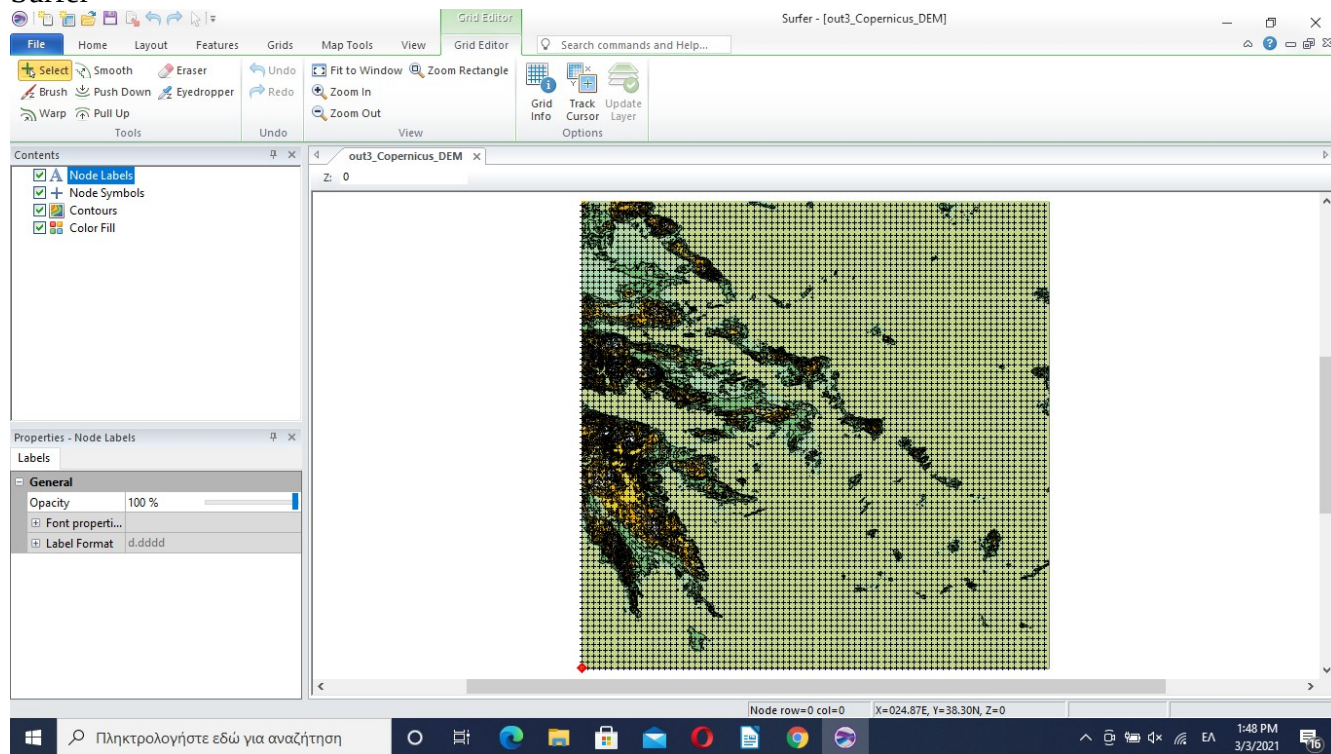
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/elevation/Copernicus-dem/elevation>

Σχήμα 4.16: Συλλογή των δεδομένων του μοντέλου τοπογραφίας Copernicus_DEM



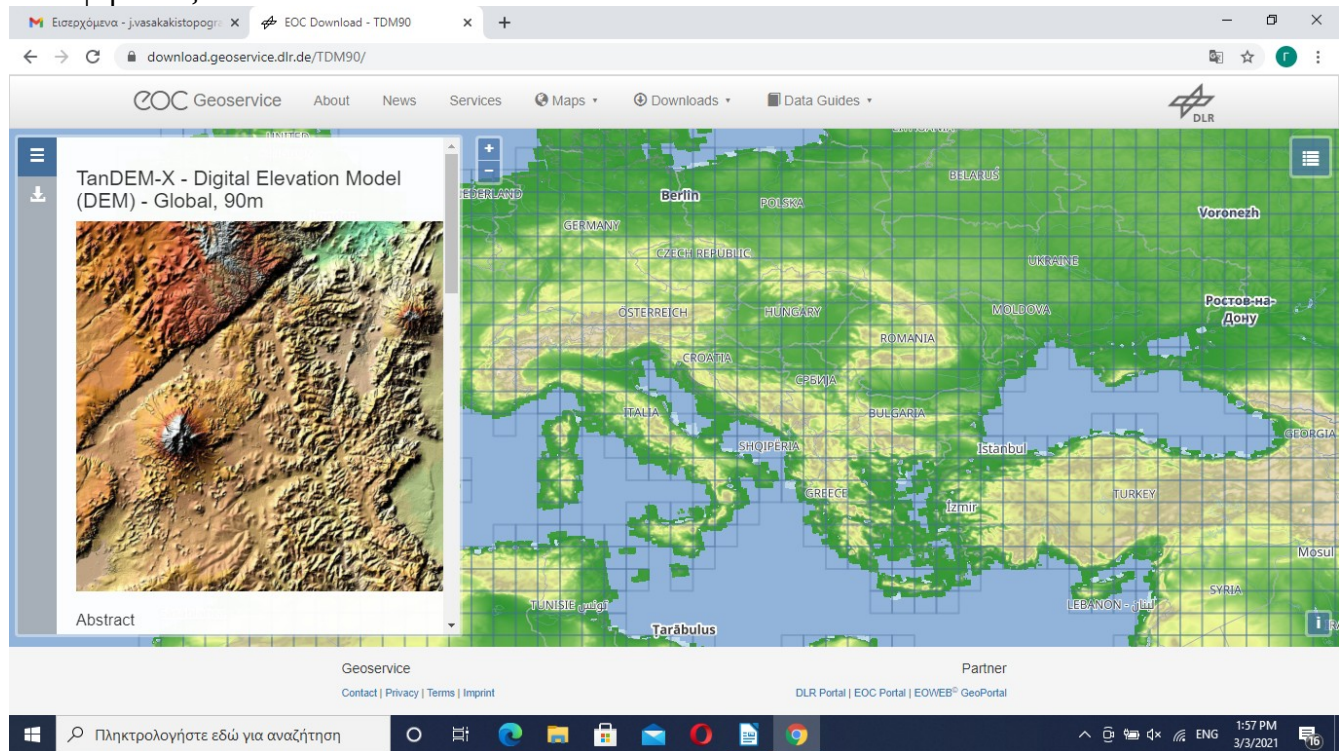
Επιλέγεται η περιοχή ενδιαφέροντος και στη συνέχεια εισάγεται το αρχείο στο QGIS Απαιτείται λοιπόν η περικοπή του αρχείου στην περιοχή μελέτης που θέλουμε με τις αντίστοιχες συντεταγμένες. Με την εντολή του QGIS Clip raster by extent εισάγονται οι συντεταγμένες της περιοχής και κόβεται το αρχείο στην περιοχή που θέλουμε. Στη συνέχεια με άνοιγμα του αρχείου στο surfer έχουμε την παρακάτω εικόνα:

Σχήμα 4.17: Τα δεδομένα του μοντέλου τοπογραφίας Copernicus_DEM με την προσπέλασή του στο Surfer



Τέλος χρειάστηκε το Tandem-X τα δεδομένα του αναζητήθηκαν από την ιστοσελίδα του (<https://download/geoservice.dir.de.TDM90>) όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

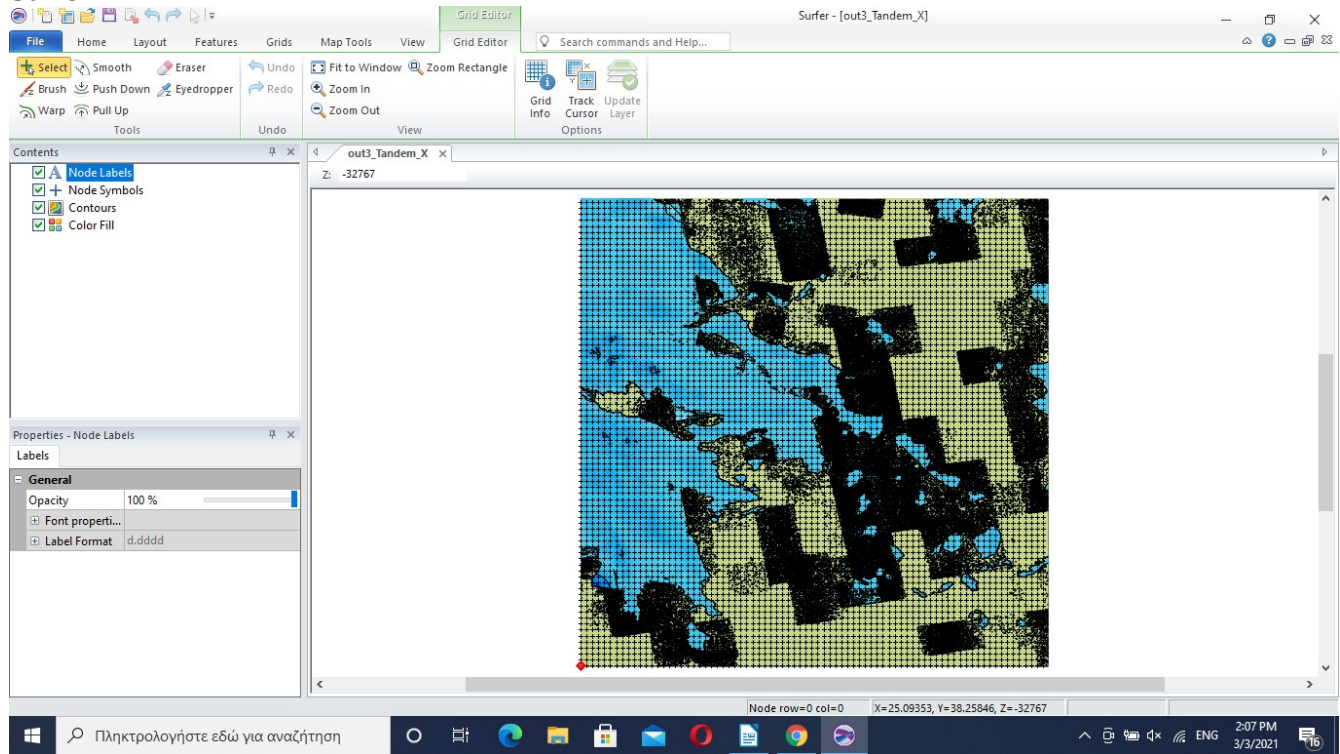
Σχήμα 4.18: Συλλογή των δεδομένων του μοντέλου τοπογραφίας Tandem-X στην περιοχή ενδιαφέροντος



Επιλέγεται με τον τρόπο που προαναφέρθηκε η περιοχή ενδιαφέροντος από το αντίστοιχο γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

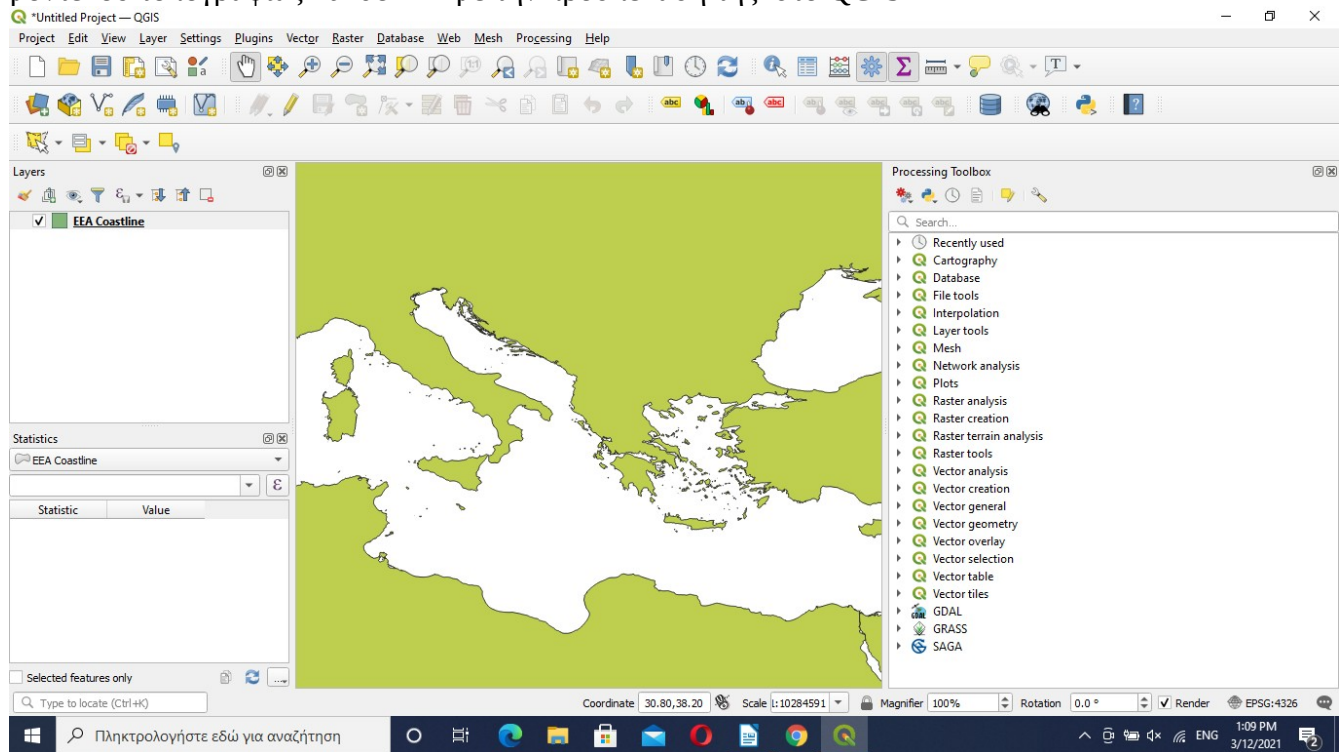
Όμως κατά το κατέβασμα των κομματιών στην περιοχή και μετά την ένωσή τους στο QGIS για να παραχθεί ένα γενικό DEM παρατηρήθηκε ότι το DEM παρουσιάζει προβληματικές τιμές, όπως φάνηκε μετά την εισαγωγή του γενικού DEM στο surfer:

Σχήμα 4.19: Σφάλματα που περιέχει το μοντέλο τοπογραφίας Tandem-X με την προσπέλασή του στο Surfer



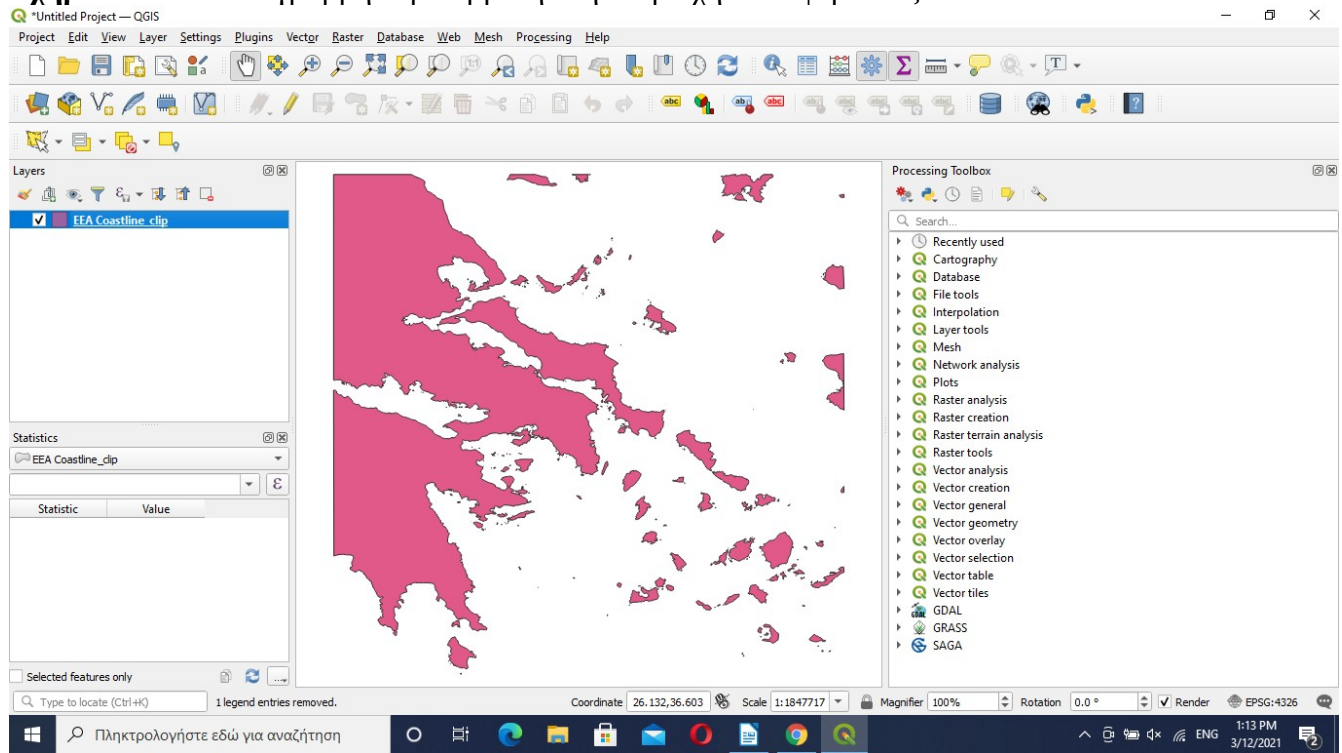
Παρατηρείται ότι υπάρχουν αρνητικές τιμές -32.767 και σφάλματα στις θαλάσσιες περιοχές, οι οποίες πρέπει να αντικατασταθούν με μηδενική τιμή. Το συγκεκριμένο ψηφιακό μοντέλο εδάφους παρουσιάζει τιμές στις θαλάσσιες περιοχές οι οποίες δεν είναι αντιπροσωπεύουν βάθη αλλά είναι τα πρωτογενή μη διορθωμένα δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά πρέπει να απομακρυνθούν καταλλήλως θα παρουσιάζονται συστηματικές επιδράσεις στους υπολογισμούς των τοπογραφικών επιδράσεων. Το πρώτο βήμα που έγινε για τη διόρθωση του αρχείου ήταν η αποκοπή των δεδομένων που βρίσκονται στην θαλάσσια περιοχή ώστε να δημιουργηθούν κενά κελιά και στη συνέχεια το γέμισμα των κενών κελιών με 0. Για την πραγματοποίηση αυτού του βήματος χρειάστηκε μια ακτογραμμή στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WGS 84 δηλαδή ίδιο με το σύστημα συντεταγμένων του DEM προκειμένου να επιτευχθεί η αποκοπή των δεδομένων από την ακτογραμμή και έξω. Χρειάζεται λοιπόν μια ακτογραμμή η οποία αποτελείται από μια ενιαία polyline για να χρησιμοποιηθεί ως όριο (Boundary) στην επιλογή του surfer Assign No Data.

Σχήμα 4.20: Η ακτογραμμή η οποία περιέχει και την περιοχή ενδιαφέροντος για την διόρθωση του μοντέλου τοπογραφίας Tandem-X με την προσπέλασή της στο QGIS



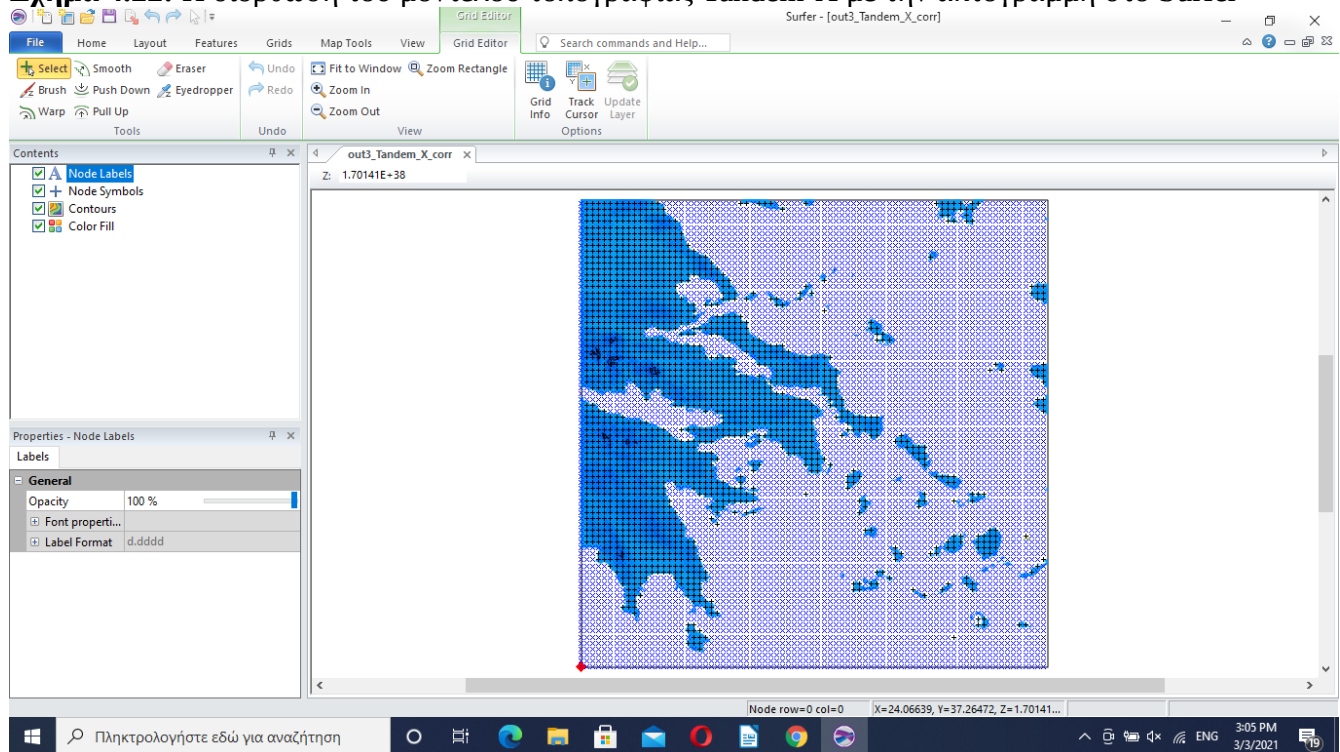
Για το σκοπό αυτό λοιπόν αναζητήθηκε μια polyline στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WGS 84. Επειδή δεν υπήρχε ακτογραμμή στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς η οποία να είναι και στην κατάλληλη κλίμακα για να δίνει την καλύτερη ακρίβεια, βρέθηκε ακτογραμμή για την Ευρώπη σε προβολή Lambert και σε σύστημα αναφοράς ETRS 89 και η οποία αποτελούνταν από μια ενιαία polyline, έτσι όπως παρατηρήθηκε στο QGIS. Χρειάστηκε να γίνει ο μετασχηματισμός από το σύστημα ETRS 89 στο σύστημα WGS 84. Αυτό έγινε με την εντολή του QGIS Assign projection. Ορίστηκε σύστημα συντεταγμένων της ακτογραμμής το WGS 84 (EPSG 4326- WGS 84 σε συμβολισμό του QGIS). Στη συνέχεια για να εισαχθεί η μετασχηματισμένη ακτογραμμή στο surfer για να γίνει η απομάκρυνση των θαλάσσιων δεδομένων πρέπει να περικοπεί στην περιοχή του DEM για να γίνει πιο εύκολα η επεξεργασία της. Για το σκοπό αυτό η ακτογραμμή περικόπεται με την εντολή Vector split by extent και ορίζονται οι συντεταγμένες της περιοχής του DEM

Σχήμα 4.21: Η ακτογραμμή περικομμένη στην περιοχή ενδιαφέροντος



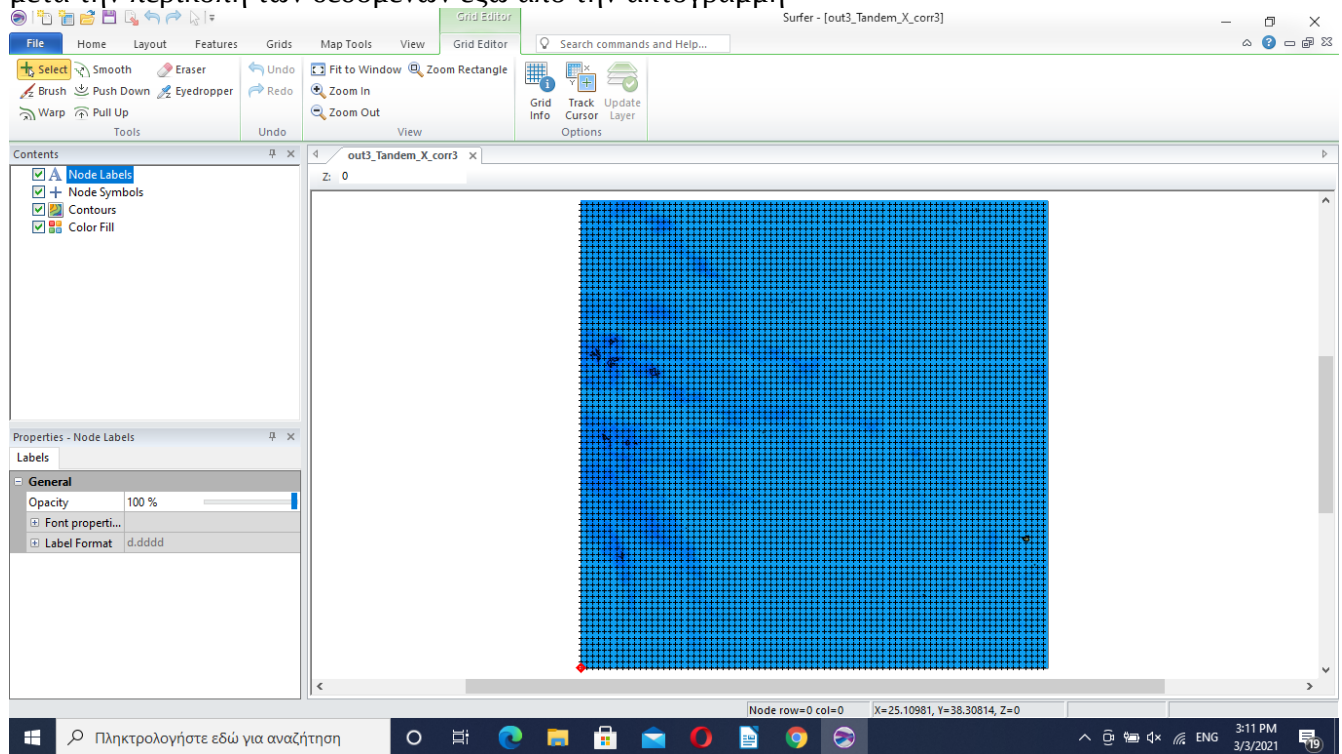
Τέλος εισάγεται στο surfer το Tandem-X και η ακτογραμμή προκειμένου με την επιλογή Assign No Data να αποκοπούν τα δεδομένα που βρίσκονται έξω από την ακτογραμμή και έχει το εξής αποτέλεσμα:

Σχήμα 4.22: Η διόρθωση του μοντέλου τοπογραφίας Tandem-X με την ακτογραμμή στο Surfer



Παρατηρείται ότι διατηρούνται τα δεδομένα από την ακτογραμμή και μέσα ενώ αποκόπτονται τα δεδομένα από την ακτογραμμή και έξω. Τα κενά κελιά που δημιουργούνται από τη διαδικασία αυτή πρέπει να γεμίσουν με μηδενικές τιμές. Για το σκοπό αυτό το αρχείο αυτό εισάγεται στο QGIS και εκτελείται η εντολή Fill in No Data cells, με μηδενικές τιμές. Παίρνουμε το αρχείο που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

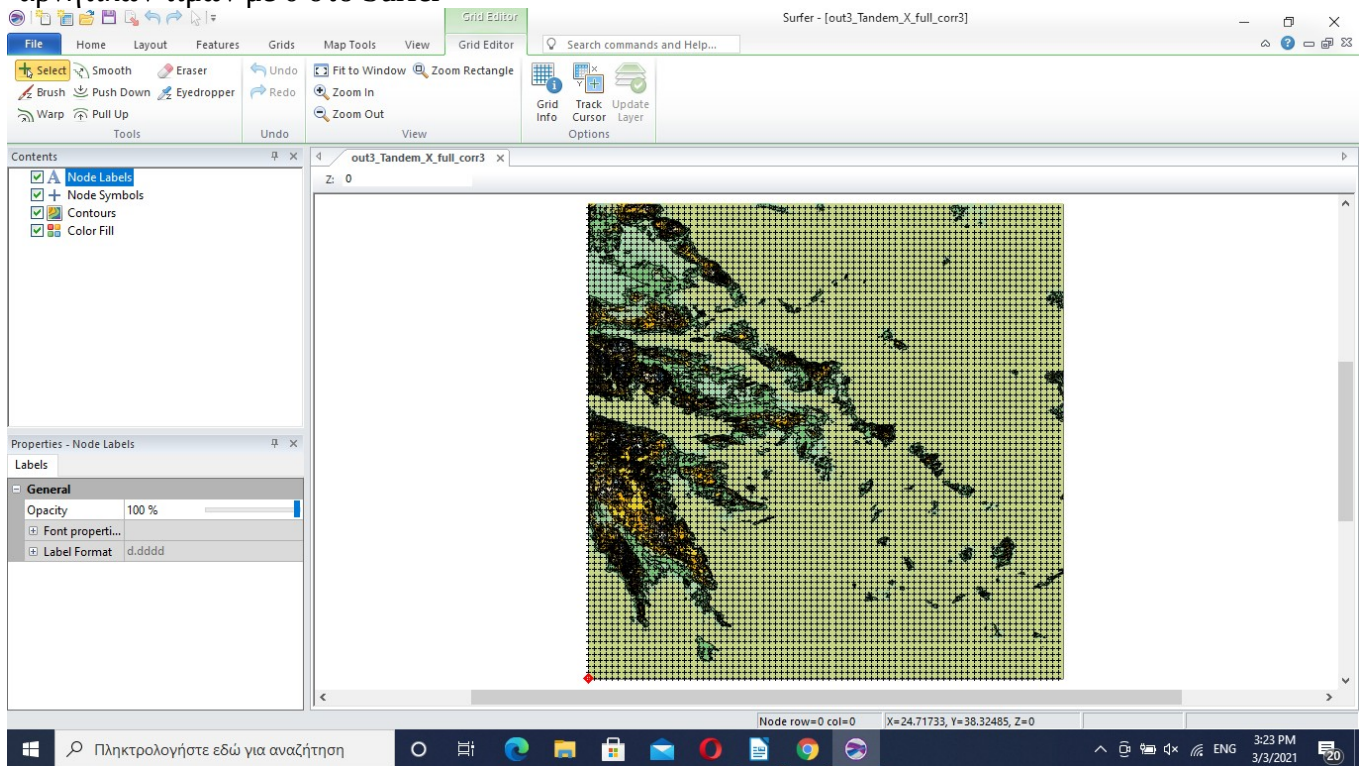
Σχήμα 4.23: Τα δεδομένα του μοντέλου τοπογραφίας Tandem-X με κάποια εναπομείναντα σφάλματα μετά την περικοπή των δεδομένων έξω από την ακτογραμμή



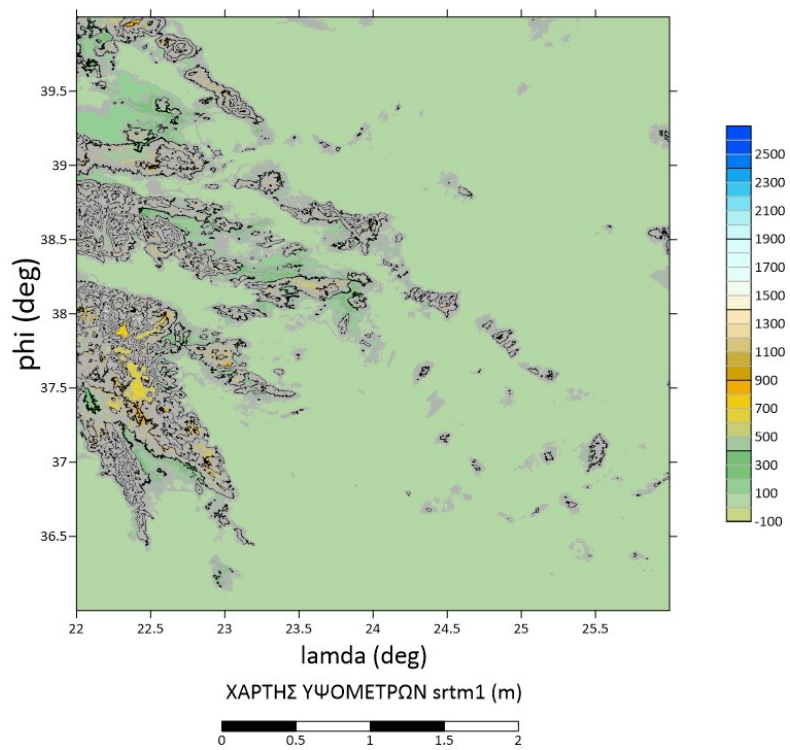
Παρατηρείται όμως το εξής:

Υπάρχει μια μικρή περιοχή που βρίσκεται σε ένα νησί στην οποία περιοχή υπάρχουν αρνητικές τιμές. Οι τιμές αυτές αντικαταστάθηκαν με τη μηδενική τιμή. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε η συνάρτηση του Math calculator από το grid tools του surfer και με τη συνάρτηση $\max(A,0)$, όπου A είναι τα δεδομένα του Tandem-X. Η συνάρτηση αυτή αντικαθιστά τις αρνητικές τιμές με 0. Μετά την εκτέλεση της εντολής αυτής έχουμε την παρακάτω εικόνα του πλήρως διορθωμένου Tandem-X.

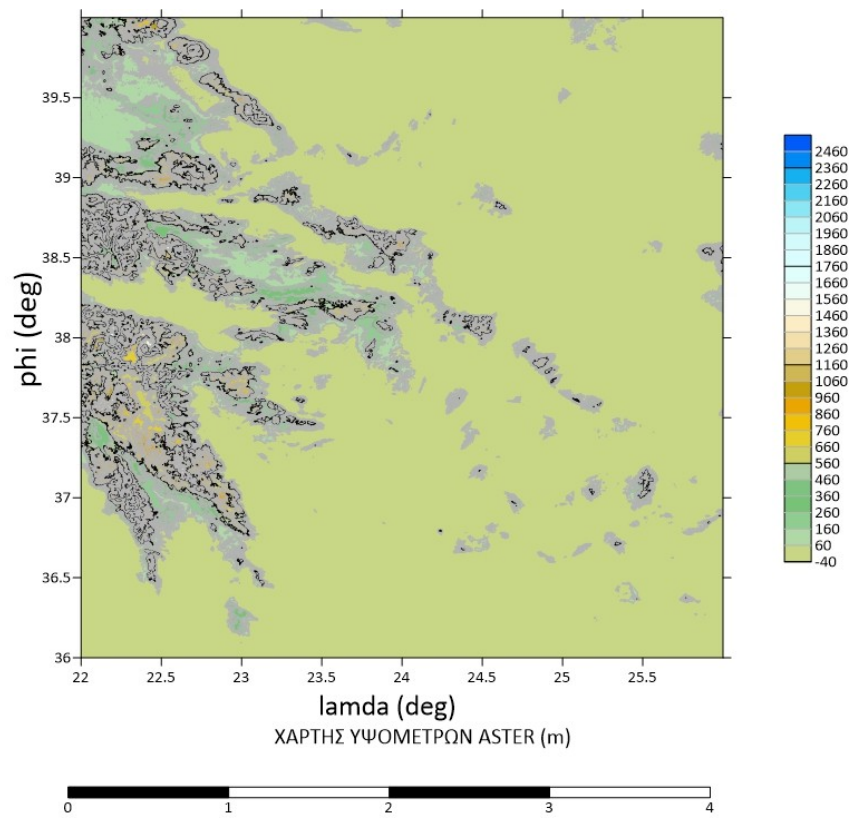
Σχήμα 4.24: Πλήρης διόρθωση του μοντέλου τοπογραφίας Tandem-X με αντικατάσταση κάποιων αρνητικών τιμών με 0 στο Surfer



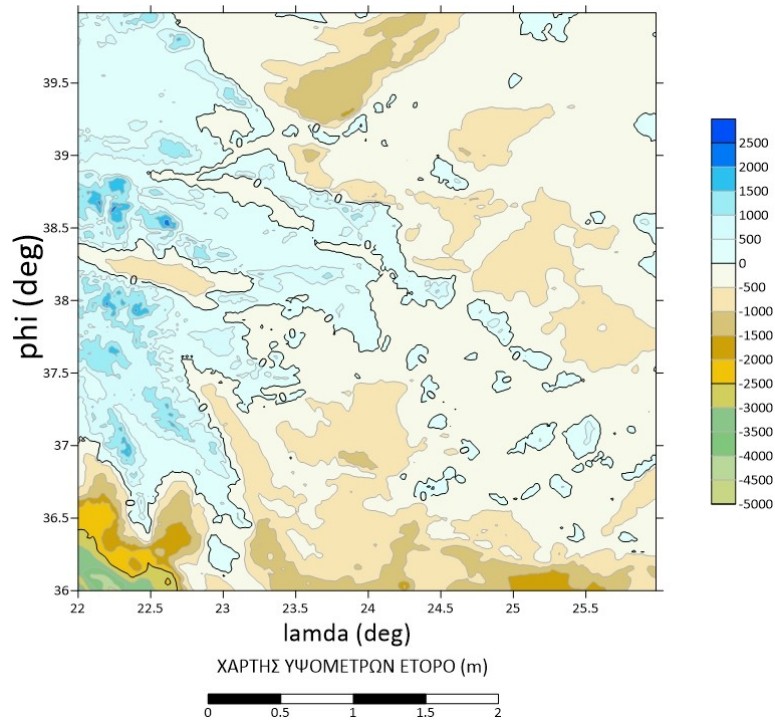
Μετά την επιλογή και τη διόρθωση των αρχείων υψομέτρων σχηματίστηκαν χάρτες των ψηφιακών μοντέλων εδάφους έτσι ώστε να είναι δυνατή η οπτική τους σύγκριση και η μορφολογία της περιοχής μελέτης.



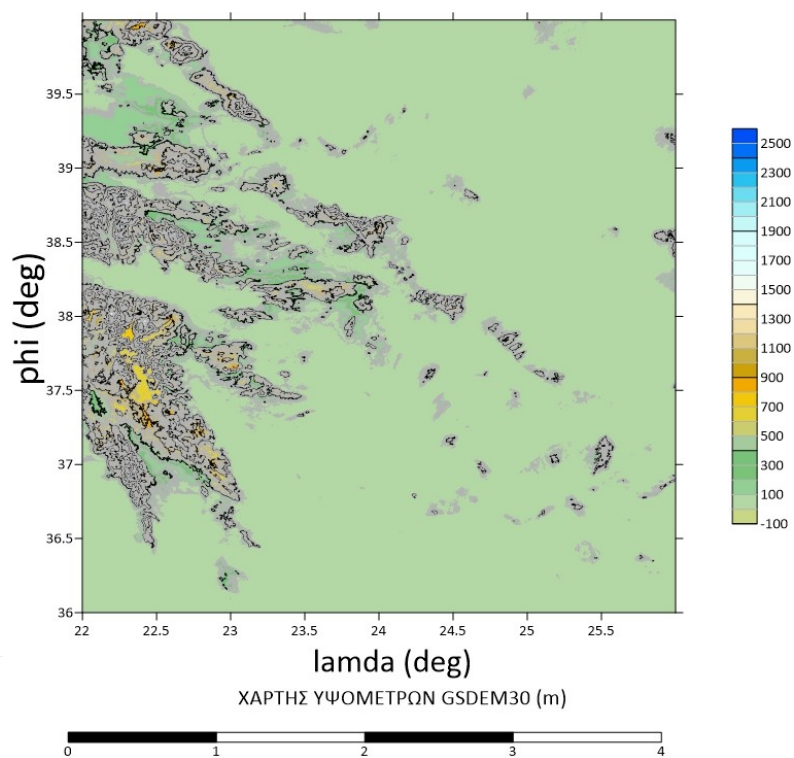
Σχήμα 4.25: ΧΑΡΤΗΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (m)



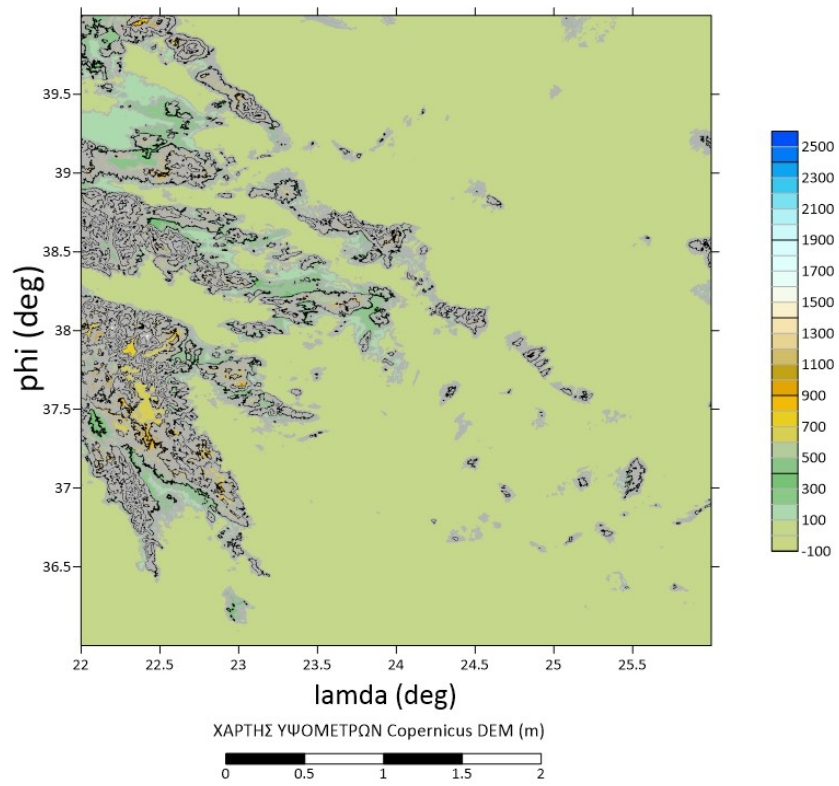
Σχήμα 4.26: ΧΑΡΤΗΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ASTER (m)



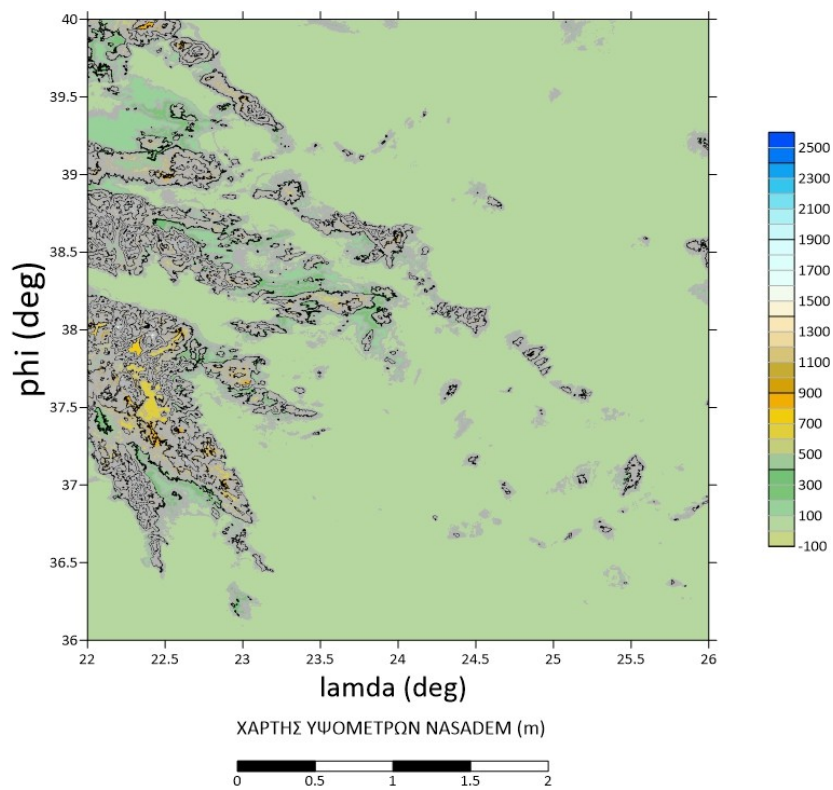
Σχήμα 4.27: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΤΗ ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ ΕΤΟΡΟ1 (m)



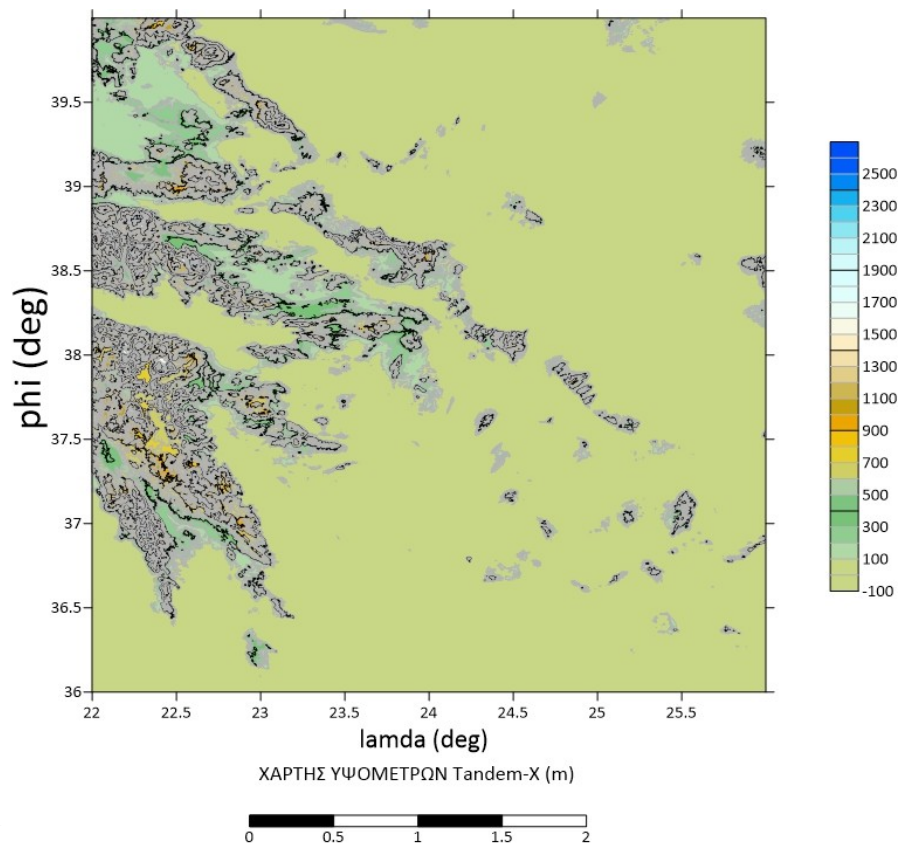
Σχήμα 4.28: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ GSD30 (m)



Σχήμα 4.29: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ Copernicus (m)



Σχήμα 4.30: Ο ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ NASADEM (m)



Σχήμα 4.31: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ Tandem-X (m)

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός των στατιστικών του κάθε DEM ή DTM όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

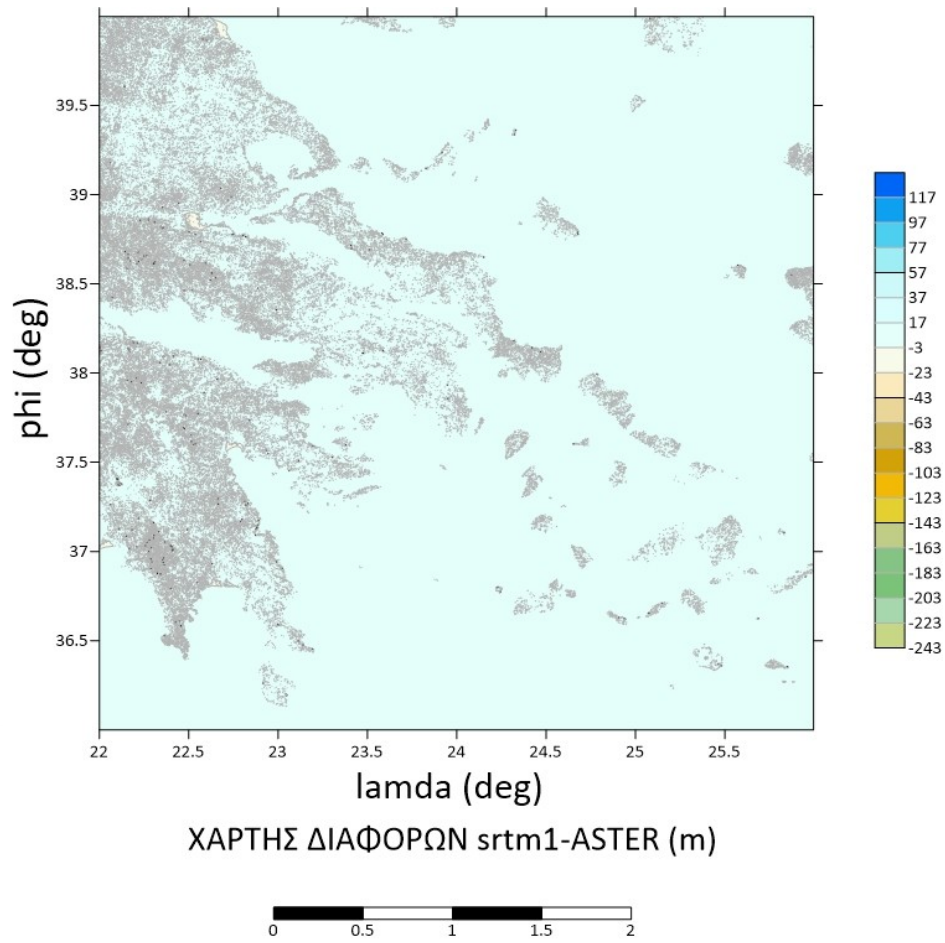
Πίνακας 4.1: Στατιστικά των DTM (m)

DEM/ DTM	Count	Min	Max	Mean	Variance	Standard Deviation	Range
Srtm1_ 1''X1''	207360000	-93	2503	122.698	81674.55 9	285.787	2596
ASTER 1''X1''	207388801	-40	2484	120.399	80356.13 3	283.471	2524
GSDEM30 1''X1''	207388801	-92	2474	122.686	81669.58 9	285.778	2566
NASA DEM 1''X1''	207388801	-77.999	2493	122.921	81882.08 6	286.150	2571
ETOPO 1 1''X1''	57600	-4664	2246	-226.768	393008.7 61	626.904	6910
Copernicu s DEM 3''X3''	23040000	-16.663	2491.41 6	122.660	81734.89 0	285.893	2508.080
Tandem-X 3''X3''	23049601	0	2525.45 7	132.371	87876.08 8	296.439	2525.457

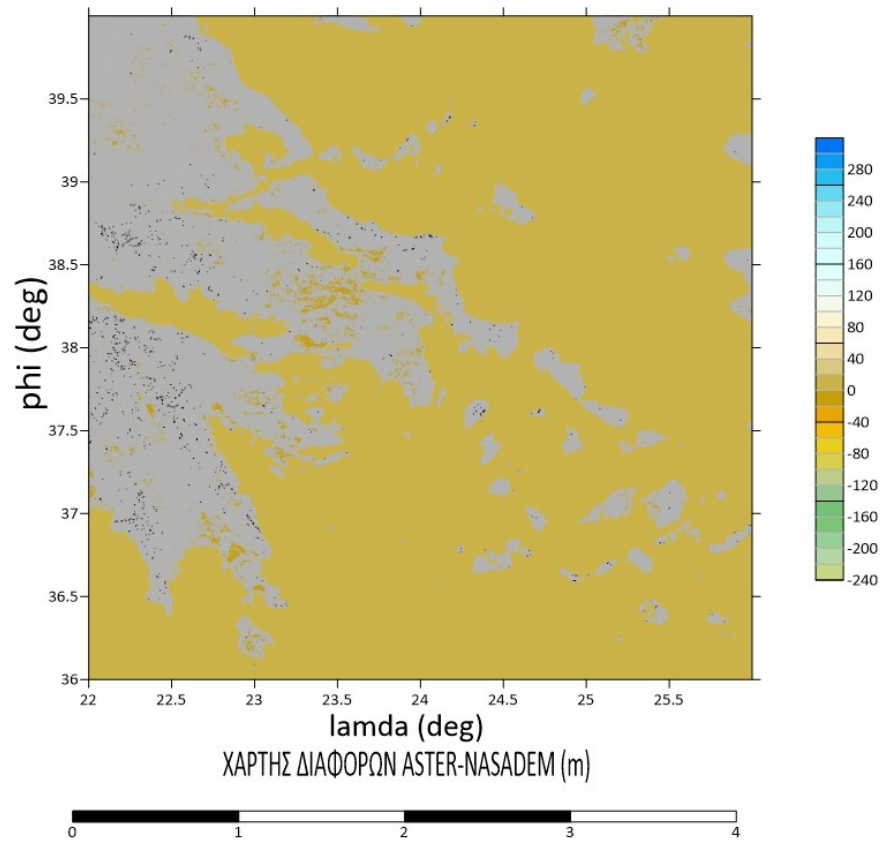
Σύγκριση του μοντέλου ETOPO1 με τα άλλα μοντέλα:

Συγκρίνοντας τις τιμές των υψομέτρων των άλλων ψηφιακών μοντέλων εδάφους σε σχέση με τις τιμές των υψομέτρων του μοντέλου ETOPO1 για τη στεριά με βάση τον πίνακα με τα στατιστικά. Επιπλέον το ETOPO1 παρέχει και βαθυμετρική πληροφορία, κάτι που απουσιάζει από τα νέα δορυφορικά ψηφιακά μοντέλα εδάφους που εξετάζονται.

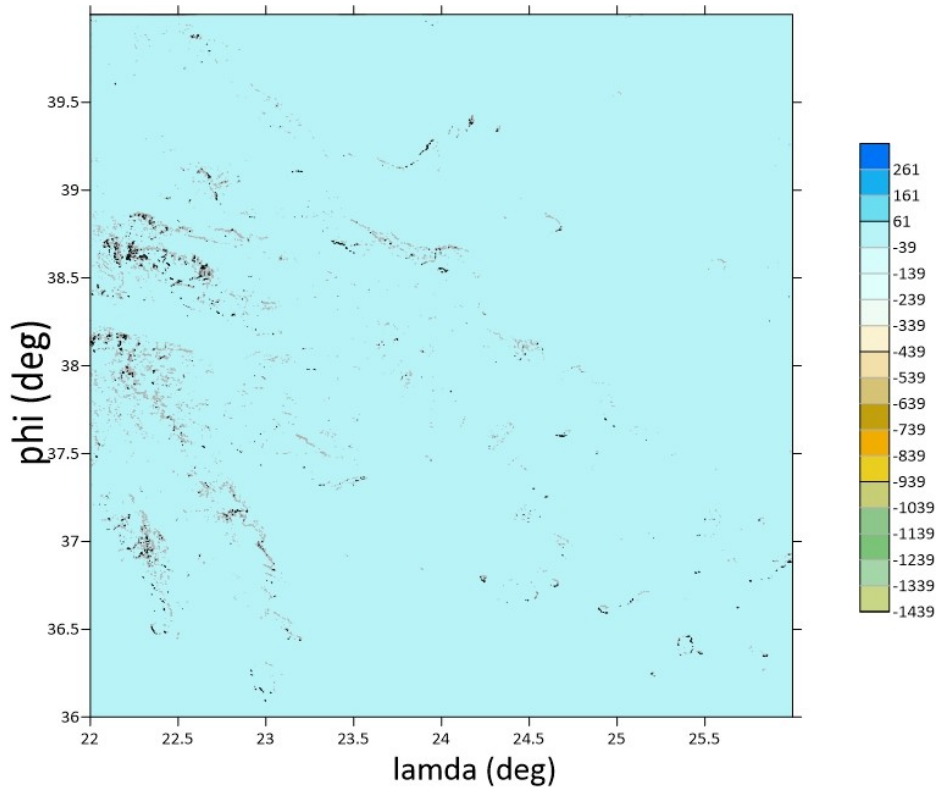
Με σκοπό την κατανόηση των διαφορών μεταξύ των νέων δορυφορικών ψηφιακών μοντέλων εδάφους απεικονίστηκαν σε χάρτες οι διαφορές μεταξύ των υψομέτρων τους. Οι διαφορές αυτές οφείλονται σε διαφορετικές τεχνικές μέτρησης και επεξεργασίας των δεδομένων όπως αυτές παρουσιάστηκαν στην ενότητα ανάλυσης των ψηφιακών μοντέλων. Στην επόμενη ενότητα θα εξεταστεί η επίδραση των διαφορών αυτών στις εκτιμήσεις των τοπογραφικών επιδράσεων κι των έμμεσων επιδράσεων στην αποχή του γεωειδούς και την ανωμαλία ύψους. Τα μοντέλα που προέρχονται από τα βασικά μοντέλα SRTM και ASTER πλησιάζουν όπως είναι προφανές τα πρωτογενή δεδομένα παρόλο που παρουσιάζονται διαφορές σε περιοχές έλλειψης δεδομένων όπως σε περιοχές κακής δορυφορικής κάλυψης.



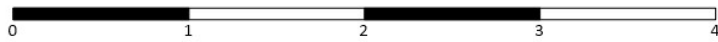
Σχήμα 4.32: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-ASTER (m)



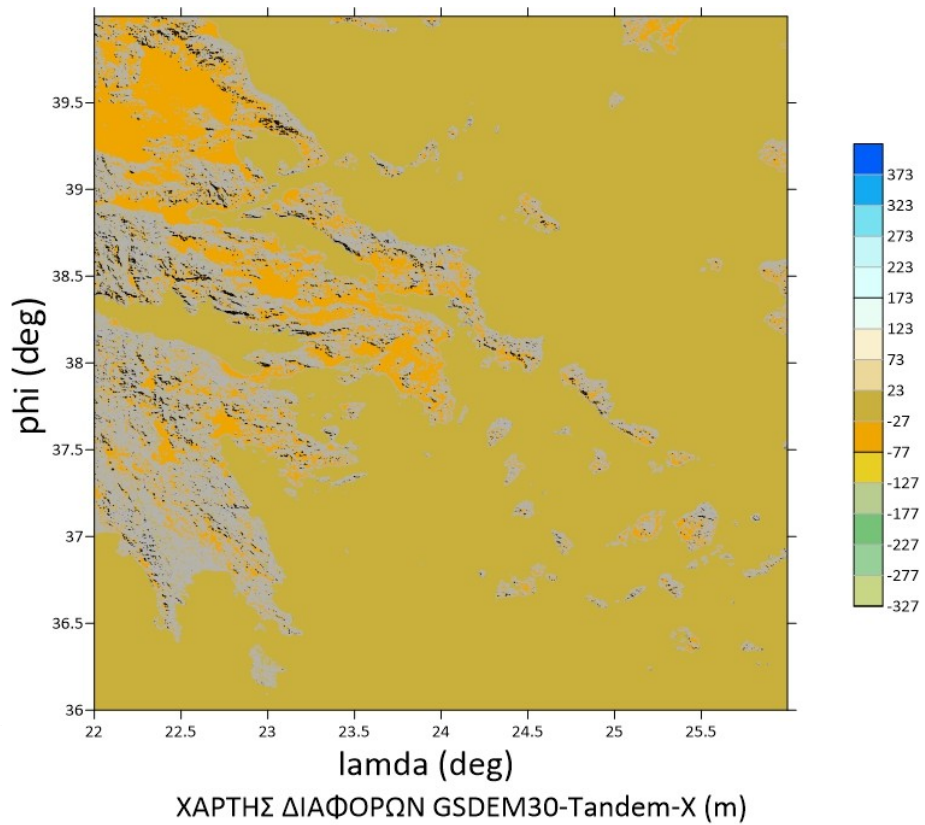
Σχήμα 4.33:ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ ASTER-NASADEM (m)



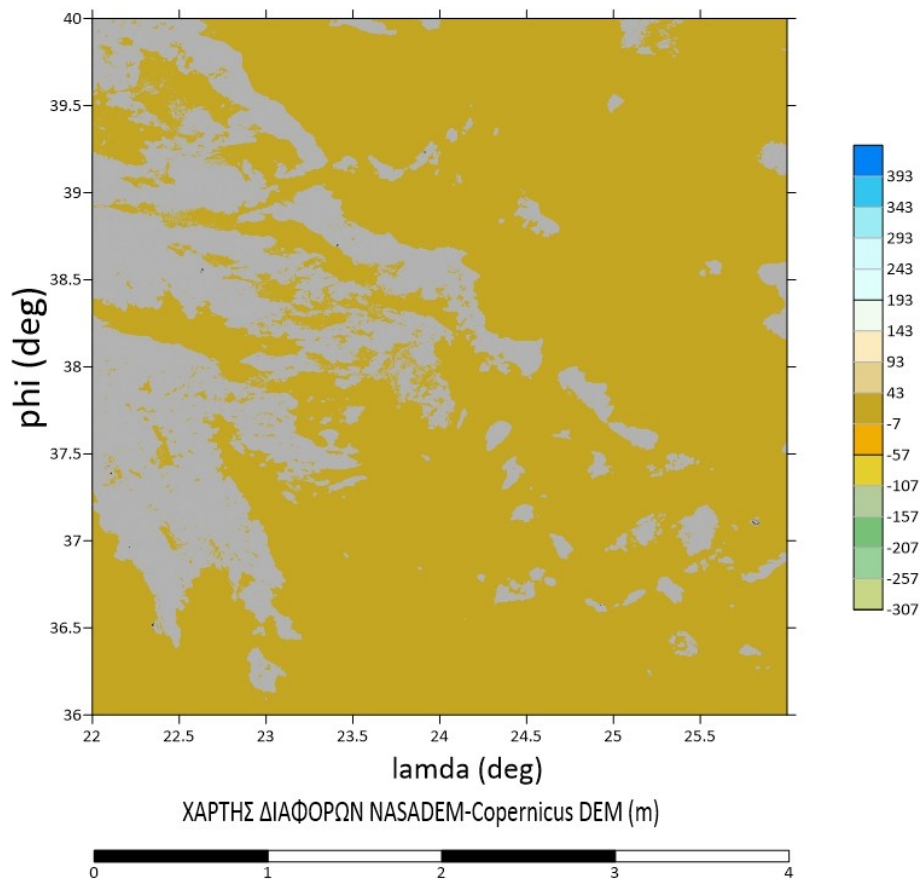
ΧΑΡΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ GSD30-NASADEM (m)



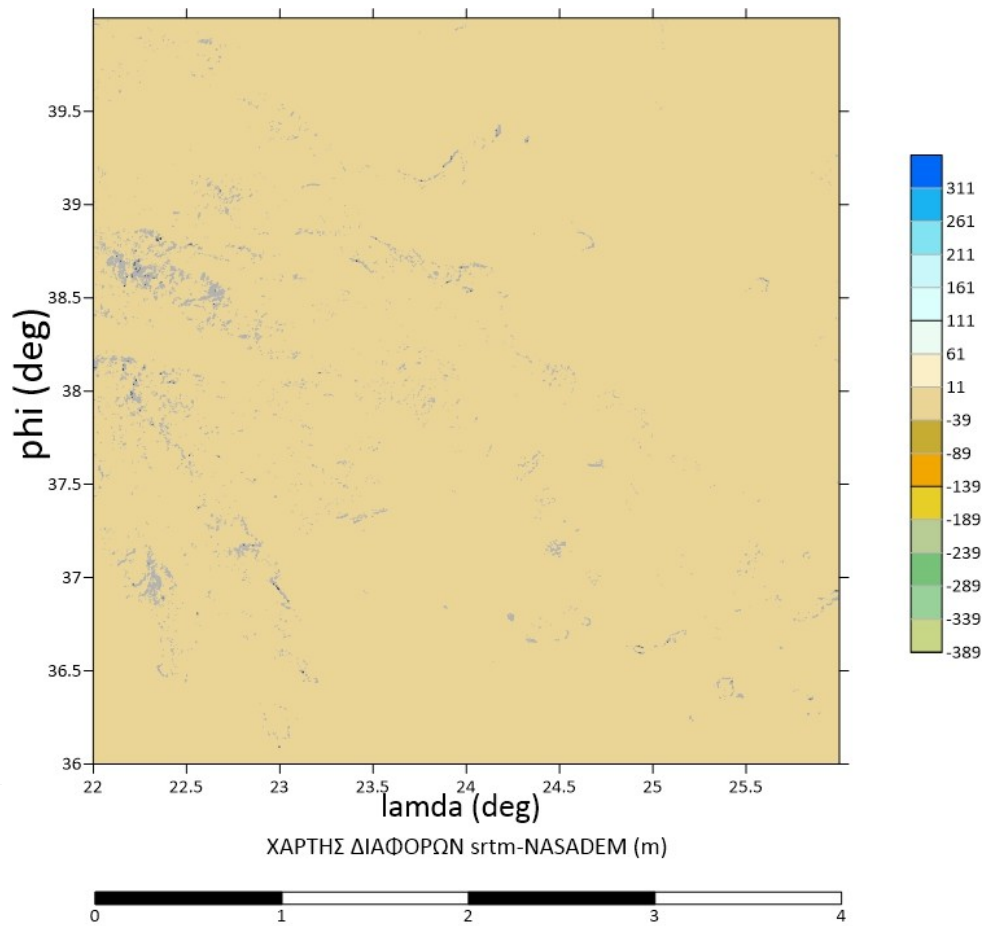
Σχήμα 4.34: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ GSD30-NASADEM (m)



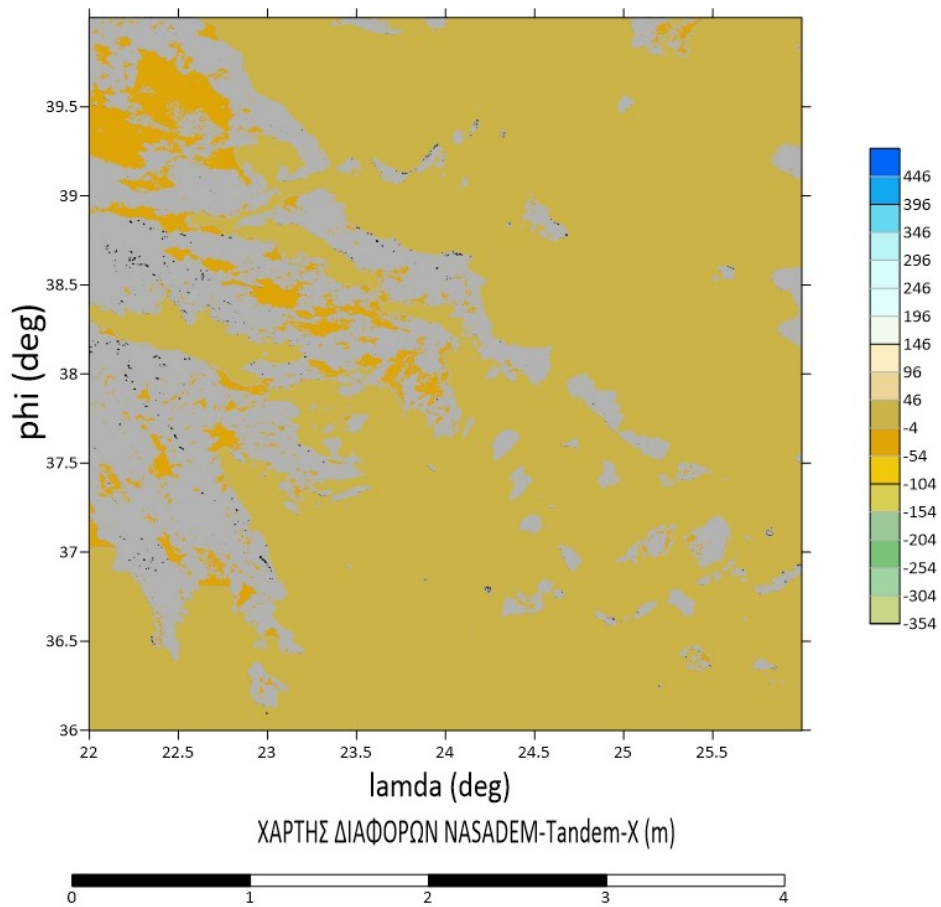
Σχήμα 4.35: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ GSD30-Tandem-X (m)



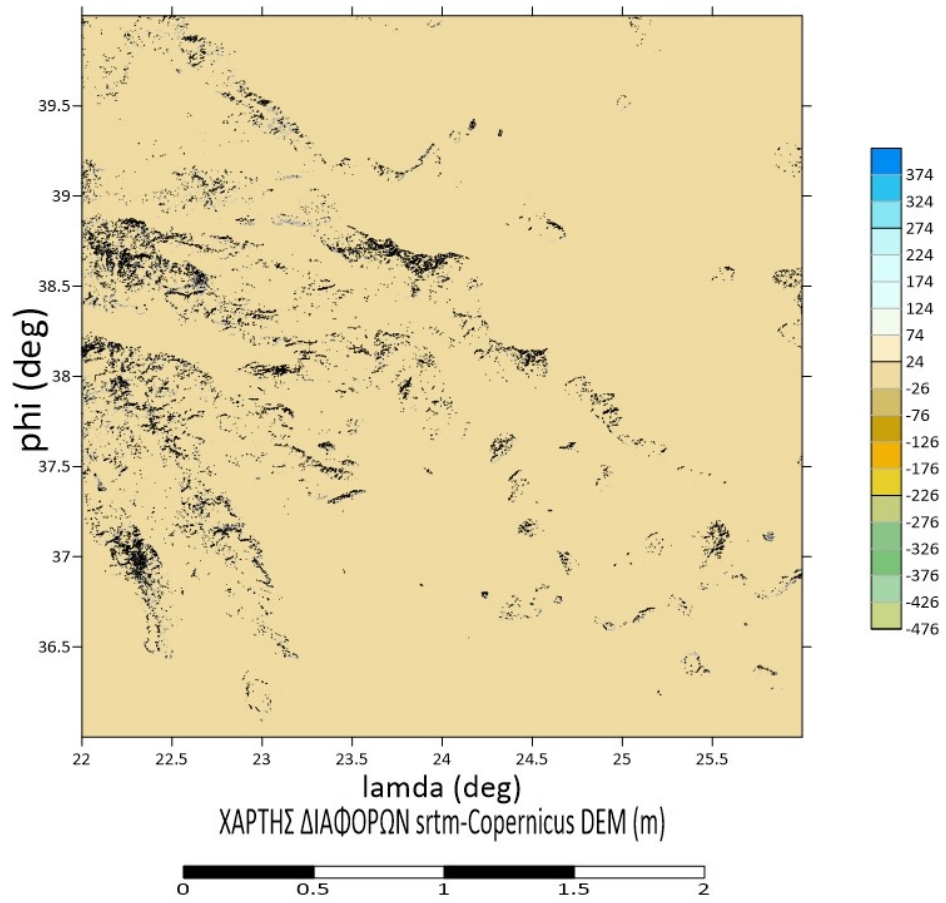
Σχήμα 4.36: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ NASADEM-Copernicus_DEM (m)



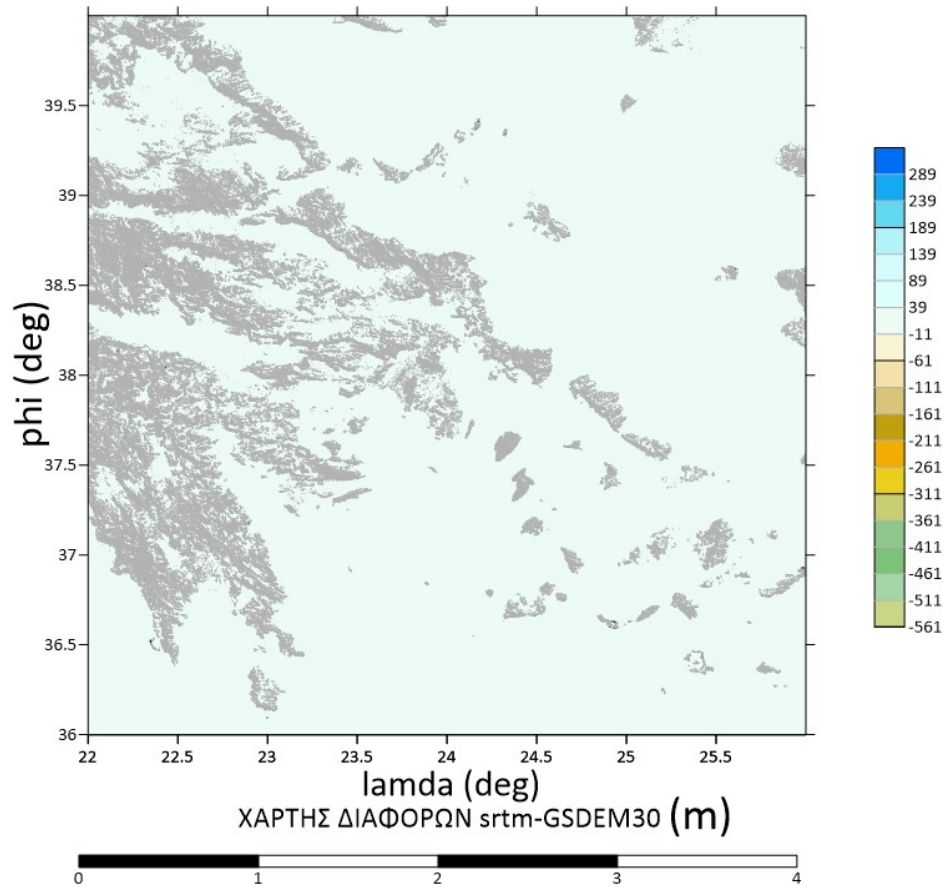
Σχήμα 4.37: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-NASADEM (m)



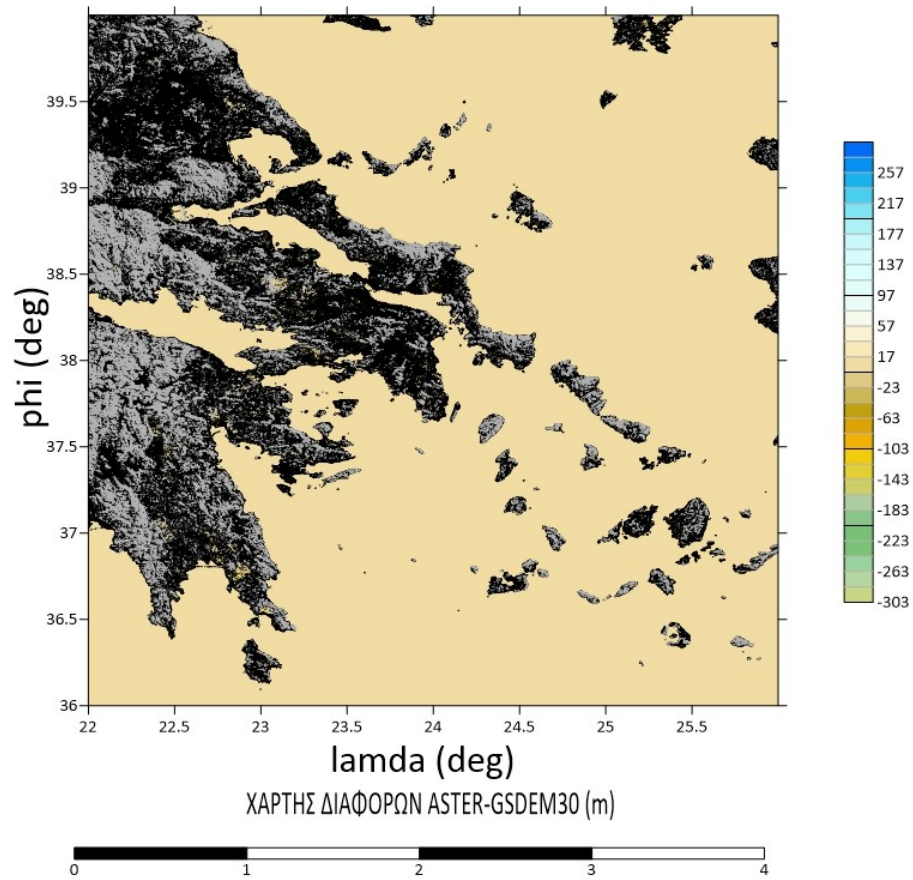
Σχήμα 4.38: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ NASADEM-Tandem-X (m)



Σχήμα 4.39: Ο ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΛΑΦΟΥΣ srtm1-Copernicus (m)



Σχήμα 4.40: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-GSD30 (m)



Σχήμα 4.41: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΛΑΦΟΥΣ ASTER-GSD30 (m)

Πίνακας 4.2: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ DTM (m)

Διαφορές μεταξύ DEM	Count	Min	Max	Mean	Variance	Standard Deviation	Range
srtm-ASTER	207360000	-440	338	2.286	32.346	5.687	778
srtm-GSDEM30	207360000	-561	311	0.015	24.437	4.943	872
srtm-NASADEM	207360000	-389	326	-0.236	1.394	1.181	715
ASTER-GSDEM30	207374400	-303	292	-2.270	52.212	7.225	595
ASTER-NASADEM	207388801	-240	318	-2.522	34.974	5.913	558
GSDEM30-NASADEM	207388800	-1439	316	-0.260	30.889	5.557	1755
GSDEM30-Tandem-X	207360000	-355.423	437.228	-9.735	351.582	18.750	792.652
NASADEM-Copernicus DEM	207331201	-307.659	425	0.307	20.484	4.526	732.659
NASADEM-Tandem-X	207331201	-354.641	461.174	-9.482	427.338	20.672	815.816
srtm-Copernicus DEM	23040000	-476.625	421	0.055	17.046	4.128	897.625

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 4.2 τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους έχουν κάποια αρκετά κοινή στατιστική συμπεριφορά λόγω της βασικής τους προέλευσης από την δορυφορική αποστολή SRTM. Επιπλέον τα δεδομένα του SRTM1 και του NASADEM αποδεικνύονται πολύ κοντά μεταξύ τους, γεγονός που επιβεβαιώνει την κοινή προέλευσή τους. Τα δεδομένα του ASTER έχουν κάποια συστηματική διαφορά των 2 μέτρων, ενώ τα δεδομένα του Tandem-X έχουν κάποια αρκετά διαφορετική στατιστική συμπεριφορά. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιήθηκαν τα πρωτογενή δεδομένα των ψηφιακών μοντέλων εδάφους δίχως περαιτέρω επεξεργασία φιλτραρίσματος και

επιπλέον διορθώσεων πέρα της αποκοπής της ακτογραμμής των διορθώσεων στην περίπτωση του Tandem-X όπως προαναφέρθηκε και στην ενότητα της επεξεργασίας του. Επιπλέον τα πρωτογενή δεδομένα δεν υποβλήθηκαν σε κάποια διαδικασία μετασχηματισμού η οποία πιθανόν να χρειάζονται λεπτομερή πληροφορία για την αποχή του γεωειδούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ:

Αρχικά πήραμε κάποια δεδομένα μετρήσεων για την περιοχή τις Νοτιοανατολικής Αττικής. Τα σημεία αυτά μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια του ερευνητικού προγράμματος ModernGravNet. Σύμφωνα με το πρόγραμμα αυτό σκοπός του προγράμματος αυτού είναι η μέτρηση και ο εκσυγχρονισμός του ελληνικού δικτύου βαρύτητας (modernization of Hellenic Gravity Network).

Σκοπός του προγράμματος αυτού είναι η αξιολόγηση του ελληνικού δικτύου βαρύτητας, η διερεύνηση της ανάγκης εκσυγχρονισμού του ελληνικού δικτύου βαρύτητας και η διερεύνηση της χρήσης του γεωειδούς ως επιφάνειας αναφοράς για το κατακόρυφο δίκτυο της Ελλάδας.

Στόχοι του προγράμματος αυτού είναι η διεξαγωγή μετρήσεων απόλυτων τιμών της βαρύτητας σε σημεία του εθνικού δικτύου. Η διεξαγωγή των μετρήσεων σχετικής τιμής της βαρύτητας για την πύκνωση και τον έλεγχο του δικτύου βαρύτητας σε επιλεγμένες περιοχές, η αξιολόγηση του πεδίου βαρύτητας και του κατακόρυφου δικτύου της Ελλάδας, ο υπολογισμός υψηλής ακρίβειας του γεωειδούς για τον ελληνικό χώρο και η διερεύνηση της χρήσης του μοντέλου γεωειδούς ως επιφάνεια αναφοράς του κατακόρυφου συστήματος της χώρας.

Τα αποτελέσματα αυτού του ερευνητικού προγράμματος είναι το μοντέλο βαρυτημετρικού γεωειδούς για τον ελληνικό χώρο καθώς και η μελέτη για το δίκτυο βαρύτητας και το κατακόρυφο δίκτυο της Ελλάδας. Περισσότερες πληροφορίες για την εξέλιξη του προγράμματος μπορούν να αναζητηθούν στην επίσημη ιστοσελίδα του <https://olimpia.topo.auth.gr/moderngravnet/>

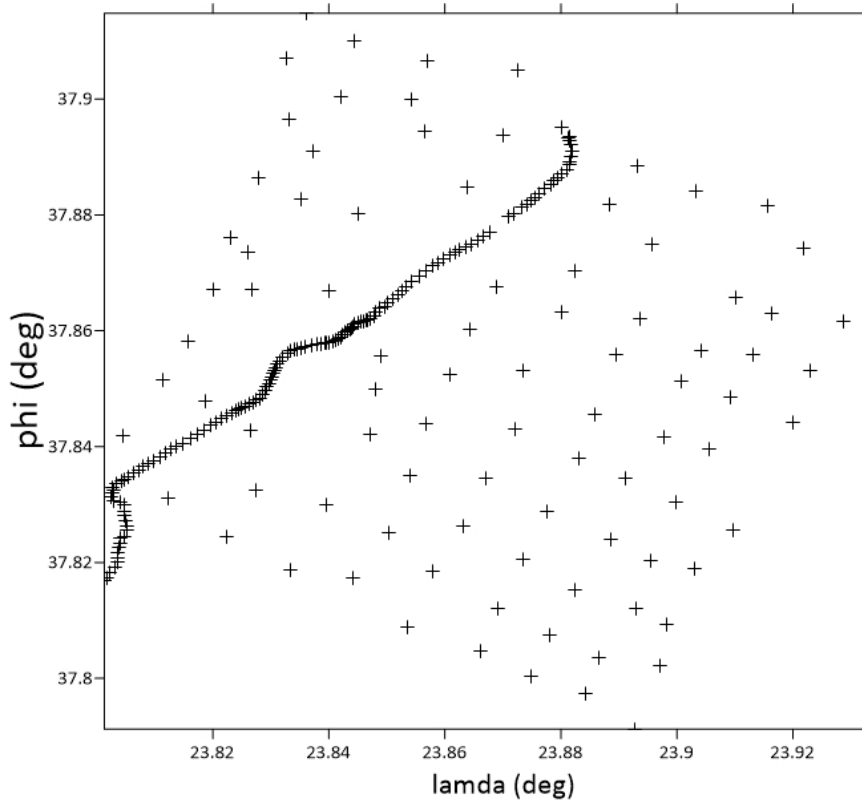
Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν μετρήσεις 232 σημείων για τα οποία μετρήθηκαν οι συντεταγμένες σε φ,λ,h δηλαδή γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος και ελλειψοειδές υψόμετρο (longitude, latitude, ellipsoidal height) για αυτά τα σημεία όπως φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:

Σχήμα 5.1: Τα δεδομένα από τις μετρήσεις του ερευνητικού

ModernGravNet-Βαρύτητα-ΠΕ3 - Microsoft Excel

1	Target Point	Lat	Lon	Ειητ
2	R0002	37.83353571	23.80335543	69.421027
3	R0003	37.83404255	23.80417746	68.912654
4	R0004	37.83433011	23.80477793	69.683186
5	R0005	37.83485272	23.80553018	69.070991
6	R0006	37.8354549	23.80642318	69.418771
7	R0007	37.83594586	23.80720648	69.627878
8	R0008	37.83648502	23.808032	71.504406
9	R0009	37.83698876	23.80890989	73.57014
10	R0010	37.83756994	23.80982351	75.927747
11	R0011	37.8382164	23.81085914	78.886738
12	R0012	37.83887731	23.81192526	81.935171
13	R0013	37.83945764	23.81284931	84.530152
14	R0014	37.83996819	23.81373122	86.908445
15	R0015	37.84058965	23.81479015	89.024841
16	R0016A	37.84140065	23.81614293	89.53359
17	R0017	37.8421004	23.81727741	89.936574
18	R0018	37.84281219	23.81838004	89.835122

Σημεία μετρήσεων Αιτικής



ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Το σύστημα αναφοράς των δεδομένων είναι το παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WGS84.

Στα σημεία αυτό θα μελετηθεί: α) η επίδραση των διαφορετικών μοντέλων εδάφους στη εκτίμηση των τοπογραφικών και των έμμεσων επιδράσεων στην ανωμαλία ύψους β) η επίδραση των διαφορετικών ακτίνων ολοκλήρωσης για τον υπολογισμό των τοπογραφικών επιδράσεων και γ) η ικανότητα αναγωγής των μετρήσεων και εξομάλυνσης των ανωμαλιών που προέρχονται από ένα παγκόσμιο γεωδυναμικό μοντέλο.

Το επόμενο βήμα των επεξεργασιών είναι ο υπολογισμός των ανωμαλιών βαρύτητας με τη χρησιμοποίηση ενός αναπτύγματος σφαιρικών αρμονικών συναρτήσεων και τους συντελεστές ενός παγκόσμιου γεωδυναμικού μοντέλου. Επιλέχθηκε το επίσημο παγκόσμιο γεωδυναμικό μοντέλο EGM2008 καθώς και τα τελευταία γεωδυναμικά μοντέλα υψηλής ανάπτυξης XGM2019, SGG-UGM-2, EIGEN-6C4 και GECO και χρησιμοποιήθηκε η υπηρεσία του Διεθνούς Κέντρου για τα γεωδυναμικά μοντέλα (International Center of Global Earth Models- ICGEM (<https://icgem.gfz-potsdam.de/home>)) Για το σύνολο των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε ο μέγιστος βαθμός ανάπτυξης $n=2160$ το απαλλαγμένο από την επίδραση της παλίρροιας σύστημα (tide-free system) και ενσωματώθηκε ο όρος μηδενικής τάξης του γεωειδούς στους υπολογισμούς (zero-degree term). Επιπλέον επιλέχθηκαν οι σημειακές τιμές των μετρήσεων του ερευνητικού MODERNGRAVNET ως τοποθεσίες για τον υπολογισμό των ανωμαλιών βαρύτητας από τα γεωδυναμικά μοντέλα. Στα σχήματα 5.2 και 5.3 διακρίνονται οι αρχικές τιμές των ανωμαλιών που προκύπτουν από τα σημεία των μετρήσεων από τα γεωδυναμικά μοντέλα XGM2019 και SGG-UGM-2.

Σχήμα 5.2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ XGM2019 (8.5 mGal)

XGM2019 Gravity anomaly - Σημειωματάριο

Αρχείο Επεξεργασία Μορφή Προβολή Βοήθεια

R0002	23.80335543	37.83353571	6.942103E+01	8.229811509430E+01
R0003	23.80417746	37.83404255	6.891265E+01	8.248852779662E+01
R0004	23.80477793	37.83433011	6.968319E+01	8.260391732442E+01
R0005	23.80553018	37.83485272	6.907099E+01	8.279220478542E+01
R0006	23.80642318	37.83545490	6.941877E+01	8.300835781192E+01
R0007	23.80720648	37.83594586	6.962788E+01	8.318734041914E+01
R0008	23.80803200	37.83648502	7.150441E+01	8.337791535489E+01
R0009	23.80890989	37.83698876	7.357014E+01	8.356076319824E+01
R0010	23.80982351	37.83756994	7.592775E+01	8.376394868499E+01
R0011	23.81085914	37.83821640	7.888674E+01	8.398834292933E+01
R0012	23.81192526	37.83887731	8.193517E+01	8.421550493143E+01
R0013	23.81284931	37.83945764	8.453015E+01	8.441215873951E+01
R0014	23.81373122	37.83996819	8.690845E+01	8.458662997270E+01
R0015	23.81479015	37.84058965	8.902484E+01	8.479686463687E+01
R0017	23.81727741	37.84210040	8.993657E+01	8.529872314842E+01
R0018	23.81838004	37.84281219	8.983512E+01	8.552706624005E+01
R0019	23.81963587	37.84362922	8.799471E+01	8.578712401466E+01
R0020	23.82062393	37.84424794	8.740587E+01	8.598032264171E+01
R0021	23.82146333	37.84484210	8.678776E+01	8.615929483451E+01
R0022	23.82231490	37.84533647	8.777341E+01	8.630790230022E+01
R0023	23.82321719	37.84580454	9.014124E+01	8.644619913110E+01
R0024	23.82388490	37.84611777	9.237702E+01	8.653767636364E+01
R0025	23.82447223	37.84643600	9.442285E+01	8.662727915443E+01
R0026	23.82501856	37.84671089	9.615732E+01	8.670468828615E+01
R0027	23.82564691	37.84702516	9.769122E+01	8.679288667874E+01
R0028	23.82619961	37.84730506	9.912867E+01	8.687001215151E+01
R0029	23.82690110	37.84765645	1.009367E+02	8.696547123552E+01
R0030	23.82752037	37.84795484	1.027058E+02	8.704518039497E+01
R0031	23.82809892	37.84837567	1.043609E+02	8.715182209897E+01
R0032	23.82867983	37.84895194	1.060462E+02	8.729298380032E+01
R0033	23.82910891	37.84960393	1.070748E+02	8.744857784215E+01
R0034	23.82937021	37.85023860	1.075795E+02	8.759734988288E+01
R0035	23.82967682	37.85089501	1.090968E+02	8.774819550368E+01
R0036	23.82994808	37.85145951	1.118133E+02	8.787376750963E+01
R0037	23.83022620	37.85206502	1.152428E+02	8.800585528430E+01

Ln 1, Col 1 100% Windows (CRLF) UTF-8

20°C Έντονος νεφώς. 2:47 PM 10/20/2021

Σχήμα 5.3: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝΑΝΩΜΑΛΙΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ SGG-UGM-2 (9 mGal)

Station ID	Value 1	Value 2	Value 3	Value 4
R0002	23.80335543	37.83353571	6.942103E+01	8.966487136721E+01
R0003	23.80417746	37.83404255	6.891265E+01	8.991967111029E+01
R0004	23.80477793	37.83433011	6.968319E+01	9.008229398937E+01
R0005	23.80553018	37.83485272	6.907099E+01	9.032284615831E+01
R0006	23.80642318	37.83545490	6.941877E+01	9.059695279046E+01
R0007	23.80720648	37.83594586	6.962788E+01	9.082607700375E+01
R0008	23.80803200	37.83648502	7.150441E+01	9.106266491585E+01
R0009	23.80890989	37.83698876	7.357014E+01	9.129476468992E+01
R0010	23.80982351	37.83756994	7.592775E+01	9.154254958688E+01
R0011	23.81085914	37.83821640	7.888674E+01	9.181342747890E+01
R0012	23.81192526	37.83887731	8.193517E+01	9.208405707337E+01
R0013	23.81284931	37.83945764	8.453015E+01	9.231429192393E+01
R0014	23.81373122	37.83996819	8.690845E+01	9.252008638843E+01
R0015	23.81479015	37.84058965	8.902484E+01	9.276473329827E+01
R0017	23.81727741	37.84210040	8.993657E+01	9.333471574244E+01
R0018	23.81838004	37.84281219	8.983512E+01	9.358399163979E+01
R0019	23.81963587	37.84362922	8.799471E+01	9.386501427446E+01
R0020	23.82062393	37.84424794	8.740587E+01	9.407004378783E+01
R0021	23.82146333	37.84484210	8.678776E+01	9.425239672076E+01
R0022	23.82231490	37.84533647	8.777341E+01	9.440467065112E+01
R0023	23.82321719	37.84580454	9.014124E+01	9.454440448593E+01
R0024	23.82388490	37.84611777	9.237702E+01	9.463588602099E+01
R0025	23.82447223	37.84643600	9.442285E+01	9.472149878906E+01
R0026	23.82501856	37.84671089	9.615732E+01	9.479555849214E+01
R0027	23.82564691	37.84702516	9.769122E+01	9.487952332314E+01
R0028	23.82619961	37.84730506	9.912867E+01	9.495133086883E+01
R0029	23.82690110	37.84765645	1.009367E+02	9.503865030229E+01
R0030	23.82752037	37.84795484	1.027058E+02	9.510998655919E+01
R0031	23.82809892	37.84837567	1.043609E+02	9.519951701726E+01
R0032	23.82867983	37.84895194	1.060462E+02	9.531360453696E+01
R0033	23.82910891	37.84960393	1.070748E+02	9.543613993728E+01
R0034	23.82937021	37.85023860	1.075795E+02	9.555132438486E+01
R0035	23.82967682	37.85089501	1.090968E+02	9.566567052026E+01
R0036	23.82994808	37.85145951	1.118133E+02	9.575700794446E+01
R0037	23.83022620	37.85206502	1.152428E+02	9.585106319481E+01

Τα παραπάνω δεδομένα από τις μετρήσεις του ερευνητικού MODERNGRAVNET θα αποτελούν τα δεδομένα εισαγωγής στους αλγορίθμους επίλυσης των τοπογραφικών επιδράσεων. Για τον υπολογισμό των επιδράσεων χρησιμοποιήθηκε η υπορουτίνα tc του λογισμικού επεξεργασίας και μοντελοποίησης του πεδίου βαρύτητας GRAVSOF. Το GRAVSOF είναι μια συλλογή κωδικών σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN η οποία χρησιμοποιείται από το 1980 μέχρι και σήμερα για την μοντελοποίηση του πεδίου βαρύτητας και τον προσδιορισμό του γεωειδούς. Ειδικά, η υπορουτίνα tc η οποία υπολογίζει διάφορα είδη τοπογραφικών διορθώσεων, όπως είναι τοπογραφικές διορθώσεις, τοπογραφικές-ισοστατικές διορθώσεις, RTM και κλασικές τοπογραφικές διορθώσεις.

Το αρχικό βήμα είναι η προετοιμασία των Ψηφιακών Μοντέλων Τοπογραφίας DEM για την εισαγωγή τους στην ρουτίνα Select του Gravsoft. Η υπορουτίνα Select δημιουργεί κάποιο μέσο grid με συγκεκριμένη ισοδιάσταση (coarse grid) και το οποίο θα χρειαστεί για να εισαχθεί στην υπορουτίνα tcgrid.

Πριν εισάγουμε τα DEM για επεξεργασία στο Select του Gravsoft πρέπει να αναφερθούν κάποια θεωρητικά ζητήματα αντιστοίχισης των συχνотήτων του φάσματος που περιέχουν τα σήματα από τα Γεωδυναμικά Μοντέλα όταν αυτά συνδυάζονται με δεδομένα από Ψηφιακά Μοντέλα τοπογραφίας, να

μην γίνεται παραποίηση συχνοτήτων (aliasing frequency) και καταστροφή του συνολικού φάσματος των συναρτησιακών του πεδίου βαρύτητας.

Για την προσπέλαση των ψηφιακών μοντέλων εδάφους, λόγω της μεγάλης έκτασης της περιοχής μελέτης και της μεγάλης διακριτικής ικανότητας των μοντέλων απαιτείται η μεταβολή των διαστάσεων στις υπορουτίνες του Gravsoft select και tc. Το πρόγραμμα tc έχει το parameter για το οποίο η πρώτη τιμή αντιστοιχεί στις διαστάσεις του λεπτομερούς πλέγματος (detailed grid), η δεύτερη τιμή αντιστοιχεί στο γενικευμένο πλέγμα (coarse grid) κι η τρίτη τιμή αντιστοιχεί στο πλέγμα αναφοράς (reference grid), το οποίο χρησιμοποιείται αποκλειστικά για τον υπολογισμό του υπολειπόμενου μοντέλου τοπογραφίας RTM.

και η τρίτη τιμή αντιστοιχεί στο reference grid. Απαιτείται λοιπόν η μεταβολή των διαστάσεων των υπορουτίνων σε 207360000 τιμή η οποία δείχνει το σύνολο των τιμών από τις οποίες αποτελείται το κάθε grid.

Αυτή η τιμή προκύπτει ως εξής:

Υπάρχουν κάποιες σχέσεις οι οποίες δίνουν το σύνολο των γραμμών και των στηλών από τις οποίες αποτελείται το κάθε grid:

$$np=(\varphi_{\max}-\varphi_{\min})/\text{grid spacing}+1$$

$$ne=(\lambda_{\max}-\lambda_{\min})/\text{grid spacing}+1,$$

όπου φ_{\max} και φ_{\min} είναι οι συντεταγμένες γεωδαιτικού πλάτους (latitude) του τέλους και της αρχής του αντίστοιχου DEM και λ_{\max} και λ_{\min} είναι οι γεωδαιτικές συντεταγμένες (longitude) του τέλους και της αρχής του αντίστοιχου DEM.

Από το αρχείο Surfer του κάθε DEM από το grid info είναι δυνατή η εξαγωγή πληροφοριών για τις συντεταγμένες των ορίων του καθώς και το πλήθος των γραμμών και των στηλών από τις οποίες αποτελείται. Επίσης δίνεται η πληροφορία για το πλήθος των τιμών από τις οποίες αποτελείται. Στην περίπτωση του srtm1, ισχύει ότι αποτελείται από 14400 γραμμές και 14400 στήλες και το πλήθος των στοιχείων του αρχείου δίνεται από το γινόμενο των γραμμών επί των στηλών το οποίο είναι το 207360000, ενώ για την περίπτωση των ASTER, GSDEM30, NASADEM, Tandem-X αποτελούνται από 14401 γραμμές και 14401 στήλες και το πλήθος των στοιχείων των αρχείων αυτών δίνεται από το γινόμενο των γραμμών επί των στηλών το οποίο στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι το 207388801.

Από την άλλη η επιλογή παραμέτρων γενίκευσης και φιλτραρίσματος στην υπορουτίνα select για την κατασκευή του γενικευμένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους καθώς και του μοντέλου αναφοράς από το λεπτομερές αρχείο εξαρτάται από το βαθμό ανάπτυξης του γεωδυναμικού μοντέλου αναφοράς που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς. Η απομάκρυνση συγκεκριμένων συχνοτήτων συνδέεται με το βαθμό ανάπτυξης του γεωδυναμικού μοντέλου.

Τα Γεωδυναμικά Μοντέλα που χρησιμοποιούμε σε αυτή την εργασία είναι

EGM2008, XGM2019, SGG-UGM-2, EIGEN 6C4, GECO, τα οποία υπολογίζονται μέχρι το βαθμό ανάπτυξης των σφαιρικών αρμονικών 2160. Αυτό χρησιμεύει για να υπολογίσουμε την διακριτική ικανότητα αυτών των Γεωδυναμικών Μοντέλων, έτσι όπως φαίνεται παρακάτω:

Όπως είναι γνωστό, (Αραμπέλος και Τζιαβός, 2007) η σχέση η οποία δίνει την διακριτική ικανότητα κάποιου Γεωδυναμικού Μοντέλου είναι

$\Theta=180^\circ/n$, (5.1) όπου n είναι ο βαθμός ανάπτυξης των σφαιρικών αρμονικών του αντίστοιχου Γεωδυναμικού Μοντέλου. Στην περίπτωσή μας που έχουμε τα παραπάνω Γεωδυναμικά μοντέλα ο βαθμός ανάπτυξης των σφαιρικών αρμονικών είναι 2160 και για τα 3 Γεωδυναμικά Μοντέλα.

Έχουμε λοιπόν:

$180/2160=0.08333333333$ μοίρες, δηλαδή 5 arcmin. Η ποσότητα 0.08333333333 αντιστοιχεί στο μισό μήκος σήματος του γεωειδούς (half wavelength) από το μοντέλο. Το πλήρες μήκος σήματος (full wavelength) δίνεται από το $2*0.08333333333=0.0016666666666666$ μοίρες.

Είναι επίσης γνωστή από τη Γεωμετρική Γεωδαισία η εξίσωση που μετατρέπει το τόξο παραλλήλου σε μήκος πάνω στη σφαίρα (Φωτίου, 2007)

$$dS\lambda=R*d\phi, (5.2)$$

η εξίσωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προσεγγιστική για την αντιστοίχιση της ισοδιάστασης του κανάβου πάνω στο ΕΕΠ.

Για την περίπτωση του Ψηφιακού Μοντέλου τοπογραφίας SRTM1 1''X1'' με ισοδιάσταση $0.000277777777777781 \times 0.000277777777777781$ η οποία αντιστοιχεί σε 30m περίπου.

Ισχύει:

$$30/6371000*180/\pi=0.0002697965 \text{ μοίρες ή } 0.00027 \text{ μοίρες.}$$

Αρχικά λοιπόν είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός coarse grid με 10 φορές μικρότερη ανάλυση, δηλαδή $0.00027/10=0.0027$. Οπότε στο Select θα βάλουμε ισοδιάσταση 0.0027 0.0027.

Η δημιουργία του γενικευμένου πλέγματος επιταχύνει τις επεξεργασίες και τους υπολογισμούς μέσω της υπορουτίνας tc αφού η αριθμητική ολοκλήρωση ξεκινά από το λεπτομερές πλέγμα και αφού οριστεί κάποια ακτίνα εξωτερικής ολοκλήρωσης συνεχίζει χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τα δεδομένα του γενικευμένου πλέγματος. Λόγω της εξασθένισης του βαρυτημετρικού σήματος με το τετράγωνο του αντιστρόφου της απόστασης η επίδραση της κοντινής τοπογραφίας έχει σημαντική συνεισφορά στους υπολογισμούς ενώ για την επίδραση των απομακρυσμένων μαζών χρησιμοποιείται το γενικευμένο μοντέλο εδάφους

Στη συνέχεια στη ρουτίνα tcgrid του Gravsoft η οποία χρησιμοποιείται για την κατασκευή γενικευμένων μοντέλων εδάφους και μοντέλων αναφοράς θα πρέπει να ρυθμιστούν οι κατάλληλοι μέσοι συντελεστές (mean factors) και οι κατάλληλοι συντελεστές φίλτρου (filter factors) έτσι ώστε να προκύψει το πλήρες μήκος σήματος του ψηφιακού μοντέλου εδάφους αναφοράς (reference grid). Η ισοδιάσταση και το περιεχόμενο των συχνοτήτων του μοντέλου αναφοράς θα πρέπει να συμπίπτει με την ισοδιάσταση και το περιεχόμενο του φάσματος του γεωδυναμικού μοντέλου που χρησιμοποιείται. δηλαδή $0.0027 \times 6 \times 10=0.001666666$. Επομένως έχουμε mean factors 6 6 και filter factors 10 10.

Στην περίπτωση του SRTM1 του ASTER και του GSDEM30 τα οποία έχουν ίδια ισοδιάσταση θα έχουμε τις παραπάνω παραμέτρους ως inputs για τις ρουτίνες Select και tcgrid του Gravsoft.

Στην περίπτωση του Copernicus DEM το οποίο έχει ισοδιάσταση $0.000833333333333333 \times 0.000833333333333333$ arcsec αυτή η ισοδιάσταση αντιστοιχεί σε 90 m περίπου.

Ακολουθούν οι υπολογισμοί των Terrain Corrections δηλαδή των τοπογραφικών διορθώσεων ή διορθώσεων λόγω αναγλύφου όπως αλλιώς λέγονται.

5.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ DTMs ΣΤΙΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

5.1.1. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ:

Για τον υπολογισμό των Terrain Corrections επιλέγονται οι παρακάτω κωδικοί για την ρουτίνα tc του Gravsoft:

1) Gravity anomaly effect (itype 5),
δηλαδή τα δεδομένα μας τα οποία είναι οι ανωμαλίες βαρύτητας οι οποίες περιέχονται στο stationfile

2) Terrain Corrections (ikind 3),

οι τοπογραφικές διορθώσεις τις οποίες θέλουμε να υπολογίσουμε

3) station free (izcode 3), ο κωδικός αυτός αντιστοιχεί στη χρήση ή όχι του υψομέτρου από το αρχείο ή του υψομέτρου του DTM

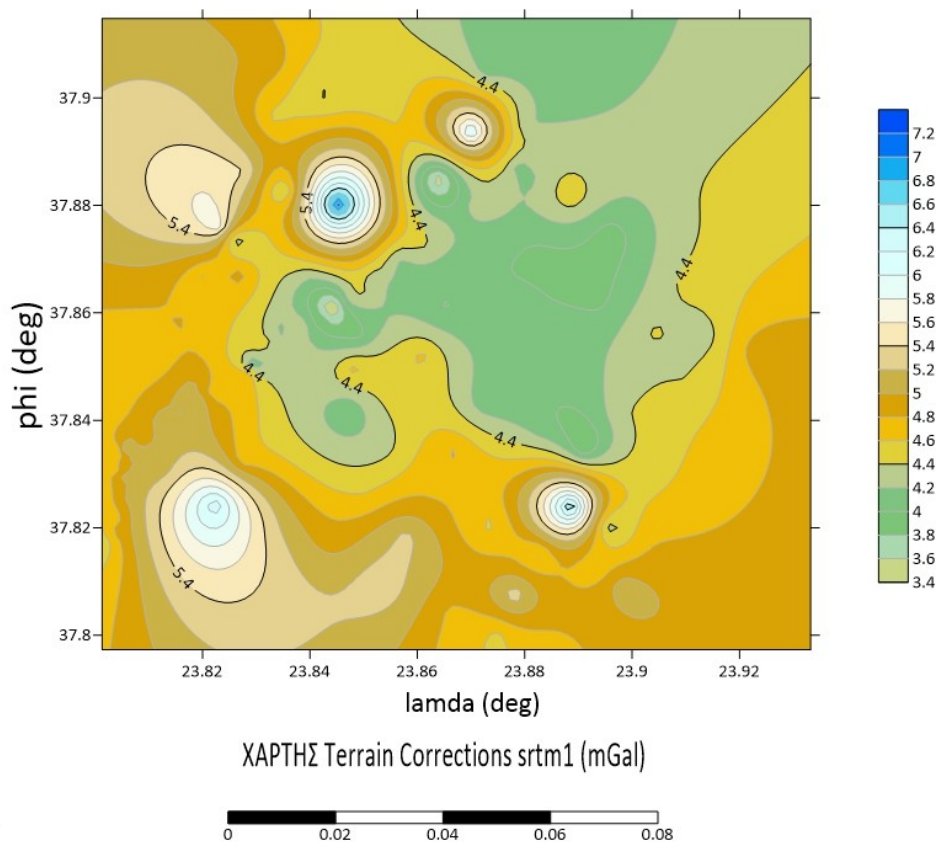
4) istype1 (compute effects in statfile), για τον υπολογισμό των ίδιων των τοπογραφικών επιδράσεων στα σημεία

δηλαδή μετά τον υπολογισμό των Terrain Corrections να μην γίνεται αφαίρεσή τους από τις ανωμαλίες βαρύτητας του stationfile.

2.67g/cm³ μέση πυκνότητα της ανώτερης λιθόσφαιρας η οποία μέση τιμή δίνεται από τη Γεωλογία

5) r1=50, r2=999, οι ακτίνες ολοκλήρωσης που χρησιμοποιήθηκαν σε km. R1 είναι η ακτίνα ολοκλήρωσης του λεπτομερούς ψηφιακού μοντέλου εδάφους και R2 είναι η ακτίνα ολοκλήρωσης του γενικευμένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους.

Στη συνέχεια μετά τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων έγιναν χάρτες με το πρόγραμμα Surfer:



Σχήμα 5.4: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=999

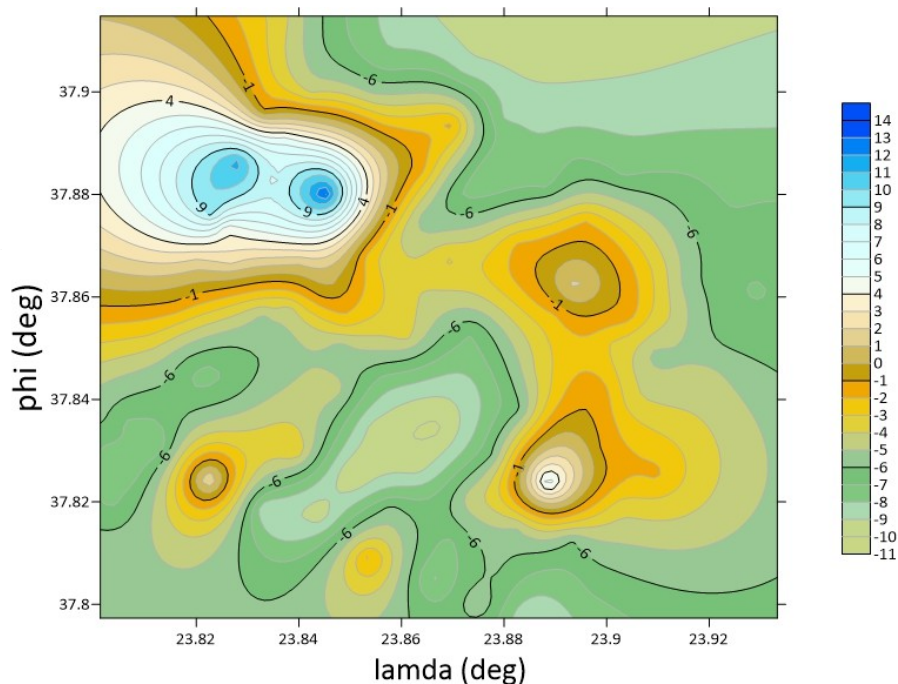
Από τη μελέτη του σχήματος 5.4 παρατηρούνται κάποιες ακραίες τιμές για τον υπολογισμό των διορθώσεων λόγω αναγλύφου για το ψηφιακό μοντέλο εδάφους SRTM1 οι οποίες πιθανόν να οφείλονται σε προβληματικές τιμές του ψηφιακού μοντέλου εδάφους ή σε προβληματικά υψόμετρα στα σημεία υπολογισμού. Τονίζεται εδώ ότι στο πλαίσιο αυτής της εργασίας δεν πραγματοποιείται καμία διαδικασία αξιολόγησης των μετρήσεων ή απομάκρυνσης κάποιων σφαλμάτων. Η διαδικασία αξιολόγησης πραγματοποιείται συνήθως κατά τη διαδικασία υπολογισμού των ανηγμένων τιμών του πεδίου βαρύτητας στο εξομαλυσμένο πεδίο όπου μπορούν να διακριθούν και να απομακρυνθούν ασφαλέστερα πιθανές ακραίες τιμές. Διακρίνεται επίσης η απουσία αρνητικών τιμών, χαρακτηριστικό των διορθώσεων λόγω αναγλύφου καθώς και η χαμηλή τιμή των διορθώσεων σε mGal.

5.1.2. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

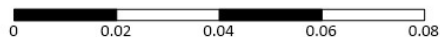
5.1.2. ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ:

Με το πρόγραμμα tc του Gravsoft υπολογίστηκαν οι επιδράσεις της υπολλειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες βαρύτητας. Επιλέχθηκαν οι παρακάτω κωδικοί:

- 1) Gravity Anomaly effect: (itype:5)
- 2) Residual Terrain Model: RTM (ikind:4)
- 3) station free: (izcode:3)
- 4) istype:1 (compute effects in stationfile)
- 5) r1=50, r2=999



ΧΑΡΤΗΣ Residual Terrain Model srtm1 (mGal)



Σχήμα 5.5: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=999

Από τη μελέτη του σχήματος 5.5 παρατηρείται η κλίμακα των τιμών των επιδράσεων στη βαρύτητα με τη χρήση ενός μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας χρησιμοποιώντας ως μοντέλο λεπτομερούς τοπογραφίας το SRTM1. Οι τιμές αυτές είναι μεγαλύτερες από τις τιμές διορθώσεων λόγω αναγλύφου, αλλά έχουν και θετικές και αρνητικές τιμές, όπως είναι και το αναμενόμενο.

5.1.4 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ

Με το πρόγραμμα tc του Gravsoft υπολογίστηκαν οι επιδράσεις του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες ύψους. Ουσιαστικά υπολογίζονται οι έμμεσες επιδράσεις στις ανωμαλίες ύψους. Επιλέχθηκαν οι παρακάτω κωδικοί:

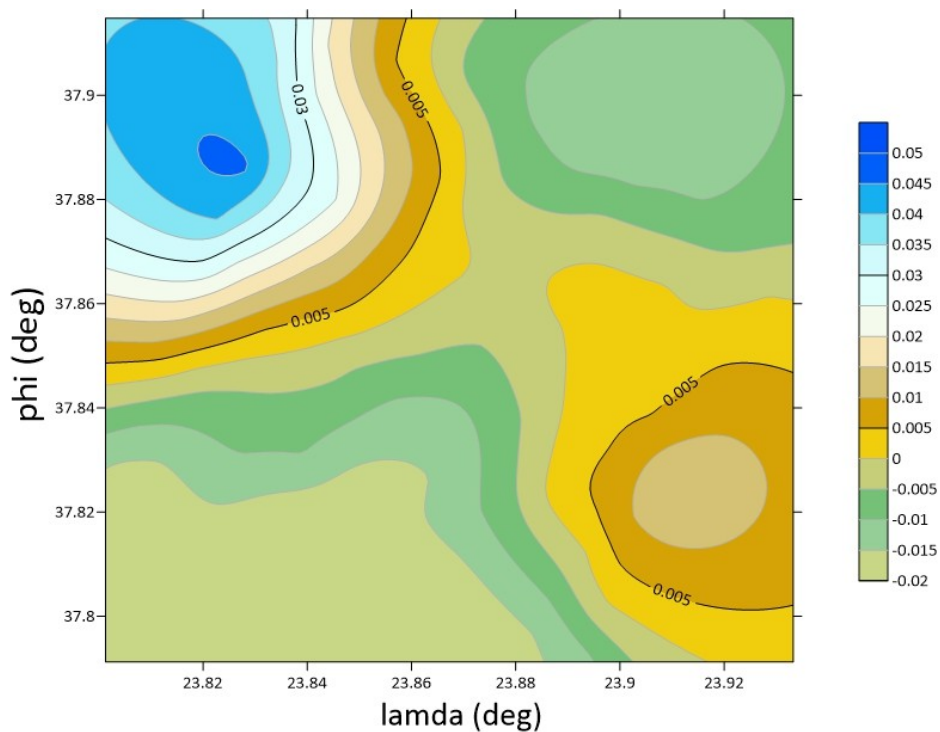
Height Anomaly effect: (itype:3)

RTM (ikind:4)

Station free: (izcode:3)

Istype1: (compute effects in stationfile)

R1=50, r2=999



ΧΑΡΤΗΣ Height Anomalies srtm1 (m) Residual Terrain Model



Σχήμα 5.6: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (m) ΓΙΑ R1=50, R2=999

Στο σχήμα 5.6 διακρίνεται η μικρή τιμή της έμμεσης επίδρασης στις ανωμαλίες ύψους με τη χρήση του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας για το ψηφιακό μοντέλο εδάφους SRTM1. Σύμφωνα με τη θεωρία η έμμεση επίδραση με το RTM είναι λίγα εκατοστά ή χιλιοστά και πολλές φορές θεωρείται αμελητέα και δεν υπολογίζεται. Μία τάξη μεγαλύτερη είναι η έμμεση επίδραση στα υψόμετρα του γεωειδούς.

Πίνακας 5.1: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ R1=50, R2=999 (mGal)

DTMs	min	Max	mean	variance	St.Dev.	range
tc_srtm1	3.459	7.117	4.706	0.194	0.441	3.657
tc_ASTER	4.320	8.688	5.522	0.203	0.451	4.367
tc_GSDEM30	3.728	7.499	4.756	0.217	0.466	3.770
tc_Copernicus_DEM	2.704	7.347	4.797	0.317	0.563	4.642
tc_Tandem-X	0.221	4.437	1.279	0.455	0.674	4.216
tc_NASADEM	3.713	7.517	4.652	0.200	0.447	3.804

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του πίνακα 5.1 οι υπολογιζόμενες τιμές των διορθώσεων λόγω αναγλύφου κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα παρουσιάζονται αναμενόμενες διαφορές ανάλογα με τη χρήση του εκάστοτε ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Αισθητή διαφορά στις υπολογισμένες διορθώσεις φαίνεται στους υπολογισμούς στα δεδομένα του ψηφιακού μοντέλου εδάφους Tandem-X, το οποίο, όπως είδαμε και στην ανάλυση των ψηφιακών μοντέλων εδάφους αποδεικνύεται προβληματικό.

Πίνακας 5.2: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ R1=50, R2=999 (mGal)

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
tc_srtm1-ASTER	-1.571	0.905	-0.815	0.119	0.345	2.476
tc_srtm1-GSDEM30	-0.601	0.374	-0.050	0.020	0.142	0.976
tc_srtm1-Copernicus_DEM	-1.429	1.321	-0.091	0.131	0.362	2.750
tc_ASTER-GSDEM30	-0.657	1.460	0.765	0.133	0.365	2.118
tc_ASTER-Copernicus_DEM	-0.896	2.528	0.724	0.201	0.448	3.424
tc_GSDEM30-Copernicus_DEM	-1.804	1.824	-0.040	0.243	0.493	3.628
tc_srtm1-NASADEM	-2.604	2.427	0.144	0.263	0.513	5.032
tc_ASTER-NASADEM	-1.736	3.998	0.960	0.204	0.451	5.735
tc_GSDEM30-NASADEM	-2.721	2.809	0.195	0.318	0.563	5.530
tc_Copernicus_DEM-NASADEM	-2.616	3.640	0.235	0.300	0.548	6.257
tc_srtm1-Tandem-X	-0.474	6.052	3.395	0.598	0.773	6.526

tc_ASTER-Tandem-X	0.424	7.623	4.211	0.551	0.742	7.198
tc_GSDEM30-Tandem-X	-0.555	6.434	3.445	0.678	0.823	6.989

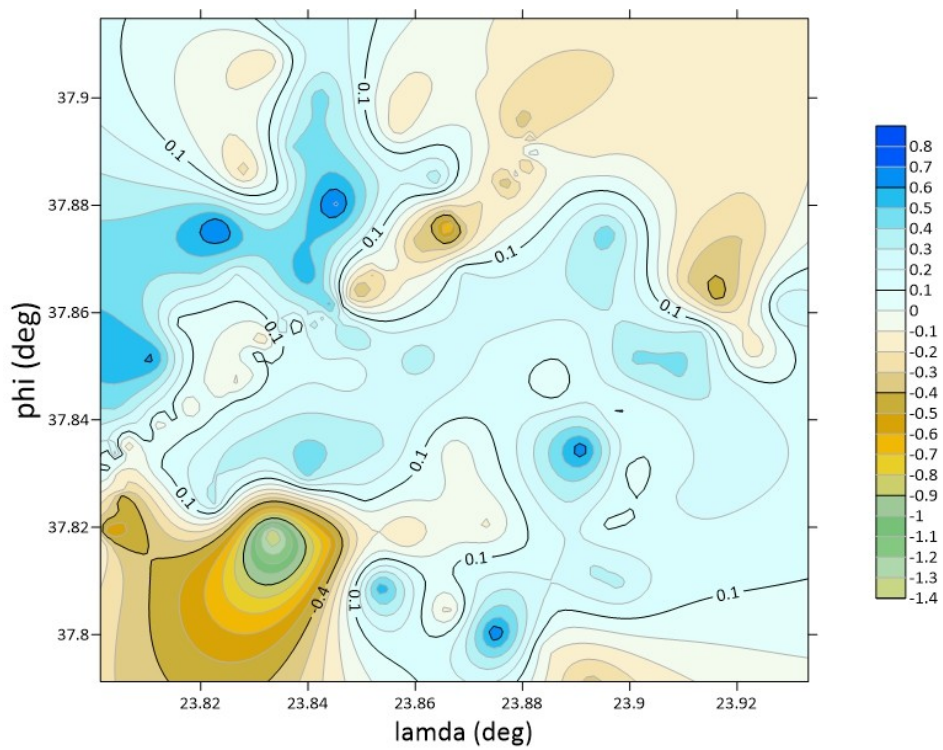
Στα αποτελέσματα του πίνακα 5.2 επιβεβαιώνεται το ότι η μέση τιμή όλων των διαφορών των τοπογραφικών διορθώσεων (εκτός από αυτές τις διαφορές που περιέχουν το Tandem-X) είναι γύρω από κάποιον όρο. Αυτό συμβαίνει γιατί το Tandem-X δεν είναι αξιόπιστο μοντέλο τοπογραφίας, λόγω των αρκετών προβληματικών περιοχών στα δεδομένα του, όπως φάνηκε και στην ανάλυση των ψηφιακών μοντέλων εδάφους.

5.1.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΙΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

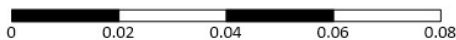
Στον πίνακα 5.3 παρουσιάζονται τα στατιστικά από τις τοπογραφικές επιδράσεις και του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες βαρύτητας ενώ στα σχήματα 5.5 και 5.6 παρουσιάζονται οι διαφορές μεταξύ των μοντέλων SRTM1- ASTER και SRTM1- GSDEM30. Τα στατιστικά των διαφορών από το μοντέλο υπολειπόμενης τοπογραφίας είναι σαφώς διαφορετικά από τα στατικά των τοπογραφικών διορθώσεων όπως είναι αναμενόμενο περιέχουν και θετικές και αρνητικές τιμές.

Πίνακας 5.3: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ R1=50, R2=999 (mGal)

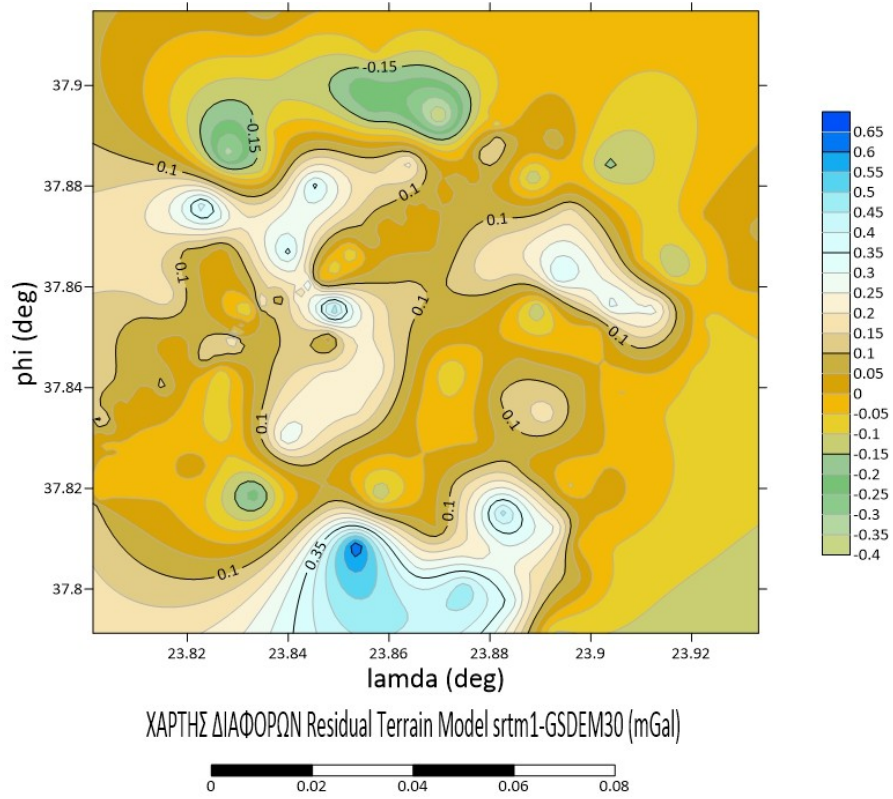
DEM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
RTM_srtm1	-10.115	13.022	-4.094	17.613	4.196	23.137
RTM_ASTER	-10.103	12.304	-4.141	16.645	4.079	22.407
RTM_GSDEM30	-10.115	12.661	-4.146	17.455	4.178	22.777
RTM_Copernicus_DEM	-10.045	13.041	-3.931	17.652	4.201	23.137
RTM_Tandem-X	-9.070	15.553	-2.907	19.327	4.396	24.624
RTM_NASADEM	-10.003	12.560	-4.106	17.504	4.183	22.564



ΧΑΡΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ Residual Terrain Model srtm1-ASTER (mGal)



Σχήμα 5.7: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-ASTER (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=999



Σχήμα 5.8: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=999

Στον πίνακα 5.4 παρουσιάζονται οι διαφορές στις υπολογισμένες τοπογραφικές επιδράσεις μεταξύ του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας από τη χρήση διαφορετικών ψηφιακών μοντέλων εδάφους.

Πίνακας 5.4: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ R1=50, R2=999 (mGal)

DEMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1-NASADEM_RTM	-13.675	12.107	-0.091	8,679	2.946	25.783
ASTER-NASADEM_RTM	-13.519	11.389	-0.138	8.387	2.896	24.908
GSDEM30-NASADEM_RTM	-13.466	11.746	-0.144	8.238	2.870	25.213
Copernicus_DEM-NASADEM_RTM	-13.918	12.127	0.070	9.430	3.070	26.046
srtm1-Tandem-X_RTM	-16.553	10.847	-0.904	8.395	2.897	27.400
ASTER-Tandem-X_RTM	-16.443	10.128	-0.951	8.326	2.885	26.572
GSDEM30-Tandem-X_RTM	-16.378	10.486	-0.956	7.951	2.819	26.865
Copernicus_DEM-Tandem-X_RTM	16.754	10.866	-0.741	9.285	3.047	27.621
NASADEM-Tandem-X_RTM	-7.630	1.638	-1.197	1.414	1.189	9.268
srtm1-ASTER_RTM	-1.392	0.718	0.046	0.071	0.267	2.111
srtm1-GSDEM30_RTM	-0.384	0.636	0.052	0.019	0.138	1.020
srtm1-Copernicus_DEM_RT M	-1.544	1.099	-0.162	0.108	0.328	2.643
ASTER-GSDEM30_RTM	-0.567	1.177	0.005	0.067	0.259	1.744

Από τη μελέτη των παραπάνω στατιστικών παρατηρούμε ότι η μέση τιμή των παραπάνω διαφορών μεταξύ των μοντέλων τοπογραφίας για το μοντέλο υπολειπόμενης τοπογραφίας είναι γύρω από κάποιον όρο. Επιπλέον ο υπολογισμός δίνει πολύ κοντινά αποτελέσματα σε συγγενή μοντέλα, δηλαδή σε μοντέλα που προέρχονται από αρχικά πρωτογενή με ενσωμάτωση βελτιώσεων.

5.1.6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΣΤΙΣ ΕΜΜΕΣΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ

Στον πίνακα 5.5 αναλύονται τα στατιστικά των έμμεσων επιδράσεων στις ανωμαλίες ύψους έτσι όπως υπολογίστηκαν στο μοντέλο υπολειπόμενης τοπογραφίας. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών σε όλα τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους είναι παρόμοια εκτός της περίπτωσης του Tandem-X η οποία επιβεβαιώνει τα προαναφερθέντα για την ποιότητα του συγκεκριμένου μοντέλου.

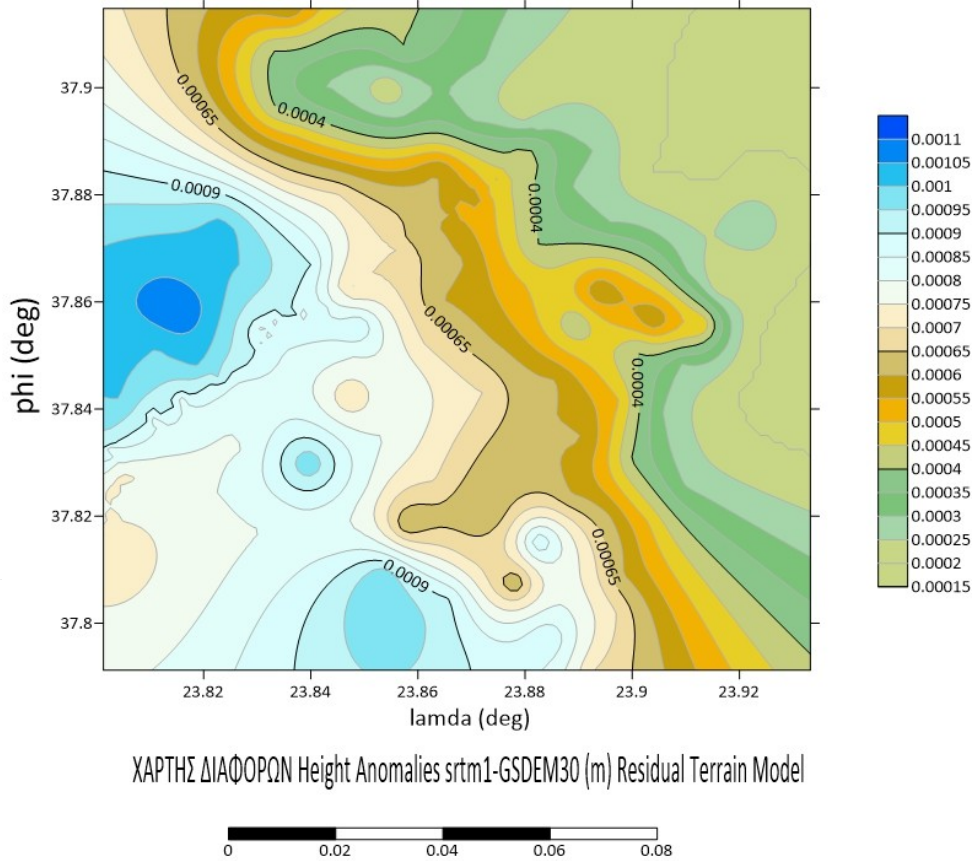
Πίνακας 5.5: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ R1=50, R2=999 (m)

DEMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM	-0.0195	0.046	0.001	0	0.016	0.065
ha_ASTER_RTM	-0.020	0.044	0	0	0.016	0.064
ha_GSDEM30_RTM	-0.020	0.045	0	0	0.016	0.065
ha_Copernicus_DEM_RTM	-0.017	0.047	0.002	0	0.016	0.065
ha_Tandem-X_RTM	-0.019	0.054	0.006	0	0.018	0.073
ha_NASADEM_RTM	-0.02	0.045	0	0	0.016	0.065

Πίνακας 5.6: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ R1=50, R2=999 (mGal)

DEMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
RTM_srtm1- ASTER	-1.392	0.718	0.046	0.071	0.267	2.111
RTM_srtm1- GSDEM30	-0.384	0.636	0.052	0.019	0.138	1.020
RTM_srtm1- Copernicus_DEM	-1.544	1.099	-0.162	0.108	0.328	2.643
RTM_ASTER- GSDEM30	-0.567	1.177	0.005	0.067	0.259	1.744
RTM_GSDEM30 -	-2.016	1.482	-0.214	0.206	0.454	3.499

Στη συνέχεια ακολουθούν οι χάρτες με τις διαφορές των ανωμαλιών ύψους (Height Anomalies) σε σχέση με τα Residual Terrain Model:



Σχήμα 5.9: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=50, R2=999

Πίνακας 5.7: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ R1=50, R2=999 (m)

DEMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1-ASTER_RTM	0.0007	0.002	0.001	0	0.0004	0.001
ha_srtm1-GSDEM30_RTM	0.0002	0.001	0.0005	0	0.0002	0.0008
ha_srtm1-Copernicus_DEM_RT M	-0.002	-0.0004	-0.001	0	0.0006	0.002
ha_ASTER-Copernicus_DEM_RT M	-0.005	-0.0019	-0.003	0	0.0007	0.003
ha_ASTER-GSDEM30_RTM	-0.0016	0.0002	-0.0009	0	0.0004	0.0018
ha_GSDEM30-Copernicus_DEM_RT M	-0.003	-0.0006	-0.002	0	0.0009	0.003
ha_srtm1-NASADEM_RTM	-0.043	0.023	-0.001	0	0.008	0.067
ha_ASTER-NASADEM_RTM	-0.001	0	-0.001	0	0	0.001
ha_GSDEM30-NASADEM_RTM	-0.0004	0.0002	-0.0001	0	0.0001	0.0006
ha_Copernicus_DEM-NASADEM_RTM	0.0006	0.003	0.001	0	0.0008	0.002
ha_srtm1-Tandem-X_RTM	-0.052	0.015	-0.007	0	0.008	0.067
ha_ASTER-Tandem-X_RTM	-0.012	-0.001	-0.006	0	0.002	0.011
ha_GSDEM30-Tandem-X_RTM	-0.010	-0.001	-0.005	0	0.002	0.009
ha_Copernicus_DEM-Tandem-X_RTM	-0.007	0.001	-0.003	0	0.002	0.009
ha_NASADEM-Tandem-X_RTM	-0.010	-0.0008	-0.005	0	0.002	0.009

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα του πίνακα 5.7 επιβεβαιώνεται η διαφορετική συμπεριφορά του Tandem-X σε σχέση με τα άλλα ψηφιακά μοντέλα εδάφους. Οι διαφορές στις έμμεσες επιδράσεις στις ανωμαλίες ύψους φαίνονται πολύ μικρές αφού ούτως ή άλλως από τη θεωρία οι επιδράσεις αυτές είναι μια με δύο τάξεις μεγέθους μικρότερες από τις έμμεσες επιδράσεις στα υψόμετρα του γεωειδούς.

Παρατηρώντας τα σχήματα και τους πίνακες των αποτελεσμάτων του αρχικού βήματος συμπεραίνουμε ότι όλα τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους εκτός του Tandem-X έχουν κοντινά αποτελέσματα.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΒΗΜΑΤΟΣ

Πίνακας 5.8: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ (mGal)

DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
tc_srtm1	3.459	7.117	4.706	0.194	0.441	3.657
RTM_srtm1	-10.115	13.022	-4.094	17.613	4.196	23.137
ha_srtm1_RT M	-0.195	0.046	0.001	0	0.016	0.065

DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
tc_ASTER	4.320	8.688	5.522	0.203	0.451	4.367
RTM_ASTER	-10.103	12.304	-4.141	16.645	4.079	22.407
ha_ASTER_RT M	-0.020	0.044	0	0	0.016	0.064

DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
tc_GSDEM30	3.728	7.499	4.756	0.217	0.466	3.770
RTM_GSDEM30	-10.115	12.661	-4.146	17.455	4.178	22.777
ha_GSDEM30_RT M	-0.020	0.045	0	0	0.016	0.065

DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
tc_Copernicus_DEM	2.704	7.347	4.797	0.317	0.563	4.642
RTM_Copernicus_DEM	-10.045	13.041	-3.931	17.652	4.201	23.137
ha_Copernicus_DEM_RT M	-0.017	0.047	0.002	0	0.016	0.065

DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
tc_NASADEM	3.713	7.517	4.652	0.200	0.447	3.804
RTM_NASADEM	-10.003	12.560	-4.106	17.504	4.183	22.564
ha_NASADEM_RT M	-0.02	0.045	0	0	0.016	0.065

DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
tc_Tandem-X	0.221	4.437	1.279	0.455	0.674	4.216
RTM_Tandem -X	-9.070	15.553	-2.907	19.327	4.396	24.624
ha_Tandem- X_RTM	-0.019	0.054	0.006	0	0.018	0.073

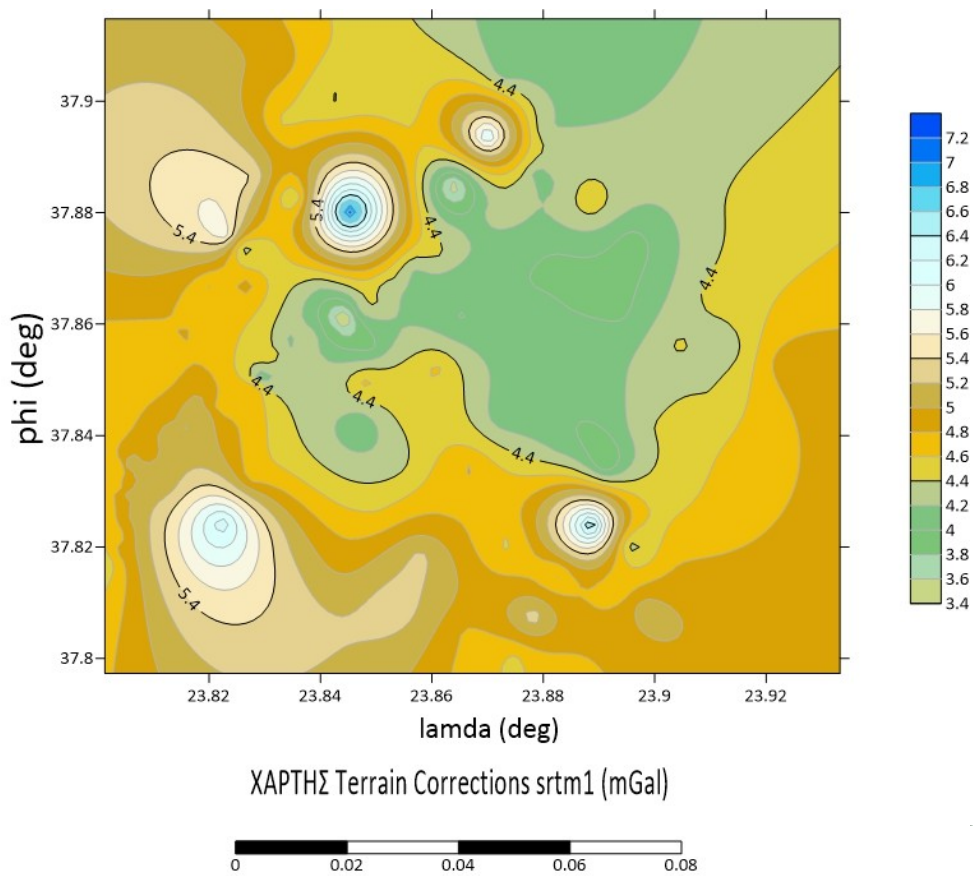
5.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ

Στην ενότητα αυτή θα μελετηθεί η επίδραση της ακτίνας ολοκλήρωσης του εσωτερικού (λεπτομερούς) και του εξωτερικού (γενικευμένου) κανάβου δεδομένων των ψηφιακών μοντέλων εδάφους στον υπολογισμό των τοπογραφικών επιδράσεων. Η μελέτη θα πραγματοποιηθεί με τη χρήση εσωτερικού κανάβου δεδομένων μέχρι τη χρήση κάποιας ακτίνας R1 και με ακτίνα R2=999 δηλαδή τη χρήση του γενικευμένου κανάβου μέχρι τα 1000 km. Η χρήση του εσωτερικού λεπτομερούς κανάβου δεδομένων θα χρησιμοποιηθεί μέχρι τα 10, 30, 50, 100, 150, 200 km. Στη δεύτερη περίπτωση ο εξωτερικός γενικευμένος κανάβος δεδομένων δε χρησιμοποιήθηκε καθόλου R2=0.

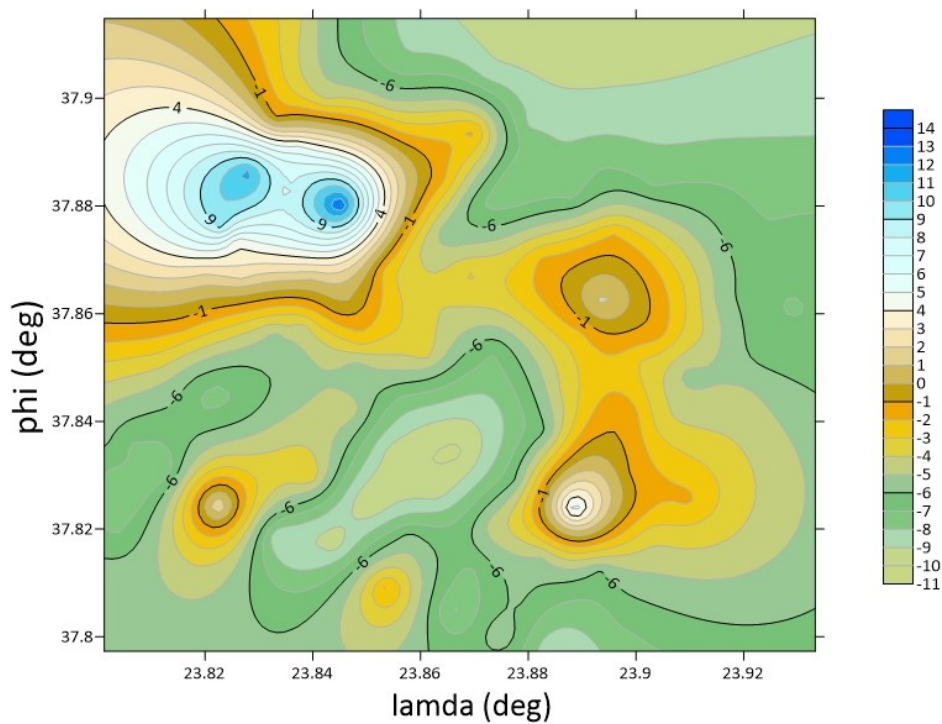
Μελετήθηκαν οι επιδράσεις στις τρεις περιπτώσεις α) στις διορθώσεις λόγω αναγλύφου στις ανωμαλίες βαρύτητας, β) οι τοπογραφικές επιδράσεις του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες της βαρύτητας, γ) οι έμμεσες επιδράσεις του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες ύψους.

5.2.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ (ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ)

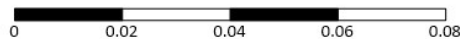
Στην ενότητα αυτή μελετήθηκε η επίδραση των διορθώσεων λόγω αναγλύφου και του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας με τον περιορισμό της ακτίνας ολοκλήρωσης του εσωτερικού κανάβου στα 10 km. Στα σχήματα 5.10 και 5.11 παρουσιάζονται οι επιδράσεις των τοπογραφικών διορθώσεων και του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες της βαρύτητας με τη χρησιμοποίηση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους SRTM1 και την ακτίνα ολοκλήρωσης του εσωτερικού κανάβου περιορισμένη στα 10 km.



Σχήμα 5.10: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=999



ΧΑΡΤΗΣ Residual Terrain Model srtm1 (mGal)



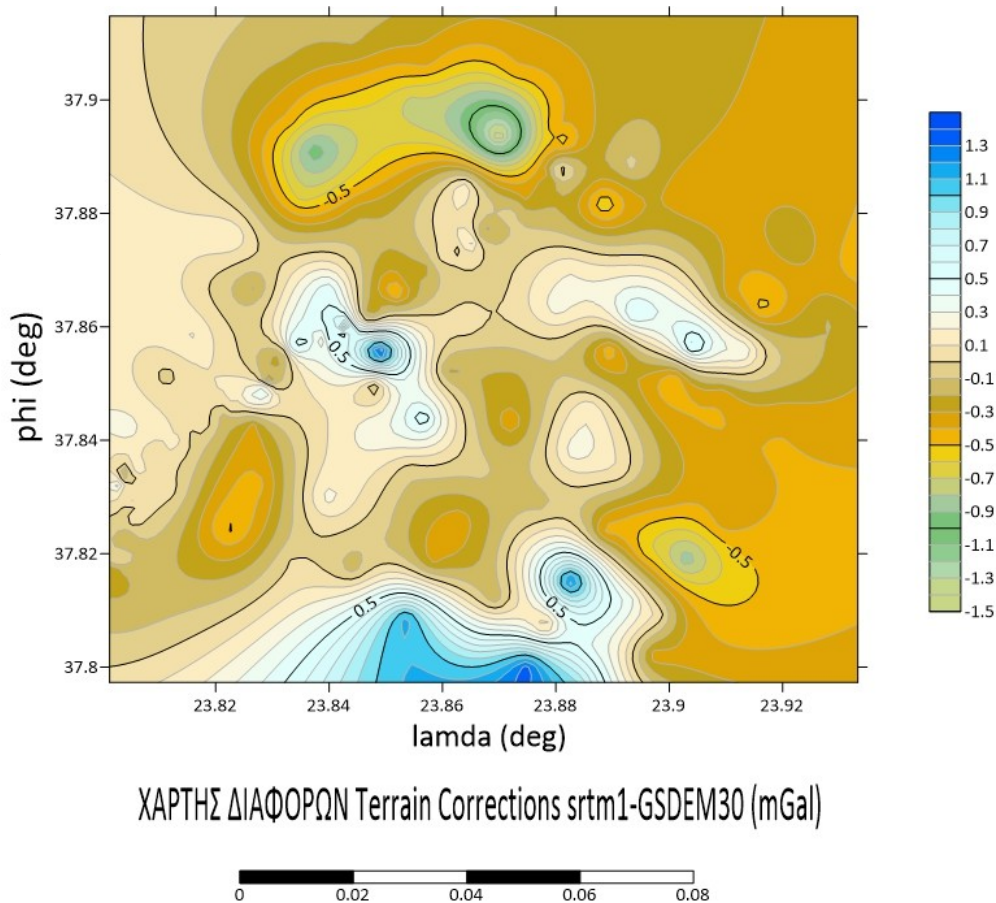
Σχήμα 5.11: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΛΔΦΟΥΣ srtm1 (mGal) ΓΙΑ $R1=10$, $R2=999$

Παρατηρούμε ότι σε αυτή την περίπτωση της μελέτης μας οι ανωμαλίες βαρύτητας που υπολογίσαμε έχουν τιμές από 3,4 μέχρι 7,2 mGal, οι οποίες όταν συγκριθούν με τις αντίστοιχες που υπολογίστηκαν στην περίπτωση της ενότητας 5.2 (ακτίνα ολοκλήρωσης στα 50 km) ανιχνεύεται κάποια πολύ μικρή διαφορά, γεγονός που επιβεβαιώνει την ισχυρή επίδραση της εγγύτερης τοπογραφίας σε σύγκριση με τις απομακρυσμένες μάζες. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο τέλος της ενότητας. Παρατηρούμε ότι οι τιμές των Residual Terrain Model βρίσκονται μεταξύ -11 και 14 mGal. Στην περίπτωσή μας έχουν κάποιες θετικές και κάποιες αρνητικές τιμές οπότε τα αποτελέσματα είναι λογικά. Οπότε για μικρή ακτίνα $R1=10$ km τα αποτελέσματά μας είναι λογικά. Στην περίπτωση των υπολογισμένων τοπογραφικών επιδράσεων με το υπολειπόμενο μοντέλο τοπογραφίας οι τιμές των επιδράσεων υπολογίζονται μεταξύ του -11 και 14 mGal. Στην περιοχή μελέτης υπολογίστηκαν κάποιες θετικές και αρνητικές τιμές.

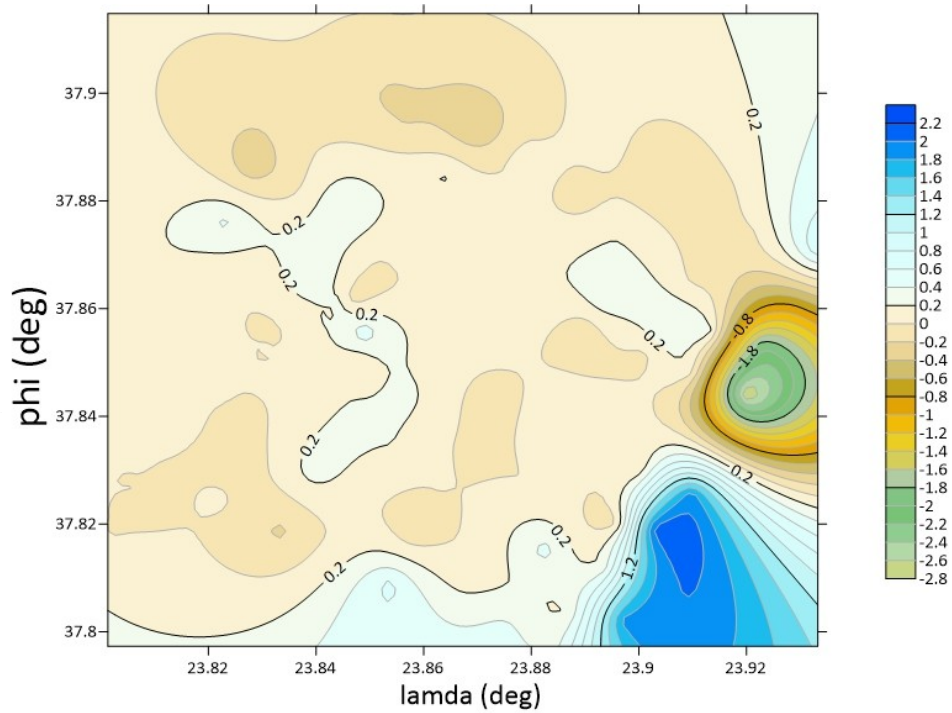
Συγκρινόμενες με τις επιδράσεις που υπολογίστηκαν στην προηγούμενη ενότητα 5.1 ($R1=50$ km) παρατηρούνται μικρές διαφορές, δείγμα του ισχυρού σήματος της εγγύς τοπογραφίας.

Στα σχήματα 5.12 και 5.13 απεικονίζονται οι διαφορές των υπολογισμών των διορθώσεων λόγω αναγλύφου και του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες της βαρύτητας με τη χρήση διαφορετικών ψηφιακών μοντέλων εδάφους και συγκεκριμένα του SRTM1 και του GSDEM30. Στην περίπτωση των διορθώσεων λόγω αναγλύφου εντοπίζονται διαφορές μικρότερου εύρους ενώ στην περίπτωση του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας οι διαφορές είναι μεγαλύτερες. Επιπλέον φαίνεται ξεκάθαρα η εξομάλυνση των διαφορών στην περίπτωση του υπολειπόμενου μοντέλου, λόγω της επιφάνειας αναφοράς που χρησιμοποιείται και της μικρότερης επίδρασης του μοντέλου της τοπογραφίας στα τελικά αποτελέσματα.

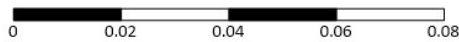
5.3.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ:



Σχήμα 5.12: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=999



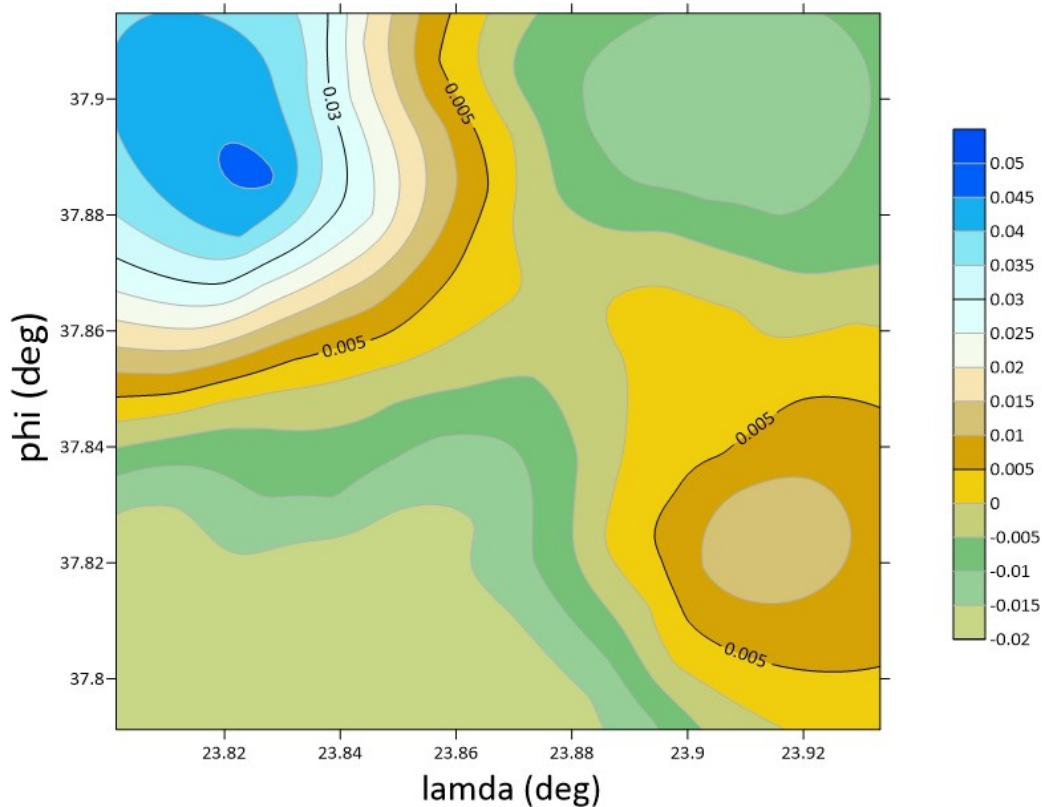
ΧΑΡΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ Residual Terrain Model srtm1-GSDEM30 (mGal)



Σχήμα 5.13: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜ ΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=999

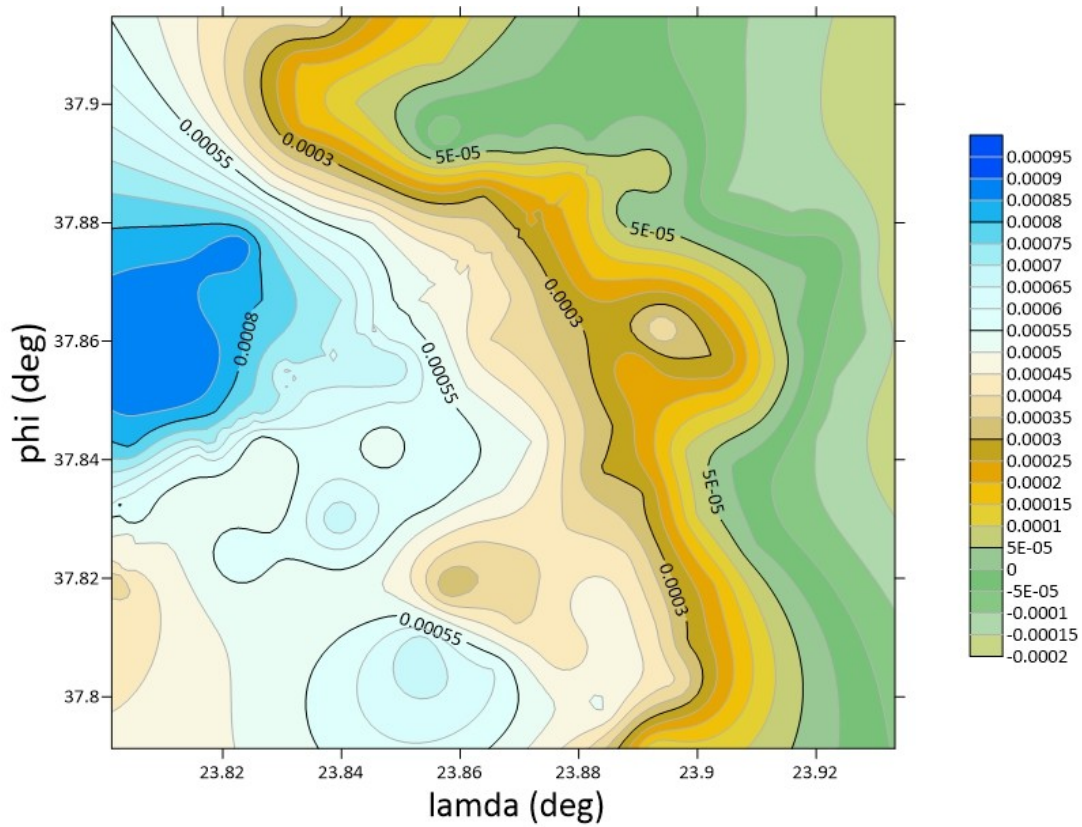
5.2.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ (ΧΡΗΣΗ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ)

Στο σχήμα 5.14 απεικονίζεται η επίδραση της τοπογραφίας στις έμμεσες επιδράσεις των ανωμαλιών ύψους. Ως ψηφιακό μοντέλο εδάφους χρησιμοποιήθηκε το SRTM1 και ως ακτίνα ολοκλήρωσης τα 10 km. Παρατηρούνται μικρές διαφορές με την περίπτωση των υπολογισμών με ακτίνα ολοκλήρωσης τα 50 km γεγονός που αποδεικνύει την μικρή επίδραση των απομακρυσμένων μαζών στους υπολογισμούς των τοπογραφικών επιδράσεων.

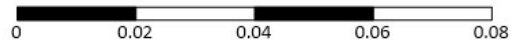


ΧΑΡΤΗΣ Height Anomalies srtm1 (m) Residual Terrain Model

Σχήμα 5.14: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ srtm1 (m) ΓΙΑ R1=10, R2=999



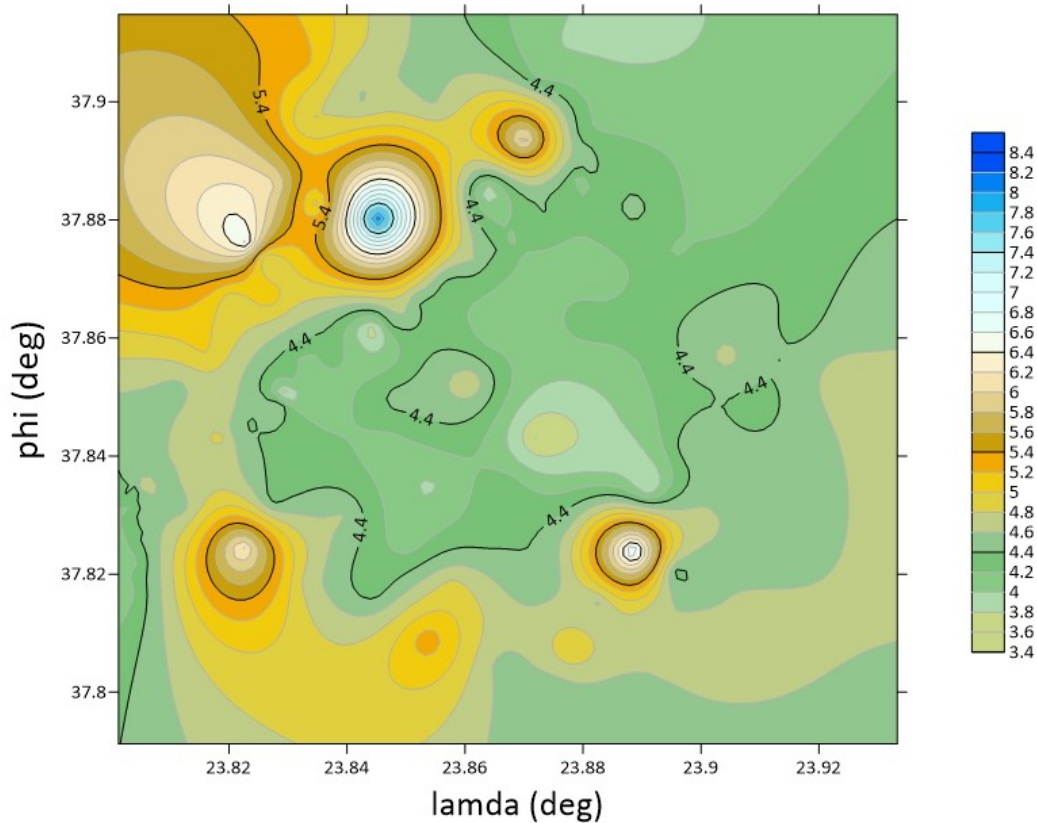
ΧΑΡΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ Height Anomalies srtm1-GSDEM30 (m) Residual Terrain Model



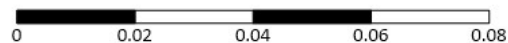
Σχήμα 5.15: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΛΑΦΟΥΣ srtm1-GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=10, R2=999

5.2.3 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ (ΑΠΟΥΣΙΑ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ)

Στα σχήματα 5.16 και 5.17 παρουσιάζονται οι υπολογισμένες διορθώσεις λόγω αναγλύφου και οι τοπογραφικές επιδράσεις του υπολειπόμενου μοντέλου τοπογραφίας στις ανωμαλίες της βαρύτητας.

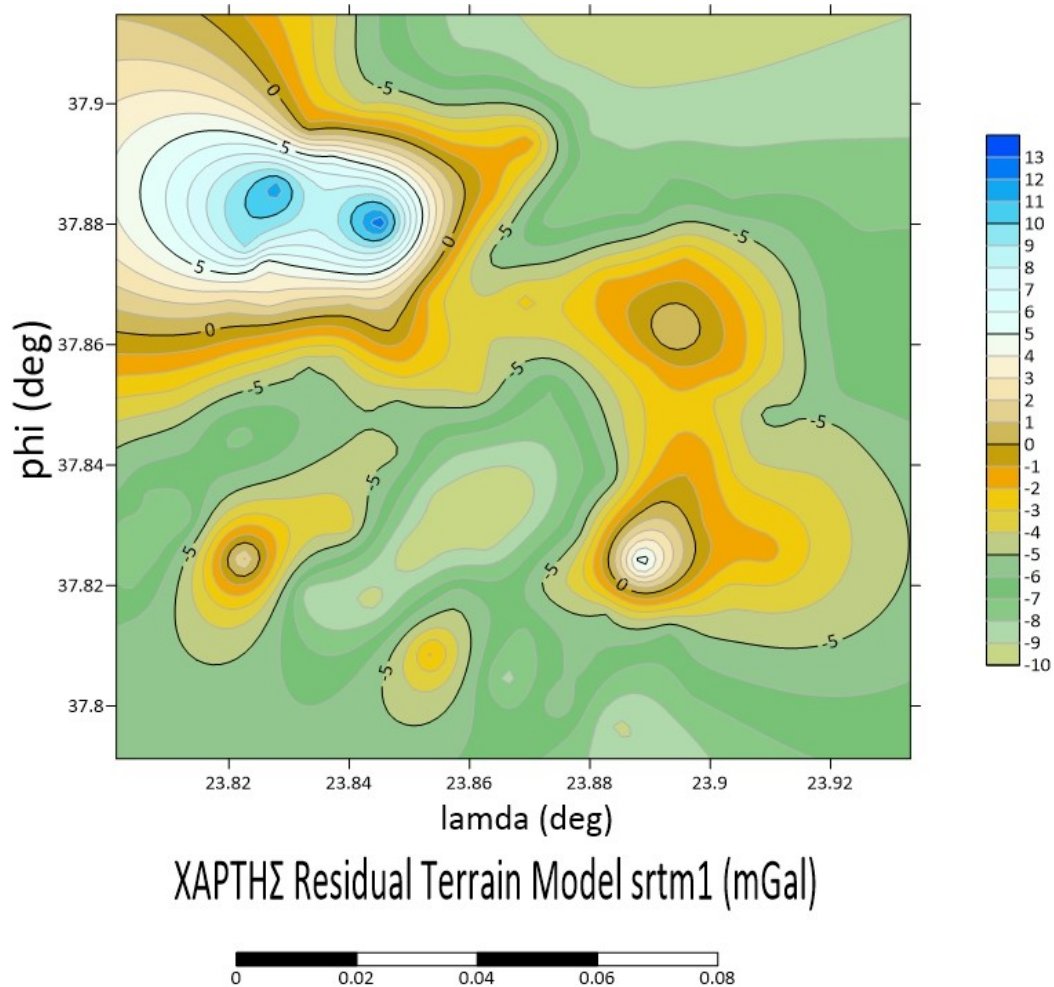


ΧΑΡΤΗΣ Terrain Corrections srtm1 (mGal)



Σχήμα 5.16: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=0

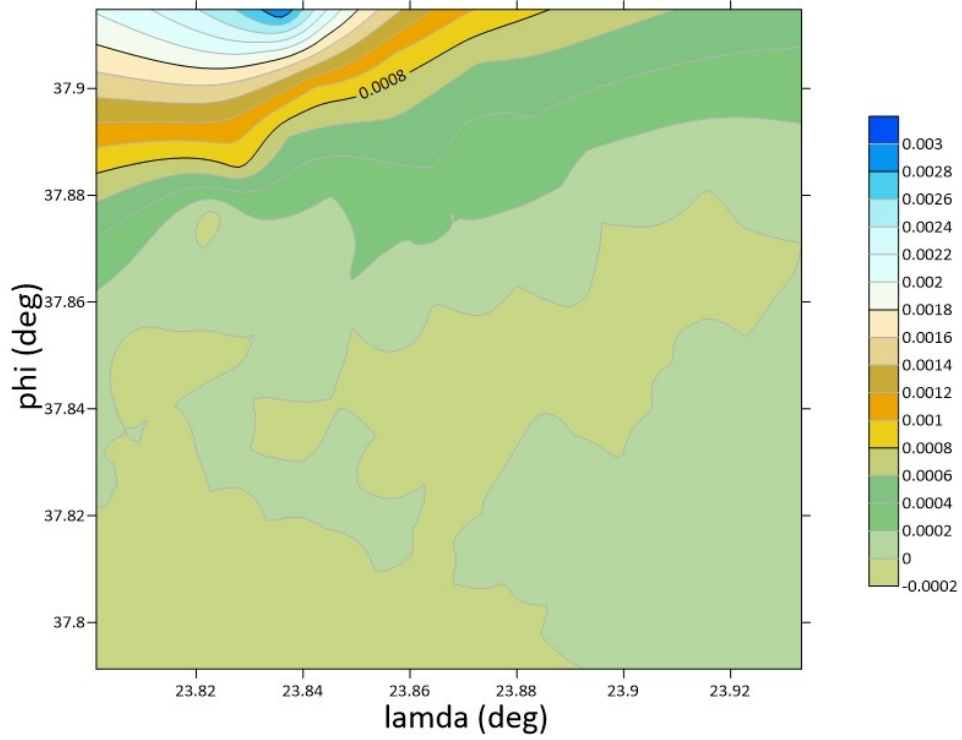
Παρατηρούμε ότι οι τιμές των διορθώσεων λόγω αναγλύφου χωρίς τη χρήση του γενικευμένου μοντέλου είναι μεταξύ 3,4 μέχρι 8,4 mGal. Στην περίπτωση της μελέτης μας με τη χρήση του γενικευμένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους για την περίπτωση των ανωμαλιών βαρύτητας οι τιμές των ανωμαλιών βαρύτητας που υπολογίσαμε είναι μεταξύ των τιμών 3,4 μέχρι 7,2 mGal, δηλαδή οι τιμές των ανωμαλιών βαρύτητας έχουν λίγο μικρότερες τιμές, από αυτές στην περίπτωση της χρήση του γενικευμένου μοντέλου. Παρόλα αυτά οι τιμές των ανωμαλιών βαρύτητας και στις 2 περιπτώσεις παραμένουν κοντινές.



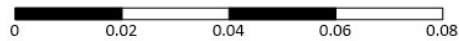
Σχήμα 5.17: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (mGal) ΓΙΑ $R1=10$, $R2=0$

Παρατηρούμε ότι οι τιμές των τοπογραφικών επιδράσεων του υπολειπόμενου μοντέλου τοπογραφίας με τη μη χρήση του γενικευμένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους βρίσκονται μεταξύ -10 μέχρι 13 mGal. Αυτές οι τιμές σε σύγκριση με τις τιμές των RTM στην περίπτωση της χρήσης του γενικευμένου μοντέλου οι οποίες είναι από -11 μέχρι 14 mGal.

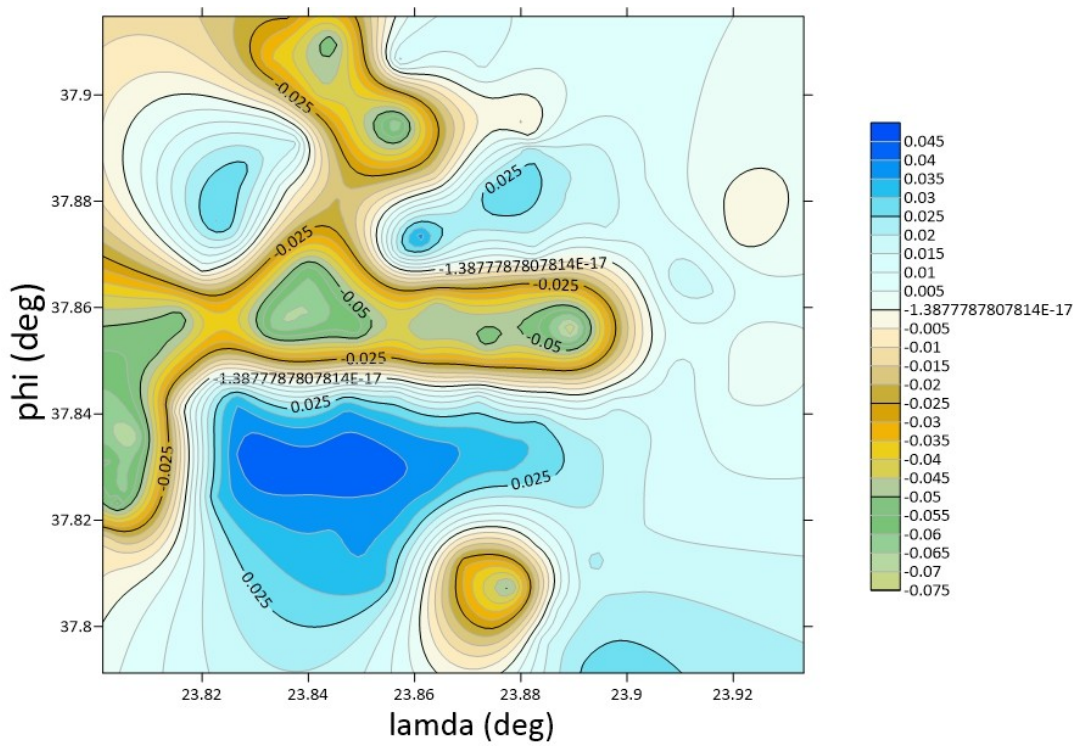
Στα σχήματα 5.18 και 5.19 παρουσιάζονται οι διαφορές των τοπογραφικών επιδράσεων και του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας με τη χρήση δύο διαφορετικών ψηφιακών μοντέλων εδάφους και συγκεκριμένα του SRTM1 και του GSDDEM30. Οι διαφορές αυτές όπως φαίνεται και από τα σχήματα είναι πολύ μικρές, της τάξης του χιλιοστού του mGal για της τοπογραφικές διορθώσεις και της τάξης του εκατοστού για τα RTM.



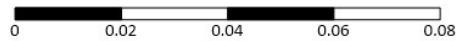
ΧΑΡΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ Terrain Corrections srtm1-GSDDEM30 (mGal)



Σχήμα 5.18: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=0



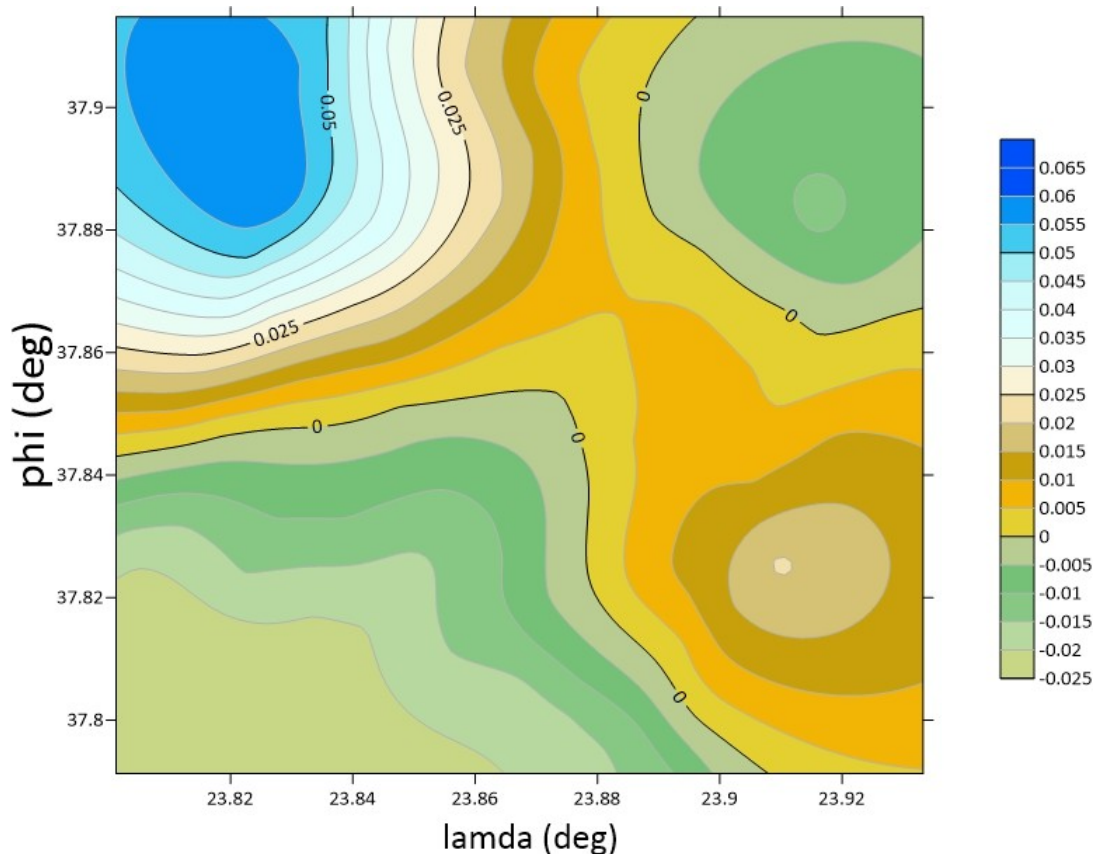
ΧΑΡΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ Residual Terrain Model srtm1-GSDEM30 (mGal)



Σχήμα 5.19: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=0

5.2.4. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ (ΑΠΟΥΣΙΑ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ)

5.2.5. ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ:



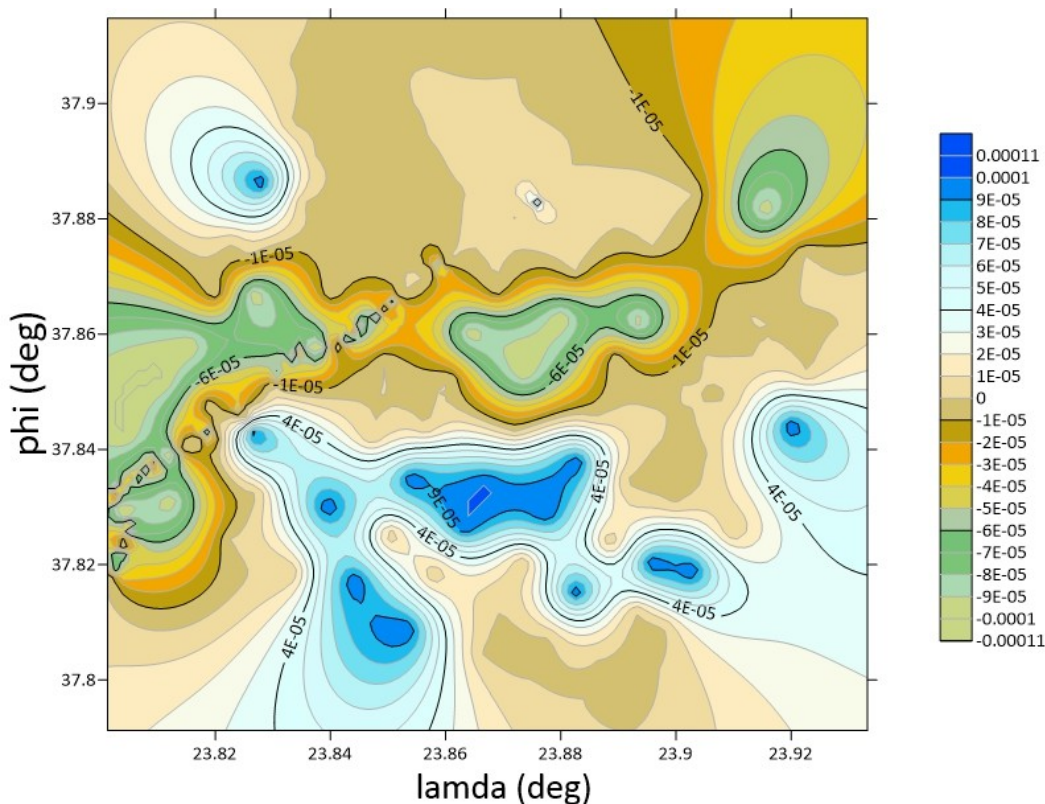
Σχήμα 5.20: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1 (m) ΓΙΑ $R1=10$, $R2=0$

Στο σχήμα 5.20 παρουσιάζεται η επίδραση της μικρής ακτίνας ολοκλήρωσης 10 km στην περίπτωση του υπολογισμού των έμμεσων επιδράσεων στις ανωμαλίες ύψους με την απουσία του γενικευμένου μοντέλου και με τη χρήση του SRTM1 ως λεπτομερούς μοντέλου.

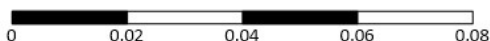
Παρατηρούμε ότι οι τιμές των ανωμαλιών ύψους με τα Residual Terrain Model έχουν τιμές από -0,025 μέχρι 0.065 m, το οποίο είναι επίσης λογικό αφού οι τιμές αυτές είναι κοντινές με τις τιμές των ανωμαλιών ύψους από τη μελέτη με τη χρήση του coarse dtm οι οποίες είναι από -0,02 μέχρι 0,05 m. Η διαφορά του 1,5 cm στις μέγιστες τιμές θεωρείται σημαντική στη μοντελοποίηση του γεωειδούς, αφού πλέον οι σύγχρονες αντιλήψεις της σύγχρονης Φυσικής Γεωδαισίας αναφέρονται στην προσέγγιση γεωειδούς του ενός εκατοστού (1cm geoid). Στην περίπτωση αυτή η χρήση του γενικευμένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους για τον υπολογισμό των έμμεσων επιδράσεων στις ανωμαλίες ύψους θεωρείται αναγκαία.

5.2.6 ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ ΥΨΟΥΣ:

Στο σχήμα 5.21 παρουσιάζονται οι διαφορές μεταξύ των έμμεσων τοπογραφικών διορθώσεων στις ανωμαλίες ύψους με τη χρησιμοποίηση διαφορετικών μοντέλων τοπογραφίας.



ΧΑΡΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ Height Anomalies srtm1-GSDEM30 (m) Residual Terrain Model



Σχήμα 5.21: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ srtm1-GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=10, R2=0

Παρατηρούμε ότι οι διαφορές των τιμών μεταξύ των ανωμαλιών ύψους μεταξύ των 2 dtm είναι κοντά στο 0, κάτω του χιλιοστού και επομένως κρίνεται αμελητέα η διαφορά στην επίδραση των συγκεκριμένων ψηφιακών μοντέλων εδάφους.

Όπως παρατηρούμε οι τιμές των ανωμαλιών βαρύτητας καθώς και οι τιμές των ανωμαλιών ύψους καθόλη τη διάρκεια της μελέτης μας είναι γύρω από κάποια μέση τιμή. Αυτό εξηγείται επειδή τα δεδομένα των dtm είναι κοντινά μεταξύ τους.

Στη συνέχεια ακολουθούν δύο συγκεντρωτικοί πίνακες με τα στατιστικά των υπολογισμών στην περίπτωση του ψηφιακού μοντέλου SRTM1 όσο και στην περίπτωση του μοντέλου GSDEM30, τόσο στην περίπτωση της χρήσης του γενικευμένου μοντέλου τοπογραφίας, όσο και δίχως τη χρήση του. Η ακτίνα ολοκλήρωσης του λεπτομερούς κανάβου κυμάνθηκε, όπως έχει αναφερθεί από τα 10 km έως τα 200 km.

Πίνακας 5.9: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟ SRTM1 ΤΟΥ 2ΟΥ ΒΗΜΑΤΟΣ (mGal)

srtm1	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
R1=10, R2=999						
fa_srtm1_tc	3.411	7.114	4.686	0.196	0.443	3.702
fa_srtm1_RTM	-10.165	13.008	-3.954	18.064	4.250	23.173
ha_srtm1_RT M	-0.019	0.045	0.001	0	0.016	0.065
R1=30, R2=999						
fa_srtm1_tc	3.412	7.115	4.686	0.196	0.443	3.702
fa_srtm1_RTM	-10.114	13.022	-4.094	17.612	4.196	23.197
ha_srtm1_RT M	-0.019	0.046	0.002	0	0.017	0.066
R1=50, R2=999						
fa_srtm1_tc	3.459	7.117	4.706	0.194	0.441	3.657
fa_srtm1_RTM	-10.115	13.022	-4.094	17.613	4.196	23.137
ha_srtm1_RT M	-0.019	0.046	0.001	0	0.016	0.065
R1=100, R2=999						
fa_srtm1_tc	3.459	7.117	4.706	0.194	0.441	3.657
fa_srtm1_RTM	-10.115	13.022	-4.094	17.612	4.196	23.137
ha_srtm1_RT M	-0.019	0.046	0.001	0	0.016	0.065
R1=150, R2=999						

fa_srtm1_tc	3.459	7.117	4.706	0.194	0.441	3.657
fa_srtm1_RTM	-10.115	13.022	-4.094	17.612	4.196	23.137
ha_srtm1_RT M	-0.019	0.046	0.001	0	0.016	0.065
R1=200, R2=999						
fa_srtm1_tc	3.459	7.117	4.706	0.194	0.441	3.657
fa_srtm1_RTM	-10.115	13.022	-4.094	17.612	4.196	23.137
ha_srtm1_RT M	-0.019	0.046	0.001	0	0.016	0.065
R1=10, R2=0						
fa_srtm1_tc	3.597	8.201	4.655	0.293	0.541	4.604
fa_srtm1_RTM	-9.995	12.838	-4.037	17.372	4.168	22.833
ha_srtm1_RT M	-0.022	0.06	0.006	0	0.021	0.082
R1=30, R2=0						
fa_srtm1_tc	3.661	8.392	4.718	0.305	0.552	4.731
fa_srtm1_RTM	-10.044	12.794	-4.083	17.391	4.170	22.839
ha_srtm1_RT M	-0.018	0.035	-0.001	0	0.014	0.054
R1=50, R2=0						
fa_srtm1_tc	3.685	8.339	4.727	0.292	0.540	4.654
fa_srtm1_RTM	-10.055	12.778	-4.097	17.384	4.169	22.834
ha_srtm1_RT M	-0.018	0.043	0.003	0	0.015	0.062
R1=100, R2=0						
fa_srtm1_tc	3.731	8.072	4.719	0.253	0.503	4.340
fa_srtm1_RTM	-10.068	12.762	-4.111	17.379	4.168	22.830
ha_srtm1_RT M	-0.017	0.051	0.006	0	0.017	0.068
R1=150, R2=0						
fa_srtm1_tc	3.757	7.843	4.772	0.229	0.478	4.085
fa_srtm1_RTM	-10.073	12.758	-4.116	17.380	4.168	22.831
ha_srtm1_RT	-0.025	0.045	0.003	0	0.017	0.071

M						
R1=200, R2=0						
fa_srtm1_tc	3.725	7.601	4.790	0.206	0.454	3.875
fa_srtm1_RTM	-10.075	12.755	-4.118	17.378	4.168	22.831
ha_srtm1_RT M	-0.018	0.046	0.002	0	0.016	0.064

Πίνακας 5.10: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 2^{ΟΥ} ΒΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 (mGal)

GSDEM30	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
R1=10, R2=999						
fa_GSDEM30_tc	3.728	7.498	4.756	0.217	0.466	3.770
fa_GSDEM30_RTM	-10.115	12.662	-4.146	17.454	4.177	22.777
ha_GSDEM30_RT M	-0.020	0.045	0	0	0.016	0.065
R1=30, R2=999						
fa_GSDEM30_tc	3.728	7.499	4.756	0.217	0.466	3.770
fa_GSDEM30_RTM	-10.115	12.661	-4.146	17.454	4.177	22.777
ha_GSDEM30_RT M	-0.020	0.045	0	0	0.016	0.065
R1=50, R2=999						
fa_GSDEM30_tc	3.728	7.499	4.756	0.217	0.466	3.770
fa_GSDEM30_RTM	-10.115	12.661	-4.146	17.455	4.178	22.777
ha_GSDEM30_RT M	-0.020	0.045	0	0	0.016	0.065
R1=100, R2=999						
fa_GSDEM30_tc	3.729	7.499	4.756	0.217	0.466	3.770
fa_GSDEM30_RTM	-10.115	12.661	-4.146	17.454	4.177	22.777
ha_GSDEM30_RT M	-0.020	0.045	0	0	0.016	0.065
R1=150, R2=999						
fa_GSDEM30_tc	3.729	7.499	4.756	0.217	0.466	3.770

fa_GSDEM30_RTM	-10.115	12.661	-4.146	17.454	4.177	22.777
ha_GSDEM30_RT M	-0.020	0.045	0	0	0.016	0.065
R1=200, R2=999						
fa_GSDEM30_tc	3.729	7.499	4.756	0.217	0.466	3.770
fa_GSDEM30_RTM	-10.115	12.661	-4.146	7.454	4.177	22.777
ha_GSDEM30_RT M	-0.020	0.045	0	0	0.016	0.065
R1=10, R2=0						
fa_GSDEM30_tc	3.597	8.201	4.655	0.292	0.541	4.604
fa_GSDEM30_RTM	-10.031	12.859	-4.038	17.411	4.172	22.890
ha_GSDEM30_RT M	-0.022	0.059	0.006	0	0.021	0.082
R1=30, R2=0						
fa_GSDEM30_tc	3.661	8.392	4.718	0.305	0.552	4.731
fa_GSDEM30_RTM	-10.080	12.815	-4.084	17.429	4.174	22.895
ha_GSDEM30_RT M	-0.018	0.035	-0.001	0	0.014	0.054
R1=50, R2=0						
fa_GSDEM30_tc	3.685	8.339	4.727	0.292	0.540	4.654
fa_GSDEM30_RTM	-10.091	12.798	-4.098	17.422	4.174	22.890
ha_GSDEM30_RT M	-0.018	0.043	0.003	0	0.015	0.062
R1=100, R2=0						
fa_GSDEM30_tc	3.731	8.072	4.719	0.253	0.503	4.340
fa_GSDEM30_RTM	-10.104	12.782	-4.113	17.417	4.173	22.887
ha_GSDEM30_RT M	-0.017	0.051	0.006	0	0.017	0.068
R1=150, R2=0						
fa_GSDEM30_tc	3.757	7.842	4.772	0.229	0.478	4.085
fa_GSDEM30_RTM	-10.109	12.778	-4.117	17.419	4.173	22.887
ha_GSDEM30_RT M	-0.025	0.045	0.003	0	0.017	0.071

R1=200, R2=0						
fa_GSDEM30_tc	3.725	7.601	4.790	0.206	0.454	3.875
fa_GSDEM30_RTM	-10.111	12.776	-4.119	17.417	4.173	22.887
ha_GSDEM30_RT M	-0.018	0.046	0.002	0	0.016	0.064

Από τους παραπάνω συγκεντρωτικούς πίνακες με τα στατιστικά των αποτελεσμάτων παρατηρούμε τα εξής:

Για το srtm1 με τη χρήση του γενικευμένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους:

- Η μέση τιμή των των τοπογραφικών διορθώσεων με τις ανωμαλίες βαρύτητας είναι γύρω στα 4.686 mGal
- και μεταβάλλεται στα 4.706 καθώς μεταβάλλεται η ακτίνα επίδρασης R1 από τα 10 km στα 50 km
- Παρατηρείται σταθεροποίηση της μέσης τιμής για ακτίνα R1 από 50 km μέχρι ακτίνα R1 200 km.
- Η μέση τιμή του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες βαρύτητας για ακτίνα R1 10 km είναι γύρω στα -4.094 mGal.
- Για ακτίνα από 30 km μέχρι ακτίνα R1 200 km η μέση τιμή σταθεροποιείται στα -4.094 mGal
- Η μέση τιμή του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες ύψους για R1=10 km είναι 0.001 mGal, για R1=30 km η μέση τιμή μεταβάλλεται σε 0.002 mGal και για R1=30 km μεταβάλλεται σε 0.002 mGal.
- Για ακτίνα R1=50 km και πάνω η μέση τιμή μεταβάλλεται σε 0.001 mGal και σταθεροποιείται.

Για το srtm1 δίχως χρήση του γενικευμένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους.

- Η μέση τιμή από τη μελέτη των τοπογραφικών διορθώσεων στις ανωμαλίες βαρύτητας για R1=10 km είναι γύρω στο 4.65 mGal και με τη μεταβολή της ακτίνας από 10 km σε 30, 50, 100, 150, 200 km παρατηρείται μεταβολή της μέσης τιμής η οποία μεταβάλλεται καθόλη τη διάρκεια της μεταβολής της ακτίνας R1 η οποία για ακτίνα R1=200 μεταβάλλεται σε 4.79 mGal.
- Η μέση τιμή από τη μελέτη του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες βαρύτητας για R1=10 είναι -4.037 mGal και μεταβάλλεται με τη μεταβολή της ακτίνας R1 από 10 km σε 30, 50, 100, 150, 200 km με μέση τιμή για ακτίνα R1=200 km σε -4.118 mGal.

Για το GSDEM30 με τη χρήση του γενικευμένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους έχουμε τα εξής:

- Η μέση τιμή από τη μελέτη των τοπογραφικών διορθώσεων στις ανωμαλίες βαρύτητας για $R1=10$ km είναι 4.756 mGal και καθώς μεταβάλλεται η ακτίνα $R1$ από 10 σε 30, 50, 100, 150, 200 km η μέση τιμή σταθεροποιείται καθόλη τη διάρκεια της μεταβολής αυτής στα 4.756 mGal.
- Η μέση τιμή από τη μελέτη του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες βαρύτητας για $R1=10$ km είναι -4.146 mGal και καθόλη τη διάρκεια της μεταβολής της ακτίνας $R1$ από 10 σε 30, 50, 100, 150, 200 km η μέση τιμή σταθεροποιείται σε αυτή την τιμή.
- Η μέση τιμή από τη μελέτη του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες ύψους για $R1=10$ km είναι 0 m και καθόλη τη διάρκεια της μεταβολής της ακτίνας $R1$ από 10 σε 30, 50, 100, 150, 200 km η μέση τιμή σταθεροποιείται σε αυτή την τιμή.

Για το GSDEM30 δίχως τη χρήση του γενικευμένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους έχουμε τα εξής:

- Η μέση τιμή από τη μελέτη των τοπογραφικών διορθώσεων στις ανωμαλίες βαρύτητας για $R1=10$ km είναι 4.655 mGal και μεταβάλλεται καθόλη τη διάρκεια της μεταβολής της ακτίνας $R1$ από 10 σε 30, 50, 100, 150, 200 km με μέση τιμή για ακτίνα $R1=200$ km την τιμή 4.790 mGal.
- Η μέση τιμή από τη μελέτη του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες βαρύτητας για $R1=10$ km είναι -4.038 mGal και μεταβάλλεται καθόλη τη διάρκεια της μεταβολής της ακτίνας $R1$ από 10 σε 30, 50, 100, 150, 200 km με μέση τιμή για ακτίνα $R1=200$ km την τιμή -4.119 mGal.
- Η μέση τιμή από τη μελέτη του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες ύψους για ακτίνα $R1=10$ km είναι 0.006 m και μεταβάλλεται καθόλη τη διάρκεια της μεταβολής της ακτίνας $R1$ από 10 σε 30, 50, 100, 150, 200 km με μέση τιμή για ακτίνα $R1=200$ km την τιμή 0.002 m.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω είναι ότι με τη χρήση του γενικευμένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους τα αποτελέσματα σταθεροποιούνται σε κάποια μέση τιμή καθόλη τη διάρκεια της μεταβολής της ακτίνας $R1$, ενώ με την απουσία του γενικευμένου κανάβου η μέση τιμή μεταβάλλεται καθόλη τη διάρκεια της μεταβολής της ακτίνας $R1$. Αυτό ισχύει και για 2 dtm.

Επειδή η μέση τιμή για ακτίνα $R1=100$ km και πάνω τα αποτελέσματα σταθεροποιούνται για το srtm1 και για το GSDEM30 καταλήγουμε στο ότι θα προχωρήσουμε στο 3ο βήμα με τα αποτελέσματα για ακτίνα $R1=100$ km προκειμένου να κάνουμε τη αναγωγή της βαρύτητας με τις τοπογραφικές διορθώσεις καθώς και την αναγωγή της βαρύτητας με το μοντέλο υπολειπόμενης τοπογραφίας.

5.3. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΑΓΩΓΕΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Σε αυτό το βήμα της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής εργασίας μελετάται η επίδραση των δεδομένων της τοπογραφίας στα δεδομένα των γεωδυναμικών μοντέλων. Μελετώνται δηλαδή οι ανωμαλίες που προκύπτουν μετά την αναγωγή της βαρύτητας με τα μοντέλα τοπογραφίας δηλαδή με την απομάκρυνση των υψηλών συχνοτήτων από τις ανωμαλίες βαρύτητας από τα γεωδυναμικά μοντέλα με τη αναγωγή της βαρύτητας με τις τοπογραφικές διορθώσεις (Terrain Corrections), καθώς και με την αναγωγή με το μοντέλο υπολειπόμενης τοπογραφίας (Residual Terrain Model).

Οι τοπογραφικές διορθώσεις καθώς και το μοντέλο υπολειπόμενης τοπογραφίας αντιστοιχούν στις υψηλές συχνότητες του φάσματος του πεδίου βαρύτητας. Για να υπολογιστούν οι ανηγμένες ανωμαλίες απομακρύνονται οι υψηλές συχνότητες από τις ανωμαλίες βαρύτητας οι οποίες προκύπτουν από τα Γεωδυναμικά Μοντέλα και έτσι οι τελικές ανηγμένες ανωμαλίες που προκύπτουν από τον υπολογισμό ομαλοποιούνται. Για τον υπολογισμό των ανηγμένων ανωμαλιών χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα τοπογραφίας srtm1 και GSDDEM30.

Οι ανηγμένες ανωμαλίες υπολογίζονται από τη σχέση

$$\Delta g_{RED} = \Delta g(EGM) + \Delta g_{tc} \quad (5.1)$$

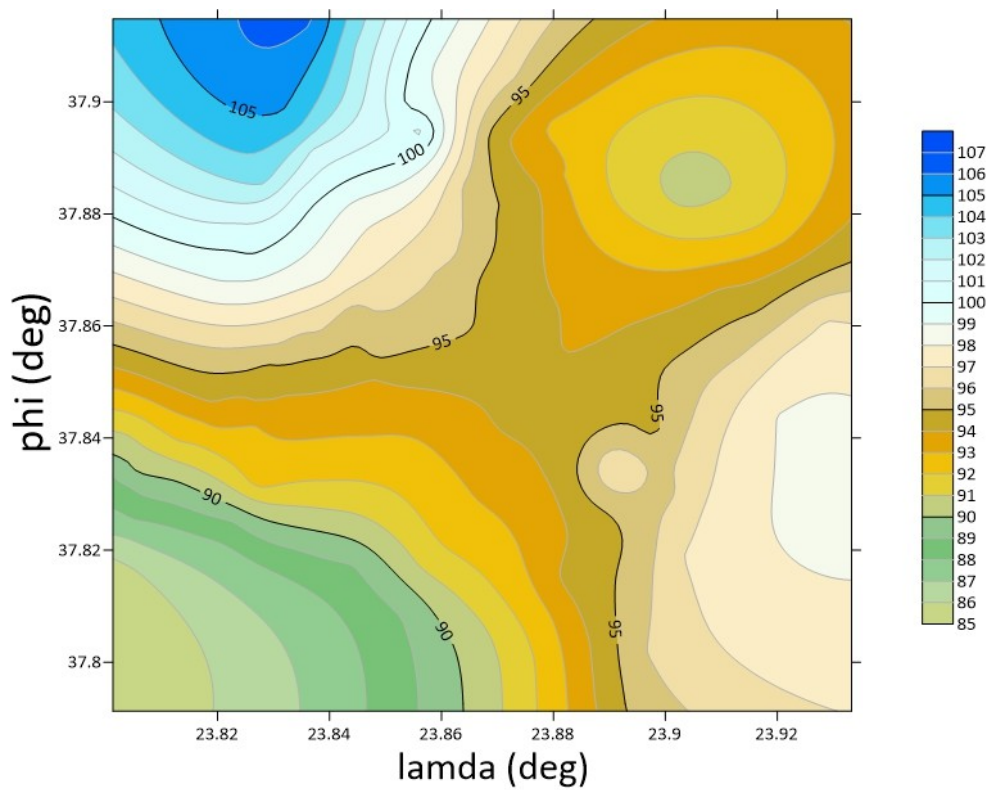
για την περίπτωση των τοπογραφικών διορθώσεων και από τη σχέση

$$\Delta g_{RED} = \Delta g(EGM) - \Delta g_{RTM} \quad (5.2)$$

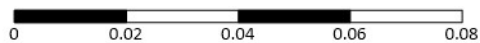
για την περίπτωση του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας.

5.3.1. ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

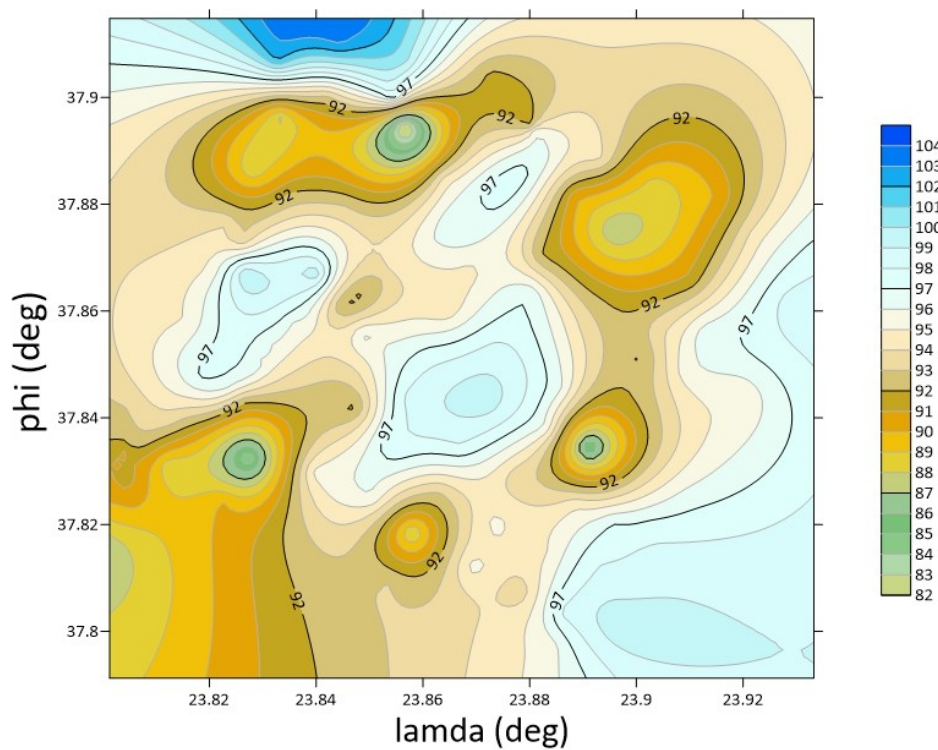
Ακολουθούν οι χάρτες με τους υπολογισμούς των ανηγμένων ανωμαλιών για το Μοντέλο τοπογραφίας srtm1:



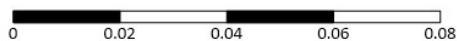
ΧΑΡΤΗΣ $\Delta g(\text{EGM2008}) + \Delta g_{\text{tc}}(\text{srtm1})$ (mGal)



Σχήμα 5.22: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ EGM2008 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΑΝΩΓΛΥΦΟΥ srtm1 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=999

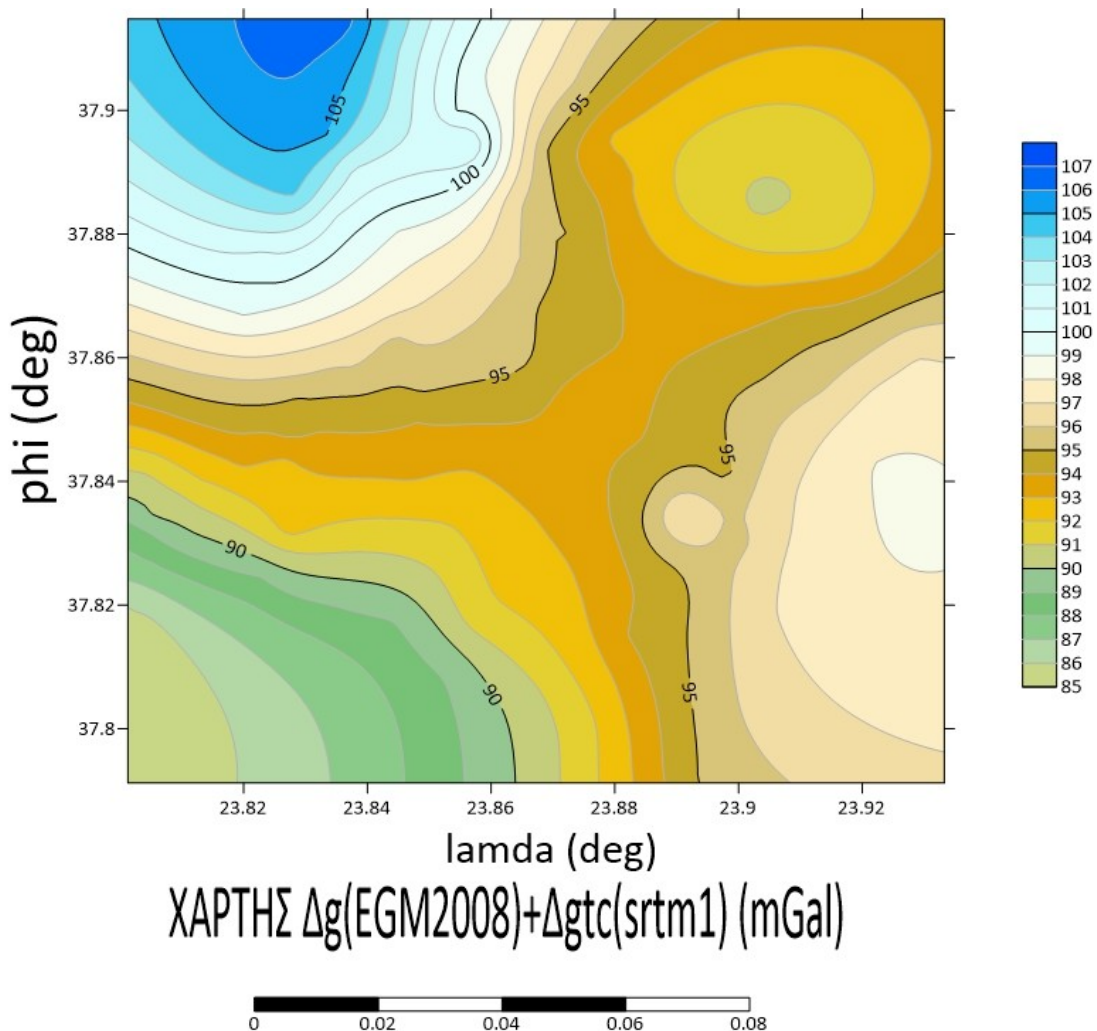


ΧΑΡΤΗΣ $\Delta g(\text{EGM2008}) - \Delta g_{\text{RTM}}(\text{srtm1})$ (mGal)

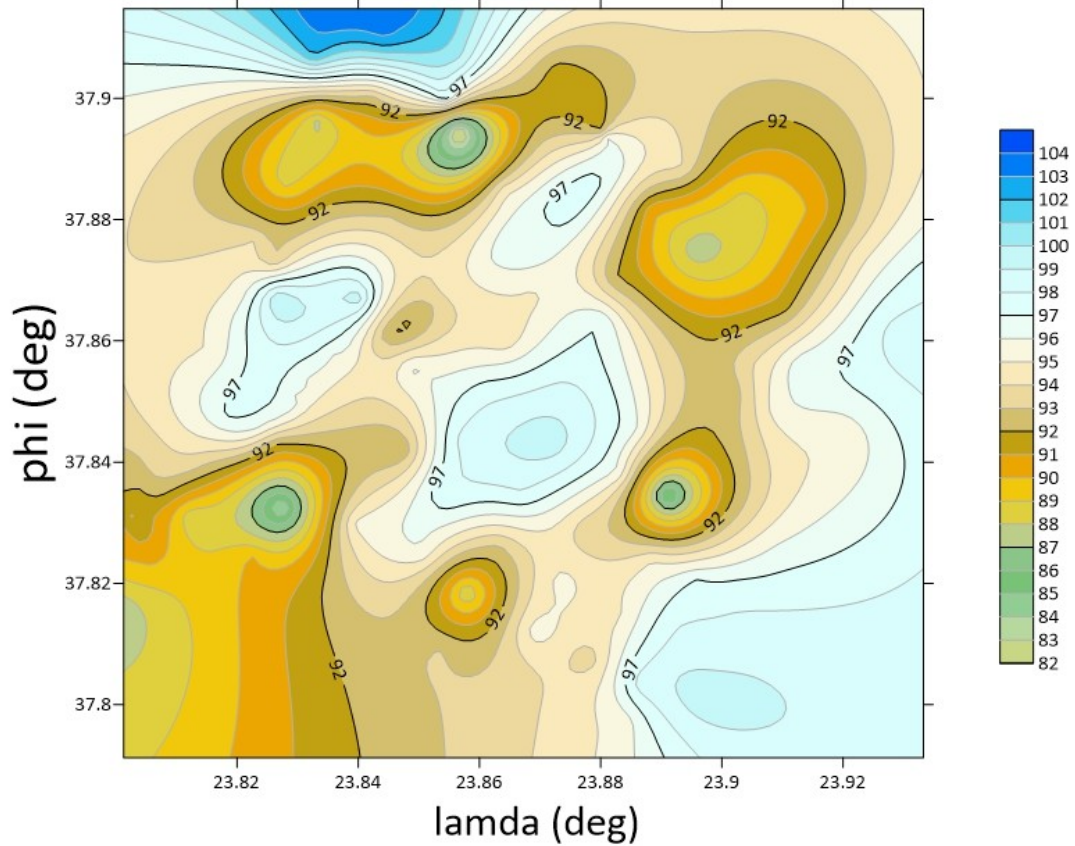


Σχήμα 5.23: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ EGM2008 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1 (mGal) ΓΙΑ $R_1=100$, $R_2=999$

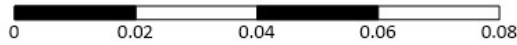
5.3.2. ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΔΙΧΩΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ



Σχήμα 5.24: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ EGM2008 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ srtm1 (mGal) ΓΙΑ $R_1=100$, $R_2=0$



ΧΑΡΤΗΣ $\Delta g(\text{EGM2008}) - \Delta g_{\text{RTM}}(\text{srtm1})$ (mGal)



Σχήμα 5.25: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ EGM2008 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1 (mGal) ΓΙΑ $R_1=100$, $R_2=0$

Πίνακας 5.11: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΝΗΓΜΕΝΩΝ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ SRTM1 (mGal)

R1=100, R2=999						
DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
$\Delta g(\text{EGM2008}) + \Delta g_{\text{tc}}(\text{srtm1})$	85.378	106.226	94.829	19.517	4.417	20.847
$\Delta g(\text{EGM2008}) - \Delta g_{\text{RTM}}(\text{srtm1})$	82.104	103.817	94.206	10.300	3.209	21.713
$\Delta g(\text{XGM2019}) + \Delta g_{\text{tc}}(\text{srtm1})$	82.628	102.365	92.997	23.140	4.810	19.736
$\Delta g(\text{XGM2019}) - \Delta g_{\text{RTM}}(\text{srtm1})$	79.359	99.956	92.361	14.477	3.804	20.597
$\Delta g(\text{SGG-UGM-2}) + \Delta g_{\text{tc}}(\text{srtm1})$	90.379	106.515	97.070	15.864	3.983	16.136
$\Delta g(\text{SGG-UGM-2}) - \Delta g_{\text{RTM}}(\text{srtm1})$	84.303	104.107	96.448	9.548	3.090	19.804
$\Delta g(\text{EIGEN-6C4}) + \Delta g_{\text{tc}}(\text{srtm1})$	84.048	104.505	93.625	17.876	4.228	20.456
$\Delta g(\text{EIGEN-6C4}) - \Delta g_{\text{RTM}}(\text{srtm1})$	79.825	103.109	93.013	14.961	3.868	23.283
$\Delta g(\text{GECO}) + \Delta g_{\text{tc}}(\text{srtm1})$	84.855	105.351	94.346	17.997	4.242	20.495
$\Delta g(\text{GECO}) - \Delta g_{\text{RTM}}(\text{srtm1})$	80.553	104.001	93.735	15.440	3.929	23.448

Πίνακας 5.12: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΝΗΓΜΕΝΩΝ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 (mGal)

R1=100, R2=999						
DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
$\Delta g(\text{EGM2008}) + \Delta g_{\text{tc}}(\text{GSDEM30})$	85.506	106.225	94.845	19.635	4.431	20.718
$\Delta g(\text{EGM2008}) - \Delta g_{\text{RTM}}(\text{GSDEM30})$	82.483	103.783	94.221	10.084	3.175	21.300
$\Delta g(\text{XGM2019}) + \Delta g_{\text{tc}}(\text{GSDEM30})$	82.756	102.364	93.017	23.150	4.811	19.608

$\Delta g(\text{XGM2019}) - \Delta g\text{RTM}(\text{GSDEM30})$	79.720	99.922	92.376	14.254	3.775	20.202
$\Delta g(\text{SGG-UGM-2}) + \Delta g\text{tc}(\text{GSDEM30})$	90.516	106.515	97.088	16.232	4.028	15.998
$\Delta g(\text{SGG-UGM-2}) - \Delta g\text{RTM}(\text{GSDEM30})$	84.683	104.075	96.463	9.539	3.088	19.392
$\Delta g(\text{EIGEN-6C4}) + \Delta g\text{tc}(\text{GSDEM30})$	84.195	104.505	93.675	17.641	4.200	20.310
$\Delta g(\text{EIGEN-6C4}) - \Delta g\text{RTM}(\text{GSDEM30})$	80.186	103.182	93.066	14.508	3.809	22.995
$\Delta g(\text{GECO}) + \Delta g\text{tc}(\text{GSDEM30})$	85.002	105.394	94.397	17.744	4.212	20.392
$\Delta g(\text{GECO}) - \Delta g\text{RTM}(\text{GSDEM30})$	80.913	104.074	93.787	14.966	3.868	23.160

Πίνακας 5.13: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΝΗΓΜΕΝΩΝ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ SRTM1 ΔΙΧΩΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (mGal)

R1=100, R2=0						
DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
$\Delta g(\text{EGM2008}) + \Delta g\text{tc}(\text{srtm1})$	85.212	106.493	94.858	20.350	4.511	21.280
$\Delta g(\text{EGM2008}) - \Delta g\text{RTM}(\text{srtm1})$	82.366	103.828	94.213	10.048	3.169	21.461
$\Delta g(\text{XGM2019}) + \Delta g\text{tc}(\text{srtm1})$	82.463	102.632	93.023	23.860	4.884	20.169
$\Delta g(\text{XGM2019}) - \Delta g\text{RTM}(\text{srtm1})$	79.614	99.967	92.367	14.147	3.761	20.352
$\Delta g(\text{SGG-UGM-2}) + \Delta g\text{tc}(\text{srtm1})$	90.214	106.867	97.100	16.825	4.101	16.653
$\Delta g(\text{SGG-UGM-2}) - \Delta g\text{RTM}(\text{srtm1})$	84.566	104.118	96.454	9.501	3.082	19.551
$\Delta g(\text{EIGEN-6C4}) + \Delta g\text{tc}(\text{srtm1})$	83.886	104.772	93.638	19.115	4.372	20.886
$\Delta g(\text{EIGEN-6C4}) - \Delta g\text{RTM}(\text{srtm1})$	80.085	103.150	93.031	14.618	3.823	23.065
$\Delta g(\text{GECO}) + \Delta g\text{tc}(\text{srtm1})$	84.693	105.618	94.360	19.248	4.387	20.924

$\Delta g(\text{GECO})-\Delta g\text{RTM}(\text{srtm1})$	80.813	104.042	93.752	15.092	3.884	23.229
--	--------	---------	--------	--------	-------	--------

Πίνακας 5.14: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΝΗΓΜΕΝΩΝ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 ΔΙΧΩΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (mGal)

R1=100, R2=0						
DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
$\Delta g(\text{EGM2008})+\Delta g\text{tc}(\text{GSDEM30})$	85.212	106.491	94.858	20.350	4.511	21.278
$\Delta g(\text{EGM2008})-\Delta g\text{RTM}(\text{GSDEM30})$	82.343	103.793	94.212	10.070	3.173	21.450
$\Delta g(\text{XGM2019})+\Delta g\text{tc}(\text{GSDEM30})$	82.463	102.630	93.023	23.860	4.884	20.167
$\Delta g(\text{XGM2019})-\Delta g\text{RTM}(\text{GSDEM30})$	79.590	99.932	92.366	14.189	3.766	20.341
$\Delta g(\text{SGG-UGM-2})+\Delta g\text{tc}(\text{GSDEM30})$	90.214	106.866	97.099	16.825	4.101	16.652
$\Delta g(\text{SGG-UGM-2})-\Delta g\text{RTM}(\text{GSDEM30})$	84.542	104.096	96.454	9.493	3.081	19.554
$\Delta g(\text{EIGEN-6C4})+\Delta g\text{tc}(\text{GSDEM30})$	83.886	104.770	93.638	19.113	4.371	20.884
$\Delta g(\text{EIGEN-6C4})-\Delta g\text{RTM}(\text{GSDEM30})$	80.065	103.126	93.032	14.611	3.822	23.061
$\Delta g(\text{GECO})+\Delta g\text{tc}(\text{GSDEM30})$	84.693	105.616	94.359	19.245	4.386	20.922
$\Delta g(\text{GECO})-\Delta g\text{RTM}(\text{GSDEM30})$	80.792	104.019	93.753	15.084	3.883	23.226

Κατά την πραγματοποίηση του 3ου βήματος με το οποίο γίνεται η απομάκρυνση της τοπογραφίας από τις ανωμαλίες βαρύτητας οι οποίες υπολογίζονται από τα γεωδυναμικά μοντέλα EGM2008, XGM2019, SGG-UGM-2, EIGEN-6C4, GECO παρατηρούμε ότι οι ανηγμένες ανωμαλίες οι οποίες προκύπτουν από αυτή την απομάκρυνση είναι πιο ομαλές από τις ανωμαλίες βαρύτητας του 2ου βήματος. Αυτό φαίνεται από τα στατιστικά των ανωμαλιών βαρύτητας του 3ου βήματος σε σύγκριση με τα στατιστικά των ανωμαλιών βαρύτητας του 2ου βήματος. Τα στατιστικά μεγέθη που περιγράφουν την ομαλοποίηση του πεδίου είναι ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση (mean, St.Dev.).

Από τους συγκεντρωτικούς πίνακες για τα 2 μοντέλα τοπογραφίας srtm1, GSDEM30 και συγκεκριμένα από τη μελέτη της επίδρασης των τοπογραφικών διορθώσεων στις ανωμαλίες βαρύτητας και από τη μελέτη της επίδρασης του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες βαρύτητας σε σύγκριση με τα στατιστικά του 3ου βήματος υπάρχει ομαλοποίηση των ανηγμένων ανωμαλιών που προκύπτουν. Για να είναι ομαλοποιημένο το πεδίο πρέπει να έχει μέσο όρο κατά το δυνατόν μικρότερο και μειωμένη τυπική απόκλιση. Η τυπική απόκλιση εκφράζει την διασπορά γύρω από τον μέσο όρο. Οπότε όσο μικρότερη τυπική απόκλιση έχουν οι ανηγμένες ανωμαλίες τόσο πιο πολύ έχουν ομαλοποιηθεί. Και στις δύο περιπτώσεις σύγκρισης το γεωδυναμικό μοντέλο SGG-UGM-2 παρουσιάζει πιο εξομαλυσμένα αποτελέσματα. Βεβαίως, πρέπει να τονιστεί εδώ ότι η εξομάλυνση του πεδίου θα φανεί τελικά στην περίπτωση χρησιμοποίησης τιμών των ανωμαλιών βαρύτητας που προκύπτουν από μετρήσεις στην περιοχή. Τότε θα είναι ασφαλέστερα τα συμπεράσματα ομαλοποίησης των τιμών της βαρύτητας με τη χρήση των γεωδυναμικών μοντέλων και των ψηφιακών μοντέλων τοπογραφίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο:

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:

Σε αυτή την εργασία πραγματοποιήθηκε ανάλυση των σύγχρονων δορυφορικών ψηφιακών μοντέλων εδάφους και η διερεύνησή της επίδρασης τους στη μοντελοποίηση του πεδίου βαρύτητας. Ειδικότερα, μελετήθηκε η επιρροή της επιλογής διαφορετικών ψηφιακών μοντέλων εδάφους στον υπολογισμό των τοπογραφικών επιδράσεων στις ανωμαλίες βαρύτητας και στις ανωμαλίες ύψους.

Στο αρχικό βήμα πραγματοποιήθηκε η συλλογή των δεδομένων των ψηφιακών μοντέλων εδάφους. Χρησιμοποιήθηκαν επτά παγκόσμια ψηφιακά μοντέλα εδάφους με ελεύθερη πρόσβαση των δεδομένων τους από το διαδίκτυο. Η διαδικασία εξαγωγής της πληροφορίας που ακολουθήθηκε εμπεριέχει και την αρχική αξιολόγηση των υψομετρικών δεδομένων με την οπτική αλλά και με την αριθμητική σύγκριση των μοντέλων. Από το σύνολο των ψηφιακών μοντέλων εδάφους που μελετήθηκαν, το Tandem-X παρουσίασε αρκετά προβλήματα ιδιαίτερα σε δεδομένα στις θαλάσσιες περιοχές. Για τον λόγο αυτό αποφασίστηκε η χρήση κατάλληλου αρχείου ακτογραμμής (land mask) για την απομάκρυνση των προβληματικών δεδομένων. Οι διαφορές των ψηφιακών μοντέλων που υπολογίστηκαν αντικατοπτρίζουν τη διαφορετική ποιότητα των δεδομένων. Οφείλουμε να τονίσουμε ότι στο σύνολο των ψηφιακών μοντέλων εδάφους που χρησιμοποιήθηκαν πρωτογενή δεδομένα δίχως να χρησιμοποιηθεί κάποια διαδικασία φιλτραρίσματος ή μετασχηματισμού. Παρατηρήθηκε η κοινή στατιστική συμπεριφορά των μοντέλων SRTM, GSD30, NASADEM και Copernicus_DEM λόγω της βασικής προέλευσής τους από την αποστολή SRTM. Τα δεδομένα του ASTER παρουσίασαν κάποια συστηματική διαφορά περίπου 2 μέτρων, η οποία πιθανόν να οφείλεται στα διαφορετικά συστήματα αναφοράς και γεωειδούς που χρησιμοποιήθηκαν. Τα δεδομένα του Tandem-X παρουσίασαν κάποια εξαιρετικά διαφορετική στατιστική συμπεριφορά η οποία σε συνδυασμό με τα προβληματικά θαλάσσια δεδομένα του μοντέλου οδηγούν σε αμφισβητήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά την τελική ποιότητά τους.

Για τον υπολογισμό των τοπογραφικών επιδράσεων από τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους επιλέχθηκαν 5 γεωδυναμικά μοντέλα και από αυτά υπολογίστηκαν οι ανωμαλίες βαρύτητας και ανωμαλίες ύψους. Τα συναρτησιακά αυτά του πεδίου βαρύτητας υπολογίστηκαν σε σημεία του ερευνητικού προγράμματος MODERNGRAVNET. Στα σημεία αυτά διερευνήθηκαν: α) η επίδραση των διαφορετικών ψηφιακών μοντέλων εδάφους στην εκτίμηση των τοπογραφικών και των έμμεσων επιδράσεων στην ανωμαλία ύψους β) η επίδραση των διαφορετικών ακτίνων ολοκλήρωσης για τον υπολογισμό των τοπογραφικών επιδράσεων και γ) η ικανότητα αναγωγής των μετρήσεων και εξομάλυνσης του πεδίου των ανωμαλιών που προέρχονται από κάποιο παγκόσμιο γεωδυναμικό μοντέλο.

Για την πραγματοποίηση του αρχικού ελέγχου πρέπει να γίνει η αντιστοίχιση της διακριτικής ικανότητας που έχουν τα γεωδυναμικά μοντέλα με τη διακριτική ικανότητα που έχουν τα ψηφιακά

μοντέλα εδάφους έτσι ώστε να μην υπάρχει παραποίηση συχνοτήτων (aliasing frequency). Για να γίνει η αντιστοίχιση αυτή έπρεπε να επιλεγεί κάποιος γενικευμένος κλίμακος αναφοράς κατάλληλης διακριτικής ικανότητας, που να αντιστοιχεί με τη διακριτική ικανότητα που έχουν τα γεωδυναμικά μοντέλα. Αυτό γίνεται με την εισαγωγή κατάλληλων φίλτρων για το υπολογιζόμενο dtm.

Σε αυτή την εργασία μελετήθηκαν τα μοντέλα τοπογραφίας srtm1, ASTER, GSD30, NASADEM, Copernicus_DEM, Tandem-X αρχικά χωρίς την επίδραση των γεωδυναμικών μοντέλων.

Μελετήθηκαν τα εξής:

- Η επίδραση των τοπογραφικών διορθώσεων στις ανωμαλίες βαρύτητας
- Η επίδραση του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες βαρύτητας
- Η επίδραση του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας στις ανωμαλίες ύψους

Για τη δημιουργία γενικευμένων κλίμακων και κλίμακων αναφοράς καθώς και για τον υπολογισμό των τοπογραφικών επιδράσεων χρησιμοποιήθηκαν υπορουτίνες της συλλογής λογισμικού μοντελοποίησης του πεδίου βαρύτητας Gravsoft. Οι υπολογισμένες τοπογραφικές διορθώσεις στις ανωμαλίες της βαρύτητας κυμάνθηκαν στα ίδια επίπεδα για κάθε ψηφιακό μοντέλο εδάφους που χρησιμοποιήθηκε. Αισθητή διαφορά στις υπολογισμένες τοπογραφικές διορθώσεις παρατηρήθηκε στα δεδομένα του ψηφιακού μοντέλου εδάφους Tandem-X, το οποίο όπως είδαμε και στην ανάλυση των μοντέλων αποδεικνύεται προβληματικό. Από την άλλη, ο υπολογισμός των έμμεσων επιδράσεων στις ανωμαλίες ύψους δίνει πολύ κοντινά αποτελέσματα σε συγγενή μοντέλα εδάφους, δηλαδή σε μοντέλα που προέρχονται από αρχικά πρωτογενή με ενσωμάτωση βελτιώσεων. Οι διαφορές στις έμμεσες επιδράσεις στις ανωμαλίες ύψους είναι πολύ μικρές αφού ούτως ή άλλως από τη θεωρία οι επιδράσεις αυτές είναι μια με δύο τάξεις μεγέθους μικρότερες από τις έμμεσες επιδράσεις στα υψόμετρα του γεωειδούς. Συμπερασματικά η επιλογή διαφορετικών ψηφιακών μοντέλων εδάφους έχει αισθητή επίδραση στις υπολογιζόμενες διορθώσεις λόγω αναγλύφου στις ανωμαλίες βαρύτητας, μικρότερη στο μοντέλο της υπολειπόμενης τοπογραφίας και αμελητέα στις έμμεσες επιδράσεις στις ανωμαλίες ύψους.

Σχετικά με την επιλογή της ακτίνας ολοκλήρωσης για τον υπολογισμό των τοπογραφικών επιδράσεων μελετήθηκε η επιλογή της ακτίνας του εσωτερικού (λεπτομερούς) και του εξωτερικού (γενικευμένου) κλίμακου δεδομένων των ψηφιακών μοντέλων εδάφους στον υπολογισμό των τοπογραφικών επιδράσεων. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του εσωτερικού κλίμακου δεδομένων μέχρι κάποια ορισμένη ακτίνα, δηλαδή με τη μεταβολή της ακτίνας r_1 , θεωρώντας $r_2=999$ δηλαδή τη χρήση του γενικευμένου κλίμακου μέχρι τα 1000 km. Η χρήση του εσωτερικού λεπτομερούς κλίμακου δεδομένων χρησιμοποιήθηκε έως τα 10, 30, 50, 100, 150 και 200 km. Στη δεύτερη περίπτωση ο εξωτερικός κλίμακος δεδομένων δε χρησιμοποιήθηκε καθόλου ($r_2=0$). Μελετήθηκαν οι επιδράσεις στις τρεις περιπτώσεις: α) στις διορθώσεις λόγω αναγλύφου στις ανωμαλίες της βαρύτητας, β) οι επιδράσεις του υπολειπόμενου μοντέλου στις ανωμαλίες βαρύτητας και γ) οι έμμεσες επιδράσεις του υπολειπόμενου μοντέλου στις ανωμαλίες ύψους. Στην περίπτωση των υπολογισμένων τοπογραφικών επιδράσεων με τη χρήση του υπολειπόμενου μοντέλου τοπογραφίας οι τιμές των επιδράσεων υπολογίζονται μεταξύ του -11 και 14 mGal. Στην περίπτωση της περιοχής μελέτης οι τιμές που υπολογίστηκαν κάποιες θετικές και αρνητικές τιμές. Οι διαφορές στις τιμές των τοπογραφικών διορθώσεων παρατηρούνται μικρότερου εύρους, ενώ στην περίπτωση του μοντέλου υπολειπόμενης τοπογραφίας εντοπίζονται μεγαλύτερες διαφορές. Επιπλέον φαίνεται ξεκάθαρα η εξομάλυνση των διαφορών στην περίπτωση του υπολειπόμενου μοντέλου λόγω της επιφάνειας αναφοράς που χρησιμοποιείται και της μικρότερης επίδρασης του μοντέλου τοπογραφίας στα τελικά αποτελέσματα. Στην περίπτωση απουσίας γενικευμένου μοντέλου παρατηρήθηκαν τιμές των διορθώσεων λόγω

αναγλύφου μεταξύ 3,4 μέχρι 8,4 mGal. Στην περίπτωση της μελέτης μας με τη χρήση του γενικευμένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους για την περίπτωση των ανωμαλιών βαρύτητας οι τιμές των ανωμαλιών βαρύτητας που υπολογίσαμε είναι μεταξύ των τιμών 3,4 μέχρι 7,2 mGal, δηλαδή οι τιμές των ανωμαλιών βαρύτητας έχουν λίγο μικρότερες τιμές από αυτές στην περίπτωση της χρήσης του γενικευμένου μοντέλου. Παρόλα αυτά οι τιμές των ανωμαλιών βαρύτητας και στις 2 περιπτώσεις παραμένουν κοντινές. Οι διαφορές αυτές είναι πολύ μικρές της τάξης του χιλιοστού του mGal στην περίπτωση των διορθώσεων λόγω αναγλύφου και της τάξης του εκατοστού του mGal στην περίπτωση του RTM. Στην περίπτωση των έμμεσων επιδράσεων οι τιμές των ανωμαλιών ύψους κυμαίνονται από -0,025 μέχρι 0,065 m το οποίο είναι επίσης λογικό αφού είναι πολύ κοντά με τις τιμές των ανωμαλιών ύψους με τη χρήση του coarse dtm και οι οποίες είναι από -0,02 μέχρι 0,05 m. Η διαφορά του 1,5 cm στις μέγιστες τιμές θεωρείται σημαντική στη μοντελοποίηση του γεωειδούς, αφού οι σύγχρονες αντιλήψεις της Φυσικής Γεωδαισίας αναφέρονται στην προσέγγιση του γεωειδούς ενός εκατοστού (1 cm geoid). Στην περίπτωση αυτή η χρήση του γενικευμένου ψηφιακού μοντέλου εδάφους για τον υπολογισμό των έμμεσων επιδράσεων στις ανωμαλίες ύψους θεωρείται αναγκαία.

Τελευταίο αντιμετωπίστηκε το ζήτημα της επίδρασης των τοπογραφικών διορθώσεων στις αναγωγές των δεδομένων των γεωδυναμικών μοντέλων.

Πραγματοποιήθηκε απομάκρυνση των υψηλών συχνοτήτων τις οποίες αποτελούν οι ανωμαλίες βαρύτητας που υπολογίζονται από τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους από τις χαμηλές συχνότητες τις οποίες αποτελούν οι ανωμαλίες βαρύτητας που υπολογίζονται από τα γεωδυναμικά μοντέλα και έτσι το πεδίο βαρύτητας ομαλοποιείται. Αυτό φαίνεται και από τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Σε όλες τις περιπτώσεις σύγκρισης το γεωδυναμικό μοντέλο SGG-UGM-2 παρουσιάζει πιο εξομαλυσμένα αποτελέσματα. Βεβαίως, πρέπει να τονιστεί εδώ ότι η εξομάλυνση του πεδίου θα φανεί τελικά στην περίπτωση της χρησιμοποίησης τιμών των ανωμαλιών βαρύτητας που προκύπτουν από μετρήσεις στην περιοχή. Τότε θα είναι ασφαλέστερα τα συμπεράσματα της ομαλοποίησης των τιμών των μετρήσεων από τη χρήση των γεωδυναμικών μοντέλων και των ψηφιακών μοντέλων τοπογραφίας.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι η επιλογή του κατάλληλου ψηφιακού μοντέλου εδάφους για τη διαδικασία του υπολογισμού των τοπογραφικών επιδράσεων αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα στη μοντελοποίηση του πεδίου βαρύτητας σε κάποια περιοχή και στην εύρεση γεωειδούς ακριβείας. Η αναγκαιότητα για την εκτίμηση εθνικού γεωειδούς με ακρίβεια κάτω του εκατοστού, το οποίο θα αποτελέσει τη βάση για ένα νέο υψομετρικό δίκτυο υψηλής ποιότητας, υπαγορεύει τη όσο το δυνατό καλύτερη μοντελοποίηση των επιδράσεων της τοπογραφίας. Οι επιδράσεις αυτές είναι υψηλής συχνότητας και μπορούν να επηρεάσουν συστηματικά την τελική εκτίμηση της επιφάνειας του γεωειδούς. Ειδικότερα οι έμμεσες επιδράσεις στα υψόμετρα του γεωειδούς και στις ανωμαλίες ύψους είναι πολύ σημαντικές και ο λανθασμένος υπολογισμός τους μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα μεγαλύτερα της επιδιωκόμενης ακρίβειας του ενός εκατοστού. Αυτό φάνηκε ιδιαίτερα στην επιλογή των διαφορετικών ακτίνων ολοκλήρωσης στον υπολογισμό των έμμεσων επιδράσεων, όπου οι μέγιστες διαφορές στους υπολογισμούς έφτασαν το 1,5 εκατοστό. Επιπλέον, σημαντική είναι και η επιλογή του γεωδυναμικού μοντέλου αναφοράς, γιατί από τη συνεισφορά του εξαρτάται η ασφαλής απομάκρυνση των γνωστών χαμηλών συχνοτήτων του πεδίου. Η εξομάλυνση του τελικού πεδίου των δεδομένων αποτελεί σημαντικό παράγοντα της επιτυχίας των αλγορίθμων μοντελοποίησης του πεδίου τόσο στην περίπτωση των ολοκληρωματικών- φασματικών όσο και σε αυτή των στοχαστικών-στατιστικών μεθόδων.

Μια περαιτέρω μελέτη θα μπορούσε να αφορά στην εξέταση των πρωτογενών μετρήσεων βαρύτητας και στην επιλογή των κατάλληλων γεωδυναμικών μοντέλων και των ψηφιακών μοντέλων εδάφους για την εξομάλυνση του τελικού πεδίου. Η εύρεση τοπικού γεωειδούς στην περιοχή αποτελεί το προτεινόμενο επόμενο βήμα χρησιμοποιώντας τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας και την κατάλληλη επιλογή διαδικασιών μοντελοποίησης του πεδίου βαρύτητας και της τοπογραφίας. Στο πλαίσιο αυτό είναι δυνατή και η μελέτη ανάπτυξης σφαιρικών αρμονικών της τοπογραφίας τα οποία μπορούν να συνδυαστούν βέλτιστα με τα αντίστοιχα αναπτύγματα του γεωδυναμικού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

Για τη συγγραφή αυτής της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν πληροφορίες:

Αραμπέλος Δ. και Η. Τζιαβός (2007). Εισαγωγή στο πεδίο βαρύτητας της Γης. Εκδόσεις Ζήτη.
Βασακάκης Χ.Ι. (2010). Η συνεισφορά των μετρήσεων βαρύτητας στη μελέτη του γεωειδούς.
Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Τοπογραφίας, ΤΕΙ Αθήνας

Kenyon SC, Pavlis NK. (1996) The development of a global surface gravity data base to be used to the joint DMA/GSFC geopotential model. In Rapp RH. Cazenave AA. Nerem RS (eds).
Global gravity field and its temporal variations. IAG symposia, vol 116. Springer. Berlin.

Pavlis NK(1996) Global geopotential solutions to degree 500: preliminary results. Presented at the XXI, general assembly of the European geophysical Society, Den Haag.

Pavlis NK, Rapp RH (1990). The development of an isostatic gravitational model to degree 360 and its use in global gravity modelling *Geoph J Int*100:369-378

Rapp RH, Wang YM, Pavlis NK (1991). The Ohio State 1991 geopotential and sea surface topography harmonic coefficient models. Rep No.410, Department of Geodetic Sciences and Surveying. The Ohio State University, Columbus.

Lemoine FG, Kenyon SC, Factor JK, TrimmerKG, Pavlis NK, Chinn DS, Cox CM, Klosko SM, Luthcke SB, Torrence MH, Wang WM, Williamson RG, Pavlis EC, Rapp RH, Olson TR (1998). The development of the joint NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) geopotential model EGM96. NASA/TP-1998-206861. Goddard Space Flight Center, Greenbelt.

Reigber C et al (2001). Global gravity field recovery with CHAMP. Presented at the 2001 IAG scientific assembly. Budapest, 2-7 Sept 2001.

Tapley BD, Bettadpur S, Warkins W, Reigber C (2004). The gravity recovery and climate experiment.: mission overview and early results. *Geophys Res Let* 31:L09607.
Doi:10.1029/2004GLO19920.

Tapley BD, Ries J, Bettadpur S, Chambers D, Cheng M, Condi F, Gunter B, Kang Z, Nagel P, Pastor R, Pekker T, Poole S, Wang F (2005). GGM02- An improved Earth gravity field model from GRACE *J Geod* 79(8):467-478.
doi:10.1007/s00190-005-0480-z.

Luthcke SB, Row Lands DD Lemoine FG, Klosko SM, China D, Mc Carthly JJ (2006). Monthly spherical harmonic gravity field solutions determined from GRACE inter Satellite range rate data alone *Geophys Res Let* 33:L02402.

Doi:10.1029/2005GL024846.

Schwarz K-P (1984). Data types and the spectral properties. In Schwarz K-P (ed). Proceedings of the international summer school on local gravity field approximation. Beijing, pp 1-66.

Φωτίου Α. (2007). Ελλειψοειδής Γεωδαισία και Γεωδαιτικά Δίκτυα. 2η έκδοση. Εκδόσεις Ζήτη. Από το συλλογικό βιβλίο “Geoid Determination Theory and Methods” Sanso F, Sideris M.

[https://www.researchgate.net/figure/Geoid/Geoid Differences between EGM96 and OSU91A](https://www.researchgate.net/figure/Geoid/Geoid-Differences-between-EGM96-and-OSU91A)

(<https://cdis.nasa.gov/926/egm96/egm96.html>),

Ακόμα χρησιμοποιήθηκαν αυτές οι ιστοσελίδες για το κατέβασμα των εξής ψηφιακών μοντέλων εδάφους:

του ψηφιακού μοντέλου εδάφους srtm1:

<https://portal.opentopography.org/raster?opentopoID=OTSRTM.082015.4326.1>

του ψηφιακού μοντέλου εδάφους ASTER:

<https://gis.geography.com/free-global-dem-data-sources/>

Πληροφορίες

<https://res.mdpi.com/remotesensing-01156.pdf> Abrams M., Crippen R., and Fujisada H. Edition 4 April 2020

του ψηφιακού μοντέλου εδάφους ETOPO1:

<https://ngdc.noaa.gov/global/etopo1>

Πληροφορίες

<https://docslib.org/doc/7770306/etopo1-1-arc-minute-global-relief-model-procedure-data-sources-and-analysis>

του ψηφιακού μοντέλου εδάφους GSDEM30:

<https://www.preprints.org/manuscript/201906.0036> A Global Seamless DEM Based on Multi-Source Data Fusion (GSDEM-30): Product Generation and Evaluation Yue L, Shen H, Liu L, Yuan Q, Zhang L. Version 1 4 June 2019

το ψηφιακό μοντέλο εδάφους NASADEM:

<https://search.earthdata.nasa.gov>

Πληροφορίες

<https://earthdata.nasa.gov/esds/competitive-programs/measures/nasadem>

το ψηφιακό μοντέλο εδάφους Copernicus:

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/elevation/Copernicus-dem/elevation>

Πληροφορίες

<https://spacedata.copernicus.eu/documents/20126/0/GEO1988-CopernicusDEM-RP-001ValidationReport+v1.0.pdf> Airbus Defence and Space GmbH.

το ψηφιακό μοντέλο εδάφους Tandem-X:

<https://download.geoservice.dir.de/TDM90/>

Πληροφορίες για το ψηφιακό μοντέλο εδάφους Tandem-X:

<https://geoservice.dlr.de/web/dataguide/tdm90/>

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους αναζητήθηκαν από τον κατάλογο Free Global Dems που είναι στην ιστοσελίδα

https://usna.edu/Users/oceno/pguth/md_help/html/global_dems/html

Για τις επεξεργασίες των ψηφιακών μοντέλων εδάφους χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Gravsoft. Πληροφορίες για το λογισμικό Gravsoft από την ιστοσελίδα

<https://www.scribd.com/document/207911750/An-Overview-Manual-for-the-GRAVSOF> (R. Forsberg and C. C. Tscherning (1998). An overview manual for the GRAVSOF geodetic gravity field modelling programs. National Space Institute (DTU-Space), Denmark)

Για την ένωση των αρχείων των ψηφιακών μοντέλων εδάφους χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά επεξεργασίας ψηφιακών δεδομένων ArcGIS και QGIS

<https://www.malavida.com/en/soft/arcgis/download>

<https://www.qgis.org/en/site/>

Πληροφορίες για το ερευνητικό ModernGravNet αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα του προγράμματος

<https://olimpia.topo.auth.gr/moderngravnet/>

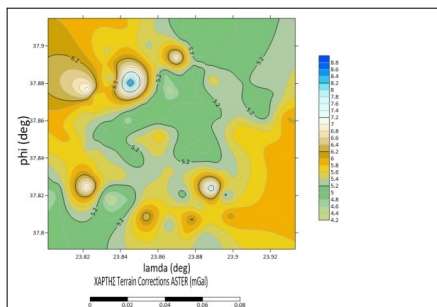
Οι υπολογισμοί με τα γεωδυναμικά μοντέλα έγιναν από την ιστοσελίδα

<https://icgem.gfz-potsdam.de/home>

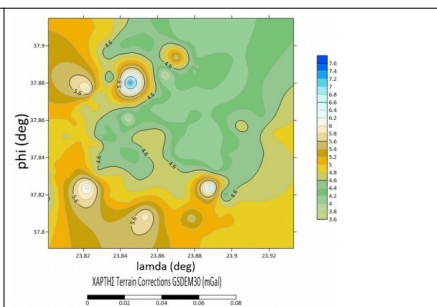
Για την δημιουργία των χαρτών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Surfer 16.

<https://civilnode.com/download-software/golden-software-surfer16.6.484>

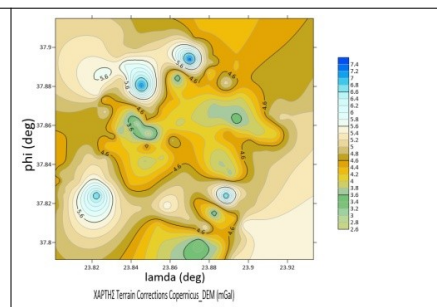
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



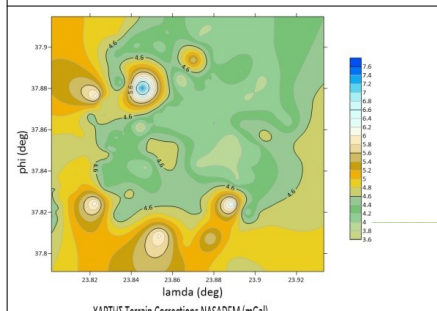
Σχήμα 5.1: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ASTER ΓΙΑ R1=50, R2=999



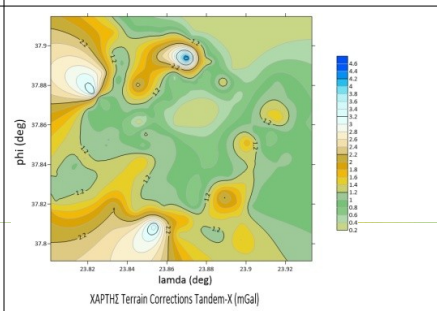
Σχήμα 5.2: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GSD30 ΓΙΑ R1=50, R2=999



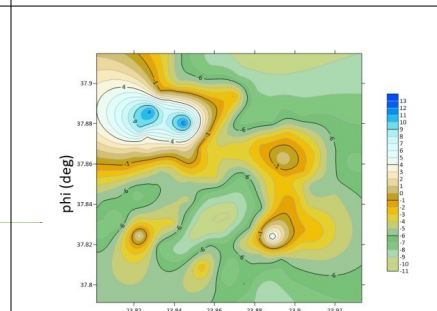
Σχήμα 5.3: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ Copernicus ΓΙΑ R1=50, R2=999



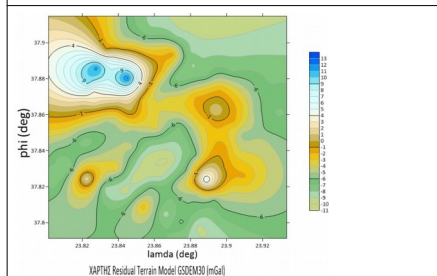
Σχήμα 5.4: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ NASADEM ΓΙΑ R1=50, R2=999



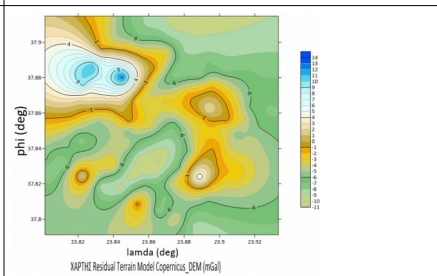
Σχήμα 5.5: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ Tandem-X ΓΙΑ R1=50, R2=999



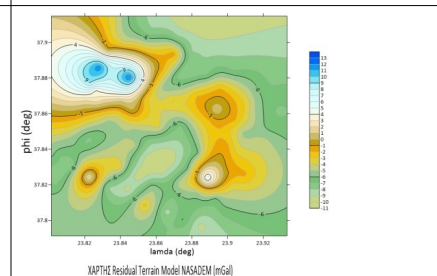
Σχήμα 5.6: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ASTER ΓΙΑ R1=50, R2=999



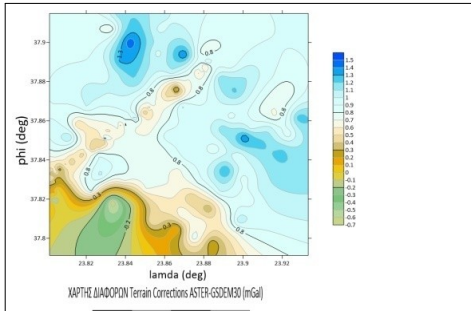
Σχήμα 5.7: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSD30 ΓΙΑ R1=50, R2=999



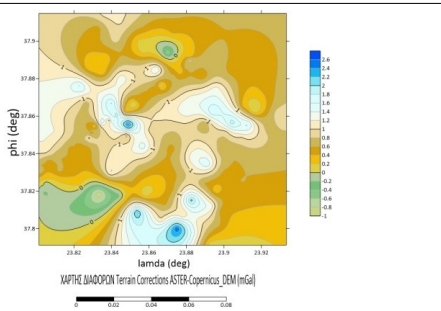
Σχήμα 5.8: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ Copernicus ΓΙΑ R1=50, R2=999



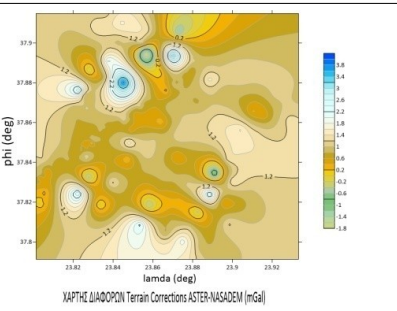
Σχήμα 5.9: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ NASADEM ΓΙΑ R1=50, R2=999



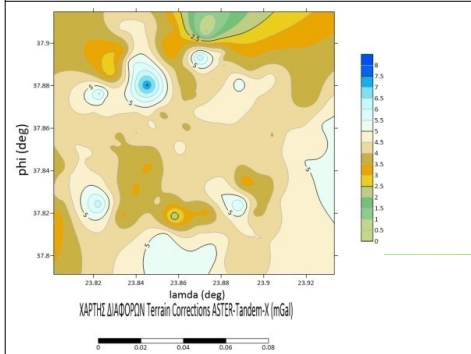
Σχήμα 5.10: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ASTER-Copernicus ΓΙΑ R1=50, R2=999



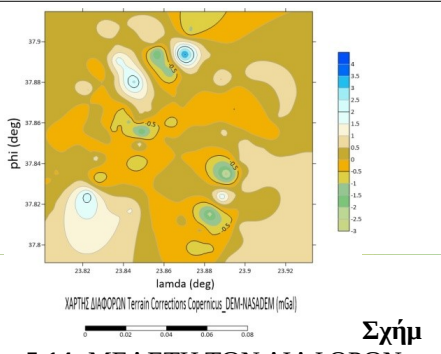
Σχήμα 5.11: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ASTER-Copernicus ΓΙΑ R1=50, R2=999



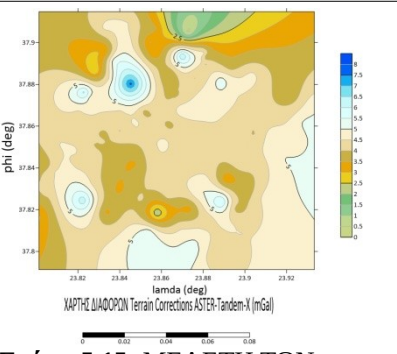
Σχήμα 5.12: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ASTER-NASADEM ΓΙΑ R1=50, R2=999



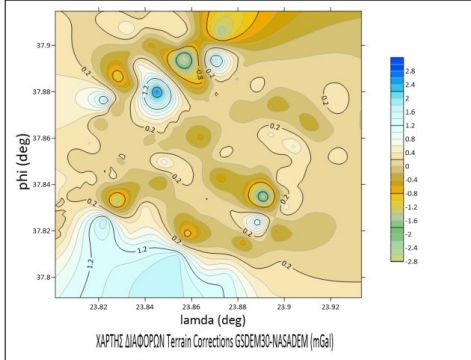
Σχήμα 5.13: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ASTER-Tandem-X ΓΙΑ R1=50, R2=999



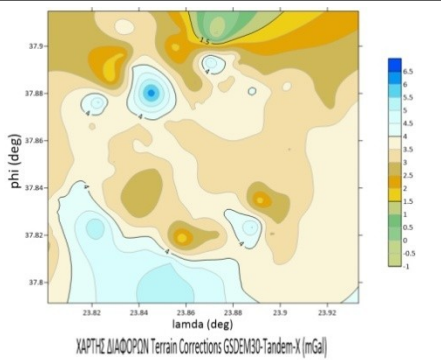
Σχήμα 5.14: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ Copernicus-NASADEM ΓΙΑ R1=50, R2=999



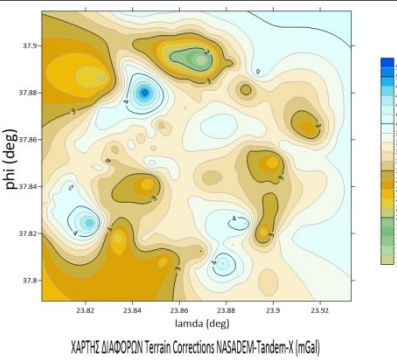
Σχήμα 5.15: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ASTER-Tandem-X ΓΙΑ R1=50, R2=999



Σχήμα 5.16: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ GSDEM30-NASADEM ΓΙΑ R1=50, R2=999



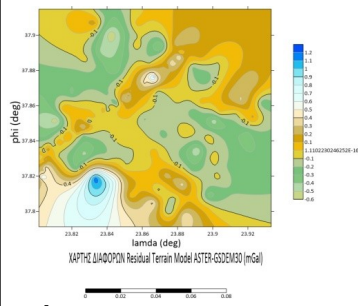
Σχήμα 5.17: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ GSDEM30-



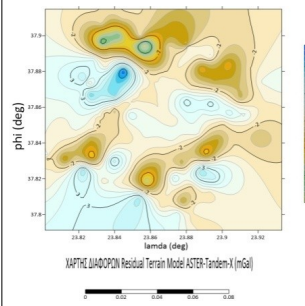
Σχήμα 5.18: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ NASADEM-Tandem-X ΓΙΑ

Tandem-X ΓΙΑ R1=50, R2=999

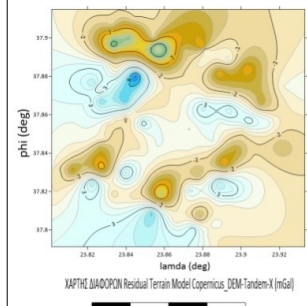
R1=50, R2=999



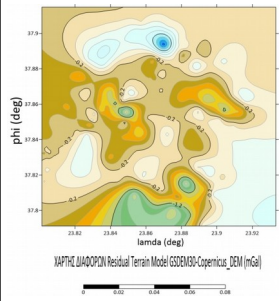
Σχήμα 5.19: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ASTER-GSDEM30 ΓΙΑ R1=50, R2=999



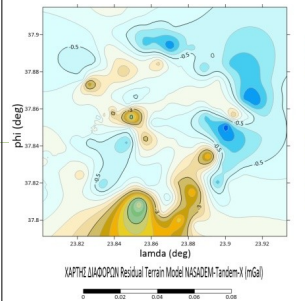
Σχήμα 5.20: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ASTER-Tandem-X ΓΙΑ R1=50, R2=999



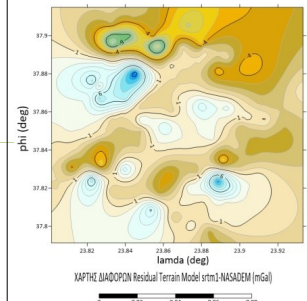
Σχήμα 5.21: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ Copernicus-Tandem-X ΓΙΑ R1=50, R2=999



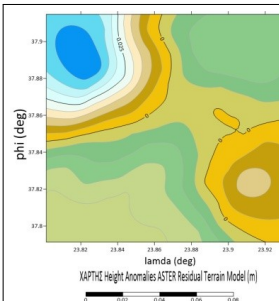
Σχήμα 5.22: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ GSDEM30-Copernicus ΓΙΑ R1=50, R2=999



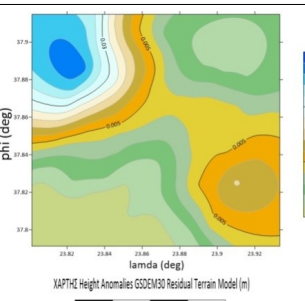
Σχήμα 5.23: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ NASADEM-Tandem-X ΓΙΑ R1=50, R2=999



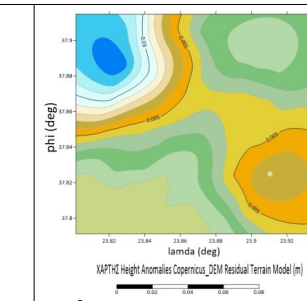
Σχήμα 5.24: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ srtm1-NASADEM ΓΙΑ R1=50, R2=999



Σχήμα 5.26: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ



Σχήμα 5.27: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ

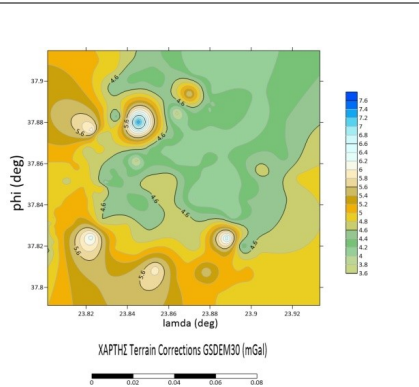


Σχήμα 5.28: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ

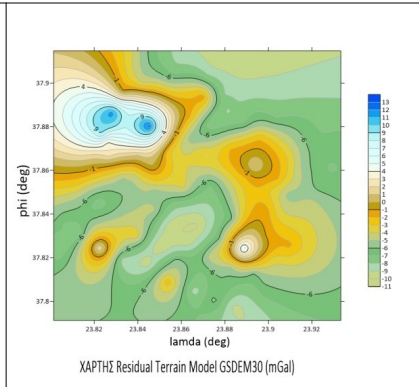
ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ ASTER ΓΙΑ R1=50, R2=999

ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 ΓΙΑ R1=50, R2=999

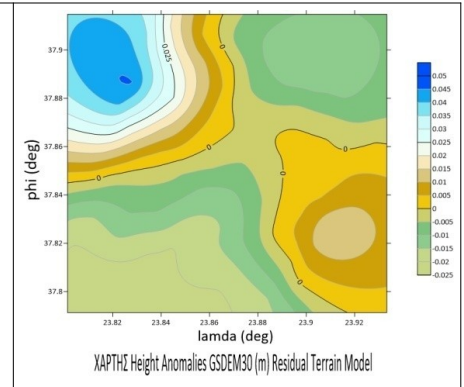
ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ Copernicus ΓΙΑ R1=50, R2=999



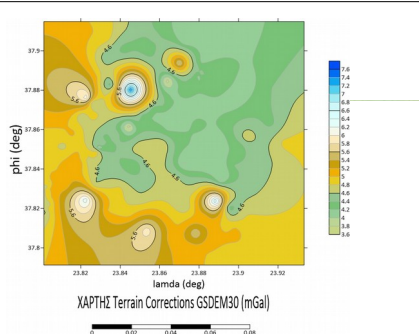
Σχήμα 5.29: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=999



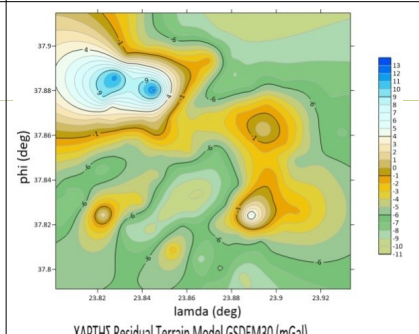
Σχήμα 5.30: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=999



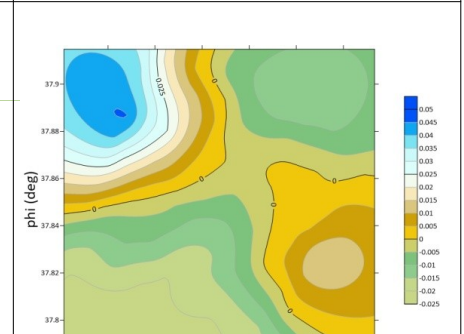
Σχήμα 5.31: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=10, R2=999



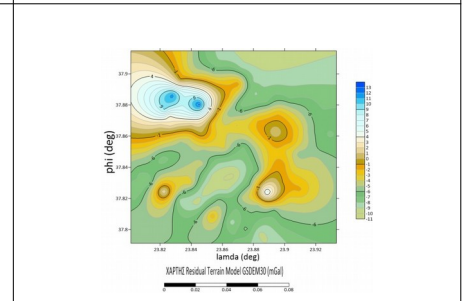
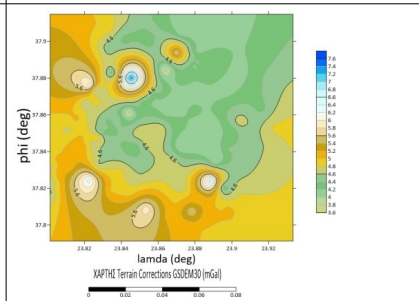
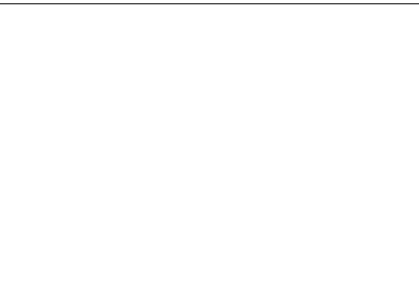
Σχήμα 5.32: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=30, R2=999



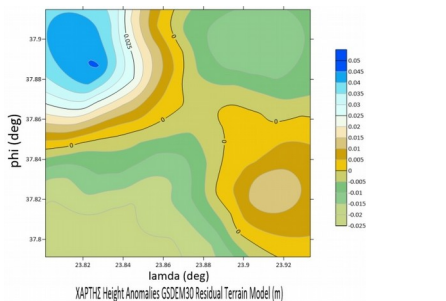
Σχήμα 5.33: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=30, R2=999



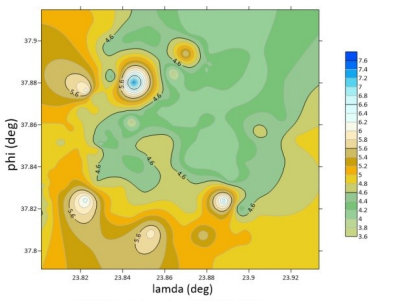
Σχήμα 5.34: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=30, R2=999



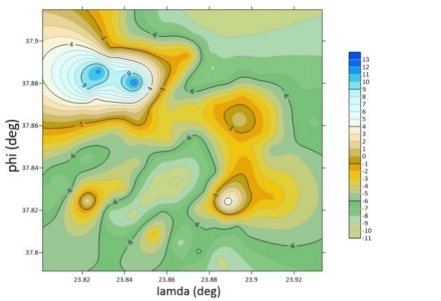
	Σχήμα 5.35: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=999	Σχήμα 5.36: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=999
--	--	---



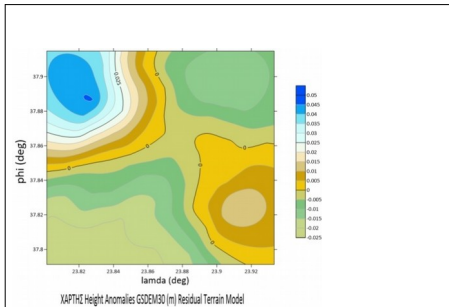
Σχήμα 5.37: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ GSD30 (m) ΓΙΑ R1=50, R2=999



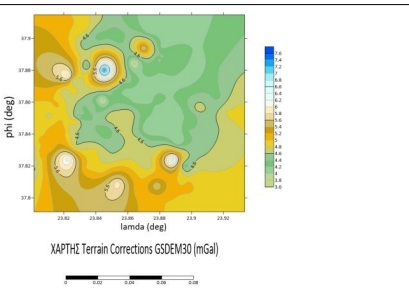
Σχήμα 5.38: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=999



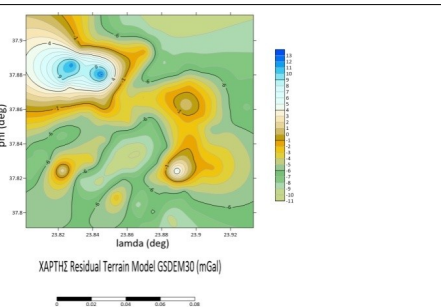
Σχήμα 5.39: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=999



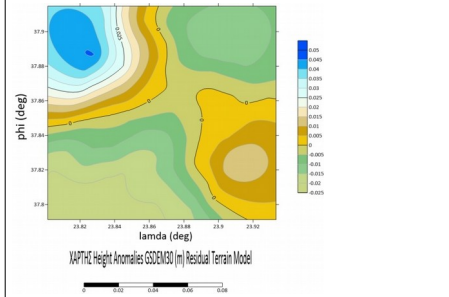
Σχήμα 5.40: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ GSD30 (m) ΓΙΑ R1=100, R2=999



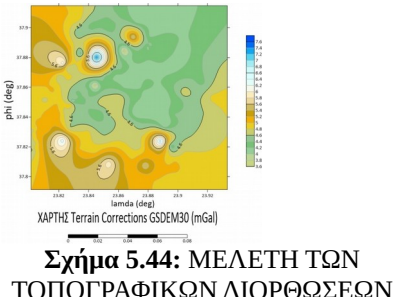
Σχήμα 5.41: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=150, R2=999



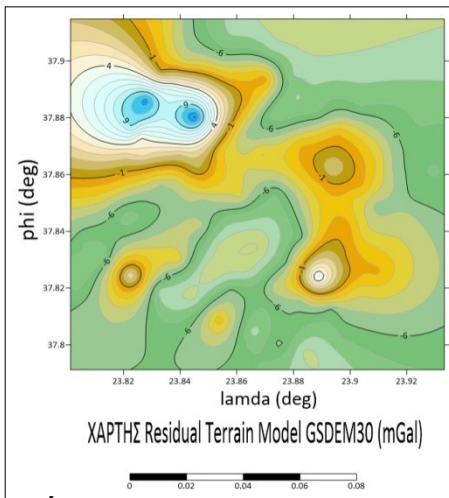
Σχήμα 5.42: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=150, R2=999



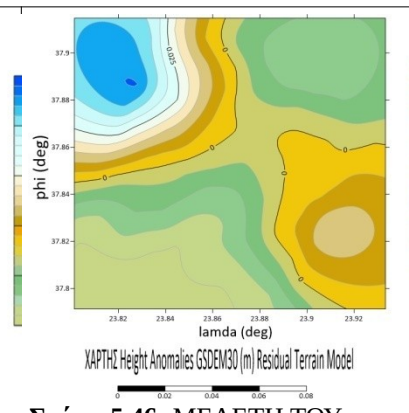
Σχήμα 5.43: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ GSD30 (m) ΓΙΑ R1=150, R2=999



Σχήμα 5.44: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=200, R2=999

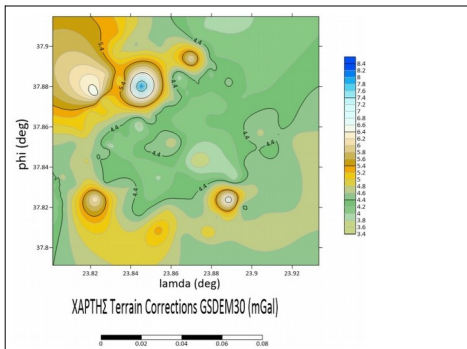


Σχήμα 5.45: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=200, R2=999

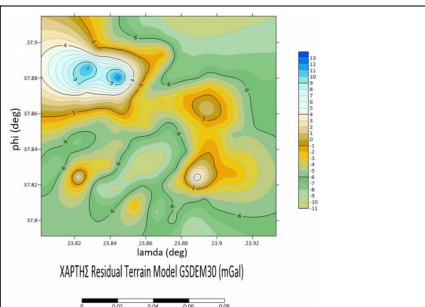


Σχήμα 5.46: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ GSD30 (m) ΓΙΑ R1=200, R2=999

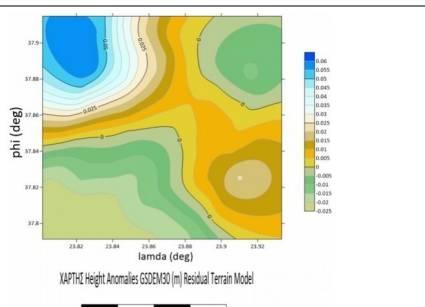
ΓΙΑ ΤΗ ΜΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ COARSE DTM:



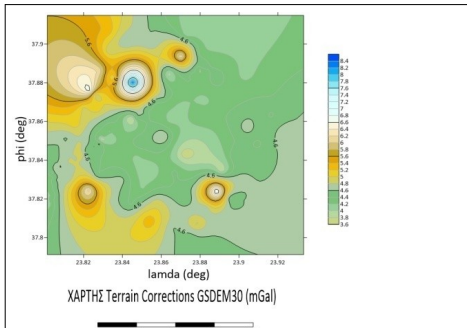
Σχήμα 5.47: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=0



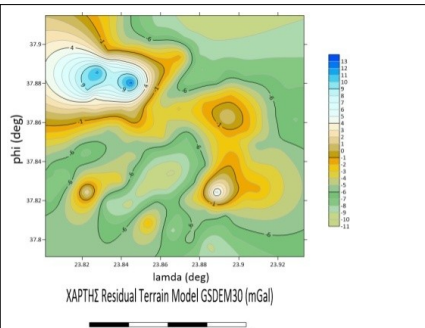
Σχήμα 5.48: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=0



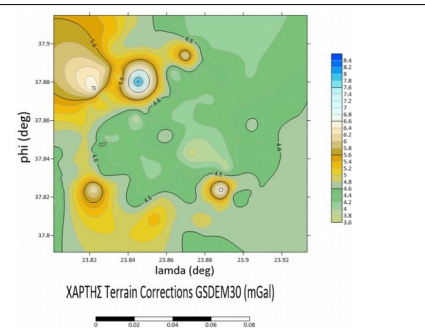
Σχήμα 5.49: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ GSD30 (m) ΓΙΑ R1=30, R2=0



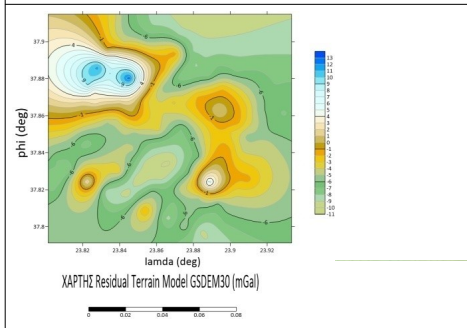
Σχήμα 5.50: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDM30 (mGal) R1=30, R2=0



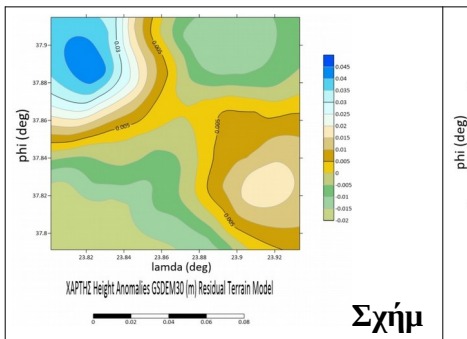
Σχήμα 5.51: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDM30 (mGal) ΓΙΑ R1=30, R2=0



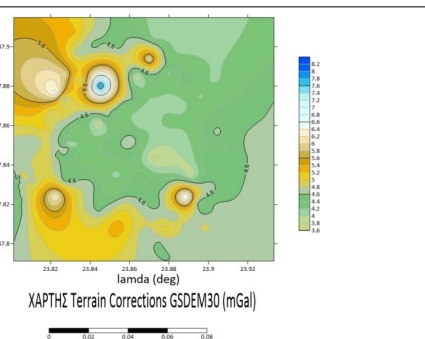
Σχήμα 5.52: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=0



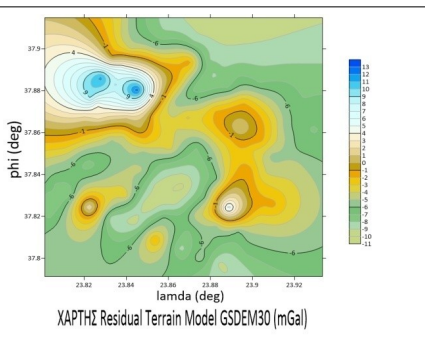
Σχήμα 5.53: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=0



Σχήμα 5.54: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ

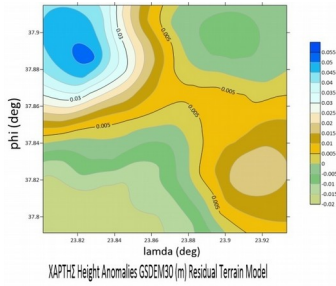


Σχήμα 5.55: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ



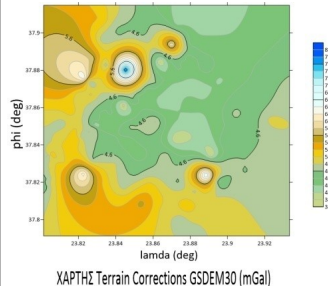
Σχήμα 5.56: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ

GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=50, R2=0



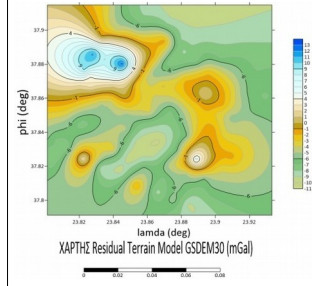
Σχήμα 5.57: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=100, R2=0

ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0

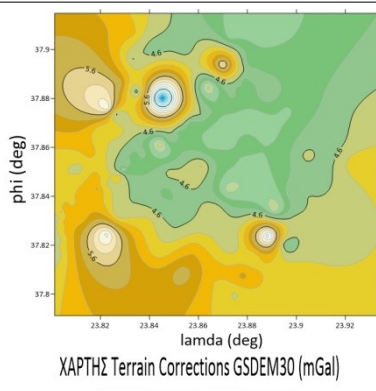


Σχήμα 5.58: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=150, R2=0

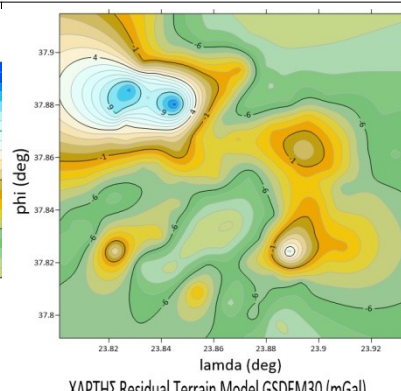
ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0



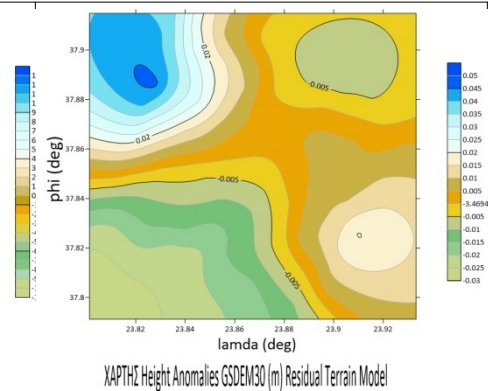
Σχήμα 5.59: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=150, R2=0



Σχήμα 5.60: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ

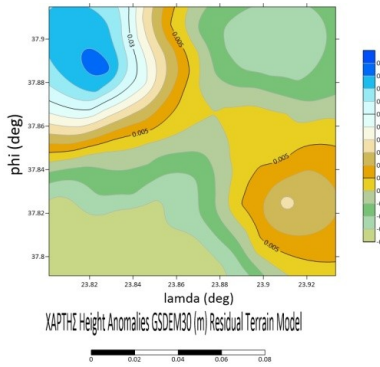


ΧΑΡΤΗΣ Residual Terrain Model GSDEM30 (mGal)



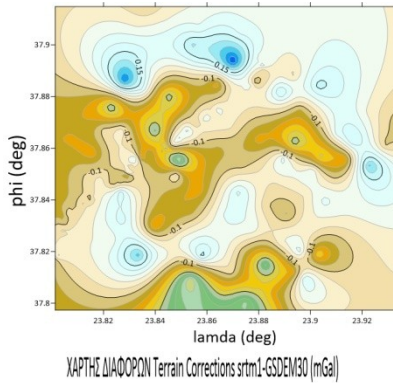
Σχήμα 5.62: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ

ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ
ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GSDEM30 (mGal)
ΓΙΑ R1=200, R2=0



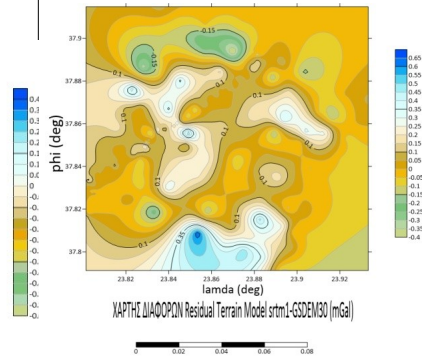
Σχήμα 5.63: ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ
ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ
ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ
ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙ ΤΟ
ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=200, R2=0

Σχήμα 5.61: ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ
ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ
ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ
R1=200, R2=0

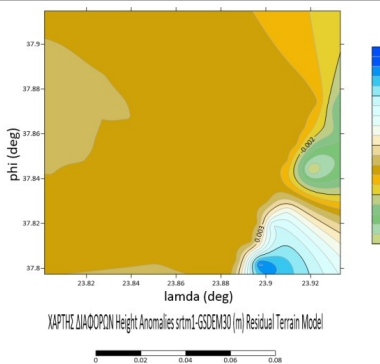


Σχήμα 5.64: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ
ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ
ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ
ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30
(mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=999

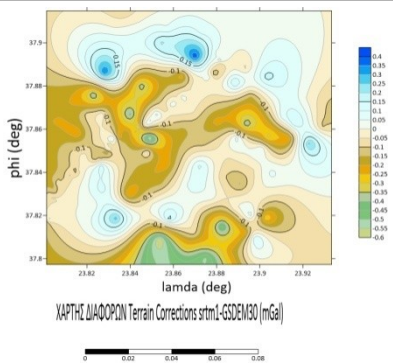
ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ
ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GSDEM30 (m) ΓΙΑ
R1=150, R2=0



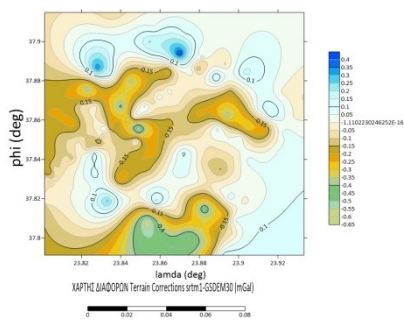
Σχήμα 6.65: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ
ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ
ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ
ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-
GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=999



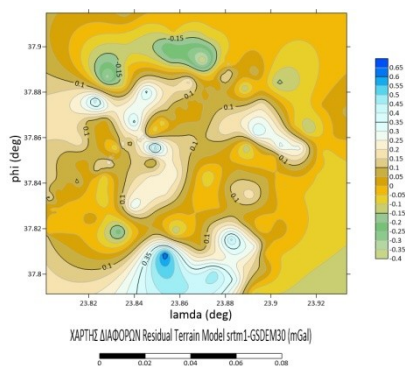
Σχήμα 5.66:
ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ
ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ
ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30
(m) ΓΙΑ R1=10, R2=999



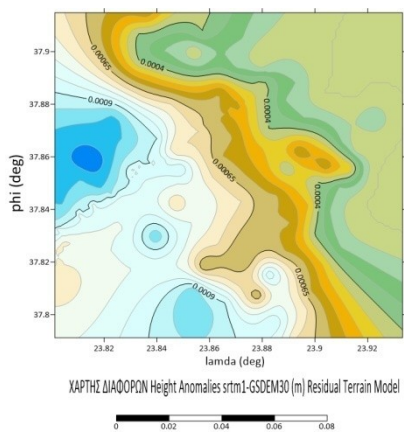
Σχήμα 5.67: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ
ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ
ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ
ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30
(mGal) ΓΙΑ R1=30, R2=999



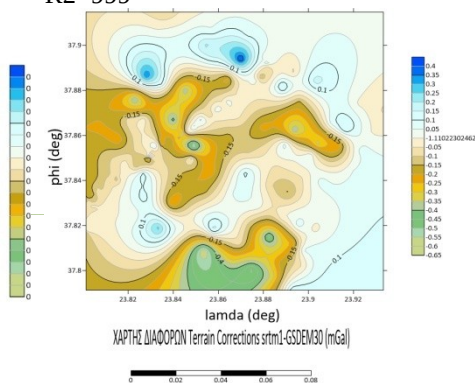
Σχήμα 5.68: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=30, R2=999



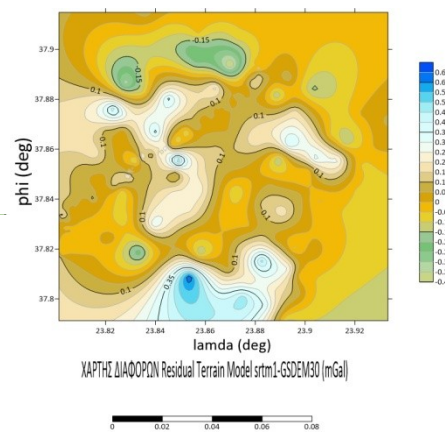
Σχήμα 5.69: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=30, R2=999



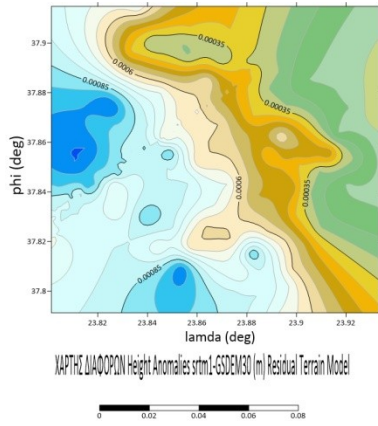
Σχήμα 5.70: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=30, R2=999



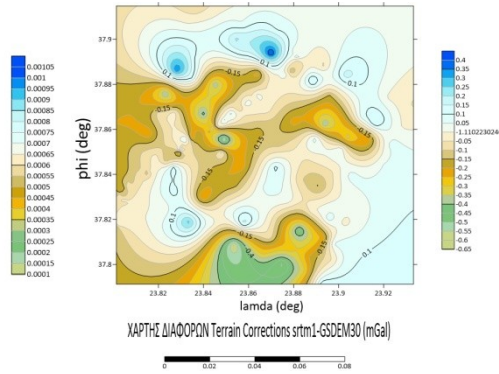
Σχήμα 5.71: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=999



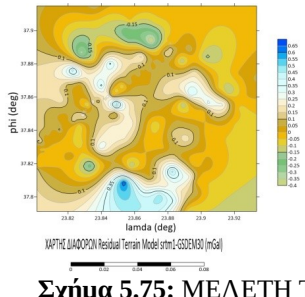
Σχήμα 5.72: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=999



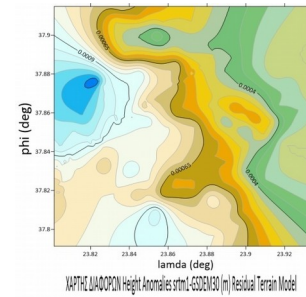
Σχήμα 5.73: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=100, R2=999



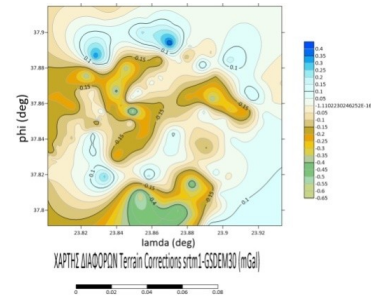
Σχήμα 5.74: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=150, R2=999



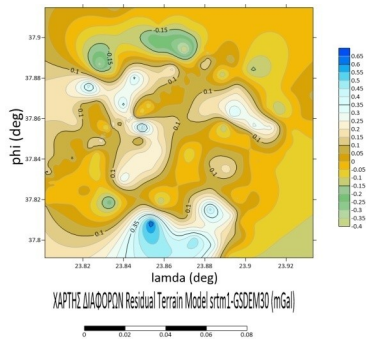
Σχήμα 5.75: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=150, R2=999



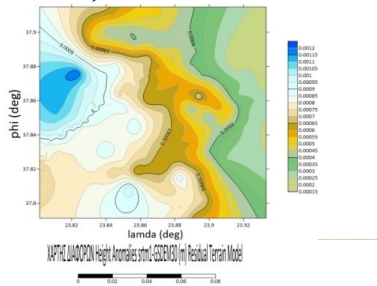
Σχήμα 5.76: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=150, R2=999



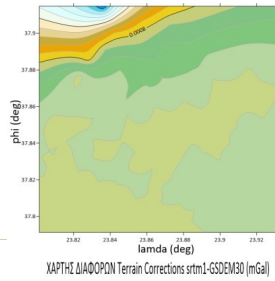
Σχήμα 5.77: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=200, R2=999



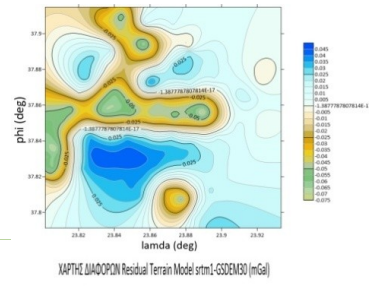
Σχήμα 5.78: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=200, R2=999



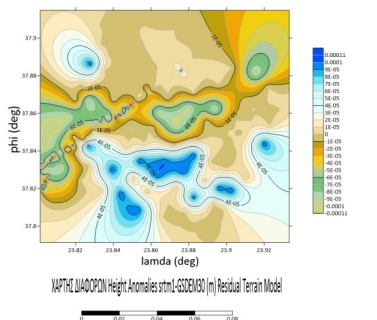
Σχήμα 5.79: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=200, R2=999



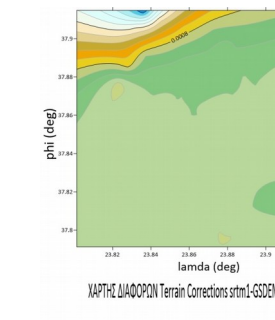
Σχήμα 5.80: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=0



Σχήμα 5.81: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=0

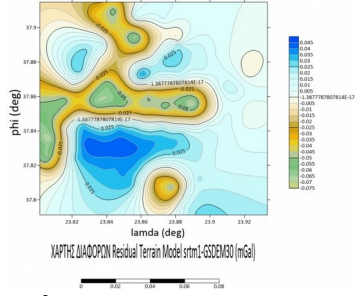


Σχήμα 5.82: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

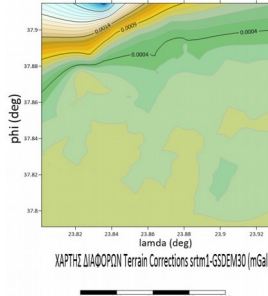


Σχήμα 5.83: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

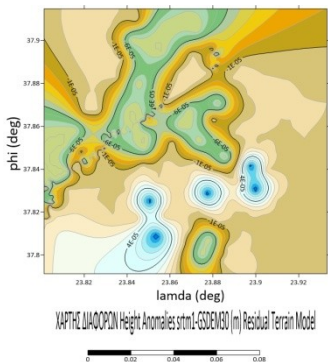
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srmt1-GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=10, R2=0



Σχήμα 5.84: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srmt1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=30, R2=0

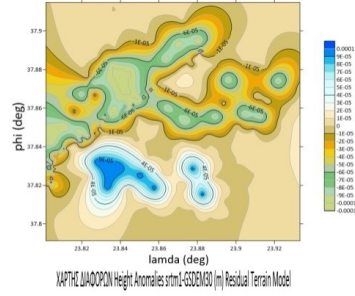


Σχήμα 5.86: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srmt1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=0

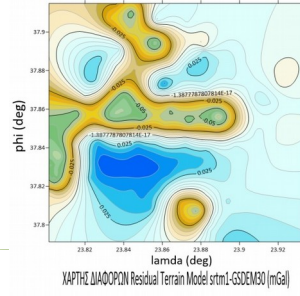


Σχήμα 5.88: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srmt1-

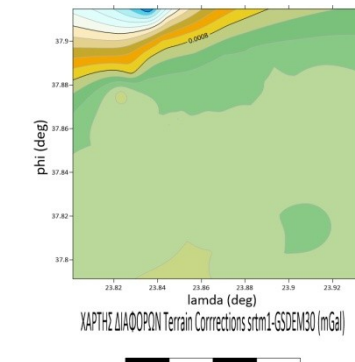
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srmt1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=30, R2=0



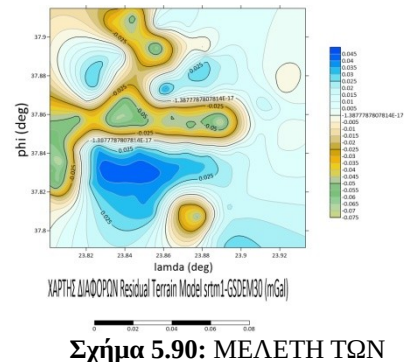
Σχήμα 5.85: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srmt1-GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=30, R2=0



Σχήμα 5.87: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srmt1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=0

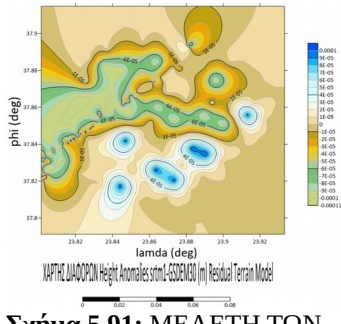


Σχήμα 5.89: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

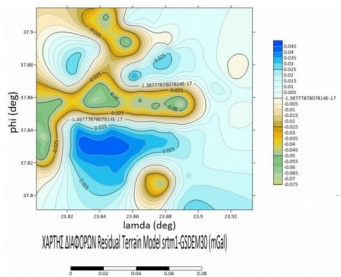


Σχήμα 5.90: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srmt1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100,

GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=50, R2=0

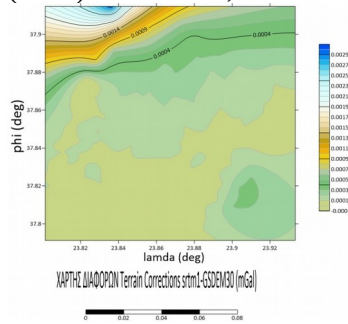


Σχήμα 5.91: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=100, R2=0

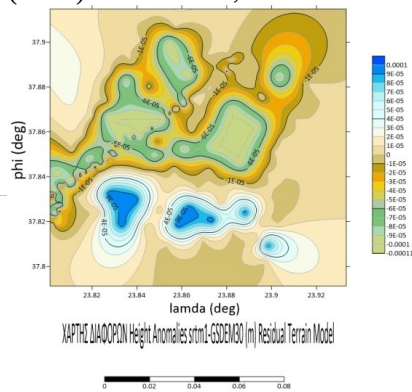


Σχήμα 5.93: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=150, R2=0

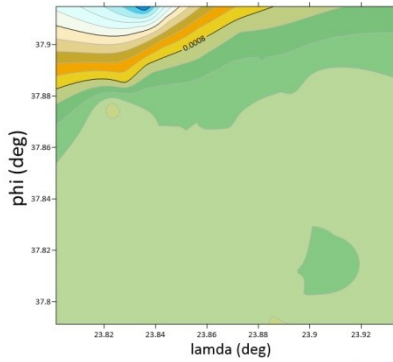
ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0



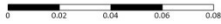
Σχήμα 5.92: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=150, R2=0



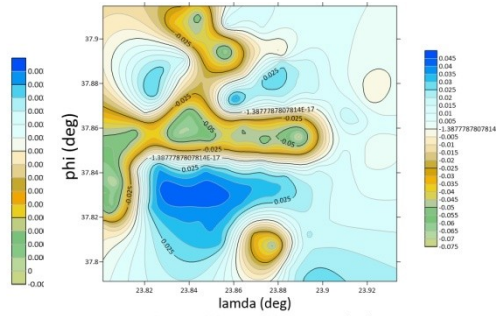
Σχήμα 5.94: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1-GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=150, R2=0



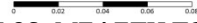
ΧΑΡΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ Terrain Corrections srstm1-GSDEM30 (mGal)



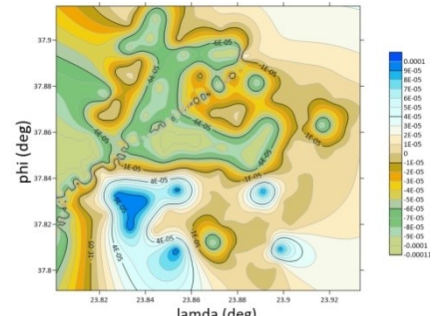
Σχήμα 5.95: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srstm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=200, R2=0



ΧΑΡΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ Residual Terrain Model srstm1-GSDEM30 (mGal)



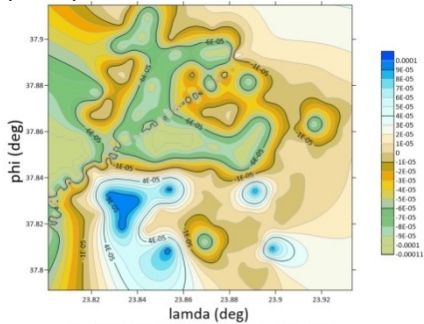
Σχήμα 5.96: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srstm1-GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=200, R2=0



ΧΑΡΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ Height Anomalies srstm1-GSDEM30 (m) Residual Terrain Model



Σχήμα 5.97: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srstm1-GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=200, R2=0



ΧΑΡΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ Height Anomalies srstm1-GSDEM30 (m) Residual Terrain Model



Σχήμα 5.98: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srstm1-GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=200, R2=0

Πίνακας 5.1: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=999

DEMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
tc_srtm1	3.411	7.114	4.686	0.196	0.443	3.702
tc_GSDEM30	3.728	7.498	4.756	0.217	0.466	3.770

Πίνακας 5.2: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=999

DEMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
tc_srtm1-GSDEM30	-0.596	0.371	-0.050	0.017	0.132	0.968

Πίνακας 5.3: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=999

DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTΜ	-10.165	13.008	-3.954	18.064	4.250	23.173
GSDEM30_RTΜ	-10.115	12.662	-4.146	17.454	4.177	22.777

Πίνακας 5.4: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=999

DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTΜ-GSDEM30_RTΜ	-2.786	2.087	0.132	0.279	0.528	4.874

Πίνακας 5.5: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=10, R2=999

DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM	-0.019	0.045	0.001	0	0.016	0.065
ha_GSDEM30_RT M	-0.020	0.045	0	0	0.016	0.065

Πίνακας 5.6: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=10, R2=999

DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM- ha_GSDEM30_RT M	-0.0001	0.0009	0.0003	0	0.0002	0.001

Πίνακας 5.7 : ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=30, R2=999

DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc	3.412	7.115	4.686	0.196	0.443	3.702
GSDEM30_t c	3.728	7.499	4.756	0.217	0.466	3.770

Πίνακας 5.8: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=30, R2=999

DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM	-10.114	13.022	-4.094	17.612	4.196	23.197
GSDEM30_RT M	-10.115	12.661	-4.146	17.454	4.177	22.777

Πίνακας 5.9: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=30, R2=999

DTM	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
-----	-----	-----	------	----------	---------	-------

ha_srtm1_RTM	-0.019	0.046	0.002	0	0.017	0.066
ha_GSDEM30_RT M	-0.020	0.045	0	0	0.016	0.065

Πίνακας 5.10: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=30, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM- ha_GSDEM30_RT M	-0.006	0.011	0	0	0.001	0.018

Πίνακας 5.11: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc	3.459	7.117	4.706	0.194	0.441	3.657
GSDEM30_t c	3.728	7.499	4.756	0.217	0.466	3.770

Πίνακας 5.12: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1- GSDEM30_t c	R1=30, - 0.601	0.374	-0.050	0.020	0.142	0.976

Πίνακας 5.13: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM	-10.115	13.022	-4.094	17.613	4.196	23.137
GSDEM30_RT M	-10.115	12.661	-4.146	17.455	4.178	22.777

Πίνακας 5.14: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM-GSDDEM30_RT M	-0.384	0.636	0.052	0.019	0.138	1.020

Πίνακας 5.15: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙ R1=100, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc	3.459	7.117	4.706	0.194	0.441	3.657
GSDDEM30_t c	3.729	7.499	4.756	0.217	0.466	3.770

Πίνακας 5.16: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM	-10.115	13.022	-4.094	17.612	4.196	23.137
GSDDEM30_RT M	-10.115	12.661	-4.146	17.454	4.177	22.777

Πίνακας 5.17: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (m) ΓΙΑ R1=100, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM	-0.019	0.046	0.001	0	0.016	0.065
ha_GSDDEM30_RT M	-0.020	0.045	0	0	0.016	0.065

Πίνακας 5.18: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΛΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (m) ΓΙΑ R1=100, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
------	-----	-----	------	----------	---------	-------

ha_srtm1_RTM- ha_GSDEM30_RT M	0	0.001	0	0	0	0
-------------------------------------	---	-------	---	---	---	---

Πίνακας 5.19: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=150, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc	3.459	7.117	4.706	0.194	0.441	3.657
GSDEM30_t c	3.729	7.499	4.756	0.217	0.466	3.770

Πίνακας 5.20: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=150, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM	-10.115	13.022	-4.094	17.612	4.196	23.137
GSDEM30_RT M	-10.115	12.661	-4.146	17.454	4.177	22.777

Πίνακας 5.21: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=150, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM- GSDEM30_RT M	-0.384	0.636	0.052	0.019	0.138	1.020

Πίνακας 5.22: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=150, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM	-0.019	0.046	0.001	0	0.016	0.065
ha_GSDEM30_RT M	-0.020	0.045	0	0	0.016	0.065

Πίνακας 5.23: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (m) ΓΙΑ R1=150, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM- ha_GSDDEM30_RTM	0	0.001	0	0	0	0

Πίνακας 5.24: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=200, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc	3.459	7.117	4.706	0.194	0.441	3.657
GSDDEM30_t c	3.729	7.499	4.756	0.217	0.466	3.770

Πίνακας 5.25 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=200, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc- GSDDEM30_t c	-0.601	0.374	-0.050	0.020	0.142	0.976

Πίνακας 5.26: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=200, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM	-10.115	13.022	-4.094	17.612	4.196	23.137
GSDDEM30_RT M	-10.115	12.661	-4.146	17.454	4.177	22.777

Πίνακας 5.27: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=200, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
------	-----	-----	------	----------	---------	-------

srtm1_RTM-GSDEM30_RT M	-0.384	0.636	0.052	0.019	0.138	1.020
---------------------------	--------	-------	-------	-------	-------	-------

Πίνακας 5.28: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1,GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=200, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM	-0.019	0.046	0.001	0	0.016	0.065
ha_GSDEM30_RT M	-0.020	0.045	0	0	0.016	0.065

Πίνακας 5.29: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=200, R2=999

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM- ha_GSDEM30_RT M	0	0.001	0	0	0	0

Πίνακας 5.30: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc	3.597	8.201	4.655	0.293	0.541	4.604
GSDEM30_t c	3.597	8.201	4.655	0.292	0.541	4.604

Πίνακας 5.31: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc- GSDEM30_t c	0	0.002	0	0	0	0.003

Πίνακας 5.32: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM	-9.995	12.838	-4.037	17.372	4.168	22.833
GSDDEM30_RT M	-10.031	12.859	-4.038	17.411	4.172	22.890

Πίνακας 5.33: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=10, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM- GSDDEM30_RT M	-0.073	0.042	0.001	0	0.023	0.115

Πίνακας 5.34: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (m) ΓΙΑ R1=10, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM	-0.022	0.06	0.006	0	0.021	0.082
ha_GSDDEM30_RT M	-0.022	0.059	0.006	0	0.021	0.082

Πίνακας 5.35: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (m) ΓΙΑ R1=10, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM- ha_GSDDEM30_RT M	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 5.36: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=30, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
------	-----	-----	------	----------	---------	-------

srtm1_tc	3.661	8.392	4.718	0.305	0.552	4.731
GSDDEM30_tc	3.661	8.392	4.718	0.305	0.552	4.731

Πίνακας 5.37: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=30, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc- GSDDEM30_t c	0	0.002	0	0	0	0.003

Πίνακας 5.38: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=30, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM	-10.044	12.794	-4.083	17.391	4.170	22.839
GSDDEM30_RT M	-10.080	12.815	-4.084	17.429	4.174	22.895

Πίνακας 5.39: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=30, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM- GSDDEM30_RT M	-0.073	0.042	0.001	0	0.023	0.115

Πίνακας 5.40: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (m) ΓΙΑ R1=30, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM	-0.018	0.035	-0.001	0	0.014	0.054
ha_GSDDEM30_RT M	-0.018	0.035	-0.001	0	0.014	0.054

Πίνακας 5.41: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (m) ΓΙΑ R1=30, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM- ha_GSDDEM30_RT M	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 5.42: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc	3.685	8.339	4.727	0.292	0.540	4.654
GSDDEM30_t c	3.685	8.339	4.727	0.292	0.540	4.654

Πίνακας 5.43: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc- GSDDEM30_t c	0	0.002	0	0	0	0.002

Πίνακας 5.44: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM	-10.055	12.778	-4.097	17.384	4.169	22.834
GSDDEM30_RT M	-10.091	12.798	-4.098	17.422	4.174	22.890

Πίνακας 5.45: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=50, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
------	-----	-----	------	----------	---------	-------

srtm1_RTM-GSDEM30_RT M	-0.073	0.042	0.001	0	0.023	0.115
---------------------------	--------	-------	-------	---	-------	-------

Πίνακας 5.46: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 ΓΙΑ R1=50, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM	-0.018	0.043	0.003	0	0.015	0.062
ha_GSDEM30_RT M	-0.018	0.043	0.003	0	0.015	0.062

Πίνακας 5.47: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=50, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM- ha_GSDEM30_RT M	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 5.48: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc	3.731	8.072	4.719	0.253	0.503	4.340
GSDEM30_t c	3.731	8.072	4.719	0.253	0.503	4.340

Πίνακας 5.49: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc- GSDEM30_t c	0	0.002	0	0	0	0.003

Πίνακας 5.50: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM	-10.068	12.762	-4.111	17.379	4.168	22.830
GSDEM30_RT M	-10.104	12.782	-4.113	17.417	4.173	22.887

Πίνακας 5.51: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM- GSDEM30_RT M	-0.073	0.042	0.001	0	0.023	0.115

Πίνακας 5.52: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=100, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM	-0.017	0.051	0.006	0	0.017	0.068
ha_GSDEM30_RT M	-0.017	0.051	0.006	0	0.017	0.068

Πίνακας 5.53: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=100, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
------	-----	-----	------	----------	---------	-------

ha_srtm1_RTM- ha_GSDEM30_RT M	0	0	0	0	0	0
-------------------------------------	---	---	---	---	---	---

Πίνακας 5.54: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΦΙΑΣ srtm1.GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=150, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc	3.757	7.843	4.772	0.229	0.478	4.085
GSDEM30_t c	3.757	7.842	4.772	0.229	0.478	4.085

Πίνακας 5.55: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=150, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc- GSDEM30_t c	0	0.002	0	0	0	0.002

Πίνακας 5.56: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=150, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM	-10.073	12.758	-4.116	17.380	4.168	22.831
GSDEM30_RT M	-10.109	12.778	-4.117	17.419	4.173	22.887

Πίνακας 5.57: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=150, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM- GSDEM30_RT	-0.073	0.042	0.001	0	0.023	0.115

M						
---	--	--	--	--	--	--

Πίνακας 5.58: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=150, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM	-0.025	0.045	0.003	0	0.017	0.071
ha_GSDEM30_RT M	-0.025	0.045	0.003	0	0.017	0.071

Πίνακας 5.59: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=150, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM- ha_GSDEM30_RT M	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 5.60: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=200, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc	3.725	7.601	4.790	0.206	0.454	3.875
GSDEM30_t c	3.725	7.601	4.790	0.206	0.454	3.875

Πίνακας 5.61: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=200, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_tc- GSDEM30_t c	0	0.002	0	0	0	0.003

Πίνακας 5.62: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=200, R2=0

DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM	-10.075	12.755	-4.118	17.378	4.168	22.831
GSDEM30_RT M	-10.111	12.776	-4.119	17.417	4.173	22.887

Πίνακας 5.63: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=200, R2=0

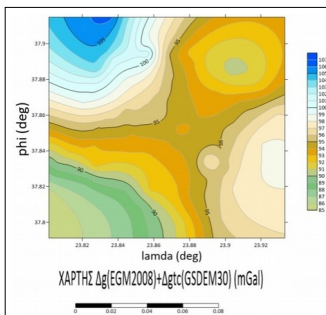
DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
srtm1_RTM- GSDEM30_RT M	-0.073	0.042	0.001	0	0.023	0.115

Πίνακας 5.64: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=200, R2=0

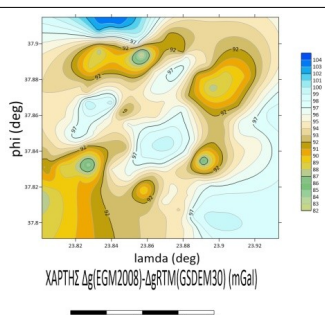
DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM	-0.018	0.046	0.002	0	0.016	0.064
ha_GSDEM30_RT M	-0.018	0.046	0.002	0	0.016	0.064

Πίνακας 5.65: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ srtm1, GSDEM30 (m) ΓΙΑ R1=200, R2=0

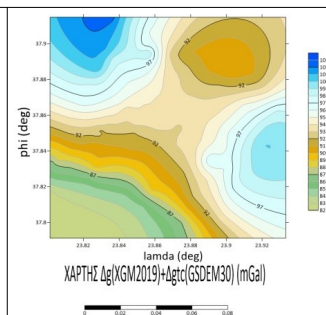
DTMs	min	max	mean	variance	St.Dev.	range
ha_srtm1_RTM- ha_GSDEM30_RT M	0	0	0	0	0	0



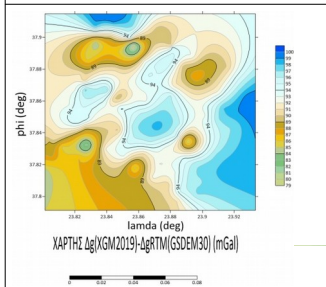
Σχήμα 5.99: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ EGM2008 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=999



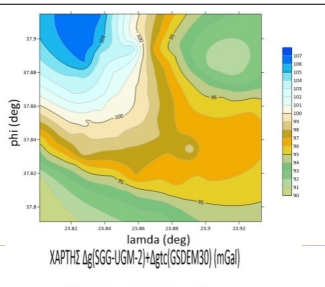
Σχήμα 5.100: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ EGM2008 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=999



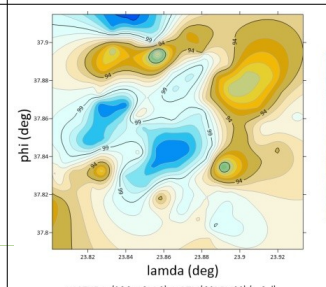
Σχήμα 5.101: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ XGM2019 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=999



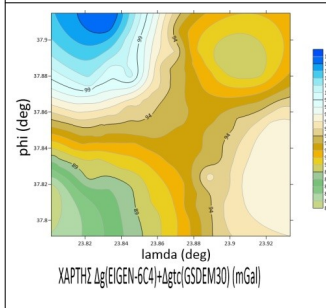
Σχήμα 5.102: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ XGM2019 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=999



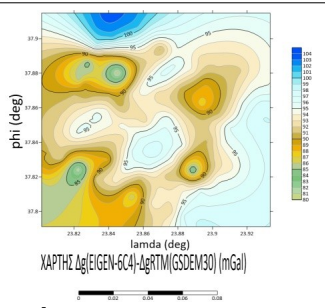
Σχήμα 5.103: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ SGG-UGM-2 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=999



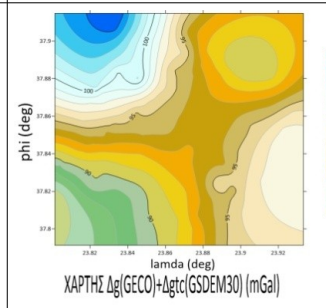
Σχήμα 5.104: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ SGG-UGM-2 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=999



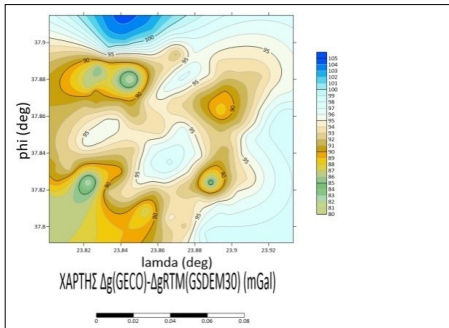
Σχήμα 5.105: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ EIGEN-6C4 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=999



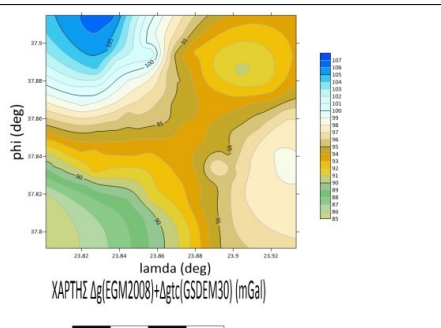
Σχήμα 5.106: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ EIGEN-6C4 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=999



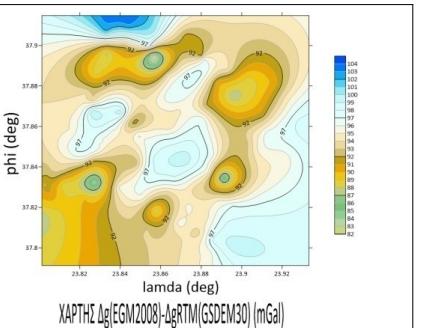
Σχήμα 5.107: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ GECO ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ GSD30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=999



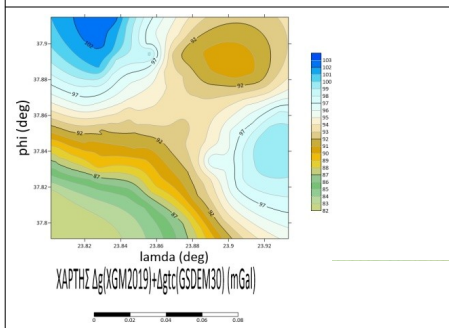
Σχήμα 5.108: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ GECO ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=999



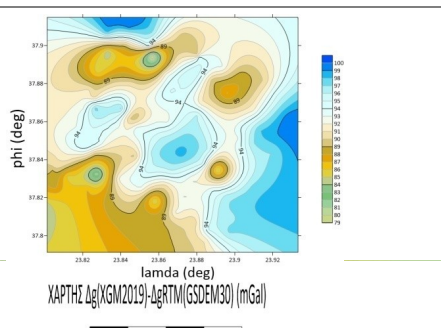
Σχήμα 5.109: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ EGM2008 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0



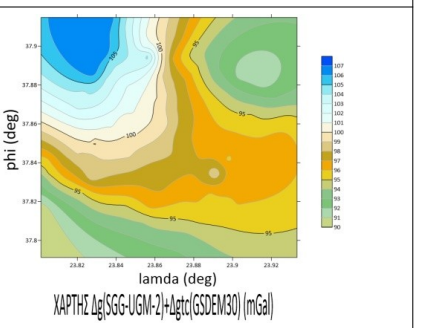
Σχήμα 5.110: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ EGM2008 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0



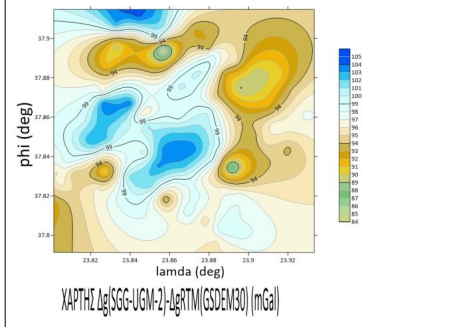
Σχήμα 5.111: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ XGM2019 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0



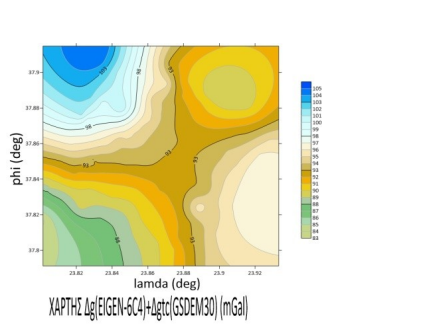
Σχήμα 5.112: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ XGM2019 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0



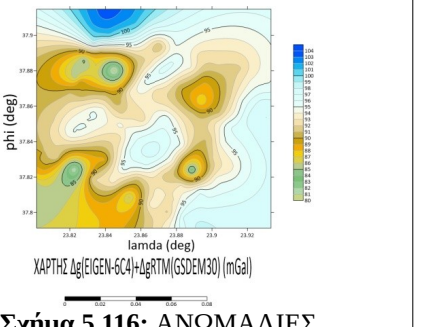
Σχήμα 5.113: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ SGG-UGM-2 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0



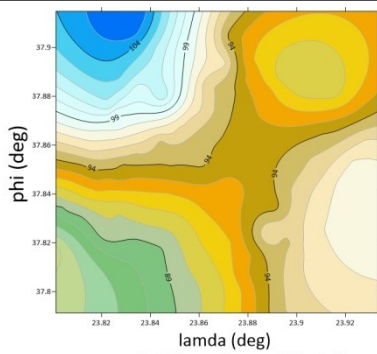
Σχήμα 5.114: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ SGG-UGM-2 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0



Σχήμα 5.115: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ EIGEN-6C4 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0

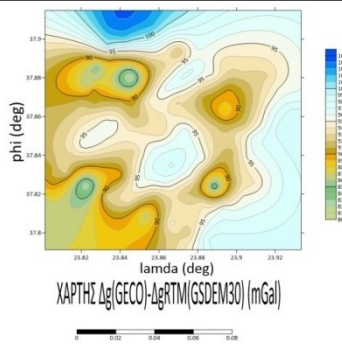


Σχήμα 5.116: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ EIGEN-6C4 ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GSDEM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0



ΧΑΡΤΗΣ Δg(GECO)+Δg_{tc}(GSDM30) (mGal)

Σχήμα 5.117: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ GECO ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ GSDM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0



ΧΑΡΤΗΣ Δg(GECO)-ΔgRTM(GSDM30) (mGal)

Σχήμα 5.118: ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ GECO ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ GSDM30 (mGal) ΓΙΑ R1=100, R2=0

