



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

ΠΜΣ «ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ UAV ΚΑΙ GPS»



ΓΕΩΡΓΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

Βόλος 2015



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

ΠΜΣ «ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ UAV ΚΑΙ GPS»

ΓΕΩΡΓΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

**ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΤΑΘΑΚΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ), ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΧΡΗΣΤΟΣ ΚΟΥΣΙΔΩΝΗΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

ΠΕΡΑΚΗΣ ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Βόλος 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε γενικές γραμμές, η καταγραφή και αναπαράσταση του ‘πραγματικού’ κόσμου με τα γεωμετρικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά που τον χαρακτηρίζουν, σε δύο ή ακόμη και σε τρεις διαστάσεις, συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με το περιεχόμενο πολλών επιστημονικών κλάδων, όπως της τοπογραφίας, γαιωδαισίας, φωτογραμμετρίας, χαρτογραφίας, τηλεπισκόπησης και άλλων. Έτσι και στη παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή στόχος είναι χρησιμοποιώντας θεωρίες και μεθόδους που αντλούνται από τις επιστήμες αυτές και φυσικά με την βοήθεια του κατάλληλου εξοπλισμού, να αποτυπωθεί μία συγκεκριμένη περιοχή υπό κλίμακα και να συγκριθούν τα αποτελέσματα που θα προκύψουν βγάζοντας τα κατάλληλα συμπεράσματα.

Η περιοχή που επιλέχθηκε για έρευνα ανήκει στη τοπική κοινότητα του Μεγάλου Ευύδριου, που βρίσκεται στον δήμο Φαρσάλων της περιφερειακής ενότητας της Λάρισας. Πιο συγκεκριμένα σε μία περιοχή έκτασης περίπου 150 στρεμμάτων έγιναν μετρήσεις πεδίου με χρήση ενός σύγχρονου δέκτη GPS (Global Positioning System) και πραγματοποιήθηκαν λήψεις αεροφωτογραφιών με χρήση μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος UAV (Unmanned Aerial Vehicle) με σκοπό τη συλλογή πρωτογενών δεδομένων.

Το παρών τεύχος περιέχει το θεωρητικό κομμάτι βασισμένο σε βιβλιογραφική έρευνα, το οποίο περιλαμβάνει χρήσιμα στοιχεία που αφορούν τους παραπάνω επιστημονικούς κλάδους, οι μέθοδοι των οποίων χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό την εκπόνηση αυτής της διατριβής. Επιπλέον τα ‘προϊόντα’ που παρήχθησαν από τις εργασίες πεδίου και την μετέπειτα επεξεργασία με χρήση διαφόρων λογισμικών, σε συνδυασμό με τη σύγκριση των δύο μεθόδων αποτύπωσης, θα αποτελέσουν το πρακτικό κομμάτι του τεύχους. Τέλος θα διατυπωθούν χρήσιμα συμπεράσματα που προέκυψαν μέσα από την έρευνα και τις συγκρίσεις των δύο μεθόδων, που ίσως αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο για ενδιαφερόμενους ιδιώτες ή και δημόσιους φορείς.

ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ : GPS, UAV, ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ, ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ ,ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

ABSTRACT

In general, the demonstration and representation of the ‘real’ world, with its geometrical and qualitative characteristics that describe it, in two or even three dimensions, are connected directly or indirectly with the content of a great number of scientific disciplines, such as topography, geodesy, photogrammetry, cartography, remote sensing and many more. Thus, the target of this master thesis is by using theories and methods that derive from these sciences and of course with the suitable equipment, to imprint under scale a specific area and the results that will be accrued to be compared making proper conclusions.

The area that has been chosen for research belongs to the community of ‘Big Evidrio’, which is situated in the municipality of Farsala in the region of Larissa. More specifically, in one area that extends about 150.000 square meters, field measurements were made by using one contemporary receiver GPS (Global Positioning System) and air photograph shootings were taken using an UAV (Unmanned Aerial Vehicle) in order the primary data to be collected.

The current issue contains the theoretical part based on bibliography research, which deals with useful elements that concern the above scientific fields, whose methods were used for the achievement of this master thesis. Moreover, the ‘products’ provided by the field work and the process followed with the use of various software, in conjunction with the comparison of the two mapping methods, will consist the practical part of the issue. Finally, useful conclusions will be imprinted, which arose within the research and the comparisons among the two methods that are likely to become a useful tool for independent individuals or even public sector authorities who may be interested.

KEY – WORDS: GPS, UAV, TOPOGRAPHY, GEODESY , PHOTOGRAMMETRY

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	I
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	I
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ	I
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	II
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	II
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΩΝ	IV
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	VI
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Περιγραφή εργασίας	1
1.2 Ιστορικά περί καταγραφής της γήινης επιφάνειας.....	2
1.3 Σχετικοί επιστημονικοί κλάδοι.....	4
1.3.1 Τοπογραφία.....	4
1.3.2 Γεωδαισία	5
1.3.3 Φωτογραμμετρία	7
1.3.4 Τηλεπισκόπηση.....	8
1.3.5 Χαρτογραφία.....	9
1.4 Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς	10
1.4.1 Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS84	12
1.4.2 Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς στην Ελλάδα	12
1.5 Προβολικά Συστήματα στην Ελλάδα	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ	15
2.1 Γενικά.....	15
2.2 Αποτύπωση με χρήση γεωδαιτικού σταθμού	16
2.2.1 Total Station και απαραίτητος εξοπλισμός.....	16
2.2.2 Ταχυμετρική αποτύπωση.....	18
2.3 Αποτύπωση με χρήση δορυφορικών συστημάτων	19
2.3.1 Ορισμός και μέρη GPS	20
2.3.2 Τεχνικές προσδιορισμού θέσης.....	22
2.3.3 Μέθοδος RTK και εφαρμογές.....	23
2.4 Αποτύπωση με χρήση μη επανδρωμένου ιπτάμενου οχήματος (UAV)	24
2.4.1 Ορισμός UAV	24

2.4.2 Μέρη και κατηγοριοποίηση.....	25
2.4.3 Εφαρμογές	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ GPS ΣΤΟ Μ.ΕΥΥΔΡΙΟ ΦΑΡΣΑΛΩΝ	30
3.1 Παρουσίαση περιοχής μελέτης.....	30
3.2 Σχεδιασμός για αποτύπωση περιοχής μελέτης με χρήση GPS.....	35
3.3 Επιτόπια αποτύπωση και σημεία που μετρήθηκαν.....	36
3.4 Διάρκεια μετρήσεων	40
3.5 Επεξεργασία δεδομένων GPS	42
3.5.1 Κατασκευή τοπογραφικού διαγράμματος	43
3.5.2 Δημιουργία DEM.....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ UAV ΣΤΟ Μ.ΕΥΥΔΡΙΟ ΦΑΡΣΑΛΩΝ	49
4.1 Σχεδιασμός για αποτύπωση περιοχής μελέτης με χρήση UAV	49
4.2 Λήψη αεροφωτογραφιών στο πεδίο	54
4.3 Διάρκεια πτήσης και εργασιών στο πεδίο.....	62
4.4 Επεξεργασία αεροφωτογραφιών.....	63
4.4.1 Δημιουργία φωτομωσαϊκού και DSM.....	63
4.4.2 Δημιουργία 3D Model	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	73
5.1 Σύγκριση σημείων οριζοντιογραφικά.....	73
5.2 Σύγκριση σημείων υψομετρικά	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	80
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	83
A. Στιγμιότυπα από εργασίες πεδίου με χρήση GPS.....	83
B. Στιγμιότυπα από εργασίες πεδίου με χρήση GPS.....	84
Γ. Δείγμα αεροφωτογραφιών με χρήση UAV σε σμίκρυνση	85
Δ. Συντεταγμένες σημείων λεπτομέρειας στο ΕΓΣΑ87 με GPS.....	86
Ε. Τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1:1000 για την περιοχή μελέτης.....	92
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Παράμετροι ελλειψοειδούς του WGS84	12
Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά φράγματος Μικρού Ευύδριου	32
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά σημεία λεπτομέρειας του σχεδίου σε ΕΓΣΑ87	40
Πίνακας 4: Συνολική διάρκεια της διαδικασίας των μετρήσεων με GPS	42
Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά κάμερας	50
Πίνακας 6: Συντεταγμένες των Waypoints στο WGS84	52
Πίνακας 7: Παράμετροι λήψης αεροφωτογραφιών	53
Πίνακας 8: Διάρκεια εργασιών για λήψη αεροφωτογραφιών	63
Πίνακας 9: Σύγκριση κατά Χ και Ψ	76
Πίνακας 10: Σύγκριση υψομέτρων	78

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Ταχυμετρική μέθοδος	18
Σχήμα 2: Μέρη συστήματος GPS	22

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1: Τμήμα τοπογραφικού χάρτη	5
Χάρτης 2: Θεματικός χάρτης εισβολών στη Ρωμαϊκή αυτοκρατορία	10
Χάρτης 3: Τμήμα από το κροκί της αποτύπωσης	36
Χάρτης 4: Ενδεικτικό τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής μελέτης κλιμ. 1:3000	46

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Φωτογραφία 1: Φορητός υπολογιστής με κεραία GPS σε ρόλο GCS	28
Φωτογραφία 2: Φράγμα Μικρού Ευύδριου.....	34
Φωτογραφία 3: Γέφυρα που συνδέει το Μικρό με το Μεγάλο Ευύδριο.....	34
Φωτογραφία 4: Τμήμα της περιοχής μελέτης.....	34
Φωτογραφία 5: Είσοδος οικισμού Μεγάλου Ευύδριου.....	37
Φωτογραφία 6: Στιγμή αποτύπωσης στην περιοχή.....	38
Φωτογραφία 7: Ένας από τους πολλούς ‘επισκέπτες’ της περιοχής.....	38
Φωτογραφία 8: Δύσβατη περιοχή κοντά στο ποτάμι	41
Φωτογραφία 9: Αφιξη στο σημείο απογείωσης – προσγείωσης του UAV	55
Φωτογραφία 10: Ενσωμάτωση κάμερας στο UAV	57
Φωτογραφία 11: Το UAV με προσαρμοσμένη κάμερα	57
Φωτογραφία 12: Επίγειος σταθμός ελέγχου (GCS) στο πεδίο	58
Φωτογραφία 13: Τελευταίοι έλεγχοι πριν την απογείωση	58
Φωτογραφία 14: UAV έτοιμο για απογείωση	59
Φωτογραφία 15: Επικοινωνία UAV με επίγειο σταθμό ελέγχου.....	60
Φωτογραφία 16: Μη αυτόματη προσγείωση με χρήση του ράδιο-κοντρόλ.....	60
Φωτογραφία 17: Αεροφωτογραφία δευτερόλεπτα μετά την απογείωση	61

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Αστρολάβος του 16 ^{ου} αιώνα.....	3
Εικόνα 2: Δορυφόρος Landsat 8	9
Εικόνα 3: Ελλειψοειδές αναφοράς.....	11
Εικόνα 4: Total station, UAV και δέκτης GPS.....	15
Εικόνα 5: Παλιό θεοδόλιχο και σύγχρονο Total Station.....	16
Εικόνα 6: Απαραίτητος εξοπλισμός για την αποτύπωση	17
Εικόνα 7: Ταχυμετρική αποτύπωση στο πεδίο	19
Εικόνα 8: Πλοηγός χαμηλής ακρίβειας και δέκτης GPS υψηλής ακρίβειας.....	20

Εικόνα 9: Μέθοδος RTK GPS	24
Εικόνα 10: UAV εν ώρα πτήσης.....	25
Εικόνα 11: Ενδεικτικά είδη UAV με περιστρεφόμενα πτερύγια.....	26
Εικόνα 12: Ενσωματωμένη ψηφιακή κάμερα στο UAV	27
Εικόνα 13: Οικισμοί Μεγάλου και Μικρού Ευύδριου	30
Εικόνα 14: Υπόλοιποι οικισμοί Μεγάλου Ευύδριου	31
Εικόνα 15: Περιοχή μελέτης (1)	32
Εικόνα 16: Περιοχή μελέτης (2)	33
Εικόνα 17: Κοίτη Ενιπέα.....	33
Εικόνα 18: Κομμάτι .txt αρχείου με τα σημεία λεπτομέρειας.....	42
Εικόνα 19: Κομμάτι .xls αρχείου με τα σημεία λεπτομέρειας	43
Εικόνα 20: Εισαγωγή σημείων στο Autocad μέσω του WinRaport	44
Εικόνα 21: Τα σημεία λεπτομέρειας ραπορταρισμένα στο Autocad.....	44
Εικόνα 22: Ισοϋψείς καμπύλες με τη βοήθεια του Surfer	45
Εικόνα 23: Ραπορταρισμένα σημεία λεπτομέρειας στο QGIS	47
Εικόνα 24: Παρεμβολή IDW στο QGIS.....	47
Εικόνα 25: DEM για περιοχή μελέτης στο QGIS	48
Εικόνα 26: Λογισμικό ανοιχτού κώδικα Mission Planner	49
Εικόνα 27: Κάμερα XniteCanonELPH110 NDVI που ενσωματώθηκε στο UAV	50
Εικόνα 28: Κανάλια της κάμερας XniteCanonELPH110 NDVI.....	51
Εικόνα 29: Οριοθέτηση περιοχής μελέτης στο Mission Planner.....	51
Εικόνα 30: Δημιουργία Waypoints στο Mission Planner.....	52
Εικόνα 31: Επικαλύψεις αεροφωτογραφιών.....	53
Εικόνα 32: Επικαλύψεις αεροφωτογραφιών στο Mission Planner	53
Εικόνα 33: GPS THALES Mobilemapper Handheld	54
Εικόνα 34: Μοντέλο IRIS Quadcopter UAV που χρησιμοποιήθηκε.....	56
Εικόνα 35: Μέρη του UAV IRIS Quadcopter	56
Εικόνα 36: Έλεγχος πτήσης στο Mission planner.....	59
Εικόνα 37: Λήψη αεροφωτογραφιών.....	61
Εικόνα 38: Εισαγωγή αεροφωτογραφιών στο Agisoft PhotoScan	64
Εικόνα 39: Εισαγωγή X,Ψ,H αεροφωτογραφιών στο Agisoft PhotoScan.....	64
Εικόνα 40: Τοποθέτηση αεροφωτογραφιών και εντοπισμός φωτοσταθερών	65
Εικόνα 41: Συντεταγμένες των φωτοσταθερών.....	65
Εικόνα 42: Δημιουργία φωτομωσαϊκού με Agisoft PhotoScan.....	66

Εικόνα 43: Εξαγωγή DSM μέσω Agisoft Photoscan	66
Εικόνα 44: Φωτομωσαϊκό για την περιοχή μελέτης	67
Εικόνα 45: DSM για την περιοχή μελέτης	68
Εικόνα 46: Εισαγωγή raster αρχείων στο ArcScene	69
Εικόνα 47: Επιλογή επιπέδου αναφοράς για τα υψόμετρα	70
Εικόνα 48: 3D DSM για την περιοχή μελέτης.....	70
Εικόνα 49: 3D Model (1) για την περιοχή μελέτης.....	71
Εικόνα 50: 3D Model (2) για την περιοχή μελέτης.....	72
Εικόνα 51: Εισαγωγή τοπογραφικού και φωτομωσαϊκού στο ArcMap.....	73
Εικόνα 52: Τοπογραφικό διάγραμμα με φωτομωσαϊκό	74
Εικόνα 53: Σύγκριση φωτοσταθερών στο ArcMap	75
Εικόνα 54: Εισαγωγή σημείων λεπτομέρειας, φωτομωσαϊκού και DSM στο Arcmap .	77
Εικόνα 55: Προσδιορισμός υψομέτρων μέσω DSM με εντολή Identify	78

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΤΙΚΟΛΕΞΩΝ

ΓΥΣ	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού
ΕΓΣΑ87	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
ΚΕΠΣ	Κέντρο Πληροφοριακών Συστημάτων
ΤΜΧΠΠΑ	Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΧΑΔΠ	Χωρική Ανάλυση και Διαχείριση Περιβάλλοντος
BTS87	BIH Terrestrial System 1987
DEM	Digital Elevation Model
DSM	Digital Surface Model
DTM	Digital Terrain Model
EDM	Electromagnetic Distance Measurement
ESC	Electronic Speed Controller
GCP	Ground Control Point

GCS	Ground Control Station
GLONASS	GLObal NAVigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GRS80	Geodetic Reference System 1980
IDW	Inverse Distance Weighting
INS	Inertial Navigation System
MCS	Master Control Station
NAVSTAR	NAVigation Satellite Timing And Ranging
NGA	National Geospatial - Intelligence Agency
OLI	Operational Land Manager
ROA	Remotely Operated Aircraft
RPA	Remotely Piloted Aircraft
RPV	Remotely Piloted Vehicle
RTK	Real Time Kinematic
SLR	Single Lens Reflex
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM3	Transverse Mercator 3 ⁰
UAS	Unmanned Aerial/Aircraft Systems
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UTM	Universal Transverse Mercator
UVS	Unmanned Vehicle Systems
WGS84	World Geodetic System 1984

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών 'Χωρική Ανάλυση και Διαχείριση Περιβάλλοντος' (ΧΑΔΠ). Το γραφείο μου, το Κέντρο Πληροφοριακών Συστημάτων (ΚΕΠΣ) του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΤΜΧΠΠΑ) του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και φυσικά το Μεγάλο Ευύδριο Φαρσάλων, που αποτελεί τη περιοχή μελέτης της διατριβής μου, ήταν οι χώροι στους οποίους αφιέρωσα πολλές ώρες σκληρής δουλειάς. Για να ολοκληρωθεί αυτό το τεύχος απαιτήθηκε χρόνος, κόπος και κούραση όχι μόνο από την δική μου πλευρά αλλά και από αρκετούς άλλους ανθρώπους που θεωρώ υποχρέωσή μου να τους ευχαριστήσω.

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Σταθάκη Δημήτριο, Επίκουρο Καθηγητή του ΤΜΧΠΠΑ του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, που αμέσως ανταποκρίθηκε στην πρόταση για την επίβλεψη της διπλωματικής εργασίας μου. Η καθοδήγηση και υποστήριξή του κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής ήταν πολύτιμη και ουσιαστική.

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Φαρασλή Ιωάννη, που ανήκει στο Ερευνητικό Προσωπικό Εργαστηρίων του ΤΜΧΠΠΑ του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, ο οποίος συνέβαλλε τα μέγιστα ώστε να ολοκληρωθεί αυτή η διατριβή. Ήταν εκεί όποτε τον χρειαζόμουν, από τις εργασίες πεδίου μέχρι και το τέλος της εργασίας.

Στη συνέχεια ευχαριστώ τον κ. Ζωγάκη Χρήστο, φίλο και συνάδελφο Αγρονόμο Τοπογράφο Μηχανικό για τον δανεισμό του GPS που χρησιμοποιήθηκε στην περιοχή μελέτης και για τις χρήσιμες πληροφορίες που μου έδωσε.

Έπειτα, θεωρώ χρέος μου να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές που δίδαξαν στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος ΧΑΔΠ του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για τις υπερπολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν και για την σημαντική βοήθειά τους σε ότι απορίες είχα κατά την διάρκεια των μαθημάτων και όχι μόνο. Ένα μεγάλο ευχαριστώ συγκεκριμένα στον κ. Δημήτριο Γούσιο, Καθηγητή του ΤΜΧΠΠΑ του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, ο οποίος μου έδωσε χρήσιμες πληροφορίες για την περιοχή του Ευύδριου Φαρσάλων και μας υποδέχτηκε θερμά στο σπίτι του.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στη κοπέλα μου Λίνα, για την ανεκτίμητη συναισθηματική βοήθεια και κατανόησή της ειδικά το τελευταίο διάστημα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, για την αμέριστη βοήθειά της σε όλους τους τομείς. Ήταν εκεί πάντα να με στηρίζει και να μου παρέχει ότι

χρειάζομαι όλα αυτά τα χρόνια. Χωρίς αυτήν δεν θα είχε ολοκληρωθεί ποτέ αυτή η διατριβή.

Γεωργάκης Εμμανουήλ
Λάρισα, Ιανουάριος 2015

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγκειται αρχικά στην εφαρμογή συγκεκριμένων μεθόδων με σκοπό την αποτύπωση τμήματος γήινης επιφάνειας, που αποτελεί την περιοχή της έρευνάς μας. Έπειτα, γίνεται σύγκριση αυτών των δύο μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν, μέσω των αποτελεσμάτων που μας έδωσαν, βγάζοντας πρακτικά συμπεράσματα για την χρησιμότητα και καταλληλότητα της κάθε μεθόδου.

Αναλυτικότερα, οι μέθοδοι ή τεχνικές που εφαρμόστηκαν με σκοπό την αποτύπωση της περιοχής μελέτης μας, ήταν η RTK (Real Time Kinematic) με χρήση τριπλόσυχνου, τελευταίας τεχνολογίας δέκτη GPS, όπου μετρήθηκαν οι συντεταγμένες 212 σημείων και η αποτύπωση με χρήση συστήματος UAV λαμβάνοντας ένα μεγάλο αριθμό αεροφωτογραφιών. Η περιοχή στην οποία εκτελέστηκαν οι εργασίες πεδίου με τις παραπάνω τεχνικές, ανήκει στο Μεγάλο Ευύδριο, το οποίο αποτελεί τοπική κοινότητα στο δήμο Φαρσάλων της περιφέρειας Θεσσαλίας. Αφορά μία έκταση περίπου 150 στρεμμάτων με αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά το ποτάμι του Ενιπέα και το φράγμα που κατασκευάστηκε για να εξυπηρετήσει τους κατοίκους της ευρύτερης περιοχής. Στη συνέχεια ακολούθησε η διαδικασία που έπεται των εργασιών πεδίου (εργασίες ‘γραφείου’), η οποία περιλαμβάνει την επεξεργασία των συλλεχθέντων δεδομένων και την παραγωγή χαρτογραφικών και μη αποτελεσμάτων με την βοήθεια διαφόρων λογισμικών. Τέλος, δίνονται τα συμπεράσματα της μελέτης μας, αφού όμως έχει προηγηθεί αναλυτική σύγκριση στα αποτελέσματα των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν.

Πιο συγκεκριμένα, το τεύχος αποτελείται από το θεωρητικό και το πρακτικό κομμάτι. Το θεωρητικό αποτελείται από τα δύο πρώτα κεφάλαια, τα οποία περιέχουν συγκεκριμένες πληροφορίες που αφορούν σύγχρονες μεθόδους αποτύπωσης, αλλά και κάποιες πιο γενικές που έχουν να κάνουν με τους επιστημονικούς κλάδους και άλλα στοιχεία που σχετίζονται άμεσα με το αντικείμενο μελέτης. Το πρακτικό κομμάτι τώρα αποτελείται από τα υπόλοιπα κεφάλαια πλην του τελευταίου των συμπερασμάτων. Αφορά την υλοποίηση των μεθόδων αποτύπωσης σε όλα τους τα στάδια (εργασίες πεδίου, επεξεργασία στο ‘γραφείο’) και την συγκριτική μελέτη μεταξύ τους.

Οι βασικοί στόχοι της εργασίας προς επίτευξη είναι δύο. Κατά πρώτον, να υλοποιηθούν και να περιγραφούν αναλυτικά κυρίως σε πρακτικό επίπεδο (αλλά και σε

θεωρητικό) δύο από τις πιο σύγχρονες τεχνικές αποτύπωσης, οι οποίες δίνουν πολύτιμες λύσεις σε συνήθεις εργασίες που σχετίζονται με το αντικείμενο. Κατά δεύτερον, να συγκριθούν αυτές οι τεχνικές μεταξύ τους σε ότι έχει να κάνει με την διαδικασία διεξαγωγής τους αλλά και σε ότι αφορά τα τελικά αποτελέσματά που προκύπτουν από την κάθε μία, παρουσιάζοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Ο δεύτερος στόχος απαντάει και στη μεγάλη χρησιμότητα της παρούσας εργασίας, δίνοντας πρακτικές κατευθύνσεις σχετικά με την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου αποτύπωσης που πρέπει να χρησιμοποιηθεί στις διάφορες εφαρμογές.

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΠΕΡΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΗΣ ΓΗΙΝΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Ο άνθρωπος από τη φύση του έχει περιορισμένη ικανότητα στο να εποπτεύσει και να απεικονίσει άμεσα το γήινο φυσικό περιβάλλον ως σύνολο. Αυτή του η αδυναμία τον ανάγκασε, από την παλαιολιθική εποχή ακόμα, να επινοήσει την αναπαράσταση του τρισδιάστατου χώρου, έχοντας ως αποτέλεσμα την ‘εφεύρεση’ των χαρτών (Λιβιεράτος, 1998). Τα αρχαιότερα ευρήματα που δίνουν περιγραφές του περιβάλλοντος χώρου και αναγνωρίζονται ως χάρτες από επιστήμονες αρχαιολόγους εμφανίζονται από το 30000 π.Χ και μετά (Παπαδοπούλου, 2006-2007). Αυτομάτως, η χαρτογραφία αποτελεί μία από τις αρχαιότερες δραστηριότητες του ανθρώπου.

Από την αρχαιότητα η ανάγκη του ανθρώπου για μελέτη του γήινου χώρου γίνεται έκδηλη. Οι αρχαίοι κάτοικοι της Μεσοποταμίας και της Αιγύπτου άρχισαν να σκέφτονται με γεωμετρική αντίληψη τρόπους για να επαναπροσδιορίσουν τις ιδιοκτησίες τους, εξαιτίας των πλημμυρών που προκαλούσαν οι ποταμοί του Τίγρη, του Ευφράτη και του Νείλου αντίστοιχα (Μπιλλήρης κ.α, 2007). Κάπως έτσι άρχισαν οι πρώτες γεωδαιτικές εργασίες.

Η μεγάλη ανάπτυξη όμως της γεωδαισίας, τοπογραφίας και χαρτογραφίας σε συνδυασμό με τα μαθηματικά, τη γεωμετρία και την αστρονομία, αρχίζει από την Ελληνική εποχή. Από πολύ παλιά οι αρχαίοι Έλληνες έκαναν προσπάθειες για να προσδιορίσουν το σχήμα και το μέγεθος της γης. Για αιώνες, ο μοναδικός τρόπος για να μελετηθεί η γεωμετρία της γης ήταν οι παρατηρήσεις πλανητών και αστερών. Πριν ακόμη δημιουργηθούν με την ανάπτυξη του πολιτισμού τα πρώτα τοπογραφικά όργανα, οι μονάδες μετρήσεων των μηκών είχαν να κάνουν με τα μέλη του ανθρωπίνου σώματος. Σιγά σιγά όμως άρχισαν να κατανοούνται βασικές γεωμετρικές έννοιες, όπως για παράδειγμα το οριζόντιο επίπεδο και η κατακόρυφη – οριζόντια γωνία. Προσελκύστηκαν

κάποιοι από τους καλύτερους επιστήμονες της αρχαιότητας και ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται τα πρώτα απλά τοπογραφικά όργανα, όπως η σταδία για τον υπολογισμό των υψομετρικών διαφορών, ο αστέρας για τη χάραξη ορθών γωνιών, τα σχοινιά για την μέτρηση των μηκών ή και ο αστρολάβος για αστρονομικές μετρήσεις. Αξίζει να σημειωθεί πως ο Ερατοσθένης ήταν αυτός ο οποίος θεμελίωσε τις επιστήμες της γεωδαισίας και τοπογραφίας, θεωρούμενος και ως ο πρώτος γεωδαίτης (Σαββαΐδης κ.α, 2008).



Εικόνα 1 – Αστρολάβος του 16^{ου} αιώνα (πηγή: <http://en.wikipedia.org/wiki/Astrolabe>)

Με το πέρασμα των χρόνων, οι επιστήμες της τοπογραφίας, γεωδαισίας και χαρτογραφίας συστηματοποιούνται και βελτιώνονται συνεχώς. Από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα κατασκευάζονται τοπογραφικά όργανα μεγάλης ακρίβειας, όπως θεοδόλιχα και χωροβάτες. Επιπλέον, η ακρίβεια και η ποιότητα των χαρτών βελτιώνονται αισθητά (Σαββαΐδης κ.α, 2008). Σημαντικότατο γεγονός αποτελεί η ανακάλυψη της φωτογραφίας στις αρχές του 1800, αποτελώντας σημαδιακό σταθμό για τις επιστήμες της τηλεπισκόπησης και φωτογραμμετρίας. Ο 1^{ος} Παγκόσμιος πόλεμος έδωσε μεγάλη ώθηση στις συγκεκριμένες επιστήμες και αναπτύχθηκαν σε μεγάλο βαθμό οι εφαρμογές της αεροφωτογραφίας και φωτογραμμετρίας. Κατά τη διάρκεια του 2^{ου} Παγκοσμίου πολέμου και μετά είχαμε ραγδαίες εξελίξεις στη τεχνολογία, με σημείο αναφοράς την ανάπτυξη των ραντάρ σε Γερμανία, ΗΠΑ (Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής) και Μ. Βρετανία την δεκαετία του 1930 και την τοποθέτηση σε τροχιά γύρω από τη γη του πρώτου τεχνητού δορυφόρου, του Σοβιετικού Sputnik-1 το 1957 (Τσακίρη–Στρατή, 2004).

Από τότε μέχρι σήμερα η γεωδαισία, τοπογραφία, φωτογραμμετρία, τηλεπισκόπηση και χαρτογραφία έχουν αναπτυχθεί και εξελιχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό εξαιτίας της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας και των ηλεκτρονικών συστημάτων. Από τον πρώτο ολοκληρωμένο Γεωδαιτικό Σταθμό (Total Station), μέχρι τα Παγκόσμια

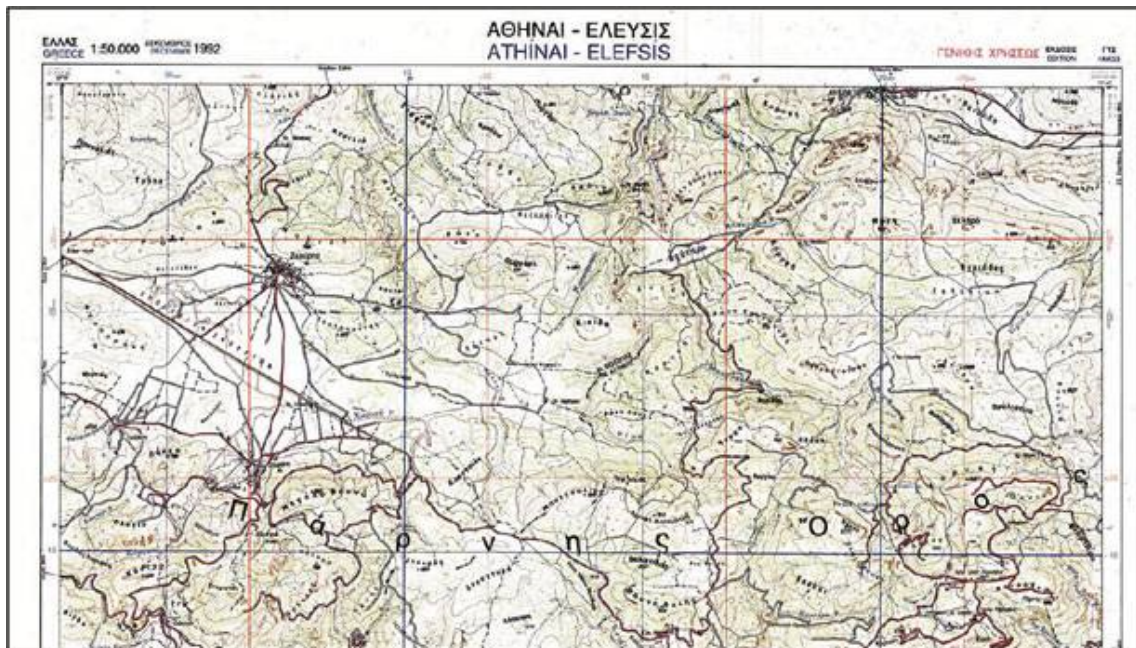
Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης GNSS (Global Navigation Satellite Systems) και τα Μη Επανδρωμένα Ιπτάμενα Οχήματα (UAV), οι παραπάνω κλάδοι εξελίσσονται και βελτιώνονται συνεχώς μη γνωρίζοντας για το τι μας επιφυλάσσουν στο μέλλον.

1.3 ΣΧΕΤΙΚΟΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΙ ΚΛΑΔΟΙ

Η συλλογή των δεδομένων με στόχο την αποτύπωση και μελέτη γενικότερα της γήινης επιφάνειας πραγματοποιείται με μεθόδους που πηγάζουν από τα γνωστικά πεδία της τοπογραφίας, γεωδαισίας, τηλεπισκόπησης, φωτογραμμετρίας και άλλων επιστημονικών περιοχών. Το οπτικό αποτέλεσμα όμως μιας αποτύπωσης, όπως για παράδειγμα η κατασκευή ενός δισδιάστατου χάρτη, ακολουθεί θεωρίες και κανόνες που αντλούνται από την επιστήμη της χαρτογραφίας. Στα επόμενα υποκεφάλαια ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή για το περιεχόμενο των προαναφερθέντων επιστημονικών κλάδων.

1.3.1 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ

« Η τοπογραφία είναι η επιστήμη που διδάσκει τις μεθόδους με τη βοήθεια των οποίων απεικονίζεται υπό κλίμακα η επιφάνεια του εδάφους σε ένα επίπεδο » (Βλάχος, 2005). Η επιστήμη της τοπογραφίας ασχολείται με περιορισμένες εκτάσεις της γήινης επιφάνειας. Τα προϊόντα μιας τοπογραφικής μελέτης, όπως ένα τοπογραφικό διάγραμμα ή ένας τοπογραφικός χάρτης, αποτελούν μια απεικόνιση του υπό μελέτη τμήματος της γήινης επιφάνειας στο επίπεδο του χάρτη με μορφή σχεδίου υπό κλίμακα (Τσούλης, 2005). Ακολουθεί παράδειγμα τοπογραφικού χάρτη της ΓΥΣ (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού):



Χάρτης 1 – Τμήμα τοπογραφικού χάρτη (πηγή: ΓΥΣ)

Ο προσδιορισμός χαρακτηριστικών σημείων του χώρου με τη μορφή συντεταγμένων σε κάποιο σύστημα αναφοράς αποτελεί το βασικό μαθηματικό αντικείμενο της τοπογραφίας. Η απεικόνιση των σημείων στο οριζόντιο επίπεδο, γνωρίζοντας ήδη τις συντεταγμένες αυτών, μας επιτρέπει να περιγράψουμε κατασκευές, όρια ιδιοκτησιών και γενικότερα το σύνολο ανθρώπινων παρεμβάσεων που έχουν γίνει στη περιοχή αποτύπωσης. Τέλος, τονίζεται πως η ακρίβεια του προσδιορισμού των εν λόγω σημείων, αν εξαιρέσουμε τους εξωγενείς παράγοντες (π.χ διάθλαση ατμόσφαιρας), εξαρτάται άμεσα από τα τοπογραφικά όργανα μέτρησης και την τελειότητα κατασκευής τους, τα οποία χρησιμοποιούνται και επιλέγονται ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε εφαρμογής (Τσούλης, 2005).

1.3.2 ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ

Η λέξη ‘γεωδαισία’ αποτελεί σύνθετη ελληνική λέξη και προέρχεται από τις λέξεις γη και δαίω (διαίρώ). Σήμερα η γεωδαισία ορίζεται ως η επιστήμη που ασχολείται με τη μέτρηση του σχήματος, μεγέθους, προσανατολισμού και πεδίου βαρύτητας της γης, καθώς και των μεταβολών τους με τον χρόνο χρησιμοποιώντας γεωδαιτικές τεχνικές. Αυτές οι τεχνικές μπορεί να είναι για παράδειγμα ένας τριγωνισμός, μία χωροστάθμιση, μετρήσεις ζενίθειων ή κατακόρυφων γωνιών, βαρυμετρία και άλλες (Jin et al, 2013).

Σε γενικές γραμμές συνδυάζει την γεωμετρία (μετρήσεις, απεικονίσεις και κατασκευή χαρτών, τοπογραφικές – υδρογραφικές αποτυπώσεις, πλοήγηση κ.α), το πεδίο βαρύτητας (επίδραση της βαρύτητας στις μετρήσεις, προσδιορισμός του γήινου πεδίου βαρύτητας, του γεωειδούς κ.α) και τα συστήματα αναφοράς τα οποία σχετίζονται με τη γη αλλά και με τον διαστημικό χώρο (π.χ δορυφορικά, ουράνια συστήματα) (Φωτίου, 2007). Η κύρια διαφορά της γεωδαισίας με την τοπογραφία έγκειται στο γεγονός ότι η τοπογραφία ασχολείται με την λεπτομερή απεικόνιση περιορισμένων εκτάσεων της γήινης επιφάνειας, ενώ η γεωδαισία με όλα αυτά που αναφέρθηκαν προηγουμένως (Βλάχος, 2005). Συνήθως χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες, τη Γεωμετρική, τη Φυσική και τη Διαστημική ή Δορυφορική γεωδαισία, οι οποίες περιγράφονται πολύ συνοπτικά στη συνέχεια.

- *Γεωμετρική γεωδαισία:* σκοπεύει στον προσδιορισμό συντεταγμένων για ένα σύνολο σημείων αναφοράς, σε μία μεγάλη έκταση της γήινης επιφάνειας, όπως μία πόλη, μια χώρα, μια ήπειρο ή και όλη τη γη. Τα σημεία αυτά υλοποιούν το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς στο οποίο ανήκουν όλες οι εργασίες που περιλαμβάνουν για παράδειγμα κατασκευή χαρτών, όπως το κτηματολόγιο (Φωτίου, 2007).
- *Φυσική γεωδαισία:* αποτελεί το τμήμα της γεωδαιτικής επιστήμης, που ασχολείται κατά κύριο λόγο με την χρήση των μετρήσεων του πεδίου βαρύτητας, μέσω μαθηματικά προηγμένων τεχνικών. Ο σημαντικότερος στόχος της είναι ο προσδιορισμός του γεωειδούς, διότι είναι αναγκαίο για την αναγωγή μετρήσεων μηκών ή γωνιών από την γήινη επιφάνεια σε μία μαθηματική επιφάνεια (Κατσάμπαλος και Τζιαβός, 1996)
- *Διαστημική ή Δορυφορική γεωδαισία:* έχει να κάνει με τη χρήση μετρήσεων ακριβείας που γίνονται μεταξύ των επίγειων οργάνων και των αντικειμένων στο διάστημα (π.χ δορυφόροι σε τροχιά) με στόχο να προσδιορίσουν τις θέσεις σημείων πάνω στη γη, την κίνηση του πόλου της γης και τις παραμέτρους περιστροφής του και την παρακολούθηση των μεταβολών των μετρήσεων στο χρόνο. Μία από τις κύριες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην διαστημική γεωδαισία έχει να κάνει με τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης GNSS, συμπεριλαμβανομένου του GPS, του ρωσικού GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System) και του ανερχόμενου Galileo της Ευρώπης (Noll, 2010).

1.3.3 ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

«Η φωτογραμμετρία είναι η επιστήμη και τεχνική του προσδιορισμού της γεωμετρικής μορφής φυσικών αντικειμένων, αξιοποιώντας την απεικόνιση των αντικειμένων αυτών σε φωτογραφίες» (Δερμάνης, 1999). Παρά την μεγάλη σημασία της για καθημερινές πρακτικές εφαρμογές, στην Ελλάδα δεν γνώρισε ποτέ την ανάπτυξη που θα έπρεπε να γνωρίσει. Ένα χαρακτηριστικό της φωτογραμμετρίας που την κάνει ξεχωριστή από τις υπόλοιπες ‘κοντινές’ επιστήμες (τοπογραφία, γεωδαισία, χαρτογραφία) είναι το γεγονός ότι η διαδικασία των παρατηρήσεων και η διαδικασία των μετρήσεων αποτελούν δύο χρονικά και τοπικά ξεχωριστές διαδικασίες (Πατιάς, 1991).

Η φωτογραμμετρία ταξινομείται σε κατηγορίες ανάλογα κυρίως με τον τύπο της φωτογραφίας και τον τρόπο χρήσης της. Έτσι έχουμε τις εξής κατηγορίες (Πατιάς, 1991):

- *Από αέρα φωτογραμμετρία*: έχει να κάνει με την περίπτωση των αεροφωτογραφιών.
- *Επίγεια φωτογραμμετρία*: ο σταθμός λήψης των φωτογραφιών βρίσκεται στο έδαφος.
- *Μονοεικονική φωτογραμμετρία*: ασχολείται με την εξαγωγή πληροφορίας από μία μόνο φωτογραφία.
- *Στερεοφωτογραμμετρία*: χρησιμοποιεί επικαλυπτόμενα ζεύγη εικόνων για εξαγωγή πληροφορίας.
- *Αναλογική φωτογραμμετρία*: χρησιμοποιούνται αναλογικά φωτογραμμετρικά όργανα.
- *Αναλυτική φωτογραμμετρία*: χρησιμοποιούνται αναλυτικά φωτογραμμετρικά όργανα για την απόδοση της πληροφορίας.
- *Ψηφιακή φωτογραμμετρία*: επεξεργάζεται μόνο ψηφιακές εικόνες και όχι αναλογικές.

Τα τελευταία χρόνια, εμφανίζονται όλο και περισσότερες εφαρμογές με συστήματα UAV που χρησιμοποιούν την φωτογραμμετρία. Η εξέλιξη αυτή δικαιολογείται από το γεγονός της εξάπλωσης των φθηνών συστημάτων GPS-INS (Inertial Navigation Systems), τα οποία είναι απαραίτητα για την πλοήγηση με υψηλή ακρίβεια στα επιλεγόμενα σημεία (Eisenbeiss, 2004).

1.3.4 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης ασχολείται με την απόκτηση πληροφοριών που αφορούν την γήινη επιφάνεια, μέσω της ανάλυσης δεδομένων που συλλέγονται από ειδικό μηχάνημα που βρίσκεται σε απόσταση από αυτήν. Εικόνες από δορυφόρους παρακολούθησης της γης και αεροφωτογραφίες χρησιμοποιούνται ολοένα και συχνότερα (Lambin, 2001). Τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης αποτελούν την καταγραφή της αντίδρασης ενός αντικειμένου ή μιας επιφάνειας στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και μπορούν να συλλεχθούν από ειδικούς δέκτες, οι οποίοι μπορεί να βρίσκονται στο έδαφος ή να είναι τοποθετημένοι σε αεροσκάφος ή σε δορυφόρο, να είναι ενεργητικοί ή παθητικοί, φωτογραφικοί ή σαρωτές (Πατιάς, 1991).

Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα μπορεί να είναι ή σε αναλογική ή σε ψηφιακή μορφή. Η κλασική αναλογική αεροφωτογραφία είναι η αρχική μορφή των τηλεπισκοπικών δεδομένων και χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα σε τοπογραφικές αποτυπώσεις, στη δημιουργία και ενημέρωση χαρτών και σε άλλες εφαρμογές. Η επεξεργασία των αναλογικών εικόνων επιτυγχάνεται με τις κλασικές μεθόδους της φωτογραμμετρίας. Αντιθέτως, η επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων, λόγω του μεγάλου όγκου τους δεν θα μπορούσε να γίνει με την κλασική ερμηνεία, διότι θα αποτελούσε μια χρονοβόρα διαδικασία. Επομένως γίνεται ψηφιακά με την βοήθεια της προηγμένης τεχνολογίας απεικόνισης και ηλεκτρονικών συστημάτων, με χρήση των κατάλληλων software (Τσακίρη-Στρατή, 2004).

Ένας μεγάλος αριθμός δορυφορικών αισθητήρων έχει χρησιμοποιηθεί από το 1970 για την απόκτηση πολυφασματικών δεδομένων. Η πλειονότητα όμως των δορυφορικών εικόνων έχει αποκτηθεί από μία σειρά δορυφορικών συστημάτων της NASA με το όνομα Landsat, που θεωρείται ως η μεγαλύτερη πρόοδος στο πεδίο της τηλεπισκόπησης (Τσακίρη-Στρατή, 2004). Τελευταίος χρονικά δορυφόρος Landsat είναι ο δορυφόρος Landsat 8 ο οποίος εκτοξεύτηκε στις 11 Φεβρουαρίου 2013 και αποτελείται από δύο αισθητήρες, τον OLI (Operational Land Manager) και τον TIRS (Thermal Infrared Sensor) (πηγή: http://landsat.gsfc.nasa.gov/?page_id=4071). Ακολουθεί εικόνα με τον Landsat 8.



Εικόνα 2 – Δορυφόρος Landsat 8 (πηγή: <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>)

Τέλος, αναφέρεται πως η τεχνολογία που χρησιμοποιεί η τηλεπισκόπηση έχει βελτιωθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες. Με την σμίκρυνση των αισθητήρων και των συστημάτων εντοπισμού θέσης, άνοιξε ο δρόμος για την χρησιμοποίηση των UAV σε ένα μεγάλο εύρος περιβαλλοντικών εφαρμογών που έχουν να κάνουν με την τηλεπισκόπηση (Harwin and Lucieer, 2012).

1.3.5 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑ

«Η χαρτογραφία είναι μία από τις αρχαιότερες επιστήμες του ανθρώπου, στην προσπάθειά του να κερδίσει τη μάχη της επιβολής του στη φύση ή της συνύπαρξής μαζί της αλλά και για την ίδια του την εξέλιξη» (Λιβιεράτος, 1988). Ο χάρτης αποτέλεσε μία από τις αρχαιότερες εκφράσεις του ανθρώπου για επικοινωνία με το χώρο και το περιβάλλον του, κάνοντας την εμφάνισή του αρκετά πριν τον γραπτό λόγο και τις κατασκευές (Λιβιεράτος, 2002).

Η επιστήμη της χαρτογραφίας απεικονίζει στον επίπεδο χάρτη, ο οποίος αποτελεί τη δισδιάστατη εικόνα της τρισδιάστατης πραγματικότητας, όλες τις πληροφορίες σχετικές με τον χώρο που μας περιβάλλει, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες μεθόδους και συμβολισμούς. Ο χρήστης του χάρτη με την σειρά του καλείται να αποκωδικοποιήσει την πληροφορία, ώστε να κατανοήσει το περιεχόμενό του. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες χαρτών, όπως οι τοπογραφικοί, οι ναυτικοί, οι θεματικοί, οι ψηφιακοί χάρτες και άλλοι (Παπαδοπούλου, 2006-2007). Όλα τα είδη χαρτών όμως έχουν να παίξουν σημαντικό ρόλο στις οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές δραστηριότητες, αποτελώντας σημαντικό εργαλείο επικοινωνίας και υποστήριξης της λήψης αποφάσεων (Longley et al, 2005).

Αναφέρεται πως η θεματική χαρτογραφία θεωρείται ως ξεχωριστός κλάδος της χαρτογραφίας και αυτό έγκειται στη σημαντική διαφορά ενός θεματικού χάρτη με έναν παραδοσιακό χάρτη, όπως για παράδειγμα έναν ναυτιλιακό χάρτη. Ο θεματικός χάρτης έχει ως στόχο να μεταδώσει μέσω μίας απεικόνισης ή ενός διαγράμματος θεματικές έννοιες χωρίς απαραίτητα γεωγραφικό ενδιαφέρον. Τέτοιες έννοιες μπορεί να είναι μία κατανομή πυκνοτήτων, σχέσεων στο χώρο, μετακινήσεων και άλλες (Λιβιεράτος, 2006-2007). Ακολουθεί παράδειγμα θεματικού χάρτη με τις εισβολές στην Ρωμαϊκή αυτοκρατορία και τις κυριότερες μετακινήσεις από το 100 έως το 500 μ.Χ.



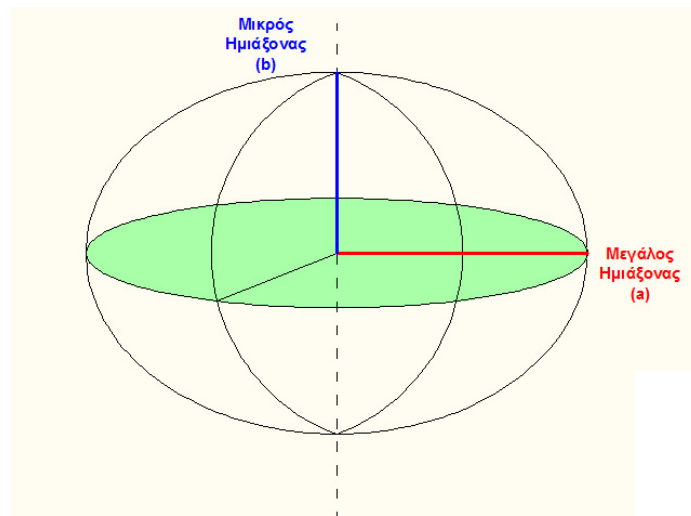
Χάρτης 2 – Θεματικός χάρτης εισβολών στη Ρωμαϊκή αυτοκρατορία
(πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/Migration_Period)

1.4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Τα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς σε γενικές γραμμές καθορίζουν το μέγεθος και το σχήμα της γης. Μέχρι τώρα, έχουν χρησιμοποιηθεί πολλά διαφορετικά συστήματα για τη γήινη σφαίρα ή τοπικά σε διάφορα κράτη. Σήμερα τα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς μπορεί να είναι αρκετά πολύπλοκα καλύπτοντας ολόκληρη τη γη και περιγράφοντας το μέγεθος, τη μορφή της και άλλα στοιχεία, αλλά μπορεί και να είναι πολύ πιο απλά όπως επίπεδες επιφάνειες για μικρής έκτασης τοπογραφικές εργασίες (Π. Σαββαΐδης κ.α, 2008).

Οι γεωδαιτικές συντεταγμένες λ (γεωδαιτικό μήκος), φ (γεωδαιτικό πλάτος), h (γεωδαιτικό ύψος) συνδέονται με ένα καρτεσιανό σύστημα που έχει αρχή το κέντρο του ελλειψοειδούς αναφοράς (πεπλατυσμένο ελλειψοειδές εκ περιστροφής), πρώτο άξονα

που να είναι κοντά στο μεσημβρινό του Greenwich και τρίτο άξονα στη διεύθυνση του μικρού ημιάξονα b (βλ. εικόνα 10). Για τον προσδιορισμό όμως των γεωδαιτικών συντεταγμένων χρειάζονται επιπλέον και οι διαστάσεις του ελλειψοειδούς, δηλαδή οι ημιάξονες a και b ή εναλλακτικά η εκκεντρότητα του ελλειψοειδούς e (δίνεται από τύπο) και η ισημερινή ακτίνα a . Το σύστημα αναφοράς με τις δύο παραμέτρους a και e αποτελούν το γεωδαιτικό *datum*, που αποτελεί μια έννοια ευρύτερη από το σύστημα αναφοράς (Δερμάνης, 2005).



Εικόνα 3 – Ελλειψοειδές αναφοράς (πηγή: <http://www.geosolution.gr>)

Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ή γεωδαιτικό *datum* ορίζεται συχνά με δύο διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος το ορίζει ως ένα επίγειο καρτεσιανό σύστημα αναφοράς, σταθερό ως προς τη γη. Το σύστημα μπορεί να είναι γεωκεντρικό ή γεωδαιτικό-τοπικό. Ο δεύτερος το ορίζει ως ένα επίγειο πλαίσιο αναφοράς, δηλαδή ένα σύνολο βασικών σημείων με σταθερές συντεταγμένες. Ο δεύτερος ορισμός αντιπροσωπεύει πιο πολύ την πραγματικότητα και είναι πιο κατανοητός στη πράξη. Τα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς ιδρύονται κυρίως για να εξυπηρετήσουν τον οριζόντιο προσδιορισμό θέσης, γι' αυτό τον λόγο φέρνουν και την ονομασία οριζόντια γεωδαιτικά *datum*. Για να προσδιοριστούν τώρα τα υψόμετρα ιδρύεται άλλο *datum*, το χωροσταθμικό, με επιφάνεια αναφοράς το γεωειδές (μέση στάθμη θάλασσας) (Φωτίου και Πικριδάς, 2006).

1.4.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ WGS84

Το παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς WGS84 (World Geodetic System 1984) και σύστημα του GPS, του υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ αποτελεί ένα από τα προϊόντα της NGA (National Geospatial – Intelligence Agency). Το σύστημα αναφοράς του WGS84 είναι ένα επίγειο γεωκεντρικό σύστημα και θεωρείται ότι δεν υπάρχει σχετική περιστροφή ως προς τον φλοιό της γης συναρτήσει του χρόνου. Το πλαίσιο αναφοράς του ορίζεται από τις συντεταγμένες ενός συνόλου περίπου 13 μόνιμων σταθμών παρακολούθησης των δορυφόρων GPS που βοηθούν στον υπολογισμό των τροχιών με παγκόσμια κατανομή (Φωτίου, 2007).

Το ελλειψοειδές του WGS84 ορίζεται από τις εξής παραμέτρους, όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1 – Παράμετροι ελλειψοειδούς του WGS84

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	
Μεγάλος ημιάξονας	$a = 678137.0 \text{ m}$
Επιπλάτυνση f	$1/f = 298.257223563$
Γήινη βαρυτική σταθερά	$GM = (3986004.418 \pm 0.008) \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$
Γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της γης	$\omega = 7292115 \cdot 10^{-11} \text{ rad/sec}$

(πηγή: Φωτίου και Πικριδάς, 2006)

1.4.2 ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το λεγόμενο παλιό Ελληνικό Datum ή 'Bessel' αποτέλεσε το πρώτο γεωδαιτικό Datum που ιδρύθηκε στην Ελλάδα και θεωρούνταν ως το επίσημο της χώρας περίπου μέχρι τη δεκαετία του 1990. Ένας μεγάλος όγκος γεωδαιτικών, τοπογραφικών και χαρτογραφικών εργασιών στη χώρα αναφέρεται σε αυτό, με συνέπεια στις καθημερινές τοπογραφικές εργασίες να υπάρχει το πρόβλημα της συσχέτισης της παλιάς με τη νέα πληροφορία, όπως για παράδειγμα η μεταφορά χαρτών, σχεδίων στις νέες αποτυπώσεις με αναφορά το ΕΓΣΑ87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987). Αναφέρεται πως χρησιμοποιούσε τα προβολικά συστήματα της Hatt και της TM3 (Transverse Mercator 3⁰) (Φωτίου, 2007).

Το ισχύον γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς στην Ελλάδα είναι το ΕΓΣΑ87, το οποίο προέκυψε από συνδυασμό κλασικών και δορυφορικών μετρήσεων. Αποτελεί και

αυτό ένα τοπικό πλαίσιο αναφοράς. Χρησιμοποιεί το ελλειψοειδές GRS80 (Geodetic Reference System 1980) και είναι παράλληλα προσανατολισμένο ως προς το παγκόσμιο σύστημα BTS87 (BIH Terrestrial System 1987) με στόχο να προσαρμόζεται καλύτερα στο γεωειδές για τον ελληνικό χώρο. (Φωτίου και Πικριδάς, 2006). Το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιείται είναι η εγκάρσια μερκατορική προβολή σε μια ζώνη με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda=24^\circ$ και συντελεστή κλίμακας κατά μήκος του κεντρικού μεσημβρινού ίσο με 0,9996. Το ΕΓΣΑ87 παρέχει ένα ενιαίο και μοναδικό σύστημα συντεταγμένων για τον ελληνικό χώρο και αποτελεί το επίσημο σύστημα αναφοράς για την σύνταξη του Εθνικού Κτηματολογίου της χώρας. Επιπλέον έχει απόλυτη συμβατότητα με το παγκόσμιο σύστημα WGS84 που χρησιμοποιείται από το GPS (Π. Σαββαΐδης κ.α, 2008).

1.5 ΠΡΟΒΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Προκειμένου να κατασκευάσουμε ένα χάρτη του γήινου χώρου, ο οποίος αποτελείται από τρεις διαστάσεις, πρέπει αρχικά να καθορίσουμε την μαθητική περιγραφή του σχήματος του πλανήτη. Αφού έχει γίνει αυτό, η θέση του κάθε σημείου της της μαθηματικής γήινης επιφάνειας περιγράφεται με τη βοήθεια ενός συστήματος συντεταγμένων, που ορίζουμε σε αυτήν. Η μεταφορά τώρα όλων των γνωστών σημείων από την τρισδιάστατη γη στις τρεις διαστάσεις γίνεται με την βοήθεια των *χαρτογραφικών προβολών* (Παπαδοπούλου, 2006-2007).

Στην Ελλάδα εφαρμόζονται σήμερα τέσσερις τύποι γεωδαιτικών (χαρτογραφικών) προβολών ή απεικονίσεων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε τοπογραφικές, γεωδαιτικές, χαρτογραφικές, φωτογραμμετρικές και κτηματολογικές εργασίες. Αυτοί είναι οι ακόλουθοι (Δερμάνης κ.α, 1995):

- I. Η πλάγια ισαπέχουσα αζιμουθιακή απεικόνιση *Hatt*. Το προβολικό σύστημα της *Hatt* αποτέλεσε το ένα από τα δύο συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν στο παλιό ελληνικό datum, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο υποκεφάλαιο.
- II. Η παγκόσμια εγκάρσια Μερκατορική απεικόνιση *UTM* (Universal Transverse Mercator). Η συγκεκριμένη προβολή χρησιμοποιείται κυρίως από την ΓΥΣ για τις ανάγκες του στρατού.
- III. Η εγκάρσια Μερκατορική απεικόνιση των $3^0 TM3^0$ (Transverse Mercator 3^0). Το προβολικό της σύστημα χρησιμοποιήθηκε και αυτό στο παλιό ελληνικό datum.

- IV. Η εγκάρσια Μερκατορική απεικόνιση μιας ζώνης για όλη την Ελλάδα , η οποία συνδέθηκε με το ΕΓΣΑ87.

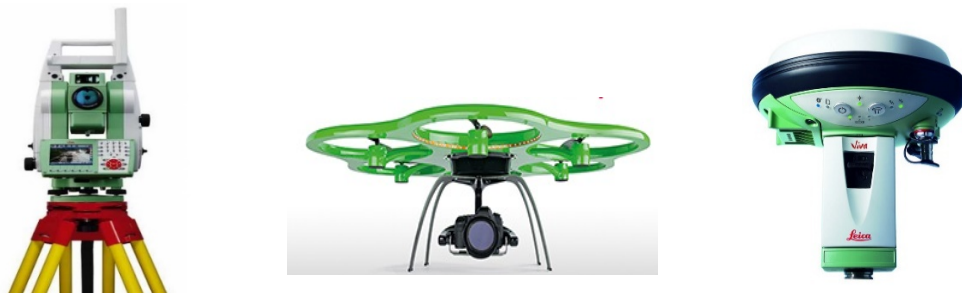
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

«Το σύνολο των εργασιών που γίνονται με σκοπό την απεικόνιση της μορφής του εδάφους δια μέσου ενός χάρτη, ονομάζεται τοπογραφική αποτύπωση ή τοπογραφική χαρτογράφηση» (Βλάχος, 1997). Η διαδικασία της αποτύπωσης χωρίζεται σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τις εργασίες πεδίου, οι οποίες έχουν ως στόχο την απόκτηση μετρητικών πληροφοριών στο έδαφος. Το δεύτερο στάδιο έχει να κάνει με τις εργασίες γραφείου, δηλαδή τους απαραίτητους υπολογισμούς που απαιτούνται προκειμένου να φτάσουμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Αυτό μπορεί να είναι για παράδειγμα ένας τοπογραφικός χάρτης, μία ψηφιακή απεικόνιση του εδάφους DTM (Digital Terrain Model) ή ένας απλός πίνακας με τις συντεταγμένες των σημείων που μετρήθηκαν.

Μία αποτύπωση μπορεί να είναι εξαρτημένη ή ανεξάρτητη. Η εξαρτημένη είναι αυτή που ως σύστημα αναφοράς χρησιμοποιείται κάποιο γνωστό σύστημα, όπως για παράδειγμα το κρατικό σύστημα συντεταγμένων. Ως ανεξάρτητη χαρακτηρίζεται η αποτύπωση, το αποτέλεσμα της οποίας αναφέρεται σε ένα αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων (Σαββαΐδης κ.α, 2008).

Η μέθοδος ή η διαδικασία που θα ακολουθηθεί για να αποτυπωθεί τμήμα της γήινης επιφάνειας εξαρτάται από τον σκοπό της εργασίας, το μέγεθός της και τον διαθέσιμο εξοπλισμό. Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με μεθόδους - τεχνικές αποτύπωσης που χρησιμοποιούνται ευρέως σε τοπογραφικές εφαρμογές και όχι μόνο ανά τον κόσμο. Αυτές είναι η ταχυμετρική αποτύπωση με χρήση σύγχρονου γεωδαιτικού σταθμού (Total Station), η αποτύπωση με την βοήθεια του παγκόσμιου συστήματος προσδιορισμού θέσης GPS και η αποτύπωση με τη βοήθεια της ραγδαία εξελισσόμενης τεχνολογίας των μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων UAV.



Εικόνα 4 – Total station, UAV και δέκτης GPS (πηγή: <http://www.leica-geosystems.com>)

2.2 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

Η εξέλιξη των επίγειων γεωδαιτικών οργάνων τα τελευταία χρόνια ήταν ραγδαία με αποτέλεσμα τα οφέλη για τους χρήστες τους να είναι κάτι παραπάνω από σημαντικά. Από την απλοποίηση και την επιτάχυνση των εργασιών πεδίου μέχρι και την αισθητή βελτίωση της ακρίβειας των παρατηρήσεων, η ανάπτυξη της τεχνολογίας δεν θα μπορούσε να μην είχε αφήσει το στίγμα της στη βελτίωση των διάφορων τοπογραφικών και συναφούς περιεχομένου εφαρμογών. Οι εταιρείες που ασχολούνται με την κατασκευή και γενικότερα με την εξάπλωση τέτοιου είδους οργάνων γίνονται ολοένα και περισσότερες. Έτσι, από τα παραδοσιακά θεοδόλιχα, τις σταδίες, τις μετροταινίες και κατ' επέκταση την κλασική μέθοδο αποτύπωσης, έχουμε περάσει πλέον στους γεωδαιτικούς σταθμούς (Total Stations), την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τα πρίσματα-ανακλαστήρες και την ταχυμετρική αποτύπωση, που θα περιγραφεί στην συνέχεια.



Εικόνα 5 – Παλιό θεοδόλιχο και σύγχρονο Total Station

(πηγή: <http://en.wikipedia.org/wiki/Theodolite>)

2.2.1 TOTAL STATION ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΙΠΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Πριν από αρκετά χρόνια, η διαδικασία μέτρησης των αποστάσεων εκτελούνταν συνήθως με μηχανικά μέσα, όπως ειδικές αλυσίδες, κανόνες, σύρματα Invar και μετροταινίες. Το θεοδόλιχο είχε τη δυνατότητα μέτρησης μόνο οριζοντίων και κατακόρυφων γωνιών. Σήμερα, με την ραγδαία ανάπτυξη των οργάνων μέτρησης, ένα σύγχρονος γεωδαιτικός σταθμός μπορεί ταυτόχρονα να είναι και ηλεκτρονικό θεοδόλιχο

για μέτρηση γωνιών με μεγάλη ακρίβεια αλλά και όργανο μέτρησης αποστάσεων με ακρίβεια χιλιοστού και λιγότερο. Οι παρατηρήσεις αποστάσεων γίνονται ηλεκτρομαγνητικά (EDM - Electromagnetic Distance Measurement) χρησιμοποιώντας συνήθως υπέρυθρη ακτινοβολία ή ακτίνες laser και όλες οι παρατηρήσεις καταγράφονται στο εσωτερικό του οργάνου αυτόματα. Έτσι οι διαδικασίες μέτρησης απλοποιήθηκαν αρκετά και απαιτείται πολύ λιγότερος χρόνος για να έχουμε την επιθυμητή ακρίβεια.

Ένα σύγχρονο Total Station ή γεωδαιτικός σταθμός όπως λέγεται, περιέχει οπτικομηχανικά και ηλεκτρονικά μέρη. Αποτελείται από δύο κύρια μέρη. Το πρώτο είναι το κάτω μέρος, που είναι σταθερό και τοποθετείται σε βάση και το δεύτερο μέρος είναι το πάνω που κινείται και περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα, τον πρωτεύοντα άξονα. Στο πάνω μέρος βρίσκεται και το τηλεσκόπιο του οργάνου, ο άξονας περιστροφής του οποίου είναι κάθετος προς τον κατακόρυφο άξονα του οργάνου (πρωτεύοντα άξονα) και ονομάζεται δευτερεύοντα άξονας. Τέλος, κάθε Total Station περιέχει τους κοχλίες και τις αεροστάθμες (σωληνωτή και σφαιρική) που βοηθούν στην κατακορύφωση του πρωτεύοντα άξονα του οργάνου, προκειμένου να ξεκινήσει η διαδικασία των μετρήσεων (Βλάχος, 2005).

Για να λάβουν χώρα οι εργασίες αποτύπωσης με γεωδαιτικό σταθμό, απαιτείται προφανώς και βοηθητικός εξοπλισμός. Απαραίτητα μέρη σε γενικές γραμμές είναι συνήθως ο τρίποδας, πάνω στον οποίο θα βασίζεται το όργανο, κοντάρια με ενσωματωμένο πρίσμα – ανακλαστήρα για την εκτέλεση μετρήσεων, ατσάλινα καρφιά, σφυράκια και σπρέι για προσδιορισμό των σημείων στάσης του οργάνου, πινακίδα στερέωσης για το χαρτί σχεδίασης της περιοχής, επιπλέον μπαταρίες. Επιπλέον μία ψηφιακή μηχανή για να φωτογραφηθεί λεπτομερώς η περιοχή και μία ομπρέλα για να προστατευθεί το όργανο από απότομη αλλαγή καιρικών συνθηκών θα αποτελούσαν πολύτιμα βοηθητικά στοιχεία.



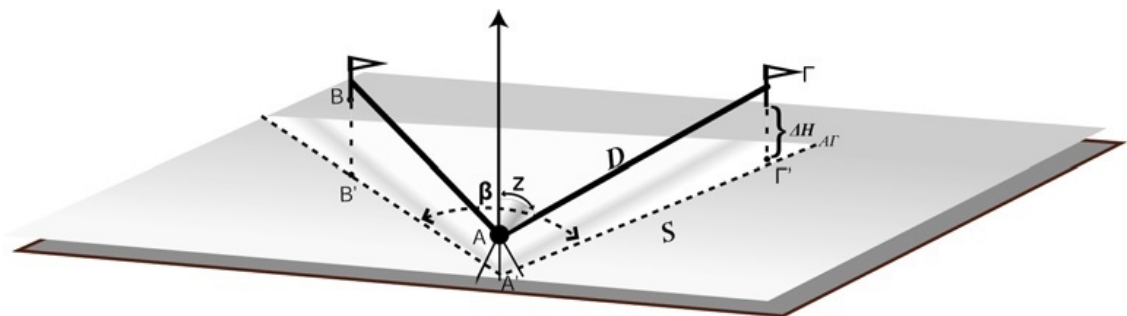
Εικόνα 6 – Απαραίτητος εξοπλισμός για την αποτύπωση

(πηγή: <http://activetectonics.asu.edu/TotalStation/checklist.html>)

2.2.2 ΤΑΧΥΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ

Σε περιπτώσεις αποτύπωσης με σκοπό την κατασκευή ενός τοπογραφικού χάρτη ή την παραγωγή σχετικών προϊόντων, όπου η χρήση και αξιοποίηση των δορυφορικών συστημάτων δεν είναι εφικτή, η χρησιμοποίηση γεωδαιτικού σταθμού κρίνεται απαραίτητη. Πιο συγκεκριμένα, όταν η περιοχή μελέτης μας για παράδειγμα βρίσκεται σε πυκνοδομημένο περιβάλλον και ως άμεσο αποτέλεσμα έχουμε την έλλειψη καλού δορυφορικού σήματος, η αποτύπωση με χρήση GPS καθίσταται αυτομάτως ιδιαίτερα δύσκολη.

Η ταχυμετρική μέθοδος ή αλλιώς μέθοδος των πολικών συντεταγμένων αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους αποτύπωσης, ειδικά τώρα που η άρτια ποιότητα των γεωδαιτικών σταθμών επιτρέπει την ταυτόχρονη μέτρηση γωνιών και αποστάσεων. Έτσι υπολογίζονται άμεσα οι συντεταγμένες και τα υψόμετρα των σημείων που μας ενδιαφέρουν. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με το σχήμα 1, οι συντεταγμένες ενός τυχαίου σημείου Γ προσδιορίζονται αν μετρηθούν από γνωστό σημείο Α (σημείο στάσης) η κεκλιμένη απόσταση (D_{AG}) και η οριζόντια γωνία β . Προϋπόθεση βέβαια αποτελεί να γνωρίζουμε τις συντεταγμένες ενός ακόμα σημείου Β ώστε να υπολογίσουμε την γωνία διεύθυνσης G_{AB} . Επιπλέον μπορούμε να υπολογίσουμε και το υψόμετρο του αγνώστου σημείου Γ με τη μέτρηση της ζενίθιας γωνίας z προς το σημείο αυτό (Μπιλλήρης κ.α, 2007). Η μέθοδος εννοείται προαπαιτεί το σωστό στήσιμο του οργάνου στα σημεία στάσης με τις διαδικασίες της κέντρωσης και της οριζοντίωσης. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως ο υπολογισμός των υψομέτρων με την ταχυμετρική μέθοδο έχει χαμηλότερη ακρίβεια από αυτή της γεωμετρικής μεθόδου με χρήση χωροβάτη και σταδίας.



Σχήμα 1 – Ταχυμετρική μέθοδος (πηγή: Μπιλλήρης κ.α, 2007)



Εικόνα 7 – Ταχυμετρική αποτύπωση στο πεδίο (πηγή: <http://www.goengineeringasia.com/>)

2.3 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης GNSS, τα οποία έχουν επικρατήσει σε μεγάλο βαθμό για πολλών ειδών εφαρμογές, έχουν απλοποιήσει αρκετά διαδικασίες όπως και αυτή της τοπογραφικής αποτύπωσης που αφορά τη συγκεκριμένη εργασία. Είτε πρόκειται για εφαρμογές μεγάλης ακρίβειας, δηλαδή της τάξης των μερικών χιλιοστών μέχρι κάποιων εκατοστών, είτε για χαμηλότερης ακρίβειας της τάξεως δεκάδων εκατοστών μέχρι μερικών μέτρων, τα συστήματα αυτά αποτελούν αξιόπιστες λύσεις στα χέρια των μηχανικών και όχι μόνο. Χαρακτηριστικές εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια είναι οι τοπογραφικές αποτυπώσεις που αναφέρθηκε και προηγουμένως, υδρογραφικές αποτυπώσεις, κτηματογραφήσεις, γεωδαιτικές εφαρμογές, υποστήριξη ποικίλων έργων υποδομής και άλλες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών χαμηλής ακρίβειας μπορούν να αποτελέσουν η πλοήγηση που χρησιμοποιείται ευρέως από οδηγούς οχημάτων, οι εφαρμογές GIS, η ενημέρωση θεματικών χαρτών και άλλα.



Εικόνα 8 - Πλοηγός χαμηλής ακρίβειας και δέκτης GPS υψηλής ακρίβειας

(πηγές: http://en.wikipedia.org/wiki/Automotive_navigation_system

http://www.leica-geosystems.com/en/Products_885.htm)

Το GPS που θα αναφερθούμε αναλυτικότερα και στα επόμενα υποκεφάλαια, αποτελεί μέλος της ομάδας των GNSS, όπως το ρωσικό GLONASS, το ευρωπαϊκό GALILEO ή ακόμη και το κινέζικο BeiDou.

2.3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΡΗ GPS

«Το NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging GPS) ή απλά το GPS, είναι ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης, χρόνου και ταχύτητας, οπουδήποτε στην επιφάνεια της γης ή και πάνω από αυτήν, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή και ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες» (Φωτίου και Πικριδάς, 2006). Το GPS δημιουργήθηκε καθαρά για στρατιωτικούς σκοπούς και ανήκε στο υπουργείο Εθνικής Άμυνας των ΗΠΑ. Τα μέσα της δεκαετίας του '90, μετά από διάφορα στάδια εξέλιξης που μεσολάβησαν, άρχισε να χρησιμοποιείται από το ευρύ κοινό.

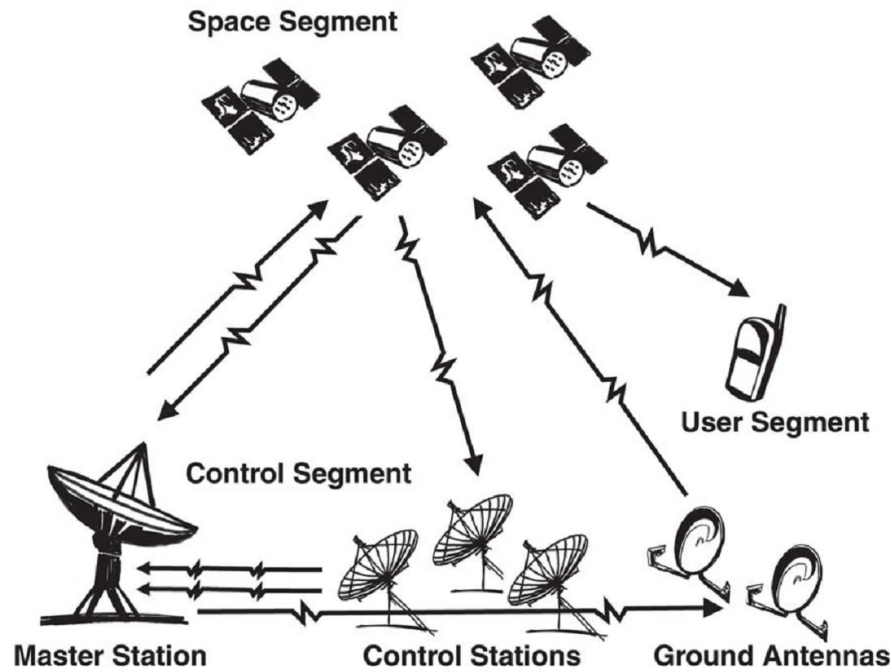
Τα τρία βασικά μέρη που αποτελείται το GPS σαν ολοκληρωμένο σύστημα είναι τα εξής (Kaplan and Hegarty, 2005):

- *Το δορυφορικό τμήμα*, το οποίο αφορά το σύνολο των δορυφόρων σε τροχιά, που παρέχουν διάφορα σήματα και μηνύματα δεδομένων στον εξοπλισμό που χρησιμοποιεί ο κάθε χρήστης. Η βασική διάταξη της κυβέρνησης των ΗΠΑ προβλέπει 24 δορυφόρους, οι οποίοι βρίσκονται σε 6 γεωκεντρικά τροχιακά επίπεδα, με 4 δορυφόρους σε καθένα από αυτά. Η τροχιακή περίοδος ενός δορυφόρου GPS είναι η διάρκεια μισής αστρικής

μέρας ή αλλιώς 11 ώρες και 58 λεπτά. Οι τροχιές τώρα των δορυφόρων είναι σχεδόν κυκλικές και η κλίση των τροχιακών επιπέδων ως προς τον ισημερινό 55° . Ο σχηματισμός των τροχιών των δορυφόρων επιτρέπει την 24ωρη παγκόσμια χρήση πλοήγησης με 4 δορυφόρους τουλάχιστον ορατούς από μία τοποθεσία. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει σήματα στις συχνότητες L1 και L2 που φέρουν τους κώδικες C/A (Coarse/Acquisition Code) και P (Precise Code) αντίστοιχα, οι οποίοι σε γενικές γραμμές χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί η απόσταση μεταξύ δέκτη και δορυφόρου. Τέλος, τα δύο σήματα περιλαμβάνουν και το λεγόμενο μήνυμα δεδομένων που δίνει διάφορες χρήσιμες πληροφορίες, όπως για παράδειγμα στοιχεία δορυφορικών τροχιών.

➤ Το τμήμα ελέγχου-παρακολούθησης, που παρακολουθεί και διατηρεί τους δορυφόρους στο διάστημα. Λειτουργικά, ελέγχει τα σήματα πλοήγησης, ενημερώνει τα μηνύματα πλοήγησης και επιλύει δορυφορικές ανωμαλίες. Το τμήμα ελέγχου αποτελείται από τον κεντρικό σταθμό ελέγχου MCS (Master Control Station), που βρίσκεται σε αεροπορική βάση στο Colorado και χρησιμεύει ως κέντρο ελέγχου για τις διάφορες επιχειρήσεις και την ομαλή λειτουργία του δορυφορικού σχηματισμού, τους μόνιμους σταθμούς παρακολούθησης (L-band Monitor Stations) οι οποίοι κατανέμονται σε όλο τον κόσμο και τους σταθμούς τηλεπικοινωνιών (Ground Antennas) που είναι υπεύθυνοι για την εκτέλεση της μετάδοσης των δεδομένων στους δορυφόρους.

➤ Το τμήμα του εξοπλισμού λήψης των χρηστών, που εκτελεί την πλοήγηση, την τοπογραφική αποτύπωση και άλλες σχετικές λειτουργίες. Συχνά αναφέρεται απλά και ως δέκτης GPS, ο οποίος επεξεργάζεται τα σήματα που μεταδίδονται από τους δορυφόρους για να προσδιοριστεί μετά από κάποια επεξεργασία η απόσταση δέκτη-δορυφόρου (ψευδοαπόσταση) και η ταχύτητα μεταβολής της. Ένας δέκτης GPS στο σύνολό του αποτελείται από πέντε βασικά μέρη. Αυτά είναι η κεραία, ο κυρίως δέκτης, ο επεξεργαστής, η συσκευή εισόδου/εξόδου (π.χ οθόνη ελέγχου) και το τροφοδοτικό. Τέλος, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μονόσυχνους, διπλόσυχνους ή ακόμα και τριπλόσυχνους δέκτες, με τους τελευταίους να δίνουν πιο γρήγορες και αξιόπιστες λύσεις στις εργασίες πεδίου.



Σχήμα 2 – Μέρη συστήματος GPS (πηγή: <https://www.google.gr/search?q=gps+segments>)

2.3.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ

Σε γενικές γραμμές, οι μέθοδοι προσδιορισμού θέσης με χρήση GPS μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες. Επομένως έχουμε τον στατικό (Static) ή κινηματικό (Kinematic) προσδιορισμό, τον απόλυτο (Absolute) ή σχετικό (Relative/Differential) και τον προσδιορισμό σε πραγματικό χρόνο (Real time) ή μετέπειτα με επεξεργασία στο γραφείο (Post-processing). Ακολουθεί μια γενική περιγραφή των παραπάνω τεχνικών προσδιορισμού θέσης αναλυτικότερα (Φωτίου και Πικριδάς, 2006· Σαββαΐδης κ.α, 2008):

- Ο στατικός προσδιορισμός θέσης έχει σχέση με δέκτες GPS που είναι συνέχεια ακίνητοι στα σημεία που τοποθετούνται κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.
- Ο κινηματικός προσδιορισμός θέσης σχετίζεται με δέκτη GPS που κινείται συνεχώς και εκτελεί μετρήσεις είτε σε συγκεκριμένα σημεία είτε σε τυχαία σημεία μιας διαδρομής.
- Ο απόλυτος προσδιορισμός θέσης έχει να κάνει με την επεξεργασία των παρατηρήσεων κατευθείαν στον δέκτη και τον υπολογισμό των συντεταγμένων του.

Εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή και την ακρίβεια που απαιτείται. Για παράδειγμα αυτή η τεχνική δεν ενδείκνυται για γεωδαιτικές εφαρμογές.

➤ *Ο σχετικός προσδιορισμός θέσης* ασχολείται με τον υπολογισμό της θέσης ενός δέκτη σε σχέση με κάποιον σταθερό γνωστών συντεταγμένων. Έτσι, με τις ταυτόχρονες παρατηρήσεις των δεκτών απαλείφονται τα κοινά σφάλματα (π.χ σφάλματα ατμόσφαιρας).

➤ *Ο προσδιορισμός σε πραγματικό χρόνο ή με μετέπειτα επεξεργασία* έχει να κάνει με το πότε προσδιορίζονται οι συντεταγμένες των σημείων, πριν ή μετά της διαδικασίας των μετρήσεων.

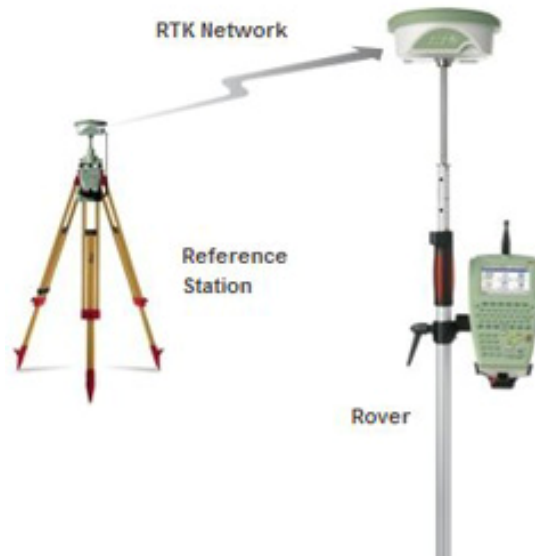
Οι τεχνικές που παρουσιάστηκαν παραπάνω δεν είναι ανεξάρτητες, αλλά συνδυάζονται μεταξύ τους ανάλογα με τον σκοπό της κάθε εφαρμογής. Μία από αυτές τις τεχνικές προσδιορισμού της θέσης είναι η ευρέως διαδεδομένη κινηματική σε πραγματικό χρόνο RTK, που θα περιγραφεί στο επόμενο υποκεφάλαιο.

2.3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ RTK ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Στη δεκαετία του 1980 και στις αρχές του 1990, τα αποτελέσματα των εργασιών πεδίου με χρήση GPS ήταν διαθέσιμα μόνο μετά την διαδικασία των μετρήσεων και αφού είχαν επεξεργαστεί όλα τα δεδομένα. Με το πέρασμα του χρόνου όμως νέες τεχνικές όπως η RTK που εφαρμόστηκε και στην παρούσα εργασία, ήρθαν στο προσκήνιο. Η RTK αποτελεί μία δυναμική μέθοδο προσδιορισμού θέσης με GPS που απαιτεί ελάχιστο χρόνο στη διαδικασία των μετρήσεων, παρέχοντας ακριβή αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο. Για να επιτευχθεί υψηλότερη ακρίβεια (επιπέδου εκατοστού) σε πραγματικό χρόνο, πρέπει να υλοποιηθεί η τεχνική των διπλών διαφορών χρησιμοποιώντας δεδομένα φάσης του φέροντος κύματος (Lee and Ge, 2006). Σημειώνεται πως συνήθως απαιτούνται δύο δέκτες, ένας σταθερός (Base) και ένας κινητός (Rover).

Στις μέρες μας, η εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνικής έχει διαδοθεί σε τεράστιο βαθμό και έχει επεκταθεί σε πολλούς τομείς. Τα συστήματα κινητής χαρτογράφησης, η ακριβής πλοήγηση οχημάτων, ο έλεγχος στη κατασκευή μηχανών και η ακρίβεια στη γεωργία αποτελούν ορισμένα παραδείγματα χρήσης της μεθόδου RTK (Takasu and Yasuda, 2009). Επιπλέον οι περισσότερες γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές, εφαρμογές σχετικές με διαχείριση του περιβάλλοντος ή ακόμα και εφαρμογές

δημοσίων υπηρεσιών (π.χ αστυνομία, πυροσβεστική) κάνουν χρήση της συγκεκριμένης τεχνικής.



Εικόνα 9 – Μέθοδος RTK GPS (πηγή: https://www.smartnetna.com/hiw03_singlestation.cfm)

2.4 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΟΥ ΙΠΤΑΜΕΝΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ (UAV)

Στη πορεία εξέλιξης των μεθόδων αποτύπωσης και πιο συγκεκριμένα της από αέρα αποτύπωσης, τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα UAV έχουν διαδοθεί και αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό αποτελώντας πολύτιμο εργαλείο για πολλούς επιστημονικούς κλάδους, όπως της φωτογραμμετρίας, της τηλεπισκόπησης και αρκετών άλλων. Αντικαθιστώντας τον ανθρώπινο παράγοντα και με την διαδικασία της πλοήγησης να γίνεται αυτοματοποιημένη, τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές δίνοντας οικονομικές και γρήγορες λύσεις. Η αποτύπωση τμήματος της γήινης επιφάνειας δίνοντας δισδιάστατα (2D) και τρισδιάστατα (3D) αποτελέσματα αποτελεί μία από τις εφαρμογές αυτές.

2.4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Το όνομα UAV καλύπτει όλα τα οχήματα, τα οποία πετούν στον αέρα χωρίς την ανθρώπινη παρουσία με τη δυνατότητα όμως να ελέγχονται. Σύμφωνα με τον ορισμό που δίνει η UVS (Unmanned Vehicle Systems) International, η οποία αποτελεί μη

κερδοσκοπικό οργανισμό που αντιπροσωπεύει κατασκευαστές μη επανδρωμένων συστημάτων, ως UAV ορίζεται το γενικό αεροσκάφος το οποίο είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί χωρίς τη παρουσία πιλότου σε αυτό (πηγή: <http://uvs-international.org/>). Συμπληρωματικά με τον προηγούμενο ορισμό, ένα μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα αποτελεί το επιφανές μέρος ενός ολόκληρου συστήματος που είναι απαραίτητο για να πραγματοποιηθεί η πτήση. Ακόμα και με την απουσία πιλότου στο όχημα, δεν σημαίνει ότι μπορεί να πετάξει αυτόνομα και σε πολλές περιπτώσεις το πλήρωμα που είναι υπεύθυνο για την πτήση είναι μεγαλύτερο από εκείνο ενός συμβατικού αεροσκάφους (Everaerts, 2008). Για τις ανάγκες αποτύπωσης, η οποία είναι και ένας από τους στόχους της συγκεκριμένης εργασίας, το όχημα ενσωματώνει πάντα ειδική κάμερα με σκοπό τη λήψη αεροφωτογραφιών. Λεπτομέρειες σχετικά με τις κάμερες και τα υπόλοιπα μέρη ενός ολοκληρωμένου συστήματος UAV θα δοθούν στο επόμενο υποκεφάλαιο.

Αξίζει να σημειωθεί πως ο όρος UAV χρησιμοποιείται ευρέως στην επιστήμη των υπολογιστών, στη ρομποτική, καθώς επίσης και στις κοινότητες της φωτογραμμετρίας, της τηλεπισκόπησης και άλλων σχετικών επιστημών. Συνώνυμα όπως RPV (Remotely Piloted Vehicle), ROA (Remotely Operated Aircraft), RPA (Remotely Piloted Aircraft) και UVS μπορεί επίσης να βρεθούν συχνά στη διεθνή βιβλιογραφία (Eisenbeiss, 2009).



Εικόνα 10 – UAV εν ώρα πτήσης (πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/Miniature_UAV)

2.4.2 ΜΕΡΗ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

Συχνά ως UAV εννοείται μόνο το ιπτάμενο όχημα που πραγματοποιεί τη πτήση με σκοπό την αεροφωτογράφιση, που αφορά τη δικιά μας περίπτωση. Όμως στη πραγματικότητα τα UAV ως συστήματα αποτελούνται και από άλλα μέρη, τα οποία μπορούν και να καταταχθούν σε κατηγορίες το καθένα ξεχωριστά. Τα συστήματα αυτά συναντώνται συχνά στη διεθνή βιβλιογραφία με το όνομα UAS (Unmanned Aerial Systems) ή UAS (Unmanned Aircraft Systems).

Τα τρία κύρια μέρη που αποτελούν τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα συστήματα (UAS) είναι το ιπτάμενο όχημα (UAV), ο επίγειος σταθμός ελέγχου GCS (Ground Control Station) και η σύνδεση των δεδομένων επικοινωνίας (Communication data link). Επιπλέον υπάρχουν και άλλα στοιχεία τα οποία συμπεριλαμβάνονται στα συστήματα, όπως οι αισθητήρες απεικόνισης, αισθητήρες πλοήγησης, ασύρματα συστήματα και άλλα (Colomina and Molina, 2014).

Τα μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα UAV μπορούν να διαχωριστούν με κριτήριο τα κύρια χαρακτηριστικά τους σε αυτά που έχουν περιστρεφόμενα ή σταθερά πτερύγια, στα ελαφρύτερα από τον αέρα ή βαρύτερα από αυτόν και στα τροφοδοτούμενα με ρεύμα ή μη. Επιπλέον, τα οχήματα με περιστρεφόμενα πτερύγια μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μονά, διπλά, τετραπλά και πολυροτορικά (Eisenbeiss, 2009).



Εικόνα 11 – Ενδεικτικά είδη UAV με περιστρεφόμενα πτερύγια
(πηγή: <http://www.arducopter.co.uk/all-arducopter-guides>)

Επίσης, σύμφωνα με την UVS International υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες στις οποίες κατατάσσονται τα UAV ανάλογα με το μέγεθός τους, το βάρος, την αντοχή και το υψόμετρο πτήσης. Αυτές είναι οι εξής (Remondino et al, 2011):

- Τα τακτικά UAVs (tactical), η μάζα των οποίων κυμαίνεται από λίγα κιλά έως και 1.000. Το ύψος πτήσης κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες μέτρα μέχρι και 5 χιλιόμετρα και η αντοχή τους από μερικά λεπτά έως και 2-3 μέρες.
- Τα στρατηγικά UAVs (strategical), τα οποία έχουν μεγάλη αντοχή σε μεγάλα ύψη. Πετούν μέσα και έξω από τη στρατόσφαιρα και μπορούν να φτάσουν σε πάνω από 20.000 μέτρα υψόμετρο. Η αντοχή τους κυμαίνεται από 2 έως 4 μέρες.
- Τα UAVs ειδικών καθηκόντων (special tasks), όπως τα μη επανδρωμένα αυτόνομα μαχητικά οχήματα.

Όσον αφορά τις κάμερες που ενσωματώνουν τους αισθητήρες απεικόνισης, η επιλογή τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Αυτοί μπορεί να είναι για παράδειγμα ο σκοπός της εφαρμογής και το διαθέσιμο κεφάλαιο. Συνήθως χρησιμοποιούνται ψηφιακές μηχανές τύπου compact, χωρίς να αποκλείονται και οι SLR (Single Lens Reflex). Παραδοσιακά οι ψηφιακές μηχανές που χρησιμοποιούνται στα UAV χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες (πηγή: <http://www.lumenera.com>):

- Small format, που είναι εξοπλισμένες με αισθητήρες των 16 megapixels.
- Medium format, που χρησιμοποιούν αισθητήρες που κυμαίνονται μεταξύ 16 και 50 megapixels.
- Large format, που περιέχουν μεγάλους αισθητήρες μεγαλύτερους των 50 megapixels.



Εικόνα 12 – Ενσωματωμένη ψηφιακή κάμερα στο UAV

(πηγή: <http://thefutureofthings.com/3881-helicopter-uav-designed-for-digital-photography>)

Οι μέθοδοι φωτογράφισης επίσης μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες. Έτσι έχουμε τις εξής (Γιαννίρης, 2014):

- Μέθοδος διαδοχικών λήψεων σταθερού χρόνου (Time Lapse), όπου το ιπτάμενο όχημα κινείται με σταθερή ταχύτητα και λαμβάνονται φωτογραφίες σε τακτά χρονικά διαστήματα.
- Μέθοδος διαδοχικών λήψεων σε σταθερές αποστάσεις (Distance Lapse), όπου το ιπτάμενο όχημα κινείται με σταθερή ταχύτητα και πραγματοποιούνται λήψεις σε σταθερές αποστάσεις από την προηγούμενη.
- Μέθοδος λήψης της κάθε φωτογραφίας σε συγκεκριμένες θέσεις, όπου για να ληφθεί η φωτογραφία πρέπει το όχημα να περάσει μέσα στα όρια ανοχής που έχουν προσδιοριστεί για το κάθε σημείο.

Τέλος, οι σταθμοί ελέγχου για ένα σύστημα UAV μπορεί να βρίσκονται στο έδαφος (GCS) όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, πάνω σε πλοίο ή ακόμα και να είναι αερομεταφερόμενοι σε αεροσκάφος. Επίσης, μπορεί να είναι το κέντρο ελέγχου ενός τοπικού συστήματος UAV στο οποίο η ‘αποστολή’ να είναι προσχεδιασμένη και να εκτελείται, ή ακόμα να είναι μέρος ενός ακόμη μεγαλύτερου συστήματος μοιράζοντας και λαμβάνοντας πληροφορίες προς και από τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος (Austin, 2010). Οι επίγειοι σταθμοί ελέγχου, που χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, παρέχουν έναν χώρο εργασίας για τον υπεύθυνο του ιπτάμενου οχήματος, ο οποίος παρακολουθεί, δίνει εντολές και γενικότερα είναι ο πλέον αρμόδιος για την πλοήγησή του. Τα δεδομένα που λαμβάνονται από τον σταθμό ελέγχου και συγκεκριμένα από τα υπάρχοντα ειδικά όργανα με τη βοήθεια μέσων τηλεπικοινωνίας, μπορούν είτε να επεξεργαστούν επί τόπου στο πεδίο είτε αργότερα σε ένα κέντρο επεξεργασίας. Σε χαμηλού κόστους συστήματα σημειώνεται πως οι περισσότερες από τις λειτουργίες του σταθμού ελέγχου μπορούν να διεκπεραιωθούν μόνο με φορητά τηλεχειριστήρια, τα οποία είναι χαρακτηριστικά για αυτά τα συστήματα (Everaerts, 2008). Σε συνήθεις εφαρμογές, ως σταθμοί ελέγχου χρησιμοποιούνται φορητοί υπολογιστές (laptops) ή ακόμη και tablet που μέσω των κατάλληλων software επιτρέπουν την παρακολούθηση – διαχείριση της πτήσης και άλλων χαρακτηριστικών σε πραγματικό χρόνο.



Φωτογραφία 1 – Φορητός υπολογιστής με κεραία GPS σε ρόλο GCS

2.4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Οι κυριότερες εφαρμογές που σχετίζονται με τα UAV έχουν να κάνουν με εργασίες που αφορούν την παρατήρηση, την συντήρηση, την εποπτεία, την παρακολούθηση, την τηλεπισκόπηση και την ασφάλεια (Eisenbeiss, 2004). Τώρα, οι τυπικές επιστημονικές περιοχές, στις οποίες χρησιμοποιούνται οι εικόνες των UAV και τα εκ φωτογραμμετρικών μεθόδων προερχόμενα τρισδιάστατα δεδομένα και ορθοφωτογραφίες είναι οι εξής (Remondino et al, 2011):

- *Η δασοκομία και η γεωργία*, όπου οι παραγωγοί μπορούν να λάβουν αξιόπιστες αποφάσεις για να εξοικονομήσουν χρόνο και χρήματα, να καταγράψουν γρήγορα και με ακρίβεια τις ζημιές ή τα πιθανά προβλήματα στον τομέα.
- *Η αρχαιολογία και πολιτιστική κληρονομιά*, όπου η τρισδιάστατη τεκμηρίωση και χαρτογράφηση περιοχών και σχετικών δομών μπορούν εύκολα να επιτευχθούν με τη λήψη εικόνων από χαμηλό υψόμετρο.
- *Οι περιβαλλοντικές αποτυπώσεις*, όπου οι γρήγορες και φθηνές πτήσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα επιτρέπουν την παρακολούθηση του εδάφους και του νερού σε πολλαπλές εποχές. Η χαρτογράφηση μετά από καταστροφές, ο υπολογισμός όγκων εκσκαφής και η καταγραφή των φυσικών πόρων είναι επίσης εφικτά.
- *Η συγκοινωνιολογία και η παρακολούθηση της κυκλοφορίας*, που έχει να κάνει με την εποπτεία, την εκτίμηση του χρόνου ταξιδιού, τις τροχιές, τον φόρτο των λωρίδων κυκλοφορίας και γενικότερα με κοινωνιακά θέματα.
- *Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση στην ανοικοδόμηση*, όπου τα UAV μέσω των αεροφωτογραφιών συμβάλλουν στην απόκτηση 3D προϊόντων για σκοπούς ανασυγκρότησης ήδη υπαρχόντων ανθρωπογενών κατασκευών.

Εννοείται πως οι κλάδοι της τοπογραφίας, γεωδαισίας, φωτογραμμετρίας, τηλεπισκόπησης, πολεοδομίας και χαρτογραφίας χρησιμοποιούν τα UAV για ποικίλους λόγους, όπως για παράδειγμα εργασίες κτηματολογίου, παρακολούθηση έργων υποδομής, διαφόρων ειδών χαρτογραφήσεις, δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους και άλλους πολλούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ GPS ΣΤΟ Μ.ΕΥΥΔΡΙΟ ΦΑΡΣΑΛΩΝ

3.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή η οποία αποφασίστηκε να αποτελέσει την περιοχή μελέτης της παρούσας διατριβής ανήκει στο Μεγάλο Ευύδριο Φαρσάλων. Το «Μέγα Ευύδριον», όπως είναι η επίσημη ονομασία του, αποτελεί τοπική κοινότητα της δημοτικής ενότητας Ενιπέα, η οποία ανήκει στο δήμο Φαρσάλων. Τα Φάρσαλα με την σειρά τους βρίσκονται στην περιφερειακή ενότητα της Λάρισας η οποία ανήκει στη περιφέρεια Θεσσαλίας, σύμφωνα με την νέα διοικητική διαίρεση της Ελλάδας του προγράμματος «Καλλικράτης». Ένα ενδεικτικό γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής είναι $\varphi=39,3478733767$ και $\lambda=22,3378821886$ αντίστοιχα και το υψόμετρο κυμαίνεται περίπου στα 139 μέτρα (από την επιφάνεια της θάλασσας) (πηγή: <http://buk.gr/el/poli-perioxi/megalo-eyydrio>).

Η τοπική κοινότητα του Μεγάλου Ευυδρίου αποτελείται από τους μικρούς οικισμούς του Μεγάλου και Μικρού Ευυδρίου, του Ελληνικού, του Λόφου και των Πυργακίων. (πηγή: <http://www.farsala.gr>). Ακολουθούν εικόνες της ευρύτερης περιοχής:



Εικόνα 13 – Οικισμοί Μεγάλου και Μικρού Ευυδρίου (πηγή: Google Earth)



Εικόνα 14 – Υπόλοιποι οικισμοί Μεγάλου Ευύδριου (πηγή: Google Earth)

Πιο συγκεκριμένα η περιοχή που επιλέξαμε να ερευνήσουμε ανήκει κατά το ένα μέρος στον οικισμό του Μικρού Ευύδριου και κατά το άλλο μέρος στον οικισμό του Μεγάλου Ευύδριου. Αποτελεί μία έκταση περίπου 150 στρεμμάτων. Σε αυτή την έκταση συμπεριλαμβάνονται ένα μικρό αστικό κομμάτι που ανήκει στον οικισμό του Μεγάλου Ευύδριου, τμήμα του ποταμού Ενιπέα, το φράγμα το οποίο ανήκει στο Μικρό Ευύδριο και μία μεγάλη καλλιεργήσιμη έκταση.

Αξίζει να αναφερθούμε στο ποταμό του Ενιπέα, ο οποίος αποτελεί παραπόταμο του Πηνειού ποταμού, έχει συνολικό μήκος 84 χιλιόμετρα και αποτελεί τον δέκατο μεγαλύτερο ποταμό της Ελλάδος. Όμως, εξαιτίας της κακοδιαχείρισης του υδροφόρου ορίζοντα και της υπεράντλησης, το ποτάμι έχει σχεδόν στερέψει. Τα αρχαία χρόνια λέγεται ότι ο ποταμός λατρευόταν σαν θεός.

(πηγή: [http://en.wikipedia.org/wiki/Enipeas_\(Thessaly\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Enipeas_(Thessaly)))

Το φράγμα στο Μικρό Ευύδριο αποτελεί το μεγαλύτερο ίσως έργο στην περιοχή μελέτης. Κατασκευάστηκε στα μέσα περίπου της δεκαετίας του 2000 με στόχο τον εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα ώστε να βρεθεί λύση στο αρδευτικό πρόβλημα της περιοχής. Ακολουθούν τα χαρακτηριστικά του φράγματος στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2 – Χαρακτηριστικά φράγματος Μικρού Ευόδριου

ΦΡΑΓΜΑ ΜΙΚΡΟΥ ΕΥΥΔΡΙΟΥ		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (m ³)
ΛΕΚΑΝΗ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ	3200	290000
2 ΤΟΞΟΤΑ ΘΥΡΟΦΡΑΓΜΑΤΑ	---	---
5 ΕΠΙΠΕΔΑ ΘΥΡΟΦΡΑΓΜΑΤΑ	---	---

(πηγή: http://www.eleftheria.gr/index.asp?cat=7&aid=1063#.VFePxfl_t8F)

Στη συνέχεια, οι εικόνες που ακολουθούν υποδεικνύουν ακριβώς την περιοχή σε κάτοψη, στην οποία έγιναν οι μετρήσεις και γενικότερα οι εργασίες πεδίου:



Εικόνα 15 – Περιοχή μελέτης (1) (πηγή: Google Earth)



Εικόνα 16 – Περιοχή μελέτης (2) (πηγή: <http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/default.aspx>)

Ακολουθεί αποτύπωση της περιοχής μέσω φωτογραφιών από ψηφιακή μηχανή και από την υπηρεσία Google Street View.



Εικόνα 17 – Κοίτη Ενιπέα (πηγή: Google Street View)



Φωτογραφία 2 – Φράγμα Μικρού Ενύδριου



Φωτογραφία 3 – Γέφυρα που συνδέει το Μικρό με το Μεγάλο Ενύδριο



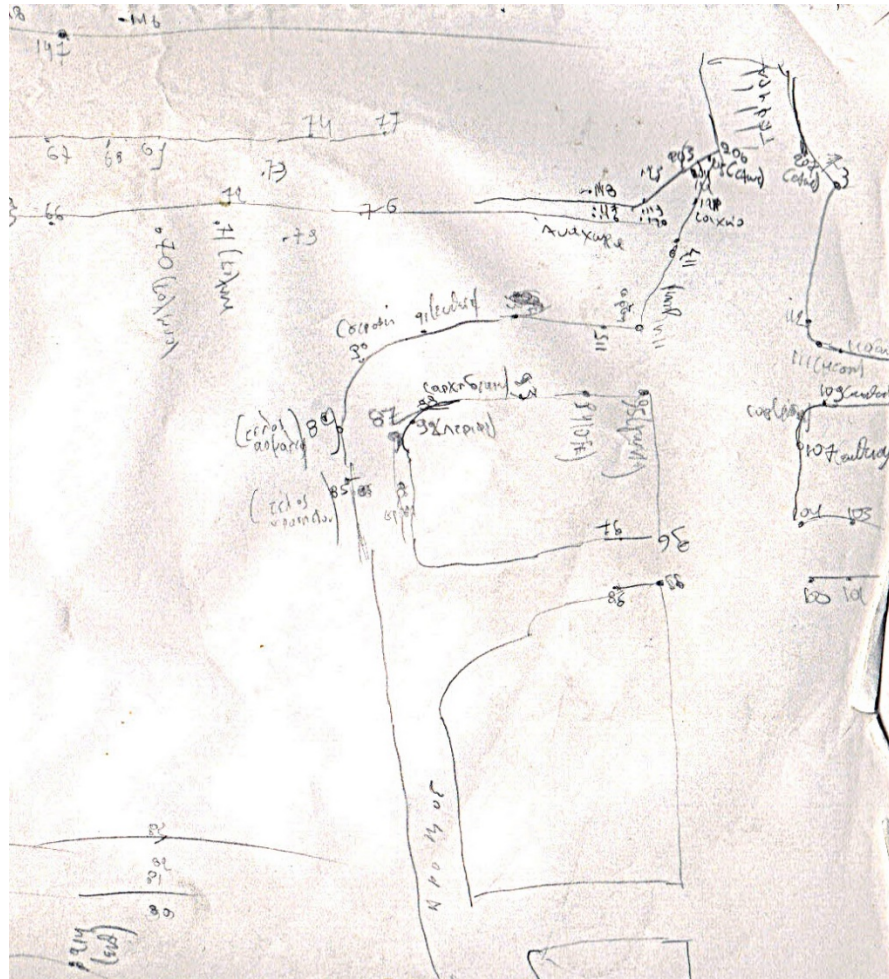
Φωτογραφία 4 – Τμήμα της περιοχής μελέτης

3.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GPS

Προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις πεδίου με χρήση δέκτη GPS, προαπαιτούμενο συστατικό αποτελεί ο σχεδιασμός της διαδικασίας της αποτύπωσης. Έτσι λοιπόν, τα πρώτα βήματα που έγιναν με σκοπό την επίτευξη της αποτύπωσης ήταν η αναγνώριση και η λεπτομερής εξερεύνηση της περιοχής μελέτης. Η πρώτη επίσκεψη στο Μεγάλο Ευύδριο, είχε ως στόχο την απόκτηση μίας γενικής εικόνας για την περιοχή, χωρίς την περαιτέρω διερεύνησή της. Έτσι λοιπόν, στην επόμενη επίσκεψη στην περιοχή, έχοντας ως μοναδική ‘συντροφιά’ ένα σχεδιαστικό μπλοκ και μία ψηφιακή φωτογραφική μηχανή, εξερευνήθηκε κάθε σημείο και γωνιά των οικισμών με σκοπό να κατασκευαστεί ένα χειρόγραφο σχέδιο (κροκί) με τα γεωμετρικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Αυτό το κομμάτι είναι πολύ σημαντικό όχι μόνο για να έχουμε μία πλήρη εικόνα για την περιοχή και να αναγνωρίσουμε τα ιδιαίτερα γνωρίσματά της, αλλά και για την μετέπειτα επεξεργασία των μετρήσεων.

Σε κάθε τοπογραφική αποτύπωση κρίνεται απαραίτητο να συνταχθεί το λεγόμενο *κροκί* όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το οποίο αποτελεί το σκαρίφημα της περιοχής στο οποίο παρουσιάζονται όλες οι λεπτομέρειες που αποτυπώνονται και περιγράφονται με τη βοήθεια σημείων που τις ορίζουν. Παρά το γεγονός όμως που σχεδιάζεται σε εξωτερικό χώρο και με ελεύθερο χέρι, αποτελεί ίσως την σημαντικότερη εργασία στο πεδίο, αν κρίνουμε από το γεγονός ότι αποτελεί το κυριότερο από τα στοιχεία εκείνα που είναι αναγκαία για τη σωστή σχεδίαση της μορφής του εδάφους στο γραφείο. Περιέχει τις οριογραμμές των οριζοντιογραφικών λεπτομερειών που αποτελούνται από ευθείες και καμπύλες γραμμές και επιπλέον τα απαραίτητα στοιχεία και για την υψομετρική απεικόνιση του εδάφους, δηλαδή για την δημιουργία των ισοϋψών καμπυλών του χάρτη. Σημειώνεται, πως κάθε σημείο του εδάφους που θα αποτυπωθεί αποθηκεύεται και καταγράφεται με τον δικό του μοναδικό αριθμό - κωδικό, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3, που θα το ακολουθεί μέχρι το τέλος της όλης διαδικασίας. Τέλος, πρέπει να τονιστεί πως η ατελής ή λανθασμένη σχεδίαση του κροκί μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά λάθη στο τελικό σχέδιο (Βλάχος, 1997).

Ακολουθεί τμήμα του ολοκληρωμένου κροκί που σχεδιάστηκε στο πεδίο για τις ανάγκες της αποτύπωσης.



Χάρτης 3 – Τμήμα από το κροκί της αποτύπωσης (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

3.3 ΕΠΙΤΟΠΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΠΟΥ ΜΕΤΡΗΘΗΚΑΝ

Η μέθοδος αποτύπωσης που εφαρμόστηκε είναι η RTK όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ο βασικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο τριπλόσυχνος δέκτης Leica Viva GS15 GNSS με καταγραφή αρκετών συχνοτήτων και μέγιστο αριθμό καναλιών τα 120 στα δορυφορικά συστήματα GPS, GLONASS, Galileo, ο οποίος συνοδεύεται από ηλεκτρονικό χειριστήριο πεδίου (Leica CS15). Και τα δύο μέρη στηρίζονταν πάνω σε στυλαίο και επικοινωνούσαν μεταξύ τους μέσω Bluetooth. Επιπλέον σημαντικά στοιχεία του εξοπλισμού ήταν μία αποσπώμενη κάρτα SIM που ενσωματώθηκε στον δέκτη και δύο μπαταρίες τύπου LI-ion.

Πιο συγκεκριμένα, οι συχνότητες οι οποίες καταγράφονται από τον συγκεκριμένο δέκτη είναι για το σύστημα GPS οι L1, L2, L5, για το GLONASS οι L1 και L2 και για το Galileo οι E1, E5 και Alt-BOC. Κάθε συχνότητα φέρει και τους αντίστοιχους κώδικες, οι οποίοι περιλαμβάνουν πληροφορίες με σκοπό τον ακριβή προσδιορισμό των

συντεταγμένων για τα σημεία της γήινης επιφάνειας που θέλουμε να μετρήσουμε. Όσον αφορά την διαδικασία αποτύπωσης, ο δέκτης χρησιμοποιήθηκε ως Rover RTK, επικοινωνώντας μέσω GPRS Internet (κάρτα SIM) με τους σταθμούς αναφοράς του δικτύου MetricaNet της εταιρίας Metrica ΑΕ. Με αυτό τον τρόπο επιτρεπόταν η λήψη διορθώσεων σε πραγματικό χρόνο, έχοντας έτσι μεγάλη αξιοπιστία στις μετρήσεις μας. Όσον αφορά συγκεκριμένα την ακρίβεια, πρέπει να αναφερθεί πως ο δέκτης είχε ρυθμιστεί έτσι ώστε να μην δέχεται μετρήσεις με σφάλμα πάνω από 5 cm και στις τρεις διαστάσεις (X,Ψ,H). Στιγμές από την διαδικασία των μετρήσεων παρουσιάζονται στις παρακάτω φωτογραφίες. Περισσότερες φωτογραφίες από την αποτύπωση βρίσκονται στο παράρτημα του τεύχους.



Φωτογραφία 5 – Είσοδος οικισμού Μεγάλου Ευύδριου



Φωτογραφία 6 – Στιγμή αποτύπωσης στην περιοχή



Φωτογραφία 7 – Ένας από τους πολλούς 'επισκέπτες' της περιοχής

Τα σημεία τα οποία αποτυπώθηκαν και που σημειώθηκαν αρχικά στο κροκί, όπως φαίνεται και στον Χάρτη 3, αποτελούν τα *σημεία λεπτομέρειας* του σχεδίου. Αυτά είναι σημεία πάνω στο έδαφος τα οποία απαιτούνται για την αποτύπωση και πρέπει να προσδιοριστούν. Διακρίνονται στα χαρακτηριστικά υψομετρικά σημεία, που χρησιμεύουν στο να παραστήσουμε την μορφή της επιφάνειας του εδάφους, και στα ειδικά σημεία, που η επιλογή τους εξαρτάται από τον σκοπό της αποτύπωσης (Π. Σαββαΐδης κ.α, 2008). Το τελικό σχέδιο δεν θα μπορούσε να κατασκευαστεί χωρίς να έχουν μετρηθεί τα σημεία λεπτομέρειας. Για παράδειγμα, για την σχεδίαση μίας ευθείας γραμμής στον χάρτη (π.χ οριογραμμή δρόμου) απαιτούνται τουλάχιστον δύο γνωστά σημεία, για μία καμπύλη τρία τουλάχιστον σημεία ή ακόμη για μία τεθλασμένη γραμμή πρέπει να αποτυπωθούν τα σημεία στα οποία αλλάζει η διεύθυνση. Κολώνες τηλεφωνικών ή ηλεκτρικών γραμμών, φρεάτια, φράχτες, κτίσματα κλπ αποτελούν κάποια χαρακτηριστικά σημεία λεπτομέρειας (Βλάχος, 1997).

Τα σημεία που μετρήθηκαν συνολικά στην περιοχή μελέτης ήταν σε αριθμό 212 και προφανώς δεν επιλέχθηκαν τυχαία, σύμφωνα με τα παραπάνω. Κάποια από αυτά επιλέχθηκαν για την αναγκαιότητά τους στη μετέπειτα σχεδίαση του τοπογραφικού διαγράμματος και άλλα καθαρά για την μέτρηση απόλυτων υψομέτρων (H) με σκοπό την ακριβέστερη κατασκευή ισοϋψών καμπυλών. Τα σημεία που μετρήθηκαν κυρίως για να υπολογιστούν οι ισοϋψείς καμπύλες βρίσκονταν εκεί όπου παρατηρούνταν κάποια μικρή αλλαγή κλίσης του εδάφους, διότι το ανάγλυφο δεν ήταν σε καμία περίπτωση ανώμαλο με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν και σημαντικές κλίσεις. Η μεγαλύτερη υψομετρική διαφορά που παρατηρήθηκε ήταν περίπου 10 μέτρα. Σημειώνεται πως για να ολοκληρωθεί η μέτρηση για το κάθε σημείο αποτύπωσης αρκούσαν μερικά δευτερόλεπτα, διότι η περιοχή ήταν αραιοδομημένη και το δορυφορικό σήμα ήταν πάντοτε καλό. Οι συντεταγμένες των σημείων μετατρέπονταν αυτόματα σε ΕΓΣΑ87 μέσω σχετικών ρυθμίσεων στο λογισμικό του δέκτη.

Ακολουθεί πίνακας με τα απόλυτα υψόμετρα H και τις συντεταγμένες X,Y σε ΕΓΣΑ87 ενός υποσυνόλου των σημείων λεπτομέρειας που αποτυπώθηκαν.

Πίνακας 3 – Χαρακτηριστικά σημεία λεπτομέρειας του σχεδίου σε ΕΓΣΑ87

ΣΗΜΕΙΑ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑΣ				
Κωδ. Σημείου	Περιγραφή σημείου	X	Ψ	H
10	ΟΧΘΗ ΠΟΤΑΜΟΥ	357204,958	4356319,017	123,652
11	ΟΧΘΗ ΠΟΤΑΜΟΥ	357196,381	4356321,271	123,623
12	ΟΧΘΗ ΠΟΤΑΜΟΥ	357193,179	4356321,930	123,669
13	ΟΧΘΗ ΠΟΤΑΜΟΥ	357186,213	4356323,128	123,761
14	ΟΧΘΗ ΠΟΤΑΜΟΥ	357179,158	4356323,263	123,589
15	ΟΧΘΗ ΠΟΤΑΜΟΥ	357171,214	4356322,308	123,444
16	ΟΧΘΗ ΠΟΤΑΜΟΥ	357161,174	4356321,227	123,421
17	ΟΧΘΗ ΠΟΤΑΜΟΥ	357143,822	4356316,243	123,659
18	ΟΧΘΗ ΠΟΤΑΜΟΥ	357136,958	4356315,790	123,655
19	ΟΧΘΗ ΠΟΤΑΜΟΥ	357128,959	4356315,919	123,561
20	ΟΧΘΗ ΠΟΤΑΜΟΥ	357116,188	4356315,513	123,296
21	ΟΧΘΗ ΠΟΤΑΜΟΥ	357105,333	4356315,368	123,334
22	ΟΧΘΗ ΠΟΤΑΜΟΥ	357084,603	4356320,409	123,222
23	ΟΧΘΗ ΠΟΤΑΜΟΥ	357080,339	4356324,528	124,505
24	ΤΟΙΧΕΙΟ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	357080,459	4356327,195	125,165
25	ΓΩΝΙΑ ΤΟΙΧΕΙΟΥ	357082,310	4356328,478	125,779
26	ΑΚΡΟ ΤΟΙΧΕΙΟΥ	357082,467	4356330,577	126,131
27	ΑΚΡΟ ΤΟΙΧΕΙΟΥ	357082,026	4356330,447	126,298
28	ΓΩΝΙΑ ΤΟΙΧΕΙΟΥ	357081,682	4356328,571	126,193
29	ΣΠΑΣΙΜΟ ΤΟΙΧΕΙΟΥ	357072,761	4356322,288	126,068
30	ΣΠΑΣΙΜΟ ΤΟΙΧΕΙΟΥ	357072,363	4356322,602	126,224

(πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Στο παράρτημα του τεύχους θα παρουσιαστούν σε πίνακα και τα 212 σημεία λεπτομέρειας που αποτυπώθηκαν.

3.4 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι μετρήσεις με τον δέκτη GPS πραγματοποιήθηκαν στις 23 Μαΐου 2014, ημέρα Παρασκευή. Ο καιρός αναφέρεται πως ήταν ηλιόλουστος. Περίπου στις 12:30 το μεσημέρι έγινε η άφιξη στο Μεγάλο Ευύδριο και σε περίπου μιάμιση ώρα είχε εξερευνηθεί όλη η περιοχή και είχε ολοκληρωθεί το κροκί, το οποίο ήταν απαραίτητο για την εκτέλεση των μετρήσεων. Οι μετρήσεις διήρκεσαν περίπου τέσσερις ώρες, ενώ ενδιάμεσα μεσολάβησε διάλειμμα ξεκούρασης περίπου μίας ώρας σε καφενείο της

περιοχής. Αξίζει να σημειωθεί πως περιοχές κοντά στο φράγμα και στο ποτάμι του Ενιπέα ήταν δύσβατες και δύσκολα προσβάσιμες, που είχε ως συνέπεια την καθυστέρηση της αποτύπωσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παρακάτω φωτογραφία.



Φωτογραφία 8 – Δύσβατη περιοχή κοντά στο ποτάμι

Ακολουθεί ο πίνακας με την διάρκεια των μετρήσεων και των επί μέρους εργασιών πεδίου.

Πίνακας 4 – Συνολική διάρκεια της διαδικασίας των μετρήσεων με GPS

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	
ΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	0,75
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΡΟΚΙ	0,75
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	4
ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ ΔΙΑΛΕΙΜΜΑ	1
ΣΥΝΟΛΟ	6,5

(πηγή: Ιδία επεξεργασία)

3.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ GPS

Η μετάβαση από τις εργασίες πεδίου στις εργασίες ‘γραφείου’ και από την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν μέχρι και την τελική απόδοση των αποτελεσμάτων έγινε με την βοήθεια διάφορων λογισμικών. Αρχικά, μέσω καλωδίου USB και με τη βοήθεια του επίσημου software του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε, του LEICA Geo Office, εξήχθησαν οι συντεταγμένες X, Ψ, H των σημείων που μετρήθηκαν με τον αντίστοιχο κωδικό τους σε .txt αρχείο.

SHMEIA LEPTOMEREIAS - Σημειωματάριο

Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια
215,356981.303,4356481.907,126.554				
214,356978.823,4356478.166,126.675				
213,356966.443,4356489.543,126.661				
212,356969.787,4356493.652,126.416				
211,356965.901,4356514.583,126.626				
210,356961.744,4356516.133,126.756				
209,356672.059,4356433.263,128.031				
208,356651.313,4356413.337,128.230				
207,356652.052,4356403.312,128.269				
206,356656.460,4356402.910,128.244				
205,356658.580,4356406.942,128.196				
204,356664.726,4356414.166,128.243				
203,356682.793,4356431.812,127.862				
202,356646.985,4356469.935,126.430				
201,356645.109,4356465.444,126.643				
200,356644.164,4356462.509,128.198				
199,356642.321,4356457.915,125.998				
198,356628.888,4356432.000,125.398				
197,356634.020,4356405.731,125.989				
196,356627.602,4356398.516,122.114				
195,356613.910,4356381.504,121.216				
194,356615.052,4356386.444,121.070				
193,356580.074,4356399.536,120.503				
192,356580.237,4356403.759,120.524				
191,356543.313,4356422.077,121.101				
190,356543.671,4356412.365,120.972				
189,356548.284,4356414.646,120.829				
188,356568.450,4356379.588,122.161				
187,356572.389,4356381.964,122.205				
186,356623.195,4356340.783,126.282				
185,356620.494,4356337.110,126.260				

Εικόνα 18 – Κομμάτι .txt αρχείου με τα σημεία λεπτομέρειας (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Το μόνο πράγμα που χρειάστηκε για την μετέπειτα διαδικασία που θα ακολουθήσει στο επόμενο υποκεφάλαιο με σκοπό την κατασκευή του τοπογραφικού διαγράμματος, ήταν η μετατροπή του .txt αρχείου σε αρχείο .xls με αλλαγή της σειράς των στηλών μέσω του προγράμματος Microsoft Excel.

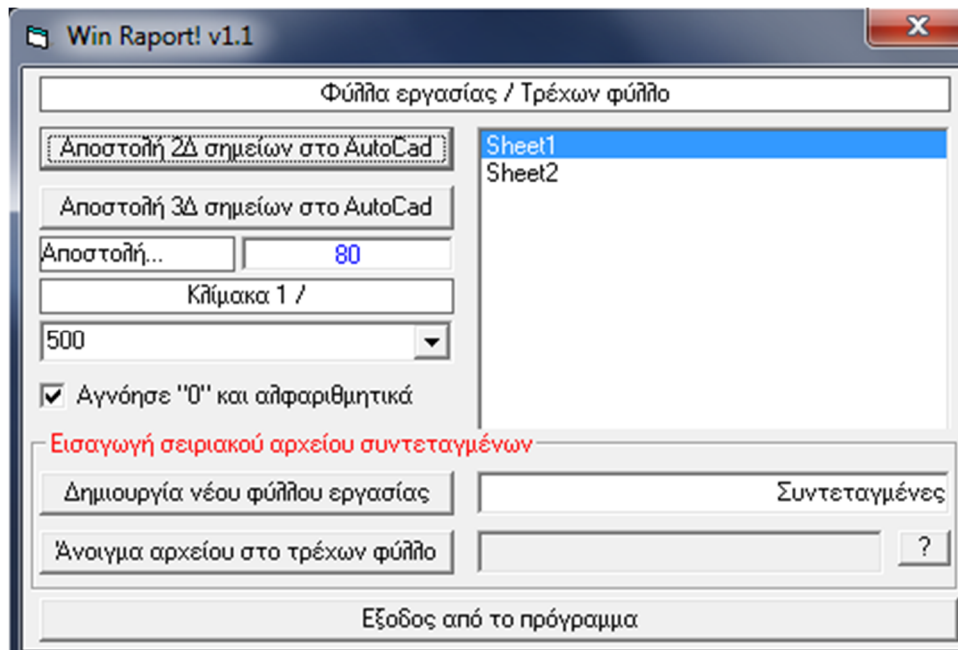
	A	B	C	D	E	F
1	356981,303	4356481,907	126,554	215		
2	356978,823	4356478,166	126,675	214		
3	356966,443	4356489,543	126,661	213		
4	356969,787	4356493,652	126,416	212		
5	356965,901	4356514,583	126,626	211		
6	356961,744	4356516,133	126,756	210		
7	356672,059	4356433,263	128,031	209		
8	356651,313	4356413,337	128,230	208		
9	356652,052	4356403,312	128,269	207		
10	356656,460	4356402,910	128,244	206		
11	356658,580	4356406,942	128,196	205		
12	356664,726	4356414,166	128,243	204		
13	356682,793	4356431,812	127,862	203		
14	356646,985	4356469,935	126,430	202		
15	356645,109	4356465,444	126,643	201		
16	356644,164	4356462,509	128,198	200		
17	356642,321	4356457,915	125,998	199		
18	356628,888	4356432,000	125,398	198		
19	356634,020	4356405,731	125,989	197		
20	356627,602	4356398,516	122,114	196		
21	356613,910	4356381,504	121,216	195		
22	356615,052	4356386,444	121,070	194		
23	356580,074	4356399,536	120,503	193		
24	356580,237	4356403,759	120,524	192		
25	356543,313	4356422,077	121,101	191		
26	356543,671	4356412,365	120,972	190		
27	356548,284	4356414,646	120,829	189		
28	356568,450	4356379,588	122,161	188		
29	356572,389	4356381,964	122,205	187		
30	356623,195	4356340,783	126,282	186		
31	356620,494	4356337,110	126,260	185		

Εικόνα 19 – Κομμάτι .xls αρχείου με τα σημεία λεπτομέρειας (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

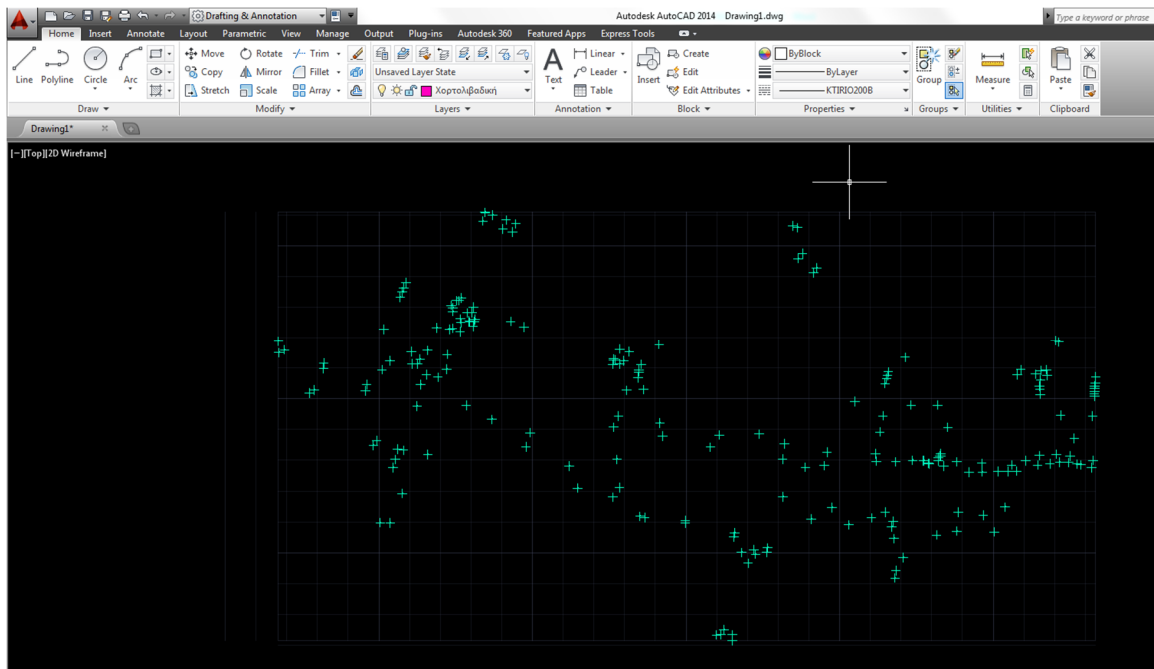
3.5.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Στόχος μας σε αυτό το σημείο είναι με τη βοήθεια των σημείων που μετρήθηκαν στο πεδίο, να κατασκευαστεί ένα τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής μελέτης. Αρχικά, τα σημεία λεπτομέρειας, τα οποία βρίσκονται σε .xls μορφή εισάγονται στο σχεδιαστικό

πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε, το Autocad 2014. Η εισαγωγή των σημείων έγινε με τη βοήθεια ενός άλλου ελεύθερου λογισμικού, του WinRaport v1.1.



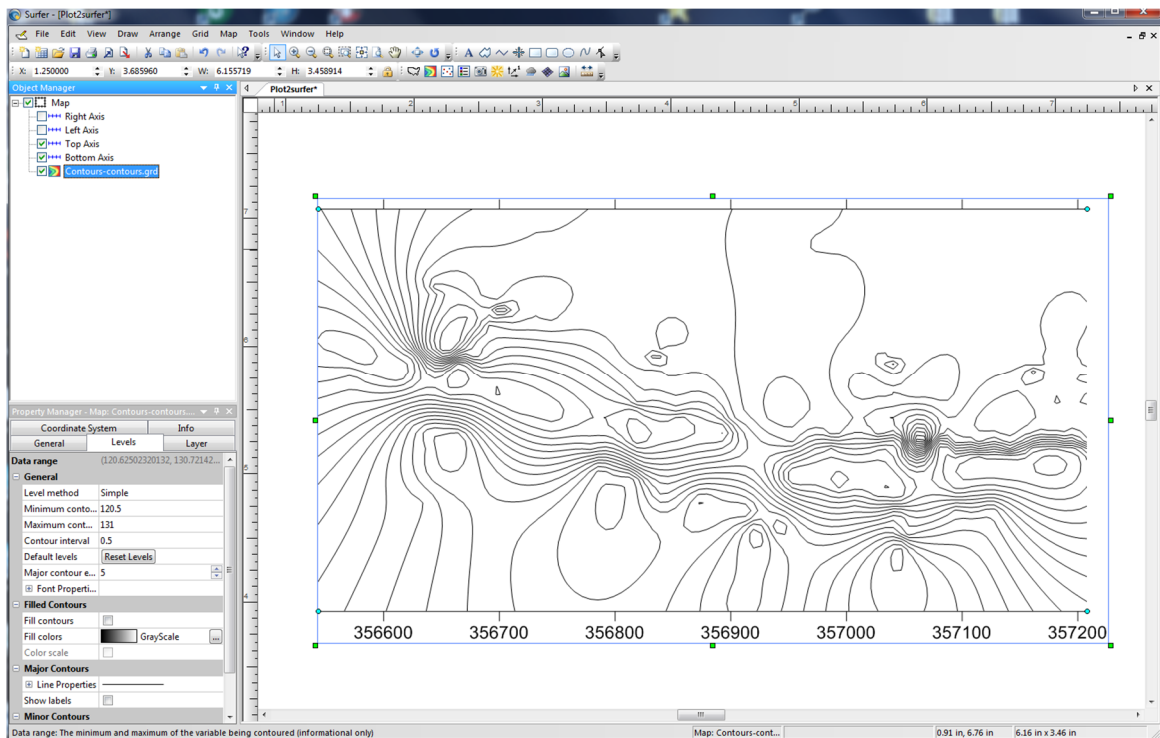
Εικόνα 20 – Εισαγωγή σημείων στο Autocad μέσω του WinRaport (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Εικόνα 21 – Τα σημεία λεπτομέρειας ραπορταρισμένα στο Autocad (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

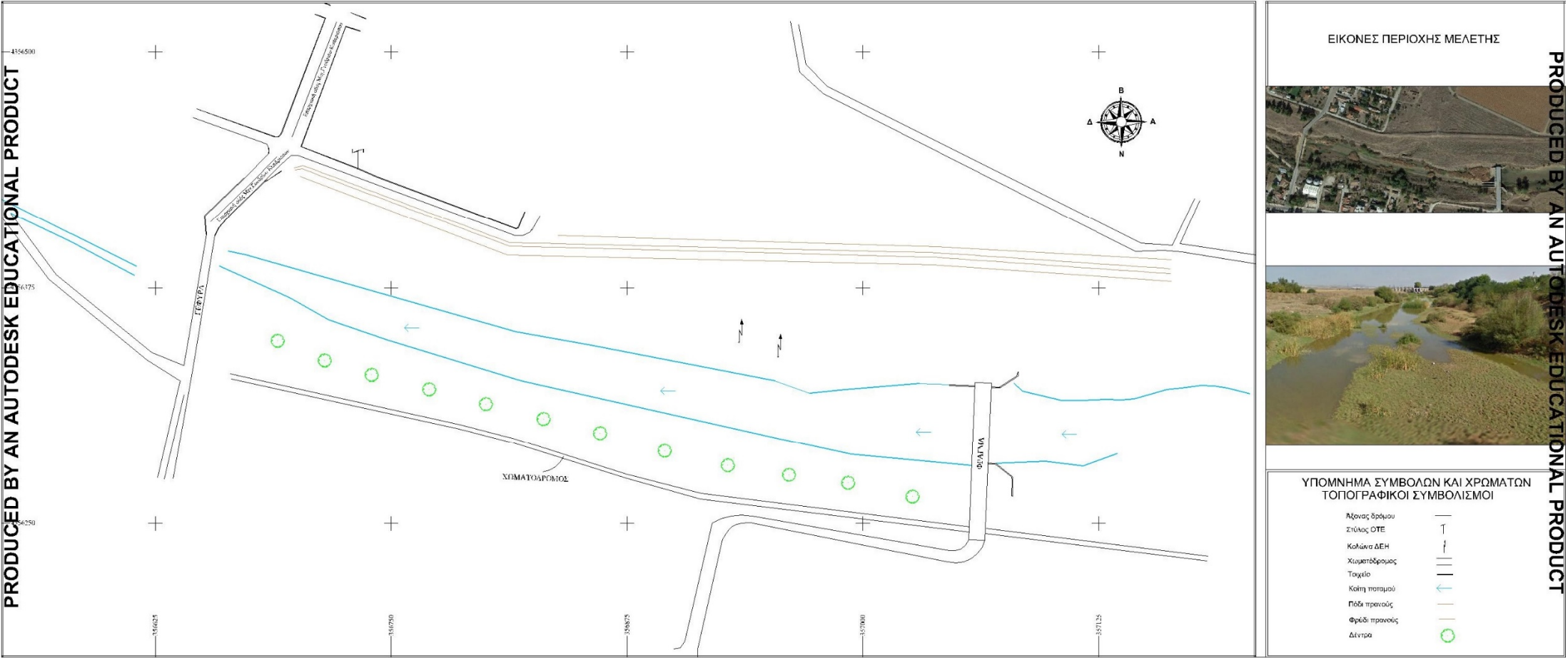
Αφού τα σημεία έχουν ραπορταριστεί στο περιβάλλον του Autocad, ακολουθεί η σχεδίαση του τοπογραφικού διαγράμματος με τη βοήθεια του κροκί που είχε σχεδιαστεί

στο πεδίο. Μέρος της σχεδίασης βέβαια αποτελεί και η κατασκευή των ισοϋψών καμπυλών. Οι ισοϋψείς κατασκευάστηκαν ξεχωριστά με την βοήθεια του προγράμματος Surfer 11 (Εικ. 22), αλλά δεν εισήχθησαν στο υπόλοιπο σχέδιο λόγω του γεγονότος ότι δεν είχαμε μεγάλες κλίσεις εδάφους στην περιοχή μας, με αποτέλεσμα η οπτική απόδοσή τους στο σχέδιο να μην ήταν η επιθυμητή και να χάνεται πολύτιμη χαρτογραφική πληροφορία.



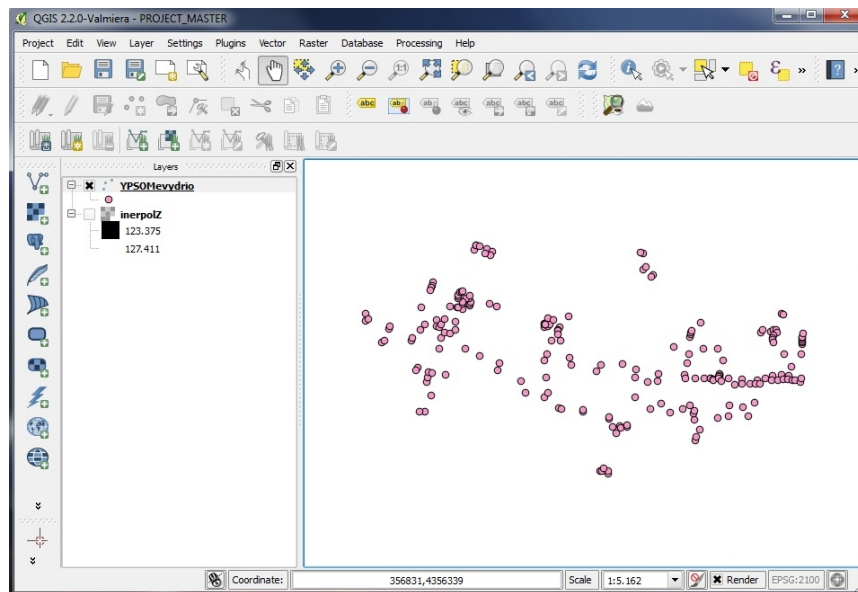
Εικόνα 22 – Ισοϋψείς καμπύλες με τη βοήθεια του Surfer (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Η κλίμακα του τελικού εκτυπωμένου τοπογραφικού διαγράμματος αποφασίστηκε να είναι η 1:1000. Το σχέδιο παρατίθεται σε έντυπη μορφή στο παράρτημα του τεύχους. Αναφέρεται πως δεν παρουσιάστηκαν αξιοσημείωτες δυσκολίες κατά τη διάρκεια της σχεδίασης, δεδομένου πως τα σημεία που αποτυπώθηκαν κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου επιλέχθηκαν κατάλληλα και η σχεδίαση του κροκί ήταν αυτή που θα έπρεπε. Ακολουθεί ενδεικτικά το τοπογραφικό διάγραμμα σε κλίμακα ίση με 1:3000, που εξήλθε ως αρχείο .jpg από το πρόγραμμα του Autocad.



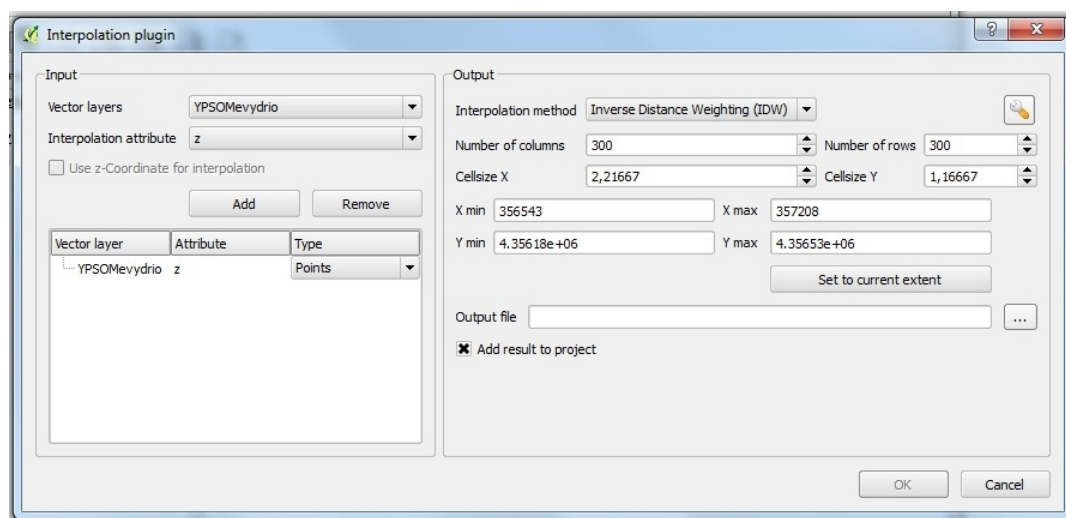
3.5.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ DEM

Η δημιουργία τώρα του Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου (DEM) ήταν μία διαδικασία πολύ απλούστερη της σχεδίασης του τοπογραφικού διαγράμματος. Πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ενός ελεύθερου λογισμικού ανοιχτού κώδικα, του QGIS. Τα 212 σημεία λεπτομέρειας ραπορταρίστηκαν στο πρόγραμμα μέσω .txt αρχείου.

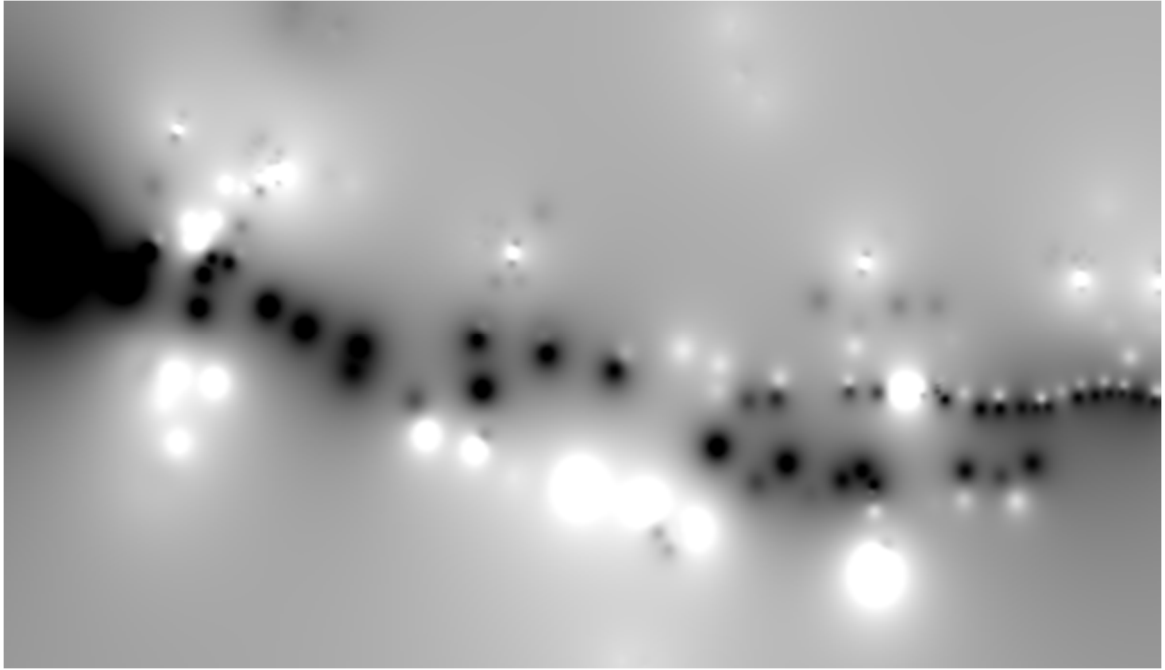


Εικόνα 23 – Ραπορταρισμένα σημεία λεπτομέρειας στο QGIS (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Έπειτα, μέσω της μεθόδου παρεμβολής IDW (Inverse Distance Weighting) που χρησιμοποιήθηκε ως προς τα υψόμετρα, δημιουργήθηκε το DEM της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 24 – Παρεμβολή IDW στο QGIS (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Εικόνα 25 – DEM για περιοχή μελέτης στο QGIS (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Σημειώνεται πως ο χρωματισμός όσο πιο σκούρος είναι έχει να κάνει με μικρότερα υψόμετρα και αντίστοιχα όσο πάει προς το λευκό με μεγαλύτερα. Το στοιχείο της περιοχής που φαίνεται εντονότερα στο DEM είναι το ποτάμι του Ενιπέα, καθώς τα σημεία λεπτομέρειας που μετρήθηκαν στις όχθες του ποταμού είχαν τα μικρότερα υψόμετρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΜΕ UAV ΣΤΟ Μ.ΕΥΥΔΡΙΟ ΦΑΡΣΑΛΩΝ

4.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ UAV

Για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της λήψης αεροφωτογραφιών στην περιοχή μελέτης με σκοπό τη δισδιάστατη και τρισδιάστατη απεικόνισή της, ακολουθήθηκαν συγκεκριμένα βήματα που εκτελέστηκαν πριν τη μετάβασή μας στο Μ. Ευύδριο Φαρσάλων. Αυτά τα βήματα αφορούσαν τον σχεδιασμό της πτήσης που θα εκτελούσε το UAV και υλοποιήθηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού ανοιχτού κώδικα Mission Planner.



Εικόνα 26 – Λογισμικό ανοιχτού κώδικα Mission Planner (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Αρχικά, έπρεπε να επιλέξουμε την κάμερα που θα χρησιμοποιούσαμε στο πεδίο και να εισάγουμε τα χαρακτηριστικά της στο πρόγραμμα σχεδιασμού πτήσης. Έτσι, η κάμερα που χρησιμοποιήθηκε για την αεροφωτογράφιση είναι το μοντέλο XniteCanonELPH110 NDVI (Εικ. 27).



Εικόνα 27 – Κάμερα XniteCanonELPH110 NDVI που ενσωματώθηκε στο UAV

(πηγή: <http://www.usa.canon.com/>)

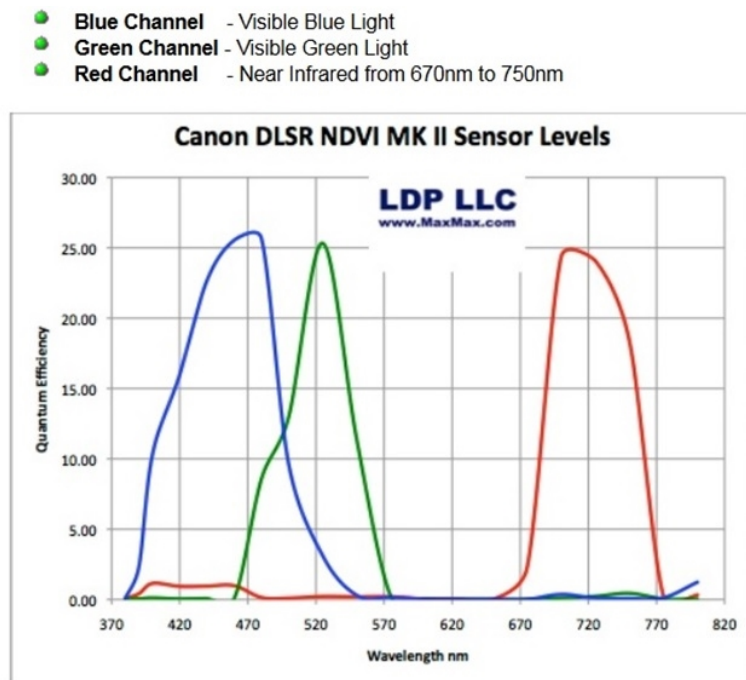
Πιο συγκεκριμένα, τα κύρια χαρακτηριστικά της κάμερας παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5 – Χαρακτηριστικά κάμερας Canon

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΜΕΡΑΣ	
Ανάλυση	16,1 Megapixels
Διαστάσεις	93,2 * 57,0 * 20,0 mm
Βάρος με μπαταρία και κάρτα SD	135 grams
Τύπος μπαταρίας	Li-ion
Διάρκεια μπαταρίας	170 shots

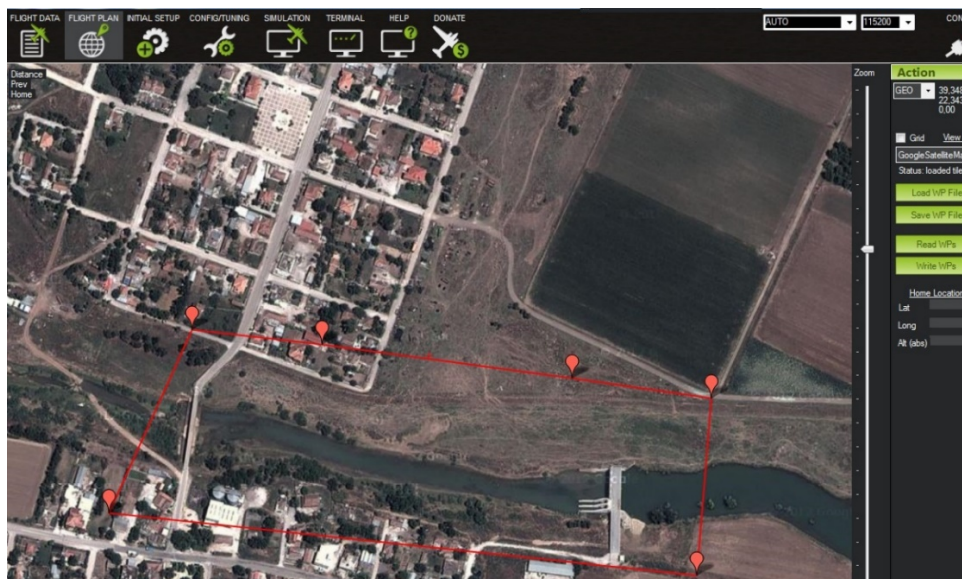
(πηγή: <http://www.usa.canon.com/>)

Σημειώνεται πως οι λήψεις έγιναν στα κανάλια του Ορατού Μπλε (Visible Blue), του Ορατού Πράσινου (Visible Green) και του Εγγύς Υπέρυθρου (Near Infrared), που υποστηρίζει η συγκεκριμένη κάμερα. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά εισήχθησαν στο Mission Planner.

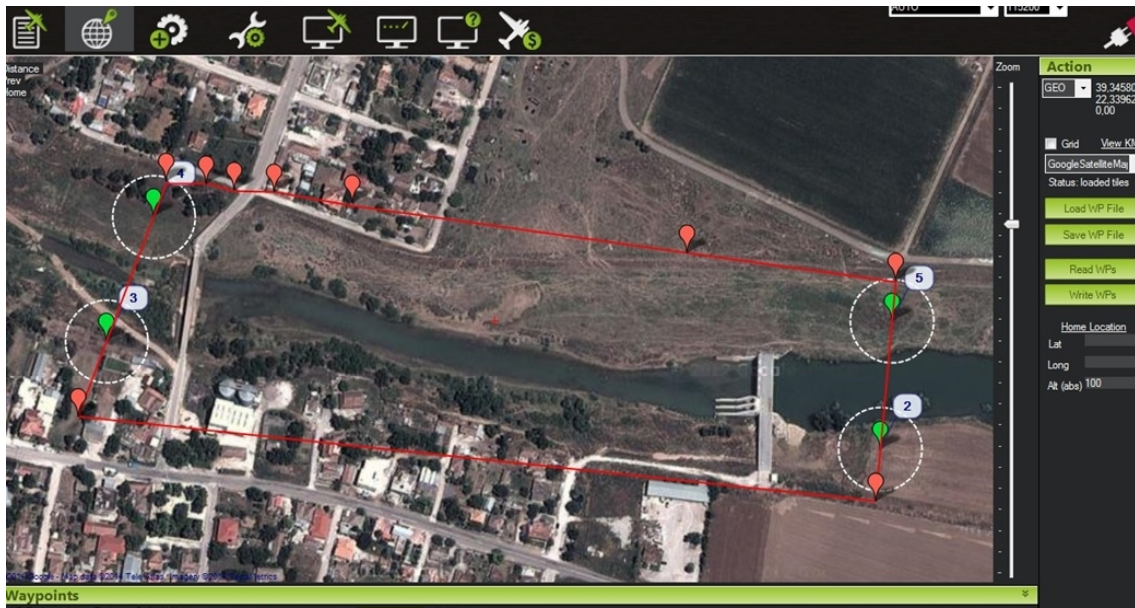


Εικόνα 28 – Κανάλια της κάμερας XniteCanonELPH110 NDVI
(πηγή: <https://www.maxmax.com/>)

Έπειτα, οριοθετήθηκε η περιοχή μελέτης στο Mission Planner με τη δημιουργία ενός πολυγώνου. Αφού έγινε η οριοθέτηση, ακολούθησε η δημιουργία των σημείων αναφοράς (Waypoints) από τα οποία θα περάσει το UAV για να σαρώσει την περιοχή με αεροφωτογραφίες. Τα Waypoints δημιουργήθηκαν με βάση το ύψος πτήσης, την επιθυμητή επικάλυψη και την ταχύτητα του UAV, λαμβάνοντας υπόψη πάντα ως μέγιστο χρόνο πτήσης τα 10 λεπτά.



Εικόνα 29 – Οριοθέτηση περιοχής μελέτης στο Mission Planner (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



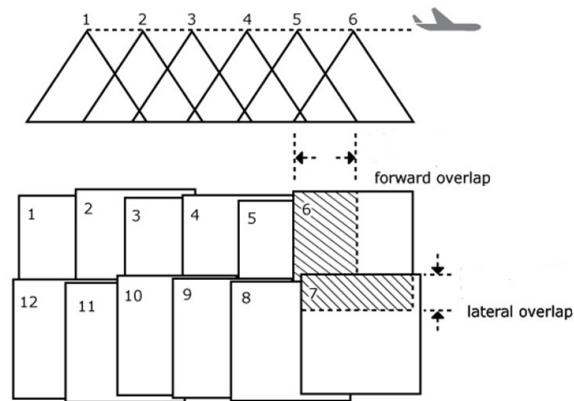
Εικόνα 30 – Δημιουργία Waypoints στο Mission Planner (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Πίνακας 6 – Συντεταγμένες των Waypoints στο WGS84

MISSION PLANNER		
WAYPOINTS	φ	λ
Waypoint 2	39,3465697	22,3439151
Waypoint 3	39,3472683	22,3374308
Waypoint 4	39,3480679	22,3378227
Waypoint 5	39,3474007	22,3440157

(πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Τα ποσοστά επικάλυψης καθορίζονται με τη σειρά τους από το ύψος της πτήσης, την ταχύτητα του UAV, το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των λήψεων δύο διαδοχικών αεροφωτογραφιών και την εστιακή απόσταση της κάμερας. Οι επικαλύψεις διασφαλίζουν την κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος χωρίς ανεπιθύμητα κενά και είναι απαραίτητες για δημιουργία στερεοσκοπικών εικόνων (Xiang and Tian, 2011). Αναφέρεται πως για κατά μήκος επικάλυψη επιλέξαμε να έχουμε ποσοστό 80% και για πλευρική επικάλυψη (κατά πλάτος) ποσοστό 60%. Σημειώνεται επίσης πως το εμβαδόν της περιοχής που σαρώθηκε με αεροφωτογραφίες είναι περίπου 150 στρέμματα.

Εικόνα 31 – Επικαλύψεις αεροφωτογραφιών (πηγή: <http://www.bandung-aeromodeling.com/>)

Εικόνα 32 – Επικαλύψεις αεροφωτογραφιών στο Mission Planner (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Οι επιπλέον παράμετροι της πτήσης εισήχθησαν στο λογισμικό σχεδιασμού και φαίνονται συνολικά στον παρακάτω πίνακα.

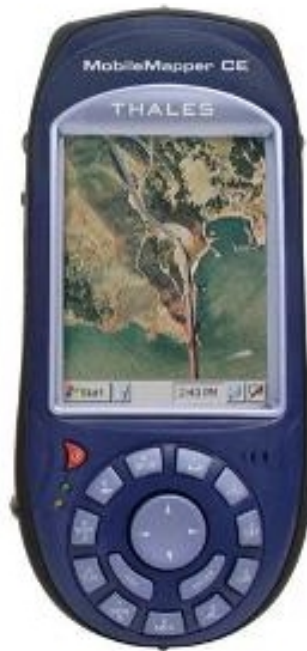
Πίνακας 7 – Παράμετροι λήψης αεροφωτογραφιών

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	
Ύψος πτήσης	140 m
Ταχύτητα UAV	5 m/sec
Χρόνος μεταξύ διαδοχικών λήψεων	3 sec
Κατά μήκος επικάλυψη	80%
Πλευρική επικάλυψη	60%

(πηγή: Ιδία επεξεργασία)

4.2 ΛΗΨΗ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ

Με την άφιξη στο Ευύδριο Φαρσάλων και τη περιοχή μελέτης συγκεκριμένα, πρώτο βήμα ήταν ο εντοπισμός και η μέτρηση φωτοσταθερών σημείων (GCPs - Ground Control Points), τα οποία θα ήταν απαραίτητα για την μετέπειτα επεξεργασία των αεροφωτογραφιών. Αυτά τα σημεία, 10 σε αριθμό, αποτελούν σταθερά σημεία στο έδαφος που μπορούν να εντοπιστούν από αεροφωτογραφίες. Αναφέρεται πως η επιλογή τους έγινε με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι διεσπαρμένα σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης. Οι μετρήσεις έγιναν με GPS χειρός, μοντέλου THALES Mobilemapper Handheld. Το συγκεκριμένο διαθέτει 14 κανάλια και η ακρίβειά του είναι περίπου 1 m οριζοντιογραφικά και 1,5 – 2 m υψομετρικά.



Εικόνα 33 – GPS THALES Mobilemapper Handheld (πηγή: <http://www.epinions.com>)

Αφού μετρήθηκαν τα φωτοσταθερά, επόμενο βήμα ήταν η άφιξη στο σημείο απογείωσης - προσγείωσης του UAV (Takeoff – Land Point). Με το που φτάσαμε, έπρεπε να γίνουν οι απαραίτητες προετοιμασίες προκειμένου να πραγματοποιηθεί η πτήση του UAV και η λήψη αεροφωτογραφιών.



Φωτογραφία 9 – Αφιξη στο σημείο απογείωσης – προσγείωσης του UAV

Έτσι λοιπόν, ο απαραίτητος εξοπλισμός που είχαμε μαζί μας ήταν σε γενικές γραμμές το σύστημα UAV, η κάμερα που θα ενσωματωνόταν σε αυτό και ένας φορητός υπολογιστής (σταθμός βάσης).

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά το UAV που χρησιμοποιήθηκε, είναι μοντέλου IRIS της εταιρίας 3D Robotics. Είναι τετρακόπτερο και αποτελείται από τα παρακάτω μέρη (πηγή: <http://www.3drobotics.com>):

- Το αυτόματο σύστημα πλοήγησης Pixhawk με επεξεργαστή Cortex M4, που αποτελεί πολύ σημαντικό μέρος για τον έλεγχο κάθε είδους πτήσης, ελεγχόμενης με ράδιο-κοντρόλ ή και αυτόματης. Είναι ηλεκτρονικό κύκλωμα που αλληλεπιδρά με διάφορους αισθητήρες και στέλνει εντολές στα μοτέρ που έχουν τον έλεγχο των ελίκων. Οι αισθητήρες αυτοί είναι το u-blox GPS με ενσωματωμένο μαγνητόμετρο, το επιταχυνσιόμετρο/γυροσκόπιο, το ανεμόμετρο, το κλισίμετρο και άλλα.
- Τον σκελετό του (Arducopter Frame), στον οποίο ενσωματώνεται η κάμερα ή άλλοι αισθητήρες.
- Τους κινητήρες (Arducopter Motors), που περιστρέφουν τους έλικες για να παράγουν ώθηση στο όχημα.
- Την ηλεκτρονική συσκευή ESC (Electronic Speed controller), που ελέγχει τη ταχύτητα του κινητήρα. Η συγκεκριμένη συσκευή επιλέγεται με προσοχή για την αποφυγή υπερθέρμανσής της.
- Τους 4 έλικες (Propellers).

- Το ράδιο-κοντρόλ και τον δέκτη του (Transmitter/Receiver), τα οποία πάνε συνήθως πακέτο και είναι απαραίτητα για αυτόνομες αλλά και μη αυτόνομες πτήσεις.
- Την μπαταρία (3 εφεδρικές) και τον φορτιστή (Battery/Charger). Η μπαταρία είναι λιθίου, 3,5 Ah (Αμπερώρια) με αυτονομία περίπου 15 λεπτά και βάρους 262 γραμμαρίων.



Εικόνα 34 – Μοντέλο *ARIS Quadcopter UAV* που χρησιμοποιήθηκε
(πηγή: <http://www.arducopter.co.uk>)



Εικόνα 35 – Μέρη του *UAV ARIS Quadcopter* (πηγή: <http://www.arducopter.co.uk>)

Η κάμερα XniteCanonELPH110NDVI που αναφέρθηκε παραπάνω, προσαρμόστηκε προσεκτικά στο κάτω μέρος του οχήματος και ασφαλίστηκε σταθερά σε ειδικό αντικραδασμικό σχηματισμό.



Φωτογραφία 10 – Ενσωμάτωση κάμερας στο UAV



Φωτογραφία 11 – Το UAV με προσαρμοσμένη κάμερα

Έπειτα, χρησιμοποιήσαμε τον φορητό υπολογιστή ως επίγειο σταθμό ελέγχου (GCS) με τον οποίο θα επικοινωνούσε το ιπτάμενο όχημα κατά τη διάρκεια της πτήσης. Φυσικά, διαθέσιμο ήταν και το ράδιο-κοντρόλ του UAV για επιπλέον βοήθεια. Οι παράμετροι της πτήσης ήταν προσχεδιασμένες, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο και εισήχθησαν στο λογισμικό Mission Planner. Τέλος, σημειώνεται πως στο laptop προσαρμόστηκε μία κεραία GPS (GPS antenna) για να επικοινωνεί με το αντίστοιχο GPS που είναι ενσωματωμένο στο UAV. Έτσι, αφού το ιπτάμενο όχημα ήταν συνδεδεμένο με τον επίγειο σταθμό ελέγχου (laptop και ράδιο-κοντρόλ), όλα ήταν έτοιμα για την αυτόματη αεροφωτογράφιση.



Φωτογραφία 12 – Επίγειος σταθμός ελέγχου (GCS) στο πεδίο



Φωτογραφία 13 – Τελευταίοι έλεγχοι πριν την απογείωση



Φωτογραφία 14 – UAV έτοιμο για απογείωση

Περισσότερες φωτογραφίες από τις προετοιμασίες που έγιναν στο πεδίο υπάρχουν στο παράρτημα του τεύχους.

Κατά τη διάρκεια της πτήσης και μέχρι την προσγείωση, υπήρχε συνεχής έλεγχος του UAV και των διαφόρων παραμέτρων μέσω του επίγειου σταθμού ελέγχου. Πληροφορίες όπως το στίγμα του οχήματος, η ταχύτητά του, το υψόμετρο που βρίσκεται, η απόσταση από το επόμενο Waypoint που θα περάσει και άλλα, ήταν γνωστές ανά πάσα στιγμή και πολύτιμες για την εξέλιξη της πτήσης.



Εικόνα 36 – Έλεγχος πτήσης στο Mission planner (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Φωτογραφία 15 – Επικοινωνία UAV με επίγειο σταθμό ελέγχου

Τέλος, δευτερόλεπτα πριν την ολοκλήρωση της πτήσης, η προσγείωση έγινε χειροκίνητα με χρήση του ράδιο-κοντρόλ για λόγους μεγαλύτερης ακρίβειας και ασφάλειας.



Φωτογραφία 16 – Μη αυτόματη προσγείωση με χρήση του ράδιο-κοντρόλ

Μετά την προσγείωση του ιπτάμενου οχήματος, έγινε ένας πρώτος έλεγχος των αεροφωτογραφιών που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια της πτήσης. Δεν διαπιστώθηκε

κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα συμπεραίνοντας σε πρώτη φάση πως ο σχεδιασμός και η εκτέλεση των λήψεων μας έδωσαν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Ο αριθμός των κατακόρυφων αεροφωτογραφιών που λήφθηκαν αναφέρεται πως είναι 160.



Φωτογραφία 17 – Αεροφωτογραφία δευτερόλεπτα μετά την απογείωση



Εικόνα 37 – Λήψη αεροφωτογραφιών (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Σημειώνεται πως το μέγεθος pixel της κάθε αεροφωτογραφίας (pixel size) στο έδαφος είναι 3 cm για το συγκεκριμένο ύψος πτήσης. Το συνολικό εμβαδό τώρα που καταλαμβάνει η κάθε αεροφωτογραφία στο έδαφος (footprint) είναι περίπου 14 στρέμματα. Μεγαλύτερο δείγμα αεροφωτογραφιών παρατίθεται στο παράρτημα.

4.3 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ

Η λήψη αεροφωτογραφιών με το μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα πραγματοποιήθηκαν στις 26 Μαΐου 2014, ημέρα Δευτέρα. Ο καιρός ήταν και τότε ηλιόλουστος, όπως και τη μέρα που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις με το GPS. Η μέτρηση των φωτοσταθερών ξεκίνησε στις 10:00 το πρωί και διήρκεσε περίπου μία ώρα. Στη συνέχεια ακολούθησαν οι προετοιμασίες για την πραγματοποίηση της πτήσης. Οι εργασίες πεδίου που πραγματοποιήθηκαν, αφορούσαν την ετοιμασία του UAV για την πτήση, την εγκατάσταση του επίγειου σταθμού ελέγχου και διήρκεσαν περίπου 45 λεπτά. Πρέπει όμως να συμπεριληφθεί και ο σχεδιασμός της πτήσης στο Mission Planner, που είχε γίνει νωρίτερα και διήρκεσε περίπου μιάμιση ώρα. Η απογείωση του UAV έγινε περίπου στις 12:00 και η πτήση ολοκληρώθηκε στις 12:08, διαρκώντας 8 λεπτά. Σημειώνεται πως ενδιάμεσο διάλειμμα ξεκούρασης δεν υπήρχε λόγω της πολύ συντομότερης διαδικασίας που απαιτούνταν στο πεδίο σε σχέση με την αποτύπωση με χρήση GPS. Παρακάτω δίνεται ο πίνακας με την συνολική διάρκεια των εργασιών που έγιναν για να επιτευχθεί η λήψη των αεροφωτογραφιών.

Πίνακας 8 – Διάρκεια εργασιών για λήψη αεροφωτογραφιών

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	
ΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h)
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΤΗΣΗΣ	1,5
ΜΕΤΡΗΣΗ ΦΩΤΟΣΤΑΘΕΡΩΝ	1
ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ UAV ΚΑΙ GCS	0,75
ΠΤΗΣΗ	0,13
ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	0,25
ΣΥΝΟΛΟ	3,6

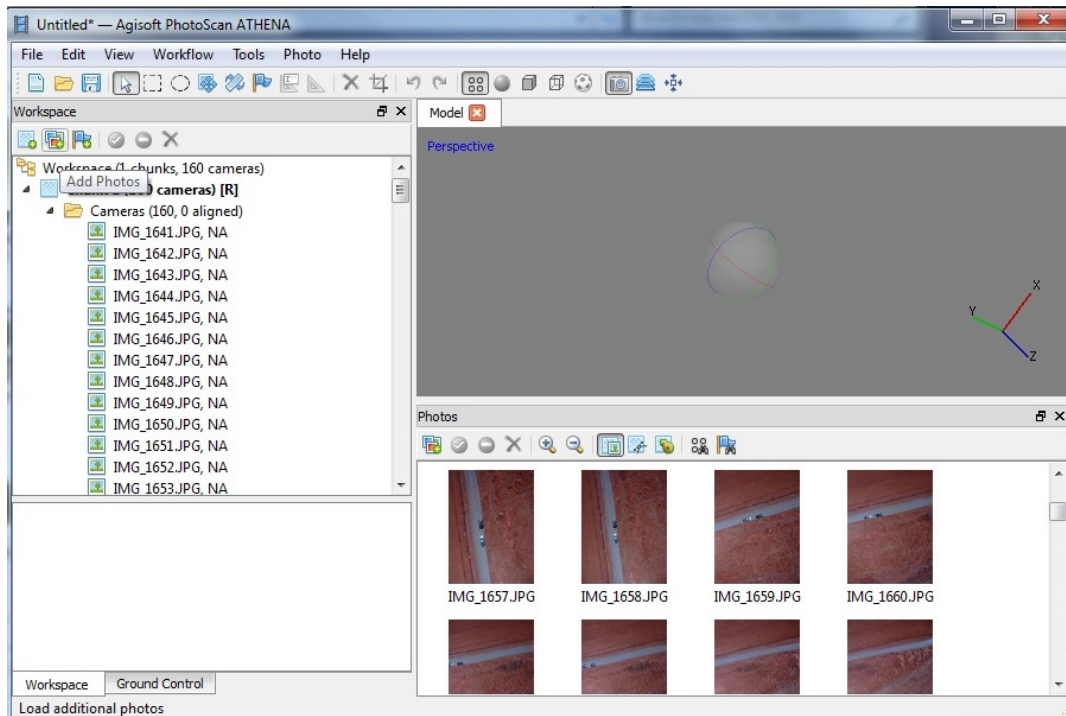
(πηγή: Ιδία επεξεργασία)

4.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Μετά την επιτυχημένη παραγωγή αεροφωτογραφιών ακολούθησε η επεξεργασία τους με το φωτογραμμετρικό λογισμικό Agisoft PhotoScan. Σκοπός της επεξεργασίας είναι να δημιουργηθεί σε πρώτη φάση το φωτομωσαϊκό για την περιοχή μελέτης. Σε δεύτερη φάση, θα δημιουργηθεί το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας DSM (Digital Surface Model) μέσω του ίδιου λογισμικού και η απεικόνιση της περιοχής σε τρεις διαστάσεις (3D Model) με την βοήθεια του λογισμικού ArcScene του πακέτου ArcGIS.

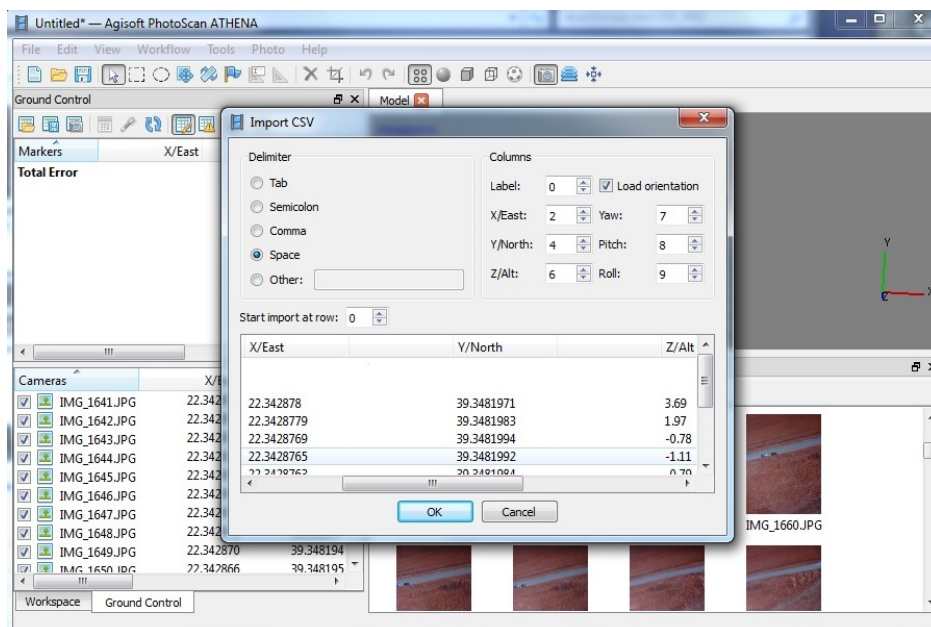
4.4.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΩΤΟΜΩΣΑΙΚΟΥ ΚΑΙ DSM

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε στο Agisoft PhotoScan είναι η εξής. Αρχικά εισήχθησαν στο λογισμικό οι 110 από τις 160 αεροφωτογραφίες που είχαμε συνολικά. Από τις 50 που αφαιρέθηκαν, οι περισσότερες λήφθηκαν κατά τη διάρκεια της απογείωσης-προσγείωσης και οι υπόλοιπες ήταν θολές, με αποτέλεσμα και στις δύο περιπτώσεις να μην τις λάβουμε υπόψη.



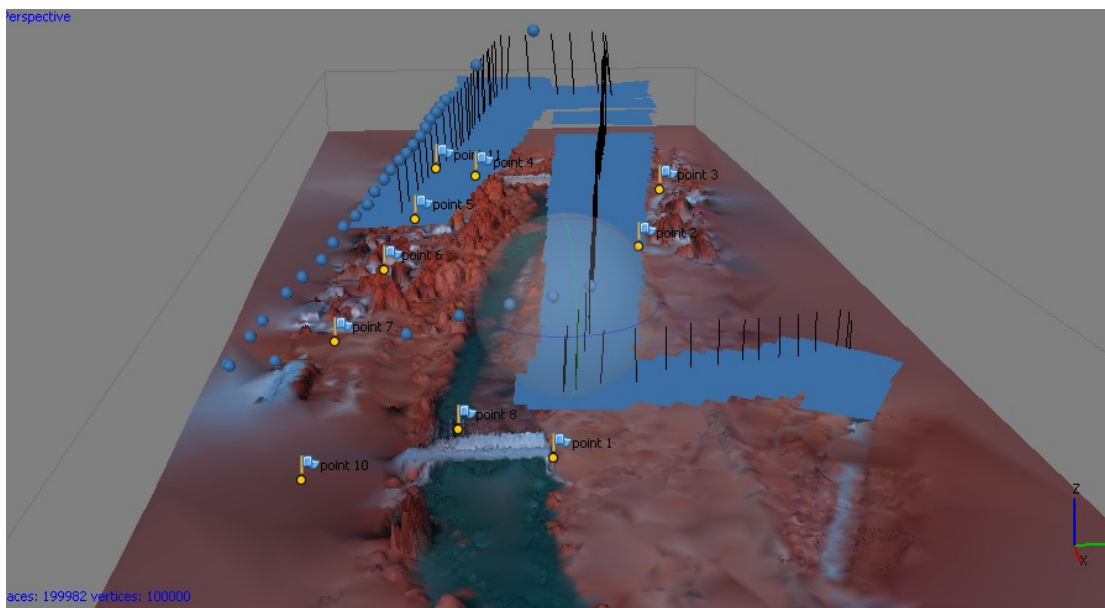
Εικόνα 38 – Εισαγωγή αεροφωτογραφιών στο Agisoft PhotoScan (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Έπειτα έγινε εισαγωγή των δεδομένων από .txt αρχείο που περιέχουν τις συντεταγμένες του κέντρου της κάθε αεροφωτογραφίας, όπως αποθηκεύτηκαν στο Mission Planner. Αυτό προέκυψε από τον συγχρονισμό του ρολογιού του σταθμού ελέγχου (laptop) με το ρολόι της κάμερας.



Εικόνα 39 – Εισαγωγή X, Y, H αεροφωτογραφιών στο Agisoft PhotoScan (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Στη συνέχεια, αφού ορίστηκε το σύστημα αναφοράς των συντεταγμένων, ακολούθησε η διαδικασία της γεωαναφοράς. Προκειμένου να επιτευχθεί η γεωαναφορά, δημιουργήθηκε ένα χαμηλής ποιότητας μοντέλο της περιοχής, στο οποίο έγινε η τοποθέτηση των αεροφωτογραφιών. Ακολούθησε ο εντοπισμός των φωτοσταθερών στις αεροφωτογραφίες και η εισαγωγή των συντεταγμένων τους στο πρόγραμμα με τη μορφή .txt αρχείου. Οι συντεταγμένες των 10 αυτών σημείων μετρήθηκαν με το GPS χειρός, όπως είχε αναφερθεί και προηγουμένως. Οι αεροφωτογραφίες συμβολίζονται με μπλε πολυγώνια, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

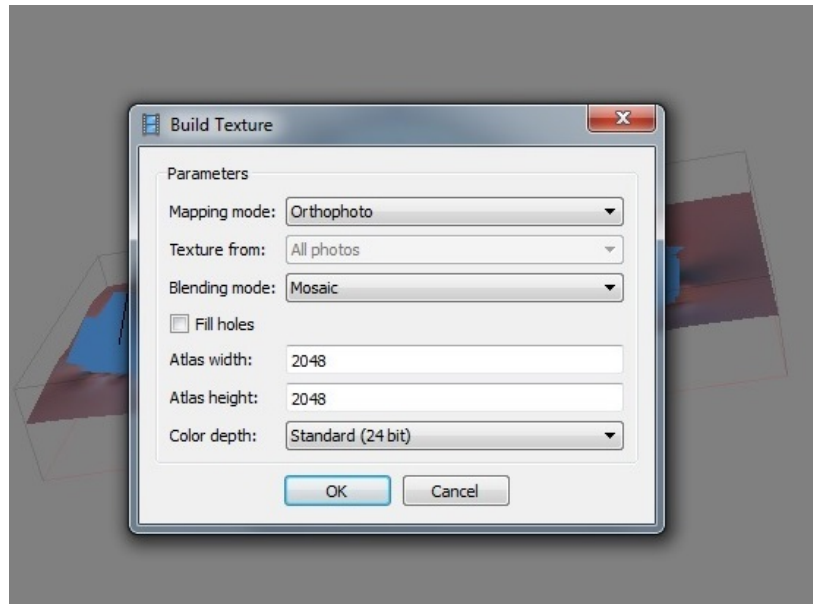


Εικόνα 40 – Τοποθέτηση αεροφωτογραφιών και εντοπισμός φωτοσταθερών
(πηγή: Ιδία επεξεργασία)

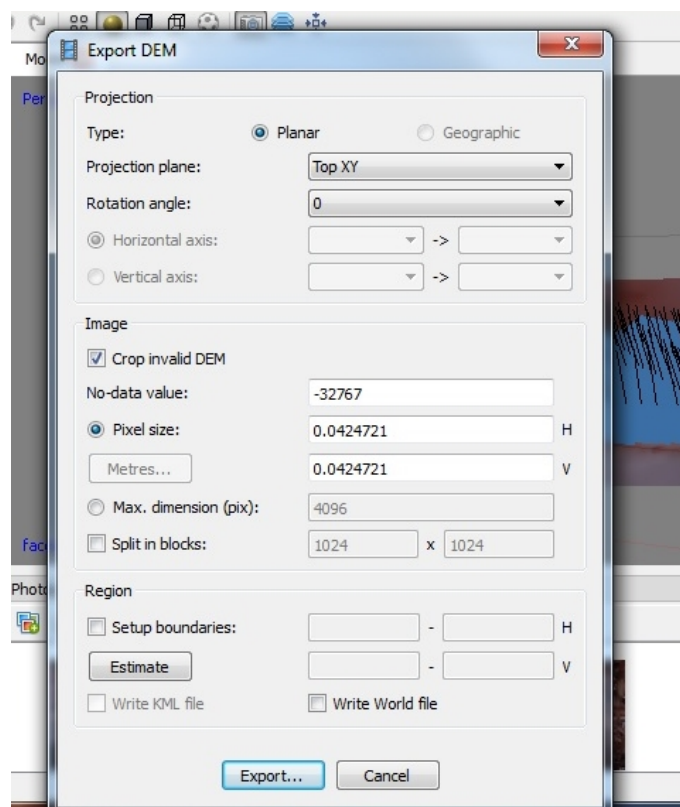
Markers	Longitude	Latitude	Altitude
point 1	22.343030	39.347160	127.0000
point 2	22.340110	39.347860	128.0000
point 3	22.338710	39.348190	128.0000
point 4	22.338030	39.347110	128.0000
point 5	22.339210	39.346730	128.0000
point 6	22.340380	39.346580	128.0000
point 7	22.341540	39.346400	129.0000
point 8	22.342560	39.346870	124.0000
point 9	22.344170	39.347820	131.0000
point 10	22.343020	39.346370	128.0000

Εικόνα 41 – Συντεταγμένες των φωτοσταθερών (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

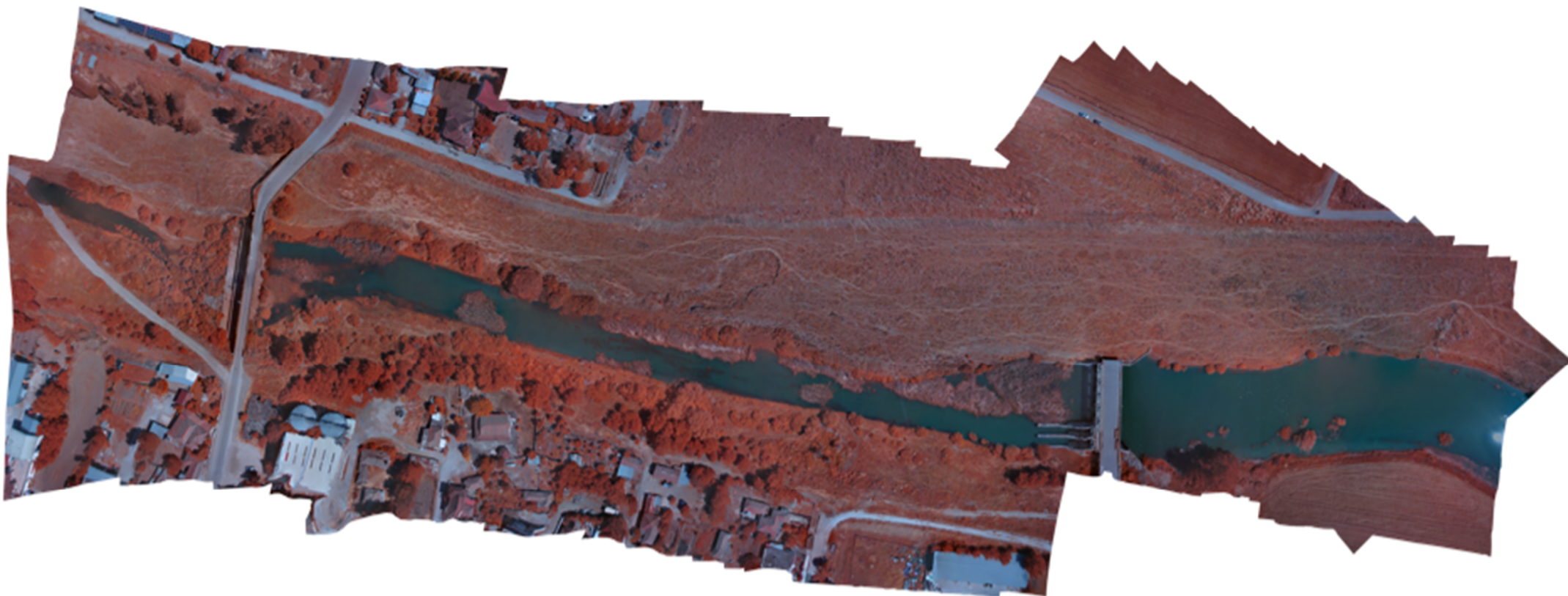
Με την ολοκλήρωση της γεωαναφοράς, διαδικασίας που διήρκεσε αρκετή ώρα, επόμενο βήμα ήταν η επαναδημιουργία του μοντέλου με ακριβή γεωμετρία και η τελική δημιουργία του φωτομωσαϊκού. Ακολούθησε επίσης και η εξαγωγή του DSM για την περιοχή μελέτης.



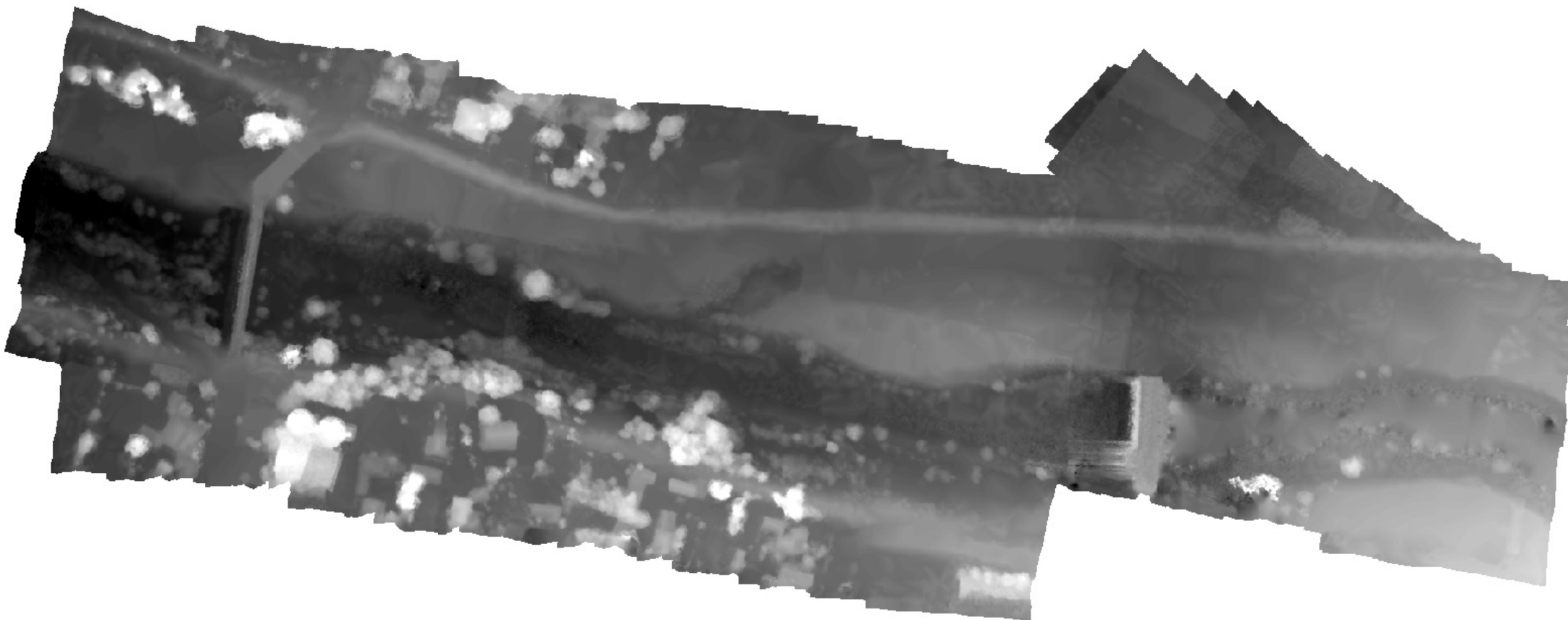
Εικόνα 42 – Δημιουργία φωτομωσαϊκού με Agisoft PhotoScan (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Εικόνα 43 – Εξαγωγή DSM μέσω Agisoft PhotoScan (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Εικόνα 44 – Φωτομωσαϊκό για την περιοχή μελέτης (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

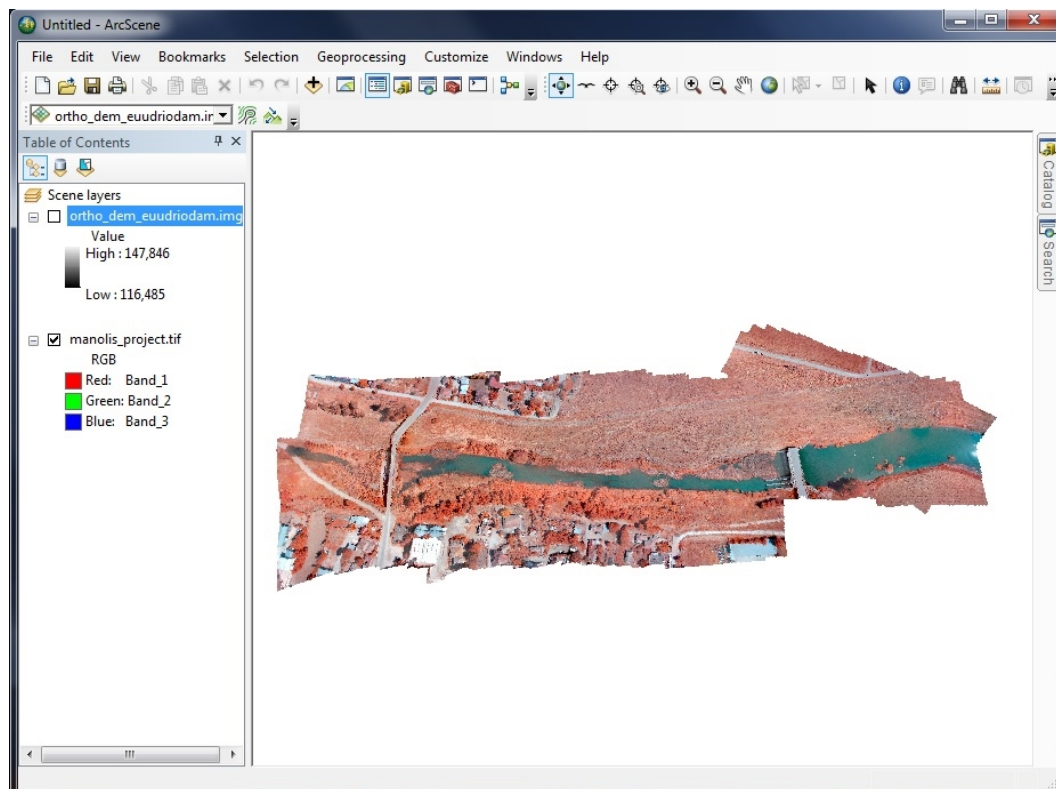


Εικόνα 45 – *DSM για την περιοχή μελέτης (πηγή: Ιδία επεξεργασία)*

Αναφέρεται πως το φωτομωσαϊκό είναι ανάλυσης 3 cm και μεγέθους περίπου 1,6 GB, ενώ το DSM έχει ανάλυση 10 cm και μέγεθος περίπου 122 MB. Από το DSM διακρίνονται χαρακτηριστικά τα κτίρια και τα δέντρα της περιοχής με άσπρο χρωματισμό, όπως και το ποτάμι του Ενιπέα με σκούρο μαύρο στο μεγαλύτερο μέρος του.

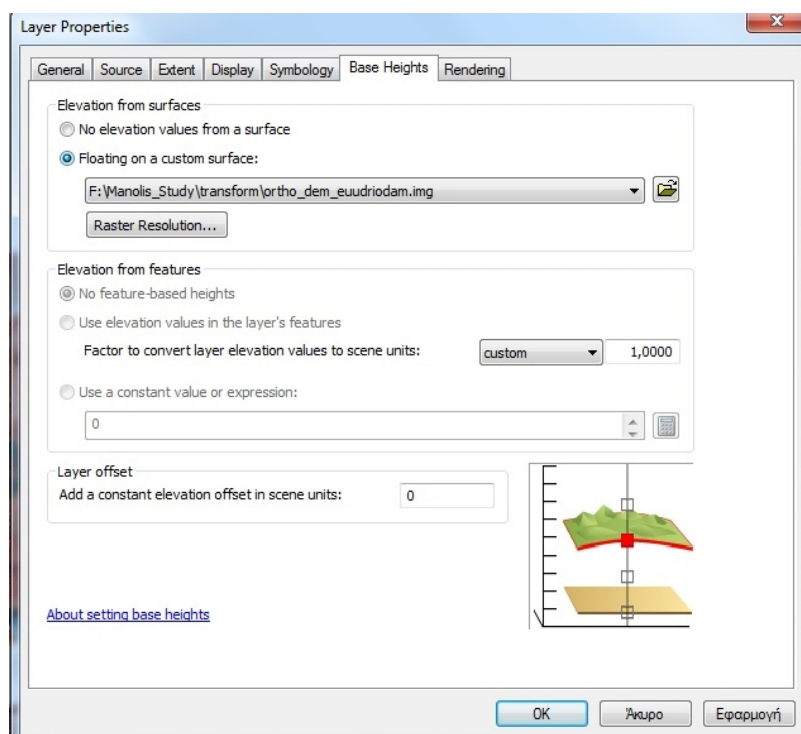
4.4.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 3D Model

Για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου της περιοχής χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcScene. Αρχικά εισήχθησαν τα raster αρχεία (DSM και φωτομωσαϊκό) ως layers (στρώσεις) στο πρόγραμμα.

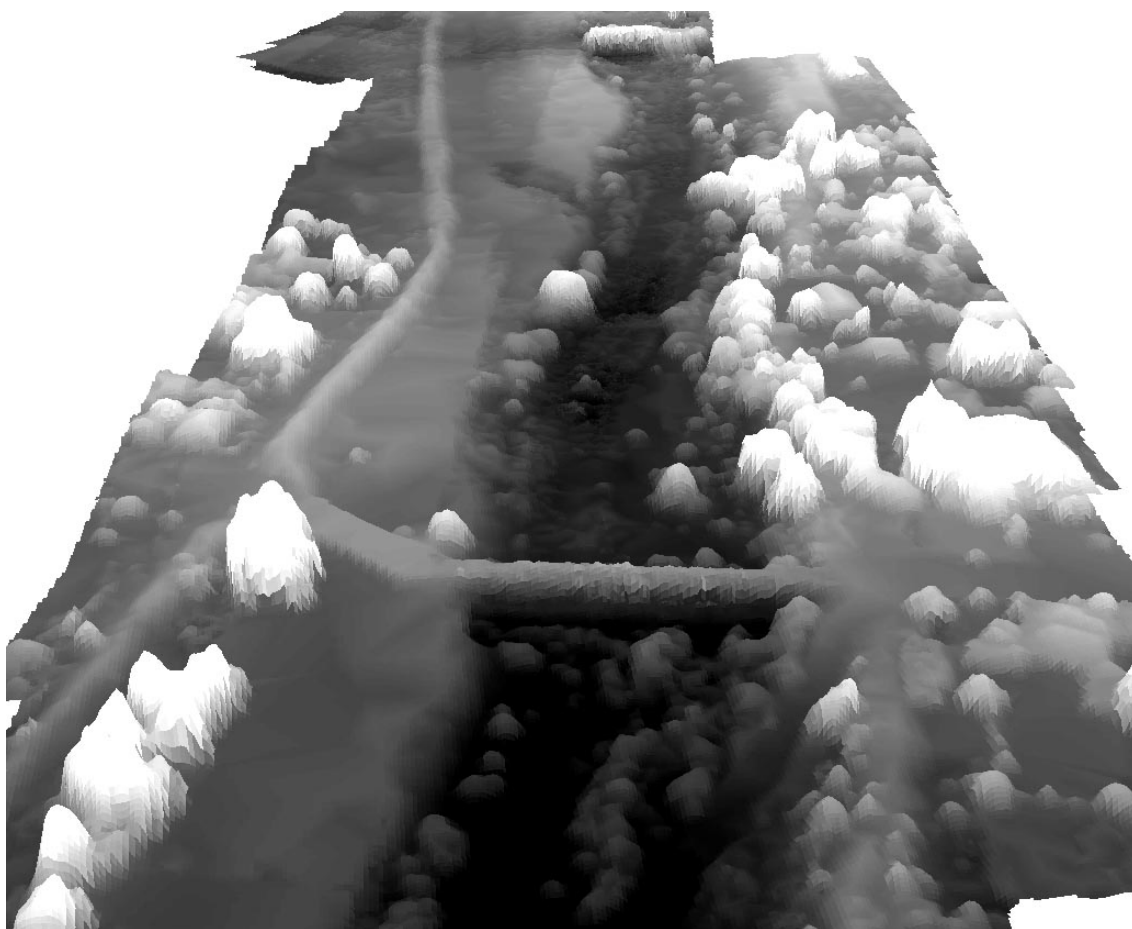


Εικόνα 46 – Εισαγωγή raster αρχείων στο ArcScene (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

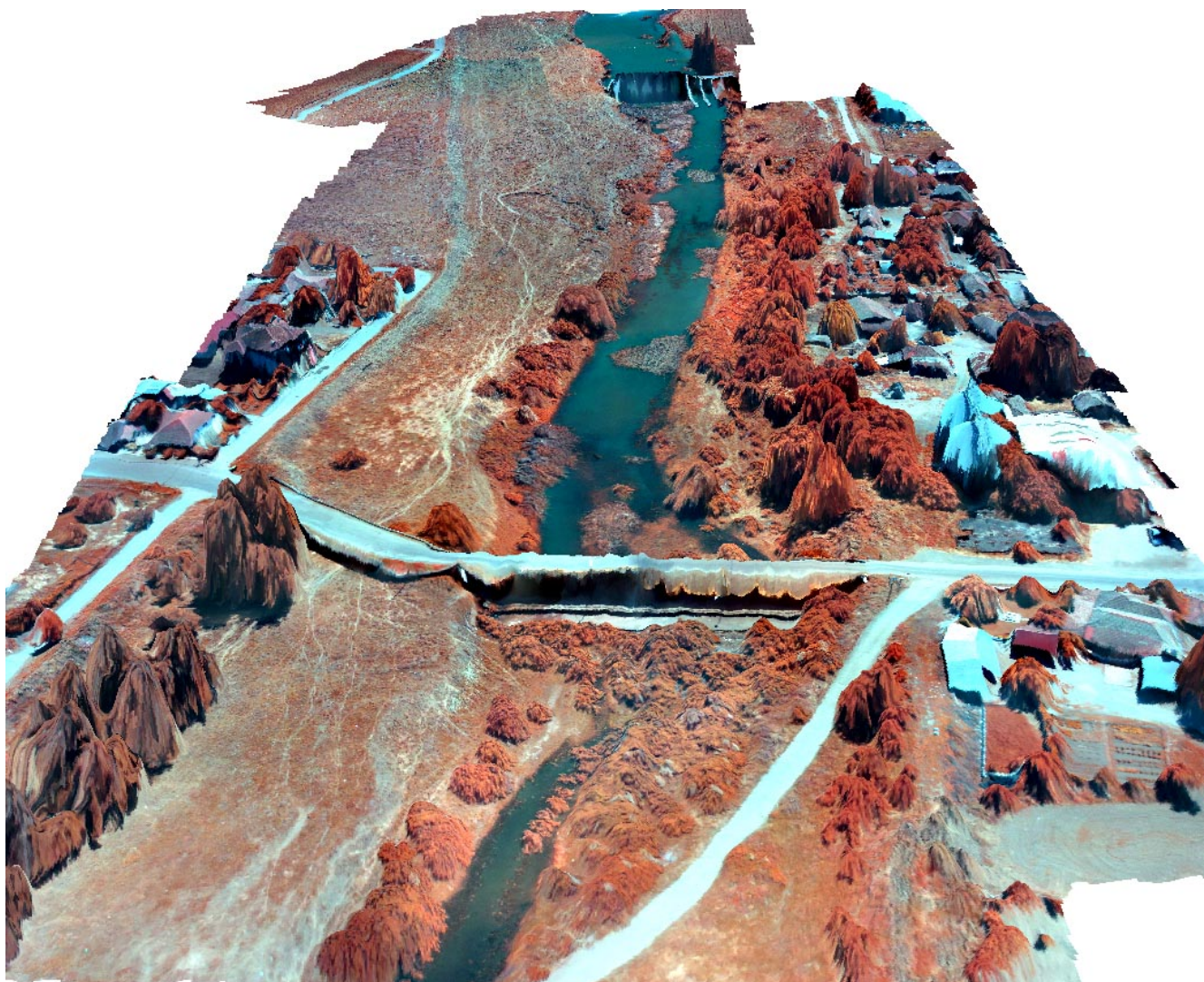
Έπειτα, το DSM της περιοχής επιλέχθηκε ως επίπεδο αναφοράς για τα υψόμετρα και για τα δύο layers. Αυτό έγινε χρησιμοποιώντας την καρτέλα Base Heights στις ιδιότητες του κάθε layer (Εικ.44). Έτσι, αρχικά προέκυψε το DSM σε τρισδιάστατη απεικόνιση και έπειτα ακολούθησε η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου της περιοχής μελέτης.



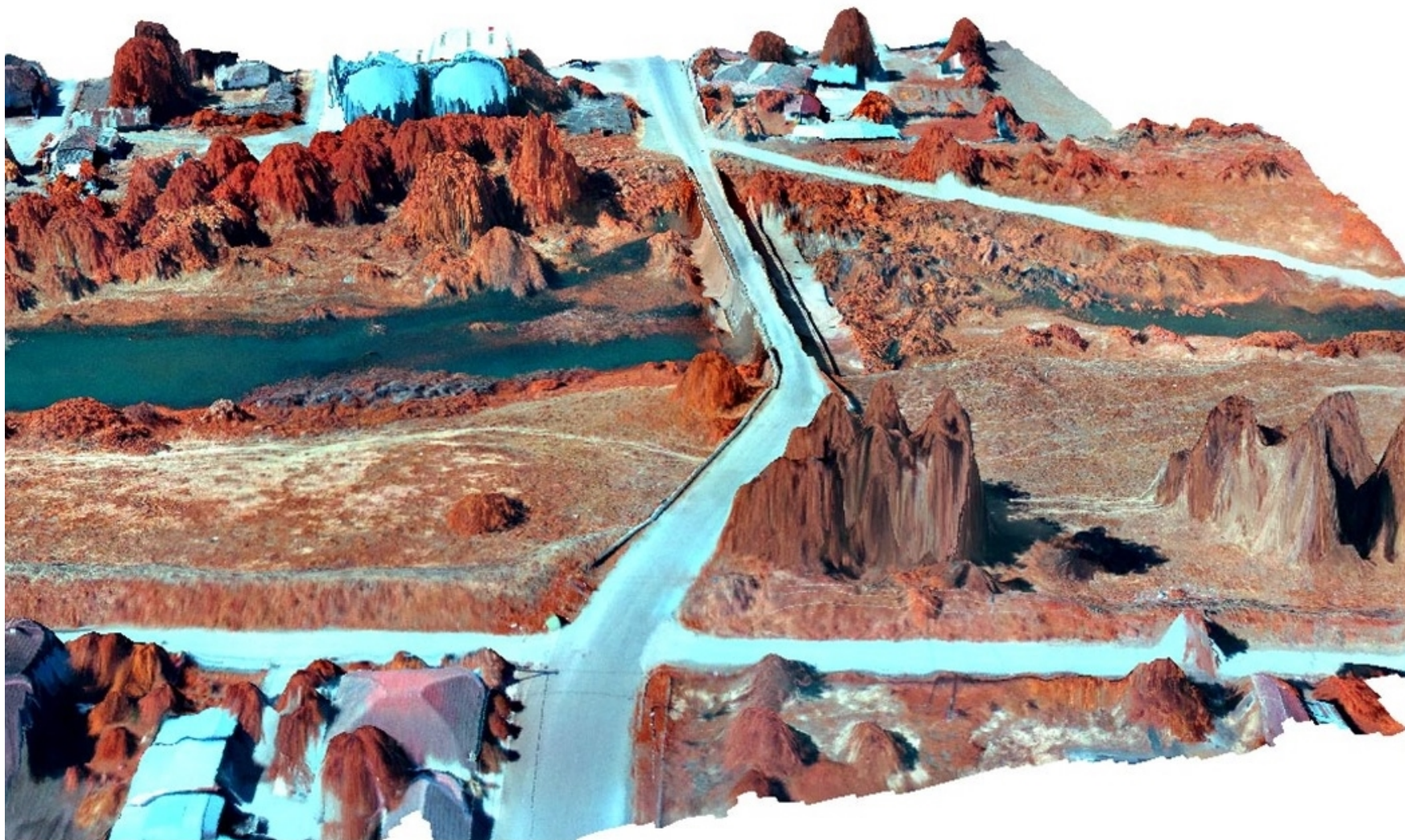
Εικόνα 47 – Επιλογή επιπέδου αναφοράς για τα υψόμετρα (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Εικόνα 48 – 3D DSM για την περιοχή μελέτης (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Εικόνα 49 – 3D Model (1) για την περιοχή μελέτης (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



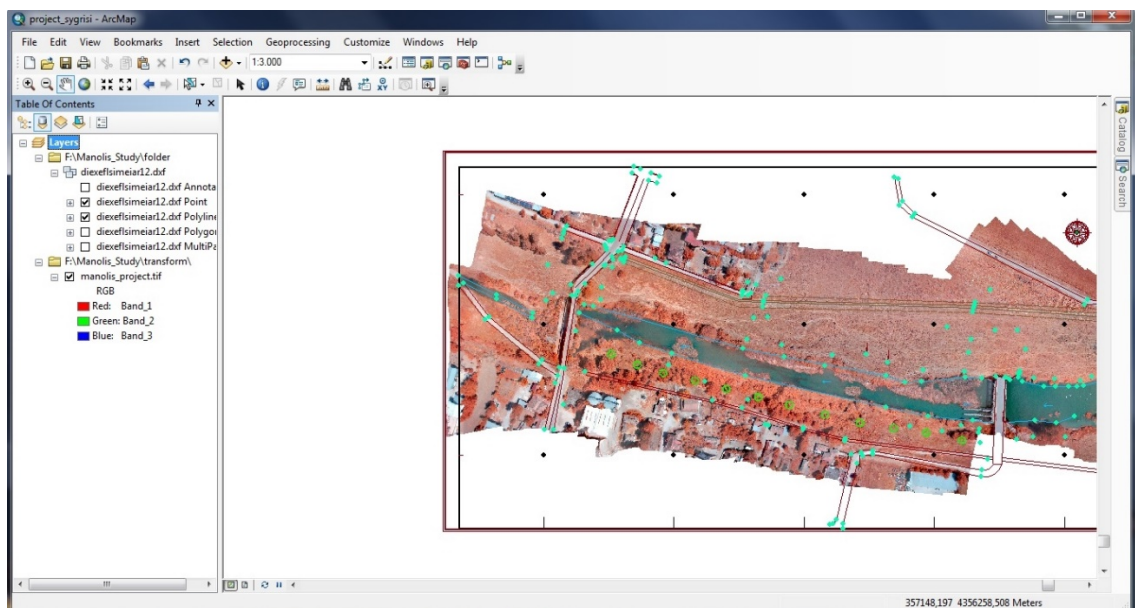
Εικόνα 50 – 3D Model (2) για την περιοχή μελέτης (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΑ

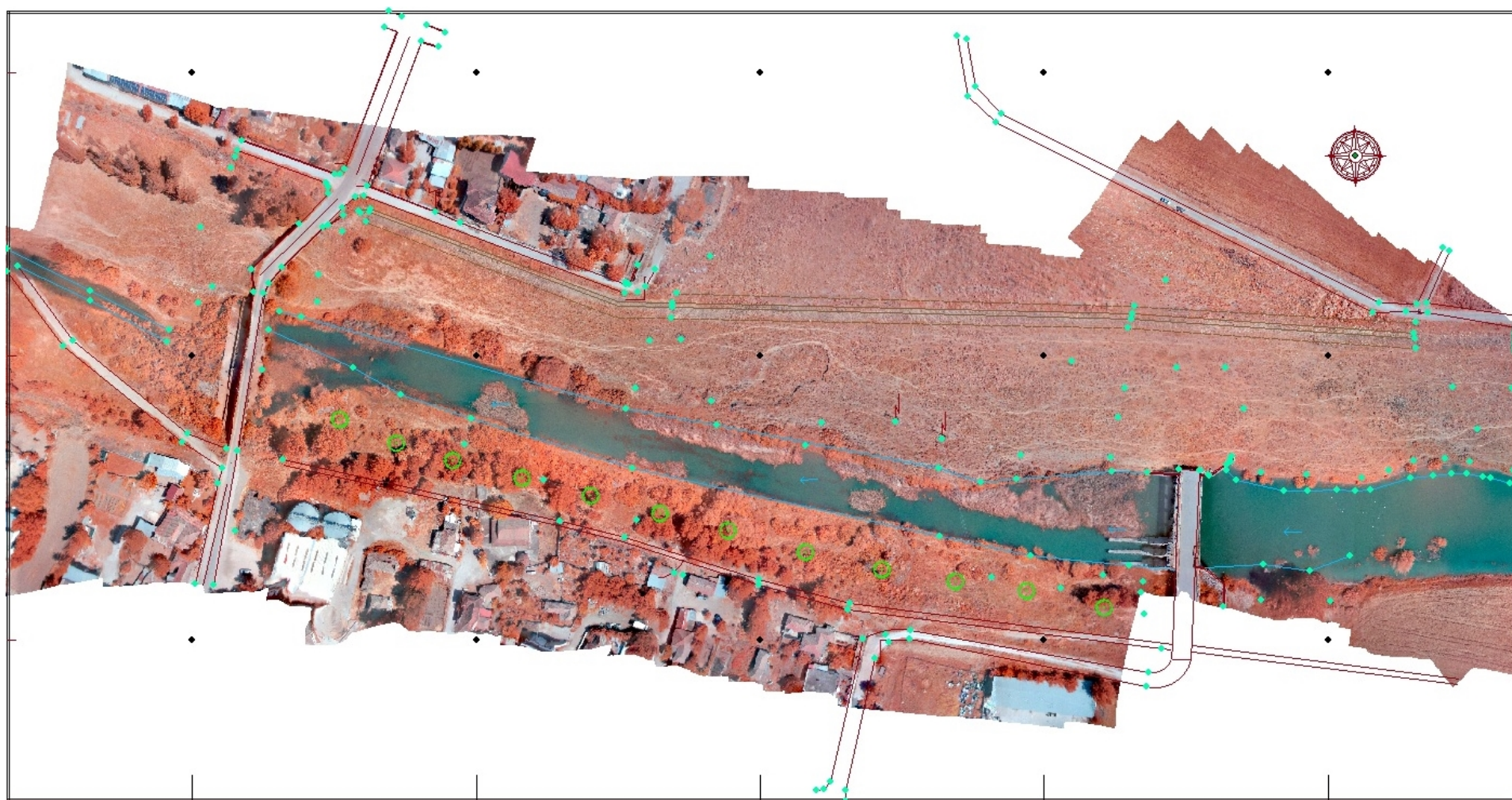
Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις μεθόδους αποτύπωσης με χρήση GPS και UAV. Αρχικά, θα προσδιοριστούν οι διαφορές των δύο μεθόδων ως προς τα αποτελέσματά τους οριζοντιογραφικά (διαστάσεις X και Ψ) και στο επόμενο υποκεφάλαιο υψομετρικά (διάσταση H).

Για να επιτευχθεί η οριζοντιογραφική σύγκριση έγινε χρήση του λογισμικού ArcMap. Η διαδικασία ξεκίνησε εισάγοντας αρχικά στο πρόγραμμα το DXF αρχείο του τοπογραφικού διαγράμματος που κατασκευάστηκε από τις μετρήσεις που έγιναν με GPS, μαζί με το TIF αρχείο του φωτομωσαϊκού που προήλθε από την επεξεργασία των αεροφωτογραφιών.

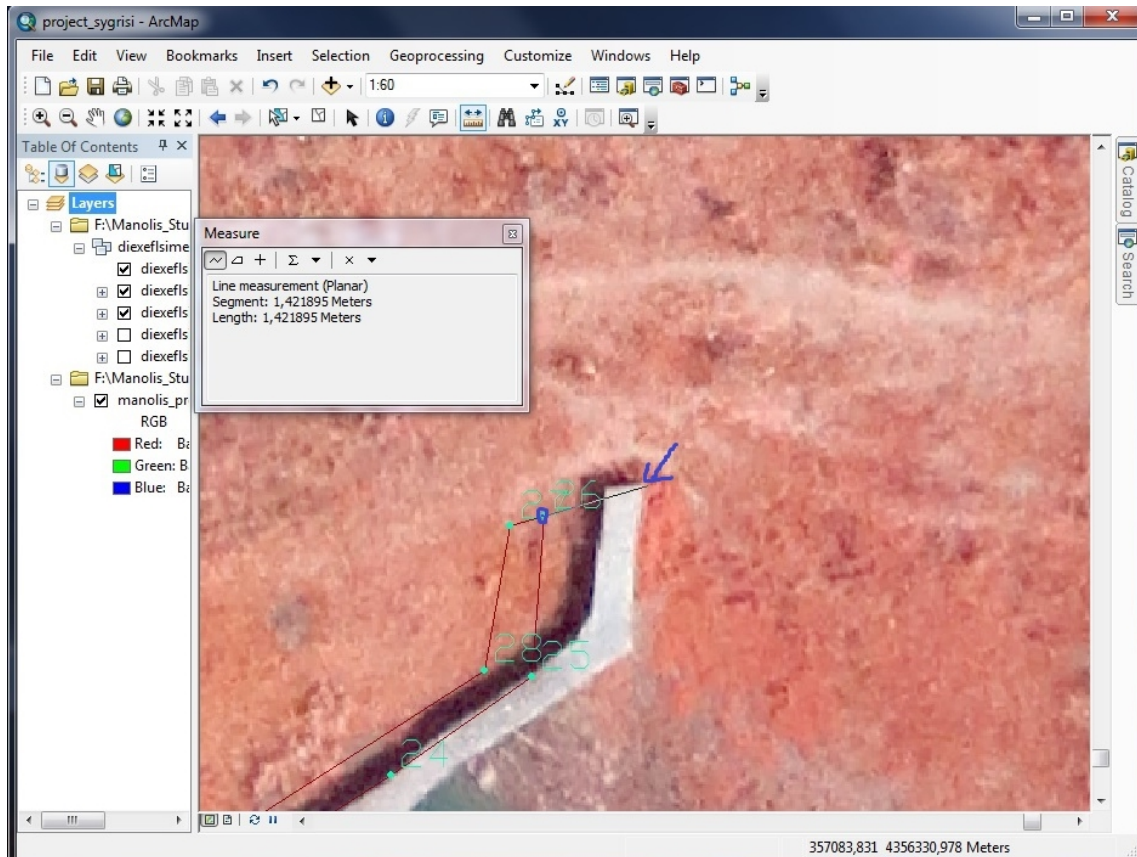


Εικόνα 51 – Εισαγωγή τοπογραφικού και φωτομωσαϊκού στο ArcMap (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Έπειτα, επιλέχθηκαν 10 σημεία λεπτομέρειας, που είχαν μετρηθεί με μεγάλη ακρίβεια με τον τριπλόσυχνο δέκτη GPS, με σκοπό να συγκριθούν ως προς τις διαστάσεις X,Ψ με τα αντίστοιχα σημεία που εντοπίζονται στο φωτομωσαϊκό. Αυτά τα σημεία αποτελούσαν ταυτόχρονα και φωτοσταθερά, διαφορετικά από αυτά που επιλέχθηκαν για την γεωαναφορά των αεροφωτογραφιών.



Εικόνα 52 – Τοπογραφικό διάγραμμα με φωτομωσαϊκό (πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Εικόνα 53 – Σύγκριση φωτοσταθερών στο ArcMap (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Από την παραπάνω εικόνα, φαίνεται χαρακτηριστικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να συγκριθούν αντίστοιχα σημεία που υπολογίστηκαν από τις δύο διαφορετικές μεθόδους. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα της εικόνας, το φωτοσταθερό σημείο είναι η γωνία ενός τοιχείου που βρίσκεται στο φράγμα του ποταμού. Με μπλε κυκλάκι συμβολίζεται το σημείο λεπτομέρειας που προέκυψε από τις μετρήσεις GPS στο πεδίο και με μπλε βελάκι το αντίστοιχο σημείο στο φωτομωσαϊκό που προέκυψε από τη λήψη αεροφωτογραφιών. Έτσι καταγράφονταν οι συντεταγμένες X, Y του σημείου που εντοπίζονταν στο φωτομωσαϊκό και οι αντίστοιχες οριζόντιες αποστάσεις μεταξύ των σημείων. Με τον ίδιο τρόπο έγινε η σύγκριση και για τα υπόλοιπα 9 ζεύγη σημείων. Σημειώνεται πως τα σημεία επιλέχθηκαν με διασπορά στην περιοχή μελέτης, ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη αξιοπιστία στα αποτελέσματα. Ακολουθεί συνολικός πίνακας για τα 10 ζεύγη σημείων που επιλέχθηκαν για σύγκριση.

Πίνακας 9 – Σύγκριση κατά X και Ψ

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ								
A/A	Κωδ. Σημείου	X_{GPS} (m)	X_{UAV} (m)	$ \Delta X_{GPS} $ (m)	Ψ_{GPS} (m)	Ψ_{UAV} (m)	$ \Delta \Psi_{UAV} $ (m)	Απόσταση S (m)
1	24	357080,459	357080,759	0,300	4356327,195	4356326,782	0,413	0,510
2	26	357082,467	357083,748	1,281	4356330,577	4356330,968	0,391	1,339
3	27	357082,026	357083,253	1,227	4356330,447	4356330,958	0,511	1,329
4	87	356817,399	356819,874	2,475	4356406,624	4356407,278	0,654	2,560
5	88	356816,014	356818,240	2,226	4356406,405	4356406,890	0,485	2,278
6	121	356691,736	356691,587	0,149	4356437,199	4356437,446	0,247	0,288
7	179	356644,061	356645,125	1,064	4356298,042	4356298,118	0,076	1,067
8	206	356656,460	356657,083	0,623	4356402,910	4356403,497	0,587	0,856
9	207	356652,052	356653,176	1,124	4356403,312	4356404,098	0,786	1,372
10	208	356651,313	356652,525	1,212	4356413,337	4356414,600	1,263	1,750
Μέσοι Όροι				1,168			0,541	1,335

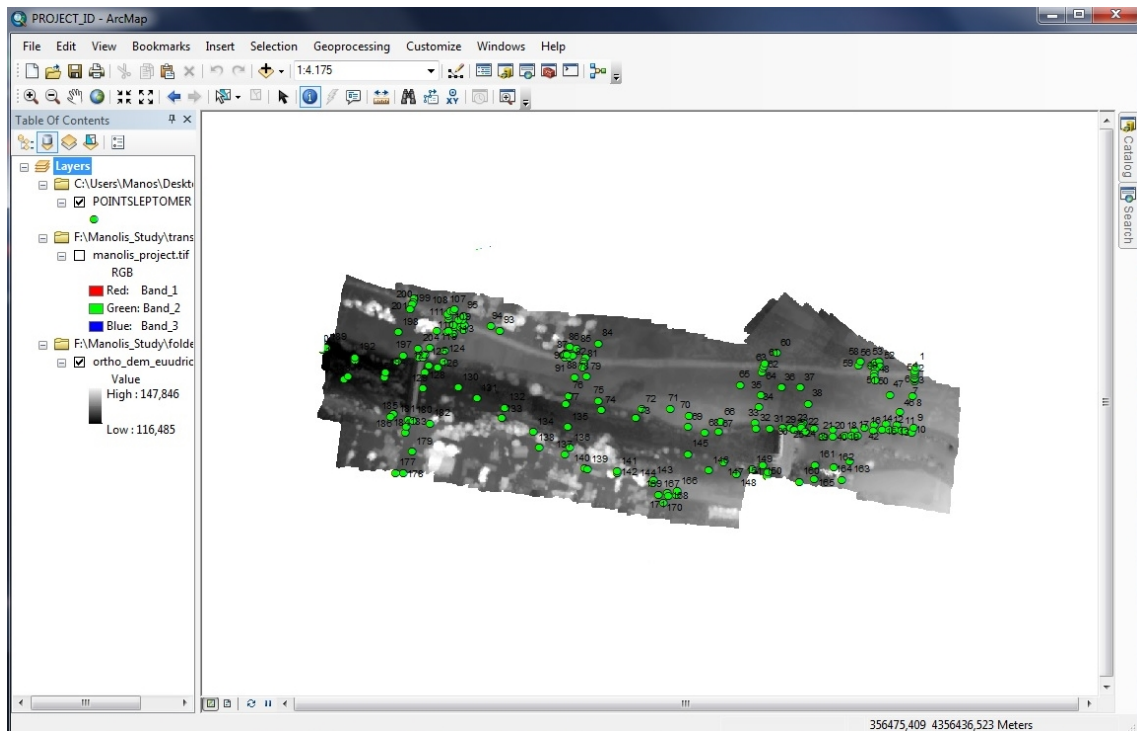
(πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε μία απόκλιση κατά μέσο όρο 1,33 m για τις αποστάσεις που αφορούν τα ζεύγη σημείων. Πιο αναλυτικά, έχουμε κατά μέσο όρο και σε απόλυτη τιμή μία απόκλιση των 1,17 m κατά τον άξονα των X και 0,54 m κατά τον άξονα των Ψ . Αυτές οι διαφορές είναι απολύτως λογικές, διότι τα φωτοσταθερά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για την γεωαναφορά ήταν πολύ χαμηλότερης ακρίβειας από τα αντίστοιχα σημεία που μετρήθηκαν για την κατασκευή του τοπογραφικού διαγράμματος.

5.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΗΜΕΙΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ

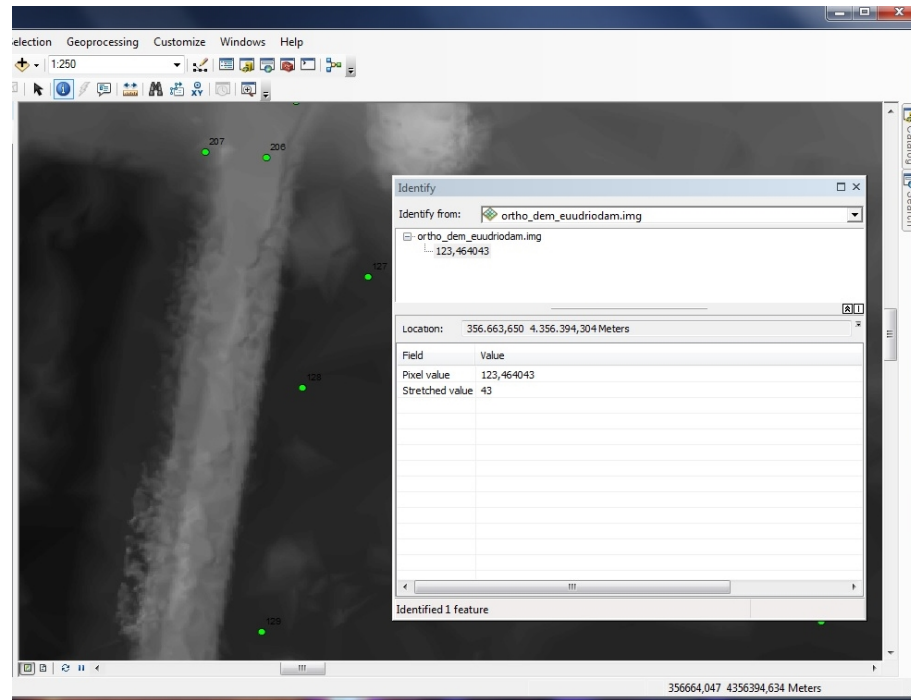
Στόχος μας σε αυτό το υποκεφάλαιο είναι η σύγκριση των απόλυτων υψομέτρων που προέκυψαν από τις μετρήσεις σημείων με GPS με τα αντίστοιχα υψόμετρα που προέκυψαν από τη λήψη αεροφωτογραφιών με UAV στη περιοχή μελέτης. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού ArcMap, όπως και προηγουμένως. Πρώτο βήμα ήταν η εισαγωγή στο πρόγραμμα των σημείων

λεπτομέρειας, του φωτομωσαϊκού και του ψηφιακού μοντέλου επιφανείας (DSM) που προήλθαν από GPS και UAV αντίστοιχα.



Εικόνα 54 – Εισαγωγή σημείων λεπτομέρειας, φωτομωσαϊκού και DSM στο Arcmap
(πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Έπειτα, προκειμένου να επιτευχθεί μία αξιόπιστη υψομετρική σύγκριση, επιλέχθηκαν τα ίδια σημεία λεπτομέρειας (φωτοσταθερά) που χρησιμοποιήθηκαν στην οριζοντιογραφική σύγκριση, τα οποία μετρήθηκαν με μεγάλη ακρίβεια και προσδιορίστηκαν για τα αντίστοιχα σημεία στο φωτομωσαϊκό τα υψόμετρα από το DSM. Αυτό έγινε με τη χρήση της εντολής Identify του ArcMap, στοχεύοντας κάθε επιλεγμένο φωτοσταθερό και καταγράφοντας το αντίστοιχο υψόμετρο από το DSM. Αξίζει να σημειωθεί πως σε σημεία τα οποία βρίσκονταν κοντά σε κτίρια, δέντρα και βλάστηση γενικότερα, οι μετρήσεις υψομέτρων δεν ήταν αξιόπιστες μέσω της λήψης αεροφωτογραφιών, αποτελώντας σημαντικό μειονέκτημα για την συγκεκριμένη μέθοδο. Αυτό έγκειται στο γεγονός ότι από την επεξεργασία των αεροφωτογραφιών παράχθηκε DSM και όχι ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (DEM),



Εικόνα 55 – Προσδιορισμός υψομέτρων μέσω DSM με εντολή Identify (πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Ακολουθεί ο συγκριτικός πίνακας των υψομέτρων για τα 10 ζεύγη σημείων που επιλέχθηκαν. Υπολογίζονται επίσης οι αποκλίσεις των υψομέτρων κατά απόλυτη τιμή που προήλθαν από τις δύο μεθόδους για τα σημεία αυτά, καθώς επίσης και ο μέσος όρος τους.

Πίνακας 10 – Σύγκριση υψομέτρων

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ				
A/A	Κωδ. Σημείου Λεπτομ.	H _{GPS} (m)	H _{UAV} (m)	ΔH (H _{GPS} - H _{UAV})
1	24	125,165	126,178	1,013
2	26	126,131	126,498	0,367
3	27	126,298	126,971	0,673
4	87	126,238	127,366	1,128
5	88	126,234	127,261	1,027
6	121	127,996	128,536	0,540
7	179	127,837	127,143	0,694
8	206	128,244	127,710	0,534
9	207	128,269	128,523	0,254
10	208	128,230	127,124	1,106
Μέσος Όρος ΔH = 0,734 m				

(πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Παρατηρούμε πως η διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν, αν πάρουμε υπόψιν τον μέσο όρο των αποκλίσεων που υπολογίστηκε είναι κάτι παραπάνω από μισό μέτρο (0,73 m). Σαφώς οι μετρήσεις με το δέκτη GPS έχουν την μεγαλύτερη ακρίβεια (μέγιστο σφάλμα 5 cm και στις 3 διαστάσεις). Η ακρίβεια των φωτοσταθερών που μετρήθηκαν με GPS χειρός και εισήχθησαν στο Agisoft Photoscan για γεωαναφορά υπενθυμίζεται πως για τα υψόμετρα ήταν περίπου 1,5 - 2 m. Η διαφορά τώρα των υψομέτρων που προκύπτουν από τις δύο διαφορετικές μεθόδους είναι λογική διότι το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης δεν είχε μεγάλες υψομετρικές διαφορές, επομένως δεν επέτρεπε μεγάλες αποκλίσεις. Σε διαφορετική περίπτωση, δηλαδή σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο, θα περιμέναμε πολύ μεγαλύτερες υψομετρικές διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα προηγούμενα κεφάλαια της εργασίας αντλήθηκαν χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν τις δύο μεθόδους που ακολουθήθηκαν για την αποτύπωση της περιοχής μελέτης. Αρχικά, σε θεωρητικό επίπεδο, οι φωτογραμμετρικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των αεροφωτογραφιών μέσω ειδικού λογισμικού, διαφέρουν σημαντικά σε σχέση με τις επίγειες μεθόδους αποτύπωσης, όπως η μέθοδος RTK που εφαρμόστηκε. Οι φωτογραμμετρικές μέθοδοι γενικότερα, έχουν να κάνουν με έμμεσους τρόπους υπολογισμού της θέσης και του σχήματος των αντικειμένων, εκτελώντας ‘δευτερογενείς’ μετρήσεις πάνω στα ‘πρωτογενή’ δεδομένα που συλλέχθηκαν, που στη περίπτωση μας είναι οι αεροφωτογραφίες. Αντιθέτως, οι επίγειες μέθοδοι έχουν να κάνουν με άμεσες μετρήσεις κατευθείαν στα φυσικά αντικείμενα και όχι μέσω του επιπέδου της εικόνας που τα αναπαριστά, όπως γίνεται στις φωτογραμμετρικές μεθόδους.

Σε πρακτικό επίπεδο τώρα, διαπιστώθηκε πως οι δύο μέθοδοι αποτύπωσης διαφέρουν σημαντικά ως προς αρκετούς παράγοντες. Ένας από αυτούς τους παράγοντες είναι η ταχύτητα στην εκτέλεση των δύο μεθόδων στο πεδίο και στην μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων. Όσον αφορά τις εργασίες πεδίου στο σύνολό τους, η διαδικασία αποτύπωσης χρησιμοποιώντας σύστημα UAV ήταν με διαφορά ταχύτερη από την μέθοδο RTK με χρήση GPS. Είδαμε πως για την απόκτηση πρωτογενών δεδομένων (συντεταγμένες σημείων και αεροφωτογραφίες) με σκοπό την μετέπειτα επεξεργασία τους, ο χρόνος που δαπανήθηκε συνολικά στην επίγεια μέθοδο RTK ήταν σαφώς περισσότερος από την εναέρια μέθοδο με μία εκτίμηση της διαφοράς τους στις 3 ώρες. Η πτήση του UAV διάρκειας 8 μόνο λεπτών, μας έδωσε 160 αεροφωτογραφίες που κάλυψαν 150 στρέμματα, σε σχέση με τις 4 ώρες περίπου που χρειάστηκαν για την μέτρηση 212 σημείων λεπτομέρειας με δέκτη GPS. Επίσης, σε μερικές περιπτώσεις τα σημεία λεπτομέρειας που πρέπει να υπολογιστούν είναι υπερβολικά πολλά σε αριθμό και έτσι η διαδικασία των μετρήσεων γίνεται επίπονη και χρονοβόρα, σε αντίθεση με τις φωτογραφίες, στις οποίες περιέχεται όλη η χαρτογραφική πληροφορία. Σε ότι έχει να κάνει τώρα με την μετέπειτα επεξεργασία μέσω λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν, ο χρόνος που χρειάστηκε για την παραγωγή των χαρτογραφικών προϊόντων που παρουσιάστηκαν, ήταν και πάλι πολύ περισσότερος στην περίπτωση της επίγειας αποτύπωσης. Αυτό έγκειται στο γεγονός ότι για την κατασκευή ενός τοπογραφικού διαγράμματος από μετρήσεις με GPS, απαιτείται προσεκτικό ‘διάβασμα’ του κροκί και

σωστή σχεδίαση, σε σχέση με την δημιουργία ενός φωτομωσαϊκού που γίνεται σχεδόν αυτόματα με την χρήση ενός φωτογραμμετρικού λογισμικού.

Ένας άλλος παράγοντας που διαφέρουν σε σημαντικό βαθμό οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν, είναι το κόστος του εξοπλισμού που απαιτείται για την εκτέλεσή τους. Όσον αφορά την επίγεια αποτύπωση και το GPS που χρησιμοποιήθηκε συμπεριλαμβανομένου τα επιμέρους κομμάτια του, το κόστος του κυμαίνονταν γύρω στα 15.000 ευρώ. Επίσης, πρέπει να συνυπολογιστεί και η συνδρομή για χρησιμοποίηση των υπηρεσιών που προσφέρει το δίκτυο των μόνιμων σταθμών αναφοράς, που στην περίπτωση μας ήταν το MetricaNet. Από την άλλη μεριά, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την εναέρια αποτύπωση με χρήση UAV κόστισε πολύ λιγότερο. Πιο συγκεκριμένα, το UAV με τα επιμέρους κομμάτια του κόστισε περίπου 1.000 ευρώ, ενώ η συγκεκριμένη κάμερα που χρησιμοποιήθηκε περίπου 900 ευρώ. Αναφέρεται πως στη θέση της συγκεκριμένης κάμερας, θα μπορούσε να είχε χρησιμοποιηθεί μία αντίστοιχη με κανάλια μόνο στο ορατό φάσμα, που θα ήταν αρκετά πιο φθηνή (ενδεικτική τιμή 200 ευρώ). Επίσης, το GPS χειρός που επιλέχθηκε για τη μέτρηση φωτοσταθερών κοστίζει περίπου 2.000 ευρώ. Από τα παραπάνω, μπορούμε να συμπεράνουμε εύκολα πως από οικονομικής άποψης η συλλογή των πρωτογενών δεδομένων με χρήση UAV αποτελεί μία πολύ φθηνότερη λύση σε σχέση με την χρησιμοποίηση σύγχρονου δέκτη GPS στο πεδίο.

Επιπλέον, μία ακόμα διαφορά της εναέριας αποτύπωσης και μεγάλο πλεονέκτημά της σε σχέση με την επίγεια αποτύπωση, είναι το γεγονός ότι παρακάμπτονται όλες οι δυσκολίες και τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν από την δύσκολη και επικίνδυνη προσπελασιμότητα του εδάφους. Στην περίπτωση μας, η περιοχή μελέτης δεν είχε κάποια τρομακτική δυσκολία για να αποτυπωθεί με δέκτη GPS. Συγκριτικά με περιοχές απρόσιτες, περιοχές με πυκνή βλάστηση, έντονο ανάγλυφο και άλλες δυσκολίες, το Μ.Ευύδριο αποτέλεσε μία σχετικά απλή περίπτωση για μετρήσεις πεδίου. Παρ'όλα αυτά όμως, τα σημεία λεπτομέρειας που έπρεπε να μετρηθούν κοντά στις όχθες του Ενιπέα για παράδειγμα, λόγω της δύσκολης προσβασιμότητάς τους, καθυστέρησαν σε έναν βαθμό την διαδικασία των μετρήσεων. Με την πτήση του UAV και την λήψη αεροφωτογραφιών από υψόμετρο, δεν υπήρχε κανένα τέτοιου είδους πρόβλημα.

Ένα από τα μειονεκτήματα της αποτύπωσης με συλλογή αεροφωτογραφιών, είναι πως για την μετέπειτα επεξεργασία τους, οι φωτογραμμετρικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται απαιτούν κάποια ήδη υπάρχοντα δεδομένα. Αυτά τα δεδομένα είναι οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών σημείων, που έχουν μετρηθεί με ακρίβεια μέσω

επίγειων μεθόδων αποτύπωσης. Στην συγκεκριμένη εργασία, τα φωτοσταθερά μετρήθηκαν με GPS χειρός μικρής σχετικά ακρίβειας, επηρεάζοντας σαφώς τα αποτελέσματα. Συνεπώς, οι αεροφωτογραφίες που συλλέχθηκαν μπορούν να θεωρηθούν κατά κάποιο τρόπο ως μεταγενέστερο στάδιο απόκτησης δεδομένων.

Όσον αφορά την ακρίβεια τώρα, οι μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο με σύγχρονο δέκτη GPS αγγίζουν ακρίβεια cm. Προφανώς η επίγεια μέθοδος αποτύπωσης υπερτερεί στο θέμα της ακρίβειας σε σχέση με την εναέρια. Τονίζεται πάντως πως το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει από την λήψη αεροφωτογραφιών και την επεξεργασία τους φωτογραμμετρικά, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ακρίβεια των επίγειων μετρήσεων για τον υπολογισμό φωτοσταθερών σημείων.

Τέλος, συμπεραίνουμε πως η κάθε μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποτυπωθεί μία περιοχή ενδιαφέροντος, έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Σε ερωτήσεις όπως ποια τεχνική αποτύπωσης είναι η καλύτερη, ποιος εξοπλισμός πρέπει να χρησιμοποιηθεί ή παρόμοιου περιεχομένου απορίες, δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη απάντηση. Τα πάντα εξαρτώνται από το είδος και τον σκοπό της εφαρμογής που καλούμαστε να φέρουμε εις πέρας σε συνδυασμό με το διαθέσιμο κεφάλαιο και τα χρονικά όρια που τίθενται για την διεκπεραίωσή της.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

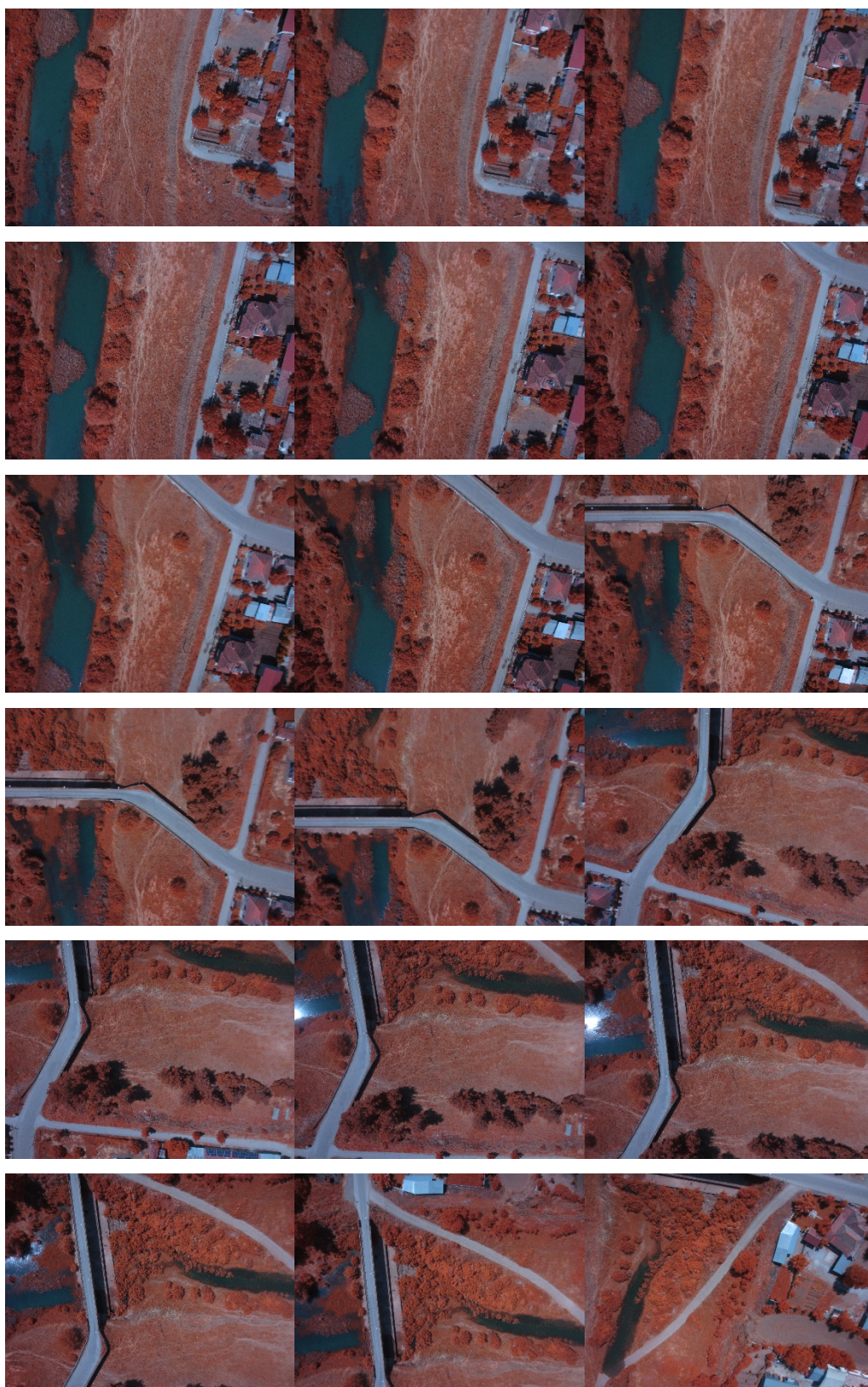
Α. ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΑ ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GPS



Β. ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΑ ΑΠΟ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ UAV



Γ. ΔΕΙΓΜΑ ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΑΝ ΣΕ ΣΜΙΚΡΥΝΣΗ



Δ. ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑΣ ΣΤΟ ΕΓΣΑ87 ΜΕ GPS

ΣΗΜΕΙΑ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑΣ			
Κωδ. Σημείου	X	Ψ	H
1	357208,426	4356392,488	126,367
2	357208,004	4356387,711	126,401
3	357207,533	4356385,170	127,099
4	357207,549	4356383,390	127,792
5	357207,543	4356380,712	127,869
6	357207,369	4356378,954	127,250
7	357207,633	4356376,901	126,589
8	357205,980	4356360,832	126,431
9	357206,446	4356324,842	126,482
10	357204,958	4356319,017	123,652
11	357196,381	4356321,271	123,623
12	357193,179	4356321,930	123,669
13	357186,213	4356323,128	123,761
14	357179,158	4356323,263	123,589
15	357171,214	4356322,308	123,444
16	357161,174	4356321,227	123,421
17	357143,822	4356316,243	123,659
18	357136,958	4356315,790	123,655
19	357128,959	4356315,919	123,561
20	357116,188	4356315,513	123,296
21	357105,333	4356315,368	123,334
22	357084,603	4356320,409	123,222
23	357080,339	4356324,528	124,505
24	357080,459	4356327,195	125,165
25	357082,310	4356328,478	125,779
26	357082,467	4356330,577	126,131
27	357082,026	4356330,447	126,298
28	357081,682	4356328,571	126,193
29	357072,761	4356322,288	126,068
30	357072,363	4356322,602	126,224
31	357045,685	4356323,777	124,470
32	357029,817	4356324,309	124,381
33	357029,333	4356330,296	126,721
34	357032,826	4356347,991	126,975
35	357035,315	4356361,022	126,037
36	357058,141	4356369,822	125,510
37	357079,612	4356369,821	125,583
38	357088,031	4356351,768	126,175

ΣΗΜΕΙΑ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑΣ			
Κωδ. Σημείου	X	Ψ	H
39	357095,456	4356323,844	126,460
40	357115,655	4356322,567	126,477
41	357139,970	4356321,099	126,547
42	357151,517	4356324,806	125,942
43	357162,704	4356328,796	125,883
44	357176,279	4356329,918	126,090
45	357187,556	4356328,327	126,113
46	357190,960	4356342,736	126,674
47	357179,943	4356361,512	126,400
48	357163,406	4356378,514	126,710
49	357163,025	4356382,531	128,067
50	357162,720	4356385,180	128,154
51	357163,594	4356389,962	126,543
52	357168,887	4356393,980	126,375
53	357168,178	4356398,437	126,513
54	357178,516	4356421,286	126,650
55	357175,733	4356422,498	126,626
56	357164,022	4356397,774	126,328
57	357159,403	4356394,861	126,219
58	357147,440	4356398,606	126,173
59	357144,424	4356394,384	126,163
60	357053,383	4356408,614	126,404
61	357039,597	4356396,789	126,281
62	357038,993	4356393,653	127,892
63	357038,187	4356391,250	127,908
64	357037,050	4356387,291	126,402
65	357012,287	4356372,575	125,500
66	356989,687	4356331,397	126,772
67	356987,656	4356320,740	124,045
68	356972,122	4356319,327	124,463
69	356953,594	4356325,755	126,624
70	356955,002	4356338,549	127,001
71	356934,368	4356346,236	127,113
72	356902,123	4356345,482	126,086
73	356894,778	4356335,575	123,345
74	356856,029	4356344,506	122,968
75	356853,710	4356355,332	125,190
76	356820,018	4356360,824	125,349
77	356816,184	4356351,798	123,110
78	356826,548	4356381,824	125,714
79	356840,420	4356382,372	125,918

ΣΗΜΕΙΑ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑΣ			
Κωδ. Σημείου	X	Ψ	H
80	356835,849	4356391,846	125,934
81	356836,549	4356396,558	128,045
82	356836,622	4356398,480	128,070
83	356838,345	4356402,836	126,016
84	356853,075	4356418,987	125,844
85	356828,783	4356413,109	126,144
86	356820,960	4356415,342	126,178
87	356817,399	4356406,624	126,238
88	356816,014	4356406,405	126,234
89	356824,415	4356405,681	126,292
90	356821,330	4356403,361	126,214
91	356815,573	4356402,842	126,394
92	356815,999	4356407,272	126,370
93	356742,961	4356433,702	126,674
94	356732,337	4356438,364	126,538
95	356702,048	4356450,097	126,486
96	356725,844	4356513,617	125,837
97	356733,655	4356511,224	125,964
98	356736,455	4356517,623	125,737
99	356728,541	4356520,743	125,790
100	356717,598	4356524,781	125,696
101	356711,478	4356526,996	125,636
102	356711,504	4356526,894	125,484
103	356709,692	4356520,090	125,645
107	356692,065	4356457,279	126,305
108	356690,368	4356455,329	126,394
109	356688,013	4356455,299	126,352
110	356683,999	4356451,482	126,525
111	356685,218	4356449,349	126,533
112	356685,130	4356446,470	126,737
113	356691,253	4356440,351	127,010
114	356696,832	4356445,317	126,756
115	356700,632	4356445,442	126,664
116	356703,364	4356440,091	128,547
117	356702,842	4356438,280	128,568
118	356701,781	4356434,331	126,766
119	356699,063	4356437,822	128,481
120	356698,542	4356438,904	128,580
121	356691,736	4356437,199	127,996
122	356684,868	4356432,684	126,889
123	356691,205	4356429,936	125,954

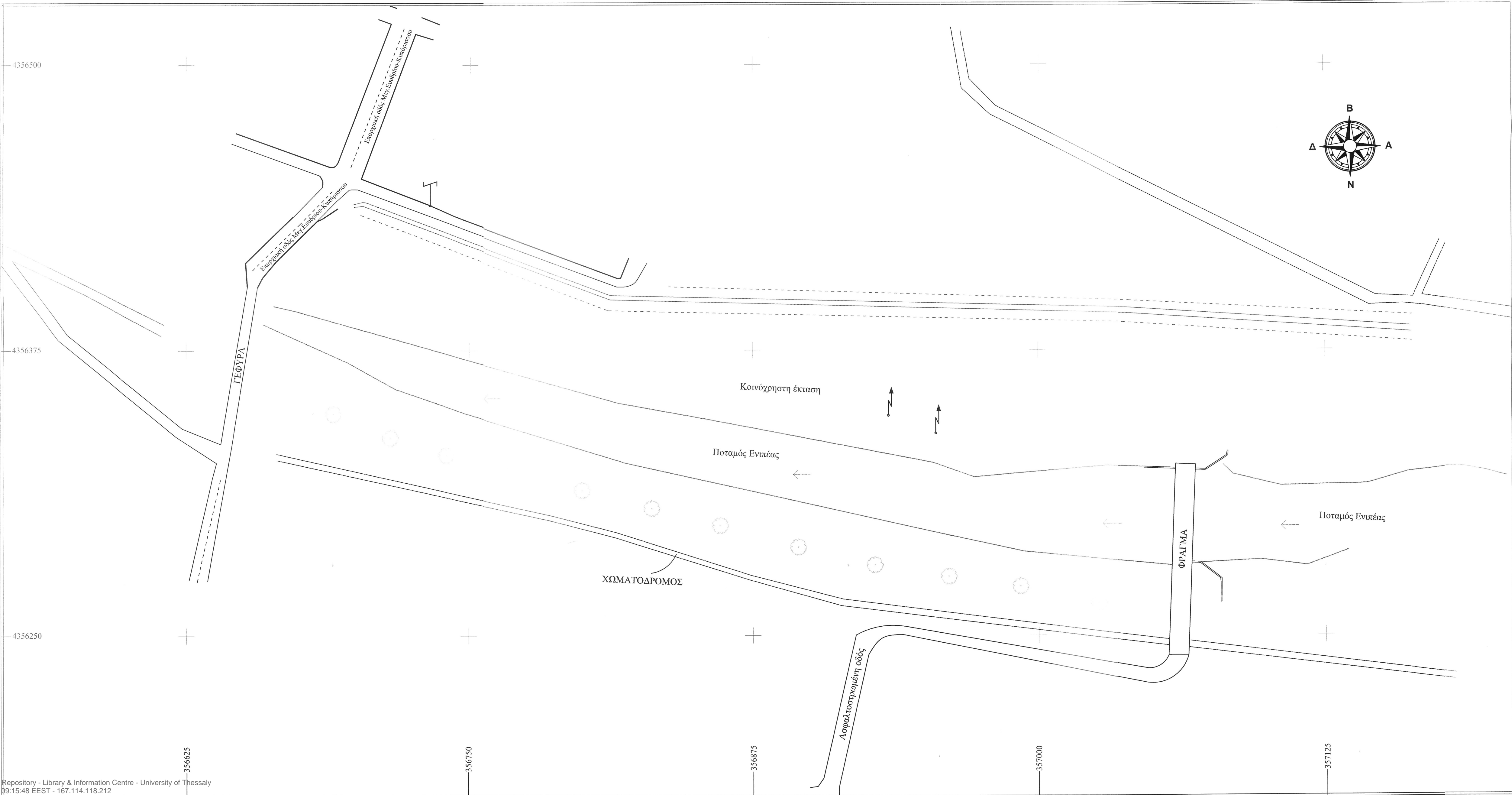
ΣΗΜΕΙΑ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑΣ			
Κωδ. Σημείου	X	Ψ	H
124	356680,555	4356410,871	125,585
125	356680,259	4356398,775	125,863
126	356673,007	4356392,340	123,095
127	356663,707	4356394,395	123,104
128	356659,006	4356386,435	122,397
129	356656,106	4356369,001	122,602
130	356696,107	4356369,705	122,321
131	356716,973	4356358,045	122,528
132	356747,970	4356347,396	122,777
133	356744,764	4356336,031	123,340
134	356779,869	4356320,417	124,687
135	356818,855	4356325,677	122,693
136	356820,865	4356302,759	125,812
137	356815,309	4356295,103	128,741
138	356786,823	4356302,466	128,581
139	356841,323	4356278,536	127,010
140	356837,480	4356279,492	127,084
141	356874,380	4356276,303	129,013
142	356874,385	4356274,110	129,115
143	356914,522	4356265,966	128,877
144	356913,807	4356263,083	128,950
145	356953,842	4356295,455	122,679
146	356977,051	4356277,288	124,400
147	356993,846	4356286,800	122,869
148	357007,429	4356272,639	124,805
149	357025,948	4356278,279	123,435
150	357037,175	4356282,759	123,009
151	357043,538	4356275,470	123,150
152	357042,469	4356270,920	124,938
153	357044,230	4356261,420	126,920
154	357051,666	4356246,050	126,614
155	357045,907	4356235,647	130,177
156	357045,030	4356229,502	130,194
157	357068,158	4356324,528	130,481
158	357068,775	4356324,720	130,770
159	357059,485	4356324,973	130,752
160	357078,914	4356264,469	125,965
161	357096,484	4356283,025	123,471
162	357116,892	4356280,435	124,319
163	357134,775	4356286,955	123,468
164	357125,756	4356266,920	126,849

ΣΗΜΕΙΑ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑΣ			
Κωδ. Σημείου	X	Ψ	H
165	357095,402	4356267,514	126,541
166	356941,332	4356254,036	128,513
167	356940,709	4356250,340	128,419
168	356931,592	4356248,837	127,241
169	356930,072	4356252,464	127,245
170	356925,575	4356241,546	126,212
171	356920,143	4356250,197	126,167
172	356905,796	4356187,564	126,834
173	356903,246	4356183,922	126,842
174	356899,885	4356183,414	126,925
175	356912,526	4356183,589	126,746
176	356912,596	4356178,948	126,839
177	356626,176	4356274,459	126,414
178	356634,329	4356274,017	126,445
179	356644,061	4356298,042	127,837
180	356645,041	4356333,164	127,937
181	356640,172	4356333,934	128,052
182	356664,846	4356329,602	128,508
183	356638,291	4356325,655	127,700
184	356636,496	4356319,126	127,491
185	356620,494	4356337,110	126,260
186	356623,195	4356340,783	126,282
187	356572,389	4356381,964	122,205
188	356568,450	4356379,588	122,161
189	356548,284	4356414,646	120,829
190	356543,671	4356412,365	120,972
191	356543,313	4356422,077	121,101
192	356580,237	4356403,759	120,524
193	356580,074	4356399,536	120,503
194	356615,052	4356386,444	121,070
195	356613,910	4356381,504	121,216
196	356627,602	4356398,516	122,114
197	356634,020	4356405,731	125,989
198	356628,888	4356432,000	125,398
199	356642,321	4356457,915	125,998
200	356644,164	4356462,509	128,198
201	356645,109	4356465,444	126,643
202	356646,985	4356469,935	126,430
203	356682,793	4356431,812	127,862
204	356664,726	4356414,166	128,243
205	356658,580	4356406,942	128,196

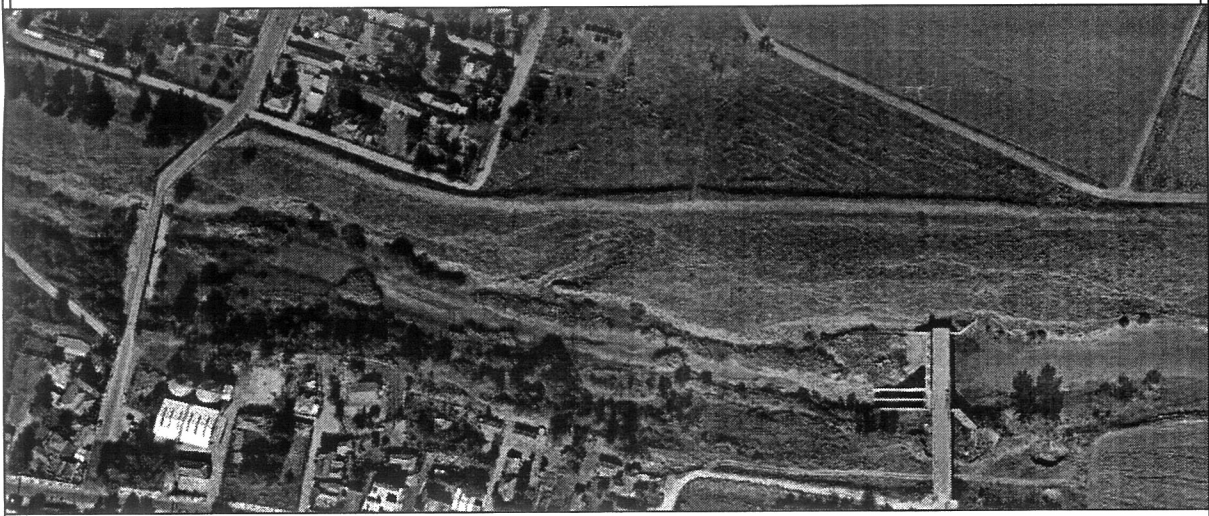
ΣΗΜΕΙΑ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑΣ			
Κωδ. Σημείου	X	Ψ	H
206	356656,460	4356402,910	128,244
207	356652,052	4356403,312	128,269
208	356651,313	4356413,337	128,230
209	356672,059	4356433,263	128,031
210	356961,744	4356516,133	126,756
211	356965,901	4356514,583	126,626
212	356969,787	4356493,652	126,416
213	356966,443	4356489,543	126,661
214	356978,823	4356478,166	126,675
215	356981,303	4356481,907	126,554

Ε. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΛΙΜΑΚΑΣ 1:1000 ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΜΕΛΕΤΗΣ

ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ



ΕΙΚΟΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΩΝ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΙ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

- Αξονας δρόμου
- Στύλος ΟΤΕ
- Κολώνα ΔΕΗ
- Χωματοδρόμος
- Τοιχείο
- Κοίτη ποταμού
- Πόδι πρानούς
- Φρύδι πρानούς
- Δέντρα

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ, ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Έργο : ΣΥΝΤΑΞΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
ΓΙΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Θέση : ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΑΡΙΣΑΣ
ΔΗΜΟΣ ΦΑΡΣΑΛΩΝ ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΕΝΙΠΕΑ
ΤΟΠΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΜΕΓΑΛΟΥ ΕΥΥΔΡΙΟΥ

Αντικείμενο
Σχεδίου : ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

Μελετητής :
ΓΕΩΡΓΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ ΧΑΔΠ

ΑΡΙΘΜΟΣ
ΣΧΕΔΙΟΥ

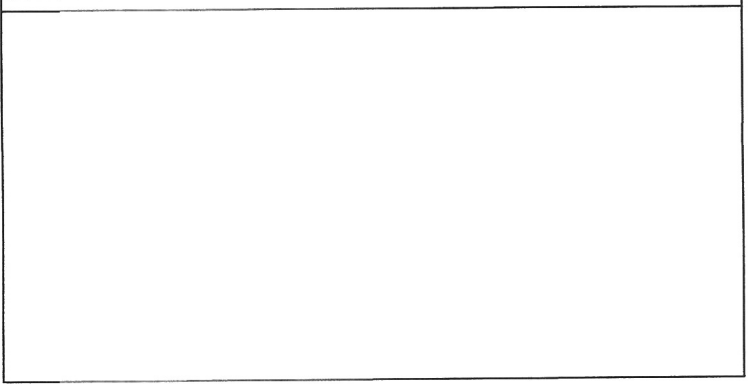
1

ΚΛΙΜΑΚΑ

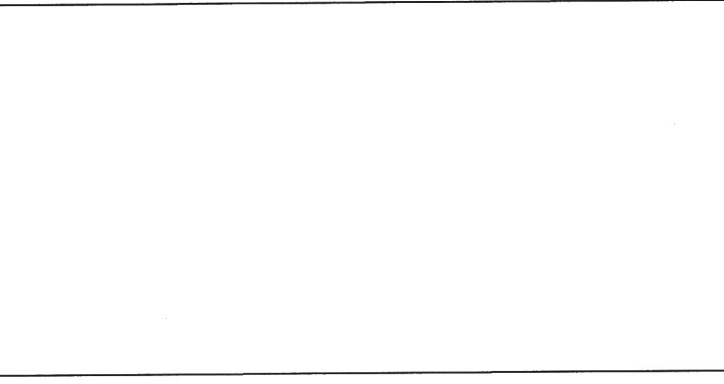
1:1000

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2015

Ο συντάξας



Θεώρηση Υπηρεσίας



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βλάχος, Δ. (1997), *Τοπογραφία: Τοπογραφικές χαρτογραφήσεις*, Τόμος Β', Θεσσαλονίκη.
- Βλάχος, Δ. (2005), *Τοπογραφία: Όργανα και μέθοδοι μετρήσεων*, Τόμος Α', Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Αϊβάζη.
- Γιαννίρης, Γ. (2014), 'UAV και οι ακρίβειες των ψηφιακών μηχανών', 4^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.
- Δερμάνης, Α., Ρωσσικόπουλος, Δ. και Φωτίου, Α. (1995), *Τοπογραφικοί Υπολογισμοί και Συνορθώσεις Δικτύων – Ανάλυση προγραμμάτων και παραδείγματα*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Δερμάνης, Α. (1999), *Αναλυτική Φωτογραμμετρία*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Δερμάνης, Α. (2005), *Συντεταγμένες και Συστήματα Αναφοράς*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Κατσάμπαλος, Κ.Ε. και Τζιαβός, Η.Ν. (1996), *Φυσική Γεωδαισία*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Λιβιεράτος, Ε. (1988), *Γενική Χαρτογραφία*, Β' έκδοση, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Λιβιεράτος, Ε. (2002), *Χαρτογραφίας και Χαρτών Περιήγησις*, Θεσσαλονίκη: Εθνική Χαρτοθήκη.
- Λιβιεράτος, Ε. (2006-2007), *Θεματική Χαρτογραφία*, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, ΤΑΤΜ, Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Α.Π.Θ.
- Μπιλλήρης, Χ., Μητσακάκη, Χ., Αγατζά-Μπαλοδήμου, Μ.Α., Τσακίρη, Μ. και Σταθάς, Δ. (2007), *Εισαγωγή στη γεωδαισία*, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ΤΑΤΜ, Αθήνα.
- Παπαδοπούλου, Μ. (2006-2007), *Εισαγωγή στη χαρτογραφία*, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, ΤΑΤΜ, Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Α.Π.Θ.
- Πατιάς, Π. (1991), *Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Σαββαΐδης, Π., Υφαντής, Ι. και Λακάκης, Κ. (2008), *Τοπογραφία και Θεματική Χαρτογραφία*, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Θεσσαλονίκη.
- Τσακίρη-Στρατή, Μ. (2004), *Τηλεπισκόπηση*, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, ΤΑΤΜ, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Α.Π.Θ.
- Τσούλης, Δ. (2005), *Εισαγωγή στη τοπογραφία*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- Φωτίου, Α. και Πικριδάς, Χ. (2006), *GPS και γεωδαιτικές εφαρμογές*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

Φωτίου, Α. (2007), *Γεωμετρική Γεωδαισία - Θεωρία και Πράξη*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

Austin, R. (2010), *Unmanned aircraft systems: UAVs design, development and deployment*, UK: John Wiley & Sons.

Colomina, I. and Molina, P. (2014), 'Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. **92**, 79-97.

Eisenbeiss, H. (2009), 'UAV photogrammetry', Diss. ETH No. 18515, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich.

Eisenbeiss, H. (2004), 'A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition', International workshop on «Processing and visualization using high resolution imagery», Pitsanulok, Thailand, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI-5/W1.

Everaerts, J. (2008) 'The Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVS) for Remote Sensing and Mapping', *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ISPRS Congress, Beijing, Vol. XXXVII. Part B1, 1187-1192.

Harwin, S. and Lucieer, A. (2012) 'Assessing the Accuracy of Georeferenced Point Clouds Produced via Multi-View Stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery', *Remote Sensing*, **4**(6), 1573-1599.

Jin, S., Van Dam, T. and Wdowinski, S. (2013), 'Observing and understanding the Earth system variations from space geodesy', *Journal of Geodynamics*, Vol. **72**, 1-10.

Kaplan, E. and Hegarty, C. (2005), *Understanding GPS: principles and application*, 2nd Edition, Boston: Artech House.

Lambin, E.F. (2001), 'Remote Sensing and Geographic Information Systems Analysis', In Smelser, N.J. and Baltes, P.B (επ.) *International Encyclopedia of Social & Behavioral Sciences*, UK: Elsevier Science Ltd, 13150–13155.

Lee, IS. and Ge, L. (2006), 'The performance of RTK-GPS for surveying under challenging environmental conditions', *Earth, Planets and Space*, **58**(5), 515-522.

Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D. and Rhind, D. (2005), *Geographic Information Systems and Science*, 2nd Edition, England: John Wiley & Sons Ltd.

- Noll, C. (2010), 'The crustal dynamics data information system: A resource to support scientific analysis using space geodesy', *Advances in Space Research*, **45**(12), 1421-1440.
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. and Sarazzi, D. (2011), 'UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling – current status and future perspectives', *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII-1/C22, 25-31.
- Smith, M., Chandler, J., and Rose, J. (2009), 'High spatial resolution data acquisition for the geosciences: kite aerial photography', *Earth Surface Processes and Landforms*, **34**(1), 155-161.
- Takasu, T. and Yasuda, A. (2009), 'Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB', International Symposium on GPS/GNSS, International Convention Center, Korea, 1-6.
- Xiang, X. and Tian, L. (2011), 'Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV)', *Biosystems Engineering*, **108**(2), 174-190.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

<https://www.google.gr>
<http://en.wikipedia.org>
<http://landsat.gsfc.nasa.gov>
<http://landsat.usgs.gov>
<http://www.geosolution.gr>
<http://www.leica-geosystems.com>
<http://activetectonics.asu.edu>
<http://www.goengineeringasia.com>
<https://www.smartnetna.com>
<http://uvs-international.org>
<http://www.arducopter.co.uk>
<http://www.lumenera.com>
<http://thefutureofthings.com>
<http://www.buk.gr>
<http://www.farsala.gr>

<http://www.eleftheria.gr>

<http://gis.ktimanet.gr>

<http://www.usa.canon.com>

<http://www.bandung-aeromodeling.com>

<https://www.maxmax.com>

<http://www.epinions.com>

