



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Εκπόνηση: Σπηλιοπούλου Δάφνη 4924

Επίβλεψη : Χατζηπέτρος Αλέξανδρος

Θεσσαλονίκη 2019



Περιεχόμενα

1. Τι είναι η φωτογραμμετρία	3
2. Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα και χαρακτηριστικά φωτογραμμετρίας	5
3. Στάδια εξέλιξης φωτογραμμετρίας (αναλογική, αναλυτική, ψηφιακή)	6
4. Είδη φωτογραμμετρίας	6
4.1. Μονοσκοπική, στερεοσκοπική φωτογραμμετρία	6
4.2. Αέρια-Επίγεια φωτογραμμετρία	7
5. Λογισμικό συγκλίνουσας φωτογραμμετρίας ή πολυεικονική μη στερεοσκοπική φωτογραμμετρία ..	7
6. Εφαρμογές στην Γεωλογία	7
6.1 Εφαρμογές στην Γεωλογική Χαρτογράφηση	8
6.2. Εφαρμογές στην Τεκτονική Γεωλογία	8
6.3 Εφαρμογές στην Νεοτεκτονική	10
6.4 Εφαρμογές στην Υδρογεωλογία	10
6.5 Εφαρμογές στην Τεχνική Γεωλογία	12
6.6 Εφαρμογές στην κοιτασματολογία	14
6.7. Εφαρμογές στην Περιβαλλοντική Γεωγραφία	17
6.8 Εφαρμογές στην Ηφαιστειολογία	18
6.9 Εφαρμογές στην Διδακτική της Γεωλογίας.	20
7. Εφαρμογές σε άλλους Επιστημονικούς Κλάδους.	21
8. Παράδειγμα γεωλογικής χαρτογράφησης μικρής κλίμακας και τρισδιάστατη απεικόνιση	22
8.1 Γεωλογική τοποθέτηση	22
8.2 Μοντέλα	26
8.3 Σημεία μετρήσεων	29
8.4 Διαγράμματα	29
9.5 Άλλες προσπάθειες δημιουργίας μοντέλων	31
9. Συμπεράσματα	32
10. Βιβλιογραφία	35
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	43

1. Τι είναι η φωτογραμμετρία

Φωτογραμμετρία είναι η τέχνη, η επιστήμη και η τεχνολογία για την απόκτηση αξιόπιστων πληροφοριών σχετικά με φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον, μέσα από διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων. (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing - ISPRS)

Φωτοερμηνεία ονομάζεται η συλλογή στοιχείων αναγλύφου από τις αεροφωτογραφίες και η διαδικασία προσδιορισμού της ταυτότητας και περιγραφής των διαφόρων φυσικών και ανθρωπογενών φαινομένων. Βάση για την φωτοερμηνεία αποτελεί η φωτογραμμετρία.

Η εφεύρεση της μεθόδου της φωτογραμμετρίας, έγινε από τον ερευνητή Αιμέ Λω-σεντά (Aimé Laussedat) το 1851 και βασιζόταν στην κάθετη και την πλάγια φωτογράφιση αντικειμένων. Παρόλα αυτά η μέθοδος αξιοποιήθηκε τουλάχιστον μισό αιώνα μετά, όταν έγινε αντιληπτή η χρησιμότητά της, κυρίως στην χαρτογράφηση περιοχών, γεγονός στο οποίο συνέβαλε η εξέλιξη του αεροπλάνου.

Με την έναρξη του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου για στρατιωτικές ανάγκες αναπτύχθηκε η αεροφωτογραφία και η μέθοδος εξελίχθηκε λαμβάνοντας νέες διαστάσεις, αυτές της αεροφωτογραμμετρίας. Η ευρεία χρήση της φωτογραμμετρίας ξεκίνησε μετά το πέρας του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, όταν σταμάτησε πλέον να θεωρείται στρατιωτική μέθοδος.

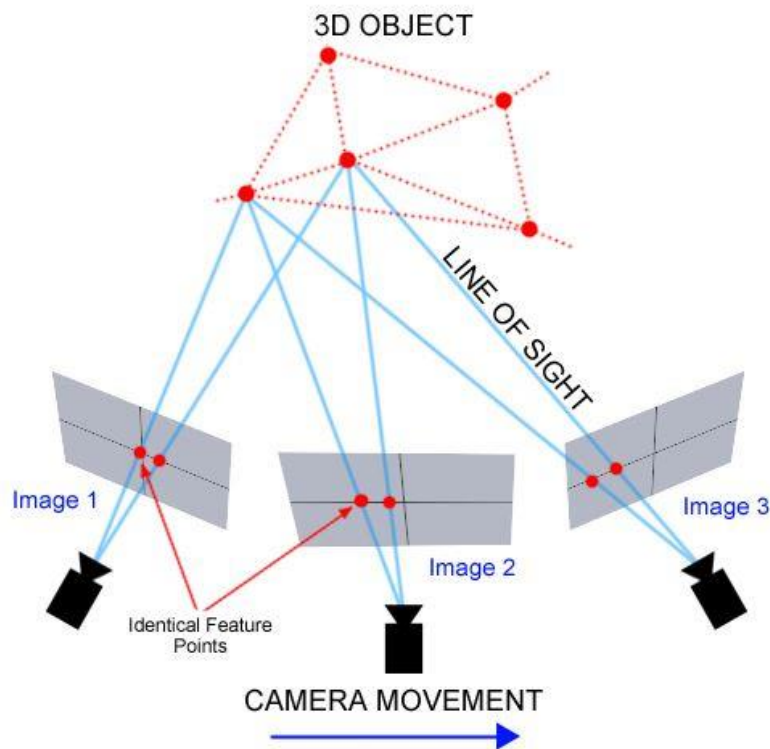
Η φωτογραμμετρία, αρχικά χρησιμοποιήθηκε για την χαρτογράφηση μεγάλων περιοχών, με την χρήση αεροφωτογραφιών, και στην συνέχεια για την ακριβή μέτρηση αντικειμένων απευθείας από φωτογραφίες ή ψηφιακές εικόνες που έχουν τραβηχτεί με φωτογραφική μηχανή από μικρή απόσταση. Πολλαπλές επικαλυπτόμενες εικόνες που έχουν ληφθεί από διαφορετικές προοπτικές, μας δίνουν την δυνατότητα να παράγουμε μετρήσεις, που με την χρήση τους μπορεί να κατασκευαστεί ένα ακριβές τρισδιάστατο μοντέλο αποτύπωσης του αντικειμένου ή της περιοχής που μελετάται (Tüdeş 1996). Η γνώση της ακριβούς θέσης λήψης των φωτογραφιών δεν είναι απαραίτητη, καθώς η γεωμετρία του αντικειμένου μπορεί να δημιουργηθεί απευθείας από τις εικόνες.

Η τεχνική της φωτογραμμετρίας βασίζεται, προφανώς, στην χρήση εικόνων. Εφόσον χρησιμοποιηθεί φωτογραφική μηχανή με γνωστά χαρακτηριστικά (εστιακή απόσταση φακού, μέγεθος απεικόνισης και αριθμό pixels), απαιτούνται τουλάχιστον 2 επικαλυπτόμενες εικόνες του αντικειμένου για την δημιουργία μιας τρισδιάστατης προβολής. Στην περίπτωση που είναι δυνατό να υποδειχθούν τρία ίδια σημεία στις δυο εικόνες και να υποδειχθεί και μια γνωστή απόσταση, τότε είναι δυνατό να προσδιοριστούν και άλλες τρισδιάστατες περιοχές των εικόνων (Atkinson 1996; Cooper & Robson 1996; Lawson 1977).

Ο προσδιορισμός των φωτογραμμετρικών 3Δ συντεταγμένων βασίζεται στην εξίσωση της γραμμικότητας (Slama 1980), η οποία δηλώνει ότι το σημείο του αντικειμένου, το προβολικό κέντρο της κάμερας και το σημείο εικόνας βρίσκονται στην ίδια ευθεία. Ο προσδιορισμός των 3Δ συντεταγμένων από το ορισμένο σημείο επιτυγχάνεται μέσω της τομής δύο ή τριών ευθέων γραμμών. Ως εκ τούτου, κάθε σημείο ενδιαφέροντος πρέπει να εμφανίζεται σε τουλάχιστον δύο φωτογραφίες (Aguilar et al., 2005).

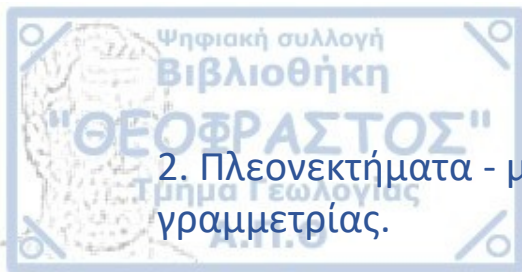
Θεσσαλονίκη 2019

Αργότερα, οι συντεταγμένες υπολογίζονται από το φωτογραμμετρικό λογισμικό που χρησιμοποιείται.



Εικόνα 1.. Σχηματική αναπαράσταση της τρισδιάστατης απεικόνισης αντικειμένου.

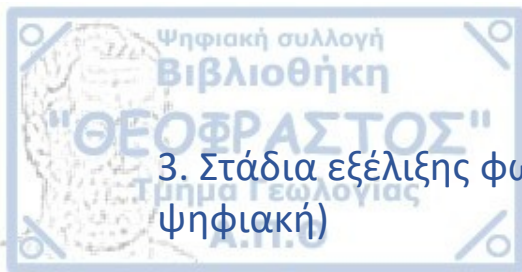
Η φωτογραμμετρία χρησιμοποιείται συνήθως ως εργαλείο μέτρησης επιφάνειας σε μια ευρεία ποικιλία επιστημονικών κλάδων. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κλάδους όπως η γεωλογία, η δασολογία, η γεωργία, η αρχαιολογία, η αρχιτεκτονική, η τοπογραφία, η ιατρική κ.α.



2. Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα και χαρακτηριστικά φωτο-γραμμετρίας.

Η χρήση της φωτογραμμετρικής μεθοδολογίας έχει τα εξής πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

- Ορίζεται σύστημα αναφοράς, το οποίο οδηγεί στην ρεαλιστική αποτύπωση των αντικειμένων
- Υπάρχει δυνατότητα ανακατασκευής των γεωμετριών του αντικειμένου στον χώρο, μέσω συνεχούς ή /και σημειακής απόδοσης.
- Το αποτέλεσμα μπορεί να ελεγχθεί ως προς την ακρίβεια και την αξιοπιστία με επιστημονικά κριτήρια.
- Για την μελέτη του πεδίου δεν κρίνεται απαραίτητο προσχέδιο της περιοχής (πχ σκαρίφημα).
- Έμμεσες μετρήσεις κατά την διάρκεια της επεξεργασίας είναι δυνατές.
- Τα αποτελέσματα της φωτογραμμετρικής μεθοδολογίας μπορούν να συνδυαστούν με άλλα προγράμματα σχεδιαστικά ή με ανάλυσης εικόνας καθώς και συστήματα διαχείρισης χωρικών δεδομένων για περαιτέρω μελέτη.
- Το συνολικό κόστος της έρευνας είναι σχετικά χαμηλό
- Η εύκολη, φθηνή και «πληθωρική» συλλογή δεδομένων συμβάλει στην διαχρονική παρακολούθηση της δυναμικής συμπεριφοράς των μελετημένων αντικειμένων.
- Η μελέτη είναι ανεξάρτητη από τις καιρικές συνθήκες.
- Η αλγοριθμική επεξεργασία των δεδομένων είναι δύσκολη.
- Η παραγωγή αποτελεσμάτων είναι ταχύτερη από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο.
- Η επεξεργασία των δεδομένων χρειάζεται πολλή προσοχή, διότι υπάρχουν πολλές πηγές σφαλμάτων.



3. Στάδια εξέλιξης φωτογραμμετρίας (αναλογική, αναλυτική, ψηφιακή)

Η εξέλιξη της φωτογραμμετρίας μπορεί να χαρακτηριστεί από 3 βασικά στάδια. Τα στάδια αυτά είναι

Α) Αναλογική φωτογραμμετρία. Στο στάδιο αυτό, ένα αντικείμενο που εικονιζόταν σε ένα στερεοζεύγος φωτογραφιών, οι οποίες είχαν ληφθεί από διαφορετικές θέσεις με σημαντική επικάλυψη, μπόρεσε να εξαχθεί σε τρεις διαστάσεις με την χρήση οπτικο-μηχανικών μέσων.

Β) Αναλυτική φωτογραμμετρία. Για πρώτη φορά χρησιμοποιούνται Η/Υ για τον υπολογισμό των παραμέτρων των φωτογραφικών εικόνων και απόδοση των προσανατολισμών τους, καθώς και ο προσδιορισμός των λεπτομερειών τους στον τρισδιάστατο χώρο.

Γ) Ψηφιακή φωτογραμμετρία. Στο στάδιο πια της ψηφιακής φωτογραμμετρίας, σταματά η επεξεργασία των αναλογικών φωτογραφιών και γίνεται πλέον με υπολογιστικά μέσα από ψηφιακές απεικονίσεις που προκύπτουν από ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές ή scanners και η διαδικασία γίνεται πιο αυτόματη για τον χειριστή.

Τα φωτογραμμετρικά προϊόντα που προκύπτουν μέσω της ψηφιακής φωτογραμμετρικής μεθόδου είναι ψηφιακά αρχεία (X,Y) ή (X,Y,Z) συντεταγμένων, φωτογραμμετρικά διαγράμματα (οριζοντιογραφίες, ισοΰψεις), ανηγμένες φωτογραφίες, ορθοφωτογραφίες – ορθοφωτοχάρτες, ψηφιακά μοντέλα εδάφους (Digital Elevation Model - DEM) και σε δεύτερο επίπεδο μπορεί να γίνει χαρτογραφική επεξεργασία για δημιουργία 3D μοντέλων, προοπτικών, περιηγήσεων κλπ.

4.Είδη φωτογραμμετρίας

4.1. Μονοσκοπική, στερεοσκοπική φωτογραμμετρία

Η *μονοσκοπική φωτογραμμετρία* χρησιμοποιείται όταν το μελετώμενο αντικείμενο έχει τόσο απλή γεωμετρία που μπορεί να γίνει χρήση μόνο μιας φωτογραμμετρικής εικόνας για τον προσδιορισμό της θέσης των εικονιζόμενων λεπτομερειών. Όταν η χρήση της μονοσκοπικής φωτογραμμετρίας είναι δυνατή, τα πλεονεκτήματα είναι πολλά, όπως η χαμηλές απαιτήσεις ως προς την ποιότητα της εικόνας, η ευκολία επεξεργασίας της εικόνας με την βοήθεια Η/Υ, καθώς είναι πολύ εύκολη η ενσωμάτωση της σε συστήματα ψηφιοποίησης.

Στη *στερεοσκοπική φωτογραμμετρία* γίνεται η δημιουργία τρισδιάστατης προβολής των αντικειμένων με τη χρήση ενός ζεύγους ή περισσότερων διαδοχικών επικαλυπτόμενων (περίπου 60% επικάλυψη) φωτογραφιών, η οποία εξασφαλίζει πιο γρήγορες με μεγάλη ακρίβεια μετρήσεις, καθώς και την μείωση της πιθανότητας λάθους που μπορεί να προκύψει από εσφαλμένη επιλογή σημείων για την λήψη μετρήσεων.



4.2 Αέρια-Επίγεια φωτογραμμετρία

Η φωτογραμμετρία χρησιμοποιεί φωτογραφίες οι οποίες έχουν ληφθεί είτε επίγεια είτε εναέρια. Ακόμη, μπορεί σε μία μελέτη να γίνει συνδυασμός των δυο τύπων φωτογραφιών, για να ληφθούν περισσότερες πληροφορίες.

Οι αεροφωτογραφίες χωρίζονται στους παρακάτω τύπους:

- A) ασπρόμαυρες παγχρωματικές.
- B) ασπρόμαυρες υπέρυθρες.
- Γ) έγχρωμες στο ορατό και έγχρωμες στο υπέρυθρο φάσμα.

5. Λογισμικό συγκλίνουσας φωτογραμμετρίας ή πολυεικονική μη στερεοσκοπική φωτογραμμετρία

Στην αγορά πλέον, υπάρχει πληθώρα λογισμικών, τα οποία είναι ικανά, με ευκολία στην χρήση και ελάχιστες μετρήσεις να δώσουν ένα πλήρες τρισδιάστατο μοντέλο του μελετώμενου αντικειμένου-περιοχής.

Τα λογισμικά αυτά ενσωματώνουν όλες τις φωτογραμμετρικές τεχνικές και με την χρήση γεωμετρίας (σημεία, γραμμές ή επίπεδα) εξασφαλίζουν ακριβή υπολογισμό των σημείων χωρίς την ανάγκη μέτρησης των φωτοσταθερών.

Τέλος από τα λογισμικά τέτοιου τύπου, υπάρχει η δυνατότητα βασικών διαδικασιών ψηφιοποίησης, αυτοματοποιημένη σχεδίαση και δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους ή/και την δημιουργία και την εξαγωγή τρισδιάστατου μοντέλου.

6. Εφαρμογές στην Γεωλογία

Η φωτογραμμετρική μέθοδος έχοντας εξελιχθεί και χρησιμοποιώντας τυπικές φωτογραφίες από κάμερες πεδίου, επιτρέπει στους γεωλόγους πεδίου να κάνουν ακριβή τρισδιάστατα μοντέλα της επιλογής τους, τα οποία με την σειρά τους είναι ένα σημαντικό εργαλείο για τις γεωλογικές μελέτες. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές γεωλογικές καταστάσεις όπου απαιτείται ακρίβεια, αλλά και όπου η πρόσβαση του γεωλόγου είναι δύσκολη ή απίθανη. Με τον τρόπο αυτό ένα μεγάλο κομμάτι της γεωλογικής και δομικής ανάλυσης μπορεί να μεταφερθεί από το πεδίο, στο εργαστήριο.

6.1 Εφαρμογές στην Γεωλογική Χαρτογράφηση

Οι γεωλόγοι πεδίου αντιμετωπίζουν πολύ συχνά το κοινό πρόβλημα της απεικόνισης και ποσοτικοποίησης των παρατηρήσεών τους λόγω ελλιπών στοιχείων για την περιοχή που μελετούν. Η δυσκολία αυτή έγκειται στο γεγονός, ότι πολλά από τα υπό μελέτη σημεία είναι δυσπρόσιτα ή είναι αδύνατο να βρεθεί μια θέση, στην οποία να είναι δυνατή η ολοκληρωμένη παρατήρηση δομών μεγάλης κλίμακας. Επιπλέον, οι τοπογραφικοί χάρτες συχνά δεν είναι διαθέσιμοι σε κλίμακα ή ποιότητα που να επιτρέπεται η ικανοποιητική παρουσίαση των γεωλογικών δεδομένων.

Σήμερα, στα πλαίσια της γεωλογικής μελέτης, για την αντιμετώπιση ορισμένων από αυτών των δυσκολιών, χρησιμοποιούνται στερεοσκοπικές εικόνες εδάφους βασισμένες σε αεροφωτογραφίες ή/και δορυφορικά δεδομένα, Ωστόσο οι τυπικές αεροφωτογραφίες είναι περιορισμένες ως προς την κλίμακά τους, αφήνοντας έτσι ένα κενό στην μέθοδο αυτή όταν η μελέτη αφορά μια πολύ μικρή περιοχή.

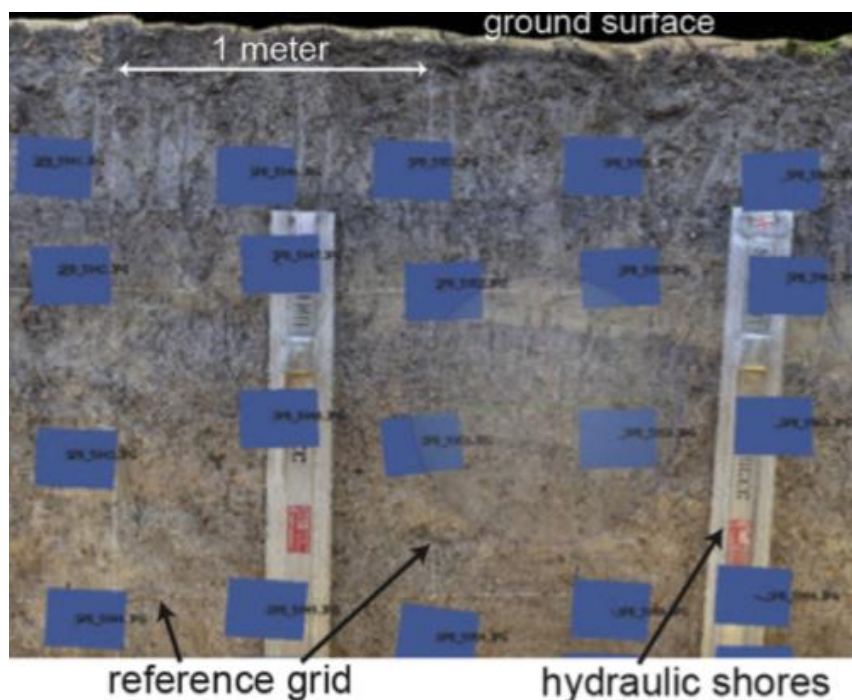
Στο εργαστήριο ένας γεωλόγος χρησιμοποιώντας φωτογραμμετρικές μεθόδους, μπορεί να χαρτογραφήσει και να αποτυπώσει μια περιοχή μελέτης με τέτοια λεπτομέρεια, που θα ήταν πολύ δύσκολο έως και ανέφικτο να επιτευχθεί αποκλειστικά με εργασία πεδίου. Ο ερευνητής μπορεί να τοποθετήσει γεωλογικές επαφές στον υπό κατασκευή χάρτη με μεγάλη ακρίβεια καθώς και να μελετήσει γεωλογικές δομές όπως η σχιστότητα, οι γραμμές πτύχωσης κλπ. Η προσέγγιση αυτή είναι πολύτιμη για την εξαγωγή μιας πιο αντιπροσωπευτικής απεικόνισης μιας τοποθεσίας, αλλά απαιτεί προσεκτική διαδικασία για να μην προκύψουν σφάλματα. (Hagan, 1980).

Η κατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων με την χρήση της φωτογραμμετρικής μεθόδου, συνδέει μια σειρά στερεοσκοπικών εικόνων με στόχο να παρατηρηθεί η μελετηθείσα περιοχή υπό διαφορετικές κλίμακες ή από διαφορετικές γωνίες, να δημιουργηθεί μια ακριβής αποτύπωση της μελετώμενης περιοχής, όσο μεγάλη και αν είναι αυτή, και όλων των δομών που εμπεριέχονται σε αυτήν, καθιστώντας την μέθοδο αυτή πολύ σημαντική.

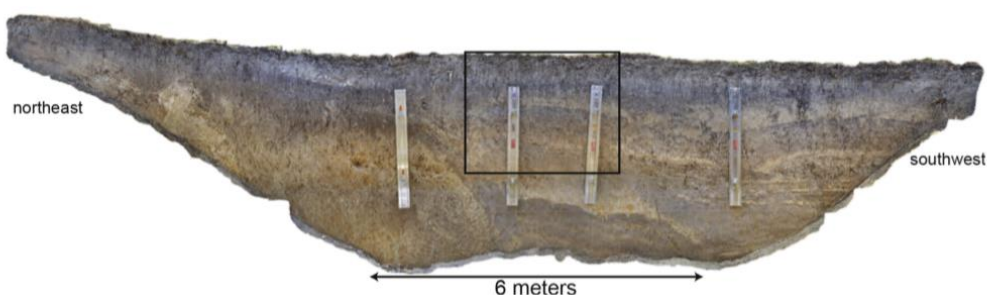
6.2. Εφαρμογές στην Τεκτονική Γεωλογία

Η φωτογραμμετρική μέθοδος, αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την μελέτη της τεκτονικής και της γεωτεκτονικής εξέλιξης μιας περιοχής, ώστε να αποκτηθούν επιπλέον δεδομένα. Με την δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου υψηλής ανάλυσης, μπορούν να μελετηθούν όλα τα βασικά γεωλογικά στοιχεία της περιοχής, να ψηφιοποιηθεί εξ ολοκλήρου η γεωμορφολογία και να τοποθετηθούν όλα τα γεωλογικά όρια που εμφανίζονται στην περιοχή. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής, επιτρέπει την μελέτη μεγάλων εκτάσεων που θα ήταν πολύ δύσκολο να μελετηθούν με τις παραδοσιακές μεθόδους, και επιτρέπει την ποσοτική προσέγγιση των στοιχείων της μελέτης, και την ανάδειξη των μορφολογικών χαρακτηριστικών ακόμα και αν αυτά βρίσκονται κάτω από βλάστηση.

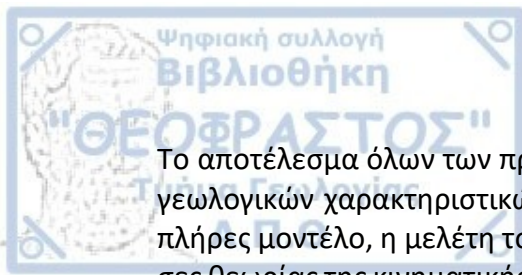
Σε μια τέτοιου είδους μελέτη (Bemis et al. 2014) γίνεται αρχικά ανάλυση της γεωλογίας την περιοχής που μελετάται, παράγεται γεωλογικός χάρτης και στην συνέχεια λαμβάνονται πολλαπλές επικαλυπτόμενες φωτογραφίες από την περιοχή και δημιουργείται 3D μοντέλο, από το οποίο λαμβάνονται γεωμετρικές πληροφορίες για την σύνθετη δομή, εφόσον αυτό γεωαναφερθεί.



Εικόνα 2. Παράδειγμα παραγωγής 3D μοντέλου με την βοήθεια του φωτογραμμετρικού προγράμματος Agisoft PhotoScan. (Bemis et al. 2014). Τα μπλε ορθογώνια πλαίσια με τους μαύρους κανονικούς φορείς (με ετικέτα με το όνομα της εικόνας) αντιπροσωπεύουν τις θέσεις και τους προσανατολισμούς της κάμερας. Η εικόνα αποτελεί την ορθοφωτογραφία από την οποία προέκυψε το παρακάτω 3D μοντέλο.



Εικόνα 3. Τρισδιάστατη απεικόνιση της μελετώμενης περιοχής το ανατολικό τοίχωμα ενός από τα χαρακώματα στην παλαιοσεισμική περιοχή της λίμνης Elizabeth στο τμήμα Mojave του νοτίου San Andreas, στην Καλιφόρνια. (Bemis et al. 2014)



Το αποτέλεσμα όλων των προηγούμενων διαδικασιών είναι η αποτύπωση όλων των γεωλογικών χαρακτηριστικών με ακρίβεια που δεν θα ήταν δυνατή αλλιώς, σε ένα πλήρες μοντέλο, η μελέτη του οποίου μπορεί είτε να επιβεβαιώσει τις ήδη υπάρχουσες θεωρίες της κινηματικής για την κάθε περιοχή είτε να δώσει στοιχεία τέτοια ώστε να δημιουργήσει νέες.

6.3 Εφαρμογές στην Νεοτεκτονική

Πολλές από τις Τεταρτογενείς τεκτονικές δομές δεν έχουν καταγραφεί από τους δημοσιευμένους γεωλογικούς χάρτες. Για τον λόγο αυτό, η φωτογραμμετρία αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στην μελέτη της ενεργού τεκτονικής, με την δημιουργία 3D μοντέλων για την παρατήρηση δομών όπως νεοτεκτονικά εξάρματα, τεκτονικά πρηνή με μεγάλες κλίσεις κ.α. Με την χρήση φωτογραφιών μπορεί να μελετηθεί η επίδραση μιας σεισμικής ακολουθίας, αλλά και οι παροδικές αλλαγές που προκύπτουν από έναν σεισμό (π.χ. οι μετατοπίσεις των δέντρων, το μήκος της επιφανειακής διάρρηξης κ.ά.), με υψηλή χωρική ανάλυση. Τα φωτογραφικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό μικροπτυχώσεων και ασυνεχειών καθώς και τους προσανατολισμούς τους. Με την δημιουργία των μοντέλων αυτών, κατασκευάζεται τρισδιάστατος γεωλογικός χάρτης όπου καταχωρούνται όλα τα στοιχεία (ρήγματα, πτυχώσεις κλπ.) που αποκομίζονται από τις μετρήσεις, και στη συνέχεια αυτά ταξινομούνται και μπορούν να καταχωρηθούν.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της χρήσης της φωτογραμμετρικής μεθόδου στον τομέα της νεοτεκτονικής είναι, πέρα της συλλογής πληροφοριών, η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων, στην οποία εντοπίζονται και καταγράφονται οι μετακινήσεις εδάφους, το οποίο είναι μεγάλης σημασίας για εκτίμηση της επικινδυνότητας σε περιοχές, και την αποτροπή ατυχημάτων, ειδικά σε κατοικημένες περιοχές.

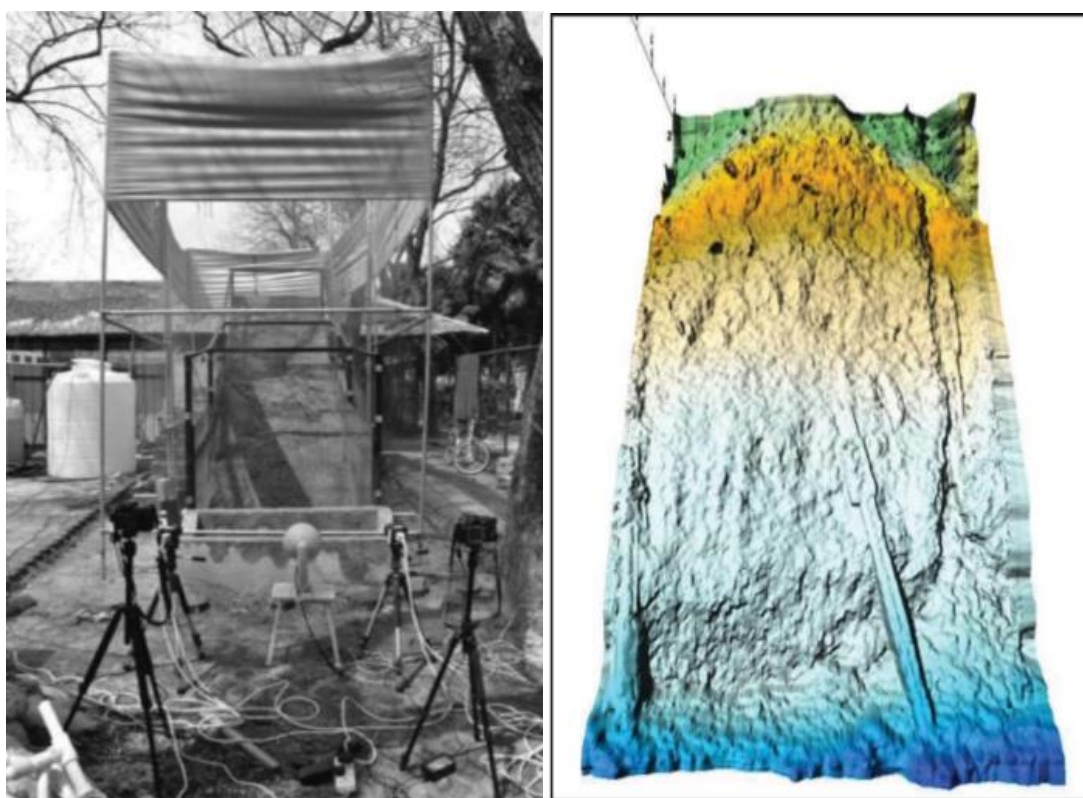
6.4 Εφαρμογές στην Υδρογεωλογία

Βασικό κομμάτι του κλάδου της υδρογεωλογίας αποτελούν τα πειράματα προσομοίωσης υδρογεωλογικών κινδύνων. Στα πειράματα αυτά, προσομοιώνονται φυσικές ή ανθρωπογενείς αιτίες υδρογεωλογικών κινδύνων και εξετάζονται οι κατολισθήσεις που μπορεί να προκύψουν από βροχόπτωση ή σεισμό (Fukuzono 1990), διάβρωση του εδάφους (Rieke-Zapp & Nearing 2005; Gessese et al. 2010; Heng et al. 2010), εξέλιξης της λεκάνης αποστράγγισης (Brasington & Smart 2003) κ.ά. Στα πειράματα αυτά, χρησιμοποιείται ένα δίκτυο χωρικών αισθητήρων (SSN-Spatial Sensor Network), το οποίο συλλέγει γεωγραφικές ποσοτικές πληροφορίες κατά την διάρκεια του πειράματος και στην συνέχεια με την χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων γίνεται λήψη επιπλέον πληροφοριών, λόγω της ικανότητας της φωτογραμμετρίας να εξετάζει εύκολα μεγάλες επιφάνειες.

Το δίκτυο χωρικών αισθητήρων(SSN) χρησιμοποιείται για την ανάλυση των χωρικών συσχετισμών μεταξύ των παρατηρήσεων στις διαφορετικές τοποθεσίες. Τα

αποτελέσματα μπορούν να εξομοιωθούν σε αριθμητικά μοντέλα για την καλύτερη εκτίμηση των παραμέτρων του πειράματος-μοντέλου (Gigli et al., 2011). Το SSN συνδυάζεται με συσκευές για την απεικόνιση, την αποθήκευση δεδομένων και την ανάλυση τους (π.χ., Scaioni et al., 2013), και χωρίζονται σε αυτούς που μπορούν να καταγράψουν γεωμετρικές, γεωτεχνικές και υδραυλικές παραμέτρους, σε αυτούς που χρησιμοποιούνται για να καταγράψουν μετεωρολογικά δεδομένα και σε αυτούς που ως πιο απομακρυσμένοι αποσκοπούν να δώσουν γενικότερη εικόνα των διαδικασιών σε μια μεγάλη επιφάνεια του πειραματικού σώματος, από ποιοτική ή από ποσοτική πλευρά. Στην περίπτωση της ποσοτικής καταγραφής του πειράματος, χρησιμοποιούνται, κατά κύριο λόγο, γεωμετρικές πληροφορίες οι οποίες προκύπτουν από φωτογραμμετρικές μεθόδους και 3D απεικόνιση του πειράματος. Η σύγχρονη ψηφιακή φωτογραμμετρία μπορεί να εφαρμοστεί επίσης και για την μέτρηση αλλαγών του μοντέλου κατά την διάρκεια του πειράματος, με υψηλή συχνότητα, ακρίβεια και χωρική ανάλυση.

Οι φωτογραμμετρικές τεχνικές σε υδρογεωλογικά πειράματα μικρής κλίμακας, πιο συγκεκριμένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δυναμική παρατήρηση των εξωτερικών επιφανειών του δείγματος, όπως αλλαγές του σχήματος (παραμόρφωση), μετατοπίσεις υλικού καθώς και ανάλυση ρωγμών (ανίχνευση και μέτρηση τους). Τα φωτογραμμετρικά δεδομένα καταχωρούνται στο πρόγραμμα GIS πολύ συχνά και στις υδρογεωλογικές μελέτες.



Εικόνα 4. Εικόνας 4. . Παράδειγμα υδρογεωλογικής μελέτης με την βοήθεια φωτογραμμετρικού λογισμικού (Scaioni et al. 2015) . Στην πρώτη εικόνα εικονίζονται Τα συστήματα κάμερας που χρησιμοποιήθηκαν για τη λήψη μιας ακολουθίας εικόνων κατά τη διάρκεια πειραμάτων προσομοίωσης κατολισθήσεων. αυτά είναι ένα ζευγάρι φωτογραφικών μηχανών Nikon D200 υψηλής ανάλυσης, μια ενιαία βιντεοκάμερα και ένα ζευγάρι καμερών υψηλής



ταχύτητας DALSA Falcon 4M60. Η δεύτερη εικόνα είναι το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας που προέκυψε από το πείραμα.

6.5 Εφαρμογές στην Τεχνική Γεωλογία

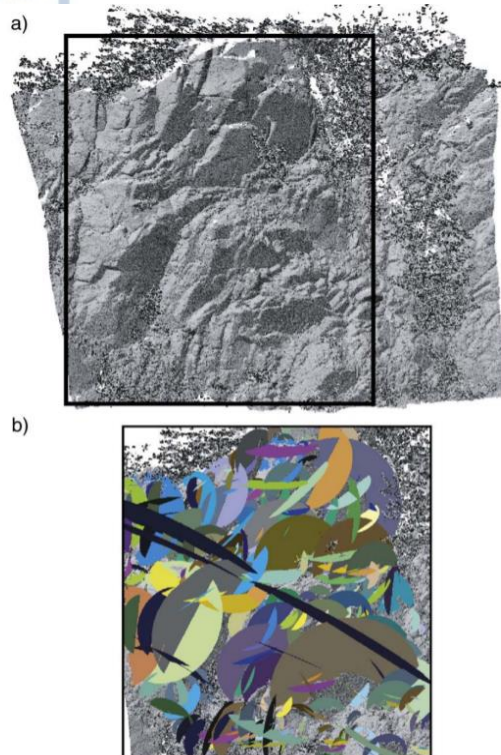
Η μέθοδος της φωτογραμμετρίας κερδίζει όλο και μεγαλύτερο έδαφος στις τεχνικο-γεωλογικές μελέτες. Η καταγραφή εκατομμυρίων σημείων υψηλής ακρίβειας (point-cloud) από φωτογραφίες, με την βοήθεια φωτογραμμετρικών λογισμικών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων, τα οποία με την σειρά τους, με επιπλέον επεξεργασία τους, συμβάλλουν στην ανίχνευση, στην αναγνώριση και στην αξιολόγηση βραχομαζών, στον προσδιορισμό των ασυνεχειών ως προς την θέση τους, τον προσανατολισμό τους, το μέγεθος και την τραχύτητά τους, στην ανάλυση ευστάθειας βράχου-βραχώμαζας κ.ά.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι πολλά, μερικά εκ των οποίων είναι η δημιουργία μιας απόλυτης καταγραφής της μελετώμενης περιοχής (ακόμα και αν αυτή είναι εκτεταμένη), η μελέτη ψηλών απότομων δυσπρόσιτων πλαγιών, η μείωση του κινδύνου για τους εργαζομένους, καθώς η μελέτη λαμβάνει χώρα σε απομακρυσμένη ασφαλή τοποθεσία, μακριά από κινήσεις ή πτώσεις βράχων, και άλλα πολλά.

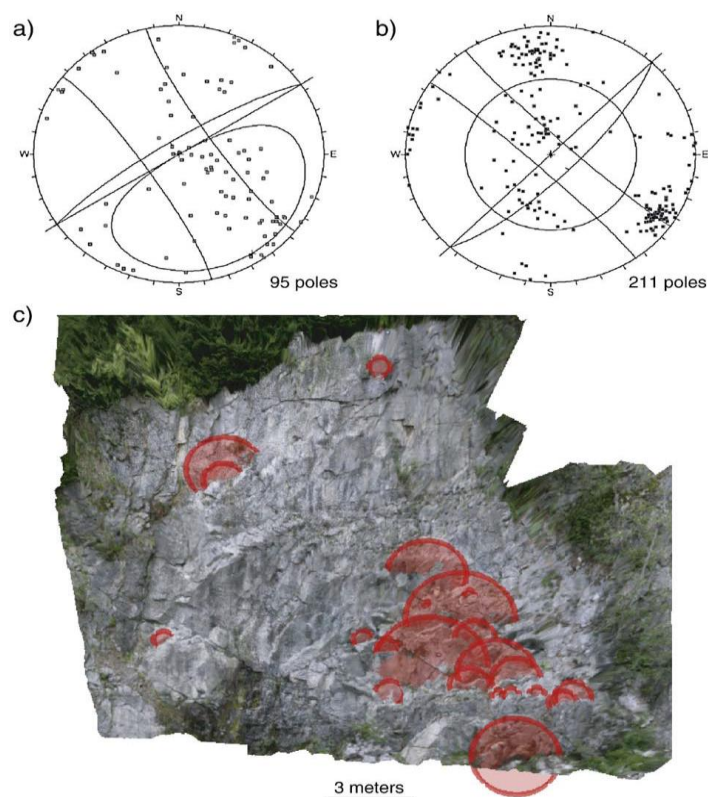
Σε μια γεωτεχνική μελέτη που περιλαμβάνει την δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου, αρχικά γίνεται λήψη μεγάλου αριθμού επικαλυπτόμενων φωτογραφιών σε κοντινή απόσταση από την επιφάνεια του βράχου, από όπου αυτό είναι δυνατό. Η χρήση πολλών εικόνων, ελαχιστοποιεί την πιθανότητα κατασκευής εσφαλμένου τρισδιάστατου μοντέλου.

Στη συνέχεια, γίνεται λήψη πολυάριθμων μετρήσεων με την χρήση πυξίδας κατά μήκος των μελετώμενων ασυνεχειών και γίνεται δημιουργία στερεοδιαγραμμάτων που αποτυπώνουν τις ασυνέχειες αυτές, με σκοπό την ανάλυση της ευστάθειας του μελετώμενου πρανούς.

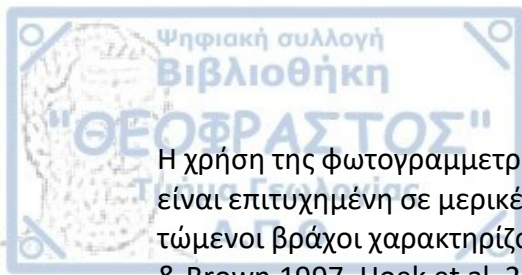
Σε μια τέτοιου είδους μελέτη, οι μελετητές μπορούν να προσδιορίσουν χωρικά τις ασυνέχειες που μπορεί να ολισθήσουν ή να ανατραπούν και να τις αποτυπώσουν στην ακριβή θέση τους, στην επιφάνεια του βράχου. Στην συνέχεια περιγράφουν την τραχύτητα και της καμπυλότητα των ασυνεχειών, καθώς και την ευαισθησία τους στην διάβρωση.



Εικόνα 5. Χαρακτηρισμός ασυνέχειας σε τρισδιάστατα μοντέλα. (α) μέσα στο μαύρο πλαίσιο η περιοχή μελέτης (β) επιφάνειες ασυνέχειας (Sturzenegger et al., 2007).



Εικόνα 6. Κινηματική ανάλυση. (α) πιθανές αστοχίες στις ασυνέχειες, (β) πιθανές κατολισθήσεις (c) στερεοδιάγραμμα που αποτυπώνει τις πιθανές αστοχίες που θα προκύψουν από ανατροπή (Sturzenegger et al., 2007).



Η χρήση της φωτογραμμετρίας για τον χαρακτηρισμό των ασυνεχειών μπορεί να μην είναι επιτυχημένη σε μερικές περιπτώσεις. Μια τέτοια περίπτωση είναι όταν οι μελετώμενοι βράχοι χαρακτηρίζονται από χαμηλό δείκτη γεωλογικής αντοχής (GSI) (Hoek & Brown, 1997, Hoek et al. 2002). Παρ' όλα αυτά, με εντοπισμό των χαρακτηριστικών που μπορεί να αποτελέσουν πηγή σφαλμάτων και με την χρήση συνδυασμού φωτογραμμετρικών μεθόδων (εναέριας, επίγεια, κλπ), η μελέτη μπορεί να προκύψει ρεαλιστική και ασφαλής, έτσι ώστε να αποτελέσει πηγή λήψης αποφάσεων.

6.6 Εφαρμογές στην κοιτασματολογία

Η φωτογραμμετρία έχει πολλά να προσφέρει και στον τομέα της κοιτασματολογίας. Αρχικά μπορεί να συμβάλει στον εντοπισμό πιθανών μελλοντικών ανεκμετάλλευτων κοιτασμάτων, καθώς και στον εντοπισμό και τη τεκμηρίωση μη εύκολα προσβάσιμων τμημάτων ή κατολισθήσεων που προκύπτουν από την εκμετάλλευση ενός ορυχείου, συμβάλλοντας έτσι στην μελέτη, προκειμένου να προετοιμαστούν τα βασικά για τις εργασίες αποκατάστασής του. Επίσης, η τρισδιάστατη απεικόνιση υψηλής απόδοσης είναι συνήθης σε όλες τις μεγάλες εταιρείες πετρελαίου και έχει γίνει αναπόσπαστο μέρος του προτύπου δραστηριότητας έρευνας και παραγωγής.

Οι εφαρμογές της φωτογραμμετρίας στον τομέα της κοιτασματολογίας είναι πολλές, μία εκ των οποίων περιγράφεται παρακάτω και ανήκει στους Vrublová et al. (2015)

Στο ορυχείο Nástup Tušimice στην Βόρεια Τσεχία, παράγονται περίπου 23 εκατομμύρια τόνοι λιγνίτη. Κρίθηκε λοιπόν απαραίτητος ο ορισμός μια κατάλληλης μεθοδολογίας, για την μελέτη των κατολισθήσεων και των δυσπρόσιτων τμημάτων του ορυχείου. Παράγοντες όπως το κόστος, οι χρονικές απαιτήσεις και η υλικοτεχνική διαθεσιμότητα οδήγησαν στην δοκιμή μεθόδων ψηφιακής επίγεια φωτογραμμετρίας και συστήματα UAV.

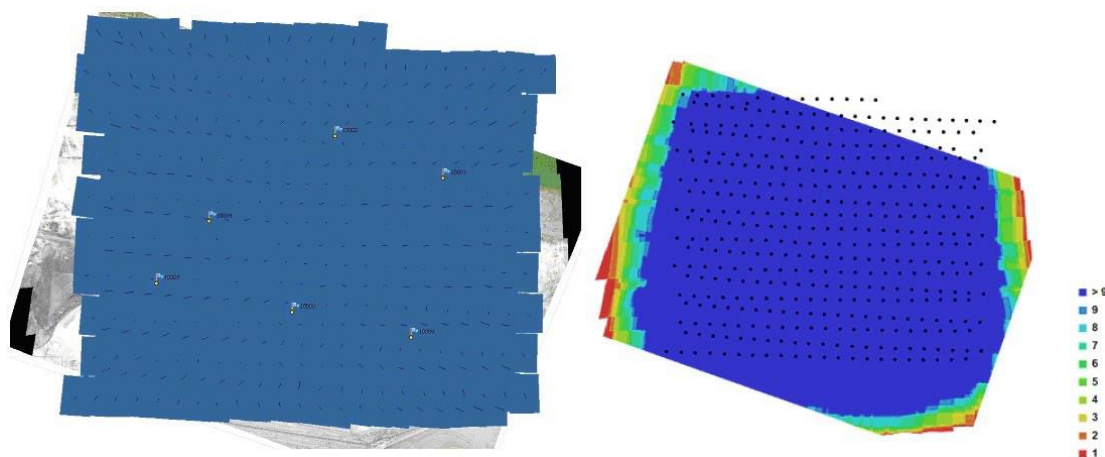
Στην αρχή της μελέτης πραγματοποιήθηκε οπτικός και τεχνικός έλεγχος σημαντικών περιοχών, ορίστηκε η περιοχή μελέτης στο Google Earth και δημιουργήθηκε μια προβολή απεικόνισής της.

Για τη λήψη των απαιτούμενων φωτογραφιών χρησιμοποιήθηκε το σύστημα εναέριας χαρτογράφησης και αποτύπωσης - GATEWING X100 το οποίο είναι κατάλληλο για τοπογραφική χαρτογράφηση, υπολογισμό όγκων και χαρτογράφηση επικίνδυνων και δυσπρόσιτων περιοχών π.χ. σε ορυχεία, στην κατασκευή τεχνικών έργων μεταφοράς (δρόμοι, γέφυρες κλπ.), στη γεωλογία, την τεκμηρίωση επειγουσών καταστάσεων (φυσικές καταστροφές, ατυχήματα) κ.ά.

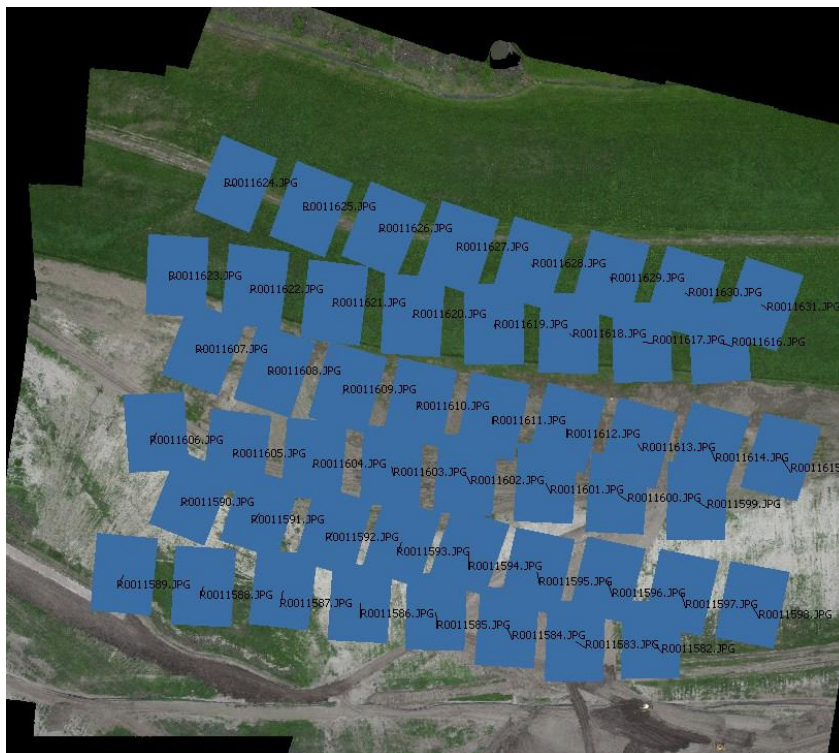
Οι εικόνες από την πτήση λήφθηκαν διαδοχικά, με επαρκή επικάλυψη, και χρησιμοποιήθηκαν στην συνέχεια για την δημιουργία ενός ακριβούς μοντέλου χωροταξικού εδάφους με το πρόγραμμα Agisoft PhotoScan.



Εικόνα 7. Σύστημα Gatewing. (Vrublová et al., 2015)



Εικόνα 8



Εικόνα 9. Επεξεργασία με την χρήση του φωτογραμμετρικού λογισμικού agisoft photoscan. (Vrublová et al., 2015)

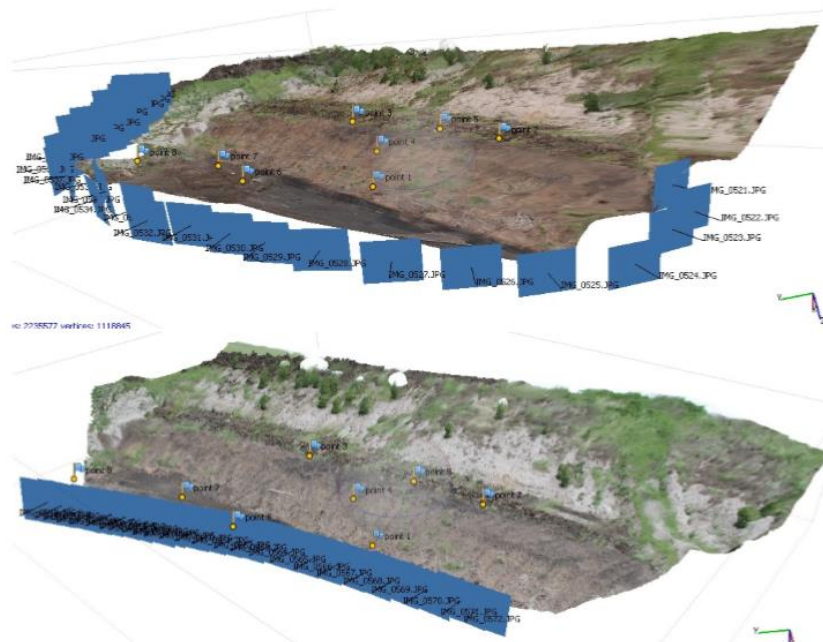
Θεσσαλονίκη 2019

Από τα στοιχεία προέκυψε ένα νέφος σημείων το οποίο δεν απαιτούσε εκκαθάριση ανεπιθύμητων αντικειμένων και φόντου. Δημιουργήθηκε ένα νέφος που έμοιαζε πολύ με την ανάγλυφη έκταση εδάφους χωρίς ανεπιθύμητο θόρυβο. Στη συνέχεια το μοντέλο προσαρτήθηκε στις συντεταγμένες χρησιμοποιώντας τεχνητά υποδεικνυόμενα σημεία ελέγχου.

Κατά την δημιουργία του 3D μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την αεροφωτογραφία και έγιναν επιλογές χαρακτηριστικών τέτοιες ώστε να δημιουργηθεί ένα ομαλό μοντέλο χωρίς κενά. Στη συνέχεια συγκρίθηκαν τα δεδομένα που ελήφθησαν από την φωτογραφία εδάφους και των αεροφωτογραφιών.

Το μοντέλο που προέκυψε από την αεροφωτογραφία δεν είχε ανάγκη βελτιστοποίησης και καθαρισμού, και ήταν πιστή καταγραφή της τοπογραφίας της μελετηθείσας περιοχής, αλλά όχι τόσο λεπτομερής όσο αυτό της επίγεια φωτογραφίας. Ωστόσο, χρησιμοποιώντας την αεροφωτογραφία, καταστάθηκε δυνατό να χαρτογραφηθούν ευρείες και απρόσιτες περιοχές του ορυχείου. Η ακρίβεια των δυο μοντέλων ήταν επαρκής για τον επιδιωκόμενο σκοπό, δηλαδή να τεκμηριωθούν κατολισθήσεις και δυσπρόσιτες περιοχές του ορυχείου.

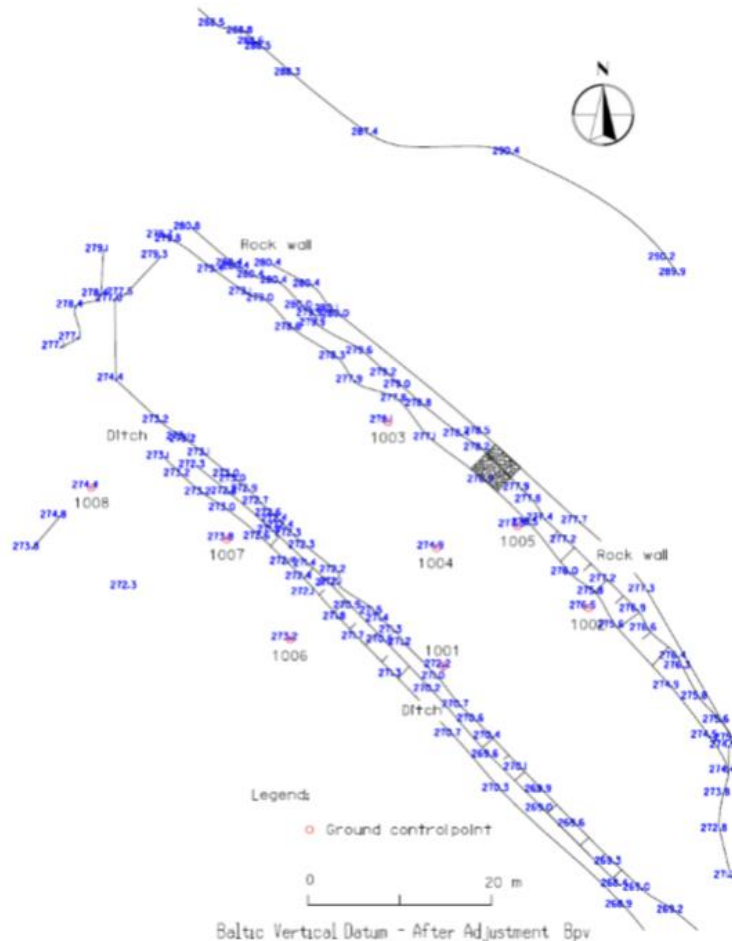
Για την δημιουργία 3D μοντέλου από επίγεια φωτογράφιση λήφθηκαν φωτογραφίες με μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή SLR Canon EOS 7D με φακό Canon EF-S 18-135 mm f3, 5-5,6 IS και ανάλυση 19 megapixel, και στην συνέχεια κατασκευάστηκε το μοντέλο χρησιμοποιώντας την Agisoft PhotoScan Pro έκδοση 0.9.0.1542 (64 bit) από την AgiSoft LLC και τη PhotoModeler Scanner 6.3.3.794 της Eos Systems Inc. Δημιουργήθηκε ένα νέφος σημείων που μπορούσαν να χρωματιστούν σύμφωνα με τις πραγματικές υφές, και στη συνέχεια δημιουργήθηκε ένα γεωμετρικό αντικείμενο που αντιπροσωπεύεται από ένα τριγωνικό πλέγμα, το οποίο στην συνέχεια συνδέθηκε με την υφή με καθορισμένη ανάλυση.



Εικόνα 10. . Κατά την δημιουργία του μοντέλου δημιουργήθηκε ένα σύννεφο σημείων με ποιότητα προσανατολισμού «Μεσαία», η οποία κρίθηκε επαρκής. Μετά την ευθυγράμμιση, αφαιρέθηκαν τα ανεπιθύμητα αντικείμενα και φόντο και στην συνέχεια βελτιστοποιήθηκε περαιτέρω με το χέρι. Στην συνέχεια ορίστηκε η ανάλυση της υφής, στην γενική λειτουργία Θεσσαλονίκη 2019

επεξεργασίας και μετά την επιλογή των κατάλληλων σημείων ελέγχου, που έδιναν ελάχιστη υπολειπόμενη απόκλιση, το τρισδιάστατο μοντέλο γεωαναφέρθηκε. (Vrubioná et al., 2015)

Με το συνδυασμό των δύο μοντέλων, εναέριας και επίγειας απεικόνισης, λήφθηκαν επαρκή δεδομένα για την δημιουργία λειτουργικών χαρτών κατολισθήσεων και δυσπρόσιτων τμημάτων του ορυχείου.



Εικόνα 11. Χάρτης κατολισθήσεων που προέκυψε από το συνδυασμό των δύο μοντέλων, εναέριας και επίγειας 3D απεικόνισης. (Vrubioná et al., 2015)

6.7. Εφαρμογές στην Περιβαλλοντική Γεωγραφία

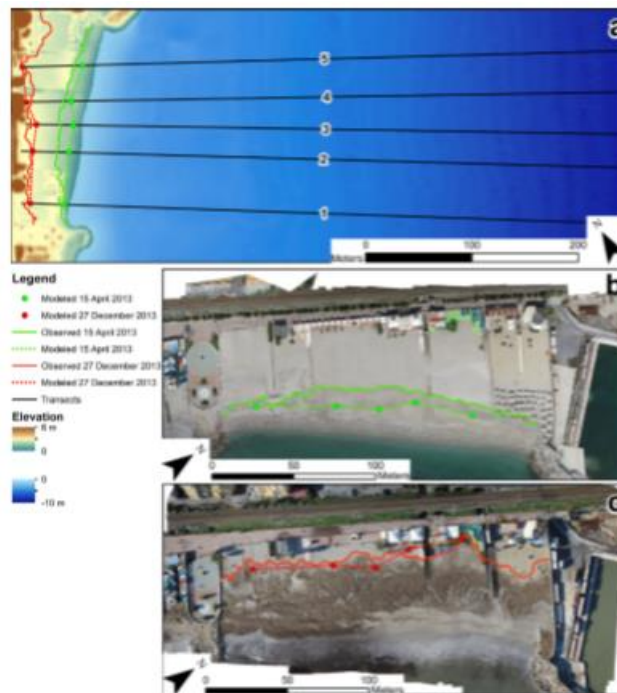
Οι φωτογραμμετρικές μέθοδοι βρίσκουν εφαρμογή και στον τομέα της περιβαλλοντικής γεωγραφίας. Η φωτογραμμετρία συμβάλλει στη μελέτη της γεωμορφολογίας, δηλαδή της σύνθεσης της επιφάνειας και της μορφής της Γης, καθώς και τις διεργασίες που δρουν σε αυτήν, για τον προσδιορισμό των σημερινών συνθηκών αλλά και την πρόβλεψη των αλλαγών που θα προκύψουν στο μέλλον, επωφελούμενοι της χρήσης ψηφιακών φωτογραμμετρικών λογισμικών.

Πιο αναλυτικά, με την χρήση της φωτογραμμετρίας μπορούν να εξαχθούν ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες για διάφορες γεωμορφολογικές μεταβολές, όπως η χαρτογράφηση ενός ποταμού συνολικά ή εκτιμήσεις για την επίδραση της διάβρωσης και την εναπόθεση του διαβρωμένου υλικού σε άλλη θέση όπως γίνεται σε παράκτιες περιοχές, ή ποτάμια αναβαθμίσεις κ.α.

Θεσσαλονίκη 2019

Σε μια μελέτη περιβαλλοντικής γεωγραφίας (Casella et al., 2014) η ενδεικτική ροή εργασιών θα αποτελείται από συλλογή φωτογραφιών, έρευνα της επιθυμητής περιοχής με την χρήση GPS υψηλής ακρίβειας, την δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου χρησιμοποιώντας φωτογραμμετρικές τεχνικές, την συλλογή δεδομένων για την τοπογραφία και την διάβρωση, άλλα απαραίτητα στοιχεία για την μελέτη, και τέλος τον συνδυασμό όλων των παραπάνω με το μοντέλο.

Ο συνδυασμός όλων αυτών των πληροφοριών, τα ακριβή και εύκολα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτόν, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η αύξηση σε αριθμό τέτοιων μοντέλων σε διαφορετικούς τύπους περιβάλλοντος μπορούν να αποδώσουν πολύ καλά τις διεργασίες που συμβαίνουν, με αποτέλεσμα να γίνεται πιο εύκολη η πρόβλεψη της εικόνας που θα έχει η κάθε μελετηθείσα περιοχή στο μέλλον.



Εικόνα 12. . Παράδειγμα αποτελεσμάτων από μελέτη ακτογραμμής στην Λιγυρία της βόρειας Ιταλίας (Casella et al., 2014). Η α) εικόνα απεικονίζει ένα ψηφιακό μοντέλο ανύψωσης DEM- Digital elevation model που προέκυψε από το σημείο μελέτης. Οι εικόνες β) και γ) αποτελούν ορθοφωτογραφίες που προέκυψαν με την χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων. Στην δεύτερη ορθοφωτογραφία φαίνονται καθαρά η αποθέσεις που προέκυψαν από εκροή νερών στην παράκτια ζώνη. (Casella et al., 2014)

6.8 Εφαρμογές στην Ηφαιστειολογία

Η φωτογραμμετρία αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την ηφαιστειολογία, καθώς παρέχει ποσοτικά δεδομένα για τοπογραφικές αλλαγές και μετατοπίσεις επιφάνειας, ακόμα και αν αυτές είναι πολύ μικρής τάξης μεγέθους, στην περιοχή ενεργών ηφαιστείων.

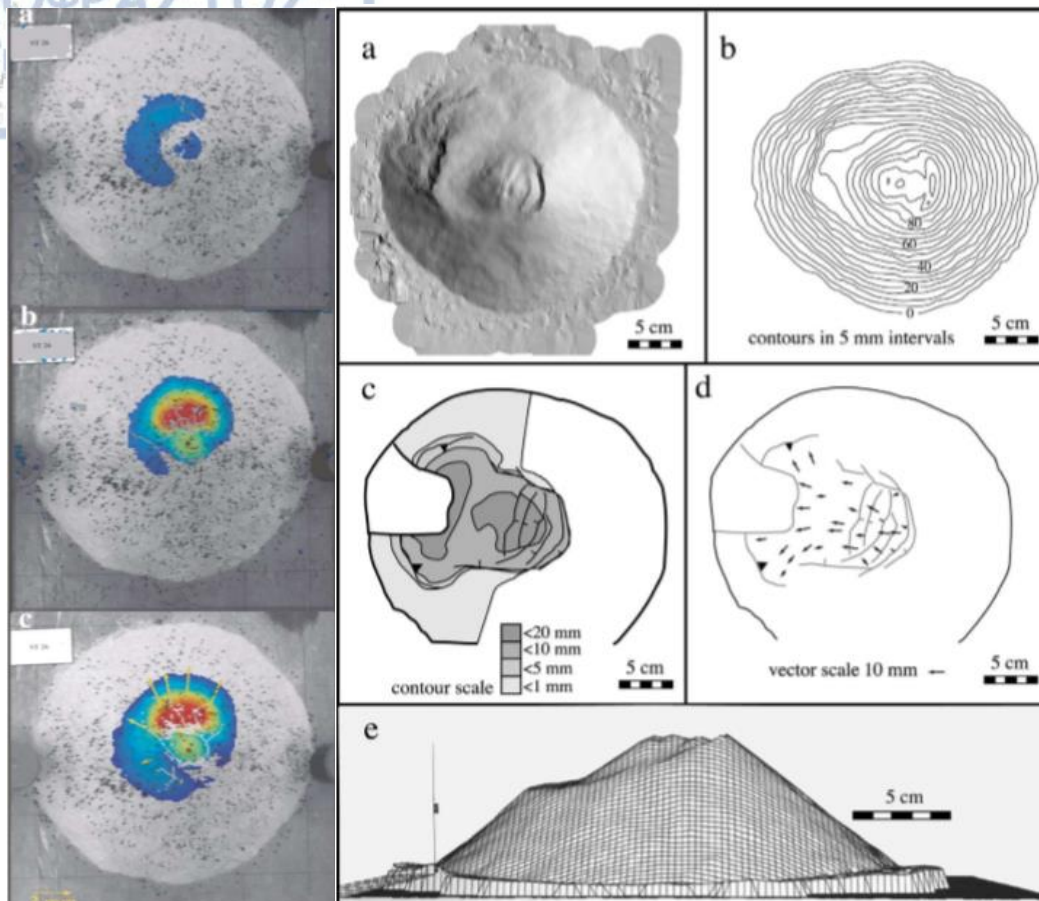
Η αστάθεια των ηφαιστείων οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Σε αυτούς περιλαμβάνονται: η αλλαγή της κλίσης (π.χ., Siebert, 1984, Bege & Kienle, 1992), η διείδυση μάγματος (π.χ. Gorshkov, 1959; Moore & Albee, 1981; Lipman et al, 1981; Voight et al, 1981; Siebert et al, 1987; Elsworth & Voight, 1995; Voight & Elsworth, 1997; Voight,

2000; Donnadieu et al., 2001), η αύξηση πίεσης πόρων (πχ. Elsworth & Voight, 1996; Voight & Elsworth, 1997), η υπερβολική φόρτωση από την συσσώρευση προϊόντων έκρηξης (π.χ. Murray, 1988), η μηχανική καταπόνηση λόγω υδροθερμικής δραστηριότητας (π.χ. Lopez & Williams, 1993, 1996), οι τεκτονικές κινήσεις (π.χ., Francis & Self, 1987, Carracedo, 1994; Tibaldi, 1995), η σεισμικότητα (π.χ. Kanamori et al, 1984, Siebert, 1984), η περιφερειακή διάβρωση (π.χ., Guest et al, 1988, Moore και Clague, 1992; Firth et al, 1996), ή η αύξηση βάρους (π.χ., Borgia, 1994, Merle & Borgia, 1996, van Wyk de Vries & Francis, 1997. van Wyk de Vries & Matela, 1998).

Η αστάθεια ενός ηφαιστείου μπορεί να παρατηρηθεί σε διάφορες τάξεις μεγέθους και χρόνου, από μερικά μέτρα μέχρι μερικά εκατοντάδες χιλιόμετρα και από μερικούς μήνες μέχρι εκατοντάδες χρόνια. Για τον λόγο αυτό, με την δημιουργία ενός μοντέλου γίνεται πιο εύκολη η μελέτη του και η ερμηνεία του, καθώς επίσης μπορεί να δώσει πρόβλεψη για την εξέλιξη του μέσω ανίχνευσης πολύ μικρών μετατοπίσεων των αναπτυσσόμενων δομών.

Κλασική ή ψηφιακή φωτογραμμετρική μελέτη έχουν εφαρμοστεί εδώ και χρόνια σε φυσικά ηφαίστεια της Γης και σε άλλους πλανήτες (π.χ. Moore & Albee, 1981, Jordan & Kieer, 1981; Fink et al, 1990; Zlotnicki et al, 1990; Head, 1996; Mattioli et al, 1996; Maciejak, 1998; Kelfoun, 1999; Yamashina et al, 1999;)

Για την μελέτη των ηφαιστείων, είναι συχνή η εφαρμογή πειραμάτων σε εργαστήριο, τα οποία έχουν στόχο την αναπαραγωγή αστοχιών που λαμβάνουν χώρα στα πραγματικά ενεργά ηφαίστεια. Ο ρόλος της φωτογραμμετρίας, σε αυτά τα πειράματα είναι η συλλογή αριθμητικών και ποιοτικών δεδομένων που αφορούν τις αστοχίες, όπως η διείδυση μάγματος, η αλλαγές του πυρήνα, η εξέλιξη των ρηγμάτων και των πτυχών, και επομένως αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για την συστηματική μελέτη προέλευσης των αστοχιών αυτών και κατ' επέκταση την εκτίμηση της επικινδυνότητας τους.



Εικόνα 13. . Παράδειγμα από μελέτη προσομοίωσης ηφαιστείου με χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων (Donnadieu F. *et al.*, 2003). Αριστερά, απεικονίζονται χάρτες μετατοπίσεων που υπολογίζονται με ψηφιακή φωτογραμμετρία από διαδοχικές μονοσκοπικές εικόνες. Δεξιά απεικονίζονται (α) Χάρτης σκιασμένης εικόνας από παραμορφωμένο DEM που δείχνει το σφάλμα. (β) Χάρτης περιγράμματος του παραμορφωμένου ηφαιστείου. (γ) Χάρτης κατανομής κάθετης παραμόρφωσης. (δ) Σκίτσο που δείχνει το πρότυπο βλάβης και τους οριζόντιους φορείς παραμόρφωσης. (ε) Ανακατασκευή του παραμορφωμένου κώνου (υψηλότερο σημείο: 9 cm πάνω από τη βάση, αρχικό ύψος 10 cm).

6.9 Εφαρμογές στην Διδακτική της Γεωλογίας.

Η δημιουργία 3D μοντέλων με τη χρήση της φωτογραμμετρίας έχει προφανείς παιδαγωγικές εφαρμογές. Πολλοί φοιτητές δυσκολεύονται να οπτικοποιήσουν την τρισδιάστατη φύση των γεωλογικών δομών, όταν αυτά εμφανίζονται σε τυπικές φωτογραφίες. Τρισδιάστατα μοντέλα γεωλογικών εμφανίσεων, στα οποία θα έχουν πρόσβαση οι φοιτητές, μπορεί να βοηθήσουν να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο στην οπτικοποίηση, και εν τέλει στην μάθηση. Τα διαδραστικά αυτά μοντέλα δεν έχουν στόχο την αντικατάσταση των ασκήσεων υπαίθρου, αλλά δίνουν την δυνατότητα στους φοιτητές να «επιστρέφουν» καθώς μαθαίνουν νέες έννοιες, και έτσι τους βοηθούν στην μελέτη σε βάθος ενός αντικειμένου καθώς και την σύνδεση της θεωρίας με αληθινά παραδείγματα.

Η 3D αποτύπωση γεωλογικών εννοιών μπορεί να λειτουργήσει και σαν συμπληρωματικό υλικό στα μαθήματα της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Θεσσαλονίκη 2019

7. Εφαρμογές σε άλλους Επιστημονικούς Κλάδους.

Η φωτογραμμετρία είναι ένα σημαντικό εργαλείο για πολλαπλούς κλάδους. Χρησιμοποιείται για την δημιουργία ψηφιακών μοντέλων DEM και την λήψη τοπογραφικών μετρήσεων, την δημιουργία τρισδιάστατων προβολών κτιρίων για αρχιτεκτονικές μελέτες, την παρακολούθηση και διαχείριση των γεωργικών εργασιών καθώς και την παρακολούθηση και διαχείριση κατασκευών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος.

Στην περίπτωση της αρχαιολογίας (Lerma et al. 2010) η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων σε ιστορικά κτίρια έχει καταστεί απαραίτητη, στοχεύοντας στην συνεχή παρακολούθησή τους, ως προς τις αλλαγές τους, μέσα σε διάρκεια χρόνου. Τα μοντέλα αυτά πρέπει να παρέχουν υψηλή γεωμετρική ακρίβεια και λεπτομέρεια, ώστε να είναι ουσιαστική η παρατήρηση. Η τεχνική της φωτογραμμετρίας χρησιμοποιείται κυρίως για την συλλογή δεδομένων στους χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς (Gruen et al., 2002; Debevec, 1996), ενώ τις τελευταίες δυο δεκαετίες έχει αυξηθεί η χρήση της, εξαιτίας της ανάπτυξης ψηφιακών ροών εργασίας. Επειδή όμως, ορισμένα από τα ζητούμενα δεδομένα (π.χ. η υφή) ενδέχεται να μην είναι υψηλής ποιότητας όπως απαιτείται, η μελέτη εκτός από φωτογραμμετρικές μεθόδους μπορεί να συμπεριλαμβάνει και σάρωση με λέιζερ.

Παραδείγματα χρήσης αυτής της μεθοδολογίας 3D ψηφιακής συντήρησης υψηλής ποιότητας, χρησιμοποιήθηκε σε επιλεγμένα παλάτια στην έρημο της Ιορδανίας από τους Al-kheder et al. (2009).

Τα ψηφιακά 3D μοντέλα αυτών των ανακτόρων χρησιμοποιούνται κυρίως για την διαχείριση της κληρονομιάς, τη συντήρησή τους, την εκπαίδευση, τις εικονικές επισκέψεις κ.ά.

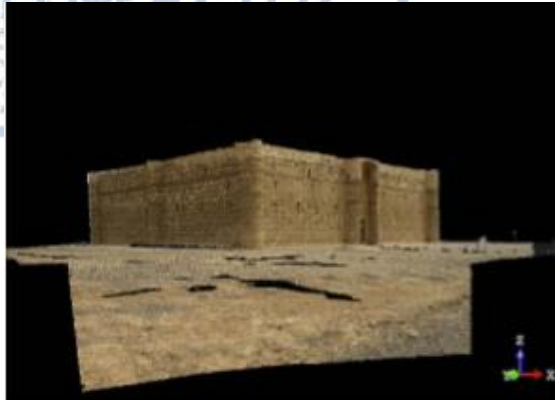
Αρχικά δημιούργησαν ένα λεπτομερή χάρτη GIS, ο οποίος δείχνει την ακριβή θέση των ερημικών ανακτόρων στην περιοχή.

Οι ποικίλες περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή την οποία βρίσκονται τα παλάτια αυτά, επηρεάζουν την κατάστασή τους. Η πιο επιβλαβής απειλή για τα συγκεκριμένα ανάκτορα κρίθηκε ότι είναι οι δονήσεις από τα βαριά φορτηγά τα οποία ταξιδεύουν κατά μήκος της εθνικής οδού, η οποία περνά ανάμεσα τους (Euromedheritage, 2008). Απαιτείται λοιπόν, μια διεξοδική μελέτη για την αξιολόγηση των τρεχουσών απειλών και των αναγκών συντήρησης των παλατιών, ώστε να διασφαλιστεί η βιωσιμότητά τους.

Για την δημιουργία ενός νέφους σημείων, συλλέχθηκαν δεδομένα από σκάνερ λέιζερ, καθώς και πολλαπλές επικαλυπτόμενες φωτογραφίες. Ύστερα με την χρήση ειδικού λογισμικού, παράχθηκε τρισδιάστατη προβολή των παλατιών και το τελικό μοντέλο είχε περίπου τέσσερα εκατομμύρια τρίγωνα.

Στην συνέχεια έγινε επεξεργασία της υφής για να γίνει ενσωμάτωση των μετρήσεων από τον σαρωτή λέιζερ με πληροφορίες από τις εικόνες που είχαν ληφθεί με την κάμερα, οι οποίες πρώτα είχαν επεξεργαστεί ξεχωριστά και στην συνέχεια ενώθηκαν.

Θεσσαλονίκη 2019



Με τον τρόπο αυτό, η υφή χαρτογραφήθηκε σε όλα τα πολύγωνα της εικόνας, ενώ τα τρίγωνα της εικόνας υπολογίστηκαν μέσω των εξισώσεων της γραμμικότητας, με αποτέλεσμα η τρισδιάστατη προβολή να γίνει όσο πιο ρεαλιστική.

Η διαδικασία που περιεγράφηκε, αποτελείται από τρία βασικά βήματα: την προεπεξεργασία, η οποία περιλαμβάνει την

βαθμονόμηση της κάμερας, την διόρθωση χρωμάτων και την καταχώριση δεδομένων και τέλος, την χρήση υπολογιστή (διόρθωση της υφής).

Στο τελικό στάδιο της μελέτης, έγινε συνδυασμός όλων των πληροφοριών, με αποθήκευσή τους σε στρώματα, σε μία βάση δεδομένων GIS για ολοκληρωμένη χωρική μοντελοποίηση του τοπίου. Αυτή θα αποτελέσει μελλοντικά το καλύτερο εργαλείο για την επίτευξη του στόχου για τον οποίο έγινε η μελέτη αρχικά.



Εικόνα 14. Τα τελικά 3D μοντέλα των κάστρων. Al-kheder et al. (2009).

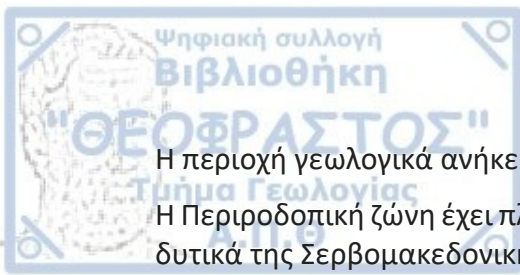
8. Παράδειγμα γεωλογικής χαρτογράφησης μικρής κλίμακας και τρισδιάστατη απεικόνιση.

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η γεωλογική παρατήρηση μιας περιοχής, και να αποτιμήσει την συμβολή που έχει η δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του μελετώμενου πρανούς με την χρήση φωτογραμμετρικού λογισμικού και εικόνων οι οποίες λήφθηκαν από κινητό τηλέφωνο.

8.1 Γεωλογική τοποθέτηση

Το τεχνητό πρανές που επιλέχθηκε για την συγκεκριμένη εργασία και από το οποίο λήφθηκαν οι φωτογραφίες για την δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου, βρίσκεται στην Ευκαρπία, και αποτελεί παλαιό κομμάτι των λατομείων της ΤΙΤΑΝ. Η Ευκαρπία ανήκει στο γεωλογικό φύλλο ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ-ΘΕΡΜΗ του ΙΓΜΕ σε κλίμακα 1:50.000.

Θεσσαλονίκη 2019



Η περιοχή γεωλογικά ανήκει στην Περιοδοπική ζώνη των Εσωτερικών Ελληνίδων.

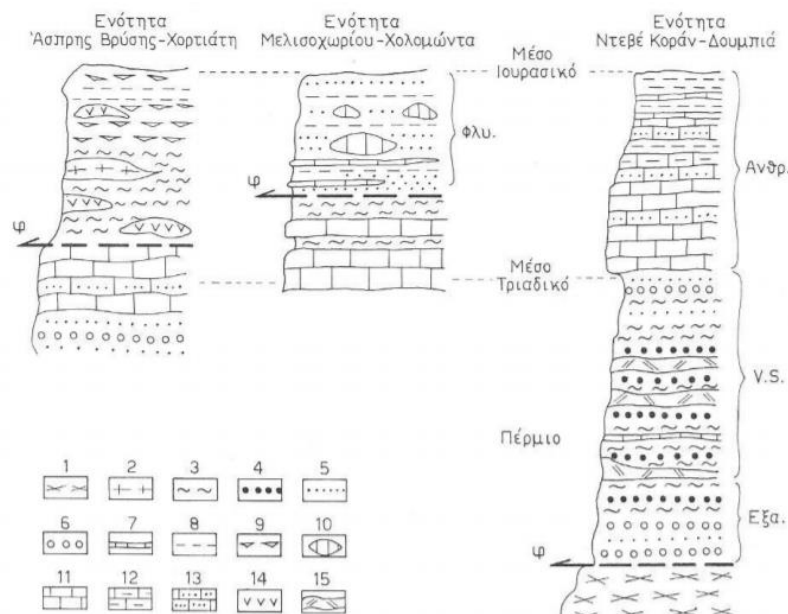
Η Περιοδοπική ζώνη έχει πλάτος 10-20 Km, έχει βασική διάταξη ΒΔ-ΝΑ και βρίσκεται δυτικά της Σερβομακεδονικής. Η ζώνη ξεκινά από τα σύνορα της Ελλάδος με την Βόρεια Μακεδονία, και προεκτείνεται προς τα ΝΑ στην λίμνη Λαγκαδά, τον κορμό Χαλκιδικής και την χερσόνησο της Σιθωνίας όπου κάμπτεται και με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ προεκτείνεται προς την Σαμοθράκη και την περιοχή της Αλεξανδρούπολης-Έβρου. Η περιοχή της Θεσσαλονίκης καλύπτεται από Περιοδοπικούς σχηματισμούς, ήπιας μεταμόρφωσης, πρασινοσχιστολιθικής φάσης.

Η Περιοδοπική ζώνη αποτελείται από τρεις βασικές ενότητες με ανάπτυξη ΒΔ-ΝΑ και από τα ανατολικά προς τα δυτικά είναι: η ενότητα Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά, η ενότητα Μελισχωρίου-Χολομώντα και η ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη.

Πιο συγκεκριμένα το τεχνητό πρυνές το οποίο μελετάμε ανήκει στην ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη.

Η ενότητα Βρύση -Χορτιάτη αρχίζει βόρεια της Θεσσαλονίκης και διέρχεται από τον Χορτιάτη, φτάνει στα νότιο άκρο της Σιθωνίας και επεκτείνεται μέχρι το άκρο του Αγίου Ορους, με ευγεωσυγκλινική ανάπτυξη κατά της διάρκεια του Κάτω -Μέσου Ιουρασικού. Τα κατώτερα τμήματα της ενότητας είναι Περμο- Τριαδικής ηλικίας μετακλαστικά ηφαιστειοκλαστικά και νηριτικά ανθρακικά ιζήματα.

Ο ανώτερος ορίζοντας αποτελείται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας όπως μαύροι κερατόλιθοι, κόκκινοι αργιλικοί σχιστόλιθοι, μαύροι γραφιτικοί φυλλίτες, μάρμες και χαλαζιακοί σχιστόλιθοι. Μέσα στα ιζήματα παρεμβάλλονται οφειολιθικά σώματα με βασικά και υπερβασικά πετρώματα. Τέλος μέσα στον ορίζοντα αυτό παρεμβάλλονται μεταμορφωμένα πετρώματα όξινης μαγματικής προέλευσης, όπως παλιοί διορίτες, γρανοδιορίτες και γρανίτες που μεταμορφώθηκαν στην πρασινοσχιστολιθική φάση και δημιούργησαν τους σημερινούς πράσινους επιγνευσίους της Θεσσαλονίκης. αυτά τα πετρώματα αποτελούν την «Μαγματική σειρά Χορτιάτη» και εναλλάσσονται με μεταιζήματα, φυλλίτες, σερικιτικούς σχιστόλιθους, μάρμαρα, σιπολίνες, χλωριτικού-επιδοτιτικούς σχιστολίθους.



- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Κρυσταλοσχιστώδεις Υπόβαθρο | 2. Πρασινγενέσιοι Θεσ/νίκης |
| 3. Σχιστόλιθοι και ψαμμίτες | 4. Πυροκλαστικά Υλικά |
| 5. Μεταψαμμίτες, χαλαζίτες | 6. Μετα - κροκαλοπαγή |
| 7. Ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι | 8. Αργίλιοι σχιστόλιθοι και μάργες |
| 9 Κερατόλιθοι | 10. Ολισθόλιθοι Τριαδικών μαρμάρων |
| 11. Ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι | 12. Μαργαίκοι Ασβεστόλιθοι |
| 13. Ψαμμιτικοί Ασβεστόλιθοι | 14. Οφιόλιθοι |
| 15. Ηφαιστειακά υλικά | |
| φ. Τεκτονική Επαφή | Εξα.: σχηματισμός Εξαμίλιου |
| V.S.: ηφαιστειοζηματογενής σειρά | Ανθρ.: ανθρακική νηριτική σειρά |
| Φλυ.: Φλύσσης | |

Εικόνα 16. . Στρωματογραφικές στήλες ενοτήτων Ασπρης Βρύσης-Χορτιάτη, Μελισσοχωρίου-Χολομώντα, Ντεβέ Κοράν- Δουμπιά, της Περιοδοπικής ζώνης.



Εικόνα 17. Ακριβής τοποθεσία πρανούς μελέτης.

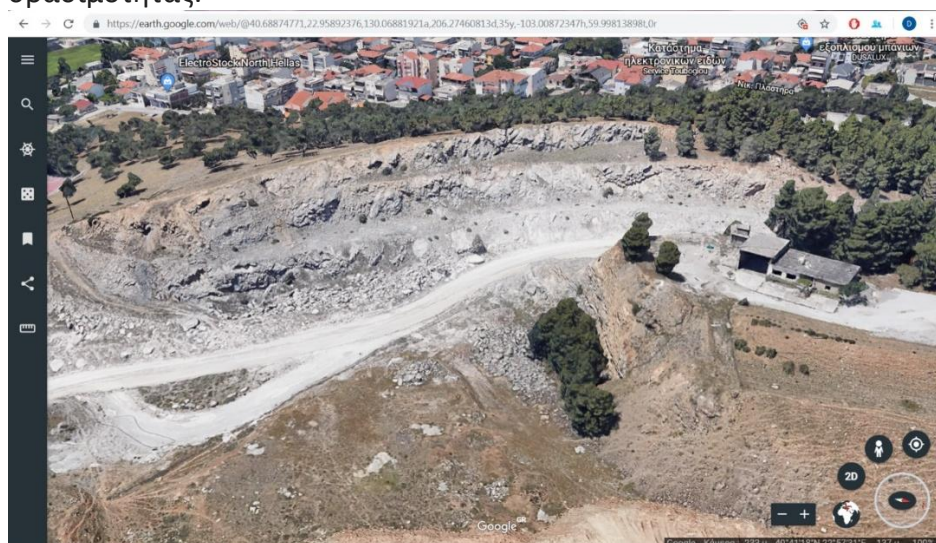


Εικόνα 18. Τοποθεσία πρανούς μελέτης στο Google Earth.

Στο σημείο μελέτης ο σχηματισμός που συναντάμε είναι φακός Τριαδικού παχυστρωματώδη ασβεστολίθου μέσα σε φυλλίτες, τεφρού χρώματος, πτυχωμένου με παρουσία κανονικών ρηγμάτων.

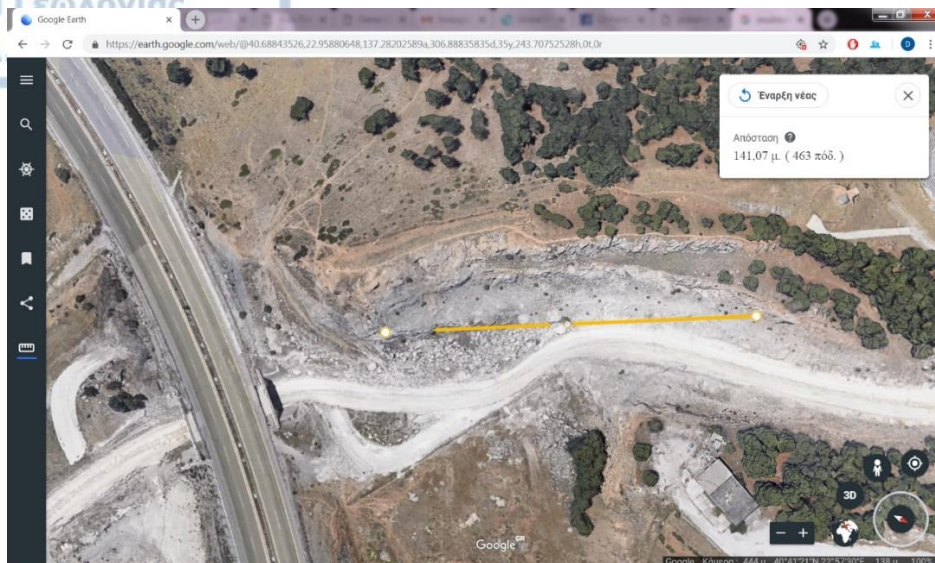
8.2 Μοντέλα

Για τη διεκπεραίωση της συγκεκριμένης εργασίας, αρχικά επιλέχτηκε το σημείο μελέτης, το οποίο εντοπίστηκε στο Google Earth, και λήφθηκαν οι πρώτες πληροφορίες όπως η ακριβής θέση(συντεταγμένες), το μέγεθος του, και αν είναι κατάλληλο για τον σκοπό της εργασίας. Το συγκεκριμένο τεχνητό πρανές επιλέχτηκε λόγω εύκολης προσβασιμότητας.



Εικόνα 19. Αποτύπωση πρανούς από το Google Earth

Θεσσαλονίκη 2019



Εικόνα 20. Μέγεθος πρανούς μελέτης.(Google Earth).

Στην ύπαιθρο, με την βοήθεια κινητού τηλεφώνου λήφθηκαν 50 επικαλυπτόμενες φωτογραφίες σε σειρά, με μεταξύ τους επικάλυψη μεγαλύτερη του 60%, και στην συνέχεια λήφθηκαν μετρήσεις της διεύθυνσης κλίσης των στρωμάτων και των κανονικών ρηγμάτων και με την βοήθεια της εφαρμογής Clino για Android, οι οποίες και καταγράφηκαν.

Στην συνέχεια, για την φωτογραμμετρική επεξεργασία εισάχθηκαν σε φωτογραμμετρικό λογισμικό οι 50 φωτογραφίες που λήφθηκαν στην ύπαιθρο και ικανοποιούσαν τα κριτήρια επικάλυψης μεταξύ τους, και κάθε μια από αυτές είχε ανάλυση 3120 x 4160 pixels.

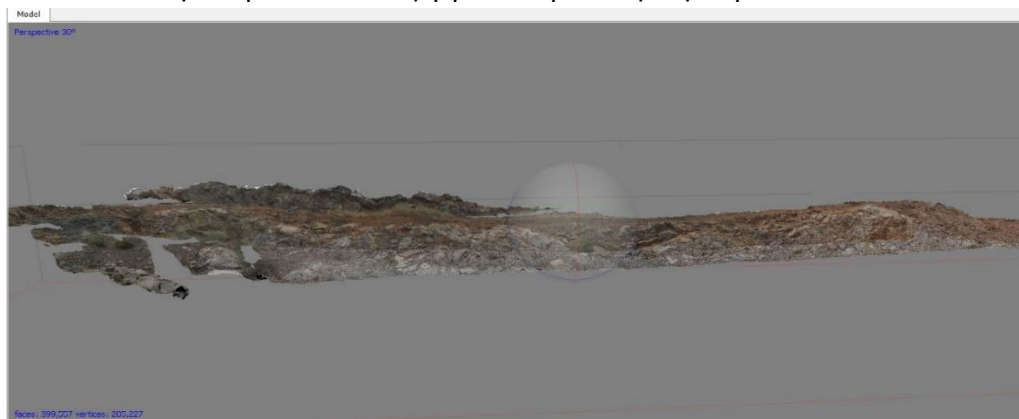


Εικόνα 21. Φωτογραφίες υπαίθρου. Αριστερά φαίνεται η στρώση του ασβεστόλιθου. Δεξιά φαίνονται κανονικά ρήγματα από τα οποία λήφθηκαν μετρήσεις.

Η διαδικασία επεξεργασίας και κατασκευής του τρισδιάστατου μοντέλου περιλάμβανε τα εξής στάδια:

- Κατά το πρώτο στάδιο έγινε αυτόματη ευθυγράμμιση των φωτογραφιών από το λογισμικό. Το λογισμικό εντόπισε τα κοινά σημεία των φωτογραφιών ενώ χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της θέσης της μηχανής στον χώρο και τις ακριβείς συντεταγμένες, έδωσε σαν αποτέλεσμα ένα αραιό σύννεφο σημείων.
- Στην συνέχεια ακολούθησε η κατασκευή ενός πυκνού σύννεφου σημείων και μετέπειτα η κατασκευή ενός τρισδιάστατου πολυγωνικού πλέγματος το οποίο αναπαριστούσε την επιφάνεια του πρανούς βασισμένο σε dense point cloud. Τέλος, έγιναν κάποιες διορθώσεις στο αποτέλεσμα που προέκυψε από το λογισμικό όπως η αφαίρεση της επιφανειακής βλάστησης και κάποιων απομονωμένων σημείων χωρίς ενδιαφέρον.

Από την παραπάνω επεξεργασία προέκυψε η παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 22. Δημιουργία 3D μοντέλου με την βοήθεια φωτογραμμετρικού λογισμικού .
Θεσσαλονίκη 2019

8.3 Σημεία μετρήσεων

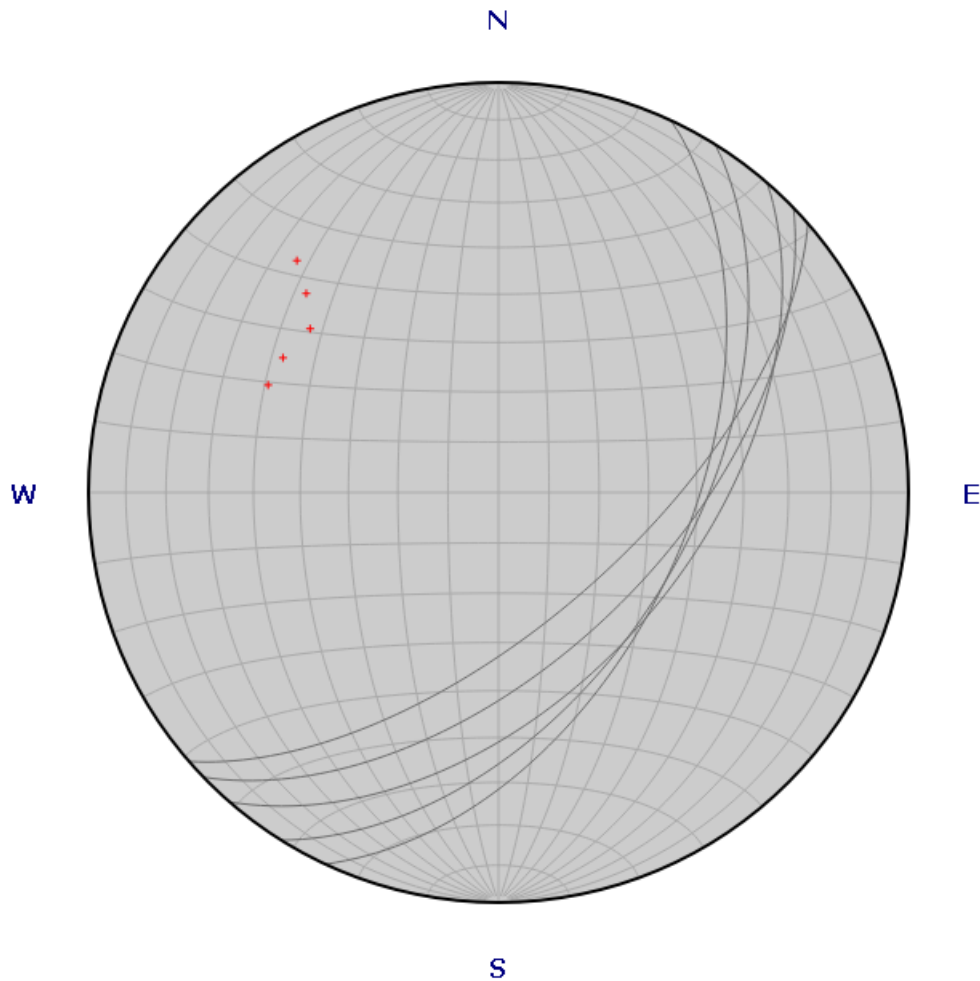
Οι μετρήσεις που λήφθηκαν πάρθηκαν από τα σημεία που ήταν δυνατό και φαίνονται στην παρακάτω εικόνα και αφορούν ρήγματα και στρώση.



Εικόνα 23. Σημεία από τα οποία λήφθηκαν οι μετρήσεις.

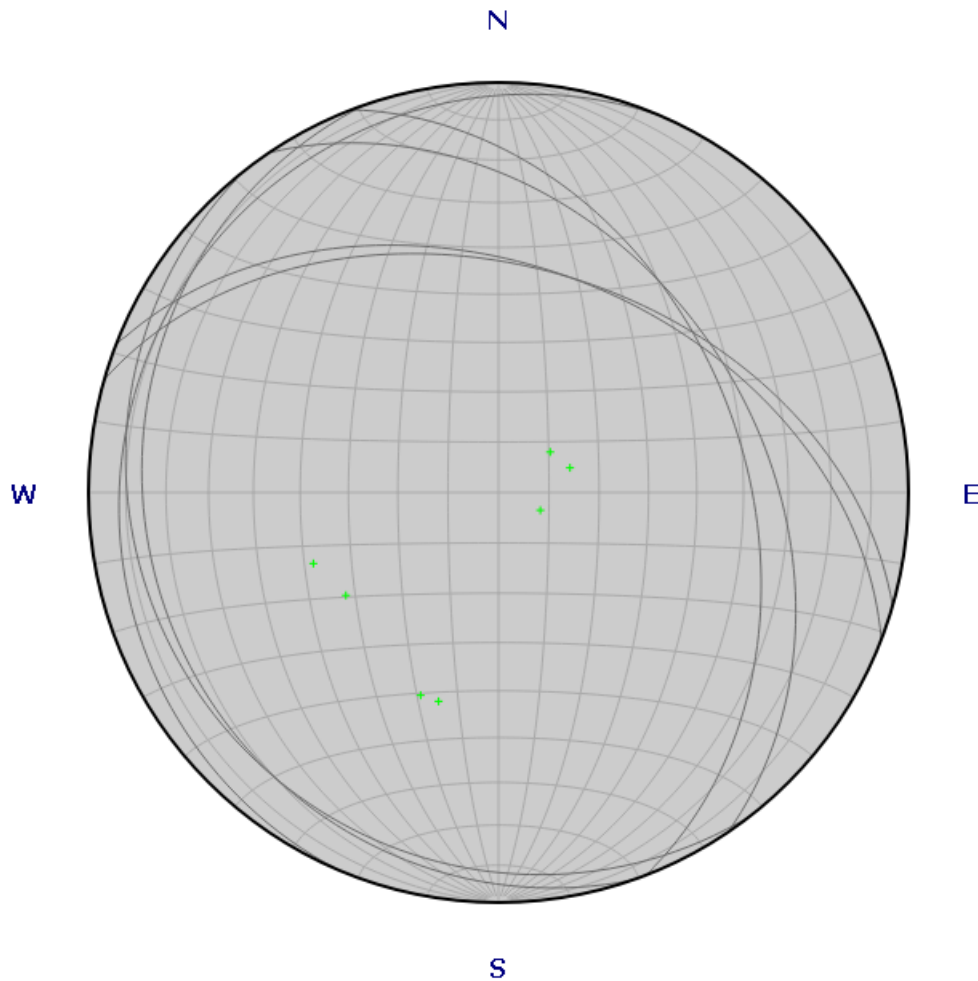
8.4 Διαγράμματα

Από το πρηνές λήφθηκαν μετρήσεις από τα ρήγματα και την στρώση. Με βάση τις μετρήσεις αυτές προέκυψαν τα παρακάτω δίκτυα Schmidt με την χρήση του προγράμματος GeoRose.



Εικόνα 24. Δίκτυο Schmidt με χρήση προγράμματος GeoRose, μετρήσεις ρηγμάτων

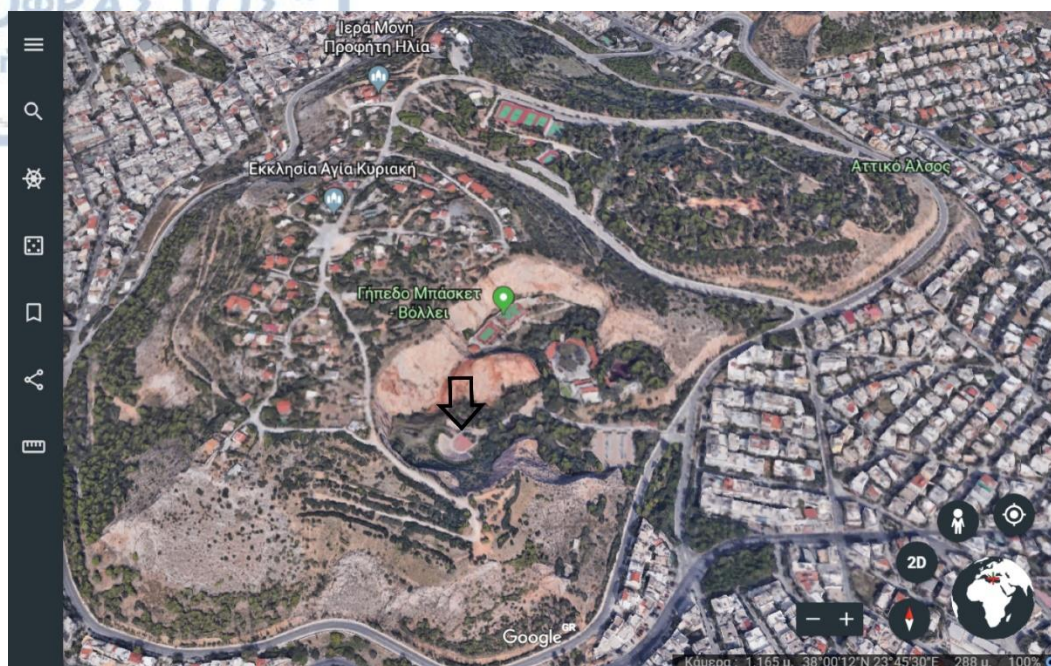
Στο πρώτο δίκτυο Schmidt, που προκύπτει από τις μετρήσεις που λήφθηκαν από το μελετώμενο πρανές, αποτυπώνονται κανονικά ρήγματα με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, τα οποία έρχονται σε συμφωνία με τον τεκτονισμό του Πλειόκαινου όπου προέκυψαν ρήγματα με την διεύθυνση αυτή. (Tranos, 1998; Tranos & Mountrakis, 1998)



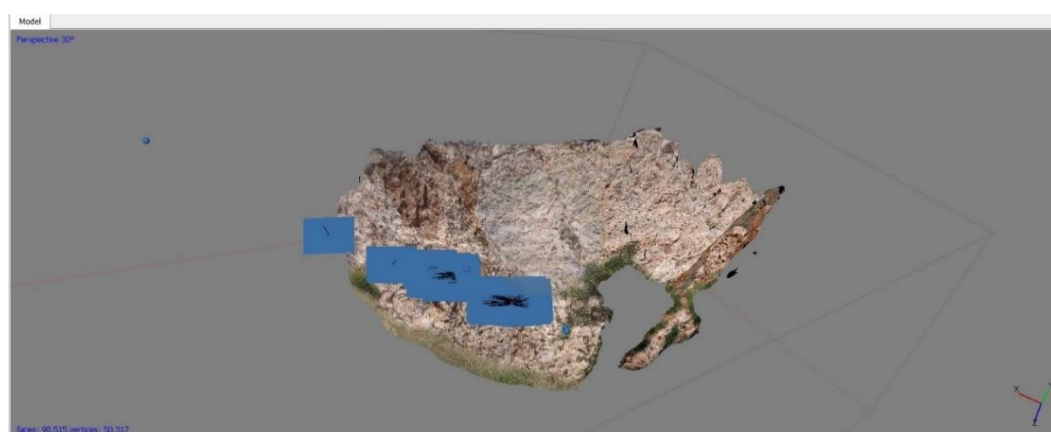
Εικόνα 25. Δίκτυο Schmidt με χρήση προγράμματος GeoRose. μετρήσεις στρώσης
Στο δεύτερο δίκτυο Schmidt αποτυπώνονται οι διευθύνσεις των στρωμάτων του πρα-
νούς με παράταξη ΒΔ-ΝΑ και κλίση προς τα ΒΑ καθώς και ΒΒΔ-ΝΝΑ με κλίση Δ.

9.5 Άλλες προσπάθειες δημιουργίας μοντέλων

Στην προσπάθεια εξοικείωσης με τη χρήση φωτογραμμετρικού λογισμικού έγιναν και άλλες προσπάθειες αποτύπωσης πρανών. Το παρακάτω μοντέλο προέκυψε από τε-
χνητό πρανές στο υπαίθριο θέατρο του αττικού άλσους στην Αθήνα. Στην δεύτερη
εικόνα, η αποτύπωση με την μορφή θόλου, αλλοιώνει την ρεαλιστική εικόνα του πρα-
νούς και δημιουργεί τα «κενά» στην μορφολογία του, καθιστώντας την χρήση της
συγκεκριμένης εικόνας καθόλου βοηθητική και οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι είναι
αναγκαία η λήψη των εικόνων σε σειρά, και όχι από το ίδιο σημείο.



Εικόνα 26. Ακριβής τοποθεσία πρανούς στο Αττικό Άλσος του Δήμου Αθηναίων, από το οποίο προέκυψε το παρακάτω αποτυχημένο 3D μοντέλο.



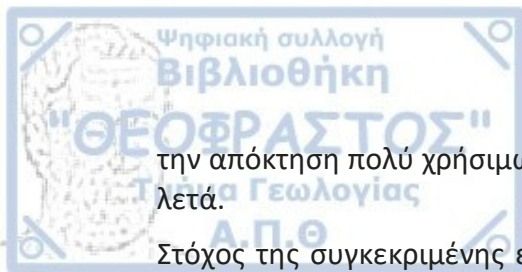
Εικόνα 27. Αποτυχημένη προσπάθεια δημιουργίας 3D μοντέλου. Περιοχή υπαίθριο θέατρο αττικού

9. Συμπεράσματα

Η φωτογραμμετρία είναι ένας πολύ χρήσιμος κλάδος της επιστήμης για την συλλογή και την επεξεργασία δεδομένων αναγλύφου με πολλαπλές εφαρμογές σε άλλους επιστημονικούς κλάδους και μη, και συγκεκριμένα τη γεωλογία.

Η εξέλιξη της φωτογραμμετρίας και η ανάπτυξη πολλών φωτογραμμετρικών λογισμικών μέσα στον χρόνο, έχει φέρει την απλούστευσή της, με αποτέλεσμα να είναι εύκολη στην χρήση σε ένα πρώτο επίπεδο και προσιτή από όλους χωρίς αυτοί να είναι ειδικά εκπαιδευμένοι. Παρ' όλα αυτά, ένας εξειδικευμένος χρήστης τέτοιων λογισμικών, έχει σημαντικές δυνατότητες επεξεργασίας φωτογραμμετρικών δεδομένων και

Θεσσαλονίκη 2019



την απόκτηση πολύ χρήσιμων πορισμάτων για την περιοχή ή το αντικείμενο που μελετά.

Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας αποτέλεσε να δείξει πως η εξέλιξη της φωτογραμμετρίας έχει οδηγήσει στο ότι με την χρήση ενός κινητού τηλεφώνου και ενός απλού υπολογιστή μπορεί να εμπλουτιστεί η γεωλογική παρατήρηση μιας περιοχής άμεσα, να μειώσει το κόστος της και το χρόνο που απαιτεί, καθώς και να δώσει την δυνατότητα στον εκάστοτε γεωλόγο, να μην είναι απαραίτητο να δημιουργήσει ένα προσχέδιο της περιοχής πριν την μελέτη πεδίου ή να είναι δυνατές οι έμμεσες μετρήσεις στην περιοχή μετά την αποχώρηση από αυτήν. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι η αποτύπωση της περιοχής μελέτης με αρκετά μεγάλη ακρίβεια, όσο μεγάλη και αν είναι αυτή, και όλων των δομών που εμπεριέχει.

Για την διεκπεραίωση αυτής της εργασίας, επιλέχτηκε η περιοχή μελέτης, μελετήθηκε η γεωλογία της περιοχής από την βιβλιογραφία, και στην συνέχεια εντοπίστηκαν με την βοήθεια του google maps τα πιθανά πρηνή που φαινόταν να ικανά να μας δώσουν αρκετά δεδομένα για να οδηγηθούμε σε κάποιο συμπέρασμα. Κατά την επίσκεψη στα πρηνή αυτά, καταλήξαμε σε αυτό που ήταν πιο εύκολα προσβάσιμο και ήταν δυνατή η λήψη περισσότερων μετρήσεων.

Με την χρήση κινητού λήφθηκαν επικαλυπτόμενες φωτογραφίες σε σειρά, τόσες ώστε να έχουν μεταξύ τους επικάλυψη μεγαλύτερη του 60% και να αποτυπώνουν όλη την περιοχή του πρηνούς. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή και στην επικάλυψη των φωτογραφιών αλλά και στην απόσταση και την συνεχόμενη λήψη τους, γιατί έτσι μειώνεται η πιθανότητα σφαλμάτων κατά την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου.

Στην συνέχεια λήφθηκαν όσες μετρήσεις των γεωμετρικών στοιχείων των στρωμάτων και των κανονικών ρηγμάτων ήταν δυνατόν με την βοήθεια κατάλληλης εφαρμογής για κινητά Android, αντικαθιστώντας την γεωλογική πυξίδα και κρατώντας ιστορικό όλων των μετρήσεων, κατηγοριοποιώντας τις ανάλογα με το τι είδους δομή μετρήσαμε, τα ακριβή στοιχεία της μέτρησης (παράταξη-κλίση), τις γεωγραφικές συντεταγμένες και την ώρα λήψης.

Κατά την φωτογραμμετρική επεξεργασία η διαδικασία στο περίπου είναι η εξής: πρέπει να επιλεγούν οι καλύτερες φωτογραφίες, να ευθυγραμμιστούν, να κατασκευαστεί ένα αραιό σύννεφο σημείων από το οποίο στην συνέχεια θα προκύψει ένα πυκνό σύννεφο σημείων και από το οποίο στην συνέχεια θα κατασκευαστεί ένα τρισδιάστατο πολυγωνικό πλέγμα που θα αναπαριστά την επιφάνεια του πρηνούς μελέτης. Σε αυτό το σημείο ίσως χρειαστεί επιπλέον επεξεργασία διορθωτικού χαρακτήρα όπως κλείσιμο κενών στο πλέγμα, αφαίρεση απομονωμένων σημείων κ.ά. Τέλος γίνεται η δημιουργία της υψής του αναγλύφου εφαρμόζοντας ουσιαστικά τις φωτογραφίες επάνω στο τρισδιάστατο μοντέλο που έχει χτιστεί.

Έπειτα με την βοήθεια του τρισδιάστατου μοντέλου και με τα διαγράμματα που κατασκευάζονται από τις μετρήσεις για να αποτυπώσουν τις δομές, ο μελετητής καταλήγει στα συμπεράσματά του.

Η φωτογραμμετρία μπορεί να παίζει καθοριστικό ρόλο στην μελέτη της Γεωλογίας και όχι μόνο, παρόλα αυτά η επιτόπια έρευνα στο πεδίο και η επιπλέον εξειδίκευση του ερευνητή σε όλο το φάσμα των δυνατοτήτων της φωτογραμμετρίας θα παίζει

Θεσσαλονίκη 2019



πάντα καθοριστικό ρόλο στην μελέτη. Αυτό σημαίνει ότι η εξέλιξη της φωτογραμμετρίας δεν μπορεί να παραγκωνίσει τον ρόλο του ερευνητή, αλλά να τον εμπλουτίσει με πολλές άλλες δυνατότητες, και να γίνει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για ευρεία χρήση.



10.Βιβλιογραφία

Aguilar M. A., Aguilar F.J. Agüera F., Carvajal F. (2005), The Evaluation of Close-range Photogrammetry for the Modelling of Mouldboard Plough Surfaces, *Biosystems Engineering* 90, 397–407. doi: 10.1016/j.jas.2008.10.009.

Al-kheder S., Al-shawabkeh Y., Haala N. (2009), Developing a documentation system for desert palaces in Jordan using 3D laser scanning and digital photogrammetry, *Journal of Archaeological Science* 36(2), 537–546. doi: 10.1016/j.jas.2008.10.00

Al-Ruzouq R., Samih R. Al. (2014), Geomatics for Rehabilitation of Mining Area in Mahis, Jordan, *Journal of Geographic Information System* 6, 123-134. doi: 10.4236/jgis.2014.62014

Atkinson K.B. (1996), *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*, Whittles Publishing, Scotland

Baltsavias E. P. (1999), A comparison between photogrammetry and laser scanning, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54(2–3), 83–94. doi: 10.1016/S0924-2716(99)00014-3.

Barazzetti L., Scaioni M., Feng T, Qiao G., Lu P., Tong X., Li R. (2013), Photogrammetry in experiments for hydrogeological risk assessment, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences-ISPRS Archives* 40(5W3), 145–152. doi: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W3-145-2013.

Bemis S. P., Micklethwaite S., Turner D., James M. R., Akciz S., Thiele S. T., Bangash Hasnain Ali (2014), Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology, *Journal of Structural Geology* 69 ,163-178 doi: 10.1016/j.jsg.2014.10.007

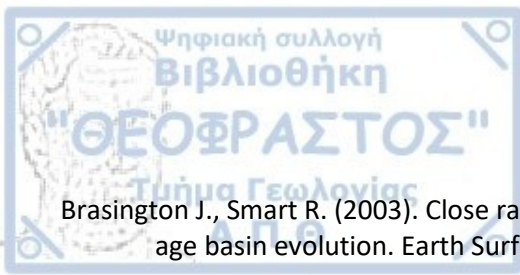
Beget J.E., Kienle J. (1992). Cyclic formation of debris avalanches at Mt. St. Augustine volcano, Alaska. *Nature* 356, 701-704.

Borgia A. (1994). Dynamic basis of volcanic spreading. *Journal of Geophysical Research* 99, 17791-17804.

Borgia A., Delaney P.T., Denlinger R.P. (2000). Spreading volcanoes. *Annual Review Earth Planetary Sciences* 28, 539-570.

Borgia A., Ferrari L., Pasquare G. (1992). Importance of gravitational spreading in the tectonic and volcanic evolution of Mount Etna. *Nature* 357, 231-235.

Θεσσαλονίκη 2019



Brasington J., Smart R. (2003). Close range digital photogrammetric analysis of experimental drainage basin evolution. *Earth Surf Processes Landforms*. 28, 231–247.

Brückl E., Brunner F. K., Kraus K. (2006). Kinematics of a deep-seated landslide derived from photogrammetric, GPS and geophysical data, *Engineering Geology* 88(3–4), 149–159. doi:10.1016/j.enggeo.2006.09.004

Carracedo J.C. (1994). The Canary Islands: an example of structural control on the growth of large oceanic-island volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 60, 225–241.

Casella E., Rovere A., Pedroncini A., Mucerino L., Casella M., Cusati L.A., Vacchi M., Ferrari M., Firpo M., (2014), Study of wave runup using numerical models and low-altitude aerial photogrammetry: A tool for coastal management, Elsevier Ltd, 26(1), 70–73. doi: 10.1016/j.ecss.2014.08.012.

Clarke T. A. (1995), An analysis of the prospects for digital close-range photogrammetry, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 50(3), 4–7. Doi: 10.1016/0924-2716(95)91285-R

Cooper M. A. R., Robson S. (1996). Theory of Close-Range Photogrammetry, *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*, 9–51.

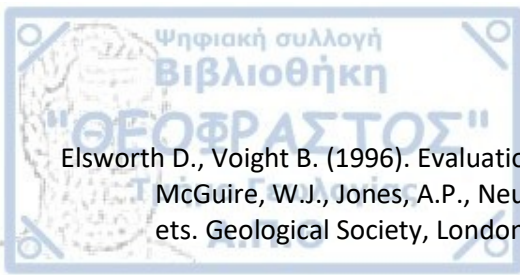
Debevec E. (1996). Modeling and rendering architecture from photographs. PhD thesis, University of California at Berkeley, USA.

Donnadieu F., Kelfoun K., van Wyk de Vries B., Cecchi E., Merle O. (2003), Digital photogrammetry as a tool in analogue modelling: applications to volcano instability, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 123, 161–180

Donnadieu F., Merle O. (2001). Geometrical constraints of the 1980 Mount St. Helens intrusion from analogue models. *Geophysical Research Letters* 28, 639–642.

Dueholm K. S., Garde A. A., Pedersen A. K. (1993), Preparation of accurate geological and structural maps, cross-sections or block diagrams from color slides, using multi-model photogrammetry, *Journal of Structural Geology*, 15(7), 933–937 doi: 10.1016/0191-8141(93)90186-E.

Elsworth D., Voight B. (1995). Dike intrusion as a trigger for large earthquakes and failure of volcano flanks, *Journal of Geophysical Research* 100, 6005–6024.



Elsworth D., Voight B. (1996). Evaluation of volcano flank instability triggered by dyke intrusion. In: McGuire, W.J., Jones, A.P., Neuberg J. (Eds.), Volcano Instability on the Earth and Other Planets. Geological Society, London, Special Publications, 110, 45-53

Feng T., Liu X., Scaioni M., Lin X., Li R. (2012). Real-time landslide monitoring using close-range stereo image sequences analysis, Paper presented at: Systems and Informatics, International Conference Yantai, China.

Fink J.H., Griffiths R.W. (1990). Radial spreading of viscous-gravity currents with solidifying crust. Journal of Fluid Mechanics, vol. 221, 485-509.

Firth C., Stewart I., McGuire W.J., Kershaw S., Vita-Finzi C. (1996). Coastal elevation changes in eastern Sicily: implications for volcano instability at Mount Etna. In: McGuire, W.J., Jones, A.P., Neuberg, J. (Eds.), Volcano Instability on the Earth and Other Planets. Geological Society, London, Special Publications 110, 153-167.

Fonstad M.A., Dietrich J.T., Courville B.C., Jensen J. L., Carbonneau P. E. (2013), Topographic structure from motion: A new development in photogrammetric measurement, Earth Surface Processes and Landforms, 38(4), 421–430. doi: 10.1002/esp.3366.

Franceschi M., Martinelli M., Gislimberti L., Rizzi A. Massiron M. (2015), Integration of 3D modeling, aerial LiDAR and photogrammetry to study a synsedimentary structure in the Early Jurassic Calcarei Grigi (Southern Alps, Italy), European Journal of Remote Sensing 48(July), 527–539.

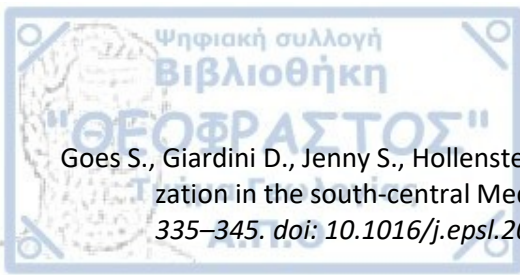
Francis P.W., Self S. (1987). Collapsing volcanoes. Scientific American Vol. 255, 90-97

Fu B., Lin A., Kano K.I., Maruyama T., Guo J. (2004), Application of stereoscopic satellite images for studying quaternary tectonics in arid regions, International Journal of Remote Sensing, 25(3), 537–547. doi: 10.1080/0143116031000150031.

Fukuzono T. (1990). Recent studies on time prediction of slope failure, Landslide News, 4,9–12

Gessese G.D., Fuchs H., Mansberger R., Klik A., Rieke-Zapp D.H. (2010). Assessment of erosion, deposition and rill development on irregular soil surfaces using close range digital photogrammetry. Photogrammetric Records 25, 299–318.

Gigli G., Fanti R., Canuti P., Casagli N. (2011). Integration of advanced monitoring and numerical techniques for the complete risk scenario analysis of rockslides: the case of Mt. Beni (Florence, Italy). Engineering geology 120 (1-4),48–59



Goes S., Giardini D., Jenny S., Hollenstein C., Kahle H.G., Geiger A. (2004), A recent tectonic reorganization in the south-central Mediterranean, *Earth and Planetary Science Letters* 226(3–4), 335–345. doi: 10.1016/j.epsl.2004.07.038.

Gorshkov G.S. (1959). Gigantic eruption of the volcano Bezymianny. *Bulletin of Volcanology* 20, 77-109.

Gruen A., Remondino F., Zhang L. (2002). Reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan, Afghanistan. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing XXXIV-5*, Corfu, Greece, 363-368

Guest J.E., Duncan, A.M., Chester, D.K., (1988). Monte Vulture volcano (Basilicata, Italy): an analysis of morphology and volcanoclastic facies. *Bulletin of Volcanology* 50, 244-257.

Hagan T.O. (1980), A case for terrestrial photogrammetry in deep-mine rock structure studies, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* 17,191-198

Head, J.W.I. (1996). Volcano instability development: a planetary perspective. In: McGuire, W.J., Jones, A.P., Neuberg, J. (Eds.), Volcano Instability on the Earth and Other Planets. *Geological Society, London, Special Publications*, 5-43.

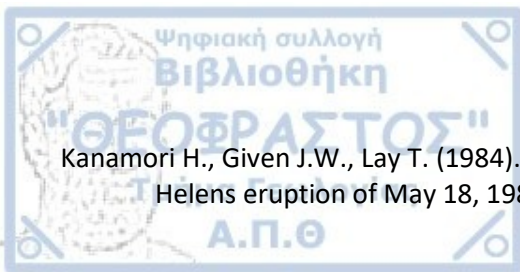
Heng B., Chandler J., Armstrong A. (2010). Applying close range digital photogrammetry in soil erosion studies. *Photogrammetric Records* 25,240–265

Hoek E., Brown E.T. (1997), Practical estimates of rock mass strength, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science* 34(8), 1165-1186

Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. (2002), Hoek-Brown failure criterion, Proceedings: NARMS-TAC conference, Toronto 8-10 July 2002.

Jonesa R.R., McCaffrey K.J.W., Clegg P., Wilsonc R.W., Hollimanb N.S., Holdsworthc R.E., Imberc J., Waggottd S. (2009), Integration of regional to outcrop digital data: 3D visualization of multi-scale geological models, *Computers & Geosciences* 35, 4–18.

Jordan, R., Kiejer, H.H. (1981). Topographic changes at Mount St. Helens: large-scale photogrammetry and digital terrain models. In: Lipman P.W., Mullineaux D.R. (Eds.), The 1980 Eruptions of Mount St. Helens, Washington, U.S. *Geological Survey Papers* 1250, 135-141.



Kanamori H., Given J.W., Lay T. (1984). Analysis of seismic body waves excited by the Mount St. Helens eruption of May 18, 1980. *Journal of Geophysical Research* 89, 1856-1866.

Kelfoun K. (1999). Processus de croissance et de stabilisation des domes de lave du Merapi (Java Centrale, Indonesie): modelisations numeriques des domes, dynamique des ecoulements pyroclastiques associes et surveillance par stereo-photogrammetrie. Ph.D. Thesis, Universite Clermont-Ferrand II, France, 261

Lerma J. Navarro S., Cabrelles M., Villaverde V. (2010). Terrestrial laser scanning and close-range photogrammetry for 3D archaeological documentation: The Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study, *Journal of Archaeological Science* 37, 499–507

Lipman P.W., Moore J.G., Swanson D.A. (1981). Bulging of the north flank before the May 18 eruption - geodetic data. In: Lipman, P.W., Mullineaux, D.R. (Eds.), *The 1980 Eruptions of Mount St. Helens*, Washington. U.S. Geological Survey Papers 1250, 143-155

Lopez D.L., Williams S.N. (1993). Catastrophic volcanic collapse: relation to hydrothermal processes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 123, 161-180

Mattioli G.S., Jansma P.E., Jaramillo L., Smith A.L. (1996). A desktop image processing and photogrammetric method for rapid volcanic hazard mapping: application to air-photo interpretation of Mount Pelée Martinique. *Bulletin of Volcanology* 58, 401-410.

Maciejak F. (1998). Apport du traitement d'image, de la stereo-photogrammetrie numerique et de la morphologie par les ombres a l'etude du volcanisme martien. Application a Tharsis Tholus, Ceraunius Tholus, Uranius Tholus et Uranius Patera. Ph.D. Thesis, Universite Clermont-Ferrand II, France, 315

Moore J.G., Albee W.C. (1981). Topographic and structural changes, March-July 1980 - photogrammetric data. In: Lipman, P.W., Mullineaux, D.R. (Eds.), *The 1980 Eruptions of Mount St. Helens*, Washington. U.S. Geological Survey of Papers 1250, 123-134.

Moore J.G., Clague D.A. (1992). Volcano growth and evolution of the island of Hawaii. *Geological Society of American Bulletin* 104, 1471-1484.

Murray J.B. (1988). The influence of loading by lavas on the siting of volcanic eruption vents on Mt. Etna. *Journal of Volcanology Geothermal Research* 35, 121-139.

Rieke-Zapp DH, Nearing MA. (2005). Digital close-range photogrammetry for measurement of soil erosion. *Photogrammetric Records* 20, 69–87.

Θεσσαλονίκη 2019

Scaioni M., Feng T., Barazzetti L., Previtali M., Lu P., Qiao G., Wu H., Chen W., Tong X., Wang W., Li R. (2015), Some applications of 2-D and 3-D photogrammetry during laboratory experiments for hydrogeological risk assessment, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(5–7), 473–496.

Scaioni M., Lu P., Feng T., Chen W., Wu H., Tong X., Wang W., Li R. (2013). Analysis of spatial sensor network observations during landslide simulation experiments. *European Journal of Environmental Civil Engineering*. 17, 802–825.

Al-kheder S., Al-shawabkeh Y., Haala N. (2009), Developing a documentation system for desert palaces in Jordan using 3D laser scanning and digital photogrammetry, *Journal of Archaeological Science* 36, 537–546

Sibatova S. (2013), Digital photogrammetry as a tool in analogue modelling: applications to volcano instability, *Linguistica Uralica*, 49(2), 117 doi: 10.1016/S0377-0273(03)00034-9.

Siebert L., (1984). Large volcanic debris avalanches: characteristics of source areas, deposits, and associated eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 22, 163-197.

Siebert L., Glicken H., Ui T. (1987). Volcanic hazards from Bezymianny and Bandaitype eruptions. *Bulletin of Volcanology* 49, 435-459.

Slama C. C. (1980)., *The Manual of Photogrammetry, 4th Edition*. American Society of Photogrammetrists, Falls Church, VA.

Smith M. J., Pain C. F. (2009), Applications of remote sensing in geomorphology', *Progress in Physical Geography* 33(4), 568–582. doi: 10.1177/0309133309346648.

Sturzenegger M., Yan M., Stead D., Elmo D. (2007), Application and limitations of ground-based laser scanning in rock slope characterization, *Rock Mechanics Symposium, Vancouver*, May 27-31, 29-36

Sturzenegger M., Stead D. (2009), Close-range terrestrial digital photogrammetry and terrestrial laser scanning for discontinuity characterization on rock cuts, *Engineering Geology. Elsevier B.V.* 106(3–4), 163–182. doi: 10.1016/j.enggeo.2009.03.004.

Tavani S., Corradetti A., Billi A. (2016), High precision analysis of an embryonic extensional fault-related fold using 3D orthorectified virtual outcrops: The viewpoint importance in structural geology, *Journal of Structural Geology* 86, 200-210



Tibaldi A., (1995). Morphology of pyroclastic cones and tectonics. *Journal of Geophysical Research* 100, 24521-24535.

Tüdeş T. (1996), Yer Fotogrametrisi KTÜ Basımevi, Mühendislik Fakültesi yayını,105

Tranos M.D. (1998). Contribution to the study of the neotectonics deformation in the region of Central Macedonia and North Aegean. PhD thesis, University of Thessaloniki (in Greek with extended English summary)

Tranos M.D & Mountrakis D. M. (1998). Neotectonic joints of Northern Greece: their significance on the understanding of the active deformation. *Bulletin of the Geological Society of Greece* 32(1), 209-219

van Wyk de Vries, B., Francis, P.W. (1997). Catastrophic collapse at stratovolcanoes induced by slow volcano spreading. *Nature* 387, 387-390.

van Wyk de Vries, B., Borgia, A. (1996). The role of basement in volcano deformation. In: McGuire, W.J., Jones, A.P., Neuberg, J. (Eds.), *Volcano Instability on the Earth and Other Planets*. Geological Society of London, Special Publications 110, 95-110.

van Wyk de Vries B., Kerle, N., Petley, D. (2000). Sector collapse forming at Casita volcano, *Nicaragua Geology* 28, 167-170.

van Wyk de Vries B., Matela, R. (1998). Styles of volcano induced deformation: numerical models of substratum texture, spreading and extrusion. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 81, 1-18.

van Wyk de Vries, B., Merle, O. (1996). The effect of volcanic constructs on rift fault patterns. *Geology* 24, 643-646.

van Wyk de Vries B., Merle O. (1998). Extension induced by volcanic loading in regional strike-slip zones. *Geology* 26, 983-986.

Voight B. (1988). A method for prediction of volcanic eruptions. *Nature* 332, 125-130.

Voight B. (2000). Structural stability of andesite volcanoes and lava domes. In: Francis P.W., Neuberg J., Sparks, R.S.J. (Eds.), *Causes and Consequences of Eruption of Andesite Volcanoes*, *Philosophical Transactions of the Royal Society* 358, 1663-1703.

Voight, B., Elsworth, D. (1997). Failure of volcano slopes. *Geotechnique* 47, 1-31.

Θεσσαλονίκη 2019



Voight, B., Glicken, H., Janda, R.J., Douglass, P.M. (1981). Catastrophic rockslide avalanche of May 18. In: Lipman, P.W., Mullineaux, D.R. (Eds.), The 1980 Eruptions of Mount St. Helens, Washington. *U.S. Geological Survey Papers* 1250, 347-377.

Vrublová D., Kapica R., Jirankova E., Strus A. (2015), Documentation of Landslides and Inaccessible Parts of a Mine Using an Unmanned UAV System and Methods of Digital Terrestrial Photogrammetry, *GeoScience Engineering* 61(3), 8–19. doi: 10.1515/gse-2015-0018.

Yakar M. (2011), Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features, *Experimental Techniques* 35(1), 54–59. doi: 10.1111/j.1747-1567.2009.00583. x.

Yakar M., Yilmaz H. M. (2008), Using in Volume Computing of Digital Close Range, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B3b. Beijing, C(Patikova), 119–124.

Yamashina K., Matsushima, T., Ohmi S. (1999). Volcanic deformation at Unzen, Japan, visualized by a time-differential stereoscopy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 89, 73-80.

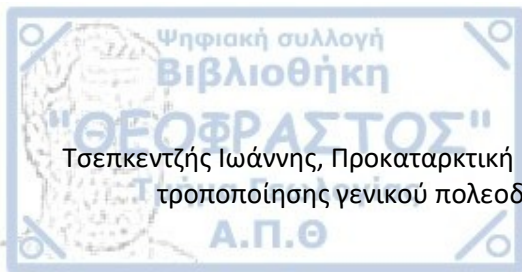
Zervopoulou A., Pavlides S. (2008). ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΡΗΓΜΑΤΑ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ - Neotectonic faults in the urban site of Thessaloniki.

Zlotnicki J., Ruegg J.C., Bachelery P., Blum, P.A., (1990). Eruptive mechanism on Piton de la Fournaise volcano associated with the December 4, 1983, and January 18, 1984 eruptions from ground deformation monitoring and photogrammetric surveys. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 40, 197- 217.

Γεωργούλα Όλγα, Αναλυτική Φωτογραμμετρία, Σημειώσεις για ανοιχτά ακαδημαϊκά μαθήματα, Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Μουντράκης Δ.Μ. (2010), *Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας*, University Studio Press, Θεσσαλονίκη

Παυλίδης, Σπύρος Β (2003). *Γεωλογία των σεισμών : Εισαγωγή στη νεοτεκτονική, μορφοτεκτονική και παλαιοσεισμολογία* ,1η έκδοση. Θεσσαλονίκη, University Studio Press.



Τσεπκεντζής Ιωάννης, Προκαταρκτική μελέτη γεωλογικής καταλληλότητας στα πλαίσια της μελέτης τροποποίησης γενικού πολεοδομικού σχεδίου Δήμου Πολίχνης νομού Θεσσαλονίκης

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

International Society for Photogrammetry and Remote Sensing – ISPRS

<http://www.isprs.org/society/history.aspx>

http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=view&id=73&Itemid=2

http://eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/MHXA156/Paroyysiaseis%20Mathimatos%20%28OCW%29/04%20-%20Enotita%204/MHXA156_Enotita_4.pdf

https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/1842/1/03_chapter_2.pdf

<http://eclass.opencourses.teicm.gr/eclass/modules/document/file.php/TMJ114/photol.pdf>

[https://el.wikipe-
dia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CE%
BC%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%AF%CE%B1](https://el.wikipe-
dia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CE%
BC%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%AF%CE%B1)

Euromedheritage website, 2008. http://www.euromedheritage.net/adopt/adopt_gallery/qasr_kharaneh.htm

<https://thehaskinssociety.wildapricot.org/photogrammetry>