



# Ποσοτικοποίηση επιφανειακών παραμορφώσεων με τη χρήση δεδομένων από επαναλαμβανόμενες μη επανδρωμένες πτήσεις

*Η περίπτωση του λιγνιτωρυχείου Αμυνταίου*

*Δρ. Εμμανουήλ Βασιλάκης*

*Επίκ. Καθηγητής Τηλεπισκόπησης – Μορφοτεκτονικής  
Ευαγγελία Κώτση, Ευθύμιος Λέκκας, Αθανασία Ερκέκη*



15 Μαρτίου 2019

2<sup>ο</sup> Επιστημονικό Forum για τη Μείωση της Διακινδύνευσης από Καταστροφές στην Ελλάδα

# Ανάλυση της μεθοδολογίας

- Συλλογή δεδομένων Τηλεπισκόπησης προηγούμενων χρονικών περιόδων *(αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες, GNSS κλπ)*
- Υπαίθρια επίσκεψη στον τόπο ενδιαφέροντος και οριοθέτηση της υπό αποτύπωση περιοχής
- Σχεδιασμός πλάνου πτήσης *(καθορισμός ύψους και κατεύθυνσης πτήσης, ποσοστών επικάλυψης α/φ, ταχύτητας πτήσης, θέσεων απογείωσης/προσγείωσης, διαθεσιμότητας σε μπαταρίες)*
- Ίδρυση επίγειων σημείων ελέγχου και μέτρησή τους με δέκτες GNSS υψηλής ακρίβειας *(RTK)*
- Πτήσεις ΣμηΕΑ και λήψη κατακόρυφων αεροφωτογραφιών *(ή/και πλάγιων για αποτυπώσεις μεγάλης κλίμακας)*
- Φωτογραμμετρική επεξεργασία
- Επανάληψη διαδικασίας σε διαφορετική χρονική περίοδο
- Σύγκριση προϊόντων *(DSM, ορθοεικόνων)* και ποσοτικοποίηση

# Ιστορικό

- Στις 10-6-2017 εκδηλώθηκε τεράστια κατολίσθηση στο Δυτικό περιθώριο του λιγνιτωρυχείου της ΔΕΗ στο Αμύνταιο
- 25 εκατ. τόνοι λιγνίτη θάφτηκαν και αναμίχθηκαν με εδαφικό υλικό, δημιουργώντας απώλεια περί τα 500 εκατ. Ευρώ
- Η κατολίσθηση προκάλεσε εκτεταμένες καταστροφές στο χωριό Ανάργυροι, με αποτέλεσμα σημαντικό μέρος του πληθυσμού του να μεταφερθεί σε ασφαλέστερες περιοχές
- Δημιουργήθηκε η ανάγκη για την εξεύρεση μιας μεθοδολογίας με στόχο τη συνεχή μέτρηση της επιφανειακής παραμόρφωσης (διαρρήξεις, καθιζήσεις), ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλή συνέχεια στη ζωή της τοπικής κοινωνίας



# Επιπτώσεις στη λειτουργία του λιγνιτωρυχείου



# Επιπτώσεις στις καλλιέργειες



11-6-2017



13-9-2017

# Επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον



# Επιπτώσεις στο δομημένο περιβάλλον

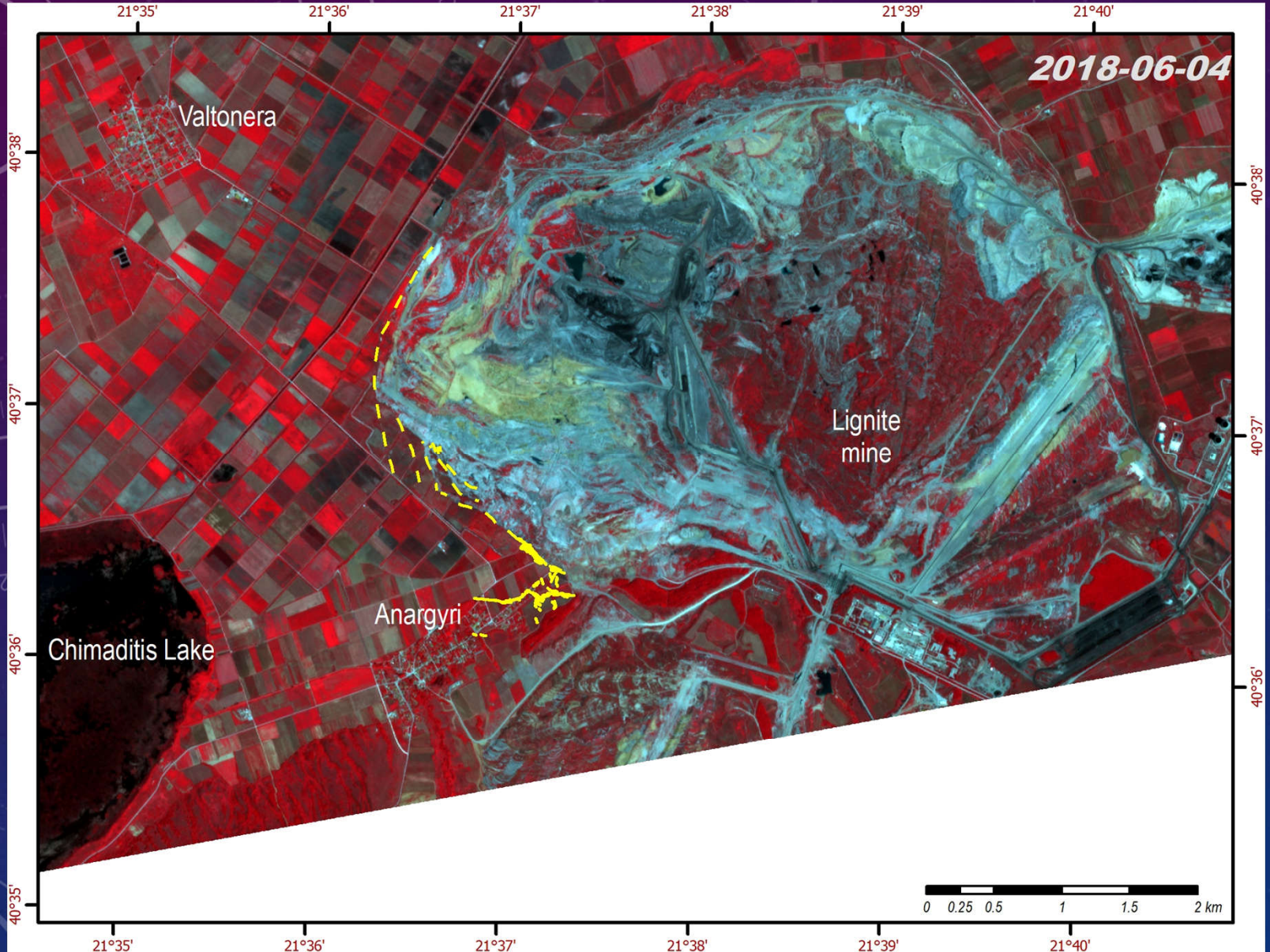




# Διαχρονικές μεταβολές ως προς τη χρήση γης

Satellite data: RapidEye, Spatial resolution 3m, RGB:IrRG

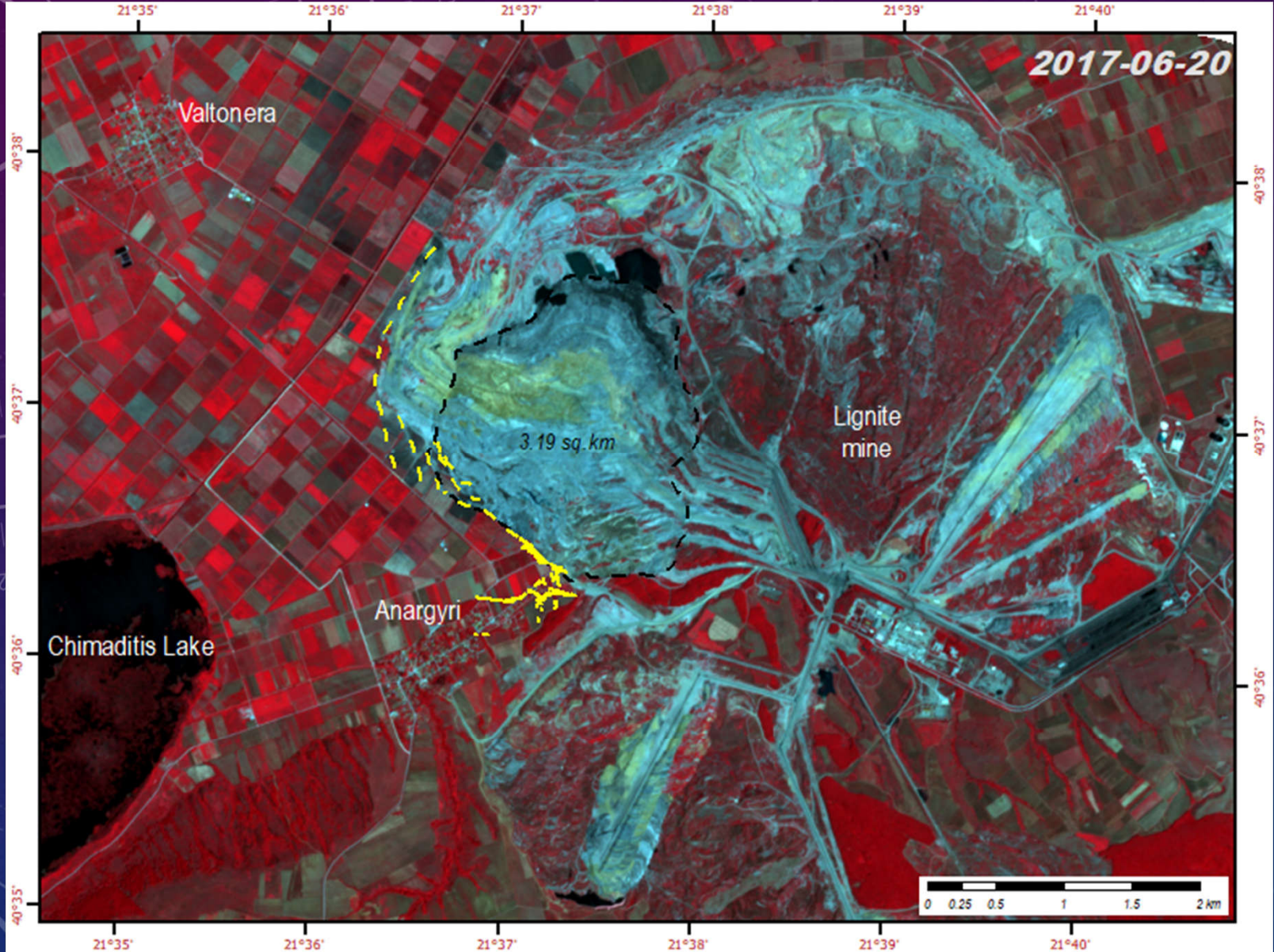
Δορυφορικά δεδομένα



# Οριοθέτηση της κατολίσθησης και ποσοτικοποίηση των υλικών

Satellite data: RapidEye, Spatial resolution 3m, RGB:IrRG

Δορυφορικά δεδομένα



# Μέθοδος Structure-from-Motion (SfM)

Χαμηλού κόστους φωτογραμμετρική τεχνική με τη χρήση υψηλής ανάλυσης δεδομένων εικόνας.

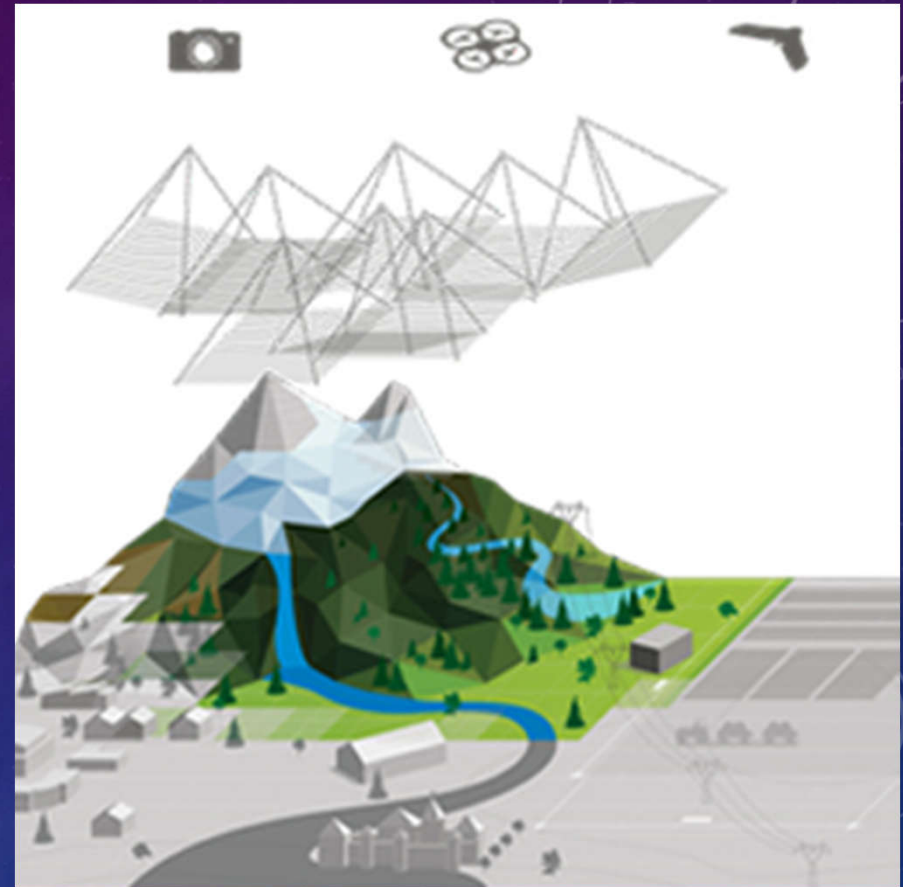
Οι παραδοσιακές φωτογραμμετρικές μέθοδοι, για τον προσδιορισμό της θέσης των σημείων στο χώρο, απαιτούν να είναι γνωστά η θέση της κάμερας καθώς και οι 3 διαστάσεις μεγάλου αριθμού διάσπαρτων σημείων ελέγχου.

Η προσέγγιση SfM δεν απαιτεί να είναι γνωστά κάποια από τα παραπάνω καθώς λύνει το πρόβλημα της θέσης της κάμερας και της γεωμετρίας της υπό μελέτη περιοχής, βασιζόμενη στην εύρεση κοινών σημείων (tie points) που εντοπίζονται σε πολλαπλές επικαλυπτόμενες εικόνες.

Η προσέγγιση αυτή είναι καταλληλότερη για σετ εικόνων με υψηλό βαθμό επικάλυψης που καλύπτουν το σύνολο μιας περιοχής.

Η προσθήκη μικρού αριθμού επίγειων σημείων ελέγχου αυξάνει κατακόρυφα την ακρίβεια των προϊόντων και στις 3 διαστάσεις.

Λογισμικά: Bundler, VisualSFM, Pix4DMapper, Drone deploy, Agisoft PhotoScan Pro....



# Εξοπλισμός Unmanned Aerial Systems, Rotor wing / Fixed wing



# Προγραμματισμός πτήσης / αεροφωτογράφισης

The screenshot displays the DroneDeploy web application interface. The browser address bar shows the URL: <https://www.droneDeploy.com/app2/planning-map/59672a2c09c8f23f515ccc91>. The sidebar on the left contains the following settings:

- Plan Name: Amyntaio2
- 45:02 Minutes, 126 Hectares, 713 Images, 3 Batteries
- Flight Altitude: 120m (Res: 3.6 cm / px)
- Structures Mode:
- Live Map:  (Generates an instant 2D map as the drone flies, in addition to normal image capture. Live Map is designed to work with recent Apple iOS devices. It's not supported on Android. Live Map is a paid feature. Upgrade)
- Obstacle Avoidance:  (Enabled if sensors are available)
- Advanced:

The main map area shows a satellite view of a rural landscape with a blue flight path and green grid lines overlaid. The path starts at a 'Start' point and covers a large area of fields and a small village. The map includes various UI elements like a search bar, zoom controls, and a 'Don't own a drone? Test the simulator' link at the bottom left. The bottom right corner of the map area contains copyright information: 'Map data ©2018 Google Imagery ©2018 CNES / Airbus, DigitalGlobe Terms of Use | Report a map error'.

# Προγραμματισμός πτήσης / αεροφωτογράφισης

**Plan Name:** Amyntaio2

45:02	126	713	3
Minutes	Hectares	Images	Batteries

**Advanced**

- Frontlap: 75%
- Sidelap: 65%
- Flight Direction: 68°
- Max Flight Speed: 10m/s
- Starting Waypoint: 1

Map data ©2018 Google Imagery ©2018 CNES / Airbus, DigitalGlobe | Terms of Use | Report a map error

# Ίδρυση Σημείων Ελέγχου Εδάφους (Ground Control Points)



# Ίδρυση Επίγειων Σημείων Ελέγχου (Ground Control Points)

Δεδομένα ΣμηΕΑ (Drone)





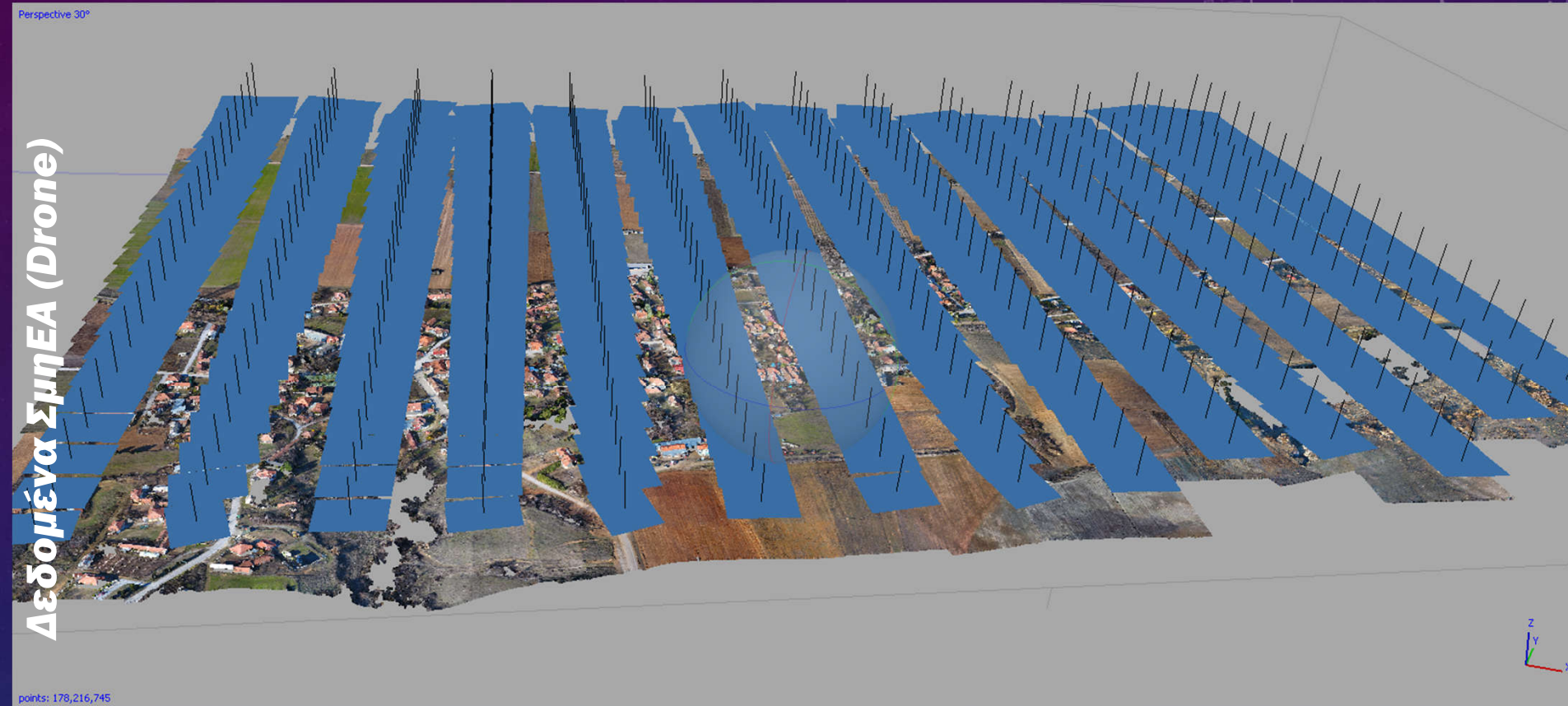
# 6 Πτήσεις ~15min από διαφορετικά σημεία

Δεδομένα ΣμηΕΑ (Drone)



# Φωτογραμμετρική επεξεργασία

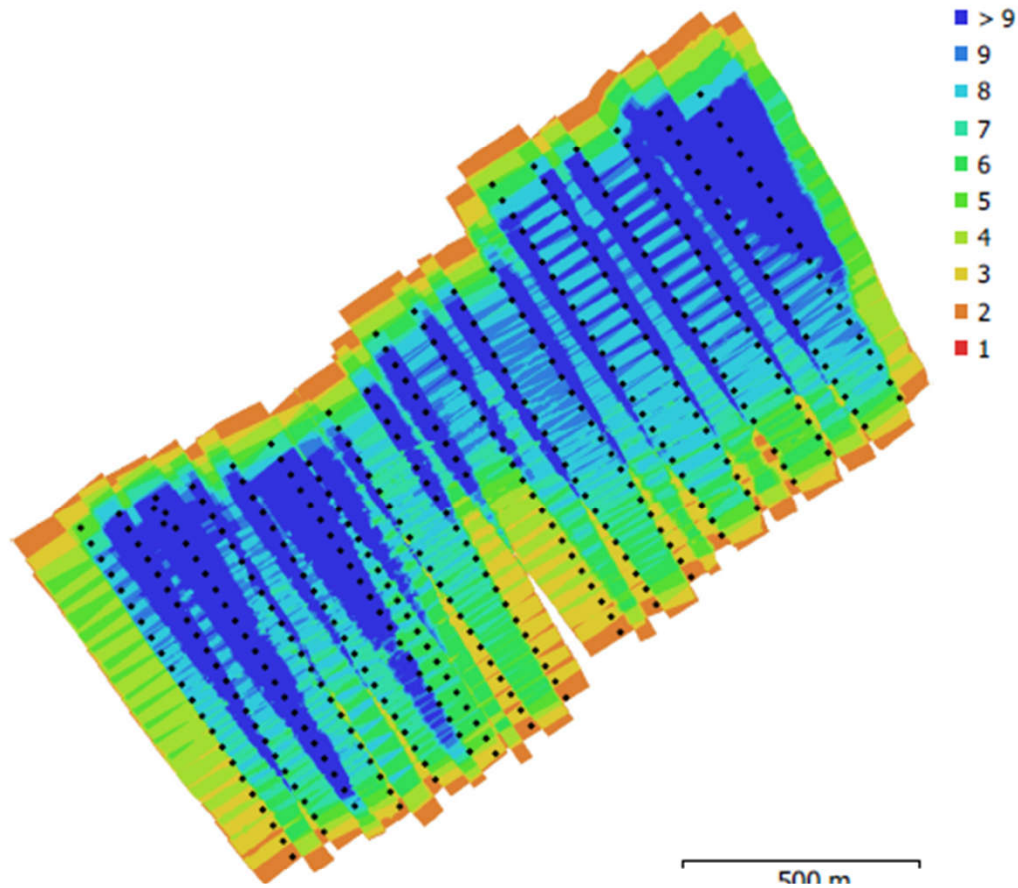
## Κάλυψη περιοχής από αεροφωτογραφίες



# Φωτογραμμετρική επεξεργασία

## Κάλυψη περιοχής από αεροφωτογραφίες

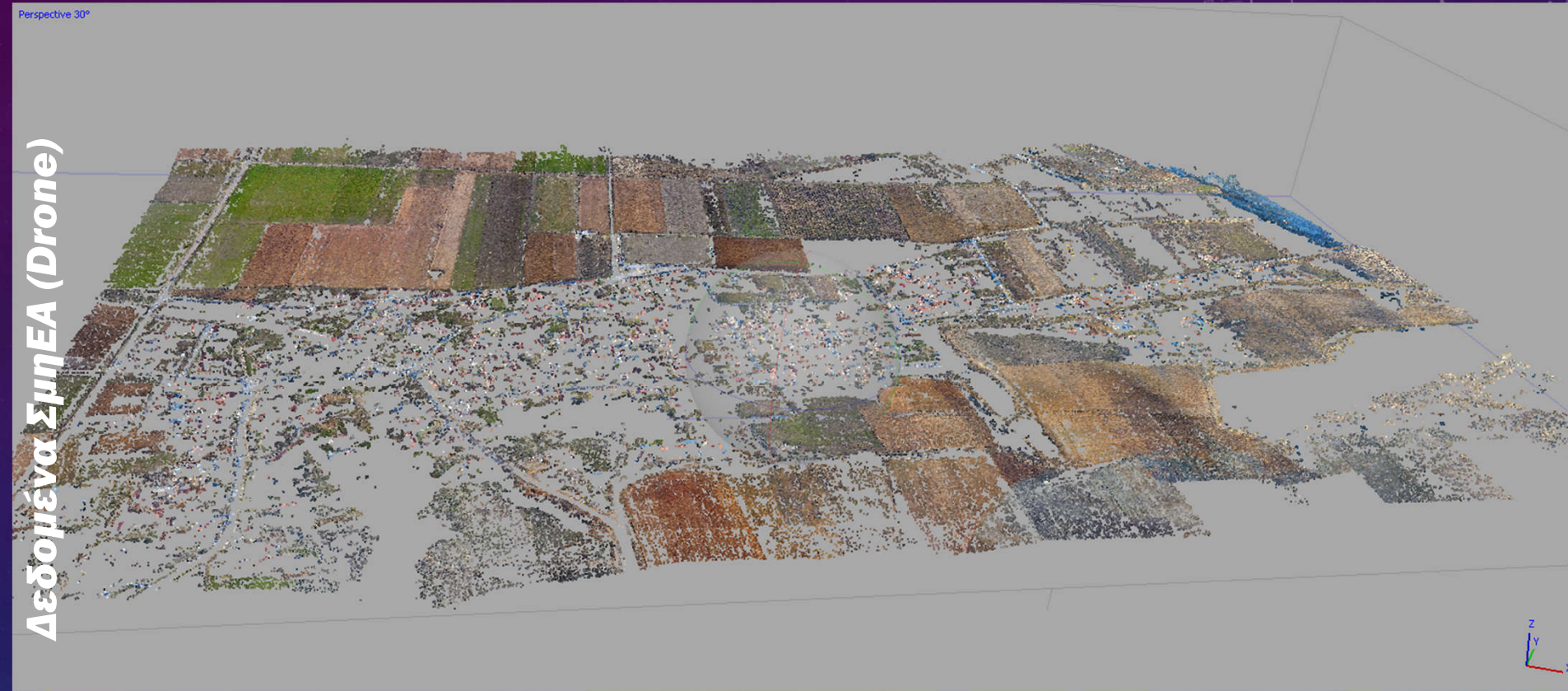
Δεδομένα ΣμηΕΑ (Drone)



Number of images:	400	Camera stations:	400
Flying altitude:	145 m	Tie points:	788,588
Ground resolution:	5.14 cm/pix	Projections:	2,160,666
Coverage area:	1.72 km <sup>2</sup>	Reprojection error:	0.603 pix

# Φωτογραμμετρική επεξεργασία

## Αραιό Νέφος σημείων



Σύνδεση των αεροφωτογραφιών μεταξύ τους με tie-points

# Φωτογραμμετρική επεξεργασία

## Εντοπισμός Επίγειων Σημείων Ελέγχου (Ground Control Points)

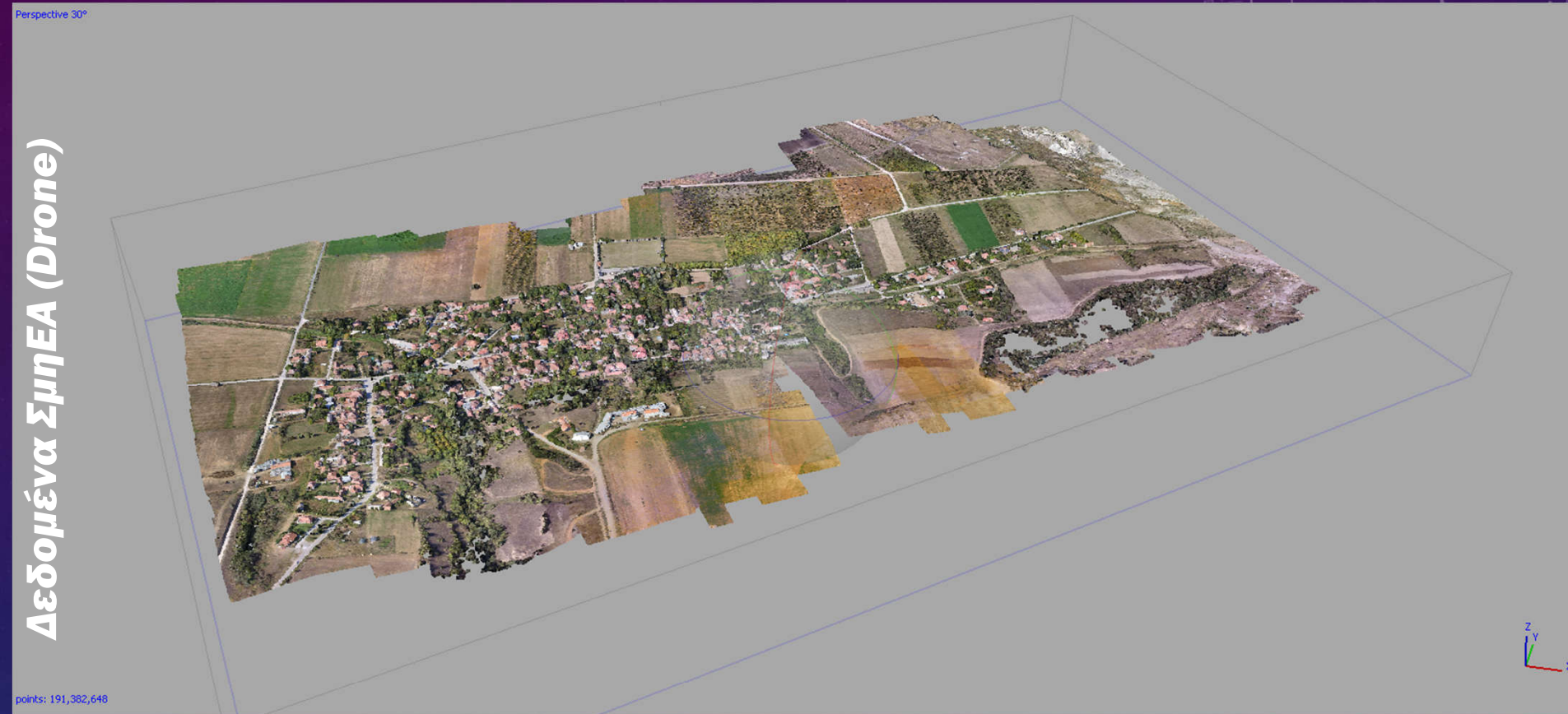
Δεδομένα Σημεία (Drone)



Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
<input checked="" type="checkbox"/> point 1	297557.422000	4496974.900000	611.895000	0.005000	0.001202	7	0.291
<input checked="" type="checkbox"/> point 2	298013.701000	4497162.606000	619.292000	0.005000	0.003099	6	0.258
<input checked="" type="checkbox"/> point 3	297876.458000	4497387.897000	601.782000	0.005000	0.002427	6	0.360
<input checked="" type="checkbox"/> point 4	297694.541000	4497656.157000	595.666000	0.005000	0.001642	6	0.246
<input checked="" type="checkbox"/> point 5	298204.053000	4497619.174000	597.274000	0.005000	0.002734	8	0.229
<input checked="" type="checkbox"/> point 6	298264.279000	4497441.952000	602.683000	0.005000	0.002558	6	0.184
<input checked="" type="checkbox"/> point 7	298445.377000	4497379.724000	612.488000	0.005000	0.001160	3	0.018
<input checked="" type="checkbox"/> point 8	297957.554000	4496846.126000	637.005000	0.005000	0.001127	3	0.043
<b>Total Error</b>							
Control points					0.002129		0.248
Check points							



# Φωτογραμμετρική επεξεργασία Πυκνό Νέφος σημείων



Περισσότερα από 191 εκατομμύρια σημεία διαθέτουν πληροφορίες:

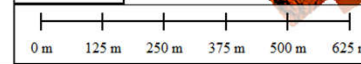
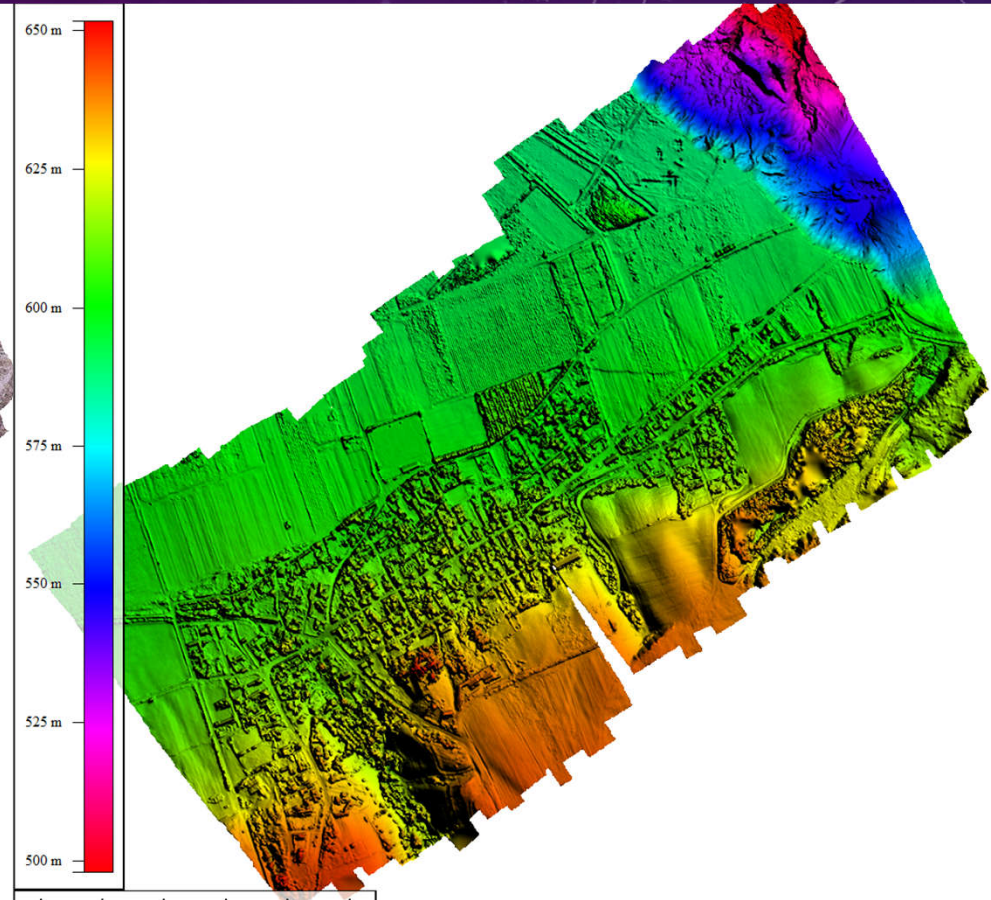
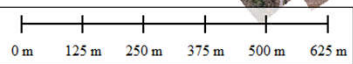
- Πραγματικού χρώματος RGB
- Συντεταγμένες  $x, y$  σε ΕΓΣΑ'87
- Υψόμετρο

# Φωτογραμμετρική επεξεργασία

## Προϊόντα

Ορθο-φωτο-μωσαϊκό

Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους



Χωρική διακριτική ικανότητα: 5.14 cm  
Σφάλμα: 0.6 pix

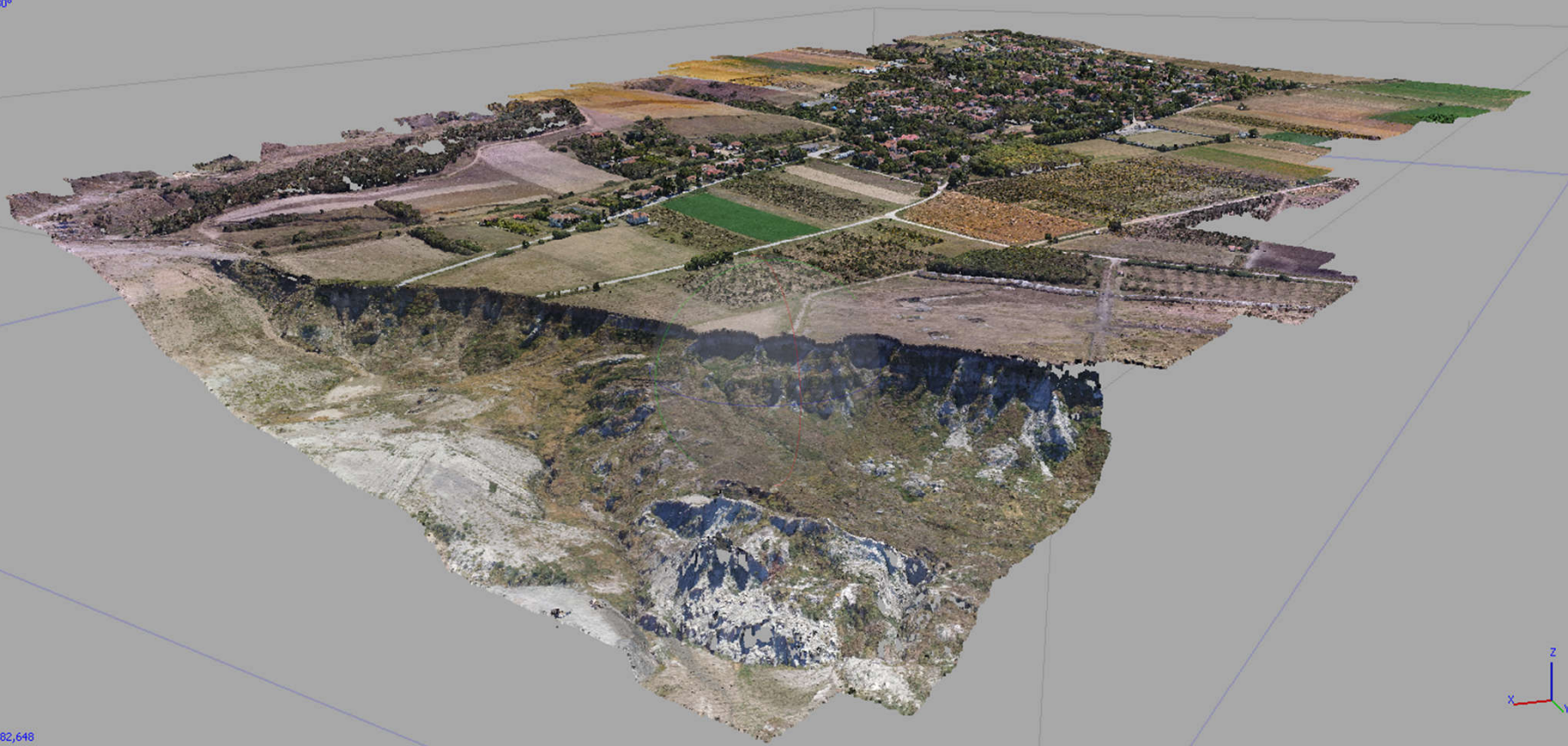
Χωρική διακριτική ικανότητα: 10.3 cm  
Πυκνότητα σημείων: 94.6 points/m<sup>2</sup>

# Προϊόντα

3D Απεικονίσεις – κοιτώντας προς ΝΔ

Perspective 30°

Δεδομένα ΣμηΕΑ (Drone)



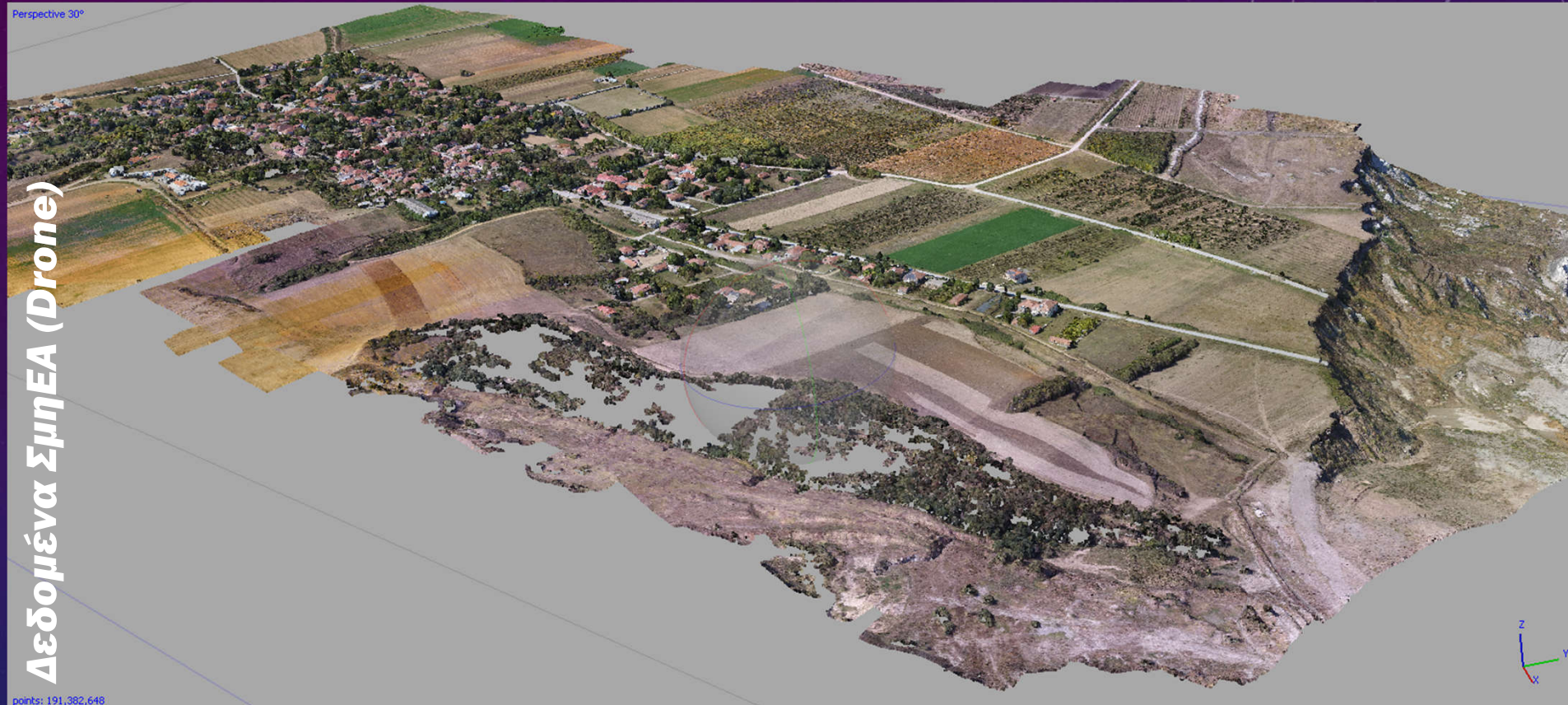
points: 191,382,648





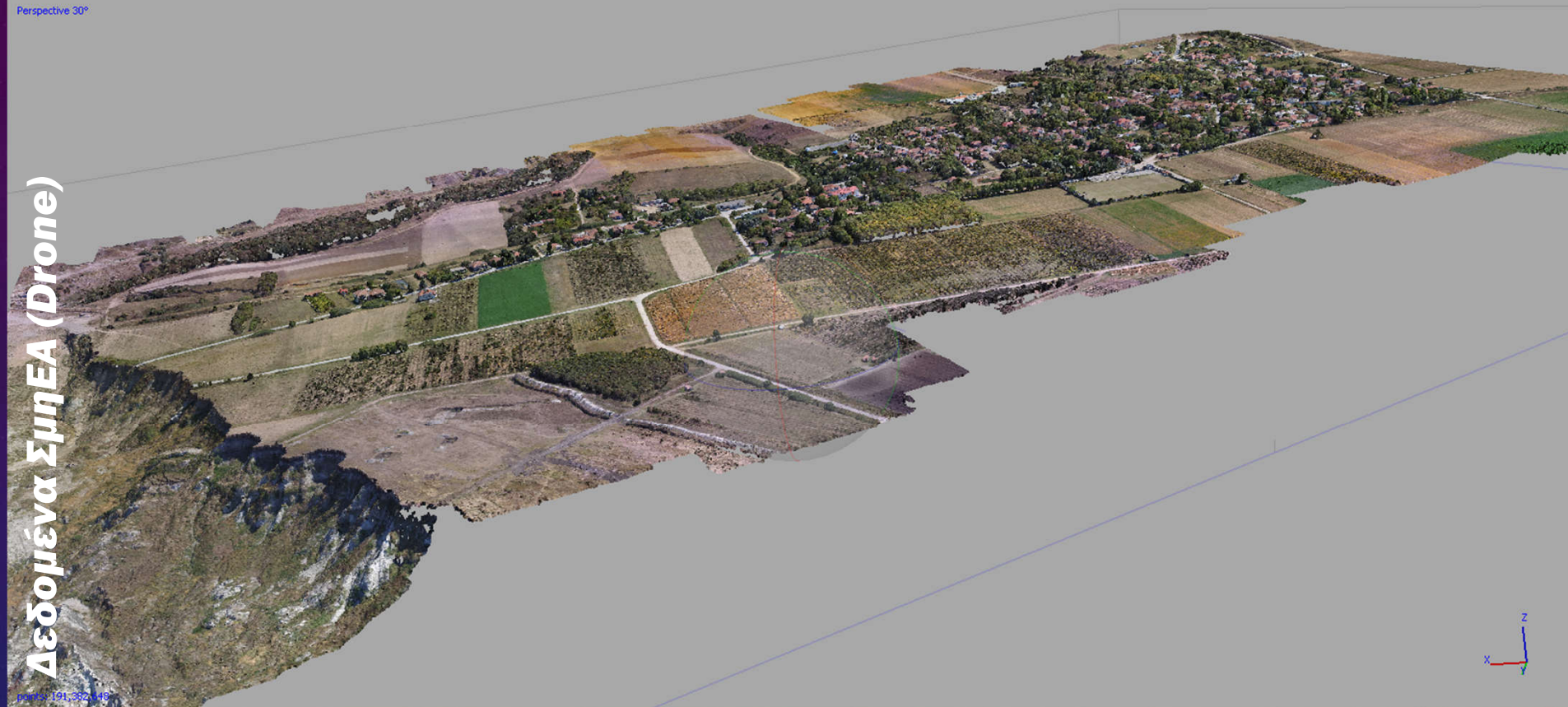
# Προϊόντα

3D Απεικονίσεις – κοιτώντας προς ΒΔ



# Προϊόντα

3D Απεικονίσεις – κοιτώντας προς N



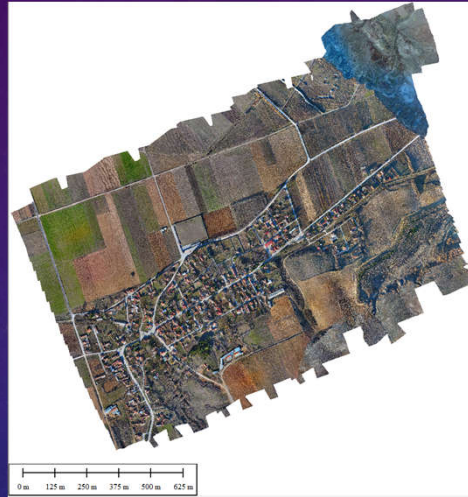
# Ολοκληρωμένη μεθοδολογία

Διαχρονική παρατήρηση  
3 πτήσεις / επεξεργασίες (Σεπτέμβριος 2017 -> Σεπτέμβριος 2018)  
Σύγκριση ορθοφωτομωσαϊκών  
Σύγκριση Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους

Δεδομένα ΣμηΕΑ (Drone)



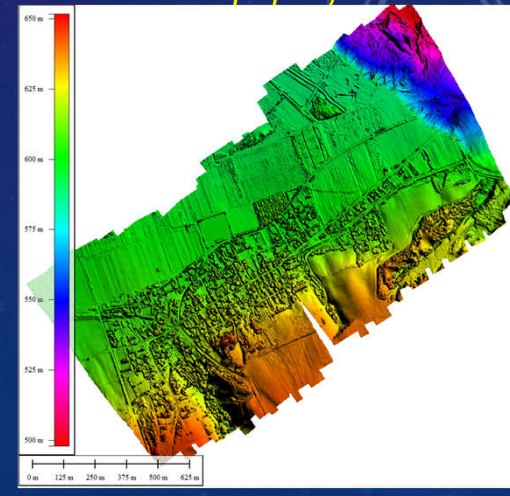
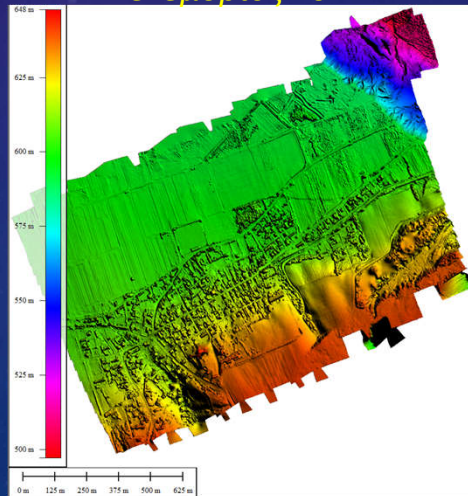
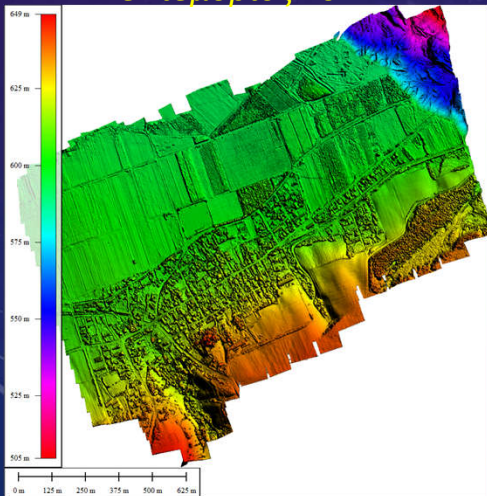
Σεπτέμβριος 2017



Δεκέμβριος 2017



Σεπτέμβριος 2018



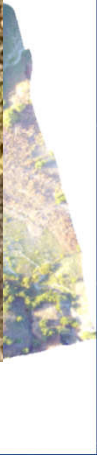
# Σύγκριση ορθοφωτομωσαϊκών – Ψηφιοποίηση διαρρήξεων

Δεδομένα ΣμηΕΑ (Drone)



# Σύγκριση ορθοφωτομωσαϊκών – Ψηφιοποίηση διαρρήξεων

Δεδομένα ΣμηΕΑ (Drone)



# Σύγκριση ορθοφωτομωσαϊκών – Ψηφιοποίηση διαρρήξεων

Δεδομένα ΣμηΕΑ (Drone)



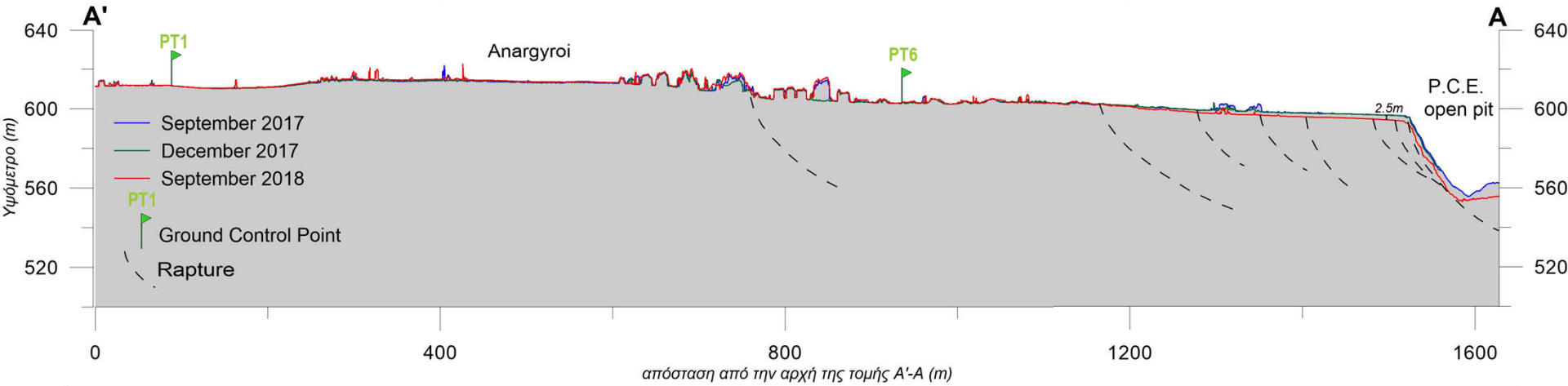
# Σύγκριση Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους – Επιλογή Τομών

Δεδομένα ΣμηΕΑ (Drone)



# Αποτελέσματα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας μετά από 3 πτήσεις

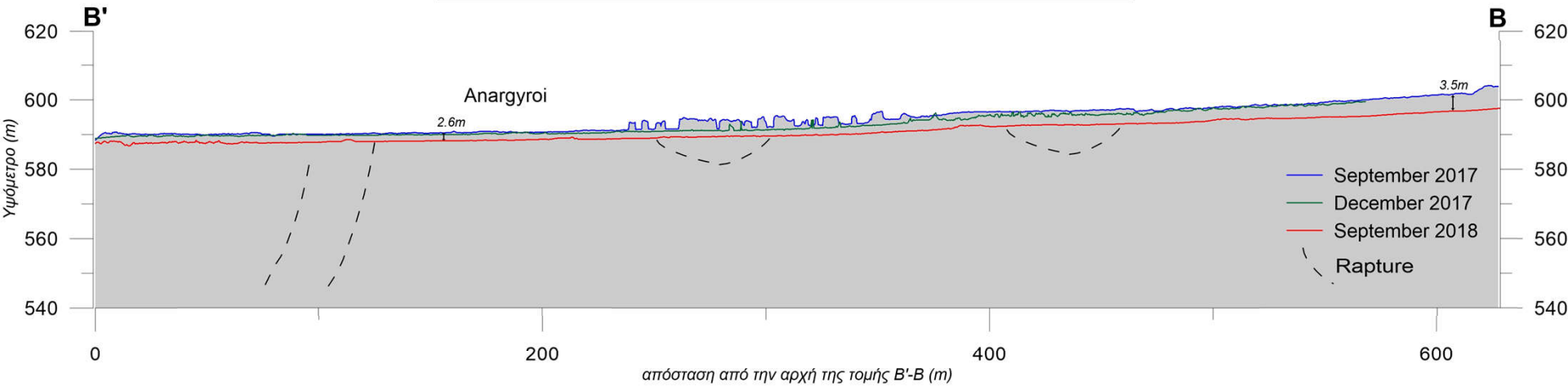
ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΤΟΜΗΣ Α'-Α (διευθ. Β35°)  
ΑΝΑΡΓΥΡΟΙ, ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ



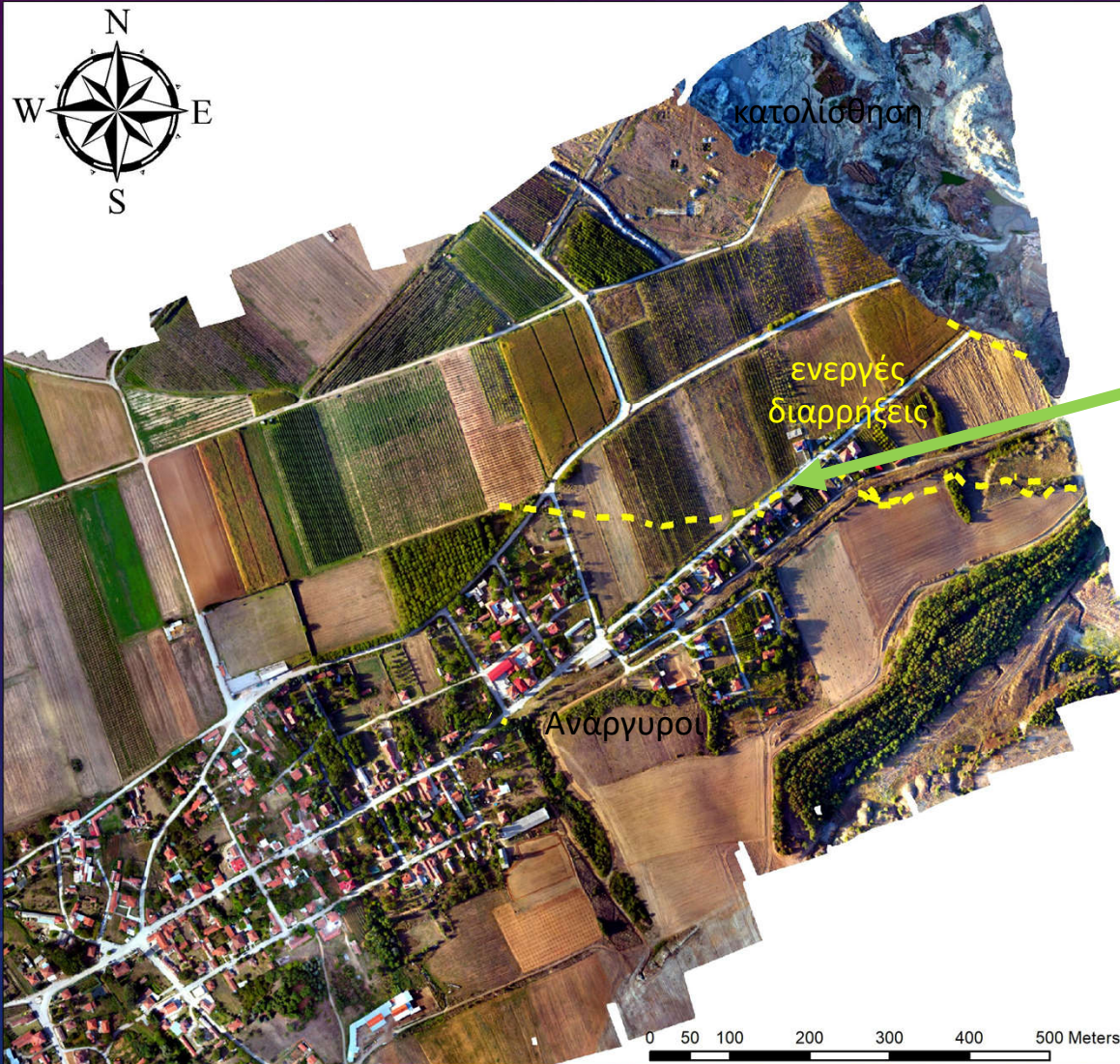


# Αποτελέσματα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας μετά από 3 πτήσεις

ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΤΟΜΗΣ Β'-Β (διευθ. Β140°)  
ΑΝΑΡΓΥΡΟΙ, ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ



# Παρακολούθηση ρυθμού μετακινήσεων σε ενεργές διαρρήξεις



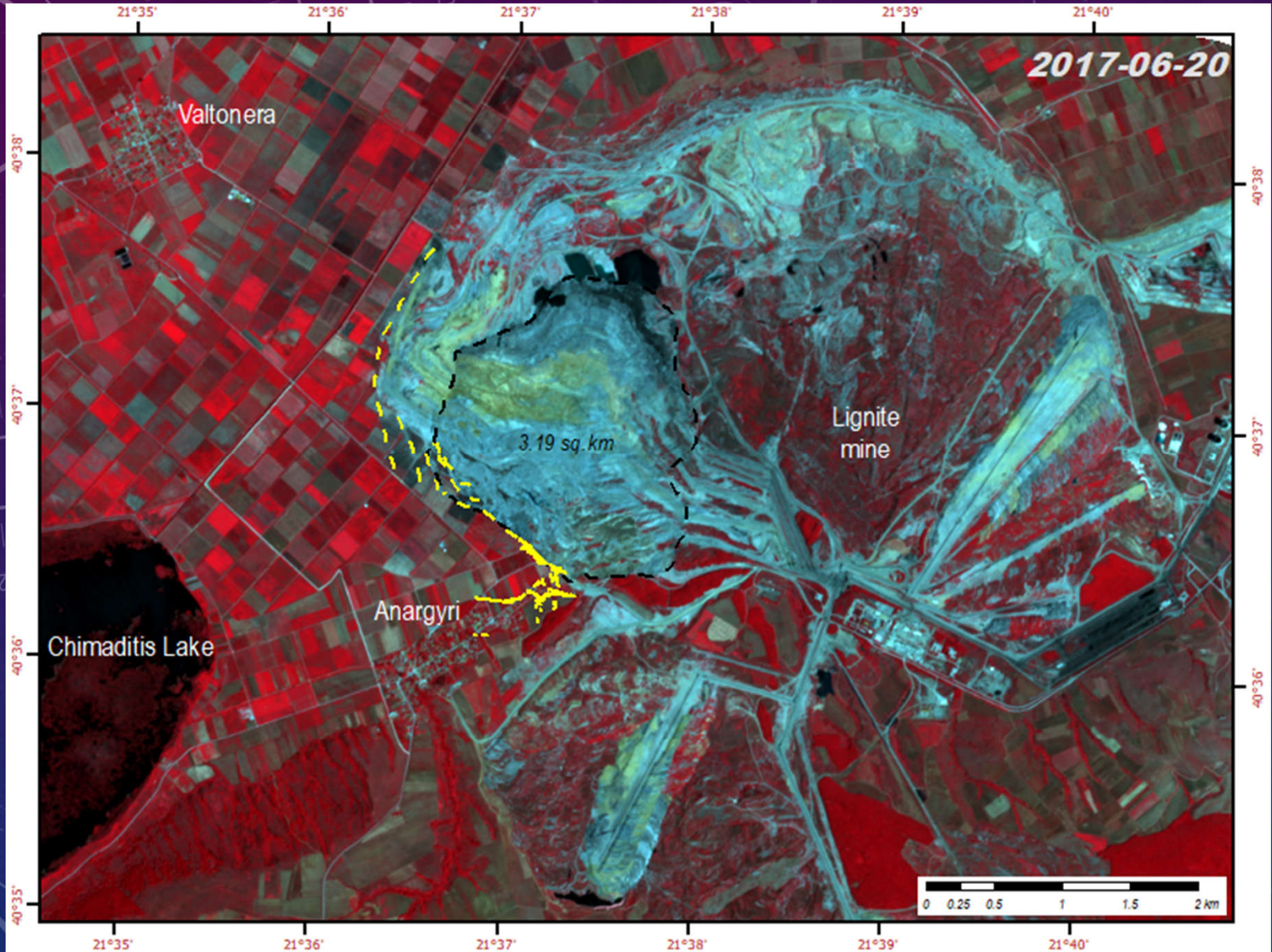
# Εξέλιξη κύριας ενεργής διάρρηξης μετά την κατολίσθηση της 10-6-2017



2/11/18

# Οριοθέτηση της κατολίσθησης και ποσοτικοποίηση των υλικών

Δορυφορικά δεδομένα



Satellite data: RapidEye, Spatial resolution 3m, RGB:lrRG