



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ΕΡΓΟ ΑΠΘ: ΘΑΛΗΣ 85492



Χαρτογράφηση βλάστησης και εκτίμηση βιομάζας με σύγχρονες μεθόδους Τηλεπισκόπησης στο πλαίσιο της σύμβασης των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή και του Πρωτοκόλλου του Κιότο

Παραδοτέο 5.α

Τίτλος Τεχνικής Έκθεσης:

Ανάπτυξη φωτογραμμετρικών μεθόδων για την εκτίμηση του μέσου ύψους δένδρων των χαρτογραφούμενων κατηγοριών και ειδών βλάστησης με χρήση στερεοζευγών δορυφορικών εικόνων



Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 2014

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

Δρ. Ιωάννης Γήτας, Αναπλ. Καθηγητής Σχολής Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος Α.Π.Θ.

Τηλ: 2310992699

E-mail: igitas@for.auth.gr

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ

Δρ. Μαρία Τσακίρη-Στρατή, Καθηγήτρια Τμήματος Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Α.Π.Θ.

Τηλ: 2310 996146

E-mail: martsaki@topo.auth.gr

ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Καθ. Μαρία Τσακίρη-Στρατή

Υποψ. Δρ. Παναγιώτα Στουρνάρα

Αναπλ. Καθ. Βασίλειος Τσιούκας

Αναπλ. Καθ. Χρήστος Πικριδάς

Επ. Καθ. Χαράλαμπος Γεωργιάδης

Λεκτ. Κωνσταντίνος Τοπουζέλης

Δρ. Χαρούλα Ανδρέου

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| 1. Εισαγωγή | 2 |
| 2. Περιοχή μελέτης..... | 3 |
| 3. Φασματικά χαρακτηριστικά της βλάστησης..... | 4 |
| 4. Αεροτριγωνισμός..... | 5 |
| 5. Παραγωγή DSM..... | 9 |
| 6. Στερεοσκοπική Παρατήρηση..... | 11 |

1. Εισαγωγή

Ο στόχος του ερευνητικού προγράμματος Tele-Kyoto είναι η ανάπτυξη μίας αποτελεσματικής μεθοδολογίας για την κατά το δυνατόν ακριβέστερη εκτίμηση της βιομάζας δασικών περιοχών, προκειμένου να συμπεριληφθεί στις εθνικές αναφορές της Σύμβασης-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (UNFCCC) και του Πρωτοκόλλου του Κιότο (<https://unfccc.int/2860.php>). Μία από τις βασικές βιοφυσικές παραμέτρους που απαιτούνται για το σκοπό αυτό είναι και το ύψος της δασικής κομοστέγης. Η εκτίμηση του ύψους των δέντρων μέσω τηλεπισκοπικών δεδομένων αποτελεί βασική προϋπόθεση για την εκτίμηση της βιομάζας, είτε αυτή γίνεται μέσω αλλομετρικών εξισώσεων είτε μέσω αυτόματων συστημάτων μοντελοποίησης χρήσει επίγειων μετρήσεων σε δειγματοληπτικές περιοχές.

Για τον προσδιορισμό του ύψους των δέντρων μέσω τηλεπισκοπικών δεδομένων απαιτείται ο υπολογισμός δύο βασικών ψηφιακών μοντέλων ύψους, του ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας (Digital Surface Model, DSM) και του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Digital Terrain Model, DTM). Το DSM περιλαμβάνει την επιφάνεια του εδάφους και ό,τι βρίσκεται πάνω σε αυτήν. Στην περίπτωση των δασικών περιοχών περιλαμβάνεται και η δασική κομοστέγη. Το DTM αφορά μόνο στην επιφάνεια του εδάφους, χωρίς τα αντικείμενα που βρίσκονται επάνω της. Στις επίπεδες χέρσες περιοχές τα δύο μοντέλα πρέπει να συμπίπτουν. Αντίθετα, στην περίπτωση των δασικών περιοχών η αφαίρεση του DTM από το DSM έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή του μοντέλου ύψους κομοστέγης (Canopy Height Model, CHM), από το οποίο μπορεί να αντληθεί άμεσα πληροφορία για το ύψος των δέντρων.

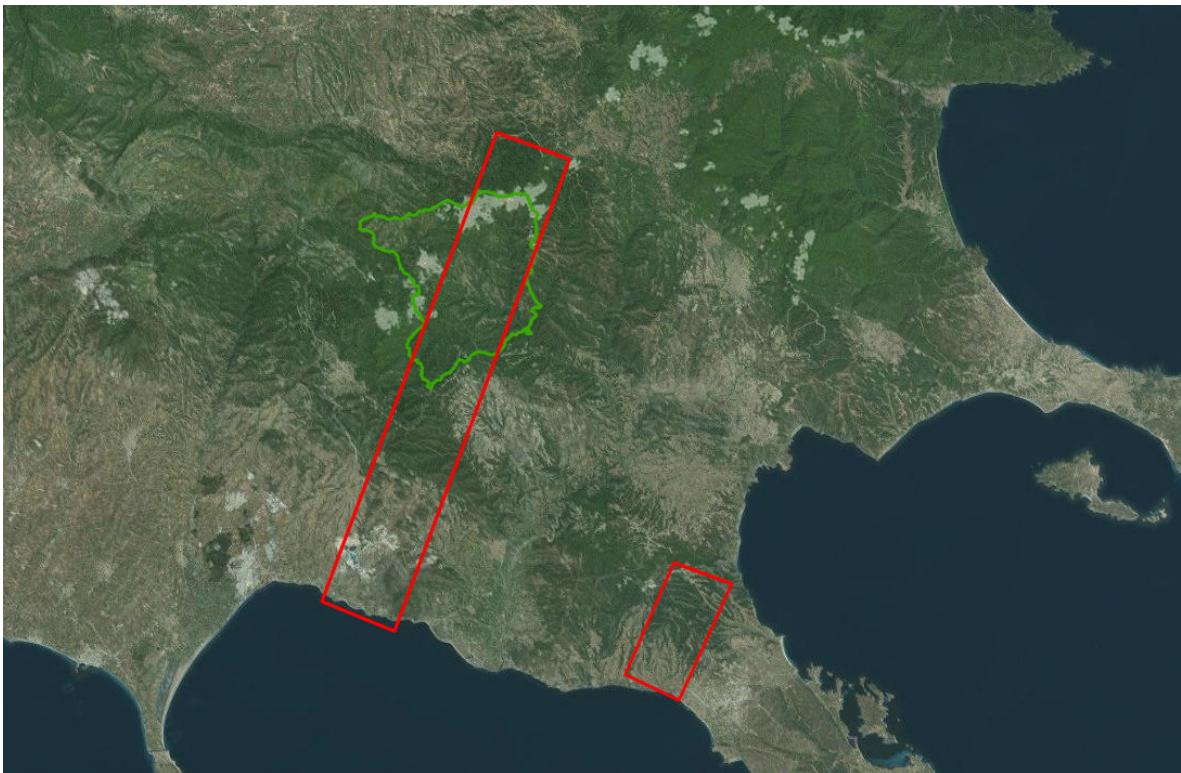
Το αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων εκτίμησης του ύψους δέντρων δασικών συστάδων με τη χρήση στερεοεικόνων Geoeye-1. Η χρήση στερεοζεύγους οπτικών δορυφορικών εικόνων εξασφαλίζει την παραγωγή DSM, αλλά όχι την παραγωγή DTM. Για την παραγωγή του τελευταίου χρησιμοποιούνται γενικά ενεργά τηλεπισκοπικά συστήματα, τα οποία έχουν την ικανότητα να διαπερνούν τη βλάστηση και έτσι να καταγράφουν πληροφορία για την επιφάνεια του εδάφους (π.χ. LiDAR, SAR). Για αυτό το λόγο η αποκλειστική χρήση των εικόνων Geoeye-1 είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή DSM, χωρίς ένα αντίστοιχο DTM.

Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία παραγωγής DSM και τα αποτελέσματα από αυτήν. Στη συνέχεια ακολούθησε στερεοσκοπική παρατήρηση στα στερεομοντέλα που δημιουργήθηκαν κατά τον αεροτριγωνισμό, προκειμένου να ληφθεί το υψόμετρο σε συγκεκριμένες περιοχές στερεοσκοπικά. Αυτό είχε ως σκοπό την αξιολόγηση της δυνατότητας απόκτησης πληροφορίας ύψους από τα στερεοζεύγη Geoeye-1. Η επεξεργασία των εικόνων έγινε στο περιβάλλον LPS 2011.

2. Περιοχή μελέτης

Η συνολική περιοχή μελέτης του ερευνητικού προγράμματος βρίσκεται στην κεντρική Χαλκιδική και αποτελείται από δύο ορθογώνιες παραλληλόγραμμες εκτάσεις: α) ένα μεγάλο ορθογώνιο, έκτασης 112,807 km², που εκτείνεται από τις δασικές περιοχές της Αρναίας έως τα παράλια της Γερακινής και β) ένα μικρό ορθογώνιο, έκτασης 21,846 km², που περιλαμβάνει μία έκταση δυτικά του οικισμού του Αγίου Νικολάου έως τα παράλια δυτικά της Νικήτης. Οι δύο αυτές περιοχές φαίνονται στην Εικόνα 1, εντός πολυγώνων κόκκινου χρώματος.

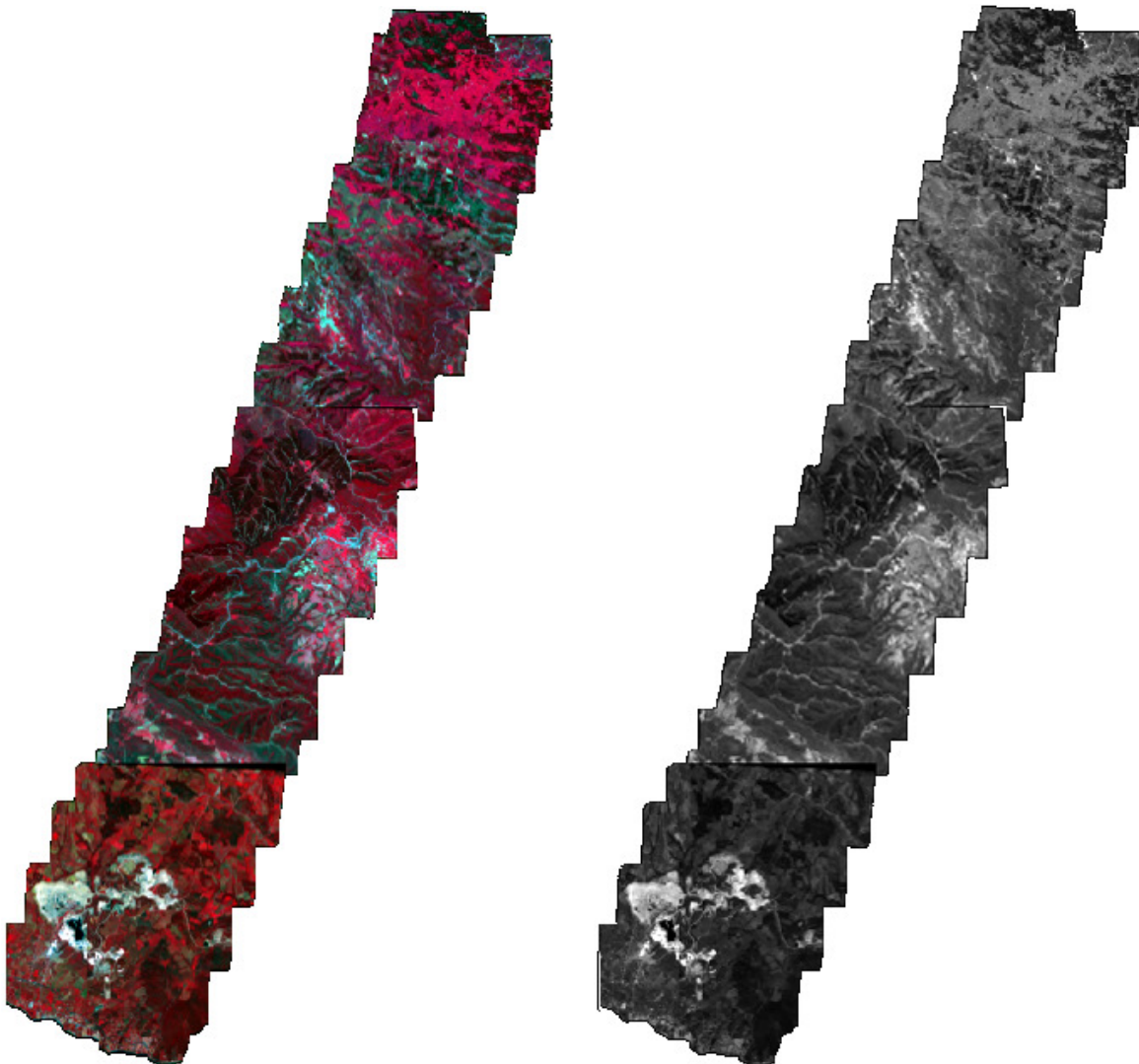
Οι εικόνες GeoEye-1 που ελήφθησαν για τις ανάγκες του προγράμματος καλύπτουν μόνο την πρώτη περιοχή μελέτης (το μεγαλύτερο πολύγωνο στα αριστερά). Συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης που θεωρείται στην παρούσα έκθεση εκτείνεται από 23.4306° E, 40.2697° N έως 23.5883° E, 40.4817° N περίπου. Περιλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα του Πανεπιστημιακού Δάσους του Ταξιάρχη (πολύγωνο πράσινου χρώματος στην Εικόνα 1), καθώς και τμήμα του δάσους της Αρναίας. Χαρακτηρίζεται από δασικά είδη κωνοφόρων και πλατύφυλλων δέντρων, θάμνους και χορτολίβαδα με σκληρόφυλλη βλάστηση. Επίσης, χαρακτηρίζεται από μόνιμες καλλιέργειες (κυρίως ελαιώνες), αρόσιμες εκτάσεις και συμπλέγματα καλλιεργειών, μεταλλευτικές περιοχές καθώς και συνεχείς και ασυνεχείς αστικούς ιστούς.



Εικόνα 1. Η οριοθέτηση των δύο περιοχών μελέτης (κόκκινα πολύγωνα) και τα όρια του Πανεπιστημιακού Δάσους του Ταξιάρχη (πράσινο πολύγωνο).

3. Φασματικά χαρακτηριστικά της βλάστησης

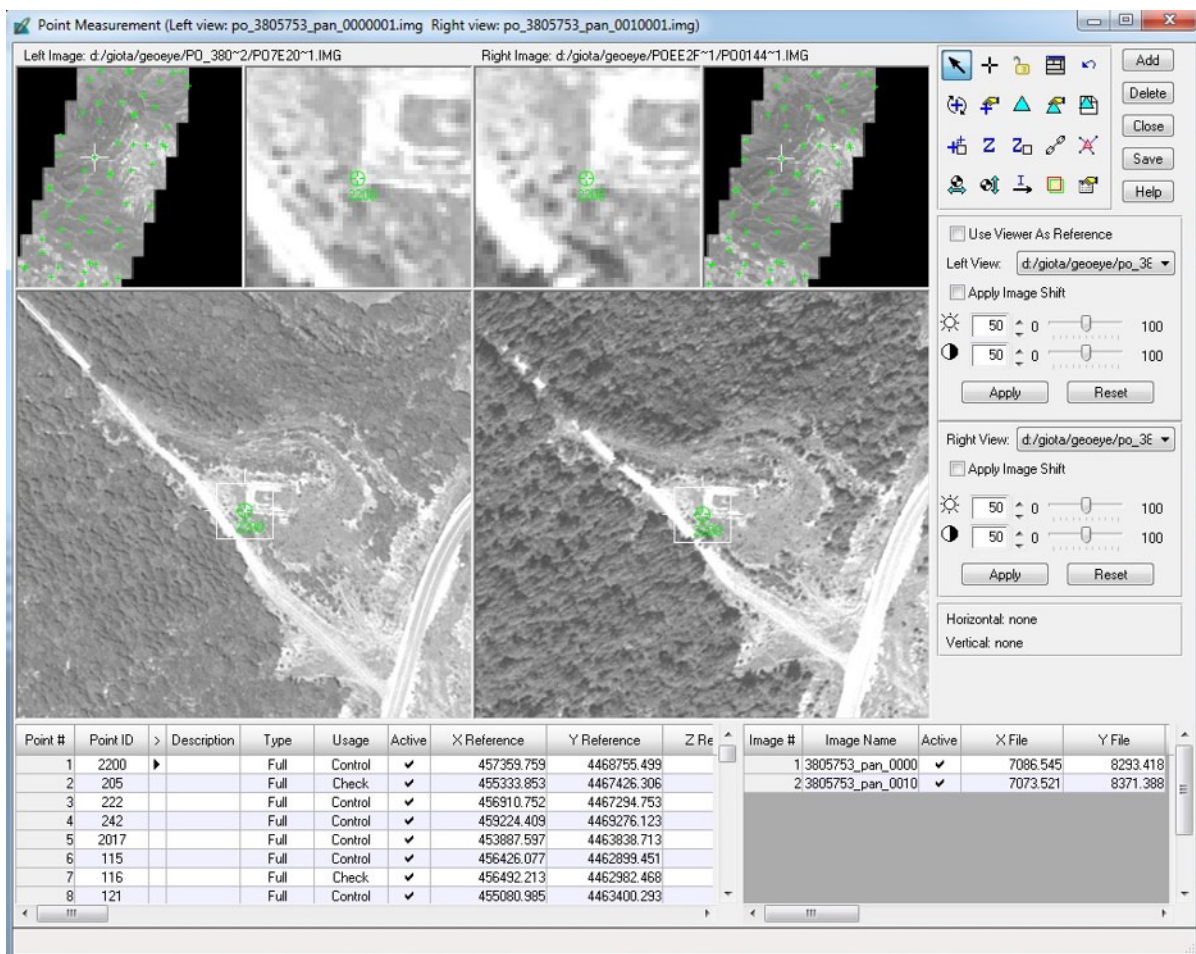
Οι δορυφορικές εικόνες GeoEye-1 αποκτήθηκαν στις 27/04/2013 με χωρική ανάλυση 0.5m στο παγχρωματικό κανάλι και 2m στο πολυφασματικό. Λόγω του περιορισμένου οπτικού πεδίου του δορυφορικού αισθητήρα, η συνολική περιοχή μελέτης καλύπτεται από τρεις διαδοχικές λήψεις με μερική επικάλυψη, που εκτείνονται κατά σειρά από την δασική περιοχή της Αρναίας έως την παραθαλάσσια περιοχή της Γερακινής. Κάθε μία από τις τρεις αυτές επιμέρους λωρίδες (strips) αποτελείται από ένα στερεοζεύγος (δύο εικόνες με διαφορετική γωνία λήψης) πολυφασματικών εικόνων και το αντίστοιχο στερεοζεύγος της παγχρωματικής εικόνας (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Μωσαϊκό των τριών δορυφορικών εικόνων GeoEye-1 για ένα από τα δύο σετ εικόνων του στερεοζεύγους. Αριστερά διακρίνεται μία ψευδοέγχρωμη RGB απεικόνιση του πολυφασματικού καναλιού και αριστερά το αντίστοιχο πανχρωματικό κανάλι.

4. Αεροτριγωνισμός

Σε κάθε σετ εικόνων (σετ παγχρωματικών και σετ πολυφασματικών) εφαρμόστηκε η διαδικασία του αεροτριγωνισμού με τη μέθοδο της δέσμης, προκειμένου όλα τα σημεία των εικόνων να αποκτήσουν ακριβείς γεωγραφικές συντεταγμένες. Τα φωτοσταθερά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν κατά την επίλυση της δέσμης ελήφθησαν με GPS κατά τους μήνες Ιούλιο και Οκτώβριο του 2013. Εφαρμόστηκαν δύο επιλύσεις δέσμης, μία για τις παγχρωματικές εικόνες και μία για τις πολυφασματικές. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν 37 φωτοσταθερά σημεία και 35 στη δεύτερη. Λόγω της δυσκολίας προσβασιμότητας της περιοχής στην οποία βρίσκονταν δύο από αυτά τα σημεία (και στις δύο περιπτώσεις επίλυσης), οι συντεταγμένες τους ελήφθησαν από την ιστοσελίδα της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΑΕ. Η χρήση τους έγινε με σκοπό την πληρέστερη κατανομή των φωτοσταθερών στην περιοχή μελέτης. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν 14 σημεία ελέγχου για τις παγχρωματικές εικόνες και 13 σημεία ελέγχου για τις πολυφασματικές. Ο αεροτριγωνισμός πραγματοποιήθηκε στο εξειδικευμένο περιβάλλον LPS 2011 (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Στηγμιότυπο της διαδικασίας αεροτριγωνισμού στο εξειδικευμένο περιβάλλον LPS 2011.

Αν θεωρηθεί ότι η ακρίβεια εντοπισμού των σημείων κατά τον αεροτριγωνισμό είναι $\sigma_0 = p$, τότε $\sigma_{XY, \text{τριγ.}} = 2p$, άρα στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ίση με 1m για τις παγχρωματικές και 4m για τις πολυφασματικές. Για το σ_z του αεροτριγωνισμού ισχύει:

$$\sigma_z = 2 \frac{c}{b} \sigma_0 = 2 \frac{h}{b} \sigma_0 .$$

Ο λόγος b/h για τον δορυφόρο Geoeye-1 δεν έχει σταθερή ονομαστική τιμή, αλλά μεταβλητή μεταξύ των τιμών 0.54 και 0.83. Λαμβάνοντας το μέσο όρο των δύο, το σ_z υπολογίζεται ως:

$$\sigma_z = 2 \frac{h}{b} \sigma_0 = 2 \frac{1}{0.7} p = 1.42m$$

για τις παγχρωματικές και

$$\sigma_z = 2 \frac{h}{b} \sigma_0 = 2 \frac{1}{0.7} p = 5.71m$$

για τις πολυφασματικές.

Κατά τον έλεγχο του αεροτριγωνισμού μέσω οριζοντιογραφικής και υψομετρικής ακρίβειας, θα πρέπει για τα φωτοσταθερά και τα σημεία ελέγχου να ισχύουν οι σχέσεις:

$$\sigma_{XY} = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2} \leq \sigma_{XY, \text{τριγ.}} \text{ και } \sigma_Z \leq \sigma_{Z, \text{τριγ.}}$$

Μετά τον έλεγχο της ακρίβειας των φωτοσταθερών και των σημείων ελέγχου και εφόσον αυτή είναι σε επιτρεπτά όρια, συνεχίζεται η επίλυση του αεροτριγωνισμού. Τα σφάλματα όλων των σημείων παρουσιάζονται στους Πίνακες 2 έως 5. Τα σφάλματα των σημείων εκφράζουν τη διαφορά ανάμεσα στις αρχικές συντεταγμένες των σημείων και τις νέες συντεταγμένες, που υπολογίστηκαν από τον αεροτριγωνισμό.

Η εκτίμηση της συνολικής τυπικής απόκλισης του αεροτριγωνισμού ήταν για τις στερεοπαγχρωματικές 0.19m οριζοντιογραφικά και 0.28m υψομετρικά, ενώ για τις στερεοπολυφασματικές ήταν 0.39m οριζοντιογραφικά και 0.82m υψομετρικά (Πίνακας 1). Στην εκτίμηση αυτή ελήφθησαν υπόψη μόνο τα σημεία ελέγχου. Η εκτίμηση αυτή έγινε βάσει των σχέσεων:

$$\sigma_{XY} = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum (\sigma_{XY} - \overline{\sigma_{XY}})^2} \text{ και } \sigma_Z = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum (\sigma_Z - \overline{\sigma_Z})^2}$$

Πίνακας 1. Αποτελέσματα του αεροτριγωνισμού: συνολική τυπική απόκλιση του αεροτριγωνισμού.

| Σετ εικόνων | σ_{xy} (m) | σ_z (m) |
|----------------|-------------------|----------------|
| παγχρωματικές | 0.19 | 0.28 |
| πολυφασματικές | 0.39 | 0.82 |

Πίνακας 2. Σφάλματα σημείων ελέγχου για τα παγχρωματικά στερεοζεύγη (m)

| Αρ. σημείου | σ_x | σ_y | σ_{xy} | σ_z |
|-------------|------------|------------|---------------|------------|
| 205 | -0.19 | 0.18 | 0.26 | 0.30 |
| 334 | | | | -0.10 |
| 251 | 0.03 | 0.32 | 0.32 | -0.29 |
| 102 | -0.16 | 0.24 | 0.29 | |
| 2016 | -0.01 | 0.27 | 0.27 | 0.03 |
| 332 | -0.01 | -0.07 | 0.07 | -0.28 |
| 129 | -0.47 | -0.48 | 0.68 | 0.09 |
| 253 | -0.26 | 0.03 | 0.26 | -0.03 |
| 325 | -0.47 | -0.48 | 0.68 | 0.61 |
| 116 | -0.39 | 0.29 | 0.49 | -0.44 |
| 111 | 0.19 | 0.04 | 0.20 | -0.14 |
| 321 | -0.23 | 0.14 | 0.26 | -0.23 |
| 338 | 0.03 | 0.13 | 0.13 | -0.24 |
| 240 | -0.43 | -0.31 | 0.53 | -0.11 |

Πίνακας 3. Σφάλματα σημείων ελέγχου για τα πολυφασματικά στερεοζεύγη (m)

| Αρ. σημείου | σ_x | σ_y | σ_{xy} | σ_z |
|-------------|------------|------------|---------------|------------|
| 2016 | 0.95 | -0.48 | 1.06 | 1.07 |
| 253 | -0.96 | 0.45 | 1.06 | -0.60 |
| 102 | 0.01 | 0.21 | 0.21 | -0.22 |
| 332 | 0.51 | 0.09 | 0.52 | -0.41 |
| 240 | 0.45 | -0.79 | 0.91 | 0.44 |
| 116 | -0.18 | 0.69 | 0.71 | -0.10 |
| 325 | -1.07 | -1.07 | 1.51 | -0.66 |
| 338 | 1.20 | 0.16 | 1.21 | 1.61 |
| 321 | 0.05 | 0.37 | 0.37 | -0.59 |
| 111 | 0.44 | 1.09 | 1.18 | -0.96 |
| 251 | 0.78 | 0.88 | 1.18 | -0.02 |
| 205 | 1.00 | 0.37 | 1.06 | 1.38 |
| 334 | 0.39 | 0.17 | 0.43 | 0.18 |

Πίνακας 4. Σφάλματα φωτοσταθερών για τα παγχρωματικά στερεοζεύγη (m).

| Αρ. σημείου | σ_x | σ_y | σ_{xy} | σ_z |
|-------------|------------|------------|---------------|------------|
| 2200 | 0.21 | -0.10 | 0.23 | 0.39 |
| 222 | 0.19 | -0.16 | 0.25 | -0.17 |
| 242 | -0.17 | 0.22 | 0.28 | -0.16 |
| 2017 | -0.17 | 0.35 | 0.39 | -0.17 |
| 115 | -0.36 | 0.19 | 0.41 | 0.31 |
| 121 | 0.39 | -0.37 | 0.54 | -0.39 |
| 1200 | -0.52 | -0.10 | 0.53 | 0.15 |
| 250 | 0.04 | 0.25 | 0.26 | -0.35 |
| 252 | -0.18 | -0.37 | 0.41 | -0.39 |
| 246 | -0.01 | -0.20 | 0.20 | 0.20 |
| 256 | -0.27 | 0.04 | 0.28 | -0.06 |
| 257 | 0.29 | 0.45 | 0.53 | -0.14 |
| 244 | 0.27 | 0.27 | 0.38 | 0.13 |
| 339 | -0.12 | 0.18 | 0.22 | -0.09 |
| 306 | -0.36 | -0.01 | 0.36 | -0.23 |
| 335 | -0.52 | 0.16 | 0.55 | -0.04 |
| 336 | -0.23 | -0.37 | 0.44 | -0.30 |
| 329 | 0.13 | -0.26 | 0.29 | -0.05 |
| 318 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | -0.33 |
| 323 | 0.45 | 0.30 | 0.54 | 0.08 |
| 320 | 0.07 | 0.06 | 0.09 | 0.55 |
| 204 | 0.25 | 0.00 | 0.25 | 0.37 |
| 203 | -0.47 | -0.60 | 0.76 | -0.49 |
| 101 | -0.08 | -0.05 | 0.09 | 0.39 |
| 105 | -0.21 | 0.18 | 0.28 | -0.51 |
| 106 | 0.08 | -0.02 | 0.08 | -0.11 |
| 107 | 0.07 | -0.22 | 0.23 | -0.06 |
| 108 | 0.43 | -0.36 | 0.56 | -0.17 |
| 109 | -0.10 | 0.08 | 0.13 | -0.26 |
| 110 | -0.47 | -0.60 | 0.76 | 0.60 |
| 112 | 0.19 | 0.47 | 0.50 | -0.23 |
| 113 | 0.34 | -0.12 | 0.37 | -0.26 |
| 36 | 0.24 | 0.22 | 0.33 | |
| 34 | 0.19 | -0.09 | 0.21 | |
| 331 | -0.19 | 0.03 | 0.19 | |
| 333 | 0.02 | -0.23 | 0.23 | |
| 104 | 0.61 | 0.60 | 0.85 | |

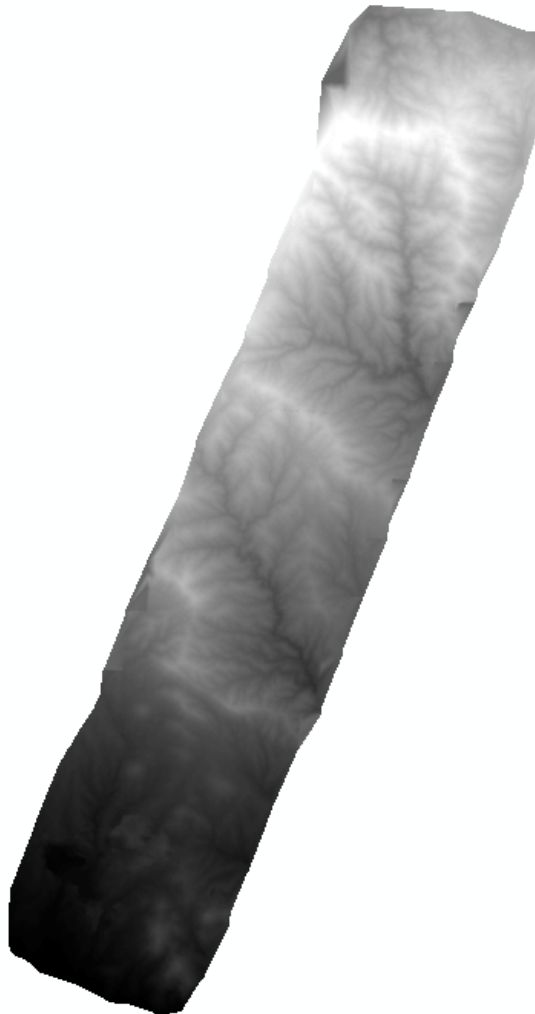
Πίνακας 5. Σφάλματα φωτοσταθερών για τα πολυφασματικά στερεοζεύγη (m).

| Αρ. σημείου | σ_x | σ_y | σ_{xy} | σ_z |
|-------------|------------|------------|---------------|------------|
| 2200 | -0.33 | -0.23 | 0.40 | -0.20 |
| 222 | 0.81 | -0.29 | 0.86 | -0.66 |
| 242 | -0.30 | 0.86 | 0.91 | 0.29 |
| 115 | 0.47 | 0.36 | 0.59 | 0.37 |
| 121 | -1.12 | 0.36 | 1.18 | -0.37 |
| 250 | -1.37 | -0.16 | 1.38 | -0.91 |
| 252 | -1.17 | 0.27 | 1.20 | -0.43 |
| 246 | -0.47 | -1.08 | 1.18 | -1.08 |
| 256 | 0.81 | -0.08 | 0.81 | 0.56 |
| 257 | -0.21 | -0.51 | 0.55 | 0.46 |
| 244 | 1.18 | -0.41 | 1.25 | 0.51 |
| 339 | 0.37 | 0.24 | 0.44 | -0.83 |
| 306 | -1.22 | -0.01 | 1.22 | 0.45 |
| 335 | -0.58 | 0.00 | 0.58 | -0.52 |
| 336 | -0.71 | -2.45 | 2.55 | -0.83 |
| 329 | 0.47 | 1.13 | 1.23 | -0.68 |
| 333 | 0.27 | -0.17 | 0.32 | 1.45 |
| 318 | -0.23 | -0.06 | 0.24 | -1.27 |
| 323 | -0.84 | 0.97 | 1.28 | 0.27 |
| 320 | 1.12 | -0.51 | 1.23 | 0.92 |
| 204 | 0.76 | -0.68 | 1.02 | 1.09 |
| 203 | -0.52 | -0.11 | 0.54 | 0.64 |
| 101 | 1.54 | 1.10 | 1.89 | 0.99 |
| 105 | -1.29 | 1.30 | 1.83 | -0.65 |
| 106 | -0.11 | -0.13 | 0.18 | 0.95 |
| 107 | -0.77 | -0.83 | 1.13 | -0.70 |
| 108 | -0.16 | 0.73 | 0.75 | -0.65 |
| 109 | -0.35 | -0.69 | 0.77 | -1.18 |
| 110 | 0.34 | -0.65 | 0.74 | -0.64 |
| 112 | 0.10 | -0.27 | 0.29 | 0.41 |
| 113 | 1.34 | -0.69 | 1.51 | 0.45 |
| 36 | -0.32 | 0.25 | 0.40 | |
| 34 | 0.80 | 1.06 | 1.33 | |
| 331 | 0.68 | -0.20 | 0.70 | |
| 104 | 0.81 | -0.67 | 1.05 | |

5. Παραγωγή DSM

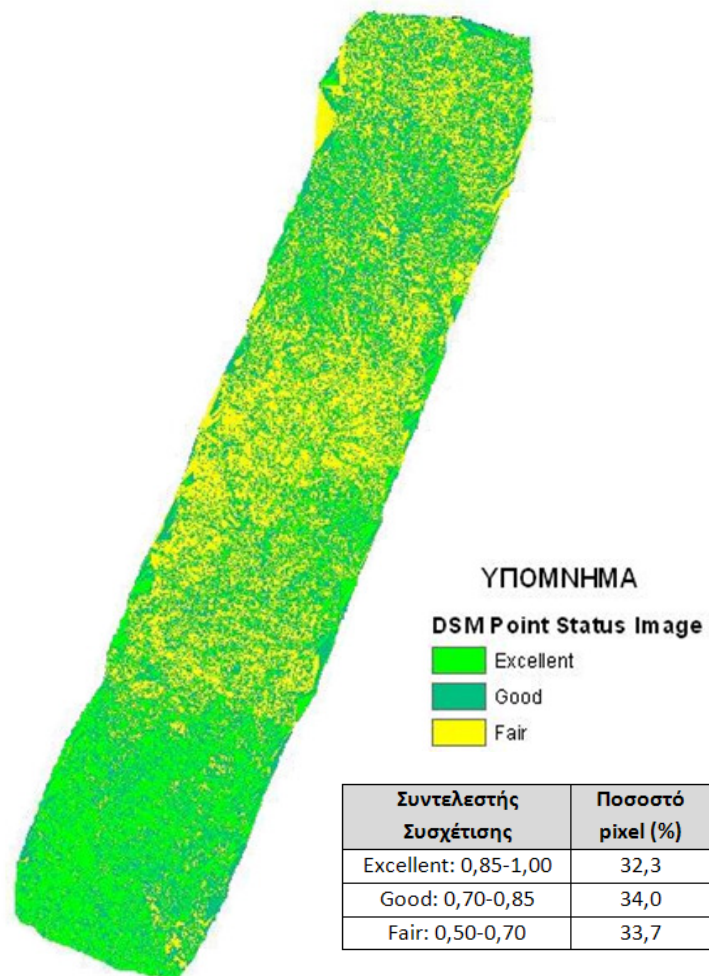
Μέσω της επίλυση της δέσμης που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα προσδιορίστηκε και ο εξωτερικός προσανατολισμός του μοντέλου. Στη συνέχεια, με γνωστό τον εξωτερικό προσανατολισμό, έγινε η παραγωγή του DSM (Εικόνα 4), χρησιμοποιώντας μόνο τις παγχρωματικές στερεοεικόνες. Τα πολυφασματικά στερεοζεύγη δε χρησιμοποιήθηκαν, καθώς χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη χωρική διακριτική ικανότητα.

Η παραγωγή του DSM έγινε με τη χρήση διαφορετικών στρατηγικών, ανάλογα με το είδος κάλυψης της γης καθώς και το ανάγλυφο του εδάφους. Οι στρατηγικές αυτές διαφοροποιούνται όσον αφορά στην τιμή των παραμέτρων που λαμβάνουν μέρος κατά την παραγωγή του DSM. Οι παράμετροι αφορούν στην αυτόματη συσχέτιση των στερεοεικόνων, το είδος του ανάγλυφου, το είδος των αντικειμένων της γήινης επιφάνειας κλπ. Οι κατηγορίες των στρατηγικών που εφαρμόστηκαν ήταν οι: “δασική”, “χαμηλή αστική” και “επίπεδη”.



Εικόνα 4. Το DSM που παράχθηκε με τη χρήση των παγχρωματικών στερεοεικόνων Geoeye-1.

Για την αξιολόγηση του παραχθέντος DSM χρησιμοποιήθηκε η θεματική εικόνα κατάστασης των σημείων (DSM Point Status image), σε συνδυασμό με τα σημεία ελέγχου. Η εικόνα DSM Point Status image (Εικόνα 5) παράγεται ταυτόχρονα με το DSM και δείχνει την ποιότητα των σημείων του DSM. Σημεία που χαρακτηρίστηκαν ως “excellent” αποδίδονται με πράσινο χρώμα, ως “good” με σκούρο πράσινο, ως “fair” με κίτρινο, ως “isolated” με πορτοκαλί και ως “suspicious” με κόκκινο. Ο χαρακτηρισμός των σημείων ως “excellent”, “good” και “fair” γίνεται με τη χρήση του συντελεστή συσχέτισης, που αφορά στην εύρεση ομόλογων σημείων στα στερεοζεύγη. Ο χαρακτηρισμός των σημείων ως “isolated” γίνεται σε περιπτώσεις σημείων που δεν έχουν άλλα άμεσα γειτονικά σημεία. Και τέλος, για τον χαρακτηρισμό των σημείων ως “suspicious” ακολουθείται η εξής διαδικασία: Το λογισμικό υπολογίζει την τιμή του υψομέτρου ενός σημείου από τα γειτονικά σημεία με τη χρήση ενός παραθύρου 3x3 ψηφίδων. Η τιμή του υψομέτρου στο παραχθέν DSM αφαιρείται από την τιμή του υψομέτρου που προκύπτει από την παρεμβολή με τη χρήση του παραθύρου. Στη συνέχεια υπολογίζεται η τυπική απόκλιση των γειτονικών σημείων του στο DSM. Αν η διαφορά είναι τρεις φορές μεγαλύτερη από την τυπική απόκλιση, το σημείο χαρακτηρίζεται ως “suspicious”.



Εικόνα 5. Η εικόνα DSM Point Status image.

Τα αριθμητικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6. Παρατηρείται ότι το σύνολο των σημείων του DSM μοιράζεται στις τρεις πρώτες κατηγορίες “excellent”, “good” και “fair” σχεδόν ισόποσα. Δεν υπάρχουν καθόλου σημεία στις δύο τελευταίες κατηγορίες ποιότητας σημείων “isolated” και “suspicious”. Το γεγονός αυτό είναι πολύ θετικό. Επίσης, η συνολική θεματική εικόνα DSM Point Status image (Εικόνα 5) δείχνει ότι τα αποτελέσματα είναι πολύ αξιόλογα.

Τα σημεία ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της υψομετρικής ακρίβειας του DSM (χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 14 σημεία). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 7. Η ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος ήταν 1.5m, ενώ το μέσο απόλυτο σφάλμα ήταν κάτω από 1m. Τα σφάλματα αυτά κρίνονται ως ιδιαίτερος ικανοποιητικά. Σε συνδυασμό με τα προαναφερθέντα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι το παραχθέν DSM αποτελεί ένα πολύ ακριβές ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 6. Τα αποτελέσματα της ποιότητας των σημείων στην εικόνα DSM Point Status image.

| Είδος σημείων | Ποσοστό pixel (%) |
|---------------|-------------------|
| Excellent | 32.3 |
| Good | 34.0 |
| Fair | 33.7 |
| Isolated | 0.0 |
| Suspicious | 0.0 |

Πίνακας 7. Αποτελέσματα της υψομετρικής ακρίβειας του DSM.

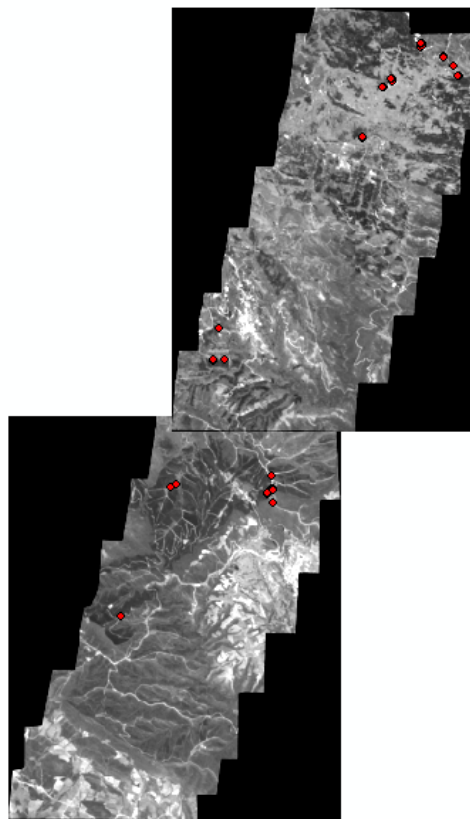
| Είδος σφάλματος DSM _z | Σφάλμα (m) |
|----------------------------------|------------|
| Μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMSE | 1.5 |
| Μέσο απόλυτο σφάλμα | 0.9 |

6. Στερεοσκοπική Παρατήρηση

Τέλος πραγματοποιήθηκε και στερεοσκοπική παρατήρηση σε δειγματοληπτικές θέσεις τις περιοχής μελέτης, όπου η μέτρηση των υψομέτρων έγινε στα προσανατολισμένα στερεομοντέλα που δημιουργήθηκαν κατά τον αεροτριγωνισμό. Στην Εικόνα 6 παρουσιάζονται οι θέσεις των δειγματοληπτικών σημείων στις εικόνες GeoEye-1. Τα σημεία που ελήφθησαν μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: (α) αυτά που βρίσκονται σε περιοχές ακάλυπτου εδάφους, π.χ. ξέφωτα και δρόμους, και (β) αυτά που βρίσκονται στην άκρη της κομοστέγης, σε κοντινές αποστάσεις από τα σημεία (α).

Οι μετρήσεις έγιναν εκατέρωθεν των δρόμων, γιατί σε αντίθετη περίπτωση δε θα ήταν εφικτό να ληφθούν υψόμετρα στο επίπεδο της βάσης του δέντρου. Επίσης, έγινε μια γενίκευση θεωρώντας την επιφάνεια της κομοστέγης ως ομοιόμορφη, στην περίπτωση κατά την οποία οι κορυφές των δέντρων στην στερεοσκοπική παρατήρηση φαινόταν στο ίδιο επίπεδο. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ των δύο μετρήσεων, δηλαδή του επιπέδου της βάσης των δέντρων και αυτού της κομοστέγης, αντιστοιχούν στα ύψη των δέντρων. Οι διαφορές αυτές ήταν της τάξης των 4-10m περίπου. Δεδομένης της βλάστησης της περιοχής, το αποτέλεσμα αυτό δείχνει ότι οι εικόνες GeoEye-1 θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για στερεοσκοπική παρατήρηση στις δασικές περιοχές.

Παρόλα αυτά, η παραπάνω διαδικασία δεν μπορεί να εφαρμοστεί για το σύνολο των σημείων της περιοχής μελέτης. Ως εκ τούτου, η εκτίμηση του ύψους των δέντρων αξιοποιώντας μόνο τις εικόνες GeoEye-1 είναι αδύνατη. Όπως αναφέρθηκε όμως στην προηγούμενη ενότητα, το παραχθέν DSM χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα ακριβές. Εφόσον παραχθεί ένα αξιόπιστο DTM με άλλα μέσα, το εν λόγω DSM θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του ύψους της δασικής κομοστέγης. Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος Tele-Kyoto θα γίνει προσπάθεια να παραχθεί ένα DTM μέσω ενεργών τηλεπισκοπικών δεδομένων και, συγκεκριμένα, μέσω εικόνων ραντάρ ALOS-PALSAR. Η αξιολόγηση της ακρίβειας αυτού του συνδυασμού θα επιτελεστεί κατά την επόμενη Δράση του προγράμματος, όπου όλες οι επιμέρους μεθοδολογίες θα συνδυαστούν για την επίτευξη του τελικού σκοπού εκτίμησης βιομάζας.



Εικόνα 6. Οι θέσεις στις οποίες ελήφθησαν υψόμετρα με στερεοσκοπική παρατήρηση.