

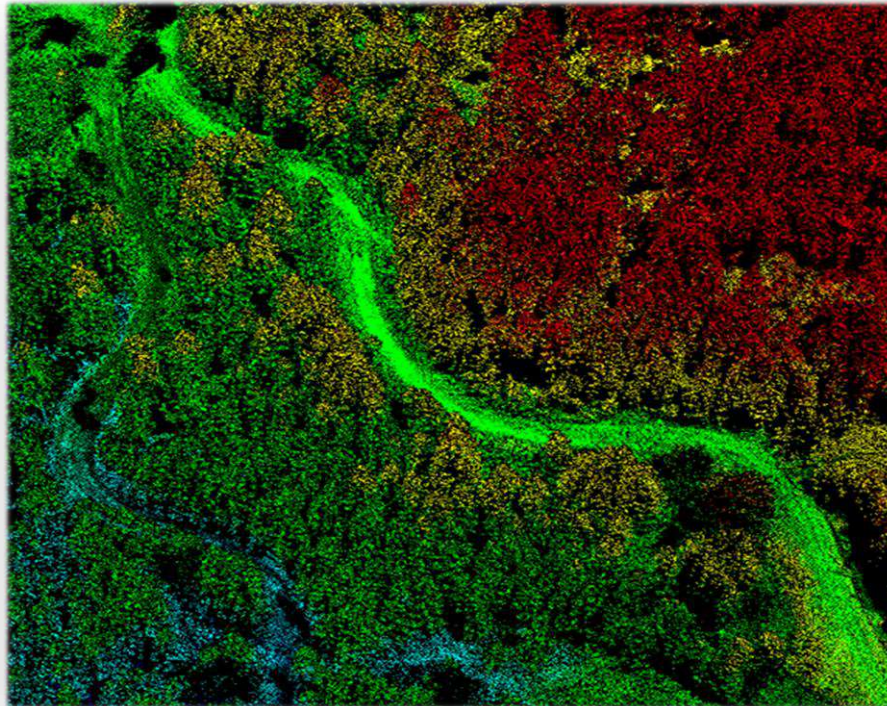


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ & ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΜΗΜΑ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ & ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΑΣΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

## ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΠΑΡΑΔΟΤΕΩΝ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΟ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ LIDAR ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗ  
ΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΔΑΣΩΝ ΣΕ ΤΟΠΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2021

## Μέλη ερευνητικής ομάδας

Όνοματεπώνυμο	Ειδικότητα
Γήτας Ζ. Ιωάννης	Καθηγητής Α.Π.Θ, Επιστημονικώς Υπεύθυνος του Έργου
Στεφανίδου Αλεξάνδρα	Δασολόγος-Περιβαλλοντολόγος PhD
Γεωργόπουλος Νικόλαος	Δασολόγος-Περιβαλλοντολόγος MSc
Παπαϊορδανίδης Στέφανος	Δασολόγος-Περιβαλλοντολόγος MSc

## Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	4
2	Περιγραφή εργασιών.....	4
2.1	Πακέτο Εργασίας 1.....	4
2.2	Πακέτο Εργασίας 2.....	7
2.3	Πακέτο Εργασίας 3.....	10
3	Αποτελέσματα .....	11
3.1	Αποτελέσματα Πακέτου Εργασίας 1 .....	11
3.2	Αποτελέσματα Πακέτου Εργασίας 2 .....	11
3.3	Αποτελέσματα Πακέτου Εργασίας 3 .....	12
4	Συμπεράσματα.....	12
5	Χρονοδιάγραμμα Υλοποίησης Εργασιών .....	12
6	Οικονομική Διαχείριση Έργου .....	13

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1:	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM) για το Πανεπιστημιακό Δάσος Περτουλίου που παράχθηκε με τη χρήση δεδομένων LiDAR. ....	5
Εικόνα 2:	Τοπογραφικός χάρτης του Πανεπιστημιακού Δάσους Περτουλίου που παράχθηκε με τη χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DTM). ....	6
Εικόνα 3:	Χάρτης κλίσεων εδάφους για το Πανεπιστημιακό Δάσος Περτουλίου που παράχθηκε με τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DTM).....	6
Εικόνα 4:	Χάρτης εκθέσεων εδάφους για το Πανεπιστημιακό Δάσος Περτουλίου που παράχθηκε με τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DTM).....	7
Εικόνα 5:	Χάρτης ορίων τμημάτων-συστάδων για το Πανεπιστημιακό Δάσος Περτουλίου που παράχθηκε με τη χρήση δεδομένων LiDAR. ....	7
Εικόνα 6:	Το Ψηφιακό Μοντέλο Ύψους Κόμης (CHM) για το Πανεπιστημιακό Δάσος Περτουλίου που παράχθηκε με τη χρήση του νέφους σημείων LiDAR και του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DTM). ....	8
Εικόνα 7:	Παράδειγμα του μητρώου δέντρων για το Πανεπιστημιακό Δάσος Περτουλίου που παράχθηκε με τη χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Κόμης (CHM). ....	9
Εικόνα 8:	Παράδειγμα του μητρώου δέντρων για το Πανεπιστημιακό Δάσος Περτουλίου με υπόβαθρο το μωσαϊκό των ορθοφωτοχαρτών (Πακέτο εργασίας 3).....	9
Εικόνα 9:	Μωσαϊκό αεροφωτογραφιών χωρικής ευκρίνειας 0,1 μ. για το Πανεπιστημιακό Δάσος Περτουλίου. ....	10
Εικόνα 10:	Χάρτης δασοπονικών ειδών για το Πανεπιστημιακό Δάσος Περτουλίου. ....	11

## 1 Εισαγωγή

Το παρόν ερευνητικό έργο αφορά την εκτίμηση δασικών παραμέτρων στο Πανεπιστημιακό Δάσους Περτουλίου μέσω της αξιοποίησης δεδομένων LiDAR για τη στήριξη της διαχείρισης των δασών σε τοπικό επίπεδο και υλοποιήθηκε στα πλαίσια των «Μικρών Ερευνητικών Προγραμμάτων» που χρηματοδοτούνται από το Τ.Δ.Δ.Π. Δασών. Πιο συγκεκριμένα, οι επιμέρους στόχοι της έρευνας είναι:

1. Ο επαναπροσδιορισμός των ορίων τμημάτων-συστάδων του δάσους, με τη συνδυαστική χρήση δεδομένων LiDAR και μετρήσεων πεδίου.
2. Η ανάπτυξη ψηφιακού μητρώου δέντρων με τη χρήση δεδομένων LiDAR.
3. Η επικαιροποίηση του δασοπονικού χάρτη της περιοχής με τη χρήση αεροφωτογραφιών πολύ υψηλής ευκρίνειας.

Το πρώτο πακέτο εργασίας αφορά τη συλλογή δεδομένων πεδίου, την μετακίνηση στο Πανεπιστήμιο Ανατολικής Φινλανδίας για την απόκτηση των απαραίτητων γνώσεων σχετικά με την επεξεργασία των δεδομένων LiDAR, την παραγωγή ψηφιακών μοντέλου εδάφους και χαρτών κλίσεων-εκθέσεων καθώς και τη διόρθωση των ορίων τμημάτων-συστάδων. Το δεύτερο πακέτο εργασίας περιλαμβάνει την παραγωγή του ψηφιακού μοντέλου ύψους κόμης και του ψηφιακού μητρώου δέντρων. Τέλος, το τρίτο πακέτο αφορά τη δημιουργία μωσαϊκού αεροφωτογραφιών, την επικαιροποίηση του δασοπονικού χάρτη του Π.Δ. Περτουλίου και την εκτίμηση ακρίβειας των προαναφερθέντων παραγόμενων προϊόντων.

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά η πορεία υλοποίησης του κάθε πακέτου εργασίας, τα προβλήματα που προέκυψαν και οι τρόποι αντιμετώπισής τους.

## 2 Περιγραφή εργασιών

### 2.1 Πακέτο Εργασίας 1

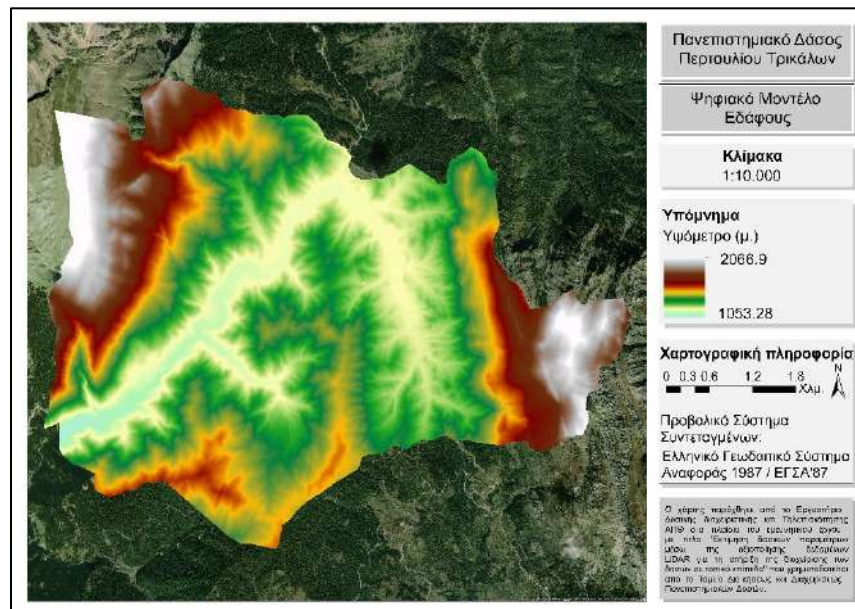
Η ανάπτυξη μέρους της μεθοδολογίας και τα πρώτα στάδια επεξεργασίας των δεδομένων LiDAR πραγματοποιήθηκαν σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Ανατολικής Φινλανδίας μέσω μετακίνησης μέλους της ερευνητικής ομάδας στο πανεπιστήμιο αυτό.

Πιο αναλυτικά, το διάστημα 24-26/6/2019 πραγματοποιήθηκε η εκμάθηση του λογισμικού ανοιχτού κώδικα R και εφαρμογή βασικών μεθοδολογιών προεπεξεργασίας των δεδομένων LiDAR. Από τις 27 έως 28/6/2019 χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα LiDAR της Εθνικής Τοπογραφικής Υπηρεσίας της Φινλανδίας για την εκμάθηση της ανάλυσής τους στο περιβάλλον του λογισμικού LASTools. Την περίοδο 1-4/7/2019, βάσει των γνώσεων που αποκτήθηκαν νωρίτερα, εφαρμόστηκαν αλγόριθμοι παραγωγής ψηφιακών μοντέλων εδάφους και ύψους κόμης, κατάτμησης ατόμων καθώς και μοντέλων εκτίμησης δασικών παραμέτρων τόσο σε επίπεδο ατόμου όσο και δειγματοληπτικής επιφάνειας.

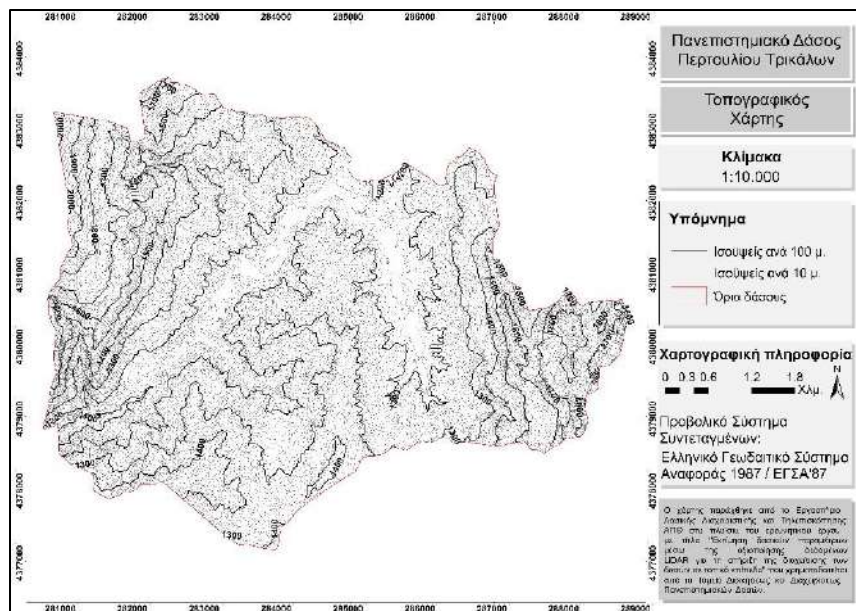
Κατά την περίοδο 4 με 25/10/2019, δύο από τα μέλη της ερευνητικής ομάδας μετακινήθηκαν στο Π.Δ. Περτουλίου με σκοπό τη συλλογή δεδομένων πεδίου. Τα δεδομένα περιελάμβαναν σημειακές μετρήσεις της θέσης 300 συνολικά δέντρων με τη χρήση συσκευής εντοπισμού θέσης Garmin eTrex 30x Touch, καθώς και μετρήσεις των υψών με τη χρήση συσκευής Blume Leiss. Τα δεδομένα ομογενοποιήθηκαν και ελέγχθηκαν για την ορθότητα και καταλληλότητα της χρήσης τους στην εκτίμηση ακρίβειας των παραγόμενων προϊόντων στα πλαίσια του παρόντος έργου. Διαπιστώθηκε ότι οι σημειακές μετρήσεις της θέσης των δέντρων παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από την πραγματικότητα με αποτέλεσμα

να καταστεί αδύνατη η χρήση τους στην αξιολόγηση των αντίστοιχων εκτιμήσεων από τα LiDAR δεδομένα (εκτενέστερη αναφορά στο Κεφάλαιο 2.2).

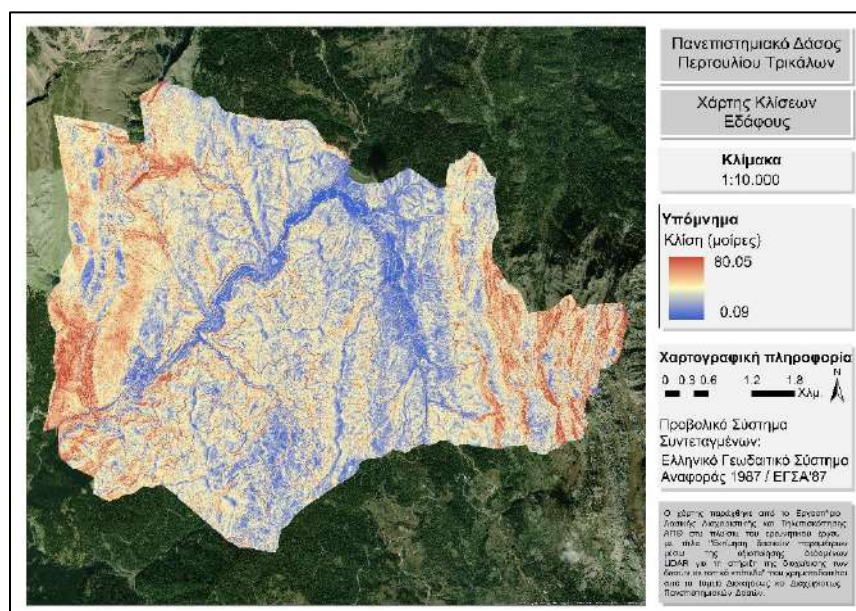
Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία της βιβλιοθήκη lidR για την ανάλυση του νέφους σημείων LiDAR και παραγωγή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους στο περιβάλλον του λογισμικού ανοιχτού κώδικα R. Το πρώτο στάδιο της ανάλυσης αφορούσε το διαχωρισμό των σημείων του εδάφους από τα υπόλοιπα. Ακολούθως, εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος χωρικής παρεμβολής Triangulated Irregular Network (TIN) για την παραγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Digital Terrain Model - DTM) (Εικόνα 1) για το σύνολο της έκτασης του δάσους. Το DTM χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του τοπογραφικού χάρτη (Εικόνα 2) και των χαρτών κλίσεων-εκθέσεων (Εικόνα 3-Εικόνα 4) της περιοχής στο περιβάλλον του λογισμικού ArcGIS (ArcMap). Τέλος, για την ολοκλήρωση του πακέτου υλοποιήθηκε η διόρθωση των τμημάτων-συστάδων ολόκληρου του δάσους, με βάση τις μετρήσεις πεδίου και τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους που παράχθηκαν από την επεξεργασία των δεδομένων LiDAR (Εικόνα 5).



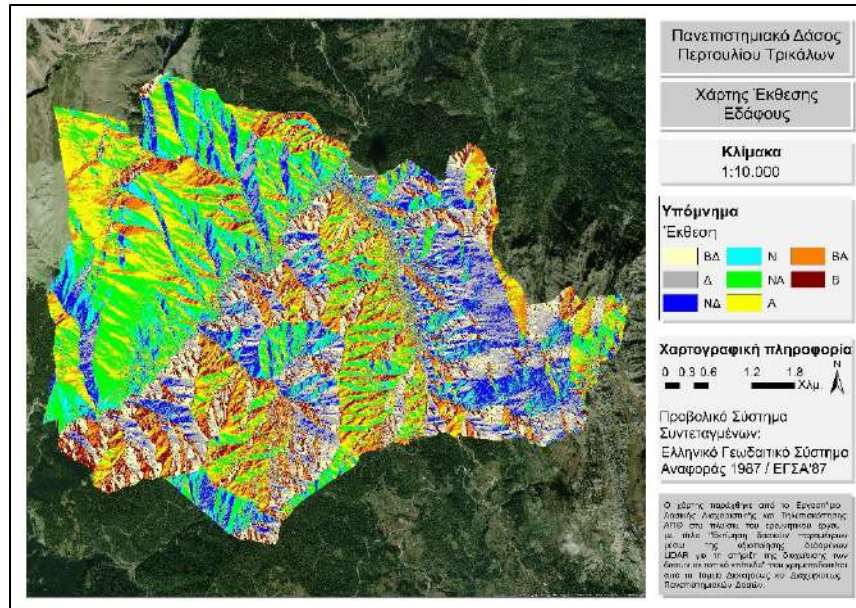
Εικόνα 1: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM) για το Πανεπιστημιακό Δάσος Περιοιού που παράχθηκε με τη χρήση δεδομένων LiDAR.



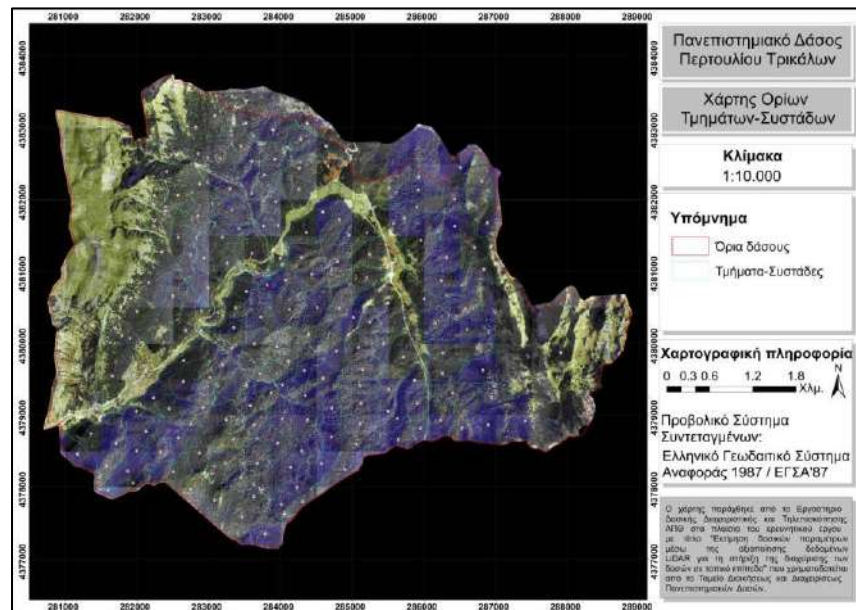
Εικόνα 2: Τοπογραφικός χάρτης του Πανεπιστημιακού Δάσους Περτουλιού που παράχθηκε με τη χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DTM).



Εικόνα 3: Χάρτης κλίσεων εδάφους για το Πανεπιστημιακό Δάσος Περτουλιού που παράχθηκε με τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DTM).



Εικόνα 4: Χάρτης εκθέσεων εδάφους για το Πανεπιστημιακό Δάσος Περτουλίου που παράχθηκε με τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DTM).



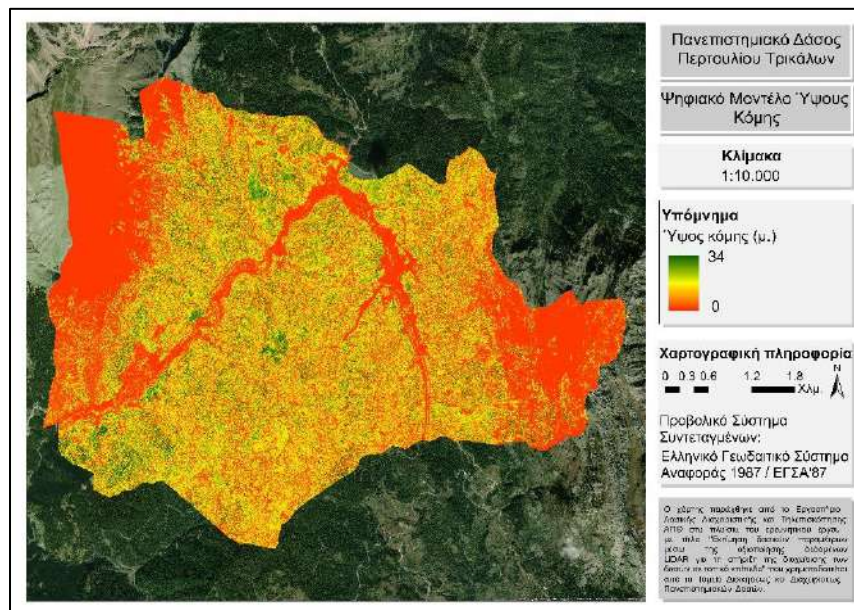
Εικόνα 5: Χάρτης ορίων τμημάτων-συστάδων για το Πανεπιστημιακό Δάσος Περτουλίου που παράχθηκε με τη χρήση δεδομένων LiDAR.

## 2.2 Πακέτο Εργασίας 2

Το ψηφιακό μητρώο δέντρων σε συνδυασμό με το ψηφιακό μοντέλο ύψους κόμης (Canopy Height Model-CHM) αποτελούν σημαντικά εργαλεία για τον εκσυγχρονισμό της διαχείρισης του δάσους, τόσο σε επίπεδο συστάδας-τμήματος, όσο και σε επίπεδο ατόμου.

Το CHM προέκυψε από τη συνδυαστική χρήση του νέφους σημείων LiDAR και του DTM που παράχθηκε στο πρώτο πακέτο εργασίας. Αρχικά, από το ύψος των σημείων LiDAR αφαιρέθηκε το υψόμετρο του

εδάφους, με σκοπό την κανονικοποίηση του νέφους σημείων και τη μέτρηση του πραγματικού υπέργειου ύψους της κόμης. Για την προαναφερθείσα ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία της βιβλιοθήκης lidR στο περιβάλλον του λογισμικού ανοιχτού κώδικα R. Ακολούθησε η εφαρμογή του αλγορίθμου “pitfree”, ο οποίος βασίζεται στον υπολογισμό ενός συνόλου τριγωνισμών σε διάφορα ύψη για την αποφυγή δημιουργίας κενών εικονοστοιχείων και τη δημιουργία ενός συνεχούς ανάγλυφου της κόμης των δέντρων. Με τον τρόπο αυτό παράχθηκε το CHM με μέγεθος εικονοστοιχείου 0,25 μ. (Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.6).



Εικόνα 6: Το Ψηφιακό Μοντέλο Ύψους Κόμης (CHM) για το Πανεπιστημιακό Δάσος Περτουλίου που παράχθηκε με τη χρήση του νέφους σημείων LiDAR και του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DTM).

Το παραγόμενο CHM χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση των δέντρων κατά άτομο. Εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος “Local Maxima Filter (LMF)” με τον οποίο ανιχνεύθηκαν τα τοπικά μέγιστα στο CHM που αντιπροσωπεύουν τις κορυφές των δέντρων. Η ακτίνα εύρεσης των τοπικών μέγιστων καθορίστηκε βάσει των μετρήσεων πεδίου που έλαβαν χώρα στο Πακέτο Εργασίας 1 και αφορούν μετρήσεις διαμέτρου κόμης δέντρων για τον καθορισμό της βέλτιστης ακτίνας διαχωρισμού τους. Η ακτίνα αυτή καθορίστηκε στα 2.87 μέτρα, η οποία είναι η μέση τιμή των 300 ακτίνων κόμης που μετρήθηκαν. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν βρέθηκε ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στο ύψος δέντρων και στην ακτίνα της κόμης λόγω της περίπλοκης δομής του δάσους, οπότε δεν επιλέχθηκε μία γραμμική μέθοδος εκτίμησης της ακτίνας βάσει του ύψους των δέντρων. Τα δέντρα που εντοπίστηκαν χαρακτηρίστηκαν με βάση το δασοπονικό χάρτη ως προς το είδος του δέντρου, και αριθμήθηκαν ανάλογα με το τμήμα στο οποίο βρίσκονται (Εικόνα 7). Στην Εικόνα 8 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα των κορυφών δέντρων που ανιχνεύθηκαν με την παραπάνω διαδικασία σε ένα μικρό τμήμα του δάσους.

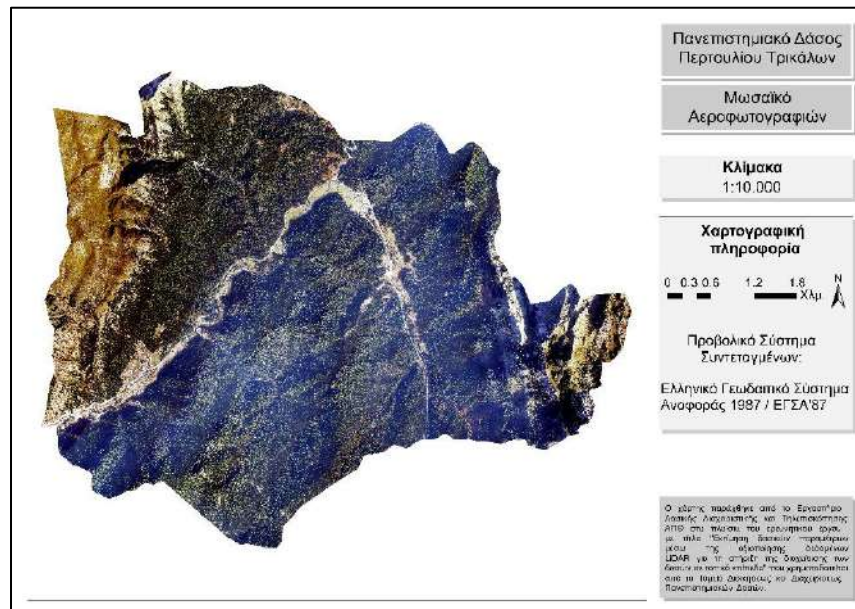




## 2.3 Πακέτο Εργασίας 3

Το τελευταίο Πακέτο Εργασίας αφορά τη δημιουργία ενός μωσαϊκού αεροφωτογραφιών που λήφθηκαν κατά την πτήση LiDAR για το σύνολο του δάσους βάσει του οποίου θα ανανεωθεί ο δασοπονικός χάρτης της περιοχής.

Το μωσαϊκό αεροφωτογραφιών παράχθηκε με τη χρήση της βιβλιοθήκης GDAL και του ελεύθερα διαθέσιμου λογισμικού QGIS. Αρχικά οι αεροφωτογραφίες μετατράπηκαν σε "εικονικά αρχεία" (Virtual Raster Dataset-VRT) για την εξοικονόμηση χώρου και την ευκολότερη διαχείριση του μεγάλου όγκου πληροφοριών. Το τελικό αρχείο χωρικής ευκρίνειας 0,1 μ. είναι σε μορφή TIFF και παρουσιάζεται στην Εικόνα 9. Ο δασοπονικός χάρτης ανανεώθηκε αξιοποιώντας τη υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα του μωσαϊκού, έχοντας σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός λεπτομερέστερου νέου χάρτη βασισμένου σε σύγχρονες αεροφωτογραφίες (Εικόνα 10).



Εικόνα 9: Μωσαϊκό αεροφωτογραφιών χωρικής ευκρίνειας 0,1 μ. για το Πανεπιστημιακό Δάσος Περιουλιού.



παραγωγικότητας του δάσους. Ο συνδυασμός των παραπάνω προϊόντων θα συμβάλει στην κατά-άτομο διαχείριση του δάσους, διευκολύνοντας τις διαδικασίες της υλοτομίας, της καταγραφής ασθενειών και άλλων κινδύνων-καταστροφών που βασίζονται σε βιοτικούς ή σε αβιοτικούς παράγοντες.

### 3.3 Αποτελέσματα Πακέτου Εργασίας 3

Το μωσαϊκό αεροφωτογραφιών και ο ανανεωμένος δασοπονικός χάρτης αποτελούν τη βάση για τη διαχείριση των δασών και δασικών εκτάσεων του Π.Δ. Περτουλίου και το σχεδιασμό έργων και δράσεων για την αειφόρο ανάπτυξη του οικοσυστήματος και της περιοχής.

## 4 Συμπεράσματα

Σκοπός του παρόντος ερευνητικού έργου ήταν η αξιοποίηση των δεδομένων LiDAR για την παραγωγή χρήσιμων προϊόντων που σχετίζονται με τον εκσυγχρονισμό της διαχείρισης του Πανεπιστημιακού Δάσους Περτουλίου. Οι στόχοι της εργασίας επιτεύχθηκαν πλήρως και τα αποτελέσματά της είναι πλήρως αξιοποιήσιμα και λειτουργικά. Τα παραγόμενα προϊόντα αναμένεται να συμβάλουν σημαντικά στη στήριξη της δασοπονίας σε τοπικό επίπεδο, καθώς και στην εξέλιξη της ερευνητικής δραστηριότητας παρέχοντας χρήσιμες και ακριβείς πληροφορίες σε πολλούς τομείς της δασολογικής επιστήμης όπως:

- της δασοκομίας και της διαχειριστικής
- της δασικής γενετικής
- της υδρολογίας
- της δασοπροστασίας
- της διαχείρισης βοσκοτόπων

## 5 Χρονοδιάγραμμα Υλοποίησης Εργασιών

Το χρονοδιάγραμμα εργασιών επεκτάθηκε από τους 12 μήνες στους 24, λόγω των περιορισμών μετακίνησης, οι οποίοι κατέστησαν αδύνατη τη συλλογή μετρήσεων πεδίου. Για το λόγο αυτό, οι μήνες κατά τους οποίους οι περιορισμοί ήταν σε εφαρμογή έχουν αφαιρεθεί από το χρονοδιάγραμμα. Παρακάτω περιγράφεται αναλυτικά το χρονοδιάγραμμα εργασιών (Πίνακας 1):

		Ενδεικτικό χρονοδιάγραμμα																		
		Έτος	2019						2020						2021					
Πακέτο Εργασίας	Μήνες	6	7	8	9	10	11	12	1	2	7	8	9	12	1	2	3	4	5	6
1	Εκπαίδευση στο UEF																			
	Παραγωγή ψηφιακού μοντέλου εδάφους																			
	Συλλογή δεδομένων πεδίου στο Π.Δ. Πετρουλίου																			
	Ομογενοποίηση δεδομένων πεδίου																			
	Παραγωγή χαρτών κλίσεων εκθέσεων																			
	Διόρθωση ορίων τμημάτων-συστάδων																			
2	Παραγωγή ψηφιακού μοντέλου ύψους κόμης																			
	Δημιουργία ψηφιακού μητρώου δέντρων																			
3	Δημιουργία μωσαϊκού αεροφωτογραφιών																			
	Παραγωγή δασοπονικού χάρτη																			
	Διόρθωση σφαλμάτων & εκτίμηση ακρίβειας των παραγόμενων προϊόντων																			

Πίνακας 1: Χρονοδιάγραμμα εργασιών.

## 6 Οικονομική Διαχείριση Έργου

Το συνολικό ποσό χρηματοδότησης του έργου αφορά έξοδα μετακινήσεων στα πλαίσια μετρήσεων πεδίου και εκπαίδευσης. Συνολικά, σε όλη τη διάρκεια του έργου, έχει απορροφηθεί το 92% του συνολικού ποσού.

Κατηγορία Δαπάνης	Αρχικός Προϋπολογισμός (€)	Υπόλοιπο (€)
Αποζημιώσεις Μετακινήσεων	2580,00	0,00
Έξοδα Ταξιδιού	680,00	275,65
Γενικά Έξοδα	73,60	12,97
Σύνολο	3333,60	288,62

Πίνακας 2: Προϋπολογισμός έργου.

## Βιβλιογραφία

Franceschi S, Antonello A, Floreancig V, Gianelle D, Comiti F, Tonon G. 2018. Identifying treetops from aerial laser scanning data with particle swarming optimization. European Journal of Remote Sensing. 51(1):945–964.

Li W, Guo Q, Jakubowski MK, Kelly M. 2012. A New Method for Segmenting Individual Trees from the Lidar Point Cloud. *photogramm eng remote sensing*. 78(1):75–84.