



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Διερεύνηση μεθόδων διαμεταγωγής γεωχωρικών δεδομένων νέφους  
σημείων σε λογισμικά GIS**

**Αντώνιος Παγωνάκης**

**A.M.: 13046**

**Επιβλέπων: Ανδρέας Τσάτσαρης, Καθηγητής**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Διερεύνηση μεθόδων διαμεταγωγής γεωχωρικών δεδομένων νέφους σημείων σε  
λογισμικά GIS**

**Αντώνιος Παγωνάκης**

**A.M.: 13046**

**Επιβλέπων: Ανδρέας Τσάτσαρης, Καθηγητής**

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

| <b>A/A</b> | <b>ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ</b>        | <b>ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b> | <b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b> |
|------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1          | ΑΝΔΡΕΑΣ ΤΣΑΤΣΑΡΗΣ           | ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ,<br>ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ |                         |
| 2          | ΛΑΖΑΡΟΣ<br>ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟΠΟΥΛΟΣ | ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ        |                         |
| 3          | ΚΛΕΟΜΕΝΗΣ<br>ΚΑΛΟΓΕΡΟΠΟΥΛΟΣ | ΜΕΤΑΔΙΔΑΚΤΩΡ            |                         |

**Ημερομηνία εξέτασης 20/02/2025**

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Παγωνάκης Αντώνιος του Καριοφύλλη, με αριθμό μητρώου 13046 φοιτητής του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι ..... και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Ο Δηλών



Παγωνάκης Αντώνιος

[https://www.uniwa.gr/wp-content/uploads/2021/01/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CC%81%CF%82\\_%CE%99%CE%B4%CF%81%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%85%CC%81\\_%CE%91%CF%80%CE%BF%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CC%81%CE%BF%CF%85\\_final.pdf](https://www.uniwa.gr/wp-content/uploads/2021/01/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CC%81%CF%82_%CE%99%CE%B4%CF%81%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%85%CC%81_%CE%91%CF%80%CE%BF%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CC%81%CE%BF%CF%85_final.pdf)

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα εργασία, φθάνει στο τέλος του ένα ταξίδι πολλών ετών που εν τέλει κρίνεται επιτυχημένο. Αισθάνομαι βαθιά ευγνωμοσύνη για την υποστήριξη και τις συμβουλές που έλαβα κατά τη διάρκεια της φοιτητικής μου πορείας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές που μέσα στα χρόνια έδωσαν απλόχερα γνώσεις και τρόπο σκέψης.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στον καθηγητή κ. Ανδρέα Τσάτσαρη καθώς και τον επιστημονικό συνεργάτη του Μεταδιδάκτορα κ. Κλεομένη Καλογερόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση τους.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα γεωχωρικά δεδομένα νέφους σημείων έχουν αναδειχθεί σε κρίσιμο στοιχείο των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), παρέχοντας εξαιρετικά λεπτομερείς αναπαραστάσεις πραγματικών χώρων. Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά μεθόδους για την αποτελεσματική ενσωμάτωση δεδομένων νέφους σημείων σε λογισμικό ΣΓΠ, αντιμετωπίζοντας τις προκλήσεις και τους περιορισμούς που σχετίζονται με αυτή τη διαδικασία. Στην εισαγωγή περιγράφεται η σημασία των γεωχωρικών δεδομένων και αιτιολογείται η ανάγκη για έρευνα στον τομέα αυτό. Τίθενται ερευνητικά ερωτήματα και καθορίζεται το πεδίο εφαρμογής και η μεθοδολογία της μελέτης. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση παρέχει μια επισκόπηση των γεωχωρικών δεδομένων νέφους σημείων, τονίζοντας τη σημασία τους και συζητώντας τις προκλήσεις κατά την ενσωμάτωση με τα ΣΓΠ. Ανασκοπούνται οι υπάρχουσες μέθοδοι και τεχνικές για τη μεταφορά δεδομένων νέφους σημείων σε ΣΓΠ, προσφέροντας πληροφορίες σχετικά με τις τρέχουσες πρακτικές και τους τομείς που χρήζουν βελτίωσης. Η συλλογή δεδομένων και η προεπεξεργασία συζητούνται λεπτομερώς, καλύπτοντας τις μεθόδους για την απόκτηση νέφους σημείων και τα στάδια της προεπεξεργασίας των δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών ποιοτικού ελέγχου. Στη συνέχεια, η εργασία αυτή παρουσιάζει τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την απόκτηση νέφους σημείων και τα στάδια της προεπεξεργασίας των δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών ποιοτικού ελέγχου. Ακολούθως, η εργασία εμβαθύνει στις μεθόδους διαμεταγωγής δεδομένων νέφους σημείων, παρουσιάζοντας μια επισκόπηση των τεχνικών, πραγματοποιώντας μια συγκριτική ανάλυση για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους. Παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης για την απεικόνιση της ενσωμάτωσης δεδομένων νέφους σημείων σε λογισμικό ΣΓΠ, εστιάζοντας στις δυνατότητες του λογισμικού ΣΓΠ και των εργαλείων για την εισαγωγή και επεξεργασία νέφους σημείων. Συγκεκριμένα, διερευνάται η ενσωμάτωση νέφους σημείων στο ArcGIS Pro, παρέχοντας πρακτικές γνώσεις σε πραγματικές εφαρμογές. Τέλος, η ενότητα αξιολόγησης και συμπερασμάτων αξιολογεί τις μεθόδους που συζητήθηκαν, εξάγοντας συμπεράσματα με βάση τα ευρήματα της μελέτης. Προτείνονται μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις

και τομείς βελτίωσης, τονίζοντας τη συνεχιζόμενη σημασία της αποτελεσματικής ενσωμάτωσης των δεδομένων νέφους σημείων στα ΣΓΠ για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Συνολικά, η παρούσα διπλωματική συμβάλλει στην κατανόηση των μεθόδων για την ενσωμάτωση δεδομένων νέφους σημείων σε λογισμικό ΣΓΠ, προσφέροντας γνώσεις σχετικά με τις τρέχουσες πρακτικές και τις πιθανές κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα αυτό.

## ABSTRACT

Geospatial point cloud data has emerged as a crucial component in Geographic Information Systems (GIS), providing highly detailed representations of real-world environments. This thesis investigates methods for effectively integrating point cloud data into GIS software, addressing the challenges and limitations associated with this process. The introduction outlines the importance of geospatial data and motivates the need for research in this area. Research questions are posed, and the scope and methodology of the study are defined. The literature review provides an overview of geospatial point cloud data, highlighting its significance and discussing challenges in integration with GIS. Existing methods and techniques for transferring point cloud data to GIS are reviewed, offering insights into current practices and areas for improvement. Data collection and pre-processing are discussed in detail, covering methods for point cloud acquisition and stages of data pre-processing, including quality control techniques. The thesis then delves into methods of point cloud data mediation, presenting an overview of mediation techniques and conducting a comparative analysis to evaluate their effectiveness. A case study is presented to illustrate the integration of point cloud data into GIS software, focusing on the capabilities of GIS software and tools for point cloud import and editing. Specifically, a case study of point cloud integration in ArcGIS Pro is explored, providing practical insights into real-world applications. Finally, the evaluation and conclusions section evaluate the methods discussed, drawing conclusions based on the findings of the study. Future research directions and areas for improvement are suggested, emphasizing the ongoing importance of effective integration of point cloud data into GIS for a wide range of applications. Overall, this thesis contributes to the understanding of methods for integrating point cloud data into GIS software, offering insights into current practices and potential avenues for further research and development in this field.

## Περιεχόμενα

|  |    |
|--|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....   | 4  |
| ABSTRACT .....   | 6  |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....   | 9  |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....   | 10 |
| ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ .....   | 11 |
| 1. Εισαγωγή.....   | 12 |
| 1.1. Υπόβαθρο και περιβάλλον γεωχωρικών δεδομένων.....                                     | 12 |
| 1.2 Σημασία και κίνητρα .....  | 18 |
| 1.3 Ερευνητικοί στόχοι και ερωτήματα .....   | 23 |
| 1.4 Πεδίο εφαρμογής και μεθοδολογία .....  | 24 |
| 2. Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας.....   | 26 |
| 2.1 Επισκόπηση των γεωχωρικών δεδομένων νέφους σημείων .....                               | 26 |
| 2.2 Σημασία και εφαρμογές των νεφών σημείων στα ΣΓΠ .....                                  | 27 |
| 2.3 Προκλήσεις και περιορισμοί στην ενσωμάτωση δεδομένων νέφους σημείων στα ΣΓΠ ..         | 28 |
| 2.4 Σημασία και εφαρμογές των νεφών σημείων στα ΣΓΠ .....                                  | 30 |
| 3. Συλλογή και προ-επεξεργασία δεδομένων.....  | 33 |
| 3.1 Σύνοψη μεθόδων απόκτησης νεφών σημείων.....  | 33 |
| 3.2 Στάδια προεπεξεργασίας δεδομένων.....  | 34 |
| 3.3 Τεχνικές ποιοτικού ελέγχου και εγκυρότητας δεδομένων.....                              | 36 |
| 4. Μέθοδοι διαμεταγωγής δεδομένων νέφους σημείων.....                                      | 38 |
| 4.1 Επισκόπηση των μεθόδων διαμεταγωγής δεδομένων νέφους σημείων σε περιβάλλον ΣΓΠ .....   | 38 |
| 4.2 Συγκριτική ανάλυση των τεχνικών.....   | 42 |
| 4.3 Αξιολόγηση.....  | 43 |
| 5. Ένταξη των δεδομένων νέφους σημείων σε λογισμικό ΣΓΠ – Μελέτη περίπτωσης.....           | 45 |
| 5.1 Δυνατότητες του λογισμικού ΣΓΠ ως προς την ένταξη νεφών .....                          | 45 |
| 5.2 Εργαλεία, πρόσθετα και διασυνδέσεις (APIs) .....                                       | 47 |
| 5.3 Μελέτη περίπτωσης εισαγωγής και επεξεργασίας νέφους σημείων σε περιβάλλον ArcGIS ..... | 49 |
| 5.3.1 Περιοχή μελέτης.....   | 49 |
| 5.3.2 Εξοπλισμός .....   | 51 |
| 5.3.3 Η συλλογή των δεδομένων .....  | 51 |



|   |    |
|---|----|
| 6. Αποτελέσματα και Συζήτηση.....   | 55 |
| 6.1 Άμεσες λειτουργίες λογισμικού.....                                      | 55 |
| 6.2 Προετοιμασία νέφους σημείων για εκμάθηση του μοντέλου.....              | 63 |
| 6.3 Κατηγοριοποιήσεις ταξινόμησης.....                                      | 63 |
| 6.4 Αξιολόγηση του μοντέλου.....  | 68 |
| 6.5 Ταξινόμηση του νέφους σημείων με χρήση του εκπαιδευόμενου μοντέλου..... | 69 |
| 7. Συμπεράσματα.....  | 79 |
| Βιβλιογραφία.....   | 81 |
| Διαδικτυακές Πηγές.....   | 84 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 1- Τοπογραφικός χάρτης (1:50000).....                                  | 12 |
| Εικόνα 2 – Δορυφορική εικόνα.....   | 12 |
| Εικόνα 4– Νέφος σημείων .....   | 12 |
| Εικόνα 3– Αεροφωτογραφία .....  | 12 |
| Εικόνα 5 – Οπτικοποίηση διανυσματικών και ψηφιδωτών δεδομένων .....           | 13 |
| Εικόνα 6 – Λειτουργία LiDAR .....   | 14 |
| Εικόνα 7 – Διαδικασία φωτογραμμετρίας.....                                    | 15 |
| Εικόνα 8 – Οπτικοποίηση ποιοτικών & ποσοτικών δεδομένων .....                 | 16 |
| Εικόνα 9 – Νέφος σημείων για αρχαιολογικού ενδιαφέροντος .....                | 20 |
| Εικόνα 10 – Νέφος σημείων για μελέτη μηχανικής.....                           | 20 |
| Εικόνα 11 – Ευρύτερο στιγμιότυπο, Πηγή: Λογισμικό Google Earth.....           | 50 |
| Εικόνα 12 – Άνω όψη του ξενοδοχείου, Πηγή: Λογισμικό Google Earth .....       | 50 |
| Εικόνα 13 – Topcon hiper pro, Πηγή: Εικόνα από τις εργασίες πεδίου .....      | 52 |
| Εικόνα 14 – Φωτοσταθερό.....  | 52 |
| Εικόνα 15 – Φωτοσταθερό.....  | 52 |
| Εικόνα 16 – Φωτοσταθερό.....  | 52 |
| Εικόνα 17 – Φωτοσταθερό.....  | 52 |
| Εικόνα 18– Αεροφωτογραφία περιοχής με τις θέσεις των φωτοσταθερών .....       | 53 |
| Εικόνα 19 .....   | 55 |
| Εικόνα 20 – Συμβολισμός νέφους βάσει υψομέτρου .....                          | 56 |
| Εικόνα 21 – Συμβολισμός νέφους βάσει τιμών RGB .....                          | 56 |
| Εικόνα 22 – Συμβολισμός νέφους βάσει τιμής επιστροφής .....                   | 57 |
| Εικόνα 23 – Το έγχρωμο νέφος σημείων σε αντιπαράθεση με το ταξινομημένο ..... | 65 |
| Εικόνα 24- Το έγχρωμο νέφος σημείων σε αντιπαράθεση με το ταξινομημένο.....   | 66 |
| Εικόνα 25 – Έγχρωμο νεφος.....  | 67 |

Εικόνα 26 – Ταξινομημένο νέφος ..... 68

Εικόνα 27 – Οπτικοποίηση τρόπου λειτουργίας εργαλείου. Analyze LAS Runaway Obstacles. 77

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 1 – Λειτουργίες ArcGIS Pro που υποστηρίζουν LiDAR..... 48

Πίνακας 2 - Επιλυμένες συντεταγμένες τριγωνομετρικών σημείων..... 53

Πίνακας 3 - Συμβολισμός σημείων ..... 57

Πίνακας 4 – Συμβολισμός επιφάνειας ..... 58

Πίνακας 5 – Συμβολισμός γραμμής ..... 58

Πίνακας 6 – Κωδικοί ταξινόμησης ..... 64

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

|            |   |
|------------|---|
| ΣΓΠ        | Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών   |
| LiDAR      | Light Detection and Ranging (Ανίχνευση φωτός και απόστασης)                 |
| ΨΜΕ        | Ψηφιακό μοντέλο εδάφους   |
| LAS        | Lidar Data Exchange Format  |
| LAZ        | LASzip Compressed Format  |
| PLY        | Polygon File Format   |
| XYZ        | μορφή συντεταγμένων ASCII   |
| BIM        | Building Information model (Μοντέλο κτιριακής πληροφορίας)                  |
| SfM        | Structure from motion (Δομή από την κίνηση)                                 |
| MVS        | Multi-View Stereo   |
| DIM        | Dense Image Matching (Αντιστοίχιση πυκνής εικόνας)                          |
| MMS        | Mobile Mapping Systems (Κινητά συστήματα χαρτογράφησης)                     |
| GNSS       | Global Navigation Satellite System (Παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης) |
| TLS        | Terrestrial Laser Scanning (Επίγεια σάρωση με λέιζερ)                       |
| ALB        | Airborne LiDAR Bathymetry (Εναέρια βαθυμετρία LiDAR)                        |
| ΣμηΕΑ/ UAV | Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών  |
| API        | Application Programming Interface (Διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών)       |
| LOD        | Tiling and Level of Detail (Πλακίδια και επίπεδο λεπτομέρειας)              |
| dxf        | Αρχείο CAD  |
| EAE        | Επιφάνεια αναγνώρισης εμποδίων  |
| AR         | Augmented Reality (Επαυξημένη πραγματικότητα)                               |

# 1. Εισαγωγή

## 1.1. Υπόβαθρο και περιβάλλον γεωχωρικών δεδομένων

Τα γεωχωρικά δεδομένα, που συχνά αναφέρονται ως γεωγραφικές πληροφορίες ή χωρικά δεδομένα, αποτελούν θεμελιώδες στοιχείο της κατανόησης και της ανάλυσης της γήινης επιφάνειας και των χαρακτηριστικών της. Περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα πληροφοριών που συνδέονται με συγκεκριμένες τοποθεσίες ή γεωγραφικές συντεταγμένες. Τα γεωχωρικά δεδομένα περιλαμβάνουν διανυσματικά δεδομένα, χάρτες, δορυφορικές εικόνες, αεροφωτογραφίες και, πιο πρόσφατα, νέφη σημείων.



Εικόνα 1- Τοπογραφικός χάρτης (1:50000)

Πηγή: Πανεπιστήμιο του Ghent



Εικόνα 2 – Δορυφορική εικόνα

Πηγή: Copernicus EU



Εικόνα 4– Αεροφωτογραφία

Πηγή: Artemis Engineering

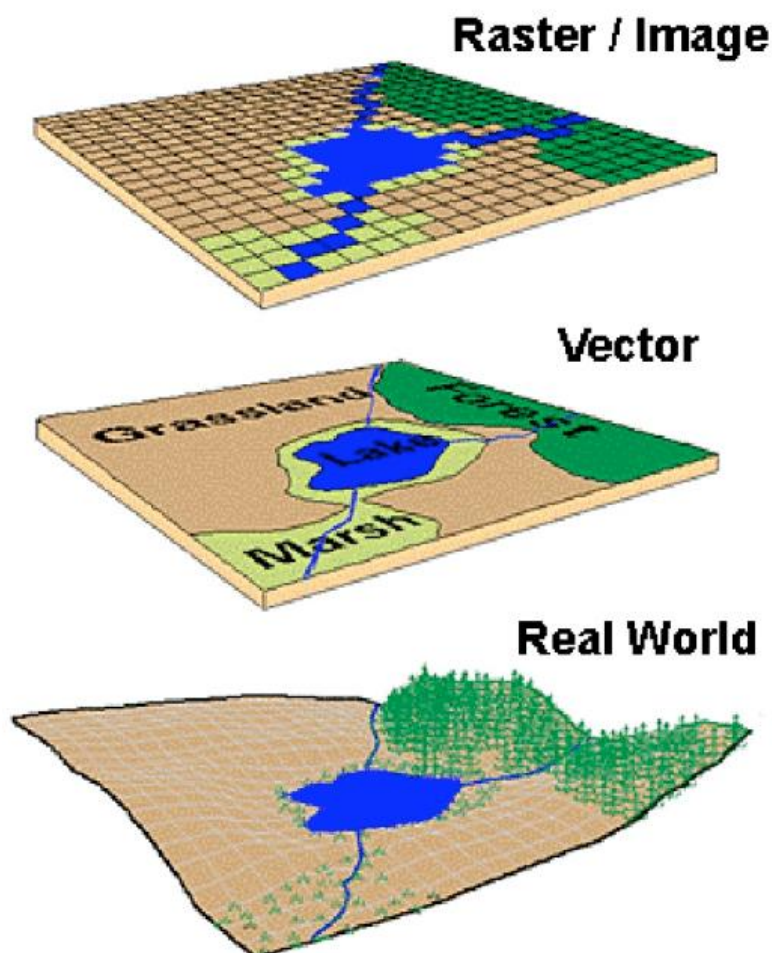


Εικόνα 3– Νέφος σημείων

Πηγή: Leica Geosystems

Η χρήση των γεωχωρικών δεδομένων χρονολογείται από τους αρχαίους πολιτισμούς, όπου δημιουργήθηκαν χάρτες και διαγράμματα για την πλοήγηση και την εξερεύνηση του κόσμου. Ωστόσο, με την πρόοδο της τεχνολογίας, η απόκτηση, η αποθήκευση και η ανάλυση των γεωχωρικών δεδομένων έχουν γίνει πιο εξελιγμένες και προσιτές. Σήμερα, τα γεωχωρικά δεδομένα χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένου του αστικού σχεδιασμού, της περιβαλλοντικής διαχείρισης, των μεταφορών, της γεωργίας, της αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών κτλ. Χωρίζονται σε

δύο βασικές κατηγορίες, στα διανυσματικά (vector) και στα ψηφιδωτά/μωσαϊκά (raster).

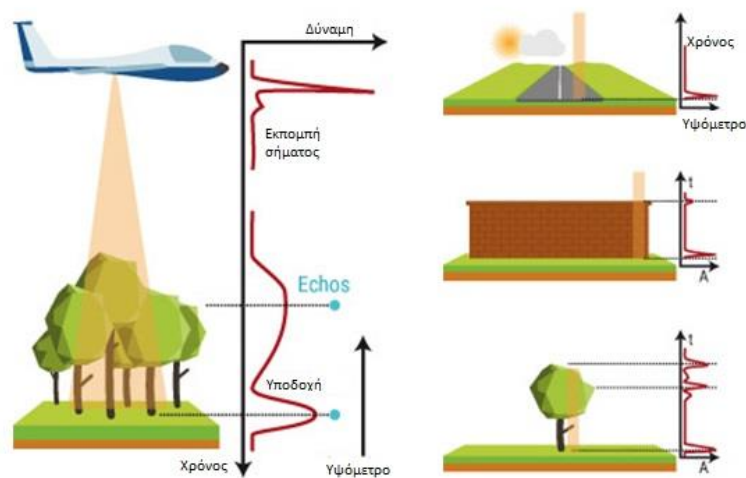


Εικόνα 5 – Οπτικοποίηση διανυσματικών και ψηφιδωτών δεδομένων

Πηγή: Saab, David. (2003). *Conceptualizing Space: Mapping Schemas as Meaningful Representations*.

Παρέχουν πολύτιμες γνώσεις και πληροφορίες σχετικά με τον κόσμο και από οτιδήποτε αυτός αποτελείται, τις χωρικές τους σχέσεις και διασυνδέσεις της μέσω των συντεταγμένων τους σε κάποιο σύστημα αναφοράς, επιτρέποντας στον κάτοχο τους να τα αναλύσει και να πάρει αποφάσεις. Τα χαρτογραφικά δεδομένα επιτρέπουν την κατανόηση σχετικά με τη χωρική κατανομή των φαινομένων, την ανάλυση των χωρικών αλληλεπιδράσεων και την μοντελοποίηση σεναρίων του πραγματικού κόσμου. Με την ενσωμάτωση των γεωγραφικών πληροφοριών με άλλους τύπους δεδομένων, όπως

κοινωνικοοικονομικά δεδομένα ή περιβαλλοντικές μεταβλητές, τα γεωχωρικά δεδομένα ενισχύουν την κατανόηση των πολύπλοκων συστημάτων και υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων βάσει στοιχείων. Στην πιο πρόσφατη ιστορία τους, μια σημαντική πρόοδος στη συλλογή γεωχωρικών δεδομένων είναι η χρήση νέφους σημείων. Τα νέφη είναι πυκνές συλλογές τρισδιάστατων σημείων που αναπαριστούν την επιφάνεια ενός αντικειμένου ή την τοπογραφία της Γης με συντεταγμένες (X, Y, Z) σε τοπικό ή σε κάποιο εθνικό/παγκόσμιο σύστημα αναφοράς. Συνήθως αποκτώνται μέσω τεχνολογιών laser, όπως LiDAR (Light Detection and Ranging) ή φωτογραμμετρίας. Αυτές οι τεχνολογίες καταγράφουν εκατομμύρια ή και δισεκατομμύρια μεμονωμένα σημεία, το καθένα με τις δικές του τρισδιάστατες συντεταγμένες και πρόσθετα χαρακτηριστικά όπως η ένταση ή το χρώμα. Τα συστήματα LiDAR εκπέμπουν παλμούς laser και μετρούν το χρόνο που χρειάζεται το φως για να ανακλαστεί, επιτρέποντας τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων νέφους σημείων ακριβείας.

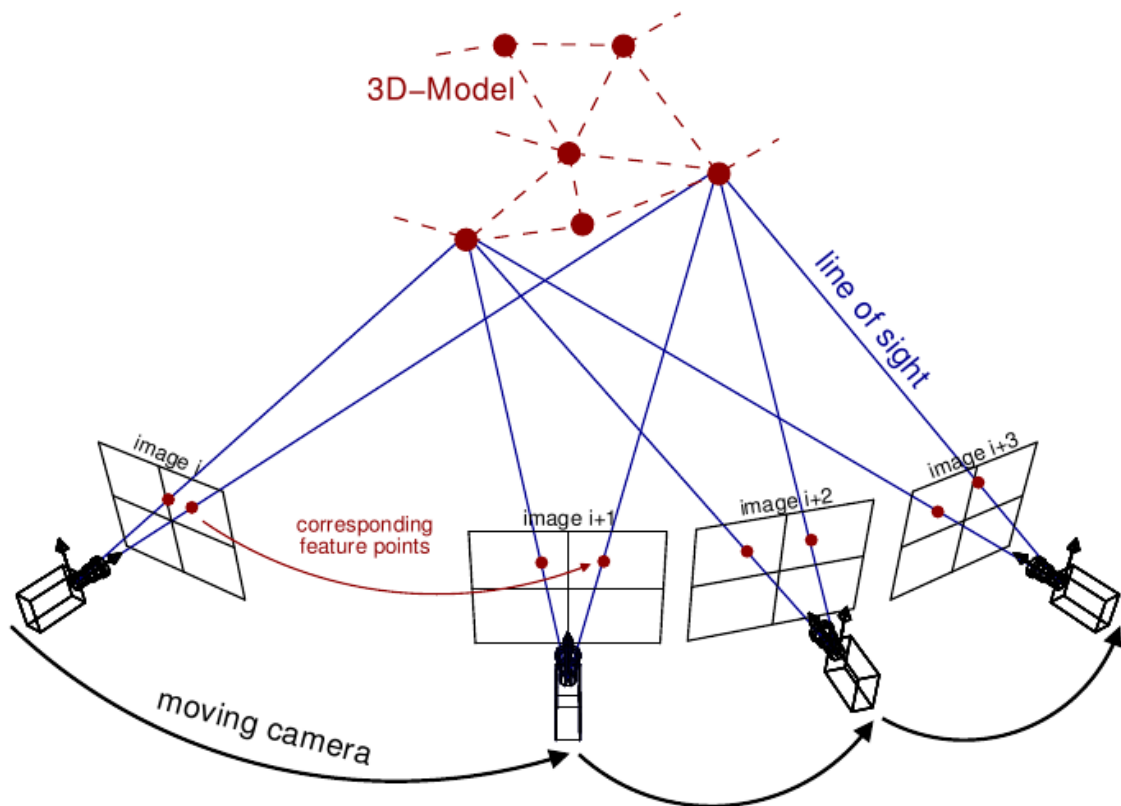


Εικόνα 6 – Λειτουργία LiDAR

Πηγή: Yellowscan (<https://www.yellowscan.com/knowledge/how-does-lidar-work/>)

Η φωτογραμμετρία βασίζεται σε αεροφωτογραφίες ή επίγειες φωτογραφίες για την ανακατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων με την εξαγωγή πληροφοριών από επικαλυπτόμενες εικόνες. Τα νέφη σημείων προσφέρουν υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας

και ακρίβειας, επιτρέποντας ακριβείς μετρήσεις, αναγνώριση χαρακτηριστικών και εξαγωγή πολύτιμων πληροφοριών.



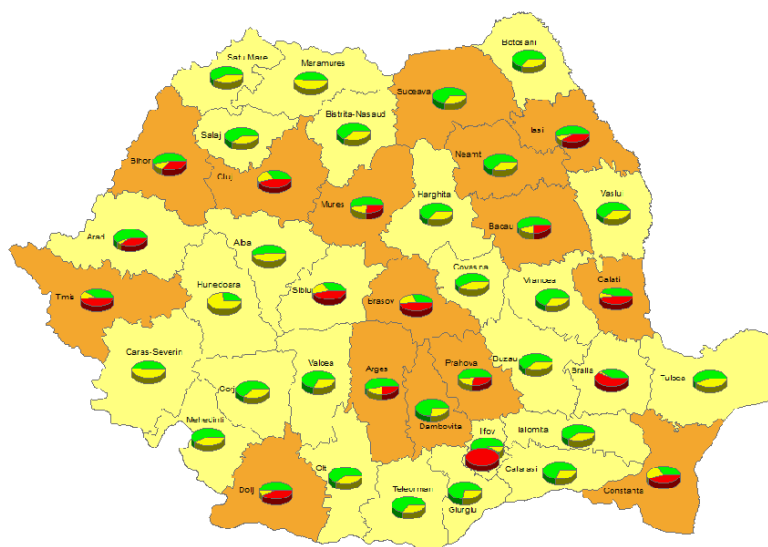
Εικόνα 7 – Διαδικασία φωτογραμμετρίας

Πηγή: Scanify (<https://help.scanify.com/definition-of-photogrammetry>)

Τα τελευταία χρόνια έχουν καθιερωθεί λόγω των εφαρμογών τους σε τομείς όπως ο αστικός σχεδιασμός, η διαχείριση υποδομών, η περιβαλλοντική παρακολούθηση και η αρχαιολογία. Τα νέφη σημείων παρέχουν τη δυνατότητα καταγραφής και ανάλυσης σύνθετων τρισδιάστατων δομών, επιτρέποντας τη βελτίωση της οπτικοποίησης, της χωρικής ανάλυσης και της λήψης αποφάσεων. Έχουν κερδίσει όλο και μεγαλύτερη προσοχή λόγω της πλούσιας χωρικής πληροφορίας τους και της ικανότητάς τους να αποτυπώνουν πολύπλοκες τρισδιάστατες δομές με υψηλή ακρίβεια. Προσφέρουν λεπτομερείς αναπαραστάσεις του φυσικού περιβάλλοντος, επιτρέποντας ακριβείς μετρήσεις, εξαγωγή χαρακτηριστικών και προηγμένες χωρικές αναλύσεις. Για την αποτελεσματική αξιοποίηση των γεωχωρικών δεδομένων χρησιμοποιείται εξειδικευμένο λογισμικό γνωστό ως Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ).



Το λογισμικό ΣΓΠ επιτρέπει την αποθήκευση, την ανάλυση, τον χειρισμό και την οπτικοποίηση γεωχωρικών δεδομένων. Παρέχει μια πλατφόρμα για την ενσωμάτωση διαφορετικών συνόλων δεδομένων και την εξαγωγή ουσιαστικών πληροφοριών από τις χωρικές πληροφορίες. Επίσης, επιτρέπει στους χρήστες να εκτελούν χωρικές αναλύσεις, να δημιουργούν θεματικούς χάρτες, να εκτελούν λειτουργίες γεω-επεξεργασίας σε συνδυασμό με ποιοτικά χαρακτηριστικά και να δημιουργούν οπτικοποιήσεις.



Εικόνα 8 – Οπτικοποίηση ποιοτικών & ποσοτικών δεδομένων

Πηγή: Reveiu, Adriana & DARDALA, Marian. (2011). *Techniques for Statistical Data Visualization in GIS. Informatica Economica. 15. 72-79.*

Στην αγορά διατίθενται διάφορες επιλογές λογισμικού ΣΓΠ, η καθεμία με τα δικά της χαρακτηριστικά και δυνατότητες. Ορισμένα ευρέως χρησιμοποιούμενα λογισμικά ΣΓΠ είναι τα: ArcGIS, QGIS, GRASS GIS, MapInfo Professional. Αυτές οι επιλογές λογισμικού, μεταξύ άλλων, παρέχουν μια σειρά δυνατοτήτων για την εργασία με γεωχωρικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων των νεφών σημείων. Προσφέρουν εργαλεία για την εισαγωγή, την ανάλυση, την οπτικοποίηση και την ενσωμάτωση δεδομένων νέφους σημείων με άλλα σύνολα γεωχωρικών δεδομένων, επιτρέποντας στους χρήστες να εξαγάγουν πολύτιμες πληροφορίες και γνώσεις.

Πολυάριθμες μελέτες έχουν διερευνήσει την ενσωμάτωση των σημειακών νεφών στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (ΣΓΠ). Για παράδειγμα, οι Jiansi Yang & Xianfeng

Huang (2014) πρότειναν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για τη διαχείριση, οπτικοποίηση και ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων με τη χρήση ΣΓΠ, LiDAR και δεδομένων σημειακών νεφών. Απέδειξαν την αποτελεσματικότητα της ενσωμάτωσης δεδομένων νέφους σημείων σε ροές εργασίας ΣΓΠ για διάφορες εφαρμογές, όπως η μοντελοποίηση εδάφους, η αστική ανάλυση και η διαχείριση περιουσιακών στοιχείων (Jiansi Yang, 2014). Μια άλλη μελέτη των Florent Poux, Romain Neuville κ.ά. (2017) επικεντρώθηκε στη χρήση σημειακών νεφών στην αρχαιολογική έρευνα. Τόνισαν πώς τα δεδομένα νέφους σημείων ενισχύουν την τεκμηρίωση, την οπτικοποίηση και την ανάλυση αρχαιολογικών χώρων, επιτρέποντας ακριβείς μετρήσεις, εικονικές ανακατασκευές και λεπτομερή εξαγωγή χαρακτηριστικών (Florent Poux, 2017). Μία πιο πρόσφατη έρευνα που αφορά τη γεωργία των Nadeem Fareed & Khushbakht Rehman αποδεικνύει πόσο σημαντική είναι η εύρεση γραμμών φύτευσης για επίτευξη μέγιστης απόδοσης της καλλιέργειας βασισμένη και σε ΨΜΕ (Nadeem Fareed, 2020). Επίσης, στα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης τα ΣΓΠ έχουν πολύ σημαντικό ρόλο όπως αναφέρουν οι Sanjay Saifi & Ramiya M. Anandakumar που συνδέουν δεδομένα υψομέτρων από LiDAR, τρισδιάστατα κτίρια και διανυσματικά δεδομένα για να αξιολογηθεί η έκταση της πλημμύρας ενός ποταμού (Anandakumar, 2023). Τα παραδείγματα αυτά αναδεικνύουν την αυξανόμενη αναγνώριση των δεδομένων νέφους σημείων ως πολύτιμου πόρου σε εφαρμογές ΣΓΠ. Ωστόσο, η ενσωμάτωση και η αξιοποίηση δεδομένων νέφους σημείων σε τέτοιου είδους λογισμικά παρουσιάζει αρκετές προκλήσεις και περιορισμούς. Αυτές περιλαμβάνουν τον όγκο δεδομένων και τις απαιτήσεις αποθήκευσης, την προ επεξεργασία και τον ποιοτικό έλεγχο των δεδομένων, τη συμβατότητα με το εκάστοτε λογισμικό και τις αποτελεσματικές τεχνικές μεταφοράς και ανάλυσης δεδομένων. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί περαιτέρω έρευνα και διερεύνηση των μεθόδων μεταφοράς, διαχείρισης, ανάλυσης και απεικόνισης των γεωχωρικών σημειακών νεφών δεδομένων εντός του λογισμικού. Με την ανάπτυξη αποτελεσματικών τεχνικών και ροών εργασίας, μπορούν να αξιοποιηθούν πλήρως τις δυνατότητες των σημειακών νεφών δεδομένων, προωθώντας τις δυνατότητες των ΣΓΠ και επιτρέποντας ακριβέστερη, λεπτομερέστερη και τεκμηριωμένη ανάλυση.

Συνοψίζοντας, τα σημειακά νέφη αποτελούν βασικά συστατικά της σύγχρονης χωρικής ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων και των διαδικασιών λήψης αποφάσεων. Η ενσωμάτωση των σημειακών νεφών στο λογισμικό ΣΓΠ προσφέρει νέες δυνατότητες για την ανάλυση δεδομένων, την οπτικοποίηση και τη μοντελοποίηση. Ωστόσο, πρέπει να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις στη διαχείριση και την ανάλυση των δεδομένων για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων των νεφών σημειακών δεδομένων σε εφαρμογές. Με τη διεξαγωγή περαιτέρω έρευνας και τη διερεύνηση καινοτόμων μεθόδων, δύναται να ενισχυθεί η ενσωμάτωση και η χρήση των δεδομένων νέφους σημείων, προωθώντας ακόμη περισσότερο τον τομέα της γεωχωρικής ανάλυσης και των εφαρμογών της σε διάφορους τομείς.

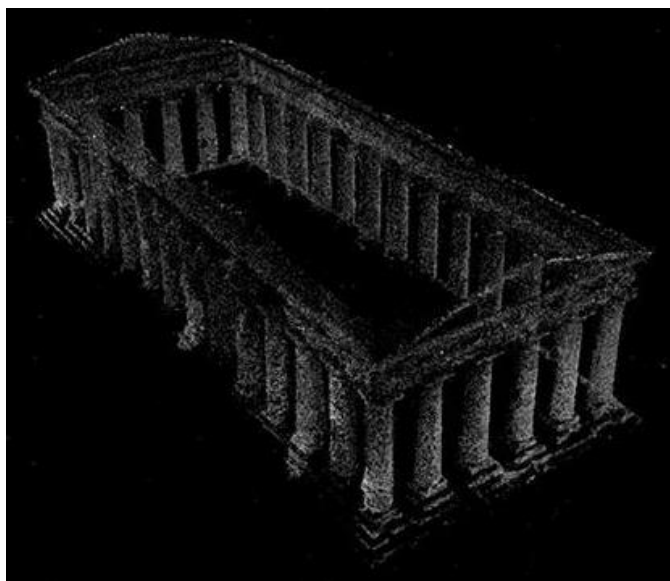
## 1.2 Σημασία και κίνητρα

Τα τρισδιάστατα (3D) δεδομένα νέφους σημείων έχουν σημαντική σημασία και προσφέρουν πλήθος πλεονεκτημάτων και εφαρμογών σε διάφορους τομείς. Ακολουθούν, πιο αναλυτικά, ορισμένοι βασικοί λόγοι για τους οποίους τα τρισδιάστατα δεδομένα νέφους σημείων είναι ιδιαίτερα πολύτιμα και χρήσιμα:

- Ακριβής αναπαράσταση του περιβάλλοντος: Τα τρισδιάστατα δεδομένα νέφους σημείων παρέχουν ακριβή και λεπτομερή αναπαράσταση του φυσικού περιβάλλοντος. Καταγράφει εκατομμύρια μεμονωμένα σημεία στο χώρο, το καθένα με τις δικές του συντεταγμένες XYZ και πρόσθετα χαρακτηριστικά. Αυτό το υψηλό επίπεδο ακρίβειας επιτρέπει την πιστή αναπαράσταση πολύπλοκων τρισδιάστατων δομών, όπως κτίρια, τοπία και αντικείμενα.
- Ενισχυμένη χωρική ανάλυση: Τα δεδομένα νέφους σημείων επιτρέπουν την προηγμένη χωρική ανάλυση, διευκολύνοντας εργασίες όπως η μοντελοποίηση επιφανειών, οι ογκομετρικοί υπολογισμοί και η ανίχνευση αλλαγών. Αξιοποιώντας την τρισδιάστατη φύση των δεδομένων, οι αναλυτές μπορούν να εξάγουν πολύτιμες πληροφορίες και μετρήσεις, βοηθώντας σε διάφορες εφαρμογές, όπως ο αστικός σχεδιασμός, η περιβαλλοντική αξιολόγηση και η διαχείριση υποδομών.

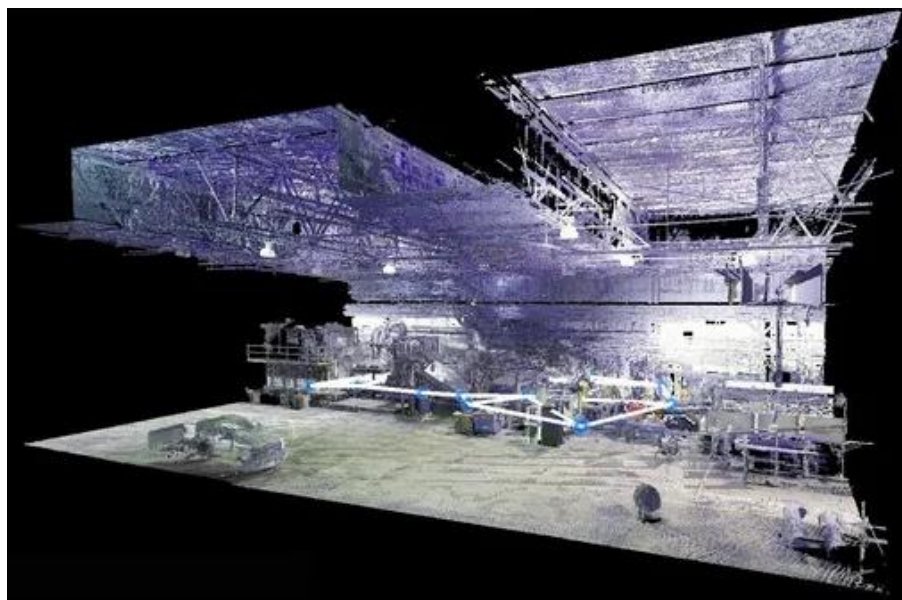
- Πλούσιες γεωχωρικές πληροφορίες: Τα δεδομένα νέφους σημείων περιέχουν πληθώρα γεωχωρικών πληροφοριών πέρα από τις απλές συντεταγμένες XYZ. Μπορούν να καταγραφούν πρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως το χρώμα, η ένταση και η ταξινόμηση. Αυτές οι πρόσθετες πληροφορίες παρέχουν πολύτιμο πλαίσιο και ενισχύουν την κατανόηση του περιβάλλοντος που αποτυπώνεται, επιτρέποντας πιο ολοκληρωμένες αναλύσεις.
- Ενσωμάτωση με άλλα γεωχωρικά δεδομένα: Τα τρισδιάστατα δεδομένα νέφους σημείων μπορούν να ενσωματωθούν με άλλα σύνολα γεωχωρικών δεδομένων, όπως αεροφωτογραφίες και δορυφορικά δεδομένα. Η ενσωμάτωση αυτή επιτρέπει μια ολιστική άποψη του περιβάλλοντος, συνδυάζοντας διαφορετικές πηγές δεδομένων για ολοκληρωμένη ανάλυση και οπτικοποίηση.
- Οπτικοποίηση και επικοινωνία: Τα τρισδιάστατα δεδομένα νέφους σημείων προσφέρουν καθηλωτικές και οπτικά ελκυστικές αναπαραστάσεις του πραγματικού κόσμου. Οι τεχνικές οπτικοποίησης, όπως η τρισδιάστατη απεικόνιση και η εικονική πραγματικότητα, επιτρέπουν στους ενδιαφερόμενους να εξερευνήσουν και να αλληλοεπιδράσουν με τα δεδομένα, ενισχύοντας την επικοινωνία, τη λήψη αποφάσεων και τη συμμετοχή του κοινού.

Η σημασία και η χρησιμότητα των τρισδιάστατων δεδομένων νέφους σημείων επεκτείνονται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών και εφαρμογών, όπως η αρχιτεκτονική, η μηχανική, οι κατασκευές, η αρχαιολογία, η δασοκομία και η διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς.



Εικόνα 9 – Νέφος σημείων για αρχαιολογικού ενδιαφέροντος

Πηγή: White, D.A. (2013). *LIDAR, Point Clouds, and Their Archaeological Applications*. In: *Mapping Archaeological Landscapes from Space*. SpringerBriefs in Archaeology(), vol 5. Springer, New York, NY.



Εικόνα 10 – Νέφος σημείων για μελέτη μηχανικής

Πηγή: Alloy Mechanical Inc. (<https://www.alloymechanicalinc.com/no-drawings-no-problem>)

Η δυνατότητα καταγραφής, λεπτομερών και πληρέστατων τρισδιάστατων πληροφοριών ακριβείας δίνει τη δυνατότητα στους επαγγελματίες να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις, να εκτελούν ακριβείς μετρήσεις, να εντοπίζουν αλλαγές με την πάροδο του χρόνου και να απεικονίζουν το περιβάλλον από διάφορες οπτικές γωνίες. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και οι τεχνικές επεξεργασίας νέφους σημείων βελτιώνονται, η σημασία των τρισδιάστατων δεδομένων νέφους σημείων στη γεωχωρική ανάλυση και τη λήψη αποφάσεων θα συνεχίσει να αυξάνεται, ανοίγοντας νέες δυνατότητες για καινοτομία και ανακάλυψη.

Ο ρόλος των νεφών σημείων στην τεχνολογική ανάπτυξη και τη λήψη αποφάσεων είναι πρωταρχικός, καθώς παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες και υποστηρίζουν κρίσιμες διαδικασίες σε διάφορους τομείς. Ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα του τρόπου με τον οποίο χρησιμοποιούνται τα σημειακά νέφη σε βασικούς τομείς:

- Σχεδιασμός και διαχείριση υποδομών: Τα νέφη σημείων διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στο σχεδιασμό και τη διαχείριση υποδομών. Καταγράφοντας ακριβείς τρισδιάστατες αναπαραστάσεις των υφιστάμενων υποδομών, όπως κτίρια, δρόμοι και γέφυρες, επιτρέπουν στους μηχανικούς και τους πολεοδόμους να αξιολογούν τη δομική ακεραιότητα, να σχεδιάζουν δραστηριότητες συντήρησης και να σχεδιάζουν νέα έργα υποδομής όπως αναφέρουν και στην έρευνα τους οι Andres Justo, Mario Soilán κ.α. (Andrés Justo, 2021)
- Διαχείριση και αντιμετώπιση καταστροφών: Τα σημειακά νέφη παίζουν καθοριστικό ρόλο στις προσπάθειες διαχείρισης και αντιμετώπισης καταστροφών. Μετά από φυσικές καταστροφές ή καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, τα νέφη σημείων μπορούν να συλλεχθούν γρήγορα με τη χρήση εναέριων ή επίγειων μεθόδων για την αξιολόγηση των ζημιών, τον εντοπισμό κινδύνων και τη βοήθεια στις επιχειρήσεις διάσωσης. Παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για τις πληγείσες περιοχές, επιτρέποντας στους φορείς αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις, να

κατανέμουν αποτελεσματικά τους πόρους και να σχεδιάζουν τις προσπάθειες αποκατάστασης και ανασυγκρότησης.

- Διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς: Τα νέφη σημείων χρησιμοποιούνται εκτενώς στη διατήρηση και τεκμηρίωση χώρων και αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς. Επιτρέπουν τη δημιουργία λεπτομερών τρισδιάστατων μοντέλων ιστορικών κτιρίων, αρχαιολογικών χώρων και έργων τέχνης. Τα νέφη σημείων διευκολύνουν την ανάλυση και τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, υποστηρίζουν εικονικές αναπαραστάσεις και παρέχουν πολύτιμες αναφορές για την έρευνα, την εκπαίδευση και τον τουρισμό.
- Περιβαλλοντική παρακολούθηση και διαχείριση: Τα σημειακά νέφη συμβάλλουν σε πρωτοβουλίες περιβαλλοντικής παρακολούθησης και διαχείρισης. Βοηθούν στην αξιολόγηση της κάλυψης γης, στην ανάλυση της βλάστησης και στην ανίχνευση αλλαγών στο τοπίο. Τα νέφη σημείων που προέρχονται από τεχνολογίες τηλεπισκόπησης, όπως το LiDAR, προσφέρουν πολύτιμα δεδομένα για τη μελέτη των οικοσυστημάτων, την ανάλυση των φυσικών πόρων και την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών αλλαγών με την πάροδο του χρόνου όπως. Για παράδειγμα οι M.S.P.M. Sirirwardane, M.A.D. Samanmali κ.α. έκαναν χρήση συνδυασμού νέφους σημείων και λογισμικού ΣΓΠ για παρακολούθηση περιβαλλοντικής ρύπανσης σε παράκτια ζώνη (M.S.P.M. Sirirwardane, 2015). Οι πληροφορίες αυτές βοηθούν στην αποτελεσματική λήψη αποφάσεων για τη βιώσιμη διαχείριση της γης και τις προσπάθειες διατήρησης.

Η διαμεταγωγή νεφών σημείων αποτελεί κίνητρο γιατί μέσω αυτής της διαδικασίας, τόσο οι επαγγελματίες όσο και οι απλοί χρήστες μπορούν να επωφεληθούν από τη βελτιωμένη προσβασιμότητα και διαθεσιμότητα των δεδομένων. Η μεταφόρτωση αυτών των νεφών σημείων σε κατάλληλες πλατφόρμες ή σε λογισμικά ΣΓΠ επιτρέπει την απρόσκοπτη πρόσβαση και χρήση, δίνοντας τη δυνατότητα στους επαγγελματίες να εμβαθύνουν στις ιδιαιτερότητές τους και να εξάγουν σημαντικές πληροφορίες. Επιπλέον, η διαμεταγωγή των νεφών σημείων προάγει τη συνεργασία και την ανταλλαγή γνώσεων μεταξύ των χρηστών. Παρέχοντας πρόσβαση σε κοινά σύνολα δεδομένων, ερευνητές, επιστήμονες, μηχανικοί και άλλοι ενδιαφερόμενοι μπορούν να

συνεργάζονται σε έργα, να διεξάγουν διεπιστημονικές μελέτες και να αξιοποιούν τη συλλογική τεχνογνωσία για την επίλυση προβλημάτων. Η δυνατότητα μεταφόρτωσης και χρήσης σημείων νεφών ως κίνητρο ενθαρρύνει τη διεπιστημονική συνεργασία, την έρευνα, τον σχεδιασμό, τη μελέτη και κατ' επέκταση την ανάλυση διευκολύνοντας την ανταλλαγή ιδεών, τεχνικών και βέλτιστων πρακτικών. Η έρευνα της παρούσας μελέτης αποσκοπεί στη διερεύνηση των μεθόδων για τη μετάδοση γεωχωρικών σημειακών νεφών δεδομένων σε περιβάλλον ΣΓΠ. Τα δεδομένα νέφους σημείων, τα οποία αποτελούνται από πυκνές συλλογές τρισδιάστατων σημείων που αποτυπώνουν τα χωρικά χαρακτηριστικά αντικειμένων ή περιβαλλόντων, προσφέρουν τεράστιες δυνατότητες για τη χωρική ανάλυση και τη λήψη αποφάσεων. Ωστόσο, υπάρχουν διάφορες προκλήσεις και περιορισμοί που σχετίζονται με την ενσωμάτωση των δεδομένων νέφους σημείων σε συστήματα ΣΓΠ, των οποίων η αντιμετώπιση αποτελεί κίνητρο.

### **1.3 Ερευνητικοί στόχοι και ερωτήματα**

Ο πρωταρχικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει και να αναλύσει τις μεθόδους και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά γεωχωρικών δεδομένων νέφους σημείων σε λογισμικό ΣΓΠ και συγκεκριμένα στο ArcGIS Pro της εταιρίας ESRI. Αυτό περιλαμβάνει τη διερεύνηση των διαφόρων προσεγγίσεων, πρωτοκόλλων και τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά αυτών των δεδομένων. Με την εξέταση αυτών των μεθόδων, μπορούν να αποκτηθούν γνώσεις σχετικά με την αποτελεσματικότητα, την αποδοτικότητα και τη συμβατότητά τους. Ένας άλλος στόχος είναι να εντοπιστούν και να αναφερθούν οι προκλήσεις και οι περιορισμοί που συναντώνται κατά την ένταξη των νεφών σημείων στο λογισμικό. Οι προκλήσεις αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν ζητήματα που σχετίζονται με τη συμβατότητα των δεδομένων, την ταχύτητα επεξεργασίας, τις απαιτήσεις αποθήκευσης και τη διασφάλιση της ποιότητας των δεδομένων. Με την κατανόηση και την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, μπορούν να αναπτυχθούν στρατηγικές και συστάσεις για τη βελτίωση της διαδικασίας ενσωμάτωσης. Επιπλέον, η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη διερεύνηση των δυνατοτήτων των γεωχωρικών σημειακών νεφών ως



προς την ικανότητα τους για ανάλυση εντός του λογισμικού ArcGIS Pro. Με την εξέταση των δυνατοτήτων των δεδομένων αυτών και της συμβατότητάς τους με τεχνικές χωρικής ανάλυσης, μπορούν να εντοπιστούν οι δυνατότητες αξιοποίησης των δεδομένων αυτών για πολλαπλές εφαρμογές.

Τέλος, με την παρούσα μελέτη επιδιώκεται η συμβολή στην υπάρχουσα γνώση με τον εντοπισμό κενών και τομέων όπου απαιτείται περαιτέρω έρευνα. Η ενσωμάτωση σημειακών νεφών δεδομένων σε συστήματα ΣΓΠ είναι ένας σχετικά νέος και εξελισσόμενος τομέας και ενδέχεται να υπάρχουν πτυχές που δεν έχουν ακόμη διερευνηθεί ή κατανοηθεί πλήρως. Εντοπίζοντας αυτά τα κενά γνώσης, μπορούν να τονιστούν τομείς στους οποίους απαιτούνται πρόσθετες προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης, επιτρέποντας την περαιτέρω πρόοδο στον τομέα.

Με την αντιμετώπιση αυτών των ερευνητικών στόχων και την απάντηση των αντίστοιχων ερευνητικών ερωτημάτων, η παρούσα μελέτη έχει ως στόχο να συμβάλει στην κατανόηση της μετάδοσης γεωχωρικών σημειακών νεφών δεδομένων σε περιβάλλοντα ΣΓΠ, να αναδείξει τις προκλήσεις και τους περιορισμούς, να διερευνήσει τις δυνατότητες χωρικής ανάλυσης και να προσδιορίσει τομείς για μελλοντική έρευνα. Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας δύναται να παράσχουν πολύτιμες γνώσεις για τους επαγγελματίες των ΣΓΠ, τους ερευνητές και τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων που εργάζονται με σημειακά δεδομένα νέφους, διευκολύνοντας την αποτελεσματικότερη ενσωμάτωση και αξιοποίηση αυτής της πλούσιας πηγής γεωχωρικών πληροφοριών.

#### **1.4 Πεδίο εφαρμογής και μεθοδολογία**

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη διερεύνηση μεθόδων για τη μεταφορά σημειακών δεδομένων νέφους σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Το πεδίο εφαρμογής της παρούσας μελέτης περιστρέφεται γύρω από τη μεταφορά δεδομένων από μια κινητή συσκευή χαρτογράφησης στο λογισμικό ArcGIS Pro, μαζί με τη διερεύνηση διαφόρων γεωχωρικών εφαρμογών.

Η πρώτη πτυχή του αντικειμένου θα περιλάβει τη διεξαγωγή μιας ολοκληρωμένης βιβλιογραφικής ανασκόπησης σχετικά με τις υπάρχουσες μεθόδους, τεχνικές και

τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων σημείων νέφους σε λογισμικά ΣΓΠ.

Στη συνέχεια, το ζήτημα θα αντιμετωπισθεί με μία μελέτη περίπτωσης για να καταδειχθεί η πρακτική εφαρμογή των εντοπισμένων μεθόδων μεταφοράς. Αυτή η μελέτη περίπτωσης θα περιλαμβάνει τη λήψη δεδομένων νέφους σημείων με τη χρήση κινητής συσκευής χαρτογράφησης (mobile mapping) και στη συνέχεια τη μεταφορά τους στο λογισμικό ArcGIS Pro για περαιτέρω ανάλυση και οπτικοποίηση. Μέσω αυτής της μελέτης περίπτωσης, θα αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα και η δυνατότητα εφαρμογής των υπό διερεύνηση μεθόδων σε ένα πραγματικό σενάριο.

Επιπλέον, θα πραγματοποιηθεί και ανάλυση των μεταφερόμενων δεδομένων για την αξιολόγηση, της ακρίβειας και της αποδοτικότητας. Η ανάλυση αυτή θα περιλαμβάνει την αξιολόγηση παραγόντων όπως η εγκυρότητα των δεδομένων (απώλεια ακρίβειας κατά τη μεταφορά), ο χρόνος επεξεργασίας, οι απαιτήσεις αποθήκευσης και η συνολική χρηστικότητα εντός του λογισμικού. Τα ευρήματα αυτής της ανάλυσης παραγάγουν πληροφορίες σχετικά με τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς των μεθόδων μεταφοράς και παρέχουν συστάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην διπλωματική εργασία περιλαμβάνει ένα συνδυασμό βιβλιογραφικής ανασκόπησης, μελέτης περιπτώσεων και ανάλυσης. Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας περιλαμβάνει εκτεταμένη ανασκόπηση των υφιστάμενων ερευνητικών εργασιών, τεχνικών εκθέσεων και σχετικής τεκμηρίωσης για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση του τομέα.

Η μελέτη περίπτωσης διεξήχθη σε ελεγχόμενο περιβάλλον για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία. Τέλος, η ανάλυση περιλαμβάνει ποσοτικές και ποιοτικές αξιολογήσεις των μεταφερόμενων δεδομένων, με έμφαση στις μετρήσεις επιδόσεων και τη χρηστικότητα.

## 2. Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

### 2.1 Επισκόπηση των γεωχωρικών δεδομένων νέφους σημείων

Τα γεωχωρικά σημειακά νέφη δεδομένων αποτελούν θεμελιώδες στοιχείο των σύγχρονων ΣΓΠ, παρέχοντας μια πλούσια και λεπτομερή αναπαράσταση της γήινης επιφάνειας σε τρεις διαστάσεις. Τα νέφη σημείων αποτελούνται από μεγάλο αριθμό μεμονωμένων σημείων, καθένα από τα οποία ορίζεται από τις χωρικές συντεταγμένες του (X, Y και Z) και ενδεχομένως συνοδεύεται από πρόσθετα χαρακτηριστικά όπως η ένταση ή το χρώμα. Τα σημεία αυτά σχηματίζουν συλλογικά μια πυκνή και ακριβή αναπαράσταση των αντικειμένων ή του εδάφους που έχουν σαρωθεί. Ο όρος "νέφος σημείων" και ο ορισμός του έχουν υιοθετηθεί ευρέως στον τομέα των γεωχωρικών δεδομένων ο οποίος αναφέρεται σε μια συλλογή σημείων που αναπαριστούν τη γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων ή των επιφανειών σε μια δεδομένη περιοχή. Τα νέφη σημείων λαμβάνονται κυρίως μέσω τεχνολογιών τηλεπισκόπησης, όπως το LiDAR και η φωτογραμμετρία. Το LiDAR χρησιμοποιεί παλμούς laser για τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ του αισθητήρα και των αντικειμένων, ενώ η φωτογραμμετρία βασίζεται σε εικόνες που λαμβάνονται από διαφορετικά σημεία θέασης για την εξαγωγή τρισδιάστατων πληροφοριών. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μορφές αρχείων νέφους σημείων για την αποθήκευση και τη διαχείριση γεωχωρικών δεδομένων νέφους σημείων. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μορφές περιλαμβάνουν τις μορφές LAS (Lidar Data Exchange Format), LAZ (LASzip Compressed Format), PLY (Polygon File Format) και XYZ (απλή μορφή συντεταγμένων ASCII). Αυτές οι μορφές διαφέρουν ως προς τις δομές δεδομένων, τους μηχανισμούς αποθήκευσης και τις προδιαγραφές μεταδεδομένων. Το LAS, για παράδειγμα, είναι ένα ευρέως αποδεκτό βιομηχανικό πρότυπο μορφότυπο για την αποθήκευση σημειακών νεφών LiDAR, παρέχοντας αποτελεσματική αποθήκευση, ταξινόμηση και υποστήριξη μεταδεδομένων.

## 2.2 Σημασία και εφαρμογές των νεφών σημείων στα ΣΓΠ

Η ακριβής αναπαράσταση των γεωχωρικών δεδομένων είναι υψίστης σημασίας στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών για την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων και ανάλυση. Τα νέφη σημείων διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στα ΣΓΠ λόγω της ικανότητάς τους να παρέχουν εξαιρετικά ακριβείς και λεπτομερείς πληροφορίες για το φυσικό περιβάλλον. Η σημασία των σημειακών νεφών έγκειται στην ικανότητά τους να αποτυπώνουν και να αναπαριστούν τα αντικείμενα και τις επιφάνειες του πραγματικού κόσμου με υψηλό βαθμό ακρίβειας και ορθότητας. Μια από τις βασικές εφαρμογές των σημειακών νεφών στα ΣΓΠ είναι ο αστικός σχεδιασμός. Τα νέφη σημείων επιτρέπουν τη δημιουργία λεπτομερών τρισδιάστατων μοντέλων αστικών περιοχών, συμπεριλαμβανομένων κτιρίων, δρόμων και υποδομών. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της αστικής ανάπτυξης, την ανάλυση των δικτύων μεταφορών και την προσομοίωση αστικών σεναρίων για την υποστήριξη καλύτερων αποφάσεων σχεδιασμού (Philipp R.W. Urech, 2022). Μια άλλη σημαντική εφαρμογή είναι η περιβαλλοντική παρακολούθηση. Τα νέφη σημείων που προέρχονται από τεχνολογίες τηλεπισκόπησης, όπως το LiDAR, μπορούν να αποτυπώσουν την τοπογραφία και τη δομή της βλάστησης μιας περιοχής (Chen, 2022). Οι πληροφορίες αυτές είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση της υγείας των οικοσυστημάτων, την παρακολούθηση των αλλαγών στην κάλυψη γης και τη διαχείριση των φυσικών πόρων. Τα δεδομένα νέφους σημείων μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό περιοχών που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες, στην ανάλυση της πυκνότητας των δασών και στη χαρτογράφηση ενδιαιτημάτων για προσπάθειες διατήρησης της άγριας ζωής. Αξιοσημείωτη είναι επίσης η χρήση σημειακών νεφών στη διατήρηση και αποκατάσταση αρχαίων μνημείων και χώρων πολιτιστικής κληρονομιάς (Jianghong Zhao, 2023). Τα νέφη σημείων παρέχουν λεπτομερείς και ακριβείς μετρήσεις ιστορικών δομών, επιτρέποντας στους αρχαιολόγους και τους συντηρητές να τεκμηριώνουν, να αναλύουν και να διατηρούν χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς. Με τη δημιουργία ακριβών τρισδιάστατων μοντέλων αρχαιολογικών χώρων, τα νέφη σημείων βοηθούν στην εικονική ανακατασκευή, την αρχιτεκτονική ανάλυση και τον σχεδιασμό της συντήρησης.

Άλλες εφαρμογές των σημειακών νεφών στα ΣΓΠ περιλαμβάνουν τη διαχείριση υποδομών όπως παρουσιάζουν στο άρθρο τους οι Claire Ellul, Gareth Boyes κ.α. (Claire Ellul, 2016), που ενσωματώνουν το BIM σε λογικό ΣΓΠ. Ο σχεδιασμός μεταφορών παρουσιάζει μεγάλη σημασία και μπορεί να έρθει εις πέρας όπως έδειξαν με το άρθρο τους οι Ana Laura Costa, Rita L. Sousa κ.α. για ευθυγράμμιση υποδομών υπόγειων μεταφορών βάσει του ΣΓΠ (Ana Laura Costa, 2017). Η γεωργία ακριβείας μπορεί να βοηθηθεί κατά πολύ όπως έδειξαν οι Lorenzo Comba, Alessandro Biglia κ.α. με την εργασία τους για την μη επιβλεπόμενη ανίχνευση αμπελώνων σε περιβάλλον ΣΓΠ από νέφος σημείων (Lorenzo Comba, 2018). Επίσης πολύ σημαντικό τομέα αποτελεί η αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών που μέσω της χρήσης ΣΓΠ και νέφους σημείων πέφτει σε μεγάλο βαθμό το κόστος έρευνας και αναζήτησης νέων μεθόδων λοιπώς αναλύουν οι Ahmed Gamal Aly & Nevine Makram Labib (Ahmed Gamal Aly, 2013) στην εργασία τους. Η ακριβής αναπαράσταση των φυσικών αντικειμένων και του εδάφους στα νέφη σημείων επιτρέπει την καλύτερη διαχείριση περιουσιακών στοιχείων, την ανάλυση οδικών δικτύων, την αξιολόγηση της υγείας των καλλιεργειών και τη διαχείριση καταστροφών.

### **2.3 Προκλήσεις και περιορισμοί στην ενσωμάτωση δεδομένων νέφους σημείων στα ΣΓΠ**

Η ενσωμάτωση σημειακών νεφών δεδομένων στα ΣΓΠ παρουσιάζει διάφορες προκλήσεις και περιορισμούς που πρέπει να αντιμετωπίσουν όλοι οι χρήστες (ερευνητές, επαγγελματίες, μαθητές κτλ) των ΣΓΠ για να αξιοποιήσουν πλήρως τις δυνατότητες του. Καθώς τα σημειακά νέφη σημείων γίνονται όλο και πιο διαδεδομένα σε διάφορους τομείς, η κατανόηση αυτών των προκλήσεων είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική αξιοποίηση των σημειακών νεφών σε εφαρμογές. Εδώ, θα αναφερθούν ορισμένες από τις κύριες προκλήσεις και περιορισμούς στην ενσωμάτωση δεδομένων νέφους σημείων στα ΣΓΠ.

α) Όγκος δεδομένων και αποθήκευση: Τα νέφη σημείων είναι συνήθως μεγάλα σύνολα δεδομένων που περιέχουν εκατομμύρια ή και δισεκατομμύρια μεμονωμένα σημεία με συντεταγμένες X, Y, Z. Η αποθήκευση και η διαχείριση τέτοιων τεράστιων όγκων

δεδομένων μπορεί να επιβαρύνει τις δυνατότητες αποθήκευσης καθώς και να επιβραδύνει την επεξεργασία των δεδομένων. Ο αποτελεσματικός χειρισμός των δεδομένων απαιτεί ορθές μεθόδους αποθήκευσης με μεγάλες χωρητικότητες και υψηλή υπολογιστική ισχύ.

β) Συλλογή και προεπεξεργασία δεδομένων: Η απόκτηση και η προεπεξεργασία δεδομένων νέφους σημείων μπορεί να είναι πολύπλοκη και χρονοβόρα. Τα δεδομένα μπορεί να προέρχονται από διαφορετικές πηγές, απαιτώντας κατάλληλη ευθυγράμμιση/προσανατολισμό, γεωαναφορά και φιλτράρισμα για να διασφαλιστεί η ακρίβεια και η συνοχή. Τα σφάλματα ή οι ανακρίβειες κατά την απόκτηση δεδομένων μπορούν να διαδοθούν σε μεταγενέστερες αναλύσεις, επηρεάζοντας την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των ΣΓΠ.

γ) Συμβατότητα και αλληλεπίδραση δεδομένων με τα λογισμικά: Τα δεδομένα νέφους σημείων μπορεί να αποθηκεύονται σε διάφορες μορφές αρχείων, ωστόσο δεν είναι όλες οι μορφές άμεσα συμβατές με το λογισμικό ΣΓΠ. Η μετατροπή μεταξύ διαφορετικών μορφοτύπων μπορεί να προκαλέσει απώλεια δεδομένων και προβλήματα συμβατότητας, εμποδίζοντας την απρόσκοπτη ενσωμάτωση δεδομένων.

δ) Πολυπλοκότητα επεξεργασίας και ανάλυσης: Οι διαδικασίες αυτές συχνά υπερβαίνουν τις δυνατότητες των τυπικών λογισμικών GIS. Η επεξεργασία και η ανάλυση τέτοιων πυκνών και με πολύ πληροφορία δεδομένων μπορεί να είναι υπολογιστικά εντατική και χρονοβόρα.

ε) Οπτικοποίηση και αναπαράσταση δεδομένων: Η αποτελεσματική απεικόνιση των δεδομένων νέφους σημείων σε περιβάλλον ΣΓΠ αποτελεί πρόκληση λόγω της ογκομετρικής τους φύσης. Οι παραδοσιακές τεχνικές απεικόνισης στα λογισμικά ΣΓΠ ενδέχεται να μην αποτυπώνουν πλήρως τον πλούτο των πληροφοριών του νέφους σημείων, όπως τον παρουσιάζει το λογισμικό που παρέχει ο κατασκευαστής του εκάστοτε laser scanner, περιορίζοντας την εξερεύνηση και την κατανόηση των δεδομένων.

στ) Ποιότητα και ακρίβεια δεδομένων: Η διασφάλιση της ακρίβειας και της ποιότητας των δεδομένων νέφους σημείων είναι ζωτικής σημασίας για την αξιόπιστη ανάλυση ΣΓΠ. Τα δεδομένα που συλλέγονται υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες, πυκνή βλάστηση ή πολύπλοκα αστικά περιβάλλοντα ενδέχεται να έχουν περιορισμούς στην ακρίβεια και την πληρότητα.

ζ) Προσβασιμότητα και κόστος: Η πρόσβαση σε υψηλής ποιότητας δεδομένων νέφους σημείων μπορεί να είναι περιορισμένη και συχνά συνοδεύεται από σημαντικό κόστος, ιδίως για έργα μεγάλης κλίμακας. Αυτό μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο για μικρότερους οργανισμούς, ερασιτέχνες ή ερευνητές με περιορισμένο προϋπολογισμό.

## **2.4 Σημασία και εφαρμογές των νεφών σημείων στα ΣΓΠ**

Η σημασία των σημειακών νεφών δεδομένων στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών έγκειται στην ικανότητά τους να παρέχουν εξαιρετικά ακριβείς και λεπτομερείς αναπαραστάσεις του πραγματικού περιβάλλοντος σε τρεις διαστάσεις. Αυτά τα πυκνά και ακριβή γεωχωρικά δεδομένα είναι ανεκτίμητα για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα (Chao Cao, 2019).

Οι κυριότερες εφαρμογές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι:

α) Ακριβής τρισδιάστατη αναπαράσταση: Τα νέφη σημείων προσφέρουν λεπτομερή και ακριβή τρισδιάστατη αναπαράσταση αντικειμένων, επιφανειών και τοπίων. Αυτό το επίπεδο ακρίβειας είναι ζωτικής σημασίας για εφαρμογές όπως ο αστικός σχεδιασμός, η αρχιτεκτονική και η διαχείριση υποδομών, όπου οι ακριβείς μετρήσεις είναι απαραίτητες.

β) Περιβαλλοντική παρακολούθηση: Τα νέφη σημείων που προέρχονται από LiDAR ή μέσω διαδικασιών φωτογραμμετρίας επιτρέπουν την παρακολούθηση του φυσικού περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένων των αλλαγών του εδάφους, της ανάλυσης των δασικών θόλων και της διάβρωσης των ακτών. Η δυνατότητα καταγραφής ογκομετρικών δεδομένων βοηθά στην κατανόηση και διαχείριση των περιβαλλοντικών αλλαγών με την πάροδο του χρόνου (Szostak, Automated Land

Cover Change Detection and Forest Succession Monitoring Using LiDAR Point Clouds and GIS Analyses, 2020).

γ) Αστική μελέτη και σχεδιασμός: Μέσω ενός laser scanner επιτρέπεται η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων πόλεων. Τα μοντέλα αυτά διευκολύνουν τις προσομοιώσεις, τις εκτιμήσεις επιπτώσεων και την οπτικοποίηση των προτεινόμενων αστικών αναπτύξεων, βοηθώντας στην τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων και τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη (Sara Shirowzhan, 2020).

δ) Διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς: Τα νέφη σημείων είναι πολύτιμα στην τεκμηρίωση και τη διατήρηση χώρων πολιτιστικής κληρονομιάς, ιστορικών κτιρίων και αρχαιολογικών αντικειμένων. Τα ακριβή τρισδιάστατα μοντέλα που παράγονται από νέφη σημείων βοηθούν στις προσπάθειες διατήρησης, στις εικονικές ανακατασκευές και στη διαχείριση χώρων πολιτιστικής κληρονομιάς (Massimiliano Pepe, 2021).

ε) Διαχείριση και αντιμετώπιση καταστροφών: Τα νέφη σημείων βοηθούν στη διαχείριση καταστροφών παρέχοντας ακριβή μοντέλα εδάφους και εκτίμηση της ζημίας μετά από φυσικές καταστροφές όπως σεισμούς ή πλημμύρες. Η συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μέσω κινητών συσκευών χαρτογράφησης και UAV μπορεί να βοηθήσει στις προσπάθειες ταχείας αντίδρασης και αποκατάστασης (Miro Govedarica, 2018).

στ) Μεταφορές και υποδομές: Διευκολύνεται ο προγραμματισμός των μεταφορών, ο σχεδιασμός και η συντήρηση των υποδομών. Παρέχονται λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τα οδικά δίκτυα, τις γέφυρες και τα σιδηροδρομικά συστήματα, βοηθώντας στη βελτιστοποίηση των διαδρομών μεταφοράς και στον εντοπισμό πιθανών κινδύνων (Kaveh Mirzaei, 2022).

ζ) Δασοκομία και διαχείριση γης: Τα νέφη σημείων υποστηρίζουν την απογραφή των δασών και τη διαχείριση της γης παρέχοντας ακριβείς μετρήσεις του ύψους, της πυκνότητας και της βιομάζας των δέντρων. Οι πληροφορίες αυτές βοηθούν στη βιώσιμη διαχείριση των δασών και στον προγραμματισμό των πόρων. (Szostak,



Automated Land Cover Change Detection and Forest Succession Monitoring Using LiDAR Point Clouds and GIS Analyses, 2020)

η) Ορυχεία και λατομεία: Παρέχοντας ογκομετρικές μετρήσεις και ακριβή μοντέλα εδάφους για την εξόρυξη και τη διαχείριση των πόρων. (João Duarte, 2015)

θ) Επαυξημένη και εικονική πραγματικότητα: Τα δεδομένα νέφους σημείων χρησιμοποιούνται σε καθηλωτικές εμπειρίες όπως η επαυξημένη πραγματικότητα και η εικονική πραγματικότητα, εμπλουτίζοντας την οπτικοποίηση και επιτρέποντας στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με ρεαλιστικά τρισδιάστατα περιβάλλοντα. (Siyang Yu, 2022)

Οι εφαρμογές των σημειακών νεφών δεδομένων στα ΣΓΠ συνεχίζουν να επεκτείνονται καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και μας παρέχουν ταχύτητα, ακρίβεια και λεπτομέρεια στην λήψη των αποφάσεων.

### 3. Συλλογή και προ-επεξεργασία δεδομένων

#### 3.1 Σύνοψη μεθόδων απόκτησης νεφών σημείων

Παρακάτω θα αναφερθούν οι μέθοδοι απόκτησης νεφών σημείων επιγραμματικά. Οι 2 κεντρικοί τρόποι είναι μέσω φωτογραμμετρίας και laser scanner. Η φωτογραμμετρία έχει διάφορους αλγόριθμους επίλυσης όπως τις μεθόδους SfM ( Structure from motion), MVS (Multi-View Stereo), DIM (Dense Image Matching) (Gonçalves, 2020). Η διαδικασία απόκτησης μέσω σάρωσης (scanning) έχει επίσης υποκατηγορίες όπως:

**Συστήματα κινητής χαρτογράφησης (Mobile Mapping Systems «MMS»):** Τα συγκεκριμένα συστήματα χρησιμοποιούν οχήματα εξοπλισμένα με προηγμένους αισθητήρες, όπως σαρωτές LiDAR, κάμερες και παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GNSS), για τη λήψη δεδομένων νέφους σημείων κατά την οδήγηση σε δρόμους ή εκτός δρόμου.

**Επίγεια σάρωση με laser scanner (Terrestrial Laser Scanning «TLS»):** Η επίγεια σάρωση περιλαμβάνει σταθερούς σαρωτές LiDAR τοποθετημένους σε τρίποδα ή άλλες πλατφόρμες για τη λήψη νέφους σημείων υψηλής πυκνότητας αντικειμένων ή δομών από σταθερή θέση.

**Υποβρύχια LiDAR:** Τα υποβρύχια συστήματα LiDAR χρησιμοποιούν laser για τη σάρωση υποβρύχιων περιβαλλόντων.

**Εναέρια βυθομετρία LiDAR (Airborne LiDAR Bathymetry «ALB»):** Εδώ συνδυάζεται το εναέριο LiDAR με βαθυμετρικούς αισθητήρες laser για τη λήψη δεδομένων υψομέτρου τόσο της ξηράς όσο και του πυθμένα.

**LiDAR με ΣμηΕΑ:** Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) εξοπλισμένα με αισθητήρες LiDAR επιτρέπουν την οικονομικά αποδοτική και ευέλικτη απόκτηση νέφους σημείων για μικρές έως μεσαίες περιοχές.

**LiDAR μέσω δορυφόρου:** Τα συστήματα LiDAR μέσω δορυφόρου που είναι τοποθετημένα σε δορυφόρους σε τροχιά συλλαμβάνουν δεδομένα νέφους σημείων μεγάλης κλίμακας της γήινης επιφάνειας.

**Σάρωση με σόναρ:** Η σάρωση με σόναρ, που χρησιμοποιείται συνήθως σε θαλάσσια περιβάλλοντα, χρησιμοποιεί ηχητικά κύματα για τη λήψη τρισδιάστατων πληροφοριών για υποβρύχιες δομές, τοπογραφία του βυθού και θαλάσσια οικοσυστήματα.

Αυτές οι μέθοδοι απόκτησης νέφους σημείων προσφέρουν διακριτά πλεονεκτήματα και ανταποκρίνονται σε διαφορετικές εφαρμογές. Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου εξαρτάται από παράγοντες όπως οι απαιτήσεις ακρίβειας δεδομένων, το αντικείμενο του έργου και οι διαθέσιμοι πόροι. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, αυτές οι μέθοδοι συνεχίζουν να εξελίσσονται, παρέχοντας πιο αποτελεσματικούς και προσβάσιμους τρόπους απόκτησης και αξιοποίησης δεδομένων νέφους σημείων σε διάφορες γεωχωρικές εφαρμογές.

### 3.2 Στάδια προεπεξεργασίας δεδομένων

Η προεπεξεργασία των δεδομένων αποτελεί καίριο στάδιο για την ενσωμάτωση και την ανάλυση των γεωχωρικών σημειακών νεφών δεδομένων στα ΣΓΠ. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές και διαδικασίες για την προετοιμασία των ακατέργαστων δεδομένων νέφους σημείων για περαιτέρω ανάλυση, οπτικοποίηση και ερμηνεία. Η προεπεξεργασία των δεδομένων αποσκοπεί στη βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων, στην απομάκρυνση του θορύβου, των σφαλμάτων και στη διασφάλιση ότι τα δεδομένα βρίσκονται σε κατάλληλη μορφή για τις επακόλουθες εργασίες που χρειάζεται να γίνουν σε λογισμικό ΣΓΠ.

Ορισμένα συνήθη βήματα προεπεξεργασίας δεδομένων για δεδομένα νέφους σημείων περιλαμβάνουν:

**Φιλτράρισμα:** Φιλτράρισμα είναι η διαδικασία αφαίρεσης ανεπιθύμητων σημείων ή θορύβου από το νέφος σημείων. Τα ακατέργαστα δεδομένα νέφους σημείων μπορεί να περιέχουν ακραίες τιμές, βλάστηση ή άλλα αντικείμενα που δεν είναι σχετικά με τη

συγκεκριμένη ανάλυση. Οι τεχνικές φιλτραρίσματος, όπως η στατιστική αφαίρεση ακραίων σημείων ή το φιλτράρισμα με βάση το ύψος, βοηθούν στη διατήρηση μόνο των ουσιωδών σημείων για την μετέπειτα ανάλυση.

**Εγγραφή / καταγραφή (registration) και προσανατολισμός (alignment):** Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα δεδομένα νέφους σημείων μπορεί να έχουν αποκτηθεί από πολλαπλές σαρώσεις ή αισθητήρες, με αποτέλεσμα να προκύπτουν ξεχωριστά σύνολα δεδομένων νέφους σημείων που πρέπει να συνδυαστούν ή να ευθυγραμμιστούν. Ακόμη και από κοινή συσκευή σάρωσης υπάρχει η πιθανότητα οι σαρώσεις να μην είναι σε κοινό σύστημα αναφοράς λόγω κάποιου σφάλματος κτλ. οπότε χρειάζεται η παραπάνω διαδικασία. Το registration είναι η διαδικασία ευθυγράμμισης και μετασχηματισμού των νέφων σημείων σε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων.

**Αποκοπή δεδομένων:** Τα νέφη σημείων μπορεί να είναι εξαιρετικά πυκνά και να περιέχουν εκατομμύρια ή δισεκατομμύρια σημεία. Η αφαίρεση ορισμένων δεδομένων περιλαμβάνει τη μείωση της πυκνότητας των σημείων με δειγματοληψία των δεδομένων. Η συγκεκριμένη ορθή αραίωση του νέφους βοηθά στη μείωση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας και των απαιτήσεων μνήμης, διατηρώντας παράλληλα κρίσιμα χαρακτηριστικά στα δεδομένα.

**Αφαίρεση στοιχείων εδάφους:** Στα δεδομένα νέφους σημείων που αποκτώνται από αισθητήρες LiDAR ή αερομεταφερόμενους αισθητήρες, η επιφάνεια του εδάφους συχνά περιέχει πληροφορία. Οι τεχνικές εξαγωγής απότομων κλίσεων εδάφους (οι οποίες μπορεί να είναι κτίρια, δέντρα κτλ) χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και την εξαγωγή των σημείων εδάφους από ολόκληρο το νέφος σημείων, γεγονός που βοηθά στη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους και στη βελτίωση των επακόλουθων αναλύσεων.

**Ταξινόμηση των δεδομένων:** Τα δεδομένα νέφους σημείων μπορεί να περιλαμβάνουν διάφορα αντικείμενα και χαρακτηριστικά, όπως κτίρια, δέντρα, δρόμους και οχήματα. Οι τεχνικές τμηματοποίησης και ταξινόμησης αποσκοπούν στην κατηγοριοποίηση των σημείων σε διακριτές κατηγορίες με βάση τα χαρακτηριστικά τους. Αυτές οι

ταξινομήσεις διευκολύνουν την αναγνώριση αντικειμένων, την εξαγωγή χαρακτηριστικών και τη θεματική χαρτογράφηση στα ΣΓΠ.

**Χρωματισμός νέφους:** Σε ορισμένα δεδομένα νέφους σημείων, πρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως τιμές RGB, συνδέονται με κάθε σημείο, παρέχοντας πληροφορίες για το χρώμα. Οι τεχνικές χρωματισμού εφαρμόζουν αυτά τα χρωματικά χαρακτηριστικά στα αντίστοιχα σημεία, βελτιώνοντας την οπτικοποίηση και την ερμηνεία του νέφους σημείων στο ΣΓΠ.

**Συμπύεση δεδομένων:** Τα δεδομένα νέφους σημείων μπορεί να είναι ογκώδη, οδηγώντας σε προκλήσεις αποθήκευσης και επεξεργασίας. Οι τεχνικές συμπύεσης δεδομένων, όπως η συμπύεση με βάση την οκτάδα ή το LASZIP, χρησιμοποιούνται για τη μείωση του μεγέθους των δεδομένων χωρίς σημαντική απώλεια πληροφοριών, επιτρέποντας την αποτελεσματική αποθήκευση δεδομένων και την ταχύτερη επεξεργασία.

### 3.3 Τεχνικές ποιοτικού ελέγχου και εγκυρότητας δεδομένων

Ο ποιοτικός έλεγχος και οι τεχνικές επικύρωσης των δεδομένων αποτελούν βασικά συστατικά στοιχεία του χειρισμού των σημειακών νεφών δεδομένων στα λογισμικά ΣΓΠ. Καθώς τα νέφη σημείων συχνά περιέχουν τεράστιες ποσότητες χωρικών πληροφοριών, η διασφάλιση της ακρίβειας, της πληρότητας και της αξιοπιστίας των δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για την αξιόπιστη ανάλυση και τη λήψη αποφάσεων. Η παρούσα ενότητα διερευνά διάφορες τεχνικές ελέγχου ποιότητας και επικύρωσης δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων νέφους σημείων.

Με την διαδικασία της επαλήθευσης καταχώρισης νέφους σημείων εννοείται η ευθυγράμμιση πολλαπλών συνόλων δεδομένων νέφους σημείων που αποκτήθηκαν από διαφορετικές πηγές ή σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Οι τεχνικές επαλήθευσης καταχώρισης αξιολογούν την ακρίβεια της διαδικασίας καταχώρισης συγκρίνοντας κοινά χαρακτηριστικά ή σημεία ελέγχου μεταξύ επικαλυπτόμενων νεφών σημείων. Αυτό βοηθά στον εντοπισμό λανθασμένων ευθυγραμμίσεων ή ανακρίβειών στα

καταχωρημένα δεδομένα. Άλλος τρόπος είναι η ανίχνευση και αφαίρεση των ακραίων τιμών που αποκλίνουν σημαντικά από τα γύρω σημεία και μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την ποιότητα και την ανάλυση των δεδομένων. Οι τεχνικές ανίχνευσης ακραίων σημείων εντοπίζουν και αφαιρούν αυτά τα λανθασμένα σημεία για να βελτιώσουν την ακρίβεια και τη συνοχή των δεδομένων. Επίσης, η ανάλυση πληρότητας των δεδομένων αξιολογεί κατά πόσον τα δεδομένα νέφους σημείων αποτυπώνουν πλήρως την έκταση της περιοχής που ερευνήθηκε. Περιλαμβάνει τη σύγκριση της πυκνότητας σημείων σε διάφορες περιοχές για τον εντοπισμό περιοχών με ανεπαρκή κάλυψη δεδομένων. Άλλη διαδικασία ελέγχου μπορεί να περιέχει και επίγειες μετρήσεις χειροκίνητα ή υφιστάμενα σημεία αναφοράς ώστε να διασφαλιστεί η ακρίβεια των συντεταγμένων του νέφους σε συγκεκριμένα σημεία και κατ' επέκταση στην ολότητα του. Ακόμη, για νέφη τα οποία προέρχονται από διαφορετικούς αισθητήρες απαιτείται η βαθμονόμηση και ευθυγράμμιση τους ώστε να διασφαλίζεται η εγκυρότητα τους ή ακόμα και αν έχουν αποκτηθεί σε διαφορετικές χρονικές περιόδους χρειάζεται ο έλεγχος πως το οπτικό κομμάτι συμβαδίζει με εκείνο του πραγματικού εκείνης της περιόδου. Επίσης τα νέφη σημείων σαν γεωχωρικά δεδομένα περιέχουν και τα μεταδεδομένα τους.

## 4. Μέθοδοι διαμεταγωγής δεδομένων νέφους σημείων

### 4.1 Επισκόπηση των μεθόδων διαμεταγωγής δεδομένων νέφους σημείων σε περιβάλλον ΣΓΠ

Οι υφιστάμενες μέθοδοι και τεχνικές για τη μεταφορά σημειακών νεφών δεδομένων σε λογισμικά ΣΓΠ έχουν εξελιχθεί με την πάροδο των ετών για να καλύψουν την αυξανόμενη ζήτηση για απρόσκοπτη ενσωμάτωση και ανάλυση τρισδιάστατων νεφών σημείων. Καθώς τα δεδομένα αυτά καθίστανται ολοένα και πιο κρίσιμα για διάφορες εφαρμογές, οι αρμόδιοι επαγγελματίες έχουν αναπτύξει μια σειρά μεθόδων για την αποτελεσματική μεταφορά και αξιοποίηση της ακριβούς αναπαράστασης του πραγματικού περιβάλλοντος. Θα συζητηθούν ορισμένες από τις συνήθως χρησιμοποιούμενες μεθόδους και τεχνικές για τη μεταφορά δεδομένων νέφους σημείων στα ΣΓΠ. Η ενσωμάτωση των γεωχωρικών δεδομένων νέφους σημείων στα ΣΓΠ είναι απαραίτητη για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων αυτής της τρισδιάστατης γεωχωρικής πληροφορίας. Για την αποτελεσματική μεταφορά και αξιοποίηση των δεδομένων νέφους σημείων σε περιβάλλοντα ΣΓΠ, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι. Σε αυτή την ενότητα, διερευνώνται διάφορες μέθοδοι για τη μεταφορά δεδομένων νέφους σημείων σε ΣΓΠ, επισημαίνοντας τα πλεονεκτήματα, τους περιορισμούς και τη δυνατότητα εφαρμογής τους.

**Άμεση εισαγωγή και οπτικοποίηση :** Η άμεση εισαγωγή είναι η απλούστερη και πιο απλή μέθοδος για τη μεταφορά δεδομένων νέφους σημείων σε λογισμικό ΣΓΠ. Πολλά σύγχρονα λογισμικά προσφέρουν αυτόματη υποστήριξη για την άμεση εισαγωγή τυποποιημένων - κοινών μορφών νεφών σημείων, όπως LAS, LAZ, PLY και XYZ. Οι χρήστες μπορούν να φορτώσουν απευθείας τα αρχεία νέφους σημείων στο περιβάλλον ΣΓΠ χωρίς πρόσθετα βήματα επεξεργασίας ή μετατροπής και έπειτα να αναλύσουν και να χειριστούν τα δεδομένα νέφους σημείων μαζί με άλλη γεωχωρική πληροφορία. Η μέθοδος αυτή είναι αποτελεσματική για σύνολα δεδομένων νέφους σημείων μικρού έως μεσαίου μεγέθους και προσφέρει γρήγορη πρόσβαση, οπτικοποίηση και βασικές εργασίες ανάλυσης σε τρισδιάστατες γεωχωρικές πληροφορίες.

**Με μετατροπή μορφότυπου:** Μια άλλη συνηθισμένη τεχνική είναι η μετατροπή των δεδομένων νέφους σημείων από την αρχική τους μορφή (το αρχείο που εξήχθη από το λογισμικό του κατασκευαστή) σε μορφή που είναι συμβατή με το λογισμικό GIS. Εργαλεία και βιβλιοθήκες μετατροπής, όπως το LAS to Multipoint Tool (LAS2MP) ή ο LAS to Shapefile Converter, επιτρέπουν στους χρήστες να μετατρέψουν το LAS ή άλλες μορφές νέφους σημείων σε συμβατές με το κάθε λογισμικό τύπου, όπως shapefile, OBJ, PTX ή ASC. Αυτό επιτρέπει την ευρύτερη συμβατότητα και διαλειτουργικότητα μεταξύ τους. Σε περιπτώσεις όπου δεν υποστηρίζεται η άμεση εισαγωγή ή τα δεδομένα νέφους σημείων είναι σε μορφή που δεν είναι ελεύθερα διαθέσιμη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι μετατροπής. Μορφές μετατροπής, όπως ASCII, DXF και E57, επιτρέπουν στους χρήστες να μετατρέψουν τα δεδομένα νέφους σημείων σε συμβατή μορφή που μπορεί να εισαχθεί σε λογισμικό GIS. Η μέθοδος αυτή μπορεί να προκαλέσει απώλεια πληροφοριών, ειδικά αν η μορφή μετατροπής δεν υποστηρίζει ορισμένα χαρακτηριστικά ή ιδιότητες των αρχικών δεδομένων νέφους σημείων.

**Τεχνικές επιπέδου λεπτομέρειας (Tiling and Level of Detail - LOD):** Τα σύνολα δεδομένων νέφους σημείων μπορεί να είναι εξαιρετικά μεγάλα, καθιστώντας δύσκολη την άμεση οπτικοποίηση και ανάλυση. Οι τεχνικές LOD περιλαμβάνουν τη δημιουργία πολλαπλών εκδόσεων ενός συνόλου δεδομένων νέφους σημείων με διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας. Οι τεχνικές τοποθέτησης πλακιδίων και επιπέδου λεπτομέρειας χωρίζουν τα δεδομένα νέφους σημείων σε μικρότερα, διαχειρίσιμα πλακίδια ή ιεραρχίες με βάση χωρικές περιοχές ή επίπεδα ανάλυσης. Αυτά τα επίπεδα λεπτομέρειας αποθηκεύονται σε διαφορετικά αρχεία, με κάθε αρχείο να περιέχει μειωμένο αριθμό σημείων. Κατά την εργασία με μεγάλα σύνολα δεδομένων, το λογισμικό ΣΓΠ μπορεί να φορτώνει και να εμφανίζει δυναμικά το κατάλληλο επίπεδο λεπτομέρειας με βάση την προβολή και το επίπεδο εστίασης του χρήστη. Αυτή η βελτιστοποίηση διευκολύνει την αποτελεσματική ροή δεδομένων και την οπτικοποίηση στα ΣΓΠ, βελτιώνοντας την απόδοση και την εμπειρία του χρήστη. Οι τεχνικές LOD είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την οπτικοποίηση σε πραγματικό χρόνο και την αποτελεσματική επεξεργασία δεδομένων (Peter van Oosterom, 2022).



**Δομές πλακιδίων και πυραμίδων:** Οι δομές πλακιδίων και πυραμίδων διαιρούν τα δεδομένα νέφους σημείων σε μικρότερα διαχειρίσιμα κομμάτια που ονομάζονται πλακίδια ή πυραμίδες. Κάθε πλακίδιο ή πυραμίδα περιέχει ένα υποσύνολο των δεδομένων του νέφους σημείων. Η προσέγγιση αυτή βελτιώνει την οργάνωση, την ανάκτηση και την οπτικοποίηση των δεδομένων, ιδίως όταν εργάζονται με εξαιρετικά μεγάλα σύνολα δεδομένων νέφους σημείων. Οι δομές πλακιδίων και πυραμίδων βελτιστοποιούν την πρόσβαση στα δεδομένα και διευκολύνουν την αποτελεσματική επεξεργασία δεδομένων στα ΣΓΠ.

**Μέσω διαδικτύου (cloud):** Οι διαδικτυακές υπηρεσίες που προσφέρουν πρόσβαση σε δεδομένα νέφους σημείων και οπτικοποίηση μέσω εφαρμογών ΣΓΠ που βασίζονται στον ιστό έχουν κερδίσει δημοτικότητα. Οι υπηρεσίες αυτές επιτρέπουν στους χρήστες να εξερευνούν και να αναλύουν διαδραστικά δεδομένα νέφους σημείων μέσω του διαδικτύου χωρίς την ανάγκη εκτεταμένης λήψης δεδομένων ή τοπικής επεξεργασίας. Τα σύνολα δεδομένων νέφους σημείων μεταφορτώνονται και αποθηκεύονται σε διακομιστές νέφους, επιτρέποντας στους χρήστες να έχουν πρόσβαση και να εργάζονται με τα δεδομένα εξ αποστάσεως μέσω λογισμικού GIS με σύνδεση στο διαδίκτυο. Οι λύσεις που βασίζονται στο νέφος πλεονεκτούν για συνεργατικά έργα, καθώς πολλοί χρήστες μπορούν ταυτόχρονα να έχουν πρόσβαση και να αναλύουν τα ίδια δεδομένα νέφους σημείων χωρίς την ανάγκη μεταφοράς δεδομένων (Alun Evans, 2014).

**Βάσεις Χωρικών δεδομένων:** Οι βάσεις δεδομένων νέφους σημείων είναι εξειδικευμένες λύσεις αποθήκευσης που έχουν σχεδιαστεί για την αποτελεσματική διαχείριση και αναζήτηση μεγάλου όγκου δεδομένων νέφους σημείων. Οι βάσεις χωρικών δεδομένων προσφέρουν έναν δομημένο και οργανωμένο τρόπο αποθήκευσης και διαχείρισης σημειακών νεφών δεδομένων στα ΣΓΠ. Υποστηρίζουν χωρική ευρετηρίαση, αναζήτηση και ανάκτηση δεδομένων νέφους σημείων, διευκολύνοντας τον χειρισμό μεγάλων συνόλων δεδομένων και την εξαγωγή σχετικών πληροφοριών για ανάλυση (László Dobos, 2014).

**Υπηρεσίες διαδικτύου και APIs:** Τόσο οι υπηρεσίες διαδικτύου όσο και οι διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών (APIs) επιτρέπουν στους χρήστες να αξιοποιούν δεδομένα νέφους σημείων και σχετικές υπηρεσίες μέσω του διαδικτύου. Το λογισμικό GIS μπορεί να επικοινωνεί με απομακρυσμένους διακομιστές που φιλοξενούν δεδομένα νέφους σημείων και να ανακτά συγκεκριμένα υποσύνολα δεδομένων για οπτικοποίηση και ανάλυση. Οι διαδικτυακές υπηρεσίες και τα APIs διευκολύνουν την ανταλλαγή δεδομένων και επιτρέπουν την ενσωμάτωση δεδομένων νέφους σημείων από διάφορες πηγές. Οι υπηρεσίες αυτές έχουν αναδειχθεί ως ένας ισχυρός τρόπος μεταφοράς και ενσωμάτωσης δεδομένων νέφους σημείων στα GIS. Οι υπηρεσίες νέφους σημείων επιτρέπουν στους χρήστες να μεταφορτώνουν, να αποθηκεύουν και να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα νέφους σημείων εξ αποστάσεως, εξαλείφοντας την ανάγκη για εκτεταμένη τοπική αποθήκευση δεδομένων. Τα APIs επιτρέπουν την ενσωμάτωση λειτουργιών επεξεργασίας νέφους σημείων απευθείας σε ροές εργασίας GIS, ενισχύοντας τις δυνατότητες ανάλυσης δεδομένων (Mohammad Hosseini, 2018).

**Ροή δεδομένων και μεταφορά νέφους σημείων σε πραγματικό χρόνο:** Με τις εξελίξεις στις τεχνολογίες ροής δεδομένων, η ενσωμάτωση σε πραγματικό χρόνο των δεδομένων νέφους σημείων με τα ΣΓΠ καθίσταται εφικτή. Οι μέθοδοι μεταφοράς νέφους σημείων σε πραγματικό χρόνο επιτρέπουν την άμεση ροή δεδομένων νέφους από αισθητήρες, σε εφαρμογές όπως η κινητή χαρτογράφηση ή το LiDAR που βασίζεται σε UAV, τα δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν σε πραγματικό χρόνο στο λογισμικό GIS, επιτρέποντας την άμεση πρόσβαση και ανάλυση των ζωντανών δεδομένων νέφους σημείων. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για εφαρμογές που απαιτούν παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, όπως η περιβαλλοντική παρακολούθηση, η αντιμετώπιση καταστροφών και η διαχείριση των μεταφορών (Chao Cao, 2019).

**Αυτόνομα Λογισμικά επεξεργασίας νέφους σημείων:** Τα λογισμικά αυτά, όπως το CloudCompare και το LAStools, προσφέρουν εκτεταμένες λειτουργίες για την προεπεξεργασία, το φιλτράρισμα και την ανάλυση δεδομένων νέφους σημείων. Οι χρήστες μπορούν να προεπεξεργάζονται τα δεδομένα χρησιμοποιώντας αυτά τα ειδικά

εργαλεία και στη συνέχεια να εισάγουν τα επεξεργασμένα δεδομένα απευθείας στο ΣΓΠ για περαιτέρω ανάλυση.

## 4.2 Συγκριτική ανάλυση των τεχνικών

Η άμεση εισαγωγή δεδομένων νέφους σημείων σε λογισμικό ΣΓΠ προσφέρει απλότητα και γρήγορη πρόσβαση. Υποστηρίζει τυποποιημένες μορφές όπως LAS, LAZ, PLY και XYZ. Ωστόσο, οι περιορισμοί μνήμης μπορεί να εμποδίσουν το χειρισμό δεδομένων μεγάλης έκτασης και ορισμένες μορφές ενδέχεται να μην υποστηρίζονται. Με λίγη παραπάνω διαδικασία δηλαδή την μετατροπή των προαναφερθέντων μορφών σε άλλους μορφότυπους όπως ASCII, DXF και E57, υπάρχει μεγαλύτερη ευελιξία ωστόσο μπορεί να προκληθεί απώλεια δεδομένων. Οι τεχνικές LOD που παρέχουν διάφορες εκδόσεις δεδομένων με διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας για βελτιστοποιημένη οπτικοποίηση, είναι ιδανικές για διερεύνηση σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο οι αυξημένες απαιτήσεις αποθήκευσης μπορεί να αποτελέσουν μειονέκτημα. Από την άλλη πλευρά, με τις δομές πλακιδίων και πυραμίδων (tiling) δεν υπάρχει καθόλου απώλεια δεδομένων και τεχνικές αυτές φαίνονται χρήσιμες για τη διαχείριση μεγάλων συνόλων δεδομένων. Όσο αφορά την διαμεταγωγή νέφους σημείων μέσω διαδικτύου (cloud) παρόλο που οι συγκεκριμένες τεχνικές βασίζονται στην υφιστάμενη κατάσταση, δηλαδή στην συνεργατική κοινή χρήση δεδομένων από νέφος αποθήκευσης, η εξάρτηση από τη συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο και η ασφάλεια των δεδομένων εκφέρουν προβληματισμούς. Παρόμοια ερωτηματικά δημιουργούνται και στις διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών (APIs) καθώς και στην μεταφορά τους νέφους σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο στην συγκεκριμένη μεταφορά η εξάρτηση από ταχύτατη γραμμή σύνδεσης διαδικτύου είναι απαραίτητη.

Οι βάσεις χωρικών δεδομένων αποτελούν δομημένη αποθήκευση που επιτρέπει την αποτελεσματική υποβολή ερωτημάτων, είναι κατάλληλες για μεγάλα σύνολα δεδομένων, αλλά η εγκατάσταση και δημιουργία τους απαιτεί εξειδικευμένες δεξιότητες.

### 4.3 Αξιολόγηση

Με τη συνδρομή της προαναφερθείσας γνώσης συνάγεται ότι δεν υπάρχει ιδανικός τρόπος διαμεταγωγής καθώς κάθε τεχνική έχει τα υπέρ και τα κατά της. Αναλόγως την εφαρμογή για την οποία θα χρειαστεί το νέφος η αξιολόγηση των επιδόσεων κάθε επιλογής είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας τους.

Οι τεχνικές που προσφέρουν ταχύτερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων προτιμώνται, ιδίως για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως η παρακολούθηση καταστροφών και η αντιμετώπιση εκτάκτων αναγκών. Οι τεχνικές που διατηρούν υψηλή πιστότητα δεδομένων διασφαλίζουν ότι οι αρχικές χωρικές πληροφορίες και οι πληροφορίες χαρακτηριστικών διατηρούνται κατά τη διαδικασία μεταφοράς.

Η χρήση μνήμης είναι κρίσιμος παράγοντας, ιδίως όταν πρόκειται για μεγάλα σύνολα δεδομένων νέφους σημείων. Οι μέθοδοι που βελτιστοποιούν τη χρήση της μνήμης και ελαχιστοποιούν τις απαιτήσεις αποθήκευσης πλεονεκτούν για την αποτελεσματική διαχείριση των δεδομένων.

Η συμβατότητα των τεχνικών με διάφορες μορφές νεφών σημείων (π.χ. LAS, LAZ, PLY, XYZ) είναι απαραίτητη για την απρόσκοπτη ενσωμάτωση δεδομένων. Οι τεχνικές που υποστηρίζουν πολλαπλές μορφές προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία στο χειρισμό διαφορετικών συνόλων δεδομένων.

Ο χρόνος επεξεργασίας δεδομένων είναι πολύ σημαντικός παράγοντας επίσης. Οι τεχνικές που μειώνουν τον χρόνο επεξεργασίας δεδομένων επιτρέπουν ταχύτερη ανάλυση δεδομένων και λήψη αποφάσεων.

Η ένταξη δεδομένων αξιολογεί πόσο καλά τα μεταφερόμενα δεδομένα νέφους σημείων μπορούν να ενσωματωθούν απρόσκοπτα με άλλα σύνολα γεωχωρικών δεδομένων στο λογισμικό ΣΓΠ. Οι τεχνικές που διευκολύνουν την ομαλή ενσωμάτωση βελτιώνουν τις συνολικές δυνατότητες ανάλυσης δεδομένων.

Η ασφάλεια και η ιδιωτικότητα των δεδομένων είναι υψίστης σημασίας, ιδίως όταν χρησιμοποιούνται λύσεις που βασίζονται σε νέφος ή εξωτερικούς διακομιστές. Οι τεχνικές που δίνουν προτεραιότητα στην ασφάλεια δεδομένων και στα πρωτόκολλα κρυπτογράφησης είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία ευαίσθητων πληροφοριών. Τέλος, Η ευχρηστία και η διεπαφή χρήστη διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην υιοθέτηση τεχνικών μεταφοράς δεδομένων νέφους σημείων. Μέθοδοι με διαισθητικές διεπαφές και φιλικά προς τον χρήστη χαρακτηριστικά ενισχύουν τη συνολική εμπειρία του χρήστη.

## **5. Ένταξη των δεδομένων νέφους σημείων σε λογισμικό ΣΓΠ – Μελέτη περίπτωσης**

### **5.1 Δυνατότητες του λογισμικού ΣΓΠ ως προς την ένταξη νεφών σημείων.**

Το λογισμικό ΣΓΠ αντιπροσωπεύει μια σημαντική εξέλιξη στον χώρο της γεωχωρικής ανάλυσης και διαχείρισης δεδομένων, προσφέροντας εκτεταμένες δυνατότητες για την ένταξη και επεξεργασία νεφών σημείων. Η ενσωμάτωση και ανάλυση τρισδιάστατων νεφών σημείων αποτελεί κρίσιμη πτυχή για διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων της γεωπληροφορικής, της υποδομής, της περιβαλλοντικής παρακολούθησης και πολλών άλλων. Μια από τις βασικές δυνατότητες του λογισμικού είναι η ικανότητά του να διαχειρίζεται μεγάλα και πολύπλοκα σύνολα δεδομένων. Η προσθήκη του ειδικού αυτού τύπου δεδομένων επιτρέπει στους χρήστες να αντιμετωπίζουν σύνθετες γεωχωρικές πληροφορίες που περιέχονται σε νέφη σημείων.

Ένα εξαιρετικά ισχυρό χαρακτηριστικό είναι η δυνατότητα απεικόνισης και ανάλυσης αυτών των νεφών σε τρισδιάστατα περιβάλλοντα. Οι χρήστες μπορούν να περιηγούνται σε αυτά τα δεδομένα, να τα αναλύουν και να εξαγουν ενδιαφέρουσες πληροφορίες. Ενσωματώνοντας δυνατότητες τρισδιάστατης απεικόνισης, επιτρέπεται η ολοκληρωμένη κατανόηση των πολύπλοκων χωρικών σχέσεων που ενδέχεται να περιέχονται σε αυτά τα νέφη.

Η εκτεταμένη χρήση γεωεπεξεργασίας στο λογισμικό επιτρέπει τη δημιουργία εξατομικευμένων αναλύσεων. Με τη δυνατότητα εφαρμογής γεωστατιστικών και γεωχωρικών μεθόδων ανάλυσης, μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες που χρειάζονται για τις συγκεκριμένες ανάγκες. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα ολοκληρωμένης διαχείρισης και σύνδεσης των νεφών σημείων με άλλης μορφής δεδομένων. Αυτό επιτρέπει τη δημιουργία πλήρων γεωχωρικών αναλύσεων που συνδυάζουν διάφορες πληροφορίες για να προκύψουν περισσότερο ολοκληρωμένες εικόνες. Το λογισμικό, ενσωματώνοντας προηγμένα εργαλεία και τεχνολογίες, ανοίγει νέους ορίζοντες στην ανάλυση νεφών σημείων. Από τη διαχείριση μεγάλων όγκων

δεδομένων μέχρι την ακριβή χωρική ανάλυση, προσφέρει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον για την εξερεύνηση και την κατανόηση του περιβάλλοντος μας με πρωτοποριακό τρόπο.

Η βιβλιοθήκη του ArcGIS Pro προσφέρει εκτεταμένες δυνατότητες για την ενσωμάτωση και επεξεργασία τρισδιάστατων νεφών σημείων. Οι βασικές δυνατότητες περιλαμβάνουν την αποθήκευση τρισδιάστατων νεφών σημείων στο λογισμικό επιτρέπει τη δημιουργία προβολών και σκηνών, διατηρώντας πλήρη συνοχή και συνδεσιμότητα μεταξύ διαφορετικών δεδομένων. Η διαχείριση αυτή προσφέρει ολοκληρωμένο και οργανωμένο περιβάλλον για τη διαχείριση μεγάλων όγκων τρισδιάστατων δεδομένων. Η επιλογή διαφόρων μορφών εξαγωγής, συμπεριλαμβανομένων LAS και πολλών άλλων, καθιστά το ArcGIS Pro ευέλικτο στη συνεργασία με άλλα GIS εργαλεία και περιβάλλοντα. Τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εξειδικευμένες εφαρμογές, ενώ η εξαγωγή σε ανοιχτά πρότυπα εξασφαλίζει τη συμβατότητα και την ανταλλαγή δεδομένων με διάφορες πλατφόρμες.

Η επεξεργασία των τρισδιάστατων νεφών σημείων είναι εύκολη και αποτελεσματική με το ArcGIS Pro. Το λογισμικό παρέχει εργαλεία για τη διόρθωση των ταξινομημένων σημείων, επιτρέποντας την ενημέρωση και τη βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων. Το ArcGIS Pro διαθέτει προηγμένα εργαλεία αναγνώρισης και ταξινόμησης σημείων τρισδιάστατων νεφών με χρήση βαθιάς μάθησης. Τα μοντέλα PointCNN που ενσωματώνονται στο ArcGIS Pro είναι εκπαιδευμένα για αυτόνομη αναγνώριση αντικειμένων, επιτρέποντας την αυτόματη ταξινόμηση των σημείων σε πολλά είδη, όπως κτίρια, δέντρα, οχήματα και περισσότερα. Η δυνατότητα αυτόματης κατηγοριοποίησης επιτρέπει στους χρήστες να επεξεργάζονται γρήγορα μεγάλα σύνολα δεδομένων χωρίς την ανάγκη χειροκίνητης κατηγοριοποίησης κάθε σημείου. Αυτό εξοικονομεί χρόνο και δυνατότητες.

Επιπλέον, το ArcGIS Pro υποστηρίζει την ανάπτυξη προσαρμοσμένων μοντέλων εκμάθησης. Αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες μπορούν να εκπαιδεύουν τα δικά τους μοντέλα για να ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένες ανάγκες και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά. Συνοψίζοντας, το ArcGIS Pro είναι ένα ισχυρό εργαλείο που

ενσωματώνει προηγμένες τεχνολογίες για τη διαχείριση, ανάλυση και εξαγωγή πληροφοριών από νέφη σημείων, παρέχοντας επεκτεινόμενες δυνατότητες σε όλους τους τομείς που απαιτούν προηγμένη γεωχωρική ανάλυση. Μέσω των ενσωματωμένων εργαλείων ανάλυσης, είναι δυνατό να υπολογιστούν στατιστικά στοιχεία, πυκνότητα, απόσταση και άλλες μετρικές κατηγορίες για τα τρισδιάστατα νέφη σημείων. Το γεγονός αυτό προσφέρει βαθύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών του τοπίου ή των αντικειμένων που απεικονίζονται.

Η οπτικοποίηση των τρισδιάστατων δεδομένων σημείων είναι εντυπωσιακή στο ArcGIS Pro. Με εργαλεία όπως το "Scene Layer" και οι ρυθμίσεις του στυλ εμφάνισης, μπορούν να παρουσιάσουν τα δεδομένα με εντυπωσιακό τρόπο.

Συνοπτικά, το ArcGIS Pro δεν αποθηκεύει και αναλύει απλώς τρισδιάστατα νέφη σημείων, αλλά επίσης τα ενσωματώνει στις εργασίες GIS, παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον για τη διαχείριση, ανάλυση και οπτικοποίηση τους.

## **5.2 Εργαλεία, πρόσθετα και διασυνδέσεις (APIs)**

Το ArcGIS Pro, ως η πρωτοποριακή πλατφόρμα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), είναι εξοπλισμένο με μια εκτενή σουίτα εργαλείων, προσθέτων και διασυνδέσεων (API), προσφέροντας ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών για τη διαχείριση και ανάλυση LIDAR data. Τα εργαλεία του ArcGIS Pro για τα LIDAR data επιτρέπουν την εισαγωγή, τον χαρτογραφικό προσδιορισμό, την οπτικοποίηση και τον αναλυτικό έλεγχο των τρισδιάστατων πληροφοριών. Με τη δυνατότητα επεξεργασίας και ταξινόμησης των σημείων LIDAR, οι χρήστες μπορούν να αποκομίσουν σημαντική κατανόηση από τα δεδομένα αυτά. Στη συνέχεια, με τη χρήση προσθέτων, οι χρήστες μπορούν να επεκτείνουν τις δυνατότητες του ArcGIS Pro σύμφωνα με τις συγκεκριμένες ανάγκες τους. Αναφορικά με τα Lidar data, πρόσθετα όπως το "LAS Dataset Tools" παρέχουν προηγμένες λειτουργίες επεξεργασίας, ενώ το "3D Analyst" εμπλουτίζει την ανάλυση με επιπλέον εργαλεία για τη δημιουργία 3D αναπαραστάσεων. Οι διασυνδέσεις (API) του ArcGIS Pro παρέχουν τη δυνατότητα αυτοματοποίησης και εξατομίκευσης των διαδικασιών.



Χρησιμοποιώντας τις API, οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν προσαρμοσμένες εφαρμογές ή εργαλεία που ανταποκρίνονται ακριβώς στις απαιτήσεις τους, επιτυγχάνοντας μια αποτελεσματική και ομαλή ροή εργασίας. Οι πιο συνεισφέρουσες διεπαφές είναι το ArcPy, το οποίο είναι ένα πακέτο της γλώσσας προγραμματισμού Python που παρέχει έναν χρήσιμο και αποδοτικό τρόπο για την ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων, τη μετατροπή δεδομένων, τη διαχείριση δεδομένων και την αυτοματοποίηση χαρτογράφησης με τη χρήση της ενώ δεύτερη πιο σημαντική είναι το «ArcGIS API for Python», ισχυρή, σύγχρονη και εύχρηστη βιβλιοθήκη στην Python για την απόδοση οπτικοποίησης και ανάλυσης GIS, διαχείρισης χωρικών δεδομένων και εργασιών διαχείρισης συστήματος GIS που μπορεί να τρέξει είτε διαδραστικά είτε με χρήση σεναρίων. Το ArcGIS API for Python παρέχει μια pythonic αναπαράσταση ενός GIS. Ένα pythonic API είναι ένα που αντιστοιχεί στις βέλτιστες πρακτικές της Python στον σχεδιασμό του και χρησιμοποιεί τα πρότυπα δομές και δομές δεδομένων της Python με καθαρά, ευανάγνωστα ιδιώματα. Το API καθιστά εύκολο και φυσικό για έναν προγραμματιστή Python να χρησιμοποιήσει το ArcGIS και αντίστροφα, έναν χρήστη του ArcGIS να σεναριογραφήσει και να αυτοματοποιήσει το GIS τους. Συνοπτικά, το ArcGIS Pro, με τις προηγμένες δυνατότητες του στη διαχείριση LIDAR data, τα ευέλικτα εργαλεία του, καθώς και τις ισχυρές δυνατότητες διασύνδεσης μέσω API, αποτελεί ένα πλήρες εργαλείο για την εξερεύνηση, ανάλυση και αξιοποίηση των τρισδιάστατων γεωγραφικών δεδομένων.

Πίνακας 1 – Λειτουργίες ArcGIS Pro που υποστηρίζουν LiDAR  
 Πηγή: Esri

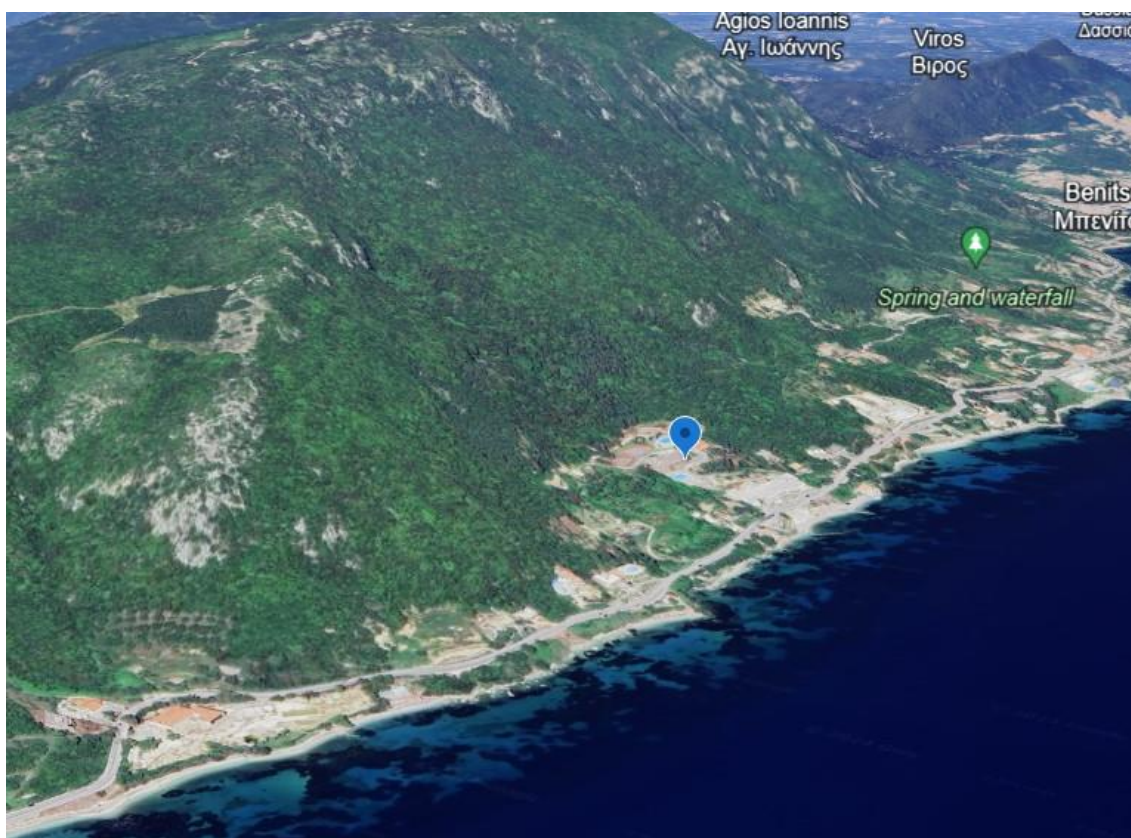
| Λειτουργίες του ArcGIS που υποστηρίζουν δεδομένα lidar |                                      |
|--|--------------------------------------|
| ArcGIS εφαρμογές                                       | ArcCatalog, ArcScene, ArcMap         |
| Τοποθεσίες αποθήκευσης                                 | File system                          |
| Relationship to LAS source files                       | Points to                            |
| Περιορισμός μεγέθους                                   | Περιορίζεται από τον χώρο στον δίσκο |
| Περιορισμοί επιφάνειας                                 | Υποστηρίζεται                        |
| Αρχεία εισόδου LiDAR                                   | LAS αρχεία                           |
| Τύποι LiDAR  | Εναέρια και επίγεια                  |

|                        |   |
|------------------------|---|
| Απεικόνιση             | Σημεία, τριγωνισμένη επιφάνεια σε 2Δ & 3Δ   |
| Ανάλυση                | Εργαλεία που μπορούν να εισάγουν νέφη σημείων ή TINs<br>Χρήση με εργαλεία 3D Analyst<br>Χρήση με εργαλεία συνόλου δεδομένων LAS<br>Εργαλεία που μπορούν να εισάγουν νέφη σημείων ή TINs |
| Εμφάνιση               | Αραιωμένα σημεία  |
|                        | Μπορεί να αλλάξει η εμφάνιση επιλέγοντας διαφορετικούς τύπους κλάσεων ή τύπους δεδομένων  |
|                        | Η εμφάνιση τροποποιείται χρησιμοποιώντας τη γραμμή εργαλείων του συνόλου δεδομένων LAS ή το παράθυρο διαλόγου   |
| Επεξεργασία σημείων    | Μπορεί να επεξεργαστούν τα σημεία που βρίσκονται στα αρχεία LAS   |
| Συνδυασμός με δεδομένα | Υποστηρίζει αρχεία LAS, κλάσεις χαρακτηριστικών και shapefiles  |

### 5.3 Μελέτη περίπτωσης εισαγωγής και επεξεργασίας νέφους σημείων σε περιβάλλον ArcGIS

#### 5.3.1 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο νησί της Κέρκυρας στο Ιόνιο πέλαγος. Το νέφος σημείων που αποκτήθηκε αφορά ένα ξενοδοχείο στο χωριό Αγ. Ιωάννης Περιστερών στη νοτιοανατολική Κέρκυρα. Βρίσκεται πάνω στην επαρχιακή οδό Κέρκυρας-Λευκίμμης, ανάμεσα στις Μπενίτσες και την Μεσογγή, σε μέσο σταθμικό υψόμετρο 17. Απέχει 16 χλμ. περίπου Νότια της πόλης της Κέρκυρας.



Εικόνα 11 – Ευρύτερο στιγμιότυπο, Πηγή: Λογισμικό Google Earth



Εικόνα 12 – Άνω όψη του ξενοδοχείου, Πηγή: Λογισμικό Google Earth

### 5.3.2 Εξοπλισμός

Όσο αναφορά την απόκτηση του νέφους για τη μελέτη, επιλέχθηκε το Lidar Zenmuse L1 της DJI σε συνδυασμό με το Matrice 300 RTK. Το Matrice 300 RTK, ένα αξιοθαύμαστο όχημα, παρέχει εξαιρετικές δυνατότητες, όπως μέγιστη μετάδοση 15 χιλιομέτρων, μέγιστο χρόνο πτήσης 55 λεπτά, 6 κατευθυντικούς αισθητήρες και θέσης, πρωτεύον προβολέα πτήσης, σύστημα αδιαβροχοποίησης με βαθμολογία IP45, και εναλλάξιμη μπαταρία. Το Lidar είναι εξαιρετικό, με Livox Lidar Module που παράγει αποτελέσματα νέφους με έως 100% αποτελεσματικότητα. Διαθέτει εντυπωσιακή εμβέλεια ανίχνευσης 450m (80% αντανάκλαση, 0 κlx) / 190m (10% αντανάκλαση, 100 κlx), ρυθμό αποτελεσματικών σημείων 240.000 σημεία/δευτερόλεπτο, υποστηρίζει 3 επιστροφές, μοναδικό μοτίβο σάρωσης, υψηλή ακρίβεια με κάθετη ακρίβεια 5 εκατοστά και οριζόντια ακρίβεια 10 εκατοστά, ενώ διαθέτει και RGB κάμερα 20MP, 1-ίντσας CMOS, μηχανικό κλείστρο. Επιπροσθέτως, για τη μέτρηση φωτοσταθερών έγινε χρήση του δέκτη gps Topcon hiper pro το οποίο παρέχει οριζοντιογραφική ακρίβεια 3χλστ. +0.5ppm και υψομετρική 5χλστ. + 0.5 ppm.

### 5.3.3 Η συλλογή των δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε αρχές Ιουνίου τις πρώτες πρωϊνές ώρες της ημέρας με θερμοκρασία 25 °C ενώ οι άνεμοι δεν ξεπερνούσαν τα 3 Beaufort. Ιδρύθηκαν 6 τριγωνομετρικά σημεία (T1, T2, T3, T4, T5, T6) (σε μέρη στα οποία ήταν δυνατή η πρόσβαση) με μέθοδο static, με τον δέκτη GPS Topcon hiper pro. Οι μετρήσεις επιλύθηκαν με διαδικασία τριγωνισμού και η διόρθωση τους έγινε από τον μόνιμο σταθμό αναφοράς στη Κέρκυρα του δικτύου Uranus.





Εικόνα 13 – Topcon hiper pro, Πηγή: Εικόνα από τις εργασίες πεδίου



Εικόνα 14 – Φωτοσταθερό  
Πηγή: Εικόνα από τις εργασίες πεδίου



Εικόνα 15 – Φωτοσταθερό  
Πηγή: Εικόνα από τις εργασίες πεδίου



Εικόνα 16 – Φωτοσταθερό  
Πηγή: Εικόνα από τις εργασίες πεδίου



Εικόνα 17 – Φωτοσταθερό  
Πηγή: Εικόνα από τις εργασίες πεδίου

Πίνακας 2: Επιλεγμένες συντεταγμένες τριγωνομετρικών σημείων

**SUBNET 'Session' POINTS: ADJUSTED COORDINATES in EGSA87(Grid, Zone EGSA87)**

| Point |      | Coordinates |            |             | Sigmas(mm) |      |      | Corr.(%) |     |     |
|-------|------|-------------|------------|-------------|------------|------|------|----------|-----|-----|
| #     | Name | Northing(m) | Easting(m) | Ortho H (m) | s(N)       | s(E) | s(U) | N-E      | N-U | E-U |
| 1     | 078A | 4381965.202 | 149265.498 | 50.055      | 0          | 0    | 0    | 0        | 0   | 0   |
| 2     | T1   | 4381902.538 | 149260.477 | 53.628      | 8.9        | 8.5  | 20.2 | -13      | -6  | 21  |
| 3     | T2   | 4381927.757 | 149281.483 | 49.07       | 8.9        | 8.6  | 20.3 | -13      | -6  | 21  |
| 4     | T3   | 4381983.605 | 149255.427 | 50.187      | 8.9        | 8.6  | 20.2 | -13      | -6  | 21  |
| 5     | T4   | 4382001.221 | 149236.307 | 54.677      | 8.9        | 8.5  | 20.3 | -13      | -6  | 21  |
| 6     | T5   | 4382053.608 | 149264.673 | 52.813      | 8.8        | 8.6  | 20.2 | -13      | -6  | 21  |
| 7     | T6   | 4382070.41  | 149249.676 | 56.452      | 8.9        | 8.6  | 20.3 | -13      | -6  | 21  |



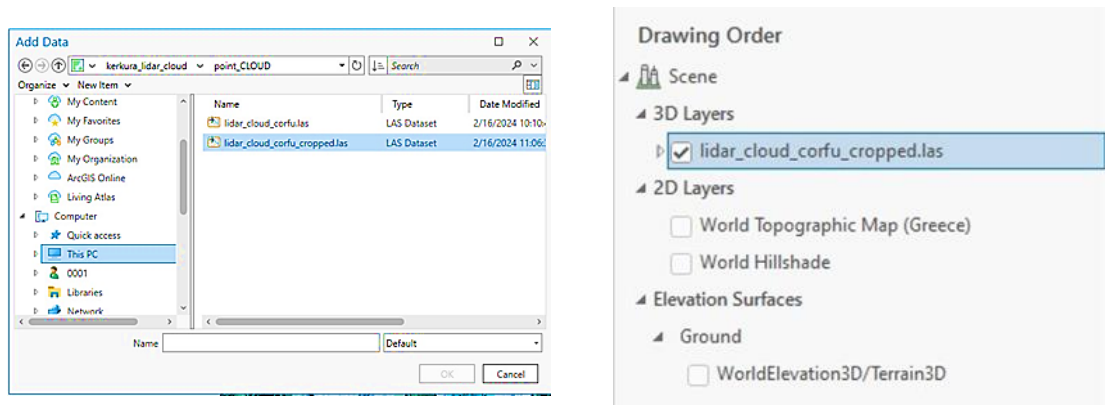
Εικόνα 18– Αεροφωτογραφία περιοχής με τις θέσεις των φωτοσταθερών

Η πτήση για την κάλυψη της περιοχής μελέτης πραγματοποιήθηκε με το αερόχημα Matrice 300 RTK σε συνεργασία με το Lidar Zenmuse L1 της DJI το οποίο καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσης που λάμβανε αεροφωτογραφίες ήταν σε κατάσταση RTK, ως προς την γεωαναφορά των αεροφωτογραφιών με συντεταγμένες (XYZ) καθώς ήταν συνεχώς συνδεδεμένο με τον μόνιμο σταθμό αναφοράς. Εν συνεχεία, για την απόκτηση του νέφους σημείων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό DJI Terra ενώ για λόγους μεγαλύτερης ακρίβειας στην οριζοντιογραφική αλλά και την υψομετρική πληροφορία του νέφους χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό TerraSolid Spatix. Μέσω αυτού του προγράμματος δίνεται η δυνατότητα να γεωαναφερθεί εκ νέου το νέφος σημείων σε όλες του τις διαστάσεις (X,Y,Z). Για την προαναφερθείσα διαδικασία έγινε χρήση των φωτοσταθερών που μετρήθηκαν στην αρχή της διαδικασίας. Για τη συνέχεια της διπλωματικής εργασίας δεν χρησιμοποιήθηκε όλο το αρχικό νέφος αλλά έγινε περικοπή του ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη απόδοση σε χρόνο και χώρο.

## 6. Αποτελέσματα και Συζήτηση

### 6.1 Άμεσες λειτουργίες λογισμικού

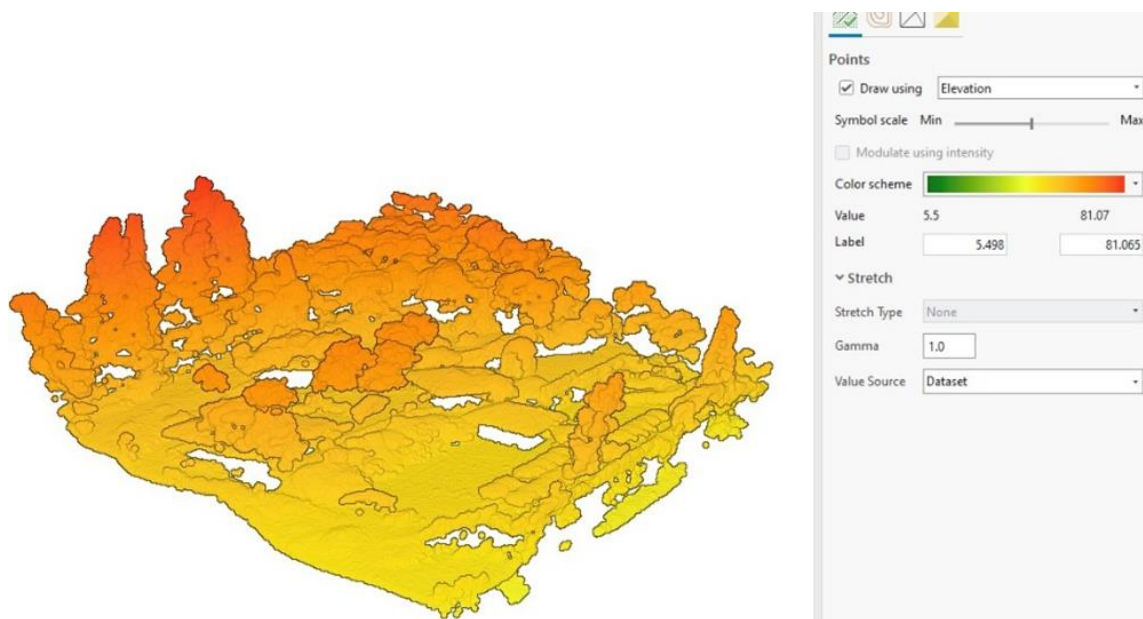
Για να ενταχθεί το νέφος σημείων στο λογισμικό γίνεται προσθήκη δεδομένων (Add data) και επιλογή του αρχείου ενδιαφέροντος (Εικόνα 21) αφού έχει αλλαχτεί η επιλογή του χάρτη σε τοπική σκηνή (Local scene – Εικόνα 22).



Εικόνα 19  
Πηγή: Λογισμικό ArcGis Pro

Αφού εισαχθεί το νέφος, πραγματοποιούμε έλεγχο στις συντεταγμένες του έργου να βρίσκονται εκεί που απαιτείται από την κάθε εργασία. Μέσω του συμβολισμού είναι δυνατό να αλλάξει η οπτική που εμφανίζεται όπως για παράδειγμα να απεικονισθεί το νέφος σύμφωνα με α) το υψόμετρο των σημείων, β) την κλάση τους (εάν έχουν κάποια κατηγοριοποίηση κτίριο, έδαφος, βλάστηση κτλ.), γ) τον αριθμό επιστροφής του κάθε σημείου ( 1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup>, 3<sup>η</sup> επιστροφή κτλ.), δ) το χρώμα τους με RGB κωδικοποίηση και ε) την ένταση. Μερικά παραδείγματα φαίνονται στις εικόνες 20, 21 & 22.





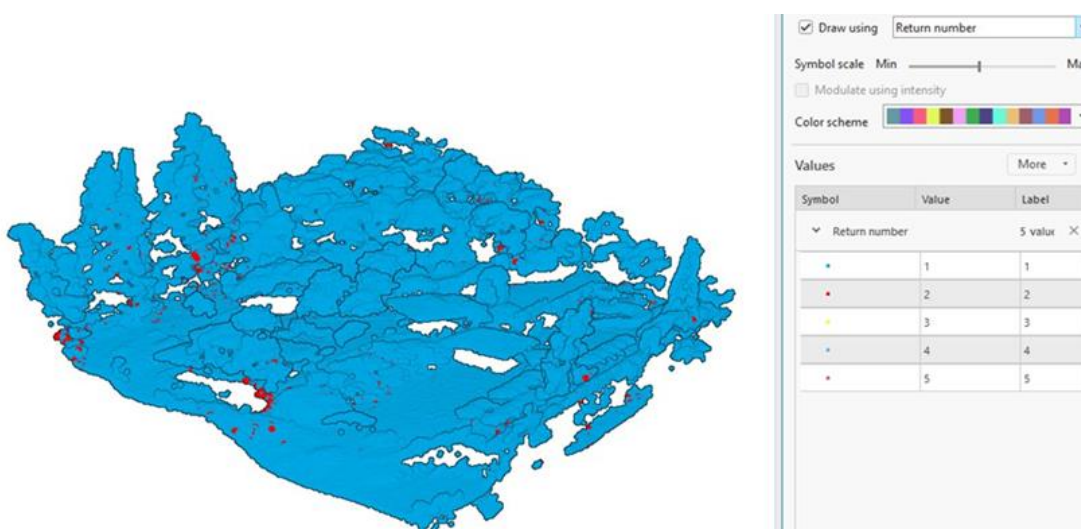
Εικόνα 20 – Συμβολισμός νέφους βάσει υψομέτρου

Πηγή: Λογισμικό ArcGis Pro, ίδια επεξεργασία



Εικόνα 21 – Συμβολισμός νέφους βάσει τιμών RGB

Πηγή: Λογισμικό ArcGis Pro, ίδια επεξεργασία



Εικόνα 22 — Συμβολισμός νέφους βάσει τιμής επιστροφής

Πηγή: Λογισμικό ArcGis Pro. ίδια επεξεργασία

## Συμβολισμός

Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως πιο περιληπτικά όσο αναφορά το συμβολισμό των σημείων του νέφους. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν τρεις κατηγορίες συμβολισμού α) χρησιμοποιώντας σημεία β) χρησιμοποιώντας επιφάνεια και γ) χρησιμοποιώντας γραμμές.

Πίνακας 2 - Συμβολισμός σημείων

Πηγή: Esri

| Συμβολισμός Σημείων | Περιγραφή  |
|---------------------|--|
| Υψόμετρο            | Συμβολισμός του νέφους με βάση το υψόμετρο.  |
| Κατηγορία           | Συμβολισμός των σημείων του νέφους ανάλογα με τον κωδικό κλάσης (έδαφος, βλάστηση κτλ.)      |
| Επιστροφή           | Συμβολισμός του νέφους σύμφωνα με τον αριθμό επιστροφής του παλμού laser.                    |
| RGB                 | Συμβολισμός του νέφους ανάλογα με τις RGB τιμές που έχουν αντιστοιχιστεί σε κάθε σημείο.     |
| Ένταση              | Συμβολισμός του νέφους σύμφωνα με τις τιμές έντασης που έχουν αντιστοιχιστεί σε κάθε σημείο. |

Πίνακας 3 – Συμβολισμός επιφάνειας

Πηγή: Esri

| Συμβολισμός<br>Επιφάνειας | Περιγραφή  |
|---------------------------|--|
| Υψόμετρο                  | Συμβολισμός του τριγωνισμένου δικτύου χρησιμοποιώντας το υψόμετρο. |
| Κατεύθυνση                | Συμβολισμός του TIN χρησιμοποιώντας τις τιμές κατεύθυνσης.         |
| Κλίση                     | Συμβολισμός του TIN χρησιμοποιώντας τιμές κλίσης.                  |

Πίνακας 4 – Συμβολισμός γραμμής

Πηγή: Esri

| Συμβολισμός<br>γραμμής | Περιγραφή   |
|------------------------|---|
| Ισοϋψείς<br>καμπύλες   | Συμβολισμός του TIN χρησιμοποιώντας τις ισοϋψείς. |
| Ακμές                  | Συμβολισμός του TIN χρησιμοποιώντας τις ακμές.    |

Όπως και στην διδιάστατη απεικόνιση έτσι και στην τρισδιάστατη, κάθε κατηγορία συμβολισμού ανοίγει έναν νέο χαρτογραφικό κόσμο που αναβαθμίζει την αναπαράσταση των δεδομένων. Στην απεικόνιση με βάση τα σημεία μπορούν να αλλάξουν τα σχήματα, τα σύμβολα, τα χρώματα, να κατηγοριοποιηθούν σημεία βάσει του υψομέτρου τους καθώς και η κλίμακα των συμβόλων. Με τον ρύθμιση των ισοϋψών καμπυλών ανά χειροκίνητα διαστήματα γίνεται ακόμα μεγαλύτερος έλεγχος των υψομετρικών στόχων και των παραγόντων διακριτότητας της επιφάνειας αναφοράς.

## Εφέ

Οι παρεχόμενες επιλογές εφέ παρέχουν τρόπο για να συγκρίνουν δύο επικαλυπτόμενα επίπεδα:

1. Ρυθμιστής Διαφάνειας: Αυξάνει τη διαφάνεια του επιλεγμένου επιπέδου, αποκαλύπτοντας τα κρυμμένα χαρακτηριστικά από κάτω.
2. Λειτουργία συγχώνευσης επιπέδων: Συγχωνεύει οπτικά το επίπεδο χαρακτηριστικών με αυτά που βρίσκονται κάτω από αυτό στη σειρά σχεδίασης, αλλάζοντας την οπτική σύνθεσή τους.

3. Λειτουργίες Συγχώνευσης Χαρακτηριστικών: Συγχωνεύουν οπτικά τα χαρακτηριστικά εντός του επιπέδου χαρακτηριστικών, επιτρέποντας, για παράδειγμα, την αλλαγή των ιδιοτήτων των επικαλυπτόμενων χαρακτηριστικών.

### **Σύγκριση**

1. Εργαλείο Swire: Αφαιρεί το ανώτερο επίπεδο, αποκαλύπτοντας το επίπεδο που βρίσκεται από κάτω.

2. Κουμπί Flicker: Εναλλάσσει τη συνεχή ορατότητα του επιλεγμένου επιπέδου. Ο ρυθμός του καθορίζεται σε χιλιοστά του δευτερολέπτου. Κρίνεται αποτελεσματικό για εντοπισμό αλλαγών σε επίπεδα εικόνας, σύγκριση ποιότητας δεδομένων ή άλλες αναλύσεις όπου θέλετε να δείτε τις διαφορές μεταξύ των επιπέδων.

### **Αραιωτική Σημειοδότηση**

Όριο Προβολής — Η εφαρμογή ενός ορίου σημείων ορίζει ένα όριο μεγέθους για τον αριθμό των σημείων που χρησιμοποιούνται στον τριγωνισμό του επιπέδου επιφάνειας του συνόλου. Εάν, για μια δεδομένη έκταση εμφάνισης, η χρήση των ρυθμίσεων έχει ως αποτέλεσμα μια επιφάνεια που υπερβαίνει τον καθορισμένο αριθμό σημείων, το επίπεδο γίνεται πιο γενικευμένο.

Πυκνότητα — Η πυκνότητα των σημείων που επιβάλλεται από το σύνολο δεδομένων LAS. Αυτό καθορίζεται αλληλεπιδραστικά χρησιμοποιώντας τη προτεινόμενη μπάρα. Μετακινώντας την μπάρα προς τα αριστερά η επιφάνεια πυκνώνει ενώ προς τα δεξιά η επιφάνεια γίνεται πιο λεπτεπίλεπτη. Οποιαδήποτε αλλαγή γίνεται μεταβάλλει το νέφος ταυτόχρονα στην οθόνη.

### **Φίλτρα Σημείων**

Επιτρέπουν την αλλαγή της εμφάνισης των δεδομένων που συνεισφέρουν στο σύνολο. Μπορούν να ρυθμιστούν ποια σημεία από το νέφος θα εμφανίζονται χρησιμοποιώντας αυτά τα φίλτρα. Η ομάδα Φίλτρων Σημείων περιλαμβάνει προκαθορισμένα φίλτρα και φίλτρα περιορισμού επιφάνειας. Τα προκαθορισμένα αυτά φιλτραρίσματα έχουν τις

εξής επιλογές α) Όλα τα σημεία - Χρησιμοποιούνται όλα τα σημεία από το νέφος, β) έδαφος – Χρησιμοποιούνται μόνο τα σημεία που έχουν σημειωθεί ως έδαφος, γ) Όχι έδαφος – Όλα τα σημεία τα οποία δεν έχουν σημειωθεί ως σημεία εδάφους, δ) Πρώτο σημείο επιστροφής – Τα σημεία της πρώτης επιστροφής από το laser του lidar.

### **Αυτοματοποιημένη Κατηγοριοποίηση**

Η αυτοματοποιημένη κατηγοριοποίηση γίνεται μέσω ειδικών εργαλείων για τη διαχείριση και επεξεργασία τρισδιάστατων νεφών σημείων και άλλων γεωχωρικών δεδομένων. Στο λογισμικό παρέχονται εργαλεία για την εκτέλεση αυτόματης κατηγοριοποίησης, συμπεριλαμβανομένης της κατηγοριοποίησης του εδάφους και των κτιρίων. Πιο συγκεκριμένα ξεκινάει με την ταξινόμηση εδάφους η οποία απαιτεί από τον χρήστη σύστημα δηλωμένο σύστημα αναφοράς για ακρίβεια στην χωρική ανάλυση. Η παράμετρος «ανάλυση ΨΜΕ» επιτρέπει τη δημιουργία επιφάνειας εδάφους με συγκεκριμένη ανάλυση ενώ η επιλογή μεθόδου ανάλυσης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Οι μέθοδοι που είναι διαθέσιμες είναι τρεις καθεμία με τα δικά της πλεονεκτήματα. Η κανονική κατηγοριοποίηση προσφέρει ισορροπημένη ανίχνευση ανωμαλιών, η συντηρητική είναι κατάλληλη για λιγότερο καμπυλωτή τοπογραφία, ενώ η επιθετική εστιάζει σε απότομες αλλαγές. Στη συνέχεια, με το εργαλείο κατηγοριοποίηση κτιρίων, δίνεται η δυνατότητα να καθοριστεί το ελάχιστο ύψος των κτιριακών σημείων αναγνώρισης στη στέγη και η ελάχιστη περιοχή της στέγης. Επίσης, ο χρήστης μπορεί να επαναχρησιμοποιήσει ή να επανακαταναείμει τα ήδη ταξινομημένα σημεία κτιρίων, ενώ οι επιλογές της μεθόδου ταξινόμησης επιτρέπουν την προσαρμογή στις χαρακτηριστικές συνθήκες. Ακόμη, η δυνατότητα ταξινόμησης σημείων πάνω και κάτω από τη στέγη προσθέτει περαιτέρω ελευθερία στη διαδικασία. Τρίτο εργαλείο είναι η κατηγοριοποίηση της επικάλυψης του νέφους. Σε περίπτωση που δεν έχει γίνει σωστή ζεύξη των νεφών από τις πτήσεις και υπάρχουν αλληλοεπικαλύψεις θα υπάρχει και υψηλότερη πυκνότητα σημείων σε αυτές τις περιοχές. Το εργαλείο χρησιμοποιεί το αναγνωριστικό πτήσης (point source ID) για τον προσδιορισμό των σημείων επικάλυψης. Η αξιολόγηση γίνεται σε δεδομένη απόσταση δειγματοληψίας. Σημεία με διαφορετικά αναγνωριστικά πτήσης εντός της περιοχής

αξιολόγησης ταξινομούνται ως σημεία επικάλυψης με βάση τη γωνία σάρωσης. Επόμενη διαδικασία που παρέχεται είναι η κατηγοριοποίηση του θορύβου στο νέφος σημείων. Το λογισμικό, αποσκοπεί στην αναγνώριση και επεξεργασία σημείων θορύβου, τα οποία μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την οπτικοποίηση και την ανάλυση δεδομένων. Ο θόρυβος προέρχεται από παράγοντες όπως πτηνά υψηλού πετάγματος, σκόνη, ομίχλη, υδάτινα σώματα και αντανakλαστικά επιφάνειες. Το εργαλείο παρέχει τρεις μεθόδους αναγνώρισης θορύβου: Απομόνωση, σχετικό ύψος από το έδαφος, και υψόμετρο. Η μέθοδος «απομόνωση» αναλύει την περιοχή σε τετράγωνα τμήματα και ταξινομεί σημεία ως θόρυβο αν η πυκνότητα είναι χαμηλή. Οι μέθοδοι με τα ύψη αναγνωρίζουν σημεία με βάση την αυξομείωση ύψους από το έδαφος ή το υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας. Επόμενη είναι η κατηγοριοποίηση με βάση το ύψος. Χρησιμοποιείται για την επαναταξινόμηση των σημείων με βάση το ύψος τους από την επιφάνεια του εδάφους και επιδρά στους κωδικούς κατηγορίας 0 και 1. Είναι απαραίτητη η ύπαρξη σημείων που έχουν ταξινομηθεί για το έδαφος όταν χρησιμοποιείται επιφάνεια εδάφους. Η ταξινόμηση των σημείων βασίζεται στους κωδικούς κατηγορίας 3, 4 και 5 που αντιπροσωπεύουν χαμηλή, μεσαία και υψηλή βλάστηση αντίστοιχα σύμφωνα με το πρότυπο ASPRS. Οι παράμετροι περιλαμβάνουν τον καθορισμό της πηγής του εδάφους, την ταξινόμηση του ύψους, την ταξινόμηση θορύβου, τον υπολογισμό στατιστικών και τον καθορισμό του εύρους επεξεργασίας. Το εργαλείο παρέχει επίσης τη δυνατότητα να ενημερωθεί η πυραμίδα του επιπέδου με το νέφος μετά την τροποποίηση των κωδικών ταξινόμησης. Συνολικά, το εργαλείο αυτό είναι χρήσιμο για τη βελτιστοποίηση της ταξινόμησης των σημείων σε σχέση με το ύψος, προσφέροντας έναν ευέλικτο τρόπο επεξεργασίας. Υπάρχουν τρεις ακόμη μέθοδοι κατηγοριοποίησης. Οι δύο αφορούν δεδομένα εισαγωγής που βάζει ο χρήστης και το άλλο μία ράστερ εικόνα. Το πρώτο, ορίζει κωδικό τάξης χρησιμοποιώντας δισδιάστατη πληροφορία και επιτρέπει την ταξινόμηση των σημείων που τέμνουν την δισδιάστατη θέση των οντοτήτων εισόδου, γραμμών, πολυγώνων και σχετικών buffer. Η απόσταση ζώνης (buffer) είναι κρίσιμη για τα σημεία και τις γραμμές λόγω της πιθανότητας τα σημεία να μην ταυτίζονται ακριβώς με τη γεωμετρία εισόδου. Εάν το σύνολο δεδομένων έχει φιλτραριστεί, μόνο τα

κατηγοριοποιημένα σημεία που τέμνουν τα στοιχεία εισόδου επαναταξινομούνται. Το δεύτερο εργαλείο παρέχει τη δυνατότητα εντοπισμού σημείων με βάση την τρισδιάστατη απόσταση τους από τα δεδομένα εισόδου. Το στοιχείο εισόδου ενημερώνεται με ένα πεδίο που περιέχει τον αριθμό των σημείων LAS που πέφτουν εντός της καθορισμένης ακτίνας αναζήτησης. Συνιστάται η αποφυγή χρήσης πολύ μεγάλων αποστάσεων αναζήτησης λόγω του περιορισμού στον αριθμό των σημείων που μπορεί να δημιουργήσει το εργαλείο. Τρίτη δυνατότητα που υπάρχει στο λογισμικό είναι η ταξινόμηση σημείων με χρήση τιμών κελιού από μία ψηφιδωτή εικόνα. Κύρια απαίτηση αποτελεί το ράστερ να διατηρεί μόνο ακέραιες τιμές. Οι τιμές των κελιών του ράστερ καθορίζουν τον ταξινομικό κωδικό των σημείων LAS εντός του ορίου του κάθε κελιού. Τα κελιά με τιμές No Data δεν επηρεάζουν τα σημεία LAS. Αντίθετα με άλλα εργαλεία ταξινόμησης που λειτουργούν μόνο σε συγκεκριμένους κωδικούς ταξινόμησης, αυτό το εργαλείο μπορεί να τροποποιήσει όλα τα σημεία LAS που περιέχονται σε ένα δοσμένο κελί. Τέλος, για βέλτιστο αποτέλεσμα, χρειάζεται ράστερ που βρίσκεται στο ίδιο σύστημα αναφοράς με τα δεδομένα επεξεργασίας καθώς αν τα στοιχεία έχουν διαφορετικό σύστημα αναφοράς, αυτά θα αναπροσαρμόζονται κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης, προκαλώντας απροσδόκητα αποτελέσματα.

### **Προβολή Τομής (Profile Viewing)**

Η προβολή τομής καθιστά πιο εύκολη την επιλογή, μέτρηση ή αναγνώριση χαρακτηριστικών σε τρισδιάστατο περιβάλλον. Όταν τα χαρακτηριστικά στοιβάζονται κατακόρυφα, η προβολή προφίλ βοηθά στην πιο καθαρή απεικόνιση. Αυτή η προσωρινή κατάσταση προβολής είναι διαθέσιμη σε οποιοδήποτε σκηνικό, αλλά είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για σκηνικά που περιλαμβάνουν εσωτερικούς χώρους κτιρίων ή δεδομένα lidar. Για παράδειγμα, δύναται να επεξεργαστούν οι κωδικοί ταξινόμησης για δεδομένα lidar και να προβληθεί ο αρχιτεκτονικός τύπος ενός κτιρίου σε επίπεδα. Η προβολή προφίλ λειτουργεί σε όλους τους τύπους δεδομένων και επιφανειών.

## Επιλογή

Επίσης υπάρχει δυνατότητα επιλογής σημείων με διάφορα σχήματα που δημιουργούνται από τον χρήστη χειροκίνητα και αφού πρώτα έχει ενημερωθεί η καρτέλα με το ποιες κλάσεις είναι επιλέξιμες. Αυτά μπορούν να στη συνέχεια να διαγραφούν ή επειδή πολλές φορές μπορεί η ταξινόμηση να μην είναι πλήρης ή ορθή να χρειαστεί να γίνει χειροκίνητη κατηγοριοποίηση σε κάποια κλάση ή υποκατηγορία της.

## 6.2 Προετοιμασία νέφους σημείων για εκμάθηση του μοντέλου

Το μοντέλο εκμάθησης ταξινόμησης που διαθέτει το λογισμικό χρησιμοποιείται για την ανάθεση κωδικών τάξης (κλάσης) στο νέφος σημείων μας. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο όταν πρέπει να γίνει κατηγοριοποίηση των σημείων με βάση κάποια κριτήρια όπως η επιφανειακή κάλυψη, το υψόμετρο ή άλλα χαρακτηριστικά του εδάφους. Το εργαλείο "PointCNN Model Generator" όπως λέγεται απαιτεί έναν κατάλογο μορφής .pctd που περιέχει δύο υποκαταλόγους, έναν για τα δεδομένα εκπαίδευσης και έναν για τα δεδομένα επικύρωσης του μοντέλου. Η ποιότητα του μοντέλου εκμάθησης εξαρτάται από την ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση και την επικύρωση, οπότε προτείνεται η προσεκτική επεξεργασία της ταξινόμησης των σημείων πριν από τη χρήση του εργαλείου. Το εργαλείο δημιουργεί δεδομένα εκπαίδευσης και επικύρωσης από ένα σύννεφο σημείων μορφής LAS. Παρέχονται επίσης επιλογές για την αποκλεισμό συγκεκριμένων κατηγοριών ταξινόμησης, την προσθήκη πληροφορίας ύψους και τον περιορισμό του μεγέθους των blocks δεδομένων για την αποτελεσματική εκπαίδευση. Είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι παράμετροι όπως το μέγεθος block, το όριο των σημείων σε κάθε block, και οι κατηγορίες που πρέπει να αποκλειστούν, για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική εκπαίδευση του μοντέλου.

## 6.3 Κατηγοριοποιήσεις ταξινόμησης

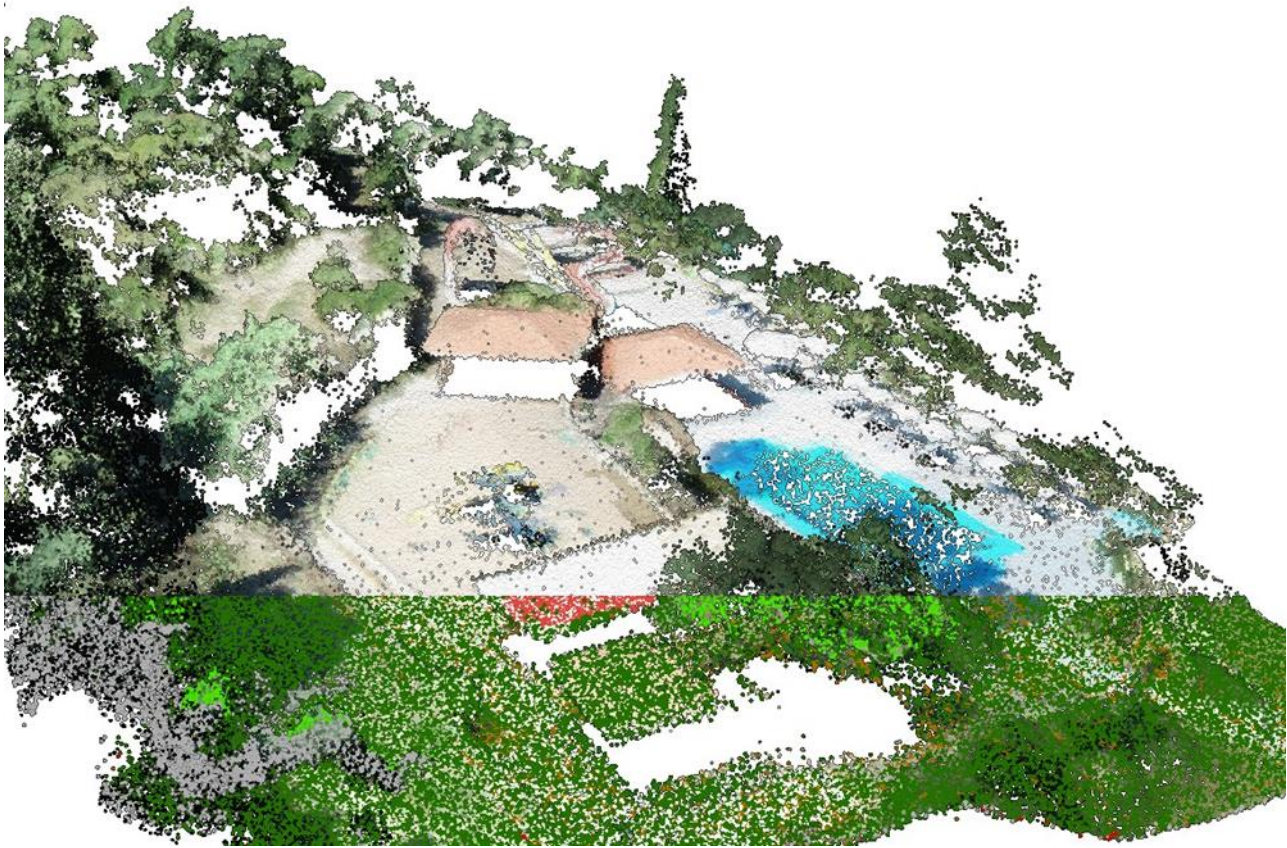
Το ArcGIS χρησιμοποιεί το σχήμα κατηγοριοποίησης LAS που ορίζει η American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS). Με την εντολή Change LAS Class Codes όλα τα σημεία που εμπεριέχονται στο αρχείο .las θα εξεταστούν και εκείνα που



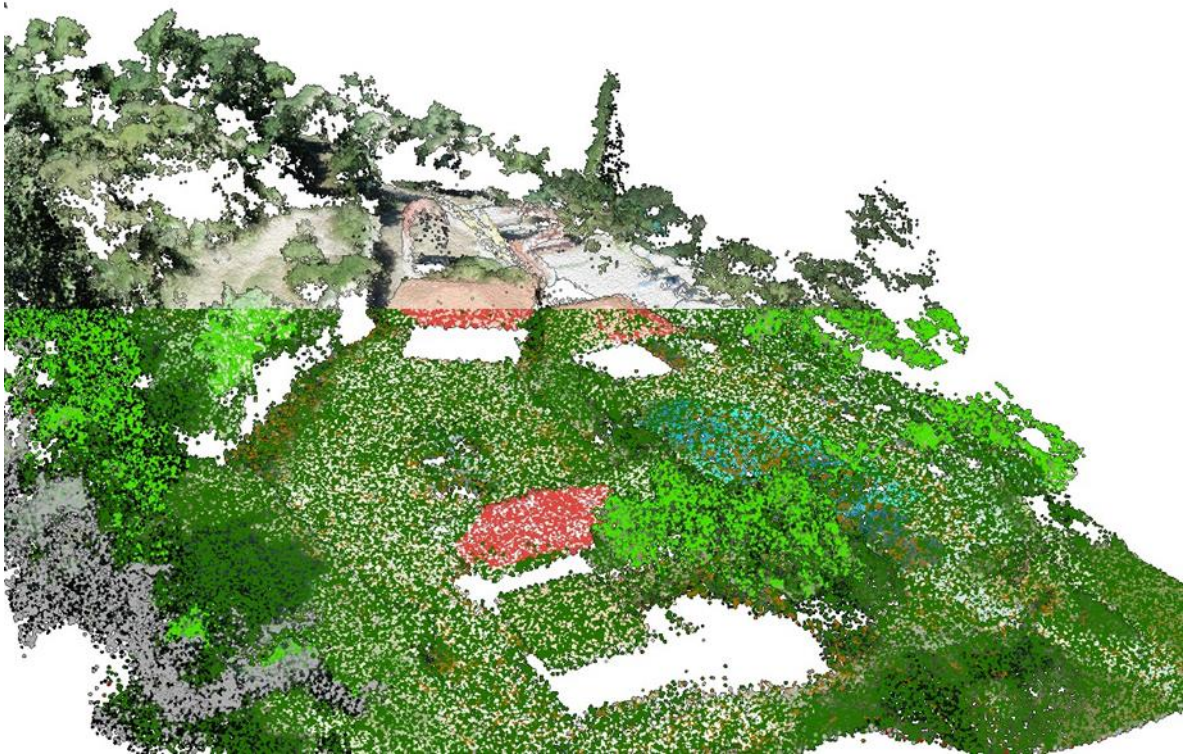
περιέχουν τους παρεχόμενους κωδικούς κατηγοριών που έχουν επιλεγθεί θα τροποποιηθούν. Παρακάτω απεικονίζεται ο πίνακας της ESRI με τους κωδικούς και σε τι αναφέρεται κάθε αριθμός ταξινόμησης.

Πίνακας 5 – Κωδικοί ταξινόμησης  
Πηγή: Esri

| Classification Value | Classification Type  |
|----------------------|--|
| 0                    | Never Classified   |
| 1                    | Unassigned   |
| 2                    | Ground   |
| 3                    | Low Vegetation   |
| 4                    | Medium Vegetation  |
| 5                    | High Vegetation  |
| 6                    | Building   |
| 7                    | Low Noise  |
| 8                    | Model Key / Reserved   |
| 9                    | Water  |
| 10                   | Rail   |
| 11                   | Road Surface   |
| 12                   | Overlap / Reserved   |
| 13                   | Wire – Guard   |
| 14                   | Wire – Conductor   |
| 15                   | Transmission Tower   |
| 16                   | Wire – Connector   |
| 17                   | Bridge Deck  |
| 18                   | High Noise   |
| 19 – 63              | Reserved for ASPRS Definition (LAS 1.1 to 1.3 support up to class code 31) |
| 32 – 255             | User Definable (Only supported in LAS 1.0 and certain versions of 1.4)     |



*Εικόνα 23 – Το έγχρωμο νέφος σημείων σε αντιπαράθεση με το ταξινομημένο  
Πηγή: Λογισμικό ArcGis Pro, ίδια επεξεργασία*

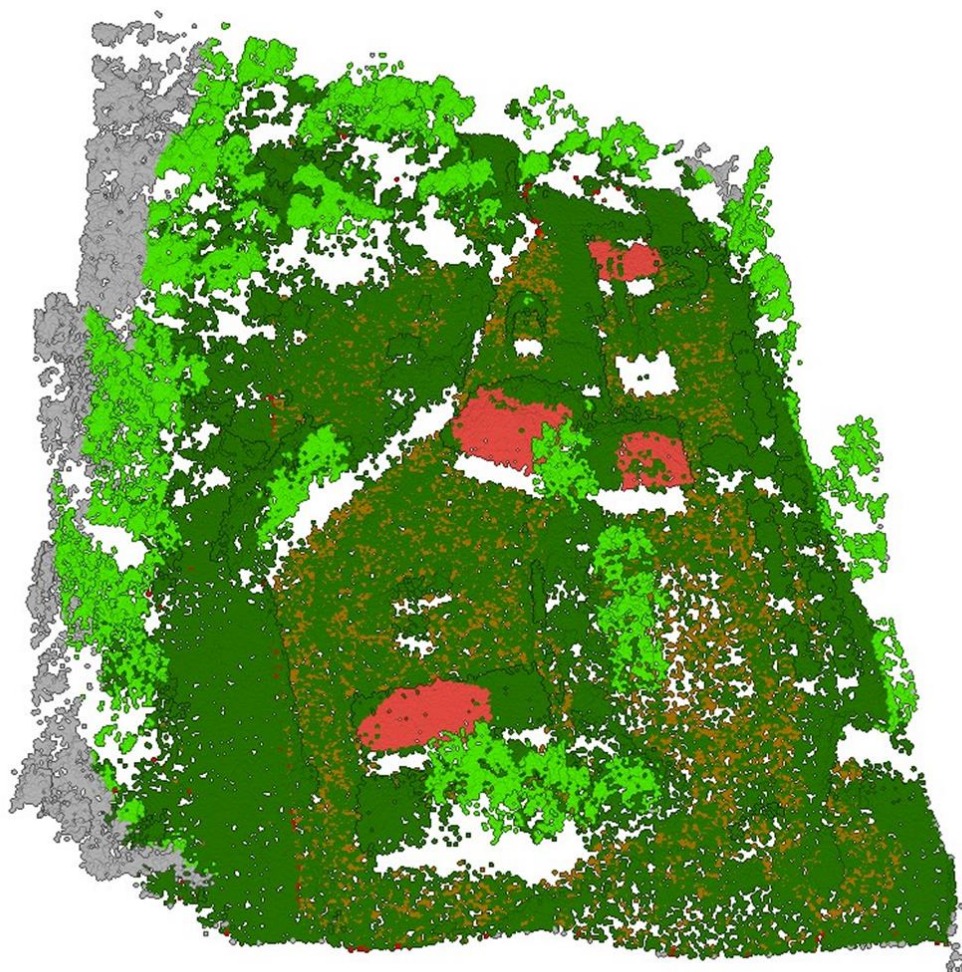


*Εικόνα 24- Το έγχρωμο νέφος σημείων σε αντιπαράθεση με το ταξινομημένο  
Πηγή: Λογισμικό ArcGis Pro, ίδια επεξεργασία*





*Εικόνα 25 – Έγχρωμο νεφος  
Πηγή: Λογισμικό ArcGis Pro, ίδια επεξεργασία.*



Εικόνα 26 – Ταξινομημένο νέφος  
Πηγή: Λογισμικό ArcGis Pro, ίδια επεξεργασία

## 6.4 Αξιολόγηση του μοντέλου

Η αξιολόγηση βασίζεται σε ένα σημείο αναφοράς εντός του νέφους που έχει ήδη ταξινομηθεί όπως θα έπρεπε, και τα αποτελέσματα ταξινόμησης από κάθε μοντέλο συγκρίνονται με αυτό. Για να επιτευχθούν τα καλύτερα αποτελέσματα, το σημείο αναφοράς πρέπει να έχει καλή ταξινόμηση για τα αντικείμενα που εξετάζονται. Όλα τα μοντέλα που αξιολογούνται πρέπει να έχουν τους ίδιους κωδικούς ταξινόμησης. Το εργαλείο χρησιμοποιεί την αρχιτεκτονική βαθιάς μάθησης PointCNN για τη δημιουργία του μοντέλου. Οι μικρές διαφορές στα αποτελέσματα είναι φυσιολογικές. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ίδιο μοντέλο ως είσοδο περισσότερες από μία φορές για να

αξιολογήσετε τη συνοχή των αποτελεσμάτων ταξινόμησης. Το εργαλείο δημιουργεί πολλαπλά αρχεία εξόδου στον καθορισμένο φάκελο, συμπεριλαμβανομένων πινάκων στατιστικών μοντέλου, πινάκων στατιστικών κωδικού τάξης, πινάκων σύγχυσης και γραφημάτων σύγχυσης. Η παράμετρος "Reference Surface" είναι υποχρεωτική όταν χρησιμοποιείται ένα μοντέλο ταξινόμησης που εκπαιδεύτηκε με πληροφορίες ύψους αναφοράς. Η είσοδος για αυτή την παράμετρο χρησιμοποιείται για την παροχή σχετικών υψομετρικών τιμών για κάθε σημείο, βοηθώντας στη διάκριση αντικειμένων που έχουν ένα χαρακτηριστικό εύρος σχετικών υψομετρικών τιμών από την επιφάνεια.

## 6.5 Ταξινόμηση του νέφους σημείων με χρήση του εκπαιδευμένου μοντέλου

Το μοντέλο PointCNN έχει εκπαιδευτεί με τεχνικές βαθιάς μάθησης. Το εργαλείο προεπιλέγει να ταξινομήσει όλα τα σημεία του εισαγόμενου σύννεφου σημείων. Εάν οποιαδήποτε από τις υφιστάμενες κωδικοποιήσεις κλάσης στο εισερχόμενο σύννεφο σημείων έχει ταξινομηθεί εσφαλμένα, μπορεί να αλλάξει αφού αποκλειστούν τα σημεία αυτά από τον υπολογισμό, δηλώνοντας ποιοι κωδικοί κλάσης πρέπει να επεξεργαστούν ή να διατηρηθούν, χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους "Existing Class Code Handling" και "Existing Class Codes". Το σύννεφο σημείων που εισάγεται πρέπει να έχει τα ίδια χαρακτηριστικά και παρόμοια εύρη τιμών όπως τα δεδομένα εκπαίδευσης που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του μοντέλου ταξινόμησης. Η πυκνότητα και η κατανομή των σημείων πρέπει επίσης να είναι παρόμοιες με τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπαίδευση του μοντέλου. Αν το εισερχόμενο νέφος σημείων δεν έχει δηλωθεί σε κάποιο συστημένο σύστημα συντεταγμένων, μπορεί να ορισθεί σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί κατά την ταξινόμηση των σημείων του. Η παράμετρος "Reference Surface" είναι υποχρεωτική κατά τη χρήση ενός μοντέλου ταξινόμησης που έχει εκπαιδευτεί με πληροφορίες αναφοράς ύψους καθώς βοηθάει στον εντοπισμό επικαλυπτόμενων σημείων.

Στην καρτέλα έτοιμης βιβλιοθήκης εργαλείων για επεξεργασία γεωχωρικών δεδομένων υπάρχουν ακόμη περισσότερες επιλογές οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω. Πρώτη είναι η εντολή, **LAS to Multipoint** με την οποία υποστηρίζεται η αποθήκευση πολλών



προκαθορισμένων χαρακτηριστικών για κάθε σημείο Lidar στη μορφή LAS. Όσον αφορά τις παραμέτρους, μπορούν να εισαχθούν αρχεία LAS ή ZLAS είτε απευθείας είτε αναφέροντας έναν φάκελο. Επίσης, ορίζονται η κλάση και τα χαρακτηριστικά που θα αποθηκευτούν στον πίνακα χαρακτηριστικών. Υποστηρίζει φίλτρα για κωδικούς κλάσης και τιμές επιστροφής LAS. Ο μέσος όρος της απόστασης μεταξύ των σημείων μπορεί να ορισθεί, όπως επίσης και ο αριθμός επιστροφής για κάθε σημείο ή τα ονόματα των χαρακτηριστικών που θα αποθηκευτούν καθώς και άλλες προεπιλεγμένες παράμετροι. Η εφαρμογή είναι πολύτιμη για τη διαχείριση δεδομένων Lidar, προσφέροντας διευκόλυνση στη φόρτωση και την εξαγωγή πληροφοριών από αρχεία LAS. Άλλη εντολή είναι η, **LAS dataset to TIN**, που όπως λέει και το ίδιο μετατρέπει το νέφος σε ένα τριγωνισμένο δίκτυο. Με αυτό, μπορεί να διαχειριστεί ο όγκος των σημείων LAS και να προσαρμοστεί ο αριθμός των κορυφών των τριγώνων στο τελικό αποτέλεσμα. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τον τύπο αραιοποίησης (Thinning Type) μεταξύ No Thinning, Random, και Window Size. Η μέθοδος αραιώσης (Thinning Method) προσαρμόζεται ανάλογα με τον τύπο. Η τιμή αραιοποίησης (Thinning Value) εξαρτάται από τον τύπο και τη μέθοδο. Επιπλέον, μπορεί να ορισθεί ο μέγιστος αριθμός κόμβων στο TIN, ο παράγοντας Z για μετατροπή των υψομέτρων, και αν θα γίνει ή όχι περικοπή του TIN σε κάποιο επιθυμητό όριο. Αυτό το εργαλείο στους χρήστες να δημιουργήσουν TIN αρχεία που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις τους για αποτελεσματική ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων.

Επόμενη εντολή στη βιβλιοθήκη είναι το, **LAS Height Metrics**. Αυτό το εργαλείο δημιουργεί στατιστικά παράγωγα από σημεία πάνω από το έδαφος για να παρέχει καλύτερη κατανόηση του θόλου του δάσους. Αναλύονται τα σημεία που έχουν ανατεθεί με τιμή κωδικού τάξης 0 ή 1, που αντιπροσωπεύουν μη ταξινομημένα σημεία, και 3, 4 και 5, που αντιπροσωπεύουν σημεία βλάστησης. Τα LAS δεδομένα που επεξεργάζεται πρέπει να έχουν κατηγοριοποιηθεί τα σημεία έδαφος πριν από την εκτέλεση αυτού του εργαλείου. Το εργαλείο Classify LAS Ground μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να πληροί αυτήν την απαίτηση. Αυτό το εργαλείο θα δημιουργήσει ένα ράστερ για κάθε επιλεγμένη επιλογή στατιστικού και ύψος τοποθέτησης. Το όνομα κάθε ράστερ θα ξεκινά με το καθορισμένο βασικό όνομα και τη μετρική ύψους ή τον χωρικό στατιστικό.

Για το μέσο ράστερ, θα προστεθεί η λέξη "mean" στο όνομα του αρχείου. Για την τυπική απόκλιση, θα προστεθεί το "stdev" στο όνομα του αρχείου. Για τη διακύμανση της μεσαίας τιμής, θα προστεθεί το "mad" στο όνομα του αρχείου. Χρήσιμη βοήθεια παρέχει η παράμετρος ελάχιστου ύψους για να αποκλεισθούν πολύ χαμηλά σημεία, ειδικά εάν τα σημεία έδαφος δεν έχουν ταξινομηθεί επαρκώς, καθώς μπορεί να παραποιήσουν τα αποτελέσματα αυτού του εργαλείου. Σε συνέχεια, με το **LAS Dataset** δημιουργείται ένα ράστερ αρχείο χρησιμοποιώντας τιμές υψόμετρου, έντασης ή RGB που αποθηκεύονται στα σημεία lidar που αναφέρονται στο LAS dataset. Μπορείς να περιορίσεις τα σημεία LAS που εμφανίζονται και επεξεργάζονται μέσω του LAS dataset layer, επιλέγοντας οποιαδήποτε συνδυασμό κωδικών ταξινόμησης, σημαίων ταξινόμησης και τιμών επιστροφής στις ρυθμίσεις φίλτρου του επιπέδου. Τα φίλτρα μπορούν να καθοριστούν στο πλαίσιο Ιδιοτήτων του επιπέδου ή στο εργαλείο Κατασκευής Επιπέδου LAS Dataset.

Μία άλλη εφαρμογή που διαθέτει το λογισμικό είναι το **LAS dataset statistics**. Η δυνατότητα παραγωγής στατιστικών πληροφοριών για τα αρχεία LAS που αναφέρονται στο LAS dataset είναι ουσιώδης για την καλύτερη κατανόηση των δεδομένων lidar και του αρχείου σημείων. Η στατιστική ανάλυση επιτρέπει να πραγματοποιηθεί αρχικός έλεγχος ποιότητας και έλεγχος ποιότητας των δεδομένων lidar προκειμένου να διασφαλισθεί ότι τα αποτελέσματα έχουν παραδοθεί ακριβώς όπως αναμενόταν. Επιτρέπει επίσης τον προσδιορισμό της συνολικής ποιότητας και έκτασης των δεδομένων πριν από την εκτέλεση χρονοβόρων διαδικασιών στα δεδομένα lidar. Κατά τον υπολογισμό των στατιστικών, δημιουργείται ένα αρχείο LAS auxiliary (.lasx) για κάθε αρχείο LAS. Το auxiliary αρχείο (.lasx) λαμβάνει το ίδιο όνομα με το αρχικό αρχείο LAS και αποθηκεύεται στην ίδια τοποθεσία στον δίσκο. Αποθηκεύει τις υπολογισμένες στατιστικές πληροφορίες και τον χωρικό δείκτη για κάθε αρχείο LAS. Τα στατιστικά μπορούν να υπολογιστούν για ένα σύνολο LAS που περιέχει αρκετά αρχεία LAS ή για ένα μόνο αρχείο.

Επόμενη χρήσιμη εντολή μέσω της έτοιμης βιβλιοθήκης του λογισμικού είναι η **LAS building multipatch** η οποία δημιουργεί μοντέλα κτιρίων που προκύπτουν από σημεία



οροφής που καταγράφονται σε δεδομένα lidar. Προϋποθέτει ότι τα σημεία LAS παρέχουν καλή κάλυψη της οροφής του κτιρίου. Για βέλτιστα αποτελέσματα, απαιτείται να εξαιρεθούν τα σημεία που αντιπροσωπεύουν τμήματα των κτιρίων πέραν της οροφής, καθώς συνήθως προσθέτουν θόρυβο στο τελικό μοντέλο κτιρίου. Εάν δεν υπάρχουν σημεία που έχουν ταξινομηθεί ως κτίρια στο νέφος, πρέπει να πραγματοποιηθεί η ταξινόμηση τους με το `classify buildings`. Το εργαλείο θα αναθέσει έναν κωδικό ταξινόμησης 6 για τα σημεία που αντιπροσωπεύουν οροφές κτιρίων. Μετά το πέρας της ταξινόμησης γίνονται οι οποιοσδήποτε απαραίτητες διορθώσεις εκτελώντας ξανά το εργαλείο με διάφορες επιλογές παραμέτρων ή μέσω διαδραστικής επεξεργασίας ταξινόμησης.

Τέλος, αφού η κάλυψη ταξινόμησης των κτιρίων είναι ικανοποιητική, μπορεί να δημιουργηθεί το μοντέλο του οποίου η κατασκευή συμβαίνει μέσω τριγώνων TIN από τα σημεία LAS που επικαλύπτουν το πολύγωνο της βάσης του κτιρίου. Η βάση ενσωματώνεται σε αυτό το TIN ως πολύγωνο περικοπής, το ύψος του καθορίζεται από την πηγή που καθορίζεται στην παράμετρο `Ground Height`. Η τιμή της παραμέτρου `Ground Height` μπορεί να καθοριστεί είτε ως πεδίο στον πίνακα χαρακτηριστικών του πολυγώνου της βάσης είτε ως επιφάνεια υψομετρίας. Εάν τα σύννεφα σημείων έχουν υψηλή πυκνότητα, υπάρχει η παράμετρος `Sampling Resolution` για να αραιωθούν τα σημεία που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή της οροφής. Επόμενο εργαλείο σε σειρά είναι το **LAS Point Statistics By Area** το οποίο αξιολογεί τα στατιστικά σημείων LAS που επικαλύπτουν την περιοχή που ορίζεται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά πολυγώνων.

Χρησιμοποιώντας το επίπεδο LAS dataset, μπορούν να περιορισθούν τα σημεία που εμφανίζονται και επεξεργάζονται, επιλέγοντας οποιονδήποτε συνδυασμό κωδικών ταξινόμησης, σημαίας ταξινόμησης και τιμών επιστροφής στις ρυθμίσεις φίλτρου του επιπέδου. Δύνανται να ορισθούν τα φίλτρα στον πίνακα ιδιοτήτων του επιπέδου ή στο εργαλείο `Make LAS Dataset Layer`. Αυτό το εργαλείο είναι χρήσιμο για να προσδιορισθούν τα χαρακτηριστικά των σημείων σε περιοχές ενδιαφέροντος που καθορίζονται από τα όρια των πολυγώνων. Θα εκτιμηθεί μόνο το υψόμετρο που

προκύπτει από τα σημεία, ενώ οποιεσδήποτε τιμές υψομέτρου Z που συνεισφέρονται από γεωμετρικά χαρακτηριστικά περιορισμού επιφάνειας αναφέρονται από το νέφος σημείων θα αγνοηθούν.

Μία συναφής εντολή με την προηγούμενη είναι το **LAS Point Statistics As Raster** η οποία λειτουργεί όπως η **LAS Point Statistics By Area**, ωστόσο σαν τελικό αποτέλεσμα είναι ένα αρχείο raster του οποίου οι τιμές των κελιών αντικατοπτρίζουν στατιστικές πληροφορίες σχετικά με τα σημεία του νέφους.

Επόμενο εργαλείο είναι το **Thin LAS** το οποίο δημιουργεί νέα αρχεία LAS που περιέχουν ένα υποσύνολο των σημείων LAS από το νέφος εισόδου. Συνιστάται η χρήση αυτού του εργαλείου σε δεδομένα μεγάλης δειγματοληψίας LAS, όπως σε σύννεφα σημείων που προκύπτουν από φωτογραμμετρικά παράγωγα ή επιστροφές από πολλαπλές επικαλύψεις σαρώσεων lidar. Αυτό βελτιστοποιεί την απόδοση εμφάνισης και επιταχύνει τις λειτουργίες ανάλυσης. Στις κινητές έρευνες με lidar, πυκνές επιστροφές σημείων μπορούν να καταγραφούν λόγω της διακύμανσης της ταχύτητας και του προτύπου κίνησης του αισθητήρα lidar. Η λεπτομερής ρύθμιση μπορεί να βοηθήσει στη δημιουργία ομοιόμορφης πυκνότητας στην έρευνα, βελτιώνοντας έτσι τα αποτελέσματα ορισμένων αυτοματοποιημένων ρουτινών ταξινόμησης που βασίζονται σε αρχεία LAS έχουν επικαλύψεις δεδομένων, προτιμάται η ενοποίηση τους σε μη επικαλυπτόμενα tiles επιστροφές σημείων με τακτικά διαστήματα. Εάν τα για ομοιόμορφη κατανομή των δεδομένων με τη συγχώνευση των σημείων μέσω του εργαλείου **Tile LAS**. Η προαναφερθείσα εντολή δημιουργεί ένα σύνολο αρχείων LAS που δεν επικαλύπτονται, όπου η οριζόντια έκτασή τους χωρίζεται από έναν τακτικό πλέγμα.

Η λειτουργία με τα πλακίδια θα διατηρήσει όλα τα σημεία που βρίσκονται εντός του εύρους επεξεργασίας του νέφους που χρησιμοποιείται για την δημιουργία πλακιδίων, ανεξαρτήτως των ρυθμίσεων φίλτρων στρώματος που ενδέχεται να έχουν εφαρμοστεί. Ένα LAS dataset αποτελούμενο από αρχεία με επικαλυπτόμενες εκτάσεις μπορεί να οδηγήσει σε ανακριβείς εκτιμήσεις σε λειτουργίες που εξαρτώνται από ανάλυση αρχείου προς αρχείο. Για παράδειγμα, η εκτίμηση του διαστήματος σημείων προκύπτει από ανάλυση των σημείων σε κάθε αρχείο πάνω στην περιοχή κάλυψης εντός αυτού

του αρχείου και, ως εκ τούτου, δεν έχει μηχανισμό για προσαρμογή στην επίδραση των σημείων στις επικαλυπτόμενες περιοχές. Επίσης, το εργαλείο Thin LAS εξαρτάται επίσης από την επεξεργασία αρχείου προς αρχείο, και το αποτέλεσμα δεν θα συμμορφώνεται με την αναμενόμενη έξοδο στις περιοχές όπου υπάρχουν επικαλύψεις αρχείων. Η αναδιάταξη των σημείων LAS θα ομαδοποιήσει χωρικά τα δεδομένα lidar και θα βελτιώσει την απόδοσή του κατά την οπτικοποίηση ή την εκτέλεση λειτουργιών ανάλυσης. Αυτή η διαδικασία απαιτεί τη δημιουργία ενός προσωρινού αρχείου. Κατά την εξαγωγή πρέπει να ληφθεί υπόψιν η συμπίεση ZLAS εάν τα δεδομένα LAS είναι ήδη ταξινομημένα και έτοιμα για αρχειοθέτηση ή διανομή. Τα αρχεία ZLAS δεν είναι επεξεργάσιμα και δεν μπορούν να υποστούν εκ νέου ταξινόμηση, αλλά συνήθως μειώνουν το μέγεθος του αρχείου σε περίπου το ένα τρίτο του ασυμπίεστου αρχείου LAS.

Επόμενη εντολή είναι η **Extract LAS** η οποία δημιουργεί νέα αρχεία LAS από δεδομένα νέφους σημείων σε ένα αρχείο δεδομένων LAS. Κατά τη χρήση αυτού του εργαλείου, δημιουργείται ένα αρχείο .las ή .zlas για κάθε αρχείο που αναφέρεται από το LAS dataset. Στην περίπτωση ενός point cloud scene layer, το πλήθος των αρχείων εξόδου εξαρτάται από τον αριθμό των σημείων που εξάγονται. Κάθε αρχείο εξόδου περιορίζεται σε περίπου 16,7 εκατομμύρια σημεία. Όταν δημιουργούνται πολλά αρχεία, τα αποτελέσματα μπορεί να έχουν επικαλυπτόμενες εκτάσεις, οδηγώντας σε ανεπιτυχή επεξεργασία δεδομένων σε ορισμένες περιπτώσεις. Συνιστάται η χρήση του εργαλείου Tile LAS για την επανατοποθέτηση των αρχείων που εξάγονται από ένα point cloud scene layer σε ένα συγκεκριμένο σχήμα με πλακίδια, με μη επικαλυπτόμενες εκτάσεις. Μπορεί να εξαχθεί ένα υποσύνολο του εισερχόμενου νέφους σημείων καθορίζοντας μια έκταση επεξεργασίας, όριο εξαγωγής ή και τα δύο. Όταν καθορίζεται ένα όριο επεξεργασίας μαζί με ένα όριο εξαγωγής, η τομή τους καθορίζει την κάλυψη των αρχείων .las που εξάγονται. Αν κανένα από τα δύο δεν καθοριστεί, η πλήρης έκταση του εισερχόμενου σύννεφου σημείων θα εξαχθεί στα αρχεία .las εξόδου. Επιπλέον, μπορεί επίσης να εφαρμοσθεί ένα φίλτρο σημείων στο εισερχόμενο νέφος για περιορισμό των σημείων που θα εξαχθούν βάσει οποιασδήποτε συνδυαστικής χρήσης κωδικών ταξινόμησης, σημείων ταξινόμησης και τιμών επιστροφής. Σε συνέχεια το

νέφος σημείων μπορεί να υποστεί μετατροπή ως προς τον μορφότυπο του με την εντολή **Convert LAS** η οποία μετατρέπει δεδομένα lidar που αποθηκεύονται σε μορφή LAS, ή σε συμπίεση ZLAS και LAZ.

Τα αρχεία εξόδου μπορούν να δημιουργηθούν επίσης σε διαφορετική έκδοση αρχείου .las και μορφή εγγραφής σημείων που υποστηρίζει ένα μεγαλύτερο σύνολο κωδικών κατηγορίας και ταξινόμησης. Μετατρέπονται ολόκληρα αρχεία .las. Οποιοσδήποτε ρυθμίσεις φίλτρου στρώματος που μπορεί να έχουν καθοριστεί για το νέφος θα αγνοηθούν. Τα σημεία του νέφους μπορούν να πάρουν περαιτέρω πληροφορία χρώματος (εκτός από αυτή που ήδη έχουν) όπως επίσης και τιμές εγγύς υπέρυθρου από ορθοεικόνες. Αυτό δημιουργείται από την εντολή **Colorize LAS** που παρέχει έναν εναλλακτικό, φωτορεαλιστικό τρόπο προβολής και προσφέρει μια μοναδική απεικόνιση. Αφού δοθεί η πληροφορία από πραγματικές εικόνες που επικαλύπτονται στο νέφος, παρέχονται ενδιαφέρουσες πληροφορίες για τα διακριτικά χαρακτηριστικά του νέφους σημείων, χρήσιμα κατά τη διαδραστική κατηγοριοποίηση των δεδομένων, τη ψηφιοποίηση νέων χαρακτηριστικών και τον καθορισμό ενός αναφερόμενου σημείου κατά την πραγματοποίηση μετρήσεων απόστασης 3D.

Το εργαλείο **Create LAS Dataset** δημιουργεί ένα σύνολο δεδομένων LAS που αναφέρεται σε ένα ή περισσότερα αρχεία .las και προαιρετικά χαρακτηριστικά περιορισμού επιφάνειας. Κάθε αρχείο .las εξετάζεται για να καθοριστεί εάν η εσωτερική του δομή είναι συμβατή με τις προδιαγραφές LAS. Εάν οποιοδήποτε αρχείο .las αποτύχει να φορτωθεί στο LAS dataset, αυτό μπορεί να υποδεικνύει ότι το αρχείο είναι κατεστραμμένο ή έχει εσφαλμένες πληροφορίες στην κεφαλίδα του. Τα χαρακτηριστικά περιορισμού επιφάνειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιβολή τιμών υψόμετρου που προέρχονται από χαρακτηριστικά επιφάνειας στο LAS dataset. Το εργαλείο **Make LAS Dataset Layer** μπορεί να εφαρμόσει φίλτρα στα σημεία LAS και να ελέγξει την επιβολή των χαρακτηριστικών περιορισμού επιφάνειας.

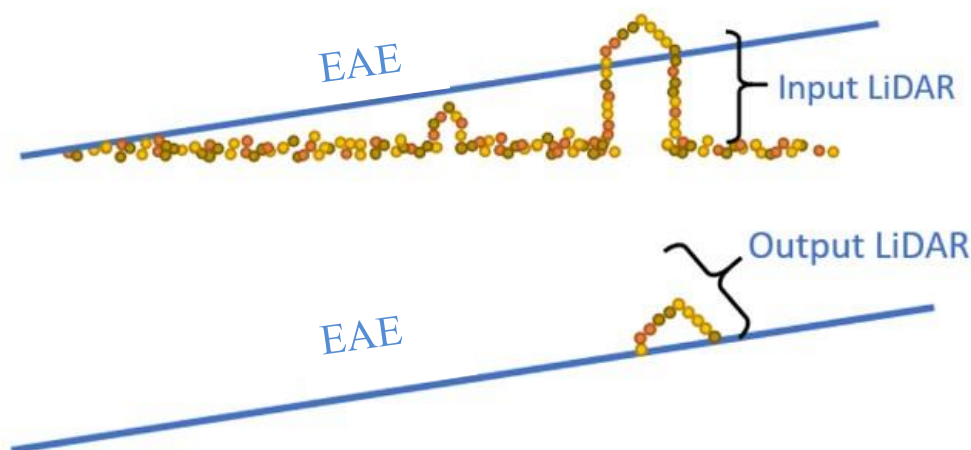
Με αυτόν τον τρόπο, τα σημεία μπορούν να υποστούν διαχείριση και ο έλεγχος των χαρακτηριστικών περιορισμού επιφάνειας κατά τον τριγωνισμό μιας επιφάνειας από το LAS dataset. Τα σημεία τους νέφους μπορούν να φιλτραριστούν χρησιμοποιώντας τους

κωδικούς κατηγοριών, τις σημαίες κατηγοριών και τις τιμές επιστροφής που συσχετίζονται με κάθε σημείο.

Τα φίλτρα τηρούνται από διάφορα εργαλεία που επεξεργάζονται το νέφος. Για παράδειγμα, μπορεί να κατασκευαστεί μια επιφάνεια raster που απεικονίζει το γυμνό έδαφος φιλτράροντας τα σημεία που έχουν ταξινομηθεί ως έδαφος και χρησιμοποιώντας το επικείμενο επίπεδο ως είσοδο για το εργαλείο "LAS Dataset To Raster". Η εντολή **Build LAS Dataset Pyramid** δημιουργεί ή ενημερώνει ένα προσωρινό αποθετήριο προβολής νέφους σημείων, το οποίο βελτιστοποιεί την απόδοσή του στην απεικόνιση.

Το νέφος αποτελούμενο από πλακίδια πυραμίδας πλέον αποθηκεύεται με κατάληξη .slas. Η πυραμίδα καταλαμβάνει το ένα τρίτο περίπου του συνολικού μεγέθους των .las αρχείων που αναφέρονται από το LAS dataset και αποτελείται από πολλά επίπεδα σταδιακά αραιωμένων σημείων LAS. Τα σημεία που συμμετέχουν σε κάθε επίπεδο καθορίζονται από τον διαμερισμό του χώρου όπου βρίσκονται τα σημεία και την επιλογή ενός σημείου σε κάθε καταμερισμένη περιοχή χρησιμοποιώντας τη μέθοδο επιλογής σημείων.

Η επιλογή **Analyze LAS Runway Obstacles** αναλύει δεδομένα lidar και επιφάνειες αναγνώρισης εμποδίων (EAE) για να προσδιορίσει εάν τα σημεία lidar διεισδύουν. Δημιουργείται ένα σημείο χαρακτηριστικών για κάθε σημείο lidar που πέφτει εντός της περιοχής που καλύπτεται από την EAE, όπου το ύψος του σημείου υπερβαίνει το ύψος του χαρακτηριστικού EAE σε εκείνο το σημείο. Οι συντεταγμένες x και y του σημείου είναι ίδιες με το σημείο lidar με το οποίο συσχετίζεται το σημείο εξόδου.



Εικόνα 27 – Οπτικοποίηση τρόπου λειτουργίας εργαλείου *Analyze LAS Runaway Obstacles*  
 Πηγή: Esri

Το εργαλείο **Locate LAS Points By Proximity** εντοπίζει τα σημεία του νέφους εντός της τρισδιάστατης πλησιέστερης γειτνίασης με χαρακτηριστικά υψομετρικής πληροφορίας ενεργοποιημένα, με την επιλογή επαναταξινόμησης αυτών. Αυτό το εργαλείο ενημερώνει το χαρακτηριστικό εισόδου με ένα πεδίο που περιέχει τον αριθμό των σημείων LAS που πέφτουν εντός της καθορισμένης ακτίνας αναζήτησης.

Δεν υπάρχει όριο στον αριθμό των σημείων που μπορούν να δημιουργηθούν από αυτό το εργαλείο. Μπορούν να περιοριστούν τα σημεία LAS που εμφανίζονται και επεξεργάζονται από το επίπεδο συνόλου δεδομένων επιλέγοντας οποιαδήποτε συνδυασμένη κατηγοριοποίηση κωδικών, σημαιών κατηγοριοποίησης και τιμών επιστροφής στις ρυθμίσεις φίλτρου του επιπέδου. Τα φίλτρα μπορούν να οριστούν στον πίνακα ιδιοτήτων του επιπέδου ή στο εργαλείο "Δημιουργία επιπέδου συνόλου δεδομένων LAS". Με την εντολή **Add Files To LAS Dataset** προστίθενται αναφορές για ένα ή περισσότερα νέφη σημείων και χαρακτηριστικά περιορισμού επιφάνειας σε ένα σύνολο δεδομένων.

Τα χαρακτηριστικά περιορισμού επιφάνειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιβάλουν τιμές υψομετρίας που προέρχονται από τα χαρακτηριστικά επιφάνειας του νέφους. Αντίστοιχα υπάρχει και η εντολή **Remove Files From LAS Dataset** η οποία

αφαιρεί ένα ή περισσότερα αρχεία και χαρακτηριστικά περιορισμού επιφάνειας από ένα σύνολο δεδομένων. Η επιλογή **Create Point Cloud Scene Layer Content** δημιουργεί ένα πακέτο προβολής επιπέδου νέφους σημείων (.slpk) ή περιεχόμενο επιπέδου σκηνής (.i3sREST) στο cloud από είσοδο LAS, zLAS, LAZ ή LAS dataset.

Η χρήση του προϊόντος απαιτεί την επιλογή συστήματος συντεταγμένων εξόδου που να ταιριάζει με αυτό της διαδικτυακής σκηνής όπου θα προβληθεί. Η διαδικτυακή σκηνή είναι μια σκηνή που αποθηκεύεται ως αντικείμενο JSON που ορίζει τις ιδιότητες της σκηνής. Η δομή JSON ορίζεται από την προδιαγραφή διαδικτυακής σκηνής και περιλαμβάνει ρυθμίσεις για το επίπεδο βασικού χάρτη, τα επίπεδα δεδομένων, τα στυλ επιπέδων, τα στυλ εμφάνισης παραθύρων αναδυόμενης πληροφορίας και άλλα. Οι διαδικτυακές σκηνές δημιουργούνται και διαμορφώνονται συνήθως με το Scene Viewer ή το ArcGIS Pro και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται από εφαρμογές και APIs. Μια διαδικτυακή σκηνή μπορεί να δημιουργηθεί, να κοινοποιηθεί και να αποθηκευτεί στο ArcGIS ως ένα στοιχείο. Αν ο προορισμός είναι η προβολή σε παγκόσμια διαδικτυακή σκηνή, το σύστημα συντεταγμένων πρέπει να χρησιμοποιεί το GCS WGS 84 ή το China Geodetic Coordinate System 2000. Ένα κάθετο σύστημα συντεταγμένων για παγκόσμια σκηνή πρέπει να είναι ελλειψοειδές, EGM2008 Geoid ή EGM96 Geoid. Παρέχεται εξαγωγή της διαδικτυακής σκηνής σε ένα αποθηκευτικό αντικείμενο στο cloud, όπως το Amazon S3, το Azure Blob storage, το Alibaba OSS, ή το Google Cloud.

Το εργαλείο **Point File Information** δημιουργεί πολύγωνα ή αρχεία εξόδου που αποτυπώνουν το χωρικό εύρος και τις στατιστικές πληροφορίες για ένα ή περισσότερα αρχεία σημείων σε μορφή ASCII ή LAS. Κάθε εξαγόμενο στοιχείο θα περικλείει το x,y εύρος ενός εισόδου αρχείου. Τα στοιχεία μπορούν να δημιουργηθούν ως δισδιάστατα ή τρισδιάστατα πολύγωνα που απεικονίζουν την z-περιοχή κάθε αρχείου εισόδου. Ο πίνακας χαρακτηριστικών θα περιλαμβάνει πεδία όπως το όνομα του αρχείου, τον αριθμό των σημείων, το μέσο χωρικό διάστημα των σημείων, καθώς και τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές του z.

## 7. Συμπεράσματα

Η αξιολόγηση της χρήσης νέφους σημείων στο λογισμικό ArcGIS Pro προσφέρει μια ολοκληρωμένη εικόνα των θετικών και αρνητικών πτυχών αυτής της τεχνολογίας. Ας εξετασθούν αρχικά τα θετικά στοιχεία. Ένα από τα βασικά προτερήματα της χρήσης νέφους σημείων είναι η δυνατότητα προβολής και ανάλυσης των γεωχωρικών δεδομένων σε τρισδιάστατο περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπεται η πιο εμπριθής κατανόηση του γεωγραφικού χώρου και των περιβαλλοντικών στοιχείων. Επιπλέον, η ανάλυση νέφους σημείων μπορεί να οδηγήσει σε πιο ακριβείς γεωχωρικές εκτιμήσεις και προβλέψεις. Επιτρέπεται η χρήση διαφόρων φίλτρων για την επεξεργασία του νέφους, συμπεριλαμβανομένων εκείνων για την αφαίρεση θορύβου ή τη διατήρηση μόνο συγκεκριμένων ταξινομημένων σημείων. Ακόμη, παρέχεται η δημιουργία πολύπλοκων αναλύσεων μέσω εργαλείων, η εξαγωγή στατιστικών δεδομένων, η διαχείριση ομάδων σημείων και πολλά άλλα, που επιτρέπουν στους χρήστες να δημιουργήσουν λεπτομερείς και ενδιαφέρουσες αναλύσεις των δεδομένων τους.

Ένα άλλο θετικό στοιχείο είναι η επεξεργασία μεγάλων όγκων δεδομένων. Το ArcGIS Pro παρέχει προηγμένες δυνατότητες επεξεργασίας και ανάλυσης που μπορούν να διαχειριστούν ακόμη και τα πιο μεγάλα νέφη σημείων με αποτελεσματικό τρόπο. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να εργαστούν με τέτοια μεγέθη πληροφοριών χωρίς να υπάρχουν περιορισμοί στην επεξεργασία ή την ανάλυση τους.

Επιπλέον, η αποτελεσματική διαχείριση των μεγάλων νεφών σημείων επιτρέπει την εξαγωγή σημαντικών ερμηνευτικών και αναλυτικών συμπερασμάτων από τα δεδομένα, βοηθώντας στη λήψη ενδεδειγμένων αποφάσεων και στην κατανόηση του περιβάλλοντος.

Οι επιλογές ταξινόμησης που διαθέτει είναι από τις πληρέστερες της αγοράς, με πάρα πολλές παραμέτρους κατηγοριοποίησης όπως και η αρχιτεκτονική βαθιάς μάθησης PointCNN που αποτελεί ικανοποιητικό εργαλείο ως προς την ανάλυση. Επίσης, η ενσωμάτωση νέφους σημείων στο ArcGIS Pro επιτρέπει τη συνεργασία μεταξύ



διαφόρων χρηστών σε ένα περιβάλλον εργασίας. Η δυνατότητα κοινής πρόσβασης και επεξεργασίας των δεδομένων αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα για ομάδες εργασίας. Επιπλέον,

Το λογισμικό εξελίσσεται συνεχώς για να ανταποκριθεί στις ανάγκες της επιστήμης, και της τεχνολογίας περιλαμβάνοντας την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών όπως το BIM (Building Information Modeling) και το AR (Augmented Reality), παρέχοντας έτσι εργαλεία που επιτρέπουν την εκτέλεση προηγμένων αναλύσεων και την απεικόνιση των δεδομένων σε νέες πλατφόρμες και μεθόδους επικοινωνίας.

Ωστόσο, υπάρχουν και αρνητικά στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η επεξεργασία και ανάλυση νέφους σημείων μπορεί να απαιτεί σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους και χρόνους, η απόκριση του λογισμικού σε μεγάλους όγκους δεδομένων μπορεί να είναι σταθερή αλλά αργή, καθιστώντας την εργασία περισσότερο χρονοβόρα.

Ένα δεύτερο αρνητικό σημείο είναι η ανάγκη για εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις. Η παροχή τόσο πολλών εργαλείων, παραμέτρων, επιλογών κ.α. σε συνδυασμό με τη πολυπλοκότητα της διαδικασίας ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων μπορεί να λειτουργήσει ανασταλτικά για νέους χρήστες ή σε μη έχοντες εμπειρία στον τομέα της γεωχωρικής ανάλυσης.

Η ποιότητα των δεδομένων είναι ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα. Η ακρίβεια και η αξιοπιστία των νεφών σημείων εξαρτώνται από την πηγή των δεδομένων και τις διαδικασίες επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν.

Επίσης, για την επεξεργασία του νέφους σημείων απαιτείται η άδεια χρήσης του ArcGIS 3D Analyst Extension, το οποίο επιβάλλει επιπλέον οικονομικό βάρος στην εταιρεία ή τον χρήστη. Συνεργαζόμενα νέφη σημείων με το λογισμικό είναι μόνο αρχεία μορφής .las και .ZLAS για την εισαγωγή δεδομένων νεφών σημείων, περιορίζοντας τις επιλογές του χρήστη όσον αφορά τον τύπο των δεδομένων που μπορεί να χρησιμοποιήσει. Πιο συγκεκριμένα εάν ο πάροχος δεν δίνει τέτοιας μορφής αρχείο πρέπει να χρησιμοποιηθεί τρίτο λογισμικό για μετατροπή της μορφής αρχείου γεγονός που

μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην ακρίβεια, λεπτομέρεια και όγκο του νέφους. Αντίστοιχα, δίνεται η δυνατότητα εξαγωγής μόνο σε μορφή .las, περιορίζοντας τις επιλογές εξαγωγής και ανταλλαγής δεδομένων με άλλες μορφές.

Τέλος, με τα μεγάλα νέφη πολλών εκατομμυρίων σημείων, η επεξεργασία μπορεί να γίνει αργή και απαιτεί τη δημιουργία πυραμίδων για τη βελτίωση της απόδοσης, προσθέτοντας περαιτέρω πολυπλοκότητα στη διαδικασία.

Συνοψίζοντας, η αξιολόγηση της χρήσης νέφους σημείων στο λογισμικό ArcGIS Pro αναδεικνύει τόσο θετικά όσο και αρνητικά στοιχεία. Υπάρχουν αρνητικά, όπως η απαιτούμενη άδεια χρήσης, οι περιορισμοί στον τύπο και τη μορφή των δεδομένων, καθώς και η αργή επεξεργασία και η ανάγκη για πυραμίδες με μεγάλα νέφη. Τα θετικά περιλαμβάνουν την τρισδιάστατη προβολή και ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων, την ακρίβεια στις γεωχωρικές εκτιμήσεις και τη δυνατότητα προηγμένης επεξεργασίας δεδομένων. Συνεπώς, η χρήση της τεχνολογίας νέφους σημείων στο ArcGIS Pro προσφέρει πλεονεκτήματα, αλλά απαιτεί επίσης προσεκτική διαχείριση και επίλυση των προβλημάτων που ενδέχεται να προκύψουν.

## Βιβλιογραφία

- Ahmed Gamal Aly, N. M. (2013). Proposed Model of GIS-based Cloud Computing Architecture for Emergency System.
- Alun Evans, J. A. (2014). Web-based visualisation of on-set point cloud data.
- Ana Laura Costa, R. L. (2017). Probabilistic 3D alignment optimization of underground transport infrastructure integrating GIS-based subsurface characterization.
- Anandakumar, S. S. (2023). Web-based visualization and rendering of aerial LiDAR point cloud for urban flood simulation.
- Andrés Justo, M. S.-R. (2021). Scan-to-BIM for the infrastructure domain: Generation of IFC-compliant models of road infrastructure assets and semantics using 3D point cloud data.
- Chao Cao, M. P. (2019). 3D Point Cloud Compression: A Survey.
- Chen, L. &. (2022). GIS application in environmental monitoring and risk assessment.
- Claire Ellul, G. B. (2016). Towards Integrating BIM and GIS—An End-to-End Example from Point Cloud to Analysis.
- Florent Poux, R. N. (2017). Digital investigations of an archaeological smart point cloud: a real time web-based platform to manage the visualisation of semantical queries.
- Gonçalves, D. F. (2020). Impact of image acquisition geometry and SfM-MVS processing parameters on the 3D reconstruction of coastal cliffs.
- Jianghong Zhao, X. H. (2023). A review of point cloud segmentation of architectural cultural .
- Jiansi Yang, X. H. (2014). A Hybrid Spatial Index for Massive Point Cloud Data Management and Visualization.

- João Duarte, F. S. (2015). Use of geotechnologies in mining planning in Quarries carbonated rocks - Contribution to the digital transition (Industry 4.0).
- Kaveh Mirzaei, M. A. (2022). 3D point cloud data processing with machine learning for construction and infrastructure applications: A comprehensive review.
- László Dobos, I. C.-G. (2014). Point cloud databases.
- Lorenzo Comba, A. B. (2018). Unsupervised detection of vineyards by 3D point-cloud UAV photogrammetry for precision agriculture.
- M.S.P.M. Sirirwardane, M. S. (2015). Cloud Based GIS Approach for Monitoring Environmental Pollution in the Coastal Zone of Kalutara, Sri Lanka.
- Massimiliano Pepe, D. C. (2021). Scan to BIM for the digital management and representation in 3D GIS environment of cultural heritage site.
- Miro Govedarica, G. J.-T. (2018). Flood risk assessment based on LiDAR and UAV points clouds and DEM.
- Mohammad Hosseini, C. T. (2018). Dynamic Adaptive Point Cloud Streaming.
- Nadeem Fareed, K. R. (2020). Integration of Remote Sensing and GIS to Extract Plantation Rows from A Drone-Based Image Point Cloud Digital Surface Model.
- Peter van Oosterom, S. v. (2022). Organizing and visualizing point clouds with continuous levels of detail.
- Philipp R.W. Urech, M. O.-K. (2022). A simulation-based design framework to iteratively analyze and shape urban landscapes using point cloud modeling.
- Sara Shirowzhan, J. T. (2020). New metrics for spatial and temporal 3D Urban form sustainability assessment using time series lidar point clouds and advanced GIS techniques.
- Siyang Yu, S. S. (2022). A Method Based on Curvature and Hierarchical Strategy for Dynamic Point Cloud Compression in Augmented and Virtual Reality System †.

Szostak, M. (2020). Automated Land Cover Change Detection and Forest Succession Monitoring Using LiDAR Point Clouds and GIS Analyses.

Szostak, M. (2020). Automated Land Cover Change Detection and Forest Succession Monitoring Using LiDAR Point Clouds and GIS Analyses.

## **Διαδικτυακές Πηγές**

[www.esri.com](http://www.esri.com)

[www.arcgispro.com](http://www.arcgispro.com)