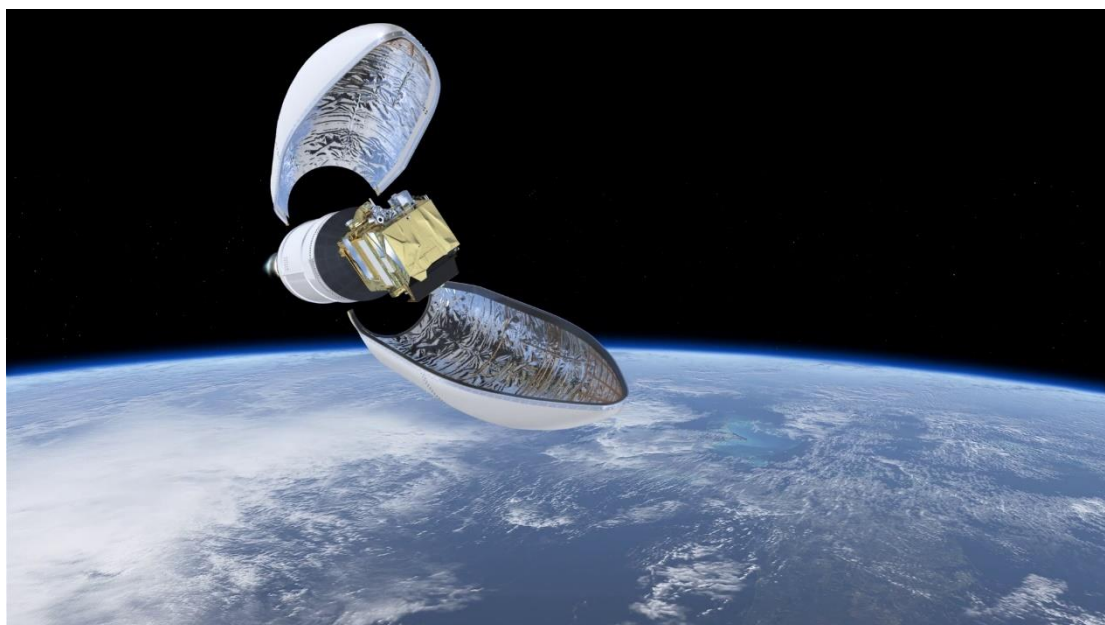


Διαχείριση δορυφορικών δεδομένων Sentinel στην πλατφόρμα του Google Earth Engine

Πολυτεχνείο Κρήτης,
Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

SenseLab, Space Informatics

Διπλωματική εργασία
Μανουδάκης Στυλιανός



Εξεταστική Επιτροπή:

Παναγιώτης Παρτσινέβελος, Αναπληρωτής Καθηγητής (επιβλέπων)

Στυλιανός Μερτίκας, Καθηγητής

Διονύσης Χριστόπουλος, Καθηγητής

Χανιά, 2018

Περίληψη

Η ανάγκη για διαχείριση και συσχέτιση δεδομένων μέσα σε ένα χωρικό πλαίσιο, οδήγησε την επιστημονική κοινότητα στην ανάπτυξη πληροφοριακών συστημάτων τα οποία μπορούν να διαχειριστούν ποικίλα χωροχρονικά δεδομένα. Οι πλατφόρμες Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων εδώ και αρκετά χρόνια βοηθούν πολλούς επιστημονικούς κλάδους στην ανάλυση και διαχείριση δεδομένων καθώς και στη διαδικασία λήψης αποφάσεων μέσα από την κατάλληλη επεξεργασία της χωρικής πληροφορίας. Τα τελευταία χρόνια στον κλάδο των πληροφοριακών συστημάτων η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας Νέφους, εισήχθη και στον κλάδο των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS). Στο πλαίσιο της Δημοκρατικοποίησης της πληροφορίας, δηλαδή την ανοικτή διάθεση μεγάλου όγκου δεδομένων και την ικανότητα οπτικοποίησης και επεξεργασίας αυτών από το μέσο χρήστη, αναπτύχθηκε η πλατφόρμα Google Earth Engine. Προσφέροντας καθημερινά δεδομένα, που συλλέγονται από διάφορες υπηρεσίες δορυφορικών συστημάτων (π.χ. ESA, USGS, MODIS) και ταυτόχρονα διαθέτοντας στο χρήστη ένα προγραμματιστικό περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών API, δίνει τη δυνατότητα σε οποιονδήποτε ερευνητή να κάνει χρήση δεδομένων δορυφορικής Τηλεπισκόπησης. Η διπλωματική εργασία στοχεύει στη διερεύνηση των δυνατοτήτων της πλατφόρμας, μέσω της ανάπτυξης πλήθους εφαρμογών Τηλεπισκόπησης. Μέσα από την επιτυχή υλοποίηση όλων των αλγορίθμων, την τριβή με την εφαρμογή και την αλληλεπίδραση που υπήρξε με την κοινότητα, συμπεραίνουμε ότι η Earth Engine, μπορεί να αποτελέσει μια πλατφόρμα εξοικείωσης με την ανάλυση δεδομένων, αλλά και ένα πανίσχυρο αναλυτικό εργαλείο στα χέρια του έμπειρου προγραμματιστή.

Abstract

The need for data management and correlation within a spatial context has led the scientific community to develop platforms that can handle a variety of spatio-temporal data. Geographic Information Systems have helped many scientific disciplines in data analysis and management as well as decision-making through appropriate spatial information processing. In recent years, in the information systems industry, the rapid development of the Cloud technology has also been introduced in the field of Geographic Information Systems (GIS). In the framework of the Data Democratization, namely the open availability of large volumes of data and the ability to visualize and process them by the average user, the Google Earth Engine platform was developed. By offering daily data collected from various satellite imagery services (e.g. ESA, USGS, MODIS) and at the same time providing the user with a programming API application development environment, it enables any researcher to make use of satellite remote sensing data. This diploma thesis aims at exploring the possibilities of the platform, by developing a number of remote sensing applications. Through the successful implementation of all the algorithms, the familiarization with the application and the interaction with the community, we conclude that Earth Engine can become a platform for data analysis, and also a powerful analytical tool in the hands of the experienced programmer.

Ευχαριστίες

Νιώθω την ανάγκη να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου σε όλους όσους συντέλεσαν και με στήριξαν κατά την εκπόνηση της αυτής της διπλωματικής εργασίας. Αρχικά, Ευχαριστώ στον κ. Παναγιώτη Παρτσινέβελο, που με δέχτηκε στο ερευνητικό εργαστήριο SenseLab, Space Informatics και για την ευκαιρία που έδωσε, να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον, για εμένα, θέμα. Τον κ. Διονύση Χριστόπουλο και τον κ. Στυλιανό Μερτίκα, τους ευχαριστώ που δέχτηκαν να είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής και νιώθω ιδιαίτερα τυχερός που υπήρξαν καθηγητές μου.

Μέσα από όλη αυτή τη προσπάθεια, δεν μπορώ να ξεχάσω όλους τους φίλους, τα παιδιά του εργαστηρίου, συγκεκριμένα τον κ. Άγγελο Αντωνόπουλο, τον κ. Γιώργο Πετράκη τον κ. Θεόφιλο Χανιαλάκη, τον κ. Δημήτρη Χατζηπαράσχη που πάντα ήταν πρόθυμοι να βοηθήσουν, ο καθένας με τον δικό του τρόπο.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στα παιδιά που όλα αυτά τα χρόνια, με στηρίζουν σε κάθε πτυχή της ζωής μου, τους φίλους μου κ. Γιώργο Βελώνια, κ. Βαγγέλη Κοσμέτο, κ. Γιώργο Μπελαδάκη και φυσικά τον κ. Χειμώνα Θεόδωρο.

Τίποτα όμως δεν θα ήταν εφικτό, χωρίς την υποστήριξη της οικογένειάς μου. Δεν υπάρχουν λόγια, τέτοια που να περιγράφουν την εκτίμηση, την αγάπη και την ευγνωμοσύνη που τρέφω γι' αυτούς.

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| Περίληψη..... | 3 |
| Abstract | 4 |
| Ευχαριστίες..... | 5 |
| Περιεχόμενα..... | 6 |
| Κατάλογος εικόνων | 8 |
| Κεφάλαιο 1..... | 11 |
| Εισαγωγή..... | 11 |
| Κεφάλαιο 2..... | 16 |
| 2.1 Χωρικά δεδομένα..... | 16 |
| 2.1.1..... | 16 |
| Πηγές χωρικών δεδομένων..... | 16 |
| 2.2..... | 17 |
| Αρχιτεκτονική πληροφοριακών συστημάτων..... | 17 |
| 2.3 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών | 18 |
| 2.2 Τηλεπισκόπηση - Remote sensing..... | 19 |
| 2.2.1 Μέθοδοι ανίχνευσης..... | 21 |
| 2.2.2 Προϊόντα Τηλεπισκόπησης | 22 |
| 2.3 Τεχνικές Ανάλυσης | 23 |
| 2.3.1 Προεπεξεργασία δορυφορικών εικόνων - Σφάλματα | 23 |
| Γεωμετρικές διορθώσεις | 24 |
| Ραδιομετρικές Διορθώσεις Εικόνας..... | 24 |
| 2.4..... | 25 |
| Βελτιώσεις και μετασχηματισμοί εικόνας | 25 |
| 2.4.1 Τεχνικές βελτιώσεις και μετασχηματισμού | 25 |
| Αριθμητικές Πράξεις | 25 |
| Δείκτες Τηλεπισκόπησης..... | 26 |
| Φίλτρα Τηλεπισκόπησης..... | 27 |
| Ταξινόμηση Δορυφορικών εικόνων | 29 |
| Κεφάλαιο 3..... | 32 |
| 3.1 Cloud computing | 32 |
| 3.2..... | 35 |
| Google Earth Engine | 35 |
| 3.2.1 Αρχιτεκτονική του συστήματος..... | 36 |
| 3.2.2 Μοντέλα διανομής πληροφορίας..... | 37 |

| | |
|--|----|
| Image Tiling | 37 |
| Spatial Aggregation | 38 |
| Streaming Collection | 38 |
| Caching και common sub-expression elimination | 39 |
| 3.2.3 Google Earth Engine Code Editor | 39 |
| 3.3 | 43 |
| Εφαρμογές Cloud GIS | 43 |
| 3.4 Sentinel 2 | 46 |
| Sentinel 2 | 46 |
| 3.4.1 Προϊόντα και αλγόριθμοι Sentinel 2 | 48 |
| 3.4.2 Προϊόντα Sentinel στη πλατφόρμα Google Earth Engine | 49 |
| Κεφάλαιο 4 | 50 |
| 4.1 Ανάπτυξη εφαρμογών | 50 |
| 4.1.1 Εφαρμογές προκαταρκτικής διερεύνησης εφαρμογής | 50 |
| 4.1.2 | 51 |
| Sentinel 2 Simple User Interface | 51 |
| Ανάπτυξη αλγορίθμου | 53 |
| 4.1.3 Αλγόριθμοι Ανίχνευσης Αλλαγών (Change Detection) | 58 |
| Αλγόριθμος ανίχνευσης αλλαγών με αφαίρεση και διαίρεση εικονοστοιχείων | 58 |
| Αλγόριθμος ανίχνευσης αλλαγών με Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση | 59 |
| Αλγόριθμος Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης και ανίχνευσης αλλαγών | 61 |
| Κεφάλαιο 5 | 65 |
| 5.1 Συμπεράσματα | 65 |
| 5.2 Μελλοντικές εργασίες | 68 |
| Βιβλιογραφία | 69 |

Κατάλογος εικόνων

| | |
|---|--|
| Εικόνα 1 Επίπεδα υπηρεσιών Cloud computing (On the Evolution of Virtualization and Cloud Computing: A Review, 2014) | 33 |
| Εικόνα 2 Τύποι Cloud Computing (Convergence services, 2018) | 34 |
| Εικόνα 3 Περιγραφή της Αρχιτεκτονικής Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017) | 37 |
| Εικόνα 4 Παράδειγμα κώδικα functional composition | 37 |
| Εικόνα 5 Περιγραφή Google Earth Engine Editor αλγορίθμων | 39 |
| Εικόνα 6 Η περιοχή πρόσβασης του χρήστη για το Git, το Documentation και τα αρχεία του χρήστη που έχουν μεταφορτωθεί..... | 40 |
| Εικόνα 7 Περιοχή του Inspector, της Κονσόλας και της καρτέλα Task | Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης. |
| Εικόνα 8 Μενού παραμετροποίησης καναλιών δορυφορικής εικόνας | 42 |
| Εικόνα 9 Το πρόγραμμα εμφανίζει την πιο πρόσφατη εικόνα πάνω από τη περιοχή ενδιαφέροντος και δημιουργεί στη κονσόλα σύνδεσμο για μεταφόρτωση αυτών | 50 |
| Εικόνα 10 Στο πάνω και κεντρικό μέρος της εικόνας βρίσκεται το Slider που μπορεί να με το ποντίκι να μεταβάλει ο χρήστης. Εδώ εμφανίζεται η πιο κοντινή εικόνα στην ημερομηνία επιλογής, ενδεικτικά, 01-06-2017 | 51 |
| Εικόνα 11 Αρχικό μενού επιλογής..... | 52 |
| Εικόνα 12 Πλήρες μενού με όλες τις επιλογές, εμφανίζεται αφού επιλεχθούν συντεταγμένες, χρονικό πλαίσιο και ποια κανάλια θα απεικονιστούν..... | 53 |
| Εικόνα 13 Εκτέλεση του NDVI και δημιουργία αντίστοιχου layer | 54 |
| Εικόνα 14 Εκτέλεση του NDWI και δημιουργία του αντίστοιχου layer | 54 |
| Εικόνα 15 Εκτέλεση του φίλτρου Sobel | 55 |
| Εικόνα 16 Αποτέλεσμα του αλγορίθμου K-μέσων τιμών για 4 τάξεις..... | 56 |
| Εικόνα 17 Αποτέλεσμα του αλγορίθμου K-μέσων τιμών για 10 τάξεις..... | 56 |
| Εικόνα 18 Χρήση του Change detection, με το ροζ χρώμα απεικονίζονται τα εικονοστοιχεία που μεταβλήθηκαν..... | 57 |
| Εικόνα 19 Στο πάνω δεξί μέρος του παραθύρου, εμφανίζεται υπερσύνδεσμος που επιτρέπει τη μεταφόρτωση του αρχείου mp4 | 57 |
| Εικόνα 20 Με κόκκινο απεικονίζονται τα εικονοστοιχεία με τη μεγαλύτερη διαφορά..... | 58 |
| Εικόνα 21 Με πράσινο απεικονίζονται τα εικονοστοιχεία με τη απόκλιση | 59 |
| Εικόνα 22 Με μπλε εμφανίζονται τα εικονοστοιχεία που προέκυψαν από το συνδυασμό των δύο μεθόδων..... | 59 |
| Εικόνα 23 Αποτέλεσμα K-μέσων τιμών της πιο πρόσφατης εικόνας | 60 |

| | |
|---|----|
| Εικόνα 24 Αποτέλεσμα Κ-μέσων τιμών της παλαιότερης εικόνας | 60 |
| Εικόνα 25 Με ροζ απεικονίζονται τα εικονοστοιχεία που μεταβλήθηκε η τάξη τους | 61 |
| Εικόνα 26 Στην κονσόλα της πλατφόρμας στα δεξιά ποσοτικοποιήθηκε η μεταβολή των τάξεων | 61 |
| Εικόνα 27 Τα σημεία εκπαίδευσης των τεσσάρων τάξεων για την πιο πρόσφατη και παλαιότερη εικόνα..... | 62 |
| Εικόνα 28 Το σύνολο των σημείων και για τις δύο εικόνες πάνω στο χάρτη..... | 62 |
| Εικόνα 29 Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης για τη παλαιότερη εικόνα..... | 63 |
| Εικόνα 30 Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης για τη πρόσφατη εικόνα | 63 |
| Εικόνα 31 Με ροζ απεικονίζονται τα εικονοστοιχεία που άλλαξε η τάξη τους..... | 64 |
| Εικόνα 32 Στην κονσόλα της πλατφόρμας στα δεξιά ποσοτικοποιήθηκε η μεταβολή των τάξεων | 64 |

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Χωρικά καλούνται τα δεδομένα, τα οποία μπορούν να συσχετισθούν με τον γεωγραφικό χώρο σε ένα χρονικό πλαίσιο. Η αξιοποίηση των χωρικών δεδομένων στις μέρες μας πραγματοποιείται από τους περισσότερους κλάδους της επιστημονικής κοινότητας, ενώ αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι πολλών εμπορικών εφαρμογών και υπηρεσιών. Τα δεδομένα αυτά μπορούν μέσα από την ερμηνεία τους να μας δώσουν πληροφορία για πλήθος εφαρμογών, όπως τον προσδιορισμό της γεωμορφολογίας, τις επιδράσεις φυσικών φαινομένων, τα ορυκτολογικά χαρακτηριστικά, ή άλλα στατιστικά δεδομένα (όπως δημογραφικά χαρακτηριστικά, μετρήσεις βροχόπτωσης) που αφορούν μία περιοχή.

Η απόκτηση των εν λόγω δεδομένων, μπορεί να γίνει μέσα από μετρήσεις πεδίου ή από απόσταση. Οι μετρήσεις πεδίου πραγματοποιούνται, συνήθως, από αισθητήρες που βρίσκονται εγκατεστημένοι σε μία περιοχή ή την πραγματοποίηση τοπογραφικών και λοιπών μετρήσεων. Η δειγματοληψία ή η παρατήρηση ενός στόχου από απόσταση αντιμετωπίζεται από την επιστήμη της Τηλεπισκόπησης (Remote Sensing). Η απόκτηση της πληροφορίας υλοποιείται από εναέριες ή διαστημικές πλατφόρμες, ενώ για τον τελευταίο τύπο δειγματοληψίας έχει καθιερωθεί ο όρος Δορυφορική Τηλεπισκόπηση. Επομένως, όταν αναφερόμαστε στα προϊόντα Τηλεπισκόπησης, συνήθως αναφερόμαστε στις δορυφορικές εικόνες.

Με τις πηγές χωρικών δεδομένων συνεχώς να αυξάνονται και ταυτόχρονα η ποιότητα των δεδομένων να βελτιώνεται, η παραγωγή εικόνων υψηλής χωρικής και ραδιομετρικής ανάλυσης είναι τεράστια. Η προσιτή τεχνολογία, και η προσβασιμότητα στο διαδίκτυο, συμβάλουν στη δημιουργία μιας ροής δεδομένων που μπορεί να συμπεριληφθεί στον όρο Big data. Με τον όρο Big Data αναφερόμαστε στα δεδομένα των οποίων ο όγκος και η ροή παρουσιάζεται σε πολύ μεγαλύτερη κλίμακα, ακόμη και από τα πιο σύγχρονα επιτραπέζια υπολογιστικά συστήματα (Ma *et al.*, 2015). Όλη αυτή η πληροφορία όμως, πρέπει να υπάρχει αποθηκευμένη σε υποδομές, τέτοιες ώστε να είναι εύκολα ανακτήσιμη και στη συνέχεια να μπορεί επεξεργαστεί από τον ερευνητή – αναλυτή. Για αυτό προέκυψε και η ανάγκη για την ανάπτυξη συστημάτων εξειδικευμένων στη διαχείριση, ανάλυση, αλλά και απεικόνιση της χωρικής πληροφορίας, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) - Geographical Information Systems (GIS).

Παραδοσιακά, τα γεωχωρικά δεδομένα επεξεργάζονται σε πλατφόρμες γεωχωρικών πληροφοριακών συστημάτων (GIS). Η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων, άρχισε σχετικά πρόσφατα, όταν το 1971, το σύστημα *Canadian Geographic Information Systems (CGIS)* μέσω αυτού αναπτύχθηκε ο κατάλογος *Canadian Land Inventory*. Η εφαρμογή, χρησιμοποιούσε χαρακτηριστικά εδάφους, κλίματος και λεκανών απορροής για να προσδιορίσει την ικανότητα του εδάφους να αναπτύξει βλάστηση και ταυτόχρονα να καθορίσει τη δασική κάλυψη μιας περιοχής. Από τα τέλη του 1970, άρχισε η ανάπτυξη εμπορικών συστημάτων GIS, ανάμεσα σε αυτές και η ESRI – από τις μεγαλύτερες εταιρίες πλέον του χώρου – με τη πλατφόρμα ARC/INFO. Δεν ήταν πριν τις αρχές του 1990, που τα συστήματα GIS απογειώθηκαν. Τα υπολογιστικά συστήματα έγιναν πιο προσιτά και πιο ισχυρά. Ταυτόχρονα, στην άνθηση αυτή, βοήθησε και η εκτόξευση νέων δορυφόρων που προσέφεραν δεδομένα Τηλεπισκόπησης. Από τότε, η σημαντικότητα της ανάλυσης των χωρικών δεδομένων, αλλά και οι ίδιες οι πλατφόρμες άρχισαν να ωριμάζουν ολοένα και περισσότερο, για να φτάσουν στη μορφή που έχουν σήμερα. Τα χωρικά δεδομένα είναι πλέον της τάξης των Petabyte και τα υπολογιστικά συστήματα είναι εξοπλισμένα με επεξεργαστές συχνότητας μερικών Gigahertz. Στα πλαίσια της Δημοκρατικοποίησης της πληροφορίας, ανοικτές πλατφόρμες GIS είναι διαθέσιμες στο ευρύ κοινό, χωρίς κόστος, με τη υποστήριξη της κοινότητας τόσο στο κομμάτι της συντήρησης, όσο και της ανάπτυξης (Dempsey, 2012; *The Remarkable History of GIS*, 2018).

Για την αποθήκευση και τη διαχείριση των χωρικών δεδομένων, οι αναλυτές επί το πλείστον, χρησιμοποιούν επιτραπέζιους ηλεκτρονικούς υπολογιστές εξοπλισμένους με πολυπύρηνους επεξεργαστές. Για τον σημερινό όγκο δεδομένων όμως, τα συστήματα αυτά δεν επαρκούν. Το συνολικό μέγεθος της πληροφορίας είναι τόσο μεγάλο που οι διαδικασίες της αποθήκευσης, διαχείρισης, διαμοιρασμού και ανάλυσης είναι εξαιρετικά δύσκολες. Λύση σε αυτό το πρόβλημα θα μπορούσαν να δώσουν οι υπολογιστές υψηλών επιδόσεων – High-performance computing (HPC). Πρόκειται για ένα τεχνολογικό περιβάλλον που αξιοποιεί τεχνολογίες όπως αυτή των κατανεμημένων συστημάτων πληροφορικής (grid computing) και των υπερυπολογιστών. Όμως, υποδομές και πλατφόρμες HPC απαιτούν μεγάλες επενδύσεις και την αντίστοιχη συντήρηση, καθιστώντας τις δυσπρόσιτες σε ιδιώτες, ερευνητές ή κυβερνητικές υπηρεσίες (Sugumaran *et al.*, 2015).

Η εμφάνιση της τεχνολογίας Νέφους – Cloud τα τελευταία χρόνια φαίνεται να είναι μία πολλά υποσχόμενη λύση στο παραπάνω πρόβλημα. Σύμφωνα το *National Institute of Standards and Technology* (Mell and Grance, 2011), *Cloud computing* ορίζεται ως το μοντέλο που επιτρέπει την συνεχή, εύχρηστη και κατ' απαίτηση δικτυακή πρόσβαση σε μια

κοινόχρηστη ομάδα από διαμορφωμένους υπολογιστικούς πόρους (π.χ. δίκτυα, εξυπηρετητές, αποθηκευτικό χώρο, εφαρμογές και υπηρεσίες) που μπορούν να δημιουργηθούν γρήγορα και να κυκλοφορήσουν με ελάχιστη προσπάθεια διαχείρισης ή αλληλεπίδρασης παρόχου υπηρεσιών. Στοχεύει λοιπόν στο να καταστήσει τεχνολογίες και υποδομές HPC προσιτές μέσα από το πολύ μεγάλο, υπάρχον δίκτυο μηχανών. Έτσι, το *Cloud Computing* προσφέρει κλιμακούμενα πλεονεκτήματα όσον αφορά στην αποθήκευση των δεδομένων και την επεξεργασία αυτών, εν συγκρίσει με τις λύσεις των σύγχρονων προσωπικών υπολογιστών.

Δημοκρατικοποίηση των δεδομένων

Τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε μία ραγδαία αύξηση στη διάθεση δεδομένων που είναι ελεύθερα προσβάσιμα από το κοινό. Η στροφή αυτή στη διάθεση - δημοσιοποίηση κάθε είδους δεδομένου, χαρακτηρίζεται από τον όρο, Δημοκρατικοποίηση των δεδομένων. Δημοκρατικοποίηση των δεδομένων (Data democratization) αποτελεί την ικανότητα της πληροφορίας να είναι διαθέσιμη στο μέσο τελικό χρήστη, χωρίς κάποιο ενδιάμεσο έλεγχο. Γενικότερα, πολύ μεγάλο μέρος των δεδομένων παραμένει ανεκμετάλλευτο, ενώ αυτά που χρησιμοποιούνται, από τους αναλυτές που έχουν πρόσβαση σε αυτά, γίνεται κατ' απαίτηση. Πρακτικά, στόχος είναι να μπορεί ο καθένας να αποκτά πρόσβαση σε οποιοδήποτε είδος δημόσιων δεδομένων, έτσι ώστε να μπορεί να τα ανακτήσει και να τα επεξεργαστεί, καθιστώντας τον μέσο χρήστη δυνάμει αναλυτή. Το μοντέλο μπορεί να μοιάζει ιδανικό αλλά έχει τα μειονεκτήματά του. Ο όγκος των δεδομένων που διατίθενται είναι τεράστιος, με αποτέλεσμα η διάθεσή τους να είναι δύσκολη, καθώς απαιτεί κατάλληλες υποδομές – για να υποστηρίξουν τη ζήτηση. Επόμενο ζήτημα, είναι η ασφάλεια των δεδομένων αυτών. Με την αύξηση του πλήθους των χρηστών που αποκτούν πρόσβαση, ανάλογο είναι και το ρίσκο από μεριάς ασφάλειας και το ρίσκο ακεραιότητας της πληροφορίας. Τέλος, υπάρχει δυσκολία και στο κομμάτι της οπτικοποίησης των δεδομένων, συνεπώς εμφανίζεται η ανάγκη για ανάπτυξη εξειδικευμένου λογισμικού. (*TechTarget data democratization*, 2017; *Technopedia Data Democratization*, 2018; *InfoWorld Data Democratization: finally living up to the name*, 2018)

Η πλατφόρμα Google Earth Engine

Στα πλαίσια της δημοκρατικοποίησης των δεδομένων και με την εκμετάλλευση των τεχνολογιών Νέφους, η Google ανέπτυξε την πλατφόρμα Cloud GIS, Google Earth Engine. Η Earth Engine αποτελεί πλατφόρμα ανάλυσης και οπτικοποίησης γεωχωρικών δεδομένων. Είναι διαθέσιμη για εφαρμογές, τόσο δημόσιου οφέλους, όσο και για επιχειρήσεις ή

κυβερνητικούς οργανισμούς. Η πλατφόρμα διαθέτει μία τεράστια βάση δορυφορικών δεδομένων, τα οποία οργανώνει και αποτελεί το πιο διαδεδομένο εργαλείο ανοικτής πρόσβασης για “εξόρυξη” δεδομένων (data mining) σε παγκόσμια κλίμακα (*Google Earth Engine site*, 2017). Μέσα στα δεδομένα περιλαμβάνονται δορυφορικές εικόνες παραπάνω από 40 χρόνων παρατήρησης και ταυτόχρονα εισάγονται νέα καθημερινά. Στην Earth Engine περιλαμβάνεται και εφαρμογή αξιοποίησης των δεδομένων, η οποία δίνει τη δυνατότητα και την ελευθερία στο χρήστη να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα όπως επιθυμεί. Το κίνητρο πίσω από την ανάπτυξη της εν λόγω πλατφόρμας, αποτέλεσε αρχικά η ανάγκη για οργάνωση της παγκόσμιας χωρικής πληροφορίας και ταυτόχρονα η δυνατότητα αυτής της πληροφορίας να είναι χρήσιμη και δημόσια διαθέσιμη (στα πλαίσια της Δημοκρατικοποίησης της πληροφορίας). Η φιλοσοφία της, σύμφωνα με την ομάδα της Earth Engine, είναι να αναδείξει και να ενισχύσει τις ανθρωπιστικές, επιστημονικές και περιβαλλοντικές πρωτοβουλίες.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, δυνητικά η Earth Engine, μπορεί να αποτελέσει, μία πολύ ισχυρή πλατφόρμα προς όφελος της ερευνητικής κοινότητας, αλλά και της κοινωνίας. Εκ πρώτης όψews, η πρόσβαση που προσφέρει σε αυτή την εκτενή ποικιλία δεδομένων, καθώς και η κλίμακα των δεδομένων που μπορεί να διαχειριστεί, προσφέρουν τη δυνατότητα να επιλύονται προβλήματα που απαιτούν εξειδικευμένη γνώση και να τα κάνει προσιτά στο ευρύ κοινό.

Στόχος της Εργασίας

Έτσι στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνώνται οι δυνατότητες της Earth Engine. Δεν πραγματοποιήθηκε κάποια ολοκληρωμένη μελέτη Τηλεπισκόπησης ή επίλυση κάποιας μελέτης πραγματικού προβλήματος. Εξετάσαμε τη συμπεριφορά της εφαρμογής, την προσβασιμότητα, την φιλικότητα προς το χρήστη – αναλυτή και τελικά το κατά πόσο μπορεί να ανταπεξέλθει στο σύνολο των εφαρμογών της Τηλεπισκόπησης. Οι εφαρμογές που αναπτύσσονται ποικίλουν από τα βασικά εργαλεία διαχείρισης των γεωχωρικών δεδομένων, μέχρι και πιο εξεζητημένες εφαρμογές Τηλεπισκόπησης, με στόχο το σχηματισμό πιο σφαιρικής άποψης.

Οργάνωση Εργασίας

Στα επόμενα κεφάλαια, αναλύονται τα αντικείμενα που μελετήθηκαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας και ήταν απαραίτητα για την πλήρη κατανόηση της υπό μελέτης πλατφόρμας.

Στο Κεφάλαιο 2, αρχικά αναλύονται τα χωρικά δεδομένα και ποια είναι τα κατάλληλα συστήματα για την αποθήκευση, επεξεργασία και οπτικοποίησή τους. Στη συνέχεια, αναφέρεται το υπόβαθρο της Τηλεπισκόπησης και οι τεχνικές επεξεργασίας εικόνας που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των εργαλείων και των εφαρμογών στην Earth Engine.

Στο κεφάλαιο 3, γίνεται επαφή με το *Cloud Computing*, τη διάκριση των υπηρεσιών του Νέφους και τα μοντέλα που καθορίζονται βάση της προσβασιμότητας του χρήστη, έτσι ώστε να γίνει κατανοητή η πλατφόρμα Earth Engine, οι τεχνολογίες που την πλαισιώνουν, και το πώς ο χρήστης αλληλεπιδρά με αυτή. Στη συνέχεια, αναφέρονται αντίστοιχες υλοποιήσεις *Cloud Computing* σε εφαρμογές Τηλεπισκόπησης. Το κεφάλαιο κλείνει με μια συνοπτική αναφορά στις αποστολές Sentinel και το πρόγραμμα Copernicus, τα δορυφορικά προϊόντα τους και το πώς είναι αυτά διαθέσιμα μέσα από την Earth Engine.

Η ανάπτυξη των εργαλείων και των εφαρμογών που πραγματοποιήθηκαν στην Earth Engine, περιγράφεται στο κεφάλαιο 4. Παρατίθενται τα αποτελέσματα, σε μορφή εικόνων, του κάθε αλγόριθμου και μια αναλυτική περιγραφή που αφορά τη μεθοδολογία ανάπτυξης και τη χρήση τους.

Το τελευταίο κεφάλαιο, καταλήγει στα συμπεράσματα και σχολιάζεται η επαφή με τη πλατφόρμα, ενώ δίνονται κάποιες προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση.

Κεφάλαιο 2

2.1 Χωρικά δεδομένα

Τα χωρικά δεδομένα χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό, σε πολλές πτυχές της καθημερινότητας. Η τοποθεσία ενός κτηρίου, η διαδρομή που ακολουθούμε για να μεταβούμε σε μία περιοχή, η καταγραφή ενός γεγονότος ή η παρατήρηση ενός φυσικού φαινομένου, αποτελούν πληροφορίες χωρικά δεσμευμένες. Η ανάγκη να συσχετίσουμε και να αναλύσουμε δεδομένα τα οποία αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο χώρο-χρονικό πλαίσιο, υπάρχει από τη στιγμή που καλούμαστε να πάρουμε απαντήσεις στο *τι έγινε που και πότε*. Τα μη επεξεργασμένα δεδομένα, αυτά καθαυτά έχουν ελάχιστη αξία. Έτσι, θα πρέπει να οργανωθούν, να αναλυθούν και να ερμηνευτούν, ώστε να παραχθεί πληροφορία με σκοπό να επιλυθεί ένα πρόβλημα ή να γίνει κατανοητή μία κατάσταση. Επομένως, η καταγραφή, η οργάνωση, η επεξεργασία, και η απεικόνιση της χωρικής πληροφορίας είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία και αυτό αντικατοπτρίζεται από τον μεγάλο όγκο της επιστημονικής κοινότητας που ασχολείται με τον κλάδο της Χωρικής Ανάλυσης – Spatial Analysis (De Smith, Goodchild and Longley, 2007).

Το σύνολο των δεδομένων που τοποθετούνται στο γεωγραφικό χώρο της Γης, ονομάζονται γεωχωρικά (γεωγραφικά) δεδομένα. Τα γεωχωρικά δεδομένα αποτελούν μία ειδική κατηγορία δεδομένων, τα οποία περιγράφονται από μία συγκεκριμένη θέση στο χώρο και μεταβάλλονται με τη πάροδο του χρόνου. Ο προσδιορισμός της θέσης τους, πραγματοποιείται από πρόσθετες πληροφορίες που αναφέρονται στην τοποθέτησή τους, στο γεωγραφικό χώρο. Η χρονική μεταβολή των δεδομένων, μπορεί να είναι αμελητέα στη περίπτωση που είναι αργή, ή πολύ σημαντική όταν η ταχύτητα μεταβολής της πληροφορίας είναι μεγάλη.

Τα χωρικά δεδομένα εμφανίζονται συνήθως σε χάρτες ή εικόνες και αφορούν κυρίως την τοπογραφία, το έδαφος, τη βλάστηση, τοπογραφικά δεδομένα ή τα στατιστικά δεδομένα μίας περιοχής. Απεικονίζονται στους χάρτες ως σημεία, γραμμές ή περιοχές και συνήθως καταγράφονται σε ένα γνωστό σύστημα συντεταγμένων.

2.1.1 Πηγές χωρικών δεδομένων

Διακρίνουμε δύο κατηγορίες ταξινόμησης των πηγών χωρικών δεδομένων. Τις πρωτογενείς πηγές και τις δευτερογενείς πηγές.

Πρωτογενείς πηγές αποτελούν τα δεδομένα που αποκτούμε από άμεση μέτρηση, καταγραφή και λήψη αυτών (π.χ. τοπογραφικές μετρήσεις, απογραφές).

Δευτερογενείς πηγές αφορούν τα δεδομένα που προέρχονται από μία διαδικασία επεξεργασίας. Στη συγκεκριμένη κατηγορία δεδομένων, ο εκάστοτε ερευνητής θα πρέπει να λαμβάνει σοβαρά υπόψη τον τρόπο συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων που χρησιμοποιεί, για την ελαχιστοποίηση και την αποφυγή σφαλμάτων.

Οι σημαντικότερες πηγές συλλογής χωρικών δεδομένων είναι:

- Γεωδαιτικές μετρήσεις
- Απογραφές και δειγματοληψίες
- Αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες
- Υπάρχοντες χάρτες
- Λοιπά υφιστάμενα δεδομένα (ποσοτικά/ ποιοτικά δεδομένα που αφορούν κοινωνικά, οικονομικά ή περιβαλλοντικά φαινόμενα)

Η μορφή των δεδομένων μπορεί να είναι αναλογική ή ψηφιακή. Στις μέρες μας η συντρυπτική πλειοψηφία αποτελείται από τα ψηφιακά δεδομένα.

2.2 Αρχιτεκτονική πληροφοριακών συστημάτων

Για την επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων είναι απαραίτητη η ανάπτυξη πληροφοριακών συστημάτων για τη κατάλληλη αξιοποίηση τους

Ένα πληροφοριακό σύστημα αποτελείται από τέσσερα τμήματα: τη διεπαφή του χρήστη, τον διαχειριστή δεδομένων, τον αναλυτή δεδομένων και τη βάση δεδομένων.

Η διεπαφή του χρήστη (User Interface) είναι το τμήμα που πραγματοποιείται η αλληλεπίδραση του ανθρώπου με τη μηχανή. Η γλώσσα επικοινωνίας ανάμεσα στον χρήστη και τη μηχανή αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία της διεπαφής. Η γλώσσα αυτή θα πρέπει να υποστηρίζει την επικοινωνία του συστήματος τόσο με φυσικά πρόσωπα, όσο και με άλλα προγράμματα. Η επικοινωνία του συστήματος με άλλα συστήματα είναι θέμα τυποποίησης της μορφής των δεδομένων που θα ανταλλάσσουν οι δύο πλευρές, όσο και των εντολών που ενεργοποιούν τις κατάλληλες λειτουργίες των συστημάτων. Στο κομμάτι της επικοινωνίας των φυσικών προσώπων με τη μηχανή, εμφανίζεται ο όρος γλώσσα του συστήματος ή αλλιώς γλώσσα προγραμματισμού του συστήματος. Μέσω αυτής, οι χρήστες διαχειρίζονται και αναλύουν τα δεδομένα των πληροφοριακών συστημάτων.

Η γλώσσες προγραμματισμού αποτελούν μία τεχνητή γλώσσα με τυποποιημένους, σαφείς και αυστηρούς γραμματικούς και συντακτικούς κανόνες. Κάθε γλώσσα προγραμματισμού αποτελείται από το δικό της σύνολο τυπικών κανόνων που αφορούν το συντακτικό, το λεξιλόγιο και το νόημα της. Για τις πιο διαδεδομένες γλώσσες και τις γλώσσες που είναι ευρέως διαδομένες, υπάρχουν ειδικοί φορείς οι οποίοι δημιουργούν, τροποποιούν ή επεκτείνουν τις τυπικές προδιαγραφές που περιγράφουν μία γλώσσα προγραμματισμού (*JavaScript Programming Language*, 2018).

Η βάση δεδομένων περιέχει το σύνολό των προς επεξεργασία δεδομένων. Μέσα στη βάση μπορούν να φιλοξενοούνται τα δεδομένα της εφαρμογής καθώς και δεδομένα τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν από το πληροφοριακό σύστημα. Το πιο βασικό στοιχείο σε μία βάση είναι η οργάνωση των δεδομένων και η βελτιστοποίηση της διαδικασίας της οργάνωσης. Υπεύθυνο υποσύστημα για τη παραπάνω διαδικασία είναι ο διαχειριστής δεδομένων.

Ο διαχειριστής δεδομένων αποτελεί μαζί με τη βάση δεδομένων τον πυρήνα ενός πληροφοριακού συστήματος και κατά συνέπεια συμβάλει στην αποδοτικότητα, τη συνέπεια και την αποτελεσματικότητα του. Ταυτόχρονα παρέχει τις λειτουργίες διαχείρισης της βάσης, δηλαδή, της εισαγωγής, διαγραφής, ενημέρωσης και ανάκτησης των δεδομένων.

Ο αναλυτής δεδομένων αναλαμβάνει όλες τις αναλυτικές λειτουργίες στα δεδομένα της βάσης με σκοπό την παραγωγή πληροφοριών. Αποτελεί το τμήμα του λογισμικού που περιέχει διάφορες αναλυτικές λειτουργίες τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιήσει ο χρήστης μέσω της διεπαφής.

Στις περισσότερες περιπτώσεις τα πληροφοριακά συστήματα προσφέρουν ένα σύνολο από έτοιμα προς χρήση αναλυτικά εργαλεία. Τα τελευταία χρόνια, η γνώση προγραμματισμού θεωρείται βασικό γνωστικό εργαλείο στους περισσότερους επιστημονικούς κλάδους. Έτσι πλέον στα περισσότερα πληροφοριακά συστήματα μπορεί να χρήστης, μέσω μιας γλώσσας προγραμματισμού, να δημιουργήσει αναλυτικά εργαλεία βάση των δικών του αναγκών.

2.3 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Για να χαρακτηρίσουμε τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, πρέπει να εξετάσουμε το σύνολο των συστημάτων και των διεργασιών που τα καθορίζουν. Τα συστήματα αυτά, αναλαμβάνουν όλες τις διεργασίες που είναι απαραίτητες, από τη ενσωμάτωση της πληροφορίας στο σύστημα μέχρι και το πώς θα οπτικοποιηθεί και θα εξαχθεί μετά την

επεξεργασία. Κατά τον Peuquet (Peuquet and Marble, 1990) τα υποσυστήματα που είναι απαραίτητα για τον χαρακτηρισμό των ΓΣΠ είναι το υποσύστημα εισαγωγής δεδομένων, το υποσύστημα αποθήκευσης και ανάκτησης, το διαχείρισης κι ανάλυσης και το υποσύστημα «έκδοσης» δεδομένων.

Αρχικά, το υποσύστημα εισαγωγής δεδομένων, το οποίο συλλέγει και/ή επεξεργάζεται τα χωρικά δεδομένα που προέρχονται από υπάρχοντες χάρτες ή απομακρυσμένους αισθητήρες (π.χ. remote sensing).

Το υποσύστημα αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων, είναι υπεύθυνο για την οργάνωση των χωρικών δεδομένων σε μορφή τέτοια ώστε να είναι εύκολα προσβάσιμα από το χρήστη. Κατά συνέπεια, να διευκολύνεται η ανάλυση, να καθίσταται γρήγορη και ακριβής η ανανέωση ή η διόρθωση της βάσης δεδομένων.

Υποσύστημα διαχείρισης κι ανάλυσης το οποίο είναι υπεύθυνο για την παραγωγή υπολογισμών των παραμέτρων και των περιορισμών των διαφόρων χωροχρονικών βελτιώσεων ή μοντέλων προσομοίωσης.

Υποσύστημα «έκδοσης» δεδομένων το οποίο είναι ικανό να απεικονίσει το σύνολο ή μέρος της αρχικής βάσης δεδομένων, τα επεξεργασμένα καθώς το προϊόν των χωρικών μοντέλων σε μορφή πινάκων ή χαρτών. Η δημιουργία των χαρτών αυτών ονομάζεται ψηφιακή ή υπολογιστική χαρτογραφία.

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά – υποσυστήματα συνθέτουν ένα σύστημα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορικής.

2.2 Τηλεπισκόπηση - Remote sensing

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, η εμπεριστατωμένη μελέτη της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης και των μεθόδων της, είναι απαραίτητη για τη βέλτιστη διαχείριση των δορυφορικών δεδομένων.

Τηλεπισκόπηση ονομάζεται η επιστήμη παρατήρησης φαινομένων και χαρακτηριστικών από απόσταση. Αποτελεί την επιστήμη, η οποία συλλέγει, ερμηνεύει και αναλύει πληροφορίες των υπό μελέτη στόχων, μη καταστροφικά, μελετώντας την αλληλεπίδραση αυτών με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Απαιτεί γνώσεις από μεγάλο φάσμα επιστημών και τα προϊόντα της Τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούνται σε εύρος εφαρμογών. Η Τηλεπισκόπηση, είναι μη-καταστροφική μέθοδος, όσο αφορά τα υπό μελέτη αντικείμενα,

καθώς η παρατήρηση γίνεται από μεγάλη απόσταση και το αισθητήριο όργανο δεν έρχεται σε φυσική επαφή με το στόχο.

Κατ' αναλογία, η ικανότητα του ανθρώπου να παρατηρεί και να αναγνωρίζει αντικείμενα είναι υποκειμενική. Ο άνθρωπος έχει την ικανότητα να λαμβάνει πληροφορία (εικόνα/παρατήρηση) και να την επεξεργάζεται σε πραγματικό χρόνο. Η ικανότητα να ανασύρουμε μνήμες – εικόνες στη περίπτωση μας είναι μία ξεχωριστή διαδικασία, χρονικά δεσμευμένη. Σε σύγκριση με την ικανότητα του ανθρώπου να λαμβάνει και επεξεργάζεται μια πληροφορία, συγκριτικά, η Τηλεπισκόπηση προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα (Buiten GPW. Clevers., 1993):

- Τα όργανα της Τηλεπισκόπησης καθιστούν δυνατή την παρατήρηση του περιβάλλοντος πέρα από το ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
- Όταν αναφερόμαστε σε απεικονίσεις αντικειμένων, έχουμε μετρήσιμη φυσική πληροφορία, επομένως μπορούμε να έχουμε ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα από την επιφάνεια της Γης.
- Η πληροφορία είναι χώρο-χρονικά δεσμευμένη με παραμέτρους που απαντούν στο 'τι, που, πότε και πώς'.
- Η Τηλεπισκόπηση είναι ευέλικτη καθώς υπάρχουν διάφορες τεχνικές και ποικίλοι αλγόριθμοι επεξεργασίας για την επίτευξη του βέλτιστου αποτελέσματος.
- Τα δεδομένα μπορούν να ανακτηθούν ανά πάσα στιγμή. Ακόμη να επεξεργαστούν από ενόργανο εξοπλισμό ή μέσα από συστήματα επεξεργασίας εικόνας, να αναλυθούν και να εξηγηθούν σε συνδυασμό με δεδομένα διαφορετικής προέλευσης και είδους.
- Μας δίνει την επισκόπηση μίας περιοχής σαν σύνολο, όπου η συνέχεια και τα όρια των συστατικών της, είναι αναγνωρίσιμα και διακριτά.

Σε σχέση με παραδοσιακές μεθόδους χαρτογράφησης η Τηλεπισκόπηση αντιμετωπίζει πιο αναλυτικά τη χωρική πληροφορία και της προσδίδουν αξιοπιστία, πιο συγκεκριμένα:.

- Το είδος της πληροφορίας πλέον είναι χωρικό σε αντίθεση με τη παραδοσιακή σημειακή πληροφορία.
- Η καταγραφή εικόνων μεγάλης περιοχής σε πολύ μικρό χρόνο και μας δίνει τη δυνατότητα βελτίωσης της συσχέτισης της πληροφορίας που στοχεύουμε. Ακόμη, η Τηλεπισκόπηση μας δίνει μεγάλο βαθμό της «πραγματικότητας» σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους χαρτογράφησης.

- Πρόσβαση σε μη προσιτές περιοχές.
- Η συνέχεια και η επαναληψιμότητα της πληροφορίας της Τηλεπισκόπησης μπορούν να βελτιώσουν την ανάλυση μιας εικόνας και να επαυξήσουν ή να βαθύνουν τη πληροφορία μας. Ακόμη, μπορούμε να συγκρίνουμε εικόνες των υπό μελέτη αντικειμένων και να τις συγκρίνουμε σε βάθος χρόνου.

Κύριο αντικείμενο μελέτης της Τηλεπισκόπησης, αποτελεί η φυσική γήινη επιφάνεια. Μέσω της επεξεργασίας και της ερμηνείας της πληροφορίας που παίρνουμε, μας βοηθά στην παρακολούθηση φυσικών φαινομένων, διεργασιών καθώς και των στατικών δυνάμεων στην επιφάνεια της Γης. Βάση των παρατηρήσεων και του μεγάλου επιστημονικού φάσματος που καλύπτει η Τηλεπισκόπηση, αναπτύσσονται πληθώρα εφαρμογών και χρήσεων. Ανάμεσα στα αντικείμενα εφαρμογών συγκαταλέγονται τα παρακάτω: αρχαιολογία, μελέτη κλίματος, μετεωρολογία, γεωλογία, μεταλλευτικοί και υδάτινοι πόροι, φυσικές καταστροφές, χαρτογραφία και γεωδαισία, καθορισμός χρήσης Γης, πολεοδομία, τοπογραφία, δασολογία, γεωργία, κτηματολόγιο, στρατιωτικές εφαρμογές.

2.2.1 Μέθοδοι ανίχνευσης

Η Τηλεπισκόπηση για την απόκτηση της πληροφορίας χρησιμοποιεί διάφορα μέσα (αισθητήρια όργανα) τα οποία ανιχνεύουν την πληροφορία συνήθως από μεγάλη απόσταση. Οι επιφάνειες της Γης ανακλούν ή διαχέουν την Η/Μ ακτινοβολία μίας φυσικής (ήλιος) ή τεχνητής (π.χ. τεχνητό φως, laser, μικροκυμματική ακτινοβολία, radar) πηγής.

Οι αισθητήρες με τους οποίους μετράμε την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

Παθητικοί αισθητήρες, οι οποίοι δεν έχουν τη δική τους πηγή ακτινοβολίας και καταγράφουν μόνο εκπομπές από τον ήλιο ή άλλα επίγεια αντικείμενα.

Ενεργητικοί αισθητήρες, οι οποίοι εκπέμπουν και λαμβάνουν ακτινοβολία. Τέτοιοι αισθητήρες είναι το radar και το lidar.

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω μεθόδους ανίχνευσης κάνουμε δειγματοληψία σε απόσταση από την επιφάνεια της Γης με τρεις τύπους:

- Δειγματοληψία έξω από την ατμόσφαιρα της Γης (Spaceborne)
- Μικρής απόστασης γεωσταθερής τροχιάς (Close range geostationary orbit)
- Δειγματοληψία με εναέρια μέσα (Airborne)

2.2.2 Προϊόντα Τηλεπισκόπησης

Κύριο πρωτογενές προϊόν της Τηλεπισκόπησης, αποτελούν οι εικόνες. Ως εικόνα, ορίζεται η αποτύπωση φασματικής πληροφορίας σε μέσο, όπως το χαρτί, το φιλμ ή ψηφιακά, στη μνήμη ενός Η/Υ. Τα πρώτα μέσα αποθήκευσης της ηλεκτρομαγνητικής πληροφορίας αποτέλεσαν οι φωτογραφίες. Σε αυτές χρησιμοποιούνται φωτοευαίσθητα χημικά φιλμ, ικανά να αλληλοεπιδρούν με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Για να μπορέσουμε όμως να εργαστούμε με τα συγκεκριμένα μέσα αποθήκευσης και να μπορέσουμε να εκμεταλλευτούμε τα πλεονεκτήματα που μας προσφέρει η υπολογιστική ισχύς των Η/Υ, πρέπει η αναλογική πληροφορία να ψηφιοποιηθεί.

Πλέον, το μεγαλύτερο μέρος της πληροφορίας αποθηκεύεται σε ψηφιακές εικόνες. Οι ψηφιακές εικόνες αναπαριστούν τη πληροφορία σε ένα σύστημα σχετικών συντεταγμένων, όπου κάθε σημείο αντιπροσωπεύει μία χωρική περιοχή. Για τις εικόνες δορυφορικής Τηλεπισκόπησης κάθε σημείο, αντιπροσωπεύεται από ένα εικονοστοιχείο που αναπαριστά συνήθως τη μέση ένταση της ακτινοβολία της Γης και ανατίθεται σε αυτό μία χαρακτηριστική τιμή της κλίμακας του γκρι.

Η ποιότητα των εικόνων τις δορυφορικής Τηλεπισκόπησης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων που φέρουν οι δορυφόροι. Τέσσερις παράμετροι καθορίζουν την ποιότητα των προϊόντων και συμβάλουν στο προσδιορισμό της διακριτικής ικανότητας του αισθητήρα.

Πρώτη παράμετρος, είναι η χωρική ανάλυση και αναφέρεται στο ελάχιστη επιφάνεια που μπορεί να απεικονίσει ο αισθητήρας σε ένα εικονοστοιχείο.

Η φασματική ανάλυση, αποτελεί το πλήθος και μέγεθος των διακριτών ευρών της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που μπορεί να καταγράψει ο αισθητήρας.

Επόμενη παράμετρος, είναι η ραδιομετρική ανάλυση. Αναφέρεται στο εύρος της πληροφορίας που μπορεί να αποθηκεύει ο αισθητήρας σε ένα εικονοστοιχείο. Η ακτινοβολία που καταγράφει ο αισθητήρας μεταφράζεται σε έναν αριθμό του δυαδικού συστήματος. Στη συνέχεια, το δεκαδικό ισοδύναμο θα εγγραφεί στο εικονοστοιχείο και του ανατίθεται κατ' αντιστοιχία η ένταση ενός χρώματος (συνήθως κλίμακας του γκρι). Η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει καθορίζει τη ραδιομετρική ανάλυση του αισθητήρα.

Τελευταία παράμετρος είναι η χρονική ανάλυση. Δεν αφορά μόνο τον αισθητήρα, αλλά και τη πλατφόρμα που τον φέρει. Αναφέρεται στο χρόνο επαναδιέλευσης και επανεγγραφής

μίας περιοχής. (Μερτίκας, 2009; Παρχαρίδης, 2015; Περάκης, Φαρασλής and Μωυσιάδης, 2015)

2.3 Τεχνικές Ανάλυσης

2.3.1 Προεπεξεργασία δορυφορικών εικόνων - Σφάλματα

Η καταγραφή των εικόνων γίνεται, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, με τη χρήση αισθητήρων τους οποίους φέρουν εναέρια μέσα ή δορυφόροι. Τόσο οι αισθητήρες όσο και τα μέσα που τους φέρουν, συμβάλουν στην δημιουργία σφαλμάτων. Τα σφάλματα αυτά, αναλύονται σε γεωμετρικά και ραδιομετρικά.

Οι παράγοντες που συμβάλουν στα γεωμετρικά σφάλματα είναι (Μερτίκας, 2009; Περάκης, Φαρασλής and Μωυσιάδης, 2015):

- Επιδράσεις της περιστροφής της Γης
- Πανοραμική παραμόρφωση.
- Καμπυλότητα της Γης
- Πεπερασμένη ταχύτητα δειγματοληψίας
- Μεταβολές στη τροχιά του δορυφόρου
- Μη γραμμικές παραμορφώσεις στη σάρωση
- Μεταβολές στο ύψος, στον προσανατολισμό και στη ταχύτητα του μέσου καταγραφής
- Κατασκευαστικά σφάλματα των αισθητήρων ή της πλατφόρμας

Τα ραδιομετρικά σφάλματα με τη σειρά τους, αφορούν τις αλλοιώσεις των τιμών των εικονοστοιχείων. Μπορεί να οφείλονται τόσο στους αισθητήρες όσο και στις επιδράσεις της ατμόσφαιρας.

Οι αισθητήρες καταγραφής μπορεί να συντελέσουν στη δημιουργία σφαλμάτων με τη λανθασμένη ή απλά την αλλαγή της βαθμονόμησης τους. Ακόμη, οι διαφορετικές αποκρίσεις μεταξύ των δορυφόρων είναι ικανές να επιφέρουν σφάλματα, ειδικά σε περιπτώσεις σύγκρισης εικόνων για τον εντοπισμό διαχρονικών αλλαγών. Τα σφάλματα των αισθητήρων διακρίνονται σε:

- Τυχαία χαλασμένα εικονοστοιχεία (Shot noise)
- Αστοχία καταγραφής στην αρχή ή στο τέλος της εικόνας
- Λωριδοποίηση (Stripping)
- Βαθμιαία μείωση της φωτεινότητας (Vingetting)

Οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας στην ψηφιακή εικόνα είναι αρκετά σημαντικές. Καθώς η ατμόσφαιρα αποτελεί ένα δυναμικό φυσικό σύστημα, οι παράγοντες που επηρεάζουν τις εικόνες είναι πολλοί. Σφάλματα, μπορεί να προκύψουν από μεταβολές της σύστασης της ατμόσφαιρας, τη διάδοση της ακτινοβολίας σε αυτήν ή επιδράσεις του αναγλύφου.

Οι τρόποι αντιμετώπισης και διόρθωσης των σφαλμάτων είναι ποικίλοι. Δεν θα αναλυθούν σε αυτή τη διπλωματική εργασία, καθώς τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε μας παρέχονται διορθωμένα από το πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Εταιρείας Διαστήματος Copernicus (Level-1C, Level-2A προϊόντα).

Επιγραμματικά, οι τεχνικές που χρησιμοποιούμε για τα γεωμετρικά και τα ραδιομετρικά σφάλματα αναλύονται στις επόμενες ενότητες.

Γεωμετρικές διορθώσεις

Γεωμετρικές παραμορφώσεις με σκοπό να μετασχηματίσει το σύστημα συντεταγμένων τις εικόνες σε συγκεκριμένο σύστημα χαρτογραφικής προβολής. Υπάρχουν 3 τεχνικές διόρθωσης των γεωμετρικών παραμορφώσεων των τιμών μίας δορυφορικής εικόνας. Η εφαρμογή των παρακάτω διορθώσεων μας δίνουν το τελικό μετασχηματισμένο προϊόν (Μερτίκας, 2009):

- Διορθώσεις σε μοντέλα τις τροχιάς
- Γεωμετρική διόρθωση με πολυώνυμα
- Διόρθωση με αντίστροφο μετασχηματισμό

Επανάληψη της δειγματοληψίας σε αυτό το στάδιο, υπολογίζονται ξανά οι τιμές του γκρι και τοποθετούνται στις ακριβείς χωρικές τους συντεταγμένες, στη μετασχηματισμένη πλέον εικόνα. Οι μέθοδοι που ακολουθούμε είναι:

- Μέθοδος πλησιέστερου γειτονικού στοιχείου
- Διγραμμική παρεμβολή
- Κυβική παρεμβολή

Ραδιομετρικές Διορθώσεις Εικόνας

Οι ραδιομετρικές διορθώσεις στοχεύουν στην εξάλειψη ή ελάττωση σφαλμάτων που μπορεί να οφείλονται στους αισθητήρες της πλατφόρμας ή σε διάφορες ατμοσφαιρικές και τοπογραφικές επιδράσεις. Οι ραδιομετρική διόρθωση δεν είναι πάντα απαραίτητη, στην περίπτωση όμως ανάλυσης και ταξινόμησης εικόνων από διαφορετικές χρονικές στιγμές,

είναι πολύ σημαντική. Οι διορθώσεις που μπορούν να συνεισφέρουν στην βελτίωση των ψηφιακών εικόνων είναι (Μερτίκας, 2009; Περάκης, Φαρασλής and Μωυσιάδης, 2015):

- Ρύθμιση ανιχνευτών
- Ατμοσφαιρικές διορθώσεις με χρήση αριθμητικών μοντέλων
- Καθολική ατμοσφαιρική διόρθωση
- Διόρθωση από μετασχηματισμένες ψηφιακές τιμές σε τιμές ανακλαστικότητας
Τοπογραφικές διορθώσεις με χρήση της ανακλαστικότητας του εδάφους

2.4 Βελτιώσεις και μετασχηματισμοί εικόνας

Στο παρόν κεφάλαιο μελετάμε μέρος των βελτιώσεων και των ραδιομετρικών μετασχηματισμών που εφαρμόζονται στις πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες στα πλαίσια μελέτης της διπλωματικής εργασίας. Οι εικόνες αυτές μπορεί να είναι μία εικόνα η οποία να αποτελείται από διαφορετικές φασματικές ζώνες, ή πλήθος εικόνων οι οποίες αντιπροσωπεύουν μία περιοχή σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Με τον όρο βελτιώσεις, εννοούμε μια σειρά από βελτιωτικές διεργασίες που αποσκοπούν στην καλύτερη εμφάνιση της εικόνας, ή έχουμε ως στόχο να τονίσουμε επιλεγμένες λεπτομέρειες. Τέτοιοι στόχοι μπορεί να είναι η εμφάνιση διαφορών στην υγρασία του εδάφους ή διαφορές στη βλάστηση.

Μετασχηματισμοί εικόνας ονομάζεται το σύνολο των τεχνικών επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία νέας σύνθετης εικόνας, της οποίας χαρακτηριστικά και ιδιότητες είναι τέτοιες ώστε να κάνουν καταλληλότερη την ερμηνεία της.

2.4.1 Τεχνικές βελτιώσεις και μετασχηματισμού

Αριθμητικές Πράξεις

Οι αριθμητικές πράξεις *ανάμεσα* στις τιμές του γκρι, για δύο ή παραπάνω δορυφορικές εικόνες, καθώς και οι πράξεις *ανάμεσα* στα διαφορετικά κανάλια μίας εικόνας, αποτελούν βασική τεχνική βελτίωσης και μετασχηματισμού. Οι πράξεις που πραγματοποιούμε είναι:

Πρόσθεση εικόνων, δημιουργούμε ένα σταθμισμένο άθροισμα μεταξύ δύο ή περισσότερων εικόνων, με σκοπό τη μείωση του συνολικού θορύβου στις εικόνες και την αύξηση του λόγου θορύβου/σήματος (SNR).

Αφαίρεση εικόνων, μας επιτρέπει να διακρίνουμε τις διαφορές ανάμεσα σε ζεύγη εικόνων μίας περιοχής σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Σημαντικό είναι οι εικόνες να είναι ραδιομετρικά και γεωμετρικά διορθωμένες, με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Πολλαπλασιασμός εικόνων, τεχνική η οποία βοηθάει στην αναγνώριση και παρατήρηση μίας συγκεκριμένης κάλυψης γης, στη περίπτωση ανάλυση εικόνας με ποικίλες κάλυψης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, κατασκευάζουμε μία «μάσκα» για την κάλυψη που θέλουμε να αναδείξουμε. Για παράδειγμα στη περίπτωση που θέλουμε να αναδείξουμε την υδατική κάλυψη μίας περιοχής, θα χρησιμοποιήσουμε το κανάλι του εγγύς υπέρυθρου (NIR). Η κατασκευή της «μάσκας» θα γίνει με την κατωφλίωση των τιμών ενός καναλιού με δυαδικές τιμές (0 - 1), με όρια καθορισμένα από τον ερευνητή. Στη συνέχεια, πολλαπλασιάζοντας την αρχική εικόνα με τη εικόνα της «μάσκας», το αποτέλεσμα θα είναι μια εικόνα μονάχα με περιοχές της υπό μελέτης κάλυψης.

Διαίρεση εικόνων, πρόκειται για μία από τις πιο πολυχρησιμοποιούμενες πράξεις. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τη δημιουργία δεικτών, εντοπισμός χαρακτηριστικών καλύψεων γης, την μείωση των σκιάσεων και των επιδράσεων του ανάγλυφου ή την μείωση των ατμοσφαιρικών επιπτώσεων.

Δείκτες Τηλεπισκόπησης

Οι δείκτες, είναι εικόνες που προκύπτουν μέσα από μαθηματικές πράξεις που πραγματοποιούμε ανάμεσα στα κανάλια μίας ή διαφορετικών εικόνων. Μέσα κυρίως από τους λόγους των καναλιών κατασκευάζουμε δείκτες, που στηρίζονται στις φασματικές ιδιότητες των υλικών παρατήρησης. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει, έχει διαφορετική απορρόφηση για κάθε ένα από τα υλικά της επιφάνειας. Οι λόγοι των καναλιών και κατά συνέπεια οι δείκτες, μας δίνουν χρήσιμη πληροφορία για τη σύσταση του κάθε υλικού. Χρησιμοποιώντας το παραπάνω χαρακτηριστικό έχουν δημιουργηθεί απλοί ή πιο σύνθετοι δείκτες. Παράδειγμα αποτελούν οι δείκτες για τον εντοπισμό βλάστησης, ορυκτών, αστικών περιοχών, νερού, χιονιού ή καμένων εκτάσεων.

Δείκτης βλάστησης

Για τη δημιουργία των δεικτών βλάστησης, εκμεταλλευόμαστε την αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα φύλλα των φυτών. Οι βιοφυσικές ιδιότητες της βλάστησης επηρεάζουν την απορρόφηση, την ανάκλαση και τη μετάδοση της ακτινοβολίας για τα διαφορετικά μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Βάσει των φασματικών ιδιοτήτων της βλάστησης, έχουν αναπτυχθεί αρκετοί διαφορετικοί δείκτες

βλάστησης. Ο σχηματισμός τους προκύπτει από πράξεις, οι οποίες δίνουν μία χαρακτηριστική τιμή για την υγεία της βλάστησης που καλύπτει ένα εικονοστοιχείο. Στη παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – Δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης (Rouse *et al.*, 1973). Αποτελεί το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο δείκτη, καθώς έχει ελάχιστες επιδράσεις λόγω τοπογραφίας και ταυτόχρονα παραμένει σχεδόν αναλλοίωτος από διάφορες ανεπιθύμητες συνθήκες που μπορεί να προέλθουν από σκιάσεις. Ο δείκτης NDVI υπολογίζεται από το τύπο:

$$NDVI = \frac{DN(NIR) - DN(R)}{DN(NIR) + DN(R)}$$

Όπου DN(NIR) η τιμή του εικονοστοιχείου στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι και DN(R) η τιμή του εικονοστοιχείου στο ερυθρό κανάλι.

Δείκτης νερού

Ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς νερού, δημιουργήθηκε (Gao, 1996) για τη παρακολούθηση αλλαγών του νερού σε μάζες αυτού. Εκμεταλλευόμενοι την υψηλή ανακλαστικότητα του νερού στο πράσινο μήκος κύματος, την χαμηλή ανακλαστικότητα των υδάτινων περιοχών στο εγγύς υπέρυθρο, αλλά ταυτόχρονα λαμβάνοντας υπόψη την μεγάλη του ανακλαστικότητα του NIR στη χερσαία βλάστηση και το έδαφος, δημιουργήθηκε ο τύπος του NDWI:

$$NDWI = \frac{DN(G) - DN(NIR)}{DN(G) + DN(NIR)}$$

Όπου DN(NIR) η τιμή του εικονοστοιχείου στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι και DN(G) η τιμή του εικονοστοιχείου στο πράσινο κανάλι.

Φίλτρα Τηλεπισκόπησης

Οι πράξεις που αναφέρθηκαν παραπάνω, αφορούν τις σημειακές τιμές των εικονοστοιχείων και το πώς αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση ή το μετασχηματισμό των δεδομένων. Τα φίλτρα Τηλεπισκόπησης, αποτελούν μια μέθοδο μετασχηματισμού που λαμβάνει υπόψη τις τιμές του γκρι των γειτονικών στοιχείων. Οι τιμές αυτές, τροποποιούν τη τιμή του γκρι σε ένα εικονοστοιχείο, όμως η μεταβολή αυτή προέρχεται από την μαθηματική επεξεργασία των γειτονικών του εικονοστοιχείων. Για να γίνει αντιληπτός ο διαχωρισμός των φίλτρων, πρέπει να αναφέρουμε την έννοια της χωρικής συχνότητας. Η χωρική συχνότητα μπορεί να συνδεθεί με τον τρόπο μεταβάλλεται η τιμή του γκρι ενός εικονοστοιχείου σε σχέση με τα διπλανά του. Αν για παράδειγμα μία

εικόνα εμφανίζει ομαλές αλλαγές στις τιμές του γκρι από τη μία άκρη στην άλλη, τότε αυτή θα χαμηλή χωρική συχνότητα. Αντίστοιχα αν οι μεταβολές των γειτονικών εικονοστοιχείων είναι έντονες, τότε η εικόνα έχει υψηλή χωρική συχνότητα. Έτσι μία οποιαδήποτε εικόνα μπορεί να θεωρηθεί το άθροισμα των συνιστωσών χαμηλών και υψηλών χωρικών συχνοτήτων. Χρησιμοποιούμε τα ψηφιακά φίλτρα για να μπορέσουμε να ξεχωρίσουμε αυτές τις συνιστώσες. Για παράδειγμα ένα φίλτρο που διαχωρίζει την αργή μεταβολή ή αλλιώς τη χαμηλή συχνότητα, ονομάζεται φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων. Ομοίως, ένα φίλτρο διέλευσης υψηλών συχνοτήτων είναι ικανό να διαχωρίσει τη συνιστώσα με μικρό μήκος κύματος. Για το διαχωρισμό των συνιστωσών χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι. Η πρώτη μέθοδος στηρίζεται στο μετασχηματισμό της εικόνας στο χώρο των συχνοτήτων, με χρήση του μετασχηματισμού Fourier και δεν θα εξεταστεί στη παρούσα εργασία. Η δεύτερη μέθοδος μετασχηματίζει απευθείας τα δεδομένα της εικόνας, με τον καθορισμό μασκών. Κάθε μάσκα δημιουργείται με συγκεκριμένους συντελεστές βάρους και διαστάσεων, συνήθως, $n \times n$ και μετακινείται στο χώρο της εικόνας από εικονοστοιχείο σε εικονοστοιχείο. Μία τέτοια μάσκα, μεγέθους 3×3 , θα μπορούσε να έχει τη μορφή:

$$W = \begin{bmatrix} w_1 & w_2 & w_3 \\ w_4 & w_5 & w_6 \\ w_7 & w_8 & w_9 \end{bmatrix}$$

Η τιμή του κεντρικού εικονοστοιχείου, θα μεταβληθεί βάσει της σχέσης των τιμών του γκρι των γειτονικών του εικονοστοιχείων και του βάρους w_n που ορίζεται στη μάσκα.

Κάποια χαρακτηριστικά φίλτρα που εφαρμόζονται στη Τηλεπισκόπηση είναι:

Φίλτρα μετακινούμενων μέσων τιμών, τα οποία χρησιμοποιούνται για να θολώσουν την εικόνα, και μπορεί επίσης να θεωρηθεί κομμάτι της προεπεξεργασίας διότι μπορεί και ελαττώνει το θόρυβο, γραμμές ή άλλα λεπτομερή σφάλματα.

Φίλτρο διαμέσου τιμής, τα οποία και αυτά με τη σειρά του μας βοηθούν στην εξάλειψη χονδροειδή θορύβου.

Φίλτρα ενίσχυσης ακμών, υπάρχουν αρκετά φίλτρα τα οποία ενισχύουν τις χωρικές μεταβολές σε μία εικόνα. Τέτοια φίλτρα δημιουργούνται με διάφορες μαθηματικές τεχνικές. **Η μέθοδος των παραγώγων** στηρίζεται στην εύρεση κλίσεων που προκύπτουν από τις τιμές των εικονοστοιχείων, σε παράθυρα της εικόνας της εικόνας. Επόμενη συνάρτηση υπολογισμού μεταβολής είναι ο **τελεστής Laplace**. Ο τελεστής λαμβάνει αρνητικές τιμές στην αρχή της κλίσης, ενώ αποκτά θετική τιμή στην κορυφή της κλίσης. Το **φίλτρο Laplace** ανταποκρίνεται στις απότομες μεταβολές των ακμών, όμως είναι εξαιρετικά

ευαίσθητο στο θόρυβο της εικόνας. Τα **φίλτρα Sobel**, που χρησιμοποιήθηκαν και στη παρούσα εργασία για επίδειξη, αποτελούν φίλτρα ακμών που μπορούν να παραμετροποιηθούν έτσι ώστε να είναι πιο ευαίσθητα σε διευθύνσεις ακμών της επιλογής μας. Για παράδειγμα, η μορφή της μάσκας για δύο διαφορετικές κατευθύνσεις, οριζόντια ή κατακόρυφη, μπορεί να είναι:

$$W_x = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad W_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ταξινόμηση Δορυφορικών εικόνων

Η ταξινόμηση αποτελεί μία στατιστική μέθοδο ανάλυσης που χρησιμοποιείται σε πολλές επιστήμες, ανάμεσα σε αυτές και η Τηλεπισκόπηση. Η ταξινόμηση αποσκοπεί στο αυτοματοποιημένο στατιστικό διαχωρισμό ενός συνόλου δεδομένων σε δύο ή περισσότερες τάξεις. Στην Τηλεπισκόπηση, δεδομένα ταξινόμησης αποτελούν οι τιμές του γκρι των εικονοστοιχείων που συνθέτουν τις δορυφορικές εικόνες. Η ταξινόμηση της εικόνας εξετάζει κάθε εικονοστοιχείο ξεχωριστά, η ταξινόμηση της τιμής του γκρι του σε μία τάξη πραγματοποιείται από τους φασματικούς ταξινομητές. Στοιχεία που μπορούν να προσφέρουν στη διαδικασία της ταξινόμησης, πέρα από τις αποχρώσεις του γκρι, είναι ο χρόνος και ο χώρος των εικονοστοιχείων. Αντικείμενο μελέτης, στην εργασία θα αποτελέσουν οι φασματικοί ταξινομητές.

Οι ταξινόμηση διαιρείται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, την **επιβλεπόμενη** και την **μη επιβλεπόμενη** ταξινόμηση.

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση ελέγχεται άμεσα από τον αναλυτή, καθώς είναι απαραίτητη η ταυτοποίηση χαρακτηριστικού δείγματος στην δορυφορική εικόνα. Αφού γίνει η εκπαίδευση, βάση των δειγμάτων, τα αταξινομήτα εικονοστοιχεία θα καταχωρηθούν στις κατάλληλες τάξεις.

Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, αποτελεί μια αυτοματοποιημένη μέθοδο ταξινόμησης, η οποία χρησιμοποιεί στατιστικούς κανόνες για την ανάθεση τάξης σε ένα εικονοστοιχείο. Ο χρήστης δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζει κάποια πληροφορία για τα προς ταξινόμηση δεδομένα.

Τα συνήθεις στάδια της διαδικασίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι το στάδιο του καθορισμού των τάξεων, το στάδιο της εκπαίδευσης, στάδιο επιλογής του κανόνα

ταξινόμησης, στάδιο της εφαρμογής του κανόνα, στάδιο αντιστοίχισης των τάξεων και τελικά το στάδιο της αξιολόγησης.

Στη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο αλγόριθμοι ταξινόμησης. Ο πρώτος μη καθοδηγούμενης ταξινόμησης, ο αλγόριθμος K-μέσων τιμών (k-means), ενώ ο δεύτερος αλγόριθμος με τη μέθοδο της καθοδηγούμενης ταξινόμησης (ελάχιστης ραδιομετρική γωνιακή απόσταση - spectral angle).

Η μέθοδος K-μέσων τιμών αποτελεί έναν αλγόριθμο μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης που χρησιμοποιείται σε μη κατηγοριοποιημένα δεδομένα. Στόχος του αλγόριθμου είναι να ομαδοποιήσει τα δεδομένα σε πλήθος τάξεων. Το πλήθος αυτό αντιπροσωπεύεται από τη μεταβλητή K. Τα βήματα εφαρμογής της μεθόδου στη Τηλεπισκόπηση είναι (*Introduction to K-means Clustering*, 2018):

1. Ορισμός αυθαίρετων κ-κέντρων στο φασματικό χώρο της εικόνας. Πρακτικά επιλέγονται τυχαία ζεύγη x και y στα κανάλια της δορυφορικής εικόνας που έχουμε επιλέξει να γίνει η ταξινόμηση. Τα κέντρα επιλέγονται τυχαία, όμως συνίσταται η επιλογή των σημείων να είναι ομοιόμορφη στο χώρο της εικόνας. Έτσι, κάθε κ-κέντρο της τάξης αποτελείται από ένα διάνυσμα ραδιομετρικών τιμών του συγκεκριμένου εικονοστοιχείου (x, y) στα επιλεγμένα κανάλια.
2. Κάθε εικονοστοιχείο ταξινομείται στη ομάδα του πλησιέστερου κ-κέντρου. Η προσάρτηση του κάθε εικονοστοιχείου στο κοντινότερο κέντρο, υπολογίζεται συνήθως με την Ευκλείδεια απόσταση.
3. Στις ομάδες που δημιουργούνται βρίσκεται για κάθε μία από αυτές νέο κέντρο, ραδιομετρικό διάνυσμα (x, y) .
4. Επαναλαμβάνουμε τα δύο προηγούμενα βήματα, μέχρις ότου τα κέντρα σταθεροποιηθούν ή έχουν πολύ μικρή μετακίνηση, δεν αλλάζουν δηλαδή οι τιμές των κ-κέντρων.

Η μέθοδος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιείται στη Τηλεπισκόπηση για την ποιοτική ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων. Βασίζεται στη χρήση μιας ποικιλίας αλγορίθμων, που αποσκοπούν στο χαρακτηρισμό των εικονοστοιχείων με ένα συγκεκριμένο τύπο εδαφικής κάλυψης. Από τα πιο χαρακτηριστικά και κρίσιμα βήματα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι η 'εκπαίδευση'. Ο αναλυτής καλείται να χαρακτηρίσει έναν αριθμό δειγμάτων, περιοχές στην εικόνα, που η εδαφική τους κάλυψη είναι γνωστή. Από τις περιοχές δειγματοληψίας, προσδιορίζονται οι τάξεις της ταξινόμησης. Κάθε τάξη

χαρακτηρίζεται από ένα ραδιομετρικό διάνυσμα, ένα κέντρο, που μπορεί να προκύπτει από το μέσο όρο των τιμών εκπαίδευσης.

Στη συνέχεια, αφού γίνει η 'εκπαίδευση' επιλέγεται ο αλγόριθμος που θα πραγματοποιήσει την ταξινόμηση των στοιχείων. Στη προκειμένη, χρησιμοποιήσαμε και εδώ, για την προσάρτηση του κάθε εικονοστοιχείου σε ένα κέντρο, την ραδιομετρική γωνιακή απόσταση (spectral angle).

Για να γίνει ολοκληρωμένα η διαδικασία οποιαδήποτε μεθόδου ταξινόμησης, πρέπει να αξιολογηθεί η ακρίβεια της κάθε μεθόδου. Η επαλήθευση πραγματοποιείται μέσα από συνοπτικούς πίνακες ενδεχομένων. Στη εργασία αυτή, δεν αποτελεί αντικείμενο μελέτης η ακρίβεια της διαδικασίας, καθώς επικεντρωθήκαμε στη ανάπτυξη των αλγορίθμων της ταξινόμησης, στο περιβάλλον της Google Earth Engine.

Κεφάλαιο 3

3.1 Cloud computing

Όπως αναφέρθηκε, τα γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα έχουν ένα πολύ μεγάλο εύρος εφαρμογών. Όμως, ο μεγάλος όγκος της πληροφορίας δυσχεραίνει τόσο την αποθήκευση της, όσο και την επεξεργασία της, κάτι που καθιστά την ανάλυση της εξαιρετικά χρονοβόρα. Ταυτόχρονα, οι εξελίξεις στο χώρο της πληροφορικής, προσπαθούν να δώσουν λύση στα προβλήματα που προκύπτουν από τη κλιμάκωση του μεγέθους της πληροφορίας. Η λύση που μελετάμε στη παρούσα διπλωματική είναι μια υλοποίηση με *Cloud Computing*, τη Cloud GIS πλατφόρμα Google Earth Engine.

Με την εξέλιξη των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών και την ανάπτυξη των υπερυπολογιστών, ήρθε και η ανάπτυξη του *cluster computing*. Έχουμε πλέον τη δυνατότητα να τμηματοποιήσουμε (Clustering) την επεξεργασία μίας πληροφορίας και να τη προωθήσουμε σε διαφορετικές μονάδες επεξεργασίας ενός υπολογιστικού συστήματος. Έτσι, μία υπολογιστικά απαιτητική διαδικασία μπορεί να επεξεργαστεί παράλληλα από πολλούς πυρήνες και να μειωθεί σημαντικά ο χρόνος επεξεργασίας. Με την χρήση των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών, μπορούμε να κατανείμουμε τμήματα τις επεξεργασίας σε περαιτέρω υπολογιστικά συστήματα. Με το διαδίκτυο να είναι ευρέως διαδεδομένο και με τους χρόνους ανταλλαγής πληροφοριών να είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα, η προώθηση της προς επεξεργασία πληροφορίας μπορεί να γίνει και σε υπολογιστικά συστήματα που είναι γεωγραφικά διανεμημένα. Εκμεταλλευόμενοι, τις παραπάνω τεχνολογίες, το *cloud computing* μπορεί να αποτελέσει την υποδομή που θα γίνεται όλη η επεξεργασία της χωρικής πληροφορίας. (Antonopoulos and Gillam, 2010; Μητρόπουλος and Δουληγέρης, 2015)

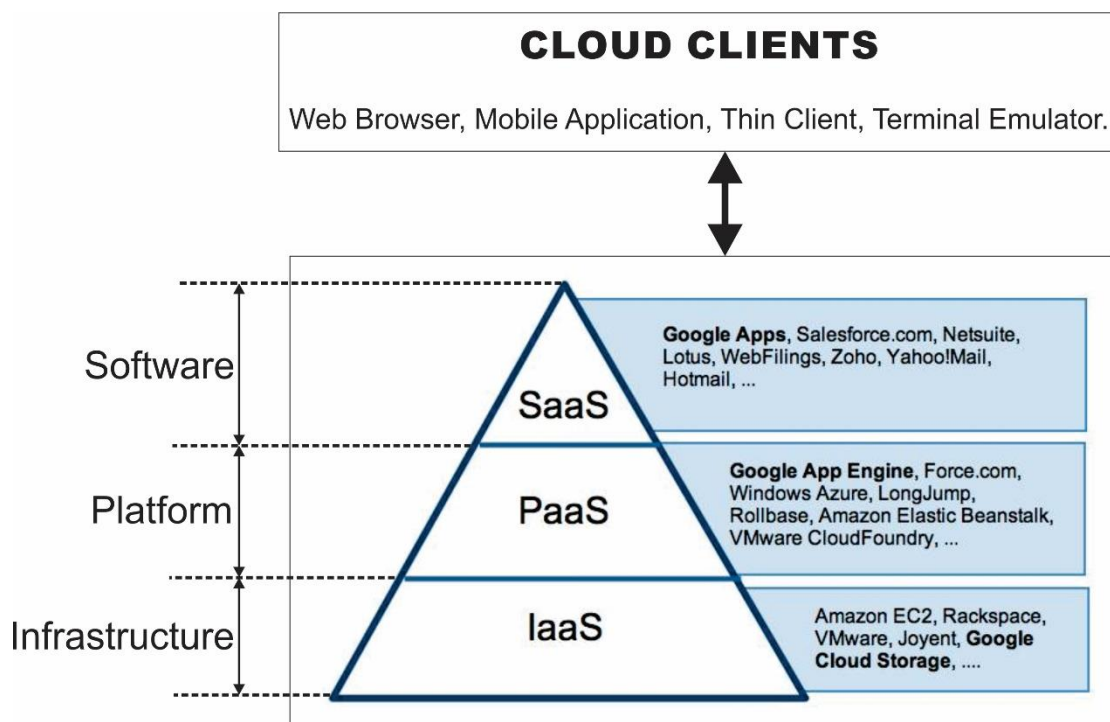
Το *Cloud Computing* δεν αναφέρεται μόνο στην υπολογιστική υποδομή πίσω από αυτό. Συμπεριλαμβάνεται και το σύνολο των υπηρεσιών που μπορεί να φιλοξενηθούν στο Νέφος και μπορούν να το εκμεταλλευτούν. Το *Cloud Computing*, με βάση την εφαρμογή που φιλοξενεί και πώς θα αυτή θα παρέχεται, διαχωρίζεται στα εξής μοντέλα:

Infrastructure as a service (IaaS): Οι πάροχοι της υπηρεσίας νοικιάζουν τη διαδικτυακή υπολογιστική υποδομή. Έτσι δίδεται η δυνατότητα να τις χρησιμοποιήσει ο πελάτης βάση των αναγκών του σε επίπεδο υλικού.

Platform as a service (PaaS): Βασίζεται στο παραπάνω μοντέλο (IaaS), αναφέρεται στους χρήστες που δεν θέλουν άμεση πρόσβαση στη υπολογιστική υποδομή, άλλα τους

προσφέρεται μια ενδιάμεση πλατφόρμα που αποτελείται από ένα σύνολο λογισμικών που επιτρέπει την παραμετροποίηση της υπολογιστικής υποδομής για της ανάγκες του αναλυτή. Για παράδειγμα, λογισμικά που συνθέτουν ένα PaaS μοντέλο είναι το Hadoop και το πλαίσιο εργασίας MapReduce της Google.

Software as a service (SaaS): Το υψηλότερό επίπεδο υπηρεσιών προσφέρεται από το SaaS, στο οποίο ο πάροχος προσφέρει ένα ολοκληρωμένο πακέτο λογισμικού. Αποτελεί τη πιο δημοφιλή λύση, καθώς ο χρήστης παραμετροποιεί έτοιμες διαδικασίες στο σύστημα για το επιθυμητό αποτέλεσμα.



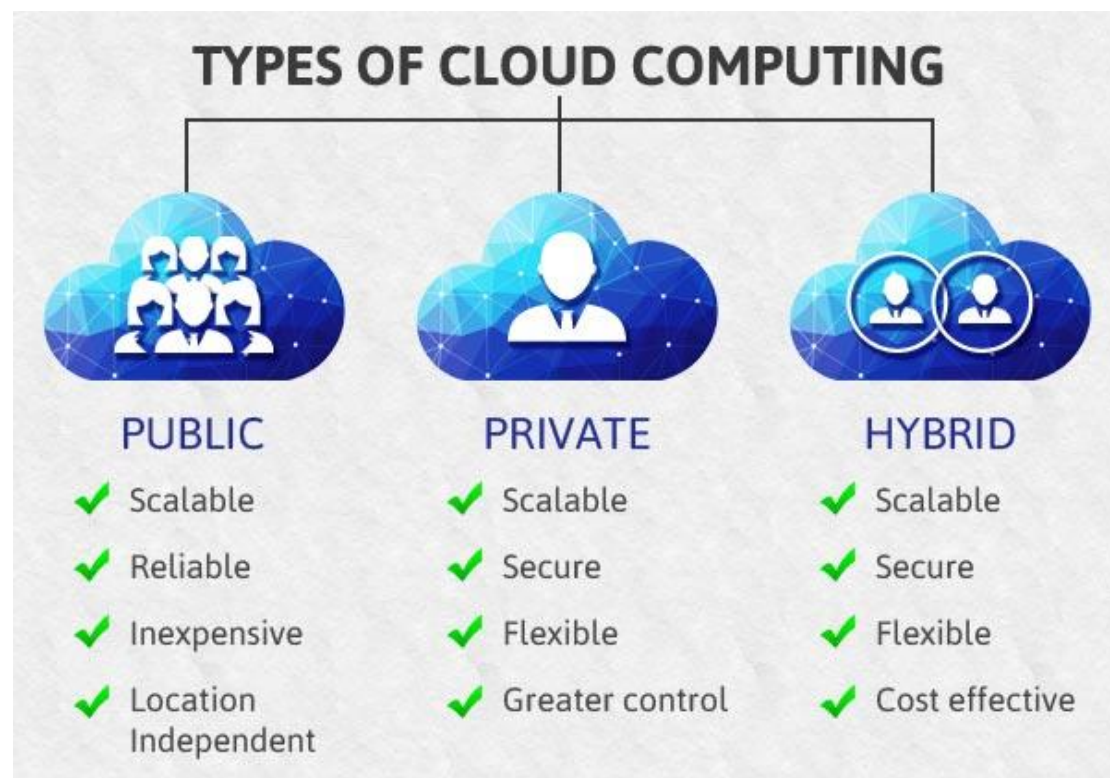
Εικόνα 1 Επίπεδα υπηρεσιών Cloud computing (On the Evolution of Virtualization and Cloud Computing: A Review, 2014)

Όσο αφορά το επίπεδο χρηστικότητα και ασφάλειας επικρατούν οι εξής κατηγορίες Νεφών:

Public Cloud: Αποτελεί το σύστημα Νέφους που είναι διαθέσιμο στο ευρύ κοινό και είναι προσβάσιμο μέσω του Παγκόσμιου Ιστού. Βασίζεται στην υπάρχουσα υποδομή του διαδικτύου για την δικτύωση του κάθε τερματικού σταθμού επεξεργασίας. Πρακτικά, ο μέσος χρήστης μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση μισθώνοντας μια υπηρεσία Public Cloud. Εταιρίες που προσφέρουν τέτοιου είδους υπηρεσίες είναι η EC2 της Amazon και το Google Cloud Platform. Όσον αφορά στο κομμάτι της ασφάλειας των δεδομένων αποτελεί το λιγότερο ασφαλές τύπο δικτύου, καθώς τα δεδομένα και η επεξεργασίες πραγματοποιούνται, σε επίπεδο στο οποίο ο χρήστης δεν έχει μέγιστη πρόσβαση.

Private Cloud: Αποτελείται από ένα ιδιωτικό δίκτυο υπολογιστών που συνήθως είναι απομονωμένο από το διαδίκτυο. Τέτοια δίκτυα χρησιμοποιούνται συχνά από ερευνητικούς οργανισμούς που αποζητούν μεγαλύτερο έλεγχο πάνω στο σύστημα. Η περιορισμένη πρόσβαση άλλα και το επίπεδο ελέγχου που προσφέρει καθιστά τα Private Cloud ως τη ασφαλέστερη προσέγγιση Νέφους.

Hybrid Cloud: Υβριδικό Νέφος. Πρακτικά είναι η ενδιάμεση λύση των Public και Private Cloud. Πρόκειται για ένα συνδυαστικό σύστημα, του οποίου ένα μέρος ή και το σύνολο αυτού ελέγχεται από το χρήστη και μερικά κομμάτια αυτού είναι διαθέσιμα μέσα από το δημόσιο δίκτυο. Τέτοιος τύπος Νέφους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη περίπτωση που ένας οργανισμός διαχειρίζεται και αναλύει ευαίσθητα δεδομένα, όμως μέρος αυτών διαμοιράζεται, κατ' απαίτηση στο κοινό. Ένα μικρό συνήθως κομμάτι του δικτύου, αυξημένης ασφάλειας και περιορισμένης πρόσβασης (ιδιωτικό Νέφος) αναλαμβάνει τη διεκπεραίωση της αποθήκευσης, ανάκτησης και της επεξεργασίας των ευαίσθητων δεδομένων (Bhat and Ahmad, 2011; Ma *et al.*, 2015; Sugumaran *et al.*, 2015).



Εικόνα 2 Τύποι Cloud Computing (Convergence services, 2018)

Έτσι και οι πλατφόρμες GIS άρχισαν την μετάβασή τους στο Νέφος με σκοπό να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα που προσφέρει, με την υπηρεσία που δημιουργήθηκε να ονομάζεται Cloud GIS.

Για την αξιοποίηση όλης της παραπάνω υπολογιστικής ισχύος για λογαριασμό των γεωεπιστημών, στα πλαίσια της Δημοκρατικοποίησης της πληροφορίας, αναπτύχθηκε η πλατφόρμα της Google Earth Engine. Με βάση τη διάκριση που περιγράφηκε παραπάνω, η Earth Engine μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως ένα Hybrid Cloud που προσφέρει μια πλατφόρμα (PaaS) στον αναλυτή και μια υπηρεσία (SaaS) χαρτογραφικής απεικόνισης μέσα από τις εφαρμογές που αναπτύσσονται από τους αναλυτές και διατίθενται στο μέσο χρήστη.

3.2 Google Earth Engine

Η Google Earth Engine είναι μια πλατφόρμα γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων που βασίζεται στη τεχνολογία του *Cloud computing*. Μέσω αυτής, έχουμε πρόσβαση σε ποικίλα δεδομένα Τηλεπισκόπησης. Στο σύνολο τους, τα δεδομένα αυτά είναι δεδομένα ανοικτής δημόσιας πρόσβασης (π.χ. προϊόντα των Sentinel, Landsat, MODIS) τα οποία βρίσκονται - σε μέγεθος - στην κλίμακα των Petabyte. Εκμεταλλευόμενοι τις υπολογιστικές υποδομές της Google και τη πλατφόρμα Earth engine, μπορούμε να επεξεργαστούμε τα γεωχωρικά δεδομένα ελαχιστοποιώντας τον χρόνο υπολογιστικής ανάλυσης και επεξεργασίας, ο οποίος είναι κατά πολύ χαμηλότερος συγκριτικά με τους παραδοσιακούς τρόπους ανάλυσης και επεξεργασία των προσωπικών υπολογιστών. Τα βασικά χαρακτηριστικά που συνθέσουν την πλατφόρμα είναι η βάση δεδομένων, η υπολογιστική ισχύς, τα APIs και ο editor κώδικα.

Η Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών ή αλλιώς Application Programming Interface (API) είναι η διεπαφή (περιβάλλον επικοινωνίας υπολογιστή - χρήστη) των διαφόρων προγραμματιστικών διαδικασιών το οποίο μας παρέχει ένα λειτουργικό σύστημα και μία βιβλιοθήκη με το σύνολο των λειτουργιών που παρέχει. Το API της Earth Engine υποστηρίζει την ανάπτυξη σε δύο γλώσσες προγραμματισμού JavaScript και Python. Σημαντικό χαρακτηριστικό, είναι η ικανότητα για «έκδοση» των αλγορίθμων εκτός της Earth Engine ως αυτόνομες διαδικτυακές εφαρμογές, με πλήρη υποστήριξη της υπολογιστικής υποδομής που τη χαρακτηρίζει.

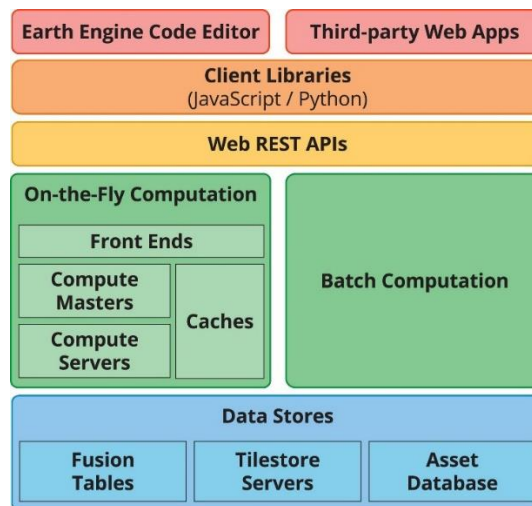
Το κομμάτι που αφορά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αναλύεται στο κεφάλαιο 3.4.

Η υπολογιστική ισχύς και το πώς αυτή χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των απαιτητικών γεωχωρικών δεδομένων αποτελεί σημαντικό κομμάτι της πλατφόρμας.

3.2.1 Αρχιτεκτονική του συστήματος

Η Earth Engine έχει κτιστεί πάνω σε μία συλλογή από εφαρμοσμένες τεχνολογίες, οι οποίες είναι διαθέσιμες στο περιβάλλον ανάπτυξης της Google. Ανάμεσα στις τεχνολογίες που συμβάλουν στην ομαλή λειτουργία της πλατφόρμας είναι η Google Fusion Table, μια διαδικτυακή βάση δεδομένων η οποία υποστηρίζει πίνακες γεωμετρικών δεδομένων (σημεία, γραμμές και πολύγωνα) με τα χαρακτηριστικά τους. Αποτελεί τη μέθοδο εισόδου εξωτερικών δεδομένων γεωμετρικού τύπου, τα οποία μπορούν να είναι διαθέσιμα τοπικά αλλά και διαδικτυακά. Πρακτικά, για την εισαγωγή οποιουδήποτε δεδομένου τύπου *vector*, θα πρέπει να γίνεται μέσα από τη Fusion Table.

Στη παρακάτω γραφική αναπαράσταση, εμφανίζεται η απλοποιημένη αρχιτεκτονική της πλατφόρμας. Ο Earth Engine Editor καθώς και οι εξωτερικές εφαρμογές χρησιμοποιούν τις προγραμματιστικές βιβλιοθήκες (JavaScript και Python). Μέσω των βιβλιοθηκών αυτών, στέλνονται ερωτήματα (queries) σε διαδικτυακές πλατφόρμες REST APIs. Το REST API βοηθάει στην μεταβίβαση της πληροφορίας ως προγραμματιστικό 'αντικείμενο' και ταυτόχρονα προσδίδει μία χαρακτηριστική διεύθυνση HTTP (URIs), με αποτέλεσμα να καθιστά δυνατή τη διαχείριση της πληροφορίας από τα κατάλληλα υπολογιστικά συστήματα Νέφους. Η επεξεργασία της πληροφορίας εκτελείται από δύο διαφορετικά υποσυστήματα. Το πρώτο αναλαμβάνει να μοιράσει το φόρτο επεξεργασίας στους Front End servers, οι οποίοι αναλαμβάνουν την επεξεργασία που απαιτεί μικρό υπολογιστικό φόρτο, ενώ προωθούν της πολύπλοκες επεξεργασίες στους Compute Masters. Οι Compute Masters με τη σειρά τους κατανέμουν την επεξεργασία σε μία υποδομή από υπολογιστικά συστήματα τύπου Server. Το σύστημα Batch λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο, αλλά χρησιμοποιεί FlumeJava για τη διαχείριση της διανομής των δεδομένων. Πίσω και από τα δύο υποσυστήματα επεξεργασίας, βρίσκεται μία συλλογή από υπηρεσίες διαχείρισης δεδομένων (Fusion Tables, Tilestore Servers, Asset Database).



Εικόνα 3 Περιγραφή της Αρχιτεκτονικής Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017)

Τα ερωτήματα στην Earth Engine βασίζονται στο *functional composition and evaluation*. Στην επιστήμη των υπολογιστών, *functional composition* είναι ο μηχανισμός που επιτρέπει το συνδυασμό απλών συναρτήσεων για τη δημιουργία πιο περίπλοκων. Ο χρήστης κατασκευάζει τα ερωτήματα του συνδυάζοντας πάνω από 800 συναρτήσεις που βρίσκονται αποθηκευμένες στις βιβλιοθήκες της Earth Engine. Αυτές οι συναρτήσεις ποικίλουν σε πολυπλοκότητα από απλές μαθηματικές συναρτήσεις μέχρι ισχυρές γεωστατιστικές, machine learning και image processing διεργασίες.

```
var Image = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2')
  .filterDate(2017-07-01, 2018-07-01)
  .filterBounds(ee.Geometry.Point(24.018, 35.516))
  .sort('system:time_start',false)
  .first();

Map.addLayer(ee.Image(Image),
  {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], gamma: 1.5, min:500, max :3000},
  ,dateImage.cat('RGB').getInfo());
```

Εικόνα 4 Παράδειγμα κώδικα με *functional composition*

3.2.2 Μοντέλα διανομής πληροφορίας

Οι συναρτήσεις στις βιβλιοθήκες της Earth Engine διαχειρίζονται αρκετά μοντέλα διανομής της πληροφορίας για να επιτευχθούν οι υψηλές επιδόσεις που χαρακτηρίζουν τη πλατφόρμα. Κάθε ένα από αυτά τα μοντέλα έχει σχεδιαστεί για να ανταποκρίνεται σε δεδομένα με διαφορετικές μορφές εισαγωγής.

Image Tiling

Στην Τηλεπισκόπηση, πολλές διεργασίες επεξεργασίας δεδομένων τύπου Raster πραγματοποιούνται τοπικά, στο υπολογιστικό σύστημα του αναλυτή. Ο υπολογισμός ενός οποιαδήποτε εικονοστοιχείου, βασίζεται μόνο στα εικονοστοιχεία, τα οποία βρίσκονται σε ορισμένη απόσταση γύρω από αυτό. *Tiling* αποτελεί μια μέθοδο, η οποία μας επιτρέπει να επεξεργαστούμε και να εμφανίσουμε εικόνες με πολύ μεγάλο μέγεθος, κάτι που καθιστά πολύ δύσκολη την εμφάνισή τους από συμβατικές υπολογιστικές μονάδες (*Image Tiling*, 2005). Πρακτικά, η εικόνα παρά το μέγεθος της, χωρίζεται σε πολλά μικρότερα, πιο εύκολα διαχειρίσιμα πλακίδια εικόνας. Τα μικρότερα αυτά κομμάτια, ψηφίδες, είναι εύκολο να επεξεργαστούν παράλληλα και να υπολογιστεί κάθε ένα από αυτά ανεξάρτητα. Οι περισσότερες διεργασίες στην Earth Engine έχουν συνήθως διαστάσεις 256 x 256 εικονοστοιχεία. Αν για παράδειγμα θέλουμε να υπολογίσουμε τη μέση τιμή μιας ολόκληρης εικόνας, μπορούμε να υποδιαιρέσουμε την εικόνα, να υπολογίσουμε τα αθροίσματα και να μετρήσουμε το πλήθος παράλληλα σε κάθε ένα από τα διαιρεμένα κομμάτια. Τέλος, αθροίζουμε τα επιμέρους αθροίσματα και διαιρούμε με τα πλήη που προκύπτουν, έτσι ώστε να υπολογίσουμε το τελικό επιθυμητό αποτέλεσμα.

Spatial Aggregation

Όλη αυτή η υπολογιστική διαδικασία στην Earth Engine πραγματοποιείται με κατανεμημένες επεξεργασίες, χρησιμοποιώντας Spatial Aggregation (χωρική συνάθροιση). Η χωρική περιοχή στην οποία η συνάθροιση εκτελείται, χωρίζεται σε υποπεριοχές στις οποίες ανατίθεται μια υπολογιστική μονάδα από ένα σύνολο servers. Κάθε υπολογιστική μονάδα με τη σειρά της, υπολογίζει τα εικονοστοιχεία που είναι απαραίτητα και τρέχει την απαραίτητη αθροιστική διαδικασία υπολογισμού των επιμέρους αποτελεσμάτων. Τέλος τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται, συνδυάζονται και μετατρέπονται στη τελική τους μορφή. Για τη συγκεκριμένη υπολογιστική διαδικασία, ο χρήστης δεν χρειάζεται να έχει κάποιο υπόβαθρο, αλλά να εισάγει τη γεωδαιτική προβολή, την ανάλυση και τη χωρική περιοχή. Με αυτά τα δεδομένα προσδιορίζεται το πλέγμα στο οποίο θα γίνει η διαίρεση των υποπεριοχών. Συνήθως το μέγεθος των περιοχών είναι 1024 x 1024 εικονοστοιχεία.

Streaming Collection

Μια συνήθης διεργασία κατά την επεξεργασία μεγάλων dataset, είναι η ανάλυση χρονοσειρών. Οι ίδιες στατιστικές αθροιστικές διαδικασίες που εφαρμόζονται χωρικά, μπορούν να εφαρμοστούν στις εικόνες μίας συλλογής, με σκοπό να υπολογιστούν τα στατιστικά ανά εικονοστοιχείο σε μία ομάδα εικόνων μέσα σε ορισμένο χρονικό πλαίσιο. Οι

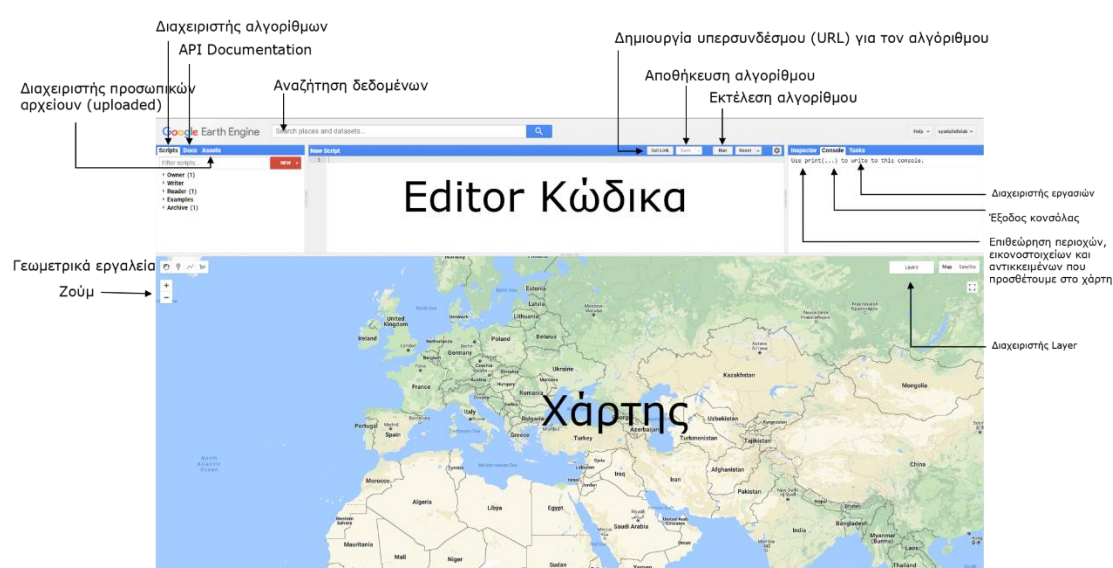
διεργασίες αυτές πραγματοποιούνται με τη διαδικασία του Tiling και της χωρικής συνάθροισης.

Caching και common sub-expression elimination

Πολλές από τις διεργασίες του Earth Engine μπορεί να είναι υπολογιστικά δαπανηρές, με δεδομένα μεγάλου μεγέθους. Έτσι κάθε αποφυγή περιττών υπολογισμών βελτιστοποιεί τον υπολογιστικό χρόνο. Για παράδειγμα, το να βλέπει ο χρήστης κάποια αποτελέσματα στον χάρτη, μπορεί να ενεργοποιήσει πολλαπλά ανεξάρτητα ερωτήματα, για την επεξεργασία πλακιδίων δεδομένων, τα οποία με τη σειρά τους να απαιτούν έναν ή περισσότερους υπολογισμούς. Για την αποφυγή του επανα-υπολογισμού τιμών που έχουν ξαναζητηθεί, αποτελέσματα που προκύπτουν από δαπανηρές υπολογιστικά διαδικασίες, αποθηκεύονται σε προσωρινή κρυφή μνήμη cache (Gorelick *et al.*, 2017).

3.2.3 Google Earth Engine Code Editor

Όλα τα παραπάνω, αποτελούν τις τεχνολογίες που εκμεταλλεύεται η Earth Engine και την καθιστούν από τις πλέον καινοτόμες Cloud GIS πλατφόρμες. Η πλήρης κατανόηση τόσο των τεχνολογιών αυτών, όσο και το πως συμπεριφέρεται και επεξεργάζεται τη πληροφορία η πλατφόρμα, συνίσταται να είναι κομμάτι της μελέτης του αναλυτή. Η κατανόηση με τη σειρά της, επιτρέπει τη πλήρη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων της Earth Engine. Η διεπαφή αποτελείται από ένα βασικό προγραμματιστικό περιβάλλον που φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 5 Περιγραφή Google Earth Engine Editor αλγορίθμων

Ο editor που εμφανίζεται στην Εικόνα 3, προσφέρει στον αναλυτή πλήθος χαρακτηριστικών για να εκμεταλλευτεί το Google Earth API. Το συγκεκριμένο API προσφέρει editor για χρήση της γλώσσας προγραμματισμού JavaScript, ενώ υπάρχει ο αντίστοιχος για τη Python. Για την παρούσα διπλωματική εργασία η ανάπτυξη όλων των αλγορίθμων, έγινε σε JavaScript.

Από τα αριστερά προς τα δεξιά τα πιο χαρακτηριστικά εργαλεία που εμφανίζονται είναι:

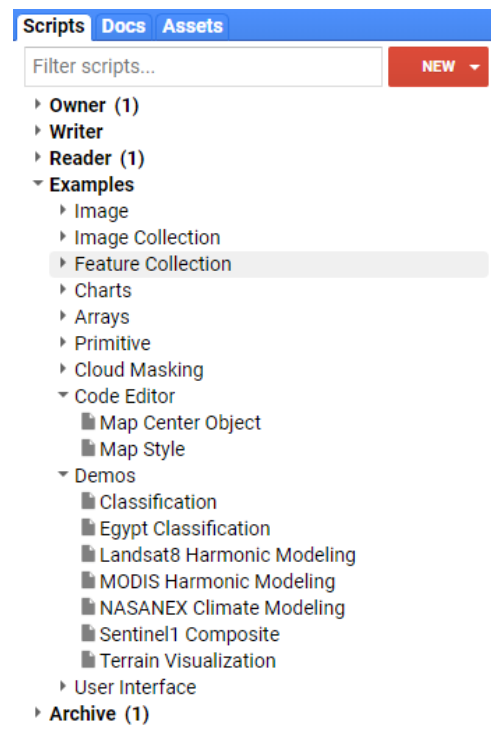
Script: Σε αυτή τη περιοχή βρίσκονται αποθηκευμένοι όλοι οι αλγόριθμοι. Η διαχείριση των αρχείων πηγαίου κώδικα, γίνεται με το εργαλείο Git, μία ανοικτή πλατφόρμα που φιλοξενείται στην Google Earth Engine. Ο χρήστης έχει το προσωπικό του repository, αλλά ταυτόχρονα του παρέχεται πρόσβαση σε μια συλλογή από δημόσιους αλγορίθμους επίδειξης, έτσι ώστε να τον βοηθήσουν στα πρώτα του αλγοριθμικά βήματα μέσα στην Earth Engine.

Docs: Ο χρήστης από τη καρτέλα αυτή, έχει πρόσβαση στο Documentation της εφαρμογής. Δεν αποτελεί κάποιο αναλυτικό εγχειρίδιο, όμως περιλαμβάνει το σύνολο των συναρτήσεων, καθώς και τα ορίσματα και το τύπο αυτών που απαιτεί η κάθε μία.

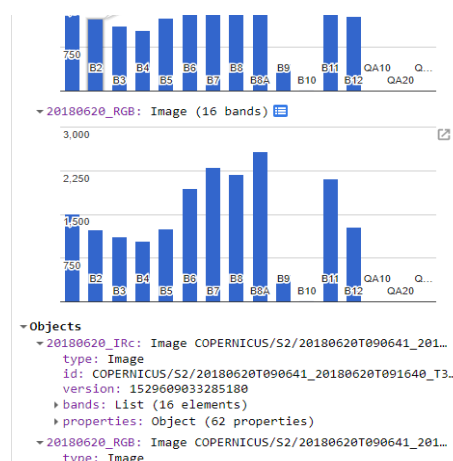
Assets: Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μεταφορτώσει τα δικά του αρχεία μέσα στην εφαρμογή. Στην καρτέλα Assets, τα βρίσκουμε όλα συγκεντρωμένα εκεί, ενώ ταυτόχρονα μπορούμε να επιλέξουμε και την εισαγωγή νέων.

Search places and datasets: Το πλαίσιο της αναζήτησης δεδομένων. Μπορούμε να αναζητήσουμε δεδομένα από τη βάση δεδομένων της Earth Engine και να τα χρησιμοποιήσουμε στους αλγόριθμους που αναπτύσσονται.

Script Editor: Η περιοχή ανάπτυξης των αλγορίθμων. Από το πάνω μέρος και την επιλογή **Get Link** δημιουργείται μία διεύθυνση URL που αναφέρεται στον αλγόριθμο. Η διεύθυνση αυτή



Εικόνα 6 Η περιοχή πρόσβασης του χρήστη για το Git, το Documentation και τα αρχεία του χρήστη που έχουν μεταφορτωθεί



Εικόνα 7 Περιοχή του Inspector, της Κονσόλας και της καρτέλα Task

μπορεί να διαμοιραστεί σε οποιονδήποτε έχει πρόσβαση στην εφαρμογή. Η επιλογή **Run** εκτελεί τον αλγόριθμο, η **Reset** σταματάει τη διαδικασία μεταγλώττισης και διανομής της επεξεργασίας στα κατανεμημένα συστήματα και δίνεται και η επιλογή καθαρισμού της περιοχής του αλγορίθμου. **Inspector:** Μας δίνει τη δυνατότητα να εξετάσουμε τα εικονοστοιχεία ως προς τις τιμές που τα χαρακτηρίζουν, τα αντικείμενα ή περιοχές που έχουμε εισάγει στο χάρτη. Ο κέρσοντας μετατρέπεται σε σταυρόνημα ο οποίος μας επιτρέπει την επιλογή ενός σημείου στο χάρτη. Βάση του τι έχει απεικονιστεί στο χάρτη, εμφανίζει στη περιοχή του Inspector χαρακτηριστικές τιμές για το επιλεγμένο σημείο ή εικονοστοιχείο.

Console: Πέρα από το χάρτη, έξοδο πληροφορίας μπορεί να έχει ο χρήστης και στην κονσόλα, με τη εισαγωγή της εντολής `print` στο αλγόριθμο του.

Tasks: Στην καρτέλα αυτή, εμφανίζονται διαδικασίες που ορίζονται μέσα από τον αλγόριθμο που αναπτύξαμε και είναι στον έλεγχο του χρήστη προς εφαρμογή. Για παράδειγμα, αν ο χρήστης αναπτύξει αλγόριθμο που θα μεταφορτώνει μία δορυφορική εικόνα από τη βάση δεδομένων της εφαρμογής, τοπικά στο υπολογιστή του χρήστη, το κουμπί που θα εκκινεί τη διαδικασία θα εμφανιστεί στη καρτέλα Tasks.

Περιοχή Χάρτη: Στη περιοχή του χάρτη μπορούμε να εμφανίσουμε τα χωρικά δεδομένα που χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος μας. Πέρα από αυτό μας προσφέρει κάποια βασικά διαχειριστικά εργαλεία. Από τα **Γεωμετρικά εργαλεία** μας δίνεται η δυνατότητα να εισάγουμε στο χάρτη σημεία, ευθείες ή πολύγωνα. Κάθε γεωμετρία που εισάγουμε δημιουργεί και ένα αντίστοιχο layer στο χάρτη. **Layer** ή διαχειριστής layer είναι η περιοχή που ο χρήστης μπορεί να εμφανίσει ή να αποκρύψει τα layer που έχει εισάγει. Ακόμη δίδονται βασικές επιλογές διαχείρισης της εικόνας, όπως τα ποια κανάλια θέλει να εμφανίσει ο χρήστης, το εύρος των τιμών του γκρι των εικονοστοιχείων ή το ποσοστό διαφάνειας της εικόνας.

20180620_RGB visualization parameters

☐ 1 band (Grayscale) ☒ 3 bands (RGB)

B4 B3 B2

Range

500 - 3000 Custom

Opacity

1.00

☒ Gamma ☐ Palette

1.50

Import Apply Close

Εικόνα 8 Μενού παραμετροποίησης καναλιών δορυφορικής εικόνας

3.3 Εφαρμογές Cloud GIS

Με την άνθηση του *Cloud computing* τα τελευταία χρόνια, το πλήθος των εφαρμογών που πραγματοποιούνται σε πλατφόρμες Cloud GIS ολοένα και πληθαίνουν. Οι εφαρμογές καλύπτουν μεγάλο εύρος επιστημονικών κλάδων και έχουν πραγματοποιηθεί σε πολλές διαφορετικές πλατφόρμες.

Από τις πρώτες εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν στην Earth Engine ήταν από τους (Hansen *et al.*, 2013), όπου χαρακτηρίστηκε η έκταση, η απώλεια και η αύξηση της εδαφικής κάλυψης από το 2000 μέχρι το 2012. Χρησιμοποιώντας decision trees υπολογισμένα από ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης και μια βαθιά συστοιχία μετρήσεων που υπολογίστηκαν από εικόνες Landsat. Από τις 13 εκ. εικόνες Landsat που ήταν διαθέσιμες την εποχή εκείνη, χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία φιλτραρίσματος της εφαρμογής, για να καταλήξουν σε 654178 εικόνες καλλιεργητικής περιόδου. Μέσα από την Earth Engine τα ακατέργαστα δεδομένα Landsat μετατράπηκαν σε κανονικοποιημένα TOA ανάκλασης δεδομένα, με τη εφαρμογή масκών για σύννεφα, τις σκιάσεις αυτών και του νερού. Με τη χρήση των συναρτήσεων του API υπολογίστηκαν οι μετρήσεις εισόδου, όπως το ποσοστό της γραμμικής παλινδρόμησης της ανάκλασης σε σχέση με την ημερομηνία της εικόνας. Οι μετρήσεις αυτές, μαζί με τα δεδομένα εκπαίδευσης χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των decision trees, εφαρμόστηκαν στις μετρήσεις παγκοσμίως για την παραγωγή των τελικών δεδομένων. Τα αποτελέσματα δημοσιοποιήθηκαν και αποτελούν κομμάτι του καταλόγου της Earth Engine για περαιτέρω ανάλυση.

Πέρα από μεμονωμένες μελέτες και εφαρμογές, η Earth Engine έχει ενσωματωθεί σε αρκετές εφαρμογές τρίτων. Η εφαρμογή Collect Earth (Collect Earth, 2016), που αναπτύχθηκε από τον Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO), χρησιμοποιεί το Google Earth καθώς και την Earth Engine για να εκτιμήσει σε παγκόσμια κλίμακα τη χρήση γης, τις αλλαγές στις χρήσεις αυτής, με σκοπό να ενισχύσει τη προσπάθεια μετρίασης της εκπομπής των αερίων θερμοκηπίου.

Αναλύσεις και επεξεργασία χωρικών δεδομένων σε υπηρεσίες Νέφους, δεν πραγματοποιούνται μόνο από την Earth Engine. Το Rasdaman (raster data manager) (Baumann, 2014) είναι ένα πρόγραμμα διαχείρισης βάσεων δεδομένων, που εξειδικεύεται στην αποθήκευση και την ανάκτηση μεγάλων πολυδιάστατων πινάκων, όπως για παράδειγμα εικόνες, δεδομένα αισθητήρων και στατιστικά δεδομένα. Έχει αποτελέσει τον πυρήνα αρκετών προγραμμάτων ανοικτής πρόσβασης, με ένα από το πιο χαρακτηριστικά να είναι η πλατφόρμα EarthServer. Η λειτουργία της EarthServer ως λογική είναι αρκετά

κοντινή με της EarthEngine. Χρησιμοποιεί τεχνικές παράλληλης επεξεργασίας ερωτημάτων (queries), τα οποία διαμοιράζονται σε ένα πλήθος από υπολογιστικές μονάδες. Χρησιμοποιώντας το Rasdaman και την υποδομή Νέφους της Amazon Elastic Cloud, επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση της μεταφοράς δεδομένων ανάμεσα στις υπολογιστικές μονάδες της υποδομής και ταυτόχρονα να μεγιστοποιείται η παράλληλη επεξεργασία της πληροφορίας. Τα αποτελέσματα, μπορούν να απεικονιστούν μέσα από τον 3D client ή από την εφαρμογή κινητού τηλεφώνου EarthServer SG mobile. Με βάση την EarthServer, έχουν αναπτυχθεί διάφορες εφαρμογές για να διερευνηθούν οι δυνατότητες της. Οι έξι πιο χαρακτηριστικές είναι: Marine service, Geology Service, Atmospheric service, Cryospheric service, Planetary service και Secure intercontinental access (Baumann *et al.*, 2016).

Άλλη μία εφαρμογή στηριζόμενη στο Rasdaman και εμπνευσμένη από την EarthServer είναι το σύστημα RemoteAgri (Karantzalos, Karmas and Tzotsos, 2017). Αποτελεί ένα ανοικτό σύστημα ανάλυσης δεδομένων Τηλεπισκόπησης στο διαδίκτυο με εφαρμογές στη γεωργία ακριβείας (Karmas, 2014).

Το Hadoop είναι ένα ανοικτό πλαίσιο λογισμικού, για κατανεμημένη αποθήκευση και κατανεμημένη επεξεργασία πολύ μεγάλου όγκου δεδομένων, σε συστοιχία υπολογιστικών συστημάτων αποτελούμενα από εμπορικές υπολογιστικές μονάδες. Το Hadoop αποτελείται από το Hadoop Common, το Hadoop Distributed File System, το Hadoop YARN και το Hadoop Map Reduce. Το Hadoop Common αναφέρεται στο σύνολο των βοηθητικών προγραμμάτων και βιβλιοθηκών που υποστηρίζουν τα υπόλοιπα υποσυστήματα του πλαισίου. Το Hadoop Distributed File System είναι μία εφαρμογή ανοικτού λογισμικού, στηριζόμενη στο Google File System και είναι υπεύθυνο για τη διανομή των δεδομένων στα υφιστάμενα υπολογιστικά συστήματα. Το Hadoop YARN αναλαμβάνει την ανάθεση της επεξεργασίας σε κάθε υπολογιστικό κόμβο, καθώς και τον προγραμματισμό της εκτέλεσης αυτών σε κάθε κόμβο. Το Hadoop MapReduce (*MapReduce*, 2018), εξυπηρετεί δύο βασικές λειτουργίες, φιλτράρει και προωθεί την επεξεργασία στους διάφορους κόμβους, ενώ οργανώνει και μειώνει (π.χ. για μία εικόνα, μειώνεται σε επίπεδο του ενός εικονοστοιχείου) την πληροφορία με στόχο να απαντηθεί ενιαία ένα ερώτημα (query) (Verma, 2016).

Το πλαίσιο Hadoop, έχει εφαρμοσθεί σε πολλές IaaS υπηρεσίες ανοικτής πρόσβασης(π.χ. Amazon Web Services/Microsoft Azure), αλλά και σε ιδιωτικές IaaS (π.χ. ερευνητικά κέντρα). Για παράδειγμα, εφαρμόστηκε στην υπολογιστική υποδομή του Environmental Studies Center, University of Qatar (Almeer, 2012) για να δοκιμαστούν οι ικανότητες διαχείρισης εικόνων TIFF, σε πλήθος εφαρμογών Τηλεπισκόπησης. Οι (Zhenhua *et al.*,

2010), ανέπτυξαν ένα αλγόριθμο K-μέσων τιμών για να αξιολογήσουν τις επιδόσεις του συστήματος τους. Η εφαρμογή του Hadoop και MapReduce έγινε σε ένα εμπορικό πολυπύρρηνο υπολογιστικό σύστημα.

3.4 Sentinel 2

Στην πλατφόρμα του Google Earth Engine υπάρχουν αρκετές συλλογές δεδομένων στη διάθεση της κοινότητας. Μερικές από τις διαθέσιμες συλλογές είναι (*Earth Engine Datasets*, 2018):

- Landsat
- Sentinel 1 SAR GRD
- Sentinel 2 MSI
- Sentinel 3 OLCI EFR
- MODIS
- ASTER Global Digital Elevation Map

Sentinel 2

Η Ευρωπαϊκή Εταιρία Διαστήματος - European Space Agency (ESA) σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Ένωση, διευθύνει το πρόγραμμα Copernicus. Το Copernicus αποτελεί το μεγαλύτερο ενιαίο πρόγραμμα δορυφορικής παρατήρησης στον κόσμο. Σκοπός του προγράμματος είναι η προσφορά δεδομένων από δορυφόρους, επίγεια, εναέρια και θαλάσσια συστήματα μετρήσεων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν από διάφορες υπηρεσίες, δημόσιες αρχές ή παγκόσμιους οργανισμούς. Αυτές οι υπηρεσίες πληροφοριών προσφέρονται ανοικτά και δωρεάν στους χρήστες του προγράμματος.

Το πρόγραμμα Copernicus εξυπηρετείται από την ομάδα δορυφόρων Sentinel, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να ικανοποιούν τις ανάγκες του προγράμματος και των χρηστών του. Ο πρώτος δορυφόρος, Sentinel 1, εκτοξεύθηκε σε τροχιά το 2014 και στο σύνολο του προγράμματος Copernicus θα υπάρχει ο σχηματισμός σχεδόν 20 ακόμη δορυφόρων μέχρι το 2030. Κάθε αποστολή Sentinel έχει σχεδιαστεί να αποτελείται από σχηματισμό δύο δορυφόρων για να ικανοποιούν τις ανάγκες κάλυψης και περιόδους επαναληψιμότητας. Οι αποστολές αυτές θα φέρουν εύρος τεχνολογιών για την παρακολούθηση της Γης, ωκεανών και της ατμόσφαιρας. Οι προγραμματισμένες αποστολές είναι:

- Sentinel 1
- Sentinel 2
- Sentinel 3
- Sentinel 5P

- Sentinel 4
- Sentinel 5
- Sentinel 6

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήσαμε δορυφορικά δεδομένα από το ζεύγος δορυφόρων Sentinel 2A και Sentinel 2B.

Η πλήρης αποστολή Sentinel 2 αποτελείται από δύο δορυφόρους στην ίδια τροχιά αντιδιαμετρικά ο ένας από τον άλλο, με σκοπό την επίτευξη υψηλής περιόδου επαναληψιμότητας, της τάξης των 5 ημερών στον Ισημερινό.

Οι δορυφόροι φέρουν εξοπλισμό ικανό να δειγματοληπτεί σε 13 φασματικές ζώνες καταγραφής. Από το σύνολο των καναλιών, τα τέσσερα από αυτά έχουν χωρική ανάλυση 10 m, έξι κανάλια στα 20 m και 3 κανάλια στα 60 m. Η τροχιακή ζώνη σάρωσης των δορυφόρων έχει πλάτος 290 km. (ESA, 2015)

Κάθε ένας από τους δορυφόρους της αποστολής Sentinel 2 έχει σχεδιαστεί να φέρει έναν παθητικό αισθητήρα, τον MSI (Multi-Spectral Instrument). Ο σχεδιασμός του συγκεκριμένου αισθητήρα ικανοποιεί την ανάγκη για υψηλή γεωμετρική ζώνη σάρωσης και ταυτόχρονα υψηλή ραδιομετρική απόδοση των μετρήσεων. Σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στη Γαλλία από την Airbus Defence and Space, και βασίζεται στη “σάρωση κατά μήκος” (push-broom). Ο MSI μετράει την ανακλώμενη ακτινοβολία της Γης σε 13 ραδιομετρικά κανάλια από το VNIR (Visible and Near-InfraRed) μέχρι και το SWIR (Short Wave InfraRed). Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα κανάλια για το ζεύγος των δορυφόρων Sentinel 2 (*MultiSpectral Instrument (MSI) Overview*, 2018).

| | S2A | | S2B | | |
|-------------|-------------------------|----------------|-------------------------|----------------|------------------------|
| Band Number | Central wavelength (nm) | Bandwidth (nm) | Central wavelength (nm) | Bandwidth (nm) | Spatial resolution (m) |
| 1 | 443.9 | 27 | 442.3 | 45 | 60 |
| 2 | 496.6 | 98 | 492.1 | 98 | 10 |
| 3 | 560.0 | 45 | 559 | 46 | 10 |

| | | | | | |
|----|--------|-----|--------|-----|----|
| 4 | 664.5 | 38 | 665 | 39 | 10 |
| 5 | 703.9 | 19 | 703.8 | 20 | 20 |
| 6 | 740.2 | 18 | 739.1 | 18 | 20 |
| 7 | 782.5 | 28 | 779.7 | 28 | 20 |
| 8 | 835.1 | 145 | 833 | 133 | 10 |
| 8a | 864.8 | 33 | 864 | 32 | 20 |
| 9 | 945.0 | 26 | 943.2 | 27 | 60 |
| 10 | 1373.5 | 75 | 1376.9 | 76 | 60 |
| 11 | 1613.7 | 143 | 1610.4 | 141 | 20 |
| 12 | 2202.4 | 242 | 2185.7 | 238 | 20 |

3.4.1 Προϊόντα και αλγόριθμοι Sentinel 2

Τα προϊόντα της αποστολής αναλύονται σε διάφορα επίπεδα ανάλογα με την επεξεργασία και τις διορθώσεις που τους εφαρμόζονται (*Products and Algorithms*, 2018).

Level-0 Αποτελούν τα συμπιεσμένα ακατέργαστα δεδομένα. Περιέχουν όλη τη πληροφορία που είναι απαραίτητη για να προκύψουν τα δεδομένα των επόμενων επιπέδων.

Level-1A Αποτελούν ασυμπίεστα ακατέργαστα δεδομένα με πρόχειρη την ανάθεση των ραδιομετρικών καναλιών και των βοηθητικών επισυναπτόμενων δεδομένων.

Level-1B Αποτελούν τα ραδιομετρικά διορθωμένα δεδομένα. Το φυσικό γεωμετρικό μοντέλο διορθώνεται, χρησιμοποιώντας ήδη υπάρχοντα σημεία ελέγχου εδάφους και επισυνάπτεται στα δεδομένα χωρίς να εφαρμόζεται.

Τα παραπάνω δεδομένα (Level-0, Level 1A, Level 1B), δεν βρίσκονται στη διάθεση των χρηστών.

Level-1C Τα προϊόντα παρέχουν ορθοαναχθέντα πάνω από την ατμόσφαιρική ανάκλαση (Top-Of-Atmosphere reflectance), με sub-pixel πολυκάναλη εγγραφή. Οι μάσκες νεφών και γης/νερού συμπεριλαμβάνονται στα προϊόντα.

Level-2A Τα προϊόντα παρέχουν ορθοαναχθέντα κάτω από την ατμόσφαιρα ανάκλαση (Bottom-Of-Atmosphere reflectance), με sub-pixel πολυκάναλη εγγραφή. Στα προϊόντα περιλαμβάνεται και χάρτης ταξινόμησης σκηνών (Scene Classification map για νέφη, σκιές νεφών, βλάστηση, έδαφος/έρημος, νερό, χιόνι κλπ.).

Τα προϊόντα των επιπέδων Level-1C και Level-2A είναι διαθέσιμα στους χρήστες μέσα από το Copernicus Open Access Hub.

3.4.2 Προϊόντα Sentinel στη πλατφόρμα Google Earth Engine

Όπως προαναφέρθηκε τα δεδομένα Sentinel που είναι διαθέσιμα είναι τα Sentinel-1 SAR GRD, Sentinel-2 MSI, Sentinel-3 OLCI EFR. Τα δεδομένα είναι δεδομένα που είναι διαθέσιμα μέσα από τη πλατφόρμα περιέχουν 13 UINT16 ραδιομετρικά κανάλια τα οποία αντιπροσωπεύουν TOA ανακλαστικότητα κλιμακούμενη από 0 έως 10000. Συμπληρωματικά, τρία κανάλια Quality Assessment (QA) είναι διαθέσιμα, από τα οποία ένα από αυτά (QA60) είναι bitmask κανάλι με πληροφορίες της μάσκας νεφών.

Κάθε προϊόν Sentinel-2 αποτελείται από πολλαπλά κομμάτια, με κάθε ένα από αυτά τα κομμάτια να μπορεί να γίνει ξεχωριστό στοιχείο της πλατφόρμας. Η ταυτοποίηση των στοιχείων στη GGE έχει τη μορφή:

COPERNICUS/S2/20151128T002653_20151128T102149_T56MNN

Το πρώτο μέρος αφορά την ώρα και την ημερομηνία ανίχνευσης, το δεύτερο μέρος την ώρα και ημερομηνία που δημιουργήθηκε το επεξεργασμένο προϊόν, ενώ το τελευταίο μέρος 6 χαρακτήρων είναι ένα μοναδικό στοιχείο που χαρακτηρίζει το σύστημα αναφοράς UTM (MGRS – Military Grid Reference System).

Κεφάλαιο 4

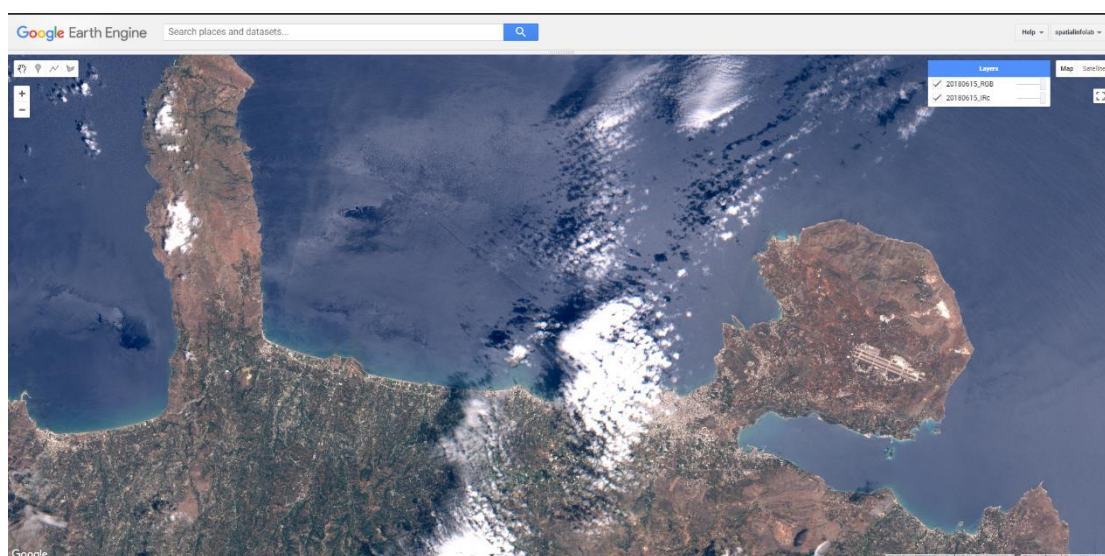
4.1 Ανάπτυξη εφαρμογών

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η ανάπτυξη αλγορίθμων στην πλατφόρμα του Google Earth Engine, για ποικίλες εφαρμογές Τηλεπισκόπησης. Το επίπεδο των εργαλείων που αναπτύχθηκαν κινούταν από πολύ απλές εφαρμογές, για παράδειγμα κώδικας εμφάνισης δορυφορικής εικόνας στη χάρτη, μέχρι και πιο σύνθετες, όπως ένα γραφικό περιβάλλον που μπορεί ο χρήστης να αλληλοεπιδρά με την πλατφόρμα.

4.1.1 Εφαρμογές προκαταρκτικής διερεύνησης εφαρμογής

Στο στάδιο διερεύνησης των δυνατοτήτων της πλατφόρμας, αναπτύχθηκαν κάποια βοηθητικά εργαλεία ή μικρότερες σε πολυπλοκότητα εφαρμογές.

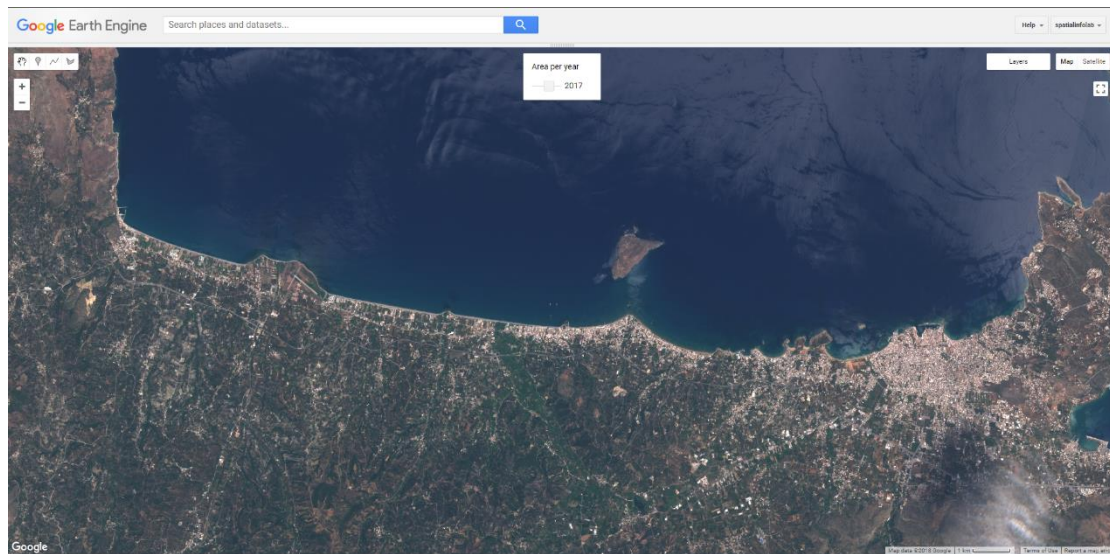
Μία από αυτές, με όνομα Last Sentinel 2 Image over Chania, βρίσκει την πιο πρόσφατη εικόνα Sentinel 2 από μία περιοχή επιλογής του χρήστη, στη περίπτωση μας στα Χανιά. Η εικόνα εμφανίζεται στο χάρτη του Earth Engine, σε συνδυασμό καναλιών RGB, και επιπρόσθετα του επιτρέπει να την αποθηκεύσει τοπικά στον υπολογιστή του.



Εικόνα 9 Το πρόγραμμα εμφανίζει την πιο πρόσφατη εικόνα πάνω από τη περιοχή ενδιαφέροντος και δημιουργεί στη κονσόλα σύνδεσμο για μεταφόρτωση αυτών

Ο επόμενος αλγόριθμος που αναπτύχθηκε, επιτρέπει στο χρήστη μέσα από τη χρήση ενός Slider, να εμφανίσει στο χάρτη δορυφορικές εικόνες από μία περιοχή σε διακριτές χρονικές στιγμές. Σέρνοντας τον Slider από τα αριστερά προς τα δεξιά, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την επιθυμητή χρονολογία, και να εμφανίσει στο χάρτη δορυφορική εικόνα. Έτσι, μας

επιτρέπει την εξέταση εικόνων από την αντίστοιχη χρονική περίοδο ενός έτους, σε κάθε έτος που επιλέγουμε μέσω του Slider.

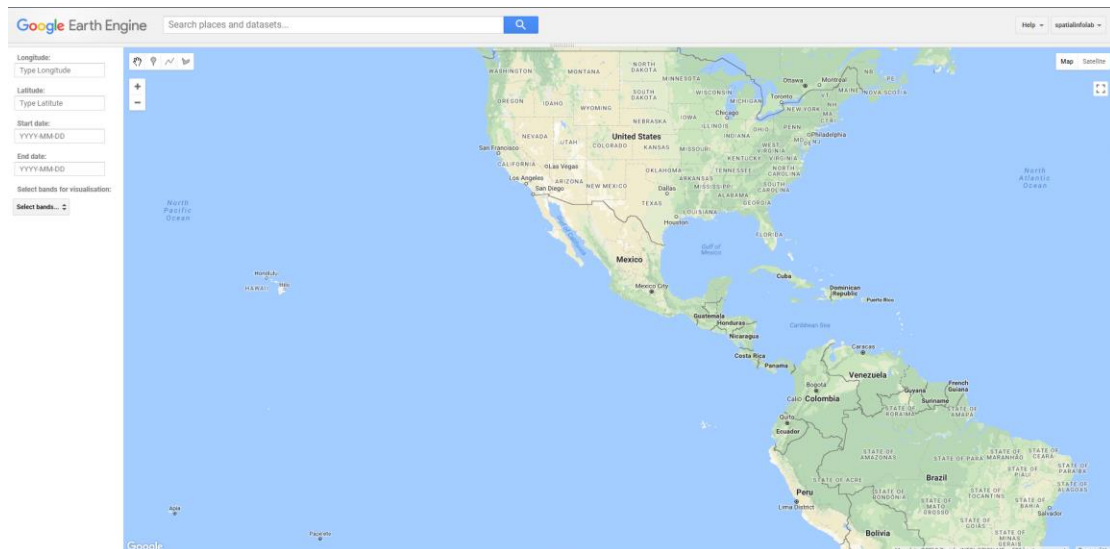


Εικόνα 10 Στο πάνω και κεντρικό μέρος της εικόνας βρίσκεται το Slider που μπορεί να με το ποντίκι να μεταβάλλει ο χρήστης. Εδώ εμφανίζεται η πιο κοντινή εικόνα στην ημερομηνία επιλογής, ενδεικτικά, 01-06-2017

4.1.2 Sentinel 2 Simple User Interface

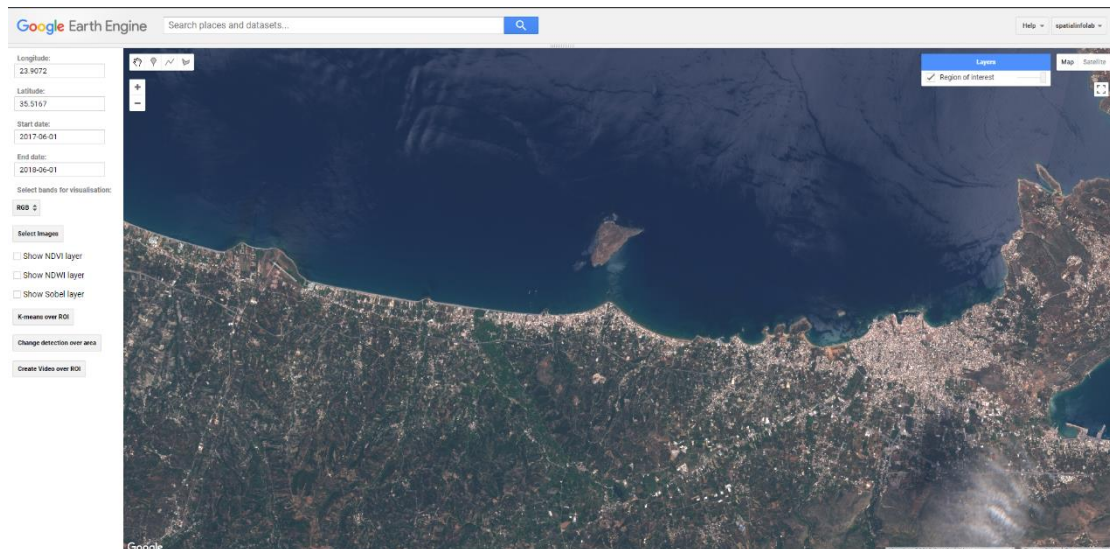
Η εφαρμογή αναπτύχθηκε έτσι ώστε να προσφέρει ένα φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον μέσα από το οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάποια από τα βασικά εργαλεία επεξεργασίας και ανάλυσης δορυφορικών εικόνων.

Αρχικά, κατασκευάστηκε το γραφικό περιβάλλον (graphical user interface). Ο χρήστης μπορεί να ξεκινήσει πατώντας στο πάνω μέρος της οθόνης του και στην επιλογή **Open settings**. Στο δεξί μέρος της οθόνης εμφανίζεται ένα πάνελ με τα εργαλεία που μπορεί να παραμετροποιήσει ο χρήστης. Ξεκινώντας, από τα πλαίσια **Longitude** και **Latitude**, εισάγουμε τη περιοχή ενδιαφέροντος με τη μορφή γεωγραφικού μήκους και πλάτους. Από τις επιλογές **Start date** και **End date** ο χρήστης εισάγει τις ημερομηνίες για της οποίες το πρόγραμμα θα εμφανίσει. Πατώντας στο επόμενο μενού - **Select Bands...** , επιλέγουμε τα διαθέσιμα κανάλια απεικόνισης των επιλεγμένων δορυφορικών εικόνων (μπορούμε να επιλέξουμε ανάμεσα σε **Red – Green - Blue** και **InfraRed – Red - Blue**).



Εικόνα 11 Αρχικό μενού επιλογής

Με τις παραπάνω επιλογές το πρόγραμμα δημιουργεί μία συλλογή (**dictionary**) με τις όλες τις δορυφορικές εικόνες που τηρούν τα κριτήρια που θέσαμε, στο συνδυασμό καναλιών της επιλογής μας. Οι εικόνες ταξινομούνται με αύξουσα σειρά ημερομηνίας, έτσι ο χρήστης βλέπει στην οθόνη την παλαιότερη εικόνα από το εύρος ημερομηνιών που τέθηκε. Πλέον στο πάνελ εμφανίζονται τα επόμενα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Από το κουμπί επιλογής **Select Images** εμφανίζεται στο δεξί μέρος του παραθύρου ένα νέο πάνελ, από το οποίο δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει συγκεκριμένες εικόνες προς επεξεργασία και απεικόνιση, μέσα πάντα από το επιλεγμένο εύρος ημερομηνιών. Από τα κουτιά **Show NDVI layer**, **Show NDWI layer**, **Show Sobel layer** δημιουργούνται **layers** με τις επονομαζόμενες επεξεργασίες. Από το κουμπί **K-means over ROI** ο χρήστης εφαρμόζει ταξινόμηση των εικονοστοιχείων βασισμένο στο ταξινομητή K-means. Το επόμενο κουμπί **Change detection over area** εμφανίζει στο χρήστη με χαρακτηριστικό χρώμα τις διαφορές ανάμεσα στη πρώτη και τη τελευταία εικόνα της συλλογής. Τέλος, το κουμπί **Create Video over ROI** δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει ένα βίντεο το οποίο αποτελείται από την ταξινομημένη συλλογή εικόνων (αύξουσα ταξινόμηση, νεότερη προς παλαιότερη εικόνα) που επέλεξε ο χρήστης και το αποθηκεύει σε τοποθεσία αποθήκευσης νέφους (**Cloud storage**).



Εικόνα 12 Πλήρες μενού με όλες τις επιλογές, εμφανίζεται αφού επιλεγθούν συντεταγμένες, χρονικό πλαίσιο και ποια κανάλια θα απεικονιστούν

Ανάπτυξη αλγορίθμου

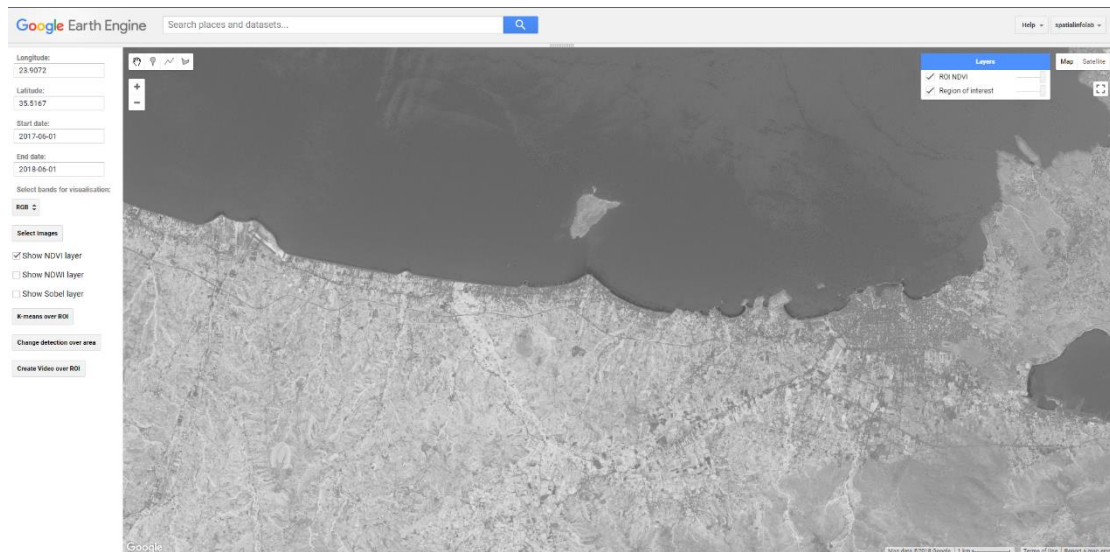
Αρχικά κατασκευάστηκαν οι συναρτήσεις εισόδου για το γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Στη συνέχεια, οι συναρτήσεις εισόδου ημερομηνία που επιλέχθηκαν να έχουν τη μορφή (yyyy-mm-dd – τέσσερα ψηφία στο έτος, δύο στο μήνα, δύο στην ημέρα). Για τη αρχική δημιουργία της συλλογής, επιλέγονται από μία λίστα τα κανάλια προς απεικόνιση (RGB - IRRB) που ορίστηκαν από τη κατασκευή του αλγορίθμου και μπορούν να εμπλουτιστούν για της ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής.

Με την επιλογή του σετ καναλιών δημιουργείται μία συλλογή από ταξινομημένες εικόνες στα χρονικά πλαίσια που επιλέχθηκαν. Αμέσως, δημιουργείται ένα **layer** (στρώση) το οποίο έχει ορισθεί να απεικονίζει τη παλαιότερη εικόνα από τη παραπάνω συλλογή. Η επόμενη συνάρτηση δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει επιλεκτικά μία συλλογή, ενώ με την επιλογή κάθε εικόνας γίνεται ταυτόχρονα άμεσα ανανέωση της συλλογής και επανεμφανίζονται στην οθόνη η επιλεγμένες εικόνες και εφαρμόζονται εκ νέου όποια επεξεργασία είχε εφαρμοσθεί.

Οι επόμενες συναρτήσεις αναπτύχθηκαν ενδεικτικά για να δείξουμε τις δυνατότητες της εφαρμογής και το πώς ανταποκρίνεται κατά την εκτέλεση βασικών διαδικασιών και εργαλείων της Τηλεπισκόπησης.

Show NDVI layer

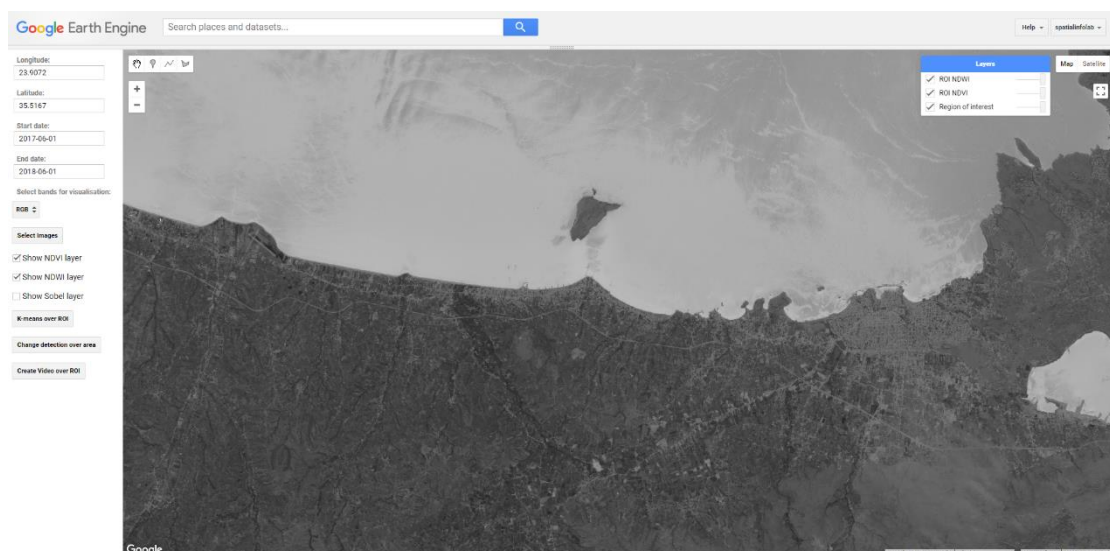
Πατώντας στο κουτάκι Show NDVI layer, εκτελείται η αντίστοιχη συνάρτηση που προγραμματίστηκε να δημιουργεί ένα layer το οποίο εμφανίζει το λόγο NDVI της τελευταίας (πιο πρόσφατη στα επιλεγμένα χρονικά πλαίσια) εικόνας της συλλογής.



Εικόνα 13 Εκτέλεση του NDVI και δημιουργία αντίστοιχου layer

Show NDWI layer

Αντίστοιχα με το παραπάνω κουτί ελέγχου, εκτελείται η κατάλληλη συνάρτηση η οποία δημιουργεί ένα layer που εμφανίζει τον λόγο NDWI της πιο πρόσφατης στα επιλεγμένα χρονικά πλαίσια εικόνας.

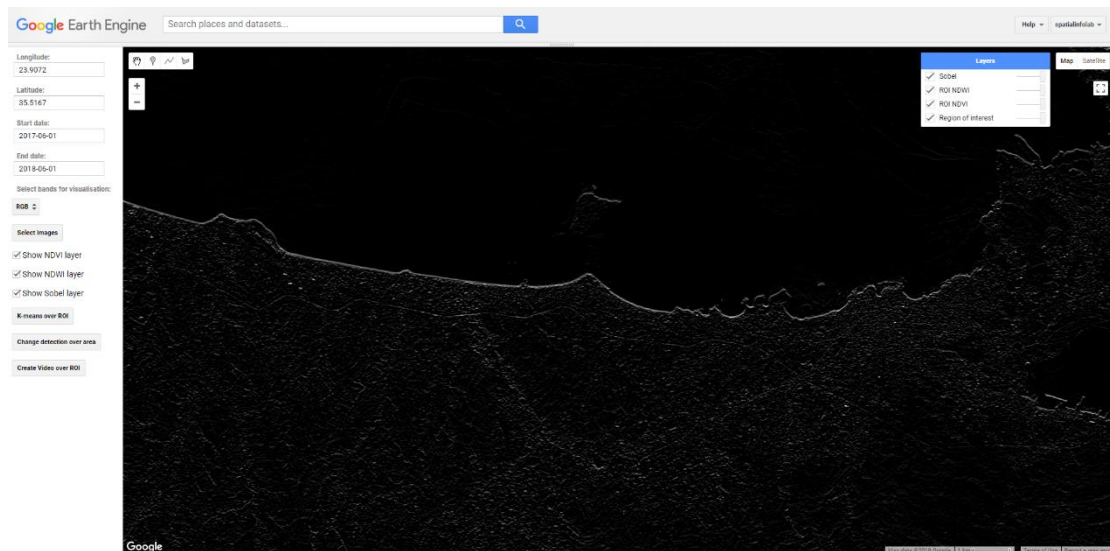


Εικόνα 14 Εκτέλεση του NDWI και δημιουργία του αντίστοιχου layer

Show Sobel layer

Με το πάτημα του συγκεκριμένου κουμπιού ελέγχου, μετασχηματίζεται η πιο πρόσφατη εικόνα με τη χρήση μια μάσκας Sobel. Η μάσκα έχει τη μορφή:

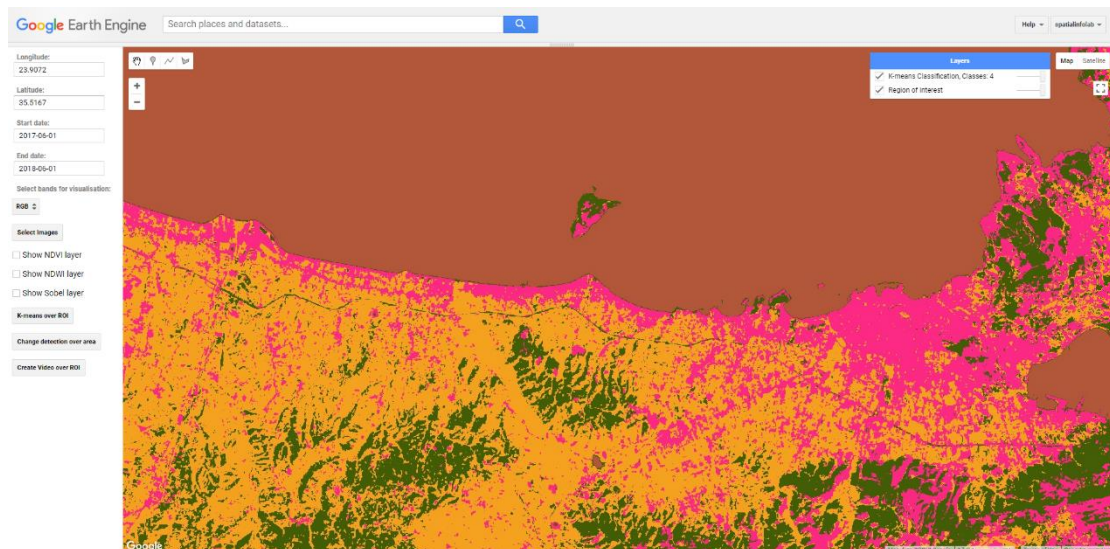
$$W_x = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$



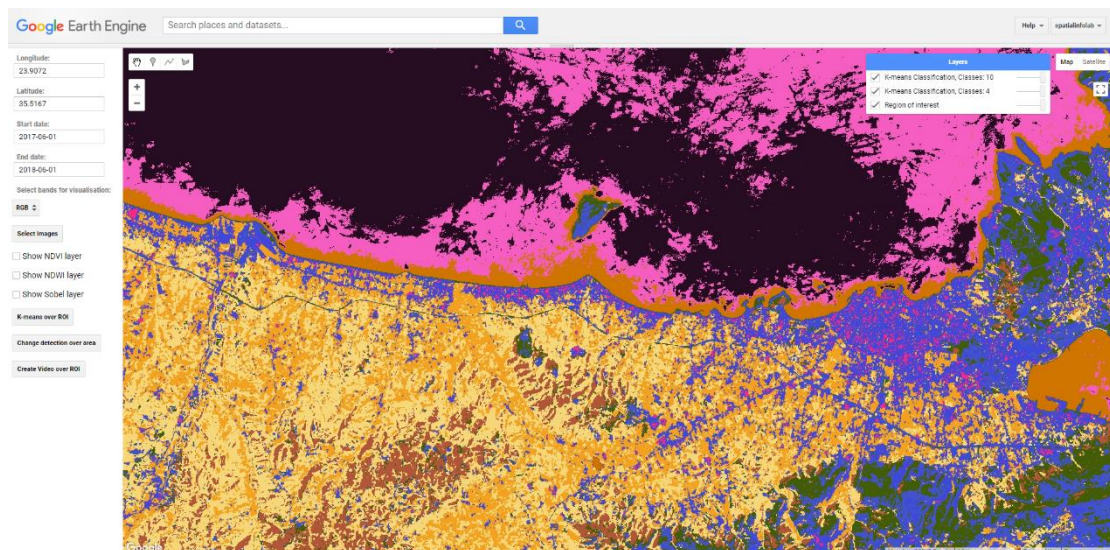
Εικόνα 15 Εκτέλεση του φίλτρου Sobel

K-means over ROI

Επιλέχθηκε για επίδειξη μία από της πιο βασικές μεθόδους ταξινόμησης, η ταξινόμηση K-means. Πατώντας ο χρήστης την επιλογή αυτή, εμφανίζεται στο κάτω μέρος του παραθύρου ένα νέο πλαίσιο ελέγχου. Ο χρήστης εισάγει έναν ακέραιο αριθμό για να ορίσει το πλήθος των τάξεων που θα προκύψουν από τον ταξινομητή K-μέσων τιμών. Στη συνέχεια, δημιουργεί ένα νέο layer με το αποτέλεσμα τις ταξινόμησης. Ο αλγόριθμος K-μέσων τιμών, δεν αναπτύχθηκε, ενώ αποτελούσε αρχικά στόχο της διπλωματικής εργασίας. Ο αλγόριθμος που προσφέρεται από τη Earth Engine, είναι ο WEKA K-means που αναπτύχθηκε για data mining εφαρμογές από το πανεπιστήμιο του Waikato στη Νέα Ζηλανδία (Frank, Hall and Witten, 2016).



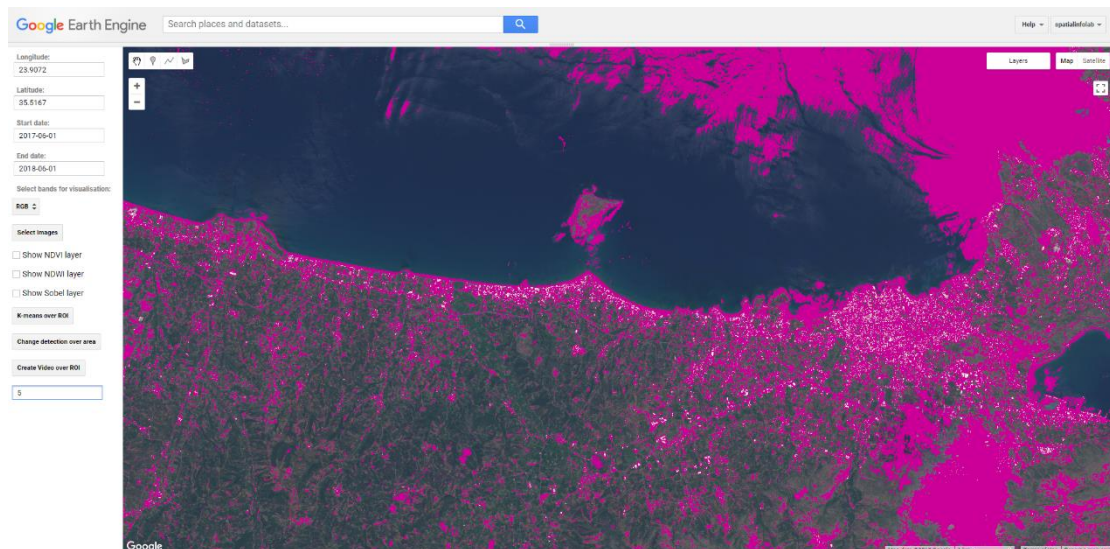
Εικόνα 16 Αποτέλεσμα του αλγορίθμου K-μέσων τιμών για 4 τάξεις



Εικόνα 17 Αποτέλεσμα του αλγορίθμου K-μέσων τιμών για 10 τάξεις

Change detection over Region of interest

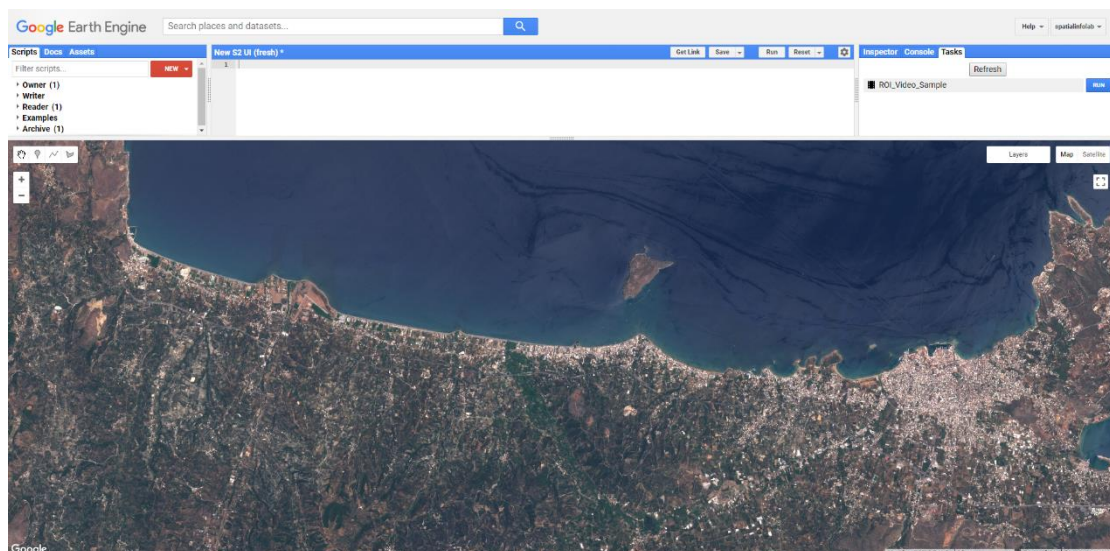
Με τη χρήση της ίδιας μεθόδου ταξινόμησης που περιεγράφηκε παραπάνω, η συγκεκριμένη συνάρτηση παίρνει την πρώτη και την τελευταία εικόνα της συλλογής, συγκρίνει τις ταξινομημένες εικόνες που παρήχθησαν και σε ένα νέο layer απεικονίζει τα εικονοστοιχεία που μεταβλήθηκαν με χαρακτηριστικό χρώμα. Αφού ο χρήστης επιλέξει τον αριθμό των τάξεων εκτελείται η συνάρτηση, αναθέτει και στις δύο εικόνες τις τάξεις ανάλογα με τα κέντρα που προκύπτουν από τη μέθοδο και συγκρίνει ένα προς ένα τα εικονοστοιχεία τους για την εύρεση των μεταβολών.



Εικόνα 18 Χρήση του Change detection, με το ροζ χρώμα απεικονίζονται τα εικονοστοιχεία που μεταβλήθηκαν

Create video over Region of interest

Η τελευταία συνάρτηση της εφαρμογής, επιτρέπει στο χρήστη τη δημιουργία βίντεο βασισμένη στις εικόνες μίας συλλογής. Τα frames του βίντεο καθορίζονται από τις εικόνες της επιλεγμένης συλλογής και ανάλογα τις προτιμήσεις μπορεί να παραμετροποιηθεί ο ρυθμός μεταβολής των frames, η κλίμακα των εικόνων καθώς και οι διαστάσεις αυτών. Η υποστηριζόμενη μορφή βίντεο είναι MP4.



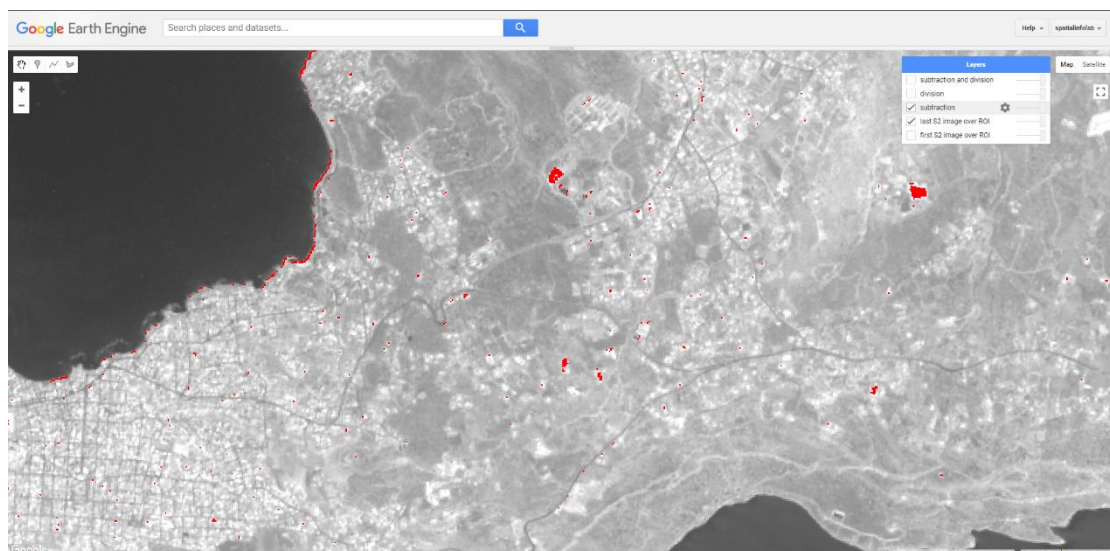
Εικόνα 19 Στο πάνω δεξί μέρος του παραθύρου, εμφανίζεται υπερσύνδεσμος που επιτρέπει τη μεταφόρτωση του αρχείου mp4

4.1.3 Αλγόριθμοι Ανίχνευσης Αλλαγών (Change Detection)

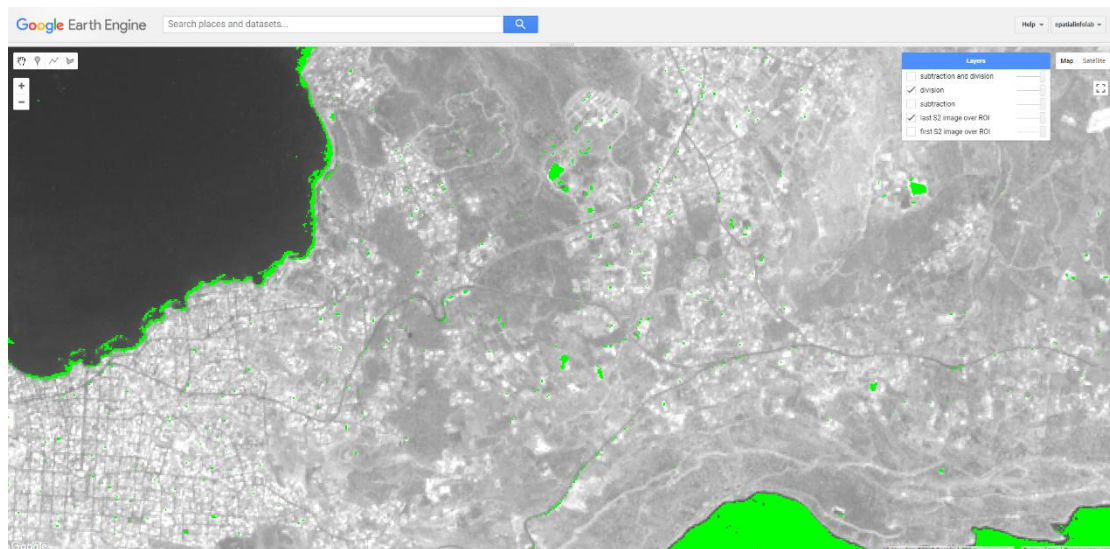
Για την επόμενη εφαρμογή στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, αναπτύχθηκαν τρεις αλγόριθμοι ανίχνευσης αλλαγών. Και στους δύο αλγόριθμους, η ανίχνευση των αλλαγών έγινε με βάση τις τιμές του γκρι των εικονοστοιχείων από δύο δορυφορικές εικόνες Sentinel 2.

Αλγόριθμος ανίχνευσης αλλαγών με αφαίρεση και διαίρεση εικονοστοιχείων

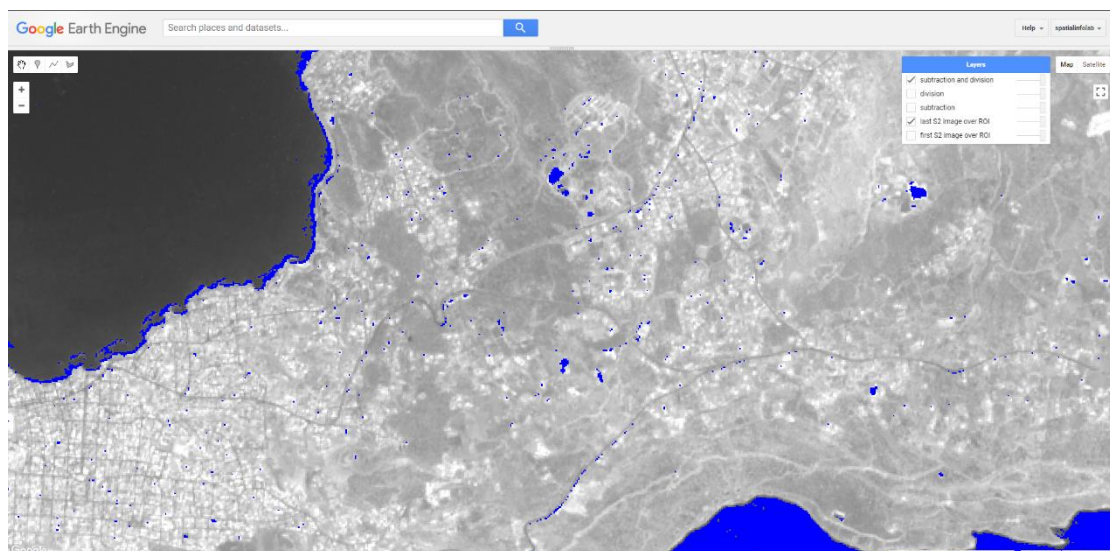
Στον πρώτο αλγόριθμο, η ανίχνευση των αλλαγών έγινε πραγματοποιώντας πράξεις ανάμεσα στις δύο εικόνες. Επιλέχθηκαν δύο εικόνες που απεικονίζουν το Πολυτεχνείο της Κρήτης, οι οποίες απέχουν χρονικά η μία από την άλλη δύο χρόνια. Στη συνέχεια δημιουργείται μια εικόνα με τιμές που προκύπτουν από την αφαίρεση των δύο εικόνων, άλλη μία για τη διαίρεση αυτών και τέλος μία τελευταία για το συνδυασμένο αποτέλεσμα αυτών των δύο. Για κάθε μία από τις εικόνες δημιουργείται και το αντίστοιχο layer στο χάρτη. Για την καλύτερη ανάλυση των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκε μάσκα που εμφανίζει επιλεκτικά τα αποτελέσματα. Για παράδειγμα στον πρώτο αλγόριθμο που χρησιμοποιήθηκε η διαφορά των εικονοστοιχείων, θεωρήθηκε ότι τα εικονοστοιχεία με διαφορά μεγαλύτερη του 750 (για τιμές του γκρι από 0 - 10000) θα εμφανιστούν στο χάρτη της εφαρμογής.



Εικόνα 20 Με κόκκινο απεικονίζονται τα εικονοστοιχεία με τη μεγαλύτερη διαφορά



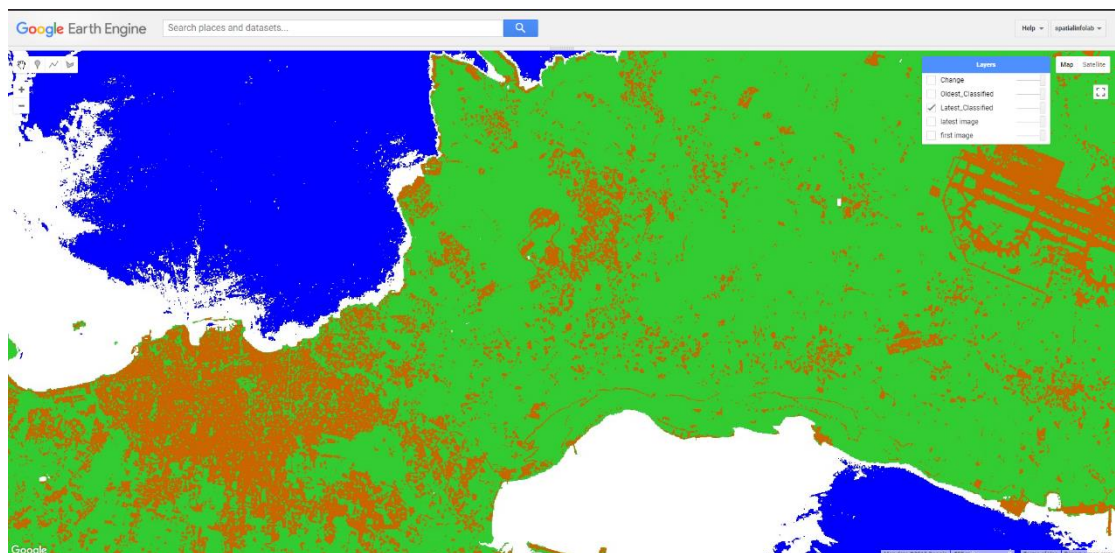
Εικόνα 21 Με πράσινο απεικονίζονται τα εικονοστοιχεία με τη απόκλιση



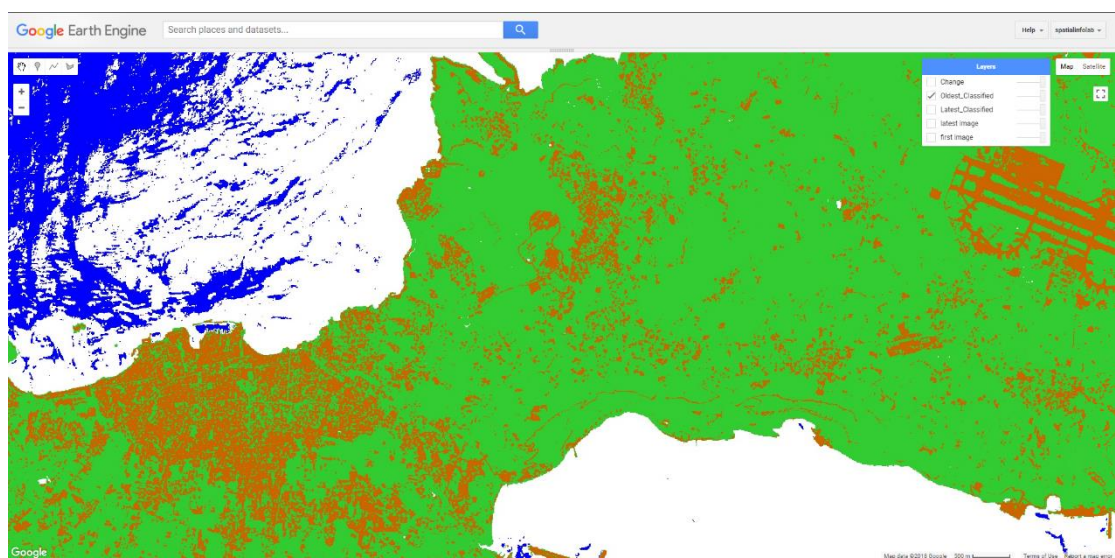
Εικόνα 22 Με μπλε εμφανίζονται τα εικονοστοιχεία που προέκυψαν από το συνδυασμό των δύο μεθόδων

Αλγόριθμος ανίχνευσης αλλαγών με Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

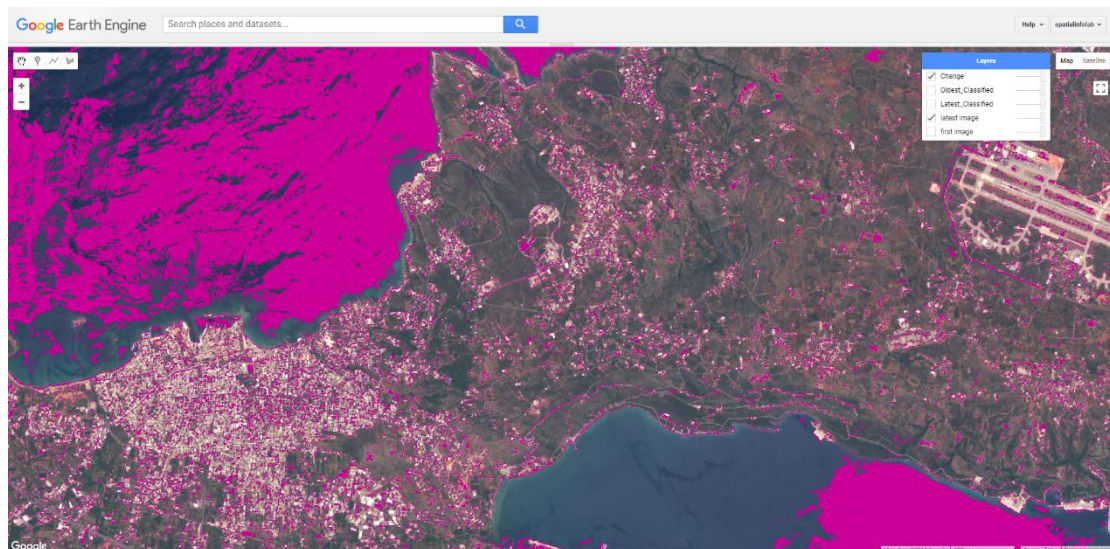
Ο δεύτερος αλγόριθμος, στηρίχθηκε στην ανίχνευση αλλαγών με τη μέθοδο της ταξινόμησης. Χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος αλγόριθμος με τη πρώτη εφαρμογή, ο K-μέσων τιμών. Τα κανάλια που χρησιμοποιήθηκαν και από τις δύο εικόνες για τη ταξινόμηση των εικονοστοιχείων ήταν τα Red, Green, Blue, NIR. Αφού ταξινομήθηκαν οι δύο εικόνες, για τον ίδιο αριθμό τάξεων (χρησιμοποιήθηκαν ενδεικτικά τέσσερις τάξεις), υπολογίστηκε η μεταβολή των τάξεων και εμφανίστηκε στον χάρτη. Για κάθε μία από τις τέσσερις ομάδες, υπολογίστηκε το πλήθος των εικονοστοιχείων που μεταβλήθηκαν, καθώς και τη κατανομή αυτών σε κάθε μία από τις υπόλοιπες τρεις τάξεις.



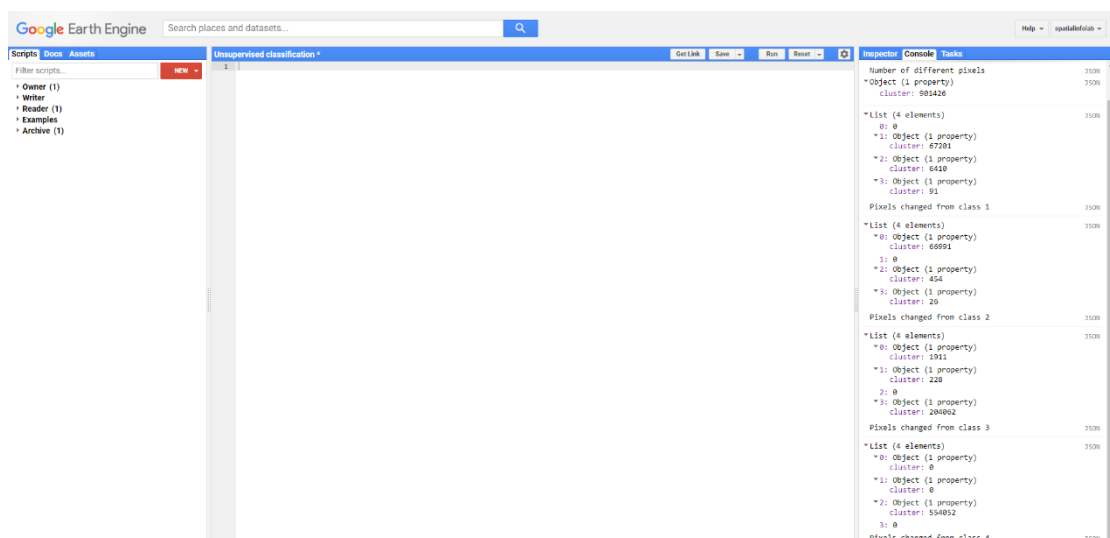
Εικόνα 23 Αποτέλεσμα Κ-μέσων τιμών της πιο πρόσφατης εικόνας



Εικόνα 24 Αποτέλεσμα Κ-μέσων τιμών της παλαιότερης εικόνας



Εικόνα 25 Με ροζ απεικονίζονται τα εικονοστοιχεία που μεταβλήθηκε η τάξη τους

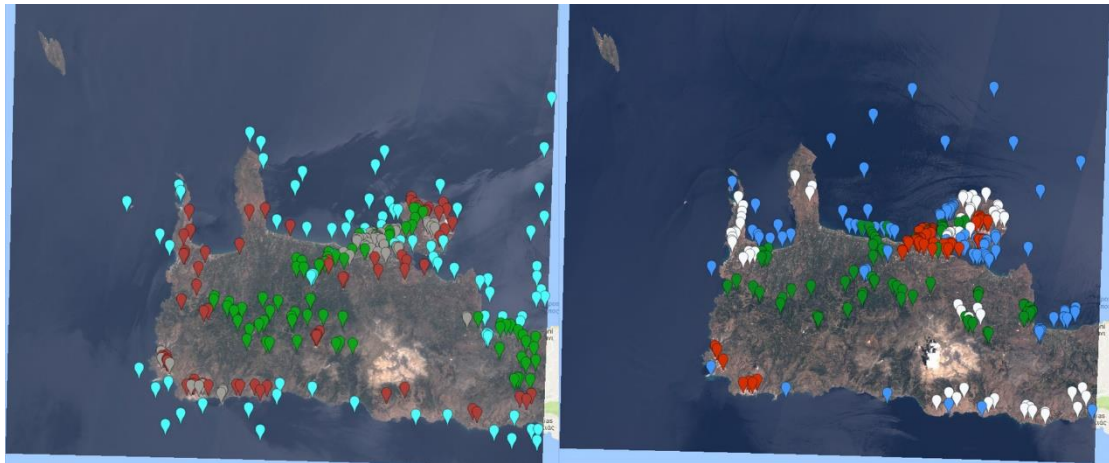


Εικόνα 26 Στην κονσόλα της πλατφόρμας στα δεξιά ποσοτικοποιήθηκε η μεταβολή των τάξεων

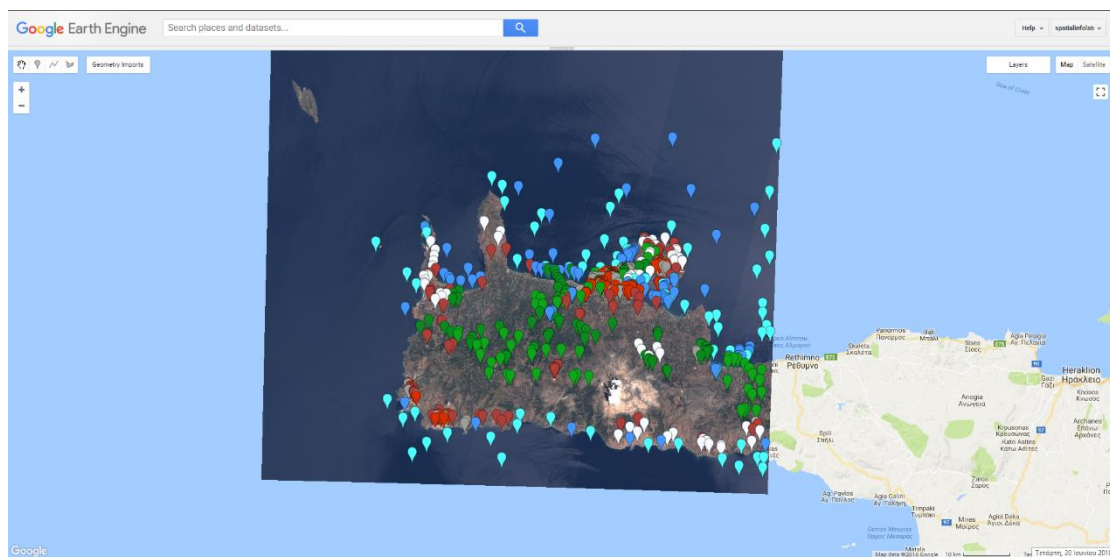
Αλγόριθμος Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης και ανίχνευσης αλλαγών

Για τη πραγματοποίηση του συγκεκριμένου αλγόριθμου, η διαδικασία άρχισε από την «εκπαίδευση» του ταξινομητή. Επιλέγαμε τη δημιουργία τεσσάρων χαρακτηριστικών τάξεων, υδατική κάλυψη, αστική κάλυψη, εδαφική κάλυψη και βλάστηση. Επιλέχθηκαν δύο δορυφορικές εικόνες της περιοχής της Κρήτης, και πάνω σε αυτές τις εικόνες έγινε η επιλογή των χαρακτηριστικών εικονοστοιχείων για τη κατασκευή των διανυσμάτων της κάθε τάξης. Έγινε προσπάθεια για την κατανομή των σημείων εκπαίδευσης σε όλη την επιφάνεια της εικόνας και για την αξιοπιστία χαρακτηρισμού του κάθε σημείου. Στη συνέχεια, εκπαιδεύτηκαν οι δύο ταξινομητές και πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση σε κάθε εικόνα. Η απόσταση του κάθε σημείου για να ενσωματωθεί στην εκάστοτε τάξη,

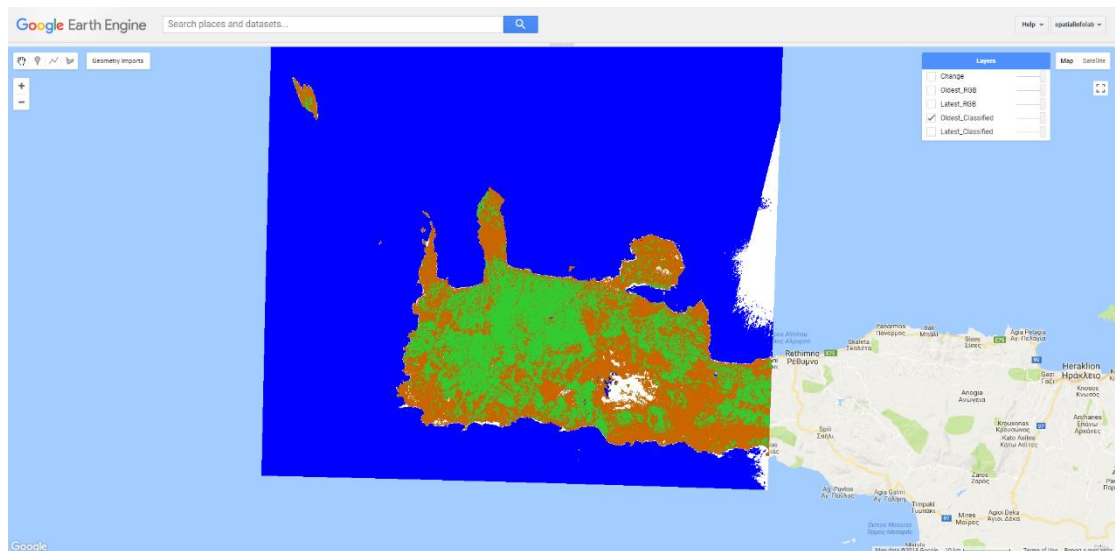
υπολογίστηκε με την ραδιομετρική γωνιακή απόσταση (spectral angle) από τη κάθε κλάση. Η ραδιομετρική γωνιακή απόσταση υπολογίζεται από τη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο διάνυσμα της κάθε τάξης με το προς ταξινόμηση στοιχείο. Το στοιχείο αυτό, προσαρτάται στην τάξη που έχει τη μικρότερη γωνιακή απόσταση θ .



Εικόνα 27 Τα σημεία εκπαίδευσης των τεσσάρων τάξεων για την πιο πρόσφατη και παλαιότερη εικόνα



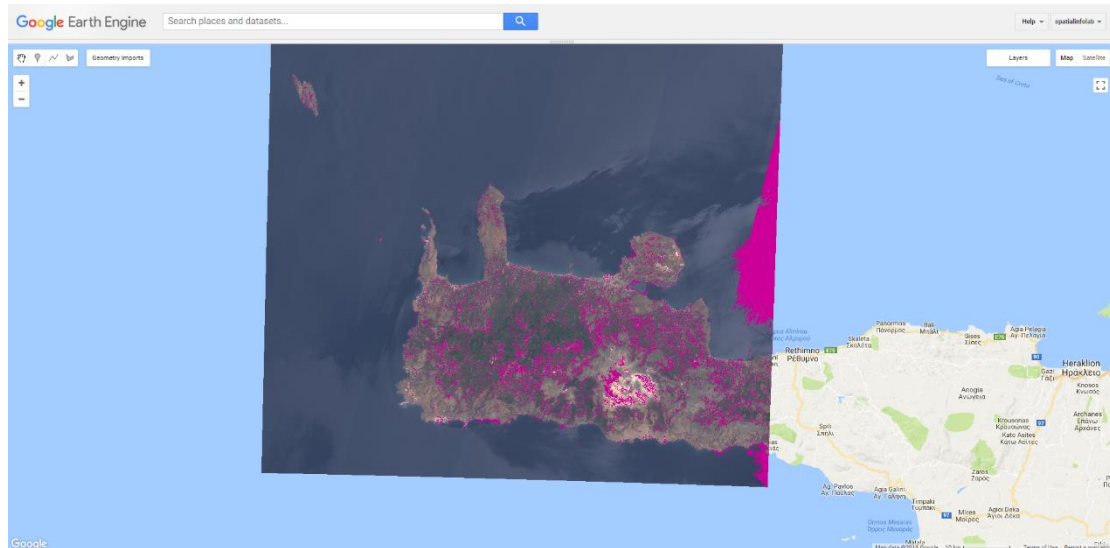
Εικόνα 28 Το σύνολο των σημείων και για τις δύο εικόνες πάνω στο χάρτη



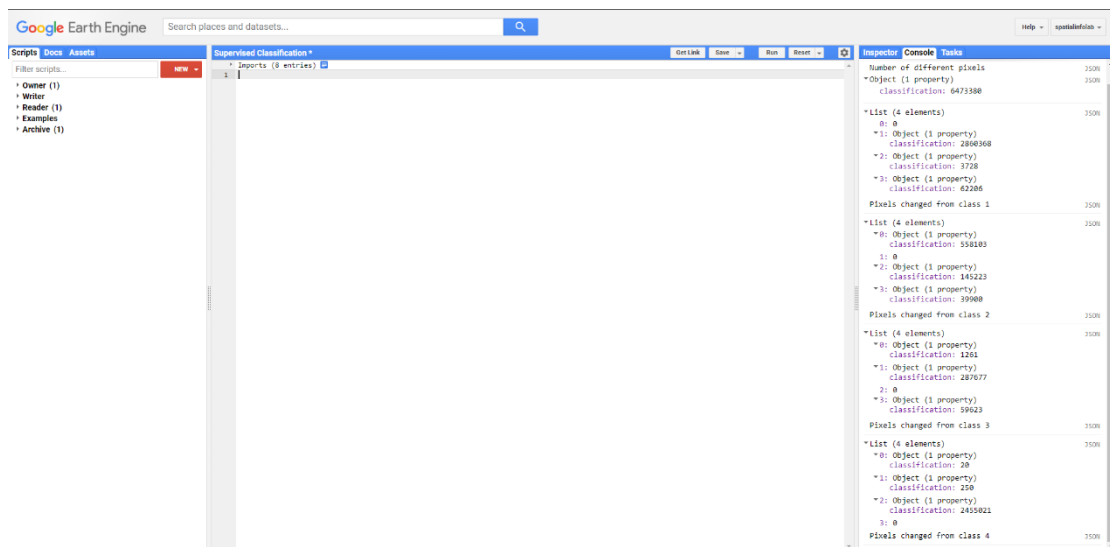
Εικόνα 29 Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης για την παλαιότερη εικόνα



Εικόνα 30 Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης για την πρόσφατη εικόνα



Εικόνα 31 Με ροζ απεικονίζονται τα εικονοστοιχεία που άλλαξε η τάξη τους



Εικόνα 32 Στην κονσόλα της πλατφόρμας στα δεξιά ποσοτικοποιήθηκε η μεταβολή των τάξεων

Κεφάλαιο 5

5.1 Συμπεράσματα

Μέσα από το σύνολο των εφαρμογών που πραγματοποιήθηκαν, καταφέραμε να διερευνήσουμε τις δυνατότητες της Google Earth Engine, όσον αφορά:

- Τη προσβασιμότητα της από το χρήστη
- Τη διαχείριση της χωρικής πληροφορίας
- Την ευκολία ανάπτυξης των αλγορίθμων
- Την απόκριση της πλατφόρμας στο σύνολο της

Η Google Earth Engine, θεωρείται πλατφόρμα Hybrid Cloud. Ο χρήστης θα πρέπει να συμπληρώσει μία φόρμα αίτησης που αφορά το πώς πρόκειται να χρησιμοποιήσει την πλατφόρμα. Το αίτημα θα επεξεργαστεί από την ομάδα του Earth Engine, και αν γίνει αποδεκτό αποκτά πρόσβαση. Η είσοδος είναι ανοικτή προς όποιον θέλει να τη χρησιμοποιήσει για ερευνητικούς, εκπαιδευτικούς ή μη κερδοσκοπικούς σκοπούς. Για οποιαδήποτε κερδοσκοπική εφαρμογή προσφέρονται οι αντίστοιχες λύσεις. Επομένως, για ερευνητικό πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας, μας δόθηκε πρόσβαση στην πλατφόρμα και σε όλα τα στοιχεία αυτής. Ακόμη, σε οποιαδήποτε απορία ή παρατήρηση δημιουργήθηκε κατά την εκπόνηση της εργασίας, η κοινότητα αλλά και η ομάδα του Earth Engine, ανταποκρίθηκε άμεσα. Όμως, ο χρήστης δεν έχει πρόσβαση, ούτε μπορεί να παραμετροποιήσει ή να μεταβάλει την υποδομή της Earth Engine. Η βάση δεδομένων φιλοξενείται σε ιδιωτικό δίκτυο, στο οποίο ο χρήστης έχει πρόσβαση μόνο στα δεδομένα του προσφέρονται από την ομάδα της πλατφόρμας. Ακόμη, η υπολογιστική υποδομή και όλες οι συναρτήσεις της πλατφόρμας είναι κλειστές προς το κοινό, και οποιαδήποτε αλλαγή ή προσθήκη προτείνεται από την κοινότητα αξιολογείται από την υπεύθυνη ομάδα της Earth Engine.

Ένα από τα σημαντικότερα και πιο απαιτητικά κομμάτια της Τηλεπισκόπησης, είναι η αναζήτηση, η εμφάνιση και η επεξεργασία της χωρικής πληροφορίας. Τα δεδομένα της Τηλεπισκόπησης κατατάσσονται στα Big Data, καθώς οι δορυφορικές εικόνες καταλαμβάνουν μεγάλο αποθηκευτικό χώρο και για την επεξεργασία της πληροφορίας αυτής, απαιτείται μεγάλη υπολογιστική ισχύς. Η αναζήτηση και η ανάκτηση μιας δορυφορικής εικόνας ή ακόμη και μιας ολόκληρης συλλογής από εικόνες, στη Google Earth Engine πραγματοποιείται μέσα από απλές εντολές της γλώσσας προγραμματισμού Javascript ή Python. Μέρος της πληροφορίας συγκεντρώνεται από την Earth Engine από

διάφορους φορείς (πχ Copernicus, USGS) και αποθηκεύεται στις υποδομές της. Η ταχύτητα προσπέλασης των δεδομένων μέσα από την πλατφόρμα είναι ταχύτερη, της τάξης των μερικών δευτερολέπτων. Ακόμη, προσφέρονται αρκετές συναρτήσεις που μας επιτρέπουν το φιλτράρισμα των εικόνων μας βάσει της χρονικής στιγμή δειγματοληψίας, ποσοστό νεφοκάλυψης και άλλων μεταδεδομένων της εικόνας. Έτσι, η επεξεργασία των χωρικών δεδομένων, και κυρίως των δορυφορικών εικόνων που συνιστούν τον πιο απαιτητικό τύπο χωρικών δεδομένων στη Τηλεπισκόπηση, γίνεται σε πολύ μικρότερο χρόνο συγκρίνοντας με τις κλασσικές πλατφόρμες ανάλυσης όμοιων δεδομένων.

Στον αντίποδα, αρνητικό όσο αφορά τα δεδομένα είναι η μορφή αυτών. Δεν υπάρχει ευελιξία στη μορφή των δεδομένων εισόδου και εξόδου. Για παράδειγμα, για να γίνει η εισαγωγή ενός αρχείου τύπου *shapefile* πρέπει πρώτα να γίνει η αναφόρτωση (*upload*) του αρχείου στη συνεργαζόμενη πλατφόρμα της Google, τη *Fusion Tables*.

Άλλη περίπτωση δυσχέρειας, αποτελεί το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Όλες οι δορυφορικές εικόνες καθώς και τα χωρικά δεδομένα που εισάγουμε θα πρέπει να αναφέρονται στο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς WGS84.

Τα κύρια προϊόντα επεξεργασίας για την παρούσα διπλωματική εργασία, αποτελούν οι δορυφορικές εικόνες. Η εικόνα αποτελεί πρακτικά ένα δισδιάστατο διάνυσμα με σχετικές συντεταγμένες (*x,y*). Οι περισσότερες τεχνικές ανάλυσης και επεξεργασίας χρησιμοποιούν τις θέσεις και τις τιμές του γκρι των δορυφορικών εικόνων. Το πρόβλημα με την πλατφόρμα *Earth Engine*, είναι ότι ο αναλυτής δεν έχει άμεση πρόσβαση στα εικονοστοιχεία της εικόνας. Η πλατφόρμα έχει σχεδιαστεί να διαχειρίζεται τις εικόνες απευθείας από τις συλλογές τους και ουσιαστικά κάθε δορυφορική εικόνα αποτελεί μια δομή πολυδιάστατων δεδομένων και αντιμετωπίζεται ως προγραμματιστικό αντικείμενο και όχι ως διάνυσμα. Ο λόγος που διαχειρίζεται η πλατφόρμα την εικόνα ως προγραμματιστικό αντικείμενο - *Object*, είναι για να κάνει απλούστερη τη χρήση των ήδη υπάρχοντων συναρτήσεων και ταχύτερη την υπολογιστική επεξεργασία (η αρχιτεκτονική του συστήματος είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να ευνοεί την επεξεργασία τέτοιου τύπου δεδομένων). Έτσι, κάθε αλγόριθμος που αναπτύσσεται και χρησιμοποιεί οποιαδήποτε δορυφορική εικόνα, θα πρέπει να χρησιμοποιεί εργαλεία και συναρτήσεις που υπάρχουν ήδη στη *Earth Engine*. Ο χρήστης μπορεί με έμμεσο τρόπο να εξάγει από το αντικείμενο, που θεωρείται η εικόνα, τις τιμές των εικονοστοιχείων, όμως πρόκειται για μια πολύ δαπανηρή διαδικασία, τόσο προγραμματιστικά όσο και υπολογιστικά.

Όπως αναφέρθηκε, είναι απαραίτητη η γνώση προγραμματιστικής λογικής για τη χρήση της πλατφόρμας. Από την ανάπτυξη των εφαρμογών της διπλωματικής εργασίας, παρατηρήθηκε ότι για τον προγραμματισμό των απλούστερων εφαρμογών (πχ απεικόνιση εικόνας στο χάρτη ή πραγματοποίηση απλών πράξεων ανάμεσα σε εικόνες) είναι αρκετή η βασική γνώση προγραμματισμού. Όμως, όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου, είναι φυσικό να απαιτείται και μεγαλύτερη εμπειρία προγραμματισμού. Έτσι, για τις πιο απαιτητικές εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης πέρα από τη φυσική κατανόηση του προβλήματος, υπάρχει απαίτηση για εξειδικευμένη γνώση στην ανάπτυξη λογισμικού σε κατανεμημένα υπολογιστικά συστήματα.

Ένα ακόμη αρκετά σημαντικό θέμα που αφορά οποιαδήποτε πλατφόρμα αυτής της κλίμακας, είναι η υποστήριξη, τόσο στο τεχνικό κομμάτι, όσο και της κοινότητας γύρω από αυτή. Η Earth Engine είναι μία πλατφόρμα που συνεχώς εξελίσσεται. Η Google είναι μία από τις μεγαλύτερες εταιρίες στο κομμάτι του διαδικτύου, η οποία προσφέρει καινοτόμα και ανταγωνιστικά εργαλεία στον κλάδο της πληροφορικής. Οι τεχνολογίες και η αξιοπιστία στις υπηρεσίες της, εμφανίζεται και μέσα στο Earth Engine, η ομάδα της οποίας προσφέρει 100% uptime της υπηρεσίας και ταυτόχρονα, ανανεώνουν και εξελίσσουν συνεχώς τα εργαλεία και την πλατφόρμα αυτή κάθε αυτή. Ταυτόχρονα, παρέχουν συνεχή υποστήριξη στους χρήστες της, ενώ επιτρέπουν στην κοινότητα να βοηθήσει στη βελτίωση, την αποσφαλμάτωση και την προσθήκη νέων εργαλείων.

Κλείνοντας το τεχνικό κομμάτι, η επαφή που είχε ο γραφών με την Earth Engine ήταν στο σύνολο της θετική. Ο στόχος της διπλωματικής εργασίας στην αρχή ήταν διαφορετικός. Θέλαμε να αναπτύξουμε διάφορους αλγόριθμους ταξινόμησης (π.χ. ISODATA, maximum likelihood), όμως λόγω της έλλειψης ελέγχου της εικόνας σε επίπεδο εικονοστοιχείων, που αναλύθηκε παραπάνω, και την μεγάλη πολυπλοκότητα ανάπτυξης αποφασίστηκε η εξέταση της πλατφόρμας πιο σφαιρικά. Συνολικά, η Earth Engine μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ σημαντικό εργαλείο του μηχανικού. Με βασικές γνώσεις προγραμματισμού, έχει πρόσβαση σε μία τεράστια βάση δεδομένων από πολλές διαφορετικές υπηρεσίες και ταυτόχρονα τη δυνατότητα να αναλύσει τα δεδομένα αυτά, βάση των αναγκών του σε μια από τις πιο σύγχρονες υπολογιστικές υποδομές. Η δυσκολία βέβαια, στη περίπτωση πιο εξειδικευμένων και σύνθετων εφαρμογών αυξάνει εκθετικά. Η έλλειψη ελέγχου, όπως για παράδειγμα στη περίπτωση μας, δεν υπήρχε πρόσβαση στα εικονοστοιχεία, μπορεί να οδηγήσει τον αναλυτή στη χρήση πολύπλοκων προγραμματιστικών τεχνικών που ξεφεύγουν από τα γενικότερα γνωστικά πεδίου του μηχανικού.

Συνοψίζοντας, ο γραφών αρχικά, είδε μια πλατφόρμα πολλά υποσχόμενη, ανοικτή στο ευρύ κοινό η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα εφαρμογών. Πιο αισιόδοξα, την αξιοποίηση αυτών των εφαρμογών από την ερευνητική κοινότητα, αρχικά, και στη συνέχεια από την κοινωνία ως χρήσιμα αναλυτικά εργαλεία. Για παράδειγμα η διάθεση ενός πολύ απλού εργαλείου Τηλεπισκόπησης, που απαιτεί κάποιες εξειδικευμένες γνώσεις για τη δημιουργία του, όπως είναι ο υπολογισμός του δείκτη υγείας βλάστησης θα μπορούσε να είναι σημαντική βοήθεια για κάποιον αγρότη. Μέσα από την υποδομή και τη πλατφόρμα του Google Earth Engine θα μπορούσαμε να αναπτύξουμε μία απλή στη χρήση διαδικτυακή εφαρμογή, στην οποία ο χρήστης επιλέγοντας απλά τη περιοχή ενδιαφέροντος, θα μπορεί να εμφανίσει χρήσιμη πληροφορία για τη καλλιέργεια του. Πιστεύουμε ότι η Earth Engine να μπορεί να αποτελέσει την πλατφόρμα, που θα βοηθήσει στην ανάπτυξη εφαρμογών και ταυτόχρονα να γίνουν πολύ πιο προσιτές στη κοινωνία.

5.2 Μελλοντικές εργασίες

Έχοντας αποκτήσει μια πολύ αντιπροσωπευτική εικόνα για το Google Earth Engine μέσα από τη διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας, μπορούμε να πούμε ότι ένα τόσο ισχυρό εργαλείο μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην έρευνα και τη προώθηση των γεωεπιστημών.

Προτείνεται αρχικά, η χρήση της Earth Engine, ως πλατφόρμας εκμάθησης και εξοικείωσης των φοιτητών με τη γεωπληροφορική και τον κλάδο της Τηλεπισκόπησης, καθώς παντρεύει με επιτυχία στοιχεία της πληροφορικής και των χωρικών δεδομένων.

Ακόμη, υπάρχει η δυνατότητα, οι αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν άλλα και μελλοντικές αντίστοιχες εργασίες, να γίνουν αυτόνομες διαδικτυακές εφαρμογές. Έτσι, μπορεί με την κατάλληλη υλοποίηση, χρησιμοποιώντας την υπολογιστική υποδομή της πλατφόρμας, να δημιουργηθεί αυτόνομη ιστοσελίδα της εκάστοτε εφαρμογής. Αποτέλεσμα θα είναι να μπορεί να χρησιμοποιεί το πρόγραμμα ή η εφαρμογή δημόσια στο διαδίκτυο χωρίς να απαιτείται το περιβάλλον της Google Earth Engine.

Τέλος προτείνεται, η διερεύνηση και υλοποίηση εργαλείων με προγραμματιστικές τεχνικές υψηλού επιπέδου, για παράδειγμα αλγόριθμους ταξινόμησης, χρησιμοποιώντας τεχνικές νευρωνικών δικτύων. Η πλατφόρμα από άποψη υπολογιστικής υποδομής, είναι παραπάνω από ικανή να υποστηρίξει τεχνολογίες και τεχνικές προγραμματισμού αυτού του επιπέδου.

Βιβλιογραφία

- [1] Almeer, M. H. (2012) 'Cloud Hadoop Map Reduce For Remote Sensing Image Analysis', *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, 3(4), pp. 637–644. doi: 10.14778/2212351.2212354.
- [2] Antonopoulos, N. and Gillam, L. (2010) *Cloud computing Principles, Systems and Applications*. Heidelberg, Springer London Dordrecht New York.
- [3] Baumann, P. (2014) 'rasdaman: Array Databases Boost Spatio-Temporal Analytics', *Computing for Geospatial Research and Application (COM.Geo), 2014 Fifth International Conference on*, p. 54. doi: 10.1109/COM.Geo.2014.1.
- [4] Baumann, P. et al. (2016) 'Big Data Analytics for Earth Sciences: the EarthServer approach', *International Journal of Digital Earth*. Taylor & Francis, 9(1), pp. 3–29. doi: 10.1080/17538947.2014.1003106.
- [5] Bhat, M. A. and Ahmad, B. (2011) 'Cloud Computing : A solution to Geographical Information Systems (GIS)', *International Journal*, 3(2), pp. 594–600.
- [6] Buiten GPW. Clevers., and J. (1993) "Land Observation by Remote Sensing: Theory and Applications", volume 3 of *Current Topics in Remote Sensing*. Gordon & Breach.
- [7] *Collect Earth* (2016) *United Nations Food and Agriculture Organization*.
- [8] Dempsey, C. (2012) *History of GIS*.
- [9] *Earth Engine Datasets* (2018).
- [10] ESA (2015) 'SENTINEL-2 User Handbook', (1), p. 64. doi: GMES-S1OP-EOPG-TN-13-0001.
- [11] Frank, E., Hall, M. A. and Witten, I. H. (2016) 'The WEKA Workbench', *Morgan Kaufmann, Fourth Edition*, pp. 553–571. doi: 10.1016/B978-0-12-804291-5.00024-6.
- [12] Gao, B. C. (1996) 'NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space', *Remote Sensing of Environment*, 58(3), pp. 257–266. doi: 10.1016/S0034-4257(96)00067-3.
- [13] *Google Earth Engine site* (2017). Available at: <https://earthengine.google.com/faq/>.
- [14] Gorelick, N. et al. (2017) 'Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone', *Remote Sensing of Environment*. The Author(s), 202, pp. 18–27. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
- [15] Hansen, M. C. et al. (2013) 'High-resolution global maps of 21st-century forest cover change', *Science*, 342(6160), pp. 850–853. doi: 10.1126/science.1244693.
- [16] *Image Tiling* (2005).
- [17] *InfoWorld Data Democratization: finally living up to the name* (2018).

- [18] *Introduction to K-means Clustering* (2018). Available at:
<https://www.datascience.com/blog/k-means-clustering>.
- [19] *JavaScript Programming Language* (2018).
- [20] Karantzas, K., Karmas, A. and Tzotsos, A. (2017) 'Monitoring crop growth and key agronomic parameters through multitemporal observations and time series analysis from remote sensing big data', *Advances in Animal Biosciences*, 8(02), pp. 394–399. doi: 10.1017/S2040470017001261.
- [21] Karmas, A. (2014) 'Karmas_FOSS4Ge_CameraReady', in *FOSS4G*. Bremen, Germany.
- [22] Ma, Y. *et al.* (2015) 'Remote sensing big data computing: Challenges and opportunities', *Future Generation Computer Systems*. Elsevier B.V., 51, pp. 47–60. doi: 10.1016/j.future.2014.10.029.
- [23] *MapReduce* (2018). Available at: <https://searchcloudcomputing.techtarget.com>.
- [24] Mell, P. and Grance, T. (2011) 'The NIST Definition of Cloud Computing Recommendations of the National Institute of Standards and Technology', *National Institute of Standards and Technology, Information Technology Laboratory*, 145, p. 7. doi: 10.1136/emj.2010.096966.
- [25] *MultiSpectral Instrument (MSI) Overview* (2018).
- [26] Peuquet, D. and Marble, D. (1990) *Introductory Readings in Geographic Information Systems, Computers & Geosciences*. London, New York, Philadelphia: Taylor & Francis.
- [27] *Products and Algorithms* (2018).
- [28] Rouse, J. W. *et al.* (1973) 'Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS', *Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) symposium*, 1, pp. 309–317. doi: citeulike-article-id:12009708.
- [29] Roy, S., Gupta, S. and Omkar, S. N. (2017) 'Case study on: Scalability of preprocessing procedure of remote sensing in Hadoop', *Procedia Computer Science*. Elsevier B.V., 108(June), pp. 1672–1681. doi: 10.1016/j.procs.2017.05.042.
- [30] *Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-1C* (2017).
- [31] De Smith, M. J., Goodchild, M. F. and Longley, P. A. (2007) *Geospatial Analysis - A comprehensive guide, Analysis*. Available at:
<http://www.spatialanalysisonline.com/output/>.
- [32] Sugumaran, R. *et al.* (2015) 'Processing Remote-Sensing Data in Cloud Computing Environments', *Remote Sensing Handbook*, (March). doi: doi:10.1201/b19294-38.
- [33] *Technopedia Data Democratization* (2018).

- [34] *TechTarget data democratization* (2017). Available at:
<https://whatistechtarget.com/definition/data-democratization>.
- [35] *The Remarkable History of GIS* (2018).
- [36] Verma, M. (2016) 'Overview of Hadoop in Remote Sensing Image Processing with Various Algorithms and Techniques in Cloud', *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 6(11), pp. 186–189.
- [37] Zhenhua, L. *et al.* (2010) 'Parallel K-Means Clustering of Remote Sensing Images Based on MapReduce', *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 6318 LNCS(M4D), pp. 162–170. doi: 10.1007/978-3-642-16515-3_21.
- [38] Μερτίκας, Σ. (2009) *Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας*. Αθήνα: Ίων.
- [39] Μητρόπουλος, Σ. and Δουληγέρης, Χ. (2015) *Πληροφοριακά Συστήματα στο Διαδίκτυο Εφαρμογές, Ανάπτυξη, Υποδομές*. Αθήνα: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ.
- [40] Παρχαρίδης, Ι. (2015) *Αρχές δορυφορικής τηλεπισκόπησης*. Αθήνα: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ.
- [41] Περάκης, Κ., Φαρασλής, Ι. and Μωυσιάδης, Α. (2015) *Η Τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες*. Αθήνα: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ.