

# **Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών**

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

## **Μεταπτυχιακή Διατριβή**



**Αξιολόγηση των Εφαρμογών και του Θεματικού  
Πληροφοριακού Περιεχομένου των Δεδομένων  
των Αυτόνομων Αεροπλανοφόρων της Υπηρεσίας  
Γεωλογίας & Χαρτογραφήσεων των ΗΠΑ**

**Γιάννης Σ. Ιωάννου**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Δρ. Γιώργος Χαρ. Μηλιαρέσης**

**Δεκέμβριος, 2018**

# **Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών**

***ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ***

## **Μεταπτυχιακή Διατριβή**

**Αξιολόγηση των Εφαρμογών και του Θεματικού  
Πληροφοριακού Περιεχόμενου των Δεδομένων  
των Αυτόνομων Αεροπλανοφόρων της Υπηρεσίας  
Γεωλογίας & Χαρτογραφίσεων των ΗΠΑ**

**Γιάννης Σ. Ιωάννου**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Δρ. Γιώργος Χαρ. Μηλιαρέσης**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στη Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

**Δεκέμβριος, 2018**



## Περίληψη

Οι αεροπλανοφόροι Unmanned Aircraft Systems (UAS) ή Μη Επανδρωμένα Συστήματα – Αεροπλανοφόροι, αποτελούν ένα σχετικά νέο μέσο συλλογής δεδομένων σε περιορισμένης έκτασης γεωγραφικές περιοχές, που μας δίνουν αυτονομία στο προσδιορισμό του χρόνου λήψης των δεδομένων. Είναι πτητικά μέσα παντός καιρού (αφού πετούν σε μικρά υψόμετρα πολύ κάτω από τη νεφοκάλυψη) και παρέχουν ψηφιακά δεδομένα υπερυψηλής ανάλυσης. Μας επιτρέπουν να μελετήσουμε την εν δυνάμει εξέλιξη φυσικών διεργασιών, φυσικών καταστροφών και ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Σε αυτή τη μεταπτυχιακή διατριβή θα αναφερθούμε στις αεροπλανοφόρες UAS που χρησιμοποιεί η USGS (U.S. Geological Survey / Ινστιτούτο Γεωλογικών Ερευνών των Η.Π.Α.), στα καταγραφικά τους συστήματα, στα δεδομένα και στους τύπους των δεδομένων που παράγονται (υψομετρικά δεδομένα και φωτογραφίες) και σε ενδεικτικά project (research missions) που έχουν υλοποιηθεί από την αρμόδια διεύθυνση UAS της USGS.

Κύριος στόχος είναι να θεωρήσουμε τις βασικές παραμέτρους που χαρακτηρίζουν εικόνες, ψηφιακά και υψομετρικά μοντέλα υψηλής ανάλυσης, παράμετροι οι οποίες είναι η χωρική, η ραδιομετρική και η φασματική διακριτική ικανότητα. Επίσης να προσδιορίσουμε χρησιμοποιώντας κατά περίπτωση ήδη πεπειραμένες, αλλά και σύγχρονες (μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, εντοπισμός ασυνεχειών, εξαγωγή υδρολογικών αντικειμένων κ.α.) τεχνικές επεξεργασίας εικόνας, το θεματικό πληροφοριακό περιεχόμενο - τη θεματική διακριτική ικανότητα των εικόνων. Δηλαδή να προσδιορίσουμε δυνητικές εφαρμογές των εικόνων UAS σε μεγάλης κλίμακας εργασίες. Η αξιολόγηση και ο προσδιορισμός των δυνητικών εφαρμογών αυτών των δεδομένων είναι καίριας σημασίας σε σχέση με την κλιματική αλλαγή και τις συνεπαγόμενες φυσικές καταστροφές από ακραία καιρικά φαινόμενα, που αναγκάζουν τις αρμόδιες κρατικές αρχές να επανακαθορίζουν τις χρήσεις και τις καλύψεις γης προκειμένου να είναι λιγότερο επιδεκτικές στους κινδύνους που προκύπτουν.

Η μελέτη των φωτομωσαϊκών UAS και των αντίστοιχων υπερυψηλής ανάλυσης ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων εδάφους, κατέδειξε ότι είναι δυνατή η αναγνώριση των δένδρων (ποώδης βλάστηση, χαρακτηρισμός φυλλοβόλων δένδρων), και των υποαντικειμένων τους (κλάδοι), των υποσυνόλων οικιστικών οντοτήτων (φράκτες, χώροι εκτροφής ζώων, ρυάκια και αγωγοί τροφοδοσίας με νερό, υδατοδεξαμενές), φυσικών

διεργασιών όπως ζώνες απόθεσης - διάβρωσης ποταμών, την εκτίμηση του βάθους υδάτινων επιφανειών και του χαρακτηρισμού των ζωνών κροκαλοπαγών αποθέσεων. Εντοπίστηκαν γραμμικά συστήματα που αντιστοιχούν σε χαρακτηριστικές γεωλογικές δομές, απόθεσης ιζηματογενών (στρώση) ή μεταμορφωμένων πετρωμάτων (σχιστόλιθοι). Αναγνωρίστηκαν άνθρωποι χειριστές των UAS, ο τεχνικός εξοπλισμός ελέγχου και προγραμματισμού πτήσης, οχήματα και οι αλφαβητικοί και αριθμητικοί χαρακτήρες στην οροφή τους, γεωργικά και σκαπτικά μηχανήματα όπως και τα επιμέρους μηχανικά τους μέρη καθώς και ίχνη οχημάτων σε φυσικό έδαφος (εκτός επαρχιακού οδικού δικτύου). Τα κύρια φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν το μέγεθος, το σχήμα, τις σκιάσεις, το φωτογραφικό τόνο, το πρότυπο και τη διάταξη των αντικειμένων. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως το φωτοερμηνευτικό χαρακτηριστικό της συσχέτισης, επέτρεψε τον εντοπισμό πουλερικών σε αγροικία - φάρμα.

Η φασματική δειγματοληψία των εικόνων αντιστοιχεί σε έγχρωμα σύνθετα φυσικού χρώματος, χωρικής διακριτικής ικανότητας μόλις λίγων εκατοστών, τόσο για τα φωτομωσαικά όσο και για τα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με το θεματικό πληροφοριακό περιεχόμενο όπως προέκυψε από την φωτοερμηνεία, μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η Θεματική Διακριτική Ικανότητα (Θ) στα υπό μελέτη φωτομωσαικά αντιστοιχεί στην τάξη 9. Τα παραδείγματα που εξετάζονται από την άποψη χρήσης των αεροπλανοφόρων στον τομέα διαχείρισης του φυσικού περιβάλλοντος, μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι αν χρησιμοποιηθούν θερμικοί υπέρυθροι αισθητήρες επί των αεροπλανοφόρων UAS, τότε η νυκτερινή λήψη 2-3 ώρες πριν την ανατολή του ήλιου, σε συνδυασμό με τα υπόβαθρα της ημερήσιας λήψης, θα δύναται να αποδοθούν ακόμη και το σύνολο της άγριας πανίδας στην περιοχή της κάθε μελέτης όπως και τα ενδιαίτηματά της. Εν κατακλείδι, προτείνεται η περαιτέρω διεύρυνση του πεδίου αξιοποίησης του συνδυασμού των τηλεπισκοπικών εργαλείων, UAS - θερμικοί υπέρυθροι αισθητήρες, αφού μέσω και των παραδειγμάτων που παρατίθενται αποδεικνύεται έμπρακτα η μεγάλη χρησιμότητα των παραγόμενων αποτελεσμάτων ανά περίπτωση.

## Summary

Unmanned Aircraft Systems (UAS) are a relatively new means of data collection in limited pre designated geographical areas, which give us the autonomy of determining the time of data recording and acquisition. They are an all-weather (flying at low altitudes far below the cloud level) type of aircraft and can provide high resolution digital data products. They allow us to study the potential evolution of natural processes, natural disasters and human activities. In this thesis, we will focus on the UAS aircrafts used by the USGS (U.S. Geological Survey), the data that can be recorded by the sensors in use (elevation and photographs) and the types of metadata that can be potentially produced.

The main objective is to consider the basic parameters characterizing the high-resolution images and elevation models, which are the spatial, radiometric and spectral resolution and to identify using the appropriate, modern image processing techniques the thematic information content - the thematic discretion of those images. That is, to identify potential applications for large scale thematic, environmental and topographic mapping. Identifying and evaluating the potential uses of these data is crucial in relation to climate change and the subsequent natural disasters resulting from extreme weather events. This is a mean to impulse the pertinent state authorities to redefine land use and cover, in order to minimize its susceptibility to the potential environmental hazards.

The study of UAS and the corresponding high resolution mosaics and digital terrain elevation models has shown that it is possible to identify, the trees (herbaceous vegetation, deciduous tree designation) and their sub-objects (branches), detachments of built-up entities (hedges, watercourses, water supply and water supply pipes), natural processes such as river-erosion zones, assessment of water forms depth, classification of conglomerate deposit zones. Linear systems were identified that correspond to characteristic geological structures of sedimentary (layers) or metamorphic (slate) rocks. Individuals were documented as UAS aviators and technical flight control, their planning equipment, vehicles and roof signposts, agricultural and excavation machinery as well as their mechanical parts and car trails on natural ground. The main photointerpretation characteristics used are the size, the shadow, the shape, the photographic tone and the pattern of the objects. A noticeable point to be stated is that, using the photointerpretation characteristic of association, allowed us to identify poultry in a small farm-house.

The spectral sampling of the images corresponds to, colored natural-color composites and the spatial resolution of the metadata is just a few centimeters, both for the photomosaics and the digital elevation models used. Combining these with the thematic information content as derived from the photo interpretation, leads us to the conclusion that the Thematic Discretion Capacity ( $\Theta$ ) corresponds to Class 9. The above allow us to assume that if thermal infrared sensors are used on UAS, recording data at late night 2-3 hours before sun dawn, the collected data combined with a daytime recorded photo mosaic will expose the total wildlife that exists in each study area. In general we propose to further extend the field of applications of the combination of these remote sensing tools, UAS - Thermal Infrared Sensors, since through the examples given; the great effectiveness of the results produced for each case is verified.

## Ευχαριστίες

Οφείλω από αυτή τη θέση να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με βοήθησαν να εργαστώ και να φέρω εις πέρας την εργασία αυτή.

Τους καθηγητές του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος» του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου, για τις άοκνες τους προσπάθειες για μετάδοση όσο το δυνατόν περισσότερων γνώσεων μέσα από τις εξαιρετικά ενδιαφέρουσες θεματικές ενότητες, κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον καθηγητή μου Δρ. Γιώργο Χαρ. Μηλιαρέση που μου έδωσε την ευκαιρία να εργαστώ με το ενδιαφέρον και ιδιαίτερης ερευνητικής αξίας αυτό θέμα και για την υπομονή και εμπιστοσύνη που μου έδειξε, έως ότου φέρω εις πέρας την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής.

Η εργασία αυτή αφιερώνεται στους γονείς και τη σύζυγο μου για την ποικιλότητα και καταλυτική συνδρομή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

# Περιεχόμενα

<b>1. Κεφάλαιο Πρώτο – Εισαγωγή</b> .....	1
1.1 Ορισμός της θεματικής διακριτικής ικανότητας (ΘΕΜΔΙ).....	2
1.1.1 Χωρική Διακριτική Ικανότητα.....	7
1.1.2 Ραδιομετρική Διακριτική Ικανότητα.....	7
1.1.3 Φασματική Δειγματοληψία.....	8
1.2 Τι είναι κλιματική αλλαγή.....	11
1.2.1 Συμφωνία του Παρισιού - COP21.....	14
1.2.2 Κλιματική αλλαγή και Αεροπлатφόρμες.....	15
1.3 Τι είναι UAS.....	19
1.3.1 Αεροπлатφόρμες UAS.....	20
1.3.2 Καταγραφικά συστήματα λήψης/σαρωτές (sensors).....	21
1.3.3 Τηλεσκοπικά δεδομένα από αεροπлатφόρμες UAS.....	21
1.3.3.1 Δεδομένα.....	21
1.3.3.2 Τεχνικές επεξεργασίας.....	24
1.3.4 Υλοποιημένα Project (research missions) της διεύθυνσης UAS.....	26
1.4 Στόχος – Ερευνητικά ερωτήματα.....	28
<b>2. Κεφάλαιο Δεύτερο – Χρήση UAS</b> .....	30
2.1 Κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις και το νομικό πλαίσιο.....	32
2.2 Έρευνα και διάσωση.....	40
2.3 Διαχείριση φυσικών καταστροφών.....	46
2.4 Χαρτογράφηση περιοχών και αξιολόγηση της ακεραιότητας υποδομών.....	51
2.5 Εφαρμογές στη διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος.....	59
2.6 Αεροπлатφόρμες και Υδρογονάνθρακες.....	64
<b>3. Κεφάλαιο Τρίτο – Μεθοδολογία</b> .....	66
3.1 Αποκατάσταση και αναγωγή εικόνας.....	68
3.1.1 Γεωμετρικές διορθώσεις της εικόνας.....	68
3.1.2 Ραδιομετρικές διορθώσεις εικόνων.....	69
3.1.2.1 Ατμοσφαιρικές ραδιομετρικές διορθώσεις.....	69

3.1.2.2 Τοπογραφικές ραδιομετρικές διορθώσεις.....	69
3.1.2.3 Διόρθωση λωριδοποίησης.....	70
3.2 Βελτίωση / ενίσχυση εικόνων.....	71
3.2.1 Ιστογράμματα.....	71
3.2.2 Βελτίωση της διαβάθμισης φωτεινότητας.....	71
3.2.3 Φίλτρα επεξεργασίας εικόνων.....	73
3.2.3.1 Φιλτράρισμα υψηλών συχνοτήτων.....	74
3.2.3.2 Εξομάλυνση εικόνας.....	75
3.2.3.3 Φιλτράρισμα Fourier.....	75
3.3 Μετασχηματισμός ή δημιουργία δεικτών εικόνων.....	76
3.3.1 Προσθήκη και αφαίρεση φασματικών ζωνών.....	76
3.3.2 Λόγος ή αναλογία φασματικών ζωνών.....	76
3.3.3 Μετασχηματισμός κύριων συνιστωσών.....	77
3.3.4 Επιλογή φασματικών ζωνών για τη δημιουργία ψευδοχρωματικών εικόνων.....	77
3.3.5 Συγχώνευση ή εγγραφή εικόνων.....	78
3.4 Ταξινόμηση.....	80
3.5 Μεθοδολογική προσέγγιση.....	81
3.5.1 Παράδειγμα 1: Carrizo Plains Northsite.....	83
3.5.2 Παράδειγμα 2: Klamath Basin Sycan River.....	91
3.5.3 Παράδειγμα 3: West Fork Mine.....	97
<b>4. Κεφάλαιο Τέταρτο – Σχολιασμός Αποτελεσμάτων.....</b>	<b>104</b>
<b>5. Κεφάλαιο Πέμπτο – Συμπεράσματα και Προτάσεις.....</b>	<b>106</b>
<b>6. Βιβλιογραφία.....</b>	<b>114</b>

# Πίνακες / Εικόνες / Σχήματα

## ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1. Θεματική διακριτική ικανότητα για συγκεκριμένα καταγραφικά συστήματα.

Πίνακας 2. Οι εφαρμογές των καναλιών του Θεματικού Χαρτογράφου (Thematic Mapper, συντομογραφία TM) του δορυφόρου Landsat.

Πίνακας 3. Προκλήσεις και προτάσεις/λύσεις σχετικές με τα UAS.

Πίνακας 4. Χρήση αεροπлатφόρων σε περιοχές που πλήγηκαν από φυσικές καταστροφές μεταξύ 2005-2015 (Murphy, 2014).

Πίνακας 5. Κάποιες από τις δυνατότητες χρήσεις των αεροπлатφόρων σε τομείς της περιβαλλοντικής διαχείρισης (Anweiler & Piwowarski, 2017).

## ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1. Ενέργεια και μετριασμός της κλιματικής αλλαγής.

Εικόνα 2. Η αεροπлатφόρμα 3DR Solo.

Εικόνα 3. Η αεροπлатφόρμα Pulse Aerospace Vapor 55™.

Εικόνα 4. Έγχρωμος υπέρυθρος ορθοφωτογραφικός χάρτης που δημιουργήθηκε από ένα μωσαϊκό 160 εικόνων, που τραβήχτηκαν με τη φωτογραφική μηχανή Canon s100 με υπέρυθρη ακτινοβολία, από περίπου 400 πόδια ύψος πάνω από τον ποταμό Sycan στη λεκάνη του Klamath στο Όρεγκον.

Εικόνα 5. Δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου 3D του γεωλογικού σχηματισμού Devil's Tower στο Wyoming των ΗΠΑ.

Εικόνα 6. Παραγωγή δείκτη βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς στο Εθνικό καταφύγιο άγριας ζωής, Ruby Lake των ΗΠΑ.

Εικόνα 7. Καταγραφή δεδομένων υψηλής ανάλυσης σε μια έκταση τεσσάρων μιλίων του ποταμού Pemigewasset που επλήγει από τις πλημμύρες που προκλήθηκαν από ένα φράγμα πάγου.

Εικόνα 8. Χρήση δεδομένων UAS για δόμηση μέσω της φωτογραμμετρίας κίνησης, των σεισμογενών ρηγμάτων του όρους Borah Peak.

Εικόνα 9. Η δομή ενός UAS που μπορούμε να αγοράσουμε στο λιανικό εμπόριο.

Εικόνα 10. Μια από τις αεροπлатφόρμες που χρησιμοποιεί η εταιρεία Amazon.

Εικόνα 11. Μια αεροπлатφόρμα πετάει πάνω από κτίρια που καταστράφηκαν στο σεισμό του Νεπάλ το 2015.

Εικόνα 12. Η αεροπλανοφόρος ScanEagle της εταιρείας Insitu.

Εικόνα 13. Η αεροπλανοφόρος K-MAX της εταιρείας Lockheed Martin.

Εικόνα 14. Η αεροπλανοφόρος Global Observer της εταιρείας AeroVironment.

Εικόνα 15. Το σχέδιο πτήσης (a) και τα αποτελέσματα (b) της χαρτογράφησης με τη χρήση UAS, του epicέντρου του σεισμού του 2013 στην επαρχία Λουσιάν της Κίνας.

Εικόνα 16. Ο καθεδρικός ναός της Θείας Κοινωνίας στο Κράιστσερτς της Νέας Ζηλανδίας, στις 22 Φεβρουαρίου 2011.

Εικόνα 17. Δείκτης βλάστησης NDVI, στα αριστερά γίνεται σύγκριση των ποσοστών αντανάκλασης υγιούς και «άρρωστου» φυτού. Όσο πιο κοντά στο 1 είναι η τιμή του NDVI, τόσο πιο υγιές είναι το φυτό. Δεξιά φαίνεται ένα παράδειγμα απεικόνισης του δείκτη για την παρακολούθηση της υγείας των καλλιεργειών σε αγροτική γη.

Εικόνα 18. Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας (DSM) για μια περιοχή όπου υπάρχει κατολίπηση, από εικόνες UAS που λήφθηκαν μεταξύ 2012 και 2013.

Εικόνα 19. Παραδείγματα χρήσης αεροπλανοφόρων στην παρακολούθηση των δικτύων μεταφοράς υδρογονανθράκων για εντοπισμό προβλημάτων ή διαρροών.

Εικόνες 20, 21. Εφαρμογή της γραμμικής έκτασης του ιστογράμματος.

Εικόνα 22. Ψηφιακή επεξεργασία συγχώνευσης εικόνων της περιοχής Σρατωνίου Χαλκιδικής.

Εικόνα 23. Φωτομωσαϊκό της περιοχής Carrizo Plains Northsite.

Εικόνα 24. ΨΥΜΕ της περιοχής Carrizo Plains Northsite.

Εικόνα 25. Υδατοδεξαμενή.

Εικόνα 26. Αγρόκτημα, υδατοδεξαμενή, υπαίθριος αγωγός τροφοδοσίας νερού και δέντρο.

Εικόνα 27. Μικρή φάρμα (ανατολικά στην Εικόνα 25).

Εικόνα 28. Σκελετός δέντρου και θάμνος (δυτικά στην Εικόνα 25).

Εικόνα 29. Σταθμός βάσης για το σχεδιασμό και υλοποίηση της πτήσεως του UAS.

Εικόνα 30. Γκρέιντερ.

Εικόνα 31. Πιθανά αρχαιολογικά οικιστικά κατάλοιπα.

Εικόνα 32. Οριζόντια στρώση σχιστολιθικών ή ιζηματογενών πετρωμάτων ανατολικά του οδικού δικτύου.

Εικόνα 33. Φωτομωσαϊκό της περιοχής Klamath Basin Sycan River.

Εικόνα 34. ΨΥΜΕ της περιοχής Klamath Basin Sycan River.

Εικόνα 35. Περιοχές απόθεσης και διάβρωσης εντός μαιανδρικού ποταμού.

Εικόνα 36. Παλαιά μαιανδρική κοίτη, ζώνη παραγωγής, επεξεργασίας και μεταφοράς υλοτομικών προϊόντων.

Εικόνα 37. Εύλινη πεζογέφυρα.

Εικόνα 38. Σταθμός βάσης για τον σχεδιασμό και υλοποίηση της πτήσης του UAS.

Εικόνα 39. Φωτομωσαϊκό της περιοχής West Fork Mine.

Εικόνα 40. ΨΥΜΕ της περιοχής West Fork Mine.

Εικόνα 41. Η τεχνητή λίμνη έκπλυσης του μεταλλείου.

Εικόνα 42. Τμήμα του ποταμού και της παλαιοκοίτης.

Εικόνα 43. Τμήμα του ποταμού και της παλαιοκοίτης όπως φαίνονται στο ΨΥΜΕ.

Εικόνα 44. Υποσταθμός ηλεκτρισμού.

Εικόνα 45. Θερμικές κάμερες για UAS. Είναι ειδικά σχεδιασμένες για αεροπλανοφόρες, συμπαγείς, ελαφριές και με δυνατότητα διπλού αισθητήρα.

Εικόνα 46. Χρήση θερμικής υπέρυθρης κάμερας επί UAS για γεωργικούς σκοπούς.

Εικόνα 47. Θερμικό υπέρυθρο ορθομωσαϊκό, υψηλής ανάλυσης της δεξαμενής. Τα πιο φωτεινά σημεία αντιπροσωπεύουν υψηλότερη θερμοκρασία.

Εικόνα 48. Χρήση θερμικής υπέρυθρης κάμερας επί UAS, για επιθεώρηση δικτύου αγωγών υδρογονανθράκων. Τα πιο σκοτεινά σημεία αντιπροσωπεύουν χαμηλότερη θερμοκρασία.

Εικόνα 49. Χρήση θερμικής υπέρυθρης κάμερας επί UAS, για εντοπισμό διαρροής από βυτιοφόρο όχημα μεταφοράς προϊόντων επεξεργασίας υδρογονανθράκων.

Εικόνα 50. Χρήση θερμικής υπέρυθρης κάμερας επί UAS, για εντοπισμό ελλείποντος προσώπου.

Εικόνα 51. Χρήση θερμικής υπέρυθρης κάμερας επί UAS, για εντοπισμό «θερμών σημείων» (κόκκινοι κύκλοι) στην επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών.

Εικόνα 52. Χρήση θερμικής υπέρυθρης κάμερας επί UAS, για επιθεώρηση ανεμογεννήτριας. Διακρίνονται ευκρινώς το μπροστινό μέρος της ατράκτου καθώς και οι θερμοκρασιακές διαφορές στην επιφάνεια των πτερυγίων.

## **ΣΧΗΜΑΤΑ**

Σχήμα 1. Η διαγώνιος ενός εικονοστοιχείου ισούται με  $(2 * \alpha 2)^{1/2}$ .

Σχήμα 2. Εικονικό κλειδί για τον προσδιορισμό της ΘεμΔΙ.

Σχήμα 3. Χωρική διακριτική ικανότητα. Η αριστερή φωτογραφία έχει μέγεθος εικονοστοιχείου 6 μέτρα, η μεσαία 12 μέτρα και η δεξιά 24 μέτρα .

Σχήμα 4. Μεταβολή της ραδιομετρικής διακριτικής ικανότητας. Ο αριθμός των διαβαθμίσεων μειώνεται από 256 επίπεδα (αριστερά) σε 16 επίπεδα (μεσαία εικόνα) και σε 2 επίπεδα (δεξιά εικόνα).

Σχήμα 5. Φασματικές υπογραφές νερού, βλάστησης, εδάφους και η φασματική δειγματοληψία του Θεματικού Χαρτογράφου του LANDSAT.

Σχήμα 6. Συνολικές καταγεγραμμένες φυσικές καταστροφές ανά ήπειρο, για την περίοδο 2000-2015 (πηγή EM-DAT: Διεθνής βάση δεδομένων καταστροφών OFDA / CRED).

Σχήμα 7. Παγκόσμιες θερμοκρασιακές ανωμαλίες ανά έτος, σε ξηρά και θάλασσα.

Σχήμα 8. Επιστημονικά άρθρα που προέκυψαν μέσα από το 13<sup>ο</sup> PORSEC.

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή - Ορισμός Κύριων Εννοιών

Σε αυτή τη μεταπτυχιακή διατριβή θα αναφερθούμε στις αεροπлатφόρμες UAS που χρησιμοποιεί η USGS, στα καταγραφικά συστήματα, στα δεδομένα που παράγει, στους τύπους των δεδομένων που παράγει (υψομετρικά δεδομένα και φωτογραφίες) και σε ενδεικτικά project (research missions) που έχουν υλοποιηθεί από την διεύθυνση UAS.

Κύριος στόχος είναι να θεωρήσουμε τις βασικές παραμέτρους που χαρακτηρίζουν εικόνες και υψομετρικά μοντέλα υψηλής ανάλυσης, οι οποίες είναι η χωρική, η ραδιομετρική και η φασματική διακριτική ικανότητα και να προσδιορίσουμε με σύγχρονες τεχνικές επεξεργασίας εικόνας (εντοπισμός ασυνεχειών, εξαγωγή υδρολογικών αντικειμένων, μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση κ.α.) το θεματικό πληροφοριακό περιεχόμενο - θεματική διακριτική ικανότητα. Δηλαδή να προσδιορίσουμε δυνητικές εφαρμογές τους σε μεγάλης κλίμακας εργασίες.

Η αξιολόγηση και ο προσδιορισμός των δυνητικών εφαρμογών αυτών των δεδομένων είναι καίριας σημασίας σε σχέση με την κλιματική αλλαγή και τις συνεπαγόμενες φυσικές καταστροφές από ακραία καιρικά φαινόμενα, που αναγκάζουν τις αρμόδιες κρατικές αρχές να επανακαθορίζουν τις χρήσεις και τις καλύψεις γης προκειμένου να είναι λιγότερο επιδεκτικές στους κινδύνους που προκύπτουν. Επιπλέον τα δεδομένα αυτά μπορούν να καταγραφούν με σχεδόν μηδενικό κόστος εφόσον είναι διαθέσιμες οι αεροπлатφόρμες και τα καταγραφικά συστήματα άμεσα, γεγονός που μας επιτρέπει να υποβοηθήσουμε τη λήψη αποφάσεων παράλληλα με την εξέλιξη του φυσικού κινδύνου ή αμέσως μετά την εκδήλωση του.

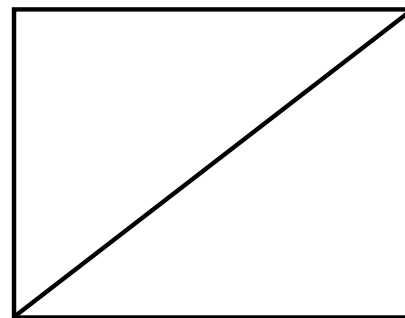
Πρώτα θα αναφερθούμε στη θεματική διακριτική ικανότητα, τις τρεις κύριες παραμέτρους της εικόνας που την προσδιορίζουν άμεσα. Στη συνέχεια θα περιγράψουμε τα δεδομένα από αεροπлатφόρμες της USGS και θα αναφερθούμε συνοπτικά στην κλιματική αλλαγή και στους συνεπαγόμενους φυσικούς κινδύνους. Τέλος θα έχουμε μια πληρέστερη περιγραφή των στόχων της διπλωματικής και των ερευνητικών ερωτημάτων.

## 1.1 Ορισμός της θεματικής διακριτικής ικανότητας

Η θεματική διακριτική ικανότητα (ΘεμΔΙ) αναφέρεται στη δυνατότητα που παρέχει μια ψηφιακή δορυφορική εικόνα για διάκριση δύο αντικειμένων. Έχει άμεση σχέση με την φασματική, ραδιομετρική και χωρική διακριτική ικανότητα, χαρακτηριστικά με τα οποία τα δορυφορικά καταγραφικά συστήματα ή αεροπλανοφόρες καταγράφουν την εικόνα. Πιο συγκεκριμένα σε σχέση με την χωρική διακριτική ικανότητα περιγράφεται από την σχέση:

$$A = 2 * (2 * \alpha^2)^{1/2}, A = 2^{3/2} * \alpha, A = 2.83 * \alpha$$

- όπου **A** η ελάχιστη διάσταση που πρέπει να έχει ένα αντικείμενο προκειμένου να διακριθεί ως προς ένα γειτονικό του σε μία εικόνα και
- **$\alpha$**  η χωρική διακριτική ικανότητα της εικόνας



**Σχήμα 1.** Η διαγώνιος ενός εικονοστοιχείου ισούται με  $(2 * \alpha^2)^{1/2}$ .

Η σχέση αυτή προκύπτει από την απαίτηση να παρεμβάλλεται ένα τουλάχιστον εικονοστοιχείο μεταξύ του αντικειμένου και του περιβάλλοντος. Θεωρώντας την περίπτωση η διάκριση να γίνει κατά μήκος της διαγωνίου του εικονοστοιχείου προκύπτει απόσταση ίση με περίπου δύο φορές το μέγεθος της διαγωνίου. Δηλαδή η θεματική διακριτική ικανότητα προσδιορίζει, όποια αντικείμενα έχουν διαστάσεις μεγαλύτερες τουλάχιστον κατά 2.83, από το μέγεθος του εικονοστοιχείου της εικόνας (Miliareisis, 2009).

**Πίνακας 1.** Θεματική διακριτική ικανότητα για συγκεκριμένα καταγραφικά συστήματα.

Καταγραφικό σύστημα	Χωρική διακριτική ικανότητα (m)	Θεματική διακριτική ικανότητα (m)
AVHRR	1100	3111.3
MODIS (κανάλια 3,4,5,6,7)	500	1414.2
MODIS (κανάλια (8-36))	250	707.1
TM – multispectral	30	84.9

TM – pan	15	42.4
HRV – pan	10	28.3
IRS – pan	6	17
Ikonos-pan	1	2.8

Με βάση τα παραπάνω, η θεματική διακριτική ικανότητα ορίσθηκε μόνο γεωμετρικά. Η φασματική δειγματοληψία του καταγραφικού συστήματος (Granshaw, 2016) που φέρεται από δορυφόρο ή αεροπλανοφόρο, έχει άμεση σχέση με τη θεματική διακριτική ικανότητα αφού καθορίζει, όχι μόνο τα εύρη των καναλιών στα οποία γίνεται η καταγραφή της ενέργειας αλλά και τον τρόπο δειγματοληψίας των φασματικών υπογραφών των θεματικών τάξεων. Δηλαδή δύο αντικείμενα που ανήκουν σε δύο διαφορετικές θεματικές τάξεις, άρα έχουν διαφορετική φασματική υπογραφή, μπορεί να μην είναι δυνατόν να διακριθούν στην ψηφιακή εικόνα. Δηλαδή μπορεί η φασματική τους απόκριση για δεδομένη φασματική δειγματοληψία καταγραφικού συστήματος να ταυτίζεται, άρα να εμφανίζονται ως ίδια (Μηλιαρέσης, 2003α).

Επιπλέον, για δεδομένη φασματική απόκριση, η διάκριση αντικειμένων έχει σχέση με την ραδιομετρική διακριτική ικανότητα του καταγραφικού συστήματος. Είναι κατανοητό ότι όσο μεγαλύτερη η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα ενός συστήματος καταγραφής, τόσο μεγαλύτερη είναι και η θεματική διακριτική ικανότητα. Αυτό συμβαίνει γιατί στο ίδιο εύρος διακύμανσης της ενέργειας η καταγραφή - διαφοροποίηση της προσλαμβανόμενης ενέργειας γίνεται με πιο λεπτομερή τρόπο.

Η τάξη **ΘεμΔΙ (Θεματική Διακριτική Ικανότητα)** είναι ένας αριθμός από το 0 έως το 9 που καθορίζεται με την φωτοερμηνεία και προσδιορίζει τις εφαρμογές και το θεματικό πληροφοριακό περιεχόμενο της εικόνας. Η αξιολόγηση της ΘεμΔΙ δορυφορικών εικόνων είναι πολύ δύσκολο να προσδιορισθεί ποσοτικά για αυτό και ο προσδιορισμός της γίνεται ποιοτικά, με φωτοερμηνευτικά κλειδιά. Η ΘεμΔΙ έχει άμεση σχέση με την κλίμακα της εικόνας που είναι συνάρτηση της χωρικής διακριτικής ικανότητας. Η κλίμακα από μόνη της δεν αρκεί για να προσδιορίσει τη ΘεμΔΙ αφού αυτή είναι συνάρτηση και άλλων παραγόντων.

Η τάξη ΘεμΔΙ προσδιορίζεται για συγκεκριμένη φασματική δειγματοληψία (παγχρωματικές εικόνες ή έγχρωμα σύνθετα συγκεκριμένων καναλιών). Αυτό σημαίνει ότι άλλα φωτοερμηνευτικά κλειδιά θα χρησιμοποιηθούν για παγχρωματικές εικόνες και

άλλα για έγχρωμα σύνθετα. Επιπλέον διαφορετικοί ερμηνευτές μπορούν να οδηγηθούν σε διαφορετικές μεν, παραπλήσιες δε εκτιμήσεις κατά τον προσδιορισμό της ΘεμΔΙ. Ο προσδιορισμός της τάξης γίνεται με βάση την ανίχνευση, διάκριση ή αναγνώριση συγκεκριμένων αντικειμένων που είναι είτε φυσικά (βλάστηση, υδρογραφία, λιθολογία, γεωμορφές), είτε γεωργικά, είτε αστικά-βιομηχανικά (Argiala & Miliareisis, 2001). Υπενθυμίζουμε ότι:

- Ανίχνευση (Detect): είναι ο προσδιορισμός της ύπαρξης ενός αντικειμένου ή δραστηριότητας από ελάχιστο αριθμό στοιχείων που έχουν σχέση με το μέγεθος, σχήμα και τη διάταξη – συσχέτιση με το περιβάλλον. Είναι μια στοιχειώδης μορφή αναγνώρισης αφού δίνεται όνομα στο αντικείμενο (πχ δρόμος).
- Διάκριση (Distinguish): προσδιορίζει ότι δύο γειτονικά αντικείμενα που έχουν ήδη ανιχνευθεί είναι διαφορετικού τύπου (ανήκουν σε άλλες τάξεις) με βάση ένα ή περισσότερα φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά.
- Αναγνώριση (Identify): αναφέρεται στη δυνατότητα να προσδιορισθεί η ταυτότητα ενός αντικειμένου (πχ δρόμος 1<sup>ης</sup> τάξης, γήπεδο καλαθοσφαίρισης κ.α.) ή δραστηριότητας, με αναγνώριση του είδους, της τάξης ή της κατηγορίας στην οποία ανήκει και με βάση μόνο τα φωτοερμηνευτικά του χαρακτηριστικά, την εμφάνιση του δηλαδή στην εικόνα (Μηλιαρέσης, 2003β).

Ένα παράδειγμα περιγραφικού κλειδιού για την αξιολόγηση της θεματικής διακριτικής ικανότητας (ΘεμΔΙ) μιας παγχρωματικής εικόνας είναι το ακόλουθο:

**Τάξη 0:** Η ερμηνεία είναι σχεδόν αδύνατη λόγω της πολύ χαμηλής διακριτικής ικανότητας, της κακής εκτύπωσης, της νέφωσης, των σκιών κ.α.

**Τάξη 1:** Ανίχνευση λιμενικών εγκαταστάσεων μεσαίου μεγέθους. Διάκριση αεροδρομίων από μεγάλους χώρους στάθμευσης. Διάκριση μεταξύ των κύριων χρήσεων - καλύψεων γης (αστική, γεωργική, δάσος, νερό, γυμνό έδαφος). Αναγνώριση του προτύπου του υδρογραφικού δικτύου (δενδριτικό κ.ο.κ.) σε μικρή κλίμακα (εκτεταμένη περιοχή).

**Τάξη 2:** Ανίχνευση V κυματισμού μεγάλων πλοίων, πολύ μεγάλων (>600 στρέμματα) αρδευόμενων εκτάσεων, πολύ μεγάλων κτιρίων (νοσοκομεία, βιομηχανίες). Αναγνώριση κύριων αυτοκινητόδρομων (1ης τάξης).

**Τάξη 3:** Ανίχνευση ανεξάρτητων κτιρίων σε οικιστικές περιοχές, ανίχνευση τρένων. Αναγνώριση ποτάμιων οδών που είναι δυνητικά πλωτές από φορτηγίδες. Διάκριση φυσικού δάσους από οπωροφόρα.

**Τάξη 4:** Αναγνώριση αγροικιών, σιλό ή άλλων μεγάλων γεωργικών βιομηχανικών κτιρίων. Αναγνώριση διπλών σιδηροδρομικών γραμμών. Ανίχνευση γηπέδων μπάσκετ και τένις σε αστικές περιοχές. Ανίχνευση του ίχνους οχημάτων σε αγροτικές περιοχές.

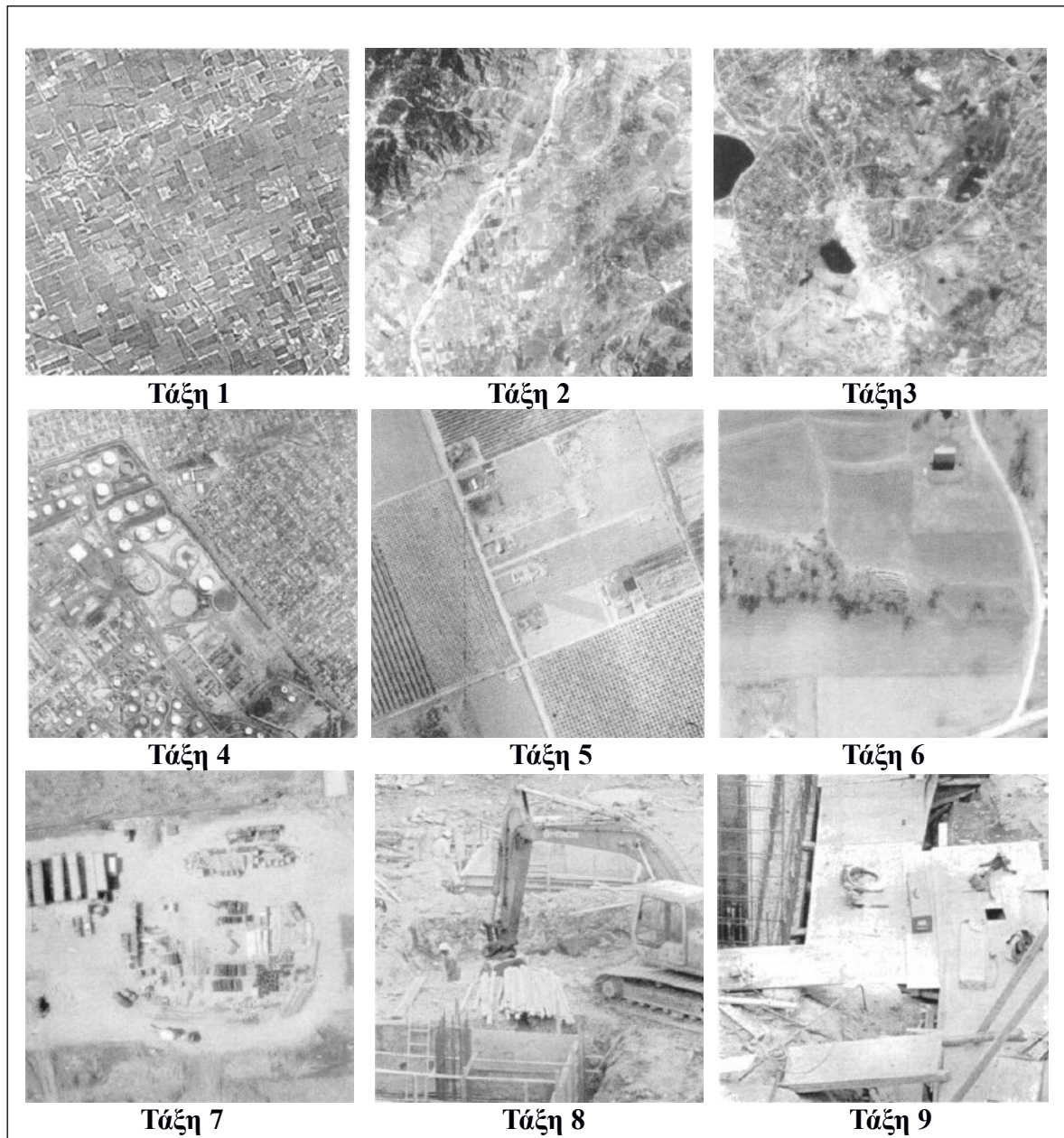
**Τάξη 5:** Ανίχνευση μεγάλων ζώων ( ελέφαντας, καμηλοπάρδαλη) σε περιοχές με πολύ χαμηλή βλάστηση, αυτοκινήτων. Αναγνώριση ομπρέλας προστασίας από τον ήλιο ή σκηνής για πάνω από 2 άτομα, μεμονωμένων βαγονιών σιδηροδρομικών συρμών καθώς και του τύπου τους (ντίζελ, ατμομηχανές), δένδρων με κωνική διάταξη όπως έλατα. Διάκριση κωνοφόρων από φυλλοβόλα την περίοδο πτώσης των φύλλων.

**Τάξη 6:** Ανίχνευση πατημασιών σε γυμνές από βλάστηση περιοχές. Ανίχνευση δενδρυλλίων όπως η ινδική κάνναβη (απαγορευμένες καλλιέργειες) βάση της υψής. Διάκριση αγρών με καλαμπόκι από αγρούς με σιτάρι ή βρώμη. Αναγνώριση του τύπου των αυτοκινήτων (επιβατικό από αγροτικό ή ημιφορτηγό). Αναγνώριση κολώνων τηλεπικοινωνιών ή ηλεκτρικού δικτύου σε οικιστικές περιοχές.

**Τάξη 7:** Αναγνώριση ώριμων φυτών βαμβακιού σε αγρό που είναι γνωστό ότι είναι σπαρμένος με βαμβάκι. Ανίχνευση των σκαλοπατιών μιας σκάλας. Ανίχνευση βράχων σε ακάλυπτες περιοχές ενός δάσους.

**Τάξη 8:** Αναγνώριση κυκλοφοριακής σήμανσης. Ανίχνευση πινακίδων αυτοκινήτου.

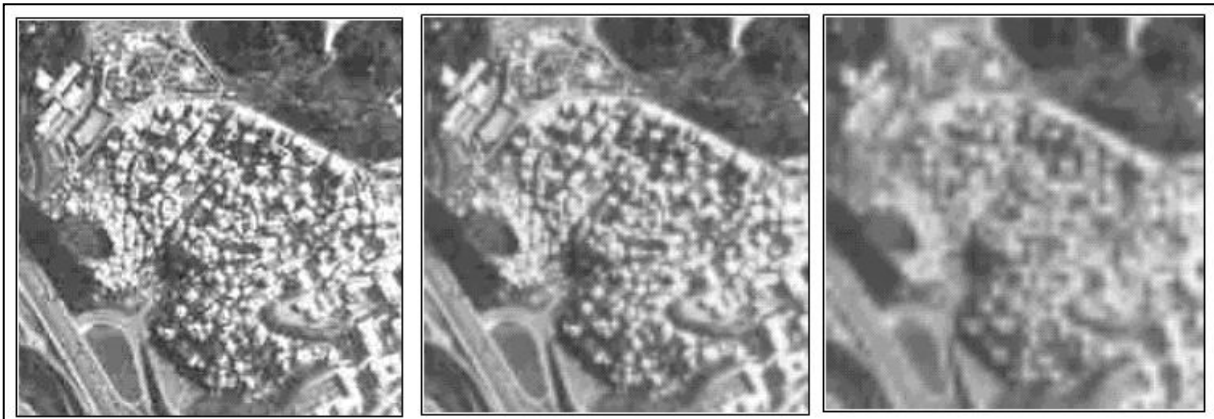
**Τάξη 9:** Αναγνώριση των στύλων ενός φράκτη και των γραμμώσεων των σιδηροτροχιών.



**Σχήμα 2.** Εικονικό κλειδί για τον προσδιορισμό της ΘεμΔΙ.

### 1.1.1 Χωρική Διακριτική Ικανότητα

Η χωρική διακριτική ικανότητα μιας εικόνας σχετίζεται με, το μέγεθος του εικονοστοιχείου το οποίο προσδιορίζει, το ελάχιστο μέγεθος ενός αντικειμένου που μπορεί να διακριθεί στη φωτογραφία. Παραδείγματα δορυφορικών καταγραφικών με διαφορετική χωρική διακριτική ικανότητα στο παγχρωματικό είναι ο Landsat TM με διακριτική ικανότητα 15μ. , ο SPOT με 2,5μ. , ο IRS με 6μ. και ο IKONOS με 1μ. Η χωρική διακριτική ικανότητα ( $\alpha$ ) συνδέεται με την κλίμακα αν αντιστοιχηθεί στο χαρτογραφικό σφάλμα (0.2χιλ.). Δηλαδή αν το εικονοστοιχείο μιας εικόνας με διαστάσεις ( $\alpha \cdot \alpha \mu.^2$ ) τυπωθεί στα όρια του χαρτογραφικού σφάλματος ( $0.2 \cdot 0.2 \chi\lambda.^2$ ) τότε η κλίμακα εκτύπωσης θα είναι  $1:\alpha \cdot 5000$ . Παράδειγμα, αν  $\alpha=30\mu.$ -  $1:150000$ ,  $\alpha=6\mu.$ -  $1:30000$ ,  $\alpha=10\mu.$  -  $1:50000$ ,  $\alpha=1\mu.$  -  $1:5000$ .

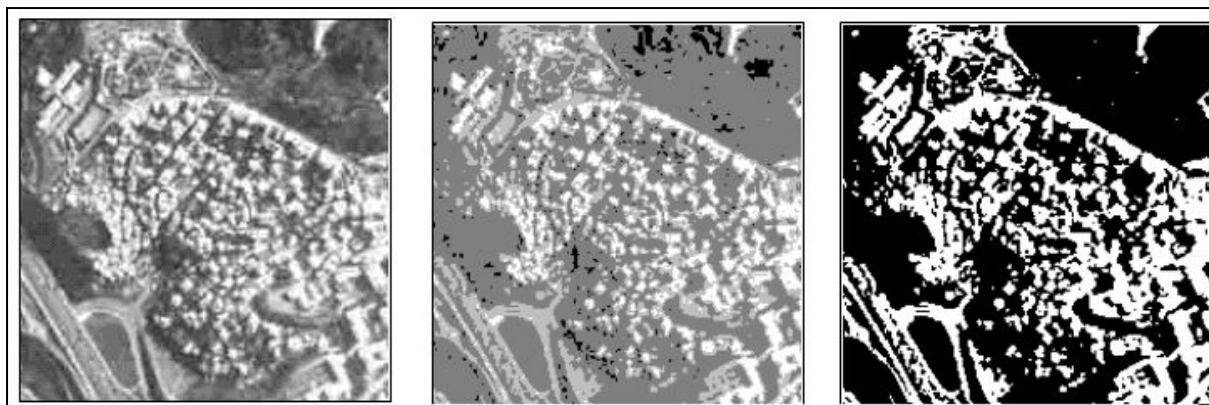


**Σχήμα 3.** Χωρική διακριτική ικανότητα. Η αριστερή φωτογραφία έχει μέγεθος εικονοστοιχείου 6 μέτρα, η μεσαία 12 μέτρα και η δεξιά 24 μέτρα.

### 1.1.2 Ραδιομετρική Διακριτική Ικανότητα

Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα ρυθμίζει τον αριθμό των διαβαθμίσεων που χρησιμοποιούνται για την ψηφιοποίηση της έντασης της ακτινοβολίας. Παραδείγματα δορυφορικών καταγραφικών με διαφορετική ραδιομετρική διακριτική ικανότητα είναι ο Landsat TM και ο SPOT με 256 διαβαθμίσεις, ο IRS με 64 και ο IKONOS με 2048 (Granshaw, 2016). Δηλαδή κάθε ψηφιακό καταγραφικό σύστημα καταγράφει ένα ελάχιστο ( $H_{min}$ ) και ένα μέγιστο ( $H_{max}$ ) ποσό ενέργειας σε ένα φασματικό κανάλι. Η διαφορά  $H_{max}-H_{min}$  τυποποιείται σε ένα ακέραιο αριθμό διαβαθμίσεων από μηδέν έως μια τιμή  $B$  (όπου  $B$  η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα). Είναι σαφές ότι για μεγαλύτερη τιμή του  $B$  τότε στο ίδιο εύρος διακύμανσης της ενέργειας ( $H_{max} - H_{min}$ ) η

καταγραφή - διαφοροποίηση της προσλαμβανόμενης ενέργειας γίνεται με πιο λεπτομερή τρόπο. Δηλαδή η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα έχει άμεση σχέση με το ελάχιστο ποσοστό ενέργειας που απαιτείται να προσληφθεί στο καταγραφικό σύστημα, για να μεταβληθεί η διαβάθμιση του γκριζου με την οποία θα αναπαρασταθεί στην οθόνη (Argiala & Miliarexis, 2001).



**Σχήμα 4.** Μεταβολή της ραδιομετρικής διακριτικής ικανότητας. Ο αριθμός των διαβαθμίσεων μειώνεται από 256 επίπεδα (αριστερά) σε 16 επίπεδα (μεσαία εικόνα) και σε 2 επίπεδα (δεξιά εικόνα).

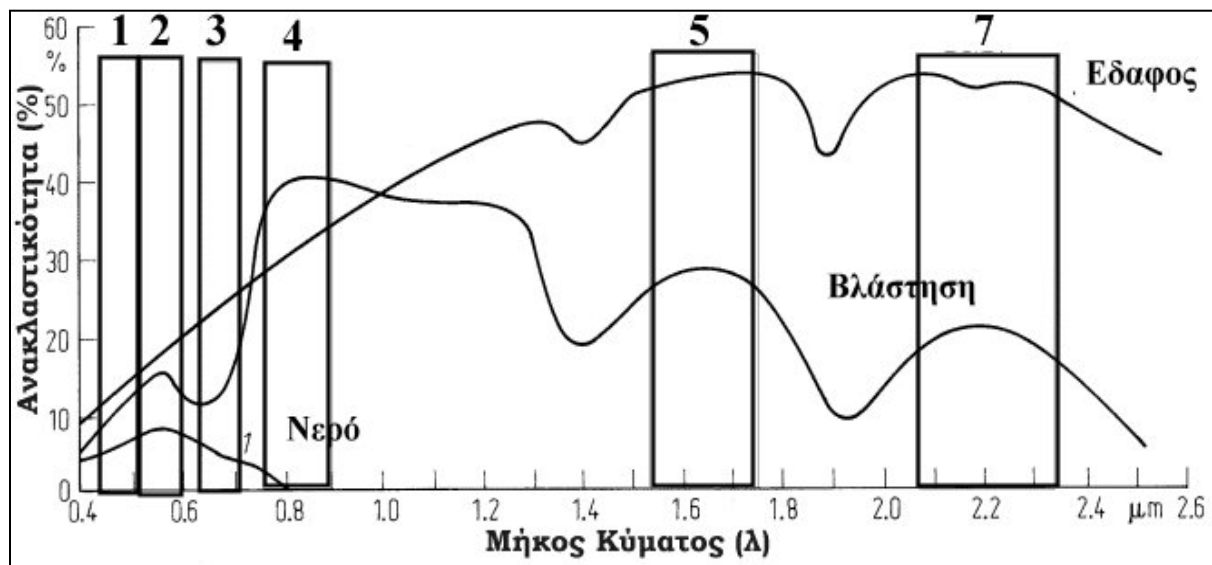
### 1.1.3 Φασματική Δειγματοληψία

Κάθε υλικό παρουσιάζει ξεχωριστή κατανομή ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ακτινοβολίας σε σχέση με το μήκος κύματος  $\lambda$  (φασματική απόκριση). Στο Σχήμα 5 γίνονται εύκολα παρατηρητές οι χαρακτηριστικές καμπύλες φασματικής απόκρισης για το νερό, τη βλάστηση και το έδαφος. Η καμπύλη φασματικής απόκρισης, δηλαδή η καταγραφή της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ως προς το μήκος κύματος, ονομάζεται φασματική υπογραφή του αντικειμένου και είναι μοναδική για κάθε υλικό.

Η μελέτη της φασματικής υπογραφής ενός αντικειμένου μας επιτρέπει να επιλέξουμε τα τμήματα του φάσματος στα οποία είναι ευκολότερη η διάκριση ενός αντικειμένου από το περιβάλλον. Για παράδειγμα, στο κανάλι 4, η βλάστηση θα φαίνεται φωτεινότερη από το έδαφος, ενώ στο κανάλι 7 θα συμβαίνει το αντίθετο. Επιπλέον, στο κανάλι 7, η διαφορά στο μέγεθος της απόκρισης της βλάστησης από το έδαφος είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με το κανάλι 4.

Η φασματική δειγματοληψία ενός καταγραφικού συστήματος αναφέρεται στον τρόπο (σε ποια κανάλια - ζώνες) με τον οποίο καταγράφεται η ανακλώμενη ακτινοβολία - ενέργεια. Στον πιο κάτω πίνακα παρουσιάζονται οι εφαρμογές των καναλιών του

Θεματικού Χαρτογράφου (Thematic Mapper, συντομογραφία TM) του δορυφόρου Landsat. Το ποιες περιοχές του φάσματος θα καταγραφούν και το εύρος τους, έχει σχέση με τις εφαρμογές για τις οποίες έχει σχεδιαστεί το συγκεκριμένο καταγραφικό σύστημα. Όσο περισσότερο το πλήθος των ζωνών και όσο μικρότερο το εύρος φάσματος της κάθε μιας ζώνης, με τόσο πιο μεγάλη ακρίβεια καταγράφεται η καμπύλη φασματικής απόκρισης και τόσο μεγαλύτερη είναι η φασματική διακριτική ικανότητα του συστήματος (Μηλιαρέσης, 2003β).



Σχήμα 5. Φασματικές υπογραφές νερού, βλάστησης, εδάφους και η φασματική δειγματοληψία του Θεματικού Χαρτογράφου του LANDSAT.

Πίνακας 2. Οι εφαρμογές των καναλιών του Θεματικού Χαρτογράφου του δορυφόρου Landsat.

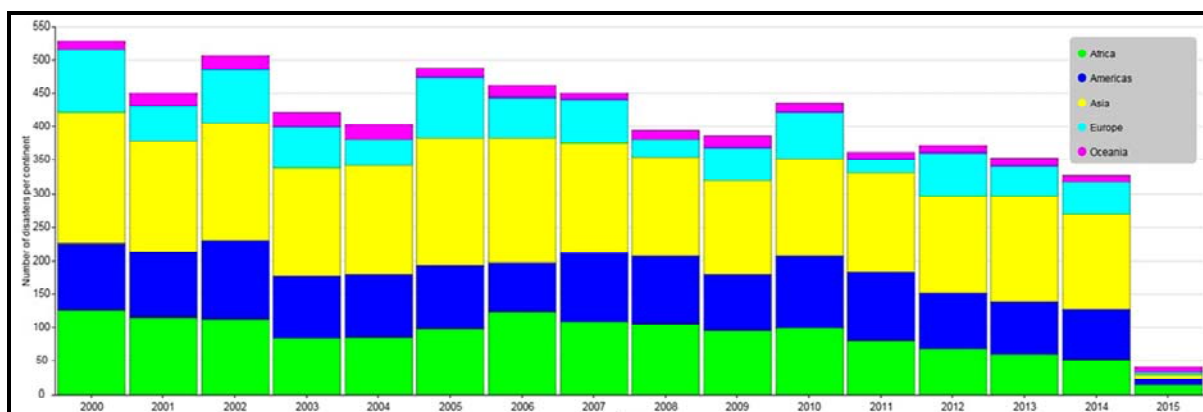
Κανάλι	Εύρος Φασματικού Καναλιού (μήκος κύματος σε μm)	Εφαρμογές
1	0.45-0.52 Μπλε	Σχεδιάστηκε για να διεισδύει στις υδάτινες επιφάνειες. Πολύ χρήσιμο για τη χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών, τη διάκριση διαφόρων ειδών φυτοκάλυψης, τη χαρτογράφηση δασικών περιοχών, τον εντοπισμό ανθρωπογενών κατασκευών.
2	0.52-0.60 Πράσινο	Σχεδιάστηκε για να μετρά το μέγιστο της ανάκλασης της φασματικής καμπύλης της βλάστησης. Πολύ χρήσιμο για τη διάκριση διαφόρων ειδών βλάστησης, ανθρωπογενών κατασκευών.

3	0.63-0.69 Κόκκινο	Σχεδιάστηκε για να καταγράφει στην περιοχή απορρόφησης της χλωροφύλλης. Χρήσιμο για τη διάκριση διαφορετικών ειδών φυτών, ανθρωπογενών κατασκευών.
4	0.76-0.90 Εγγύς Υπέρυθρο	Χρήσιμο για τον προσδιορισμό ειδών βλάστησης την περιεχόμενη βιομάζα, τη διάκριση υδάτινων επιφανειών, τη χαρτογράφηση της περιεχόμενης υγρασίας στο έδαφος.
5	1.55-1.75 Μέσο Υπέρυθρο	Χρήσιμο για προσδιορισμό της υγρασίας των φυτών, της υγρασίας του εδάφους, στη διάκριση νεφών από επιφάνειες με χιόνια.
6	10.4-12.5 Άπω (Θερμικό) Υπέρυθρο	Χρήσιμο για εφαρμογές θερμικής χαρτογράφησης, στη διάκριση διαφορών στην περιεχόμενη υγρασία του εδάφους, στον εντοπισμό ασθενειών της βλάστησης.
7	2.08-2.35 Μέσο Υπέρυθρο	Χρήσιμο για τη διάκριση ορυκτών και πετρωμάτων, τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας της βλάστησης.

## 1.2 Τι είναι κλιματική αλλαγή

Το κλίμα ποικίλλει φυσιολογικά σε όλη τη διάρκεια της ζωής του πλανήτη μας από δεκαετίες σε χιλιετίες και οι μεταβολές αυτές οφείλονται κυρίως σε αλλαγές, στην ατμοσφαιρική και ωκεάνια κυκλοφορία, την ηλιακή εκπομπή ενέργειας και την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Ωστόσο, στο μέλλον η αλλαγή του κλίματος θα κυριαρχείται από τις ανθρωπογενείς επιρροές εκτός και εάν η επιβάρυνση αυτή ελαχιστοποιηθεί και η υπάρχουσα σύνθεση της ατμόσφαιρας σταθεροποιηθεί με κάποιο τρόπο.

Οι άνθρωποι προκαλούν την αλλαγή του κλίματος, επηρεάζοντας το κλίμα της Γης και το περιβάλλον και επιφέρουν επιπτώσεις όπως: κινδύνους που σχετίζονται με το κλίμα, μείωση των καλλιεργειών και απώλειες αγαθών, φτώχεια, πείνα, ανασφάλεια στους πόρους σίτισης, κοινωνική και οικονομική ύφεση, μεταβολές των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, μεταβολές των υδρολογικών συστημάτων μαζί με ελάττωση της εποχιακής χιονοκάλυψης και υποβάθμιση της ποσότητας και της ποιότητας των υδάτινων πόρων (Burghila et al, 2015). Στατιστικά στοιχεία από διάφορες εκθέσεις ασφαλιστικών εταιρειών δείχνουν αύξηση του αριθμού και του κόστους των καταστροφών (φυσικών ή ανθρωπογενών) τις τελευταίες δεκαετίες. Σχεδόν το 90% όλων των φυσικών καταστροφών είναι υδρομετεωρολογικές και προκαλούνται από πλημμύρες, ανεμοστρόβιλους και τυφώνες (OECD, 2008). Στο σχήμα 6 που ακολουθεί φαίνεται πως καταγράφηκαν για την περίοδο 2000-2015, οι παγκόσμιες φυσικές καταστροφές ανά ήπειρο.

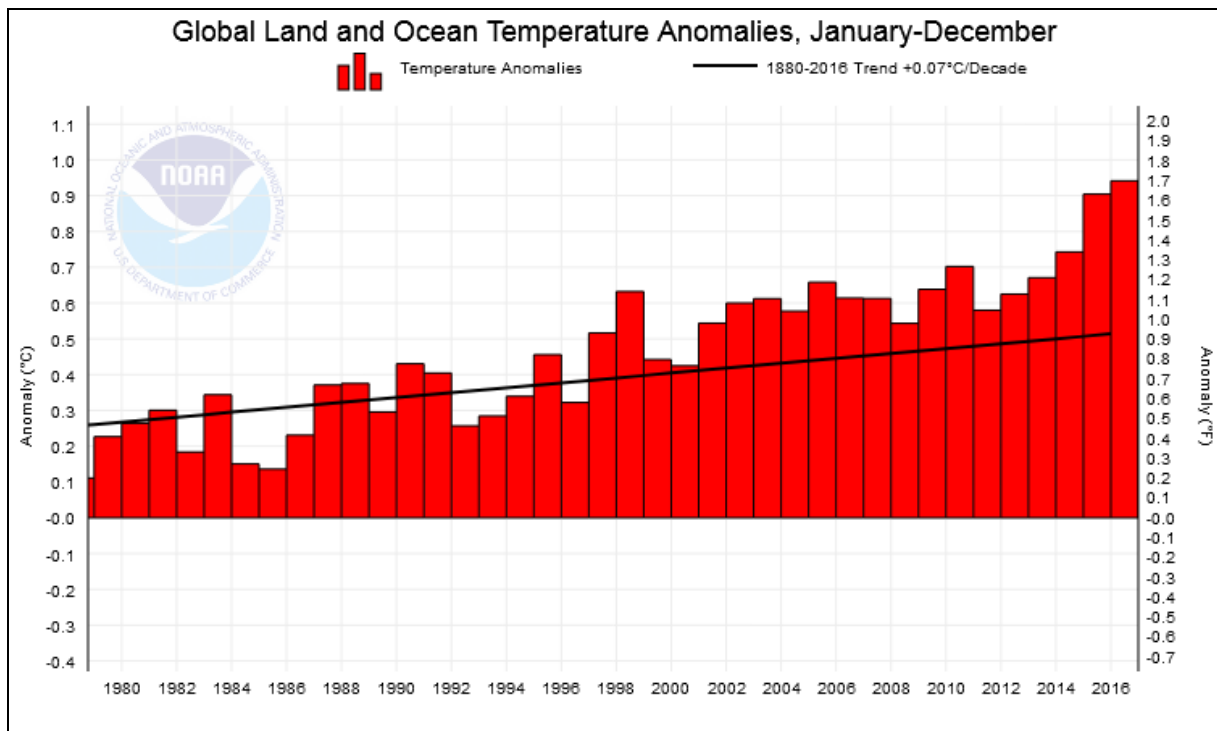


**Σχήμα 6.** Συνολικές καταγεγραμμένες φυσικές καταστροφές ανά ήπειρο, για την περίοδο 2000-2015 (πηγή EM-DAT: Διεθνής βάση δεδομένων καταστροφών OFDA / CRED) .

Καθώς προκύπτουν οι κλιματικές αλλαγές, ακραία καιρικά φαινόμενα όπως ο καύσωνας, η ξηρασία, οι βαριές βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις, οι καταιγίδες και οι πλημμύρες γίνονται όλο και πιο συχνές ή πιο έντονες. Για παράδειγμα, κατά την περίοδο 2004 - 2013, τα θερμοκρασιακά μέγιστα κατέδειξαν ότι η περίοδος αυτή επρόκειτο για τη θερμότερη δεκαετία που καταγράφηκε ποτέ στην Ευρώπη (ΕΕΑ, 2012, 2014). Κλιματικά μοντέλα δείχνουν μια γενική αύξηση της θερμοκρασίας, μεγαλύτερη στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη. Οι αλλαγές στα κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι κλπ) είναι σημαντικά πιο αβέβαιες για να υπολογιστούν, αλλά θα μπορούσε κανείς να αναμένει γενικά υγρές συνθήκες στο βορρά, ξηρότερες συνθήκες στο νότο, και όλο και ξηρότερη ζώνη μεταβολής, κινούμενη από τη δυτική προς την ανατολική Ευρώπη (Beniston & Tol, 1997). Αν οι σημερινές τάσεις των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου συνεχίζουν την ίδια πορεία, οι παγκόσμιες θερμοκρασίες αναμένεται να αυξηθούν ταχύτερα κατά τη διάρκεια αυτού του αιώνα από ότι σε οποιαδήποτε άλλη στιγμή κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10.000 χρόνων. Παρατηρώντας το σχήμα 7 γίνεται εύκολα αντιληπτή η ανοδική πορεία των θερμοκρασιακών ανωμαλιών που καταγράφονται στην επιφάνεια του πλανήτη ανά έτος, τόσο στην ξηρά όσο και στη θάλασσα. Ξεκινώντας από την εκβιομηχάνιση των κοινωνιών, μέσω των εντυπωσιακών οικονομικών και τεχνικών μεταβολών που επέφερε η βιομηχανική επανάσταση στο δεύτερο μισό του 18ου αιώνα και εντεύθεν, οι ανωμαλίες αυτές έχουν ανοδική τάση με ρυθμό ανόδου 0.07 βαθμούς Κελσίου ανά δεκαετία μέχρι και σήμερα (NOAA, 2017).

Σημαντικές αβεβαιότητες περιβάλλουν τις προβλέψεις των περιφερειακών κλιματικών αλλαγών, αλλά είναι πιθανό ότι η περιοχή της νοτιοανατολικής Ευρώπης και ειδικά της Μεσογείου θα ζεστάνει σημαντικά (Karas, 1997). Το μέγεθος και ο ρυθμός της μελλοντικής αλλαγής του κλίματος θα εξαρτηθεί από την ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται, την ευαισθησία του κλίματος στα αέρια αυτά, και το βαθμό στον οποίο τα αποτελέσματα θα τροποποιούνται από τις εκπομπές αεροζόλ. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος - IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ως το πλέον αρμόδιο διεθνές όργανο για την αξιολόγηση της κλιματικής αλλαγής, παρουσίασε έξι σενάρια των μελλοντικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, βασισμένα σε πολύ διαφορετικές παραδοχές όσον αφορά τον μελλοντικό πληθυσμό, την οικονομική ανάπτυξη, την κατανάλωση ενέργειας, τις τεχνολογικές εξελίξεις και τις χρήσεις γης. Όλα αυτά δείχνουν ότι οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις

των αερίων του θερμοκηπίου θα συνεχίσουν να αυξάνονται σε όλο τον 21ο αιώνα, εκτός αν υπάρχει συντονισμένη δράση για τη μείωση των εκπομπών τους (Houghton, 1996).

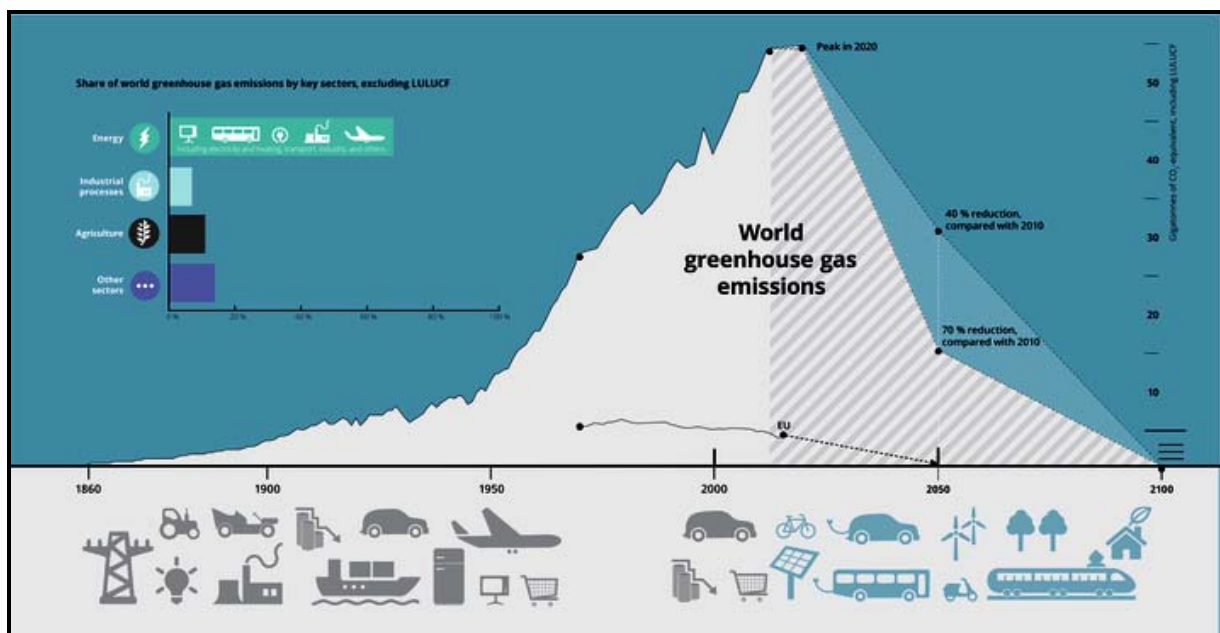


Σχήμα 7. Παγκόσμιες θερμοκρασιακές ανωμαλίες ανά έτος, σε ξηρά και θάλασσα.

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας αναμένεται να επιδεινώσει τα πλημμυρικά φαινόμενα, τις καταιγίδες, το κυματισμό, τη διάβρωση και άλλους παράκτιους κινδύνους, απειλώντας έτσι ζωτικής σημασίας υποδομές, οικισμούς και εγκαταστάσεις που υποστηρίζουν τη διαβίωση των νησιωτικών κοινοτήτων (Mimura et al, 2007). Ξηρασίες θα επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα και τη ποιότητα του νερού. Οι νότιες και νοτιοανατολικές περιοχές στην Ευρώπη παρουσιάζουν σήμερα σημαντικές αυξήσεις στη συχνότητα εμφάνισης ξηρασίας. Υπάρχει σημαντική αύξηση του αριθμού των καταγραμμένων μεγάλων πλημμυρών στην Ευρώπη τις τελευταίες δεκαετίες, όμως δεν υπάρχει ακόμα καμία απόδειξη ότι τα ακραία φαινόμενα πλημμυρών των τελευταίων ετών αποτελούν άμεση συνέπεια της κλιματικής αλλαγής (Kundzewicz et al, 2007). Σύμφωνα με την τέταρτη έκθεση αξιολόγησης (AR4) της IPCC, πιστεύεται ότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες του νερού, η αυξημένη ένταση των βροχοπτώσεων και οι μεγαλύτερες περίοδοι χαμηλών ροών έχουν επιδεινώσει πολλές μορφές/είδη της ρύπανσης των υδάτων. Ωστόσο, δεν υπάρχει καμία απόδειξη που να συνδέει την τάση του κλίματος και την ποιότητα των υδάτων (Parry et al, 2007).

### 1.2.1 Συμφωνία του Παρισιού - COP21

Η Συμφωνία του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή (Paris climate conference - COP21), αποτελεί την πρώτη, νομικά δεσμευτική παγκόσμια συμφωνία για το κλίμα. Υιοθετήθηκε το Δεκέμβριο του 2015 από 195 χώρες από όλο τον κόσμο και κυρώθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση στις 5 Οκτωβρίου 2016. Πρακτικά, η σημασία της συνθήκης αυτής είναι η συμφωνία των συμβαλλόμενων μερών για διατήρηση της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη αρκετά κάτω από τους 2 °C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα και της συνέχισης των προσπαθειών για τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας σε 1,5 °C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα (EU, 2015). Ως δεσμευτικός μετρήσιμος στόχος των κρατών μελών της ΕΕ καθορίστηκε η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της Ένωσης κατά τουλάχιστον 40% σε σύγκριση με το 1990, έως το 2030. Η εικόνα 1 παρουσιάζει συνολικά την πορεία των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από το τελευταίο μισό του 18<sup>ου</sup> αιώνα μέχρι σήμερα. Επιστημονικές μελέτες έχουν δείξει ότι για την επίτευξη του στόχου για περιορισμό της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κάτω από τους 2 °C, οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα πρέπει να φτάσουν στο μέγιστο όριο τους το 2020 και μετά να ξεκινήσουν να μειώνονται. Μέχρι το 2050 αυτές θα πρέπει να μειωθούν κατά 40-70% σε σύγκριση με τις τιμές του 2010, ενώ μέχρι το 2100 οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα πρέπει να φτάσουν σε σχεδόν μηδενικά ή παραπλήσια του μηδενός επίπεδα (EEA, 2017).



Εικόνα 1. Ενέργεια και μετριασμός της κλιματικής αλλαγής.

Η IPCC, στο ίδιο μήκος κύματος, αναφέρει ότι οι αλληλεπιδράσεις προσαρμογής και μετριασμού της κλιματικής αλλαγής και κατά συνέπεια των ακραίων καιρικών φαινομένων, μπορούν να επέλθουν με ένα από τέσσερις βασικούς τρόπους: με προσαρμογές που έχουν ως αποτέλεσμα οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου να μειωθούν, με επιλογές μετριασμού των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής που διευκολύνουν την προσαρμογή των κοινωνιών, με πολιτικές αποφάσεις που ομαδοποιούν, την προσαρμογή μαζί με τον μετριασμό των επιπτώσεων και με συμβιβασμούς και συνέργειες μεταξύ των ενεργειών προσαρμογής και των ενεργειών μετριασμού (Metz et al, 2007). Συνολικά, φαίνεται να υπάρχει μια αναδυόμενη παγκόσμιας κλίμακας συναίνεση γύρω από τη θέση ότι η κλιματική αλλαγή και οι στρατηγικές ανάπτυξης θα πρέπει να θεωρούνται ως συμπληρωματικές και ότι μερικά στοιχεία, όπως η διαχείριση της γης και των υδάτων και ο αστικός, περί - αστικός και αγροτικός σχεδιασμός παρέχουν σημαντική προσαρμογή, ανάπτυξη και δυνατότητες μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Swart & Raes, 2007).

### **1.2.2 Κλιματική αλλαγή και Αεροπλανοφόρες**

Η μεγάλη ποικιλία τρόπων με τους οποίους τα καταγραφικά συστήματα - αισθητήρες μπορούν να συμβάλλουν στη μελέτη όλων των περιοχών της γης, ιδιαίτερα περιοχές δύσκολες σε προσβασιμότητα, σε βαθιούς και παραθαλάσσιους ωκεανούς, αλλά και σε περιοχές της γεώσφαιρας όπου απαιτείται ακόμη πιο πυκνή παρακολούθηση των περιβαλλοντικών αλλαγών, αναδεικνύουν τον σημαίνοντα ρόλο που μπορεί να επιτελέσουν και οι αεροπλανοφόρες στην προσπάθεια μετριασμού της κλιματικής αλλαγής και κατά συνέπεια των ακραίων καιρικών φαινομένων. Μερικοί τομείς έρευνας σχετικοί με την κλιματική αλλαγή, στους οποίους τα UAS μπορεί να επιτελέσουν σημαντικό έργο είναι οι ακόλουθοι:

- Ωκεανογραφικές παρατηρήσεις: Παρατηρήσεις της επιφάνειας του ωκεανού και μελέτες σχετικά με την επίδραση των μεγάλων και μέσων ωκεανογραφικών διεργασιών καθώς και τη σχέση μεταξύ της μεγάλης και μεσαίας κλίμακας μεταβλητότητας και της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας, του ύψους της επιφάνειας της θάλασσας, της αλατότητας της θαλάσσιας επιφάνειας και των ανέμων (Cheng, et al, 2018, Karimova, 2018, Kuo, et al, 2018).

- Παρατηρήσεις παράκτιων ζωνών: Οι εικόνες που καταγράφονται από τις αεροπλανοφόρες επιτρέπουν την παρακολούθηση και αξιολόγηση του τρόπου μεταβολής των παράκτιων περιοχών και των επιπτώσεων αυτών των αλλαγών στα παράκτια οικοσυστήματα, καθώς και σε ειδικότερα θέματα όπως οι μεταφορές παράκτιων ιζημάτων και οι επιπτώσεις της αύξησης της στάθμης της θάλασσας (Gower & King, 2018, Harun-Al-Rashid & Yang, 2018).
- Ακραία καιρικά φαινόμενα: Ακραία γεγονότα, όπως οι πλημμύρες και οι σοβαρές βροχοπτώσεις, συγκαταλέγονται μεταξύ των πιο καταστροφικών φυσικών φαινομένων και κλιματικών συνθηκών σε όλο τον κόσμο, προκαλώντας αρνητικές κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις. Η παρακολούθηση, η πρόβλεψη και η διαχείριση των κινδύνων από ακραία καιρικά συμβάντα είναι πολύ σημαντικές. Προς την κατεύθυνση αυτή πολύ χρήσιμες θα είναι μελέτες δεδομένων από τα καταγραφικά συστήματα των UAS σχετικά με τους κυκλώνες, τα κύματα, τις ορμές θύελλας, τις ακραίες θαλασσοταραχές και την παρακολούθηση της αύξησης της στάθμης της θάλασσας (Mitnik, et al., 2018, Ye, et al., 2018).
- Δεδομένα τηλεπισκόπησης για τη χάραξη πολιτικής: Η πρόοδος στην τεχνολογία της τηλεπισκόπησης, η αυτοματοποιημένη αναγνώριση χαρακτηριστικών και οι τεχνικές ανάλυσης εικόνας διευκολύνουν την εξαγωγή θεματικών πληροφοριών για τη στήριξη της χάραξης πολιτικής και τις τεχνικές αποφάσεις. Σήμερα αναπτύσσονται όλο και περισσότερες έρευνες, με έμφαση σε πρωτοβουλίες που προωθούν την ενσωμάτωση δεδομένων UAS και επιτόπιων μετρήσεων, για την ανάπτυξη λειτουργικών συστημάτων και ολοκληρωμένων υπηρεσιών βασισμένων σε δεδομένα γεωλογικής επισκόπησης και GIS (Duarte, et al., 2018, Sousa, et al., 2018, Wang, et al., 2018).
- Επιχειρησιακή τηλεπισκόπηση: Οι ορατές, υπέρυθρες και μικρο-κυματικές καταγραφές έχουν χρησιμοποιηθεί για επιχειρησιακές εφαρμογές σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών ειδικοτήτων. Λαμβάνοντας υπόψη τη διαθεσιμότητα δεδομένων πολλαπλών αισθητήρων, πολλαπλών χρονοσειρών, πολλαπλών αναλύσεων και πολλαπλών συχνοτήτων από τα UAS αλλά και τους δορυφόρους παρατήρησης της γης, οι επιχειρησιακές πτυχές των διαφόρων τεχνικών και εφαρμογών στον ωκεανό και στην αλιεία (π.χ. πετρελαιοκηλίδες, ωκεάνια κατάσταση) είναι αυτονόητες (Ivanov, et al., 2018, Hong & Yang, 2018, Jaiganesh, et al., 2018).

Χαρακτηριστικό της σημασίας της τηλεπισκοπικής παρακολούθησης στον παγκόσμιο αγώνα κατά της κλιματικής αλλαγής είναι και τα συμπεράσματα από διάφορα διεθνή επιστημονικά συνέδρια που ασχολούνται με το θέμα. Ένα από τα πιο πρόσφατα ήταν και το 13<sup>ο</sup> Biennial Pan Ocean Remote Sensing Conference (PORSEC) που διεξήχθη το Νοέμβριο του 2016 στην πόλη Fortaleza της Βραζιλίας. Η σπουδαιότητα των συνεδρίων PORSEC αντικατοπτρίζεται από το γεγονός ότι ανάμεσα στους κύριους χορηγούς και χρηματοδότες τους είναι η European Space Agency (ESA), η National Aeronautics and Space Administration (NASA), και η National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) των ΗΠΑ.

Στο σχήμα 8 φαίνονται τα επιστημονικά άρθρα που προέκυψαν μέσα από παρουσιάσεις στο προαναφερθέν συνέδριο (Levy, et al, 2018). Αποτελεί ενδιαφέρον στοιχείο η ποικιλία των καταγραφικών συστημάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση των επιστημονικών εργασιών και οι δυναμικές εφαρμογές που μπορεί να έχουν, πράγμα το οποίο επιβεβαιώνει τα προαναφερθέντα και τον ρόλο που μπορεί να επιτελέσουν τα UAS στην απαιτούμενη δράση κατά της κλιματικής αλλαγής.

Paper	Theme(s)/session	Remote sensor(s)/mission(s)	Region(s)/ocean(s)/sea(s)
Cheng et al. 2018	Large and mesoscale oceanography	Altimeter, radiometers	Pacific
Karimova 2018	Large and mesoscale oceanography	Thermal infrared imagery, altimeter	North Western Mediterranean Sea
Kuo et al. 2018	Large and mesoscale oceanography	AVHRR	East and South China Seas
Lebedev 2018	Large and mesoscale oceanography	Altimeter	Caspian Sea
Ye et al. 2018	Large and mesoscale oceanography/extreme events/ocean-atmosphere interaction	AQUA MODIS, VIIRS, AMSR-E, AVHRR, Altimeter, ASCAT	South China Sea
Duarte et al. 2018	Coastal impacts/remote-sensing data for policymaking	RapidEye	Atlantic Coast of NE Brazil
Gower and King, 2018	Coastal impacts	MODIS, VIIRS, OLCI	North Pacific
Harun-Al-Rashid and Yang 2018	Coastal impacts	GOCI	Yellow Sea
Sousa et al. 2018	Coastal impacts/new technologies and image processing/remote-sensing data for policymaking	Landsat 5-TM and 8, OLI	Atlantic Coast of NE Brazil
Misra et al. 2018	New technologies and image processing	LANDSAT-8	North Sea/Wadden Sea
Tings and Velotto 2018	New technologies and image processing	Synthetic Aperture Radar (SAR), TerraSAR-X RADARSAT-2	North Sea
Hong and Yang 2018	Operational remote sensing/new technologies and image processing	SAR, Sentinel-1	Arctic Ocean, North, Kara & Chukchi Seas
Ivanov et al. 2018	Operational remote sensing	SAR	Barents Sea
Jaiganesh et al. 2018	Operational remote sensing/new technologies and image processing	MODIS, GOCI	Korea, Japan and China seas
Mitnik et al. 2018	Ocean-atmosphere interaction/extreme events	Meteor-M #2; GCOM-W1	South Atlantic, South Pacific
Sun et al. 2018	Ocean-atmosphere interaction	MODIS-Aqua, ASCAT scatterometer	Indian Ocean, South China Sea
Wang et al. 2018	Remote-sensing data for policymaking	AVHRR	East China Sea

**Σχήμα 8.** Επιστημονικά άρθρα που προέκυψαν μέσα από το 13<sup>ο</sup> PORSEC και δημοσιεύτηκαν σε επιστημονικά περιοδικά.

## 1.3 Τι είναι UAS

Το Ινστιτούτο Γεωλογικών Ερευνών των Η.Π.Α. (U.S. Geological Survey - USGS) έχει οργανώσει μια διεύθυνση την οποία αποκαλεί διεύθυνση Μη Επανδρωμένων Συστημάτων (Unmanned Aircraft Systems - UAS) η οποία έχει σαν αποστολή, να παρακολουθεί τις εξελίξεις στον τομέα των μη επανδρωμένων αεροπлатφόρμων (platforms), οι οποίες ενσωματώνουν σύγχρονους σαρωτές (sensors) για τη λήψη τηλεσκοπικών δεδομένων. Επιπλέον, παρακολουθεί τις εξελίξεις στον τομέα των καταγραφικών συστημάτων λήψης/σαρωτές (sensors).

Η ίδια διεύθυνση ασχολείται με τη λήψη και αρχειοθέτηση των δεδομένων που καταγράφουν οι σαρωτές που είναι ενσωματωμένοι στις πλατφόρμες UAS. Διαχέει τα δεδομένα σε άλλες διευθύνσεις της USGS, του δημοσίου των ΗΠΑ και σε δημόσιους φορείς, ακαδημαϊκά ιδρύματα αλλά και στο κοινό. Επιπλέον, δέχεται αιτήματα για λήψη και διάθεση δεδομένων UAS από δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς τα οποία ικανοποιεί σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των μέσων που διαθέτει, τις επικοινωνιακές προτεραιότητες που έχει η υπηρεσία και κυρίως ανάλογα με το δημόσιο συμφέρον. Δηλαδή, εάν συμβεί κάποιο έκτακτο γεγονός, για παράδειγμα μια φυσική καταστροφή όπως κατολίσθηση, πλημύρα – πλημμυρικό γεγονός, πυρκαγιά, πετρελαιοκηλίδα, μια απειλή για προστατευόμενο οικοσύστημα πανίδας - χλωρίδας κ.α. τότε η διάθεση των μέσω της διεύθυνσης UAS γίνεται κατά προτεραιότητα.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στις αεροπлатφόρμες UAS που χρησιμοποιεί η USGS, στα καταγραφικά συστήματα, στα δεδομένα που παράγει, στους τύπους των δεδομένων που παράγει (υψομετρικά δεδομένα και φωτογραφίες) και σε ενδεικτικά project (research missions) που έχουν υλοποιηθεί από την διεύθυνση UAS.

### 1.3.1 Αεροπлатφόρμες UAS

Η USGS χρησιμοποιεί δύο αεροπлатφόρμες, η μια είναι η 3DR Solo που στην ουσία προσομοιάζει την κίνηση αεροπλάνου, η οποία είναι ηλεκτροκίνητη μέσω μιας μπαταρίας Λιθίου και ο έλεγχος της γίνεται με σύστημα τηλεπλοήγησης (USGS, 2017). Η μεταφορική της ικανότητα είναι 500 γραμμάρια, το μέγιστο ύψος πτήσης τα 100 μέτρα και η αυτονομία πτήσης της 25 λεπτά.



**Εικόνα 2.** Η αεροπлатφόρμα 3DR Solo.

Το δεύτερο σύστημα που χρησιμοποιεί είναι το Pulse Aerospace Vapor 55™ (USGS, 2017) το οποίο είναι τακτικό μη επανδρωμένο ελικόπτερο, που έχει την ικανότητα να μεταφέρει 14 κιλά εξοπλισμό, η αυτονομία πτήσης του είναι μια ώρα και το ύψος πτήσης δυνητικά μπορεί να ανέλθει στα 4500 μέτρα. Ο έλεγχος του γίνεται με σύστημα καθοδήγησης τηλεμετρίας που επιτρέπει την προεισαγωγή του σχεδίου (ίχνους) πτήσης.



**Εικόνα 3.** Η αεροπлатφόρμα Pulse Aerospace Vapor 55™.

### **1.3.2 Καταγραφικά συστήματα λήψης/σαρωτές (sensors)**

Οι αεροπлатφόρμες UAS υποστηρίζουν την απόκτηση Full Motion Video (FMV) και την λήψη δεδομένων είτε από φυσική έγχρωμη ή θερμική κάμερα υπερέθρων (IR), ωστόσο στηρίζοντας το πλήρες φάσμα των ερευνών της διεύθυνσης UAS, παρέχουν πρόσβαση σε ένα πολύ ευρύτερο φάσμα αισθητήρων, συμπεριλαμβανομένων των πολυφασματικών, υπερφασματικών ραντάρ και αισθητήρων ανίχνευσης και εντοπισμού φωτός (LiDAR). Παρακάτω, αναφέρονται τα καταγραφικά συστήματα λήψης/σαρωτές που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος στις αεροπлатφόρμες UAS της USGS (USGS, 2017):

- FLIR Vue Pro R (θερμικός σαρωτής)
- MicaSense RedEdge 3 (πολυφασματικός σαρωτής)
- Pentax Ricoh GR (φυσικός έγχρωμος σαρωτής)
- Sony A5100 (φυσικός έγχρωμος σαρωτής)
- Sony A5100 με φακό Voightlander (φυσικός έγχρωμος σαρωτής)

### **1.3.3 Τηλεσκοπικά δεδομένα από αεροπлатφόρμες UAS**

Οι δραστηριότητες έρευνας δεδομένων της διεύθυνσης UAS, επικεντρώνονται στην αξιολόγηση νέων αισθητήρων συμβατών με αεροπлатφόρμες UAS και στην ανάπτυξη τεχνικών επεξεργασίας δεδομένων, για την εκμετάλλευση της αύξησης στην ανάλυση και στην ακρίβεια των σαρωτών, ώστε να δημιουργηθούν καλύτερα παραδοσιακά και νέα προϊόντα δεδομένων για να βοηθηθούν οι απαντήσεις σε επιστημονικά και φυσικά ερωτήματα. Στη συνέχεια παρατίθενται τηλεσκοπικά δεδομένα που μπορούν να ληφθούν από τις αεροπлатφόρμες, καθώς και τεχνικές επεξεργασίας τους (USGS, 2017).

#### **1.3.3.1 Δεδομένα**

- Θερμική απεικόνιση (Thermal Photography). Η θερμική απεικόνιση και η φωτογραμμετρία χρησιμοποιούνται για την καταγραφή λεπτομερών πληροφοριών για τα γεωθερμικά χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας, της ενδημικής πανίδας και της υπάρχουσας βλάστησης (Nishar, et al, 2016, Bendig, et al, 2012).



**Εικόνα 4.** Έγχρωμος υπέρυθρος ορθοφωτογραφικός χάρτης που δημιουργήθηκε από ένα μωσαϊκό εικόνων, που τραβήχτηκαν με φωτογραφική μηχανή Canon s100 με υπέρυθρη ακτινοβολία πάνω από τον ποταμό Sycan στη λεκάνη του Klamath στο Όρεγκον.

- Ορθοφωτογράφιση (Orthophotography). Οι ορθοφωτογραφίες που λαμβάνονται από UAS έχουν αξιολογηθεί με διάφορες δοκιμές χωρικής ποιότητας που χρησιμοποιούνται από εθνικούς φορείς χαρτογράφησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ορθοφωτογραφίες αυτές πέρασαν ικανοποιητικά τις δοκιμές και είναι επομένως ένα χρήσιμο εργαλείο παραγωγής ορθοφωτογραφιών (Mesas-Carrascosa , et al, 2014).
- Έγχρωμη υπέρυθρη ορθοφωτογράφιση (Color Infrared Orthophotography). Υπερφασματικά δεδομένα και ορθοφωτογραφίες από έγχρωμους υπέρυθρους αισθητήρες που φέρονται από UAS, τυγχάνουν ευρείας χρήσης στον τομέα της παρακολούθησης της χλωρίδας και των καλλιεργειών (Bendig, et al, 2015).
- Δημιουργία νέφους σημείων (Point Cloud Generation). Ένα νέφος σημείων δημιουργείται από μεμονωμένα τρισδιάστατα σημεία που έχουν καταγραφεί από κάποιο σαρωτή και αποτελούν το πρωτογενές προϊόν της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης. Τα UAS παρέχουν τη δυνατότητα λήψης δεδομένων πολύ κοντινής εμβέλειας. Οι λεπτομερείς εικόνες που καταγράφονται μπορούν να δημιουργήσουν πυκνά νέφη σημείων χρησιμοποιώντας τεχνικές πολλαπλών προβολών, που συνδυάζουν τη φωτογραμμετρία και την υψηλή ανάλυση των ηλεκτρονικών υπολογιστών (Harwin & Lucieer, 2012)



**Εικόνα 5.** Δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου 3D του γεωλογικού σχηματισμού Devil's Tower στο Wyoming των ΗΠΑ.

- Εξαγωγή χαρακτηριστικών (Feature Extraction). Για την ανάλυση τηλεπισκοπικών δεδομένων που λαμβάνονται από UAS μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές εξαγωγής χαρακτήρων η εκφραστική ισχύς των οποίων αντανακλάται σε διάφορα σενάρια όπως: ταξινόμηση των αεροφωτογραφιών UAS, ταξινόμηση της χρήσης γης από πολύ υψηλής ανάλυσης εικόνες ή ταξινόμηση της εδαφοκάλυψης από υπερφασματικές εικόνες κλπ (Romero, et al, 2016).

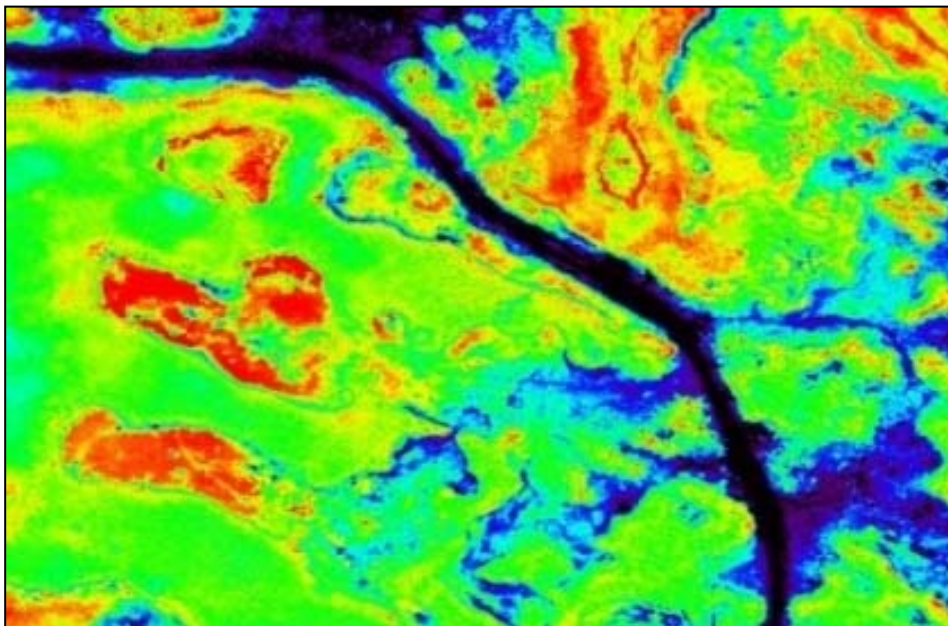
- Ισοϋψείς καμπύλες (Contours). Η δυναμική που παρέχουν οι εικόνες υψηλής ανάλυσης από UAS για τη δημιουργία και την ενημέρωση των κτηματολογικών χαρτών διευρύνεται όλο και περισσότερο. Μέσω αυτών παρέχεται η δυνατότητα επιτάχυνσης της διαδικασίας γενικής οριοθέτησης περιοχών κατά τη δημιουργία και την ενημέρωση των κτηματολογικών χαρτών (Crommelinck, et al, 2017).

- Ψηφιακά μοντέλα εδάφους (Digital Surface Models - DSM). Η επεξεργασία δεδομένων των εικόνων UAS πραγματοποιείται με τη χρήση αλγορίθμων από την κλασική φωτογραμμετρία αλλά και σύγχρονων αλγορίθμων Computer Vision (CV) μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η υψηλή ακρίβεια των δεδομένων αυτών κάνουν εφικτή τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους (Bhandari, et al, 2015).

- Μέτρηση όγκου (Volumetric Measurement). Η καταγραφή μέσω UAS εικόνων υψηλής ανάλυσης, λόγω του χαμηλού κόστους της όλης διαδικασίας, μπορεί να δημιουργήσει μια χρονοσειρά δεδομένων, για το αναγκαίο για κάθε έρευνα χρονικό εύρος. Κλασικό

παράδειγμα αποτελεί η μελέτη κατολισθητικών φαινομένων όπου μεταβλητές όπως η περιοχή κατολίσθησης, η κλίση του εμπρόσθιου άκρου της αλλά και οι ογκομετρικές αλλαγές συγκεκριμένων περιοχών της κατολίσθησης μετρήθηκαν μέσω εικόνων από χρονολογικές σειρές (Turner, et al, 2015).

- Δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index NDVI). Η βλάστηση αποτελεί βασική συνιστώσα όλων των παγκόσμιων οικοσυστημάτων, ως εκ τούτου είναι πολύ σημαντικό να παρακολουθούνται συνεχώς οι αλλαγές στην κάλυψη και τη δομή της, ειδικά εκείνες που οφείλονται στην ανθρώπινη παρέμβαση. Οι αεροπλατφόρμες έχουν τη δυνατότητα καταγραφής βίντεο της εδαφοκάλυψης με χρήση αισθητήρων με φακό υπέρυθρων φίλτρων για λήψη σύνθετων βίντεο. Η ανάλυση αυτών παρέχει την δυνατότητα τμηματοποίησης της εδαφοκάλυψης και εκτίμησης του δείκτη NDVI αλλά και άλλων δεικτών βλάστησης (Ghazal, et al, 2015).



**Εικόνα 6.** Παραγωγή δείκτη βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI) στο Εθνικό καταφύγιο άγριας ζωής, Ruby Lake των ΗΠΑ.

### 1.3.3.2 Τεχνικές επεξεργασίας

- Γλώσσα σήμανσης (Keyhole Markup Language - KML) για αλλαγή της μορφής των δεδομένων και χρήση τους σε πολλαπλά λογισμικά προγράμματα.
- Δόμηση μέσω της φωτογραμμετρίας κίνησης (Structure from Motion Photogrammetry)

- Συλλογή παρτίδων στιγμιότυπων/ακίνητων εικόνων από βίντεο (Batch Capturing of Still Frame Images from Video)
- Δημιουργία δείκτη βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI)
- Εξαγωγή/εισαγωγή δεδομένων EXIF σε αρχεία εικόνων αεροπλατφόρμων UAS με γεωγραφικές συντεταγμένες (Extracting and Inserting EXIF Data on an Image File From UAS Imagery with GPS Coordinates)
- Με διάφορα λογισμικά προγράμματα σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές (COTS Software: Agisoft PhotoScan Professional Edition, GOM Media Player, Blue Marble Geographics Global Mapper, ENVI, ImageJ, Exiv2)

### 1.3.4 Υλοποιημένα Project (research missions) της διεύθυνσης UAS

Πιο κάτω γίνεται αναφορά σε μερικές ενδεικτικές ερευνητικές αποστολές τις οποίες υλοποίησε η διεύθυνση UAS, σε συνεργασία με ιδιωτικούς ή δημόσιους φορείς και ακαδημαϊκά ιδρύματα (USGS, 2017).

- Ταχείας απόκρισης: Συλλογή δεδομένων UAS για παρακολούθηση πλημμυρών. Ποταμός Pemigewasset στην περιοχή Plymouth, New Hampshire, Φεβρουάριος 2017 (Εικόνα 7).



**Εικόνα 7.** Καταγραφή δεδομένων υψηλής ανάλυσης σε μια έκταση 4 μιλίων του ποταμού Pemigewasset, που επλήγει από τις πλημμύρες που προκλήθηκαν από ένα φράγμα πάγου.

- Βυθομετρία φραγμάτων σε περιόδους ξηρασίας. Λίμνη Fall Creek στην περιοχή Oregon, Νοέμβριος 2016. Γενικά η στάθμη του νερού σε φράγματα και λίμνες επηρεάζει άμεσα τους γεωμορφολογικούς παράγοντες των περιοχών που βρίσκονται (Templin, et al, 2018, Misra, et al, 2018).

-Χρήση του UAS για συλλογή δεδομένων σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. Εθνικό καταφύγιο άγριας ζωής, Palmyra Atoll, Νοέμβριος 2016. Ειδικά σε περιπτώσεις όπου οι τοποθεσίες αυτές είναι επιρρεπείς σε φυσικές καταστροφές (Serban, et al, 2016). Στις απομακρυσμένες τοποθεσίες γενικότερα μπορούν να θεωρηθούν και περιοχές που το

κόστος για την ανάληψη ερευνητικών αποστολών είναι απαγορευτικό (έρημοι, ωκεανοί κλπ) (Lebedev, 2018) .

- Δημιουργία Μοντέλων 3D. Γεωλογικός σχηματισμός Devil's Tower στο Wyoming, Οκτώβριος 2016 (Εικόνα 5). Αποτελεί προϊόν της ανασύνθεσης της τοπογραφίας με χρήση υψηλής ανάλυσης δεδομένων UAS με την τεχνική της δόμησης μέσω της κίνησης (Mancini, et al, 2013).

- Έρευνες σεισμογενών ρηγμάτων. Όρος Borah Peak στο Idaho, Μάης 2016 (Εικόνα 8). Μια ευρείας κλίμακας χρήση της φωτογραμμετρίας κίνησης αφού τα ρήγματα μπορεί να εκτείνονται σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων (Fonstad, et al, 2013).



**Εικόνα 8.** Χρήση δεδομένων UAS για δόμηση μέσω της φωτογραμμετρίας κίνησης, «structure from motion» (SfM), των σεισμογενών ρηγμάτων του όρους Borah Peak.

## 1.4 Στόχος – Ερευνητικά ερωτήματα

Στη διπλωματική αυτή εργασία έχουμε ήδη αναφερθεί, στις αεροπλανοφόρες UAS (Unmanned Aircraft Systems) που χρησιμοποιεί η USGS (United States Geological Survey), στα καταγραφικά συστήματα, στα δεδομένα που παράγει, στους τύπους των δεδομένων που παράγει (υψομετρικά δεδομένα και φωτογραφίες) και σε ενδεικτικά project (research missions) που έχουν ήδη υλοποιηθεί από τη διεύθυνση UAS.

Κύριος στόχος της παρούσης εργασίας είναι να θεωρήσουμε τις βασικές παραμέτρους που χαρακτηρίζουν τα υψομετρικά δεδομένα υπερυψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας (DEM – Digital Elevation Model) αλλά και τις εικόνες υψηλής ευκρίνειας (Orthophotos) που λαμβάνονται από τις αεροπλανοφόρες. Αυτές οι παράμετροι είναι η χωρική, η ραδιομετρική και η φασματική διακριτική ικανότητα και μέσω σύγχρονων τεχνικών επεξεργασίας των παραμέτρων αυτών (εντοπισμός ασυνεχειών, εξαγωγή υδρολογικών αντικειμένων, μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση κ.α.) μπορούμε να προσδιορίσουμε το θεματικό πληροφοριακό περιεχόμενο των καταγραμμένων δεδομένων. Αποκαλύπτοντας με τον τρόπο αυτό δυνητικές περιβαλλοντικές εφαρμογές τους σε αγροτικές, δασικές περιοχές αλλά και στο αστικό και δομημένο περιβάλλον και οι οποίες ενδεχομένως θα υποβοηθήσουν τη λήψη αποφάσεων σε τοπικό, περιφερειακό και κρατικό επίπεδο, δημιουργώντας το υπόβαθρο για την ανάπτυξη εφαρμογών με γνώμονα τις αρχές της αειφόρου ανάπτυξης.

Τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα της παρούσης εργασίας καταπιάνονται με τα γεωγραφικά δεδομένα που συλλέγονται από τις αεροπλανοφόρες και εάν αυτά παρέχουν ικανοποιητικές πληροφορίες για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στη λήψη αποφάσεων και στην υποστήριξη του αειφόρου περιβαλλοντικού σχεδιασμού τόσο σε περιορισμένη (τοπικά) όσο και σε μεγαλύτερη κλίμακα (περιφερειακά, κρατικά). Πρέπει επίσης να καθοριστεί ποία είναι η νοηματική διατύπωση και ποία η ποσοτική διατύπωση της θεματικής διακριτικής ικανότητας αυτών των δεδομένων.

Με δεδομένη την κλιματική αλλαγή και τα ακραία καιρικά φαινόμενα που μαζί με την υπερθέρμανση και τη σταδιακή άνοδο της στάθμης της θάλασσας, αποτελούν τις κύριες επιπτώσεις της, κρίνεται απαραίτητη η επαναχωροθέτηση των χρήσεων και των

καλύψεων γης λαμβάνοντας υπόψη και τον επανασχεδιασμό των τεχνικών έργων και των ρυθμιστικών χωροταξικών σχεδίων των οικισμών-βιομηχανικών ζωνών. Τα δεδομένα UAS παρέχουν ένα φθηνό (εάν όχι δωρεάν) τρόπο συλλογής υπερυψηλής ανάλυσης δεδομένων χωρίς καμιά προς το παρόν πιστοποίηση αλλά και τεκμηρίωση των εφαρμογών τους.

Η διαθεσιμότητα ελεύθερης χρήσης ή χαμηλού κόστους, γεωγραφικών δεδομένων υπερυψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας (ΨΥΜΕ και εικόνες) από αεροπλανοφόρες, παρά τους μερικούς συγκεκριμένους περιορισμούς τους, ως προς την ακρίβεια αλλά και το θεματικό τους περιεχόμενο, θεωρούμε ότι μπορεί να έχει άμεση χρήση και θετική συμβολή στον στρατηγικό περιβαλλοντικό σχεδιασμό εν πρώτοις των αρχών τοπικής αυτοδιοίκησης καθώς επίσης και των κυβερνήσεων των σύγχρονων κρατών.

# Κεφάλαιο 2

## Χρήση UAS

Η χρήση των αεροπλανοφόρων - UAS εγείρει μια σειρά από θέματα. Αυτά αφορούν θέματα ασφάλειας αφού η πληθώρα αερομεταφερόμενων πλανοφόρων ειδικά σε αστικό περιβάλλον και πλησίον αεροδρομίων είναι δυνατόν να προκαλέσει ατυχήματα. Πόσο μάλλον όταν η χρήση των UAS δεν περιορίζεται μόνο στην αεροφωτογράφιση και στην εικονοσκόπηση (Videos) αλλά και στη μεταφορά και παράδοση προϊόντων. Επιπλέον, η ενσωμάτωση φορητών όπλων στα UAS εγείρει θέματα ηθικής στη χρήση τους στα πεδία των μαχών αλλά και σε στρατιωτικές επιχειρήσεις σε αστικό περιβάλλον με θύματα μεταξύ αμάχων.

Επίσης η χρήση των UAS μπορεί να επεκταθεί είτε με προσθήκες - μετατροπές είτε χωρίς προσθήκες - μετατροπές για τυχόν εγκληματικές δραστηριότητες. Από την άλλη πλευρά ή αύξηση και βελτίωση των δυνατοτήτων τους προϋποθέτει τη χρήση τους από εξειδικευμένους χρήστες που θα πρέπει να εκπαιδευτούν τόσο τεχνικά όσο και θεωρητικά για να γνωρίζουν το νομικό πλαίσιο που αφορά τις αεροπλανοφόρες και είναι υπό διαμόρφωση αλλά και τη διαδικασία αδειοδότησης / υποβολής σχεδίων πτήσης ανάλογα με την εφαρμογή που θα χρησιμοποιηθεί το UAS.

Οι δυνατότητες των UAS είναι προϊόν συνάρτησης α) της εναέριας πλανοφόρας β) των σαρωτών που μπορεί να μεταφέρει και γ) της τηλεμετρίας (δηλαδή του μηχανισμού που επιτρέπει την, σε πραγματικό χρόνο, μετάδοση των ψηφιακών δεδομένων σε ένα σταθμό βάσης). Ειδικά στον τομέα των περιβαλλοντικών επιστημών οι αεροπλανοφόρες αποδεδειγμένα αποτελούν πλέον μια βασική νέα τεχνολογία, ένα πολύ σημαντικό και χρήσιμο εργαλείο στα χέρια του κάθε ερευνητή (Milas, et al, 2018). Οι εναέριας πλανοφόρες διαρκώς εξελίσσονται ενώ η αύξηση της ζήτησης (πωλήσεις) μειώνει το κόστος απόκτησής τους. Οι βασικοί παράμετροι αφορούν την αυτονομία (χρόνος) πτήσης, τη μεταφορική ικανότητα (βάρος προϊόντων ή σαρωτών), το ύψος

πτήσης, την ικανότητα ελιγμών κατά την προσέγγιση στόχων σε περιοχές έντονου τοπογραφικού ανάγλυφου, αλλά και την ικανότητα πτήσης τους για λήψη δεδομένων ή αποστολών επιτήρησης στη διάρκεια δυσμενών καιρικών φαινομένων (άνεμοι, βροχόπτωση κ.α.). Οι σαρωτές διαρκώς εξελίσσονται και κυρίως αφορούν τα παθητικά, ψηφιακά, καταγραφικά συστήματα, το ορατό, το εγγύς υπέρυθρο, το μέσο υπέρυθρο και το θερμικό υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Το κόστος διαρκώς μειώνεται ενώ γραμμική είναι και η μείωση του βάρους και του όγκου των αεροπлатφόρμων. Η τηλεμετρία αφορά την ασφαλή απόσταση (οριζόντια και καθ ύψος) που μπορούν να πλοηγηθούν αλλά και την ικανότητα πλοήγησης ή προγραμματισμού της πλοήγησης τους σε ζώνες που δεν υπάρχει οπτική επαφή λόγω έντονου τοπογραφικού ανάγλυφου. Στη βιβλιογραφική ανασκόπηση θα παρουσιαστούν τα παραπάνω μέσα από παραδειγματικές εφαρμογές.

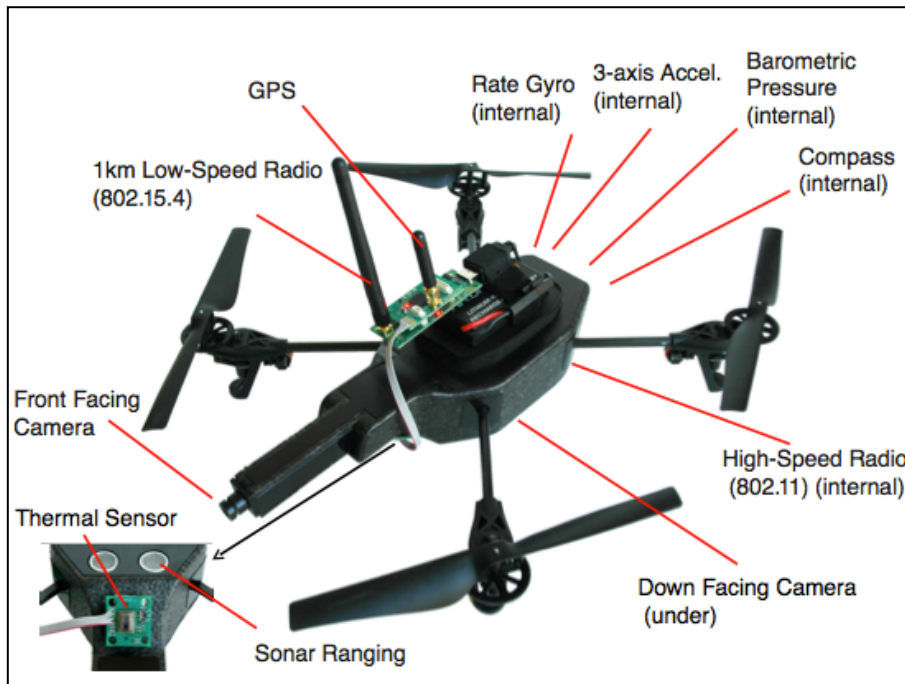
## 2.1 Κοινωνικές - οικονομικές επιπτώσεις και νομικό πλαίσιο

Τα UAS όταν πρωτοεμφανίστηκαν χρησιμοποιήθηκαν σχεδόν αποκλειστικά για στρατιωτικούς σκοπούς με κύρια λειτουργία την αναγνώριση και τον εντοπισμό αντίπαλων στόχων. Η εν συνεχεία φυσιολογική τους εξέλιξη ήταν ραγδαία και σήμερα έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν εξελιγμένα οπλικά συστήματα και να προσβάλουν εχθρικούς στόχους. Αυτές οι δραστηριότητες εγείρουν νομικά προβλήματα και απαιτείται να δημιουργηθεί ένα νομικό πλαίσιο που να προσδιορίζει, κανόνες εμπλοκής κατά τη στρατιωτική τους χρήση αφού υπάρχουν παραδείγματα προσβολών μη στρατιωτικών στόχων, με αποτέλεσμα τις απώλειες άμαχου πληθυσμού. Παράδειγμα, σύμφωνα με τον Roma (2017) η στρατιωτική χρήση των UAS των ΗΠΑ, μεταξύ Ιανουαρίου 2012 και Φεβρουαρίου 2013 είχε σαν αποτέλεσμα να σκοτωθούν πάνω από 200 άνθρωποι από τους οποίους μόνο 35 μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως εχθρικοί στόχοι. Βέβαια ο σύγχρονος πόλεμος διεξάγεται σε αστικό περιβάλλον και πολλές φορές αυτό είναι και το επιδιωκόμενο από τη μια πλευρά, να χρησιμοποιεί δηλαδή τους άμαχους για κάλυψη και ως ασπίδα. Από την άλλη πλευρά αυτή η τεχνολογία εξαπλώνεται ραγδαία κυρίως λόγω της πτώσης της τιμής των UAS και την ολοένα αναβάθμιση των τεχνολογικών δυνατοτήτων που παρέχονται για πολιτική χρήση.

Αρχικά τα UAS χρησιμοποιήθηκαν για την «αποτίμηση κατάστασης» μετά από φυσικές καταστροφές (σεισμοί, πλημύρες, κατολισθήσεις, πυρκαγιές) και για εφαρμογές περιφρούρησης πιθανών τρομοκρατικών στόχων και ασφάλειας, όπως περιπολίες πάνω από διωλιστήρια, δημόσια κτίρια και άλλα. Η μετάβαση από την αποκλειστικά στρατιωτική χρήση των UAS σε πολιτικοκοινωνική χρήση μπορεί να ανιχνευθεί στο επακόλουθο του τυφώνα Κατρίνα που έπληξε τις ΗΠΑ το 2005. Πλατφόρμες UAS, που μέχρι τότε είχαν αποκλειστικά στρατιωτική χρήση, εξοπλισμένες με ακριβείς υπέρυθρες κάμερες αποδείχθηκαν εμπράκτως ως ένα χρήσιμο εργαλείο πεδίου στην ευρεία προσπάθεια διάσωσης που ακολούθησε του τυφώνα (Rao, et al, 2016).

Αυτό οδήγησε την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Αεροπορίας (FAA) των ΗΠΑ να εκδώσει για πρώτη φορά το 2006, πιστοποιητικά που να επιτρέπουν τη χρήση στρατιωτικών UAS, της σειράς M7RQ, σε μη στρατιωτικές περιοχές του εναέριου χώρου (Craighead, et al, 2007). Παρότι η χρήση τους είναι πολύ πρόσφατη έχουν δημιουργηθεί τεράστια προβλήματα ασφάλειας όπως για παράδειγμα, η παραλίγο σύγκρουση μιας

χειριζόμενης από ερασιτέχνη αεροπлатφόρμας με ένα Jumbo Jet της εταιρείας Virgin κατά τη διαδικασία της προσγείωσής του στο αεροδρόμιο Perth (Indra Sistemas, 2013).



**Εικόνα 9.** Η δομή ενός UAS που μπορούμε να αγοράσουμε στο λιανικό εμπόριο.

Η τεχνολογική εξέλιξη των UAS αφορά κυρίως την ικανότητα εξαιρετικά ακριβούς πλοήγησής τους σε αστικό περιβάλλον, τη μεγαλύτερη αυτονομία πτήσης, την ικανότητα να φέρουν όλο και πιο προηγμένους σαρωτές τόσο για ερασιτεχνική λήψη φωτογραφιών όσο και για επαγγελματική αεροφωτογράφιση - σύνθεση φωτομωσαϊκών. Τα χαρακτηριστικά αυτά και το ευρύ φάσμα χρήσεων των UAS, μπορούν να αλλάξουν το τοπίο της ευρύτερης βιομηχανίας (κατασκευαστές μη επανδρωμένων αεροσκαφών, παροχείς υπηρεσιών και δημιουργοί σαρωτών/πлатφόρμων) όσον αφορά την ασφάλεια, την ταχύτητα και κατά συνέπεια το κόστος. Για παράδειγμα, τα UAS περιορίζουν τη χρήση των ελικοπτέρων με την εκτέλεση παρόμοιων λειτουργιών χωρίς να θέτουν σε κίνδυνο τους χειριστές των ελικοπτέρων ενώ η χρήση των UAS στοιχίζει περίπου το ένα δέκατο του αντίστοιχου της χρήση ελικοπτέρου κόστους (Paganini, 2014).

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα UAS να εμπλέκονται εκτός από επιστημονικές και ερασιτεχνικές εφαρμογές και σε εμπορικές δραστηριότητες, αφού υπάρχουν παραδείγματα αποστολής και διάθεσης προϊόντων στις ΗΠΑ και στην Αγγλία με UAS στα οποία έχουν δοθεί τα στοιχεία διεύθυνσης του παραλήπτη. Όλα αυτά δημιουργούν την ανάγκη σύγκλισης ενός νομικού πλαισίου που να καθορίζει τις εφαρμογές, τις

δραστηριότητες, τα στοιχεία πτήσης τους (απόσταση από σχολεία, βενζινάδικα, κτίρια κ.α.), αποφυγή υπέρπτησης συγκεκριμένων περιοχών, ποιοι και κάτω από ποιες προϋποθέσεις εκπαίδευσης θα έχουν τη δυνατότητα να τα πλοηγούν, ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός UAS που μπορεί να κάνει υπερπτήση ανά μονάδα επιφανείας, τι θα συμβεί σε περίπτωση ατυχήματος, από το οποίο θα προκύπτουν τραυματισμοί ανθρώπων και καταστροφή περιουσιών, πως θα αποφευχθεί η χρήση τους για εγκληματικές δραστηριότητες, ποια υπηρεσία και με ποια μέσα θα ελέγχει και θα αστυνομεύει τις υπερπτήσεις UAS και τις χρήσεις τους.

Ως προς το παρόν οι κατασκευαστές UAS έχουν πραγματοποιήσει βασικές βελτιώσεις, που αποσκοπούν στο να βελτιώσουν την ασύρματη σύνδεση μεταξύ των πλατφόρμων και των χειριστών και στο να επιτρέπουν στις συσκευές να ανιχνεύουν και να αποφεύγουν αυτόματα τυχόν εμπόδια. Για παράδειγμα, η «DJI Innovations», ένας κορυφαίος κατασκευαστής UAS, έχει ήδη εφαρμόσει στο τελευταίο μοντέλο σχεδιασμού της ένα GPS εντοπισμού που θα εμποδίζει το UAS να πετάξει πάνω από 500 πόδια και από την είσοδο του σε απαγορευμένο εναέριο χώρο, π.χ. γύρω και πάνω από αεροδρόμια. Ωστόσο, η μαζική χρήση της τεχνολογίας των UAS έχει αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό και δεν είναι σαφές ότι αυτοί οι κανόνες πτήσεων θα αποτρέψουν εντελώς τα ατυχήματα και τις «παραλίγο καταστροφές». Η εταιρεία «DroneShield LLC» με έδρα την Ουάσινγκτον έχει εγκαταστήσει τους τελευταίους 18 μήνες περίπου 200 συστήματα ανίχνευσης περιορισμένων/ απαγορευμένων εναέριων χώρων σε παγκόσμιο επίπεδο, συμπεριλαμβανομένων φυλακών, κυβερνητικών κτιρίων και σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Η εταιρεία «Resilient Solutions Ltd.», στην Αλεξάνδρεια Virginia, συνεργάζεται με έναν Ευρωπαϊκό εργολάβο αμυντικών συστημάτων για να αναπτύξει ένα εξελιγμένο σύστημα που να μπορεί να ανιχνεύσει και να εντοπίσει ένα UAS και να προσδιορίσει εάν αποτελεί πιθανή απειλή (Nicas, 2015).

Το μεγαλύτερο πρόβλημα με τα UAS είναι η αποδοχή τους από την κοινωνία. Μέχρι σήμερα οι τηλεπισκοπικές δραστηριότητες λάμβαναν χώρα σε πολύ μεγάλα ύψη 200-500 χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης σε σημείο που η λήψη αυτών των δεδομένων γινόταν ακούσια για τους ανθρώπους στην επιφάνεια της γης. Δεν υπήρχε όχληση της ιδιωτικότητας τους επειδή μπορούσαν να δουν μόνο το προϊόν της λήψης (δορυφορική εικόνα) το οποίο όμως λόγω μικρής χωρικής διακριτικής ικανότητας (μεγαλύτερη από 0,5μ) δεν ήταν δυνατή η αναγνώριση ανθρώπων. Βέβαια υπήρχε όχληση σε επίπεδο

κρατών, σε διεθνές και διπλωματικό επίπεδο, γιατί ήταν δυνατόν πρώιμων στρατιωτικών δραστηριοτήτων και απαγορευμένων χρήσεων π.χ. εγκατάσταση πυρηνικών όπλων.

Στη σημερινή εποχή όταν έχουμε την πτήση ενός UAS πλησίον μας δεν ξέρουμε αν αυτό καταγράφει πληροφορίες που αφορούν τα προσωπικά μας δεδομένα – δηλαδή ότι την χ χρονική στιγμή βρισκόμαστε στο «α» μέρος και εκτελούσαμε την «β» δραστηριότητα. Το ερώτημα που προκύπτει είναι ποιος μπορεί να κάνει αυτή την καταγραφή, ποιος δεν μπορεί να την κάνει και που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτά τα δεδομένα. Ένα παράδειγμα που δεν έχει σχέση με τα UAS αλλά αφορά ένα εντελώς αντίστοιχο πρόβλημα είναι η εφαρμογή Street View της Google Map, η οποία επί σκοπού δημοσιοποιεί στο διαδίκτυο εικόνα υψηλής ευκρίνειας καταγεγραμμένη από τους χρήστες της. Σε αυτή την περίπτωση με ειδικό λογισμικό της Google (Roma, 2014) πραγματοποιείται αυτοματοποιημένη επεξεργασία των εικόνων πριν την ανάρτηση τους στο διαδίκτυο ούτως ώστε να μην είναι δυνατή η αναγνώριση δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα, όπως προσώπων και πινακίδων κυκλοφορίας οχημάτων.

Η έλλειψη εμπιστοσύνης από μέρους του κοινωνικού συνόλου δημιουργεί τεράστια αντίσταση και αναξιοπιστία απέναντι στις νέες τεχνολογίες που σχετίζονται με τις αεροπλανοφόρες: ένας τρόπος ευαισθητοποίησης της κοινωνίας προς την κατεύθυνση αποδοχής των UAS είναι η ανάθεση και ο καταμερισμός των ευθυνών και υποχρεώσεων των νέων αυτών τεχνολογιών, κυρίως σε περιπτώσεις ατυχημάτων. Ως τώρα στις ΗΠΑ, έχουν καταχωρηθεί μόνο γενικές κατευθυντήριες γραμμές για τη συλλογή αποδεικτικών στοιχείων και αναγνώριση χειριστών / μαρτύρων και καταγραφή συνεντεύξεων στην περίπτωση ατυχημάτων που σχετίζονται με UAS (FAA, 2014). Ιδανικότερο σενάριο θεωρείται η εφαρμογή ενός ενιαίου νομικού πλαισίου, μέσω κυβερνητικών και ιδιωτικών οργανισμών, που να καθορίζει τα πρότυπα λειτουργίας των αεροπλανοφόρων σε όλες τις χώρες. Επίσης, για την εξασφάλιση της εγκυρότητας του νομικού πλαισίου ως προς τη διασφάλιση της προστασίας του δικαιώματος της ιδιωτικής ζωής, αυτό δεν πρέπει να συνδέεται στενά με την υφιστάμενη μόνο τεχνολογία, αλλά να προνοεί και την κάλυψη αλλαγών και παραμέτρων που πιθανότατα θα εμφανιστούν στο άμεσο μέλλον λόγω της αλματώδους ανάπτυξης της τεχνολογίας των UAS.

Εξετάζοντας την οικονομική πτυχή του θέματος μπορούμε με βεβαιότητα να συμπεράνουμε ότι υπάρχουν πολλά θετικά αποτελέσματα από τη χρήση των αεροπλανοφόρων για εμπορικούς σκοπούς. Θα ήταν σκόπιμο να ληφθεί υπόψη η σχέση μεταξύ εμπορικών αεροπλανοφόρων και της οικονομικής ανάπτυξης, καθώς και ο αλληλοαντίκτυπός τους, εξαιρώντας τις ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια και την προστασία της ιδιωτικής ζωής. Η εταιρεία Amazon ξεκίνησε τη χρήση αεροπλανοφόρων για την παράδοση παραγγελιών σε πελάτες της, λόγω όμως της γενικότερης απαγόρευσης στις πτήσεις UAS που επέβαλε η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας (Ο.Δ.Α.) των Η.Π.Α. το 2013, η διαδικασία αυτή σταμάτησε.



**Εικόνα 10.** Μια από τις αεροπλανοφόρες που χρησιμοποιεί η εταιρεία Amazon.

Για το λόγο αυτό η Amazon από το 2014 χρησιμοποιεί το Ηνωμένο Βασίλειο ως τη χώρα δοκιμών για την παράδοση των παραγγελιών της με τη χρήση αεροπλανοφόρων, δηλώνοντας ταυτόχρονα ότι θα δημιουργούσε χίλιες νέες θέσεις μόνιμης απασχόλησης στα κέντρα συσκευασίας και διανομής της σε οχτώ τοποθεσίες στο Η.Β.. Ως εκ τούτου, η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας συνεπάγεται με οικονομική ανάπτυξη (Lurricini & So, 2016). Σε άρθρο του στους «New York Times» ο αρθρογράφος σε θέματα τεχνολογίας Farhad Manjoo αναφέρει ότι οι περιορισμοί που επέβαλε η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας στις εμπορικές χρήσεις αεροπλανοφόρων μπορεί να επηρεάσουν την εξέλιξη του κλάδου αλλά και τις πωλήσεις. «Οι ομοσπονδιακοί περιορισμοί έχουν ένα μόνο σκοπό: την ασφάλεια. Η Ο.Δ.Α., αρνήθηκε να σχολιάσει καθώς ολοκλήρωνε ένα σχέδιο πρότασης σχετικά με τον τρόπο ρύθμισης των αεροπλανοφόρων, ξόδεψε αρκετά χρόνια ψάχνοντας τη σωστή ισορροπία μεταξύ της διατήρησης της ασφάλειας

στους αιθέρες και στην ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών.» Ο Manjoo δηλώνει επίσης ότι η βιομηχανία των αεροπλανοφόρων θα αναπτυχθεί περαιτέρω εάν αρθεί το μορατόριουμ στη χρήση τους. «Οι αντιλήψεις γύρω από τα UAS έχουν διαμορφωθεί μέσα από την έλλειψη γνώσης, ενημέρωσης, των προφανών εφαρμογών τους, μια έλλειψη για την οποία εν μέρει ευθύνονται οι υπερβολικά περιοριστικοί κανονισμοί. Εάν οι κανόνες χαλαρώσουν και οι εμπορικές πτήσεις απελευθερωθούν, οι κατασκευαστές αεροπλανοφόρων υποστηρίζουν ότι οι αντιλήψεις θα αλλάξουν» (Manjoo, 2015). Γενικά τα ενδιαφερόμενα μέρη στους διάφορους βιομηχανικούς τομείς του εμπορίου αλλά και οι υπηρεσίες επιβολής του νόμου υποστηρίζουν σθεναρά την προοπτική εμπορικών χρήσεων των αεροπλανοφόρων. Υπάρχουν και άλλου είδους ενδιαφερόμενα μέρη όπως οι ερασιτέχνες χρήστες, οι οποίοι όμως στερούνται συνήθως εκπαίδευσης στην χρήση UAS και που ως επί το πλείστον τα χρησιμοποιούν σε μη επιτρεπόμενες περιοχές.

Από πολιτικής άποψης, ο Gretchen A. Peck αναφέρει στο περιοδικό «Editor & Publisher» ότι: «Η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας δεν φαίνεται να προχωρεί σε θετικά βήματα όσον αφορά τον τομέα των αεροπλανοφόρων. Το 2012 η υπηρεσία ανακοίνωσε τη δημιουργία του «Γραφείου Ενσωμάτωσης Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών - Unmanned Aircraft Systems Integration Office» το οποίο θα διαχειριζόταν τόσο τις δημόσιες όσο και τις ιδιωτικές δραστηριότητες αεροπλανοφόρων ανά τη χώρα» (Lurpicini & So, 2016). Το μέλλον των εμπορικών χρήσεων των UAS βρίσκεται στα χέρια της Ο.Δ.Α. μέσα από τις μεταρρυθμίσεις που θα επιβάλει. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της εξάρτησης των εμπορικών χρήσεων των UAS από τις ενέργειες της Ο.Δ.Α. αποτελεί η πιο πάνω αναφορά στην εταιρεία Amazon. Την ίδια στιγμή η Ευρωπαϊκή Ένωση (2014) διακήρυξε ότι όλα τα εμπλεκόμενα μέρη στον τομέα των αεροπλανοφόρων πρέπει να δημιουργήσουν έναν «οδικό χάρτη» που να αναφέρεται σε όλα τα επιμέρους θέματα που αφορούν τον τομέα, «αυστηρά κριτήρια ασφάλειας, προστασία της ιδιωτικής ζωής, προστασία δεδομένων, ασφάλιση και πρότυπα ευθύνης» μέχρι το 2016. Οι πολιτικές διεργασίες για την τροποποίηση των νόμων για την ασφάλεια και την προστασία της ιδιωτικής ζωής είναι προ των πυλών, αλλά η τεχνολογία των αεροπλανοφόρων εξελίσσεται ταχύτερα από την εφαρμογή των νόμων αυτών. Επιπρόσθετα, η εξαιρετική ικανότητα παρακολούθησης που παρέχουν οι αεροπλανοφόρες γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής στις υπηρεσίες επιβολής του νόμου. Η αποδοχή εκ μέρους των κυβερνήσεων αυτής της πρακτικής παρακολούθησης θα

οδηγήσει σε μια δημόσια συζήτηση αναφορικά με την παραβίαση της ιδιωτικότητας, παρόμοια με αυτή που υπάρχει όσον αφορά τις κάμερες παρακολούθησης στους δρόμους μητροπολιτικών περιοχών (Lurricini & So, 2016).

Στον πιο κάτω πίνακα μπορούμε να δούμε τις κυριότερες σύγχρονες προκλήσεις που σχετίζονται με θέματα που αφορούν τα UAS, την παρούσα προσέγγιση ως προς τον χειρισμό των θεμάτων αυτών αλλά και προτάσεις και λύσεις για να γίνει η αντιμετώπιση των θεμάτων αυτών περισσότερο αποτελεσματική.

**Πίνακας 3.** Προκλήσεις και προτάσεις/λύσεις σχετικές με τα UAS (Rao, et al, 2016).

<b>Προκλήσεις</b>	<b>Θέματα</b>	<b>Παρούσα προσέγγιση</b>	<b>Περιορισμοί</b>	<b>Προτάσεις / Λύσεις</b>
<b>Ασφάλεια</b>	Αξιοπιστία UAS. Ασφάλεια πτήσεων.	Επιθεώρηση – Πιστοποίηση. Εθελοντική εκπαίδευση σε θέματα ασφαλείας.	Παροχή κινήτρων χωρίς την εξασφάλιση της ασφάλειας. Δεν απευθύνεται σε ιδιωτικούς χρήστες.	Ενθαρρύνει τους ερασιτέχνες χρήστες να αναπτύξουν δίκτυο συντήρησης. Δημιουργία εξομοιωτών εκπαίδευσης μέσω λογισμικών ανοιχτού κώδικα.
<b>Επηρεασμός εναέριου χώρου</b>	Έλλειψη επίγνωσης. Περιορισμοί πτήσεων.	Κοινοτικά προγράμματα προβολής. Διακοπείς σήματος.	Δαπανηρές εφαρμογές. Δύσκολο να μετρηθεί η αποτελεσματικότητα.	Ευαισθητοποίηση κατά τη διαδικασία εγκατάστασης Ανάπτυξη ενσωματωμένου γεω-αποκλεισμού.
<b>Ιδιωτικότητα</b>	Καταπάτηση του ιδιωτικού και δημόσιου χώρου. Πτήσεις σε ιδιωτική ιδιοκτησία.	Λογική προσδοκία εξασφάλισης της ιδιωτικής ζωής.	Περιορίζονται σε συστήματα τηλεαπεικόνισης. Δεν θεωρείται παραβίαση του εναέριου χώρου.	Τηλεπροβολή μέσω ενσωματωμένων καμερών. Δημιουργία τοπικών οικιστικών ζωνών απαγόρευσης πτήσεων.
<b>Κυριότητα δεδομένων</b>	Παράνομη επιτήρηση. Συλλογή, αποθήκευση και χρήση ιδιωτικών δεδομένων.	Έρευνα μετά το συμβάν. Αντιμετώπιση μετά από διάπραξη αδικημάτων.	Αβεβαιότητα όσον αφορά τους νόμους περί απορρήτου όσον αφορά τα UAS. Δυσκολία στον εντοπισμό περιπτώσεων παραβίασης της ιδιωτικής ζωής	Συμπερίληψη της τηλεπισκόπισης στους περί ιδιωτικότητας νόμους. Δημιουργία συστημάτων αναφοράς «κακής χρήσης»

<b>Ευθύνη</b>	Προσδιορισμός της ευθύνης. Εκτίμηση των ζημιών.	Παραδοσιακή έρευνα. Μόνο σε περιπτώσεις τραυματισμών.	Μη διαθέσιμες σχετικές πληροφορίες. Έλλειψη σαφών κατευθυντήριων γραμμών σχετικά με UAS.	Χρήση δεδομένων πτήσης. Να επεκταθεί ο κανονισμός ευθύνης της FAA στα UAS.
<b>Κανονισμοί λειτουργίας</b>	Διαχείριση κανόνων. Διαχείριση εγγραφών.	Συντονισμός από τοπικούς φορείς επιβολής του νόμου. Απειλή νομικής δράσης εναντίον μη κατοχυρωμένων εγγραφών.	Διαφορετικοί τοπικοί, κρατικοί και ομοσπονδιακοί νόμοι. Θέματα με ιδιωτικό απόρρητο και χρήση δεδομένων.	Δημιουργία ενός συνοπτικού και περιεκτικού πλαισίου. Κρυπτογράφηση δεδομένων, με δυνατότητα αιτήματος αποκάλυψης.
<b>Ασφάλιση</b>	Δολιοφθορά και εξαπάτηση. Κακοπροαίρετη χρήση.	Σχετίζεται με το ιδιοκτησιακό δίκαιο.	Αφήνει τα UAS ευάλωτα σε χειραγώγηση.	Συνεργασία με τους κατασκευαστές για να κρυπτογραφηθεί το σήμα.

## 2.2 Έρευνα και διάσωση

Στον τομέα των μη στρατιωτικών χρήσεων οι αεροπλανοφόρες χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για την «αποτίμηση κατάστασης» μετά από φυσικές κυρίως καταστροφές (σεισμοί, πλημύρες, κατολισθήσεις, πυρκαγιές). Οι πτητικές τους όμως ικανότητες και ο εξοπλισμός τον οποίο μπορούν να μεταφέρουν απέδειξαν εμπράκτως ότι τα UAS αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο πεδίου και σε αποστολές έρευνας και διάσωσης. Κατά τη διάρκεια μιας αποστολής έρευνας και διάσωσης στο Όρεγκον, χρησιμοποιήθηκε ένα UAS για να επιβεβαιωθεί ένας θάνατος ενός ορειβάτη σε ένα φαράγγι με πολύ στενό άνοιγμα. Αυτό εξάλειψε την ανάγκη για την ομάδα διάσωσης να πραγματοποιήσει μια επικίνδυνη κατάβαση με ορειβατικό εξοπλισμό στο φαράγγι, αφού οι συνθήκες κατά την ώρα του ατυχήματος δεν ήταν καθόλου ευνοϊκές. Μια δεύτερη αποστολή αναζήτησης ελλειπόντων προσώπων, επίσης στο Όρεγκον των ΗΠΑ χρησιμοποίησε διάφορα UAS για να ερευνήσει την επιφάνεια του εδάφους. Αυτό επέτρεψε τη διερεύνηση περιοχών που δεν ήταν προσπελάσιμες ή ήταν δύσκολο να προσεγγιστούν από την ομάδα διάσωσης στο έδαφος. Τα UAS που είναι εξοπλισμένα με κατάλληλους σαρωτές ή κάμερες μπορεί να αποδειχθούν πολύ χρήσιμα σε αποστολές έρευνας και διάσωσης για αναζήτηση, παρατήρηση και τεκμηρίωση. Είναι επίσης πιθανόν τα UAS να είναι χρήσιμα για την παροχή εξοπλισμού σε δυσπρόσιτες περιοχές αλλά και στη βελτίωση της επικοινωνίας των συνεργείων διάσωσης (Van Tilburg, 2017).



**Εικόνα 11.** Μια αεροπλανοφόρα πετάει πάνω από κτίρια που καταστράφηκαν στο σεισμό του Νεπάλ το 2015.

Πολλές δυναμικές, τακτικές προκλήσεις συνοδεύουν τις επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης. Η αναζήτηση ανθρώπων ή συντριμμιών σε τεράστιες περιοχές όπως ερήμους, ωκεανούς, τραχείς ορεινούς όγκους και δασωμένα εδάφη μπορεί να είναι πολύ χρονοβόρα και δύσκολη. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε κόπωση των πληρωμάτων των αποστολών διάσωσης ή/και των εναέριων μέσων που επιχειρούν, μειώνοντας την αποτελεσματικότητά τους στην αναζήτηση και αυξάνοντας την πιθανότητα να προκύψουν τυχόντα σφάλματα. Επιπλέον, σε περιπτώσεις που εντοπίζονται επιζώντες ή ελλείποντα πρόσωπα, πολλές από τις επιχειρήσεις διάσωσης θα πρέπει να διεξάγονται σε επικίνδυνα περιβάλλοντα (χαμηλή ορατότητα, τραχύ έδαφος, άνεμοι που πνέουν με υψηλές ταχύτητες κλπ). Η χρήση μη επανδρωμένων συστημάτων όπως οι αεροπλανοφόροι, σε αυτές τις καταστάσεις επιτρέπει τη διεξαγωγή των επιχειρήσεων χωρίς να εκθέτει τα πληρώματα ή τις ομάδες των σωστικών αποστολών σε περιττό κίνδυνο. Οι επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης συχνά περιγράφονται ως "3-D" από τα χαρακτηριστικά τους (Dull – Dirty – Dangerous), πράγμα που φανερώνει την αναγκαιότητα χρήσης UAS για την εκτέλεσή τους.

Οι αεροπλανοφόροι έχουν ήδη αποδείξει την αξία τους σε επιχειρήσεις αναζήτησης και διάσωσης σε πολλαπλές αποστολές σε όλο τον κόσμο. Το 2012, η ομάδα έρευνας και διάσωσης «Equus», που εδρεύει στο Τέξας των ΗΠΑ, χρησιμοποίησε ένα UAS για να εντοπίσει τη σωρό ενός αγνοουμένου 2χρονου αγοριού σε μια λίμνη μετά από μια αρχικά άκαρπη αναζήτηση επί του εδάφους. Η επίγεια αναζήτηση ήταν ιδιαίτερα επικίνδυνη λόγω της παρουσίας αλιγατόρων, αγριόχοιρων και δηλητηριωδών φιδιών στον περιβάλλοντα βαλτότοπο, ενώ αρχικά ένοπλοι άνδρες συνόδευαν τους εθελοντές διασώστες για να τους προστατεύουν. Το 2014, ο ερασιτέχνης χειριστής David Lesh χρησιμοποίησε εναέρια φωτοαπεικόνιση από το οκτακόπτερο (octocopter) UAS του για να βρει, εν τέλει ζωντανό, τον 82χρονο Guillermo DeVenecia σε μια φυτεία καλλιέργειας φασολιών έκτασης 200 στρεμμάτων. Ο κ. DeVenecia είχε χαθεί αρκετές μέρες πριν και για τρεις μέρες ομάδες έρευνας ψάχνοντας με σκύλους, μαζί με εκατοντάδες εθελοντές και ένα ελικόπτερο δεν κατάφεραν να τον εντοπίσουν (Measure & Red Cross, 2015). Και οι τέσσερις προαναφερθείσες αποστολές ολοκληρώθηκαν χρησιμοποιώντας οπτικές κάμερες υψηλής ανάλυσης. Ερευνητές του Πανεπιστημίου Brigham Young, σε συνεργασία με την ομάδα έρευνας και διάσωσης της κομητείας της Utah, διεξήγαγαν επίσης πειράματα που αποδεικνύουν την ικανότητα των μικρών και μικρο-

αεροπλανοφόρων, που είναι εφοδιασμένα με βιντεοκάμερες υψηλής ανάλυσης να εντοπίζουν ελλείποντα πρόσωπα σε δοκιμές προσομοίωσης.

Ενώ τα μικρότερα UAS υπερέχουν στον εντοπισμό ανθρώπων, τα βαρέως τύπου ανυψωτικά UAS, όπως το Lockheed Martin K-MAX, μπορούν να μεταφέρουν προσωπικό και να διασώσουν επιζώντες από μια πληγείσα από φυσική καταστροφή τοποθεσία. Αυτή η εφαρμογή των αεροπλανοφόρων είναι πιθανό να αυξηθεί εκθετικά μέσω της περαιτέρω τεχνολογικής βελτίωσής τους. Η αμερικανική εταιρία σχεδιασμού «argodesign» παρουσίασε μια συναρπαστική προοπτική για μια μελλοντική χρήση των UAS, δημιουργώντας ψηφιακά βίντεο και εικόνες μιας αεροπλανοφόρας - ασθενοφόρου που θα μεταφέρει έναν EMT και ιατρικό εξοπλισμό πρώτης ανάγκης. Οι EMTs (Emergency medical technician) είναι κλινικοί ιατροί, εκπαιδευμένοι για να ανταποκρίνονται γρήγορα σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης σχετικές με ιατρικά θέματα, τραυματισμούς και σκληρές ατυχημάτων. Μια αεροπλανοφόρα θα μπορούσε να φτάσει και να τύχουν περίθαλψης τα θύματα ή οι επιζώντες μιας καταστροφής ή ατυχήματος, σε πολύ λιγότερο χρόνο από ότι τα οχήματα εδάφους, βελτιώνοντας δραματικά την παροχή ιατρικής περίθαλψης σε περιπτώσεις άμεσης ανάγκης.



**Εικόνα 12.** Η αεροπλανοφόρα ScanEagle της εταιρείας Insitu.

Ένα πρακτικό παράδειγμα για τη συνδυασμένη εφαρμογή των αεροπλανοφόρων σε αποστολές έρευνας, διάσωσης και συγκεκριμένα παρακολούθησης της εξέλιξης δασικών πυρκαγιών, για την αποτελεσματικότητα του οποίου μπορεί να πραγματοποιηθούν και δοκιμές προσομοίωσης είναι το ακόλουθο (Pastor, et al, 2011). Μια ομάδα δασοπυροσβεστών έχει εκπέμψει σήμα κινδύνου προς το κέντρο ελέγχου έρευνας και διάσωσης, αναφέροντας ότι είναι παγιδευμένοι από μια πυρκαγιά που τους έχει περικυκλώσει κατά τη διάρκεια μιας πυροσβεστικής αποστολής. Η άμεση απομάκρυνσή τους από το σημείο είναι αναγκαία για το λόγο ότι διατρέχουν τον κίνδυνο να καούν από τη φωτιά. Η απομάκρυνσή τους μέσω του οδικού δικτύου είναι πολύ επικίνδυνη και χρονοβόρα, οπότε η διάσωση με τη χρήση πτητικών μέσων είναι η μόνη εφαρμόσιμη λύση. Ωστόσο, η χαμηλή ορατότητα που προκαλείται στην περιοχή από τον καπνό κάνει την πτήση επανδρωμένων αεροσκαφών (ελικόπτερα κλπ) αδύνατη. Σε αυτή την περίπτωση η χρήση μη επανδρωμένων πτητικών μέσων όπως είναι οι αεροπλανοφόρες, για την απομάκρυνση των δασοπυροσβεστών είναι απαραίτητη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, δοκιμή προσομοίωσης, χρησιμοποιούνται δύο συστήματα UAS σε συνεργασία η αεροπλανοφόρα ScanEagle της εταιρείας Insitu και η αεροπλανοφόρα K-MAX της εταιρείας Lockheed Martin. Δεδομένου ότι οι δασοπυροσβέστες απέχουν μόνο 15 χιλιόμετρα από την ζώνη ασφάλειας, ένα UAS τύπου Insitu ScanEagle στέλνεται άμεσα για να φτάσει στο σημείο, παρέχοντας εκτίμηση της κατάστασης στο κέντρο ελέγχου έρευνας και διάσωσης μέσω βίντεο πραγματικού χρόνου. Η αεροπλανοφόρα αυτή είναι εξοπλισμένη με μια διπλή κάμερα EO / IR, και έτσι μπορεί να σαρώσει ταυτόχρονα τη γύρω περιοχή για "καυτά σημεία" φωτιάς που ενδέχεται να πλησιάζουν το επίγειο προσωπικό. Το UAS απογειώνεται μέσα σε λίγα λεπτά από την κλήση για βοήθεια και φθάνει στη θέση του στο συγκεκριμένο παράδειγμα, πάνω από τους δασοπυροσβέστες σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Μια δεύτερη αεροπλανοφόρα, ένα Lockheed Martin K-MAX βοηθάει στη κατάσβεση της πυρκαγιάς κάνοντας ρίψεις σε «καυτά σημεία» στην περιοχή γύρω από τους εγκλωβισμένους δασοπυροσβέστες. Αυτού του τύπου UAS αναπροσαρμόζεται γρήγορα και πάνω του μπορεί εύκολα να τοποθετηθεί ένας κλωβός μεταφοράς προσωπικού ή πληρώματος, ικανή να μεταφέρει μέχρι 15 άτομα. Η μονάδα συνδέεται γρήγορα με το αεροσκάφος και φορτώνεται με εξοπλισμό έκτακτης ανάγκης για την ομάδα δασοπυροσβεστικής (μάσκες οξυγόνου, ασπίδες θερμότητας, τροφή και νερό εάν χρειάζεται).



**Εικόνα 13.** Η αεροπλανοφόρα K-MAX της εταιρείας Lockheed Martin.

Σε σύντομο χρονικό διάστημα και αυτή η αεροπλανοφόρα αναχωρεί για την περιοχή. Η ομάδα των δασοπυροσβεστών περιμένει στο χώρο από όπου θα γίνει η παραλαβή τους για να εντοπισθούν από το UAS. Με την είσοδο τους στον κλωβό μεταφοράς, η ομάδα χρησιμοποιεί τον εξοπλισμό έκτακτης ανάγκης και μέσω ραδιοεπικοινωνίας ενημερώνει το κέντρο ελέγχου έρευνας και διάσωσης ότι είναι ασφαλής στον κλωβό. Στη συνέχεια το UAS ανυψώνεται μεταφέροντας τον κλωβό με τους δασοπυροσβέστες σε ασφαλές σημείο μακριά από το μέτωπο της πυρκαγιάς. Εν τω μεταξύ, το δεύτερο UAS το ScanEagle, σε όλη τη διάρκεια παρακολουθούσε και αναμετάδιδε ολόκληρη την επιχείρηση διάσωσης από ψηλά, δίδοντας στο κέντρο ελέγχου μια ολοκληρωμένη εικόνα της περιοχής αλλά και επιτρέποντας στο πλήρωμα εδάφους του K-MAX να επικεντρωθεί στην διαδικασία απεγκλωβισμού (Measure & Red Cross, 2015).

Σε ενίσχυση των πιο πάνω αξίζει να αναφερθεί ότι έχει ήδη αναπτυχθεί μια πολύ στενή συνεργασία μεταξύ της NASA και της δασικής υπηρεσίας των ΗΠΑ, με σκοπό τη χρήση εξελισσόμενων τεχνολογιών συμπεριλαμβανομένων των UAS, για την αύξηση των διαθέσιμων πληροφοριών και την έγκαιρη ενημέρωση των δεδομένων θερμικής εικόνας που συλλέγονται κατά τη διάρκεια πυρκαγιών (Hinkley & Zajkowski, 2011).

Υπάρχει μια ποικιλία αεροπλανοφόρων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε αποστολές έρευνας και διάσωσης, ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε επιχείρησης. Αυτές μπορούν να συνοψισθούν σε κατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους και έχουν ως εξής (Hassanalian & Abdelkefi, In Press, Fahlstrom & Gleason, 2012)):

- 1<sup>η</sup> Κατηγορία: Χειροκίνητα, ελαφριά, με χαμηλό ωφέλιμο φορτίο UAS χρήσιμα για εκτίμηση της κατάστασης από το κέντρο ελέγχου έρευνας και διάσωσης μέσω βίντεο πραγματικού χρόνου. Μπορεί να φέρουν κάμερα EO / IR για εντοπισμό επιζώντων / ανίχνευση «θερμών σημείων».
- 2<sup>η</sup> Κατηγορία: Αεροπλανοφόρες με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά για χρήση σε μακράς διάρκειας επιχειρήσεις αναγνώρισης και επιτήρησης. Μπορούν να φέρουν τον ίδιο εξοπλισμό όπως και αυτές της 1<sup>ης</sup> κατηγορίας.
- 3<sup>η</sup> Κατηγορία: UAS «βαρέως τύπου» με δυνατότητα, μεταφοράς ατόμων από και προς τις περιοχές που επιχειρούν καθώς επίσης και για εφοδιασμό και διανομή εργαλείων σε απομακρυσμένες τοποθεσίες.
- 4<sup>η</sup> Κατηγορία: Αεροπλανοφόρες με πολύ μεγάλη διάρκεια πτήσης, ικανές για αναγνώριση και επιτήρηση σε μεγάλες περιοχές από μεγάλο υψόμετρο. Μπορεί να φέρουν κάμερα EO / IR για εντοπισμό επιζώντων / ανίχνευση «θερμών σημείων»/ αναγνώριση συντριμμίων και είναι κατάλληλες για αναζητήσεις σε περιοχές με μεγάλο εύρος (π.χ. ανοιχτές θάλασσες). Η κάμερα EO / IR αποτελείται από διπλό, ηλεκτροοπτικό και υπέρυθρο αισθητήρα (electro-optical and infrared).

## 2.3 Διαχείριση φυσικών καταστροφών

Από το 1995 έως το 2015, η βάση δεδομένων έκτακτων περιστατικών (EM-DAT) του Κέντρου Έρευνας για την Επιδημιολογία των Καταστροφών (CRED) κατέγραψε συνολικά 6457 καταστροφές λόγω του καιρού, οι οποίες κόστισαν τη ζωή σε πάνω από 606.000 ανθρώπους και άφησαν 4.1 δισεκατομμύρια τραυματίες, άστεγους ή/και ανθρώπους που χρειάστηκαν παροχή βοήθειας πρώτης ανάγκης. Οι επιστήμονες προβλέπουν ότι θα παρακολουθήσουμε μια συνεχή ανοδική τάση στις ακραίες εκδηλώσεις φαινομένων που σχετίζονται με τον καιρό τις επόμενες δεκαετίες (UNISDR, 2015).

Οι δραστηριότητες της λεπτομερούς σχεδίασης των πολύπλοκων επιχειρήσεων ανταπόκρισης σε μια καταστροφή είναι κοινώς γνωστές ως ανθρωπιστική επιμελητεία ή ανθρωπιστική εφοδιαστική (humanitarian logistics). Η ανθρωπιστική εφοδιαστική μπορεί να οριστεί ως η διαδικασία σχεδιασμού, υλοποίησης και ελέγχου της αποτελεσματικής, αποδοτικής ροής και αποθήκευσης αγαθών και υλικών καθώς και σχετικών πληροφοριών, από ένα σημείο προέλευσης προς ένα σημείο «κατανάλωσης» με σκοπό την παροχή βοήθειας στους εκάστοτε πληγέντες ή γενικότερα σε περιπτώσεις ανθρώπων που έχουν ανάγκη άμεσης βοήθειας (Thomas & Mizushima, 2005). Στόχος είναι να παραδοθεί η ανθρωπιστική βοήθεια την κατάλληλη στιγμή, στο σωστό μέρος και στους σωστούς ανθρώπους.

Παρόλο που η βασική μεθοδολογία πίσω από την ανθρωπιστική εφοδιαστική είναι η ίδια με την κλασική λειτουργία εφοδιαστικής (logistics), η επίδραση των αποφάσεων που λαμβάνονται έχουν μεγαλύτερη σημασία στην ανθρωπιστική εφοδιαστική λόγω της φύσης της (Stults, 2017). Πρέπει να σημειώσουμε ότι κατά τη διάρκεια δημιουργίας ενός ισχυρού δικτύου εφοδιαστικής, οι αποφάσεις σχετικά με το πού θα τοποθετηθούν οι εγκαταστάσεις έκτακτης ανάγκης από όπου όλα τα υλικά - βοήθεια θα μεταφερθούν στους τόπους ζήτησης, έχει μεγάλη σημασία καθώς είναι άμεσος ο αντίκτυπος στο πόσο γρήγορα μπορούν να βοηθηθούν τα σημεία που έχουν πληγεί από καταστροφές. Ταυτόχρονα, οι πολιτικές αποφάσεις για τα αποθέματα ανθρωπιστικής βοήθειας είναι εξίσου σημαντικές, καθώς καθορίζουν εάν υπάρχουν αρκετά είδη πρώτης ανάγκης

(ιατρικής περίθαλψης, νερό, τρόφιμα κλπ) για να εξυπηρετηθούν οι πληθυσμοί στις περιοχές που έχουν πληγεί από καταστροφές.

Οι αεροπλανοφόροι (UAS) μπορούν να γίνουν πολύ χρήσιμα εργαλεία μεταφοράς στην ανθρωπιστική εφοδιαστική, δεδομένου ότι δεν χρειάζονται καμία προϋπάρχουσα καταγεγραμμένη πορεία ή σχέδιο πτήσης. Έτσι, εάν μια φυσική καταστροφή πλήξει μια περιοχή και οι δρόμοι μπλοκαριστούν, αυτές μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν για να εξυπηρετήσουν ανάγκες που θα υπάρχουν στην πληγείσα περιοχή. Σήμερα οι αεροπλανοφόροι χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων σχετικών κυρίως με παροχή ανθρωπιστικής βοήθειας και δράσεων διάσωσης σε διάφορες φυσικές καταστροφές που περιλαμβάνουν σεισμούς, τυφώνες, πλημμύρες, ηφαιστειακές εκρήξεις, τσουνάμι και πολλά άλλα. Η διαχείριση κρίσεων στις περιπτώσεις τέτοιων φυσικών καταστροφών θέτει προς λήψη πολύ σημαντικές αποφάσεις οι οποίες επηρεάζουν άμεσα την ευημερία των πληγέντων.

Η ενσωμάτωση των αεροπλανοφόρων σε πρωτόκολλα έκτακτης ανάγκης και αντιμετώπισης καταστροφών μπορεί να θεωρηθεί ως αποτελεσματικό εργαλείο για την παροχή άμεσων οφελών ανακούφισης που χρειάζονται οι πολίτες, οι κοινότητες και οι ομάδες διάσωσης που εμπλέκονται σε τέτοιου είδους γεγονότα. Ο «κύκλος ζωής» στην ανακούφιση των φυσικών καταστροφών μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα κύρια στάδια: πρόληψη, προετοιμασία, αντίδραση και αποκατάσταση. Τα UAS έχουν τη δυνατότητα να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο και στα τέσσερα στάδια, αν και επί του παρόντος χρησιμοποιούνται κατά συντριπτική πλειοψηφία στο στάδιο της αντίδρασης. Δυστυχώς, παρόλο που έχουν τη δυνατότητα να ανταποκριθούν γρήγορα σε μια κρίσιμη κατάσταση, είναι παραδόξως ανεπαρκώς αξιοποιημένα. Όταν επέλθει μια φυσική καταστροφή, τα UAS μπορούν να παράσχουν άμεση υποστήριξη για την εκτίμηση κινδύνου, τη χαρτογράφηση και τον προγραμματισμό παροχής βοήθειας στην πληγείσα περιοχή. Αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω για να δημιουργήσουν προσωρινές δομές επικοινωνίας, ενημερωμένους χάρτες της πληγείσας περιοχής και να αναζητήσουν πιθανά σημεία όπου οι ομάδες διάσωσης μπορεί να έχουν περισσότερες πιθανότητες να βρουν θύματα που χρειάζονται βοήθεια.

Υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις όπου τα UAS έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί σε περιβάλλοντα φυσικών καταστροφών. Ο Πίνακας 4 συνοψίζει τη χρήση των

αεροπλανοφόρων ως εργαλείο ανταπόκρισης σε φυσικές καταστροφές κατά τα έτη μεταξύ 2005 και 2015. Συγκεκριμένα καταγράφονται το έτος, η περιοχή, το είδος της φυσικής καταστροφής καθώς και το όνομα της αεροπλανοφόρου που χρησιμοποιήθηκε (Murphy, 2015). Στην στήλη με τις εφαρμογές αναφέρονται τα δεδομένα τα οποία καταγράφηκαν σε κάθε περίπτωση και τα οποία είναι χωρισμένα σε τέσσερις κατηγορίες: Α - Έρευνα, Β - Αναγνώριση και Χαρτογράφηση, Γ - Επιθεώρηση υποδομών και Δ - Εκτίμηση συντριμμιών (ερείπιων / μπαζών).

**Πίνακας 4.** Χρήση αεροπλανοφόρων σε περιοχές που πλήγηκαν από φυσικές καταστροφές μεταξύ 2005-2015 (Murphy, 2015).

Year	Natural disaster	Name of Drone	Application			
			A	B	C	D
2005	Hurricane Katrina Response (USA)	AeroViroment Raven Evolution iSENSYS T-Rex Silver Fox	x	x		
2005	Hurricane Katrina Recovery (USA)	iSENSYS IP3			x	
2005	Hurricane Wilma (USA)	iSENSYS T-Rex		x	x	
2007	Berkman Plaza II	iSENSYS IP3			x	
2009	Laquila Earthquake (Italy)	Custom		x	x	
2009	Typhoon Morakot (Taiwan)	Unknown		x		
2010	Haiti Earthquake (Haiti)	Elbit Skylark		x		
2011	Christchurch Earthquake (NZ)	Parrot AR. Drone			x	
2011	Tohoku Earthquake (Japan)	Pelican			x	
2011	Fukushima Nuclear Emergency (Japan)	Custom Honeywell T-Hawk		x	x	
2011	Evangelos Florakis Explosion (Cyprus)	AscTec Falcon AscTec Hummingbird		x	x	
2011	Thailand Floods (Thailand)	FIBO UAS-1 FIBO UAV Glider SIAM UAV		x		
2012	Finale Emilia Earthquake (Italy)	NIFTi			x	
2013	Typhoon Haiyan (Philippines)	Unknown			x	

2013	Lushan Earthquake (China)	HW18 (Ewatt HoverWings)	x	x		
2013	Boulder Colorado floods (USA)	Falcon Fixed		x		
2014	SR350 Mudslides Response (USA)	DJI Phantom AirRobot 100 Precision Hawk		x		
2014	SR350 Mudslides Recovery (USA)	AirRobot 180 Precision Hawk				x
2014	Balkans flooding (Serbia, Bosnia-Herzegovina)	ICARUS custom		x		x
2014	Collbran landside (USA)	Falcon Fixed Falcon Hover	x	x		
2014	Yunnan China Earthquake (China)	Parrot AR Type 2		x		
<b>Application:</b>						
<b>A - Search</b> <b>B - Reconnaissance and mapping</b> <b>C - Structural inspection</b> <b>D - Estimation of debris</b>						

Σε καταστάσεις όπου το οδικό δίκτυο μεταφορών επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από φυσικές καταστροφές, ο προφανής τρόπος μεταφοράς π.χ. τα φορτηγά, συχνά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αποστολές άμεσης ανταπόκρισης. Παρά τις υψηλές προσδοκίες ως προς το ρόλο που μπορούν να επιτελέσουν οι αεροπλάτφορμες για την παροχή υπηρεσιών στην ανθρωπιστική εφοδιαστική, από τεχνικής άποψης δεν υπάρχει ακόμα ένα περιεκτικό πλαίσιο σχεδίασης της δράσης τους. Κυρίως όσον αφορά τον τρόπο ανάπτυξης ενός κινητήρα UAS που να μπορεί να εξυπηρετήσει μια περιοχή που πλήττεται από καταστροφές, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που προβλέπονται από την εκάστοτε υπηρεσία πολιτικής αεροπορίας αλλά και τους τεχνολογικούς περιορισμούς (π.χ. περιορισμένη χωρητικότητα μπαταρίας και βάρους) που συναντώνται στις ήδη υπάρχουσες και εν χρήσει αεροπλάτφορμες. Τα προαναφερθέντα UAS «βαρέως τύπου» με δυνατότητα μεταφοράς ατόμων ή και υλικών και εξοπλισμού από και προς τις περιοχές που επιχειρούν αποτελούν μια καλή λύση, θα πρέπει όμως να αναπτυχθούν περαιτέρω.

Για την βέλτιστη διαμόρφωση ενός συστήματος ανθρωπιστικής εφοδιαστικής, πρέπει να προσδιοριστούν μοντέλα που να ανταποκρίνονται στα χαρακτηριστικά της κάθε

περιοχής για την οποία σχεδιάζονται και να συμπεριλαμβάνουν τις θέσεις των κέντρων διανομής με τους αντίστοιχους καταλόγους υλικών, προμηθειών έκτακτης ανάγκης στα κέντρα αυτά, καθώς επίσης και το εύρος της περιοχής που θα καλύπτουν, σε αναλογία με την ακτίνα δράσης των αεροπλανοφόρων που θα είναι διαθέσιμες. Αυτή η ορθολογική και αποτελεσματική διαμόρφωση θα ελαχιστοποιήσει το συνολικό κόστος του συστήματος άμεσης ανταπόκρισης, συμπεριλαμβανομένων των εξόδων για τη δημιουργία των κέντρων διανομής, την παραγγελία και την αποθήκευση των προμηθειών έκτακτης ανάγκης και το αναμενόμενο κόστος μεταφοράς, των φορτηγών όπου θα είναι εφικτό και των αεροπλανοφόρων, για την εξυπηρέτηση μιας πληγείσας περιοχής ή τη συνδρομή σε επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης.

Η ετοιμότητα και η αντίδραση σε φυσικές καταστροφές και περιπτώσεις άμεσης ανταπόκρισης για έρευνα και διάσωση έχουν μελετηθεί εκτενώς από πολλούς ερευνητές τα τελευταία χρόνια. Έχουν εξεταστεί διάφορα μοντέλα εφοδιαστικής που αναπτύχθηκαν για τις φάσεις σχεδιασμού απόκρισης και ανάκαμψης σε μια περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη τα μοναδικά χαρακτηριστικά τους. Έχουν επίσης διερευνηθεί οι τεχνολογικές εξελίξεις που διευκολύνουν την εκτέλεση των εναλλακτικών προτεινόμενων μοντέλων και λύσεων σε διάφορους τύπους συστημάτων πληροφοριών (Tings & Vello, 2018).

Τα προαναφερθέντα οδηγούν με τη σειρά τους στο συμπέρασμα ότι προκειμένου να επιτευχθεί η ανεμπόδιστη, κατά πρώτον τοπική και κατά δεύτερον διεθνής ανθρωπιστική συνεργασία, απαιτείται ένα τυποποιημένο λογισμικό - μοντέλο που να ενσωματώνει όλες τις διαφορετικές φάσεις σχεδιασμού που απαιτούνται στην ανθρωπιστική εφοδιαστική, πόσο μάλλον όταν σε αυτήν έχουν πλέον ενσωματωθεί και υψηλής τεχνολογίας συστήματα όπως οι αεροπλανοφόρες.

## 2.4 Χαρτογράφηση περιοχών και αξιολόγηση της δομικής ακεραιότητας υποδομών

Η γεωμορφολογική χαρτογράφηση απαιτεί τη συλλογή των πρωτογενών δεδομένων αποτύπωσης του εδάφους και εξαρτάται από την κλίμακα και τις μεταβολές στα χαρακτηριστικά της υπό μελέτη περιοχής. Η αναπαράσταση της μορφής της γης βασίζεται κανονικά στο πρότυπο ταξινόμησης των αντικειμένων με τη χρήση εργασίας πεδίου και τηλεσκοπικών δεδομένων με χρονική και χωρική προσβασιμότητα, ευελιξία και ακρίβεια (Wheaton, et al, 2015). Είναι πλέον ευρέως αποδεκτό το γεγονός ότι η φωτογραμμετρία με τη χρήση αεροπλανοφόρων είναι η καταλληλότερη τεχνολογία για την παρακολούθηση της γεωμορφολογίας σε πραγματικό ή σχεδόν σε πραγματικό χρόνο και το μοντέλο ψηφιακής ανύψωσης (DEM) που προέρχεται από φωτογραμμετρικά στοιχεία περιορίζεται, μόνο από την αδυναμία των σαρωτών του να καταγράψουν την τοπογραφία της επιφάνειας του εδάφους κάτω από βλάστηση (Turner, et al, 2015). Αεροπλανοφόρες μεγάλης διάρκειας πτήσεως, για αναγνώριση, παρακολούθηση και χαρτογράφηση μεγάλου υψομέτρου, όπως το Global Observer της εταιρείας AeroVironment μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν για απεικόνιση / χαρτογράφηση ευρείας περιοχής με μεγάλα ωφέλιμα φορτία σαρωτών ή καταγραφών. Επίσης μικρότερου μεγέθους UAS, που έχουν ήδη προαναφερθεί, μπορούν αφού εφοδιαστούν με τους κατάλληλους σαρωτές να χρησιμοποιηθούν για αποστολές χαρτογράφησης μικρότερης κλίμακας.



**Εικόνα 14.** Η αεροπλανοφόρα Global Observer της εταιρείας AeroVironment.

Η ανάγκη για τακτική χαρτογράφηση των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε φυσικές καταστροφές είναι ήσσονος σημασίας (Kanuk, et al, 2018). Οι χάρτες των πλημμυρών συμβάλλουν στο συντονισμό των προσπαθειών αντιμετώπισης καταστροφών μετά από γεγονότα όπως για παράδειγμα, ο τυφώνας Σάντυ το 2012. Αυτός ήταν το μεγαλύτερο σύστημα τροπικών καταιγίδων που έχει καταγραφεί μέχρι τώρα στον Ατλαντικό ωκεανό (Sun, et al, 2018). Η διάμετρος του ανέμου του τυφώνα υπολογίστηκε στα 1.800 χιλιόμετρα. Ο τυφώνας επηρέασε τη Δομινικανή Δημοκρατία, την Αϊτή, τις Μπαχάμες, την Κούβα, την ανατολική ακτή των ΗΠΑ και στη συνέχεια τον ανατολικό Καναδά και την περιοχή των Μεγάλων Λιμνών. Το ύψος των ζημιών που προκλήθηκαν υπολογίζεται στα 75 δις εκατομμύρια δολάρια, το οποίο ξεπερνά το ύψος των ζημιών που προκλήθηκαν από τον τυφώνα Κατρίνα. Η τρισδιάστατη τοπογραφική χαρτογράφηση (3D), που μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό περιοχών που είναι επιρρεπείς σε πιθανές λασποροές, η οπτική απεικόνιση υψηλής ανάλυσης που μπορεί να βοηθήσει τα συνεργεία άμεσης ανταπόκρισης να επισημάνουν κρίσιμες υποδομές σε κάθε περιοχή που πρέπει να ελεγχθούν αμέσως μετά από μια καταστροφή καθώς και η πρόοδος στην τεχνολογία τηλεπισκόπησης, συνδυασμένα μαζί έχουν ανοίξει νέες δυνατότητες για την ανάπτυξη μοντέλων έγκαιρης προειδοποίησης για ενδεχόμενες καταστροφές (Colomina & Molina, 2014). Για παράδειγμα, Βρετανοί ερευνητές που εδρεύουν στη Μαλαισία έχουν χρησιμοποιήσει αεροπλανοφόρους για να χαρτογραφήσουν τα πρότυπα αποψίλωσης δασών που έχουν συσχετιστεί με αυξημένα κρούσματα ελονοσίας. Δυστυχώς, η χαρτογράφηση μέσω επανδρωμένων αεροσκαφών μπορεί να είναι απαγορευτικά δαπανηρή, ενώ οι δορυφορικοί χάρτες συχνά δεν παρέχουν το υψηλό επίπεδο ανάλυσης που απαιτείται για να είναι αποτελεσματικό για τα συνεργεία άμεσης ανταπόκρισης σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών. Οι δυσκολίες αυτές εμπόδισαν πολλούς οργανισμούς τοπικής αυτοδιοίκησης στις Ηνωμένες Πολιτείες να ενημερώνουν τακτικά τους χάρτες σχεδιασμού και αντιμετώπισης καταστροφών. Είναι όμως γεγονός ότι μερικά κράτη χρησιμοποιούν χάρτες με καταγραμμένα τα πλημμυρικά γεγονότα πολλών ετών (Measure & Red Cross, 2015).

Οι χάρτες που κατασκευάστηκαν σε μικρό χρονικό διάστημα μετά από μια φυσική καταστροφή είναι επίσης χρήσιμα εργαλεία για την αναγνώριση και την αξιολόγηση ζημιών, ειδικά όταν συνδυάζονται με εικόνες της περιοχής πριν από την καταστροφή.

Για να είναι αυτό πιο αποτελεσματικό στην υποβοήθηση σωστικών ή ανακουφιστικών επιχειρήσεων, οι χάρτες που αναπαριστούν το "πριν" πρέπει να είναι πολύ πρόσφατοι χρονολογικά, ενώ οι χάρτες "μετά" πρέπει να δημιουργηθούν όσο το δυνατόν ταχύτερα μετά το συμβάν. Δυστυχώς, μετά από μια καταστροφή, η χαρτογράφηση μπορεί να πάρει πολύ καιρό χρησιμοποιώντας δορυφόρους ή παραδοσιακά επανδρωμένα αεροσκάφη. Η τεχνολογία που χρησιμοποιούν οι σαρωτές δορυφορικής απεικόνισης δεν τους επιτρέπει αυτή τη στιγμή να διεισδύσουν σε περιοχές με νεφοκάλυψη, γεγονός που συχνά οδηγεί σε καθυστερήσεις στη λήψη εικόνας μετά από ακραία καιρικά φαινόμενα ή φυσικές καταστροφές γενικά (Kakooei & Baleghi, 2017).

Μετά τον τυφώνα Σάντυ, το γραφείο διαχείρισης εκτάκτων αναγκών του Νιου Τζέρσεϋ στις ΗΠΑ χρησιμοποίησε εικόνες από τους δορυφόρους FEMA (Federal Emergency Management Agency - Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Διαχείρισης Καταστάσεων Έκτακτης Ανάγκης) για να συντονίσει τις ενέργειες, αλλά δεν μπόρεσε να χρησιμοποίησει τις εικόνες που τραβήχτηκαν για πολλές ημέρες εξαιτίας της επίμονης κάλυψης σύννεφων στην περιοχή. Τα επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να καταγράψουν εικόνες κάτω από τα σύννεφα, αλλά σε περιπτώσεις μεγάλης κλίμακας καταστροφών, μπορεί να είναι δύσκολο να οργανωθούν αρκετά αεροσκάφη με τους απαραίτητους σαρωτές, για να παρέχουν χάρτες μεγάλης κλίμακας, υψηλής ευκρίνειας και υπάρχει επίσης το ενδεχόμενο αεροδιάδρομοι της περιοχής να έχουν καταστραφεί από το γεγονός που προηγήθηκε.

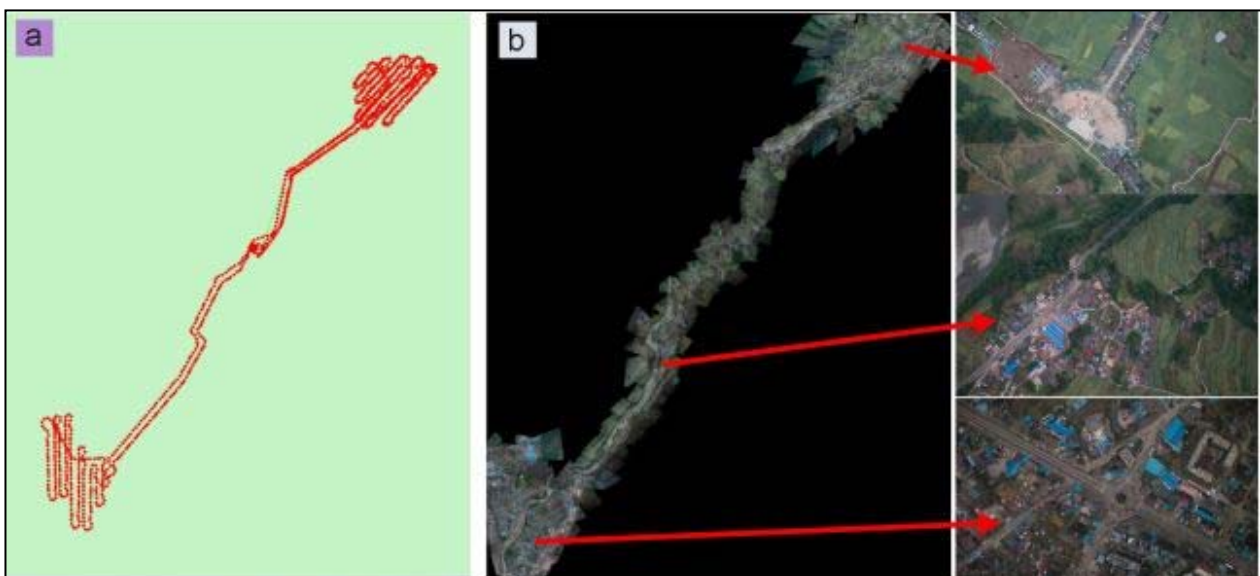
Οι αεροπλανοφόροι προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε αυτές τις περιπτώσεις. Τα UAS είναι πιο εύκολα διαθέσιμα από ότι οι δορυφόροι ή τα επανδρωμένα αεροσκάφη και μπορούν να δημιουργήσουν χάρτες υψηλότερης ανάλυσης. Ερευνητές του Πανεπιστημίου του Νέου Μεξικού και του κρατικού πανεπιστημίου του Σαν Ντιέγκο, για παράδειγμα, αναπτύσσουν μια τηλεχειριζόμενη αεροπλανοφόρο που θα είναι εξοπλισμένη με ειδικούς σαρωτές για να ανιχνεύει πολύ μικρές ζημιές στην υποδομή των συγκοινωνιών μετά από φυσικές καταστροφές όπως τυφώνες, σεισμοί ή πλημμύρες. Ορισμένες μικρές αεροπλανοφόρες μπορούν να αναπτυχθούν ακόμα και κατά τη διάρκεια που συμβαίνουν φυσικές καταστροφές. Για παράδειγμα, η NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) επί του παρόντος δοκιμάζει μια λέμβο 7 περίπου κιλών που ονομάζεται "Κογιότ", και μπορεί να «ριχτεί» σε έναν

τυφώνα για να μεταδώσει μέσω ενός ραδιοπομπού ενημερωμένες πληροφορίες σχετικά με την ταχύτητα και τη δομή της καταιγίδας.

Η ταχεία ανάπτυξη συστημάτων τηλεπισκόπησης εγκατεστημένων σε αεροπλάτφορμες μετά από μια φυσική καταστροφή, σε συνδυασμό με χάρτες υψηλής ευκρίνειας πριν από το συμβάν, θα επιτρέπουν στα συνεργεία άμεσης ανταπόκρισης να αποκτούν ολική κατανόηση της κατάστασης και να γνωρίζουν ποια υποδομή κινδυνεύει περισσότερο, επιτρέποντάς τους να ταξινομούν κατά σειρά προτεραιότητας τις προσπάθειες ανακούφισης, παροχής βοήθειας και για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο περιορισμό των γενικών ζημιών. Τα UAS μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό δραστηριοτήτων ανασυγκρότησης. Για παράδειγμα, μετά τον τύφωνα Γιολάντα που κατέστρεψε πολλές πόλεις στις Φιλιππίνες το 2013, οι ανθρωπιστικές οργανώσεις που προσπαθούσαν να αναλάβουν τις προσπάθειες ανακούφισης και ανοικοδόμησης σύντομα ανακάλυψαν ότι δεν υπήρχαν ενημερωμένοι χάρτες των πληγέντων περιοχών. Για να συντονίσουν τις προσπάθειες άμεσης ανταπόκρισης, η τοπική κοινότητα και οι διεθνείς οργανώσεις βοήθειας αναγκάστηκαν να βασιστούν σε πρόχειρους χάρτες που είχαν σχεδιαστεί με το χέρι ή παλαιότερες δορυφορικές εικόνες της Google. Για τη λύση αυτού του προβλήματος, η εταιρεία «Drone Adventures» ανέλαβε να δημιουργήσει λεπτομερείς δισδιάστατους και τρισδιάστατους χάρτες (2D, 3D) των δήμων Tacloban, Dulag και Julita. Στα γενικότερα πλαίσια της ανθρωπιστικής εφοδιαστικής σε αυτή την περίπτωση, οι χάρτες αυτοί, πέραν της καταγραφής και αξιολόγησης των ζημιών που προκάλεσε ο τυφώνας, χρησιμοποιήθηκαν και για την επιλογή των τοποθεσιών που ήταν καταλληλότερες για να κατασκευαστούν καταφύγια προσφύγων.

Σε μια άλλη περίπτωση, το 2011 η Ταϊλάνδη πλήγηκε από τεράστιες ποσότητες βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια της περιόδου των μουσώνων της, διπλασιάζοντας σχεδόν τον τυπικό όγκο βροχοπτώσεων την εποχή εκείνη του χρόνου. Η κακοδιαχείριση των ποταμών και των φραγμάτων λόγω των χαμηλών προβλέψεων για βροχοπτώσεις και ο φόβος για την πιθανή μη επαρκή παροχή νερού στην επερχόμενη ξηρή περίοδο, οδήγησε σε καταστροφικές πλημμύρες που έφτασαν μέχρι και την Μπανγκόκ. Η Παγκόσμια Τράπεζα εκτίμησε τις ζημιές που προκλήθηκαν από την καταστροφή αυτή ως άνω των 45,7 δισ. εκατομμυρίων δολαρίων. Καθώς οι πλημμύρες χειροτέρευαν, το «Υπουργείο Επιστήμης και Τεχνολογίας» ζήτησε αεροφωτογραφίες

και βίντεο για να προβλέψει τις επακόλουθες μορφές των πλημμυρών και να αξιολογήσει την τρέχουσα έκταση των ζημιών από αυτές. Η ομάδα, με επικεφαλής τον Peter Srivaree-Ratana, χρησιμοποίησε UAS σταθερής πτέρυγας (Siam UAV eSUAV600) για να πετάξει πολυάριθμες αποστολές κατά τη διάρκεια των τριών μηνών, συλλέγοντας γεωαναφερθέντα δεδομένα από ένα σαρωτή ηλεκτρο-οπτικής κάμερας (EO). Τα δεδομένα που συγκέντρωσε η ομάδα από τη χρήση της αεροπλανοφόρου, ήταν συγκρίσιμης ποιότητας με εκείνα που λαμβάνονται ταυτόχρονα από επανδρωμένα αεροσκάφη και βοήθησαν στη διαμόρφωση και λήψη των κατάλληλων αποφάσεων από την κυβέρνηση της Ταϊλάνδης για τον έλεγχο των πλημμυρών. Τελικά, οι προσπάθειες ελέγχου των πλημμυρών απομάκρυναν το νερό μακριά από το κέντρο της πόλης, σώζοντας τον εμπορικό, οικονομικό πυρήνα της από την πλημμύρα (Measure & Red Cross, 2015).



**Εικόνα 15.** Το σχέδιο πτήσης (a) και τα αποτελέσματα (b) της χαρτογράφησης με τη χρήση UAS, του επικέντρου του σεισμού του 2013 στην επαρχία Λουσιάν της Κίνας.

Το 2013 μερικά εικοσιτετράωρα μετά που ένας ισχυρός σεισμός μεγέθους 7 βαθμών στην κλίμακα Ρίχτερ έπληξε την επαρχία Λουσιάν στην Κίνα, πραγματοποιήθηκε άμεση επισκόπηση και χαρτογράφηση της περιοχής του επικέντρου, με τη χρήση αεροπλανοφόρου τύπου HW18 της εταιρείας HoverWings, εξοπλισμένη με ψηφιακή κάμερα (Sigma DP2). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη ροή επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέχθηκαν ήταν ικανής ποιότητας και ποσότητας για να γίνει χαρτογράφηση της περιοχής του επικέντρου μετά το σεισμό. Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά δεδομένα τηλεπισκόπησης, αυτά τα δεδομένα είναι ακόμα πιο λεπτομερή

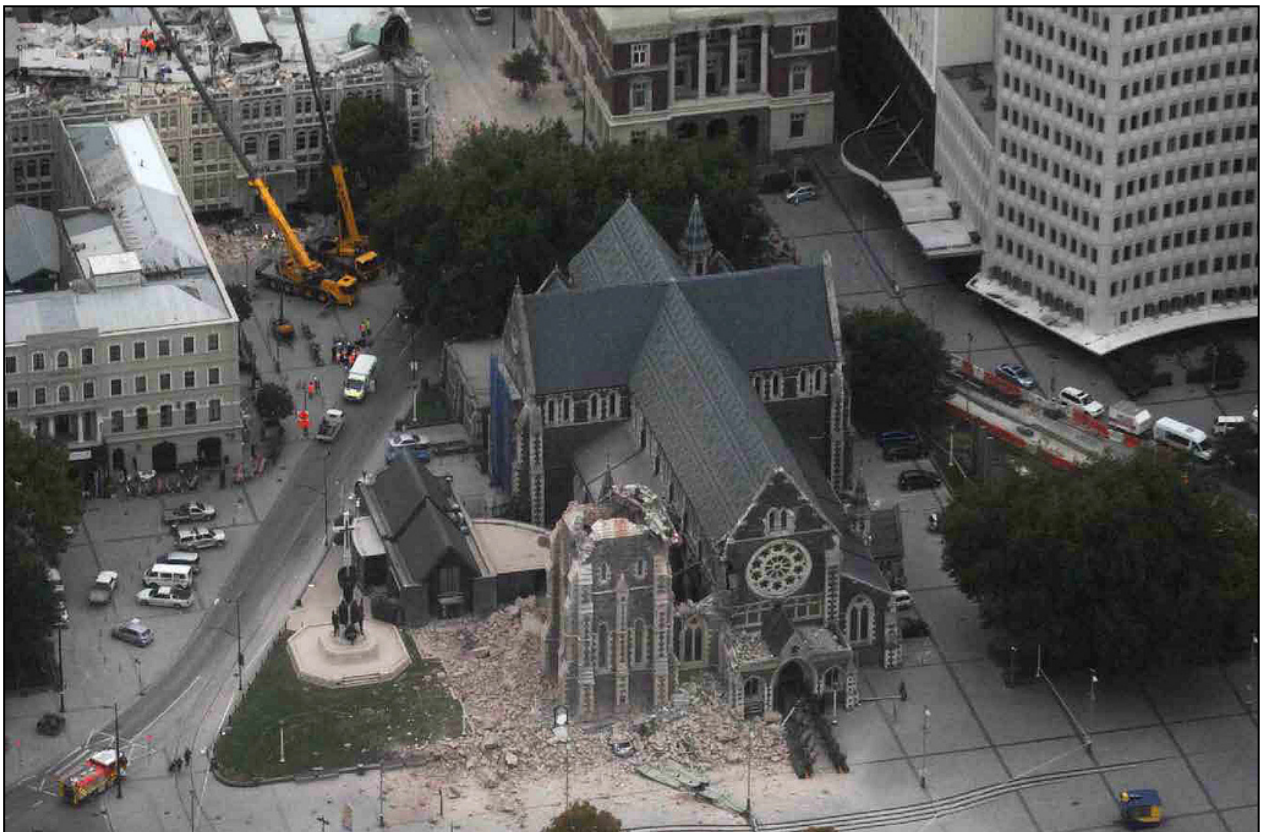
και ακριβή. Η ανάλυση εικόνας του σαρωτή (10-15cm) είναι κατά προσέγγιση μια τάξη μεγέθους καλύτερη από τις πρόσφατες εικόνες υψηλής ανάλυσης που έχουν ληφθεί από τους δορυφόρους WorldView-2 και Quickbird. Πρακτικά αποδείχθηκε ότι μεγάλης έκτασης περιοχές μπορούν να αναλυθούν με μεγάλη λεπτομέρεια ακόμη και με ψηφιακές εικόνες καταγεγραμμένες από κάμερες του λιανικού εμπορίου. Γενικά όπως φαίνεται και στην Εικόνα 15, τα δεδομένα UAS από ύψος πτήσης περίπου 800μ. επικαλύπτουν τις περιοχές του επικέντρου μετά το σεισμό με μεγάλη ακρίβεια, έχοντας επίσης το πλεονέκτημα ότι οι πτήσεις γίνονται σε καθορισμένες από τον χρήστη ώρες, ρυθμούς επανάλιψης των περασμάτων της αεροπлатφόρμας και συνθήκες φωτισμού (Zhiqiang, et al, 2014).

Οι φυσικές καταστροφές όπως οι σεισμοί, οι τυφώνες, οι ανεμοστρόβιλοι, τα τσουνάμι και οι πλημμύρες καθώς και ανθρωπογενείς καταστροφές όπως εκρήξεις και εμπρησμοί, μπορούν να προκαλέσουν τεράστια ζημιά στη δομική ακεραιότητα των κτιρίων και των υποδομών. Ακόμα και γεγονότα μικρής κλίμακας μπορούν να προκαλέσουν σοβαρή ζημιά (Dominici, et al, 2017). Ο σεισμός στην πολιτεία της Βιρτζίνια το 2011 για παράδειγμα αν και ήταν μεγέθους μόνο 5,8 βαθμών στην κλίμακα Ρίχτερ, προκάλεσε σημαντικές ζημιές σε υποδομές αλλά και σε διάσημα ιστορικά μνημεία όπως το Μνημείο Ουάσινγκτον και τον Εθνικό Καθεδρικό Ναό.

Η αξιολόγηση των ζημιών στις υποδομές μετά από μια καταστροφή διατρέχει πολλούς πιθανούς κινδύνους. Οι αποστολές έρευνας μπορεί να χρειαστεί να εισέλθουν σε κτίρια που κινδυνεύουν να καταρρεύσουν ή να έχουν πρόσβαση σε δύσκολα σημεία όπως κάτω από ετοιμόρροπες γέφυρες. Οι αεροπлатφόρμες έχουν αποδείξει τη χρησιμότητά τους στην εκτίμηση των δομικών ζημιών σε μεγάλης έκτασης περιοχές, σε τοπικό επίπεδο ακόμα και μέσα σε κτίρια. Σε δοκιμές στο πεδίο αποδείχθηκαν με επιτυχία οι δυνατότητες των UAS να εκτιμήσουν με ακρίβεια τη ζημιά στα κτίρια και στις υποδομές σε ένα χαοτικό περιβάλλον προσομοίωσης μετά από καταστροφή (Katsaros, et al, 2017).

Ερευνητές στο πανεπιστήμιο του Νέου Μεξικού διεξήγαγαν έρευνα, μέσω μιας διετούς επιχορήγησης από το Υπουργείο Μεταφορών των ΗΠΑ ύψους 1,2 εκατομμυρίων δολαρίων, για την ανάπτυξη μιας αεροπлатφόρμας, με σαρωτή και λογισμικό

επεξεργασίας που θα είναι σε θέση να εντοπίσει ζημιές όπως παραμορφώσεις, μετατοπίσεις και ρωγμές στις υποδομές των μεταφορών (δρόμοι, σιδηροδρομικές γραμμές κλπ) αμέσως μετά από μια καταστροφή (Shahi, et al, 2017). Αυτή η τεχνολογία θα ενίσχυε περαιτέρω την ικανότητα των UAS να κάνουν εκτιμήσεις ζημιών σε περιοχές μεγάλης έκτασης. Τα UAS μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στα στάδια πρόληψης και προετοιμασίας σε περιπτώσεις καταστροφών σε υποδομές. Η εταιρεία Σαν Ντιέγκο Gas & Electric (SDG&E), διαχειρίστρια ενός σημαντικού δικτύου ηλεκτρισμού της Νότιας Καλιφόρνιας, έχει πάρει άδεια από την FAA (Federal Aviation Administration - Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας) να πετάξει αποστολές UAS σε περισσότερα από 26.000 μίλια γραμμών μεταφοράς, αξιολογώντας μέσω των σαρωτών τους πιθανούς κινδύνους στην υποδομή του δικτύου όπως τα ψηλά δέντρα ή τμήματα που εμφανίζουν φθορά λόγω σκουριάς. Μικρού μεγέθους αεροπλανοφόρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να έχουν πρόσβαση σε περιοχές με κατεδαφισμένα κτίρια ή ετοιμόρροπες υποδομές, ούτως ώστε να παρέχουν στα συνεργεία των ειδικών πληροφορίες, για την εκτίμηση του μεγέθους των ζημιών στη δομική ακεραιότητα τους.



**Εικόνα 16.** Ο καθεδρικός ναός της Θείας Κοινωνίας στο Κράιστσερτς της Νέας Ζηλανδίας, στις 22 Φεβρουαρίου 2011.

Για παράδειγμα, μετά τον τεράστιο σεισμό του Κράισττσερτς της Νέας Ζηλανδίας το 2011, οι δομικοί μηχανικοί χρησιμοποίησαν ένα UAS, Parrot AR για να επιθεωρήσουν το εσωτερικό του ιστορικού καθεδρικού ναού της Θείας Κοινωνίας στο Κράισττσερτς ο οποίος είχε κατά το ήμισυ καταρρεύσει. Πιο πάνω φαίνεται ο ναός σε ψηφιακή εικόνα που λήφθηκε από αεροσκάφος P-3K Orion της Πολεμικής Αεροπορίας της Νέας Ζηλανδίας το οποίο διεξήγαγε εναέρια επιτήρηση των περιοχών που επλήγησαν στο σεισμό. Επίσης, το 2011, μια ομάδα από το Πανεπιστήμιο της Πενσυλβανίας πέταξε επιτυχώς ένα μικρό τετρακόπτερο UAS μέσω των τριών υψηλότερων ορόφων ενός κτηρίου του Πανεπιστημίου Τοχόκυ στο Σεντάι της Ιαπωνίας, δημιουργώντας έναν τρισδιάστατο χάρτη του εσωτερικού του για να αξιολογήσει μια υφιστάμενη δομική βλάβη (Measure & Red Cross, 2015).

## 2.5 Εφαρμογές στη διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος

Η επιστημονική αναζήτηση περιβαλλοντικής αειφορίας και βιωσιμότητας συνδέεται άρρηκτα με τις διαδικασίες και τα συστήματα παρακολούθησης, καταγραφής και έγκαιρης προειδοποίησης. Η συνεχής παρακολούθηση είναι ζωτικής σημασίας για την περιβαλλοντική διαχείριση αφού οι αποφάσεις που αφορούν θέματα της διαχείρισης του περιβάλλοντος εξαρτώνται από την παρακολούθηση των αλλαγών στο ίδιο το φυσικό περιβάλλον. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση περιβαλλοντικών αναφορών για νομικούς σκοπούς και για την καταγραφή των περιβαλλοντικών επιδόσεων (Verschoor & Reijnders, 2001). Η καταγραφή της τοπογραφίας και των τοπογραφικών αλλαγών είναι απαραίτητη για τη μελέτη πολλών γεωμορφολογικών διεργασιών που συμβαίνουν στο περιβάλλον. Τα τελευταία χρόνια, τεχνικές τύπου «structure from motion» (SfM) που εφαρμόστηκαν σε ψηφιακές φωτογραφίες που τραβήχτηκαν από αεροπλανοφόρους, έχουν καταστεί ένα ισχυρό νέο εργαλείο για την παραγωγή υψηλής ανάλυσης, τοπογραφικής και γενικότερα περιβαλλοντικής απεικόνισης. Η τεχνική SfM επιτρέπει τη δημιουργία τοπογραφίας από τυχαία προσανατολισμένες και κατανομημένες φωτογραφίες από μη βαθμονομημένες κάμερες (Cook, 2017). Όλα αυτά απαιτούν τη συγκέντρωση μεγάλου αριθμού δεδομένων. Η διαθεσιμότητα των επικαιροποιημένων καταγραφών καθίσταται ολοένα και πιο σημαντική προκειμένου να θεωρείται δυνατή μια ακριβής ανάλυση τους, που να παράγει ικανοποιητικά δεδομένα, ακόμα και μετα-δεδομένα, για χρήση στο τομέα της διαχείρισης του περιβάλλοντος (Singh & Frazier, 2018).

Οι αεροπλανοφόροι που χρησιμοποιούνται σήμερα για περιβαλλοντική έρευνα και παρακολούθηση είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν πτήσεις κατά μέσο όρο, διάρκειας δεκαπέντε περίπου λεπτών. Είναι συνήθως εξοπλισμένες εργοστασιακά με κάποιο σαρωτή εικόνας, αλλά εύκολα μπορεί να μετατραπούν σε συγκεκριμένο εργαλείο σύμφωνα με τις ανάγκες της κάθε αποστολής προς ολοκλήρωση. Διαθέτουν υποδοχές για πρόσθετο εξοπλισμό, όπως θερμομέτρα, ανιχνευτές αερίου, υπέρυθρη όραση, ανιχνευτές ταχύτητας ανέμου, ραντάρ, ηχοβολιστικά (sonar) κ.λπ (Anweiler & Piwowarski, 2017). Απλώς αλλάζοντας τους τύπους αισθητήρων που φέρουν τα UAS, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές άλλες εφαρμογές περιβαλλοντικής

παρακολούθησης. Για παράδειγμα, η υψηλή ανάλυση της κάμερας RGB μπορεί να εφαρμοστεί στην ταξινόμηση χρήσεων γης, χρησιμοποιώντας αλγόριθμους μέγιστης πιθανότητας ταξινόμησης. Επίσης, συνδυάζοντας τον αισθητήρα εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας και την κάμερα RGB, είναι δυνατή η παρακολούθηση των περιοχών οικοδομικής ανάπτυξης, το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για εκπόνηση μελετών λόγω χάριν σχετικά με την αστική εξάπλωση των πόλεων, χρησιμοποιώντας τις χρονοσειρές εικόνων που συλλέχθηκαν από τα UAS για να ανιχνεύσουν αλλαγές στην πόλη. Παρόλο που αυτές οι τεχνικές δεν έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό μέχρι σήμερα, έχουν τα πλεονεκτήματα ότι είναι φθηνότερες, έχουν υψηλότερη ανάλυση, πιο εύκολες στη χρήση και με μικρότερο χρονικό και χωρικό περιορισμό σε σύγκριση με τη χρήση δορυφορικών εικόνων. Ο εξελιγμένος υπερφασματικός αισθητήρας προσφέρει ένα ευρύτερο φάσμα καταγραφής, το οποίο θα μπορούσε να χαρακτηρίσει ακόμη περισσότερα αντικείμενα όπως τη θερμοκρασία των ωκεανών, ζωντανούς οργανισμούς, επιφανειακούς σχηματισμούς (γεωλογικές έρευνες), καπνό (διαχείριση πυρκαγιών). Επιπλέον, με τη χρήση ενός θερμικού αισθητήρα θα μπορούσε να είναι εφικτή η ορατότητα αντικειμένων σε σκοτεινό περιβάλλον χρησιμοποιώντας την υπέρυθη ακτινοβολία (Awange, 2018). Σύμφωνα με τους Fortuna, et al, (2013), αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση ζώων, αφού ανέφεραν ότι αεροπλανοφόρες χαμηλού κόστους που φέρουν θερμικούς αισθητήρες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την επιθεώρηση των δραστηριοτήτων των καρχαριών σε παράκτιες περιοχές για να αποφευχθούν τυχούσες συναντήσεις μεταξύ αυτών και του ανθρώπου.

**Πίνακας 5.** Κάποιες από τις δυνατότητες χρήσεις των αεροπλανοφόρων σε τομείς της περιβαλλοντικής διαχείρισης (Anweiler & Piwowarski, 2017).

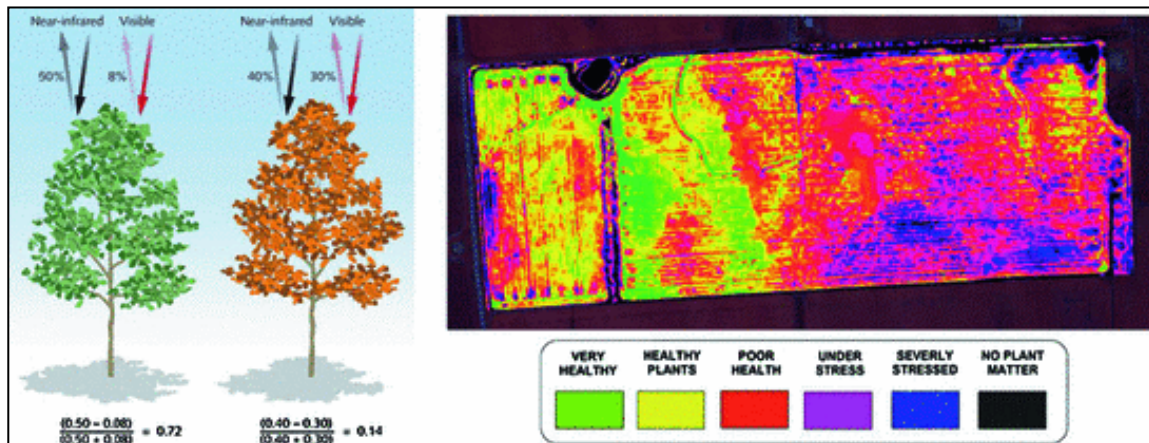
<b>Τομείς Παρακολούθησης</b>	<b>Τομείς Έρευνας</b>
<b>Πληθυσμών της πανίδας</b>	Ανάπτυξη πληθυσμών της πανίδας
<b>Φυσικών πόρων</b>	Ανάπτυξη γεωργικών καλλιεργειών
<b>Κατάσταση των δασών</b>	Σπηλαιολογικές έρευνες
<b>Κατάσταση των ποταμών</b>	Μετρήσεις ταχύτητας του ανέμου
<b>Τοπογραφικών συνθηκών</b>	Μεταβολές γεωλογικών φαινομένων
<b>Λαθροθηρίας</b>	Ιζηματογένεση σε κοίτες ποταμών

<b>Εκπομπών ρύπων από βιομηχανικές εγκαταστάσεις, σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα, εγκαταστάσεις αποτέφρωσης αποβλήτων</b>	Εντοπισμός πιθανών θέσεων για δημιουργία πάρκων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
<b>Ποσοστό συγκέντρωσης επικίνδυνων αερίων σε ορυχεία</b>	Ατμοσφαιρική ρύπανση στις αστικές περιοχές
<b>Κατάσταση των ακτογραμμών</b>	Δειγματοληψία αέρα σε μικρά ατμοσφαιρικά ύψη
<b>Κατολισθητικών φαινομένων</b>	Ανάλυση βιομάζας φυτειών
<b>Φαινομένων διάβρωσης</b>	Εξέλιξη ερημοποίησης
<b>Γεωργικών συνθηκών</b>	

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι δυνατότητες εφαρμογών των αεροπλανοφόρων σε όλους τους τομείς της περιβαλλοντικής διαχείρισης από την παρακολούθηση και καταγραφή, μέχρι την έρευνα και τον έλεγχο. Πρόσφατες μελέτες αναφέρουν ένα καινούργιο τομέα για χρησιμοποίηση των αεροπλανοφόρων ως ένα καινοτόμο εργαλείο χρήσης. Πρόκειται για τον ραγδαία αναπτυσσόμενο τομέα της αναλυτικής ή έξυπνης γεωργίας. Η έξυπνη γεωργία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των νέων τεχνολογιών μεταξύ των οποίων οι αεροπλανοφόροι και η χρήση των μεθόδων της έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση, του κόστους παραγωγής, της υπερβολικής χρήσης των φυτοφαρμάκων, της ποσότητας του νερού άρδευσης και του ηλεκτρικού ρεύματος.

Για παράδειγμα, αεροπλανοφόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της υγείας της βλάστησης και την παρακολούθηση της ανάπτυξης / κάλυψης μιας φυτείας χρησιμοποιώντας σαρωτές που καταγράφουν τον δείκτη βλάστησης NDVI (Normalized difference vegetative index), βάσει του οποίου τα υγιή φυτά αντανακλούν τόσο τα πράσινα όσο και τα υπέρυθρα μήκη κύματος φωτός. Επομένως, χρησιμοποιώντας τον NDVI, θα μπορούσαμε να διαπιστώσουμε εάν τα φυτά καταπονούνται από επιθέσεις παρασίτων, έλλειψη θρεπτικών συστατικών ή νερού. Στην Εικόνα 17, το NIR είναι το εγγύς υπέρυθρο φως και το VIS είναι το ορατό κόκκινο φως. Για να καταγράψει τις εικόνες των πεδίων, η αεροπλανοφόρος η οποία φέρει πολυφασματικό αισθητήρα, πρέπει απλά να περάσει πάνω από την περιοχή μελέτης με συγκεκριμένο υψόμετρο

πτήσης και να καταγράψει τα δεδομένα ο σαρωτής. Η χρήση του δείκτη NDVI μέσω των UAS, προσφέρει το πλεονέκτημα της κάλυψης περισσότερων επιφανειών σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα, καταγράφοντας δεδομένα που δεν μπορούν να παρατηρηθούν από το γυμνό μάτι, εξαλείφοντας έτσι πολλά λάθη που σχετίζονται με την παραδοσιακή γεωργική απογραφή και σχετίζονται με τον ανθρώπινο παράγοντα (Awange, 2018).

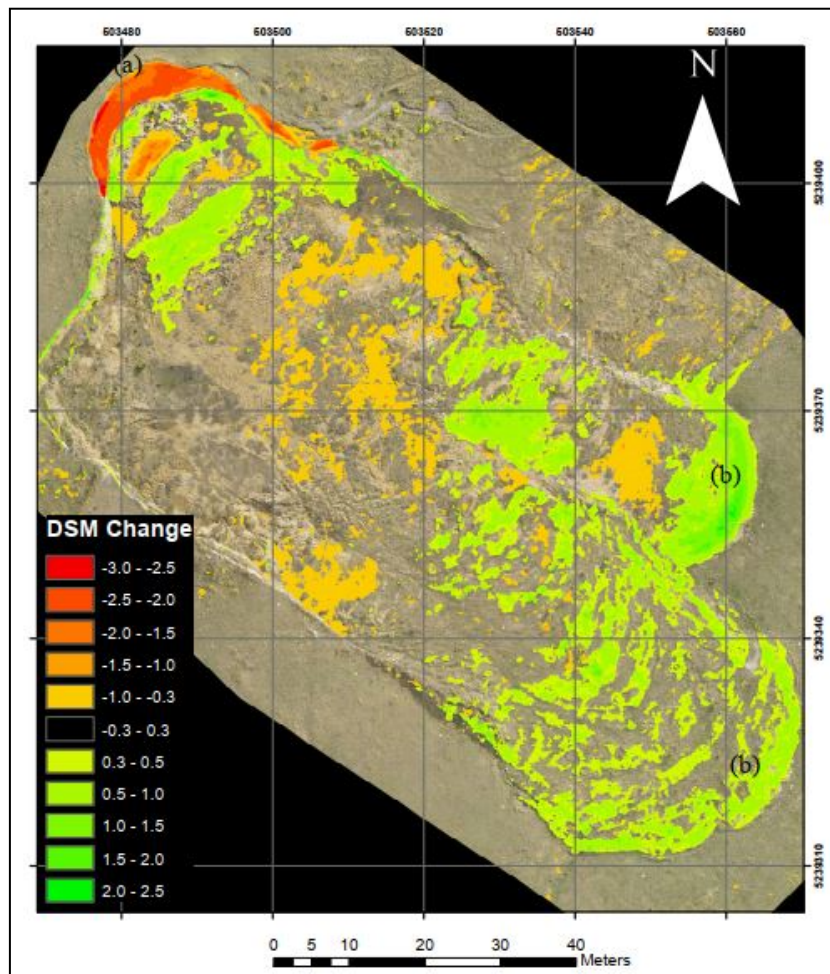


**Εικόνα 17.** Δείκτης βλάστησης NDVI, στα αριστερά γίνεται σύγκριση των ποσοστών

αντανάκλασης υγιούς και «άρρωστου» φυτού. Όσο πιο κοντά στο 1 (πράσινο) είναι η τιμή του NDVI, τόσο πιο υγιές είναι το φυτό. Δεξιά φαίνεται ένα παράδειγμα απεικόνισης του δείκτη για την παρακολούθηση της υγείας των καλλιεργειών σε αγροτική γη.

Η παρατήρηση πολλών φαινομένων που εμπίπτουν στον τομέα της διαχείρισης του φυσικού περιβάλλοντος συχνά απαιτεί την δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων από τις εικόνες που καταγράφονται από τις αεροπλανοφόρες. Συνήθως όμως οι ψηφιακές εικόνες που λαμβάνονται από τα UAS υπόκεινται σε ένα περιορισμό, στο ότι δεν είναι ικανές να δημιουργήσουν ένα πραγματικό Ψηφιακό Μοντέλο Ανάγλυφου (DEM – Digital Elevation Model) της τοπογραφίας μιας περιοχής. Αντίθετα, δημιουργούν ένα Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM - Digital Surface Model). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η τεχνική καταγραφής βασίζεται σε έναν παθητικό οπτικό αισθητήρα που δεν μπορεί να διεισδύσει στη βλάστηση και να βρει το πραγματικό ύψος της επιφάνειας, όπως λειτουργούν οι σαρωτές σε ένα σύστημα τηλεπισκόπισης LiDAR (Light Detection And Ranging). Με την εφαρμογή όμως μιας σειράς τεχνικών που προϋποθέτουν, τη συστηματική συλλογή χρονολογικά συνεχόμενων ψηφιακών εικόνων από μια περιοχή, είναι εφικτό να δημιουργηθούν ψηφιακά μοντέλα επιφανείας εξαιρετικής ακρίβειας. Σε πρόσφατη μελέτη τους, οι Turner et. al. (2015) έχουν καταφέρει να αποδείξουν ότι μια συνεχής χρονική σειρά ψηφιακών εικόνων από αεροπλανοφόρες, μπορεί να

χρησιμοποιηθεί για να χαρτογραφήσει τις κατολισθήσεις με ακρίβεια εκατοστών. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι μπορεί να υπάρχει μια κυκλική μορφολογία στην κλίση του μετώπου της κατολίσθησης, υποδηλώνοντας ότι το ποσοστό της κλίσης αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της επόμενης μετακίνησης του μετώπου της κατολίσθησης. Καθορίζοντας ουσιαστικά ένα χρονικό περιθώριο μέσα στο οποίο θα εκδηλωθεί ένα καινούργιο κατολισθητικό φαινόμενο στη υπό μελέτη περιοχή, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα της λήψης προληπτικών μέτρων από μέρους των αρμόδιων φορέων και υπηρεσιών.



**Εικόνα 18.** Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM) για μια περιοχή όπου υπάρχει κατολίσθηση, από εικόνες UAS που λήφθηκαν μεταξύ 2012 και 2013.

Με τα δεδομένα που έχουν ήδη συλλεχθεί και επεξεργαστεί μπορούμε να πούμε ότι πέραν πάσης αμφιβολίας, ένα ακριβές ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας (DSM) είναι απαραίτητο για την ανάλυση της σταθερότητας μιας κατολίσθησης και τους συναφείς κινδύνους που μπορεί να ελλοχεύουν (Yu, et al, 2017).

## 2.6 Αεροπλατφόρμες και Υδρογονάνθρακες

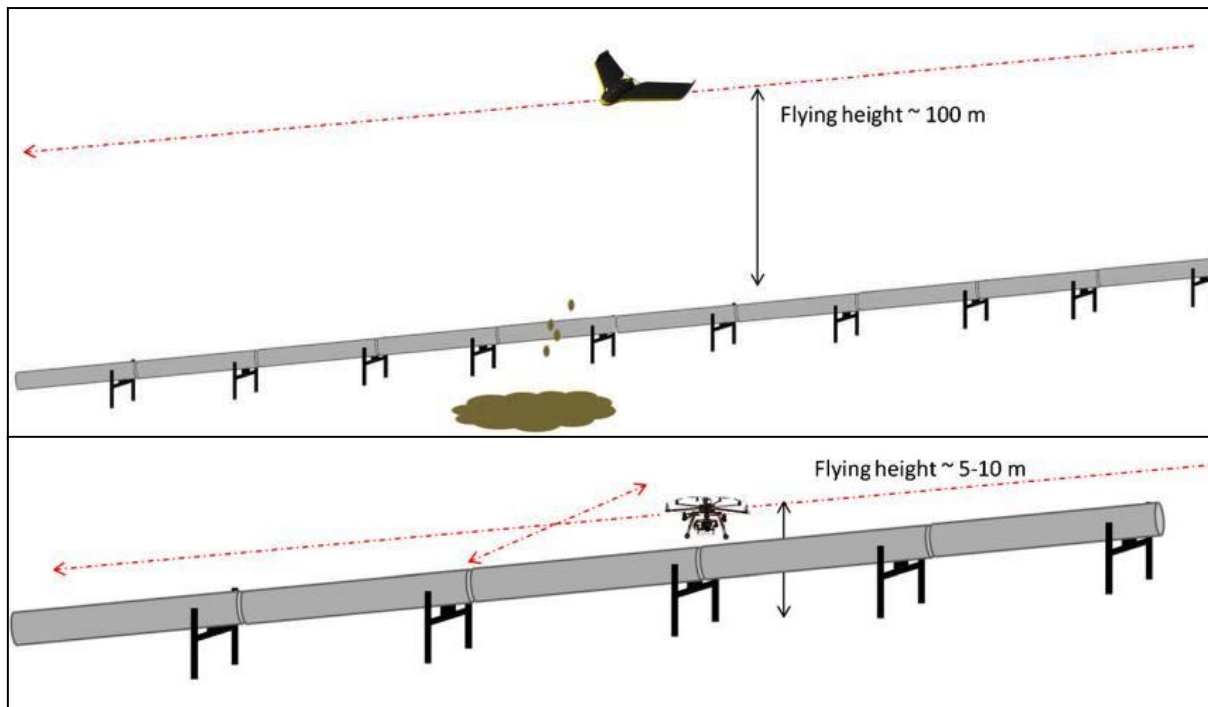
Οι αγωγοί μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου περιλαμβάνουν ένα παγκόσμιο δίκτυο άνω των 3 εκατομμυρίων χιλιομέτρων (CIA, 2013), αξίας άνω των 8680 εκατομμυρίων δολαρίων το 2014 (Markets, 2014). Οι αγωγοί παρέχουν τα ασφαλέστερο μέσο μεταφοράς υδρογονανθράκων. Ως εκ τούτου, το παγκόσμιο δίκτυο βρίσκεται σε συνεχή επέκταση (Smith, 2013) και οι ημερήσιοι όγκοι πετρελαίου και φυσικού αερίου που μεταφέρονται με αγωγούς αυξάνονται συνεχώς (PGJ, 2011). Τα δίκτυα αγωγών αποτελούνται από σκέλη διαφορετικού μήκους, με μερικά να φτάνουν χιλιάδες χιλιόμετρα (π.χ. τον αγωγό αργού πετρελαίου Καζακστάν-Κίνα 2798 χλμ.). Οι αγωγοί πετρελαίου και φυσικού αερίου ενδέχεται να τοποθετούνται πάνω ή κάτω από το έδαφος, ενώ έχουν διαμετρικό μέγεθος μέχρι και ένα μέτρο.

Προβλήματα όπως οι θραύσεις και διαρροές σε αγωγούς, μπορούν να προκληθούν για διάφορους λόγους στα δίκτυα μεταφοράς. Πεπαλαιωμένες κατασκευές, αστοχίες υλικών, φυσικές κινήσεις του εδάφους αλλά και ατυχήματα ή δολιοφθορές είναι μερικοί από αυτούς (CONCAWE, 2015). Μεγάλες ποσότητες πετρελαίου και φυσικού αερίου μπορεί να χαθούν μετά από προβλήματα σε αγωγούς, ενώ πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι διαρροές υδρογονανθράκων μπορούν να βλάψουν το περιβάλλον μέσω μόλυνσης και ρύπανσης, επηρεάζοντας σοβαρά την υγεία των οικοσυστημάτων και την ανθρώπινη ασφάλεια. Για το λόγο αυτό υπάρχει σε διεθνές επίπεδο, μια αύξηση των νομοθετικών ρυθμίσεων και πιέσεων προς τις εταιρίες για τη βελτίωση της ασφάλειας και της ακεραιότητας των δικτύων μεταφοράς υδρογονανθράκων (EMMC, 2014, PHMSA, 2015).

Τα δίκτυα μεταφοράς υδρογονανθράκων, συμπεριλαμβανομένων των αγωγών, των συμπιεστών και των αντλιών, βρίσκονται συχνά σε περιβάλλοντα που είναι δύσκολο να παρακολουθούνται και να ασφαλιζονται (π.χ. υπεράκτιες, απομακρυσμένες περιοχές). Η τεχνολογία των αεροπλατφόρμων αποτελεί μια ευκαιρία για την πλαισίωση των ήδη υπάρχοντων συστημάτων παρακολούθησης, που χρησιμοποιούνται στον τομέα των υδρογονανθράκων. Οι μικρές τεχνολογικές λύσεις που παρέχουν τα UAS είναι ευέλικτες και προσαρμόσιμες και με αποδεδειγμένη ικανότητα απόκτησης πολύτιμων δεδομένων σε χωρικές κλίμακες, μικρές έως μεσαίες, που υπερκαλύπτουν τις ανάγκες του τομέα. Η

επιλογή ενός συνδυασμού αεροπλανοφόρου και αισθητήρα για την παροχή των απαραίτητων δεδομένων σε κατάλληλες συνθήκες για την παρακολούθηση και χαρτογράφηση των αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου παραμένει μια πρόκληση. Ειδικότερα για ορισμένες από τις πλέον κατάλληλες τεχνικές ανίχνευσης διαρροών πετρελαίου ή αερίου (π.χ. φθορισμός) δεν υπάρχει ακόμα διαθέσιμος αισθητήρας (π.χ. φθόριο-αισθητήρας λέιζερ) που να μπορεί να είναι προσαρμοσμένος σε αεροπλανοφόρους UAS. Αρκετοί τύποι αισθητήρων που φέρονται από αεροπλανοφόρους και χρησιμοποιούνται για σκοπούς τηλεπισκόπησης, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο των αγωγών πετρελαίου (Hassan-Esfahani, et al, 2015).

Οι εταιρείες πετρελαίου και φυσικού αερίου εξετάζουν ενεργά την ενσωμάτωση αεροπλανοφόρων ως μέρος των καινοτόμων συστημάτων ευφυούς διαχείρισης των δικτύων μεταφοράς υδρογονανθράκων. Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες σκοπιμότητας, αλλά μόνο ορισμένα παραδείγματα παρακολούθησης δικτύων μεταφοράς υδρογονανθράκων με τη χρήση UAS βρίσκονται ήδη σε επιχειρησιακή φάση, αφού η τεχνική ανάπτυξης και η εν τέλει εφαρμογή τέτοιων σχεδιασμών προϋποθέτουν χρονοβόρες διαδικασίες (Gómez & Green, 2017).



**Εικόνα 19.** Παραδείγματα χρήσης αεροπλανοφόρων στην παρακολούθηση των δικτύων μεταφοράς υδρογονανθράκων, για εντοπισμό προβλημάτων ή διαρροών.

# Κεφάλαιο 3

## Μεθοδολογία

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις μεθόδους ψηφιακής επεξεργασίας - ανάλυσης εικόνων που λαμβάνονται από καταγραφικά συστήματα που φέρονται από όλους τους τύπους πτητικών μέσων, από αεροπλανοφόρες μέχρι δορυφόρους. Η ψηφιακή επεξεργασία - ανάλυση εικόνων, είναι μία τεχνική που χρησιμοποιείται για να βελτιώσει την υποκειμενική οπτική παρουσίαση και την εξαγωγή νέων πληροφοριών, των τηλεσκοπικών εικόνων. Είναι μία τεχνική που αντικατέστησε την οπτική ανάλυση εικόνων. Επίσης χρησιμοποιείται για να διορθώσει τις εικόνες για να ταυτίζονται αυτές με επιλεγμένους χάρτες. Οι μέθοδοι ψηφιακής επεξεργασίας - ανάλυσης εικόνων μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε κατηγορίες (Aronoff, 2005):

1) Αποκατάσταση και αναγωγή εικόνων.

Οι τεχνικές αποκατάστασης και αναγωγής (χαρτογραφικής) των εικόνων, διορθώνουν τις αρχικές εικόνες, απομακρύνουν τις συστηματικές γεωμετρικές παραμορφώσεις των εικόνων και αλλάζουν τη γεωμετρία των εικόνων ανάλογα με τις απαιτήσεις των χαρτογραφικών προβολών.

2) Ενίσχυση - βελτίωση εικόνων.

Οι τεχνικές βελτίωσης των εικόνων, βελτιώνουν την οπτική ερμηνεία της εικόνας με την αύξηση της οπτικής διάκρισης μεταξύ των διαφόρων αντικειμένων που απαντούν στις εικόνες.

3) Δημιουργία «δεικτών εικόνων ή μετασχηματισμού εικόνων».

Η δημιουργία δεικτών εικόνων ή μετασχηματισμένων εικόνων, χρησιμοποιείται για να υπολογισθούν χαρακτηριστικά των εικόνων, όπως οι συνθήκες βλάστησης, κατανομή πετρωμάτων, επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας, συγκέντρωση χλωροφύλλης κλπ.

#### 4) Ταξινόμηση εικόνων.

Οι τεχνικές ταξινόμησης αυτοματοποιούν την αναγνώριση των διαφόρων επιφανειακών χαρακτηριστικών που απαντούν στις εικόνες. Τα εικονοστοιχεία στην ψηφιακή εικόνα ταξινομούνται σε μία ή περισσότερες κλάσεις ή θέματα που αντιπροσωπεύουν διάφορους τύπους χαρακτήρων χρήσιμων σε μία εφαρμογή, όπως είναι οι τύποι των καλύψεων γης. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να παρουσιαστούν ως ένας θεματικός χάρτης ή να ταξινομηθούν σε πίνακες για να καθορίσουν την επιφάνεια (έκταση) κάθε κλάσης.

#### 5) Διεργασίες μοντελοποίησης.

Οι διεργασίες της μοντελοποίησης μπορούν να ενσωματώσουν διάφορα γεωχωρικά δεδομένα προερχόμενα από τις τηλεπισκοπικές εικόνες και άλλες πηγές, με σκοπό να εντοπίσουν, περιοχές με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, τον βαθμό ενημέρωσης των χαρτών στις πρόσφατες μεταβολές του ανάγλυφου ή να προβλέψουν τις μελλοντικές μεταβολές των προαναφερόμενων περιοχών.

Επιπρόσθετα των πέντε προαναφερθέντων τεχνικών, η ψηφιακή ανάλυση εικόνων χρησιμοποιεί και άλλα γεωχωρικά ή βοηθητικά δεδομένα για να βαθμονομήσει επεξεργασμένους αλγόριθμους για γεωμετρικές διορθώσεις ή να επικυρώσει την ακρίβεια της ταξινόμησης. Ακολούθως, γίνεται λεπτομερέστερη περιγραφή των τεχνικών αυτών με αναφορά στις επιμέρους διεργασίες που επιτελούνται για την εξαγωγή των εκάστων αποτελεσμάτων.

## **3.1 Αποκατάσταση και αναγωγή εικόνας.**

Με τη μέθοδο αυτή γίνεται η διόρθωση των ραδιομετρικών τιμών και της γεωμετρίας της εικόνας από σφάλματα και παραλείψεις που έγιναν από τα συστήματα καταγραφής (απορυθμίσεις σαρωτών που προκαλούν λωριδοποιήσεις των εικόνων κλπ) και από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούσαν τη χρονική στιγμή που γίνονταν η λήψη της εικόνας, το ύψος και την αζιμουθιακή γωνία τον ηλίου, την καμπυλότητα και την τοπογραφία του ανάγλυφου κλπ. Επίσης, με τη μέθοδο αυτή αλλάζει η γεωμετρία της εικόνας (γεωμετρική διόρθωση της εικόνας), για να ταυτιστεί με το επιθυμητό σύστημα αναφοράς (Αστάρας, et al., 2007). Δηλαδή δημιουργείται εικόνα με διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά από την αρχική εικόνα.

### **3.1.1 Γεωμετρικές διορθώσεις της εικόνας.**

Αυτές γίνονται με τη γεωαναφορά, η οποία δημιουργεί ένα γεωγραφικό χώρο με επιθυμητό σύστημα αναφοράς και στο χώρο αυτό σχηματίζει σε πρώτο βήμα, μία εικόνα με εικονοστοιχεία χωρίς τιμές φωτεινότητας. Στη συνέχεια, με βάση τύπους μετασχηματισμού συντεταγμένων βρίσκει την αντιστοιχία των εικονοστοιχείων αυτών με τα εικονοστοιχεία της αρχικής εικόνας και έτσι εντοπίζει τις αντίστοιχες τιμές φωτεινότητας στην αρχική εικόνα και τις μεταφέρει στη γεωαναφερόμενη εικόνα. Τα σημεία της γεωαναφοράς είναι τα εξής: 1) Εντοπισμός συγκεκριμένων σημείων που καλούνται σημεία ελέγχου πάνω στην εικόνα τα οποία έχουν γνωστές συντεταγμένες. Τα σημεία ελέγχου προσδιορίζονται είτε από το χάρτη, αναγνωρίζοντας τα δηλαδή ταυτόχρονα στην εικόνα και στον χάρτη, είτε μετρούνται στο έδαφος με GPS και αναγνωρίζονται στην εικόνα. Τα σημεία ελέγχου πρέπει να έχουν απαραίτητα γνωστές συντεταγμένες τόσο στην εικόνα όσο και στο έδαφος. 2) Με τη βοήθεια συγκεκριμένων αλγορίθμων ακολουθεί η μετατροπή των διαφόρων συντεταγμένων εδάφους/ χάρτη, σε συντεταγμένες της γεωαναφερόμενης εικόνας, με μέγεθος πλέγματος στο σύστημα αναφοράς, ανάλογα με τις διαστάσεις των εικονοστοιχείων (χωρική ανάλυση) της εικόνας. 3) Ακολουθεί διαδικασία εντοπισμού των τιμών φωτεινότητας της αρχικής εικόνας, οι οποίες πρέπει να δοθούν στη γεωαναφερόμενη εικόνα. Επειδή το σημείο ελέγχου στις υπολογιζόμενες συντεταγμένες της γεωαναφερόμενης εικόνας δεν συμπίπτει με το κέντρο του αντίστοιχου εικονοστοιχείου στην αρχική εικόνα, η τιμή φωτεινότητας του εικονοστοιχείου υπολογίζεται με μεθόδους παρεμβολής. Οι

σημαντικότερες μέθοδοι παρεμβολής είναι οι εξής: α) η «μέθοδος του πλησιέστερου γειτονικού σημείου», β) η «μέθοδος της διγραμμικής παρεμβολής» και γ) η «μέθοδος της δικυβικής παρεμβολής».

### **3.1.2 Ραδιομετρικές διορθώσεις εικόνων**

Αυτή η μέθοδος αποσκοπεί στη διόρθωση των ραδιομετρικών αλλοιώσεων της εικόνας κατά τη διάρκεια της σάρωσης, καταγραφής και αναπαραγωγής της εικόνας. Για τις ραδιομετρικές διορθώσεις χρησιμοποιούνται διάφορες μεθοδολογίες. Οι σπουδαιότερες εξ' αυτών είναι οι ατμοσφαιρικές και τοπογραφικές ραδιομετρικές διορθώσεις.

#### **3.1.2.1 Ατμοσφαιρικές ραδιομετρικές διορθώσεις**

Αυτές μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες:

1) Μέθοδος αφαίρεσης σκοτεινών αντικειμένων: Αυτή είναι μια απλή και γρήγορη εμπειρική διαδικασία. Βασίζεται στην υπόθεση, ότι σε κάθε εικόνα υπάρχουν τουλάχιστον λίγα «σκοτεινά» εικονοστοιχεία δηλαδή με 0% αντανάκλαση, τα οποία μπορεί να αντιστοιχούν σε βαθιές, καθαρές υδάτινες επιφάνειες, σκιές κ.λπ. Στην ιδανική περίπτωση οι τιμές έντασης αυτών των εικονοστοιχείων πρέπει να είναι μηδέν, εξαιτίας όμως της επίδρασης της ατμόσφαιρας καταγράφουν μη μηδενικές τιμές. Οι μικρότερες τιμές έντασης σε κάθε φασματική ζώνη θεωρούνται ότι αποτελούν την ακτινοβολία της ατμοσφαιρικής διαδρομής και αφαιρούνται από όλες τις τιμές έντασης των εικονοστοιχείων αυτής.

2) Προσεγγιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιούν ατμοσφαιρικά μοντέλα: Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα ατμοσφαιρικά μοντέλα ή κώδικες για τη χρήση των οποίων απαιτούνται συγκεκριμένες μετρήσεις ατμοσφαιρικών παραμέτρων κατά το χρόνο λήψης της εικόνας. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε ιδιαίζουσες περιπτώσεις, όπως είναι η επεξεργασία και ανάλυση υπερφασματικών εικόνων.

#### **3.1.2.2 Τοπογραφικές ραδιομετρικές διορθώσεις**

Αυτές αποσκοπούν στη διόρθωση της αλλοιωμένης έντασης ακτινοβολίας των εικονοστοιχείων, που οφείλεται στη γεωμορφολογία της περιοχής (γωνία κλίσης και προσανατολισμός των κλιτύων). Η επίδραση της γεωμορφολογίας πάνω στην ένταση της ακτινοβολίας των εικονοστοιχείων μειώνεται σημαντικά, όταν εφαρμοσθεί η

μεθοδολογία των «λόγων των φασματικών ζωνών μιας εικόνας». Οι τοπογραφικές ραδιομετρικές διορθώσεις διακρίνονται στις εξής:

1) Διόρθωση Minnaert - Με τη μέθοδο αυτή αρχικά χρησιμοποιείται ένας εμπειρικός συντελεστής ο οποίος υπολογίζεται στατιστικά από κάθε μια εικόνα και έχει σχέση με την τραχύτητα του ανάγλυφου η οποία καθορίζει τη σκίαση της ακτινοβολίας (Parlow, 1996, Li, et al., 1996).

2) Ραδιομετρική διόρθωση με τη βοήθεια του μοντέλου του σκιασμένου ανάγλυφου (Shade Relief Model/ SRM) - Η σκίαση στην εικόνα δημιουργείται από την ανάγλυφη επιφάνεια της γης κατά τη συγκεκριμένη θέση του ήλιου τη στιγμή που γίνεται η καταγραφή από τον σαρωτή. Το «Μοντέλο του Σκιασμένου Αναγλύψου» είναι μια εικόνα η οποία λαμβάνεται με τεχνητό φωτισμό του ανάγλυφου από συγκεκριμένη διεύθυνση. Το μοντέλο SRM για να υπολογισθεί χρειάζεται ένα ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου (DEM) με σταθερή ανακλαστικότητα. Το SRM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις τοπογραφικές ραδιομετρικές διορθώσεις μιας εικόνας καθώς και για την ενίσχυση των φασματικών χαρακτηριστικών της εικόνας. Σε αυτό διακρίνονται όλες οι διαβαθμίσεις της φωτεινότητας υπό μορφή σκιάσεων, η οποία εξαρτάται από την τοπογραφία, ανεξάρτητα από τις μεταβολές της ανακλαστικότητας. Ο «λόγος φασματικών ζωνών» μιας δορυφορικής εικόνας, συνδυαζόμενος με το SRM, δημιουργεί μια εικόνα παρόμοια με τη φασματική ακτινοβολία της καταγραμμένης γήινης επιφάνειας.

### **3.1.2.3 Διόρθωση λωριδοποίησης**

Η απομάκρυνση της «λωριδοποίησης» στις εικόνες που προέρχονται από το σαρωτή, αποκαλείται απολωριδοποίηση και πραγματοποιείται με διάφορους αλγόριθμους. Μια μέθοδος που απλουστεύει τους υπολογισμούς είναι η μέθοδος της παρεμβολής. Η παρεμβολή μπορεί να επιτευχθεί είτε χρησιμοποιώντας δεδομένα (εικονοστοιχεία) των γειτονικών φασματικών γραμμών της ίδιας ζώνης, είτε με την παρεμβολή δεδομένων της ίδιας γραμμής σάρωσης στις γειτονικές φασματικές ζώνες χρησιμοποιώντας την «ιδέα των φασματικών κλιτύων».

## **3.2 Βελτίωση / ενίσχυση εικόνων**

Αυτή αναφέρεται σε διάφορες μεθόδους επεξεργασίας ψηφιακών εικόνων οι οποίες βελτιώνουν την οπτική παρουσίαση μιας εικόνας, με την εφαρμογή διαφόρων αλγορίθμων οι οποίοι αλλάζουν τη διαβάθμιση του τόνου της εικόνας, την φωτεινότητα, την ευκρίνεια και τη χρωματική απόδοση των χαρακτηριστικών στην εικόνα. Έτσι αναγνωρίζονται και ερμηνεύονται πιο εύκολα τα διάφορα χαρακτηριστικά της περιοχής που απεικονίζεται. Σε ψηφιακές επεξεργασίες εικόνων όπως είναι η ταξινόμηση, χρησιμοποιούνται μη ενισχυμένες εικόνες γιατί αυτές παρουσιάζουν ακριβέστερη παρουσίαση της ενέργειας που λήφθηκε από τον αισθητήρα.

### **3.2.1 Ιστογράμματα**

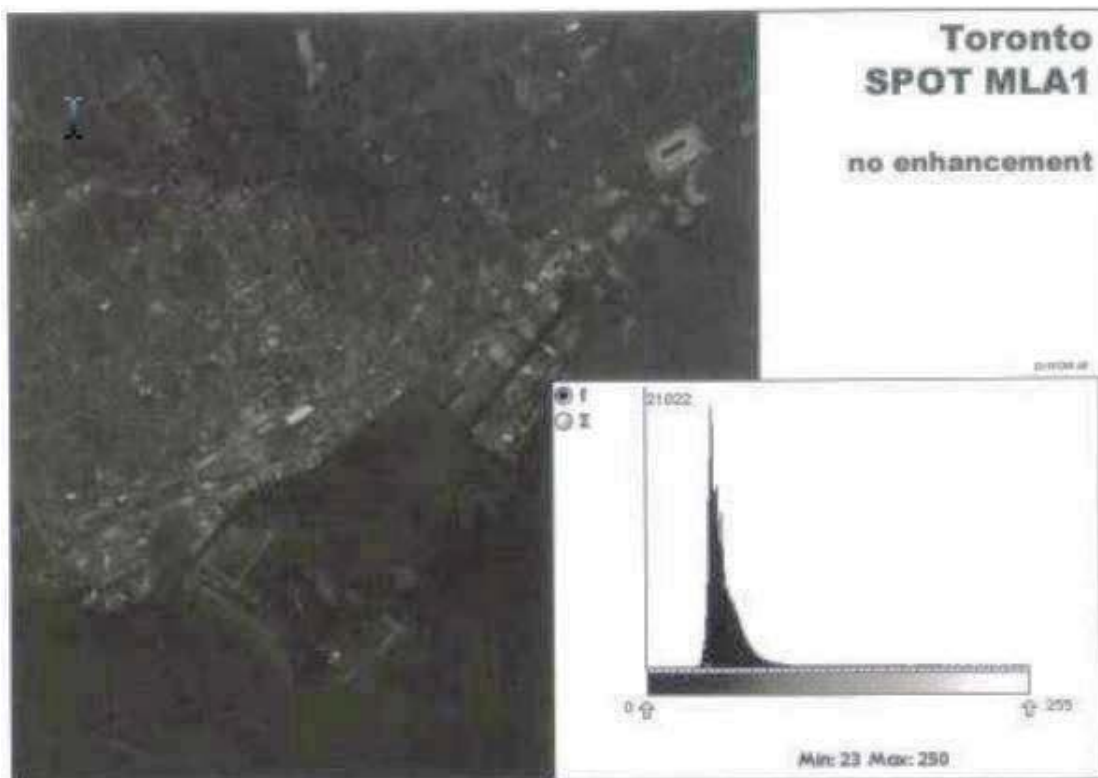
Αρχικό στάδιο της βελτίωσης της εικόνας είναι η κατασκευή του ιστογράμματός της. Το ιστόγραμμα περιγράφει την στατιστική κατανομή των ψηφίδων κάθε μιας φασματικής ζώνης της εικόνας και η διασπορά των ψηφίδων δίδει μια ιδέα για τη σχετική κατανομή τους σε δύο ή περισσότερες φασματικές ζώνες. Σε ένα ιστόγραμμα, ο οριζόντιος άξονας αναπαριστά το εύρος των τιμών των εικονοστοιχείων, από 0 (μαύρο) μέχρι 255 (λευκό) και ο κατακόρυφος άξονας τον αριθμό των εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν σε κάθε τιμή. Τα ιστογράμματα των περισσότερων πρωτογενών δορυφορικών εικόνων, έχουν ένα περιορισμένο εύρος χαμηλών τιμών φωτεινότητας, με αποτέλεσμα να μην διαχωρίζονται ευκρινώς οι διαφορετικοί σχηματισμοί της γήινης επιφάνειας. Τίθεται επομένως το ζήτημα της ενίσχυσης της εικόνας. Η καλύτερη βελτίωση επιτυγχάνεται με την ενίσχυση διαβάθμισης φωτεινότητας μέσω κατάλληλων μαθηματικών μετασχηματισμών που διευρύνουν το ιστόγραμμά της, ώστε να συμπεριλαμβάνεται όλη η κλίμακα τόνου, από τη μηδενική ως τη μέγιστη τιμή.

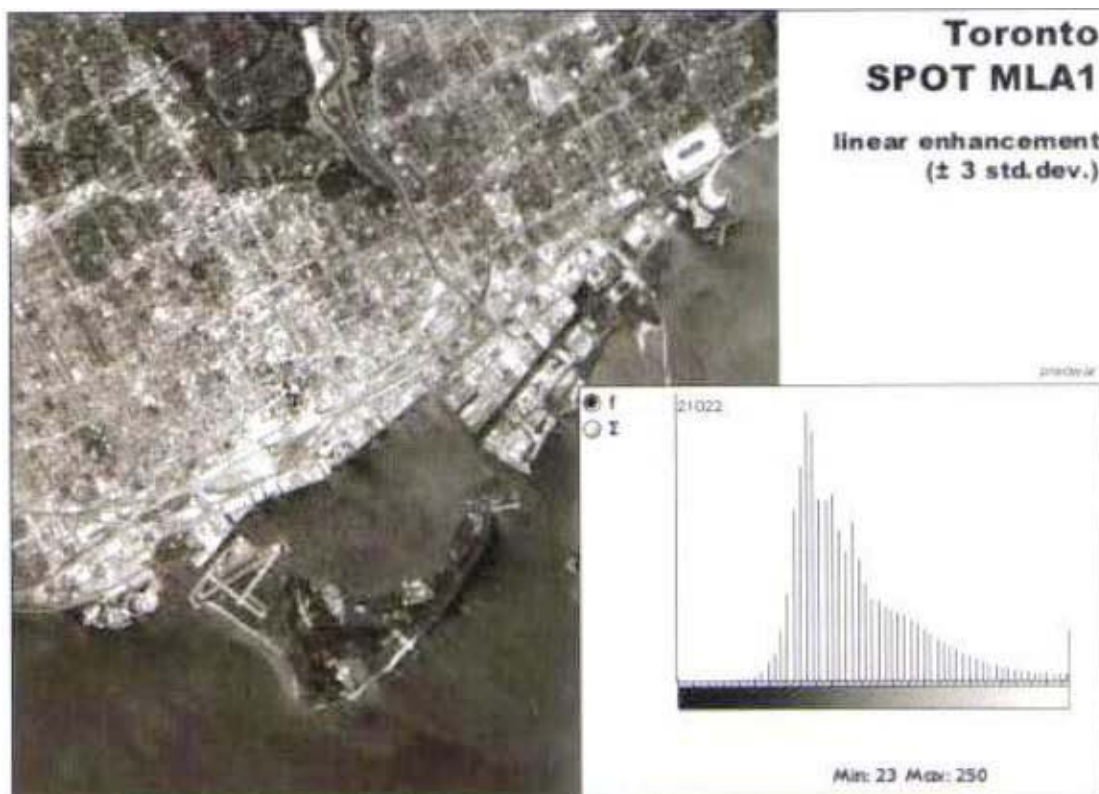
### **3.2.2 Βελτίωση της διαβάθμισης φωτεινότητας**

Η βελτίωση της διαβάθμισης φωτεινότητας έχει σχέση με τον μετασχηματισμό της κλίμακας γκρι τόνων των ψηφίδων, ούτως ώστε να τονισθούν ορισμένα χαρακτηριστικά της εικόνας που ενδιαφέρουν τον χρήστη. Η «έλκυση ή επέκταση ιστογράμματος» είναι η πληρέστερη μέθοδος βελτίωσης της διαβάθμισης φωτεινότητας χρησιμοποιώντας διάφορους αλγορίθμους. Οι τεχνικές έλκυσης

ιστογράμματος μπορούν να διακριθούν στη γραμμική και μη γραμμική (Βαϊόπουλος, 2000).

Στην γραμμική έλκυση, η τιμή φωτεινότητας ενός εικονοστοιχείου της πρωτογενούς εικόνας, λαμβάνει μία νέα τιμή με βάση μία γραμμική σχέση. Με έναν τέτοιο γραμμικό μετασχηματισμό, οι σχετικά χαμηλές τιμές μειώνονται ακόμα περισσότερο, πλησιάζοντας το μηδέν, ενώ οι σχετικά ψηλές τιμές αυξάνονται, με αποτέλεσμα να προκύπτει ένα νέο ιστόγραμμα τιμών φωτεινότητας που να καταλαμβάνει όλη την κλίμακα του τόνου. Πιο κάτω μπορούμε να δούμε ένα παράδειγμα εφαρμογής της γραμμικής έκτασης του ιστογράμματος στη φασματική ζώνη 1 του SPOT HRV πριν και μετά την έκταση. Η διαφορά στην αντίθεση που δημιουργείται στη δεύτερη εικόνα διευκολύνει την ερμηνεία της (Aronoff, 2005).





**Εικόνες 20, 21.** Εφαρμογή της γραμμικής έκτασης του ιστογράμματος.

Στη μη γραμμική έλκυση ιστογράμματος, το ιστόγραμμα της αρχικής εικόνας διευρύνεται μέσω ενός μη γραμμικού μετασχηματισμού. Μία τέτοια τεχνική είναι αυτή της ισοστάθμισης ιστογράμματος. Με την τεχνική αυτή, το αρχικό ιστόγραμμα μετασχηματίζεται σε ένα νέο ιστόγραμμα τιμών φωτεινότητας που προσεγγίζει την ομοιόμορφη κατανομή (Βαϊόπουλος, 2000). Η γκαουσιανή έλκυση είναι μια άλλη τεχνική μη γραμμικής έλκυσης, κατά την οποία το αρχικό ιστόγραμμα μετασχηματίζεται σε ένα νέο με χαρακτηριστικά γκαουσιανής (κωδωνοειδούς) κατανομής. Τέλος, μη γραμμική έλκυση είναι και η λογαριθμική έλκυση ιστογράμματος κατά την οποία προσδιορίζεται πρώτα ο λογάριθμος της νέας τιμής φωτεινότητας από τον λογάριθμο της αρχικής, μέσω ενός μαθηματικού μετασχηματισμού.

### 3.2.3 Φίλτρα επεξεργασίας εικόνων

Οι ψηφιακές εικόνες από τα διάφορα ιπτάμενα μέσα (UAS, αεροπλάνα, δορυφόρους κλπ) έρχονται σε διάφορα επίπεδα ποιότητας και πληροφοριών. Χρησιμοποιώντας φίλτρα μπορούμε να αφαιρέσουμε το θόρυβο από μια εικόνα, καθιστώντας την κατάλληλη για ανάλυση και ερμηνεία. Μερικές φορές, ακόμα και αν αναφερόμαστε σε εικόνες υψηλής ή και υπερυψηλής ποιότητας μπορεί να μην είναι αρκετές, για να

συλλεχθούν πιο συγκεκριμένες πληροφορίες, για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο να τύχουν επεξεργασίας με διάφορους αλγόριθμους (Zhang, et al., 2016).

Οι μέθοδοι φιλτραρίσματος εικόνων διακρίνονται σε, χωρικό φιλτράρισμα και φιλτράρισμα συχνοτήτων ή φίλτρο Fourier. Το χωρικό φιλτράρισμα γίνεται με τη χρήση παραθύρων ή πυρήνων (φίλτρα Kernel) και εφαρμόζεται στην ψηφιακή επεξεργασία εικόνων. Ένα φίλτρο Kernel χρησιμοποιεί ένα κινούμενο παράθυρο που επεξεργάζεται κάθε τιμή ενός εικονοστοιχείου, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των γειτονικών εικονοστοιχείων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναβάθμιση ή την υποβάθμιση συγκεκριμένων πληροφοριών στην εικόνα, ούτως ώστε να γίνουν πιο «ορατές» οι πληροφορίες που επιζητεί να συλλέξει ο εκάστοτε ερευνητής (BVIEER, 2016). Αν τοποθετήσουμε τις τιμές φωτεινότητας μιας εικόνας στο νέο προφίλ από το ένα άκρο μέχρι το άλλο, θα δούμε ότι το προφίλ αποτελείται από ένα πολύπλοκο συνδυασμό ημιτονοειδών κυμάτων. Αυτό μπορεί να χωρισθεί σε δύο τμήματα: 1) στις διακυμάνσεις υψηλής συχνότητας και 2) στις διακυμάνσεις χαμηλής συχνότητας, όπου η συχνότητα δείχνει το ρυθμό διακύμανσης στις τιμές της φωτεινότητας. Υπάρχουν δύο τύποι φιλτραρίσματος συχνοτήτων: Με χρήση φίλτρων υψηλών συχνοτήτων και με χρήση φίλτρων χαμηλών συχνοτήτων.

### **3.2.3.1 Φιλτράρισμα υψηλών συχνοτήτων (φίλτρο διέλευσης υψηλών συχνοτήτων ή ενίσχυση ακμών μιας εικόνας)**

Στις τηλεπισκοπικές εικόνες η πληροφορία που διαφοροποιεί τα γειτονικά αντικείμενα βρίσκεται στα όρια (ακμές) της, τα οποία δημιουργούνται από τις μεταβολές της υψηλής συχνότητας. Τα όρια επηρεάζονται από τα διάφορα χαρακτηριστικά του ανάγλυφου, τη βλάστηση, τις συνθήκες φωτισμού κ.λπ.. Έτσι η ενίσχυση τους είναι μία διεργασία όξυνσης όπου τα όρια των αντικειμένων ενισχύονται οπτικά. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι φιλτραρίσματος οι οποίοι τονίζουν τα όρια στις ψηφιακές εικόνες (Jensen, 1986, Gupta, 2003). Οι σπουδαιότερες από αυτές είναι οι εξής:

1) Κλίση της εικόνας - Η κλίση της εικόνας λαμβάνεται από την εύρεση της αλλαγής των τιμών φωτεινότητας σε δύο διαδοχικές ψηφίδες συγκεκριμένης διεύθυνσεως και αντιστοιχεί στην πρώτη παράγωγο (διαφορικό) (Μέρτικας, 1999, Gupta, 2003). Η πρώτη παράγωγος μπορεί να μας δώσει τη δυνατότητα να αναγνωρίσουμε τμήματα μιας εικόνας υψηλών συχνοτήτων, όπως για παράδειγμα τα όρια ή τις γραμμώσεις της

εικόνας. Όριο (ακμή) της εικόνας καλείται μία ασυνέχεια ή μια απότομη μεταβολή στην κλίμακα τον τεφρού χρώματος σε κάποια ψηφίδα ή σε ομάδα ψηφίδων που πιθανόν να παρουσιάζει ενδιαφέρον π.χ. για τον εντοπισμό ορίων γεωλογικών ενοτήτων, για τον εντοπισμό ρηγμάτων στα πετρώματα, για τον εντοπισμό κλάδων (κοιτών ρεμάτων) υδρογραφικού δικτύου κ.α.. Γενικά η μέθοδος της ενίσχυσης των ακμών παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα όταν χρησιμοποιείται σε διευθύνσεις κάθετες προς τη γραμμή σάρωσης (διεύθυνση πτήσης της αεροπλατφόρμας).

2) Λαπλασιανή εικόνα - Η λαπλασιανή ενίσχυση επιτυγχάνεται με τη δεύτερη παράγωγο π.χ. στο βαθμό αλλαγής. Βασικά σε αυτή επιτυγχάνεται ο υπολογισμός των διαφορών σε σχέση με τις δύο γειτονικές ψηφίδες, στις δύο πλευρές, στις σειρές και τις στήλες.

3) Αφαίρεση εικόνας χαμηλής συχνότητας - Με τη μέθοδο της αφαίρεσης εικόνας χαμηλής συχνότητας, μπορούν να ληφθούν πληροφορίες υψηλής συχνότητας σε μια εικόνα, με την αφαίρεση μιας εικόνας χαμηλής συχνότητας από την αρχική εικόνα.

4) Εικόνα διαγώνιων ορίων - Τα διαγώνια όρια μπορούν να ενισχυθούν με τον υπολογισμό διαφόρων ψηφίδων κατά μήκος των διαγωνίων σε μια εικόνα. Η εικόνα μπορεί να παράγεται παρατηρούμενη από αριστερά (NA παρατήρηση) ή παρατηρούμενη από δεξιά (BD παρατήρηση). Με αυτό τον τρόπο, όρια με ΒΔ-NA ή ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνση μπορούν να βελτιωθούν οπτικά.

Εκτός από τα παραπάνω φίλτρα που περιγράφηκαν υπάρχουν και άλλα μη γραμμικά φίλτρα, τα οποία εφαρμόζονται σε διάφορους τομείς έρευνας με επιτυχία.

### **3.2.3.2 Εξομάλυνση εικόνας**

Ο κύριος σκοπός της εξομάλυνσης της εικόνας είναι να ενισχύσει τις χαμηλές συχνότητες. Στην πράξη η εξομάλυνση της εικόνας είναι το αντίστροφο της ενίσχυσης ακμών της εικόνας (Μέρτικας, 1999, Τσακίρη-Στρατή, 2004, Μουρατίδης, 2005). Επειδή η εξομάλυνση της εικόνας υποβαθμίζει τις τοπικές διαφορές (στα γήινα επιφανειακά χαρακτηριστικά) είναι ειδικά χρήσιμη στους ερευνητές που έχουν ως στόχο, τη μελέτη της κατανομής διαφόρων γεωλογικών δομών που εκτείνονται σε μεγάλες περιοχές.

### 3.2.3.3 Φιλτράρισμα Fourier

Η μαθηματική τεχνική της ανάλυσης Fourier η οποία χρησιμοποιεί τον χώρο των συχνοτήτων, εφαρμόζεται σε χωριστή φασματική ζώνη κάθε φορά και χωρίζει μια εικόνα σε επιμέρους τμήματα ανάλογα με τις χωρικές τους συχνότητες. Σύμφωνα με το Θεώρημα Fourier, κάθε συνάρτηση μπορεί να παρασταθεί με το άθροισμα μιας σειράς ημιτονικών όρων διαφορετικών χωρικών συχνοτήτων. Στην τηλεπισκόπηση επειδή η εικόνα είναι ψηφιακή δύο διαστάσεων, χρησιμοποιείται ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier δύο διαστάσεων, ο οποίος δίνει το μετασχηματισμό των διακριτών τιμών έντασης (DN) της εικόνας σε διακριτές χωρικές συχνότητες (Τσακίρη-Στρατή, 2004).

### **3.3 Μετασχηματισμός ή δημιουργία δεικτών εικόνων**

Οι δύο προηγούμενες μεθοδολογίες είχαν ως στόχο τη διόρθωση και την ενίσχυση των εικόνων για να μελετηθούν οπτικά από τον ερευνητή. Παρόλα αυτά, η μεθοδολογία που βοηθάει περισσότερο στο να εξαχθούν πληροφορίες από τα δεδομένα που καταγράφουν οι σαρωτές των αεροπλατφόρμων, είναι η μεθοδολογία του μετασχηματισμού ή δημιουργίας δεικτών εικόνων.

Στην τηλεπισκόπηση οι εικόνες τις περισσότερες φορές είναι σε πολυφασματική μορφή, οπότε χρειάζεται να υποστούν ειδική ψηφιακή επεξεργασία, για να πάρουμε τις επιθυμητές πληροφορίες τις οποίες δεν τις βρίσκουμε στις μονοφασματικές εικόνες. Επίσης χρειάζεται να πάρουμε πληροφορίες, όχι μόνο από τις πολυφασματικές εικόνες των ιδίων καταγραφών αλλά και από εικόνες που προέρχονται από διαφορετικούς αισθητήρες, από διαφορετικούς αερομεταφορείς και από διαφορετικές χρονικές περιόδους. Όλες αυτές οι εικόνες μπορούν να υπερτίθενται η μία πάνω στην άλλη με γεωμετρική συμφωνία και τελικό στόχο, αφού τύχουν κατάλληλης ψηφιακής επεξεργασίας, να δημιουργήσουν μία νέα εικόνα που θα βελτιώσει την ποιότητα της αρχικής.

#### **3.3.1 Προσθήκη και αφαίρεση φασματικών ζωνών**

Η πιο απλή μέθοδος συνδυασμού ψηφιακών πολυφασματικών εικόνων, γίνεται με την πρόσθεση και την αφαίρεση των ζωνών τους. Η εικόνα που προκύπτει από την πρόσθεση φασματικών ζωνών (νέες τιμές DN) χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη δυναμική εμβέλεια και μεγαλύτερη αντίθεση των διαφόρων χαρακτηριστικών της, από ότι αυτό συνέβαινε στις αρχικές εικόνες γιατί αυτές έχουν υψηλή συσχέτιση. Η πρόσθεση εικόνων εφαρμόζεται συνήθως όταν θέλουμε να εμφανίσουμε επί της αρχικής εικόνας το αποτέλεσμα ενός φίλτρου. Η αφαίρεση χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό αλλαγών σε εικόνες της ίδιας περιοχής που έχουν ληφθεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

#### **3.3.2 Λόγος ή αναλογία φασματικών ζωνών**

Ο λόγος δημιουργεί εικόνες οι οποίες είναι ανεξάρτητες από τις συνθήκες φωτισμού των γήινων αντικειμένων. Δηλαδή ο λόγος φασματικών ζωνών μειώνει σε ένα βαθμό την επίδραση του ανάγλυφου και των σκιάσεων (ατμοσφαιρική διάχυση) στις

προκύπτουσες εικόνες. Επιπλέον, αν επιλεγούν κατάλληλες φασματικές ζώνες τότε ο λόγος, ενισχύει την αντίθεση των επιφανειακών υλικών των οποίων οι φασματικές καμπύλες παρουσιάζουν αντίθετη συμπεριφορά στις συγκεκριμένες φασματικές ζώνες. Ένας πολύ γνωστός λόγος που χρησιμοποιείται στις γεωεπιστήμες είναι ο λόγος βλάστησης των φασματικών ζωνών στο κοντινό υπέρυθρο και το κόκκινο. Ένας απλός δείκτης βλάστησης είναι ο RVI - Ratio Vegetation Index, ο οποίος χρησιμοποιείται για τη διάκριση μεταξύ βλάστησης και γυμνού εδάφους. Ένας άλλος πολύ γνωστός δείκτης βλάστησης είναι ο «κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης», NDVI - Normalized Difference Vegetation Index. Στις εικόνες που προκύπτουν μετά την εφαρμογή του δείκτη NDVI, οι σκοτεινόχρωμοι τόνοι στην εικόνα δείχνουν περιοχές με απουσία βλάστησης ενώ οι ανοιχτόχρωμοι τόνοι το αντίθετο. Επίσης ο δείκτης NDVI χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση κατηγοριών χρήσης - κάλυψης γης και για ανίχνευση διαχρονικών αλλαγών (Καρτέρης, 2004).

### **3.3.3 Μετασχηματισμός κύριων συνιστωσών**

Ο μετασχηματισμός κύριων συνιστωσών είναι τεχνική για την ανάλυση συσχετισμένων πολυδιάστατων δεδομένων. Η εφαρμογή της στην ψηφιακή τηλεπισκόπηση περιγράφεται από πολλούς ερευνητές και τα πολυφασματικά δεδομένα με ν-φασματικές ζώνες μπορούν να θεωρηθούν ως ν-πολυδιάστατα δεδομένα. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η μείωση του όγκου των αρχικών δεδομένων. Για παράδειγμα, από τις 6 φασματικές ζώνες του θεματικού χαρτογράφου μετά την εφαρμογή του μετασχηματισμού, παράγονται μόνο 2-3 εικόνες. Η μέθοδος του μετασχηματισμού των κύριων συνιστωσών είναι μαζί με τον μετασχηματισμό IHS (Intensity Hue Saturation), οι κυριότερες τεχνικές συγχώνευσης πολυφασματικών δεδομένων (Βαϊόπουλος, 2000).

### **3.3.4 Επιλογή φασματικών ζωνών για τη δημιουργία ψευδοχρωματικών εικόνων**

Ανάλογα με τις απαιτήσεις της έρευνας μπορούν να επιτευχθούν οι ακόλουθες χρωματικές/ ψευδοχρωματικές συνθέσεις:

1) Η «αληθινή έγχρωμη εικόνα» που προκύπτει από το συνδυασμό των φασματικών ζωνών ερυθρά, πράσινη και μπλε. Οι αληθινές έγχρωμες εικόνες λόγω της

ατμοσφαιρικής διάχυσης στις μικρού μήκους κύματος φασματικές ζώνες του ορατού φάσματος, δεν παρουσιάζουν καθαρά τους διάφορους χρωματικούς τόνους των γήινων αντικειμένων.

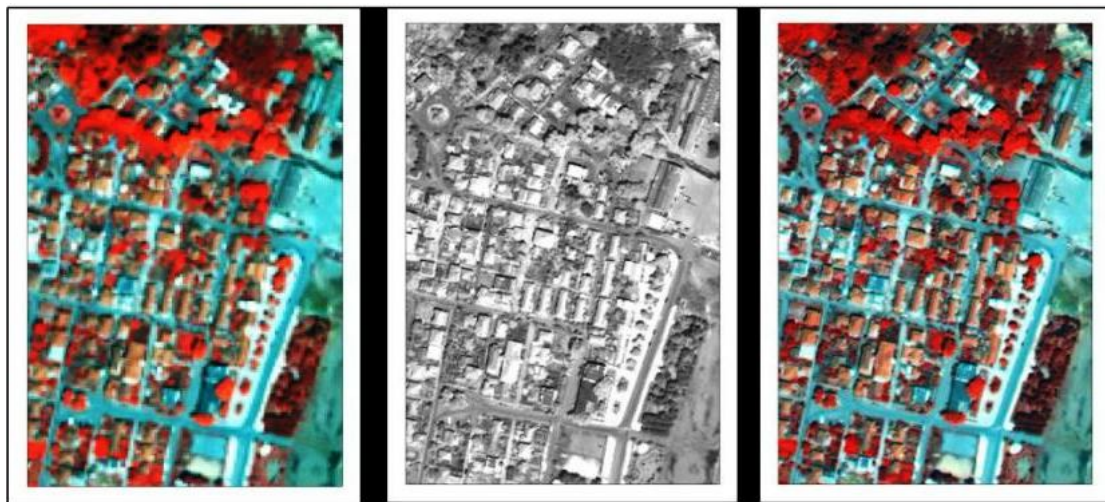
2) Η σύνθεση της «πρότυπης ψευδοχρωματικής εικόνας» (έγχρωμη υπέρυθρη), που προκύπτει με το συνδυασμό της κοντινής υπέρυθρης, της ερυθράς και της πράσινης φασματικής ζώνης.

3) Λοιπές συνθέσεις ψευδοχρωματικών εικόνων. Για τη σύνθεση αυτών των ψευδοχρωματικών συνθέσεων δεν υπάρχει κανόνας ή περιορισμός. Οι συνθέσεις των φασματικών ζωνών, ερυθρή - κοντινή υπέρυθρη - βραχεία υπέρυθρη και βραχεία υπέρυθρη (ETM7) - βραχεία υπέρυθρη (ETM5) - ερυθρή, χρησιμοποιούνται από αρκετούς ερευνητές για την ταξινόμηση οικιστικών και αγροτικών περιοχών.

### **3.3.5 Συγχώνευση ή εγγραφή εικόνων**

Η συγχώνευση εικόνων είναι μια ψηφιακή επεξεργασία που συνδυάζει πληροφορίες που προέρχονται από δύο διαφορετικές εικόνες, με γεωμετρική ακρίβεια. Συνήθως στο συνδυασμό αυτό χρησιμοποιείται μια ψευδοχρωματική πολυφασματική εικόνα που παρουσιάζει την καλύτερη «διαύγαση/ οξύτητα» με μια άλλη παγχρωματική εικόνα καλύτερης χωρικής ανάλυσης. Η βελτιωμένη εικόνα που προκύπτει από την παραπάνω διαδικασία έχει την καλύτερη χωρική ανάλυση της παγχρωματικής εικόνας και τη φασματική διακριτική ικανότητα της πολυφασματικής εικόνας. Αυτή η τεχνική δεν βελτιώνει μόνο οπτικά μια εικόνα, αλλά και την ακρίβεια της κατά την διαδικασία ταξινόμησης. Οι τεχνικές συγχώνευσης χρησιμοποιούνται επίσης για το συνδυασμό εικόνων μιας συγκεκριμένης περιοχής, οι οποίες προήλθαν από διαφορετικού είδους αισθητήρες (π.χ. σαρωτές, κάμερες, ραντάρ) με διαφορετικές χωρικές ή φασματικές αναλύσεις ή σε διαφορετικές χρονικές στιγμές λήψης. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι ο στόχος της συγχώνευσης είναι να προκύψει μια εικόνα που να περιέχει όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες από τις αρχικές εικόνες. Οι πληροφορίες αυτές είναι χρήσιμες, στον εντοπισμό αλλαγών σε διαχρονικά δεδομένα, στην ταξινόμηση με σκοπό τη δημιουργία θεματικών χαρτών, στη δημιουργία μωσαϊκού εικόνων κ.α. (Τσακίρη-Στρατή, 2004).

Κατά την τεχνική της εγγραφής των δύο εικόνων η μια εικόνα λαμβάνεται ως βάση και η άλλη προσαρμόζεται στην πρώτη εικόνα. Αν η βάση είναι εικόνα, τότε η εγγραφή καλείται «σχετική εγγραφή» ενώ αν η βάση είναι μια συγκεκριμένη χαρτογραφική προβολή, καλείται «απόλυτη εγγραφή». Και οι δύο εγγραφές είναι ίδιες. Η απόλυτη εγγραφή χρησιμοποιείται ευρέως στην εφαρμογές των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ). Στην πιο κάτω εικόνα φαίνεται εφαρμογή της ψηφιακής επεξεργασίας συγχώνευσης εικόνων για εικόνες της περιοχής Σρατωνίου Χαλκιδικής. Η πολυφασματική εικόνα (α) χωρικής ανάλυσης 2,5μ. συνδυάζεται με την παγχρωματική εικόνα (β) υψηλής χωρικής ανάλυσης 0,61μ. για να προκύψει η βελτιωμένη εικόνα (γ).



(α)

(β)

(γ)

**Εικόνα 22.** Ψηφιακή επεξεργασία συγχώνευσης εικόνων της περιοχής Σρατωνίου Χαλκιδικής.

### 3.4 Ταξινόμηση

Ο όρος «ταξινόμηση» χρησιμοποιείται στην ανάλυση τηλεπισκοπικών εικόνων και εννοεί την κατηγοριοποίηση των δεδομένων σε κλάσεις. Στα ΓΣΠ τα δεδομένα αποτελούν πληροφοριακές κλάσεις εύκολα οριοθετημένες και εύκολα αναγνωρίσιμες όπως δρόμοι, ποτάμια ή αγροτεμάχια. Στην τηλεπισκόπηση τα όρια των κλάσεων δεν είναι εύκολα αναγνωρίσιμα, οπότε χρειάζεται να αναγνωρισθούν από τα τηλεπισκοπικά τους χαρακτηριστικά. Ο ερευνητής πρέπει να αναγνωρίσει και να οριοθετήσει περιοχές στην εικόνα οι οποίες εκφράζονται με τις δικές τους ξεχωριστές φασματικές ταυτότητες - ανακλαστικότητες. Οι ταξινομήσεις είναι δύο ειδών, η οπτική ταξινόμηση και η ψηφιακή ταξινόμηση.

Η ταξινόμηση αντικειμένων με την οπτική μέθοδο περιορίζεται σε μικρό αριθμό φασματικών ζωνών, μία φασματική ζώνη για τις ασπρόμαυρες και τρεις φασματικές ζώνες για τις έγχρωμες εικόνες (Markman & Hoffman, 2001). Η ψηφιακή ταξινόμηση χρησιμοποιεί με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών όλες τις φασματικές ζώνες που είναι διαθέσιμες. Η ψηφιακή ταξινόμηση στηρίζεται στα φασματικά χαρακτηριστικά των εικονοστοιχείων, δηλαδή στον τόνο και τα χρώματά τους. Τα φωτο-αναγνωριστικά χαρακτηριστικά όπως το σχήμα, η υφή, το μέγεθος, τα οποία είναι εύκολα αναγνωρίσιμα στην οπτική ανάλυση, είναι δύσκολο να συμμετάσχουν στους αλγόριθμους της ψηφιακής ταξινόμησης. Η ψηφιακή ταξινόμηση από μόνη της δεν μπορεί να εξάγει όλες τις πληροφορίες για τις κλάσεις των γήινων αντικειμένων και για το λόγο αυτό οι επιπλέον πληροφορίες που συνήθως απαιτούνται όπως είναι η κλίση, ο προσανατολισμός και το υψόμετρο, λαμβάνονται από τα ψηφιακά μοντέλα ανάγλυφου (DEM) (Nelson, et al., 2009).

Η τηλεπισκοπική ταξινόμηση αντιπροσωπεύει την κάλυψη γης, δηλαδή τα γήινα χαρακτηριστικά τα οποία καταγράφηκαν την ώρα που λήφθηκε η εικόνα από το δορυφόρο ή τον αερομεταφορέα. Η χρήση γης αναφέρεται στο είδος των δραστηριοτήτων για τις οποίες σχεδιάστηκε ένα τμήμα της γήινης επιφάνειας. Οι τεχνικές ταξινόμησης χρησιμοποιούνται ευρέως σε μελέτες εδαφικής κάλυψης (Astaras, et al., 1997).

### 3.5 Μεθοδολογική προσέγγιση

Η  $\theta$  συσχετίζεται με το pixel ( $\alpha$ - το μέγεθος σε μέτρα) με τη σχέση  $\theta = \alpha * 2,83$ , που προσδιορίζει τις ελάχιστες διαστάσεις ενός αντικειμένου που μπορεί δυνητικά να αναγνωριστεί. Η δυνατότητα αναγνώρισης είναι συνάρτηση και άλλων παραγόντων που έχουν σχέση με τη ραδιομετρική διακριτική ικανότητα και τη φασματική δειγματοληψία. Υπενθυμίζουμε ότι:

- **Ανίχνευση:** είναι ο προσδιορισμός της ύπαρξης ενός αντικειμένου ή δραστηριότητας από ελάχιστο αριθμό στοιχείων που έχουν σχέση με το μέγεθος, σχήμα και τη διάταξη – συσχέτιση με το περιβάλλον. Είναι μια στοιχειώδης μορφή αναγνώρισης αφού δίνεται όνομα στο αντικείμενο.
- **Διάκριση:** προσδιορίζει ότι δύο γειτονικά αντικείμενα που έχουν ήδη ανιχνευθεί είναι διαφορετικού τύπου (ανήκουν σε άλλες τάξεις) με βάση ένα ή περισσότερα φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά.
- **Αναγνώριση:** αναφέρεται στη δυνατότητα να προσδιορισθεί η ταυτότητα ενός αντικειμένου ή δραστηριότητας, με αναγνώριση του είδους, της τάξης ή της κατηγορίας στην οποία ανήκει και με βάση μόνο τα φωτοερμηνευτικά του χαρακτηριστικά, την εμφάνιση του δηλαδή στην εικόνα.

Με βάση τα παραδείγματα που είδαμε στην βιβλιογραφική ανασκόπηση η ταυτοποίηση της  $\theta$  θα γίνει για τις τάξεις 4 έως και 9. Δηλαδή θα δημιουργηθούν κλειδιά ή θα προσδιορισθεί η  $\theta$  για αντικείμενα που είναι στις αεροφωτογραφίες UAS που θα χρησιμοποιηθούν ως παραδείγματα για το διάστημα 4 έως 9. Οι τάξεις 4 έως 9 ορίζονται παρακάτω βάσει αεροφωτογραφιών από αεροπλανοφόρους και προφανώς οι τάξεις αυτές πρέπει να αναθεωρηθούν γιατί οι αεροφωτογραφίες UAS έχουν πολύ μεγαλύτερη χωρική διακριτική ικανότητα.

- **Τάξη 4:** Αναγνώριση αγροτικών, σιλό ή άλλων μεγάλων γεωργικών βιομηχανικών κτιρίων. Αναγνώριση διπλών σιδηροδρομικών γραμμών. Ανίχνευση γηπέδων μπάσκετ και τένις σε αστικές περιοχές. Ανίχνευση του ίχνους οχημάτων σε αγροτικές περιοχές.

- **Τάξη 5:** Ανίχνευση α) μεγάλων ζώων ( ελέφαντας, καμηλοπάρδαλη) σε περιοχές με πολύ χαμηλή βλάστηση, β) αυτοκινήτων. Αναγνώριση α) ομπρέλας προστασίας από τον ήλιο ή σκηνής για πάνω από 2 άτομα β) μεμονωμένων βαγονιών σιδηροδρομικών συρμών καθώς και του τύπου τους (ντίζελ, ατμομηχανές), γ) δένδρων με κωνική διάταξη όπως έλατα. Διάκριση κωνοφόρων από φυλλοβόλα την περίοδο πτώσης των φύλλων.
- **Τάξη 6:** Ανίχνευση πατημασιών σε γυμνές από βλάστηση περιοχές. Ανίχνευση δενδρυλλίων όπως η ινδική κάνναβη (απαγορευμένες καλλιέργειες) βάσει της υφής. Διάκριση αγρών με καλαμπόκι από αγρούς με σιτάρι ή βρώμη. Αναγνώριση του τύπου των αυτοκινήτων (επιβατικό από αγροτικό ή ημιφορτηγό). Αναγνώριση κολώνων τηλεπικοινωνιών ή ηλεκτρικού δικτύου σε οικιστικές περιοχές.
- **Τάξη 7:** Αναγνώριση ώριμων φυτών βαμβακιού σε αγρό που είναι γνωστό ότι είναι σπαρμένος με βαμβάκι. Ανίχνευση των σκαλοπατιών μιας σκάλας. Ανίχνευση βράχων σε ακάλυπτες περιοχές ενός δάσους.
- **Τάξη 8:** Αναγνώριση κυκλοφοριακής σήμανσης. Ανίχνευση πινακίδων αυτοκινήτου.
- **Τάξη 9:** Αναγνώριση των στύλων ενός φράκτη και των γραμμώσεων των σιδηροτροχιών.

### 3.5.1 Παράδειγμα 1: Carrizo Plains Northsite

Στο παράδειγμα αυτό θα μελετηθεί η  $\Theta$  για τη λήψη Carrizo Plains Northsite στην πολιτεία της Καλιφόρνια των ΗΠΑ, με ID CACPEVSYCRRZPLNSRICOHGR0300007 (είναι ο κωδικός με τον οποίο προσδιορίζεται μοναδικά η εικόνα από την USGS). Το φωτομωσαϊκό λήφθηκε στις 15/04/2015 από μέσο υψόμετρο 125μ. και καλύπτει έκταση 1.83228χμ<sup>2</sup>. Η πάνω αριστερή γωνία της εικόνας προσδιορίζεται από φ 35.178594 και λ -120.013597. Το φωτομωσαϊκό – ορθοφωτοχάρτης (UTM 11N) (Εικόνα 23) προήλθε από την σύνθεση 4290 εικόνων με λήψη stereo και επίσης δημιουργήθηκε ΨΥΜΕ (Εικόνα 24). Η χωρική διακριτική ικανότητα του φωτομωσαϊκού είναι 3,2εκ. και του ΨΥΜΕ 12,8εκ. (USGS, 2018).

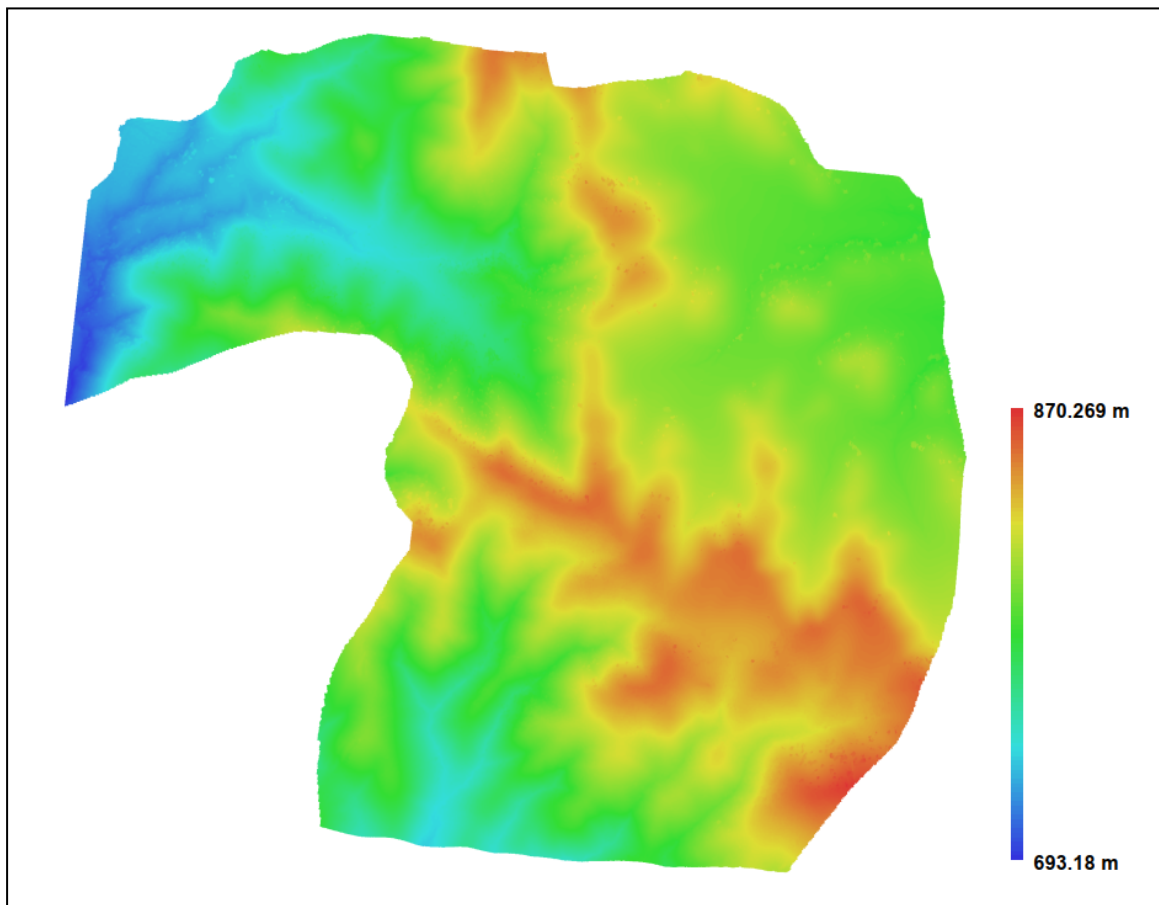


**Εικόνα 23.** Φωτομωσαϊκό της περιοχής Carrizo Plains Northsite.

Με βάση το Φωτομωσαϊκό και το ΨΥΜΕ υπερυψηλής ανάλυσης της περιοχής, παρατηρούνται τρεις λεκάνες απορροής ανατολικά, δυτικά και νότια, ενώ στην περιοχή

αναπτύσσονται ποώδη βλάστηση, δάση και μεμονωμένα δέντρα. Επίσης, διακρίνεται ένα οδικό δίκτυο με κύρια διεύθυνση ανατολή – δύση.

Στη συνέχεια, θα γίνουν διαδοχικές μεγενθύνσεις στο φωτομωσαϊκό προκειμένου να προσδιοριστεί με φωτοερμηνία η  $\theta$  της συγκεκριμένης εικόνας. Με βάση τη χωρική διακριτική ικανότητα οι ελάχιστες διαστάσεις του αντικειμένου που δυνητικά μπορεί να αναγνωριστεί είναι 3,2εκ. \* 2,8εκ. δηλαδή πρέπει να έχει εμβαδόν τουλάχιστον 8,96εκ. \* 8,96εκ.



**Εικόνα 24.** ΨΥΜΕ της περιοχής Carrizo Plains Northsite.

Στην Εικόνα 25, αναγνωρίστηκε μια μικροδεξαμενή νερού της δασική υπηρεσίας των ΗΠΑ, όπου διακρίνεται η περίφραξη και οι σκιάσεις τόσο της δεξαμενής όσο και της περίφραξης. Επιπλέον, στην οροφή φαίνεται η αντλία για την παροχή νερού εξωτερικά της δεξαμενής. Διακρίνονται και οι απολήξεις στην οροφή των τεσσάρων στύλων που τη σταθεροποιούν. Αναγνωρίζονται ευκρινώς κορρήματα και κροκάλες κυρίως

ανατολικά και νότια της δεξαμενής ενώ ξεχωρίζει το γυμνό έδαφος από τις περιοχές με χαμηλή ποώδη βλάστηση.



**Εικόνα 25.** Υδατοδεξαμενή.

Στην Εικόνα 26 διακρίνεται μικρή φάρμα τόσο με εξωτερική όσο και εσωτερική περίφραξη σε ένα μικρότερο χώρο που αντιστοιχεί σε υπαίθρια εκτροφή πουλερικών (Εικόνα 27). Φαίνεται ευκρινώς μικρότερη υδατοδεξαμενή (λευκού φωτογραφικού τόνου) σε σχέση με την Εικόνα 25 η οποία δρά σαν συλλέκτης νερού από παρακείμενο ρυάκι, το οποίο καταλήγει στη φάρμα ερχόμενο από ύψωμα στα δυτικά. Στην πορεία μεσολαβεί σκελετός δέντρου στον οποίο αναγνωρίζονται τα επιμέρους κλαδιά χωρίς φύλλωμα, ο κύριος κορμός και οι σκιάσεις, ενώ κάτω από αυτό προς τα νότια υπάρχει ένας θάμνος (Εικόνα 28).



**Εικόνα 26.** Αγρόκτημα, υδατοδεξαμενή, υπαίθριος αγωγός τροφοδοσίας νερού και δέντρο.



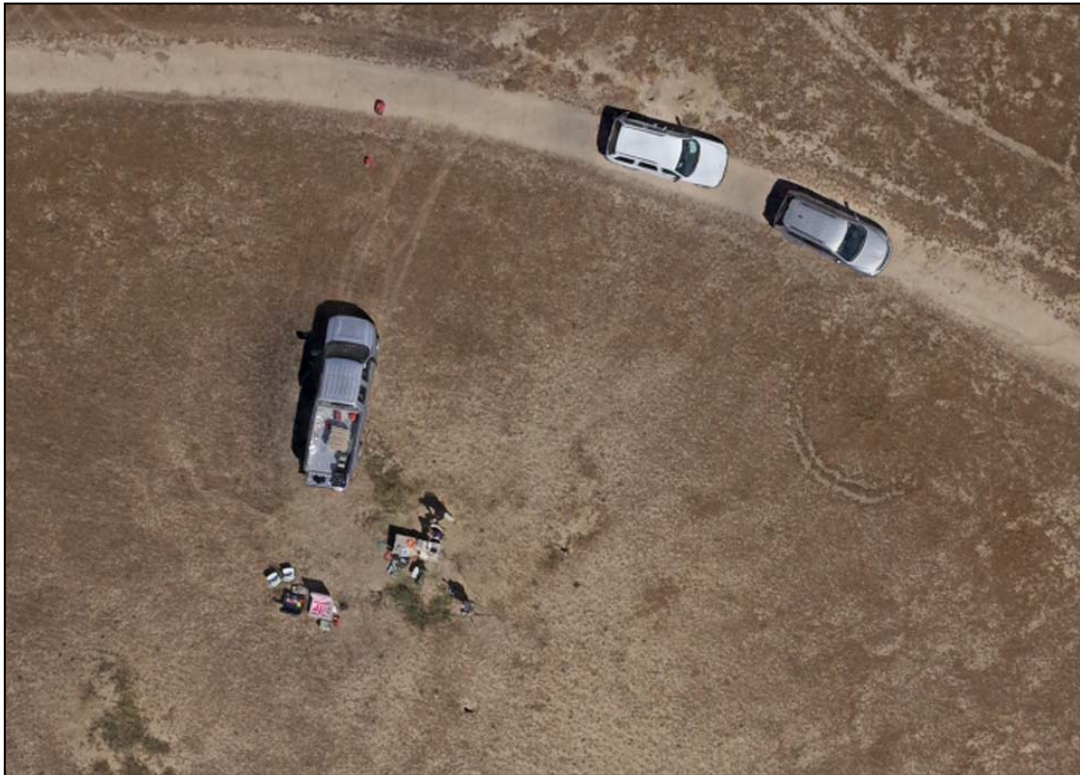
**Εικόνα 27.** Μικρή φάρμα (ανατολικά στην Εικόνα 25).



**Εικόνα 28.** Σκελετός δέντρου και θάμνος (δυτικά στην Εικόνα 25).

Στην Εικόνα 29, φαίνεται ο σταθμός βάσης από τον οποίο έγινε ο προγραμματισμός, ο έλεγχος και η υλοποίηση της πτήσης του UAS που κατέγραψε το συγκεκριμένο φωτομωσαϊκό και το υπερυψηλής ανάλυσης ΨΥΜΕ. Φαίνονται τα οχήματα του προσωπικού, τα συστήματα τηλεμετρίας και GPS, επίσης τα ίχνη της πορείας των οχημάτων αλλά και οι δύο από τους χειριστές του UAS.

Στην Εικόνα 30, φαίνεται σκαπτικό μηχάνημα διαμόρφωσης δρόμων (Γκρέιντερ), που εκτελεί εργασίες διάνοιξης και συντήρησης του δασικού δρόμου στην περιοχή που βρίσκεται το αγρόκτημα. Είναι τόσο μεγάλη η ανάλυση της εικόνας που αναγνωρίζονται με πολύ μεγάλη ευκρίνεια ακόμα και τα πιο μικρά εξαρτήματα του μηχανήματος.



**Εικόνα 29.** Σταθμός βάσης για το σχεδιασμό και υλοποίηση της πτήσης του UAS.



**Εικόνα 30.** Γκρέιντερ.



**Εικόνα 31.** Πιθανά αρχαιολογικά οικιστικά κατάλοιπα.

Στην Εικόνα 31, απεικονίζεται μια αλληλουχία από λαξευμένους βράχους κυκλικού ή ημικυκλικού σχήματος, που τοπογραφικά βρίσκονται σε μικρό ύψωμα και αρκετές από τις οποίες έχουν λαυξεθεί στο κέντρο, μάλλον για τη συλλογή βρόχινου νερού ή για χρήση ως εστίας για καύση ξύλων, θέρμανση και παρασκευή φαγητού. Αυτά τα στοιχεία πιθανό να παραπέμπουν σε κατάλοιπα αρχαίου οικισμού, πράγμα το οποίο μπορεί να μελετηθεί ενδελεχώς από εξειδικευμένους επιστήμονες. Η επεξεργασία υψηλής ανάλυσης φωτογραμμετρικών προϊόντων μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο για τον εντοπισμό και τεκμηρίωση αρχαιολογικών καταλοίπων χωρίς απαραίτητα τη διεξαγωγή ανασκαφικών εργασιών (Pérez, et al., 2018).

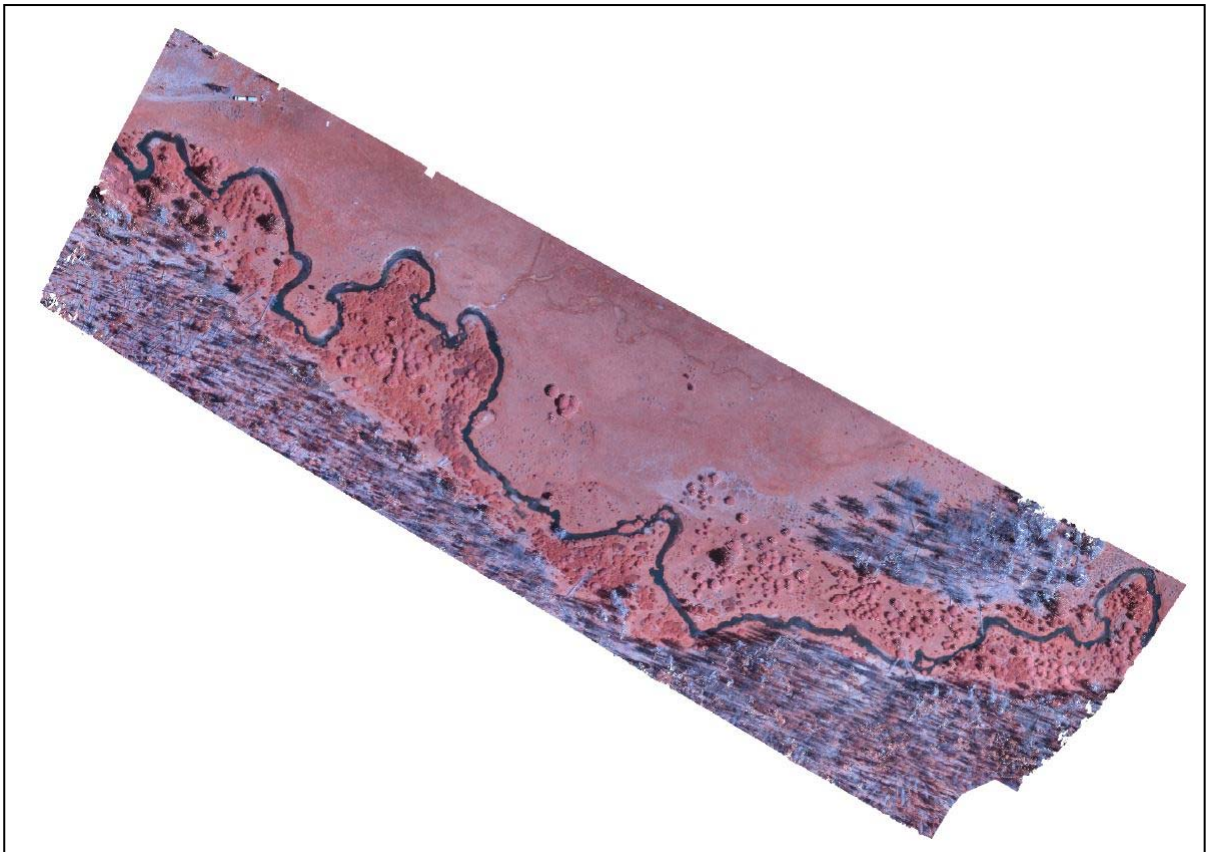


**Εικόνα 32.** Οριζόντια στρώση σχιστολιθικών ή ιζηματογενών πετρωμάτων ανατολικά του οδικού δικτύου.

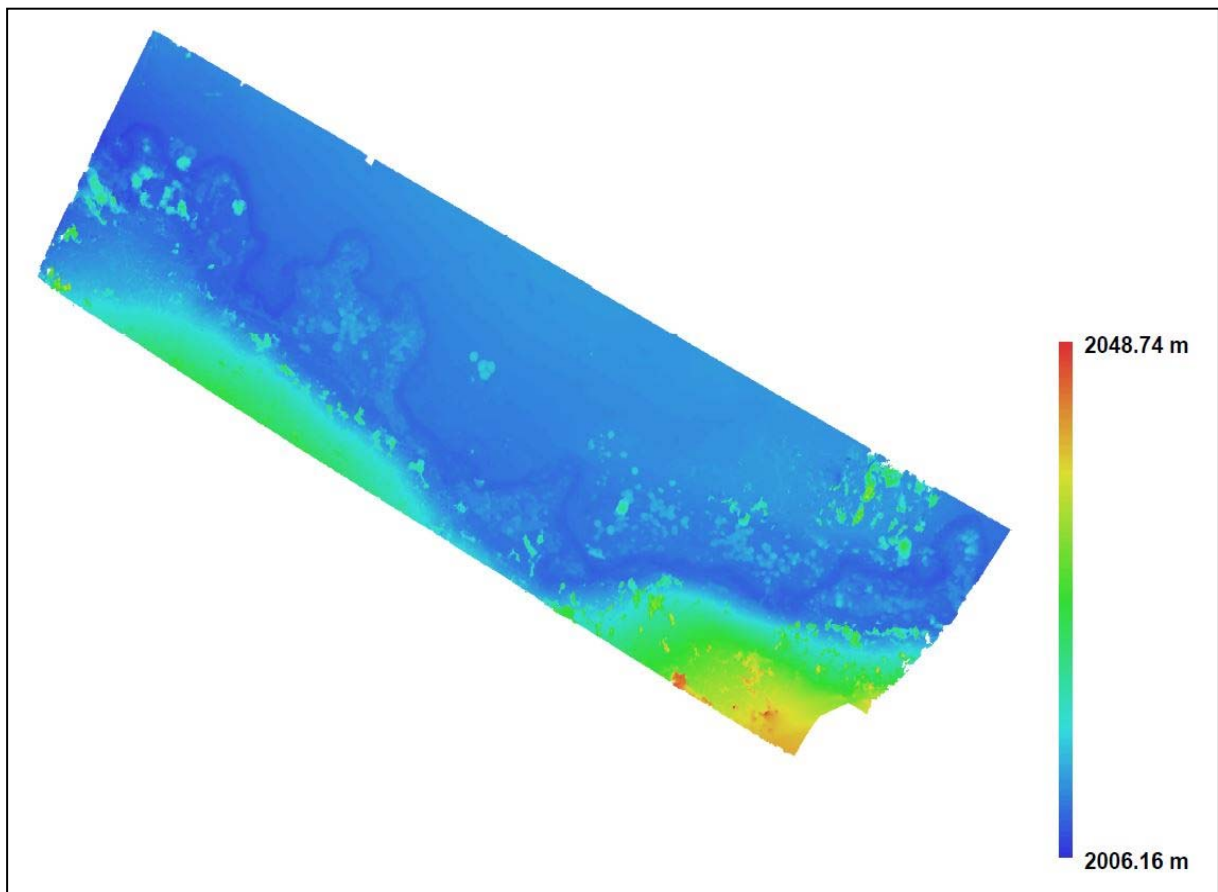
Στην Εικόνα 31, ανατολικά του οδικού δικτύου υπάρχουν δύο συστήματα που είναι σχεδόν παράλληλα από γραμμώσεις που έχουν διεύθυνση B-N. Το βορειότερο σύστημα γραμμώσεων οριοθετείται και από βλάστηση που αναπτύσσεται κατά μήκος των γραμμώσεων. Ενώ στο νότιο σύστημα γραμμώσεων παρατηρείται πολύ μικρότερου ύψους βλάστηση κατά μήκος των γραμμώσεων επειδή ίσως λόγω τοπογραφικής θέσης η απορροή του νερού προς το σύστημα αυτό είναι μικρότερη. Το σύστημα αυτό προσομοιάζει με σχιστολιθικά ή ιζηματογενή πετρώματα τα οποία έχουν στραφεί κατά ενενήντα μοίρες και έτσι φαίνονται οι εναλλαγές στη στρώση από διαφοροποίηση της βλάστησης που προτιμά τα σημεία ασυνέχειας (μεγαλύτερης υγρασίας) για να αναπτυχθεί. Δυτικά του οδικού δικτύου και βόρεια εντός της δασικής έκτασης αναπτύσσεται ένα παρόμοιο σύστημα. Οι διαφορές στην κλίση, οι μικρές διαφορές στη διεύθυνση των γραμμώσεων, υποδηλώνουν τεκτονική παραμόρφωση (πτύχωση)

### 3.5.2 Παράδειγμα 2: Klamath Basin Sycan River

Στο παράδειγμα αυτό θα μελετηθεί η  $\theta$  για τη λήψη Klamath Basin Sycan River στην πολιτεία του Όρεγκον των ΗΠΑ, με ID ORCAKLBKLMTHSYCCNNPWRS0300001 (είναι ο κωδικός με τον οποίο προσδιορίζεται μοναδικά η εικόνα από την USGS). Το φωτομωσαϊκό λήφθηκε στις 24/07/2014 από μέσο υψόμετρο 93μ. και καλύπτει έκταση 0.106429χμ<sup>2</sup>. Η πάνω αριστερή γωνία της εικόνας προσδιορίζεται από φ 42.673453 και λ -120.814079. Το φωτομωσαϊκό - ορθοφωτοχάρτης (UTM 11N) (Εικόνα 33) προήλθε από τη σύνθεση 145 εικόνων με λήψη stereo και επίσης δημιουργήθηκε ΨΥΜΕ (Εικόνα 34). Η χωρική διακριτική ικανότητα του φωτομωσαϊκού είναι 2,5εκ. και του ΨΥΜΕ 10,2εκ. (USGS, 2018).



**Εικόνα 33.** Φωτομωσαϊκό της περιοχής Klamath Basin Sycan River.



**Εικόνα 34.** ΨΥΜΕ της περιοχής Klamath Basin Sycan River.

Με βάση το Φωτομωσαϊκό και το ΨΥΜΕ υπερυψηλής ανάλυσης της περιοχής, παρατηρούνται ένας ελικοειδής ποταμός (μαίανδρος), οι ρηχοί ύφαλοι και οι αποθέσεις πρανών (point bar) που δημιουργεί και η κοιλάδα την οποία διαρρέει. Στην περιοχή αναπτύσσονται ποώδη βλάστηση, δάση και μεμονωμένα δέντρα κυρίως στα νότια του ποταμού, ενώ στα βόρεια επικρατούν συνθήκες απογύμνωσης του εδάφους.

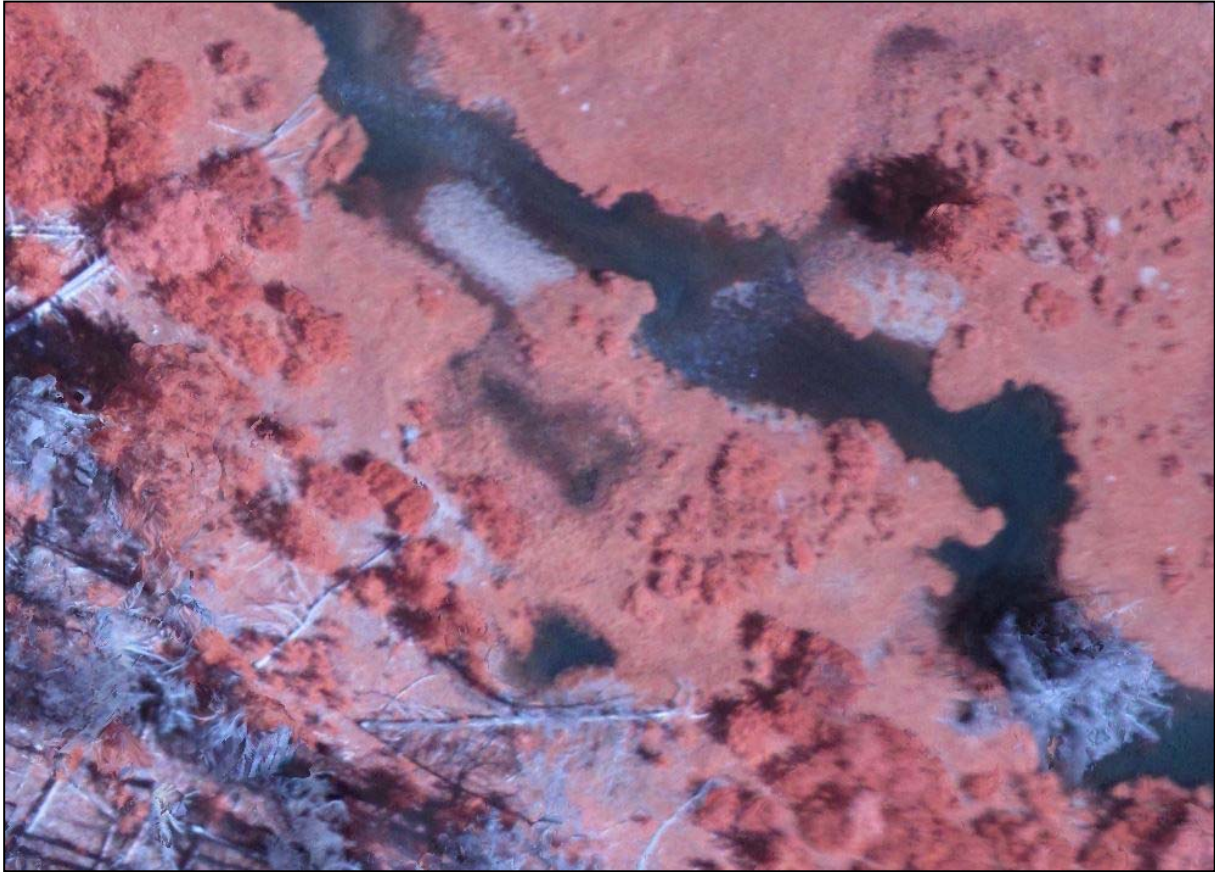
Στη συνέχεια θα γίνουν διαδοχικές μεγενθύνσεις στο φωτομωσαϊκό προκειμένου να προσδιοριστεί με φωτοερμηνεία η  $\theta$  της συγκεκριμένης εικόνας. Με βάση τη χωρική διακριτική ικανότητα οι ελάχιστες διαστάσεις του αντικειμένου που δυνητικά μπορεί να αναγνωριστεί είναι 2,5εκ. \* 2,8εκ. δηλαδή πρέπει να έχει εμβαδόν τουλάχιστον 7 εκ \* 7 εκ.



**Εικόνα 35.** Περιοχές απόθεσης και διάβρωσης εντός μαιανδρικού ποταμού.

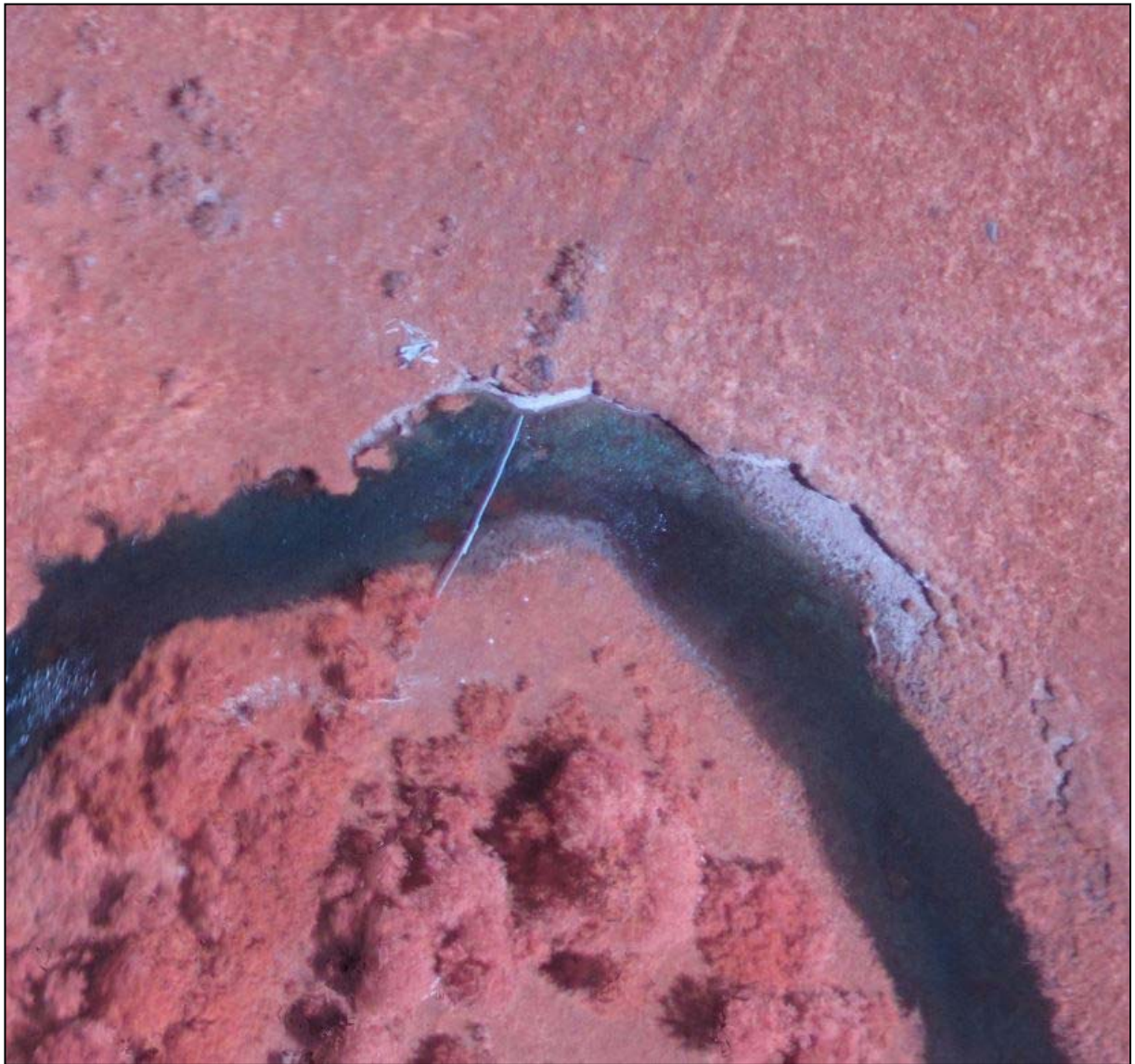
Στην Εικόνα 35, παρατηρούνται άσπρες ζώνες στην παρόχθια ζώνη της μαιανδρικής κοίτης και νησιά κατά μήκος (natural levees). Αυτές οι ζώνες που φαίνονται πολύ πιο καθαρά στο νότιο παρόχθιο τμήμα μεταξύ των δύο νησιών αλλά και ανατολικά του πρώτου νησιού, προσδιορίζουν ζώνες απόθεσης φερτών υλικών. Επειδή η ταχύτητα του μαιανδρικού ποταμού σε δεδομένες χρονικές στιγμές είναι μάλλον μεγάλη, για αυτό σε αυτές τις ζώνες όπου μειώνεται η ταχύτητα του νερού απότομα έχουμε την απόθεση κροκαλλών, εξ ου και ο λευκός φωτογραφικός τόνος.

Στην εικόνα επίσης φαίνονται πολύ ευκρινώς τα δέντρα, οι θάμνοι και το φύλλωμα τους. Επίσης από τη διαφοροποίηση του φωτογραφικού τόνου στην παρόχθια ζώνη έχουμε μια υποκειμενική εκτίμηση του βάθους των υδάτων και μπορούμε να διακρίνουμε τις αβαθείς από τις βαθύτερες ζώνες της κοίτης, με πιο χαρακτηριστική περίπτωση την ανατολική παρόχθια ζώνη.



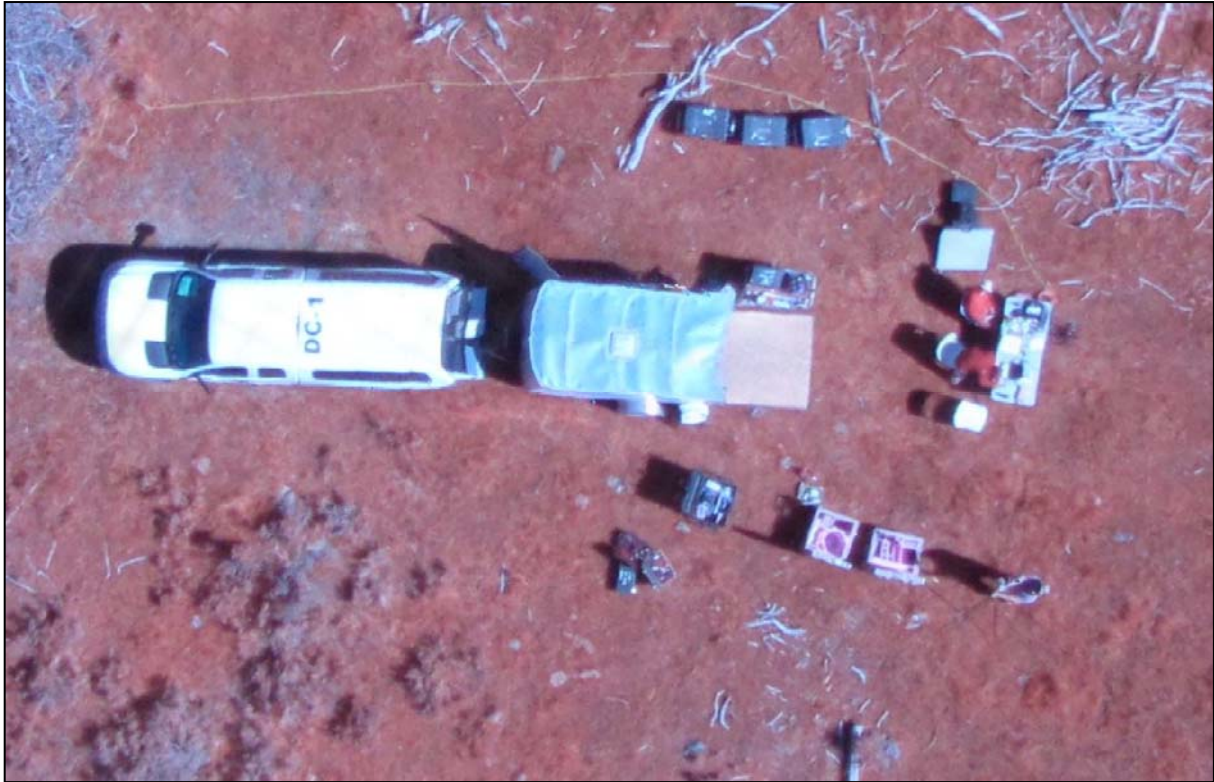
**Εικόνα 36.** Παλαιά μαιανδρική κούτη, ζώνη παραγωγής, επεξεργασίας και μεταφοράς υλοτομικών προϊόντων.

Στην Εικόνα 36, παρατηρείται στο νότιοδυτικό τμήμα προϊόντα υλοτομοίας και υπαίθρια εγκατάσταση πρώτης επεξεργασίας των δέντρων (καθαρισμός των κορμών των δέντρων και κατάτμησή τους σε μικρότερα τμήματα για μεταφορά τους μέσω της υδάτινης οδού). Επίσης, παρατηρούνται χαρακτηριστικές ζώνες με μικρό βάθος κατά μήκος της μαιανδρικής κούτης, ζώνες μικρής ταχύτητας που γίνεται απόθεση κροκαλών και στο νότιο τμήμα υπάρχει ένα μεγάλο δέντρο μέσα στην μαιανδρική κούτη που δίνει την εντύπωση ότι φράζει τη ροή του ποταμού με τη σκιά του. Στο κέντρο της εικόνας φαίνονται ζώνες με πολύ μεγαλύτερη υγρασία (με μορφή μικρών λιμνών) που σαφέστατα καταδεικνύουν την παλαιοκούτη του ελικοειδούς ποταμού.



**Εικόνα 37.** Ξύλινη πεζογέφυρα.

Στην Εικόνα 37, φαίνεται μια ξύλινη πεζογέφυρα πολύ μικρού πλάτους και η χαρακτηριστική αγκύρωσή της με βάθρο στη βόρεια πλευρά της κοίτης. Εκεί καταλήγει και αυτοσχέδιος δρόμος – μονοπάτι που πιθανόν να έχει διανοιχθεί από υλοτόμους, για εύκολη και ασφαλή διέλευση του ποταμού.

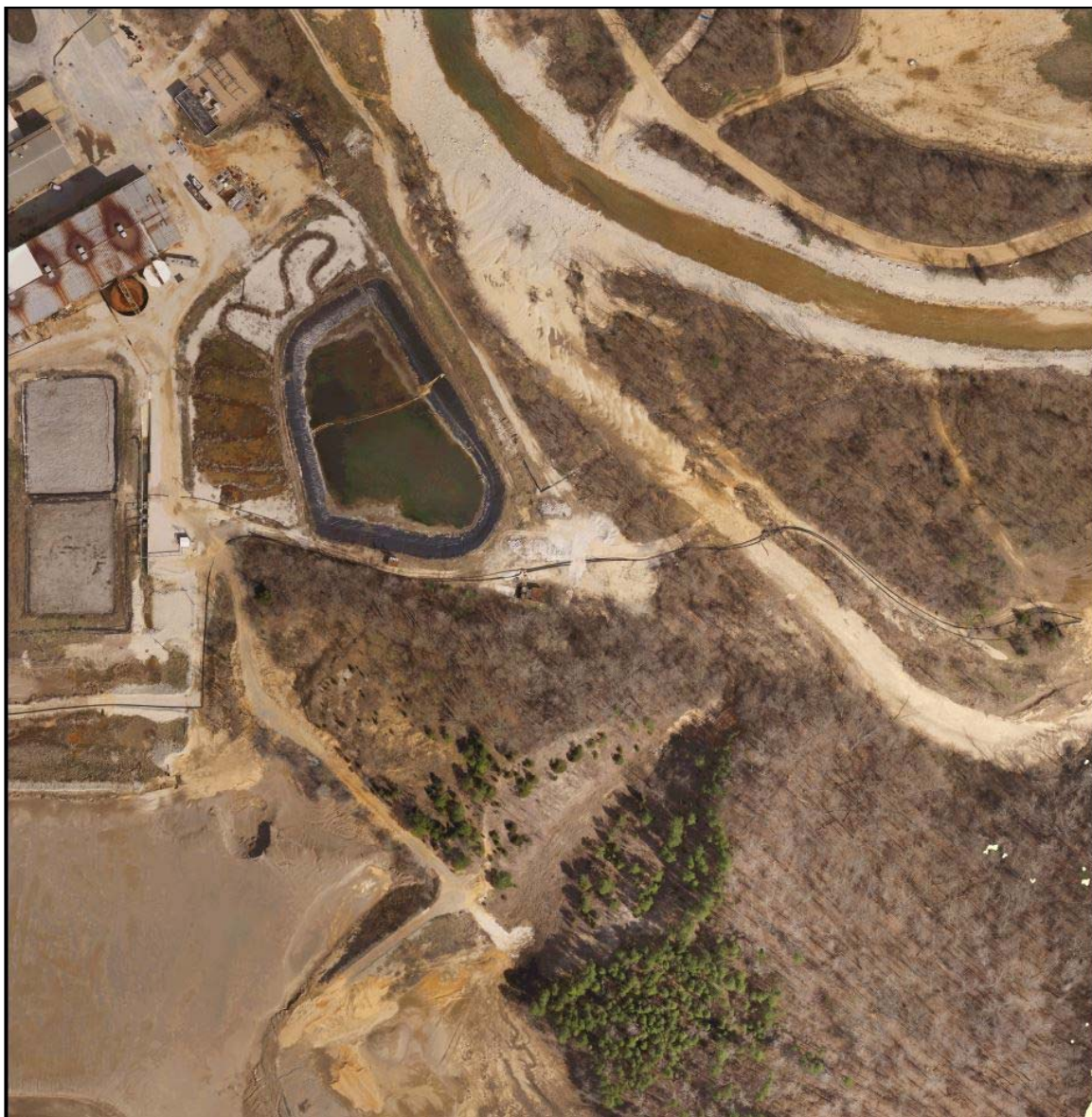


**Εικόνα 38.** Σταθμός βάσης για τον σχεδιασμό και υλοποίηση της πτήσης του UAS.

Στην Εικόνα 38, φαίνεται ο σταθμός βάσης από τον οποίο έγινε ο προγραμματισμός, ο έλεγχος και η υλοποίηση της πτήσης του UAS που κατέγραψε το συγκεκριμένο φωτομωσαϊκό και το υπερυψηλής ανάλυσης ΨΥΜΕ. Φαίνονται το όχημα του προσωπικού με το ρυμουλκούμενο καρότσι μεταφοράς εξοπλισμού, τα συστήματα τηλεμετρίας και GPS, οι δύο από τους χειριστές του UAS που εργάζονται στο τραπέζι και ένας τρίτος, όρθιος κάτω δεξιά στην εικόνα. Η υπερυψηλή ανάλυση επιτρέπει να διακρίνονται με σαφήνεια τα χαρακτηριστικά του καροτσιού μεταφοράς, η πίσω αλλά και πλάγια πόρτα του που είναι ανοικτές καθώς και να διαβάζονται ευκρινώς τα γράμματα και ο αριθμός στην οροφή του αυτοκινήτου. Επίσης, στο πάνω μέρος της εικόνας φαίνεται να είναι απλωμένη μια μετροταινία κίτρινου χρώματος.

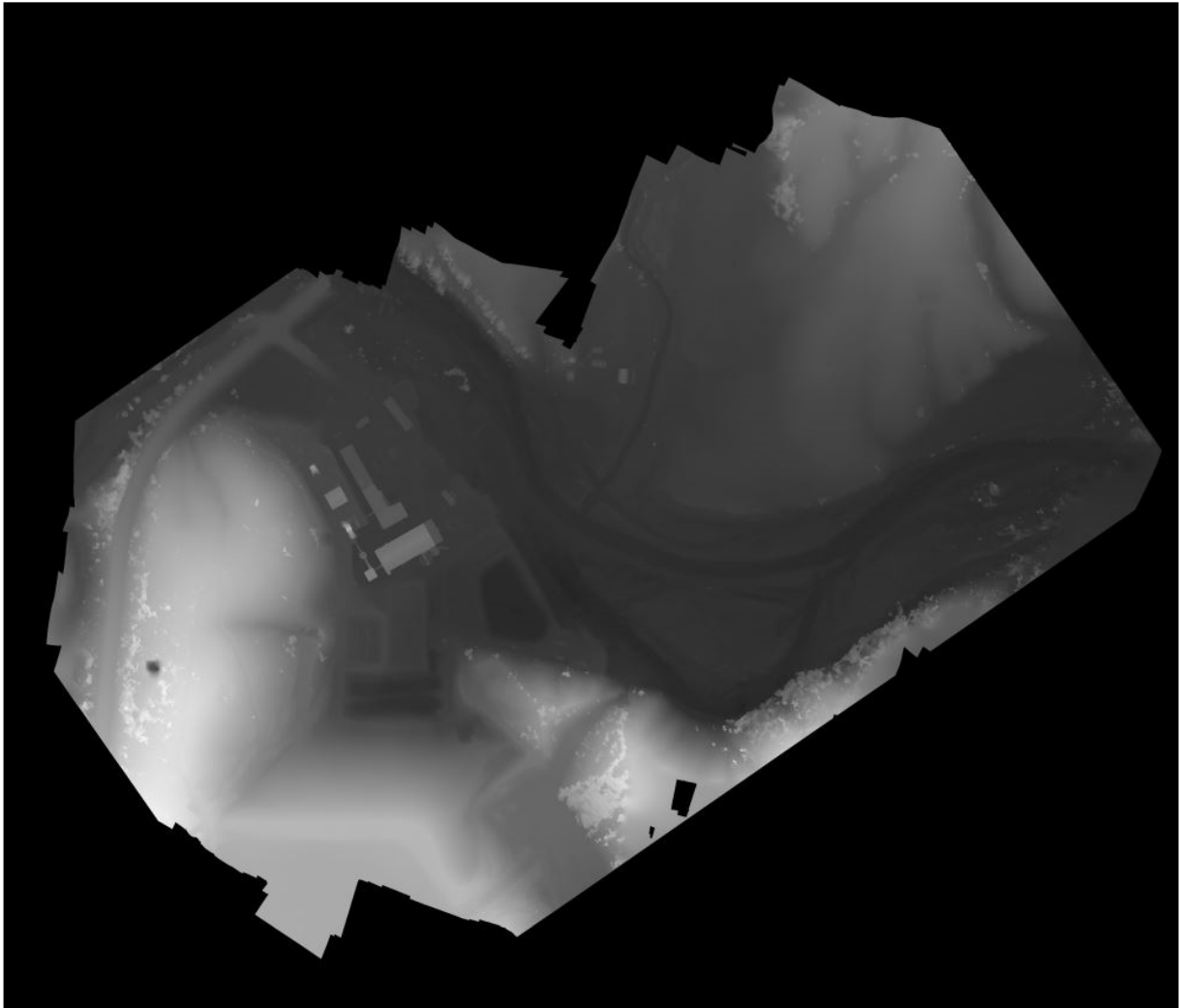
### 3.5.3 Παράδειγμα 3: West Fork Mine

Στο παράδειγμα αυτό θα μελετηθεί η  $\theta$  για τη λήψη West Fork Mine στην πολιτεία του Μιζούρι των ΗΠΑ, με ID MOWTFKMNWSTFRKMNDJFC3000300005 (είναι ο κωδικός με τον οποίο προσδιορίζεται μοναδικά η εικόνα από την USGS). Το φωτομωσαϊκό λήφθηκε στις 01/04/2016 από μέσο υψόμετρο 61μ. και καλύπτει έκταση 1,912χμ<sup>2</sup>. Η πάνω αριστερή γωνία της εικόνας προσδιορίζεται από φ 37.491754 και λ -91.109924. Το φωτομωσαϊκό - ορθοφωτοχάρτης (UTM 15N) (Εικόνα 39) προήλθε από τη σύνθεση εικόνων με λήψη stereo.



Εικόνα 39. Φωτομωσαϊκό της περιοχής West Fork Mine.

Για την υπό μελέτη περιοχή, δημιουργήθηκε επίσης ΨΥΜΕ (Εικόνα 40 - ID MOWTFKMNWSTFRKMNRICOHGR0200001). Για την απεικόνιση του υψομέτρου στο συγκεκριμένο ΨΥΜΕ έγινε εφαρμογή της κλίμακας του γκριζου χρώματος για σκίαση του ανάγλυφου. Η χωρική διακριτική ικανότητα του φωτομωσαϊκού είναι 8,1εκ. και του ΨΥΜΕ 9,8εκ. (USGS, 2018).



**Εικόνα 40.** ΨΥΜΕ της περιοχής West Fork Mine.

Με βάση το φωτομωσαϊκό και το ΨΥΜΕ υπερυψηλής ανάλυσης της περιοχής, παρατηρούνται οι εγκαταστάσεις του μεταλλείου που βρίσκονται στην περιοχή, μια τεχνητή βιομηχανική λίμνη, ένας ελικοειδής ποταμός (μαϊάνδρος) που χρησιμεύει για την πιθανή μεταφορά βιομηχανικών αποβλήτων, η παλαιοκοίτη του και οι αποθέσεις πρυνών (point bar). Στην περιοχή αναπτύσσονται ποώδη βλάστηση, ένα δασύλιο και

μεμονωμένα δέντρα κυρίως στα νότια του ποταμού, ενώ στα βόρεια επικρατούν συνθήκες μερικής απογύμνωσης του εδάφους.

Στη συνέχεια, θα γίνουν διαδοχικές μεγεθύνσεις στο φωτομωσαϊκό προκειμένου να προσδιοριστεί με φωτοερμηνεία η  $\theta$  της συγκεκριμένης εικόνας. Με βάση τη χωρική διακριτική ικανότητα οι ελάχιστες διαστάσεις του αντικειμένου που δυνητικά μπορεί να αναγνωριστεί είναι  $8,1\text{εκ.} * 2,8\text{εκ.}$ , δηλαδή πρέπει να έχει εμβαδόν τουλάχιστον  $22,68\text{εκ.} * 22,68\text{εκ.}$



**Εικόνα 41.** Η τεχνητή λίμνη έκπλυσης του μεταλλείου.

Στην Εικόνα 41, φαίνεται η τεχνητή λίμνη έκπλυσης (ή δεξαμενή καθίζησης) του νερού που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων της μονάδας. Διακρίνεται η χαρακτηριστική μαύρη μεμβράνη στεγανοποίησης που καλύπτει τον πυθμένα της λίμνης και αποτρέπει τα προϊόντα καθίζησης να εισέρχονται στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα της περιοχής. Επίσης, λόγω του εμπλουτισμού των υδάτων της λίμνης με απορροές θρεπτικών στοιχείων (πχ. νιτρικά και φωσφορικά

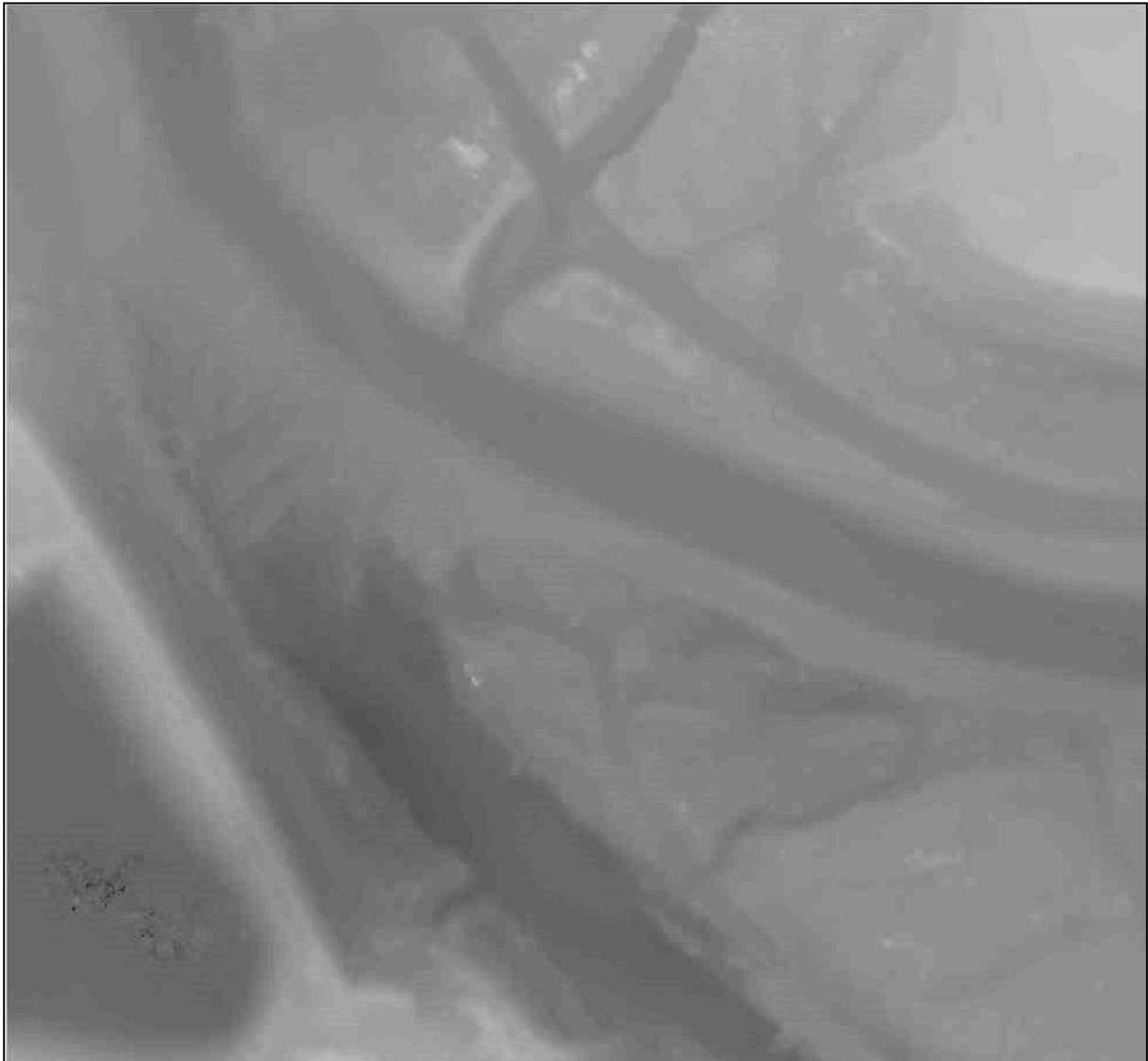
ιόντα), τα βακτήρια και οι άλγες αυξάνονται σε τόσο βαθμό, ώστε να σχηματίζουν επικάλυμμα (πράσινο χρώμα) στην επιφάνεια της. Το φαινόμενο αυτό του ευτροφισμού είναι ευδιάκριτο κυρίως στο νότιο τμήμα της λίμνης. Στα δυτικά της λίμνης φαίνεται ένα τεχνητό κανάλι μαιανδρικής μορφής στο οποίο πιθανότατα υπερχειλίζει το νερό της τεχνητής λίμνης όταν η στάθμη του ανέλθει. Χαρακτηριστικά είναι τα σκούρα καφέ και κόκκινα χρώματα των ιζημάτων που αποτίθενται στο κανάλι αλλά και η ανάπτυξη ποώδους βλάστησης κατά μήκος της κοίτης του, λόγω της αυξημένης παρουσίας θρεπτικών στοιχείων.



**Εικόνα 42.** Τμήμα του ποταμού και της παλαιοκοίτης.

Στην Εικόνα 42, φαίνεται ένα τμήμα του ποταμού που διέρχεται ανατολικά του μεταλλείου καθώς και ένα κομμάτι της παλαιοκοίτης του, με χαρακτηριστικά λευκά, υποκίτρινα ιζήματα. Προφανώς, ο ποταμός χρησιμεύει για τη μεταφορά επεξεργασμένων βιομηχανικών αποβλήτων, εξού και τα κίτρινα πράσινα χρώματα.

Επίσης, το χωμάτινο οδικό δίκτυο της περιοχής καθώς και ένα παρακλάδι του ποταμού στα βόρεια, στο οποίο πιθανότατα υπάρχει νερό μόνο εποχιακά καθότι, τη στιγμή λήψης των δεδομένων από την πτήση του UAS, είναι ξηρό. Στο ανατολικό τμήμα της εικόνας, βόρεια παρά την κοίτη του ποταμού, διακρίνονται πέντε κουτιά λευκού χρώματος που ακολουθώντας τη διαδικασία της συσχέτισης μπορούμε να υποθέσουμε με σχετική ασφάλεια ότι αποτελούν κυψέλες εκτροφής μελισσών.



**Εικόνα 43.** Τμήμα του ποταμού και της παλαιοκοίτης όπως φαίνονται στο ΨΥΜΕ.

Η Εικόνα 43 αποτελεί μεγέθυνση μέρους του ΨΥΜΕ υπερυψηλής ανάλυσης της περιοχής, στην οποία φαίνονται τα κύρια γεωμορφολογικά και τεχνητά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν στην περιγραφή της Εικόνας 41. Το σημαντικό στοιχείο που παρατηρείται είναι ουσιαστικά η επιβεβαίωση της παρουσίας

παλαιοκοίτης του ποταμού, η ροή του οποίου είτε μεταβλήθηκε μέσω φυσικών διεργασιών, είτε εκτράπηκε μέσω ανθρωπογενούς παρέμβασης πιθανότατα για την εξυπηρέτηση αναγκών του παρακείμενου μεταλλείου.



**Εικόνα 44.** Υποσταθμός ηλεκτρισμού.

Στην Εικόνα 44, φαίνονται οι εγκαταστάσεις του υποσταθμού ηλεκτρισμού που τροφοδοτεί με ενέργεια τη μεταλλευτική μονάδα. Διακρίνονται τα καλώδια μεταφοράς που φτάνουν στον υποσταθμό από ένα κεντρικό δίκτυο παροχής εκτός του μεταλλείου, οι μεταλλικοί πυλώνες που τα φέρουν και δύο μετασχηματιστές ηλεκτρικού ρεύματος (άσπρου χρώματος) στους οποίους καταλήγουν. Επίσης, παρατηρείται ευκρινώς, μια σχετικά μεγάλη καθίζηση στο οδόστρωμα και στο έρεισμα του δρόμου, βορειοδυτικά του υποσταθμού. Επιπλέον, είναι δυνατόν να θεωρηθεί μέσω συσχετισμού ότι ο κόκκινος κλωβός δίπλα στο σημείο καθίζησης αποτελεί ένα πυροσβεστικό σημείο.

# Κεφάλαιο 4

## Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Στα τρία παραδείγματα εικόνων από την USGS που εξετάστηκαν κατά την μεθοδολογική προσέγγιση (Ενότητα 3.5), εντοπίστηκαν και αναγνωρίστηκαν ανθρωπογενή και φυσικά αντικείμενα, με μια σειρά συνδυασμών φωτοερμηνευτικών χαρακτηριστικών. Αυτά τα χαρακτηριστικά έχουν σχέση με:

- το ύψος (σκίασης) των αντικειμένων
- το μέγεθος (δίνεται η δυνατότητα αναγνώρισης πολύ μικρών αντικειμένων)
- το σχήμα (που απεικονίζεται με πολύ μεγάλη ευκρίνεια για το σύνολο των αντικειμένων της εικόνας, είτε είναι αυτά κροκάλες, είτε δεξαμενές, είτε μηχανήματα, είτε αγωγοί υδροδότησης κ.α.)
- το πρότυπο (που αφορά τον συνδυασμό υπο-αντικειμένων εντός του ίδιου αντικειμένου, όπως το οίκημα εκτροφής πουλερικών εντός της φάρμας)
- τη διάταξη (που αφορά το πώς διατάσσονται διαφορετικά αντικείμενα στο χώρο, όπως η διάταξη της δεξαμενής σε σχέση με τη φάρμα και τον αγωγό μεταφοράς)
- τη συσχέτιση και το φωτογραφικό τόνο – υφή, που μας επέτρεψαν όχι να αναγνωρίσουμε αλλά να προσδιορίσουμε τη θέση των πουλερικών από διαφορές στο φωτογραφικό τόνο, εντός της φάρμας εκτροφής, τη χρονική στιγμή λήψης της εικόνας.

Στην εικόνα UAS της περιοχής Carrizo Plains Northsite, η χωρική διακριτική ικανότητα, η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα αλλά και η φασματική δειγματοληψία (που αντιστοιχεί σε έγχρωμο σύνθετο φυσικού χρώματος) επιτρέπει τη διάκριση ακόμα και ίχνη γεωργικών ή άλλων μηχανοκίνητων οχημάτων στο έδαφος, οικόσιτα ζώα, κλαδιά δέντρων, δομικά στοιχεία και τμήματα βαρέου τύπου μηχανημάτων, αλλά ακόμη και τη θέση του σταθμού βάσης που στήθηκε για την προσγείωση και απογείωση του UAS που έκανε τη λήψη, όπως και του τεχνικού εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε (τοπογραφικά όργανα, GPS κ.α.). Άρα, η συγκεκριμένη εικόνα με βάση την περιγραφή που δίνεται στον

πίνακα φωτοερμηνείας της Θ αντιστοιχεί σε Τάξη 9 και οι ελάχιστες διαστάσεις ενός αντικειμένου που μπορεί να αναγνωρισθεί, με βάση τη χωρική διακριτική της ικανότητα είναι 8,96 τετραγωνικά εκατοστά.

Στην εικόνα UAS της περιοχής Klamath Basin Sycan River, η χωρική διακριτική ικανότητα, η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα αλλά και η φασματική δειγματοληψία (που αντιστοιχεί σε έγχρωμο σύνθετο φυσικού χρώματος) μας επιτρέπει να διακρίνουμε τον ελικοειδή ποταμό, τους ρηχούς ύφαλους και τις αποθέσεις πρηνών (point bar) τις ζώνες απόθεσης φερτών υλικών και οι αβαθείς από τις βαθύτερες ζώνες της κοίτης. Επίσης, φαίνονται πολύ ευκρινώς τα δέντρα, οι θάμνοι και το φύλλωμά τους, προϊόντα υλοτομίας και μια ξύλινη πεζογέφυρα. Όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα διακρίνεται η θέση του σταθμού βάσης που στήθηκε για την προσγείωση και απογείωση του UAS και ο τεχνικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε (τοπογραφικά όργανα, GPS κ.α.). Η συγκεκριμένη εικόνα με βάση την περιγραφή που δίνεται στον πίνακα φωτοερμηνείας της Θ αντιστοιχεί σε Τάξη 9 και οι ελάχιστες διαστάσεις ενός αντικειμένου που μπορεί να αναγνωρισθεί με βάση τη χωρική διακριτική της ικανότητα είναι 7 τετραγωνικά εκατοστά.

Στην εικόνα UAS της περιοχής West Fork Mine, η χωρική και η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα αλλά και η φασματική δειγματοληψία (που αντιστοιχεί σε έγχρωμο σύνθετο φυσικού χρώματος) διακρίνονται ευδιάκριτα οι εγκαταστάσεις του μεταλλείου που βρίσκονται στην περιοχή, μια τεχνητή βιομηχανική λίμνη, ένας ελικοειδής ποταμός, η παλαιοκοίτη του και οι αποθέσεις πρηνών. Διακρίνονται ακόμη και το φαινόμενο του ευτροφισμού που αναπτύσσεται κυρίως στο νότιο τμήμα της λίμνης καθώς και κιβώτια λευκού χρώματος που πιθανότατα αποτελούν κυψέλες εκτροφής μελισσών. Επίσης, φαίνεται ευκρινώς ένας υποσταθμός ηλεκτρισμού, οι πυλώνες μεταφοράς, οι μετασχηματιστές και τα καλώδια, ενώ βορειότερα ένα πυροσβεστικό σημείο. Η συγκεκριμένη εικόνα με βάση την περιγραφή που δίνεται στον πίνακα φωτοερμηνείας της Θ αντιστοιχεί σε Τάξη 9 και οι ελάχιστες διαστάσεις ενός αντικειμένου που μπορεί να αναγνωρισθεί, με βάση τη χωρική διακριτική της ικανότητα είναι 22,68 τετραγωνικά εκατοστά.

# Κεφάλαιο 5

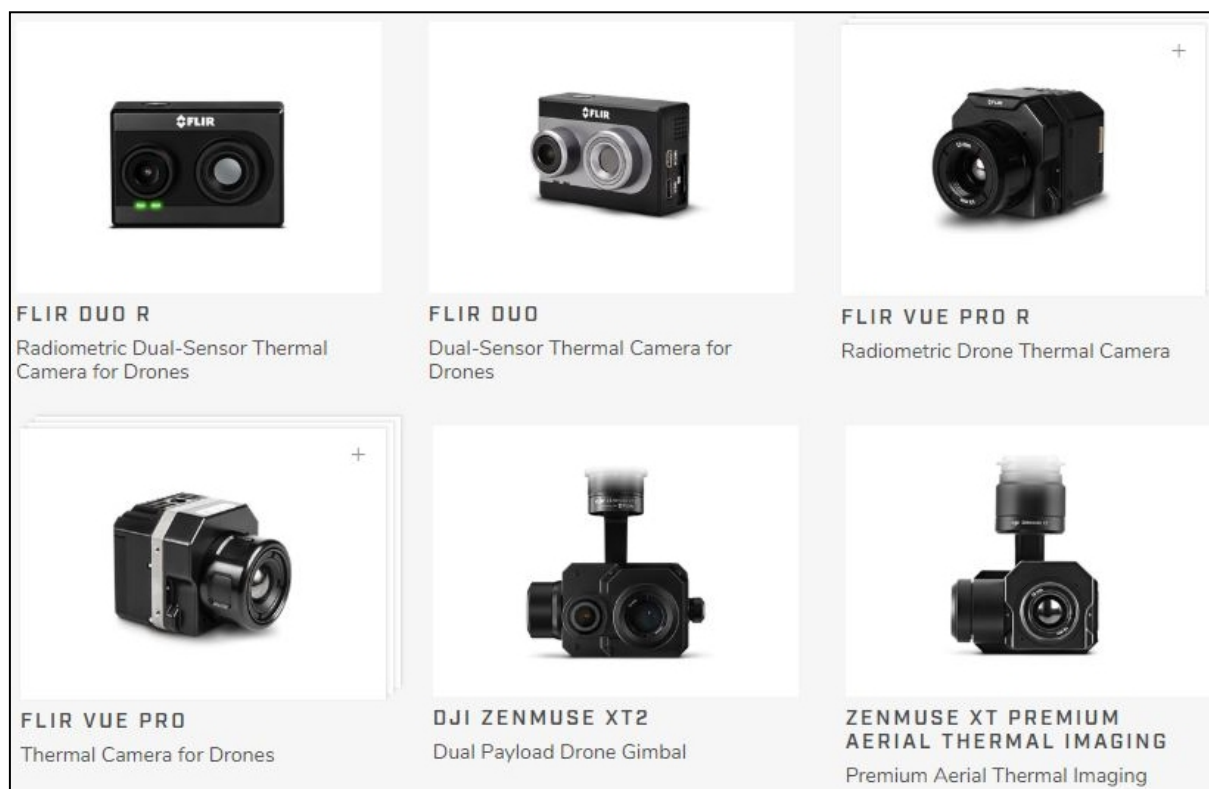
## Συμπεράσματα και Προτάσεις

Οι αεροπλανοφόροι αποτελούν ένα νέο μέσο συλλογής δεδομένων σε προκαθορισμένης έκτασης γεωγραφικές περιοχές, που επιτρέπουν μεγάλη αυτονομία στον προσδιορισμό του χρόνου λήψης των δεδομένων. Επιπροσθέτως, είναι σχεδόν παντός καιρού γιατί υπερίπτανται σε μικρό ύψος, πολύ πιο κάτω από τα νέφη. Τα ψηφιακά δεδομένα που παρέχουν είναι υπερυψηλής ανάλυσης, δηλαδή επιτρέπουν τη σύνθεση φωτομωσαϊκών και ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων εδάφους με χωρική διακριτική ικανότητα μόλις μερικών εκατοστών. Έτσι, αποτυπώνουν με πολύ μεγάλη ανάλυση το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον σε δεδομένη χρονική στιγμή.

Η φασματική δειγματοληψία εξαρτάται από τον τύπο της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής που χρησιμοποιείται. Συνήθως χρησιμοποιούνται έγχρωμες ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές φυσικού χρώματος. Η θεματική διακριτική ικανότητα των εικόνων αντιστοιχεί στην τάξη 9 και επιτρέπει τον εντοπισμό, τη διάκριση και την αναγνώριση των μηχανικών μερών μηχανημάτων, των πινακίδων και του κειμένου τους, των αυλακιών ύδρευσης, των επιμέρους τμημάτων κτιρίων, της διάρθρωσης των δένδρων, της αναγνώρισης φυλλοβόλων δένδρων, των κροκάλων, των ζωνών απόθεσης και της διάβρωσης μαιανδρικών συστημάτων, της σχιστότητας και της στρώσης ιζηματογενών πετρωμάτων, της πανίδας, των ανθρώπων και του τεχνικού εξοπλισμού γραφείου, κ.α.

Δηλαδή επιτρέπει την εν δυνάμει μελέτη της εξέλιξης φυσικών διεργασιών, φυσικών καταστροφών και ανθρωπίνων δραστηριοτήτων σε πολύ μεγάλη κλίμακα, πρωτόγνωρη για τα μέχρι σήμερα δεδομένα.

Τα παραπάνω παραδείγματα από την άποψη χρήσης των αεροπлатφόρμων στον τομέα διαχείρισης του φυσικού περιβάλλοντος, μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι αν χρησιμοποιηθούν θερμικοί υπέρυθροι αισθητήρες (Εικόνα 45) επί των UAS, τότε η νυκτερινή λήψη 2-3 ώρες πριν την ανατολή του ήλιου, σε συνδυασμό με τα υπόβαθρα της ημερήσιας λήψης, δύναται να αποδώσουν με μεγάλη ακρίβεια ακόμη και το σύνολο της άγριας πανίδας στην περιοχή της κάθε μελέτης όπως και τα ενδιατήματα της.

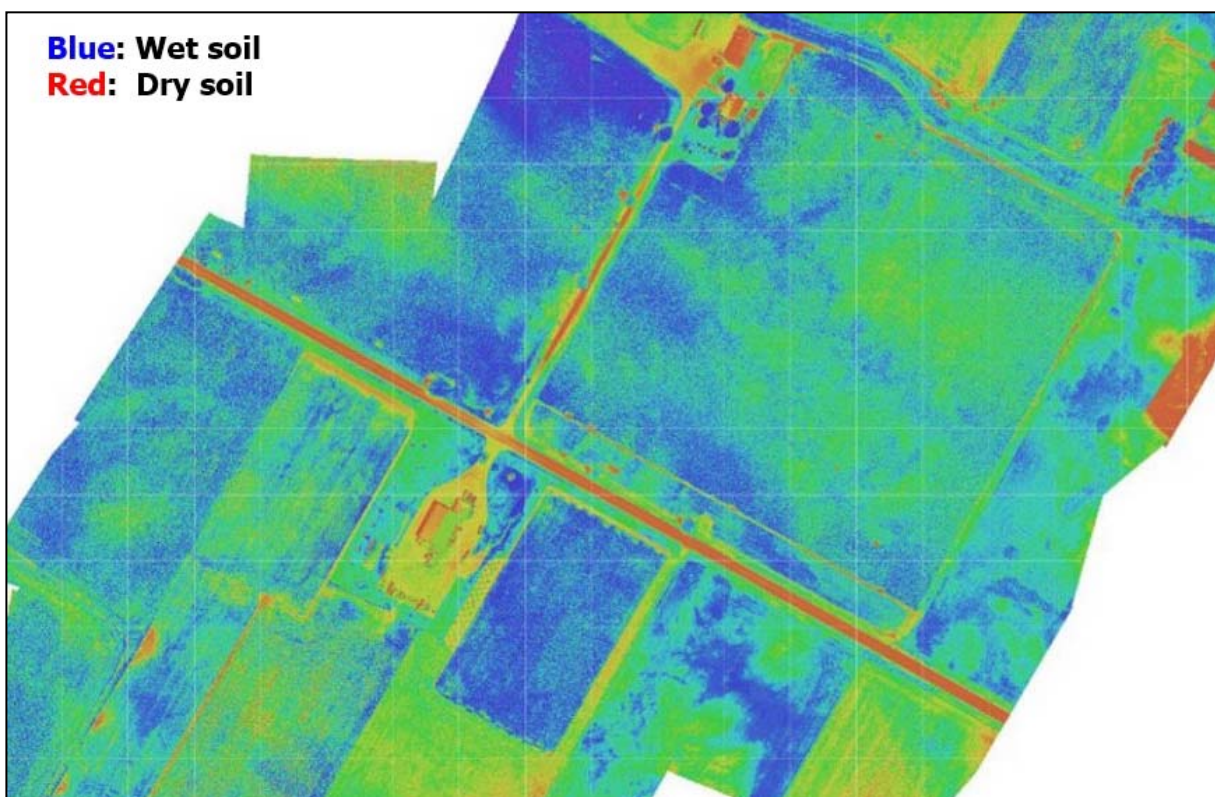


**Εικόνα 45.** Θερμικές κάμερες για UAS. Είναι ειδικά σχεδιασμένες για αεροπлатφόρμες, συμμαγείς, ελαφριές και με δυνατότητα διπλού αισθητήρα.

Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα γίνεται εύκολα αντιληπτό το μεγάλο εύρος εφαρμογών και ερευνητικών δραστηριοτήτων στις οποίες η χρήση θερμικών υπέρυθρων αισθητήρων προσαρμοσμένων σε αεροπлатφόρμες μπορεί να συμβάλει στην εξαγωγή της βέλτιστης ποιότητας αποτελεσμάτων. Η πρόταση για περαιτέρω διεύρυνση του πεδίου αξιοποίησης του συνδυασμού των τηλεπισκοπικών αυτών εργαλείων, UAS - θερμικές υπέρυθρες κάμερες, στηρίζεται κυρίως στη μέχρι στιγμής χρήση τους η οποία εκ του αποτελέσματος κρίνεται ιδιαίτερα αποτελεσματική στις πλείστες των περιπτώσεων. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα χρήσης θερμικών υπέρυθρων αισθητήρων που φέρονται από συστήματα UAS, καθώς και τα παραγόμενα αποτελέσματα ανά περίπτωση αναφέρονται στη συνέχεια.

- Χρήση UAS με θερμικές υπέρυθρες κάμερες στη γεωργία:

Οι αερομεταφερόμενοι θερμικοί αισθητήρες μπορούν να δουν τα θερμά σημεία και να μετρήσουν τις μεταβολές στη θερμοκρασία εδάφους και των φυτών με την πάροδο του χρόνου. Οι θερμικοί αισθητήρες μπορούν επίσης να ανιχνεύσουν την παρουσία νερού λόγω της επίδρασης του ψύχους, η οποία μπορεί να βοηθήσει στην ανίχνευση ζημιών στις καλλιέργειες λόγω ξηρασίας ή / και εποχιακών προβλημάτων. Στην Εικόνα 46 διακρίνονται ευκρινώς οι διαφορές της υγρασίας του εδάφους και των φυτών στις υπό εξέταση καλλιεργημένες εκτάσεις γης. Το μπλε χρώμα αντιπροσωπεύει περιοχές με υψηλότερο ποσοστό υγρασίας ενώ το κόκκινο περιοχές με χαμηλότερο.

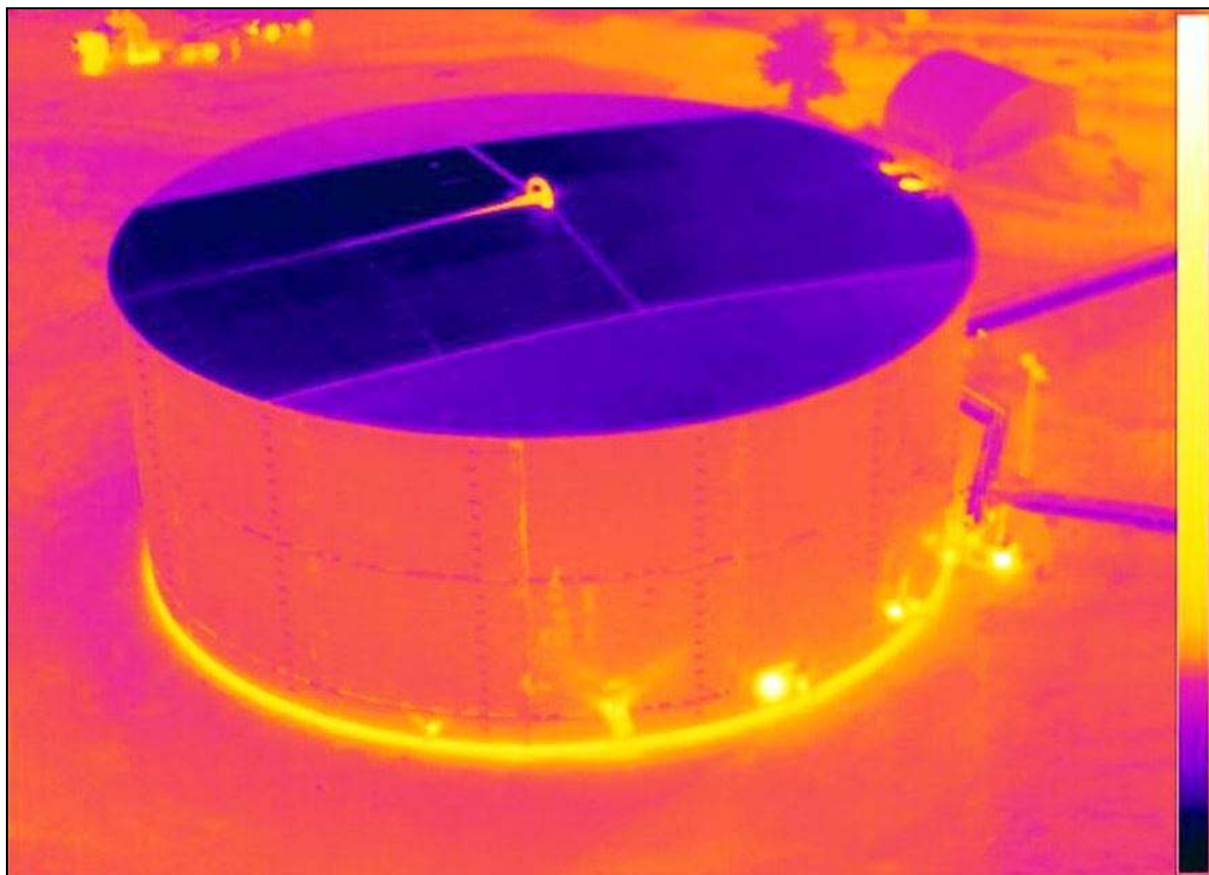


**Εικόνα 46.** Χρήση θερμικής υπέρυθρης κάμερας επί UAS, για γεωργικούς σκοπούς.

- Χρήση UAS με θερμικές υπέρυθρες κάμερες στην οικοδομική βιομηχανία:

Οι αερομεταφερόμενοι θερμικοί αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για φωτογραμμετρική έρευνα και θερμική επιθεώρηση παλαιότερων αλλά και νεόδμητων υποδομών. Στην Εικόνα 47, παρατηρείται ένα ορθομωσαϊκό υψηλής ανάλυσης που προήλθε από τη σύνθεση εικόνων οι οποίες λήφθηκαν μέσω θερμικής υπέρυθρης κάμερας και απεικονίζουν μια νεόδμητη δεξαμενή χωρητικότητας δυο εκατομμύριων γαλονιών. Η θερμική απεικόνιση μέσω γεωχωρικής ανάλυσης μπορεί να επαληθεύσει τη

δομική ακεραιότητα της δεξαμενής. Με την εφαρμογή της ίδιας μεθοδολογίας και χρησιμοποιώντας δεδομένα υπερυψηλής ανάλυσης από θερμικές κάμερες που φέρονται από αεροπλανοφόρες, μπορεί να πραγματοποιηθούν αντίστοιχες επιθεωρήσεις δομικής ακεραιότητας κατασκευών και κτιρίων κοινωφελούς χρήσης, τμήματα οδικών δικτύων, γηπέδων, μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς κλπ.

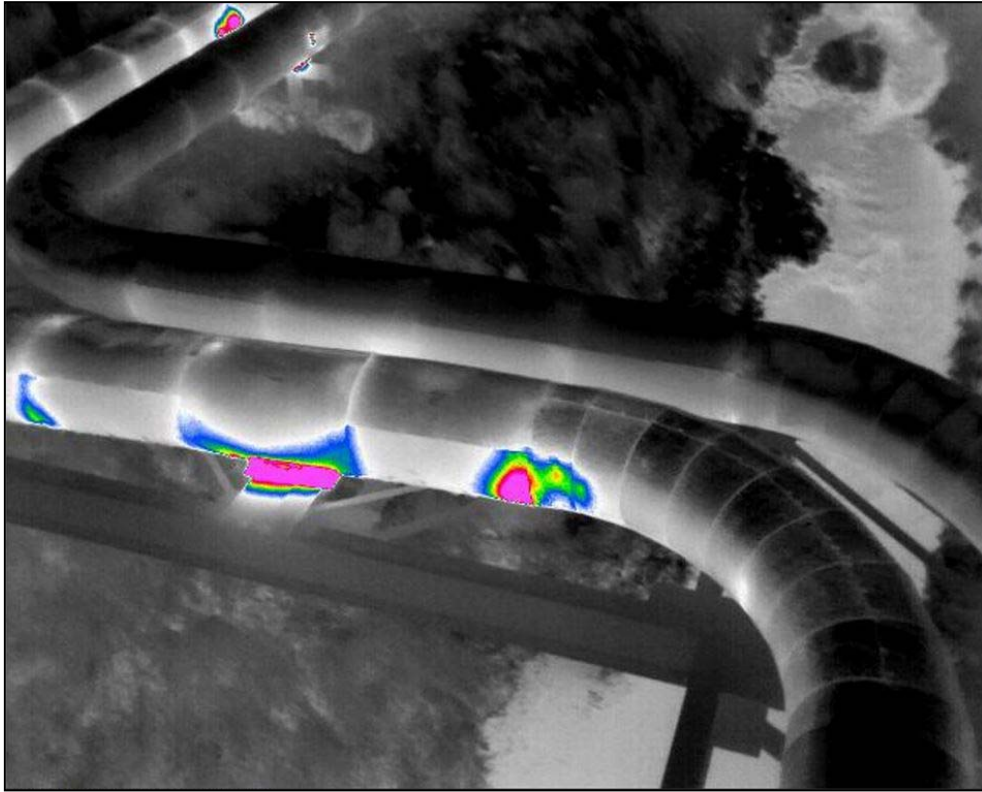


**Εικόνα 47.** Θερμικό υπέρυθρο ορθομωσαϊκό, υψηλής ανάλυσης της δεξαμενής. Τα πιο φωτεινά σημεία αντιπροσωπεύουν υψηλότερη θερμοκρασία.

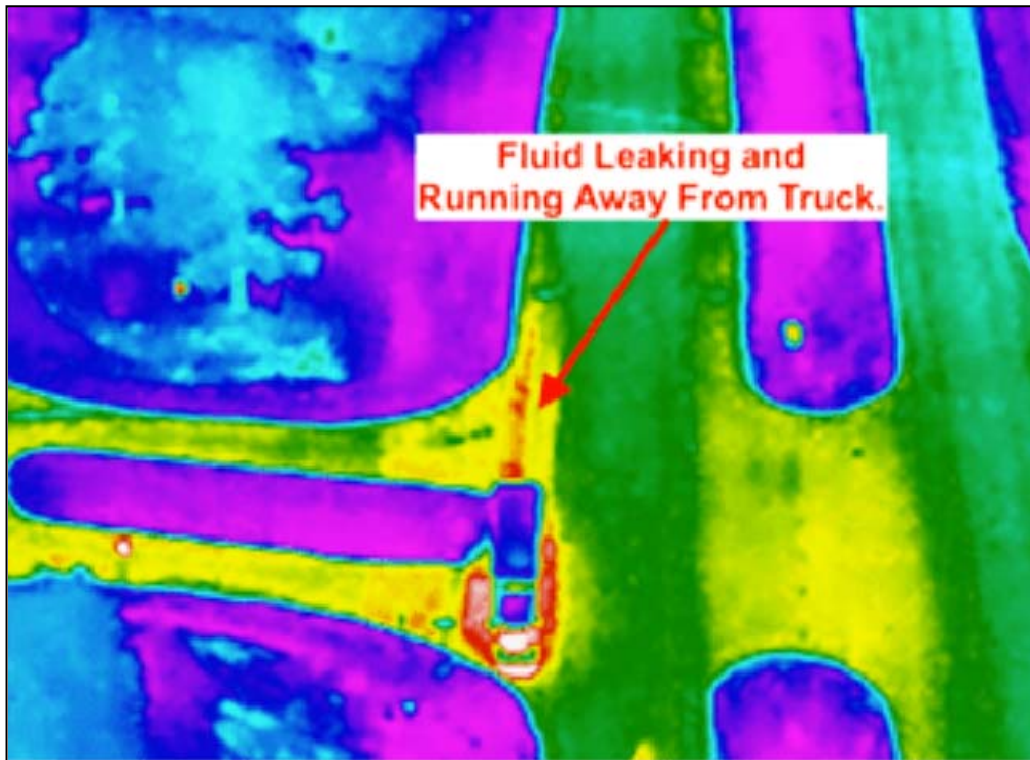
- Χρήση UAS με θερμικές υπέρυθρες κάμερες στη βιομηχανία των υδρογονανθράκων:

Όπως ήδη αναφέρθηκε στην παρούσα εργασία, τα UAS εμφανίζονται σήμερα ως ιδιαίτερα αποτελεσματικά εργαλεία για την παρακολούθηση των αγωγών και των εγκαταστάσεων του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της υπέρυθρης επιθεώρησης των χιλιάδων μιλίων αγωγών που μεταφέρουν πετρέλαιο και φυσικό αέριο σε όλο τον κόσμο, αλλά και των εγκαταστάσεων επεξεργασίας και αποθήκευσης. Οι διαρροές λαδιού και αερίου εμφανίζονται καλά στην υπέρυθρη ακτινοβολία λόγω των διαφορών θερμοκρασίας μεταξύ του υγρού και του εδάφους. Ανεπιθύμητες διαρροές έχουν συχνά προκαλέσει καταστροφικές πυρκαγιές, εκρήξεις

και απώλεια ζωής, καθώς και μεγάλες οικονομικές απώλειες. Στις εικόνες 48 και 49 παρουσιάζονται δυο παραδείγματα χρήσης θερμικών υπέρυθρων λήψεων από αεροπλάτφορμες, στις οποίες αποδεικνύεται η σπουδαιότητα του ρόλου που μπορούν να έχουν τα εργαλεία αυτά στη βιομηχανία των υδρογονανθράκων.



**Εικόνα 48.** Χρήση θερμικής υπέρυθρης κάμερας επί UAS, για επιθεώρηση δικτύου αγωγών υδρογονανθράκων. Τα πιο σκοτεινά σημεία αντιπροσωπεύουν χαμηλότερη θερμοκρασία.



**Εικόνα 49.** Χρήση θερμικής υπέρυθρης κάμερας επί UAS, για εντοπισμό διαρροής από βυτιοφόρο όχημα μεταφοράς προϊόντων επεξεργασίας υδρογονανθράκων.

- Χρήση UAS με θερμικές υπέρυθρες κάμερες σε επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης:

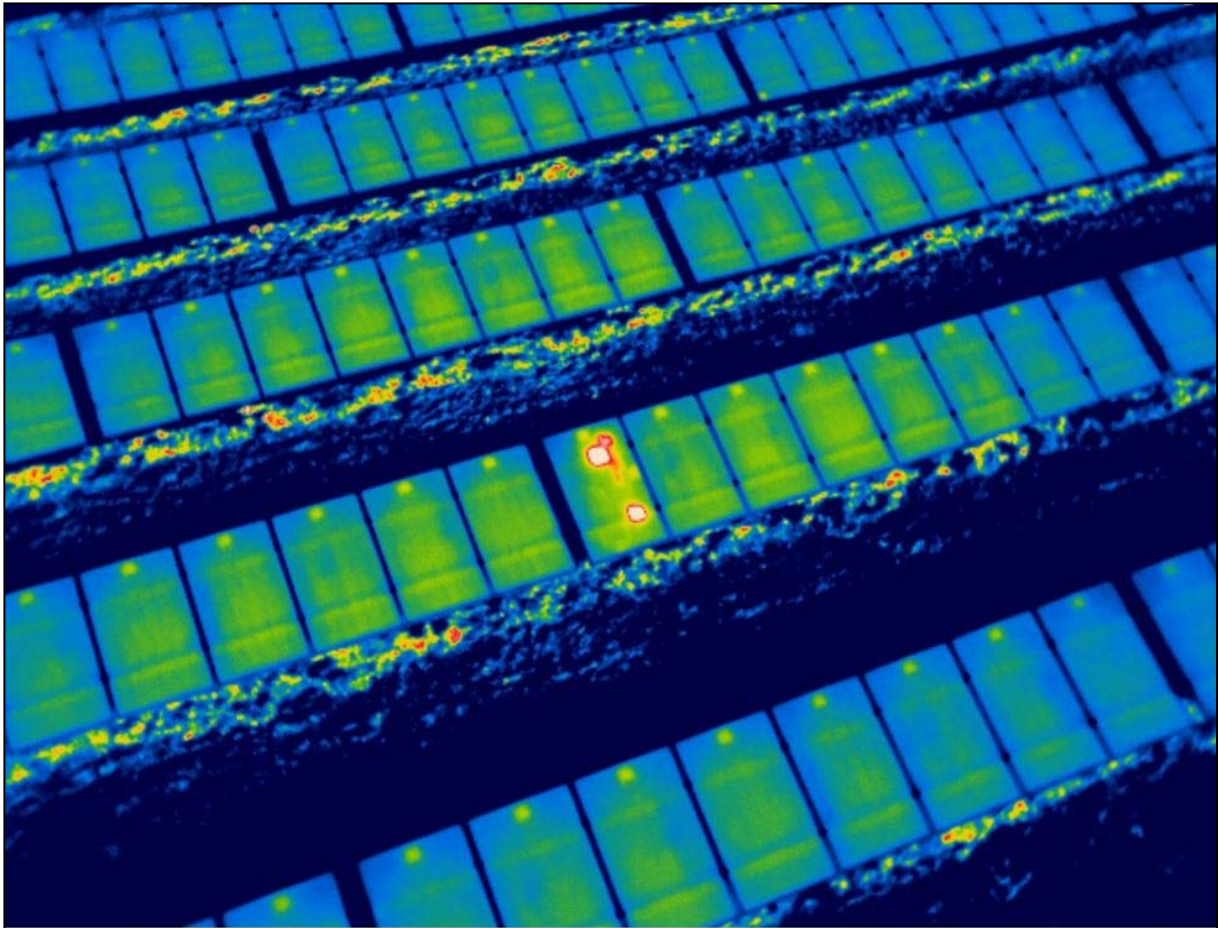
Ο καταλυτικός ρόλος των αεροπлатφόρων σε τέτοιου είδους ανθρωπιστικές επιχειρήσεις αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, αξίζει όμως να γίνει ιδιαίτερη αναφορά στη χρήση θερμικών υπέρυθρων καμερών για τον εντοπισμό κυρίως ελλείπων προσώπων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό που φαίνεται στην Εικόνα 50. Οι αρχές της Νορβηγίας με τη χρήση υπέρυθρης θερμικής κάμερας επί αεροπлатφόρου, εντόπισαν ένα μικρό αγόρι το οποίο είχε χαθεί σε δασική περιοχή όπου είχε πάει εκδρομή με τους γονείς του. Πολλές τέτοιες περιπτώσεις εντοπισμού προσώπων καταγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία την τελευταία πενταετία.



**Εικόνα 50.** Χρήση θερμικής υπέρυθρης κάμερας επί UAS, για εντοπισμό ελλείποντος προσώπου.

- Χρήση UAS με θερμικές υπέρυθρες κάμερες στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:

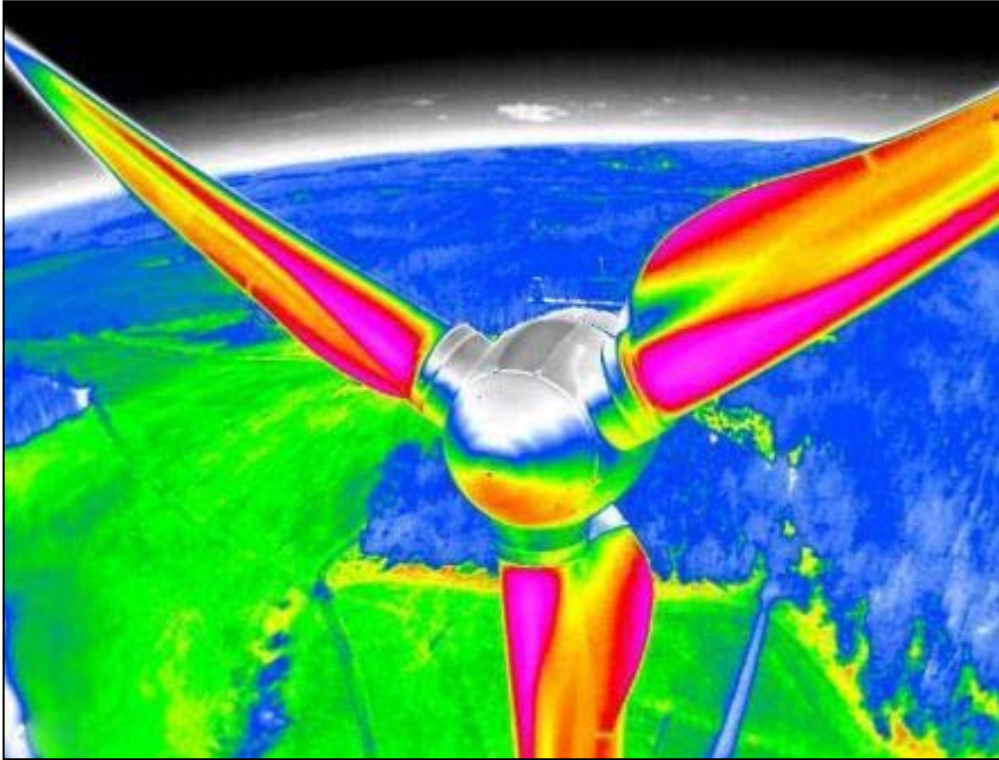
Οι ηλιακοί συλλέκτες (solar panels) έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής με ελάχιστα συνήθως προβλήματα, αλλά η αποτελεσματικότητά τους μπορεί να περιοριστεί από τη ρύπανση. Οι ακαθαρσίες που συσσωρεύονται στην επιφάνειά τους δημιουργούν θερμά σημεία και επιβραδύνουν τη λειτουργία της μονάδας. Επίσης, οι ηλιακοί συλλέκτες παρουσιάζουν θερμά σημεία εάν υποστούν μηχανικές βλάβες και γρατζουνιές. Επομένως, είναι πολύ σημαντικό να ανιχνεύεται το πρόβλημα εγκαίρως και να αποτρέπεται η δυσλειτουργία του όλου συστήματος. Με τη χρήση αεροπλανοφόρων εφοδιασμένων με θερμικές υπέρυθρες κάμερες μπορεί να γίνεται παρακολούθηση των εγκαταστάσεων των ηλιακών συλλεκτών και να διαπιστώνεται άμεσα η οποιαδήποτε θερμοκρασιακή αλλαγή στην επιφάνειά τους, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 51. Η χρήση τους είναι εξίσου σημαντική για την επιτήρηση και παρακολούθηση της ορθής λειτουργίας των



**Εικόνα 51.** Χρήση θερμικής υπέρυθρης κάμερας επί UAS, για εντοπισμό «θερμών σημείων» (κόκκινοι κύκλοι) στην επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών.

ανεμογεννητριών που χρησιμοποιούνται στα αιολικά πάρκα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ακολουθώντας το ίδιο μοτίβο όπως με τους ηλιακούς συλλέκτες έτσι και τα ηλεκτρικά και μηχανικά εξαρτήματα των ανεμογεννητριών παρουσιάζουν αύξηση στη θερμοκρασία τους όταν πρόκειται να υποστούν κάποια βλάβη. Η θερμική επιθεώρηση των εξαρτημάτων αυτών μέσω των θερμικών υπέρυθρων καμερών των UAS μπορεί να αποτρέψει ζημιογόνες ή ακόμα και καταστροφικές βλάβες στις ανεμογεννήτριες (Εικόνα 52). Επιπρόσθετα, ο κύριος λόγος που καθιστά σημαντική τη χρήση αεροπλανοφόρων για την επιθεώρηση των ανεμογεννητριών είναι η δομή τους ως μηχανικές κατασκευές μεγάλου ύψους. Είτε πρόκειται για ανεμογεννήτριες εγκατεστημένες στο έδαφος είτε για ανεμογεννήτριες εγκατεστημένες στη θάλασσα, το μεγάλο ύψος στο οποίο βρίσκονται τα βασικά τους εξαρτήματα, δηλαδή τα πτερύγια και η άτρακτος που περικλείει το κιβώτιο μετάδοσης κίνησης, τη γεννήτρια και το φρένο πτερυγίων, αυτόματα αποτελεί πηγή κινδύνων στη διαδικασία ελέγχου της

σωστής λειτουργίας τους. Και σε αυτό το πεδίο δραστηριοτήτων η χρήση UAS με θερμικές υπέρυθρες κάμερες μπορεί να προσφέρει μια αξιόπιστη, χαμηλού κόστους και μειωμένου κινδύνου λύση.



**Εικόνα 52.** Χρήση θερμικής υπέρυθρης κάμερας επί UAS, για επιθεώρηση ανεμογεννήτριας. Διακρίνονται ευκρινώς το μπροστινό μέρος της ατράκτου καθώς και οι θερμοκρασιακές διαφορές στην επιφάνεια των πτερυγίων.

# Βιβλιογραφία

## Διεθνής βιβλιογραφία

1. Anon., 2015. *UAV-based remote sensing for vegetation cover estimation using NDVI imagery and level sets method*. Abu Dhabi, IEEE, 12, pp.379-385
2. Anweiler, S. & Piwowarski, D., 2017. Multicopter platform prototype for environmental monitoring. *Journal of Cleaner Production* 155, pp. 204-211.
3. Argiala, D. P. & Miliareisis, G., 2001. Human factors in the Interpretation of Physiography by Symbolic and Numerical Representations within an Expert System. In: R. R. Hoffman & A. B. Markman, επιμ. *Interpreting Remote Sensing Imagery: Human factors*. New York: Lewis Publishers - CRC PRESS, pp. 59-81.
4. Aronoff, S., 2005. *Remote Sensing for GIS Managers*. New York: ESRI Press.
5. Astaras, T., et al. 1997. *Delineation of landslides using GIS and digital image processing techniques on multitemporal Landsat 5 TM images: A case study from the Pindus mountain, Greece*. Rotterdam, A A BALKEMA.
6. Awange, J., 2018. *GNSS Environmental Sensing, Environmental Science and Engineering*. s.l.:Springer International.
7. Bendig, J., Bolten, A. & Bareth, G., 2012. *Introducing a low cost mini UAV for thermal and multispectral imaging*. Melbourne, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 14, 21-28
8. Bendig, J. και συν., 2015. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 39, pp. 79-87.
9. Beniston, M. & Tol, R., 1997. Europe. Στο: R. Watson, επιμ. *IPCC Special Report on The Regional Impacts of Climate Change, An Assessment of Vulnerability*. Geneva : IPCC.
10. Bhandari, B., Oli, U., Panta, N. & Pudasaini, U., 2015. *Generation of High Resolution DSM Using UAV Images*. Sofia, International Federation of Surveyors - FIG Working Week, 9, pp. 106-112
11. Burghila, D., et al. 2015. Climate change effects - Where to next?. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, pp. 405 – 412.

12. BVIEER, 2016. *Tutorial: Introduction to Filters*. Available at: <http://dst-iget.in/index.php/tutorialdetails/2/8>  
[Πρόσβαση 10 2018].
13. Cheng, Y.-H., Hu, J. & Su, F.-C., 2018. Interannual Variability of Cold Domes Northeast of Taiwan. *International Journal of Remote Sensing*, 39, pp. 4293-4303.
14. CIA, 2013. *The World factbook*. Available at: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2117.html>  
[Πρόσβαση 10 2018].
15. Colomina, I. & Molina, P., 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, pp. 79-97.
16. CONCAWE, 2015. *Performance of European cross-country oil pipelines. Statistical summary of reported spillages in 2013 and since 1971. Report n 4/15..*  
Available at: [https://www.concawe.eu/uploads/Modules/Publications/rpt\\_15-4.pdf](https://www.concawe.eu/uploads/Modules/Publications/rpt_15-4.pdf)  
[Πρόσβαση 10 2018].
17. Cook, K. L., 2017. An evaluation of the effectiveness of low-cost UAVs and structure from motion for geomorphic change detection. *Geomorphology*, 278, pp. 195-208.
18. Craighead, J., Murhpy, R., Burke, J. & Goldiez, B., 2007. *A survey of commercial & open source unmanned vehicle simulators in: Robotics and Automation*. s.l, IEEE, 11, pp. 852-857.
19. Crommelinck, S. και συν., 2017. Contour Detection for UAV-Based Cadastral Mapping. *Remote Sensing*, 9(2), pp. 171.
20. Dominici, D., Alicandro, M. & Massimi, V., 2017. UAV photogrammetry in the post-earthquake scenario: case studies in L'Aquila. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(1), pp. 87-103.
21. Duarte, C. R. και συν., 2018. Short Time Analysis of Shoreline Based on RapidEye Satellite Images in the Terminal Area of Pecém Port, Ceará, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 39, p. 4376-4389.
22. EEA, 2012, 2014. European Environemntal Agency, *Annual report*, Copenhagen: EEA.

23. EEA, 2017. *Energy and climate change*. Available at: <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2017/articles/energy-and-climate-change> [Πρόσβαση Μαιος 2018].
24. EMMC, 2014. *Safety and security of energy pipelines in Canada: a report to ministers*, Ontario: Energy and Mines Ministers' Conference..
25. EU, 2015. *Paris Agreement, OJL 282, 19.10.2016, p.4-18*, s.l.: European Union.
26. FAA, 2014. *Law Enforcement Guidance for Suspected Unauthorized UAS Operations*, s.l.: FAA.
27. Fahlstrom, P. G. & Gleason, T. J., 2012. *Introduction to UAV systems*. Forth επιμ. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
28. Fonstad, M. και συν., 2013. Topographic structure from motion: a new. *Earth Surf. Process. Landforms*, 38, pp. 421–430.
29. Fortuna, J. και συν., 2013. *Using low cost open source UAVs for marine wild life monitoring - field report*. s.l, IFAC.
30. Ghazal, M., Al Khalil , . Y. & Hajjdiab, H., 2015. *UAV-based remote sensing for vegetation cover estimation using NDVI imagery and level sets method*. Abu Dhabi, IEEE, 23, pp. 52-59
31. Gómez, C. & Green, D., 2017. Small unmanned airborne systems to support oil and gas pipeline monitoring and mapping. *Arabian Journal of Geosciences*, 10, pp. 202.
32. Gower, J. & King, S., 2018. Satellite Observations of Seeding of the Spring Bloom in the Strait of Georgia, BC, Canada. *International Journal of Remote Sensing*, 39, pp. 4390-4401.
33. Granshaw, S., 2016. Photogrammetric Terminology: Third Edition. *The Photogrammetric Record* , 31, pp. 210-251.
34. Gupta, R. P., 2003. *Remote Sensing Geology*. 2nd edition. Berlin: Springer.
35. Harun-Al-Rashid, A. & Yang, C.-S., 2018. Hourly Variation of Green Tide in the Yellow Sea during Summer 2015 and 2016 Using GOCI Data.. *International Journal of Remote Sensing*, 35, pp. 4402-4415.
36. Harwin, S. & Lucieer, A., 2012. Assessing the Accuracy of Georeferenced Point Clouds Produced via Multi-View Stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery. *Remote Sensing*, 4, pp. 1573-1599.

37. Hassanalian, M. & Abdelkefi, A., 2018. Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace Sciences*, 33, pp. 171-184
38. Hassan-Esfahani, L., Torres-Rua, A., Jensen, A. & McKee, M., 2015. Assessment of Surface Soil Moisture Using High-Resolution Multi-Spectral Imagery and Artificial Neural Networks. *Remote Sensing*, 7(3), pp. 2627-2646.
39. Hinkley, E. A. & Zajkowski, T., 2011. USDA forest service–NASA: unmanned aerial systems demonstrations – pushing the leading edge in fire mapping. *Geocarto International*, 26(2), pp. 103-111.
40. Hong, D.-B. & Yang, C.-S., 2018. Automatic Discrimination Approach of Sea Ice in the Arctic Ocean Using Sentinel-1 Extra Wide Swath Dual-Polarized SAR Data.. *International Journal of Remote Sensing* , 39, pp. 4402-4415.
41. Houghton, J., 1996. *The Science of Climate change* , Cambridge: Cambridge Univercity Press.
42. Indra Sistemas, S., 2013. *Unmanned Aerial Systems in European Airspace*, Geneva: European Commission.
43. Ivanov, A. Y. και συν., 2018. Oil Spills in the Barents Sea Based on Satellite Monitoring Using SAR: Spatial Distribution and Main Sources.. *International Journal of Remote Sensing*, 39, pp. 4484–4498.
44. Jaiganesh, N. R., Singh, R. K., Shanmugam, P. & Ahn, Y.-H., 2018. Inter-Slot Radiometric Discrepancy Correction (IRDC) for GOCI Ocean Colour Products.. *International Journal of Remote Sensing*, 39, pp. 4499–4512.
45. Jensen, J. R., 1986. *Indroductory digital image processing*. New Jersey: Prentice Hall
46. Kakooei, M. & Baleghi, Y., 2017. Fusion of satellite, aircraft, and UAV data for automatic disaster damage assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8-10), pp. 2511-2534.
47. Kanuk, J., et al, 2018. Technical Report: Unmanned Helicopter Solution for Survey-Grade Lidar and Hyperspectral Mapping. *Pure and Applied Geophysics*, 175, pp. 3357-3373.
48. Karas, J., 1997. *Climate change and the Mediteranean Region: Report 1997*, Amsterdam: Geenpeace International

49. Karimova, S., 2018. Automatic Discrimination Approach of Sea Ice in the Arctic Ocean Using Sentinel-1 Extra Wide Swath Dual-Polarized SAR Data.. *International Journal of Remote Sensing*, 39, pp. 4469-4483.
50. Katsaros, K. B. 2017. *Tutorial on Remote Sensing for Capacity Building*. Seattle, American Meteorological Society.
51. Kundzewicz, Z. 2007. *Freshwater resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Cambridge: Cambridge University Press.
52. Kuo, Y.-C., 2018. Long-Term Observation on Sea Surface Temperature Variability in the Taiwan Strait during the Northeast Monsoon Season.. *International Journal of Remote Sensing*, 39, pp. 4330-4342.
53. Lebedev, . S., 2018. Climatic Variability of Water Circulation in the Caspian Sea Based on Satellite Altimetry Data.. *International Journal of Remote Sensing* , 39, p. 4343–4359.
54. Levy, G, Vignudelli, S. & Gower, J., 2018. Enabling earth observations in support of global, coastal, ocean, and climate change research and monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 39(13), pp. 4287-4292.
55. Li, M., Daels, L. & Antrop, M., 1996. *Lambertian and Minnaert relation simulation for topographic normalization*. Michingan, Environmental Research Institute Michingan.
56. Luppicini, R. & So, A., 2016. A technoethical review of commercial drone use in the context of governance, ethics and privacy. *Technology in Society*, 46, pp. 109-119.
57. Mancini, F. και συν., 2013. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for High-Resolution Reconstruction of Topography: The Structure from Motion Approach on Coastal Environments. *Remote Sensing*, 5, pp. 6880-6898.
58. Manjoo, F., 2015. Giving Drone Industry Leeway to Innovate. *New York Times*, 4 February, p. 164.
59. Markets, M. a., 2014. *Pipeline transportation market by solution (security solutions, automation and control, integrity and tracking solutions, network communication solutions, and other), by modes (oil and gas, coal, chemical, water, and other)—global forecast to 2019*.. Available at: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/pipelinetransportation-market-110375125.html>. [Πρόσβαση 10 2018].

60. Markman, A. & Hoffman, R., 2001. *Interpreting remote sensing imagery: human factors*. Boca Raton: CRC Press LLC.
61. Measure & Red Cross, A., 2015. *Drones for Disaster Response*, s.l.: Measure.
62. Mesas-Carrascosa, F. J., Rumbao, I. C., Berrocal, J. A. B. & Porrás, A. G.-F., 2014. Positional Quality Assessment of Orthophotos Obtained from Sensors Onboard Multi-Rotor UAV Platforms. *Sensors*, 14, pp. 22394-22407.
63. Metz, B. και συν., 2007. *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*, Cambridge : Cambridge University Press.
64. Milas, A. S. και συν., 2018. Unmanned Aerial Systems (UAS) for environmental applications special issue preface. *International Journal of Remote Sensing*, 39(15-16), pp. 4845-4851.
65. Miliareisis, G., 2009. *Biophysical Terrain Analysis. In: Environmental Cost Management*. New York: Nova Science Publishers.
66. Mimura, N. και συν., 2007. *Small islands. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Cambridge : Cambridge University Press.
67. Misra, A. και συν., 2018. Shallow Water Bathymetry Mapping Using Support Vector Machine (SVM) Technique and Multispectral Imagery.. *International Journal of Remote Sensing* , 39, p. 4431-4450.
68. Mitnik, L. M., Kuleshov, V. P., Mitnik, M. L. & Baranyuk, A. V., 2018. Passive Microwave Observations of South America and Surrounding Oceans from Russian Meteor-M No. 2 And Japan GCOM-W1 Satellites.. *International Journal of Remote Sensing*, 39, pp. 4513-4530.
69. Murphy, R. R., 2015. *Disaster Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents series)*, s.l.: The MIT Press.
70. Nelson, A., Reuter, H. & Gessler, P., 2009. DEM Production Methods and Sources. Στο: *Geomorphometry Concepts, Software, Applications*. Amsterdam,: Elsevier, pp. 65-85.
71. Nicas, J., 2015. *Criminals, Terrorists Find Uses for Drones, Raising Concerns*, s.l.: The Wall Street Journal
72. Nishar, A. και συν., 2016. Thermal infrared imaging of geothermal environments and by an unmanned aerial vehicle (UAV): A case study of the Wairakei - Tauhara geothermal field, Taupo, New Zealand. *Renewable Energy*, 86, pp. 1256-1264.

73. NOAA, 2017. *Climate at a Glance: Global Time Series*. Available at: <http://www.ncdc.noaa.gov/cag/> [Πρόσβαση May 2018].
74. OECD, 2008. Implications for water management, marine resources and maritime transport. *Space Technologies and Climate Change* 12, pp. 191-201
75. Paganini, P., 2014. *Privacy and Security Issues for the Usage of Civil Drones*, Chicago: InfoSec Institute.
76. Parlow, E., 1996. *Progress in Environmental Remote Sensing Research Applications*. Rotterdam, EARSeL. 12, pp. 134-142
77. Parry, M., Canziani, O. & Palutikof, J., 2007. *Technical Summary. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Cambridge : Cambridge University Press.
78. Pastor, E. και συν., 2011. Architecture for a helicopter-based unmanned aerial systems wildfire surveillance system. *Geocarto International*, 26(2), pp. 113-131.
79. Pérez, J. A., Gonçalves, G. R. & Charro, M. C., 2018. On the positional accuracy and maximum. *Geocarto International*, 32(5), pp. 83-92.
80. PGJ, 2011. *Petroleum liquids pipelines continue to increase transported volumes. Special to Pipeline & Gas Journal, Pipeline and Gas Journal* 238(3). Available at: <https://pgjonline.com/2011/03/09/petroleumliquidspipelines-continue-to-increase-transported-volumes/> [Πρόσβαση 10 2018].
81. PHMSA, 2015. *Notice of proposed rulemaking*, Washington: PHMSA, Department of Transportation.
82. Rao, B., Ashwin, G. G. & Maione, R., 2016. The societal impact of commercial drone. *Technology in Society*, 45, pp. 83-90.
83. Roma, A., 2014. Remotely piloted aircraft system, privacy and data protection implications. *Aviation Space*, 13, pp. 23-34
84. Roma, A., 2017. Drones and popularisation of space. *Space policy*, 41, pp. 65-67.
85. Romero, A., Gatta, C. & Camps-Valls, 2016. Unsupervised Deep Feature Extraction for Remote Sensing Image Classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(3), pp. 1349-1362.
86. Serban, G. και συν., 2016. Flood-prone area delimitation using UAV technology, in the areas hard-to-reach for classic aircrafts: case study in the north-east of Apuseni Mountains, Transylvania. *Natural Hazards*, 82, pp. 1817-1832.

87. Shahi, K., Shafri, H. Z. M. & Hamedianfar, A., 2017. Road condition assessment by OBIA and feature selection techniques using very high-resolution WorldView-2 imagery. *Geocarto International*, 32(12), pp. 1389-1406.
88. Singh, K. & Frazier, A., 2018. A meta-analysis and review of unmanned aircraft system (UAS) imagery for terrestrial applications. *International Journal of Remote Sensing*, 39, pp. 15-16.
89. Smith, E., 2013. *Worldwide pipeline construction: crude, products plans push 2013 construction sharply higher. Oil and gas*. Available at: <http://www.ogj.com/articles/print/volume-111/issue-02/specialreport-worldwide-pipeline-construction/worldwide-pipeline-constructioncrude-products.html>. [Πρόσβαση 10 2018].
90. Sousa, W., Souto, M., Duarte, . C. & Salgueiro, A., 2018. Creation of a Coastal Evolution Prognostic Model Using Shoreline Historical Data and Techniques of Digital Image Processing in a GIS Environment for Generating Future Scenarios.. *International Journal of Remote Sensing* , Τόμος 39, p. 4416–4430.
91. Stults, M., 2017. Integrating climate change into hazard mitigation planning: Opportunities and examples in practice. *Climate Risk Management*, Τόμος 17, pp. 21-34.
92. Sun, Q.-Y., Tang, D., Levy, G. & Shi, P., 2018. Variability of Aerosol Optical Thickness in the Tropical Indian Ocean and South China Sea during Spring Intermonsoon Season.. *International Journal of Remote Sensing*, 39, pp. 4531–4549.
93. Swart, R. & Raes, F., 2007. Making integration of adaptation and mitigation work: mainstreaming into sustainable development policies.. *Climate Policy*, 7(4), pp. 288-303.
94. Templin, T., Popielarczyk, D. & Kosecki, R., 2018. Application of Low-Cost Fixed-Wing UAV for Inland Lakes Shoreline Investigation. *Pure and Applied Geophysics*, 175, pp. 3263-3283.
95. Thomas, A. & Mizushima, M., 2005. Logistics training: necessity or luxury?. *Forced Migration Review*, 22, pp. 60-61.
96. Tings, . B. & Velotto, D., 2018. Comparison of Ship Wake Detectability on C-Band and X-Band SAR.. *International Journal of Remote Sensing*, 39, pp. 4451–4468.
97. Turner, D., Lucieer, A. & De Jong, S. M., 2015. Time Series Analysis of Landslide Dynamics Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Remote Sensing*, 6, pp. 1736-1757.

98. UNISDR, 2015. *The Human Cost of Weather Related Disasters 1995-2015*, s.l.: UNISDR.
99. USGS, 2017. *Active Platforms, 3DR Solo*. Available at: <https://uas.usgs.gov/platforms.shtml> [Πρόσβαση May 2018].
100. USGS, 2017. *Active Platforms, Pulse Vapor 55™ Helicopter*. Available at: <https://uas.usgs.gov/platforms.shtml> [Πρόσβαση May 2018].
101. USGS, 2017. *Research Missions*. Available at: <https://uas.usgs.gov/mission.shtml> [Πρόσβαση May 2018].
102. USGS, 2017. *Sensors*. Available at: <https://uas.usgs.gov/sensors.shtml> [Πρόσβαση May 2018].
103. USGS, 2018. *EarthExplorer*. Available at: <https://earthexplorer.usgs.gov/> [Πρόσβαση 5 October 2018].
104. Van Tilburg, C., 2017. First Report of Using Portable Unmanned Aircraft. *WILDERNESS & ENVIRONMENTAL MEDICINE*, 28, pp. 116-118.
105. Verschoor, A. H. & Reijnders, L., 2001. Toxics reduction in processes. Some practical examples. *Journal of Cleaner Production*, Τόμος 9, pp. 277-286.
106. Wang, Y.-C. και συν., 2018. Satellite Observation of the Winter Variation of Sea Surface Temperature Fronts in Relation to the Spatial Distribution of Ichthyoplankton in the Continental Shelf of the Southern East China Sea.. *International Journal of Remote Sensing*, 39, p. 4550–4564.
107. Wheaton, J. M. και συν., 2015. Geomorphic mapping and taxonomy of fluvial landforms. *Geomorphology*, 248, pp. 273-295.
108. Ye, H.-J. και συν., 2018. Increased Chlorophyll A Concentration in the South China Sea Caused by Occasional Sea Surface Temperature Fronts at Peripheries of Eddies.. *International Journal of Remote Sensing*, 39, pp. 4360–4375.
109. Yu, M., Huang, Y., Zhou, J. & Mao, L., 2017. Modeling of landslide topography based on micro-unmanned aerial vehicle photography and structure-from-motion. *Environmental Earth Sciences*, 76, pp. 520-525.
110. Zhang, L., Zhang, L. & Du, B., 2016. Deep Learning for Remote Sensing Data: A Technical Tutorial on the State of the Art. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 4(2), pp. 22 - 40.

111. Zhiqiang, X. 2014. Development of an UAS for post-earthquake disaster surveying and its application in Ms7.0 Lushan Earthquake, Sichuan, China. *Computers & Geosciences*, 68, pp. 22-30.

### **Ελληνική βιβλιογραφία**

112. Αστάρης, Θ., Οικονομίδης, Δ. & Μουρατίδης, Α., 2007. Ψηφιακή Χαρτογραφία και Φωτογραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ.

113. Βαϊόπουλος, Δ., 2000. Εφαρμογές της διαστημικής επιστήμης και τεχνολογίας και στοιχεία του πλανητικού συστήματος. 2η επιμ. Αθήνα: Αθανασόπουλος - Παπαδάμης.

114. Καρτέρης, Μ., 2004. Τηλεπισκόπηση Περιβάλλοντος. Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ.

115. Μέρτικας, Σ., 1999. Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας. Περιστέρι: Ίων.

116. Μηλιαρέσης, Γ., 2003α. Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση. Αθήνα: ΙΩΝ.

117. Μηλιαρέσης, Γ., 2003β. Εργαστηριακές Ασκήσεις Φωτοερμηνείας-Τηλεπισκόπησης. Αθήνα: ΙΩΝ.

118. Μουρατίδης, Α., 2005. Συγκριτική Αξιολόγηση των Δορυφορικών Εικόνων Ραντάρ και των Πολυφασματικών Εικόνων στην Εντοπισμό και τη Χαρτογράφηση Φωτογραμμώσεων: Παραδείγματα από Περιοχές της Β. Ελλάδας. Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ.

119. Τσακίρη-Στρατή, Μ., 2004. Τηλεπισκόπηση. Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ.