

ΠΜΣ: ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΜΑΘΗΜΑ: ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΣΤΟ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ Π. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΣ

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ | ΑΜ: ANNA ΔΟΣΙΟΥ | 222305

ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ 3: ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

1. Εισαγωγή

Η ξηρασία, που συνδέεται άμεσα με την κλιματική αλλαγή, είναι ένα φαινόμενο που ταλανίζει τα τελευταία χρόνια πολλές περιοχές του πλανήτη. Μία από αυτές είναι και η πολιτεία της Καλιφόρνια στην Αμερική στην οποία το στοιχείο του φυσικού περιβάλλοντος είναι έντονο. Εκεί βρίσκεται η Central Valley στην οποία ακμάζει η αγροτική παραγωγή, αφού καλύπτει ανάγκες σε εθνικό επίπεδο, και η οροσειρά της Sierra Nevada με πολυποίκιλη βλάστηση. Η ξηρασία έχει επηρεάσει άμεσα την βλάστηση της περιοχής, καθώς έχει προσβληθεί από ασθένειες (Pathak, et al., 2018). Στόχος της εργασίας είναι η χαρτογράφηση της περιοχής μελέτης με τη χρήση εικόνων drone από κάμερα υψηλής ανάλυσης, ώστε να αξιολογηθεί η υγεία της βλάστησης μέσω του οπτικού δείκτη ατμοσφαιρικής αντίστασης (Visual Atmospheric Resistance Index – VARI). Για να επιτευχθεί αυτό παράχθηκαν τα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα υψομέτρου και επιφάνειας, το ορθομωσαϊκό και το επίπεδο με το ύψος των δέντρων μιας έκτασης στους λόφους El Dorado.

Στην Καλιφόρνια η χρόνια ξηρασία από το 2012 έως το 2016, αλλά και των προηγούμενων χρόνων, αύξησε ραγδαία την θνησιμότητα των δέντρων σε όλη την πολιτεία, αλλά κυρίως στη νότια Sierra Nevada. Λόγω της ξηρασίας τα δέντρα αποδυναμώθηκαν και δεν ήταν εφικτό να αντιμετωπίσουν τα σκαθάρια που σκάβουν στον φλοιό τους και γεννούν αυγά. Έτσι όσα δέντρα δεν πέθαναν απευθείας από την ξηρασία, έπειτα από την δράση των σκαθαριών καταστράφηκαν. Τα σκαθάρια του φλοιού (bark beetles) αποτελούν μαζική επιδημία στην Βόρεια Αμερική μέχρι και σήμερα (University of California, 2023). Ένα μέσο παρακολούθησης του φαινομένου είναι οι εικόνες από drone.

Τα μη επανδρωμένα εναέρια συστήματα είναι drone με κάμερες, αισθητήρες και ανιχνευτές διάφορων φυσικών παραμέτρων. Τα drone χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια στον τομέα της τηλεπισκόπησης για την λήψη χωρικών δεδομένων υψηλής ανάλυσης, όπως αυτά για την κάλυψη και

χρήση γης σε μια περιοχή. Βασικό πλεονέκτημά τους είναι και η προσβασιμότητα σε επικίνδυνες και δυσπρόσιτες περιοχές με σκοπό την χαρτογράφησή τους. Οι πτήσεις λαμβάνουν χώρα σε χαμηλό ύψος για αυτό οι εικόνες έχουν υψηλή ανάλυση, ακόμα και με αισθητήρες του εμπορίου χαμηλής ποιότητας. Παρόλα αυτά, η επεξεργασία των αεροφωτογραφιών είναι απαιτητική, καθώς λόγω της υψηλής ανάλυσης και του μεγάλου πλήθους τους, χρειάζονται εξελιγμένα βήματα επεξεργασίας. Από τις αεροφωτογραφίες παράγονται πολύτιμα προϊόντα όπως οι ορθοφωτογραφίες, και τα ψηφιακά μοντέλα υψομέτρου και επιφάνειας (Singh, et al., 2018).

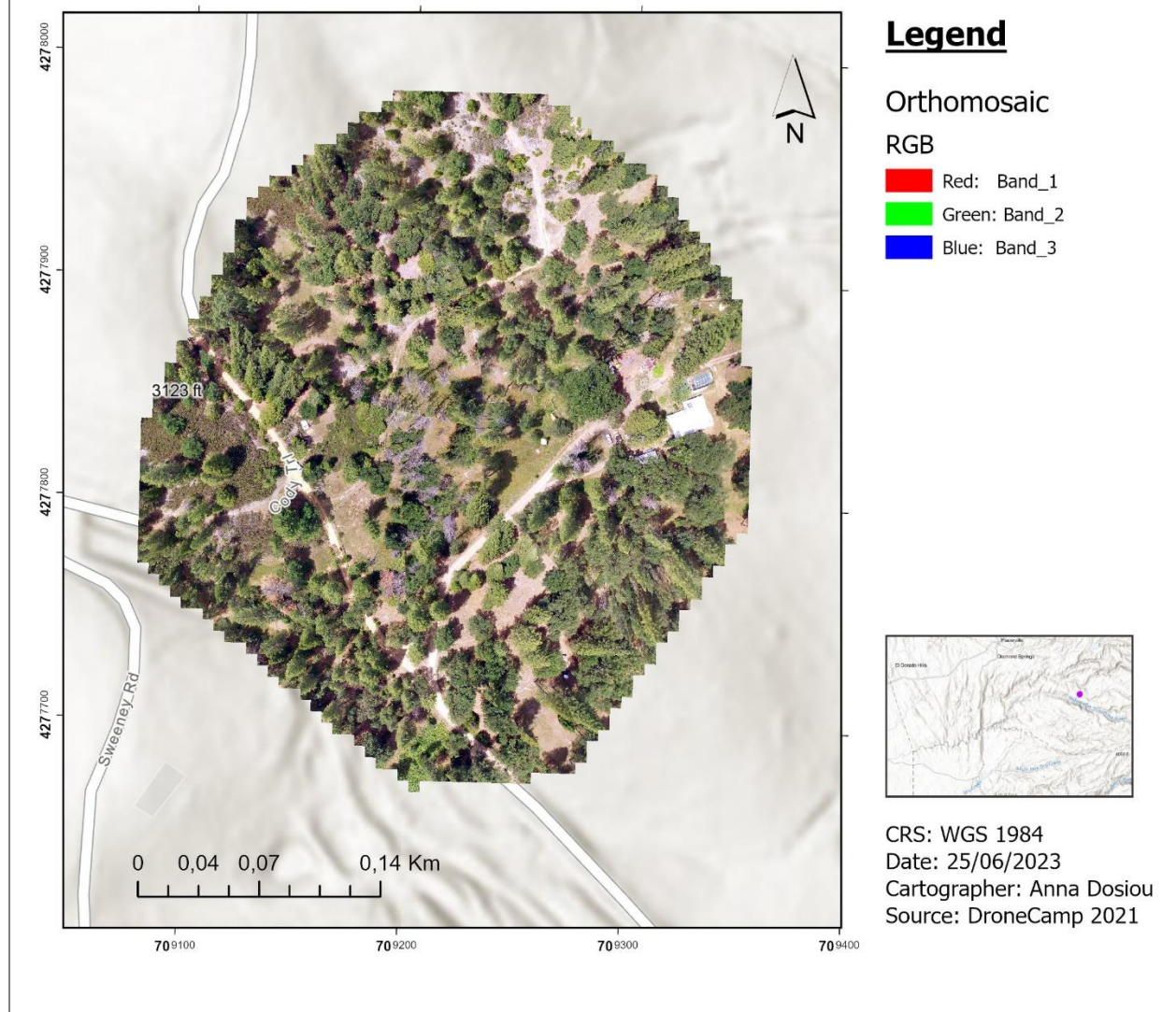
Στην παρούσα εργασία οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν λήφθηκαν από την κάμερα DJI ZenMuse X3 σε drone. Αυτή παράγει βίντεο 4K σε 24, 25, και 30 καρέ ανά δευτερόλεπτο, και οι φωτογραφίες της είναι της τάξης των 12 megapixel. Διαθέτει οπτικό και ψηφιακό ζουμ, 3.5 και 2x αντίστοιχα, ενώ το μέγιστο μέγεθος εικόνας που καταγράφει (Max Pixels) είναι 12.4M. Ο αισθητήρας της εικόνας είναι 1/2.3 ιντσών CMOS (DJI, 2023). Έχει σχεδιαστεί κυρίως για λήψη επαγγελματικών αεροφωτογραφιών για το τοπίο, τα κτήρια, τα ταξίδια, την δημοσιογραφία, και άλλα.

2. Περιγραφή Περιοχής Μελέτης και Δεδομένων

2.1 Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή έρευνας (Χάρτης 2.1) βρίσκεται στους πρόποδες της κομητείας El Dorado στην Καλιφόρνια, σε ένα κτήμα ράντσο, σε γεωγραφικό πλάτος 38,62 και γεωγραφικό μήκος -120,5975286. Το υψόμετρο ανέρχεται στα 3150 πόδια (~960 μέτρα) πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, και η περιοχή δέχεται μέση ετήσια βροχόπτωση 44,9 ίντσες (114.05 cm). Η βλάστηση ποικίλλει γιατί συναντώνται δάση μαύρης δρυός (*Quercus kelloggii*), Nissenan manzanita (*Arctostaphylos nissenana*), και πεύκης Ponderosa (*Pinus ponderosa*). Η ξηρασία των τελευταίων χρόνων έχει προκαλέσει καταστροφές στα πεύκα Ponderosa από τα σκαθάρια του φλοιού (bark beetles). Αυτό αυξάνει τον κίνδυνο πτώσης κλαδιών και πυρκαγιάς στην περιοχή (IGIS, Agriculture and Natural Resources, University of California, 2020).

Map of Orthomosaic, foothills of El Dorado County, California



Χάρτης 2.1: Χάρτης ορθομωσαϊκού της περιοχής μελέτης

Η ευρύτερη περιοχή El Dorado Hills βρίσκεται στην μεταμορφική ζώνη της δυτικής Sierra Nevada (Western Sierra Nevada Metamorphic Belt – WSNMB) στους δυτικούς πρόποδες της οροσειράς Sierra Nevada, στην βόρεια Καλιφόρνια. Το μήκος και το πλάτος της μεταμορφικής ζώνης WSNMB είναι 250 και 50 μίλια αντίστοιχα. Αυτή συγκροτείται κυρίως από Παλαιοζωικά και Μεσοζωικά μεταμορφωμένα ιζηματογενή και πυριγενή πετρώματα. Ιστορικά, αυτά τα πετρώματα και τα ιζήματα αρχικά βρίσκονταν

στον θαλάσσιο πυθμένα. Οι συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμότητας που προέκυψαν από τις συγκρούσεις των τεκτονικών πλακών στο δυτικό άκρο της βορειοαμερικανικής ηπείρου πριν από 160 – 300 εκατομμύρια χρόνια, οδήγησαν στην ανακρυστάλλωσή τους (Meeker, και συν., 2006).

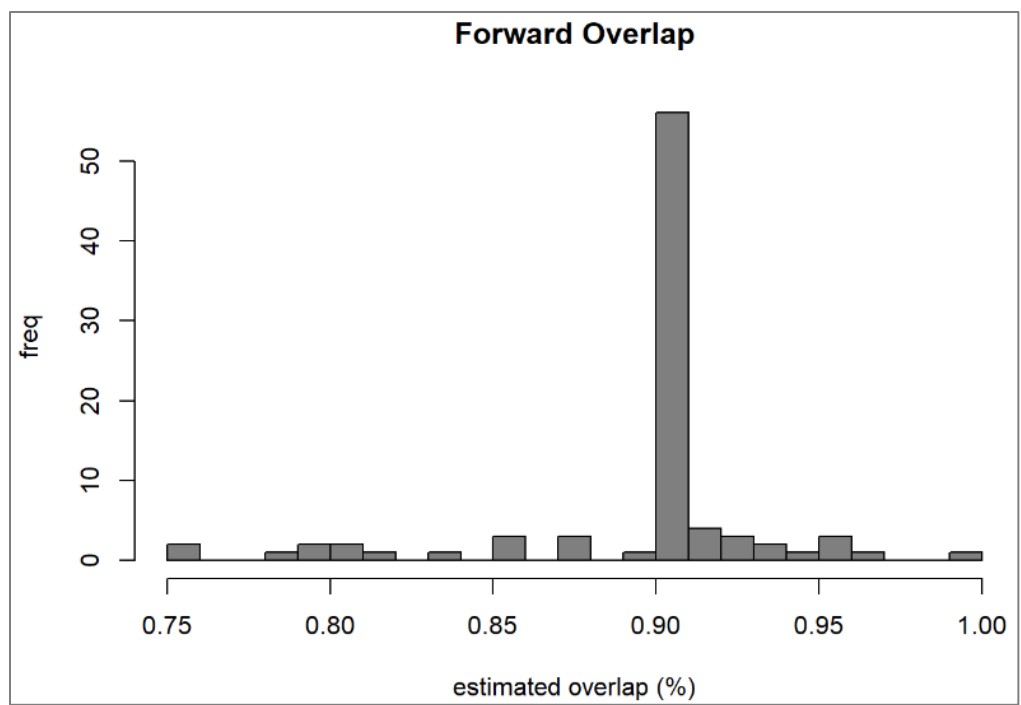
Στην WSNMB εντοπίζονται ρηγματικές ζώνες κατεύθυνσης από βορρά προς βορειοδυτικά, που ονομάζονται terranes. Τα terranes είναι κομμάτια φλοιού που αποκόπηκαν από μια τεκτονική πλάκα και συνδέθηκαν με μία άλλη. Από τις τεκτονικές κινήσεις των πλακών σχηματίστηκαν πυριγενή πετρώματα όπως το σύμπλεγμα Pine Hill, που αποτελείται από γάββρο, και ένα μαφικό πέτρωμα που η σύσταση του είναι παρόμοια με τις λάβες της Χαβάης (Meeker, et al., 2006).

Το κλίμα της Καλιφόρνια χαρακτηρίζεται μεσογειακό και η βροχόπτωση θεωρείται η βασική πηγή τροφοδοσίας νερού. Η κεντρική κοιλάδα διαχωρίζεται σε τρεις υδρολογικές ζώνες, την κοιλάδα Sacramento, την San Joaquin και την λεκάνη Tulare. Η περιοχή μελέτης ανήκει στην κοιλάδα Sacramento. Το 53% του νερού της κοιλάδας χρησιμοποιείται για αγροτικές ενέργειες, ενώ μόνο το 8% για το αστικό περιβάλλον (Pedraza, 2017).

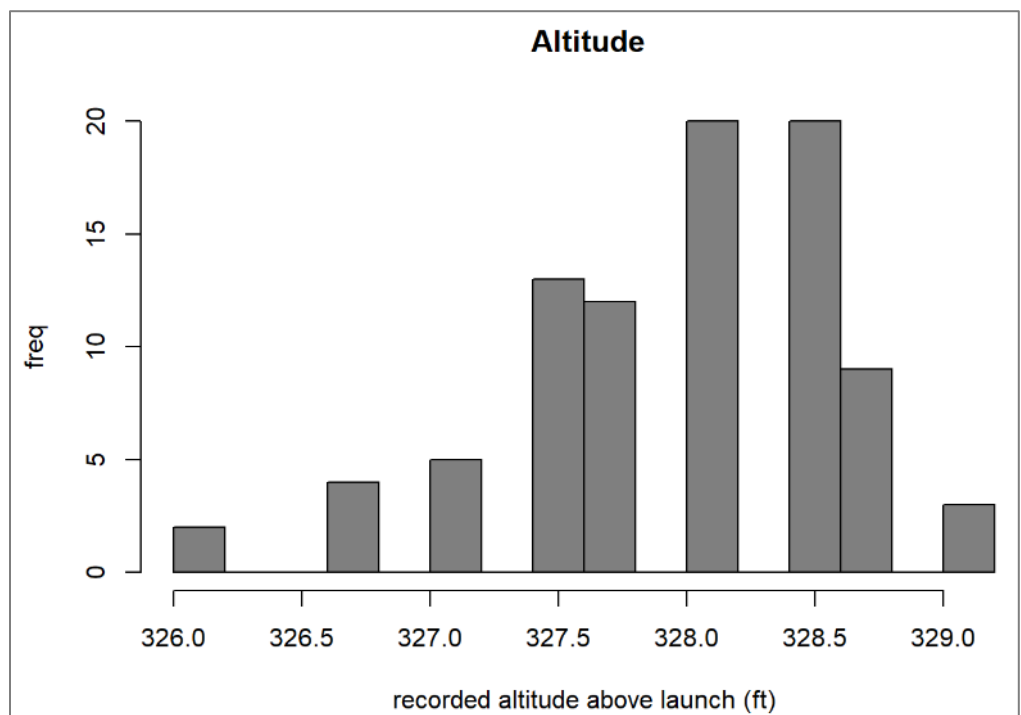
2.2 Δεδομένα

Τα δεδομένα στα οποία βασίστηκε η εργασία λήφθηκαν από τον ακόλουθο σύνδεσμο: <https://dronecamp.github.io/2020/2020-06-23.html#processing-uav-images-with-arcgis-pro>.

Χρησιμοποιήθηκαν ακατέργαστες εικόνες και μεταδεδομένα από τις 10 Ιουνίου του 2020, από μία κάμερα DJI ZenMuse X3, και ένα αρχείο csv με τα σημεία ελέγχου εδάφους (ground control points – GCP). Τα GCP είναι γεωγραφικού συστήματος WGS_1984_UTM_Zone10N. Οι εικόνες που λήφθηκαν είναι 88 και καλύπτουν μια έκταση 25.58 άκρων (~103.518,587 m²) και είναι μεγέθους 4000 x 3000. Από τα στατιστικά των εικόνων προκύπτει ότι οι περισσότερες παρουσιάζουν ποσοστό αλληλοεπικάλυψης ~90% (Εικόνα 2.1) και λήφθηκαν από ύψος 327,5 – 328,5 ft (~100 μέτρα) (Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.1: Ποσοστό αλληλοεπικάλυψης εικόνων



Εικόνα 2.2: Ύψος λήψης εικόνων

3. Περιγραφή Μεθοδολογίας

Για την διεκπεραίωση της εργασίας και την εξαγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων εκτελέστηκαν τα βήματα που απεικονίζονται στο διάγραμμα ροής (Διάγραμμα 3.1). Αρχικά έγινε λήψη των δεδομένων για την περιοχή μελέτης. Στο ArcGIS Pro προστέθηκαν οι εικόνες drone σε ένα νέο Workspace, με τοπογραφικό υπόβαθρο, για να εμφανιστούν τα αποτυπώματα των εικόνων, οι θέσεις της κάμερας και η διαδρομή της πτήσης. Για να ενωθούν οι εικόνες σωστά μεταξύ τους χρειάζονται σημεία κλειδιά (key points) και σημεία σύνδεσης (tie points) του γεωμετρικού μοντέλου μετασχηματισμού, για την διαδικασία της Προσαρμογής (Adjust). Έπειτα, λήφθηκαν υπόψιν τα επτά Ground Control Points, και προστέθηκαν τα σημεία στις κατάλληλες εικόνες. Η διαδικασία της προσαρμογής ξανά εκτελέστηκε ώστε να διαπιστωθεί η βελτίωση των αποτελεσμάτων μετά την χρήση των σημείων ελέγχου εδάφους.

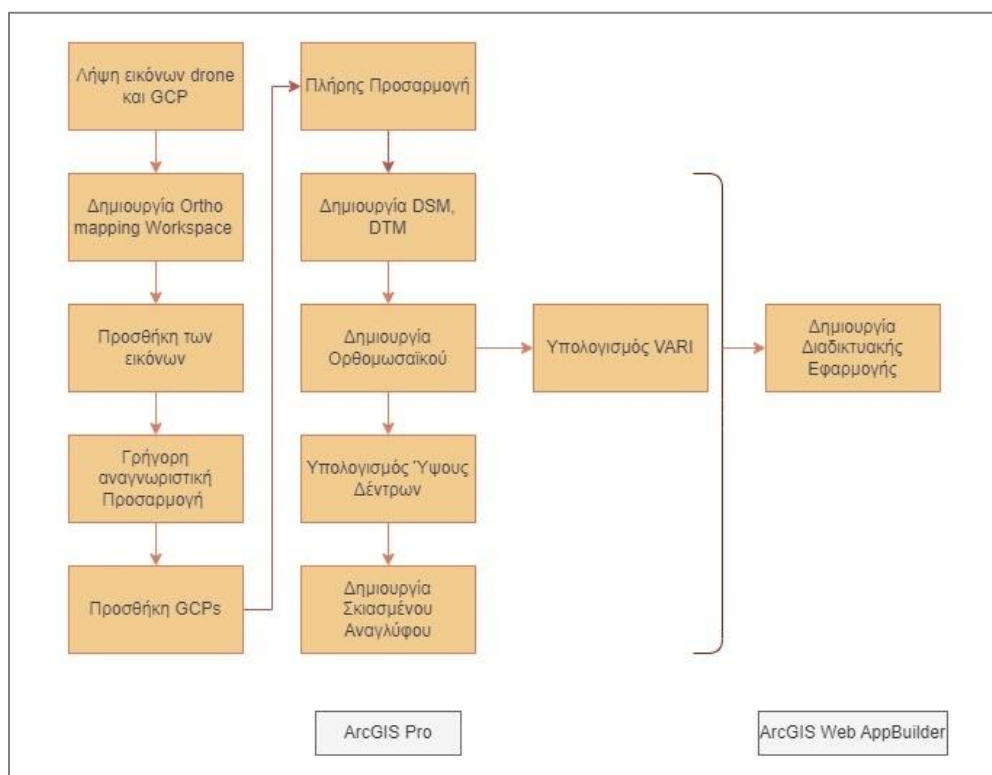
Στη συνέχεια, παράχθηκε το DSM (Digital Surface Model) της περιοχής με την υπολογιστικά αποδοτική μέθοδο Multi-View Matching, η οποία συγχωνεύει περιττές εκτιμήσεις βάθους σε ένα μονό μοντέλο stereo και παράγει πυκνά τρισδιάστατα σημεία (ESRI, 2023). Η χωρική παρεμβολή έγινε με την μέθοδο TIN Natural Neighbor Interpolation, και η εξομάλυνση έγινε με την μέθοδο Gaussian 3 by 3. Για την παραγωγή του DTM (Digital Terrain Model) εκτελέστηκαν τα ίδια βήματα. Μετά από αυτά δημιουργήθηκε το Ορθομωσαϊκό της περιοχής μελέτης. Τα solution points που δημιουργήθηκαν και τα tie points ισούνται με 8000 και 2000 αντίστοιχα.

Ακόμα, υπολογίστηκε το ύψος των δέντρων (Canopy Height Model) εκτελώντας την ακόλουθη αφαίρεση των tiff αρχείων: DSM – DTM. Τα ύψη των δέντρων υπολογίζονται σε μέτρα. Από αυτό το επίπεδο υπολογίστηκε το σκιασμένο ανάγλυφο (Hillshade) της περιοχής με την μέθοδο multidirectional, για να βελτιωθεί η απεικόνιση του εδάφους συνδυάζοντας πολλές πηγές φωτός.

Ύψιστης σημασίας θεωρείται ο υπολογισμός της υγείας της βλάστησης. Από το ορθομωσαϊκό υπολογίστηκε ο δείκτης VARI (Visual Atmospheric Resistance Index) με RGB χρωματισμό. Για να κατανοηθεί καλύτερα το αποτέλεσμα οπτικοποιήθηκαν στον ίδιο χάρτη το ορθομωσαϊκό και ο δείκτης VARI. Ακολούθησε ο διαμοιρασμός των επιπέδων ως διαδικτυακό χάρτη και συνεχίστηκε η διαδικασία δημιουργίας διαδικτυακής εφαρμογής στο ArcGIS Online και στο ArcGIS Web AppBuilder.

Ειδικότερα, σε μία νέα εφαρμογή προστέθηκαν τα ψηφιδωτά και διανυσματικά επίπεδα που δημιουργήθηκαν προηγουμένως στο ArcGIS Pro. Η εφαρμογή εμπλουτίστηκε με 4 εργαλεία (widgets) εξαρτόμενα και μη. Με αυτά οι χρήστες μπορούν να αλλάξουν το υπόβαθρο του χάρτη, να προσθέσουν

προσωπικά τους δεδομένα, να διαμοιραστούν την εφαρμογή, και να μετρήσουν αποστάσεις και εμβαδά στα επίπεδα.



Διάγραμμα 3.1: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας

Η γεωαναφορά των ψηφιδωτών επιπέδων με τη χρήση σημείων ελέγχου είναι πολύ σημαντική και συχνή πρακτική. Τα επίγεια σημεία ελέγχου (ground control points - GCPs) έχουν γνωστές συντεταγμένες x , y , z και είναι θέσεις που προσδιορίζονται ακριβώς τόσο στην πραγματικότητα όσο και στα αντίστοιχα ψηφιδωτά δεδομένα. Ως σημεία ελέγχου συνήθως επιλέγονται διασταυρώσεις δρόμων και ποταμών, οι γωνίες ενός κτήματος ή δρόμων, εξάρσεις βράχων, ή και η διασταύρωση φρακτών. Τα GCPs συντελούν στην μετατόπιση και στρέβλωση των ψηφιδωτών δεδομένων, και την μετακίνησή τους στην ορθή θέση χωρικά. Όταν συνδέεται ένα σημείο του raster με ένα σημείο ελέγχου, τότε δημιουργείται ένα ζεύγος σημείων ελέγχου. Ιδανική πρακτική είναι οι συνδέσεις να κατανέμονται ισάξια στο χώρο, να υπάρχει έστω μία σε κάθε γωνία του επιπέδου, και να μην συγκεντρώνονται σε μία περιοχή, κάτι που δεν είναι πάντα εφικτό. Αν εμφανίζονται συγκεντρώσεις συνδέσεων σε μία περιοχή τότε οι υπόλοιπες πιθανόν να μην ευθυγραμμιστούν σωστά (ESRI, 2023).

Η γεωμετρική διόρθωση των δεδομένων χρειάζεται λόγω παραμορφώσεων που οφείλονται στον αισθητήρα, το drone και τη μετατόπιση του εδάφους. Μετά την προσαρμογή των δεδομένων βάσει των

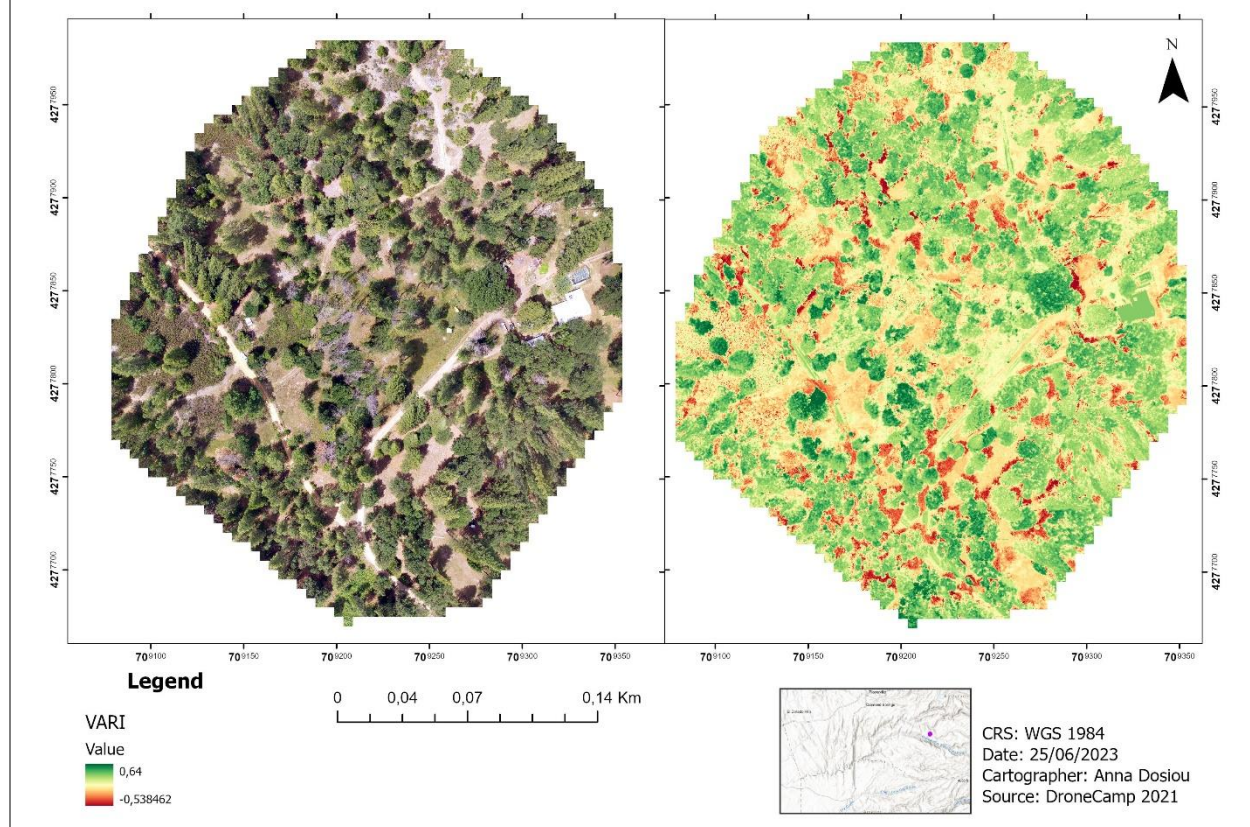
επίγειων σημείων ελέγχου, υπολογίζονται αυτόματα οι διαφορές μεταξύ της πραγματικής και εικονικής θέσης ενός σημείου. Οι ορθά γεωαναφερμένες περιοχές παράγουν και ακριβή ψηφιακά μοντέλα εδάφους και επιφάνειας. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) απεικονίζει μόνο την μορφολογία του εδάφους, ενώ το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας (DSM) συμπεριλαμβάνει και τα υψόμετρα των δέντρων, κτηρίων και άλλων χαρακτηριστικών που προεξέχουν από το έδαφος. Για να δημιουργηθούν τα κατάλληλα επίπεδα χρειάζεται οι αρχικές εικόνες να αλληλοεπικαλύπτονται κατά 80% κατά μήκος μίας γραμμής πτήσης και 60% μεταξύ όλων των γραμμών πτήσεων. Επίσης, βασικό προϊόν των αεροφωτογραφιών είναι η δημιουργία του ορθομωσαϊκού, το οποίο είναι μια ορθοδιορθωμένη εικόνα που δημιουργείται από την συλλογή αεροφωτογραφιών, αφού έχουν εφαρμοστεί οι γεωμετρικές και χρωματικές διορθώσεις (ESRI, 2023).

4. Αποτελέσματα

Από τα βήματα που εκτελέστηκαν προέκυψε ο χάρτης 4.1. Σε αυτόν παρουσιάζεται το ορθομωσαϊκό της περιοχής μελέτης και συγκρίνεται με την υγεία της βλάστησης, η οποία οπτικοποιείται με τον δείκτη VARI. Η υγιής βλάστηση συμβολίζεται με κόκκινο χρώμα, και όσο το χρώμα αλλάζει προς το πράσινο η βλάστηση κρίνεται λιγότερο υγιής. Εντοπίζονται περιοχές με έντονο κόκκινο χρώμα οι οποίες είναι οι σκιές των δέντρων, και περιοχές με έντονο πράσινο χρώμα που είναι τα κτήρια και αυτοκίνητα που υπάρχουν. Από τον χάρτη συμπεραίνεται ότι, η υγεία του μεγαλύτερου μέρους της βλάστησης κρίνεται κακή έως μέτρια.

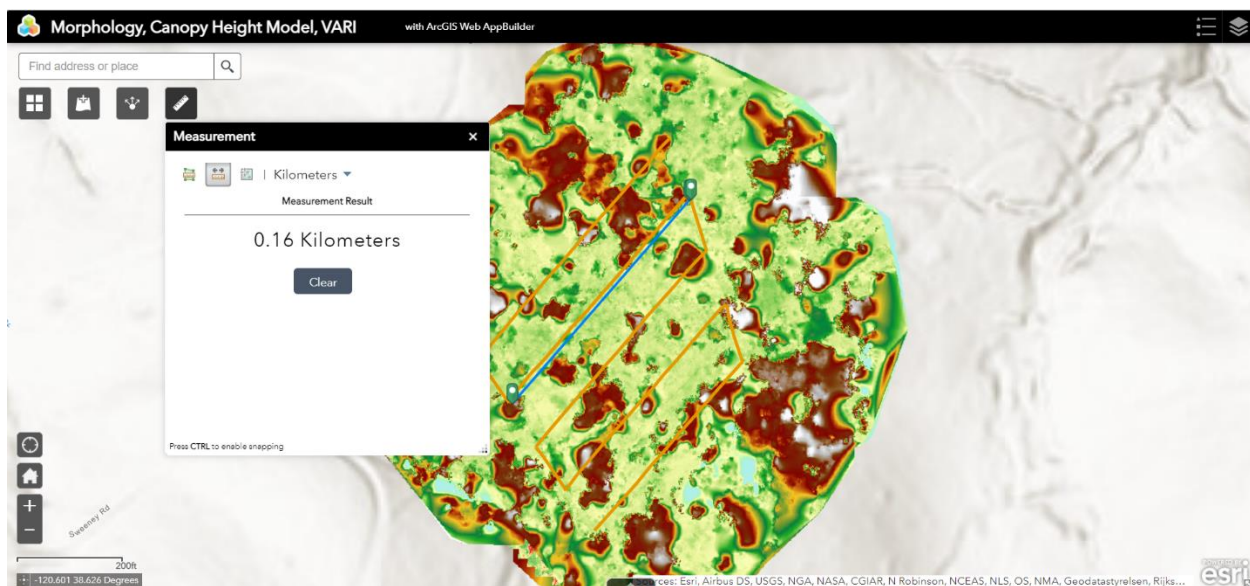
Ο σύνδεσμος της διαδικτυακής εφαρμογής είναι ο ακόλουθος: <https://hua2021.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=f12912f82cee416bada601bde2c8b7ce>. Σε αυτήν απεικονίστηκαν τα ψηφιακά μοντέλα επιφάνειας και εδάφους, το ορθομωσαϊκό, η υγεία της βλάστησης, το ύψος των δέντρων (canopy height model), η πτήση του drone, και τα επίγεια σημεία ελέγχου. Όπως απεικονίζεται και στην εφαρμογή το μεγαλύτερο υψόμετρο εδάφους ανέρχεται στα 936 μέτρα, ενώ του DSM στα 944 μέτρα το οποίο είναι λογικό αφού συμπεριλαμβάνει κάθε αντικείμενο τεχνητό ή φυσικό πάνω στην επιφάνεια της γης.

Map of Orthomosaic and VARI Index, foothills of El Dorado County, California



Χάρτης 4.1: Χάρτης σύγκρισης του ορθομωσαϊκού και της υγείας της βλάστησης (VARI) της περιοχής μελέτης

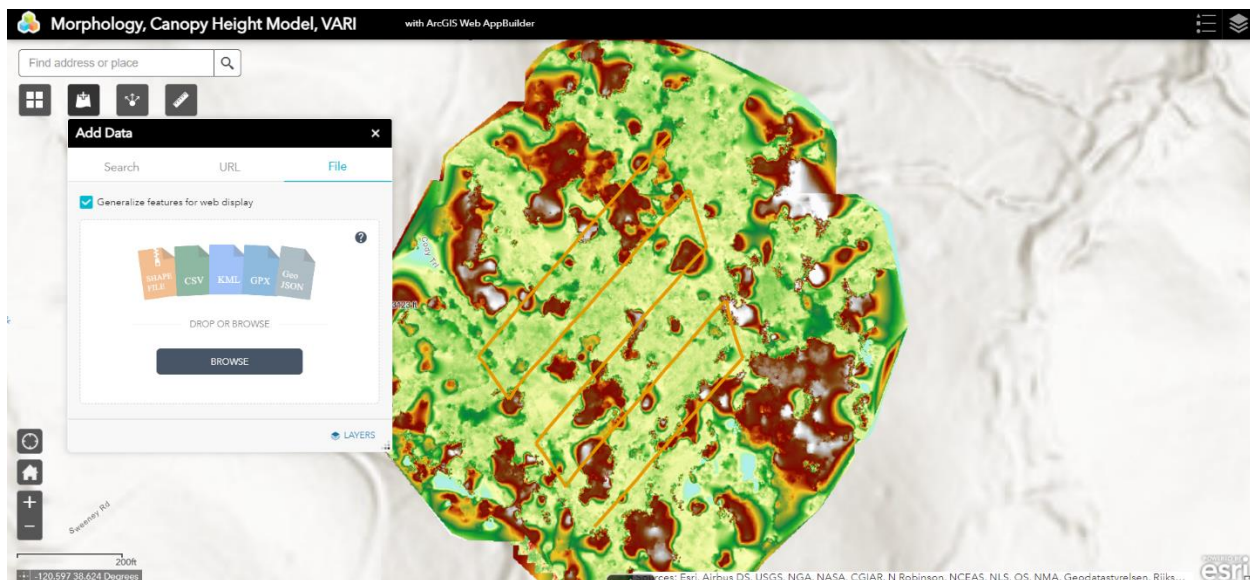
Στις εικόνες 4.1 – 4.4 παρουσιάζεται η εφαρμογή και τα εργαλεία που διαθέτει ώστε ο χρήστης να αλληλοεπιδρά και να τον διευκολύνουν. Με το πρώτο εργαλείο δίνεται η δυνατότητα μέτρησης αποστάσεων και περιοχών του χάρτη. Το δεύτερο εργαλείο επιτρέπει τον χρήστη να μοιραστεί την εφαρμογή στα μέσα κοινωνικής του δικτύωσης ή μέσω email. Ακόμα, το τρίτο εργαλείο κρίνεται πολύ σημαντικό και εύχρηστο αφού ο χρήστης μπορεί να εισάγει αρχεία από τον υπολογιστή του, το διαδίκτυο, και την πλατφόρμα του ArcGIS Online μέσα στην εφαρμογή. Έτσι μπορεί να οπτικοποιήσει ότι θέλει και να το συγκρίνει με τα υπάρχοντα δεδομένα και αποτελέσματα. Τέλος, το 4^ο εργαλείο βοηθά στην καλύτερη απεικόνιση της εφαρμογής βάσει των αναγκών και των προτιμήσεων του εκάστοτε χρήστη, καθώς επιτρέπει την αλλαγή του υποβάθρου της εφαρμογής. Το αρχικό υπόβαθρο είναι ένας τοπογραφικός χάρτης.



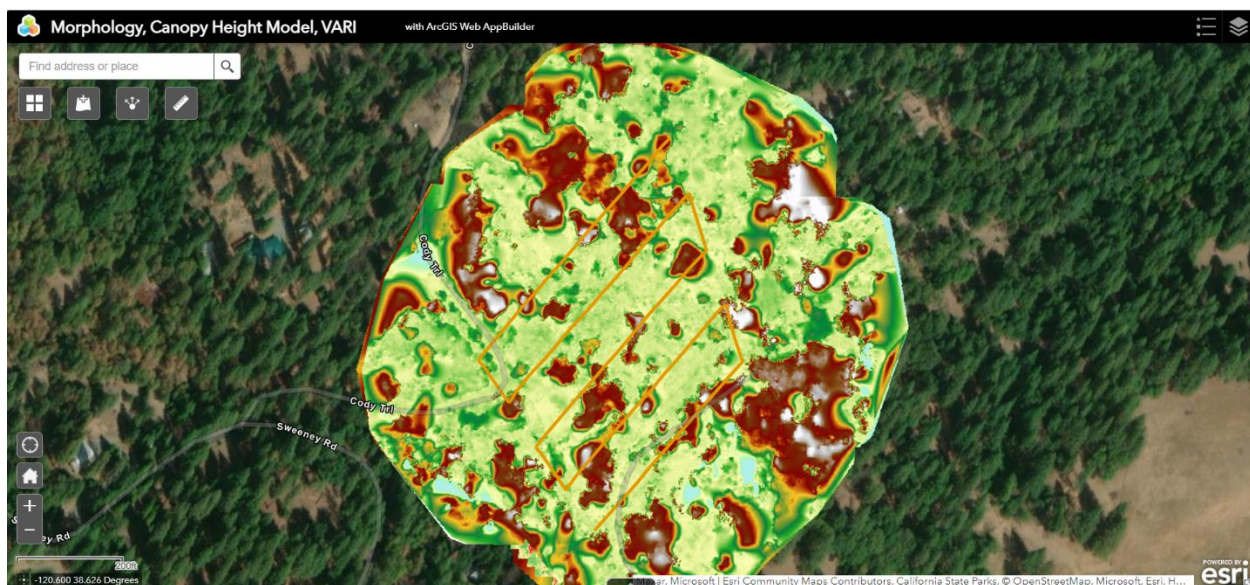
Εικόνα 4.1: Διαδικτυακή εφαρμογή - Εργαλείο μέτρησης απόστασης/εμβαδού



Εικόνα 4.2: Διαδικτυακή εφαρμογή - Εργαλείο διαμοιρασμού της εφαρμογής



Εικόνα 4.3: Διαδικτυακή εφαρμογή - Εργαλείο προσθήκης δεδομένων στην εφαρμογή



Εικόνα 4.4: Διαδικτυακή εφαρμογή - Εργαλείο αλλαγής υποβάθρου εφαρμογής

5. Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Η επεξεργασία των αεροφωτογραφιών οδήγησε στην εξαγωγή χρήσιμων επιπέδων για την μορφολογία και την βλάστηση της περιοχής μελέτης. Συμπεραίνεται ότι το υψόμετρο δεν διαφοροποιείται πολύ, κατά μέσο όρο 32 μέτρα. Ακόμα, η βλάστηση έχει όντως επηρεαστεί έντονα από τα σκαθάρια του φλοιού, αφού το μεγαλύτερο ποσοστό της παρουσιάζει υγεία κάτω του μετρίου, πράγμα ανησυχητικό αλλά αναμενόμενο.

Η κάμερα DJI Zenmuse X3 καταγράφει το ορατό φως και δεν προορίζεται για εφαρμογές που απαιτούν διαφορετικά φάσματα, όπως ο υπολογισμός του δείκτη βλάστησης (NDVI) που για να υπολογιστεί χρειάζεται το κανάλι του κοντινού υπέρυθρου και του κόκκινου. Για να υπολογιστεί αυτό και άλλες εφαρμογές απαιτείται πολυφασματική ή υπερφασματική κάμερα ή αισθητήρας για αυτούς τους σκοπούς. Οπότε, στην παρούσα εργασία τα χαρακτηριστικά της κάμερας, άρα και των αεροφωτογραφιών, εμποδίζουν την παραγωγή εξίσου χρήσιμων και καθοριστικών δεικτών βλάστησης. Η δημιουργία αυτών των επιπέδων θα βοηθούσε στην ορθότερη και πιο εμπεριστατωμένη κατανόηση της περιοχής μελέτης, και ειδικότερα της βλάστησής της.

Ο δείκτης NDVI αποτελεί μέτρο της ποσότητας του πράσινου μιας περιοχής. Συνδέεται άρρηκτα με την βιομάζα της βλάστησης και την ενεργό ακτινοβολία που απορροφάται από την φωτοσύνθεση. Σε περιοχές μεσογειακού κλίματος, όπως η περιοχή μελέτης, είναι πολύ χρήσιμος επειδή η υψηλή φυτοκάλυψη μειώνει την επιρροή που έχει το χρώμα του εδάφους. Τα δεδομένα του δείκτη βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI) συντελούν άμεσα στην μελέτη της εξέλιξης της ξηρασίας και των επιπτώσεών της στην βλάστηση μιας περιοχής (Dong, et al., 2019) .

Στην εργασία των Anisa, Rokhmatuloh, & Hernina, 2020, πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση της υγείας της βλάστησης βάσει του δείκτη VARI από αεροφωτογραφίες για τα φοινικόδεντρα σε μία φάρμα στην πόλη Bogor στην Jakarta. Οι εικόνες λήφθηκαν με το drone DJI Phantom 4 σε ύψος 100 μέτρων. Μετά την επεξεργασία και γεωαναφορά των αεροφωτογραφιών, παράχθηκε ο δείκτης ορατής ατμοσφαιρικής ανθεκτικότητας (VARI) με την χρήση της σχέσης $VARI = (R_g - R_r) / (R_g + R_r - R(R_g - R_b))$, όπου τα μικρά γράμματα αντιστοιχούν στα χρώματα red, green, blue. Τα αποτελέσματα χωρίστηκαν σε τέσσερις κατηγορίες, σε αυτά που χρειάζονται επιθεώρηση, σε αυτά με χαμηλή, μέση, και υψηλή υγεία. Έτσι, εξοικονομείται χρόνος και κόπος κατά την επιθεώρηση και την αποκατάσταση της περιοχής.

Επιπρόσθετα, στην εργασία των Nazir, Terhem, Norhisham, Razali, & Meder, 2021, έλαβε χώρα χαρτογράφηση με αεροφωτογραφίες από μη επανδρωμένο εναέριο όχημα για την έγκαιρη παρακολούθηση της υγείας των ευκάλυπτων μιας φυτείας στα νότια της Μαλαισίας στο νησί Borneo σε σχέση με ασθένειες. Οι εικόνες λήφθηκαν με το drone DJI Phantom 4 Pro σε ύψος 129 μέτρων. Για την παραγωγή του ορθομωσαϊκού δημιουργήθηκε και το DSM ανάλυσης 0,135 m. Έτσι τα δέντρα ταξινομήθηκαν σε τέσσερις ομάδες, σε αυτά που έχουν πεθάνει που ήταν μόλις 7, σε αυτά με σοβαρή μόλυνση, με μέτρια μόλυνση, και τα υγιή που ήταν 10,090. Στην συγκεκριμένη μελέτη η μόλυνση ήταν μικρής έκτασης οπότε η επέμβαση ήταν άμεση.

Οι Mohan , et al., 2017, στο Cache Creek στην πολιτεία Wyoming επεξεργάστηκαν 383 αεροφωτογραφίες που λήφθηκαν από την ψηφιακή κάμερα RGB —PowerShot S100 της Canon. Το νέφος σημείων που προέκυψε από την επεξεργασία των εικόνων βοήθησε στη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και του Canopy Height Model. Για να ανιχνευθούν οι κορυφές των δέντρων χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση FindTreesCHM. Αυτή βασίζεται σε αλγόριθμο μηχανικής μάθησης και αναζητά τις κορυφές των δέντρων με ένα σταθερού μεγέθους παράθυρο που κινείται (Fixed True Window Size - FWS). Για να βρεθεί το παράθυρο με την καλύτερη δυνατότητα ανίχνευσης δέντρων δοκιμάστηκαν παράθυρα μη εξομαλυμένου ύψους δέντρων και παράθυρα εξομαλυμένου ομαλά ύψους δέντρων.

6. Συμπεράσματα και προτεινόμενες κατευθύνσεις συνέχισης της εργασίας

Τα τελευταία χρόνια η πολιτεία της Καλιφόρνια ταλανίζεται από τα φαινόμενα έντονης ξηρασίας και των υψηλών θερμοκρασιών. Αυτά προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή, και προκαλούν πολλές επιπτώσεις στην βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα. Η βλάστηση της ευρύτερης περιοχής έχει υποστεί τόσο ξηρασία που πλέον έχει μειωθεί δραματικά. Όση έχει απομείνει πιθανότητα θα πάψει να υπάρχει καθώς ένα μεγάλο ποσοστό αυτής είναι μολυσμένο από ασθένειες, όπως η ασθένεια των σκαθαριών του φλοιού. Τα δέντρα στην περιοχή μελέτης έχουν προσβληθεί στο μεγαλύτερο ποσοστό τους, με αποτέλεσμα να είναι πολύ ανησυχητικό για την εξέλιξη του τοπίου. Επιβεβλημένη είναι η ανάγκη για άμεση μελέτη και παρακολούθηση του φαινομένου, ώστε να αντιμετωπιστεί το συντομότερο σε κάποιο βαθμό. Όσα δέντρα δεν μπορούν να σωθούν καλό θα ήταν να αντικατασταθούν από άλλα υγιή, και τα υπόλοιπα να επιθεωρούνται συχνά και να ενισχυθεί η υγεία τους με τα κατάλληλα φάρμακα. Επιπλέον, οι περιοχές, όπως αυτή, με ξερή βλάστηση αποτελούν καύσιμη ύλη για μία πιθανή επερχόμενη πυρκαγιά.

Πολύ χρήσιμο θα ήταν στο μέλλον η μελέτη αυτή να εξελιχθεί στον τομέα της πιθανότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς. Αυτό μπορεί να υλοποιηθεί με την αξιολόγηση της ποσότητας της καύσιμης ύλης, είτε μέσω του Canopy Height Model, είτε μέσω ανοιχτών βάσεων δεδομένων και προϊόντων. Οι περιοχές με χαμηλό υψόμετρο δέντρων ή και έλλειψη θα χαρακτηριστούν με χαμηλή τιμή, ενώ με υψηλή τιμή όσες περιοχές έχουν μεγάλο ύψος δέντρων. Επίσης, πολύ σημαντικό κρίνεται να υπολογιστεί ο κανονικοποιημένος δείκτης διαφοράς βλάστησης (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index), και ο κανονικοποιημένος λόγος καύσης (NBR - Normalized Burn Ratio). Ο NDVI βοηθά στην κατανόηση της

υγείας και της πυκνότητας της βλάστησης. Ο NBR αξιολογεί τις καμένες εκτάσεις με σκοπό την αποκατάσταση της βλάστησης. Αυτός ο λόγος μπορεί να ενισχυθεί από ιστορικά δεδομένα για την εκδήλωση πυρκαγιάς στην ευρύτερη περιοχή, ώστε τα δεδομένα αυτά να αποτελέσουν την βάση της μελέτης. Βάσει των προηγούμενων στην περιοχή θα αποδοθούν τιμές ανάλογα με την επικινδυνότητα πυρκαγιάς και θα χαρτογραφηθούν τα σημεία με υψηλότερο κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς. Η πραγματοποίηση αυτών των ενεργειών μπορούν να αποτρέψουν την περαιτέρω καταστροφή τόσο της περιοχής μελέτης όσο και του ευρύτερου περιβάλλοντος.

Για να υπολογιστούν όμως τα παραπάνω θα χρειαστούν εικόνες της περιοχής από πιο ειδικές κάμερες, όπως πολυφασματικές ή υπερφασματικές, ώστε να καταγράψουν σε πολλά κανάλια την επίγεια πληροφορία, καθώς η κάμερα αυτής της εργασίας δεν είναι εφικτό να υπολογίσει όσα προαναφέρθηκαν αφού λαμβάνει δεδομένα μόνο στο ορατό φάσμα. Επιπλέον, θα μπορούσαν τα αποτελέσματα να συγκριθούν με ιστορικά αρχεία θερμοκρασιών για να μελετηθεί με κάποια χρονοσειρά πως επηρεάστηκαν βάσει της αύξησης της θερμοκρασίας ανά τα έτη, αλλά και πως προβλέπεται να επηρεαστούν στο κοντινό μέλλον.

7. Βιβλιογραφία

- Anisa, M., Rokhmatuloh, & Hernina, R. (2020). UAV application to estimate oil palm trees health using Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) (Case study of Cikabayan Research Farm, Bogor City). *The 1st JESSD Symposium: International Symposium of Earth, Energy, Environmental Science and Sustainable Development 2020*. 211, σσ. 1-7. Indonesia: E3S Web Conf.
- DJI. (2023, June 25). *DJI - Official Website*. Ανάκτηση από ZENMUSE X3Specs: <https://www.dji.com/gr/zenmuse-x3/info>
- Dong, C., MacDonald, G., Willis, K., Gillespie, T., Okin, G., & Williams, A. (2019, March 07). Vegetation Responses to 2012–2016 Drought in Northern and Southern California. *Geophysical Research Letters*, 46(7), σσ. 3810-3821. doi:<https://doi.org/10.1029/2019GL082137>
- ESRI. (2023, June 25). *ArcGIS Pro - Imagery Workflows | Documentation*. Ανάκτηση από Create Drone Imagery Products in ArcGIS Pro: <https://doc.arcgis.com/en/imagery/workflows/tutorials/create-drone-imagery-products-ortho-mapping.htm>
- ESRI. (2023, June 24). *ArcGIS Pro | Documentation*. Ανάκτηση από Generate ortho mapping products using the custom wizard: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/data/imagery/generate-ortho-mapping-products-using-the-custom-wizard.htm>
- ESRI. (2023, June 25). *ArcGIS Pro | Documentation*. Ανάκτηση από Overview of georeferencing: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/data/imagery/overview-of-georeferencing.htm>
- IGIS, Agriculture and Natural Resources, University of California. (2020, June 23). *Exercise Guide*. Ανάκτηση από DroneCamp: <https://dronecamp.github.io/2020/2020-06-23.html#processing-uav-images-with-arcgis-pro>
- Meeker, G., Lowers, H., Swayze, G., Van Gosen, B., Sutley, S., & Brownfield, I. (2006). *Mineralogy and morphology of amphiboles observed in soils and rocks in El Dorado Hills, California*. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Open-File Report.
- Mohan, M., Silva, C., Klauberg, C., Jat, P., Catts, G., Cardil, A., . . . Dia, M. (2017, September 11). Individual Tree Detection from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Derived Canopy Height Model in an Open Canopy Mixed Conifer Forest. *Forests*, 8(9), σσ. 3-17. doi:<https://doi.org/10.3390/f8090340>
- Nazir, M., Terhem, R., Norhisham, A., Razali, S., & Meder, R. (2021, October 13). Early Monitoring of Health Status of Plantation-Grown Eucalyptus pellita at Large Spatial Scale via Visible Spectrum Imaging of Canopy Foliage Using Unmanned Aerial Vehicles. *Forests*, 12(10), σσ. 1-19. doi:<https://doi.org/10.3390/f12101393>
- Pathak, T., Maskey, M., Dahlberg, J., Kearns, F., Bali, K., & Zaccaria, D. (2018, February 26). Climate Change Trends and Impacts on California Agriculture: A Detailed Review. *Agronomy*, 8(25), σσ. 1-27. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy8030025>

Pedraza, M. M. (2017). *Modeling Climate Change Impacts on Water Resources for the Sacramento River Hydrologic Region*. Sacramento: California State University.

Singh, P., Sharma, M., Saikhom, V., Chutia, D., Gupta, C., Chouhan, A., & Raju, P. (2018, January 25). Towards generation of effective 3D surface models from UAV imagery using open source tools. *Current Science*, 114(2), σσ. 314–321. Ανάκτηση από <http://www.jstor.org/stable/26495067>

University of California. (2023, June 25). *Forest Research and Outreach*. Ανάκτηση από Tree Mortality: https://ucanr.edu/sites/forestry/Insects_and_disease/Tree_Mortality/