

Αυτόματη ταξινόμηση τύπων εδαφοκάλυψης στα Ιόνια Νησιά

Μία εφαρμογή βαθιάς μάθησης μέσω U-NET

Βασίλης Πολλάτος*, Λουκάς Κουβαράς**, Γιώργος Βούτος***, Ελένη Χάρου****, Αριστοτέλης Μαρτίνης***, Φοίβος Μυλωνάς***

*ΕΜΠ, Αθήνα, Ελλάδα vaspoll97@gmail.com

**Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, Ελλάδα

*** Ιόνιο Πανεπιστήμιο, Κέρκυρα, Ελλάδα george.voutos@gmail.com

**** ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, Αθήνα, Ελλάδα exarou@iit.demokritos.gr

Σκοπός: Η εργασία στοχεύει στην ανάπτυξη ενός συστήματος που αυτοματοποιεί τη διαδικασία προσδιορισμού του τύπου εδαφοκάλυψης. Η μελέτη έγινε στην περιοχή των Ιονίων νησιών, περιοχή με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά γεωμορφολογίας και φυσικού περιβάλλοντος. Με την πάροδο του χρόνου παρατηρούνται μεταβολές στον τύπο εδαφοκάλυψης λόγω αλλαγής της τοπικής οικονομίας και ανθρωπίνης δραστηριότητας (στροφή από την αγροτική στην τουριστική οικονομία, επέκταση οικισμών) αλλά και από φυσικά φαινόμενα (πυρκαγιές, καθιζήσεις, αναδασώσεις κτλ). Παρόμοια φαινόμενα παρατηρούνται και σε άλλες περιοχές πέραν του Ιονίου οπότε η ανάπτυξη ενός τέτοιου συστήματος έχει ευρύτερες εφαρμογές στη δημιουργία ενημερωμένων χαρτών κάλυψης γης που ακολουθεί τις διάφορες μεταβολές. Ιδιαίτερη έμφαση μπορεί να δοθεί στην παρακολούθηση προστατευόμενων οικοσυστημάτων. Ακόμη και αν υποθέσουμε ότι σε μια μικρή περιοχή όπως το Ιόνιο η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει σχετικά εύκολα από τον άνθρωπο ακόμη και με επιτόπια μελέτη, δεν ισχύει το ίδιο για άλλα αχανή και δυσπρόσιτα οικοσυστήματα του πλανήτη, όπου η εφαρμογή τηλεπισκόπησης καθίσταται αναγκαία.

Dataset: Για την παρούσα ερευνητική εργασία χρησιμοποιήθηκαν εικόνες του οπτικού δορυφορικού συστήματος Sentinel-2 του Προγράμματος Copernicus. Συγκεκριμένα έγινε λήψη εικόνων κατά την περίοδο των καλοκαιρινών μηνών του 2019 με ποσοστό νεφοκάλυψης κάτω του 5%. Οι εικόνες αυτές έχουν διακριτική χωρική ικανότητα 10 μέτρων. Συγκεκριμένα λήφθηκαν συνολικά 3 εικόνες:

- Μία που περιλαμβάνει τα νησιά Λευκάδα, Ιθάκη και Κεφαλονιά με ημερομηνία λήψης 27/08/2019.
- Μία με το νησί της Κέρκυρας και τους Παξούς με ημερομηνία λήψης 25/08/2019.
- Μία με το νησί της Ζακύνθου με ημερομηνία λήψης 25/08/2019.

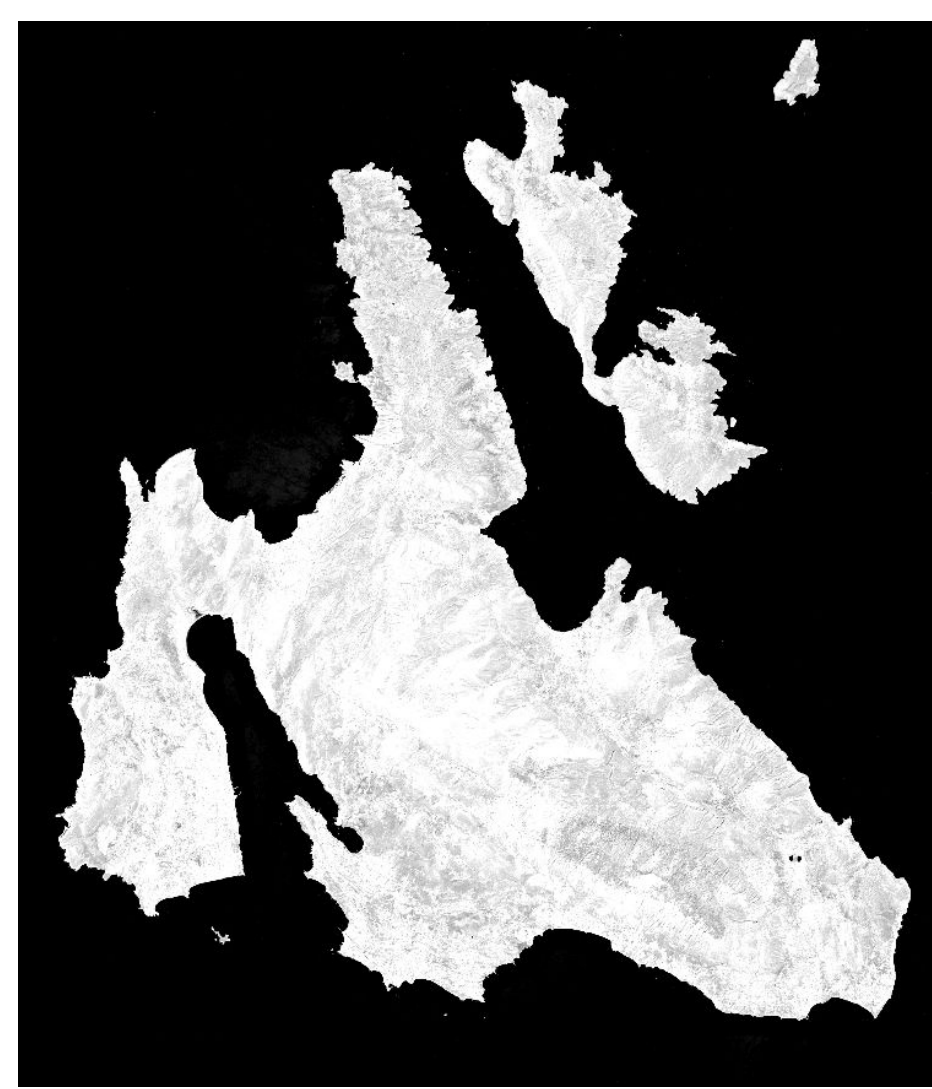
Πέραν αυτού χρησιμοποιήθηκε και το Corine του 2018 χωρικής διακριτικής ικανότητας 100 μέτρων που απεικονίζει την κάλυψη γης στις περιοχές των δορυφορικών εικόνων. Μετά την λήψη όλων των δεδομένων, από αυτά παράχθηκαν εικόνες πραγματικού χρώματος καθώς και εικόνες του μέσου υπέρυθρου μέσω του προγράμματος SNAP. Στη συνέχεια αυτά γεωαναφέρθηκαν σε κοινό σύστημα συντεταγμένων (WGS-84) και κόπηκαν σε κοινά όρια μέσω του προγράμματος ArcGIS.

Οι εικόνες αυτές εισήχθησαν σε αυτοσχέδιο πρόγραμμα επεξεργασίας γραμμένο σε python το οποίο τις έστειλε σε patches. Τα patches των δορυφορικών εικόνων ήταν τετράγωνα με πλάτος 320. Λόγω του μικρού μεγέθους του dataset εφαρμόστηκε η τεχνική data augmentation. Για το σκοπό αυτό κατά τη δημιουργία των patches προχωρούσαμε με βήμα μικρότερο του πλάτους των εικόνων δημιουργώντας επικαλύψεις. Δοκιμάστηκαν δύο βήματα, 160 και 80. Το δεύτερο οδήγησε σε μεγαλύτερη προσαύξηση των δεδομένων. Το βήμα ήταν ίδιο στην οριζόντια και στην κατακόρυφη διεύθυνση. Έτσι από ένα σύνολο 480 εικόνων χωρίς επικάλυψη οδηγηθήκαμε σε dataset 8 πλάσιου μεγέθους στην πρώτη περίπτωση και τετραπλάσιου στη δεύτερη. Οι εικόνες του corine κωδικοποιήθηκαν σαν δυαδικές τόσων καναλιών όσες οι διαφορετικές κατηγορίες κάλυψης που υπήρχαν στην περιοχή. Σε κάθε σημείο το κανάλι που αντιστοιχούσε στη σωστή κατηγορία είχε την τιμή 1 και όλα τα υπόλοιπα 0.

Για την εκπαίδευση έγινε διαχωρισμός 1/10 σε train και validation set, ο οποίος οδήγησε στο να χρησιμοποιηθεί η βόρεια Ζάκυνθος και οι Παξοί ως validation set και οι υπόλοιπες περιοχές ως train.



Κεφαλονιά (RGB bands, 10m)



Κεφαλονιά (infrared band, 10m)



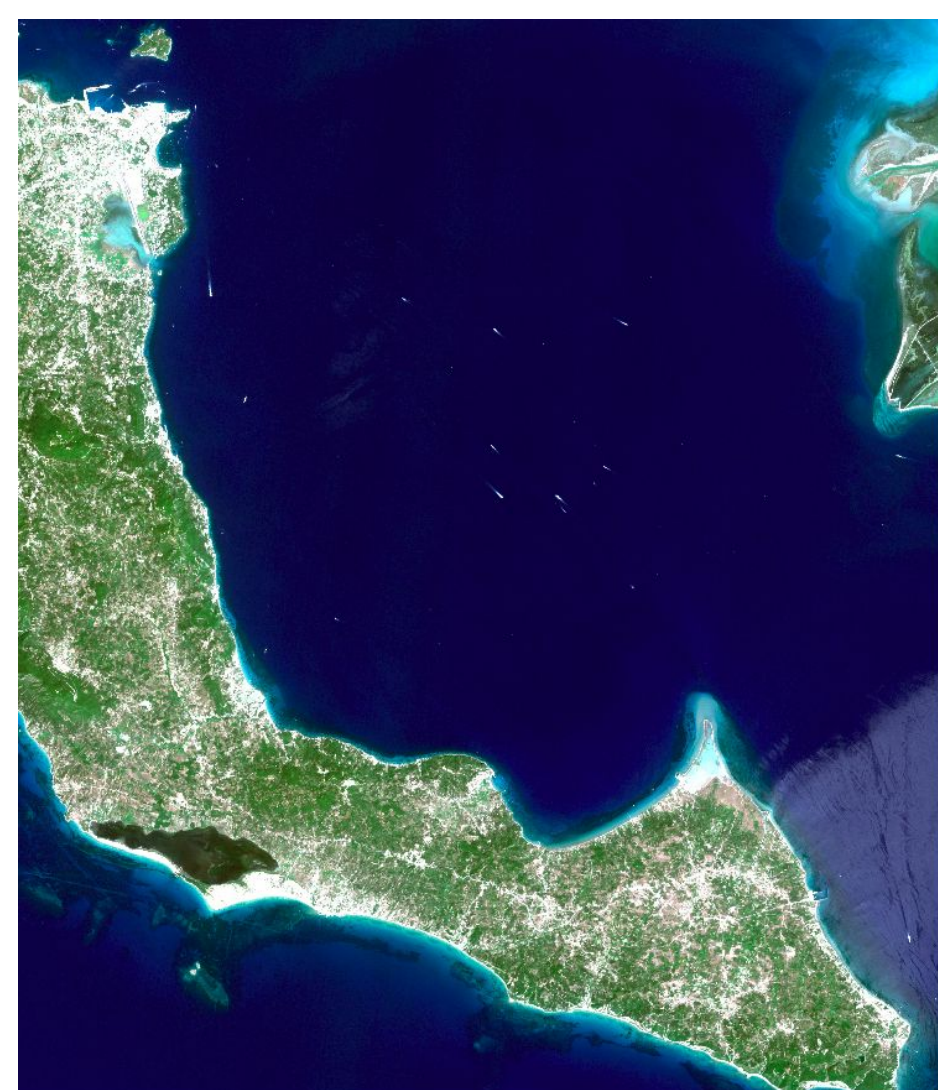
Παξοί (RGB bands, 10m)



Βόρεια Ζάκυνθος (RGB bands, 10m)



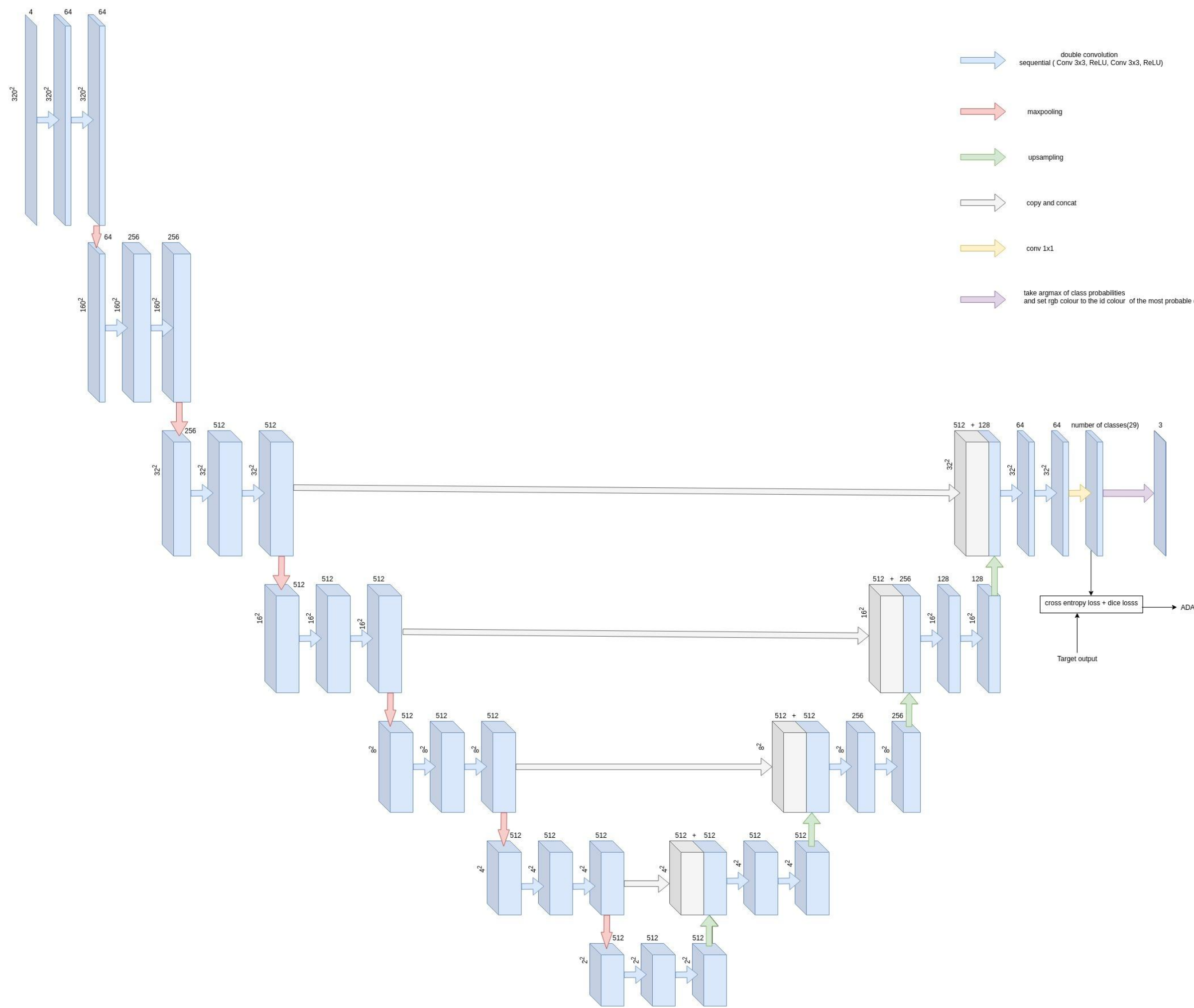
Λευκάδα (RGB bands, 10m)



Κέρκυρα (RGB bands, 10m)

Αρχιτεκτονική Δικτύου: Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα U-net προσαρμοσμένο στις διαστάσεις των δεδομένων εισόδου και εξόδου. Η είσοδος είχε μέγεθος (320,320,4) και η έξοδος (32,32,29), γιατί οι δυνατές κλάσεις ήταν 29 και η ανάλυση της κάλυψης 100m. Στην έξοδο το δίκτυο δίνει σε κάθε σημείο για κάθε μια από τις 29 κλάσεις μια πιθανότητα και επιλέγεται σε κάθε σημείο η κλάση με τη μέγιστη πιθανότητα.

Το U-net αξιοποιεί συνελίζεις, δηλαδή φίλτρα που εφαρμόζονται στις εικόνες. Έχει δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση οι μάσκες που εφαρμόζονται αποσκοπούν στην εξαγωγή κατάλληλων χαρακτηριστικών από τις εικόνες εισόδου. Κατά τη φάση αυτή το μέγεθος της εικόνας ολοένα και μειώνεται ενώ τα κανάλια αυξάνονται. Μειώνεται δηλαδή η χωρική ανάλυση αλλά αυξάνεται η ανάλυση των χαρακτηριστικών. Στη δεύτερη φάση εφαρμόζονται μάσκες στη συρρικνωμένη εικόνα που τη μεγενθύνουν προοδευτικά κατασκευάζοντας την εικόνα εξόδου. Στη φάση αυτή τα κανάλια όλο και μειώνονται ενώ στην εικόνα προστίθενται σε κάθε επίπεδο και εξοδο αντιστοιχών επιπέδων της φάσης εξαγωγής χαρακτηριστικών (shortcuts). Έτσι χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά που εξήχθησαν παράγεται τελικά η εικόνα εξόδου. Η ακριβής αρχιτεκτονική φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Το μοντέλο έχει περίπου 35.000.000 ελεύθερες παραμέτρους προς μάθηση, γεγονός που το καθιστά ευέλικτο αλλά συνάμα αυξάνει τον κίνδυνο overfitting.



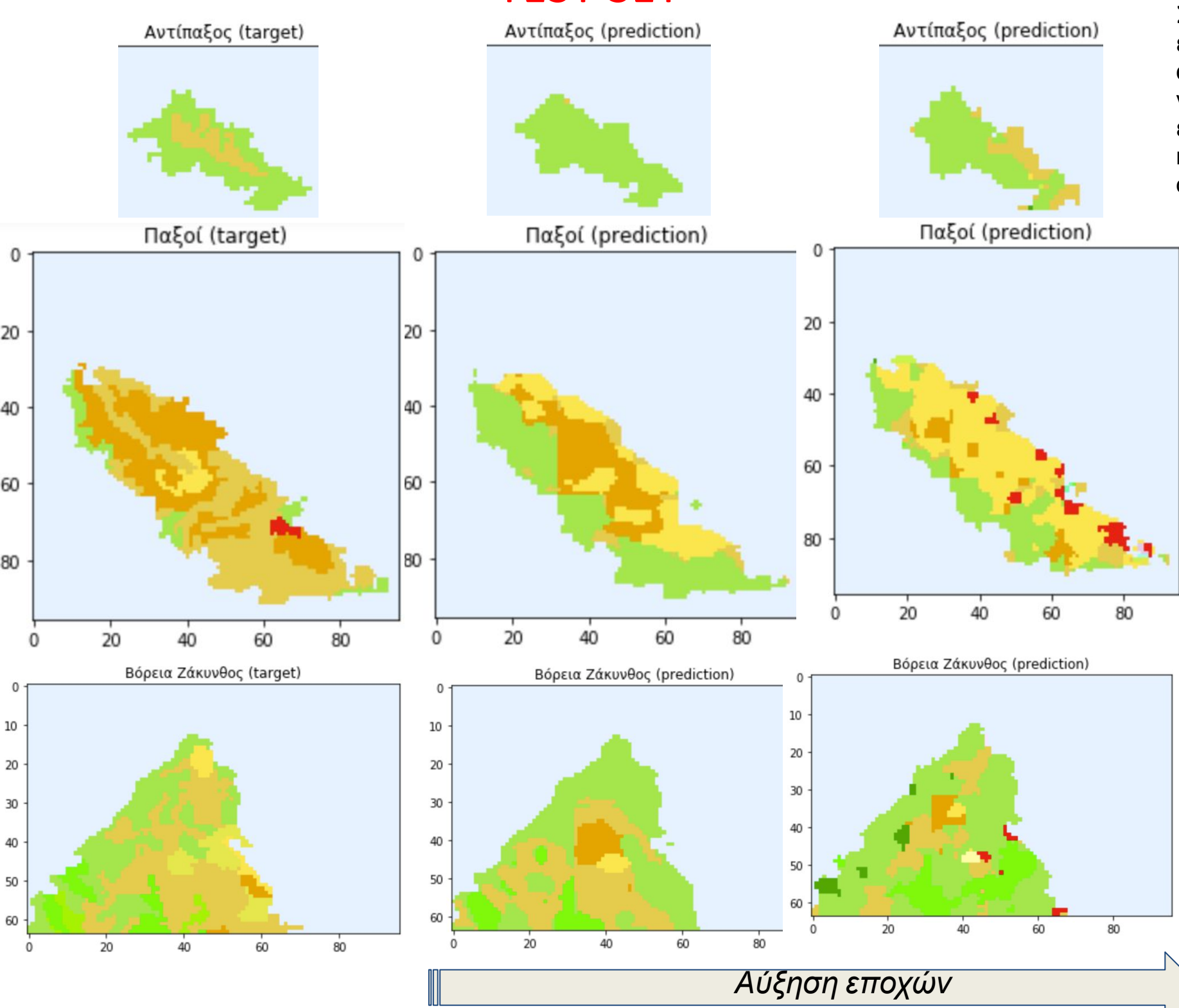
Model visualization diagram

Εκπαίδευση: Το μοντέλο εκπαιδεύτηκε from scratch πάνω στα δεδομένα train, με τα οποία τροφοδοτούνται κατά batches μεγέθους 5. Η διαδικασία εκπαίδευσης είναι επαναληπτική, δηλαδή το δίκτυο βλέπει κάθε εικόνα πολλές φορές, όσες είναι οι εποχές της εκπαίδευσης. Για τον αριθμό των εποχών έχει νόημα να ελέγχουμε το σκορ στο validation set. Αν κάποια στιγμή αυτό αρχίσει να επιδεινώνεται πρέπει να σταματήσουμε την εκπαίδευση για να αποφευχθεί το overfitting. Το διάγραμμα learning curve που τα δείχνει αυτά φαίνεται παρακάτω. Δοκιμάστηκαν δύο μοντέλα, ένα έκανε early stopping όταν άρχισε να ανεβαίνει το σφάλμα στο validation set κι ένα που συνέχισε να εκπαιδεύεται και πέρα από αυτό το σημείο.

Μιας κι έχουμε πρόβλημα classification-segmentation επιλέχθηκε ένα σταθμισμένο dice - cross_entropy loss. Χρησιμοποιήθηκε βελτιστοποιητής Adam με αρχικό learning rate=0.001 (σταδιακά μειούμενο). Το training έγινε στο google colab με χρήση GPU accelerators και τα δεδομένα ήταν αποθηκευμένα σε google drive, απ' όπου φορτώνονταν κατά την εκπαίδευση με χρήση dataloaders (δε χωρούσαν στη RAM).

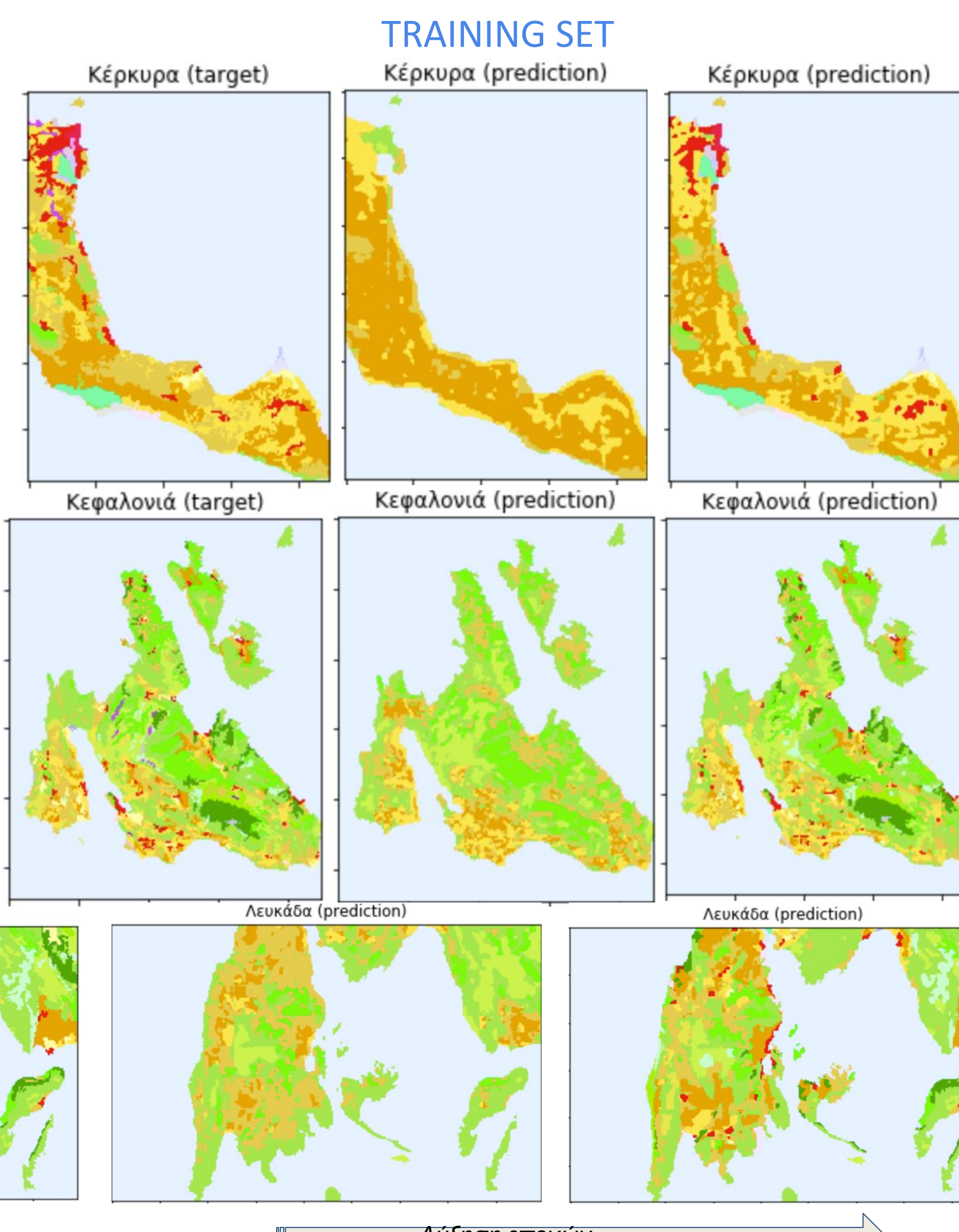
Αποτελέσματα και συζήτηση: Παρακάτω βλέπουμε εικόνες από τα αποτελέσματα του δικτύου στο σύνολο αξιολόγησης και στο σύνολο εκπαίδευσης. Στο σύνολο εκπαίδευσης έχουμε πολύ καλά αποτελέσματα, δηλαδή το μοντέλο κατάφερε να κάνει fit στα δεδομένα εκπαίδευσης, ενώ στο σύνολο αξιολόγησης έχουμε αποτελέσματα που παρουσιάζουν ασυμφωνίες με το ground truth, ωστόσο είναι λογικοφανή και έχουν μια δόση αλήθειας. Είναι ίσως λάθη που θα έκανε κι ο άνθρωπος έχοντας ως δεδομένο αποκλειστικά και μόνο τις δορυφορικές εικόνες. Άλλωστε οι κατηγορίες κάλυψης που έχουν οριστεί από το corine δεν είναι απόλυτες, μπορεί μια περιοχή να είναι μίγμα κατηγοριών και να της έχει αποδοθεί η κυριώτερη, πχ να έχουμε διάσπαρτες καλλιέργειες σε δασικές εκτάσεις. Η κάλυψη στα Ιόνια παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις, ενώ τα διακριτικά στοιχεία του land cover μπορεί να είναι λεπτομέρειες που δεν τις πετυχαίνει η ανάλυση αυτών των εικόνων. Πιθανά να απαιτούνταν περισσότερα και πιο πλούσια σε ανάλυση και κανάλια δεδομένα ή χρήση transfer learning.

TEST SET



Στα αριστερά βλέπουμε την επίδοση στο test set. Με αύξηση των εποχών μπορεί να αυξάνεται το loss, εντοπίζονται όμως σπάνιες κλάσεις/ λεπτομέρειες όπως οικισμοί.

Στις δεξιά εικόνες βλέπουμε πώς βελτιώνεται η επίδοση στο training set καθώς προχωράνε οι εποχές. Κάποιες κατηγορίες είναι πιο δύσκολο να μαθευτούν και πέραν των περισσότερων εποχών για τη μάθηση τους. Αρχικά μαθαίνονται κάποιες πιο γενικές κατηγορίες



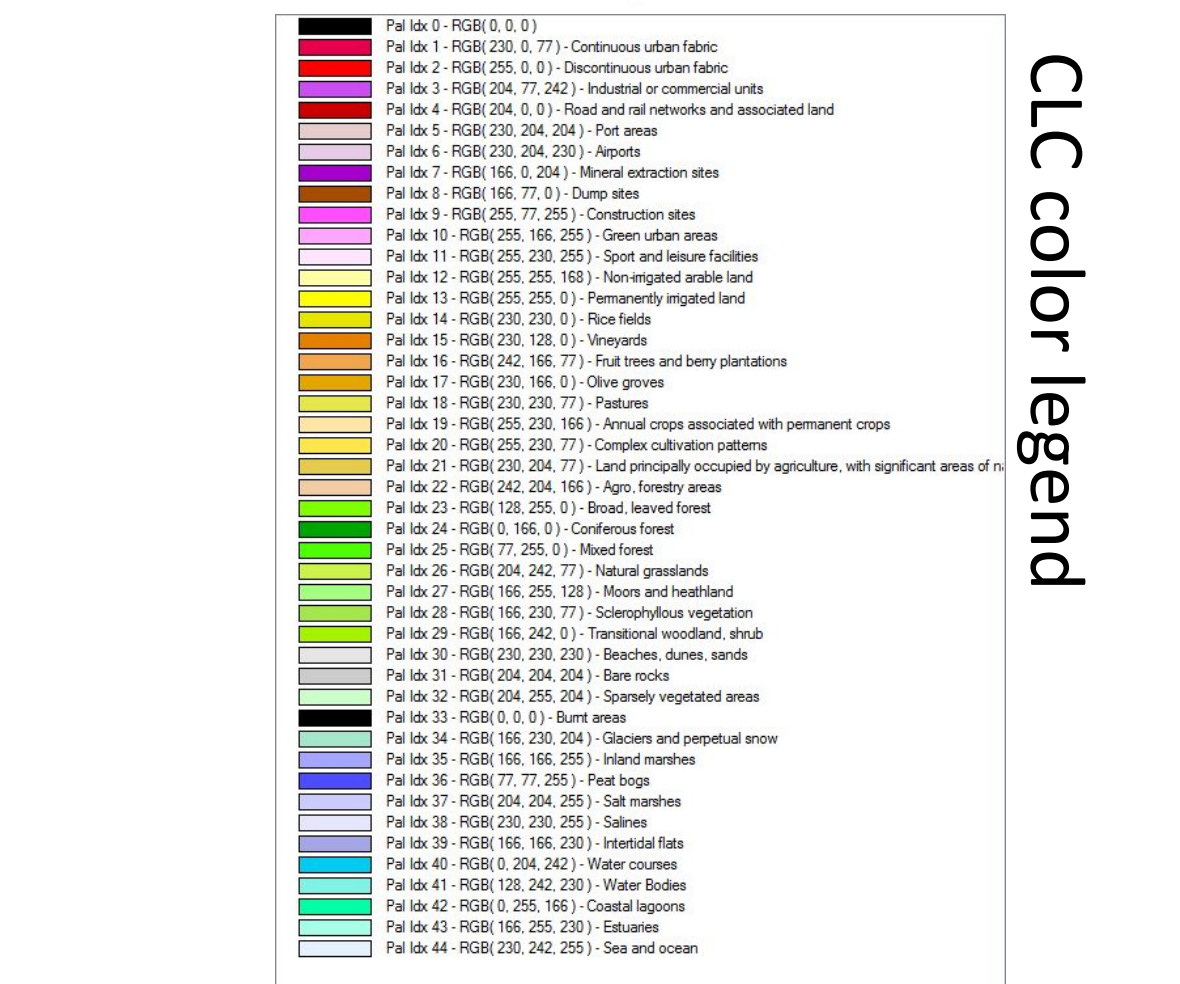
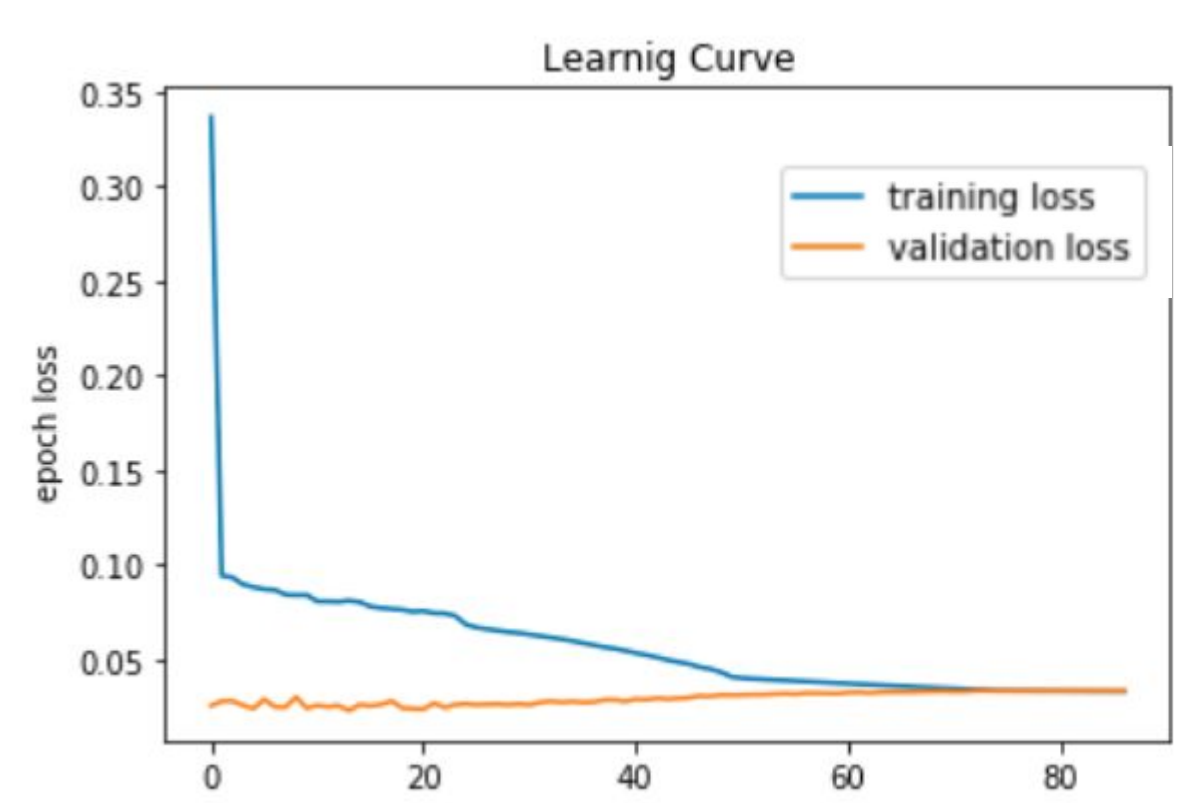
TRAINING SET

Κέρκυρα (target), Κέρκυρα (prediction), Κέρκυρα (prediction)

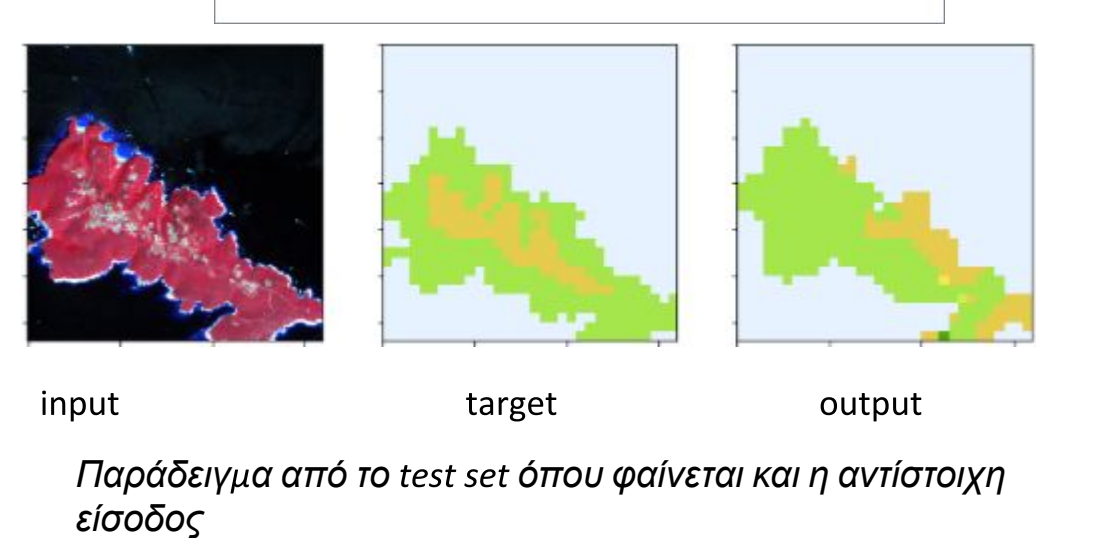
Κεφαλονιά (target), Κεφαλονιά (prediction), Κεφαλονιά (prediction)

Λευκάδα (target), Λευκάδα (prediction), Λευκάδα (prediction)

Αύξηση εποχών



CLC color legend



Παράδειγμα από το test set όπου φαίνεται και η αντίστοιχη είσοδος

References: U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation, 2015
Simple PyTorch implementations of U-Net/FullyConvNet (FCN) for image segmentation (github)
Π.13 Μπουρνού, Σταυρουλοπούλου Δ., Χάρου Ε. Ανάδειξη Αγροτικών Περιοχών μέσω δορυφορικών εικόνων Sentinel-2