



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

**Ιχνηλάτηση ασυνεχειών βραχομάζας μέσω ψηφιακής ανάλυσης
εικόνας**

Διπλωματική εργασία



Σακκάς Γεώργιος

Επιβλέπων Καθηγητής : Π. Νομικός

Αθήνα, Μάρτιος 2021

Μέλη εξεταστικής επιτροπής :

A. Μπενάρδος,

I. Ζευγώλης,

Ημερομηνία εξέτασης : 16.03.2021

Εξώφυλλο : Λατομείο Διονύσου.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις :

Ευχαριστίες.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξε σε όλη αυτή την προσπάθεια, τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Π. Νομικό για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας καθώς και όλους τους συμφοιτητές και φίλους μου.

Περιεχόμενα.

1. Εισαγωγή.....	15
2. Ασυνέχειες Βραχομάζας.....	16
2.1. Εισαγωγή.....	16
2.2. Ιδιότητες Ασυνεχειών Βραχομάζας.....	16
2.3. Ταξινόμηση παραμέτρων βραχομάζας.....	19
2.4. Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής GSI.....	23
3. Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας.....	34
3.1. Εφαρμογές της επεξεργασίας εικόνας.....	39
3.2. Τεχνητή νοημοσύνη στο χώρο της μηχανικής.....	39
4. Επεξήγηση προγράμματος και αναλυτικών βημάτων υλοποίησης.....	43
4.1. Αναφορά στην γλώσσα προγραμματισμού.....	43
4.2. Πλεονεκτήματα Python.....	46
4.3. Λογικό διάγραμμα ροής προγράμματος.....	47
4.4. Βήματα διαγράμματος ροής.....	47
4.5. Εισαγωγή βασικών λειτουργιών στο πρόγραμμα.....	49

4.6. Μετατροπή εικόνας σε ασπρόμαυρη.....	50
4.7. Bilateral filter.....	52
4.8. Εξομάλυνση και όξυνση.....	53
4.9. Δυαδική κωδικοποίηση.....	55
4.10. Αφαίρεση θορύβου.....	58
4.11. Αναγνώριση Pixel.....	61
4.12. Διαχωρισμός εικόνας σε επιμέρους μικρότερες εικόνες.....	63
5. Αποτελέσματα και συμπεράσματα.....	64
5.1. Παραδείγματα.....	64
5.2. Συμπεράσματα.....	71
5.3. Βελτίωση προγράμματος.....	71
6. Μηχανική μάθηση και νευρωνικά δίκτυα.....	73
6.1. Μηχανική μάθηση.....	73
6.2. Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα.....	74
6.3. Πλεονεκτήματα νευρωνικών δικτύων.....	75
6.4. Συμπεράσματα.....	76

7. Βιβλιογραφία.....78

Εικόνες.

Εικόνα 2.1. Αναπαράσταση επίμονου και μη επίμονου συνδέσμου (Kim και Kaiser 2007).....	18
Εικόνα 3.1. Μια ψηφιακή εικόνα που παράγεται το 1921 από μια κωδικοποιημένη ταινία από έναν τηλεγραφικό εκτυπωτή με ειδικές γραμματοσειρές.....	36
Εικόνα 3.2. Μια ψηφιακή εικόνα που έγινε το 1922 από μια ταινία διάτρητη αφού τα σήματα είχαν διασχίσει τον Ατλαντικό δύο φορές.....	37
Εικόνα 3.3 Η πρώτη εικόνα της σελήνης από ένα αμερικανικό διαστημικό σκάφος. Ο Ranger 7 πήρε αυτή την εικόνα στις 31 Ιουλίου 1964 στις 9: 09 π. μ. EDT, περίπου 17 λεπτά πριν από την πρόσκρουση στην σεληνιακή επιφάνεια. (NASA).....	38
Εικόνα 4.1 Εισαγωγή NumPy και cv2.....	49
Εικόνα 4.2 Στο απόσπασμα του κώδικα έχουμε εισάγει τις πράξεις μαθηματικών που μετατρέπουν μια εικόνα σε ασπρόμαυρο.....	50
Εικόνα 4.3 Αρχική εικόνα.....	50
Εικόνα 4.4 Ασπρόμαυρη εικόνα.....	51
Εικόνα 4.5. Εφαρμογή του Bilateral Filter.....	52
Εικόνα 4.6 Εξομάλυνση και όξυνση.....	54
Εικόνα 4.7. Εφαρμογή της εξομάλυνσης και της όξυνσης.....	54

Εικόνα 4.8. Εφαρμογή δυαδικής κωδικοποίησης στην εικόνα.....	56
Εικόνα 4.9. Οι τύποι που αναφέρθηκαν νωρίτερα σε προγραμματιστική μορφή.....	57
Εικόνα 4.10 Βλέπουμε τον υπολογισμό του ορίου να καλείται σαν έτοιμη εντολή και στην συνέχεια να γίνεται δυαδική κωδικοποίηση.....	57
Εικόνα 4.11. Αφαίρεση θορύβου.....	59
Εικόνα 4.12 Εφαρμογή της μεθόδου της διάβρωσης.....	60
Εικόνα 4.13. Εφαρμογή της μεθόδου της διαστολής ύστερα από την διάβρωση.....	60
Εικόνα 4.14. Εφαρμογή της λειτουργίας αναγνώρισης περιγραμμάτων ή ασυνεχειών στην προκειμένη περίπτωση.....	61
Εικόνα 4.15. Χρωματισμός ασυνεχειών και εφαρμογή χρωματισμένων περιοχών στην αρχική εικόνα.....	61
Εικόνα 4.16. Τελικό αποτέλεσμα.....	62
Εικόνα 4.17. Εφαρμογή διαχωρισμού εικόνας σε μικρότερα μέρη για την υλοποίηση καλύτερων αποτελεσμάτων.....	63
Εικόνα 5.1 Αρχική εικόνα παραδείγματος 1ου.....	64
Εικόνα 5.2 Τελικό αποτέλεσμα παραδείγματος 1ου.....	65
Εικόνα 5. 3 Αρχική εικόνα παραδείγματος 2ου.....	66
Εικόνα 5.4 Τελικό αποτέλεσμα παραδείγματος 2ου.....	67

Εικόνα 5.5 Αρχική εικόνα παραδείγματος 3ου.....	68
Εικόνα 5.6 Τελικό αποτέλεσμα παραδείγματος 3ου.....	69
Εικόνα 5.7 Αρχική εικόνα παραδείγματος 4ου.....	70
Εικόνα 5.8 Τελικό αποτέλεσμα παραδείγματος 4ου.....	70

Σχήματα.

Σχήμα 2.1 Οι ιδιότητες των ασυνεχειών σε πραγματική φωτογραφία (Νομικός 2015).....	18
Σχημα 2.2 Το βασικό διάγραμμα του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής GSI.....	26
Σχημα 2.3 Εκτίμηση του δείκτη Γεωλογικής Αντοχής για ετερογενείς βραχώμαζες.....	30
Σχήμα 3.1 Ταξινόμηση των προβλημάτων μοντελοποίησης κατα Holling (1978).....	41
Σχήμα 4.1. Διάγραμμα ροής.....	47

Πίνακες.

Πίνακας 2.1 Τυπικές δομές βραχομάζας που δίνονται στο διάγραμμα του GSI κατά τους Marinis & Hoek (2000).....	22
Πίνακας 4.1. Πίνακας Υψηλής διέλευσης.....	53
Πίνακας 4.2. Πίνακας χαμηλής διέλευσης.....	54

Περίληψη.

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την ανάπτυξη ενός αλγορίθμου για την ιχνηλάτηση των ασυνεχειών της βραχομάζας μέσω της ψηφιακής ανάλυσης εικόνας. Η ιχνηλάτηση αυτή αποσκοπεί σε επόμενο στάδιο στον υπολογισμό της μέσης απόστασης των ασυνεχειών σε μια αποκεκαλυμμένη επιφάνεια της βραχομάζας. Στην συνέχεια με βάση τον υπολογισμό της μέσης απόστασης, μπορεί η κάθε επιφάνεια βραχομάζας να αναγνωριστεί και να κατηγοριοποιηθεί μέσω του διαγράμματος GSI. Για να είναι εφικτή η αναγνώριση των ασυνεχειών στην επιφάνειας της βραχομάζας, σχεδιάστηκε ένας προγραμματιστικός κώδικας στον οποίο εισήχθησαν φωτογραφίες από επιφάνειες βραχομάζας με αποτέλεσμα την επεξεργασία τους ως ψηφιακές εικόνες. Ο κώδικας και οι αλγόριθμοι του κώδικα αυτού γράφτηκαν σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Η εικόνα λοιπόν της επιφάνειας βραχομάζας εισάγεται στο πρόγραμμα, επεξεργάζεται μέσω της εφαρμογής μαθηματικών πράξεων πάνω στα εικονοστοιχεία (pixel) της εικόνας με τελικό αποτέλεσμα την αρχική εικόνα με χρωματισμένες της ασυνέχειες. Τέλος ως μελλοντικός στόχο έχουμε τον υπολογισμό της μέσης απόστασης των ασυνεχειών με σκοπό την αντιστοίχιση της κάθε φωτογραφίας στο διάγραμμα GSI από το οποίο προκύπτει ο τύπος της βραχομάζας.

Abstract.

This paper aims to trace discontinuities of a rock mass surface through the application of digital image processing. This tracking is used to calculate the average distance of discontinuities on a rock mass surface. Then, based on the calculation of the average distance, each rock mass surface can be identified and categorized through the GSI diagram. In order to be able to identify the discontinuities of a rock mass surface, a programming code was designed in which photographs of rock mass surfaces were inserted, and processed as digital images. The code and the algorithms were written in Python programming language. Thus, the image of the rock surface is introduced into the program, processed through the application of mathematical calculations on the pixels of the image, resulting in the original image with colored discontinuities. Finally, as a future goal we have the calculation of the average distance of the discontinuities in order to match each photo to the GSI diagram from which the type of rock mass is derived.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος σπουδών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά το ακαδημαϊκό έτος 2020-2021 με θέμα της «Ιχνηλάτηση ασυνεχειών βραχομάζας μέσω ψηφιακής ανάλυσης εικόνας».

Πέραν του παρόντος εισαγωγικού κεφαλαίου η διπλωματική διαρθρώνεται σε πέντε κεφάλαια. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η θεωρία πίσω από τις ασυνέχειες των βραχομαζών καθώς και οι συνοπτικές ιδιότητες τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια ιστορική αναφορά στην επιστήμη της επεξεργασίας εικόνας. Στο κεφάλαιο αυτό επίσης αναφέρονται εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στο πεδίο της μηχανικής πετρωμάτων.

Στην συνέχεια γίνεται μια αναφορά στην γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα εργασία και τις ιδιότητες που έχει αυτή.

Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται μια αναλυτική επεξήγηση του προγράμματος και του κάθε βήματος που περιέχει αυτό κατά την επεξεργασία μίας εικόνας. Στην συνέχεια ως επόμενο κεφάλαιο είναι δοκιμές και παραδείγματα του προγράμματος πάνω σε πραγματικές φωτογραφίες από επιφάνειες μαρμάρου από την περιοχή του Διονύσου.

Στην συνέχεια έχουμε τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα των δοκιμών με βάση τα οποία έχουμε τον μελλοντικό υπολογισμό της μέσης απόστασης των ασυνεχειών μιας επιφάνειας βραχομάζας μέσω του οποίου συνεπάγεται η αντιστοίχιση και κατηγοριοποίηση της φωτογραφίας στους τύπους βραχομάζας με βάση το διάγραμμα GSI.

Τέλος παρουσιάζεται μια αναφορά στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και στην μηχανική 80μάθηση ως επόμενο βήμα της παρούσας εργασίας με σκοπό την βελτίωση του παρόντος προγράμματος.

2. Ασυνέχειες Βραχομάζας.

2.1 Εισαγωγή.

Αν και οι τεχνικές δραστηριότητες που σχετίζονται με τη μηχανική των πετρωμάτων βρίσκονται σε εξέλιξη για χιλιετίες, μπορούμε να σηματοδοτήσουμε την αρχή της σύγχρονης εποχής από το έτος 1962, όταν η Διεθνής Εταιρεία μηχανικής πετρωμάτων (ISRM) ιδρύθηκε επίσημα στο Σάλτσμπουργκ της Αυστρίας. Από τότε, τόσο η ίδια η μηχανική πετρωμάτων όσο και η σχετική έρευνα της έχουν αυξηθεί σε δραστηριότητα με άλματα, τόσο πολύ ώστε είναι δύσκολο για έναν μηχανικό ή ερευνητή να γνωρίζει όλες τις αναδυόμενες εξελίξεις.

Ο όρος "χαρακτηρισμός" θα χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τις μεθόδους συλλογής και ερμηνείας των φυσικών χαρακτηριστικών των ασυνεχειών, με άλλα λόγια εκείνων που ελέγχουν τις μηχανικές και υδραυλικές τους ιδιότητες, και τη συμπεριφορά του διακλασμένου βράχου ως μηχανικού μέσου. Οι ασυνέχειες των πετρωμάτων ποικίλλουν ευρέως όσον αφορά την προέλευσή τους (διακλάσεις, επίπεδα στρώσης, ασυνέχειες φύλλωσης, ρήγματα/επίπεδα διάτμησης κλπ.) και συναφή φυσικά χαρακτηριστικά. Μπορούν να είναι πολύ κυματιστές, τραχείες ή εξαιρετικά επίπεδες και ομαλές, σφιχτά αλληλοσυνδεόμενες ή ανοιχτές, γεμάτες με μαλακές εγκλείσεις τύπου εδάφους ή επουλωμένες με σκληρά υλικά. Επομένως, όταν φορτίζονται σε θλίψη ή διάτμηση, παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στην ορθή και διατμητική παραμορφωσιμότητα και αντοχή, με αποτέλεσμα τον διαχωρισμό της επιφάνειας και συνεπώς την αύξηση και της διαπερατότητας. Αυτή η μεταβλητότητα απαιτεί καινοτόμες, αντικειμενικές και πρακτικές μεθόδους κοινού χαρακτηρισμού για το σκοπό του τεχνικού σχεδιασμού κατασκευών σε πετρώματα. (Nick R. Barton και Stavros C. Bandis, 2017)

2.2 Ιδιότητες Ασυνεχειών Βραχομάζας.

Οι πιο σημαντικές γεωτεχνικές ιδιότητες των ασυνεχειών, που επηρεάζουν τη μηχανική συμπεριφορά της βραχομάζας, είναι ο προσανατολισμός, η μεταξύ τους

απόσταση, η εμμογή, η τραχύτητα, το άνοιγμα και το υλικό πλήρωσης. Οι ιδιότητες αυτές συχνά υπεισέρχονται ως παράμετροι στις γεωτεχνικές ταξινομήσεις της βραχομάζας. Ο προσανατολισμός μιας ασυνέχειας στο χώρο περιγράφεται από τη μέγιστη κλίση (dip) του επιπέδου της ασυνέχειας από την οριζόντιο και τη διεύθυνση κλίσης (dip direction) μετρούμενη δεξιόστροφα από τον. Η διαδικασία μέτρησης και παρουσίασης των στοιχείων προσανατολισμού των ασυνεχειών της βραχομάζας δίνεται από την ISRM (1978). Ο προσανατολισμός των ασυνεχειών της βραχομάζας σε σχέση με τις επιφάνειες εκσκαφής καθορίζει τις δυνατότητες κινηματικής αστάθειας λόγω πτώσης ή ολίσθησης τεμαχών πετρώματος σε υπόγειες εκσκαφές και σε βραχώδη πρανή. Επίσης, καθορίζει το σχήμα των τεμαχών άρρηκτου πετρώματος στα οποία διαιρείται η βραχομάζα. Ως απόσταση (spacing) των ασυνεχειών ορίζεται η μέση κάθετη απόσταση μεταξύ των διαδοχικών ασυνεχειών ενός συνόλου ασυνεχειών (ISRM 1978). Η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών καθορίζει τα μεγέθη των τεμαχών άρρηκτου πετρώματος που απαρτίζουν τη βραχομάζα. Οι αποστάσεις των ασυνεχειών δεν έχουν μοναδικά καθορισμένες τιμές αλλά κυμαίνονται εντός ενός εύρους τιμών. Η στατιστική επεξεργασία μετρήσεων της απόστασης των ασυνεχειών για μία συγκεκριμένη βραχομάζα συχνά οδηγεί στην προσαρμογή κάποιας στατιστικής κατανομής στα συλλεγμένα δεδομένα. Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφορες στατιστικές κατανομές για την αναπαράσταση των αποστάσεων των ασυνεχειών, με συνηθέστερη την αρνητική εκθετική κατανομή που προτάθηκε από τους Priest & Hudson (1976, 1981). Η απόσταση των ασυνεχειών είναι παράγοντας που χρησιμοποιείται σε πολλά συστήματα ταξινόμησης της βραχομάζας. (Νομικός 2015)

Εμμογή (persistence) είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της έκτασης ή του μεγέθους του ίχνους μιας ασυνέχειας σε ένα επίπεδο και αποτελεί μέτρο της έκτασης της ασυνέχειας στον χώρο (ISRM 1978). Μπορεί να εκτιμηθεί χονδρικά παρατηρώντας το μήκος του ίχνους μιας ασυνέχειας σε μια αποκεκαλυμμένη επιφάνεια της βραχομάζας. Με βάση την εμμογή των ασυνεχειών τα σύνολα ασυνεχειών διακρίνονται σε συστηματικά, αποστηματικά και μη συστηματικά.

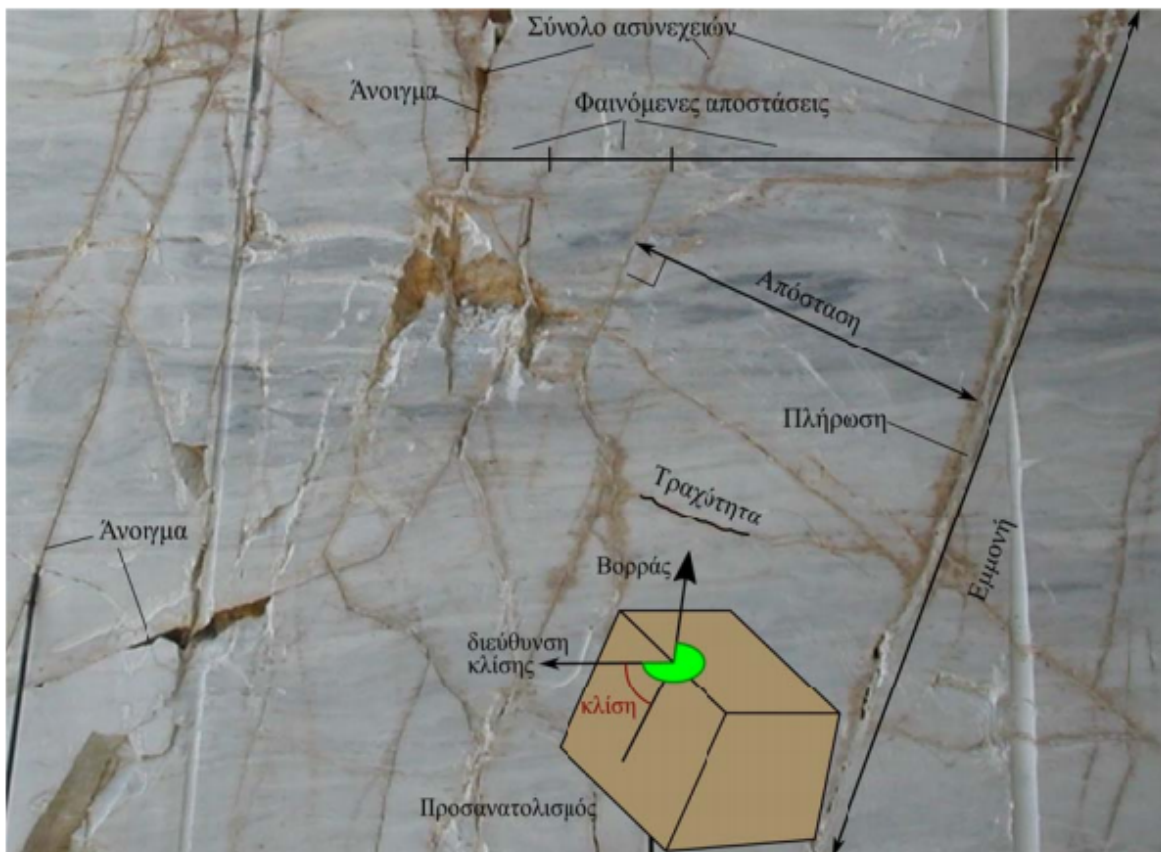
Η **Τραχύτητα** (roughness) της επιφάνειας της ασυνέχειας αναφέρεται στις εγκάρσιες αποκλίσεις της πραγματικής επιφάνειας από την ιδανική της μορφή. Χαρακτηρίζεται

από την κυματωση (waviness) και τις επιφανειακές ανωμαλίες της επιφάνειας των τοιχωμάτων της ασυνέχειας.

Άνοιγμα (aperture) είναι η κάθετη απόσταση μεταξύ των τοιχωμάτων μιας ανοιχτής ασυνέχειας της οποίας ο ενδιάμεσος χώρος είναι κενός ή πληρωμένος με νερό. Δεν περιλαμβάνει την απόσταση των τοιχωμάτων ασυνεχειών πληρωμένων με ορυκτό υλικό.

Υλικό πλήρωσης (filling) είναι το ορυκτό υλικό που διαχωρίζει τα τοιχώματα μιας πληρωμένης ασυνέχειας (π.χ. ασβεστίτης, άργιλος).

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι παραπάνω παράμετροι των ασυνεχειών της βραχομάζας σε μια αποκεκαλυμμένη επιφάνεια μαρμάρου στα υπόγεια λατομεία μαρμάρου στον Διόνυσο Αττικής στα οποία όπως θα εξετάσουμε στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν και οι δοκιμές του προγράμματος για την ανίχνευση των ασυνεχειών.



Σχήμα 2.1 Οι ιδιότητες των ασυνεχειών σε πραγματική φωτογραφία (Νομικός 2015)

Η δομή της βραχομάζας εξαρτάται από τα δομικά της χαρακτηριστικά και διαμορφώνεται κατά τη γεωλογική της ιστορία. Οι συνδυασμοί δομικών χαρακτηριστικών που απαντώνται στη φύση είναι τόσο πολυπληθείς, ώστε κάθε περίπτωση βραχομάζας να καθίσταται κυριολεκτικά μοναδική. Εντούτοις, για τους σκοπούς του τεχνικού σχεδιασμού, η δομή της βραχομάζας συχνά εξιδανικεύεται και παρουσιάζεται σε απλουστευμένη μορφή, η οποία όμως να περιλαμβάνει τα ουσιώδη (για τον τεχνικό σχεδιασμό) χαρακτηριστικά της. Με την ομαδοποίηση τέτοιων εξιδανικεύσεων έχουν προκύψει μία σειρά από τυπικές δομές που χρησιμοποιούνται σήμερα για τη γεωτεχνική ταξινόμηση και τον εμπειρικό προσδιορισμό των παραμέτρων αντοχής της βραχομάζας. (Νομικός 2015)

2.3 Ταξινόμηση βραχομάζας.

2.3.1. Γενικά

Η πρώτη προσπάθεια για την τυποποίηση της δομής της βραχομάζας για τεχνικούς σκοπούς αποδίδεται στον Terzaghi (1946), ο οποίος διακρίνει ποιοτικά εννέα κατηγορίες βραχομάζας. Το άρρηκτο πέτρωμα δεν περιέχει ούτε διακλάσεις ούτε ελαφριές (τριχοειδείς) ρωγμές. Το στρωσιγενές πέτρωμα αποτελείται από διακριτά στρώματα με μικρή ή μηδενική αντίσταση των διεπιφανειών τους έναντι διαχωρισμού. Τα στρώματα μπορεί να είναι περαιτέρω αποδυναμωμένα από εγκάρσιες διακλάσεις. Το μέτρια διακλασμένο πέτρωμα περιέχει διακλάσεις και ελαφριές ρωγμές, αλλά τα τεμάχια του άρρηκτου πετρώματος μεταξύ των διακλάσεων είναι τόσο στενά αλληλοσυνδεδεμένα ώστε τα κατακόρυφα τοιχώματα μιας υπόγειας στοάς να μην απαιτούν πλευρική στήριξη. Η τεμαχισμένη και στρωματώδης βραχομάζα αποτελείται από άρρηκτα ή σχεδόν άρρηκτα τεμάχια πετρώματος, τα οποία διαχωρίζονται πλήρως μεταξύ τους και είναι ατελώς αλληλοσυνδεδεμένα. Η πλήρως θρυμματισμένη βραχομάζα είναι αποδιοργανωμένη. Το συνθλιβόμενο πέτρωμα παραμορφώνεται χωρίς αύξηση του όγκου του και περιέχει μαρμαρυγικά ή αργιλικά ορυκτά. Το διογκούμενο πέτρωμα περιέχει αργιλικά ή άλλα ορυκτά που διογκώνονται όταν προσροφούν νερό.

Δομή βραχομάζας κατά Terzaghi.

- Σκληρό και άρρηκτο πέτρωμα.
- Σκληρό και στωσιγενές πέτρωμα.
- Συμπαγής μέτρια διακλασμένη.
- Μέτρια τεμαχισμένη και στρωματώδης.
- Πολύ τεμαχισμένη και στρωματώδης.
- Πλήρως θρυμματισμένη.
- Συνθλιβόμενη βραχομάζα, μέτριο βάθος.
- Συνθλιβόμενη βραχομάζα, μεγάλο βάθος.
- Διογκούμενη βραχομάζα.

Δομή βραχομάζας κατά Hoek.

- Σκληρό, άρρηκτο πέτρωμα.
- Άρρηκτο πέτρωμα με μία κεκλιμένη ασυνέχεια.
- Συμπαγές πέτρωμα με λίγα σύνολα ασυνεχειών.
- Ισχυρά διακλασμένη βραχομάζα.
- Συμπιεσμένη λιθορριπή.
- Χαλαρή απόθεση.

Κατά την επόμενη προσπάθεια ταξινόμησης που έγινε από τον Hoek (1983), για την κατανόηση της μηχανικής συμπεριφοράς της βραχομάζας είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη τα επιμέρους συστατικά και παράμετροι της, δηλ. το άρρηκτο πέτρωμα και οι ασυνέχειες. Έτσι, ανάλογα με την αντοχή του πετρώματος και την πυκνότητα, τον προσανατολισμό και τη φύση των ασυνεχειών της βραχομάζας, τα τεμάχια του άρρηκτου πετρώματος μετακινούνται, περιστρέφονται, θραύονται ή συνθλίβονται σε απόκριση έναντι της επιβαλλόμενης καταπόνησης. Ο Hoek εξιδανικεύοντας και ομαδοποιώντας το δυνατό εύρος συνδυασμών των χαρακτηριστικών της βραχομάζας, διακρίνει τις ακόλουθες τυπικές δομές βραχομάζας με τον παραπάνω διαχωρισμό.

Οι γεωτεχνικές ταξινομήσεις της βραχομάζας συνδυάζουν τις σημαντικότερες παραμέτρους, που επηρεάζουν τη μηχανική της συμπεριφορά, ώστε να διαχωρίσουν

τη βραχομάζα σε κατηγορίες ποιότητας με κοινά (ή περίπου κοινά) μηχανικά χαρακτηριστικά. Μέσω των γεωτεχνικών ταξινομήσεων είναι δυνατή η συσχέτιση παρόμοιων γεωτεχνικών συνθηκών σε διαφορετικές περιοχές και η μεταφορά της εμπειρίας από προηγούμενα κατασκευασμένα έργα για την κατασκευή νέων έργων σε πετρώματα. Κατά τον Bieniawski (1989), η προσπάθεια συλλογής δεδομένων για τη γεωτεχνική ταξινόμηση της βραχομάζας βελτιώνει και την ποιότητα της γεωτεχνικής έρευνας, ενώ δίνει τη δυνατότητα κατανόησης των βασικών χαρακτηριστικών της κάθε κατηγορίας βραχομάζας. Σήμερα, οι γεωτεχνικές ταξινομήσεις χρησιμοποιούνται συχνά για τον εμπειρικό προσδιορισμό των παραμέτρων αντοχής της βραχομάζας, κυρίως λόγω του κόστους και της δυσκολίας εκτέλεσης επιτόπου δοκιμών προσδιορισμού των μηχανικών ιδιοτήτων της. Επιπλέον, ορισμένες γεωτεχνικές ταξινομήσεις παρέχουν και πρακτικές οδηγίες για τα απαιτούμενα μέτρα στήριξης του πετρώματος ανάλογα με την κατηγορία της βραχομάζας. Εντούτοις, καμία ταξινόμηση δεν θα πρέπει να θεωρείται ως υποκατάστατο του τεχνικού σχεδιασμού, ούτε θα πρέπει να χρησιμοποιείται χωρίς την πλήρη κατανόηση των γεωλογικών κινδύνων και των πιθανών μηχανισμών αστοχίας της βραχομάζας.

Οι κύριοι τρόποι ταξινόμησης, είναι :

- Δείκτης ποιότητας πετρώματος (RQD)
- Το σύστημα ταξινόμησης RMR
- Το σύστημα ταξινόμησης Q
- Ταξινόμηση RMi
- Γεωλογικός δείκτης αντοχής, GSI

Ο γεωλογικός δείκτης αντοχής είναι ο τρόπος ταξινόμησης και ιχνηλάτησης των τύπων των βραχομαζών που θα μας απασχολήσει στην παρούσα εργασία.

Οι παρακάτω τυπικές δομές δεν καλύπτουν όλες τις δυνατές περιπτώσεις εμφάνισης της δομής της βραχομάζας στη φύση. Δίνουν όμως μία εικόνα για τα σημαντικότερα δομικά χαρακτηριστικά της και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αφετηρία για την κάθε περίπτωση. Παραδείγματα για τη δομή της βραχομάζας δίνονται από τον Wittke (2014), ο οποίος συνδυάζει εξιδανικευμένα μοντέλα της υφής του άρρηκτου

πετρώματος και του συστήματος των ασυνεχειών δίνοντας εξιδανικευμένα δομικά μοντέλα για τη βραχομάζα. Κατά τον Wittke, αυτά τα παραδείγματα δείχνουν ότι, σε κάποιο βαθμό, τα δομικά μοντέλα επιτρέπουν να εκτιμηθεί κατά πόσον η βραχομάζα είναι ισότροπη ή ανισότροπη.

Δομή βραχομάζας	Περιγραφή
Άρρηκτη ή Συμπαγής.	Άρρηκτο πέτρωμα ή συμπαγής βραχομάζα με λίγες αραιές ασυνέχειες
Τεμαχισμένη	Αδιατάρακτη βραχομάζα με πολύ καλά συμπεπλεγμένα κυβικά τεμάχη, σχηματισμένα από τρία ορθογώνια τεμνόμενα σύνολα ασυνεχειών
Πολύ τεμαχισμένη	Μερικώς διαταραγμένη βραχομάζα, με πολύπλευρα γωνιώδη συμπεπλεγμένα τεμάχη, που σχηματίζονται από τέσσερα ή περισσότερα σύνολα ασυνεχειών
Κερματισμένη/Διαταραγμένη/ Στρωματώδης	Πτυχωμένη βραχομάζα με γωνιώδη τεμάχη, που σχηματίζονται από πολλά αλληλοτεμνόμενα σύνολα ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας
Αποδομημένη	Κατακερματισμένη αποδιοργανωμένη βραχομάζα με ανεπαρκώς συμπεπλεγμένα γωνιώδη και στρογγυλεμένα τεμάχη
Φυλλώδης/Διατμημένη	Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονκώς διατμημένη ασθενής βραχομάζα. Απουσία τεμαχίων λόγω πυκνής σχιστότητας ή επιπέδων διάτμησης

Πίνακας 2.1 Τυπικές δομές βραχομάζας που δίνονται στο διάγραμμα του GSI κατά τους Marinis & Hoek (2000)

2.4 Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής GSI

Ο Γεωλογικός δείκτης Αντοχής (Geological Strength Index, GSI), που έχει διεθνώς καθιερωθεί για τον ποσοτικό χαρακτηρισμό της ποιότητας μιας βραχώμαζας, έχει τα τελευταία χρόνια ευρύτατη χρήση και στην Ελλάδα. Ο δείκτης, GSI, εισήχθη από τους Hoek, Wood and Shah (1992) επεκτάθηκε ουσιαστικά για τις ασθενείς βραχώμαζες από τους Hoek, Marinos and Benissi (1998), Marinos and Hoek (2000) και για τον φλύσχη από τους Marinos and Hoek (2000). Ο δείκτης εκτός από τη γεωτεχνική ταξινόμηση, εκφράζει αριθμητικά την απομείωση των σταθερών του υλικού, ανάλογα με την ρωγμάτωση της βραχώμαζας. Αποτελεί λοιπόν σημαντικό στοιχείο στην επίλυση του κριτηρίου θραύσης Hoek and Brown και προσφέρει λύσεις στο πρόβλημα του προσδιορισμού των πλέον αντιπροσωπευτικών τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των τεχνικών έργων σε περιβάλλον ρωγματωμένων βράχων. Ο δείκτης GSI βασίζεται στην εκτίμηση της δομής και της καταστάσεως των ασυνεχειών της βραχώμαζας και επομένως αποτελεί ένα φιλικό, γεωλογικά, δείκτη που μπορεί να εκτιμάται εύκολα.

Ακολούθως δίνονται συστάσεις και ορισμένοι περιορισμοί στη χρήση του δείκτη, η ανάγκη διατύπωσης των οποίων προέκυψε από την εμπειρία της μέχρι σήμερα εφαρμογής του. Γεωλογική Περιγραφή: Συνίσταται η χρήση του διαγράμματος να μη περιορίζεται στα εικονίδια αλλά να διαβάζονται οι περιγραφές και να αναζητείται αυτή που ταιριάζει περισσότερο. Αυτή μπορεί να βρίσκεται και ανάμεσα στα διατυπωμένα εικονίδια. Ανισοτροπία: Το κριτήριο Hoek and Brown (όπως και ανάλογα κριτήρια) προϋποθέτει ότι η βραχώμαζα συμπεριφέρεται ιστροπικά, και δεν υπάρχουν προτιμητέες διευθύνσεις αστοχίας. (Μαρίνος, Hoek 2004)

Ανάλογα λοιπόν περιορίζεται και η χρήση του GSI. Μπορεί όμως να εφαρμοσθεί με παραδεκτή ανοχή και σε ανισότροπα μέσα αν η θραύση δεν ελέγχεται από την ανισοτροπία. Πάντως στην περίπτωση που η βραχώμαζα είναι έντονα διακλασμένη και η συνέχεια των εμμενουσών ασυνεχειών, είναι διαταραγμένη, η βραχώμαζα μπορεί να συμπεριφέρεται ισότροπα. Τέλος το δίλημμα ισότροπη ή όχι πρακτικώς δεν τίθεται στις βραχώμαζες με δομή σαν αυτή της 6ης (τελευταίας) σειράς του διαγράμματος GSI επειδή, εκεί, η διαφορά της αντοχής μεταξύ θεμελιώδους μάζας και ασυνέχειας είναι μικρή. Πεδίο παρατήρησης και προεκβολή πληροφορίας: Ο

δείκτης εξάγεται από την οπτική εξέταση της βραχόμαζας σε επιφανειακές εμφανίσεις, εκσκαφές, μέτωπα σηράγγων ή πυρήνες γεωτρήσεων. Η εκτίμηση του GSI από γεωτρήσεις είναι αξιόπιστη αρκεί να προεκβάλλεται στον χώρο η γραμμική πληροφορία των πυρήνων. Στα πρηνή ορυγμάτων αποτιμάται η βραχόμαζα εκείνη μέσα από την οποία εκτιμάται ότι μπορεί να διέλθει μία επιφάνεια θραύσης. Αν υπάρχουν “νησίδες” άλλης ποιότητας υλικού από αυτό που επικρατεί, διορθώνεται κατά κρίση. Δεν συνίσταται γενικώς η εξαγωγή μέσω ορών. Στις σήραγγες πρέπει να εκτιμάται η βραχόμαζα που θα φέρει τα φορτία, έστω μία ζώνη μέχρι περίπου μία διάμετρο. Η συνεκτίμηση μικρών ή μεγάλων αλλαγών στην βραχόμαζα έξω από το ορατό μέτωπο είναι θέμα κρίσεως. Αν εκτιμάται ότι πιο πτωχή ποιότητας βραχόμαζα είναι σημαντικά παρούσα (και ως μην επικρατεί) ή βρίσκεται σε καίριες θέσεις συγκέντρωσης τάσεων (π.χ. περιοχής ελεφαντοπόδαρου), συνίσταται οι τιμές του GSI να αντιστοιχούν στη ποιότητα αυτή. Αν δεν υπάρχει δυνατότητα προσδιορισμού του GSI ευθέως στο βάθος, εκεί που θα διανοιγεί το έργο, και η εκτίμηση γίνεται από τις επιφανειακές εμφανίσεις λογικό είναι να γίνεται, με γεωλογική πάντα κρίση, μια μετακίνηση προς τα πάνω και ίσως ελαφρά προς τα αριστερά (ανάλογα με τη λογική μείωσης της αποσάθρωσης του πετρώματος με το βάθος). Τούτο ισχύει λιγότερο στις περιπτώσεις δομών των δύο τελευταίων σειρών του διαγράμματος (π.χ. σε μυλονιτωμένο ή διατμημένο υλικό). (Μαρίνος, Hoek 2004)

Άνοιγμα ασυνεχειών: Σε βάθος, η δομή είναι προφανώς πιο πυκνή. Το γεγονός, εκτός ακραίων περιπτώσεων, δεν πρέπει να προβληματίζει αφού στην εφαρμογή του κριτηρίου Hoek and Brown η χαλάρωση της βραχόμαζας (π.χ. κοντά στα πρηνή) βαθμονομείται με τον δείκτη διαταραχής D (Hoek, Carranza-Torres and Corkum, 2002).

Πολύ μεγάλα βάθη: Σε πολύ μεγάλα βάθη (π.χ. πολλές εκατοντάδες μέτρα) οι βραχόμαζες έχουν τόσο σφικτή δομή που το πέτρωμα πλησιάζει τη συμπεριφορά του άρρηκτου βράχου. Εδώ η τιμή GSI πρέπει να μετακινείται πολύ περισσότερο προς τα αριστερά και προς τα πάνω και οριακά προς την κατάσταση του άρρηκτου βράχου. Η ανωτέρω διόρθωση δεν ισχύει όταν η τεκτονική καταπόνηση είναι έντονη.

Ασυνέχειες με υλικό πλήρωσης: Η κατάσταση μπορεί να προσομοιωθεί με πτωχή κατάσταση ασυνεχειών και ήδη το βασικό διάγραμμα GSI την περιγράφει. Αν το υλικό

πλήρωσης είναι συστηματικό και παχύ η βραχόμαζα μπορεί να ταξινομηθεί από το διάγραμμα GSI για ετερογενείς βραχόμαζες (φλύσχη), π.χ. στην περιοχή B και C.

Νερό: Η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών μειώνεται με την παρουσία νερού σε πετρώματα ή σε υλικό πλήρωσης που είναι επιδεικτικά σε εξασθένηση από μεταβολές της περιεχόμενης υγρασίας. Αυτό αναφέρεται πρακτικά σε περιπτώσεις που αντιστοιχούν στις τρεις τελευταίες κολώνες. Συνίσταται η μετακίνηση προς τα δεξιά. Η πίεση του νερού λαμβάνεται υπόψη ανεξάρτητα, στην ανάλυση κατά τον σχεδιασμό.

Αποσαθρωμένη βραχόμαζα: Προφανώς οι τιμές GSI αντιστοιχούν σε πιο δεξιές θέσεις από εκείνες της ίδιας βραχόμαζας όταν δεν είναι αποσαθρωμένη. Αν η αποσάθρωση ή η εξαλλοίωση έχει προχωρήσει και στη θεμελιώδη μάζα, τότε (μόνο) θα πρέπει να μειώνεται ανάλογα και το m_i , s_i . Αν η αποσάθρωση έχει προχωρήσει ώστε να εξαφανιστεί η λογική των ασυνεχειών τότε η μάζα θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με τη λογική του εδάφους

Άρρηκτοι βράχοι: Κυρίως πρόκειται για μεταλλικά πετρώματα που η ενδεχόμενη αστοχία τους ελέγχεται πλήρως από την κύρια μάζα και συνεπώς οι γεωτεχνικές παράμετροι πρέπει να βασίζονται σε εργαστηριακές δοκιμές.

<p>ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000) Βασίζονται στην εμφάνιση της βραχόμαζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφανείας ασυνεχειών) εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI, χωρίς υποχρεωτικά μεγάλη ακρίβεια. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι GSI=35. <u>Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε κινηματικά ελεγχόμενες αστάθειες.</u> Στην περίπτωση που οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πρηνές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η διατμητική αντοχή επιφανειών σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένηση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περαιτέρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχόμαζες ανήκουν στις μέτριες έως πτωχές κατηγορίες και υπάρχει νερό τότε μετακινούμαστε προς τα δεξιά. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων.</p> <p>ΔΟΜΗ</p>		<p>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ</p> <p>ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, μη αποσθρωμμένες επιφάνειες</p> <p>ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσθρωμμένες και οξειδωμένες επιφάνειες</p> <p>ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσθρωμμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες</p> <p>ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολισθησης, πολύ αποσθρωμμένες με συμπταγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη βραύσματα</p> <p>ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολισθησης πολύ αποσθρωμμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης</p>			
		<p>ΜΕΙΟΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →</p>			
 <p>INTACT OR MASSIVE - Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση</p>	<p>90</p>			N/A	N/A
 <p>BLOCKY - Αδιάταρακτη βραχόμαζα με πολύ καλό αλληλοκλειδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών</p>	<p>80</p>	<p>70</p>			
 <p>VERY BLOCKY- Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών</p>		<p>60</p>	<p>50</p>		
 <p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας</p>			<p>40</p>	<p>30</p>	
 <p>DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλειδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρωγυλωμένων τεμαχίων</p>				<p>20</p>	
 <p>LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχόμαζα. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιασδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων</p>	<p>10</p>				
	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>			

Σχημα 2.2 Το βασικό διάγραμμα του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής GSI (Μαρίνος, Hoek 2004).

Δεν συνιστάται, πλέον, η συσχέτιση του GSI με άλλους δείκτες ταξινόμησης για τις πτωχές και ετερογενείς βραχόμαζες αλλά η απευθείας εξαγωγή του από την άμεση

παρατήρηση. Έτσι διατηρείται η λογική του χαρακτηρισμού και η συνέπεια στην τήρηση της λογικής που έχει κάθε διαφορετικό σύστημα ταξινόμησης.

Τα πετρογραφικά χαρακτηριστικά κάθε πετρώματος ελέγχουν τους συνδυασμούς των δύο παραμέτρων του GSI και δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη δομών που να αντιστοιχούν σ' όλες τις περιοχές του διαγράμματος. Παρουσιάζονται λοιπόν τα πιο πιθανά πεδία του GSI για τις βραχώμαζες μίας σειράς πετρωμάτων από τα πλέον συνήθη στην Ελλάδα. Τα πεδία αυτά δίνονται περιγραφικά με αναφορά στο βασικό διάγραμμα GSI ή στο διάγραμμα GSI για φλύσχη και έχουν χαρακτήρα προσανατολισμού. Αποκλίσεις ασφαλώς υπάρχουν αλλά πρόκειται για εξαιρέσεις. Επαναλαμβάνεται πάντως ότι η εφαρμογή του διαγράμματος GSI δεν έχει νόημα όταν η τυχόν ανισοτροπία της βραχώμαζας ελέγχει αποκλειστικά την συμπεριφορά της.

Ψαμμίτες-Κροκαλοπαγή: Όχι στην τελευταία σειρά και όχι στις δύο τελευταίες στήλες. Ιλυόλιθοι, Αργιλικόι Σχιστόλιθοι, Αργιλόλιθοι: Όχι στις δύο πρώτες στήλες. Αν δεν είναι διατμημένοι, προβάλλονται κυρίως στην 4η σειρά αλλιώς στην τελευταία.

Ασβεστόλιθοι: Κινούνται σε όλες τις σειρές εκτός από την τελευταία και σε όλες τις κολώνες εκτός από τις δύο τελευταίες. Αν εναλλάσσεται με πηλιτικά στρώματα συνίσταται η χρήση του διαγράμματος GSI για ετερογενείς βραχώμαζες (φλύσχη) (π.χ. τύπος B ή C)

Το διάγραμμα έχει ευρύτατα χρησιμοποιηθεί από την πρώτη εφαρμογή του (Marinos and Hoek, 2000 και 2002) στην Ελλάδα, αλλά επίσης και διεθνώς. Η χρήση του δοκιμάσθηκε επιτυχώς με την κατασκευή των έργων στον σχεδιασμό των οποίων η εισαγωγή των παραμέτρων σχεδιασμού στηρίχθηκε στο GSI. Μία παρατήρηση εντούτοις χρήσιμη είναι ότι από την εφαρμογή του πίνακα στην πράξη φαίνεται ότι στην περίπτωση του τύπου G είναι δυνατόν η ανάπτυξη βραχώμαζας φλύσχη με λίγες ασυνέχειες στα επίπεδα των στρωμάτων του ιλυόλιθου και η ανάπτυξη πιο συνεχούς βραχώμαζας. Στην περίπτωση αυτή συνιστάται μια μετακίνηση, ίσως σημαντική (π.χ. κατά 10 μονάδες)

Μολάσσα: Η δομή της είναι πολύ πιο ήρεμη από αυτή του φλύσχη. Αν τα στρώματα-μέλη είναι παχυπλακώδη χωρίς εναλλαγές προτείνεται να αξιολογείται στο κανονικό διάγραμμα. Αν υπάρχουν συχνές εναλλαγές ψαμμιτικών με πηλιτικά στρώματα και αυτές είναι εκπεφρασμένες με διακριτές ασυνέχειες στα επίπεδα στρώσης, μπορεί να χρησιμοποιείται το διάγραμμα του φλύσχη εκτός από τις περιοχές F,H. Για τις περιοχές C,D,E συνίσταται μια μικρή μετακίνηση προς τα αριστερά (όχι πάντως πάνω από 5 μονάδες). Η κατάσταση αυτή είναι συνηθισμένη στα επιφανειακά τμήματα της βραχόμαζας. Σε βάθος, λόγω της ήρεμης γεωλογικής εξέλιξης της βραχόμαζας, οι στρώσεις αυτές μπορεί να μη διακρίνονται και να είναι «παγιδευμένες» μόνο στη μνήμη της βραχόμαζας (Hoek, et al., 2004).

Κερατόλιθοι: Σπάνια συναντώνται μόνοι τους. Αν εναλλάσσονται με ασβεστολίθους ή η βραχόμαζα έχει ψαθυρή συμπεριφορά μπορεί να αξιολογηθούν στο κανονικό διάγραμμα GSI στην περιοχή της 4ης σειράς και στη 2η με 3η στήλη. Αν οι κερατόλιθοι εναλλάσσονται με αργιλικούς σχιστόλιθους τότε το σύστημα μπορεί να αξιολογηθεί από το διάγραμμα τύπου φλύσχη.

Μεταλλικές μάργες: Συνίσταται η διεξαγωγή εργαστηριακών δοκιμών για την επιλογή των γεωτεχνικών παραμέτρων. Οι όποιες ασυνέχειες είναι αραιές και δεν έχουν παρά ασήμαντη επίδραση στην ίδια την βραχόμαζα (εκτός για τυχόν τοπική κινηματική αστοχία)

Γρανιτικά πετρώματα: Όταν είναι υγιή αξιολογούνται στις τρεις πρώτες σειρές και δύο πρώτες στήλες. Αν είναι αποσαθρωμένα ο δείκτης μετακινείται προς τα δεξιά και φυσικά αλλάζει και το m_i και το σ_{ci} . Αν είναι αρκετά αποσαθρωμένα αλλά όχι πλήρως τότε το υλικό μπορεί να ταξινομηθεί στην προτελευταία σειρά και δεξιά. Αν είναι εντελώς αποσαθρωμένα τότε είναι εκτός της λογικής του GSI.

Βασικά-Υπερβασικά πετρώματα: Όταν είναι υγιή βαθμονομούνται στις τρεις πρώτες σειρές και τρεις πρώτες στήλες. Αν είναι ιδιαίτερα αποσαθρωμένα, η βραχόμαζα κινείται αναλόγως με την αποσάθρωση στην προτελευταία σειρά και στο δεξιό της τμήμα. Αν η αποσαθρωμένη βραχόμαζα είναι και διατμημένη προβάλλεται στη τελευταία σειρά και στις δύο τελευταίες στήλες.

Ηφαιστειακά: Κινούνται στις τρεις πρώτες γραμμές του διαγράμματος εφόσον δεν είναι κατακερματισμένα και στις τρεις πρώτες στήλες εφόσον δεν είναι αποσαθρωμένα.

Γνεύσιος: Ο δείκτης κινείται κατ' αναλογία με το γρανίτη.









Σχιστόλιθοι: Κινούνται στη 3η ή 4η σειρά. Οι ισχυροί σχιστόλιθοι (π.χ. μαρμαρυγικοί τοποθετούνται αριστερά ενώ οι ασθενείς προς τα δεξιά. Στους τελευταίους αν είναι και διατμημένοι (π.χ. διατμημένοι φυλλίτες), ο δείκτης μετακινείται στην τελευταία σειρά και στις δύο τελευταίες στήλες.

Χαλαζίτες: Όπως οι ψαμμίτες αλλά ο δείκτης GSI περιορίζεται στις δύο πρώτες στήλες.

Μάρμαρο: Όπως ο ασβεστόλιθος.

Εναλλαγές χαλαζιτών-φυλλιτών: Ο δείκτης κινείται κατά τη λογική του διαγράμματος του φλύσχη. Λόγω όμως της ισχυροποιημένης κατάστασης των πετρογραφικών μελών και συνεπώς και της καλύτερης κατάστασης των ασυνεχειών συνίσταται μετακίνηση, π.χ. 5 μονάδες, προς τα αριστερά αλλά βέβαια μόνο για τις περιπτώσεις C,D,E,G.

Ως συμπέρασμα δείκτης GSI έχει γεωλογική λογική και περιορίζει τη “λογιστική” στην συνεκτίμηση των παραγόντων που λαμβάνονται υπόψη στην αριθμητική βαθμονόμηση της βραχόμαζας. Περιορισμοί βέβαια υπάρχουν αλλά η ταξινόμηση καλύπτει με τη γεωλογική κρίση ένα πολύ μεγάλο εύρος βραχομαζών και καταστάσεων.

GSI ΣΕ ΕΤΕΡΕΓΟΝΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ ΟΠΩΣ ΦΛΥΣΧΗΣ (Marinos & Hoek, 2001)		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ (κυρίως επίπεδα στρώσης)	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, μη αποσαθρωμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσαθρωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσαθρωμένες και εξολεωμένες επιφάνειες	ΠΤΟΧΗ Πολύ λείες, ενίοτε επιφάνειες ολίσθησης με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιούδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΟΧΗ Πολύ λείες επιφάνειες ολίσθησης πολύ αποσαθρωμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης								
ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΔΟΜΗ															
	ΤΥΠΟΣ Α. Παχυστρωματώδης, μερικώς διαταραγμένος φαμμίτης. Η επιρροή πολύ λεπτών ηηλικιών ενστρώσεων είναι περιορισμένη. Σε αβαθείς σήραγγες ή πρανή αν ο μηχανισμός αστάθειας λόγω έλλειψης πλευρικού παρεμποδισμού (χαλαρή δομή) έχει κινηματικό χαρακτήρα που ελέγχεται από τα επίπεδα στρώσης και τότε δεν εφαρμόζεται ο δείκτης GSI.		70												
	ΤΥΠΟΣ Β. Φαμμίτης με λεπτές ενστρώσεις ιλυόλιθου		ΤΥΠΟΣ C. Φαμμίτης και ιλυόλιθος σε κανονική αναλογία		ΤΥΠΟΣ D. Ιλυόλιθος ή ιλυόλιθικός σχιστόλιθος με στρώσεων του φαμμίτη		Ε. Ασθενής ιλυόλιθος ή αργιλικός σχιστόλιθος με στρώσεις φαμμίτη	60	A						
								50	B	C	D	E			
							ΤΥΠΟΣ F. Τεκτονικώς παραμορφωμένος, διατηρημένος αργ. σχιστόλιθος ή ιλυόλιθος με κερματισμένα και παραμορφωμένα στρώματα φαμμίτη σε χαοτική δομή							40	
													30	F	
	ΤΥΠΟΣ G. Πρακτικά αδιατάρακτος ιλυόλιθικός ή αργιλικός σχιστόλιθος με ή χωρίς την παρουσία πολύ λεπτών ενστρώσεων φαμμίτη												20	G	
							ΤΥΠΟΣ Η. Τεκτονικώς διατηρημένος αργιλικός σχιστόλιθος σε χαοτική δομή με θύλακες αργίλου. Λεπτά στρώματα έχουν μετατραπεί σε πολύ μικρά βραχώδη τεμάχια		N/A	N/A					H ¹⁰

Σχήμα 2.3 Εκτίμηση του δείκτη Γεωλογικής Αντοχής για ετερογενείς βραχώμαζες. Εδώ ειδικά για τον φλύσχη. Σημείωση: από την εφαρμογή του πίνακα στην πράξη φαίνεται ότι στην περίπτωση του τύπου G είναι δυνατόν η ανάπτυξη βραχώμαζας φλύσχη με λίγες ασυνέχειες στην επιφάνεια των στρωμάτων του ιλυόλιθου και η αναστολή στις συνεχείς βραχώμαζες. Στην περίπτωση αυτή συνιστάται μια μετακίνηση, ίσως σημαντική (π.χ. κατά 10 μονάδες) (Μαρίνος, Hoek 2004).

Ο χαρακτηρισμός των βραχομαζών απαιτείται για πολλές εφαρμογές της μηχανικής πετρωμάτων συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού των υπόγειων ανοιγμάτων και του σχεδιασμού της υποστήριξης. Για τους σκοπούς αυτούς, είναι απαραίτητο να ληφθούν οι παράμετροι που εισάγονται στο σχεδιασμό, όπως οι παράμετροι αντοχής και παραμορφωσιμότητας, που είναι απαραίτητα δεδομένα για την αριθμητική μοντελοποίηση. Αν και τέτοιες παράμετροι μπορούν τελικά να προσδιοριστούν από επιτόπιες δοκιμές, στο προκαταρκτικό στάδιο σχεδιασμού, όπου η πρόσβαση στο υπόγειο είναι περιορισμένη, ο πρακτικός τρόπος απόκτησης αυτών των παραμέτρων είναι να εφαρμόσει ένα σύστημα ταξινόμησης βραχομάζας για να χαρακτηρίσει τη βραχομάζα και να εκτιμήσει τις ιδιότητες της βραχομάζας αυτής.

Με τα χρόνια, έχουν αναπτυχθεί πολλά συστήματα ταξινόμησης, όπως το RQD, ο δείκτης RMR (Rock Mass Rating), το σύστημα Q και ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής (Geological Strength Index, GSI), που περιγράφηκε προηγουμένως. Μεταξύ αυτών, το σύστημα Q χρησιμοποιείται ευρέως για το σχεδιασμό του συστήματος υποστήριξης του πετρώματος σε υπόγειες εκσκαφές, ενώ το σύστημα GSI χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των παραμέτρων σχεδιασμού. Το σύστημα GSI είναι το μόνο σύστημα ταξινόμησης βραχομάζας που συνδέεται άμεσα με μηχανικές παραμέτρους όπως οι παράμετροι αντοχής των κριτηρίων Mohr-Coulomb και Hoek – Brown. Ωστόσο, η εφαρμογή του υπάρχοντος συστήματος GSI παρεμποδίζεται από το γεγονός ότι η χρήση του συστήματος είναι σε κάποιο βαθμό υποκειμενική και απαιτεί μακροχρόνια εμπειρία.

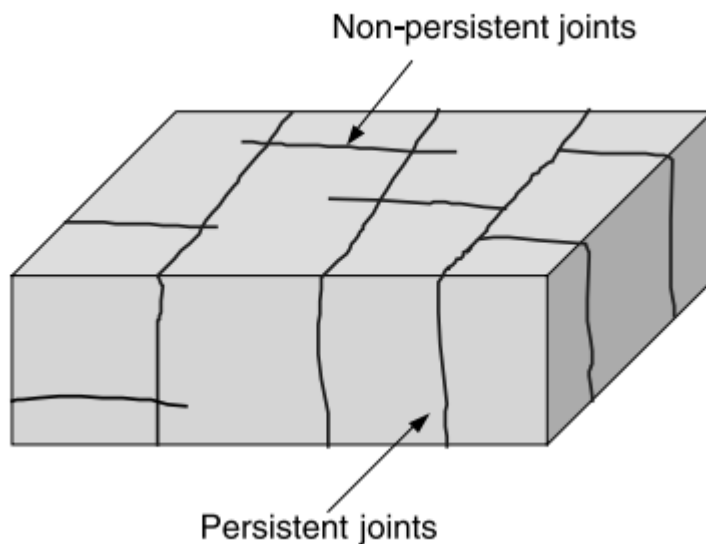
Κατά τους Hong, Han και Kang (2017) τα συστήματα ταξινόμησης της βραχομάζας, όπως το σύστημα RMR και το σύστημα GSI, προτείνονται βάσει των συσσωρευμένων εμπειριών των μηχανικών και είναι εξαιρετικά εργαλεία για τον χαρακτηρισμό των πολύπλοκων μηχανικών ιδιοτήτων των in-situ πετρωμάτων κατά τον σχεδιασμό έργων σε πετρώματα. Εφόσον η μηχανική και υδραυλική συμπεριφορά της διακλασμένης βραχομάζας κυριαρχείται από τις ασυνέχειες, τα περισσότερα συστήματα ταξινόμησης εστιάζουν στον καθορισμό συγκεκριμένων τιμών που αντιπροσωπεύουν τα χαρακτηριστικά της ασυνέχειας της βραχομάζας για τον τεχνικό σχεδιασμό. Επειδή υπάρχουν πολλά στοιχεία ή παράγοντες που επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητες των βραχομαζών, καθώς και η συνεχής μεταβλητότητα των τιμών είναι μεγάλη, είναι σχεδόν αδύνατο να αντικατοπτριστούν ακριβώς όλοι οι παράγοντες σε ένα σχήμα ταξινόμησης. Οι εκτιμήσεις στα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα ταξινόμησης βασίζονται στις εμπειρίες και στην υποκειμενικότητα των δημιουργών τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ορισμένες παραδοχές είναι απαραίτητες, που μπορεί να οδηγήσει σε αναπόφευκτα σφάλματα στον χαρακτηρισμό της βραχομάζας. Για παράδειγμα, το Q και το σύστημα ταξινόμησης GSI δεν λαμβάνουν υπόψη ρητά την εμμογή των ασυνεχειών. Η εμμογή αναφέρεται μόνο έμμεσα ως «αλληλοσύνδεση τεμαχών» στο σύστημα GSI, χρησιμοποιώντας περιγραφικούς όρους. Επιπλέον, οι ασυνέχειες θεωρούνται συχνά πλήρως συνεχείς στο χώρο για την ανάλυση της ευστάθειας σηράγγων ή πρνανών. Αυτή η υπεραπλούστευση μπορεί να οδηγήσει σε υπερεκτίμηση του μεγέθους των

ασυνεχειών και ως εκ τούτου, του αριθμού των τεμαχών που είναι κινηματικά ασταθή, με αποτέλεσμα υπερβολικές δαπάνες για συστήματα στήριξης. Αντίθετα, εάν ληφθούν υπόψη τα χαρακτηριστικά εμμοής των ασυνεχειών, το μέγεθος των μπλοκ μπορεί να εκτιμηθεί με ακρίβεια, και με ασφάλεια μπορεί να επιτευχθεί οικονομικός σχεδιασμός της κατασκευής στο πέτρωμα.

Οι ασυνέχειες καταλαμβάνουν συνήθως μόνο ένα μέρος της επιφάνειας που εκτείνεται από το επίπεδο της ασυνέχειας σε έναν δεδομένο όγκο, ένα γεγονός που ονομάζεται εμμοή. Η εμμοή είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την έκταση ή το μέγεθος μιας ασυνέχειας εντός ενός ογκού (Brady and Brown, 1992). Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η ευστάθεια των κατασκευών σε πετρώματα εξαρτάται από την αντοχή των ασυνεχειών. Η αστάθεια είναι πολύ πιο πιθανό να συμβεί εάν οι ασυνέχειες είναι πλήρως επίμονες, δεδομένης της συνήθως πολύ υψηλότερης αντίστασης του άρρηκτου πετρώματος σε σύγκριση με εκείνη των ασυνεχειών (Einstein, 1993). Η εμμοή μπορεί να οριστεί συνδέοντας το μέγεθος της ασυνέχειας με ένα μέγεθος αναφοράς, όπως το άθροισμα του μήκους του ίχνους της ασυνέχειας l_i σε σχέση με το μήκος μιας ευθείας γραμμής σάρωσης L ως $\Sigma l_i = L$ ή το άθροισμα των επιμέρους επιφανειών ασυνέχειας a_i στην επιφάνεια ενός συνεπίπεδου επιπέδου αναφοράς A ως $\Sigma a_i = A$ (Dershowitz και Einstein, 1988). Στην πράξη, η πραγματική ασυνέχεια δεν μπορεί ποτέ να είναι γνωστή με ακρίβεια. Στις διακλασμένες βραχομάζες, οι γέφυρες υπάρχουν λόγω της μη-επίμονης φύσης των αρθρώσεων. Η γέφυρα βράχου ορίζεται ως μια μικρή γέφυρα πετρώματος που διαχωρίζει συνεπίπεδες ή μη-συνεπίπεδες ασυνέχειες. Οι γέφυρες βράχου εμφανίζονται σε διάφορες κλίμακες και με ποικιλία γεωμετριών.

Κατά τους Kim, Kaiser και Cai (2007) οι γέφυρες βράχου παίζουν σημαντικό ρόλο στη σταθεροποίηση των δυνητικά ασταθών τεμαχών πετρώματος. Συγκεκριμένα, ένα βραχοτέματος δεν μπορεί να πέσει ή να ολισθήσει από μια υπόγεια εκσκαφή ή ένα πρανές μέχρι οι κατάλληλες γέφυρες βράχου να αστοχήσουν. Η αστοχία της γέφυρας περιλαμβάνει την αστοχία του άρρηκτου βράχου, ο οποίος μπορεί να είναι μία τάξη μεγέθους ισχυρότερος από τη βραχομάζα. Εάν οι ασυνέχειες δεν είναι επίμονες, η αντοχή της βραχομάζας είναι υψηλότερη και η συνολική σταθερότητα ενισχύεται. Κατά συνέπεια ο όγκος των τεμαχών του πετρώματος πρέπει να είναι μεγαλύτερος για βραχομάζες με μη-επίμονες ασυνέχειες. Η παρουσία διακεκομμένων ασυνεχειών

χει σημαντική επίδραση στις ιδιότητες και στην συμπεριφορά των βραχομαζών και πρέπει να συμπεριληφθεί στον μηχανικό χαρακτηρισμό των βραχομαζών. Το ζήτημα της εμμονής των ασυνεχειών είναι σημαντικό, αλλά ταυτόχρονα, είναι ένα από τα πιο δύσκολα ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν στη μηχανική πετρωμάτων.



Εικόνα 2.1 Αναπαράσταση επίμονων και μη επίμονων ασυνεχειών (Kim και Kaiser 2007)

Εφόσον λοιπόν το παραπάνω ζήτημα είναι σημαντικό, θα πρέπει να αντιμετωπιστεί άμεσα και χρησιμοποιώντας τεχνολογικά ανεπτυγμένα μέσα έτσι ώστε να επιλυθεί γρήγορα και βέλτιστα. Μια αρχή για την επίλυση αυτού του προβλήματος είναι η αναγνώριση και η ιχνηλάτηση των ασυνεχειών μιας βραχομάζας με σκοπό την ταξινόμηση της, βάση του διαγράμματος GSI. Πριν όμως χρησιμοποιήσουμε τεχνολογικά μέσα και καινούργιες μεθόδους, πρέπει πρώτα να εξοικειωθούμε με τα μέσα αυτά.

3. Ψηφιακή ανάλυση εικόνας.

Κατα Gonzales και Woods (2013), η εικόνα αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό μέσο παρουσίασης και μετάδοσης μηνυμάτων σε όλες τις σύγχρονες διαδικτυακές και πολυμεσικές εφαρμογές. Ψηφιακές εικόνες σε διάφορες μορφές και κυρίως σε μορφή JPEG και PNG, ανταλλάσσονται σε καθημερινή βάση είτε μέσω κινητών τηλεφώνων είτε μέσω υπολογιστών σε κοινωνικά δίκτυα. Φωτογραφίες και σχέδια χρησιμοποιούνται σε όλα τα ηλεκτρονικά και τυπωμένα έγγραφα.

Οι ψηφιακές εικόνες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: ψηφιογραφικές (ή αλλιώς χαρτογραφικές ή γραφικά πλέγματος) (bitmap ή raster graphics), και τις διανυσματικές (vector graphics). Οι ψηφιογραφικές εικόνες ή πιο απλά τα γραφικά bitmap, όπως αναφέρονται πολλές φορές ακόμη και στην Ελληνική βιβλιογραφία, δημιουργούνται από ένα σύνολο κουκίδων που ονομάζονται εικονοστοιχεία (pixels – picture elements) (Woods 2013). Τα διανυσματικά γραφικά δημιουργούνται από επιμέρους σχήματα (π.χ. γραμμές, κύκλους, ορθογώνια) στα οποία εφαρμόζονται διάφοροι μαθηματικοί μετασχηματισμοί, διαφορετικά χρώματα και υφές. Η χρήση εικόνων εγείρει πολλά θέματα που ποικίλουν από τον τρόπο ψηφιοποίησης και τον τρόπο αναπαράστασης του χρώματος, ως τη μορφή αποθήκευσης και τη συμπίεση των εικόνων.

Η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας παραμένει ένας Τομέας προγραμματισμού με προκλήσεις για διάφορους λόγους. Πρώτα το θέμα της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας εμφανίστηκε σχετικά αργά στην ιστορία των υπολογιστών. Επρεπε πρώτα να περιμένει την άφιξη του πρώτου γραφικού λειτουργικού συστήματος για να γίνει ένα πραγματικό θέμα. Δεύτερον, η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας απαιτεί πιο προσεκτική βελτιστοποίηση και ειδικά για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο.

Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας σημαίνει επεξεργασία ψηφιακής εικόνας μέσω ψηφιακού υπολογιστή. Μπορούμε επίσης να πούμε ότι πρόκειται για χρήση αλγορίθμων υπολογιστών, προκειμένου να αποκτηθεί βελτιωμένη εικόνα είτε για να εξαχθούν κάποιες χρήσιμες πληροφορίες.

Μια εικόνα μπορεί να οριστεί ως μια δισδιάστατη συνάρτηση, $f(x, y)$, όπου τα x και y είναι χωρικές (επίπεδες) συντεταγμένες και το πλάτος του f σε οποιοδήποτε ζεύγος συντεταγμένων (x, y) ονομάζεται ένταση (intensity) ή γκριζο επίπεδο (gray level) της εικόνας σε αυτό το σημείο. Όταν x , y , και οι τιμές έντασης του f είναι όλες πεπερασμένες, διακριτές ποσότητες, ονομάζουμε την εικόνα ψηφιακή εικόνα. Το πεδίο της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας αναφέρεται στην επεξεργασία ψηφιακών εικόνων από μέσα ενός ψηφιακού υπολογιστή. Μια ψηφιακή εικόνα αποτελείται από ένα πεπερασμένο αριθμό στοιχείων και καθένα από τα οποία έχει ένα συγκεκριμένη τοποθεσία και αξία. Αυτά τα στοιχεία ονομάζονται στοιχεία εικόνας, pixels και pixel. Το εικονοστοιχείο (pixel) είναι ο όρος που χρησιμοποιείται ευρύτατα για να περιγραφθούν τα στοιχεία μιας ψηφιακής εικόνας.

Δεν υπάρχει γενική συμφωνία σχετικά με το πού σταματά η επεξεργασία εικόνας και άλλοι συναφείς τομείς, όπως η ανάλυση εικόνας και υπολογιστική όραση, ξεκινούν. Μερικές φορές, γίνεται διάκριση με τον ορισμό της επεξεργασίας εικόνας ως διαδικασίας στην οποία τόσο η είσοδος και η έξοδος μιας διαδικασίας είναι εικόνες. Αυτό είναι ένα περιοριστικό και τεχνητό όριο. Για παράδειγμα υπο αυτόν τον ορισμό, ακόμη και το ασήμαντο καθήκον του υπολογισμού της μέσης έντασης μιας εικόνας (που αποδίδει έναν μόνο αριθμό) δεν θα ληφθεί υπόψη ως μια λειτουργία επεξεργασίας εικόνας. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν τομείς όπως η όραση του υπολογιστή (computer vision ή CV), όπου ο απώτερος στόχος του είναι η χρήση υπολογιστών για να μιμηθούν την ανθρώπινη όραση, συμπεριλαμβανομένης της μάθησης και να είναι σε θέση να εξάγουν συμπεράσματα και να λάβουν μέτρα που βασίζονται σε οπτικές εισροές. Αυτή η ίδια η περιοχή είναι ένας κλάδος της τεχνητής νοημοσύνης (AI) του οποίου στόχος είναι να μιμηθεί την ανθρώπινη νοημοσύνη.

Με βάση τα προηγούμενα σχόλια, βλέπουμε ότι ένας λογικός τόπος αλληλεπικάλυψης μεταξύ επεξεργασίας εικόνας και ανάλυσης εικόνας είναι η περιοχή της αναγνώρισης μεμονωμένων περιοχών ή αντικειμένων σε μια εικόνα. Έτσι, αυτό που ονομάζουμε ψηφιακή επεξεργασία εικόνας περιλαμβάνει διαδικασίες των οποίων οι είσοδοι και οι έξοδοι είναι εικόνες και, επιπλέον, περιλαμβάνουν διαδικασίες που εξάγουν χαρακτηριστικά από εικόνες έως και συμπεριλαμβανομένης της αναγνώρισης μεμονωμένων αντικειμένων. Ως παράδειγμα για την αποσαφήνιση αυτών των εννοιών, μπορούμε να εξετάσουμε τον τομέα της αυτοματοποιημένης

ανάλυσης ενός κειμένου. Οι διαδικασίες απόκτησης μιας εικόνας της περιοχής που περιέχει το κείμενο, προεπεξεργασία αυτής της εικόνας, εξαγωγή (κατάτμηση) των μεμονωμένων χαρακτήρων, περιγράφοντας τους χαρακτήρες σε μορφή κατάλληλη για την επεξεργασία ηλεκτρονικών υπολογιστών, και αναγνωρίζοντας αυτούς τους μεμονωμένους χαρακτήρες βρίσκονται στο πεδίο εφαρμογής αυτού που ονομάζουμε ψηφιακή επεξεργασία εικόνας. Η κατανόηση του περιεχομένου μπορεί να θεωρηθεί ως στον τομέα της ανάλυσης εικόνας και ακόμη και της όρασης του υπολογιστή, ανάλογα με το επίπεδο πολυπλοκότητας. Όπως θα γίνει εμφανές σύντομα, η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, όπως την έχουμε ορίσει, χρησιμοποιείται συνήθως σε ένα ευρύ φάσμα τομέων έχοντας εξαιρετική κοινωνική και οικονομική αξία. (Bishop 2006)

Μία από τις πρώτες εφαρμογές των ψηφιακών εικόνων ήταν στη βιομηχανία εφημερίδων, όταν οι εικόνες στάλθηκαν για πρώτη φορά με υποβρύχιο καλώδιο μεταξύ Λονδίνου και Νέας Υόρκης. Η εισαγωγή του συστήματος μετάδοσης εικόνων καλωδίων Bartlane στις αρχές της δεκαετίας του 1920 μείωσε το χρόνο που απαιτείται να μεταφέρει μια εικόνα πέρα από τον Ατλαντικό από περισσότερο από μία εβδομάδα σε λιγότερο από τρεις ώρες. Εξειδικευμένος εξοπλισμός εκτύπωσης εικόνας τροποποιήθηκε για καλωδιακή μετάδοση και στη συνέχεια ανακατασκευάστηκαν στο άκρο λήψης. η παρακατω εικονα μεταδόθηκε με αυτόν τον τρόπο και αναπαράχθηκε σε έναν εκτυπωτή τηλεγράφων εξοπλισμένο με γραμματοσειρές που προσομοιώνουν ένα μοτίβο.



Εικόνα 3.1 Μια ψηφιακή εικόνα που παράγεται το 1921 από μια κωδικοποιημένη ταινία από έναν τηλεγραφικό εκτυπωτή με ειδικές γραμματοσειρές.

Μερικά από τα αρχικά προβλήματα στη βελτίωση της οπτικής ποιότητας αυτών των πρώιμων ψηφιακών εικόνων σχετίζονταν με την επιλογή της διαδικασίας εκτύπωσης

και κατανομή των επιπέδων έντασης. Η μέθοδος εκτύπωσης που χρησιμοποιείται για την απόκτηση της εικόνας 3.1 εγκαταλείφθηκε προς το τέλος του 1921 υπέρ μιας τεχνικής που βασίζεται στη φωτογραφική αναπαραγωγή από ταινίες διάτρητες στο τερματικό λήψης τηλεγράφων. Η εικόνα 3.2 δείχνει μια λήψη που λαμβάνεται χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο. Οι βελτιώσεις σε σχέση με την εικόνα. 3.1 είναι εμφανείς, τόσο σε τονική ποιότητα όσο και σε ανάλυση.

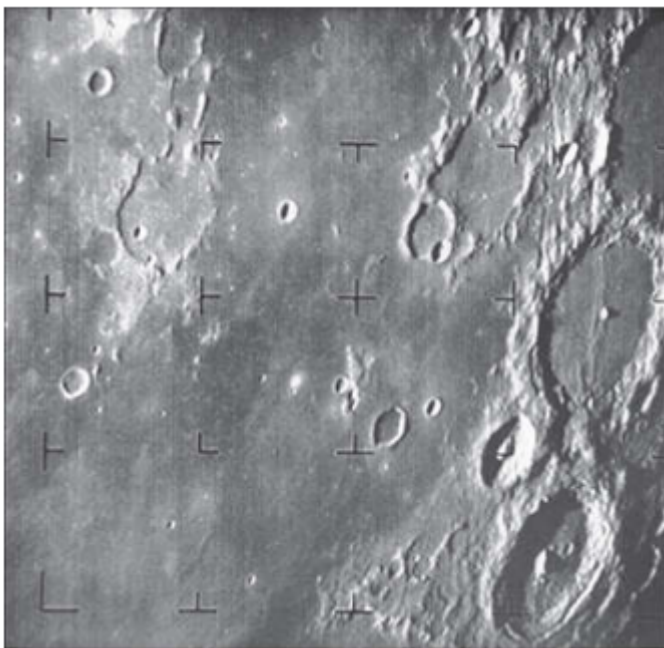


Εικόνα 3.2 Μια ψηφιακή εικόνα που έγινε το 1922 από μια ταινία διάτρητη αφού τα σήματα είχαν διασχίσει τον Ατλαντικό δύο φορές.

Αν και τα παραδείγματα που μόλις αναφέρθηκαν αφορούν ψηφιακές εικόνες, δεν θεωρούνται ψηφιακά αποτελέσματα επεξεργασίας εικόνας στο πλαίσιο του ορισμού, επειδή οι ψηφιακοί υπολογιστές δεν χρησιμοποιήθηκαν στη δημιουργία τους. Έτσι, η ιστορία της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας είναι στενά συνδεδεμένη με την ανάπτυξη του ψηφιακού υπολογιστή. Στην πραγματικότητα, οι ψηφιακές εικόνες απαιτούν τόσο μεγάλη αποθήκευση και υπολογιστική ισχύ ώστε η πρόοδος στο πεδίο της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας έχει εξαρτηθεί από την ανάπτυξη ψηφιακών υπολογιστών και υποστηρικτικών τεχνολογιών που συμπεριλαμβάνουν την αποθήκευση δεδομένων, την οθόνη και τη μετάδοση.

Οι πρώτοι υπολογιστές αρκετά ισχυροί για να πραγματοποιήσουν σημαντικές εργασίες επεξεργασίας εικόνας εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Η αρχή της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας όπως την γνωρίζουμε σήμερα μπορεί να παρατηρηθεί με τη διαθεσιμότητα των εν λόγω μηχανημάτων, και με την έναρξη του διαστημικού προγράμματος κατά τη διάρκεια εκείνης της εποχής. Χρειάστηκε ο συνδυασμός αυτών των εξελίξεων για να φέρει στο προσκήνιο τις δυνατότητες της

ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας για την επίλυση προβλημάτων πρακτικής σημασίας. Οι εργασίες για τη χρήση τεχνικών υπολογιστών για τη βελτίωση των εικόνων από ένα διαστημικό δείγμα ξεκίνησαν στο Εργαστήριο πρόωσης (Pasadena, Καλιφόρνια) το 1964, όταν οι εικόνες της σελήνης που μεταδόθηκαν από τον Ranger 7, υποβλήθηκαν σε επεξεργασία από έναν υπολογιστή για τη διόρθωση διαφόρων τύπων παραμόρφωσης εικόνας που είναι εγγενείς στην ενσωματωμένη τηλεοπτική κάμερα. Η εικόνα 2.2 δείχνει την πρώτη εικόνα της Σελήνης που τραβήχτηκε από το Ranger 7 στις 31 Ιουλίου 1964 στις 9: 09 π. μ. Ανατολική θερινή ώρα (EDT), περίπου 17 λεπτά πριν προσκρουστεί στη σεληνιακή επιφάνεια . Αυτή είναι επίσης η πρώτη εικόνα του φεγγαριού που τραβήχτηκε από ένα αμερικανικό διαστημικό σκάφος. Τα ζητήματα απεικόνισης που λύθηκαν με το Ranger 7 χρησίμευσαν ως βάση για βελτιωμένες μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση και την αποκατάσταση εικόνων από τις αποστολές Surveyor στη Σελήνη, τη σειρά Mariner των αποστολών flyby στον Άρη, τον Απόλλωνα, επανδρωμένες πτήσεις προς τη Σελήνη και άλλες. (Gonzales και Woods, 2013)



Εικόνα 3.3 Η πρώτη εικόνα της σελήνης από ένα αμερικανικό διαστημικό σκάφος. Ο Ranger 7 πήρε αυτή την εικόνα στις 31 Ιουλίου 1964 στις 9: 09 π. μ. EDT, περίπου 17 λεπτά πριν από την πρόσκρουση στην σεληνιακή επιφάνεια. (NASA)

3.1 Εφαρμογές της επεξεργασίας εικόνας.

Από τη δεκαετία του 1960 μέχρι σήμερα, ο τομέας της επεξεργασίας εικόνας έχει αναπτυχθεί έντονα. Εκτός από τις εφαρμογές στην ιατρική και το διαστημικό πρόγραμμα, οι τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας χρησιμοποιούνται τώρα και σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Οι διαδικασίες υπολογιστών χρησιμοποιούνται για να ενισχύσουν την αντίθεση ή να κωδικοποιήσουν τα επίπεδα έντασης στο χρώμα για ευκολότερη ερμηνεία των ακτίνων Χ και άλλων εικόνων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, την ιατρική, και στις βιολογικές επιστήμες. Οι γεωγράφοι χρησιμοποιούν τις ίδιες ή παρόμοιες τεχνικές για να μελετήσουν τα πρότυπα ρύπανσης από εναέριες και δορυφορικές εικόνες. Οι διαδικασίες βελτίωσης και αποκατάστασης εικόνας χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία υποβαθμισμένων εικόνων μη ανακτήσιμων αντικειμένων, ή τα πειραματικά αποτελέσματα είναι πολύ ακριβά για να αναπαραχθούν. Στην αρχαιολογία, οι μέθοδοι επεξεργασίας εικόνας έχουν αποκαταστήσει με επιτυχία τις θολές εικόνες αυτά ήταν τα μόνα διαθέσιμα αρχεία σπάνιων αντικειμένων που χάθηκαν ή καταστράφηκαν μετά τη φωτογραφία. Στη φυσική και σε συναφείς τομείς οι τεχνικές συνήθως ενισχύουν τις εικόνες των πειραμάτων σε περιοχές όπως τα πλάσματα υψηλής ενέργειας και η ηλεκτρονική μικροσκοπία. Ομοίως οι επιτυχείς εφαρμογές των εννοιών επεξεργασίας εικόνας μπορούν να βρεθούν στην αστρονομία, τη βιολογία, την πυρηνική ιατρική, και βιομηχανία καθώς και την μηχανική πετρωμάτων όπως θα διαπιστώσουμε παρακάτω. (Gonzales και Woods, 2013)

3.2 Τεχνητή νοημοσύνη στο χώρο της μηχανικής.

Διαφορές μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης (AI) έχουν εφαρμοστεί σε διάφορες πτυχές της μηχανικής πετρωμάτων, αλλά το γεγονός ότι καμία από αυτές τις μεθόδους έχουν χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο σημαίνει ότι η αμφιβολία ως προς τη γενικότητα και την εγκυρότητά τους εξακολουθεί να υπάρχει. Οι μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων στον τομέα της βραχομηχανικής και είχαν καλύτερη απόδοση από την παραδοσιακή εμπειρική, μαθηματική ή στατιστική μέθοδο. Ωστόσο, η πρακτική εφαρμογή τους εξακολουθεί να αποτελεί

ζήτημα ανησυχίας, καθώς πολλά από τα υπάρχοντα μοντέλα AI απαιτούν κάποιο επίπεδο εμπειρογνωμοσύνης προτού να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν, επειδή δεν έχουν τη μορφή ανιχνεύσιμων μαθηματικών εξισώσεων. Έτσι, ορισμένες προηγμένες μέθοδοι AI πρέπει ακόμα να διερευνηθούν. Η περιορισμένη διαθεσιμότητα του συνόλου δεδομένων για τις προσομοιώσεις AI αναγνωρίζεται επίσης ως σημαντικό πρόβλημα. (Lawal, 2020)

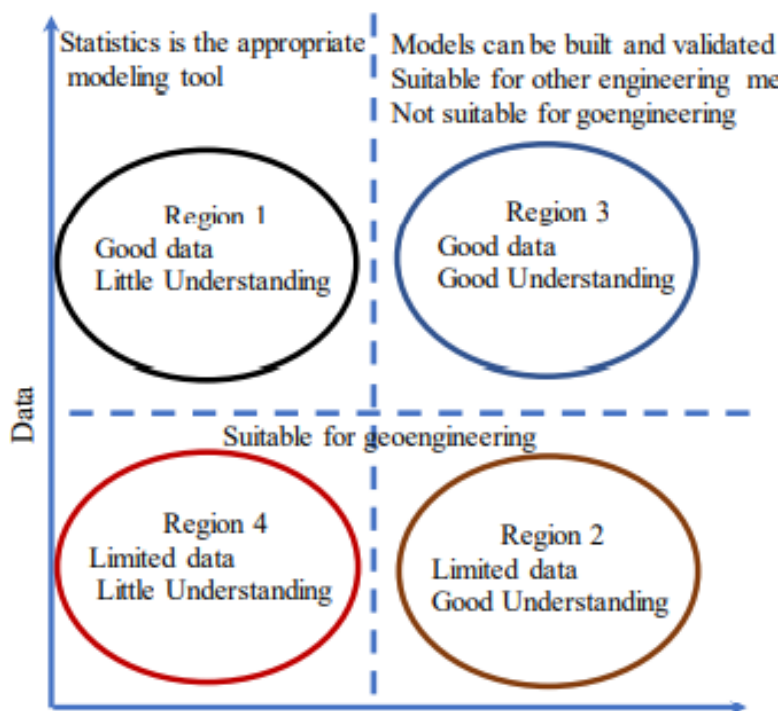
Η αναζήτηση για την κατασκευή βιομηχανικών κατασκευών, υπόγειων χώρων, οι πόροι και η ασφάλεια τις τελευταίες δεκαετίες είναι μια αναπόφευκτη ανάγκη και τάση εκσυγχρονισμού και ανάπτυξης των χωρών σε όλο τον κόσμο. Υψηλής ποιότητας ανάπτυξη και η βιώσιμη αξιοποίηση του υπόγειου χώρου έχει γίνει ένα διεθνές ζήτημα. Η χρήση του υπόγειου χώρου μπορεί βασικά να ταξινομηθεί σε δύο σκοπούς, δηλαδή, σε πολιτικά έργα και μεταλλευτικά (Sterling και Nelson, 1982, Wallace, 2016). Ωστόσο, το πιο δύσκολο ζήτημα είναι η ασφάλεια της ζωής των εργαζομένων.

Με βάση το βαθμό της διαταραχής, οι επιφανειακές και οι υπόγειες εκσκαφές μπορούν να αποτελέσουν σημαντική απειλή για την ασφάλεια του προσωπικού και του εξοπλισμού μέσα και γύρω από μια τέτοια εκσκαφή. Ως εκ τούτου, η ευστάθεια στις επιφανειακές και υπόγειες εκσκαφές ήταν πάντα μια μεγάλη ανησυχία για τους γεωτεχνικούς μηχανικούς (Lawal 2020). Η ευστάθεια στις υπόγειες ανασκαφές, εξαρτάται από τις φυσικομηχανικές ιδιότητες της βραχομάζας, τις ασυνέχειες, την κατάσταση των υπόγειων υδάτων και τις επαγόμενες καταπονήσεις. Αυτές οι παράμετροι προσδιορίζονται γενικά χρησιμοποιώντας πειραματικές και επί τόπου τεχνικές μέτρησης. Ωστόσο, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί με ακρίβεια η ευστάθεια της υπόγειας εκσκαφής εξαιτίας της πολυπλοκότητας του φυσικού συστήματος και οι προσπάθειες που απαιτούνται για τον προσδιορισμό των δεδομένων εισόδου που σχετίζονται με γεωτεχνικές παραμέτρους είναι εξαιρετικά δύσκολες. Η πλειοψηφία των κατασκευαστικών εργασιών και τα σχέδια μηχανικής πραγματοποιούνται με βάση τις εμπειρίες των μηχανικών πεδίου, αλλά ανεπαρκείς πληροφορίες μπορούν να παρέχονται ανεξάρτητα από τις εμπειρίες αυτές δημιουργώντας προβλήματα.

Κατα Lawal (2020), αναγνωρίζεται ότι πολλά προβλήματα μηχανικής πετρωμάτων οφείλονται στη διαθεσιμότητα περιορισμένων δεδομένων, με αποτέλεσμα την

ανεπαρκή πληροφόρηση σχετικά με την συμπεριφορά του υπεδάφους. Αυτό το σενάριο μπορεί να περιγραφεί χρησιμοποιώντας την ταξινόμηση του Holling (1978) όπως παρουσιάζεται στο Σχ. 3.1. Στο Σχ. 3.1, υπάρχουν τέσσερις περιοχές. Η πρώτη περιοχή δείχνει πού υπάρχουν καλά δεδομένα αλλά περιορισμένη κατανόηση. Στην περιοχή 2, υπάρχουν περιορισμένα δεδομένα και καλή κατανόηση, ενώ στην περιοχή 3, υπάρχουν αρκετά δεδομένα και καλή κατανόηση. Στην τέταρτη περιοχή, δεν υπάρχουν ούτε αρκετά δεδομένα ούτε καλή κατανόηση.

Ως εκ τούτου, η πλειοψηφία των προβλημάτων της μηχανικής πετρωμάτων ανήκουν στις περιοχές 2-4, ενώ άλλα προβλήματα μηχανικής εμπίπτουν στις περιοχές 1 και 3. Ωστόσο, το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι ότι η πλειοψηφία των προβλημάτων μηχανικής πετρωμάτων διαμορφώνονται ακολουθώντας τη διαδικασία της περιοχής 3, το οποίο είναι προφανώς ακατάλληλο (Holling 1978). Επιπλέον, τα προβλήματα της μηχανικής πετρωμάτων δεν περιορίζονται μόνο στη μη διαθεσιμότητα σαφώς καθορισμένων δεδομένων εισόδου και στη μοντελοποίηση αλλά και στην επικύρωση τέτοιων μοντέλων για την εγγενή μεταβλητότητα στο γεωμετρικό υλικό (Starfield και Cundall, 1988).



Σχήμα 3.1 Ταξινόμηση των προβλημάτων μοντελοποίησης κατά Holling (1978)

Οι αναλυτικές εξισώσεις για ορισμένα προβλήματα μηχανικής πετρωμάτων δεν είναι διαθέσιμες, και τα περισσότερα από τα διαθέσιμα μοντέλα δεν μπορούν να φιλοξενήσουν όλες τις παραμέτρους επιρροής και επομένως οι απλουστευμένες υποθέσεις χρησιμοποιούνται γενικά (Feng, 1997). Όταν οι μηχανικοί που πραγματοποιούν το σχεδιασμό είναι περιορισμένοι από τις λιγοστές διαθέσιμες πληροφορίες, ο σχεδιασμός ή η κρίση τους χρησιμοποιώντας προηγούμενες εμπειρίες σε παρόμοια γεωλογία προκύπτει και περιορισμένη εφαρμογή των σωστών μεθόδων που απαιτούνται για την επίλυση ενός ζητήματος. Η έλευση της αριθμητικής μοντελοποίησης έχει μειώσει τα προβλήματα αυτά καθώς μπορεί να προσομοιώσει τη μηχανική συμπεριφορά των δομών ενός βράχου, αλλά υπάρχει μια τεράστια διαφορά μεταξύ του επί τόπου μετρήσεων και των αριθμητικών προβλέψεων (Xue και Xiao, 2017). Η διαφορά θα μπορούσε να αποδοθεί στη δυσκολία καθορισμού κατάλληλων οριακών συνθηκών λόγω της έλλειψης περιεκτικής κατανόησης των προβλημάτων της μηχανικής πετρωμάτων.

4.Επεξήγηση προγράμματος και αναλυτικών βημάτων υλοποίησης.

4.1 Αναφορά στην γλώσσα προγραμματισμού.

Το πρόγραμμα της συγκεκριμένης εργασίας γράφτηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Η Python είναι μια ερμηνευμένη, υψηλού επιπέδου και γενικής χρήσης Γλώσσα Προγραμματισμού. Η φιλοσοφία σχεδιασμού της Python δίνει έμφαση στην αναγνωσιμότητα του κώδικα με την αξιοσημείωτη χρήση σημαντικών κενών. Οι γλωσσικές του κατασκευές και η αντικειμενοστραφής προσέγγιση στοχεύουν να βοηθήσουν τους προγραμματιστές να γράψουν σαφή, λογικό κώδικα για έργα μικρής και μεγάλης κλίμακας. (Guido van Rossum, 2020)

Η Python πληκτρολογείται δυναμικά και υποστηρίζει πολλαπλά παραδείγματα προγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένου του δομημένου (ιδιαίτερα διαδικαστικού), αντικειμενοστραφούς και λειτουργικού προγραμματισμού. Η Python περιγράφεται συχνά ως γλώσσα "batteries included" λόγω της περιεκτικής τυποποιημένης Βιβλιοθήκης της. (Tim Peters, 2004)

Η Python δημιουργήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το 1991 από τον Guido van Rossum ως διάδοχο της γλώσσας προγραμματισμού ABC. Η Python 2.0, που κυκλοφόρησε το 2000, εισήγαγε νέα χαρακτηριστικά, όπως κατανοήσιμες λίστες, και ένα σύστημα συλλογής απορριμμάτων με μέτρηση αναφοράς και διακόπηκε με την έκδοση 2.7 το 2020. Η Python 3.0, που κυκλοφόρησε το 2008, ήταν μια σημαντική αναθεώρηση της γλώσσας που δεν είναι πλήρως συμβατή προς τα πίσω και πολύ κώδικας Python 2 δεν εκτελείται χωρίς τροποποίηση στην Python 3.

Η Python είναι μια γλώσσα προγραμματισμού πολλαπλών παραδειγμάτων. Object-oriented προγραμματισμό και δομημένου προγραμματισμού υποστηρίζονται πλήρως, και πολλά από τα χαρακτηριστικά υποστήριξης λειτουργικού προγραμματισμού και aspect-oriented programming (συμπεριλαμβανομένης της metaprogramming και metaobjects (magic μεθόδους)). Πολλά άλλα παραδείγματα

υποστηρίζονται μέσω επεκτάσεων, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού με σύμβαση και του λογικού προγραμματισμού.

Η Python χρησιμοποιεί δυναμική πληκτρολόγηση και συνδυασμό μέτρησης αναφοράς και συλλέκτη απορριμμάτων ανίχνευσης κύκλου για διαχείριση μνήμης. Διαθέτει επίσης δυναμική ανάλυση ονόματος (καθυστερημένη δέσμευση), η οποία δεσμεύει ονόματα μεθόδων και μεταβλητών κατά την εκτέλεση του προγράμματος.

Η βασική φιλοσοφία της γλώσσας συνοψίζεται στο έγγραφο The Zen of Python (Tim Peters, 1999), το οποίο περιλαμβάνει αφορισμούς όπως:

- Το όμορφο είναι καλύτερο από το άσχημο.
- Η ρητή είναι καλύτερη από τη σιωπηρή.
- Το απλό είναι καλύτερο από το σύνθετο.
- Το σύνθετο είναι καλύτερο από το περίπλοκο.
- Η αναγνωσιμότητα μετράει.

Αντί να έχει όλη τη λειτουργικότητά της ενσωματωμένη στον πυρήνα της, η Python σχεδιάστηκε για να είναι εξαιρετικά επεκτάσιμη. Αυτή η συμπαγής αρθρωτότητα την έχει καταστήσει ιδιαίτερα δημοφιλές ως μέσο προσθήκης προγραμματιζόμενων διεπαφών σε υπάρχουσες εφαρμογές. Το όραμα του Van Rossum για μια μικρή βασική γλώσσα με μια μεγάλη τυποποιημένη βιβλιοθήκη και εύκολα επεκτάσιμο διερμηνέα προήλθε από τις απογοητεύσεις του με το ABC, το οποίο υιοθέτησε την αντίθετη προσέγγιση.

Η Python αγωνίζεται για μια απλούστερη, λιγότερο γεμάτη σύνταξη και γραμματική, ενώ παράλληλα δίνει στους προγραμματιστές μια επιλογή στη μεθοδολογία κωδικοποίησης. Σε αντίθεση με το σύνθημα του Perl "υπάρχουν περισσότεροι από ένας τρόποι να το κάνουμε", Η Python αγκαλιάζει μια φιλοσοφία σχεδιασμού "πρέπει να υπάρχει ένας—και κατά προτίμηση μόνο ένας—προφανής τρόπος να το κάνουμε". Ο Alex Martelli, συνεργάτης του Python Software Foundation και συγγραφέας βιβλίων Python, γράφει ότι "το να περιγράψεις κάτι ως "έξυπνο" δεν θεωρείται φιλοφρόνηση στον πολιτισμό της Python."

Οι προγραμματιστές της Python προσπαθούν να αποφύγουν την πρόωρη βελτιστοποίηση και να απορρίψουν τα μπαλώματα σε μη κρίσιμα τμήματα της εφαρμογής αναφοράς CPython που θα προσφέρουν οριακές αυξήσεις στην ταχύτητα με το κόστος της σαφήνειας. Όταν η ταχύτητα είναι σημαντική, ένας προγραμματιστής Python μπορεί να μετακινήσει λειτουργίες κρίσιμες για το χρόνο σε ενότητες επέκτασης γραμμένες σε γλώσσες όπως το C ή να χρησιμοποιήσει το PyPy, έναν μεταγλωττιστή just-in-time. Το Cython είναι επίσης διαθέσιμο, το οποίο μεταφράζει ένα σενάριο Python σε C και κάνει άμεσες κλήσεις API C-level στον διερμηνέα Python.

Ένας σημαντικός στόχος των προγραμματιστών της Python είναι η διατήρηση της διασκέδασης στη χρήση. Αυτό αντικατοπτρίζεται στο όνομα της γλώσσας-ένα αφιέρωμα στη βρετανική ομάδα κωμωδίας Monty Python και σε περιστασιακά παιχνιδιάρικες προσεγγίσεις σε σεμινάρια και υλικά αναφοράς, όπως παραδείγματα που αναφέρονται σε spam και αυγά (από ένα διάσημο σκίτσο Monty Python) αντί για το πρότυπο foo και bar.

Ένας κοινός νεολογισμός στην Κοινότητα Python είναι η *pythonic*, η οποία μπορεί να έχει ένα ευρύ φάσμα εννοιών που σχετίζονται με το στυλ του προγράμματος. Για να πούμε ότι ο κώδικας είναι *pythonic* είναι να πούμε ότι χρησιμοποιεί ιδιώματα Python καλά, ότι είναι φυσικό ή δείχνει ευχέρεια στη γλώσσα, ότι συμμορφώνεται με την μινιμαλιστική φιλοσοφία της Python και την έμφαση στην αναγνωσιμότητα. Αντίθετα, ο κώδικας που είναι δύσκολο να κατανοηθεί ή να διαβαστεί σαν μια ακατέργαστη μεταγραφή από άλλη γλώσσα προγραμματισμού ονομάζεται *unpythonic*.

Οι χρήστες και οι θαυμαστές της Python, ειδικά εκείνοι που θεωρούνται γνώστες ή έμπειροι, αναφέρονται συχνά ως Pythonistas.

4.2 Πλεονεκτήματα Python.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω προκύπτει το ερώτημα, γιατί η Python είναι η κατάλληλη γλώσσα προγραμματισμού για την ψηφιακή ανάλυση εικόνας (με απώτερο σκοπό την αναγνώριση ασυνεχειών της εκαστοτε βραχομάζας.).

Η Python που στοχεύει στη χρήση τόσο από νέους όσο και από έμπειρους προγραμματιστές με βασικό πλεονέκτημα να είναι σε θέση να μετατρέψει ιδέες σε κώδικα εύκολα. Αυτή τη στιγμή είναι η πιο διαδεδομένη, ώριμη και καλά υποστηριζόμενη μεταξύ των γλωσσών προγραμματισμού στον τομέα της μηχανικής μάθησης (machine learning).

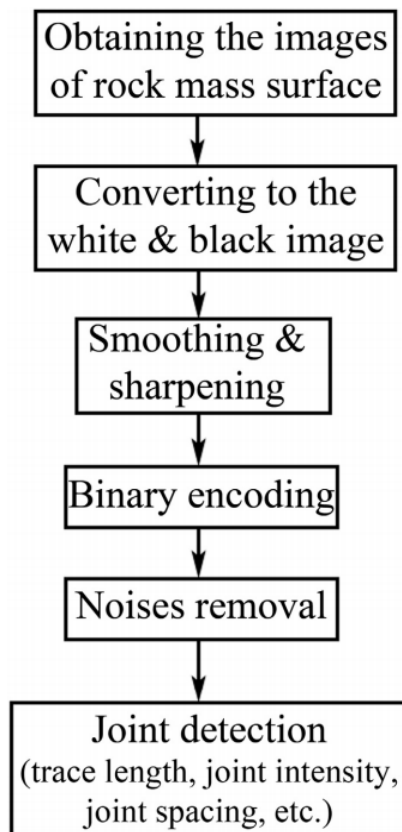
Ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα είναι η ευκολία της γραφής του κώδικα. Ο "κώδικας ως απλά ελληνικά" είναι ο πρωταρχικός στόχος της Python. Αυτό επιτρέπει στους προγραμματιστές να επικεντρωθούν στο σχεδιασμό και όχι στην κωδικοποίηση. Αυτό είναι ιδανικό για όσους μόλις ξεκινούν με μηχανική μάθηση ή βασικό προγραμματισμό. Αυτό το πλεονέκτημα είναι πολύ επωφελές, ειδικά όταν αντιμετωπίζονται πολύπλοκα σενάρια.

Επίσης η Python διαθέτει τεράστιες βιβλιοθήκες για μηχανική μάθηση. Οι επιστήμονες δεδομένων επενδύουν το χρόνο τους συμβάλλοντας, αφού είναι εύκολο να κωδικοποιηθούν και είναι δωρεάν. Οι προγραμματιστές CV δεν χρειάζεται να ανησυχούν πολύ για τα έργα στα οποία εργάζονται, καθώς οι περισσότερες από τις περιπτώσεις τους καλύπτονται ήδη από βιβλιοθήκες Python.

Βάση αυτών των πλεονεκτημάτων επιλέχθηκε η συγκεκριμένη γλώσσα για να γραφτεί ένα πρόγραμμα με σκοπό την εισαγωγή εικόνων από επιφάνειες βραχομάζας και την εξαγωγή των ίδιων εικόνων με χρωματισμένες τις περιοχές των ασυνεχειών. Προτού όμως δούμε τα αποτελέσματα του προγράμματος, πρέπει να εξετάσουμε την γραφή και την εισαγωγή των πράξεων και εντολών που χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικά.

4.3 Λογικό διάγραμμα ροής προγράμματος.

Η παρακάτω εικόνα δείχνει το σχηματικό διάγραμμα ροής για την ανίχνευση ασυνεχειών βραχομάζας σύμφωνα με τους Hong, Han και Kang (2017).



Σχήμα 4.1. Διάγραμμα ροής.

Όπως βλέπουμε από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτουν 6 βήματα τα οποία θα πρέπει να ακολουθήσουμε ώστε να μπορούμε να ανιχνεύσουμε τις ασυνέχειες μιας βραχομάζας.

4.4 Βήματα διαγράμματος ροής.

Το πρώτο βήμα περιλαμβάνει την λήψη των φωτογραφιών από τις επιφάνειες της βραχομάζας που θέλουμε να εξετάσουμε. Προκειμένου να έχουμε καλά αποτελέσματα συνίσταται οι φωτογραφίες να έχουν όσο πιο μεγαλύτερη ανάλυση γίνεται. Επίσης η ομοιομορφία του φωτός είναι άλλο ένα πλεονέκτημα που θα φανεί στα αποτελέσματα. Όσο πιο ομοιόμορφα φωτισμένη είναι μια φωτογραφία, τόσο πιο μεγάλη ακρίβεια θα έχει το αποτέλεσμα. Βέβαια εφόσον έχουμε να κάνουμε με

βραχομάζες είναι λογικό να υπάρξουν αποκλίσεις διότι οι περισσότερες λήψεις είναι πιο πιθανό να γίνουν μέσα σε κάποια υπόγεια εξόρυξη ή κάποια σήραγγα όπου το φως δεν είναι αντίστοιχα ομοιόμορφο σε όλη την επιφάνεια. Παρόλα αυτά μια τέτοια φωτογραφία μπορεί να εισαχθεί ως δεδομένο όπως θα δούμε στην συνέχεια με μοναδική διαφορά ότι θα έχει μια μικρή απόκλιση στο τελικό αποτέλεσμα πράγμα που δεν θα επηρεάσει την αντιστοίχιση της πάνω στο διάγραμμα GSI.

Ως δεύτερο βήμα έχουμε την μετατροπή της φωτογραφίας σε ασπρόμαυρο. Αυτό το βήμα εξυπηρετεί την διευκόλυνση του προγράμματος διότι με αυτή την μετατροπή, μετατρέπονται οι πίνακες των pixels σε μια απλούστερη μορφή με σκοπό να γίνουν οι μαθηματικές πράξεις πιο σύντομα.

Στο τρίτο βήμα έχουμε την εξομάλυνση και όξυνση της ασπρόμαυρης φωτογραφίας. Με αυτό το βήμα δίνεται έμφαση στις ασυνέχειες της επιφάνειας ώστε να γίνει περαιτέρω επεξεργασία.

Ως τέταρτο βήμα έχουμε την δυαδική κωδικοποίηση. Για την ανίχνευση των υπογραμμισμένων ασυνεχειών, διεξάγεται δυαδική κωδικοποίηση με ανάλυση διακρίσεων, έτσι ώστε οι ασυνέχειες και το υπόβαθρο της εικόνα να διαχωρίζονται μεταξύ τους. Επειδή οι κατανομές φωτεινότητας των διαφορετικών βραχομαζών και οι ασυνέχειες στις εικόνες ποικίλλουν, εκτελούμε μια δυαδική κωδικοποίηση από ανάλυση διακρίσεων για τον προσδιορισμό του ορίου που ορθολογικά διαχωρίζει τα pixels σε δύο τύπους, με βάση το ιστόγραμμα συγκέντρωσης.

Στην συνέχεια το πέμπτο βήμα είναι η αφαίρεση θορύβου. Μια εικόνα μπορεί να επηρεαστεί από θόρυβο και παρεμβολές από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτρικού θορύβου αισθητήρων, φωτογραφικό θόρυβο κόκκων και ειδικά ρωγμές που προκαλούνται από εκρήξεις. Ως εκ τούτου, οι εργασίες διάβρωσης και διόγκωσης σε αυτόματες και χειροκίνητες διαδικασίες πρέπει να εκτελείται για τις δυαδικές εικόνες, προκειμένου να απομακρυνθεί ο περιττός θόρυβος που μπορεί να προκαλέσει σφάλματα στην κοινή ανίχνευση. Ιδιαίτερα, η χειρωνακτική διαδικασία αφαιρεί τις από έκρηξη προκληθείσες ρωγμές από την επιφάνεια, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της αυτόματης ανίχνευσης με εκείνες της επιτόπιας έρευνας

Τέλος έχουμε την ανίχνευση των ασυνεχειών της βραχομάζας. Μετά την αφαίρεση του περιττού θορύβου, εντοπίζουμε τις ασυνέχειες που παρέμειναν στη δυαδική εικόνα.

Φτάνοντας σε αυτό το σημείο έχουμε απομονώσει τις ασυνέχειες της επιφάνειας και το μόνο που μένει είναι ο χρωματισμός τους έτσι ώστε να διακρίνονται κατά την εξαγωγή της αρχικής φωτογραφίας.

4.5 Εισαγωγή βασικών λειτουργιών στο πρόγραμμα.

Για να μπορέσουμε να φτάσουμε στο σημείο στο οποίο ένα πρόγραμμα θα μπορεί να κάνει ψηφιακή ανάλυση εικόνας, πρέπει πρώτα να εισαχθούν κάποιες βασικές λειτουργίες στο πρόγραμμα αυτό έτσι ώστε να μπορεί να καλεί αυτές τις λειτουργίες κατά την διεξαγωγή του αλγόριθμου.

Η πρώτη λειτουργία που πρέπει να εισαχθεί είναι το λεγόμενο NumPy. NumPy είναι μια βιβλιοθήκη Python που χρησιμοποιείται για την εργασία με συστοιχίες (Πίνακες). Έχει επίσης λειτουργίες για την εργασία στον τομέα της Γραμμικής Άλγεβρας, του μετασχηματισμού fourier και των πινάκων. Το NumPy δημιουργήθηκε το 2005 από τον Travis Oliphant. Η λειτουργία του NumPy είναι σαφώς το πιο βασικό βήμα στην δημιουργία του συγκεκριμένου προγράμματος διότι όπως θα δούμε παρακάτω θα χρησιμοποιηθούν αρκετές πράξεις μαθηματικών οι οποίες εκτελούνται πάνω σε πίνακες. Οι πίνακες αυτοί περιέχουν τα Pixel της εικόνας που εισάγεται. Τα Pixel αυτά θα πρέπει να τροποποιηθούν μέσω των πράξεων ώστε να έχουμε το τελικό επιθυμητό αποτέλεσμα.

```
import cv2
import numpy as np
from collections import defaultdict
```

Εικόνα 4.1 Εισαγωγή NumPy και cv2.

Όπως βλέπουμε στην παραπάνω εικόνα εισάγεται πριν από το NumPy, το cv2. Το cv2 είναι μια βιβλιοθήκη που μας δίνει την δυνατότητα επεξεργασίας εικόνων.

4.6 Μετατροπή εικόνας σε ασπρόμαυρη.

Όπως είδαμε και στο διάγραμμα ροής, το πρώτο βήμα επεξεργασίας μιας εικόνας που εισάγεται είναι η μετατροπή της εικόνας σε ασπρόμαυρη.

```
cropped = src[x:x+divided_x, y:y+divided_y]
# Convert image to black and white in order to process it based on
# Grayscale levels
black_and_white = cv2.cvtColor(cropped, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

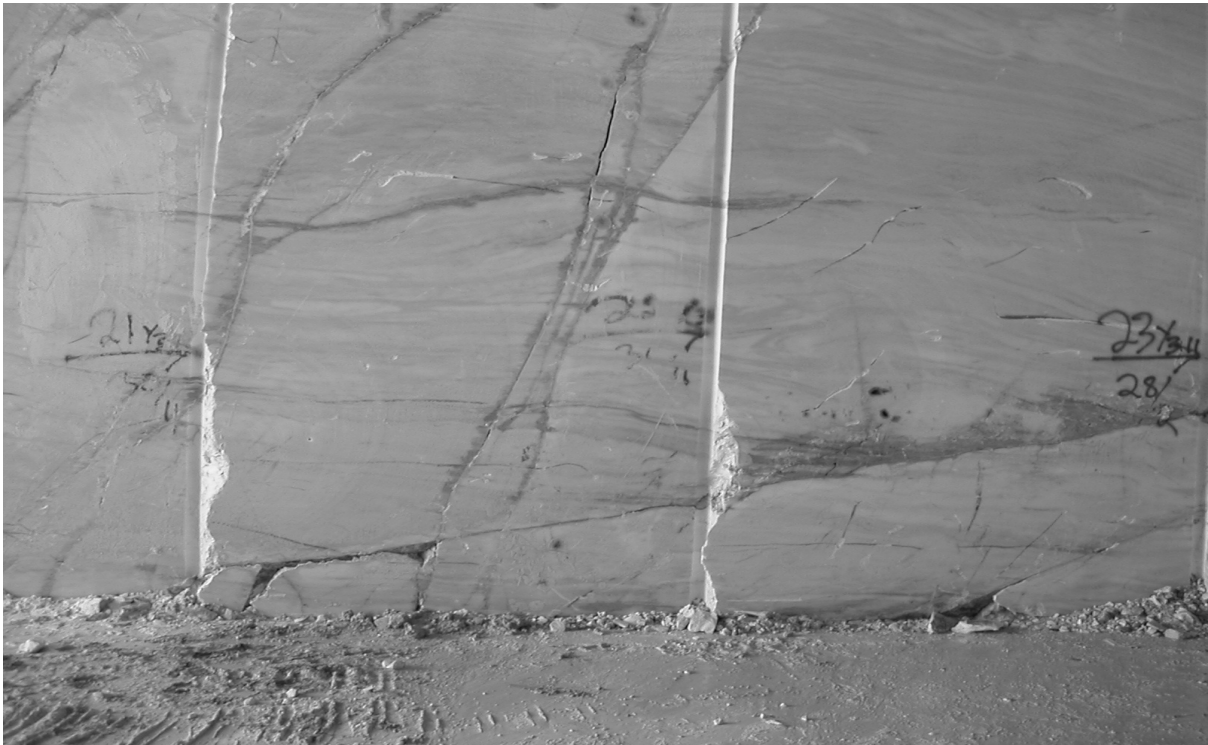
blur = cv2.bilateralFilter(black_and_white, 29, 150, 150)

black_and_white = cv2.subtract(blur, black_and_white)
```

Εικόνα 4.2 Στο απόσπασμα του κώδικα έχουμε εισάγει τις πράξεις μαθηματικών που μετατρέπουν μια εικόνα σε ασπρόμαυρο.



Εικόνα 4.3 Αρχική εικόνα.



Εικόνα 4.4 Ασπρόμαυρη εικόνα

Για να ανιχνευτούν οι ασυνέχειες την εικόνα της διακλασμένης βραχομάζας, η αντίθεση της εικόνας πρέπει να αναλυθεί. Μετατρέπουμε τη φυσική έγχρωμη εικόνα σε ασπρόμαυρη χρησιμοποιώντας τη μετατροπή του γκρι επιπέδου λειτουργία ως εξής (Castleman, 2002):

$$g(x, y) = T[f(x, y)] = [R(x, y) + G(x, y) + B(x, y)]/3$$

Όπου $g(x, y)$ είναι η ασπρόμαυρη εικόνα εξόδου, $f(x, y)$ είναι η εγχρωμη εικόνα εισόδου, T είναι ο operator της $f(x, y)$. Οι μεταβλητες $R(x, y)$, $G(x, y)$ και $B(x, y)$ είναι τα συστατικά RGB της έγχρωμης εικόνας.

4.7 Bilateral filter.

Ως μια επιπλέον λειτουργία σε αυτό το στάδιο, χρησιμοποιήθηκε το λεγόμενο bilateral filter. Πρόκειται για ένα φίλτρο που χρησιμοποιείται για την εξομάλυνση των εικόνων και τη μείωση του θορύβου, διατηρώντας παράλληλα τις άκρες. Εφαρμόζοντας αυτό το φίλτρο στην ασπρόμαυρη εικόνα προκύπτει μια νέα εικόνα που ονομάζεται blur (Εικόνα 4.5). Η τελική πράξη σε αυτό το στάδιο είναι να αφαιρέσουμε από την εικόνα που έχει εφαρμοστεί το φίλτρο, την αρχική ασπρόμαυρη. Έτσι αυτό που μας μένει είναι μια καινούργια ασπρόμαυρη εικόνα που περιέχει τις ασυνέχειες και τον σημαντικά μειωμένο θόρυβο



Εικόνα 4.5. Εφαρμογή του Bilateral Filter

4.8 Εξομάλυνση και όξυνση.

Στην συνέχεια πρέπει να περασουμε στο σταδιο του όξυνσης και της εξομαλυνσης. Για να τονιστούν οι ασυνέχειες, η εικόνα πρέπει να εξομαλυνθεί και να οξυνθεί χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες μάσκες. Η εξομάλυνση και η όξυνση μπορούν να πραγματοποιηθούν με τεχνική βελτίωσης εικόνας χρησιμοποιώντας την εξίσωση (William, 2007):

$$g'(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} g(\xi, \eta) H(x - \xi, y - \eta) d\xi d\eta$$

όπου $g'(x, y)$ η εξομαλυμένη και οξυμένη εικόνα εξόδου, $g(\xi, \eta)$ η εξομαλυμένη και οξυμένη εικόνα εισόδου και $H(x - \xi, y - \eta)$ η μάσκα που χρησιμοποιείται για την εξομάλυνση και την όξυνση.

Στην εξίσωση αυτή, πρέπει να επιλέξουμε την απόκριση παλμού του H με χαρακτηριστικά χαμηλής διέλευσης ή υψηλής διέλευσης, αντίστοιχα, για εξομάλυνση και όξυνση. Αναλυτικά, χρησιμοποιούμε τους κοινούς πίνακες ή μάσκες 5x5 (χαμηλής διέλευσης) και 3x3 (υψηλής διέλευσης) για εξομάλυνση και όξυνση, οι οποίες είναι ορίζεται ως εξής :

$$H(3, 3) = \begin{Bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{Bmatrix}$$

Πίνακας 4.1. Πίνακας (Μάσκα) Υψηλής διέλευσης.

$$H(5,5) = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{52} & \frac{1}{26} & \frac{1}{52} & 0 \\ \frac{1}{52} & \frac{3}{52} & \frac{1}{13} & \frac{3}{52} & \frac{1}{52} \\ \frac{1}{26} & \frac{1}{13} & \frac{1}{13} & \frac{1}{13} & \frac{1}{26} \\ \frac{1}{52} & \frac{3}{52} & \frac{1}{13} & \frac{3}{52} & \frac{1}{52} \\ 0 & \frac{1}{52} & \frac{1}{26} & \frac{1}{52} & 0 \end{pmatrix}$$

Πίνακας 4.2. Πίνακας (Μάσκα) χαμηλής διέλευσης.

```
# Sharp the edges (cracks) of the image based on mask
#
# [-1 -1 -1]
# [-1 8 -1]
# [-1 -1 -1]
#
sharpening_mask = np.array([[ -1, -1, -1], [-1, 8, -1], [-1, -1, -1]])
sharped_img = cv2.filter2D(black_and_white, -1, sharpening_mask)
```

Εικόνα 4.6 Εξομάλυνση και όξυνση.



Εικόνα 4.7. Εφαρμογή της εξομάλυνσης και της όξυνσης.

4.9 Δυαδική κωδικοποίηση.

Σε αυτό το σημείο περνάμε στην φάση της δυαδικής κωδικοποίησης. Η δυαδική κωδικοποίηση υπολογίζεται και πραγματοποιείται βάση του ορίου των επιπέδων του χρώματος γκρι (gray scales threshold). Οπότε προκύπτει το ζήτημα υπολογισμού αυτού του ορίου. Στην παρούσα φάση αντί να βάλουμε ένα υπαρκτό όριο όπως συνηθίζεται προγραμματιστικά, χρησιμοποιούμε ένα όριο προσαρμοζόμενο (fixed threshold) που αλλάζει αριθμητικά με βάση τα pixel της αντίστοιχης εικόνας.

Οι υπολογισμοί που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι εξής :

$$\eta(\kappa) = \frac{\sigma_B^2(\kappa)}{\sigma_T^2} \quad (1)$$

όπου

$$\sigma_B^2(\kappa) = \frac{[\mu_T \omega(\kappa) - \mu(\kappa)]^2}{\omega(\kappa)[1 - \omega^2(\kappa)]} \quad (2)$$

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=0}^{L-1} [(i - \mu_T)^2 P_i] \quad (3)$$

$$P_i = \frac{N_i}{N}, \quad \mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} (i P_i), \quad \omega(\kappa) = \sum_{i=0}^{\kappa-1} P_i, \quad \mu(\kappa) = \sum_{i=0}^{\kappa-1} (i P_i)$$

Όπου N είναι ο συνολικός αριθμός pixel, L είναι ο αριθμός των επιπέδων του γκρι, P_i είναι η συνάρτηση πυκνότητας και N_i είναι ο αριθμός των pixel στο επίπεδο i .

Από τις εξισώσεις (1), (2), (3) υπολογίζεται το $\sigma_B^2(\kappa)$ για κάθε κ από 1 έως L ώστε να βρεθεί το μέγιστο $\sigma_B^2(\kappa)$. Η μέγιστη αυτή τιμή χρησιμοποιείται ως όριο για την δυαδική κωδικοποίηση.



Εικόνα 4.8. Εφαρμογή δυαδικής κωδικοποίησης στην εικόνα


```

def threshold(image):
    int_array = image.astype(int)
    dimension_x, dimension_y = image.shape

    N = dimension_x * dimension_y
    Px = {}
    m_t = 0
    m_k = defaultdict(int)
    w_k = defaultdict(int)
    nX = {}

    for x in range(255):
        # nX is the number of pixels within the x-th level of grayscale
        nX[x] = np.sum(int_array == x)
        Px[x] = nX[x] / N
        m_t += x * Px[x]
    for k in range(255):
        for x in range(k):
            m_k[k] += x * Px[x]
            w_k[k] += Px[x]
    s_b_k = {}
    h_k = {}
    s_b_t = 0
    for x in range(255):
        s_b_t += (x - m_t) ** 2 * Px[x]
    max_h_k = -1
    max_s_b_k = -1
    for k in range(255):
        nominator = (m_t * w_k[k] - m_k[k]) ** 2
        denominator = w_k[k] * (1 - (w_k[k]) ** 2)
        s_b_k[k] = nominator / denominator
        h_k[k] = s_b_k[k] / s_b_t
        max_h_k = max(max_h_k, h_k[k])
        max_s_b_k = max(max_s_b_k, s_b_k[k])
    return(int(max_s_b_k))

```

Εικόνα 4.9. Οι τύποι που αναφέρθηκαν νωρίτερα σε προγραμματιστική μορφή.

Εφόσον λοιπόν υπολογιστεί το παραπάνω όριο είμαστε σε θέση να ξεκινήσουμε την δυαδική κωδικοποίηση όπως φαίνεται παρακάτω,

```

# Calculate threshold
int_threshold = threshold(sharped_img)

# https://docs.opencv.org/3.4/d7/d4d/tutorial\_py\_thresholding.html
# Convert image to binary image based on threshold
ret, sharped_img_binary = cv2.threshold(
    sharped_img, int_threshold, 255, cv2.THRESH_BINARY
)

```

Εικόνα 4.10 Βλέπουμε τον υπολογισμό του ορίου να καλείται σαν έτοιμη εντολή και στην συνέχεια να γίνεται δυαδική κωδικοποίηση.

4.10 Αφαίρεση θορύβου.

Ύστερα από την δυαδική κωδικοποίηση περνάμε στο στάδιο της αφαίρεσης του θορύβου. Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι κατά την έρευνα και τον σχεδιασμό του προγράμματος βρέθηκαν αρκετοί διαφορετικοί τρόποι υλοποίησης της αφαίρεσης θορύβου οι οποίοι όμως είχαν και αρκετά μεγάλες αποκλίσεις στο αποτέλεσμα. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της διάβρωσης και διαστολής (Erosion-Dilation) διότι κρίθηκε ότι έχει τα καλύτερα αποτελέσματα στην αφαίρεση του θορύβου.

Διάβρωση : Η βασική ιδέα της διάβρωσης είναι ακριβώς όπως η διάβρωση του εδάφους μόνο που, διαβρώνει τα όρια του αντικειμένου του προσκηνίου (πάντα προσπαθούμε να κρατήσουμε το προσκηνίο σε λευκό). Τι κάνει λοιπόν; Ο πυρήνας ολισθαίνει μέσω της εικόνας (όπως στην 2D σύζευξη). Ένα εικονοστοιχείο στην αρχική εικόνα (είτε 1 είτε 0) θα θεωρείται 1 μόνο εάν όλα τα εικονοστοιχεία κάτω από τον πυρήνα (threshold) είναι 1, διαφορετικά διαβρώνεται (γίνεται μηδέν).

Έτσι, αυτό που συμβαίνει είναι ότι όλα τα εικονοστοιχεία κοντά στο όριο θα απορροφηθούν ανάλογα με το μέγεθος του πυρήνα. Έτσι, το πάχος ή το μέγεθος του αντικειμένου του προσκηνίου μειώνεται ή απλά η λευκή περιοχή μειώνεται στην εικόνα. Είναι χρήσιμο για την αφαίρεση μικρών λευκών θορύβων, την αποσύνδεση δύο συνδεδεμένων αντικειμένων κλπ.

Διαστολή : Είναι ακριβώς το αντίθετο από τη διάβρωση. Εδώ, ένα στοιχείο εικονοστοιχείου είναι ' 1 'αν τουλάχιστον ένα εικονοστοιχείο κάτω από τον πυρήνα είναι 1 '. Έτσι αυξάνει τη λευκή περιοχή στην εικόνα ή το μέγεθος του αντικειμένου του προσκηνίου αυξάνεται. Κανονικά, σε περιπτώσεις όπως η αφαίρεση θορύβου, η διάβρωση ακολουθείται από διαστολή. Επειδή, η διάβρωση αφαιρεί τους λευκούς θορύβους, αλλά συρρικνώνει και το αντικείμενό μας, το διαστέλλουμε. Δεδομένου ότι ο θόρυβος έχει φύγει, η περιοχή των αντικειμένων μας αυξάνεται. Είναι επίσης χρήσιμο στην Ένωση σπασμένων τμημάτων ενός αντικειμένου.

Στην συνέχεια βλέπουμε ένα παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου αυτής σε μια ασπρόμαυρη εικόνα.



Αρχική εικόνα



Διαβρωμένη εικόνα



Διεσταλμένη εικόνα

Βάση λοιπόν αυτής της μεθόδου πραγματοποιείται η αφαίρεση θορύβου όπως βλέπουμε στο έξης απόσπασμα.

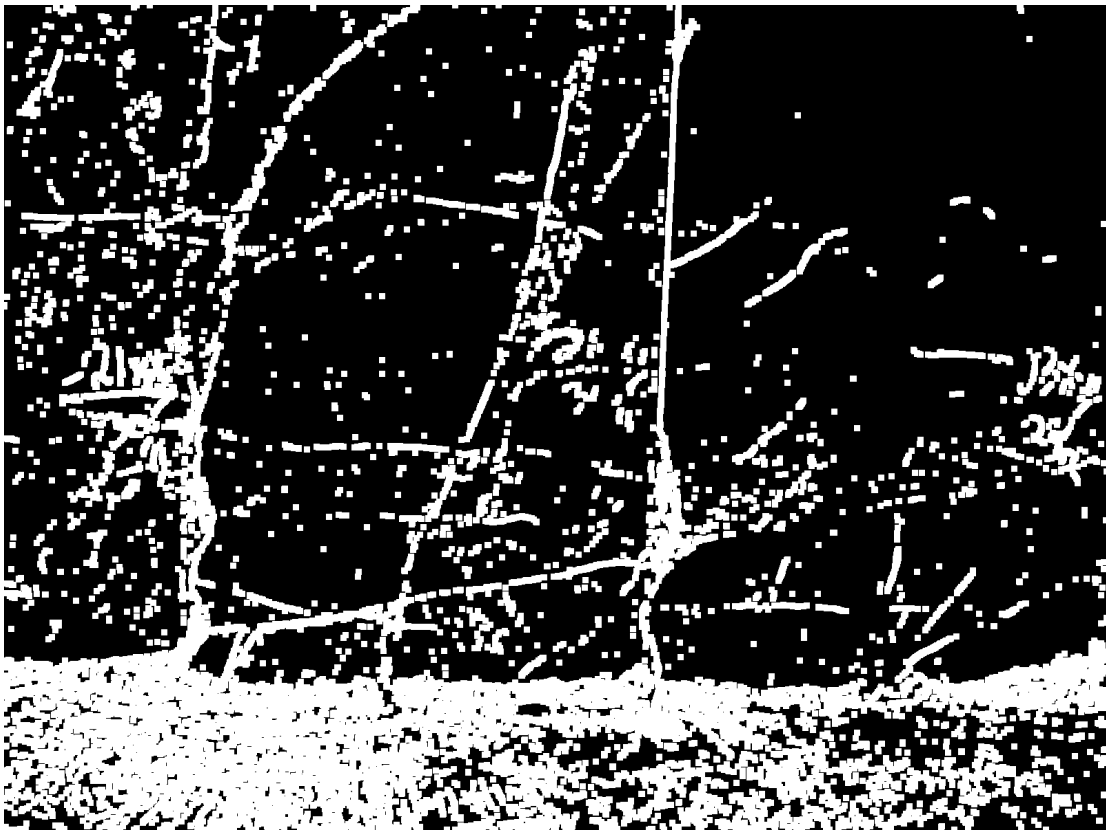
```
kernel = cv2.getStructuringElement(cv2.MORPH_RECT, (5, 5))
opening = cv2.morphologyEx(sharped_img_binary, cv2.MORPH_CLOSE, kernel)

# Expand the regions
dilate = cv2.dilate(opening, kernel, iterations=2)
```

Εικόνα 4.11. Αφαίρεση θορύβου.



Εικόνα 4.12 Εφαρμογή της μεθόδου της διάβρωσης.



Εικόνα 4.13. Εφαρμογή της μεθόδου της διαστολής ύστερα από την διάβρωση.

4.11 Αναγνώριση Pixel.

Ως τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας της εικόνας έχουμε την αναγνώριση των pixel τα οποία αντιπροσωπεύουν τις ασυνέχειες της επιφάνειας βραχομάζας που εξετάζουμε. Ύστερα από όλη την επεξεργασία που έχουμε διαπράξει πάνω στην εικόνα το μόνο αναγνωρίσιμο στοιχείο είναι οι ασυνέχεια οπότε το ζήτημα της αναγνώρισης προϋποθέτει να εισαχθούν οι κατάλληλες εντολές στο πρόγραμμα έτσι ώστε αυτό να χρωματίζει αυτές τις περιοχές. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των περιγραμμάτων. Τα περιγράμματα μπορούν να εξηγηθούν απλά ως καμπύλη που ενώνει όλα τα συνεχή σημεία (κατά μήκος του ορίου), που έχουν το ίδιο χρώμα ή ένταση. Τα περιγράμματα είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την ανάλυση σχήματος και την ανίχνευση και αναγνώριση αντικειμένων και το κατάλληλο για την υλοποίηση του συγκεκριμένου βήματος.

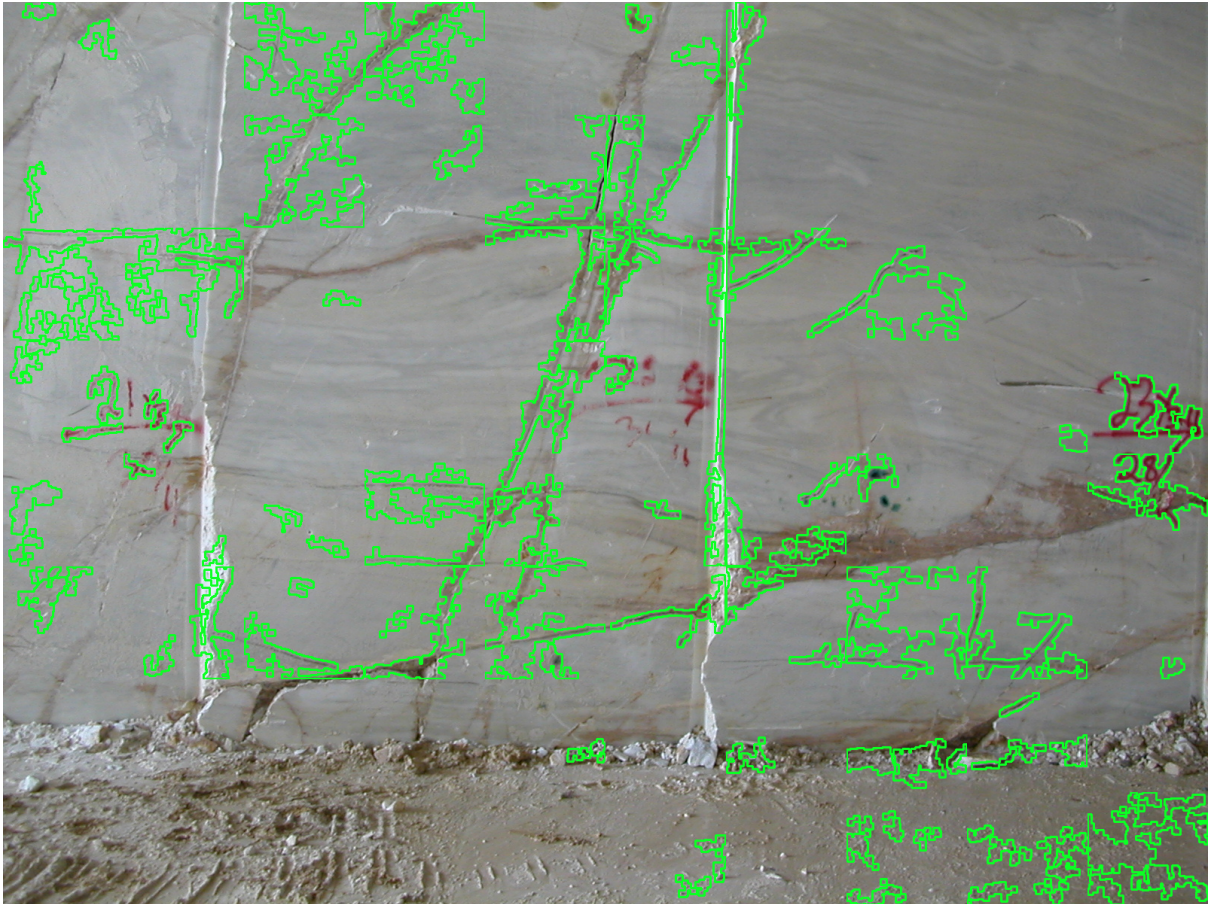
```
# Identify the regions of common pixes (in our cases the cracks on the rocks (?) )
cnts = cv2.findContours(dilate, cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
cnts = cnts[0] if len(cnts) == 2 else cnts[1]
```

Εικόνα 4.14. Εφαρμογή της λειτουργίας αναγνώρισης περιγραμμάτων ή ασυνεχειών στην προκειμένη περίπτωση.

Ύστερα λοιπόν από την αναγνώριση αυτών των περιοχών μένει ο χρωματισμός τους και η εφαρμογή των χρωματισμένων περιοχών στην αρχική εικόνα

```
min_area = 500
AREA = cropped.shape[0]*cropped.shape[1]/3
# Draw the areas/cracks on top of the image
for c in cnts:
    area = cv2.contourArea(c)
    if min_area < area < AREA:
        cv2.drawContours(cropped, [c], -1, (36, 255, 12), 2)
```

Εικόνα 4.15. Χρωματισμός ασυνεχειών και εφαρμογή χρωματισμένων περιοχών στην αρχική εικόνα



Εικόνα 4.16. Τελικό αποτέλεσμα.

Με βάση την εικόνα 4.16, παρατηρούμε ότι το τελικό αποτέλεσμα δεν είναι αρκετά ικανοποιητικό. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι ότι το πρόγραμμα με την εφαρμογή των βημάτων του διαγράμματος ροής, δεν μπορεί να αναγνωρίσει όλες τις ασυνέχειες, επειδή αυτές είναι συγκεντρωμένες σε μεγάλο αριθμό σε όλη την επιφάνεια. Προκύπτει λοιπόν ένα επιπλέον βήμα που πρέπει να εφαρμοστεί : Ο διαχωρισμός της εικόνας σε μικρότερα μέρη.

4.12 Διαχωρισμός εικόνας σε επιμέρους μικρότερες εικόνες.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ένα πρόβλημα που προέκυψε κατά την εφαρμογή των παραπάνω βημάτων επεξεργασίας. Όταν εφαρμόστηκαν λοιπόν οι υπολογισμοί αυτοί κατευθείαν πάνω σε μια εικόνα τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά. Βέβαια σε αυτό παίζουν ρόλο και άλλοι παράγοντες όπως η ανομοιομορφία του φωτός που αναφέραμε νωρίτερα. Παρατηρήθηκε ότι όσο περισσότερες ασυνέχειες υπήρχαν σε μια επιφάνεια τόσες λιγότερες αναγνώριζε και χρωμάτιζε το πρόγραμμα καθώς και κατέληγε σε χρωματισμό εσφαλμένων περιοχών η περιοχών εκτός της επιφάνειας της βραχομάζας. Αυτό όπως καταλαβαίνουμε δημιούργησε προβληματισμούς διότι από προγραμματιστικής και μαθηματικής άποψης δεν υπήρχαν πολλά περιθώρια βελτίωσης πράγμα που έθεσε σε κίνδυνο την λειτουργία του προγράμματος και την χρησιμότητα του. Κατά την δοκιμή διάφορων φωτογραφιών παρατηρήθηκε ότι οι φωτογραφίες που περιείχαν μια μόνο ασυνέχεια η ένα πολύ μικρό σύνολο ασυνεχειών (δλδ από μια ως τρεις), είχαν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Οπότε προέκυψε ως λύση του παραπάνω προβλήματος ο διαχωρισμός της φωτογραφίας σε περισσότερες μικρότερες και η εφαρμογή του προγράμματος σε κάθε μια από αυτές. Το πρόγραμμα δηλαδή θα λειτουργήσει ως βρόχος (loop) και κατά των τερματισμό αυτού του βρόχου οι φωτογραφίες θα επανενωθούν ώστε να σχηματιστεί η αρχική φωτογραφία με τις χρωματισμένες περιοχές που βρίσκονται οι ασυνέχειες.

```
def main():
    # read image
    picture_name = "pic5.jpg"
    src = cv2.imread(f"./img/{picture_name}")
    x, y, z = src.shape
    # Crop the image in sub-images and apply algorithm to each on of them
    divided_x = x // 8
    divided_y = y // 10
    for x in range(0, src.shape[0], divided_x):
        for y in range(0, src.shape[1], divided_y):
```

Εικόνα 4.17. Εφαρμογή διαχωρισμού εικόνας σε μικρότερα μέρη για την υλοποίηση καλύτερων αποτελεσμάτων.

5. Αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Ύστερα από την επεξεργασία της εικόνας, είμαστε σε θέση να πραγματοποιήσουμε την εφαρμογή του προγράμματος σε εικόνες επιφανειών βραχομαζών. Οι εικόνες που επιλέχθηκαν προέρχονται από το υπόγειο λατομείο μαρμάρου του Διονύσου. Πρόκειται για επιφάνειες μαρμάρου, οι οποίες είναι ιδανικές για την εφαρμογή του συγκεκριμένου προγράμματος διότι πρόκειται για λείες επιφάνειες στις οποίες οι ασυνέχειες είναι αρκετά εμφανείς ακόμα και με γυμνό μάτι.

5.1 Παραδείγματα.

Παράδειγμα 1ο :



Εικόνα 5.1 Αρχική εικόνα παραδείγματος 1ου.



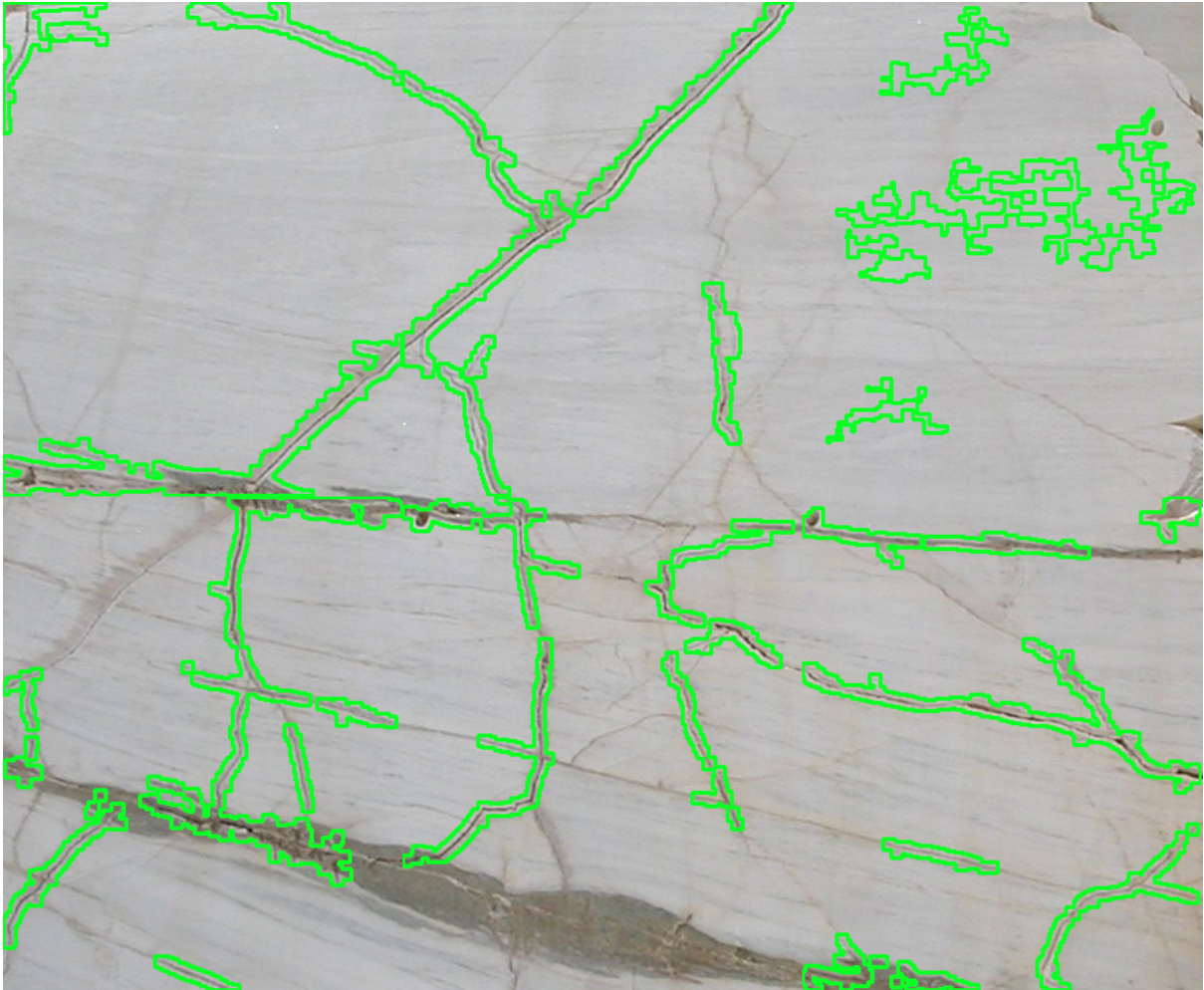
Εικόνα 5.2 Τελικό αποτέλεσμα παραδείγματος 1ου.

Με βάση το τελικό αποτέλεσμα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι έχει εντοπιστεί ένα αρκετά σημαντικό μέρος των ασυνεχειών της επιφάνειας. Βέβαια όπως βλέπουμε κάποια σημεία της επιφάνειας δεν ήταν δυνατόν να εντοπιστούν. Το γεγονός αυτό, θα έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχει μια απόκλιση στον υπολογισμό της μέσης απόστασης των ασυνεχειών.

Παράδειγμα 2ο.



Εικόνα 5. 3 Αρχική εικόνα παραδείγματος 2ου.



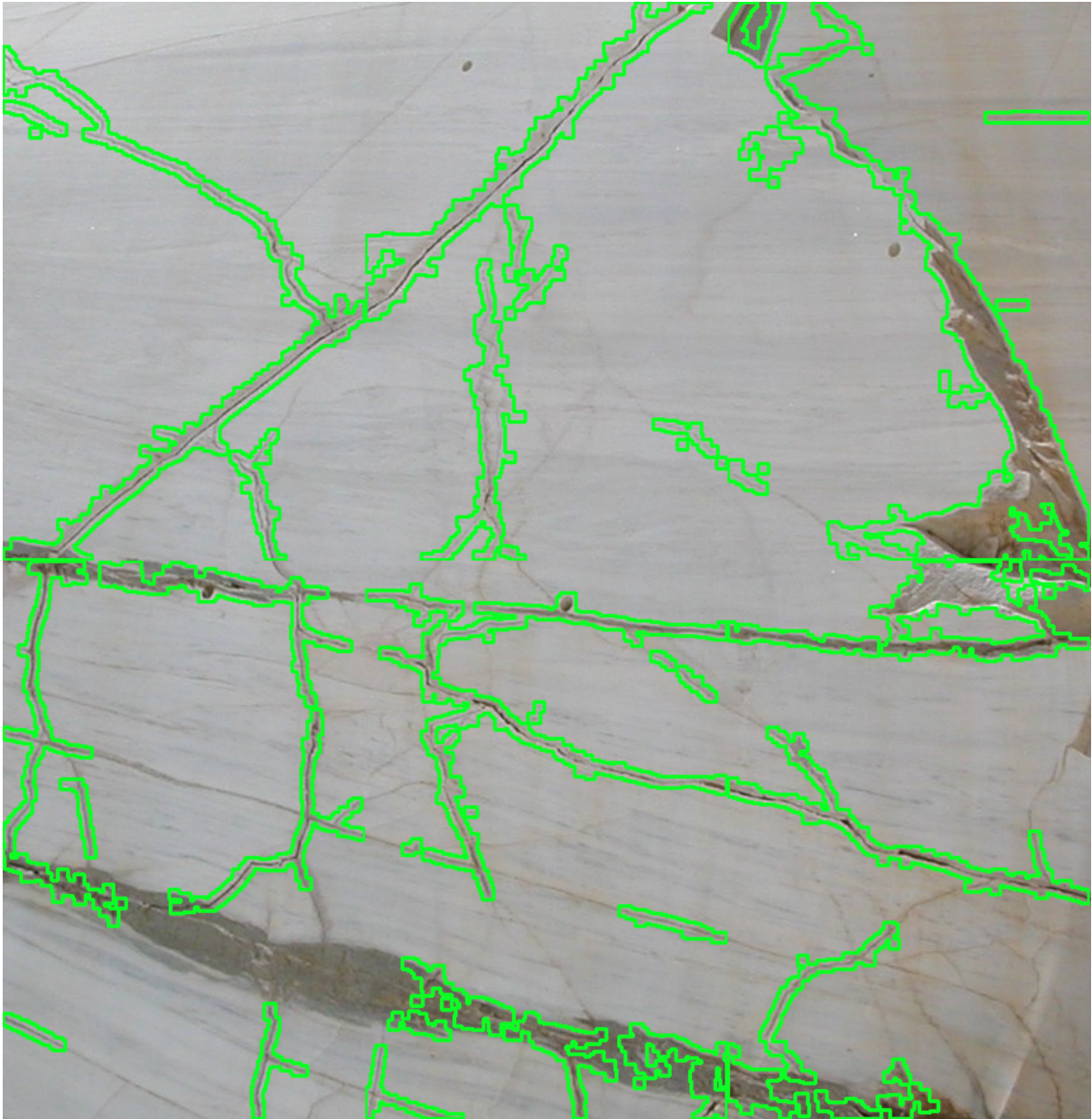
Εικόνα 5.4 Τελικό αποτέλεσμα παραδείγματος 2ου.

Σε αυτή την επεξεργασία βλέπουμε ότι έχουν εντοπιστεί οι κύριες ασυνέχειες της επιφάνειας. Επίσης παρατηρούμε στο πάνω δεξί μέρος της εικόνας έναν άστοχο εντοπισμό. Όπως θα δούμε και στην συνέχεια ο άστοχος εντοπισμός οφείλεται στο γεγονός ότι η επιφάνεια δεν είναι ομοιόμορφα φωτιζόμενη.

Παράδειγμα 3ο.



Εικόνα 5.5 Αρχική εικόνα παραδείγματος 3ου.



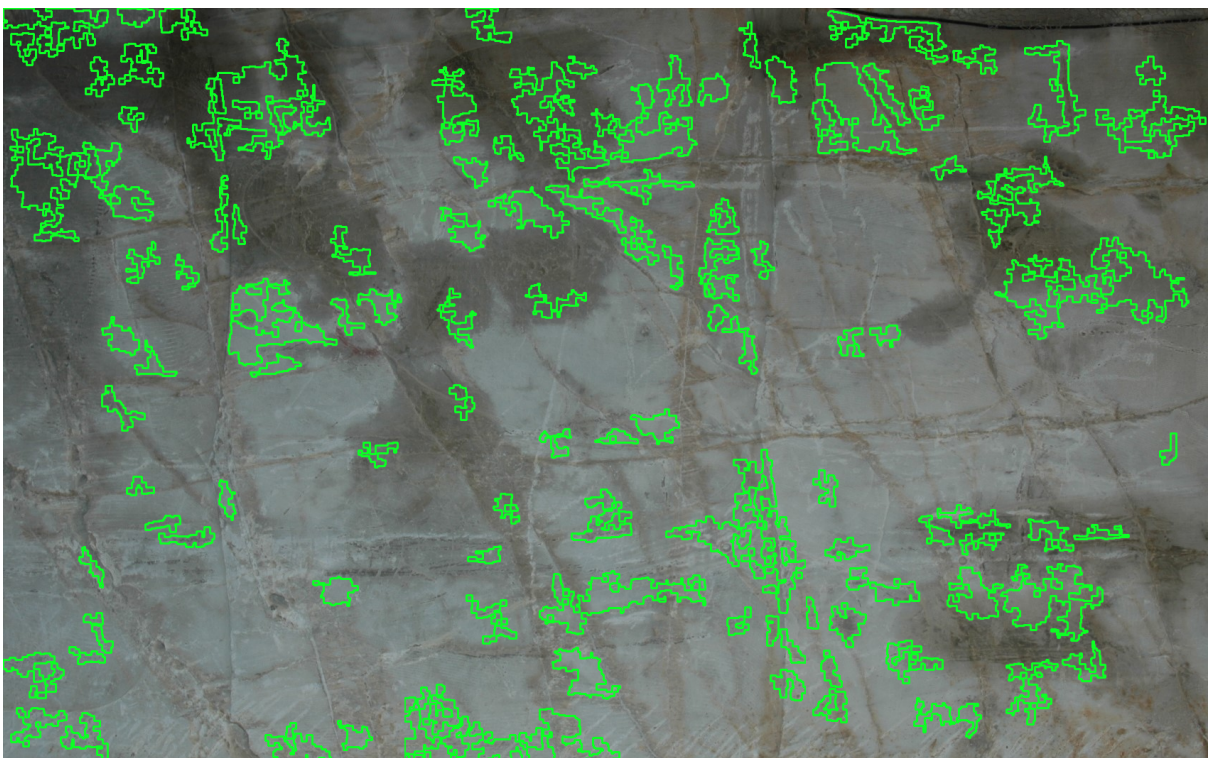
Εικόνα 5.6 Τελικό αποτέλεσμα παραδείγματος 3ου.

Σε αυτό το αποτέλεσμα βλέπουμε ότι έχουν εντοπιστεί όλες οι ασυνέχειες της επιφάνειας. Στο παράδειγμα αυτό χρησιμοποιήθηκε η ίδια επιφάνεια που εξετάσαμε στο δεύτερο παράδειγμα. Η διαφορά των δύο εικόνων ήταν η γωνία λήψης τους, πράγμα που στο παράδειγμα αυτό μας προσέφερε καλύτερα αποτελέσματα. Μπορούμε λοιπόν να συμπεράνουμε ότι η γωνία λήψης είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα και τον εντοπισμό των ασυνεχειών. Με την μεταβολή της γωνίας λήψης μεταβάλλεται και η κατανομή του φωτός η οποία μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερα αποτελέσματα.

Παράδειγμα 4ο.



Εικόνα 5.7 Αρχική εικόνα παραδείγματος 4ου.



Εικόνα 5.8 Τελικό αποτέλεσμα παραδείγματος 4ου

Η παραπάνω φωτογραφία προέρχεται από τα εσωτερικά τοιχώματα του μεταλλείου. Όπως παρατηρούμε το τελικό αποτέλεσμα δεν είναι καθόλου ικανοποιητικό. Ο κύριος λόγος για την ολική αστοχία του εντοπισμού των ασυνεχειών οφείλεται στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη επιφάνεια δεν είναι αρκετά φωτιζόμενη.

5.2 Συμπεράσματα.

Όπως είδαμε από τα προηγούμενα παραδείγματα, η εφαρμογή του προγράμματος είναι εφικτή και αποτελεσματικότερη σε επιφάνειες οι οποίες είναι ομοιόμορφα φωτιζόμενες. Γιά να αντιμετωπιστεί το ζήτημα αυτό μπορούμε να προσαρμόσουμε την γωνία λήψης της εικόνας έτσι ώστε να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα. Ένας επιπλέον τρόπος αντιμετώπισης είναι να φωτίσουμε την επιφάνεια που επιθυμούμε να εξετάσουμε ομοιόμορφα με απλούς προβολείς φωτός.

5.3 Βελτίωση προγράμματος.

Ο κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι ο εντοπισμός των ασυνεχειών των επιφανειών των βραχομαζών μέσω του προγραμματισμού. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο προγραμματισμός είναι το μέσο για την επίτευξη αυτού του στόχου. Όπως είμαστε όλοι εξοικειωμένοι με τις σύγχρονες εξελίξεις της τεχνολογίας μπορούμε να υποθέσουμε ότι υπάρχει πάντα περιθώριο για βελτίωση σε θέματα προγραμματισμού, δεδομένου ότι η πρόοδος αυτού του τομέα εξελίσσεται με ταχύ ρυθμό στα όρια γεωμετρικής προόδου. Για να επιτύχουμε καλύτερα αποτελέσματα στο μέλλον πρέπει να επανασχεδιάσουμε ολόκληρο τον κώδικα αυτού του προγράμματος έτσι ώστε να είναι ενημερωμένος και να χρησιμοποιεί σύγχρονες μεθόδους προγραμματισμού. Μία από αυτές τις μεθόδους είναι η μηχανική μάθηση μέσω της χρήσης νευρωνικών δικτύων. Ένα πρόγραμμα θα μπορούσε να σχεδιαστεί ώστε να εξοικειωθεί με κάθε πιθανή παράμετρο και ιδιότητα των ασυνεχειών και των πετρωμάτων και να εκπαιδευτεί για τον εντοπισμό αυτών των ασυνεχειών σε συνάρτηση με μια βάση δεδομένων που θα δημιουργήσουμε. Με άλλα λόγια, θα είναι μια μηχανή αυτοδιδασκαλίας που τροφοδοτούμε πληροφορίες σε μια σταθερή βάση, ώστε να μπορούμε να έχουμε ακριβή αποτελέσματα. Δυστυχώς αυτός ο τύπος προγραμματισμού έχει ένα μειονέκτημα όταν πρόκειται για το χρόνο που απαιτείται

για ένα πρόγραμμα σχεδιασμένο με αυτόν τον τρόπο να λειτουργεί σωστά και να έχει καλά αποτελέσματα. Το χρονοδιάγραμμα μπορεί να ποικίλει από μήνες έως χρόνια ανάλογα με το πόσες πληροφορίες απαιτούνται και πόσες παραμέτρους πρέπει να εξετάσουμε. Δεδομένου ότι η βασική λογική πίσω από τον προγραμματισμό είναι η εύρεση της βέλτιστης λύσης για οποιοδήποτε ζήτημα, μπορούμε τουλάχιστον να εξετάσουμε τη μηχανική μάθηση σε θεωρητικό επίπεδο για να την χρησιμοποιήσουμε στο μέλλον έτσι ώστε να αναπτύξουμε μια καλύτερη έκδοση του προγράμματος που είδαμε σε αυτή την εργασία.

6. Μηχανική μάθηση και νευρωνικά δίκτυα.

6.1 Μηχανική μάθηση

Η μηχανική μάθηση αφορά την εξαγωγή γνώσεων από δεδομένα. Είναι ένα ερευνητικό πεδίο το οποίο διασταυρώνει την στατιστική, την τεχνητή νοημοσύνη και την επιστήμη των υπολογιστών και είναι επίσης γνωστή ως προγνωστική ανάλυση ή στατιστική μάθηση. Εκτός των εμπορικών εφαρμογών, η μηχανική μάθηση είχε τεράστια επιρροή σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο η έρευνα με γνώμονα τα δεδομένα γίνεται σήμερα. Η μηχανική μάθηση επικεντρώνεται στη δημιουργία και στη βελτίωση των προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών που μπορούν να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα και στη συνέχεια χρησιμοποιεί αυτά τα δεδομένα για να μάθει. Όλα ξεκινούν με παρατηρήσεις, ή ακόμα και δεδομένα, όπως οδηγίες, άμεσες εμπειρίες και παραδείγματα, προκειμένου να αναζητηθούν μοτίβα στα δεδομένα και λήψη καλύτερων αποφάσεων στο μέλλον με βάση το παράδειγμα που παρέχουμε. Ο πρωταρχικός στόχος είναι να επιτρέψει στους υπολογιστές έναν τρόπο να μάθουν χωρίς καμία βοήθεια ή παρέμβαση από τον άνθρωπο αυτόματα, και στη συνέχεια ο υπολογιστής να είναι σε θέση να προσαρμόσει τις ενέργειές του ανάλογα για να εργαστεί πάνω στο ζητούμενο αντικείμενο. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά πράγματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μηχανική μάθηση. Αν επιθυμούμε ο υπολογιστής να είναι σε θέση να πάει μέσα σε μια μακρά λίστα επιλογών και να βρει μοτίβα ή να βρει το σωστό αποτέλεσμα, στη συνέχεια, η μηχανική μάθηση πρόκειται να λειτουργήσει καλύτερα για αυτές τις περιπτώσεις. (Mueller και Guido 2016)

Υπάρχουν αρκετά οφέλη που πρόκειται να δούμε όταν πρόκειται για την εργασία με μηχανική μάθηση σε τακτική βάση. Η μηχανική μάθηση πρόκειται να απλοποιήσει μερικά από τα βήματα που έρχονται με το μάρκετινγκ προϊόντων και μπορεί να βοηθήσει όταν θέλουμε να κάνουμε ακριβείς προβλέψεις των πωλήσεων. Η μηχανική μάθηση θα είναι σε θέση να κάνει αυτό με περισσότερους από έναν τρόπους. Θα διαπιστώσουμε επίσης ότι η μηχανική μάθηση μπορεί να βοηθήσει με την ανάλυση, την πρόβλεψη και την επεξεργασία, και είναι να ερμηνεύσει τις προηγούμενες συμπεριφορές των πελατών. (Shwartz και David, 2014)

Όταν πρόκειται να χρειαστεί να εισάγουμε δεδομένα, αλλά το έργο πρόκειται να είναι πάρα πολύ χρονοβόρο για να ολοκληρωθεί με το χέρι, η μηχανική μάθηση είναι σε θέση να βοηθήσει να γίνει αυτό πιο εύκολο. Επικάλυψη δεδομένων και η ανακρίβεια πρόκειται να είναι μεγάλα ζητήματα για τις εταιρείες που θα ήθελαν για την αυτοματοποιήσουν τη διαδικασία εισαγωγής δεδομένων. Η μεταποιητική βιομηχανία είναι ακόμη σε θέση να επωφεληθεί από ορισμένες από τις ορισμένες λειτουργίες της μηχανικής μάθησης. Οι κατασκευαστικές επιχειρήσεις χρειάζονται να έχουν πρακτικές διορθωτικής και προληπτικής συντήρησης. Ωστόσο, αυτά θα είναι αναποτελεσματικά και δαπανηρά σε πολλές περιπτώσεις. Σε αυτό το σημείο η μηχανική μάθηση μπορεί να παρέμβει για να βοηθήσει, και να είναι ένα μεγάλο εργαλείο για τη δημιουργία μιας ιδιαίτερα αποδοτικής προγνωστικής συντήρησης σχεδίου που κρατά την επιχείρηση σε λειτουργία. Όπως μπορούμε να δούμε, υπάρχουν πολλά οφέλη που έρχονται με την εργασία σε η μηχανική μάθηση και οι εταιρείες σε όλες τις βιομηχανίες πρόκειται να είναι σε θέση επωφεληθούν από αυτή και να την αξιοποιήσουν σε ζητήματα που αφορούν την μηχανική πετρωμάτων καθώς μπορεί να είναι χρήσιμη σε διαδικασίες όπως π.χ την ομαδοποίηση ή την αναγνώριση των ασυνεχειών των πετρωμάτων μιας εξόρυξης.

6.2 Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα

Η εργασία σε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, κοινώς γνωστά ως “νευρωνικά δίκτυα”, υποκινήθηκε άμεσα από την αναγνώριση ότι οι εγκεφαλικοί υπολογιστές είναι ένας εξ’ ολοκλήρου διαφορετικός δρόμος από τους συμβατικούς ψηφιακούς υπολογιστές. Ο εγκέφαλος είναι ένας πολύ πολύπλοκος, μη-γραμμικός και παράλληλος υπολογιστής. Έχει τη δυνατότητα να οργανώνει τους νεύρωνες έτσι ώστε να εκτελεί συγκεκριμένους υπολογισμούς πολύ πιο γρήγορα από τους πιο γρήγορους ψηφιακούς υπολογιστές που υπάρχουν. Κατά τη γέννησή του ο εγκέφαλος έχει την ικανότητα να κατασκευάζει τους δικούς του κανόνες, κοινώς “εμπειρία”, η οποία μεγαλώνει με τα χρόνια. Κατά τα 2 πρώτα χρόνια ζωής, έχουμε τη μέγιστη ανάπτυξη, όπου περίπου 1 εκατομμύριο συνάψεις (synapses) δημιουργούνται στο δευτερόλεπτο. Οι synapses είναι οι βασικές δομικές και λειτουργικές μονάδες που μεσολαβούν στην ενδοεπικοινωνία των νευρώνων οπότε μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ένα νευρωνικό δίκτυο είναι ένα συμπαγές παράλληλος

κατανεμημένος επεξεργαστής, που έχει τη φυσική κλίση να αποθηκεύει εμπειριστατωμένη γνώση και να την κάνει διαθέσιμη για χρήση.

Μοιάζει με τον εγκέφαλο στα εξής:

- Η γνώση αποκτάται από το δίκτυο μέσα από διαδικασία εκμάθησης.
- Οι δυνάμεις σύνδεσης των νευρώνων, γνωστές σαν συναπτικά (synaptic) βάρη, χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση γνώσης. Η διαδικασία για τη εκμάθηση ονομάζεται “αλγόριθμος εκμάθησης”. Η μεταβολή των συναπτικών (synaptic) βαρών, αποτελεί την παραδοσιακή μέθοδο για το σχεδιασμό των νευρωνικών δικτύων.

Βλέπουμε λοιπόν ότι ένα αντίστοιχο είδος προγράμματος θα ήταν αρκετά πιο εξελιγμένο από το παρόν πρόγραμμα λόγω του βασικού τρόπου λειτουργίας του και τα αποτελέσματα θα ήταν πολύ πιο ικανοποιητικά.

6.3 Πλεονεκτήματα νευρωνικών δικτύων.

Η συμπαγής παράλληλα κατανεμημένη δομή και η ικανότητα μάθησης των νευρωνικών δικτύων, κάνουν δυνατή την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων, τα οποία σπάνε σε μικρότερα έργα, που αναλαμβάνουν τα νευρωνικά δίκτυα ανάλογα με τις δυνατότητές τους.

Η χρήση των Νευρωνικών Δικτύων παρέχει τις ακόλουθες χρήσιμες ιδιότητες :

1. Μη-γραμμικότητα : Αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι ένα Νευρωνικό Δίκτυο δομείται από τη σύνδεση νευρώνων, οι οποίοι είναι μη-γραμμικές συσκευές. Η μη γραμμικότητα είναι πολύ σημαντική ιδιότητα, ιδιαίτερα αν ο φυσικός μηχανισμός για την παραγωγή των σημάτων εισόδου είναι μη-γραμμικός.

2. Σχεδιασμός Εισόδου-Εξόδου : Ένα συνηθισμένο παράδειγμα μάθησης που καλείται επιβλεπόμενη μάθηση, εμπλέκει μεταβολή των synaptic βαρών του Νευρωνικού Δικτύου, εφαρμόζοντας ένα σύνολο δειγμάτων εξάσκησης ή

παραδείγματα έργων. Κάθε παράδειγμα αποτελείται από ένα μοναδικό σήμα εισόδου και την επιθυμητή απόκριση. Η εξάσκηση του δικτύου επαναλαμβάνεται για πολλά παραδείγματα, μέχρι το δίκτυο να φτάσει σε μια σταθερή κατάσταση, όπου πλέον δεν γίνονται αλλαγές στα βάρη. Έτσι το δίκτυο μαθαίνει από τα παραδείγματα, κατασκευάζοντας ένα σχεδιασμό εισόδου-εξόδου για το πρόβλημα στο χέρι.

3. Προσαρμοστικότητα : Τα Νευρωνικά Δίκτυα έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν τα βάρη τους στις αλλαγές του περιβάλλοντός τους. Μερικές φορές οι προσαρμογές οδηγούν σε μείωση της απόδοσης του συστήματος, γι'αυτό θα πρέπει να είναι επαρκείς δίλημμα σταθερότητας-πλαστικότητας.

4. Αποδεικτική Απόκριση : Ένα Νευρωνικό Δίκτυο σχεδιάζεται για να παρέχει πληροφορίες όχι μόνο για το συγκεκριμένο υπόδειγμα που επιλέγεται αλλά και για την εμπιστοσύνη στην απόφαση που παίρνεται. Αυτό βελτιώνει την απόδοση του συστήματος.

5. Συναφής Πληροφορία : Η γνώση αναπαριστάνεται από την πολύ δομημένη και ενεργή κατάσταση του Νευρωνικού Δικτύου.

6. Αντοχή σε σφάλματα : Ένα νευρωνικό δίκτυο, υλοποιημένο σε hardware φόρμα έχει τη σημαντική ιδιότητα να είναι “ανεκτικό σε σφάλματα”, με την έννοια ότι η απόδοσή του μειώνεται κάτω από αντίξοες λειτουργικές συνθήκες.

6.4 Συμπεράσματα.

Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραπάνω ιδιότητες ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου, είναι εύκολο να καταλάβουμε ότι αυτός ο τύπος προγράμματος είναι ο καταλληλότερος για τον προσδιορισμό των τύπων των ασυνεχειών μιας βραχομάζας βασιζόμενος στην λήψη ψηφιακών εικόνων.

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η δημιουργία του προγράμματος τέτοιου τύπου είναι πολύ χρονοβόρα και χρειάζεται μια μεγάλη ποσότητα πληροφοριών που δεν μπορούν να παρασχεθούν εύκολα, δεδομένου ότι υπάρχουν

χιλιάδες εικόνες που πρέπει να ληφθούν και το ποσό αυτό είναι ένα πολύ μικρό ποσοστό των πληροφοριών που μπορούν να εξαχθούν από έναν χώρο εξόρυξης μονάχα. Το πρόγραμμα που είδαμε σε αυτή την εργασία έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει ασυνέχειες μάζας βράχου σε ορισμένες επιφάνειες όταν παρέχεται μόνο με μία εικόνα αυτής της επιφάνειας. Με άλλα λόγια, έχει ένα πλεονέκτημα στην ταχύτητα και τον υπολογισμό επειδή βασίζεται σε απλά μαθηματικά και προγραμματισμό τύπου εισαγωγής εντολών. Τα αποτελέσματα είναι τόσο ακριβή όσο μπορούν, δεδομένου ότι η ρυθμό χρησιμοποιήθηκε ως βασική γλώσσα προγραμματισμού και εφαρμόστηκε στις καλύτερες δυνατότητές της.

Συμπερασματικά, η δημιουργία αυτού του προγράμματος είναι μόνο το πρώτο βήμα στη διαδικασία εκσυγχρονισμού του τμήματος της μηχανικής πετρωμάτων, καθώς η εφαρμογή του μπορεί να επιλύσει αρκετά ζητήματα.

7. Βιβλιογραφία.

- Scott L. Huang, Robert C. Speck (1998), Digital Image Processing for Rock Joint Surface Studies.
- Kunui Hong, Eunchol Han, Kwangsong Kang (2017), Determination of geological strength index of jointed rock mass based on image processing,
- M. Caia, P.K. Kaisera , H. Unob , Y. Tasakab , M. Minamic, (2004), Estimation of rock mass deformation modulus and strength of jointed hard rock masses using the GSI system.
- Boon Han Kim, M. Cal, P. K. Kaiser, H.S. Yang, (2007), Estimation of Block Sizes for Rock Masses with Non Persistent Joints.
- Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M.S. (2013), Quantification of the Geological Strength Index chart.
- Shai Shalev-Shwartz, Shai Ben-David. (2014), Understanding Machine Learning.
- Himanshu Singh (2019), Practical Machine Learning and Image Processing For Facial Recognition, Object Detection, and Pattern Recognition Using Python.
- Christopher M. Bishop, (2006), Pattern Recognition and Machine Learning.
- Andreas C. Müller and Sarah Guido, (2016), Introduction to Machine Learning with Python A Guide for Data Scientists.
- Rafael C. Gonzalez, Richard E. Wood (2018), Digital Image Processing.

- Abiodun Ismail Lawal, Sangki Kwon (2020), Application of artificial intelligence to rock mechanics: An overview.
- Παύλος .Π Νομικός, (2015), Εισαγωγή στην Μηχανική των Πετρωμάτων.
- Μαρίνος Β, Μαρίνος Π, Hoek, (2004), Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής GSI. Εφαρμογή, Συστάσεις, Περιορισμοί και Πεδία Μεταβολών ανάλογα με τον τύπο του πετρώματος.
- Tim Peters, (1999), The Zen of Python.
- David Goodger, (2006), Code like a Pythonista.
- Guido van Rossum, (2009), A Brief Timeline of Python.
- Guido van Rossum, (2020), Learning Python.

