



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΜΗΜΑ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΒΙΟΨΙΩΝ ΝΕΦΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΥΤΟΜΑΤΗ
ΣΤΑΔΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΡΚΙΝΟΥ**

Όνοματεπώνυμο: Σοφία Μουστακάτου

Αριθμός Μητρώου: 1513

Επιβλέπων: Νικόλαος Γιαννακέας

Επίκουρος Καθηγητής

Άρτα, Σεπτέμβριος, 2022

**IMAGE PROCESSING OF KIDNEY BIOPSIES FOR AUTOMATED
STAGING OF CANCER**

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Άρτα, 13/09/2022

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Νικόλαος Γιαννακέας, Επίκουρος Καθηγητής

2. Μέλος επιτροπής

Αλέξανδρος Τζάλλας, Επίκουρος Καθηγητής

3. Μέλος επιτροπής

Δημήτριος Δημόπουλος, Πανεπιστημιακός Υπότροφος

Ο Προϊστάμενος του Τμήματος

Ευριπίδης Γλαβάς,

Καθηγητής, Α' βαθμίδας

Υπογραφή

© Μουστακάτου Σοφία, Άρτα 2022.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightsreserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για την συγγραφή της εργασίας περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Μουστακάτου Σοφία

Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα απο όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπον καθηγητή αυτής της πτυχιακής εργασίας κ. Γιαννακέα Νικόλαο, επίκουρο καθηγητή του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστούμε. Ακόμα θα ήθελα να τον ευχαριστήσω που μου ανέθεσε το συγκεκριμένο θέμα αλλά και για την συμβολή και την καθοδήγηση που μου έδωσε σε όλο αυτό το διάστημα εκπόνησης αυτής της πτυχιακής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω καιγια την χορήγηση των δειγμάτων των βιοψιών νεφρού που είχαν σημαντικό ρόλο στην ολοκλήρωση του πειραματικού μέρους της εργασίας. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου και κυρίως την οικογένεια μου για όλη την στήριξη που είχα όλα αυτά τα χρόνια κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί η επεξεργασία και ανάλυση ιστοπαθολογικών εικόνων μικροσκοπίας από βιοψίες νεφρού. Οι βιοψίες κατατάσσονται σε τρία στάδια καρκίνου του νεφρού (grade 1, grade 2 και grade 3). Γίνεται ανάλυση των χαρακτηριστικών των τριών σταδίων έτσι ώστε να εντοπιστούν πιθανές σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Για την εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν 105 δείγματα από βιοψίες με αλλοιώσεις στα νεφρά. Ακόμα πραγματοποιήθηκε εξέταση και γνωμάτευση των βιοψιών από έμπειρους ιστοπαθολόγους. Με βάση την εξέταση και την γνωμάτευση των βιοψιών, από τα συνολικά δείγματα 35 διαγνώστηκαν με χαμηλό βαθμό κινδύνου ενώ τα άλλα 70 με μεγάλο βαθμό κινδύνου. Στις ψηφιακές εικόνες του δείγματος πραγματοποιήθηκε αποκοπή των σημείων ενδιαφέροντος που επισημάνθηκαν από τους ειδικούς κατά την διάρκεια της γνωμάτευσης. Ακολουθεί μια διαδικασία προεπεξεργασίας των ψηφιακών εικόνων του δείγματος για την καλύτερη εξαγωγή των χαρακτηριστικών. Τέλος αφού έγινε η εξαγωγή των χαρακτηριστικών των πυρήνων των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε η κατάλληλη ταξινόμηση και ομαδοποίηση των δεδομένων.

Abstract

The subject of this thesis is the process and analysis of histopathological microscopy images from kidney biopsies. The biopsies are classified into three stages of kidney cancer (grade 1, grade 2 and grade 3). The characteristics of the three stages are analyzed, in order to identify possible significant differences between them. For this thesis were used 105 samples from biopsies with lesions in the kidneys. The examination and opinion of the biopsies was also carried out by experienced histopathologists. Based on the above, 35 samples were diagnosed with a low degree of risk while the other 70 with a high degree of risk. The digital images of the sample, showed the points of interest, highlighted by the experts. Following, there is a pre-processing procedure of the digital images of the sample for having better extract of the features. Finally, after extracting the characteristics of the cores of the samples, it was carried out the appropriate classification and grouping of the data.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Δήλωση μη λογοκλοπής	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
Abstract	8
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	9
Πίνακας Εικόνων/ Πινάκων	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	13
1. ΙΣΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΑΘΟΑΝΑΤΟΜΙΑ ΤΟΥ ΝΕΦΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	13
1.1 ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΝΕΦΡΟΥ	13
1.2 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΝΕΦΡΙΚΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΕΠΙΘΥΛΙΑΚ ΝΕΦΡΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ	14
1.3 ΚΑΡΚΙΝΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ	14
1.4 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΝΕΦΡΩΝ	15
1.5 ΠΑΘΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΝΕΦΡΩΝ	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	17
2. ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	17
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΙΚΟΝΑ	17
2.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	17
2.3 ΤΥΠΟΙ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ	18
2.3.1 ΔΥΑΔΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ	18
2.3.2 ΕΙΚΟΝΑ ΑΠΟΧΡΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΓΚΡΙ / ΜΟΝΟΧΡΩΜΑΤΙΚΗ	19
2.3.3 ΕΓΧΡΩΜΗ ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΙΚΟΝΑ	20
2.4 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ	21
2.4.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΟΠΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	21
2.4.1.1 ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑΣ	22
2.4.1.2 ΦΙΛΤΡΑ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ (SMOOTHING)	25
2.4.1.3 ΦΙΛΤΡΑ ΤΟΝΩΣΗΣ ΤΩΝ ΑΚΜΩΝ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ (edge sharpening)	27
2.4.2 ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΓΙΑ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ	27

2.4.2.1 ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ (LINEAR FILTERING)	27
2.4.2.2 ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΑ (MEDIAN FILTERING)	28
2.5 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ (HISTOGRAM).....	28
2.6 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ (ΤΜΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ).....	29
2.7 ΚΑΤΩΦΛΙΩΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ	29
2.8 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ.....	30
2.9 ΕΞΑΓΩΓΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ.....	31
2.10 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	33
3. ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ	33
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	33
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	35
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	35
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	35
4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	53
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	53
Αναφορές – Πηγές	54
ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	57

Πίνακας Εικόνων/ Πινάκων

Εικόνα 1: Ανατομία νεφρού.....	13
Εικόνα 2: Εκτοπισμός φυσιολογικών κυττάρων από τα καρκινικά κύτταρα	15
Εικόνα 3: Δυαδική εικόνα (binary image).....	19
Εικόνα 4: Μονοχρωματική εικόνα (gray scale image).....	20
Εικόνα 5: RGB εικόνα	21
Εικόνα 6: α) Αποτελεί την αρχική μονοχρωματική εικόνα βιοψιών νεφρού, β) Εικόνα μετά την εφαρμογή της συνάρτησης $imadjust$	23
Εικόνα 7: 1) Αρχική εικόνα πριν απο το φιλτράρισμα, 2) Φιλτραρισμένη εικόνα μετά την εφαρμογή τετραγωνικού φίλτρου μέσου όρου, 3) Φιλτραρισμένη εικόνα μετά την εφαρμογή κυκλικού φίλτρου μέσου όρου.....	26
Εικόνα 8: Παράδειγμα εικόνας salt and pepper noise.....	28
Εικόνα 9: Ψηφιακό μικροσκόπιο	34
Πίνακας 1: Σύστημα Σταδιοποίησης Fuhrman.....	36
Εικόνα 10: Εικόνα RGB βιοψίας νεφρού grade 1.....	38
Εικόνα 11: Εικόνα RGB βιοψίας νεφρού grade 2.....	39
Εικόνα 12: Εικόνα grayscale βιοψίας νεφρού grade 1.....	39
Εικόνα 13: Εικόνα grayscale βιοψίας νεφρού grade 2, Μετά την μετατροπή της εικόνας σε grayscale εφαρμόζουμε φίλτρο gauss με την εντολή:.....	40
Εικόνα 14: Εικόνα grade 1 μετά την εφαρμογή φίλτρου gauss.....	40
Εικόνα 15: Εικόνα grade 2 μετά την εφαρμογή φίλτρου gauss.....	41
Εικόνα 16: Εικόνα grade 1 μετά την εφαρμογή ιστογράμματος.....	41
Εικόνα 17: Εικόνα grade 2 μετά την εφαρμογή ιστογράμματος.....	42
Εικόνα 18: Εικόνα grade 1 μετά την εφαρμογή φίλτρου Wiener.....	43
Εικόνα 19: Εικόνα grade 2 μετά την εφαρμογή φίλτρου Wiener.....	43
Εικόνα 20: Εικόνα grade 1 μετά την εφαρμογή της συνάρτησης $imhmax$	44
Εικόνα 21: Εικόνα grade 2 μετά την εφαρμογή της συνάρτησης $imhmax$	44
Εικόνα 22: Εικόνα grade 1 μετά από πολλαπλασιασμό με την δυαδικής μάσκας της αρχικής εικόνας.....	44
Εικόνα 23: Εικόνα grade 2 μετά από πολλαπλασιασμό με την δυαδικής μάσκας της αρχικής εικόνας.....	45
Εικόνα 24: Εικόνα grade 1 μετά την εφαρμογή της μεθόδου Otsu και το opening.....	46
Εικόνα 25: Εικόνα grade 2 μετά την εφαρμογή της μεθόδου Otsu και το opening.....	46
Εικόνα 26: Εικόνα grade 1 μετά την εξαγωγή χαρακτηριστικών.....	47
Εικόνα 27: Εικόνα grade 2 μετά την εξαγωγή χαρακτηριστικών.....	48

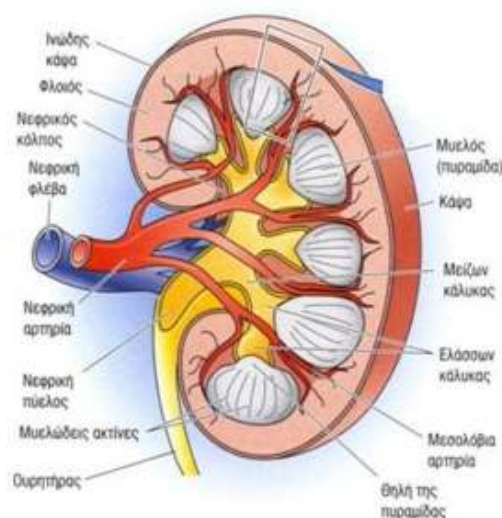
Εικόνα 28: Αρχική RGB εικόνα grade 1 που είναι πολλαπλασιασμένη με την δυαδική εικόνα αυτής που δημιουργήθηκε μετά την εξαγωγή χαρακτηριστικών.	48
Εικόνα 29: Αρχική RGB εικόνα grade 2 που είναι πολλαπλασιασμένη με την δυαδική εικόνα αυτής που δημιουργήθηκε μετά την εξαγωγή χαρακτηριστικών.	49
Πίνακας 2: Αποτελέσματα πειραματικής διαδικασίας.	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1. ΙΣΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΑΘΟΑΝΑΤΟΜΙΑ ΤΟΥ ΝΕΦΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

1.1 ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΝΕΦΡΟΥ

Τα νεφρά συναντώνται οπισθοπεριτοναϊκά στον χώρο, εκατέρωθεν της σπονδυλικής στήλης και σε ύψος του δωδέκατου θωρακικού έως του τρίτου οσφυϊκού σπονδύλου. Οι νεφροί καλύπτονται κατά σειρά από ινώδη κάψα, το παρανεφρικό λίπος και τη νεφρική περιτονία (περιτονία Gerota) [1]. Η νεφρική περιτονία περιβάλλει ακόμα και τα επινεφρίδια. Οι στοιβάδες που αναγνωρίζονται σε εγκάρσια διατομή είναι δύο. Ο φλοιός, ο οποίος περιέχει τα σπειράματα και πολλά κομμάτια σωληναριακής μονάδας, ο μυελός που περιέχει τα τμήματα απο την αγκύλη του Henle, τα ανάποδα φλεβίδια αλλά και το τελευταίο κομμάτι των αθροιστικών σωληναρίων. Η αραίωση και η συμπύκνωση των ούρων αποτελούν την κύρια λειτουργία του μυελού, ενώ σπειραματική διήθηση, η σωληναριακή απέκκριση και η σωληναριακή επαναρόφηση πραγματοποιούνται στον φλοιό. [2]



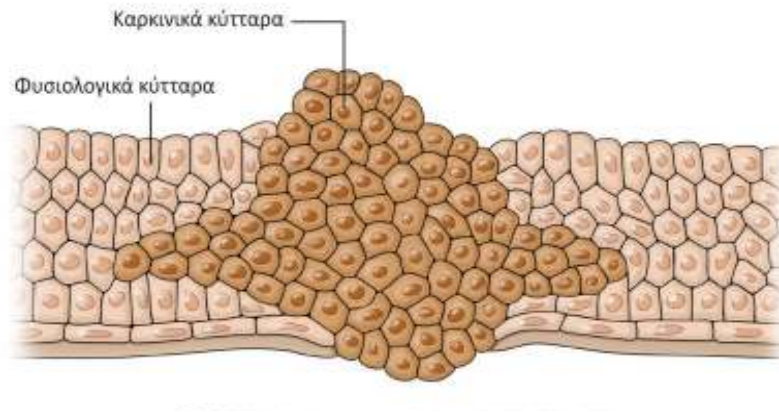
Εικόνα 1: Ανατομία νεφρού.

1.2 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΝΕΦΡΙΚΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΕΠΙΘΥΛΙΑΚ ΝΕΦΡΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ

Τα ποδοκύτταρα ή επιθηλιακά κύτταρα αποτελούν κύτταρα υψηλής διαφοροποίησης. Τα κύτταρα αυτά δεν έχουν την δυνατότητα να πολλαπλασιάζονται και έτσι η απώλεια τους από βλαπτικούς παράγοντες δεν μπορεί να αναπληρωθεί. Δημιουργούνται κατά την οργανογένεση από τα μετανεφρικά μεσεγχοματικά κύτταρα τα οποία σταδιακά μετατρέπονται σε επιθηλιακά, που αποτελούν πρόδρομες μορφές από τις οποίες δημιουργούνται τα ποδοκύτταρα. Λόγω της ύπαρξης των κατάλληλων πρωτεϊνών όπως η νεφρίνη, η ποδοκαλυξίνη, η ποδοσίνη, η συναπτοποδίνη και η GLEPP-1 πραγματοποιείται διαχωρισμός της τελικής τους μορφή σε σχέση με τις χαρακτηριστικές προσεκβολές. Οι προσεκβολές γειτνιαζόντων ποδοκυττάρων μπλέκονται μεταξύ τους δημιουργώντας ελικοειδές σχισμές, που ενώνονται μεταξύ τους με την βοήθεια της διαφραγματικής σχισμής πλάτους 30-40nm. Από την διαφραγματική σχισμή επιτρέπεται συνεχής είσοδος διηθήματος μέσω του τριχοειδούς και με κατεύθυνση στο ουροφόρο σημείο. Τα ποδοκύτταρα αποτελούν αντικείμενο έρευνας την τελευταία δεκαετία, καθώς έχει προκύψει ότι έχουν κεντρικό ρόλο στην δημιουργία παθήσεων της σπειραματικής βλάβης. [2] [3]

1.3 ΚΑΡΚΙΝΙΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ

Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από τρισεκατομμύρια κύτταρα και καθένα από αυτά πραγματοποιεί μια συγκεκριμένη λειτουργία. Ο καρκίνος δημιουργείται από μη φυσιολογικά κύτταρα τα οποία παύουν να λειτουργούν σωστά και πολλαπλασιάζονται ανεξέλεγκτα, εκτοπίζοντας τα φυσιολογικά κύτταρα από την θέση τους με αποτέλεσμα τη δημιουργία κακοήθους όγκου. Ο όγκος σταδιακά μεγαλώνει και μπορεί να καταστρέψει υγιείς ιστούς και όργανα. Ανάλογα με τον ιστό προέλευσης ο καρκίνος έχει διαφορετικά ονόματα. Ο πιο συχνός τύπος καρκίνου είναι το καρκίνωμα που προέρχεται από τα επιθηλιακά κύτταρα. Τα επιθηλιακά κύτταρα καλύπτουν την επιφάνεια του δέρματος, των εσωτερικών οργάνων και των αδένων. [4][5]



Εικόνα 2: Εκτοπισμός φυσιολογικών κυττάρων από τα καρκινικά κύτταρα

1.4 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΝΕΦΡΩΝ

Ο ρόλος των νεφρών είναι να κρατάνε σταθερό το εσωτερικό περιβάλλον του οργανισμού. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της επιλεκτικής κατακράτησης ή αποβολής ουσιών. Υπάρχουν τρεις τρόποι για να επιτευχθεί αυτό. Ένας τρόπος είναι μέσω της διήθησης της κυκλοφορίας του αίματος προς το σπείραμα και η παραγωγή της γρήγορης ωρίμανσης του διηθήματος στην βωμάνειο κάψα. Άλλος τρόπος είναι η επιλεκτική επαναρόφηση μέσω σωληναριακού συστήματος και τέλος η επιλεκτική αποβολή και η απέκκριση των άχρηστων ουσιών από το περιωληναριακό τριχοειδικό δίκτυο. Οι πιο σημαντικές λειτουργίες των νεφρών είναι:

- Η αποβολή προϊόντων του μεταβολισμού και ξένων ουσιών (ουρία, κρεατίνη, ουρικό οξύ κ.α).
- Η εξισορρόπηση ύδατος και ηλεκτρολυτών. Οι νεφροί είναι υπεύθυνοι για την ρύθμιση απέκκρισης ύδατος και ηλεκτρολυτών ώστε να είναι ίδια με την πρόσληψη.
- Η ρύθμιση αρτηριακής πίεσης.
- Η ρύθμιση της γλυκόζης.
- Η ρύθμιση παραγωγής ερυθροκυττάρων.
- Η απέκκριση χημικών ουσιών και φαρμάκων.
- Η ρύθμιση παραγωγής καλσιτριόλης[1],[2]

1.5 ΠΑΘΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΝΕΦΡΩΝ

Τα νεφρά που δεν λειτουργούν κανονικά παρουσιάζουν διάφορα είδη παθήσεων που πολλές φορές έχουν άγνωστη προέλευση. Η νεφρική ανεπάρκεια αποτελεί μια πάθηση η οποία επηρεάζει την ικανότητα των νεφρών να διώχνουν τοξίνες από τον οργανισμό. Πολλές φορές έχει αργό ρυθμό εξέλιξης, για αυτό ονομάζεται χρόνια νεφρική ανεπάρκεια. Όμως μπορεί να εμφανίζεται και με γρήγορους ρυθμούς εξέλιξης, τότε ονομάζεται οξεία νεφρική ανεπάρκεια. Η σπειραματοπάθεια είναι μια κατάσταση όπου τα σπειράματα που βοηθούν στον καθαρισμό του αίματος δεν λειτουργούν σωστά. Κάποια θεραπεύονται μόνα τους, ενώ άλλα εξελίσσονται σε χρόνια νεφρική ανεπάρκεια. [6] Αντικείμενο ενδιαφέροντος και μελέτης της παρούσα εργασίας αποτελεί η πάθηση του καρκίνου στα νεφρά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2. ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

Ορίζουμε ψηφιακή εικόνα την αλλαγή της εικόνας από αναλογική σε ψηφιακή, με άλλα λόγια την αλλαγή απο τα αναλογικά σήματα στα ψηφιακά. Η ψηφιακή εικόνα μπορεί να είναι αποχρώσεων του γκρι (μονοχρωματική), δυαδική αλλά και έγχρωμη. [9] Στις μέρες μας η εικόνα αποτελεί σημαντική πηγή πληροφορίας και συναντάτε ως ακίνητη ή κινούμενη, έγχρωμη ή ασπρόμαυρη. Η ψηφιακή εικόνα είναι σύγχρονη καθώς συναντάται σε διάφορους τομείς ενημέρωσης και εκπαίδευσης, αλλά και σε χώρους όπως αυτός της υγείας και της ψυχαγωγίας. Η εικόνα ορίζεται ως δισδιάστατη συνάρτηση $I(M,N)$, με M και N τις χωρικές συντεταγμένες και το πλάτος της I στα ζεύγη συντεταγμένων αποτελεί την ένταση της εικόνας σε αυτό το σημείο. Στις μονοχρωματικές εικόνες μπορούμε να συναντήσουμε τον όρο επίπεδο του γκρι. Ακόμα θα μπορούσαμε να ορίσουμε την εικόνα ως μοίρασμα της πληροφορίας στο επίπεδο (M,N) . Αυτό σημαίνει ότι η I αναπαριστά μια επιφάνεια όπου στα πιο λευκά σημεία της εικόνας η τιμή της είναι μεγάλη, ενώ είναι κοντά στο μαύρο για μικρότερες τιμές της I . Επομένως η I αποδίδει τις αποχρώσεις της εικόνας σε κάθε θέση (M,N) . Επίσης η ψηφιακή εικόνα αποτελεί αριθμητική αναπαράσταση δυαδικής εικόνας όπου οι τιμές (M,N) είναι εξαρτημένες από το είδος της εικόνας. [7]

2.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

Ονομάζουμε Digital Image Processing (DIP) την ψηφιακή επεξεργασία εικόνας που είναι σήμερα ολόκληρη επιστήμη με εφαρμογές σε ένα μεγάλο εύρος όπως ρομποτική, όραση μηχανής (computer vision) κ.α. Η λέξη εικόνα αποτελεί μέσο το οποίο μπορεί να αποτυπώσει πληροφορίες πολλών ειδών και για αυτόν τον λόγο μπορεί να γίνει ψηφιοποίηση εικόνων εγγράφων, ιατρικών δεδομένων κ.α. [8] Για να μπορέσει να δεχτεί ψηφιακή επεξεργασία μια

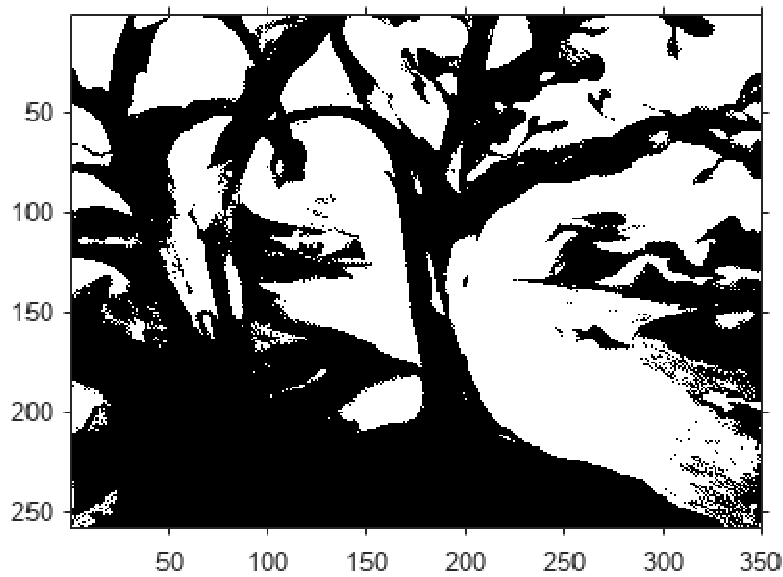
εικόνα θα πρέπει πρώτα να αλλάξει σε ψηφιακή εικόνα. Όταν μιλάμε για ψηφιακή επεξεργασία εικόνας αναφερόμαστε στην χρήση αλγορίθμων από τους υπολογιστές για την επεξεργασία της ψηφιακής εικόνας που έχει στόχο να βελτιώσει την ποιότητα της εικόνας για να μπορεί να είναι περισσότερο ευκρινείς, αλλά και στην επεξεργασία των δεδομένων της τα οποία αλλοιώνονται μετά την εισαγωγή τους σε διάφορες συσκευές. Για αυτό τον λόγο χρειάζεται να παρθούν δείγματα της δισδιάστατης συνάρτησης $I(M,N)$ στα σημεία M,N τα όποια απέχουν μεταξύ τους ίδια απόσταση. Το θεώρημα δειγματοληψίας καθορίζει την πυκνότητα από όπου θα γίνει η λήψη των δειγμάτων. [7]

2.3 ΤΥΠΟΙ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Οι ψηφιακές εικόνες χωρίζονται σε τρία είδη εικόνων ανάλογα με το αριθμό χρωμάτων τον οποίο περιέχουν. Έτσι οι ψηφιακές εικόνες χωρίζονται σε δυαδικές εικόνες (binary images), σε εικόνες μονοχρωματικές (gray level ή gray scale images) και σε έγχρωμες ψηφιακές εικόνες (color images). [9]

2.3.1 ΔΥΑΔΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

Η δυαδική εικόνα (binary image) αποτελεί την πιο απλή μορφή εικόνας η οποία αποτελείται από δύο μόνο σταθερές φωτεινότητας (συνήθως άσπρο και μαύρο). Οι αντιστοιχίες τιμών των φωτεινοτήτων αυτών είναι 1 για τα άσπρα pixels και 0 για τα μαύρα pixels. Έτσι κάθε εικονοστοιχείο χρωματίζεται με κάποιο από τα δύο χρώματα που αναφέρθηκαν και χρειάζεται πληροφορία ενός bit για παράδειγμα με βαθμό 1 για το άσπρο χρώμα και βαθμό 0 για το μαύρο. Αξίζει να αναφερθεί πως μια δυαδική εικόνα λαμβάνει μικρότερη μνήμη και χρειάζεται μικρότερο υπολογιστικό κόστος επεξεργασίας. Ακόμα απεικονίζονται σημαντικές πληροφορίες σε δυαδική μορφή, όπως για παράδειγμα το εμβαδόν, το σημείο και το σχήμα των αντικειμένων κ.α. Με την χρήση δυαδικών εικόνων συνήθως πραγματοποιούνται πάρα πολλές σπουδαίες εφαρμογές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας. Κάποιες από αυτές είναι η εφαρμογή για την αναγνώριση υπογραφής ή αλλιώς signature recognition, η εφαρμογή αναγνώρισης αποτυπωμάτων ή αλλιώς fingerprint recognition και η οπτική αναγνώριση χαρακτηριστικών OCR (Optical Character Recognition). [8] [9] Η παρακάτω εικόνα αναπαριστά μια δυαδική εικόνα.



Εικόνα 3: Δυαδική εικόνα (binary image).

2.3.2 ΕΙΚΟΝΑ ΑΠΟΧΡΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΓΚΡΙ / ΜΟΝΟΧΡΩΜΑΤΙΚΗ

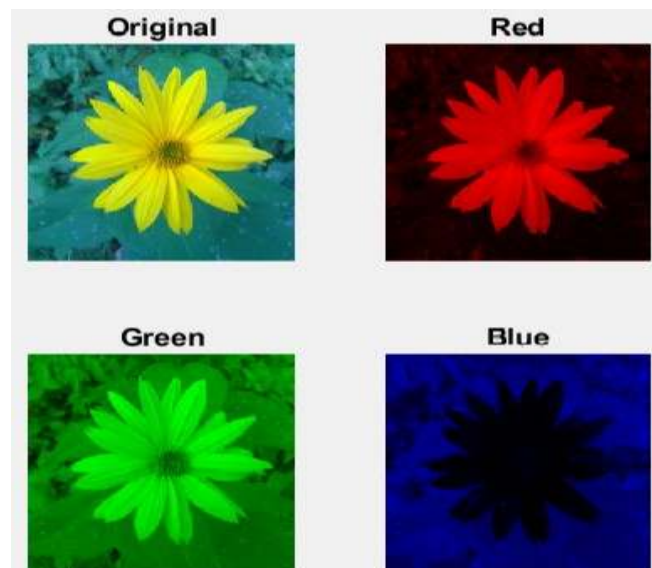
Όπως προαναφέρθηκε η ονομασία επιπέδων του γκρι λαμβάνει χρήση στις μονοχρωματικές εικόνες (ασπρόμαυρες). Στόχος της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας είναι να βελτιώσει την εμφάνιση της εικόνας με σκοπό να μπορεί ο άνθρωπος να την αντιλαμβάνεται καλύτερα ή να την προετοιμάσει έτσι ώστε να πραγματοποιείται αυτόματα η αναγνώριση και η μέτρηση των χαρακτηριστικών τους δομών. Στις μονοχρωματικές εικόνες (gray level ή grayscale images) υπάρχουν 2^8 αποχρώσεις του γκρι, δηλαδή 256 αποχρώσεις. Συχνά εντοπίζονται 256 αντιπροσωπευτικές από τις αποχρώσεις αυτές, που κωδικοποιούνται από τιμές 0 έως 255 και η απόχρωση του κάθε εικονοστοιχείου χρειάζεται πληροφορία των 8 bit. [9] Η παρακάτω εικόνα αναπαριστά μία μονοχρωματική εικόνα.



Εικόνα 4: Μονοχρωματική εικόνα (gray scale image).

2.3.3 ΕΓΧΡΩΜΗ ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

Η απεικόνιση του πραγματικού κόσμου γίνεται μέσω των έγχρωμων ψηφιακών εικόνων (color images) που αποτελούνται από τρεις gray level εικόνες. Με λίγα λόγια κάθε χρώμα εικονοστοιχείου διαθέτει τρεις συνιστώσες που έχουν αντιστοιχία με αποχρώσεις των εικονοστοιχείων του γκρι χρώματος των τριών γκρι αντίστοιχων εικόνων. Οι έγχρωμες εικόνες αποτελούνται από διαφορετικές αποχρώσεις χρωμάτων. Οι αποχρώσεις αυτών των χρωμάτων είναι του κόκκινου, του πράσινου και τέλος του μπλε με αντιστοιχία 2^8 διαφορετικών αποχρώσεων για κάθε ένα από τα τρία χρώματα (κόκκινο, πράσινο, μπλέ). Το χρωματικό μοντέλο αυτό ονομάζεται RGB (Red, Green, Blue) και για καθένα από τα τρία αυτά χρώματα υπάρχουν 2^8 αποχρώσεις που αντιστοιχούν σε 256 αποχρώσεις οι οποίες αποτελούν πληροφορία των 8 bit. Έτσι για κάθε εικονοστοιχείο μιας έγχρωμης εικόνας χρειάζονται 24 bit πληροφορίας. [8] [9] Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την απεικόνιση μίας έγχρωμης εικόνας RGB η οποία διασπάτε στα τρία επιμέρους χρώματα.



Εικόνα 5: RGB εικόνα

2.4 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ

Μια ψηφιακή εικόνα μπορεί να υποστεί μεγάλες αλλοιώσεις που υποβαθμίζουν πολύ την ποιότητα της ύστερα από μία σειρά ενεργειών δημιουργίας, αποθήκευσης αλλά και επεξεργασίας. Η βελτιστοποίηση της εικόνας στοχεύει να βελτιώσει την ποιότητα μίας εικόνας (image enhancement) δίνοντας της έτσι την πιο σωστή μορφή για να μπορεί να αναλυθεί και να επεξεργαστεί παραπάνω. Για την βελτιστοποίηση της εικόνας συναντάμε πολλές τεχνικές. Παρακάτω θα αναλυθούν μερικές τεχνικές βελτιστοποίησης εικόνας που βοηθούν στην βελτίωση της ποιότητας της εικόνας για περαιτέρω επεξεργασία. [7]

2.4.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΟΠΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η τοπική και η σημειακή επεξεργασία αποτελούν δύο τεχνικές επεξεργασίας εικόνας. Στις τεχνικές τοπικής επεξεργασίας (Local Processing) ο υπολογισμός της τιμής του κάθε pixel εξόδου γίνεται από την τιμή της εικόνας του αντίστοιχου pixel εισόδου, αλλά και τις τιμές που έχουν τα γειτονικά pixels. Έτσι στις τεχνικές τοπικής επεξεργασίας η τιμή ενός pixel εξόδου εξαρτάται από το pixel εισόδου, την τεχνική που εφαρμόζεται σε αυτό το pixel και τις γειτονικές τιμές των pixels. Οι τεχνικές όπου η επεξεργασία κάθε pixel μιας ψηφιακής εικόνας εξαρτώνται από την φωτεινότητα του ίδιου του pixel ονομάζονται τεχνικές

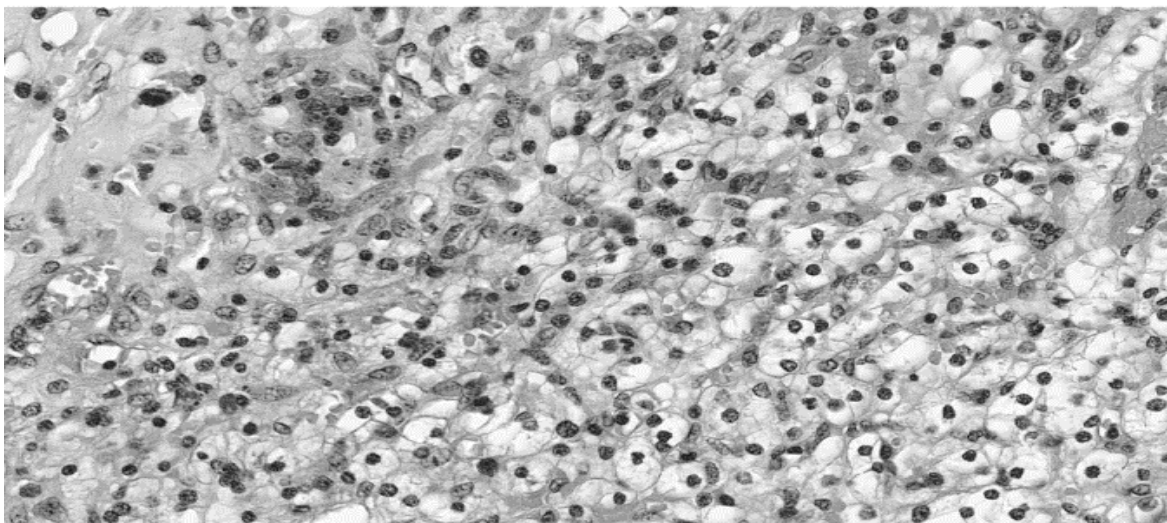
σημειακής επεξεργασίας (Point Processing). Οι τεχνικές τοπικής και σημειακής επεξεργασίας αναφέρονται παρακάτω [7] [10].

2.4.1.1 ANTIΣΤΟΙΧΙΣΗ ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑΣ

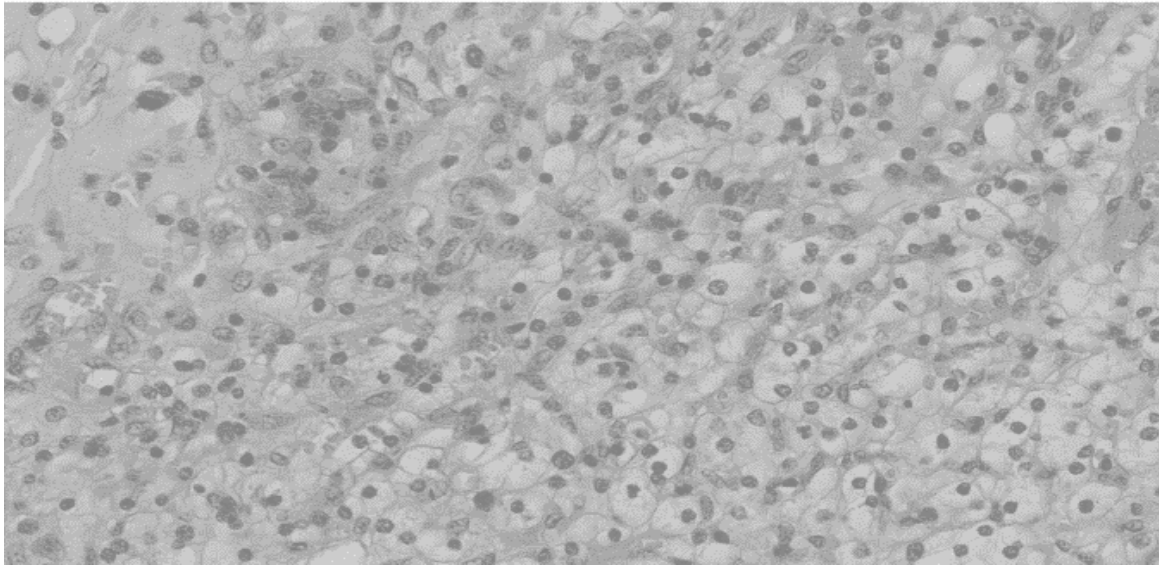
Ι) Μετασχηματισμοί του επιπέδου του γκρι των pixels αύξηση και μείωση του επιπέδου του γκρι.

Για να αλλάξει η κλίμακα των τιμών των pixel πρέπει να πραγματοποιηθεί πολλαπλασιασμός με μια σταθερή τιμή. Αυτό στην πράξη αποτελεί μια ενέργειαμετατροπής της αντίθεσης. Η συνάρτηση **imadjust** που διαθέτει το MATLAB είναι μια συνάρτηση η οποία μπορεί να πετύχει πολλές επιδράσεις στην αντίθεση της εικόνας. Η συνάρτηση **imadjust** ουσιαστικά μπορεί να μετατρέπει τις οριακές τιμές της έντασης εικόνας σε καινούργιες οι οποίες προορίζονται από τα **low_out** και **high_out**. [11]

```
<< I = imread('nuclei_image.jpg');           %Εικόνα RGB  
  
<< I = rgb2gray(I);                          % Μετατροπή εικόνας RGB σε αποχρώσεων του  
γκρι.  
  
<< J=imadjust(I, stretchlim(I),[0.5 0.8]);
```



α)



β)

Εικόνα 6: α) Αποτελεί την αρχική μονοχρωματική εικόνα βιοψιών νεφρού, β) Εικόνα μετά την εφαρμογή της συνάρτησης $imadjust$.

II) Εξισορρόπηση ιστογράμματος (Histogram equalization)

Η συνάρτηση $h(r_k)=n_k$ στα μαθηματικά ορίζει το ιστόγραμμα. Το n_k αποτελεί τον αριθμό των εικονοστοιχείων με φωτεινότητα r_k . Η κατανομή των αποχρώσεων του γκρι σε μια εικόνα αποδίδει το ιστόγραμμα. Το ιστόγραμμα είναι ένα γράφημα όπου στον οριζόντιο άξονα λαμβάνει φωτεινότητες στο διάστημα $[0, L-1]$, όπου $L=2^q$ και q τα bit της γκρι εικόνας, δηλαδή το βάθος χρώματος. Ας υποθέσουμε ότι η μεταβλητή r ορίζει τις διαφορετικές τιμές αποχρώσεων του γκρι και $q=8$ παίρνει τις τιμές από 0 μέχρι 255. Αν πραγματοποιηθεί διαίρεση με το πλήθος όλων των εικονοστοιχείων, τότε παίρνουμε ως αποτέλεσμα το κανονικοποιημένο ιστόγραμμα. Η r_k για τιμές $0 \leq k \leq 255$ δίνει τις διάφορες τιμές αποχρώσεων του γκρι. Η παρακάτω συνάρτηση ορίζει την πιθανότητα εμφάνισης της τιμής διαβάθμισης του γκρι r_k στην εικόνα, με n να αποτελεί το πλήθος του συνόλου των εικονοστοιχείων της εικόνας: [11] [12].

$$P_r(r_k) = \frac{n_k}{n}$$

Εξ. 2.1

Από το γράφημα της συνάρτησης (Εξ. 2.1) μπορεί να ληφθεί σύνολο πληροφοριών σχετικά με την μορφή της εικόνας. Μερικές από αυτές τις πληροφορίες είναι η αντίθεση της εικόνας δηλαδή αν είναι σκούρα, ανοιχτόχρωμη, μεγάλης ή χαμηλότερης αντίθεσης και το δυναμικό εύρος. Ακόμα από την εικόνα του ιστογράμματος λαμβάνεται πληροφορία η οποία είναι σημαντική για την δυνατότητα αύξησης της αντίθεσης της εικόνας. Με την κατάλληλη εφαρμογή μετασχηματισμού που αλλάζει την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των χρωματικών πυκνοτήτων γίνεται να πραγματοποιηθεί σπουδαία αλλαγή στην μορφή που μπορεί να έχει η εικόνα. Η εξισορρόπηση ή αλλιώς γραμμικοποίηση ιστογράμματος αποτελεί μια από τις σημαντικότερες τεχνικές αυτής της κατηγορίας, που αναφέρεται σε εφαρμογή μετασχηματισμού με μορφή: [12]

$$S_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) \quad \text{Εξ. 2.2}$$

Ο μετασχηματισμός παράγει επίπεδο s_k για όλες τις τιμές του εικονοστοιχείου r_k . Αυτός ο μετασχηματισμός (Εξ. 2.2) δίνει ως αποτέλεσμα εικόνα με ομοιόμορφη κατανομή χρωματικών πυκνοτήτων και ισούται με την αύξηση του δυναμικού εύρους των εικονοστοιχείων. Ο μετασχηματισμός έχει την δυνατότητα να αλλάξει σημαντικά την εμφάνιση της εικόνας. Η συνάρτηση `histeq` του MATLAB δίνει την εξισορρόπηση ιστογράμματος.

```
<< J = histeq(I , nlev)
```

Με I να αποτελεί την γκρι εικόνα που έχουμε αρχικά και $nlev$ να είναι τα επίπεδα του γκρι για την εικόνα εξόδου που παίρνουμε τελικά. Η συνάρτηση την εμφάνιση του ιστογράμματος στο MATLAB είναι η `imhist`.

```
<< imhist(I,n)
```

Με I την εικόνα, h το ιστόγραμμα της και n ο διαιρετέος των επιπέδων του γκρι, δηλαδή αν $b=2$ θα γίνει χωρισμός δύο περιοχές (0-127 και 128-255) των αποχρώσεων του γκρι. Επομένως το ιστόγραμμα θα αποτελείται από δύο τιμές. Η τιμή $h(1)$ με αντιστοιχία στην μια περιοχή (0-127) και με $h(2)$ στην άλλη (128-255). [11]

2.4.1.2 ΦΙΛΤΡΑ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ (SMOOTHING)

Τα φίλτρα εξομάλυνσης αποκαλούνται και φίλτρα διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων και χρησιμοποιούνται όταν πρέπει να τονιστούν οι πιο μεγάλοι ομοιογενείς τομείς με σχετικά ίδιο τόνο στην εικόνα και ταυτόχρονα να γίνει αφαίρεση μικρών λεπτομερειών. Κάποια από τα πιο βασικά φίλτρα που ανήκουν στην συγκεκριμένη κατηγορία είναι το φίλτρο μέσου όρου, ενδιάμεσης τιμής και το φίλτρο Gauss. [13] Σε αυτή την φάση θα γίνει αναφορά του φίλτρου μέσου όρου (mean or average). Το φίλτρο μέσου όρου δημιουργεί μία εικόνα $g(x,y)$ από την εικόνα $f(x,y)$ σύμφωνα με τον τύπο:

$$g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{m,n \in S} f(m, n) \quad \text{Εξ. 2.3}$$

Το S συμβολίζει την περιοχή που βρίσκεται τριγύρω του σημείου (x,y) το οποίο περιέχει M σημεία. Στα σημεία αυτά μπορεί να περιλαμβάνεται και το σημείο (x,y). Με το φίλτρο μέσου όρου γίνεται ελάττωση του θορύβου και την ίδια στιγμή λειαίνει τις ακμές θολώνοντας τις (blur). Αν γύρω από το σημείο (x,y) η ακτίνα της περιοχής μεγαλώνει τότε τόσο περισσότερο γίνεται λείανση των ακμών. Για να μειωθεί το θόλωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια διαδικασία καταφλίωσης. Αυτή η απλή διαδικασία καταφλίωσης χρησιμοποιεί ένα κατώφλι T αφού πρώτα κάνει υπολογισμό του μέσου όρου των σημείων με βάση τα προηγούμενα. Στην περιοχή S περιέχει μόνο τα σημεία τα οποία η διαφορά τους από τον μέσο όρο είναι μικρότερη από το T. Η συνάρτηση fspecial του MATLAB δίνει το φίλτρο μέσου όρου. Παρακάτω φαίνονται δύο τρόποι υλοποίησης του φίλτρου μέσου όρου:

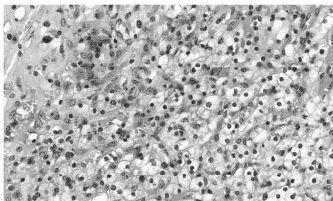
```
<< h1= fspecial('average',[r c])           % Τετραγωνικό φίλτρο
<< h2= fspecial('disk',r)                 % Κυκλικό φίλτρο
```

Στο MATLAB η συνάρτηση imfilter δίνει το γραμμικό φιλτράρισμα.

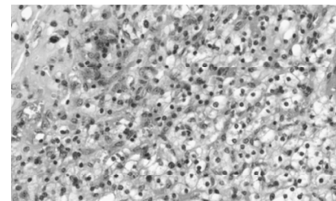
```
<< I = imfilter( A, h, filtering_mode, boundary_options, size_options)
```

Το *A* αποτελεί την αρχική εικόνα, το *h* την μάσκα φίλτρου, το *filtering_mode* ορίζει αν θα πραγματοποιηθεί φιλτράρισμα με χρήση συνέλιξης (*conv*) ή συσχέτισης (*corr*) και το γέμισμα στο σύνορο της εικόνας που το συμβολίζει το *boundary_options*. [11] Παρακάτω δίνετε ένα παράδειγμα εφαρμογής τετραγωνικού και κυκλικού φίλτρου:

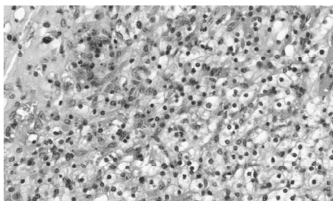
```
<< I = imread("image.jpg");           % Εισαγωγή εικόνας
<< I = rgb2gray(I);                   % Μετατροπή εικόνας από RGB σε γκρι
<< a1 = fspecial("average", [10 10]); % Εφαρμογή τετραγωνικού φίλτρου
<< g1 = imfilter(I, a1,"replicate");
<< a2 = fspecial("disk", 4);           % Εφαρμογή κυκλικού φίλτρου με r = 4
<< g2 = imfilter(I, a2,"replicate");
```



1



2



3

Εικόνα 7: 1) Αρχική εικόνα πριν από το φιλτράρισμα, 2) Φιλτραρισμένη εικόνα μετά την εφαρμογή τετραγωνικού φίλτρου μέσου όρου, 3) Φιλτραρισμένη εικόνα μετά την εφαρμογή κυκλικού φίλτρου μέσου όρου.

2.4.1.3 ΦΙΛΤΡΑ ΤΟΝΩΣΗΣ ΤΩΝ ΑΚΜΩΝ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ (*edge sharpening*)

Πολλές φορές συναντάμε θόλωμα στις λεπτομέρειες των εικόνων που προκαλείται από το άθροισμα των αριθμών των pixels (φίλτρο μέσης τιμής). Η παραγωγή λαμβάνει το αντίθετο αποτέλεσμα καθώς η άθροιση των εικονοστοιχείων είναι ανάλογη με την διαδικασία της ολοκλήρωσης και έτσι αυξάνει τις λεπτομέρειες της εικόνας. Κύριως στόχος των φίλτρων παραγωγής είναι να δώσουν βάση στις λεπτομέρειες της ψηφιακής εικόνας ή να βελτιώσουν τις λεπτομέρειες τις εικόνας που έχουν υποστεί θόλωμα από κάποιο λάθος ή εξαιτίας συγκεκριμένων μεθόδων λήψης των δεδομένων αυτών. Το διάνυσμα της κλίσης αποτελεί τον πιο συνηθισμένο τύπο παραγωγής σε εφαρμογές επεξεργασίας ψηφιακής εικόνας. [23] [24]

2.4.2 ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΓΙΑ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ

Ορίζουμε ως θόρυβο τις τιμές των εικονοστοιχείων (pixels) που δεν αναπαριστούν τις αληθινές εντάσεις της σκηνής που έχει φωτογραφηθεί. Υπάρχουν διάφοροι τύποι θορύβου οι οποίοι μπορούν να αλλοιώσουν τις ψηφιακές εικόνες και κυρίως αυτές που μπορεί να λαμβάνονται από ιατρικές συσκευές. Ο θόρυβος σε μια ψηφιακή εικόνα έχει πολλούς τρόπους εμφάνισης που εξαρτάται από την δημιουργία της εικόνας, δηλαδή από τον τρόπο λήψης της. Επομένως ο θόρυβος είναι αποτέλεσμα λαθών κατά την λήψη της εικόνας και πιθανές πηγές που μπορεί να προκαλούν θόρυβο σε μια ψηφιακή εικόνα αποτελεί ο μηχανισμός που συλλέγει τα δεδομένα και η ηλεκτρονική διαβίβαση των δεδομένων της εικόνας. Για την απαλοιφή του θορύβου από τις ψηφιακές εικόνες χρησιμοποιούνται διαφορετικά φίλτρα ανάλογα με το είδος θορύβου της εικόνας. [11] [12] Παρακάτω θα γίνει αναφορά σε δύο διαφορετικές μεθόδους για την αφαίρεση θορύβου, την μην μέθοδο linear filtering και την μέθοδο median filtering.

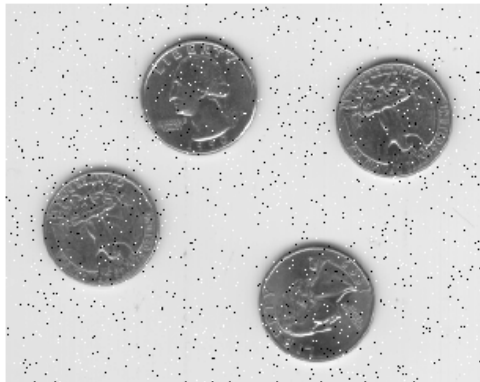
2.4.2.1 ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ (*LINEAR FILTERING*)

Τα γραμμικά φίλτρα Linear Filtering χρησιμοποιούνται με σκοπό την αφαίρεση διαφορετικών τύπων θορύβου στην εικόνα. Πιο συγκεκριμένα φίλτρα όπως για παράδειγμα το Gaussian και το averaging χρησιμοποιούνται για αυτόν ακριβώς τον λόγο. Επίσης ένα

φίλτρο averaging filter χρησιμεύει στην αφαίρεση των κόκκων οι οποίοι δημιουργούν θόρυβο στην εικόνα. Καθένα εικονοστοιχείο εγκαθίσταται στο κέντρο των κοντινών εικονοστοιχείων και έτσι μειώνονται οι περιοχές με απόκλιση εξαιτίας των κόκκων. [14]

2.4.2.2 ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΑ (MEDIAN FILTERING)

Στην επεξεργασία θορύβου με Median Filter το καθένα εικονοστοιχείο λαμβάνει την μέση τιμή των κοντινών εικονοστοιχείων και με εφαρμογή του median filtering ο αριθμός της τιμής του εικονοστοιχείου που εξέρχεται δίνεται από το median των κοντινών εικονοστοιχείων. Ακόμα το median filtering αποτελεί κατάλληλο φίλτρο για την αφαίρεση θορύβου τύπου κόκκου ή αλατοπίπερου (salt and pepper noise). Η συνάρτηση medfilt2 του MATLAB εφαρμόζει median filtering στην εικόνα και ακόμα η συνάρτηση αυτή κάνει πολύ καλή αφαίρεση του θορύβου salt and pepper noise της εικόνας χωρίς να την θολώνει. [13][15]



Εικόνα 8: Παράδειγμα εικόνας salt and pepper noise.

2.5 ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ (HISTOGRAM)

Σε μια ασπρόμαυρη ή ενδεικτική εικόνα, ορίζουμε ιστόγραμμα μιας εικόνας τις αλλαγές των εντάσεων ενός πίνακα. Η συνάρτηση imhist στο MATLAB φτιάχνει ένα σχεδιάγραμμα (ιστόγραμμα). Το σχεδιάγραμμα αυτό αποτελείται από n γραμμές κάθετα, όπου κάθε μία από αυτές ορίζει κάποιο σύνολο τιμών. Για παράδειγμα αν έχουμε μια εικόνα αποχρώσεων του γκρι μπορούμε να φτιάξουμε την κατανομή του πλήθους των pixels με την ίδια τιμή απόχρωσης και για όλες τις αποχρώσεις. [14] [15]

2.6 ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ (ΤΜΗΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ)

Η διαδικασία από την οποία μπορούμε να λάβουμε την πληροφορία της εικόνας ονομάζεται ανάλυση εικόνας. Από την έξοδο της διαδικασίας ανάλυσης εικόνων μπορούμε να λάβουμε πληροφορίες ενός υψηλού επιπέδου. Ορίζουμε κατάτμηση εικόνας μια διαδικασία η οποία διαιρεί την εικόνα σε περιοχές ίδιας μορφής που ιδανικά αποτελούν αντικείμενα (πρόσωπα σε μια εικόνα). Με την σωστή κατάτμηση καταλήγουμε τις περισσότερες φορές σε μια αποτελεσματική ανάλυση που στοχεύει στην απλοποίηση ή την αλλαγή της εικόνας έτσι ώστε να μπορεί να αναλυθεί με μεγαλύτερη ευκολία. Έτσι μέσω της κατάτμησης της εικόνας γίνεται δυνατός ο εντοπισμός αντικειμένων, αλλά και τα όρια των αντικειμένων αυτών (γραμμές, καμπύλες, γωνίες κ.α). Η κατάτμηση κάνει αναφορά στην λειτουργία τμηματοποίησης της ψηφιακής εικόνας σε στιβάδες. Οι στιβάδες αποτελούν ομάδες εικονοστοιχείων που αντιπροσωπεύουν κάτι. Θα λέγαμε πως η κατάτμηση της εικόνας είναι μια διαδικασία όπου γίνεται ανάθεση ετικετών σε κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας, έτσι ώστε τα εικονοστοιχεία που έχουν ίδια ετικέτα να έχουν συγκεκριμένα οπτικά χαρακτηριστικά. Έτσι το αποτέλεσμα της κατάτμησης θα λέγαμε ότι είναι μια ομάδα στιβάδων που όλες μαζί καλύπτουν ολόκληρη την εικόνα ή μια ομάδα περιγραμμάτων τα οποία εξάγονται από τα αντικείμενα της εικόνας. Τα εικονοστοιχεία κάθε περιοχής σε μία ομάδα στιβάδων λαμβάνουν μερικά χαρακτηριστικά ή μια ιδιότητα (χρώμα, ένταση, υφή). Γενικά η υφή κάνει αναφορά στην επανάληψη κάποιου δομικού στοιχείου το οποίο αποτελείται από πολλά εικονοστοιχεία με περιοδική ή τυχαία διάταξη. [17]

2.7 ΚΑΤΩΦΛΙΩΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ

Σε μια εικόνα τα εικονοστοιχεία ενός αντικειμένου λαμβάνουν τιμές σε κάποιο μικρό διάστημα αποχρώσεων. Συχνά αυτό φέρνει την παραγωγή τοπικού μεγίστου στην περιοχή του ιστογράμματος. Με την αναζήτηση των τοπικών μεγίστων η εύρεση των αντικειμένων μιας εικόνας αλλά και η απόδοση της με μικρότερο αριθμό κύριων αποχρώσεων είναι πιο εύκολη. Μια απλή διαδικασία εφαρμογής της κατωφλίωσης (thresholding) γίνεται μέσω του καθορισμού μιας σειράς από τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων στην εικόνα την αρχική, του προσδιορισμού των εικονοστοιχείων που κατηγοριοποιούνται σε αυτήν αλλά και της τοποθέτησης αυτών που μένουν στο background. Στην εικόνα που δημιουργείται τα

εικονοστοιχεία που εμφανίζουν φωτεινότητα μέσα στο διάστημα των τιμών φωτεινότητας του κατωφλιού δεν αλλάζουν και τα εικονοστοιχεία τα οποία βρίσκονται έξω από το διάστημα φωτεινότητας μηδενίζονται. Μέσω του τακτικού ελέγχου του ιστογράμματος της εικόνας ή μέσω δοκιμής και σφάλματος μπορεί να γίνει επιλογή της τιμής του threshold. Στην περίπτωση της δοκιμής και σφάλματος γίνεται επιλογή πολλών διαφορετικών τιμών του threshold έτσι ώστε κάποια στιγμή να παραχθούν τα κατάλληλα αποτελέσματα που επιθυμεί ο παρατηρητής. [16] [17]

2.8 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

Η μορφολογική επεξεργασία εικόνας βοηθάει στην επεξεργασία των αντικειμένων τα οποία υπάρχουν σε μια εικόνα. Μπορούμε να εφαρμόσουμε μορφολογική επεξεργασία εικόνας μέσω διαφόρων τεχνικών. Συνήθως σε μεγαλύτερο ποσοστό η διαδικασία αυτή λαμβάνει εφαρμογή σε δυαδικές εικόνες. Σε μια δυαδική εικόνα η μορφολογική επεξεργασία γίνεται μέσω μορφολογικών τελεστών με χρήση δομικών στοιχείων (structure element). Τα δομικά στοιχεία έχουν μορφή γεωμετρικού σχήματος, όπου το μέγεθος και το σχήμα τους είναι καθορισμένα ανάλογα με την επιθυμητή επεξεργασία που θέλουμε να εφαρμόσουμε σε μια εικόνα. Σαν είσοδο οι μορφολογικοί τελεστές παίρνουν μια δυαδική εικόνα. Πάνω στην δυαδική εικόνα τοποθετείται το δομικό στοιχείο και στην έξοδο παίρνουμε την επεξεργασμένη εικόνα, η οποία έχει το ίδιο μέγεθος με την εικόνα εισόδου.

Παρακάτω αναφέρονται ονομαστικά οι κύριοι μορφολογικοί τελεστές του πεδίου επεξεργασίας εικόνας:

- Συστολή (erosion)
- Διαστολή (dilation)
- Άνοιγμα (opening)
- Κλείσιμο (closing)

[12] [18] [19] [20] [21]

2.9 ΕΞΑΓΩΓΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Στην παρούσα εργασία αντικείμενο μελέτης αποτελούν οι βιοψίες καρκίνου του νεφρού και οι κυτταρικοί πυρήνες που βρίσκονται μέσα στις περιοχές του ιστού. Έτσι τα χαρακτηριστικά που θα εξαχθούν θα δώσουν σημαντικές πληροφορίες για τις περιοχές που μελετάμε. Για τον λόγο ότι η όραση του ανθρώπου δεν μπορεί να αντιλαμβάνεται το πλήθος από πληροφορίες που φέρνει η ψηφιακή εικόνα, αναπτύσσονται διάφοροι αλγόριθμοι εξαγωγής αλλά και επεξεργασίας μορφολογικών και χαρακτηριστικών υφής. Η εξαγωγή χαρακτηριστικών της περιοχής ενδιαφέροντος ακολουθεί μετά την κατάτμηση ή αλλιώς τμηματοποίηση της εικόνας. Όταν αναφερόμαστε σε χαρακτηριστικά εικόνας εννοούμε τα χαρακτηριστικά που την κάνουν να ξεχωρίζει από όλες τις άλλες εικόνας, αφού τα χαρακτηριστικά είναι πάντα διαφορετικά και μοναδικά για την κάθε μια. Χρησιμοποιούμε τα χαρακτηριστικά των εικόνων για να μπορούμε να κωδικοποιούμε πολλές διαφορετικές ιδιότητες όπως για παράδειγμα η μορφολογία, η αρχιτεκτονική και η υφή. Για την εξαγωγή χαρακτηριστικών υφής χρησιμοποιούνται μονοχρωματικές εικόνας, καθώς τα χαρακτηριστικά υφής δίνουν πληροφορία για την κατανομή των τόνων του γκρι στην εικόνα. Ονομάζουμε υφή της εικόνας στο πεδίο επεξεργασίας την κατανομή των τόνων του γκρι. Αν κοιτάξουμε την εικόνα σαν έναν τρισδιάστατο χάρτη εικονοστοιχείων μπορεί να γίνει περισσότερο κατανοητή η υφή της. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω μπορούμε να εξάγουμε μορφολογικά χαρακτηριστικά κυρίως από τις δυαδικές εικόνες. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά θα μας δώσουν την κατάλληλη πληροφορία για τα αντικείμενα της εικόνας που επεξεργαζόμαστε. Χαρακτηριστικά όπως το σχήμα, το μέγεθος και την μορφή των αντικειμένων αυτών. Μερικά μορφολογικά χαρακτηριστικά που μπορούμε να εξάγουμε από μία εικόνα περιγράφονται παρακάτω:

- Η επιφάνεια (area) σε μια περιοχή ενδιαφέροντος θεωρείται ίση με τον αριθμό των εικονοστοιχείων της.
- Η περίμετρος (perimeter) θεωρείται η διάσταση που παίρνει το περίγραμμα του πυρήνα, πιο απλά ο συνολικός αριθμός των pixels που σχηματίζουν τα όρια του σχήματος τους.
- Η εκκεντρικότητα (eccentricity) προσδιορίζει το μέγεθος που χαρακτηρίζει το σχήμα του πυρήνα του κυττάρου συγκριτικά με το μέγεθος που χαρακτηρίζει το σχήμα της έλλειψης. Η εκκεντρικότητα παίρνει τιμές από 0 έως 1. Το σχήμα των πυρήνων που έχουν μηδενική εκκεντρικότητα είναι κυκλικό. Η εκκεντρικότητα δίνεται από τον λόγο

της απόστασης ανάμεσα στα κέντρα της έλλειψης και στο μήκος του μείζονα άξονα της.

- Η πυκνότητα (solidity) υπολογίζεται από τον αριθμό των εικονοστοιχείων τα οποία περιέχονται μέσα στην νοητή έλλειψη που δημιουργείται από τους κύριους άξονες που βρίσκονται για κάθε καρκινικό κύτταρο. Η πυκνότητα υπολογίζεται από τον λόγο του συνολικού αριθμού των εικονοστοιχείων του πυρήνα του κυττάρου προς τον αριθμό εκείνων που περιέχονται στην νοητή έλλειψη. [17]

2.10 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Η ανάπτυξη αλγορίθμων με στόχο την αυτόματη ταξινόμηση δεδομένων σε κατηγορίες αλλά και η ταξινόμηση τους σε ομάδες που βασίζονται σε κάποια στοιχεία που έχουμε ορίσει, αποτελεί ένα επιστημονικό πεδίο που ορίζεται ως Pattern Recognition ή αλλιώς Αναγνώριση προτύπων. Η ταξινόμηση των δεδομένων είναι δυνατή ακόμα και με την εμφάνιση θορύβου στην εικόνα που μπορεί να κάνει την αναγνώριση ακόμα πιο δύσκολη αφού συχνά οδηγεί τα δεδομένα να φαίνονται ακόμα πιο τυχαία από ότι μπορεί να είναι στην πραγματικότητα. Σε αντίθεση με τον άνθρωπο που μπορεί να διαχωρίζει δεδομένα βάσει των αισθήσεων του και της ικανότητας που έχει να αντιλαμβάνεται, ένα μηχάνημα, για παράδειγμα ένας Η/Υ χρειάζεται την σωστή εκπαίδευση για να αποκτήσει την ικανότητα αναγνώρισης προτύπων και της αυτόματης κατηγοριοποίησης τους. Σε ένα μεγάλο κομμάτι επιστημονικών πεδίων η ταξινόμηση προτύπων είναι ένα αντικείμενο το οποίο μελετάται και προτείνεται όταν θέλουμε να βγάλουμε διάφορα αποτελέσματα για κάποιο καθορισμένο δείγμα που αποτελείται από κάποια χαρακτηριστικά. Με στόχο να έχουμε την βέλτιστη λύση σε μια εφαρμογή ταξινόμησης πρέπει εκτός από τα χαρακτηριστικά να κάνουμε επιλογή και του κατάλληλου ταξινομητή. Για την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία έχουμε επιλέξει να πραγματοποιήσουμε ταξινόμηση μέσω του αλγόριθμου K – Μέσων (K-Means). [25]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3. ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ανθρώπινο μάτι δεν έχει την δυνατότητα να βλέπει δομές μεγέθους κάτω από 0,1mm. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη του ανθρώπου στον εντοπισμό λύσεων έτσι ώστε να μπορεί να παρατηρεί αντικείμενα με «γυμνό» μάτι. Το 1590 δημιουργήθηκε από τους Hans Lippershey και Zacharias Janssen το πρώτο μικροσκόπιο, μια απλή συσκευή που αποτελούνταν από δύο φακούς (έναν φακό εκεί που αρχίζει ο σωλήνας και έναν φακό εκεί που τελειώνει). Η εφεύρεση του μικροσκοπίου άλλαξε την πορεία της επιστήμης αφού έφερε την δυνατότητα στον άνθρωπο να παρατηρεί μικρές δομές όπως ερυθρά αιμοσφαίρια, ψύλλους, τρίχες κ.α. [18] [19] [20] [21] [22]

3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ

Τα μικροσκόπια περιέχουν έναν αισθητήρα εικόνας ο οποίος βρίσκεται πίσω από τους φακούς μεγέθυνσης. Ο αισθητήρας (κάμερα) αυτός δίνει την δυνατότητα λήψης εικόνας και βίντεο. Οι εικόνες και τα βίντεο που έχουν ληφθεί από την κάμερα μπορούν στην συνέχεια να αναπαρασταθούν μέσω μίας οθόνης. Γενικά το μικροσκόπιο περιέχει ένα σημείο πάνω στο οποίο γίνεται τοποθέτηση των αντικειμένων που ορίζονται προς μελέτη και σε κάποια συγκεκριμένη απόσταση από το σημείο τοποθέτησης δεδομένων υπάρχει μια κεφαλή με έναν φακό μεγέθυνσης. Αν το μικροσκόπιο έχει πολλά επίπεδα μεγέθυνσης, η κεφαλή θα περιέχει πολλούς φακούς με διαφορετική τιμή μεγέθυνσης ο καθένας. [22]



Εικόνα 9: Ψηφιακό μικροσκόπιο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για το πειραματικό μέρος ακολουθήθηκε μία σειρά βημάτων των οποίων η διαδικασία περιγράφεται παρακάτω:

- I. **Συλλογή, Προετοιμασία, Ταξινόμηση του δείγματος:** Για να ξεκινήσει το πειραματικό μέρος της εργασίας ήταν αναγκαία η παροχή ενός συνόλου εικόνων δειγμάτων από βιοψίες νεφρού, τα οποία και παραχώρησε ο επιβλέπων Καθηγητής κ. Γιαννακέας. Οι βιοψίες νεφρού έχουν σκαναριστεί με το σκάνερ Hamamatsu και οι παθολογοανατόμοι έχουν υπολογίσει σε αυτές το grade καρκίνου τους. Έχει γίνει διαχωρισμός τριών κατηγοριών καρκίνου grade 1, grade 2 και grade 3.
- II. **Επιλογή περιοχών ενδιαφέροντος:** Μετά από την κατηγοριοποίηση των δειγμάτων έγινε επισήμανση των περιοχών ενδιαφέροντος και αποκόπηκαν μικρά κομμάτια από την εικόνα τα οποία περιείχαν την επιθυμητή πληροφορία. Η περιοχή ενδιαφέροντος στη παρούσα εργασία αποτελεί την περιοχή που θέλουμε να μελετήσουμε.
- III. **Επεξεργασία των Ψηφιακών εικόνων:** Πριν ξεκινήσει η διαδικασία διαχωρισμού των κυττάρων από το συνολικό δείγμα ήταν απαραίτητη η επεξεργασία των εικόνων με την χρήση των απαραίτητων τεχνικών βελτίωσης εικόνας.
- IV. **Εξαγωγή χαρακτηριστικών των περιοχών ενδιαφέροντος:** Η διαδικασία η οποία αποκωδικοποιεί την πληροφορία που έχουν τα αντικείμενα που θα μελετήσουμε ονομάζεται εξαγωγή χαρακτηριστικών, όπου γίνεται μελέτη των μορφολογικών χαρακτηριστικών αλλά και των χαρακτηριστικών υφής.

Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 105 ιστολογικά δείγματα βιοψιών νεφρού. Το δείγμα βιοψιών νεφρού εξετάστηκε και χωρίστηκε σε τρεις κατηγορίες αλλοιώσεων grade 1, grade 2 και grade 3. Το στάδιο καρκίνου grade 1 αποτελείται από 35

δείγματα και θεωρείται στάδιο χαμηλού κινδύνου. Το grade 2 και το grade 3 αποτελούνται και αυτά από 35 δείγματα το καθένα και θεωρούνται στάδια υψηλού κινδύνου.

Στάδιο	Μέγεθος Πυρήνα	Σχήμα Πυρήνα	Χρωματίνη	Πυρήνιο
1 (40x)	<10 μm	Στρογγυλό	Πυκνή	Αφανές
2 (20x)	15 μm	Στρογγυλό	Ελαφρά Κοκκώδης	Μικρό, δεν φαίνεται με 10x
3 (10x)	20 μm	Στρογγυλό/ Ωοειδές	Χονδοκοκκώδης	Διακεκριμένο
4 (4x)	> 20 μm	Πλειόμορφο, Πολυλοβοτικό	Ανοιχτή, υπερχρωματική	Μακροπυρηνικό

Πίνακας 1: Σύστημα Σταδιοποίησης Fuhrman.

Όπως έχει αναφερθεί με την ψηφιακή επεξεργασία εικόνας έχουμε ως σκοπό να βελτιώσουμε την ποιότητα της για να μπορούμε να διαχωρίζουμε με μεγαλύτερη ευκολία την χρήσιμη πληροφορία που θέλουμε να μελετήσουμε. Η χρήσιμη πληροφορία για εμάς είναι τα κύτταρα βιοψιών νεφρού, καθώς και οι πυρήνες των κυττάρων αυτών οι οποίοι περιέχουν την βιολογική πληροφορία οπου βασίζονται τα χαρακτηριστικά που θα πάρουμε μετά το τέλος της επεξεργασίας. Για να απομονώσουμε τους πυρήνες των κυττάρων χρειάζεται χρησιμοποιήσουμε τεχνικές τμηματοποίησης. Το στάδιο της προεπεξεργασίας της ψηφιακής εικόνας είναι αυτό που βοηθάει στην μείωση του θορύβου, στο καθάρισμα των ατελειών αλλά και την τόνωση των ακμών της εικόνας. Μερικές από τις μεθόδους προεπεξεργασίας αποτελούν η χρήση φίλτρων και η επεξεργασία της μορφολογίας της εικόνας. Πολλές φορές είναι αδύνατο να εφαρμόσουμε κατάτμηση (τμηματοποίηση) της εικόνας χωρίς να έχουμε πραγματοποιήσει την κατάλληλη προεπεξεργασία της εικόνας.

Στην παρούσα εργασία ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία όπως περιγράφεται στην συνέχεια:

Αρχικά η έγχρωμη εικόνα RGB μετατράπηκε σε μονοχρωματική grayscale. Στην συνέχεια έγινε εφαρμογή στην μονοχρωματική εικόνα ενός δυσδιάστατου φίλτρου Gauss. Το φίλτρο

αυτό ομαλοποιεί την εικόνα και μειώνει πιθανό θόρυβο που μπορεί να προστέθηκε στην εικόνα κατά το στάδιο της ψηφιοποίησης της. Ακολουθεί η τεχνική εξισορρόπησης ιστογράμματος (histogram equalization). Μέσω της τεχνικής εξισορρόπησης ιστογράμματος έγινε μετασχηματισμός των φωτεινοτήτων του γκρι της εικόνας για να μπορεί να υπάρχει η ομαλή κατανομή σε όλη την κλίμακα των φωτεινοτήτων. Ουσιαστικά έγινε αύξηση της αντίθεσης της εικόνας συγκριτικά με την αρχική. Στην εικόνα που πήραμε ως έξοδο από την δυαδική της εξισορρόπησης ιστογράμματος θα εφαρμόσουμε φίλτρο τύπου Wiener. Το φίλτρο τύπου Wiener αποτελεί δυοδιάστατο χαμηλοπερατό (low_pass) φίλτρο και εξομαλύνει την εικόνα σχετικά με την διακύμανση που επικρατεί στην περιοχή που δρα. Μια μεγάλη διακύμανση οδηγεί σε μικρή εξομάλυνση ενώ αντίθετα μια μικρή διακύμανση δίνει ως αποτέλεσμα μεγάλη εξομάλυνση. Στην συνέχεια εφαρμόστηκε η συνάρτηση `imhmax` που υπολογίζει τον μετασχηματισμό H-Maxima. Η εικόνα που δημιουργείται μετά την χρήση της συνάρτησης `imhmax` του μετασχηματισμού H-Maxima πολλαπλασιάζεται με την εικόνα που αντιπροσωπεύει την δυαδική με σκοπό την διατήρηση της περιοχής που θέλουμε να πραγματοποιήσουμε τμηματοποίηση των πυρήνων. Ακολούθησε η μέθοδος Otsu για τον υπολογισμό του κατωφλιού της εικόνας. Η εικόνα που δημιουργείται μετά την μέθοδο Otsu γίνεται είσοδος της συνάρτησης του Matlab `imbinarize`, η οποία με την μέθοδο της κατωφλίωσης κάνει μετατροπή της εικόνας σε δυαδική. Έπειτα στην δυαδική εικόνα γίνεται εφαρμογή του μορφολογικού τελεστή σχήματος δίσκου που έχει διάμετρο 5. Ο αριθμός αυτός επιλέχθηκε μετά από επαναλήψεις πειραμάτων αφού μας έδωσε την καλύτερη απομόνωση των πυρήνων. Τελικό στάδιο είναι η χρήση συναρτήσεων `imopen` (επιτυγχάνει σαφή όρια του πυρήνα) και `imclearborder` (αφαιρεί στοιχεία από τα σύνορα της εικόνας).

Αφού πραγματοποιηθεί η προεπεξεργασία και η τμηματοποίηση των πυρήνων της εικόνας σειρά έχει η εξαγωγή χαρακτηριστικών. Τα χαρακτηριστικά αποτελούν στοιχεία που χαρακτηρίζουν την εικόνα. Σε προηγούμενο κεφάλαιο έχουμε αναφέρει ότι τα χαρακτηριστικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες (χαρακτηριστικών υφής, μορφολογικών χαρακτηριστικών). Μέσα από την εικόνα δυαδικής μορφής των δομών αυτών που έχουν υποστεί κατατμήση βγαίνουν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά υφής προκύπτουν από την μονοχρωματική εικόνα των πυρήνων.

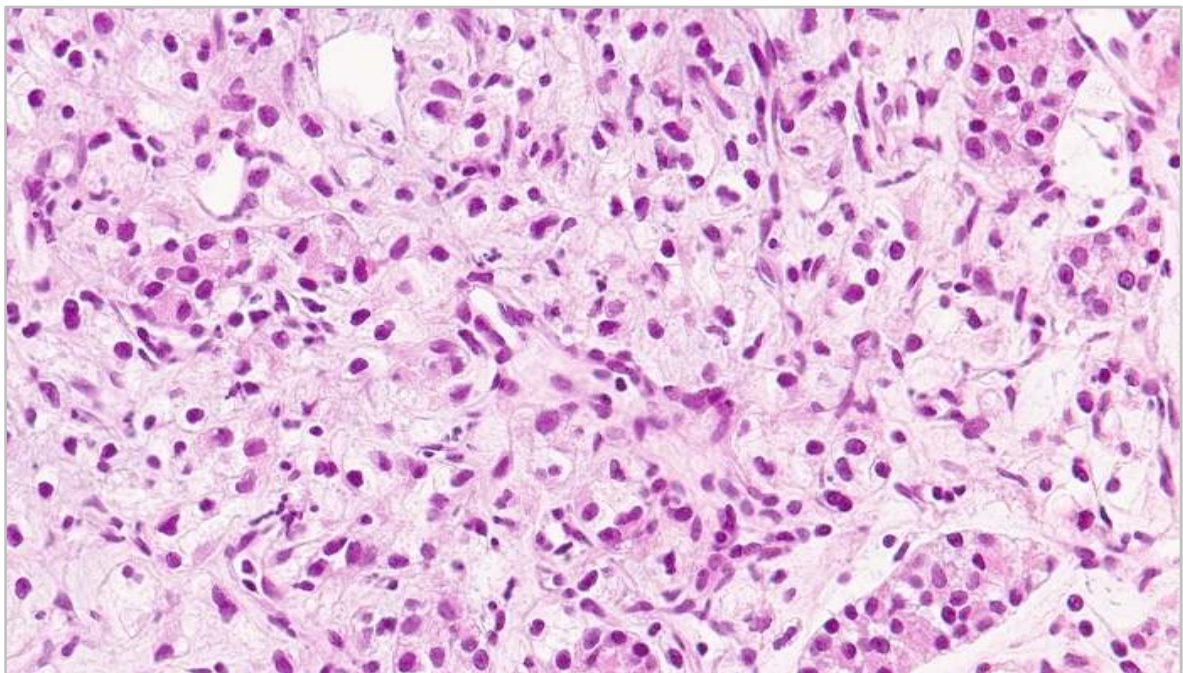
4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε αυτή την φάση παραθέτονται ενδεικτικά κάποιες από τις 105 εικόνες των τριών κατηγοριών βιοψιών καρκίνου των νεφρών οι οποίες έχουν επεξεργαστεί με βάση την διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω. Οι εικόνες παρουσιάζονται με την σειρά με βάση τα βήματα που περιγράψαμε από την προεπεξεργασία μέχρι την εξαγωγή των χαρακτηριστικών.

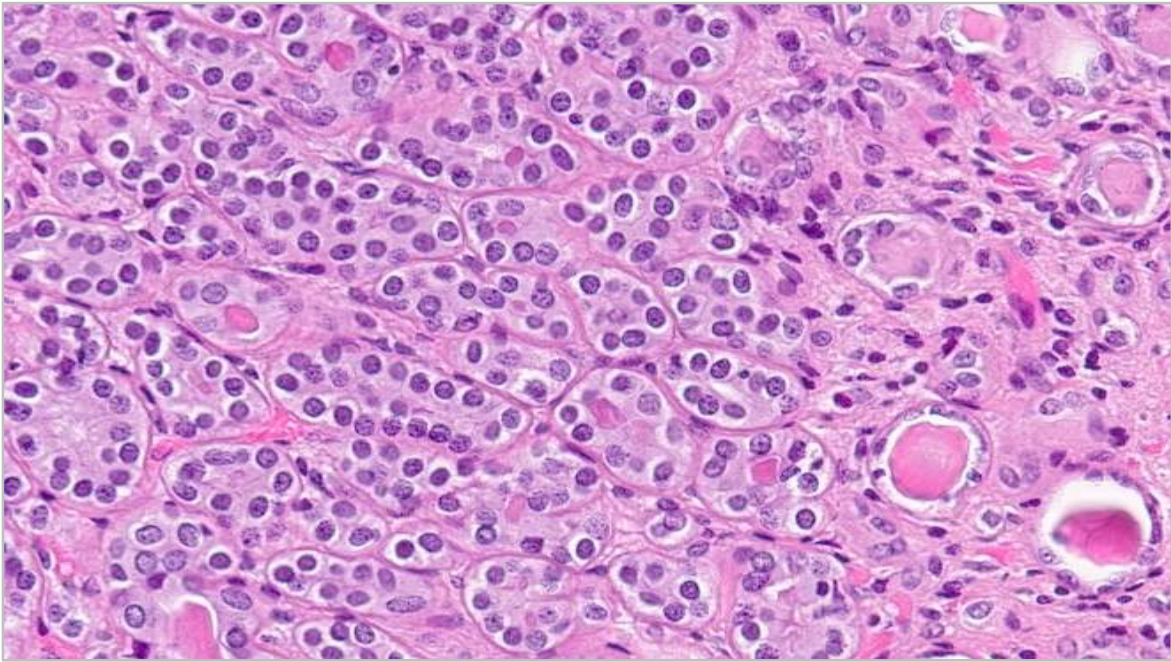
Οι εικόνες του δείγματος που έχουν χρησιμοποιηθεί αποτελούν ψηφιακές εικόνες μικροσκοπίας με μεγέθυνση φακού x20 και μέγεθος 960 x 544 pixels και φακού x40 με μέγεθος 1920 x 1088 pixels.

Για την εισαγωγή της εικόνας στο MATLAB χρησιμοποιούμε την εντολή `imread`. Η παρακάτω εντολή διαβάζει την RGB εικόνα:

```
a= imread('grade1.jpg');
```



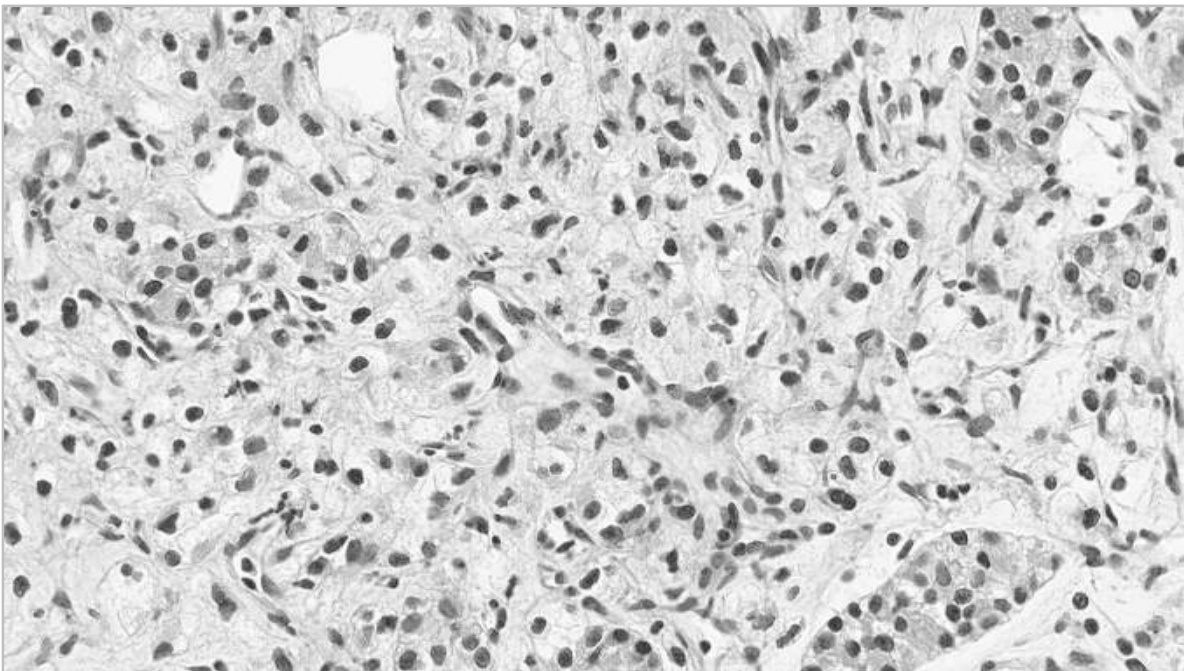
Εικόνα 10: Εικόνα RGB βιοψίας νεφρού grade 1.



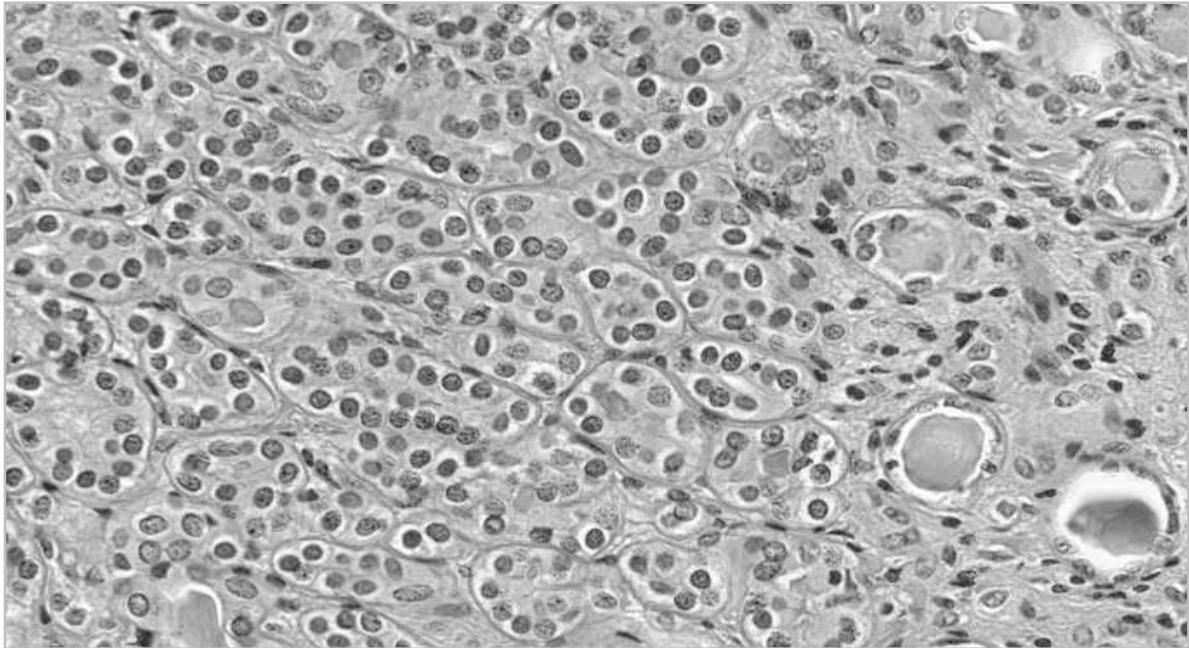
Εικόνα 11: Εικόνα RGB βιοψίας νεφρού grade 2.

Στην συνέχεια για να μετατρέψουμε την RGBεικόνα σε grayscaleχρησιμοποιούμε την εντολή:

`b = rgb2gray(a);`

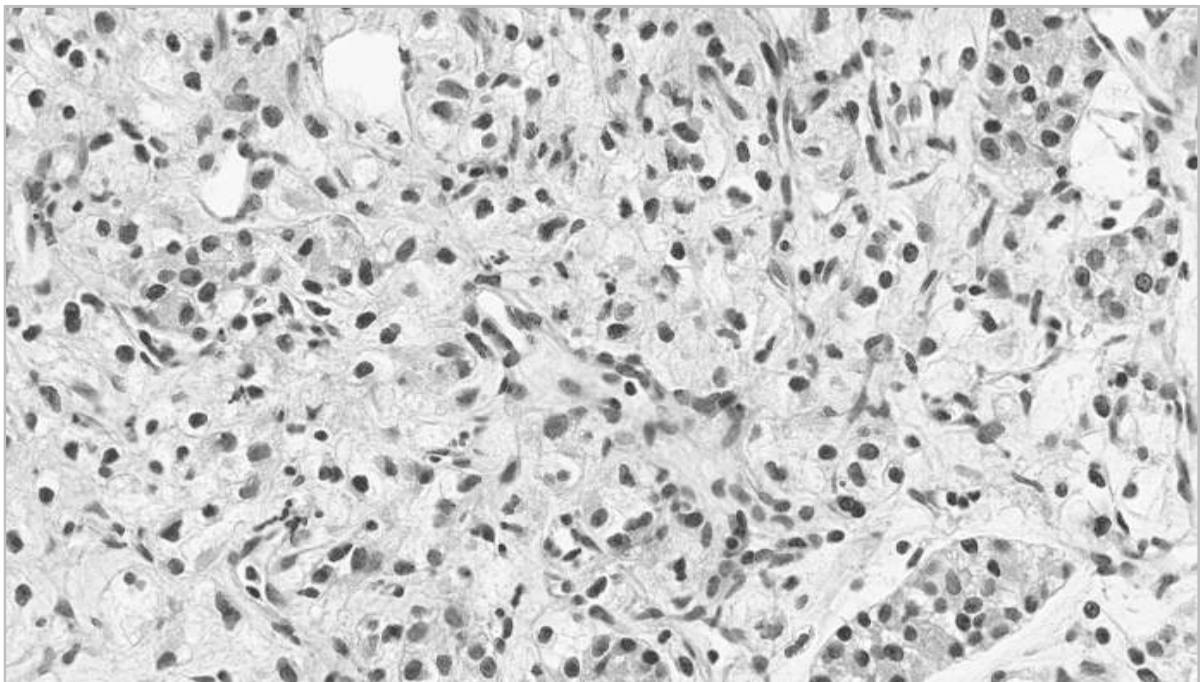


Εικόνα 12: Εικόνα grayscale βιοψίας νεφρού grade 1.

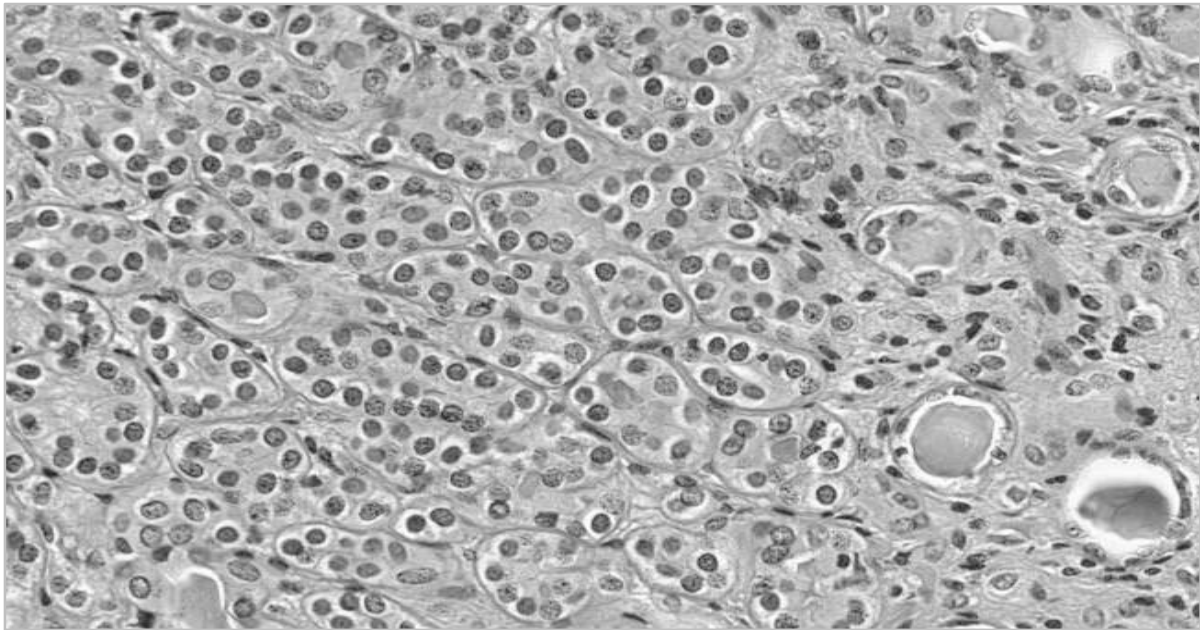


Εικόνα 13: Εικόνα grayscale βιοψίας νεφρού grade 2, Μετά την μετατροπή της εικόνας σε grayscale εφαρμόζουμε φίλτροgauss με την εντολή:

`c = imgaussfilt(b);`



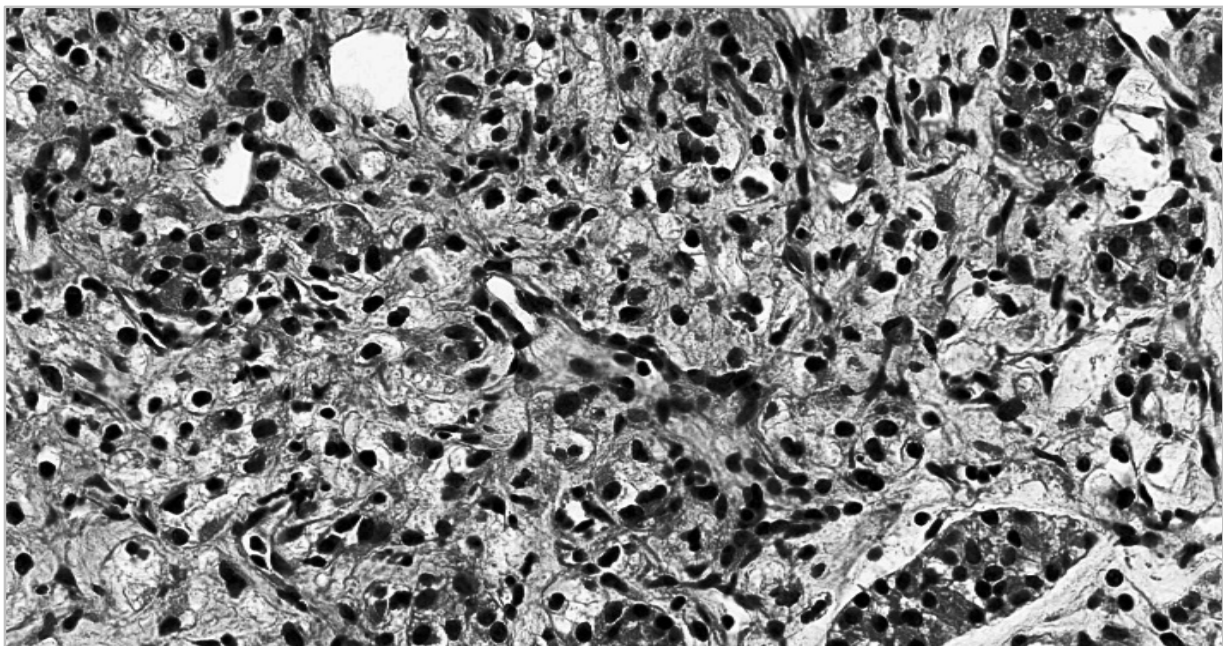
Εικόνα 14: Εικόνα grade 1 μετά την εφαρμογή φίλτρου gauss.



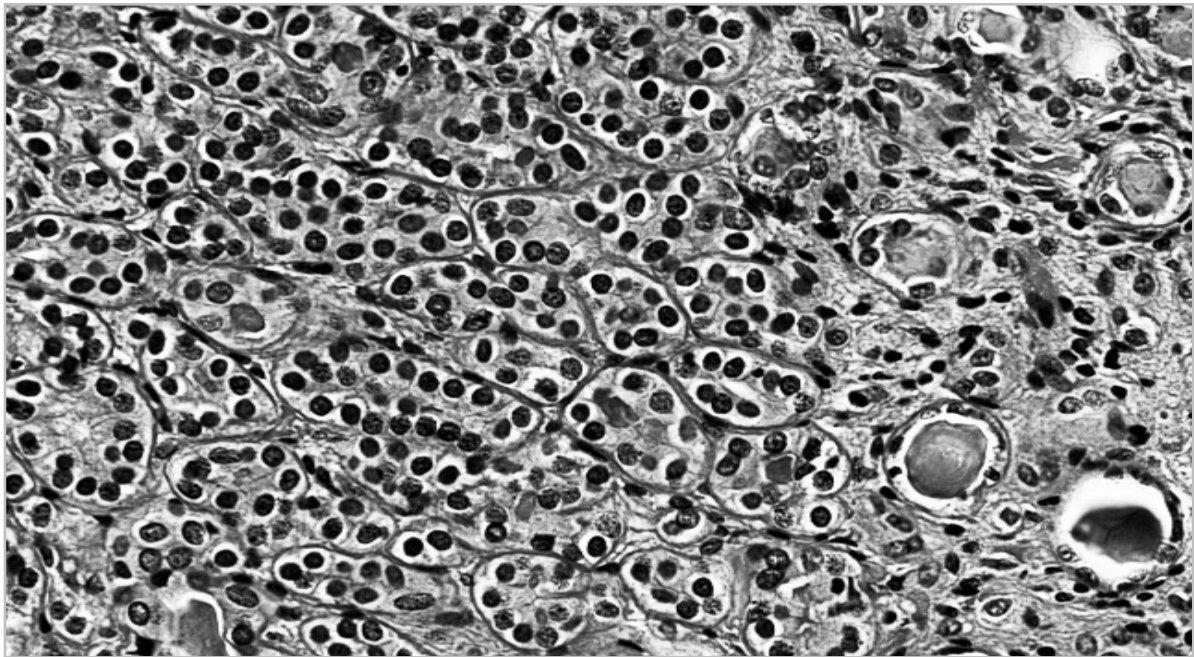
Εικόνα 15: Εικόνα grade 2 μετά την εφαρμογή φίλτρου gauss.

Στην συνέχεια εφαρμόζουμε ιστογράμμα στην φιλτραρισμένη εικόνα:

`d=histeq(c);`



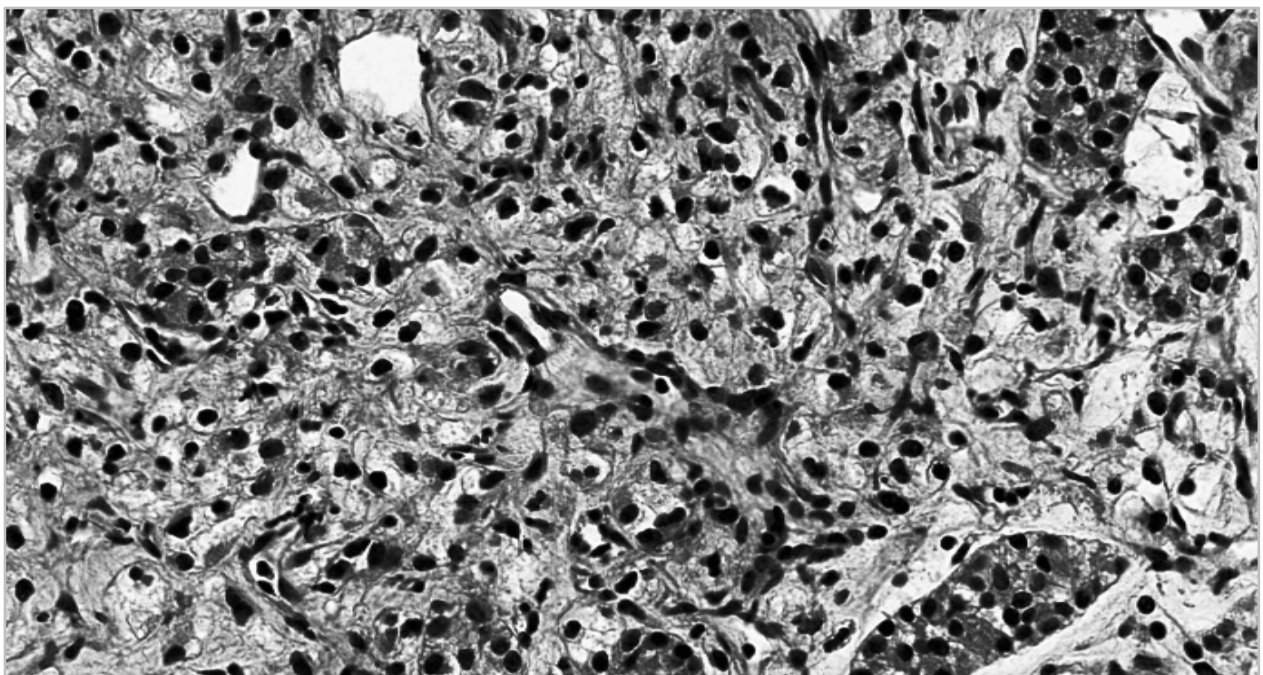
Εικόνα 16: Εικόνα grade 1 μετά την εφαρμογή ιστογράματος



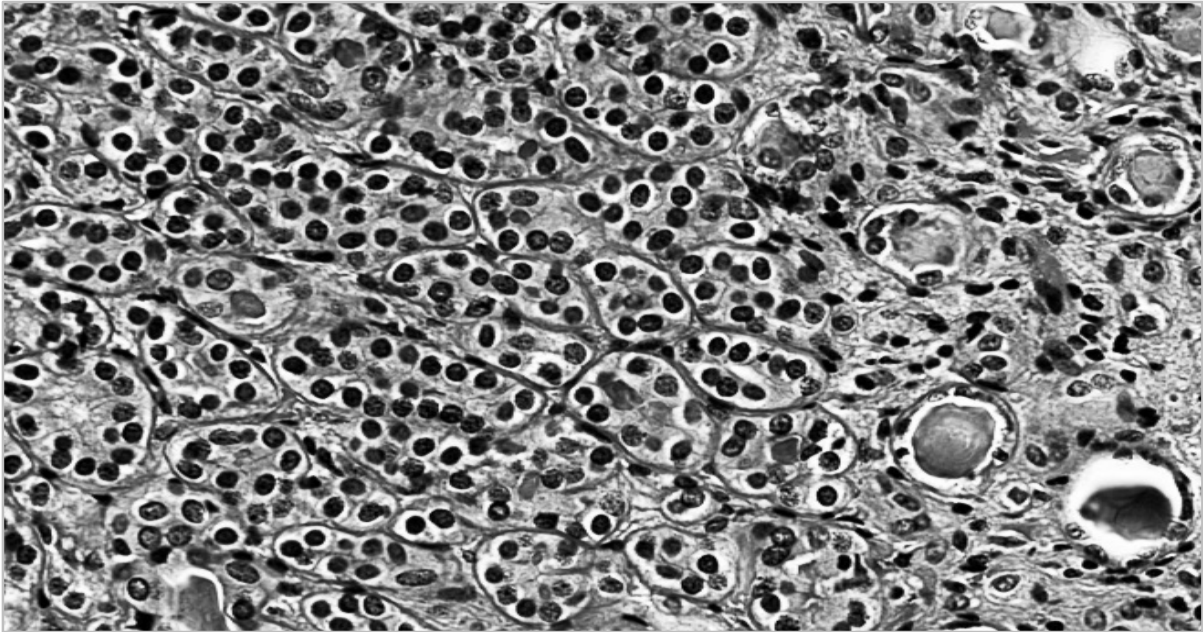
Εικόνα 17: Εικόνα grade 2 μετά την εφαρμογή ιστογράμματος.

Επόμενο βήμα η εφαρμογή φίλτρου Wiener με την εντολή του MATLABwiener2:

```
e=wiener2(d);
```



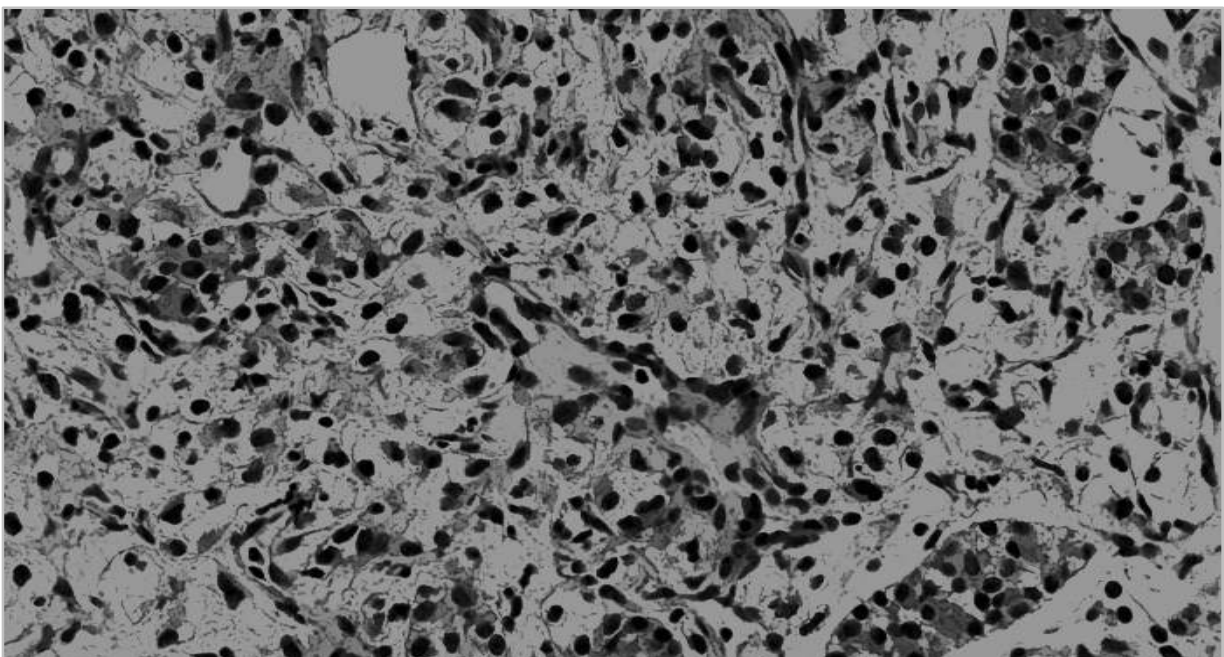
Εικόνα 18: Εικόνα grade 1 μετά την εφαρμογή φίλτρου Wiener.



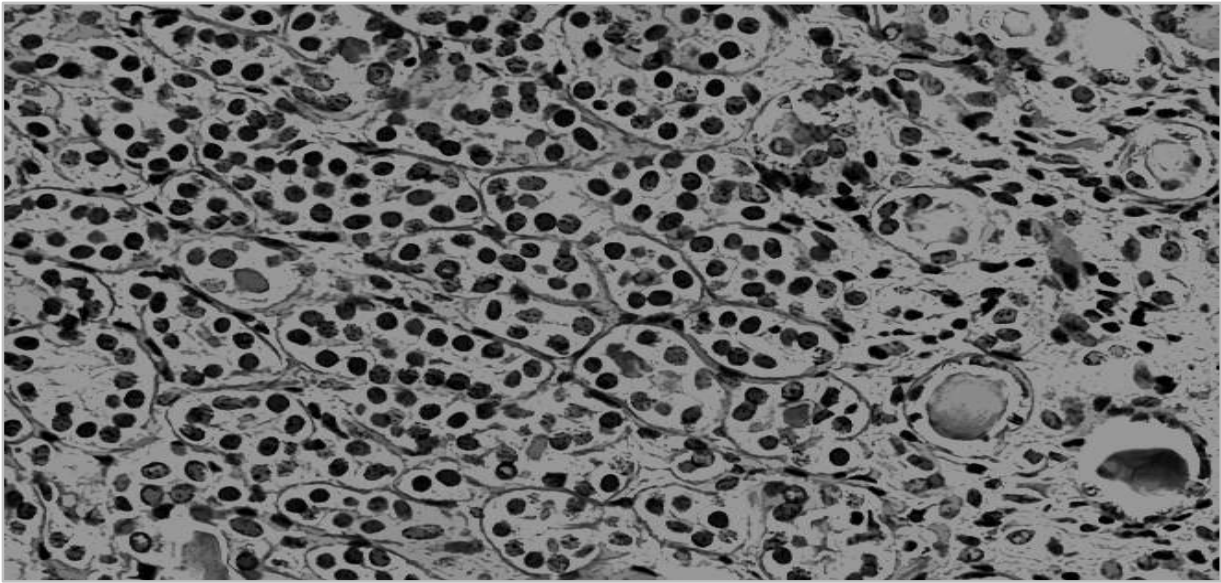
Εικόνα 19: Εικόνα grade 2 μετά την εφαρμογή φίλτρου Wiener.

Παρακάτω εφαρμόζεται η συνάρτηση `imhmax` που υπολογίζει τον μετασχηματισμό H-Maxima:

```
f=imhmax(e,0.4);
```



Εικόνα 20: Εικόνα grade 1 μετά την εφαρμογή της συνάρτησης imhmax.

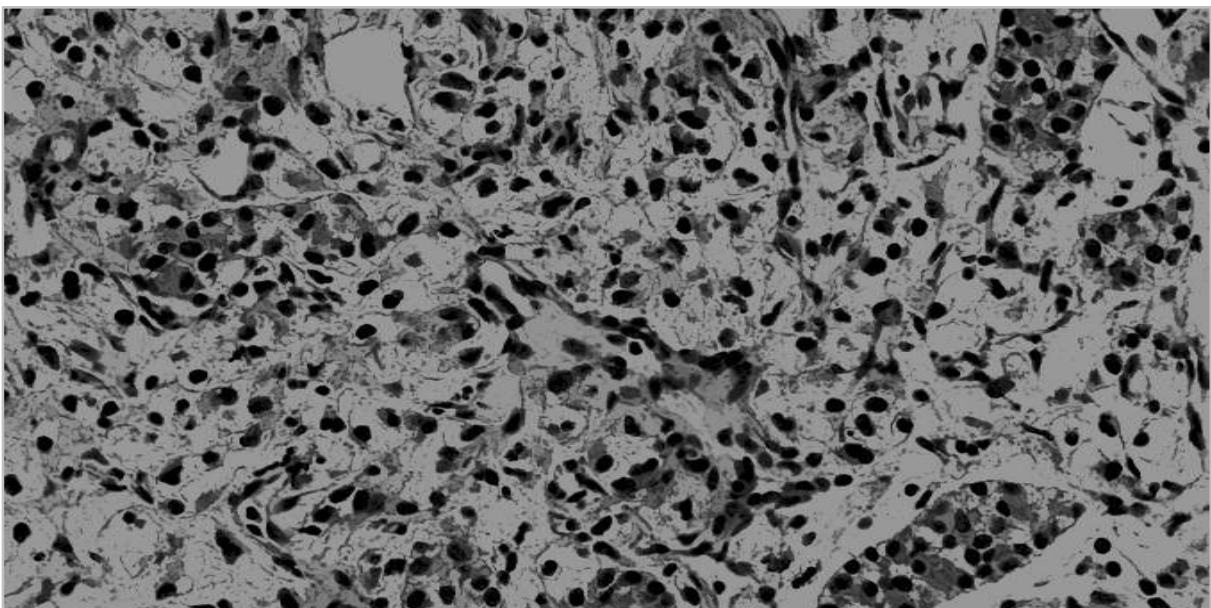


Εικόνα 21: Εικόνα grade 2 μετά την εφαρμογή της συνάρτησης imhmax.

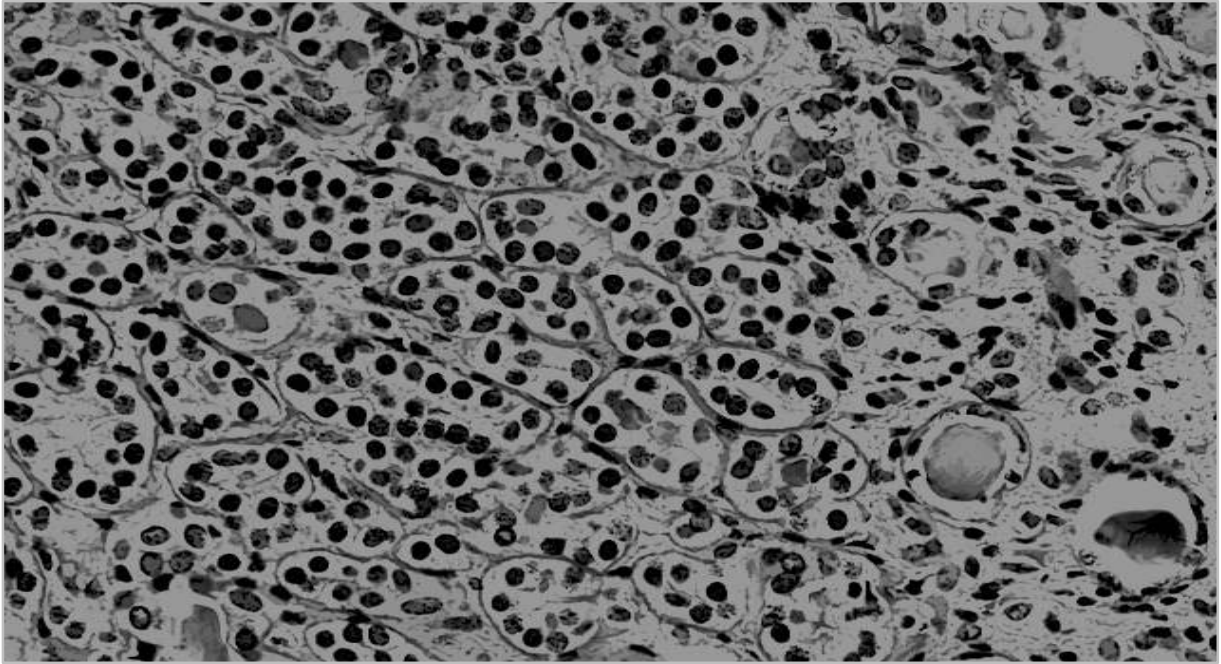
Η εικόνα που δημιουργείται μετά την χρήση της συνάρτησης imhmax πολλαπλασιάστηκε με την εικόνα που αντιπροσωπεύει την δυαδική:

%Δημιουργία binary mask

*Inew = binary.*f;*



Εικόνα 22: Εικόνα grade 1 μετά από πολλαπλασιασμό με την δυαδική μάσκα της αρχικής εικόνας.



Εικόνα 23: Εικόνα grade 2 μετά από πολλαπλασιασμό με την δυαδικής μάσκας της αρχικής εικόνας.

Για την εφαρμογή της μεθόδου Otsu χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω κώδικας:

% Η εικόνα μετατρέπεται σε δυαδική μορφή με την χρήση της μεθόδου Otsu και γίνεται εφαρμογή opening με δομικό στοιχείο δίσκο διαμέτρου 5.

```
a=imread('image.jpg');
```

```
T=graythresh(a);
```

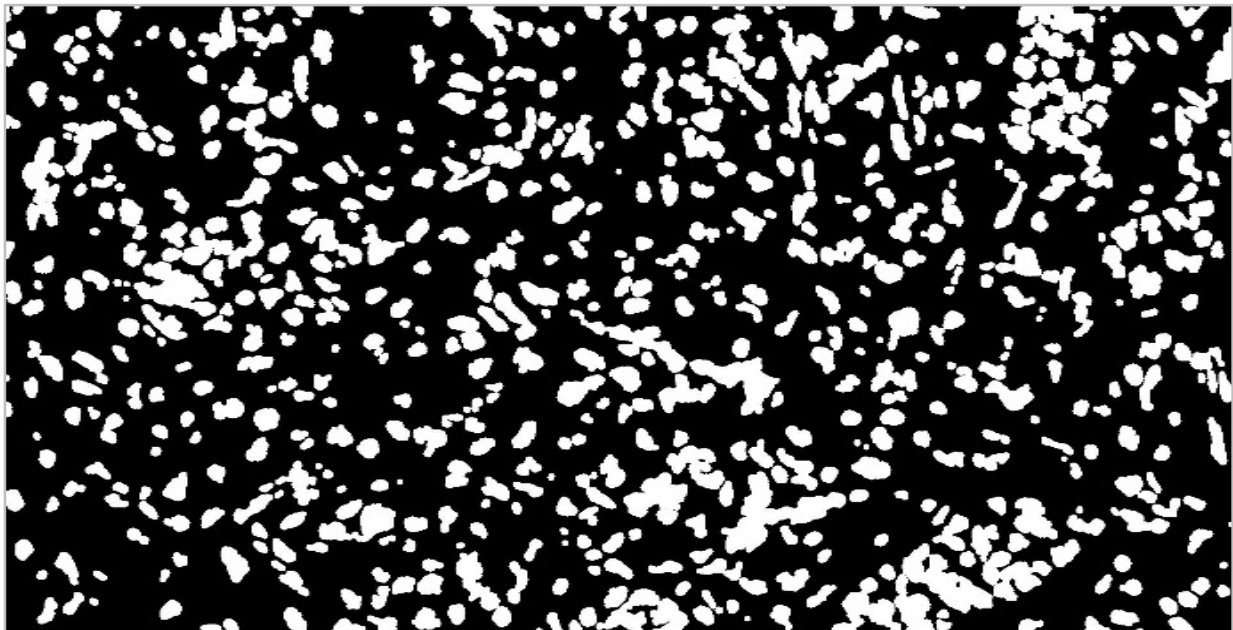
```
b=~im2bw(a,T);
```

```
se=strel('disk',5,0);
```

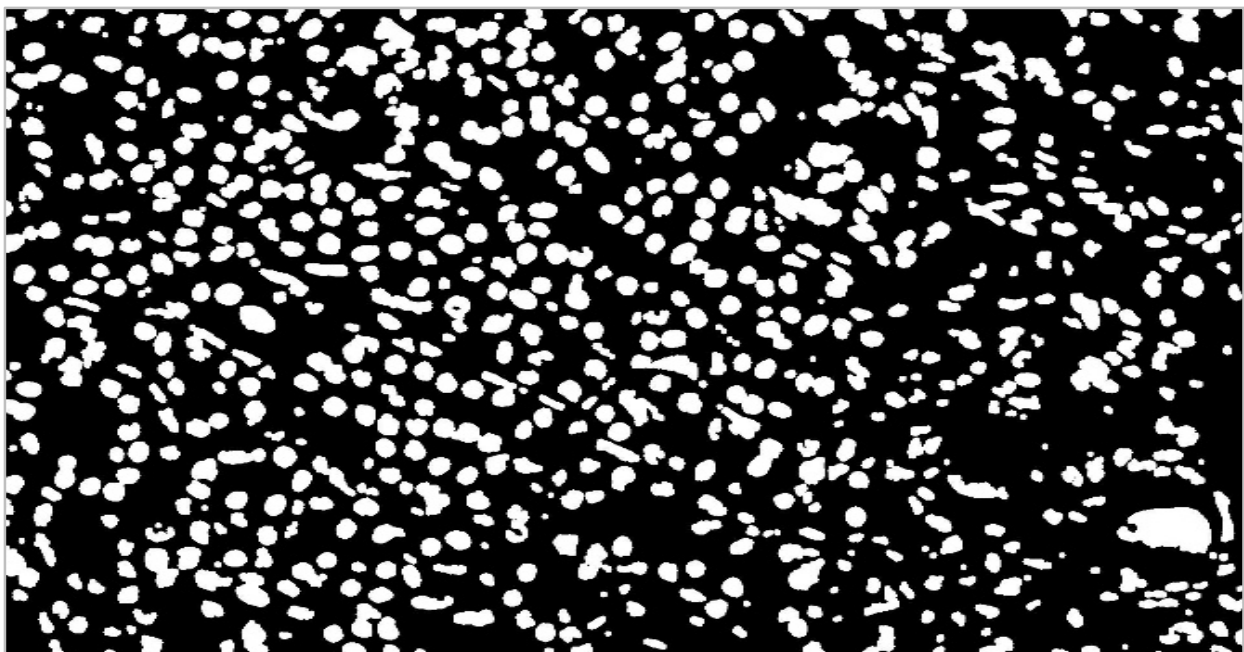
```
o=imopen(b,se);
```

% Η εντολή imwrite αποθηκεύει την επεξεργασμένη εικόνα

```
imwrite(o,"otsu.jpg","jpg");
```



Εικόνα 24: Εικόνα grade 1 μετά την εφαρμογή της μεθόδου Otsu και το opening.



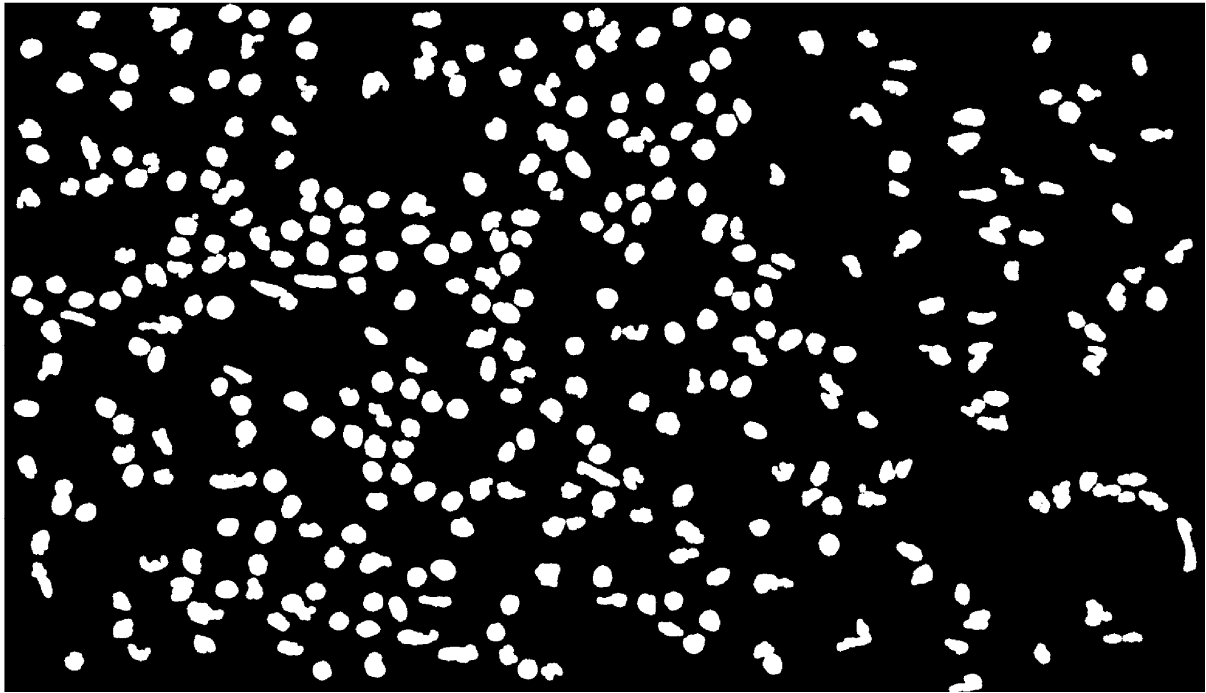
Εικόνα 25: Εικόνα grade 2 μετά την εφαρμογή της μεθόδου Otsu και το opening.

Για να κρατήσουμε μόνο τους πυρήνες των κυττάρων που μας ενδιαφέρουν κάνουμε εξαγωγή χαρακτηριστικών. Για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών των πυρήνων χρησιμοποιήθηκε η εντολή regionprops του MATLAB:

```
J=regionprops(I, 'Area','Eccentricity');  
  
% Εκκεντρότητα και επιφάνεια των αντικειμένων  
  
eccentricity_values = [J.Eccentricity]  
  
area_values=[J.Area]
```



Εικόνα 26: Εικόνα grade 1 μετά την εξαγωγή χαρακτηριστικών.

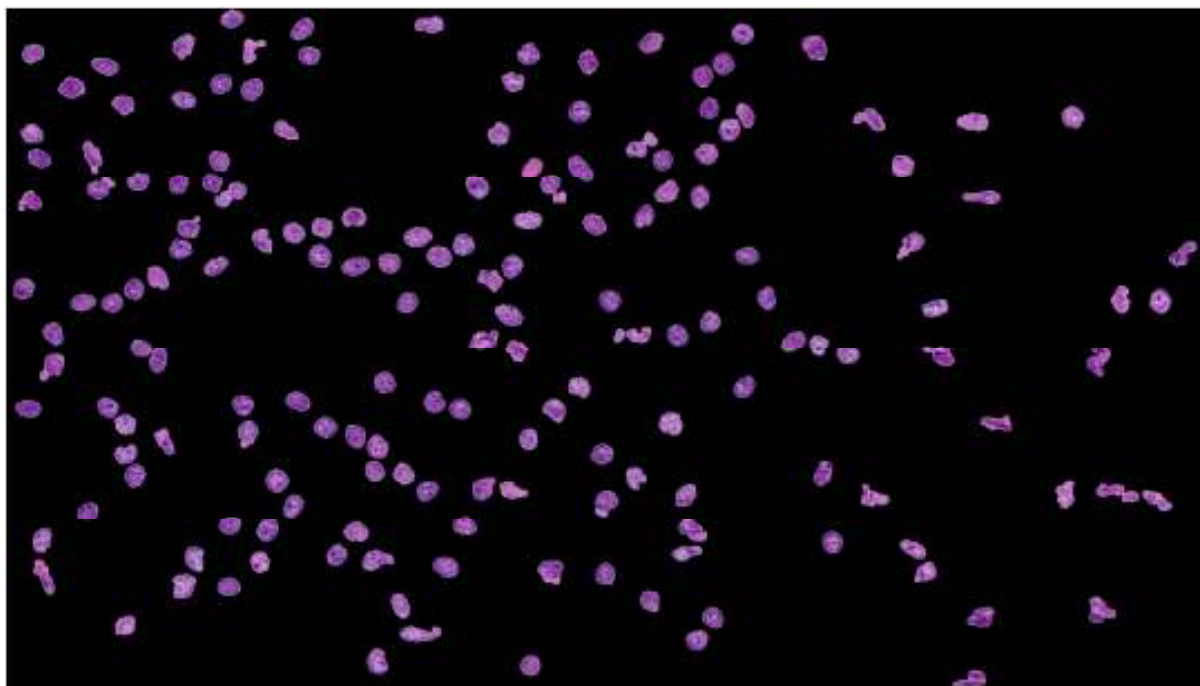


Εικόνα 27: Εικόνα grade 2 μετά την εξαγωγή χαρακτηριστικών.

Οι παρακάτω εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή και τη ταξινόμηση χαρακτηριστικών του δείγματος.



Εικόνα 28: Αρχική RGB εικόνα grade 1 που είναι πολλαπλασιασμένη με την δυαδική εικόνα αυτής που δημιουργήθηκε μετά την εξαγωγή χαρακτηριστικών.



Εικόνα 29: Αρχική RGB εικόνα grade 2 που είναι πολλαπλασιασμένη με την δυαδική εικόνα αυτής που δημιουργήθηκε μετά την εξαγωγή χαρακτηριστικών.

Ο πίνακας των αποτελεσμάτων μετά την ομαδοποίηση των δεδομένων όλου του δείγματος των βιοψιών νεφρού και για τα τρία στάδια καρκίνου φαίνεται παρακάτω:

Αύξον Αριθμός	Όνομα Εικόνας	Fuhrman (grade 1, grade 2, grade 3)	Accuracy (Ακρίβεια)	Sensitively (Ευαισθησία)	Specificity (Εξειδίκευση)
1	95-19-1C-1	Grade 1	0.76	0.81	0.77
2	95-19-1C-2	Grade 1	0.83	0.75	0.80
3	95-19-1C-3	Grade 1	0.82	0.75	0.84
4	95-19-1C-4	Grade 1	0.82	0.83	0.78
5	95-19-2C-1	Grade 1	0.77	0.79	0.79
6	95-19-2C-2	Grade 1	0.80	0.84	0.75
7	95-19-2C-3	Grade 1	0.79	0.75	0.76
8	95-19-B1-1	Grade 1	0.84	0.83	0.81
9	95-19-B1-2	Grade 1	0.76	0.77	0.77
10	95-19-B1-3	Grade 1	0.82	0.83	0.82
11	95-19-B15-1	Grade 1	0.78	0.77	0.84
12	95-19-B15-2	Grade 1	0.85	0.79	0.84
13	95-19-B15-3	Grade 1	0.85	0.78	0.85
14	1433-19-1B-1	Grade 1	0.77	0.84	0.82
15	1433-19-1B-2	Grade 1	0.83	0.76	0.78
16	1433-19-1B-3	Grade 1	0.83	0.82	0.77
17	1433-19-2B-1	Grade 1	0.78	0.81	0.75
18	1433-19-2B-2	Grade 1	0.82	0.77	0.75

19	1433-19-2B-3	Grade 1	0.81	0.78	0.79
20	2748-19-1-1	Grade 1	0.79	0.83	0.80
21	2748-19-1-2	Grade 1	0.77	0.76	0.76
22	2748-19-1-3	Grade 1	0.80	0.76	0.79
23	4038-19-2B-1	Grade 1	0.76	0.81	0.78
24	4038-19-2B-2	Grade 1	0.78	0.77	0.76
25	4038-19-2B-3	Grade 1	0.77	0.79	0.76
26	4038-19-2B-4	Grade 1	0.75	0.77	0.77
27	4038-19-2C-1	Grade 1	0.81	0.80	0.76
28	4038-19-2C-2	Grade 1	0.76	0.78	0.75
29	4038-19-2C-3	Grade 1	0.80	0.76	0.83
30	5491-19-1A-1	Grade 1	0.79	0.83	0.81
31	5491-19-1A-2	Grade 1	0.83	0.84	0.77
32	5491-19-1A-3	Grade 1	0.77	0.78	0.77
33	5491-19-1A-4	Grade 1	0.78	0.83	0.78
34	5491-19-2B-1	Grade 1	0.83	0.75	0.85
35	5491-19-2B-2	Grade 1	0.85	0.82	0.76
36	53-19-D-1	Grade 2	0.80	0.77	0.79
37	53-19-D-2	Grade 2	0.76	0.79	0.77
38	53-19-Z-1	Grade 2	0.77	0.76	0.82
39	53-19-Z-2	Grade 2	0.79	0.80	0.81
40	956-19-1S-1	Grade 2	0.82	0.79	0.75
41	956-19-2N-1	Grade 2	0.85	0.85	0.76
42	956-19-2N-2	Grade 2	0.79	0.78	0.76
43	956-19-2TH-1	Grade 2	0.79	0.76	0.78
44	956-19-2TH-2	Grade 2	0.76	0.83	0.84
45	979-19-1X-1	Grade 2	0.81	0.75	0.78
46	979-19-1X-2	Grade 2	0.77	0.76	0.83
47	979-19-2L-1	Grade 2	0.75	0.81	0.77
48	979-19-2L-2	Grade 2	0.82	0.76	0.82
49	979-19-2TH-1	Grade 2	0.84	0.79	0.79
50	979-19-2TH-2	Grade 2	0.77	0.84	0.84
51	1330-19-M-1	Grade 2	0.78	0.85	0.76
52	1330-19-M-2	Grade 2	0.83	0.77	0.78
53	1330-19-M-3	Grade 2	0.77	0.80	0.85
54	1330-19-N-1	Grade 2	0.85	0.80	0.84
55	1330-19-N-2	Grade 2	0.76	0.76	0.78
56	1330-19-N-3	Grade 2	0.84	0.78	0.83
57	1686-19-2B-1	Grade 2	0.76	0.84	0.79
58	1686-19-2B-2	Grade 2	0.79	0.76	0.76
59	3334-19-1P-1	Grade 2	0.78	0.82	0.77
60	3334-19-1P-2	Grade 2	0.80	0.79	0.79
61	3977-19-1TH-1	Grade 2	0.83	0.82	0.84
62	3977-19-1TH-2	Grade 2	0.78	0.83	0.83
63	3977-19-1Y-1	Grade 2	0.84	0.76	0.79
64	3977-19-1Y-2	Grade 2	0.76	0.81	0.83

65	3977-19-2K-1	Grade 2	0.83	0.77	0.78
66	3977-19-2K-2	Grade 2	0.76	0.80	0.76
67	4678-19-D-1	Grade 2	0.79	0.79	0.79
68	4678-19-D-2	Grade 2	0.83	0.80	0.82
69	4678-19-L-1	Grade 2	0.75	0.78	0.83
70	4678-19-L-2	Grade 2	0.81	0.79	0.78
71	2367-19-H-1	Grade 3	0.77	0.82	0.83
72	2367-19-H-2	Grade 3	0.79	0.76	0.75
73	2367-19-H-3	Grade 3	0.84	0.83	0.81
74	2367-19-H-4	Grade 3	0.85	0.79	0.77
75	2367-19-H-5	Grade 3	0.78	0.82	0.79
76	2367-19-H-6	Grade 3	0.80	0.76	0.85
77	2367-19-H-7	Grade 3	0.80	0.81	0.78
78	2367-19-H-8	Grade 3	0.76	0.80	0.84
79	2367-19-H-9	Grade 3	0.76	0.79	0.82
80	2367-19-H-10	Grade 3	0.83	0.75	0.76
81	2367-19-H-11	Grade 3	0.84	0.80	0.83
82	2367-19-H-12	Grade 3	0.83	0.84	0.82
83	2367-19-I-1	Grade 3	0.82	0.77	0.81
84	2367-19-I-2	Grade 3	0.79	0.80	0.77
85	2367-19-I-3	Grade 3	0.81	0.84	0.77
86	2367-19-I-4	Grade 3	0.75	0.83	0.79
87	2367-19-I-5	Grade 3	0.77	0.81	0.84
88	2367-19-I-6	Grade 3	0.75	0.77	0.76
89	2367-19-I-7	Grade 3	0.76	0.85	0.80
90	2367-19-I-8	Grade 3	0.84	0.83	0.83
91	2367-19-I-9	Grade 3	0.79	0.79	0.76
92	2367-19-I-10	Grade 3	0.80	0.84	0.83
93	2367-19-I-11	Grade 3	0.84	0.76	0.76
94	2367-19-I-12	Grade 3	0.85	0.82	0.82
95	2367-19-TH-1	Grade 3	0.80	0.76	0.81
96	2367-19-TH-2	Grade 3	0.84	0.76	0.84
97	2367-19-TH-3	Grade 3	0.80	0.80	0.79
98	2367-19-TH-4	Grade 3	0.76	0.83	0.75
99	2367-19-TH-5	Grade 3	0.81	0.79	0.81
100	2367-19-TH-6	Grade 3	0.75	0.85	0.80
101	2367-19-TH-7	Grade 3	0.84	0.76	0.84
102	2367-19-TH-8	Grade 3	0.80	0.84	0.75
103	2367-19-TH-9	Grade 3	0.85	0.79	0.85

104	2367-19-ΤΗ-10	Grade 3	0.79	0.76	0.79
105	2367-19-ΤΗ-11	Grade 3	0.83	0.81	0.82

Πίνακας 2: Αποτελέσματα πειραματικής διαδικασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία στόχευε στην επεξεργασία, τον εντοπισμό και την απομόνωση των καρκινικών πυρήνων από βιοψίες νεφρού με την βοήθεια αλγορίθμων. Το κυριότερο σημείο της επεξεργασίας των βιοψιών νεφρού ήταν η κατάτμηση που συντέλεσε στην συλλογή σημαντικής πληροφορίας για την εικόνα. Κάποιες από αυτές τις σημαντικές πληροφορίες που μας δόθηκαν σχετικά με τους πυρήνες των καρκινικών κυττάρων ήταν το σχήμα τους (πόσο στρογγυλό, ωοειδές ή πολυλοβοτικήταν) αλλά και το μέγεθος τους (δηλαδή το εμβαδόν του κάθε πυρήνα). Αν και η προεπεξεργασία της εικόνας δείχνει να είναι το πιο απλό στάδιο, παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην κατάτμηση της εικόνας. Ο λόγος ο οποίος η επεξεργασία είναι σημαντική στην κατάτμηση της εικόνας είναι ότι μια κακή επεξεργασία εικόνας θα οδηγήσει σε μια αποτυχημένη κατάτμηση της εικόνας. Αφού ολοκληρώθηκε η προεπεξεργασία των δειγμάτων ακολούθησε η διαδικασία κατάτμησης τους που αποτέλεσαι ίσως ένα από τα πιο δύσκολα σημεία της εργασίας. Τέλος μετά από την εφαρμογή της επιθυμητής κατάτμησης πραγματοποιήθηκε η διαδικασία εξαγωγής χαρακτηριστικών των καρκινικών πυρήνων σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που αναφέραμε παραπάνω (σχήμα, μέγεθος). Η εξαγωγή των χαρακτηριστικών αυτών των πυρήνων είναι δυνατόν στο μέλλον να μελετηθούν σε μεγαλύτερο βαθμό μαζί με άλλα χαρακτηριστικά για να μπορούν να βγαίνουν αποτελέσματα σχετικά με το πόσο κακοηθείς μπορεί να είναι οι πυρήνες αυτοί.

Αναφορές – Πηγές

[1]<https://repo.lib.duth.gr/jspui/handle/123456789/11998?fbclid=IwAR2139DRSn1PzldXNJQwBfAG6kbuFIhI6JEtbTa0w64j3taI08bGhn3c9yA>

[2]

<https://nemertes.library.upatras.gr/jspui/handle/10889/2951?fbclid=IwAR0uixH7l8qjDPVrIfnKII2WoTLB4kTE7MrZQSZmPZINvJaGJgfn2Fjpl0o>

[3]https://www.ene.gr/eneojs_new/index.php/en/article/viewFile/130/130

[4]

<https://patients.uroweb.org/gr/%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%B9%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CE%BD-%CE%BA%CE%B1%CF%81%CE%BA%CE%AF%CE%BD%CE%BF/?fbclid=IwAR2139DRSn1PzldXNJQwBfAG6kbuFIhI6JEtbTa0w64j3taI08bGhn3c9yA>

[5]

https://nutricia-medical.gr/ti-einai-o-karkinos/?fbclid=IwAR1-cO_hZ4PIJtccCB9UU3bZQTgYicSqB2dW143yWkb6RnrHt3PT8fw6w0c

[6]

<https://www.ispatras.gr/%CE%B9%CE%B1%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%85%CE%B3%CE%B5%CE%AF%CE%B1/%CE%B9%CE%B1%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1%CF%84%CE%B9-%CE%B5%CE%B9%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CE%B7-%CE%BD%CE%B5%CF%86%CF%81%CE%BF%CF%80%CE%B1%CE%B8%CE%B5%CE%B9%CE%B1/>

[7]

http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/3363/cse_39276.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[8] <http://digilib.teiemt.gr/jspui/bitstream/123456789/5245/1/STEF1262004.pdf>

[9] Νικόλαος Παπαμάρκος, “Ψηφιακή Επεξεργασία & Ανάλυση Εικόνας”

[10] <http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/16895/1/DT2014-0131.pdf>

[11] Gonzalez R. C., Woods R. E., Eddins S. L.(2004), Digital Image Processing Using MATLAB, Prentice Hall, Upper Sandle River, NJ

[12] Κωνσταντίνα Νικήτα, “Στοιχεία επεξεργασίας ιατρικών εικόνων”, Σημειώσεις μαθήματος «Ιατρική Απεικόνιση και Ψηφιακή Επεξεργασία Ιατρικής Εικόνας, ΕΜΠ»

[13]

<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/51122/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%20%20%CE%9F%CF%81%CF%86%CE%AD%CE%B1%CF%82%20%CE%A3%CE%BA%CE%AD%CE%BD%CF%84%CE%B6%CE%BF%CF%82.pdf?sequence=1>

[14]

http://oceanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4554/auto_28784.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[15]

<https://apothesis.lib.hmu.gr/bitstream/handle/20.500.12688/3384/Skaraki2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[16] http://strouthopoulos.teicm.gr/images/docs/digital_image_processing.pdf

[17]

<https://apothesis.lib.hmu.gr/bitstream/handle/20.500.12688/3089/Xylourgos2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- [18] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins (2009), “Digital Image Processing Using Matlab, Second Edition”, Gatesmark Publishing.
- [19] Scott E. Umbaugh(2018), “Digital Image Processing and Analysis Applications with MATLAB® and CVPITools, Third Edition”, CRC Press Taylor & Francis Group.
- [20] Song Yuheng, Yan Hao (2017), “Image Segmentation Algorithms Overview”, 2017 Asia Modelling Symposium (AMS).
- [21] Otsu Nobuyuki (1979), “A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms”, IEEE Transactions for Systems, Man and Cybernetics, vol. SMC-9, No 1, January, pp. 62-66
- [22]
https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/2660/%ce%9daseb_71444993.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [23] Κόλλιας Σ. Δ. (2001) Επεξεργασία, ανάλυση και τεχνολογία εικόνων Βίντεο, Αθήνα: Σημειώσεις ΕΜΠ.
- [24] Νικήτα Κ. Στοιχεία επεξεργασίας ιατρικών εικόνων, Αθήνα: Σημειώσεις
- [25] <https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/49819/18651.pdf?sequence=1>

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: <https://slideplayer.gr/slide/11642357/>

Εικόνα 2:

<https://patients.uroweb.org/gr/%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%B9%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CE%BD-%CE%BA%CE%B1%CF%81%CE%BA%CE%AF%CE%BD%CE%BF/?fbclid=IwAR2139DRSn1PzldXNJQwBfAG6kbuFlhI6JEtbTa0w64j3taI08bGhn3c9yA>

Εικόνα 3: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/im2bw.html>

Εικόνα 4:

<https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/rgb2gray.html>

Εικόνα 5: https://zodoc.tech/posts/en/split_and_colorize_channels_of_color_image

Εικόνα 6: Εικόνες πριν και μετά απο την εφαρμογή συνάρτησης imadjust.

Εικόνα 7: Αποτελέσματα εικόνων μετά από εφαρμογή φίλτρων.

Εικόνα 8: <https://www.mathworks.com/help/images/noise-removal.html>

Εικόνα 9:

https://www.why.gr/%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1/ekpaideytika-proionta/%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1/%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CF%83%CE%BA%CF%8C%CF%80%CE%B9%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%B5%CE%BF%CF%83%CE%BA%CF%8C%CF%80%CE%B9%CE%B1-%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1/%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CF%83%CE%BA%CF%8C%CF%80%CE%B9%CE%B1-%CE%B4%CE%B9%CE%BF%CF%86%CE%B8%CE%AC%CE%BB%CE%BC%CE%B9%CE%B1/%CE%B4%CE%B9%CE%BF%CF%86%CE%B8%CE%AC%CE%BB%CE%BC%CE%B9%CE%BF-%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CF%83%CE%BA%CF%8C%CF%80%CE%B9%CE%B1600x/?utm_source=Google%20Shopping&utm_campaign=google%20feed&utm_medium=cpc&utm_term=63822&gclid=Cj0KQCQjw1bqZBhDXARIsANTjCPImo4tR-r4jqKgjx4nL05nPNd6qCWCR1cp485kyA6Rf-V-VMPZD7E8aAhykEALw_wcB

Εικόνα 10:Εικόνα RGB βιοψίας νεφρού grade 1.

Εικόνα 11:Εικόνα RGB βιοψίας νεφρού grade 2.

Εικόνα 12:Εικόνα grayscale βιοψίας νεφρού grade 1.

Εικόνα 13:Εικόνα grayscale βιοψίας νεφρού grade 2.

Εικόνα 14:Εικόνα grade 1 μετά την εφαρμογή φίλτρου gauss.

Εικόνα 15: Εικόνα grade 2 μετά την εφαρμογή φίλτρου gauss.

Εικόνα 16:Εικόνα grade 1 μετά την εφαρμογή ιστογράμματος

Εικόνα 17:Εικόνα grade 2 μετά την εφαρμογή ιστογράμματος.

Εικόνα 18:Εικόνα grade 1 μετά την εφαρμογή φίλτρου Wiener.

Εικόνα 19:Εικόνα grade 2 μετά την εφαρμογή φίλτρου Wiener.

Εικόνα 20:Εικόνα grade 1 μετά την εφαρμογή της συνάρτησης imhmax.

Εικόνα 21: Εικόνα grade 2 μετά την εφαρμογή της συνάρτησης imhmax.

Εικόνα 22:Εικόνα grade 1 μετά από πολλαπλασιασμό με την δυαδικής μάσκας της αρχικής εικόνας.

Εικόνα 23:Εικόνα grade 2 μετά από πολλαπλασιασμό με την δυαδικής μάσκας της αρχικής εικόνας.

Εικόνα 24:Εικόνα grade 1 μετά την εφαρμογή της μεθόδου Otsu και το opening.

Εικόνα 25:Εικόνα grade 2 μετά την εφαρμογή της μεθόδου Otsu και το opening.

Εικόνα 26: Εικόνα grade 1 μετά την εξαγωγή χαρακτηριστικών.

Εικόνα 27: Εικόνα grade 2 μετά την εξαγωγή χαρακτηριστικών.

Εικόνα 28:Αρχική RGB εικόνα grade 1 που είναι πολλαπλασιασμένη με την δυαδική εικόνα αυτής που δημιουργήθηκε μετά την εξαγωγή χαρακτηριστικών.

Εικόνα 29:Αρχική RGB εικόνα grade 2 που είναι πολλαπλασιασμένη με την δυαδική εικόνα αυτής που δημιουργήθηκε μετά την εξαγωγή χαρακτηριστικών.