

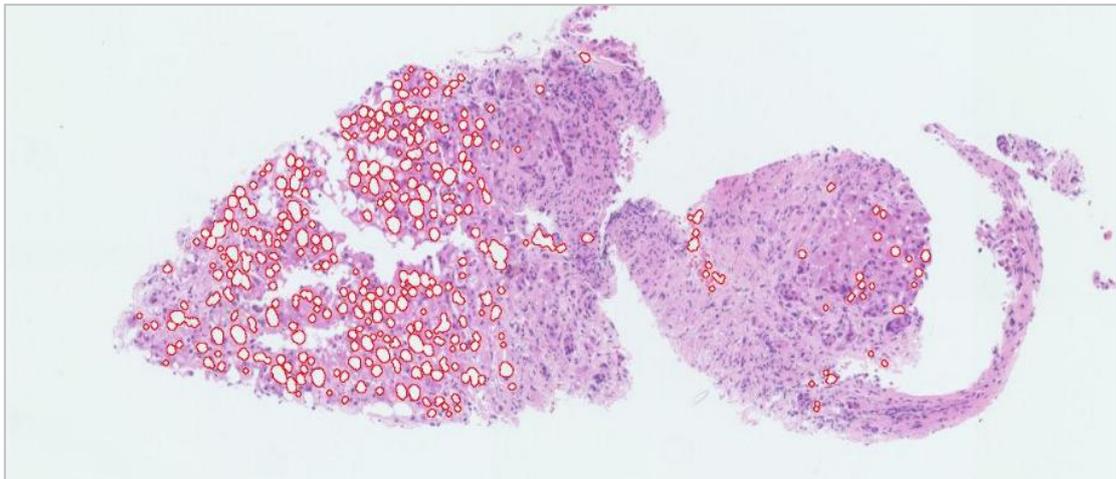
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΗΠΕΙΡΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ  
ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επεξεργασία ιατρικών εικόνων βιοψίας ήπατος με χρήση  
τεχνικών μηχανικής μάθησης**



**Μερόπη Παπαζώη - Α.Μ. 8336**

Επιβλέπων καθηγητής

Αλέξανδρος Τζάλλας



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΗΠΕΙΡΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ  
ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επεξεργασία ιατρικών εικόνων βιοψίας ήπατος με χρήση  
τεχνικών μηχανικής μάθησης**

**Μερόπη Παπαζώη - Α.Μ. 8336**

Επιβλέπων καθηγητής

Αλέξανδρος Τζάλλας

- Άρτα 2016 -



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θεωρώ χρέος μου πριν ξεκινήσει η παρουσίαση και η ανάπτυξη του θέματος της πτυχιακής μου εργασίας να ευχαριστήσω ορισμένα άτομα που με βοήθησαν και συνέβαλαν σημαντικά σε αυτή.

Πρωτίστως οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τους επιβλέποντες καθηγητές μου, τον Αλέξανδρο Τζάλλα και τον Νικόλαο Γιαννακέα τόσο για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, όσο και για την καθοδήγησή τους καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την ηθική στήριξη που μου προσέφερε κυρίως κατά τη συγγραφή της εργασίας και ιδιαίτερα την αδερφή μου, Έλλη Παπαζώη, για τις φιλολογικές της παρατηρήσεις στο κείμενο.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία επιχειρήθηκε η αναπαραγωγή μιας καινοτόμου μεθόδου επεξεργασίας εικόνων, για την ποσοτικοποίηση του λίπους σε μικροσκοπικές εικόνες βιοψιών ήπατος. Η νέα μέθοδος αυτή παρουσιάστηκε από τους συντελεστές της σε συνέδριο Βιοιατρικής Τεχνολογίας το 2016 και ως εκ τούτου αποτελεί πολύ πρόσφατο αποτέλεσμα επιστημονικής έρευνας. Η μέθοδος αποτελείται από δύο στάδια. Κατά το πρώτο στάδιο λαμβάνουν χώρα 5 βήματα προεπεξεργασίας και βελτίωσης της εικόνας. Στο δεύτερο στάδιο οι περιοχές, οι οποίες έχουν εντοπιστεί υπόκεινται σε μια επαναληπτική διαδικασία με σκοπό την εκπλήρωση κριτηρίων εκκεντρότητας και κυκλικότητας. Η μέθοδος εφαρμόστηκε σε 20 πραγματικές εικόνες βιοψιών στις οποίες μετρήθηκε το λίπος που περιέχει ο ιστός. Στις εικόνες αυτές μετρήθηκε το λίπος από 1.1% έως και 29.2% επί το κανονικού ιστού.

## **ABSTRACT**

This study presents the implementation of an already developed method for the quantification of fat in liver biopsy images. The innovative method have been presented this year by its authors, in International biomedical engineering Conferences. According to the flow of the method, there are two processing stages. In the first stage several preprocessing steps are employed to enhance the image. Next, during the second stage an iterative procedure is applied, using different criteria for eccentricity and roundness in each of the detected fat area. The method is applied in 20 real liver biopsy images, where the percentage of fat in liver is extracted. Fat percentage in the current set of images varies from 1.1% to 29.2%.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
---------------	----

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΙΑΤΡΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1.1 Τι είναι το ήπαρ .....	11
1.2 Προβλήματα ήπατος .....	13
1.3 Διάγνωση λιπώδους ήπατος .....	17

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

2. Εισαγωγή .....	20
2.1 Βελτίωση εικόνων .....	21
2.2 Κατάτμηση .....	22
2.2.1 Κατωφλίωση ιστογράμματος .....	23
2.2.2 Εντοπισμός ακμών.....	26
2.2.3 Μορφολογικοί τελεστές .....	30
2.2.4 Επαναληπτικές μέθοδοι ανάπτυξης περιοχών .....	32
2.2.5 Μέθοδοι ομαδοποίησης .....	35
2.3 Αξιολόγηση εικόνων .....	39

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### **ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΒΙΟΨΙΩΝ ΗΠΑΤΟΣ**

.....40

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### **Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

4.1 Εισαγωγή .....48

4.2 Εντοπισμός των λευκών περιοχών μέσα στον ιστό .....50

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

5.1 Σύνολο εικόνων .....53

5.2 Αποτελέσματα εικόνων .....54

5.3 Ποσοτικά αποτελέσματα .....65

5.4 Πίνακας αποτελεσμάτων .....66

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

.....67

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ** .....69

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τη ραγδαία εξέλιξη του κλάδου της Τεχνολογίας έρχονται στο φως πολλά νέα επιτεύγματα, τα οποία διευκολύνουν την καθημερινότητά μας σε διάφορους τομείς. Σε έναν από τους σημαντικότερους τομείς ανήκει η Ιατρική, επιστήμη που προσπαθεί να αναπτύξει νέα μέσα τεχνολογιών, προκειμένου να βελτιώσει την υγεία του ανθρώπου.

Η επεξεργασία των ιατρικών εικόνων αποτελεί ένα θέμα, το οποίο προκαλεί όλο και περισσότερο το ερευνητικό ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας. Αυτό το γεγονός επιβεβαιώνεται από τον συνεχή εμπλουτισμό του δημοσιευμένου υλικού που αφορά το συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο. Γι' αυτό το λόγο, θα επιχειρήσουμε και εμείς με την εκπόνηση της παρούσας εργασίας να ασχοληθούμε με την ανάπτυξη αυτού του θέματος. Σκοπός μας είναι να παρουσιάσουμε τις μεθόδους επεξεργασίας εικόνων, κυρίως σε αυτές που προέρχονται από βιοψία ήπατος, χρησιμοποιώντας μία νέα μεθοδολογία για την ποσοτικοποίηση του ηπατικού λίπους. Με αυτή τη μέθοδο οι γιατροί είναι σε θέση να κάνουν διάγνωση και θεραπεία ηπατικών ασθενειών.

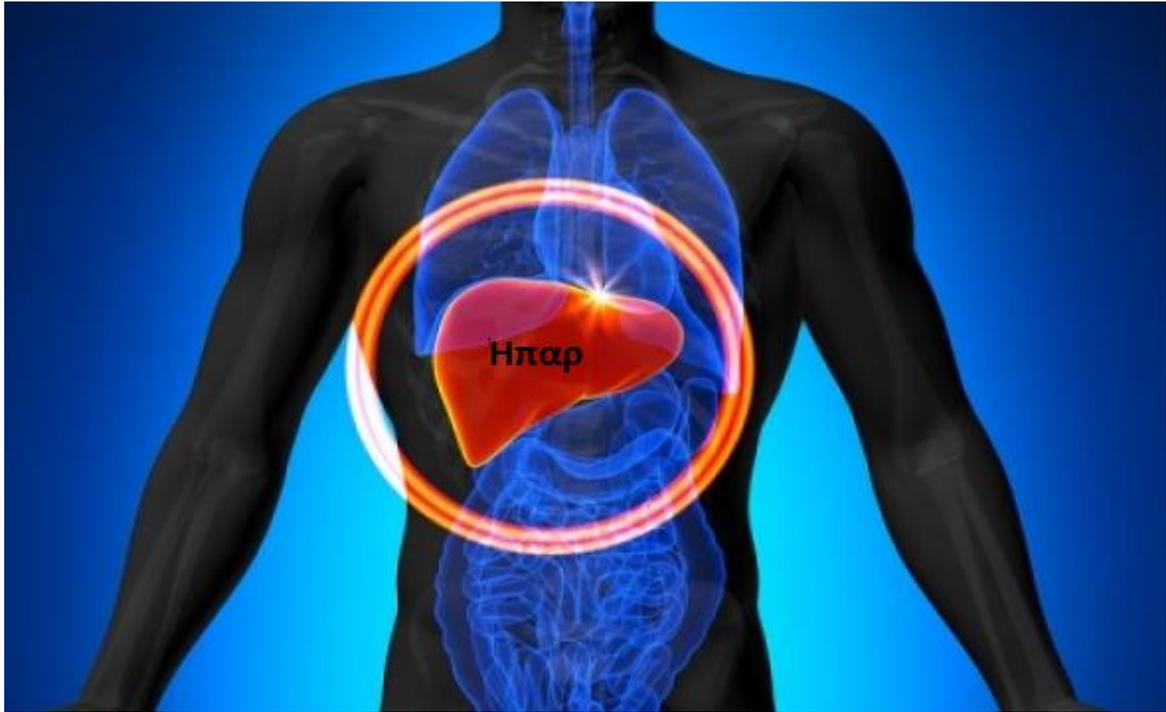
Το πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αναφέρεται στα προβλήματα που μπορεί να εμφανίσει η δυσλειτουργία του ήπατος, καθώς και στις εξετάσεις που είναι απαραίτητες προκειμένου να γίνει διάγνωση του λίπους. Στο δεύτερο και μεγαλύτερο σε έκταση κεφάλαιο προτείνουμε και αναλύουμε συγκεκριμένες τεχνικές για την επεξεργασία των εικόνων. Στη συνέχεια (κεφάλαιο 3) εντοπίσαμε και καταγράψαμε τις σημαντικότερες επιστημονικές μεθόδους, με τις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί η ανασκόπηση επεξεργασίας των βιοψιών ήπατος. Στο επόμενο κεφάλαιο (κεφάλαιο 4) εξηγούμε τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήσαμε, ούτως ώστε να μπορεί να γίνει σαφής ο διαχωρισμός του λίπους μέσα στον ιστό. Έπειτα, στο κεφάλαιο 5 εκθέτουμε τα αποτελέσματα των ερευνών μας μέσα από εικόνες και πίνακες. Στο τελευταίο κεφάλαιο (κεφάλαιο 6) συνοψίζουμε τα συμπεράσματα από τη μελέτη που πραγματοποιήσαμε.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΙΑΤΡΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

### 1.1 Τι είναι το ήπαρ

Το ήπαρ (συκώτι) είναι ο μεγαλύτερος αδένας του ανθρώπινου σώματος και βρίσκεται στο πάνω τμήμα της κοιλιακής κοιλότητας, κάτω από το διάφραγμα, καταλαμβάνοντας το δεξιό υποχόνδριο (Εικ. 1.1). Πρόκειται για ένα αγγειοβριθές όργανο, το οποίο δέχεται 1500 ml αίματος/ min. Το βάρος του ζυγίζει από 1200 έως 1400 γραμμάρια στις γυναίκες, ενώ στους άνδρες κυμαίνεται μεταξύ 1400 με 1800 γραμμάρια. Το μήκος του είναι περίπου 12,7 εκατοστά και η διάμετρος του διαγωνίως περίπου 17,78 εκατοστά. Αποτελείται από τέσσερις λοβούς, οι οποίοι εκτελούν τις ίδιες λειτουργίες. Ο προστατευτικός ινο-ελαστικός μανδύας που εσωκλείει ολόκληρο το ήπαρ ονομάζεται «κάψουλα του Glisson» και περιέχει νευρικές απολήξεις, οι οποίες πιέζονται όταν το ήπαρ διογκώνεται. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται συχνά πόνος, παρ' ότι το συκώτι δεν περιέχει νεύρα.



*Εικόνα 1.1: Απεικόνιση του ήπατος*

### **Λειτουργίες του ήπατος**

Το ήπαρ είναι το βιοχημικό εργαστήριο του οργανισμού, δηλαδή λειτουργεί ως μονάδα επεξεργασίας, φίλτρο καθαρισμού, μπαταρία αποθήκευσης ενέργειας και αποθήκη των πιο σημαντικών για το σώμα βιοχημικών ουσιών.

Οι βασικές λειτουργίες του ήπατος είναι οι εξής:

- μετατροπή της τροφής σε ενέργεια, με την οποία ανανεώνονται τα κύτταρα και οι ιστοί στο σώμα
- αποθήκευση βιταμινών, λίπους, σακχάρων και μετάλλων, προκειμένου να προμηθεύσει αυτές τις ουσίες στο σώμα (όταν είναι απαραίτητες για τον οργανισμό)
- αποτοξίνωση από όλες τις δηλητηριώδεις χημικές ουσίες που εισάγονται στον οργανισμό, π.χ. αλκοόλ, φάρμακα, ρύποι
- παραγωγή του πεπτικού υγρού της χολής με την οποία διασπώνται τα λίπη, προκειμένου να μπορέσουν να απορροφηθούν από το σώμα.

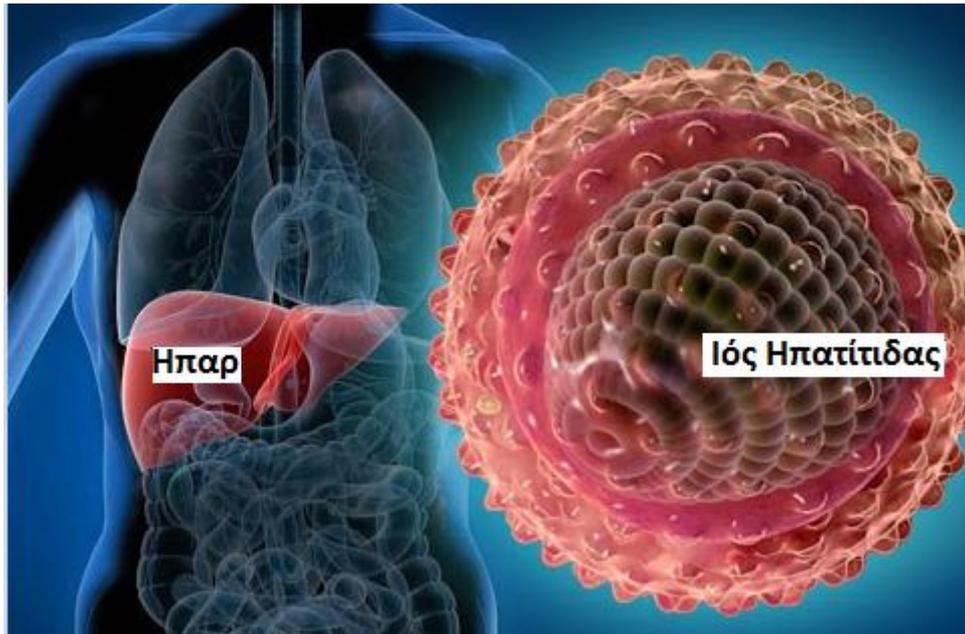
Η σωστή λειτουργία του ήπατος διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο, καθώς επηρεάζει και άλλους ζωτικούς μηχανισμούς του σώματος. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν το ανοσοποιητικό και πεπτικό σύστημα, τα νεφρά, ο εγκέφαλος και το καρδιαγγειακό σύστημα. Επομένως ένα μη υγιές συκώτι μπορεί να προκαλέσει ασθένεια σε όλα τα όργανα του σώματος.

## **1.2 Προβλήματα ήπατος: Ηπατίτιδες**

Ως ηπατίτιδα ορίζεται μία φλεγμονή (ασθένεια) του ήπατος, η οποία είναι ιδιαίτερα απειλητική για τον οργανισμό (Εικ. 1.2). Η συνηθέστερη αιτία ανάπτυξής της είναι κάποιος ιός. Τα περισσότερα κρούσματα ηπατίτιδας οφείλονται στους ιούς A, B, C, D και E, κυρίως όμως στους τρεις πρώτους.

Λοίμωξη στο συκώτι μπορεί να προκαλέσουν και άλλοι ιοί, όπως ο ιός της λοιμώδους μονοπυρήνωσης και ο μεγαλοκυτταροϊός. Ωστόσο, αυτού του είδους οι ηπατίτιδες είναι συνήθως ελαφριάς μορφής και αυτοϊάσιμες (μπορούν να θεραπευτούν από μόνες τους). Η ηπατίτιδα μπορεί να προκληθεί και από άλλους παράγοντες, όπως λ.χ. από τη λήψη φαρμάκων και άλλων τοξικών ουσιών, καθώς και από την υπερβολική κατανάλωση αλκοόλ.

Υπάρχουν έξι διαφορετικοί τύποι ιών που προκαλούν τις ηπατίτιδες A, B, C, D, E, G. Οι τρεις πρώτοι είναι οι συνηθέστεροι, όμως οι τύποι B και C μπορεί να προκαλέσουν την επονομαζόμενη χρόνια ηπατίτιδα. Από την περίοδο της λοίμωξης και της εκδήλωσης της νόσου μεσολαβεί το διάστημα της επώασης, το οποίο διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του ιού. Για τον ιό της ηπατίτιδας A η περίοδος επώασης διαρκεί 15-45 ημέρες, για τον ιό της ηπατίτιδας B 45-160 ημέρες και για τον ιό της ηπατίτιδας C 2 εβδομάδες έως 6 μήνες.



*Εικόνα 2.2: Απεικόνιση του ιού της ηπατίτιδας*

Τα συμπτώματα των ασθενών που έχουν προσβληθεί από έναν τύπο ηπατίτιδας δε διαφέρουν κατά πολύ από τις τυπικές ενδείξεις γρίπης. Παρατηρείται δηλαδή και στην προκειμένη περίπτωση πυρετός, μειωμένη όρεξη, ναυτία, τάση προς έμετο, αδυναμία, κόπωση και πόνος στην κοιλιά. Για αυτό το λόγο δε γίνεται και άμεσα αντιληπτή η ασθένεια από τους πάσχοντες.

### **Τι είναι η λιπώδης διήθηση του ήπατος (ή ηπατική στεάτωση)**

Η λιπώδης διήθηση είναι η συγκέντρωση και η εναπόθεση λίπους στα κύτταρα του ήπατος (όχι γύρω από το συκώτι, όπως πολλοί πιστεύουν) και αποτελεί ένα από τα συχνότερα ευρήματα στους υπερήχους κοιλιάς.

### **Ποιοι διατρέχουν κίνδυνο από αυτή την ασθένεια**

Είναι βέβαιο ότι την πιο ευπαθή ομάδα αποτελούν οι αλκοολικοί, καθώς το συκώτι τους δεν είναι σε θέση να λειτουργήσει ομαλά, λόγω της κατανάλωσης αλκοόλ. Επιπλέον διατρέχουν σοβαρό κίνδυνο οι παχύσαρκοι, οι διαβητικοί, οι ασθενείς με θυρεοειδή, υπέρταση, υψηλή χοληστερίνη, τριγλυκερίδια και αυτοί με χαμηλή HDL (καλή χοληστερίνη).

Πρόκειται παγκοσμίως για την πιο διαδεδομένη νόσο του ήπατος, η οποία συναντάται συχνότερα στις δυτικού τύπου βιομηχανικές χώρες. Η συχνότητα της νόσου κυμαίνεται περίπου στο 40 % του ενήλικου πληθυσμού και εμφανίζεται με την ίδια αναλογία τόσο σε άνδρες, όσο και σε γυναίκες. Ως μέση ηλικία εμφάνισης του λιπώδους ήπατος θεωρούνται τα 40-60 έτη. Αξιοσημείωτο είναι ότι η ασθένεια αυτή προσβάλλει το 3% των μικρών παιδιών, ενώ το ποσοστό αυτό αγγίζει τουλάχιστον το 50% στα παχύσαρκα παιδιά. Ιδιαίτερα ανησυχητικό αποτελεί το γεγονός ότι η νόσος παρουσιάζει απειλητικά αυξητική τάση τις τελευταίες δεκαετίες.

## **Ποια είναι τα είδη του λιπώδους ήπατος**

### **1. Μη Αλκοολική Λιπώδης Νόσος του Ήπατος (NAFLD-Non Alcoholic Fatty Liver Disease):**

Η συγκεκριμένη ασθένεια αναπτύσσεται όταν το ήπαρ παρουσιάζει δυσκολία στη διάσπαση των λιπών, με αποτέλεσμα να προκαλείται συσσώρευση λίπους στον ιστό του ήπατος. Ασθενείς θεωρούνται αυτοί που διαθέτουν πάνω από 10% λίπους στο συκώτι τους. Τα αίτια της νόσου προφανώς δε σχετίζονται με την κατανάλωση αλκοόλ, αλλά οφείλονται σε γενετικά ή μεταβολικά αίτια. Στους κύριους παράγοντες ανάπτυξης της περιλαμβάνονται οι διατροφικές διαταραχές (π.χ. απότομη απώλεια βάρους, υποσιτισμός), τα φάρμακα (π.χ. κορτικοστεροειδή), οι τοξίνες (αλκοόλ, κοκαΐνη), ακόμη και η λοίμωξη από HIV (ιός που προκαλεί το AIDS).

### **2. Αλκοολική Λιπώδης Νόσος του Ήπατος (Alcoholic Liver Disease):**

Σε αυτή την περίπτωση η ηπατική νόσος σχετίζεται με το αλκοόλ, το οποίο μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπλοκές. Οι επιπτώσεις της ασθένειας στην Ευρώπη είναι μεγάλες, καθώς σε αυτήν οφείλεται το 6,5% όλων των θανάτων. Στην Ευρώπη παρουσιάζονται μεγάλες φυλετικές διαφορές: οι θάνατοι λόγω αλκοόλ κυμαίνονται στο 11% για τους άνδρες και στο 1,8% για τις γυναίκες. Η θνητότητα που σχετίζεται με την κατανάλωση του αλκοόλ στους νέους ξεπερνά το 10% στις νέες γυναίκες και το 25% στους νέους άνδρες.

Γνωρίζοντας τη γενεσιουργό αιτία της νόσου, ενδείκνυται η αποχή από το αλκοόλ, προκειμένου να ξεκινήσει η σταδιακή υποχώρηση της νόσου. Εάν ο ασθενής δεν καταναλώσει για έξι εβδομάδες καθόλου αλκοόλ, το λίπος που έχει συσσωρευτεί στο συκώτι θα εξαφανιστεί. Αντιθέτως, εάν συνεχιστεί η χρήση αλκοόλ είναι πιθανόν να προκληθεί η επανομαζόμενη κίρρωση του ήπατος.

Η κίρρωση του ήπατος αποτελεί συνέπεια της χρόνιας ηπατικής νόσου, κατά την οποία τα κύτταρα του ήπατος παθαίνουν βλάβες, καταστρέφονται και δεν μπορούν να αποκατασταθούν. Αυτή η απώλεια των ηπατικών κυττάρων εμποδίζει τον καθαρισμό του αίματος, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται τοξικές ουσίες και απόβλητα στον οργανισμό.

### **3. Μη Αλκοολική Στεατοηπατίτιδα (NASH: Non Alcoholic Steatic Hepatitis):**

Το μεγάλο ποσοστό συσσώρευσης λίπους στο συκώτι οδηγεί στη διόγκωση του ίδιου του οργάνου. Εάν η γενεσιουργός αιτία δεν είναι το αλκοόλ, τότε γίνεται λόγος για τη μη αλκοολική στεατοηπατίτιδα (NASH), ασθένεια που μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη λειτουργία του ήπατος. Εάν ο ασθενής δεν ακολουθήσει άμεσα πρόγραμμα θεραπείας, τότε η NASH είναι ικανή να οδηγήσει σε μόνιμες ουλές του ήπατος και σε ενδεχόμενη ηπατική ανεπάρκεια.

<b>Αιτίες ανάπτυξης της ασθένειας</b>
αυξημένο σωματικό βάρος
χοληστερόλη (αυξημένη χοληστερίνη)
σακχαρώδης διαβήτης
ορισμένα φάρμακα

<b>Συμπτώματα της ασθένειας</b>
απώλεια όρεξης
ναυτία, εμετός
κοιλιακό άλγος
ίκτερος (κιτρίνισμα του δέρματος )

*Πίνακας 1.1: Αιτίες και συμπτώματα της ασθένειας*

#### **4. Οξεία Λιπώδης Νόσος Της Εγκυμοσύνης:**

Πρόκειται μία σπάνια επιπλοκή της εγκυμοσύνης, η οποία μπορεί να είναι απειλητική τόσο για τη ζωή της μητέρας, όσο και του εμβρύου. Η ταχεία ανάπτυξη λίπους που διηθεί το ήπαρ της μέλλουσας μητέρας μπορεί να οδηγήσει σε ηπατική ανεπάρκεια και σοβαρές επιπλοκές, όπως διαταραχή στην πήξη του αίματος, αιμορραγίες και νεφρική ανεπάρκεια.

Τα συμπτώματα της οξείας λιπώδους νόσου εκδηλώνονται μετά από περίπου τρεις μήνες και περιλαμβάνουν:

- επίμονη ναυτία και έμετο
- πόνο στο επάνω δεξί μέρος της κοιλιάς
- ίκτερο

Οι έγκυες αποτελούν ομάδα υψηλού κινδύνου και γι' αυτό κρίνεται απαραίτητο να βρίσκονται υπό τακτική ιατρική παρακολούθηση. Στην πλειοψηφία των πασχόντων γυναικών παρατηρείται βελτίωση της νόσου μετά τον τοκετό, ενώ σπάνια υπάρχουν μακροχρόνια προβλήματα.

### **1.3 Η διάγνωση του λιπώδους ήπατος**

Η διάγνωση του λιπώδους ήπατος μπορεί να γίνει με τις εξής μεθόδους: την απλή εξέταση, τις αιματολογικές εξετάσεις, τον υπέρηχο και την βιοψία ήπατος. Παρακάτω ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή αυτών των ιατρικών εξετάσεων.

#### **1. Φυσική εξέταση:**

Εάν το συκώτι ενός ασθενή έχει κάποια φλεγμονή, ο γιατρός είναι σε θέση να το εντοπίσει, εξετάζοντας την κοιλιά του. Κρίνεται απαραίτητο ο γιατρός να έχει εις γνώσιν του, εάν ο ασθενής αντιμετωπίζει κόπωση ή απώλεια όρεξης το τελευταίο διάστημα. Επίσης, προκειμένου να επιτευχθεί με σωστό τρόπο η εξέταση, ο γιατρός οφείλει να είναι ενήμερος για τυχόν χρήση αλκοόλ και λήψη φαρμάκων.

## **2. Εξετάσεις αίματος:**

Ο γιατρός μπορεί να διαπιστώσει ότι τα ηπατικά ένζυμα είναι υψηλότερα από ότι θα έπρεπε, κάνοντας απλά μία συνηθισμένη εξέταση αίματος. Με αυτήν βέβαια δεν επιβεβαιώνεται μια διάγνωση του λιπώδους ήπατος, καθώς χρειάζεται περαιτέρω ανάλυση για να βρεθεί η αιτία της φλεγμονής.

## **3. Υπέρηχος:**

Στην εικόνα του υπερήχου το λίπος εμφανίζεται στο συκώτι ως μία λευκή περιοχή. Η ανίχνευση του λίπους στο συκώτι πραγματοποιείται και με άλλες μελέτες απεικόνισης, π.χ. με την αξονική ή μαγνητική τομογραφία και με απεικονιστικές εξετάσεις. Ωστόσο ο γιατρός δεν είναι σε θέση να επιβεβαιώσει οποιοδήποτε περαιτέρω πρόβλημα.

## **4. Βιοψία ήπατος:**

Στη βιοψία ήπατος ο γιατρός εισάγει μια βελόνα στο ήπαρ, προκειμένου να αφαιρέσει ένα κομμάτι ιστού για εξέταση. Έπειτα ο γιατρός χορηγεί ένα τοπικό αναισθητικό για να ελαττωθεί ο πόνος του ασθενούς. Αυτός είναι ο μόνος τρόπος για να διαγνωσθεί με βεβαιότητα αν ο ασθενής διαθέτει λιπαρό ήπαρ. Ο γιατρός μέσω αυτής της μεθόδου (της βιοψίας) είναι σε θέση να καθορίσει και την ακριβή αιτία ανάπτυξης της ασθένειας.

Η βιοψία του ήπατος παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των απεικονιστικών μεθόδων, δεδομένου ότι προσφέρει υψηλή ευαισθησία στη διάγνωση του λιπώδους ήπατος. Στις εικόνες βιοψίας η ασθένεια μπορεί να ανιχνευθεί από το σχήμα και το μέγεθος του λίπους στα σημεία συσσώρευσης, καθώς οι περιοχές αυτές αναπτύσσονται σε κυκλικά σχήματα.

## **Τρόποι αντιμετώπισης του λιπώδους ήπατος**

Σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν η διατροφή και η συστηματική άσκηση, προκειμένου να επιτευχθεί το ιδανικό βάρος του ασθενούς. Βέβαια οι ασθενείς που πάσχουν και από άλλα σοβαρά προβλήματα υγείας οφείλουν να είναι επίσης πολύ

προσεκτικοί. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτών των ασθενειών αποτελούν η σωστή ρύθμιση του θυρεοειδή, του διαβήτη, της δυσλιπιδαιμίας, της χοληστερόλης και της αρτηριακής πίεσης.

Ο ιατρός οφείλει να αποκλείσει όλα τα άλλα αίτια αύξησης του λίπους στο συκώτι, όπως το αλκοόλ και τις φαρμακευτικές ουσίες. Επιπλέον, όταν παρατηρούνται αυξημένες τρανσαμινάσες είναι αναγκαίο να γίνεται έλεγχος για ιογενείς ηπατίτιδες, αιμοχρωμάτωση, αυτοάνοση ηπατίτιδα και κοιλιοκάκη. Οι τρανσαμινάσες ή αμινοτρανσφεράσες είναι ένζυμα του ήπατος, των οποίων τα επίπεδα αυξάνονται στον ορό του αίματος όταν υπάρχει δυσλειτουργία στο συκώτι.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ**

#### **Εισαγωγή**

Ο κλάδος της Ψηφιακής Επεξεργασίας και Ανάλυσης Εικόνας αποσκοπεί στην ανάπτυξη ευφυών μηχανών, οι οποίες θα έχουν τη δυνατότητα όχι μόνο να λαμβάνουν, αλλά και να αντιλαμβάνονται πληροφορίες από μία εικόνα ή ένα βίντεο, όπως ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Μέσω αυτής της τεχνικής, η οποία εφαρμόζεται σε ασπρόμαυρες και έγχρωμες εικόνες, είμαστε σε θέση να διεξάγουμε τις πληροφορίες που μας ενδιαφέρουν. Η Ψηφιακή Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνας αποτελεί έναν ευρέως διαδεδομένο κλάδο που χρησιμοποιείται σε διάφορες επιστήμες, όπως στην Ιατρική.

Οι ιατρικές εικόνες έχουν δημιουργηθεί βάσει τεχνικών διεργασιών. Στις εικόνες αυτές βλέπουμε την αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος ή μέρη αυτού, προκειμένου να καταστεί δυνατή η διάγνωση ή η εξέταση μιας ασθένειας. Λόγω της πληθώρας τους (στην Ιατρική συναντούμε πολλές τέτοιες εικόνες, π.χ. από μαγνητικό τομογράφο, ηλεκτροεγκεφαλογράφημα), κρίνεται αναγκαία η σωστή επεξεργασία τους για να γίνει σωστή διάγνωση.

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται οι διαδικασίες επεξεργασίας και ανάλυσης της εικόνας, οι οποίες περιλαμβάνουν τα εξής στάδια:

1. Εφαρμογή διάφορων τεχνικών (π.χ. φιλτράρισμα) προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητα της εικόνας.
2. Εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών (π.χ. αναγνώριση πρότυπων, κατάτμηση εικόνας εξαγωγή περιοχών), οι οποίες καθορίζονται από το αντικείμενο που μελετάμε.

## 2.1 Βελτίωση εικόνων

Η βελτίωση της εικόνας πραγματοποιείται συνήθως μέσω μιας διαδικασίας φιλτραρίσματος, η οποία αποσκοπεί στην ανάδειξη των χαρακτηριστικών και των λεπτομερειών της εικόνας. Παράλληλα επιτυγχάνεται ο τονισμός ορισμένων φασματικών πληροφοριών τη εικόνας. Τα FIR (Finite Impulse Response) αποτελούν τα κατ' εξοχήν φίλτρα που χρησιμοποιούνται για την όσο το δυνατόν μέγιστη βελτίωση της εικόνας, ενώ πολύ σπάνια χρησιμοποιούνται τα IIR (infinite Impulse Response) φίλτρα.

Το φιλτράρισμα των εικόνων εξυπηρετεί κυρίως τις παρακάτω λειτουργίες:

- Εξομάλυνση της εικόνας (smoothing): αλλαγές στη φωτεινότητα της εικόνας, αύξηση της αντίθεσης και αφαίρεση του θορύβου.
- Αφαίρεση θολώματος (deblurring): όξυνση εικόνας (πιο ευκρινής εστίαση της εικόνας με καθαρές λεπτομέρειες) για να φαίνονται καθαρά τα θαμπά σημεία.
- Όξυνση ή άμβλυνση ακμών:  
Όξυνση των ακμών (sharpening), δηλαδή τονισμός των ακμών προκειμένου να γίνει με ευκολότερο τρόπο ο εντοπισμός και η κατάτμηση ορισμένων αντικειμένων. Αντίθετα με την άμβλυνση των ακμών δε δίνεται έμφαση σε ορισμένα σημεία της εικόνας.

Τα βαθυπέρατα φίλτρα συμβάλλουν σημαντικά στην οπτική βελτίωση των εικόνων, καθώς φιλτράρουν τις υψηλές συχνότητες, δηλαδή τα ανεπιθύμητα σήματα, τον θόρυβο και τις απότομες μεταβολές στην ένταση. Τα βαθυπέρατα φίλτρα μπορούν να διακριθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Φίλτρα μέσης τιμής (mean filter)
- Φίλτρα διάμεσης τιμής (median filter)
- Φίλτρα μορφής Gaussian (Gaussian filter).

Σε αυτό το σημείο θα προχωρήσουμε στην ανάλυση των δύο πρώτων κατηγοριών φίλτρων, καθώς το Gaussian filter αναφέρεται παρακάτω (κεφάλαιο 2.2.2). Τα φίλτρα μέσης τιμής αποτελούν την πιο απλή μορφή φίλτρων. Μέσω της χρήσης του συγκεκριμένου φίλτρου επιτυγχάνεται το επονομαζόμενο Blurring, δηλαδή η θόλωση της εικόνας, λόγω της λείανσης των μεταβολών εντάσεως. Παράλληλα παρατηρείται στην εικόνα εξασθένιση του θορύβου.

Σε αντίθεση με τα φίλτρα μέσης τιμής, τα φίλτρα της διάμεσης τιμής είναι μη γραμμικά. Στις βασικές τους λειτουργίες συγκαταλέγονται η διατήρηση των ακμών τους (γίνεται δηλαδή μια μικρή λείανση) και η πλήρης εξάλειψη του κρουστικού θορύβου. Από αυτή την άποψη, από το γεγονός ότι μπορούν να εξαλείψουν τους θορύβους, μπορούμε να πούμε ότι μοιάζουν με τα φίλτρα μέσης τιμής. Συνήθως αυτά τα φίλτρα εφαρμόζονται επαναληπτικά στις εικόνες.

## 2.2 Κατάτμηση

Η Κατάτμηση ή Τμηματοποίηση της εικόνας αποτελεί ένα υποπεδίο της Υπολογιστικής Όρασης, μέσω της οποίας πραγματοποιείται μία διαδικασία κατακερματισμού μιας ψηφιακής εικόνας σε πολλά εικονοστοιχεία. Αυτό σημαίνει ότι γίνεται αναζήτηση του διαχωρισμού της εικόνας σε ομογενείς περιοχές. Ο διαχωρισμός αυτός εκτελείται με τέτοιο τρόπο, ούτως ώστε να μπορεί να γίνει κατανοητός από την ανθρώπινη αντίληψη.

Η κατάτμηση έχει ως στόχο να απλοποιηθεί ή και να αλλάξει η αντιπροσώπευση μιας εικόνας σε κάτι ουσιαστικότερο και ευκολότερο προς ανάλυση. Οι κατηγορίες τεχνικών τμηματοποίησης ποικίλλουν και δημιουργούνται ανάλογα με το είδος της εικόνας (π.χ. ιατρική εικόνα).

Η διαδικασία της κατάτμησης θεωρείται ένα από τα σπουδαιότερα πεδία στην ψηφιακή επεξεργασία εικόνων. Παράλληλα όμως αποτελεί ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα που έχει απασχολήσει την επιστημονική κοινότητα. Μέσω αυτής της διαδικασίας ομαδοποιούνται τα εικονοστοιχεία σε περιοχές, οι οποίες ιδανικά αντιστοιχούν σε αντικείμενα. Αυτός ο διαχωρισμός εκτελείται βάσει των χαρακτηριστικών των εικονοστοιχείων (χρώμα, φωτεινότητα, υφή), τα οποία είναι όσο το δυνατόν πιο ομογενή, ενώ παράλληλα γίνονται ακριβή τα όριά τους.

Αξίζει να αναφερθεί ότι το πρόβλημα της τμηματοποίησης μπορεί να είναι πολυσύνθετο, όχι μόνο λόγω των σκιών ή άλλων γεωμετρικών παραμορφώσεων που εντοπίζονται στις εικόνες, αλλά και για τους παρακάτω βασικούς λόγους.

- Η κατάτμηση μιας εικόνας σε περιοχές δεν είναι μοναδική, δηλαδή τα εικονοστοιχεία μιας εικόνας έχουν τη δυνατότητα να ομαδοποιηθούν σε πολλές και διαφορετικές περιοχές.
- Οι διαφορετικές υφές ή περιοχές διαθέτουν διαφορετικές πολυπλοκότητες, γεγονός που δυσκολεύει σε μεγάλο βαθμό τον καθορισμό του σωστού πλήθους ομάδων.

Η κατάτμηση αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της προεπεξεργασίας της εικόνας, καθώς τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτήν μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στη μετέπειτα επεξεργασία και ανάλυση της εικόνας. Κατά συνέπεια, έχοντας μία επιτυχημένη κατάτμηση μπορούμε να εξασφαλίσουμε (σχεδόν πάντα) μία αποτελεσματική ανάλυση εικόνων.

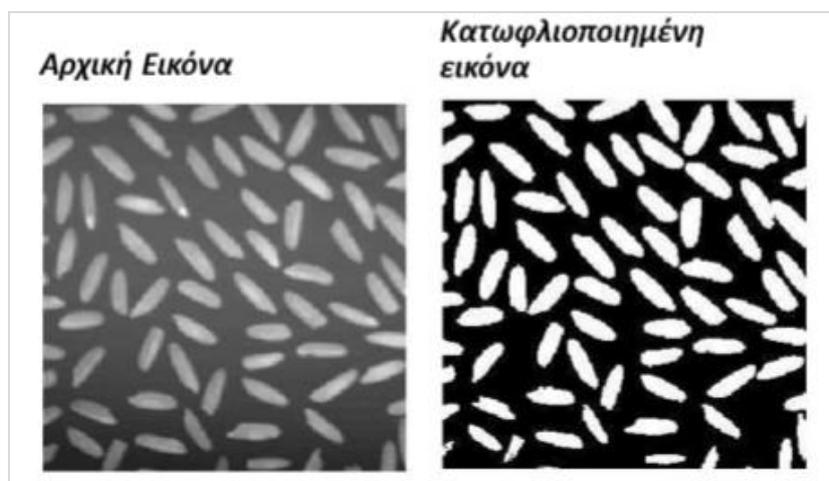
### **2.2.1 Κατωφλίωση ιστογράμματος**

Η κατωφλίωση είναι μία από τις βασικές τεχνικές τμηματοποίησης εικόνων και συχνά αποτελεί το πρώτο βήμα για την ανίχνευση και τον προσδιορισμό συγκριμένων αντικειμένων. Μέσω της κατωφλίωσης επιτυγχάνεται η ανίχνευση περιοχών ιστού και λίπους, ενώ παράλληλα απορρίπτονται οι περιοχές που δεν είναι χρήσιμες για την ανάλυση της εικόνας.

Η κατωφλίωση μπορεί να θεωρηθεί ως μια διαδικασία που περιλαμβάνει ελέγχους και σύγκριση των εικονοστοιχείων, όπως της τιμής της χρωματικής πυκνότητας ή της υφής της εικόνας. Ένας απλός τρόπος εφαρμογής της κατωφλίωσης αποτελεί ο καθορισμός μίας κλίμακας τιμών των pixels στην αρχική εικόνα, ο προσδιορισμός των pixels που ανήκουν σε αυτή και η τοποθέτηση των υπολοίπων στο υπόβαθρο. Στη νέα εικόνα που δημιουργείται γίνεται συνήθως χρήση μαύρου-άσπρου ή δύο άλλων χρωμάτων.

Έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές για αυτόματη εύρεση του κατωφλίου, χωρίς όμως να έχει ανακαλυφθεί κάποια που να είναι απολύτως αποτελεσματική. Η πιο σημαντική διαδικασία της κατωφλίωσης θεωρείται η ανάλυση του ιστογράμματος, στην οποία, διαφορετικά συστατικά της εικόνας που συνήθως δημιουργούν όρη (peaks) στο ιστόγραμμα πρέπει να αναλυθούν και να ταξινομηθούν. Συχνά εμφανίζεται το πρόβλημα της επικάλυψης και γι' αυτό λόγο χρησιμοποιούνται διάφοροι αλγόριθμοι ταξινόμησης και ανάλυσης.

Η μέθοδος του Otsu (1979) αποτελεί ακόμα και σήμερα τη μέθοδο με τις περισσότερες αναφορές στο πρόβλημα της κατάτμησης εικόνας (Εικ. 2.1). Η ίδια βασίζεται σε μια απλή θεωρία, η οποία είναι χρήσιμη για την εργασία μας και για αυτό το λόγο αναλύεται παρακάτω λεπτομερώς. Πρόκειται για μία μη παραμετρική και χωρίς επίβλεψη μέθοδο για την αυτόματη επιλογή κατωφλίου, προκειμένου να γίνει η κατάτμηση των εικόνων.



Εικόνα 2.1: Κατωφλίωση με τη μέθοδο Otsu

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, πρέπει να θεωρήσουμε τα αντικείμενα και το φόντο ανεξάρτητα πρότυπα (κλάσεις) και αυτό αρκεί για να γίνει η μεγιστοποίηση της διακριτότητας μεταξύ των κλάσεων. Θέτοντας ένα όριο μεταξύ των αντικειμένων και του φόντου, έχουμε ως στόχο τον όσο το δυνατόν πιο σφιχτό διαχωρισμό των δύο κλάσεων. Αξιοσημείωτο είναι ότι δεν μπορούμε να αλλάξουμε τις κατανομές κάθε κλάσης, μπορούμε όμως να προσαρμόσουμε το όριο ώστε να είναι όσο γίνεται πιο διακριτές. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της παράστασης, η οποία δείχνει τη διασπορά των σημείων που επιλέχθηκαν σε κάθε κλάση (weighted within-class variance).

weighted within-class variance:

$$\sigma_w^2(t) = q_1(t) \cdot \sigma_1^2(t) + q_2(t) \cdot \sigma_2^2(t) \quad (\text{εξ. 1})$$

όπου  $q_1, q_2$  είναι ο αριθμός των pixels που ανήκουν σε κάθε κλάση ενώ  $\sigma_1, \sigma_2$  οι διασπορές κάθε κλάσης για ένα συγκεκριμένο κατώφλι  $t$ .

Βασική προϋπόθεση σε αυτό το σημείο είναι να γίνει ο υπολογισμός της παράστασης για κάθε κατώφλι και έπειτα η επιλογή του κατωφλίου που την ελαχιστοποιεί. Σε περίπτωση που αφαιρέσουμε τη διασπορά του ιστογράμματος  $\sigma$  από τη weighted within-class variance, λαμβάνουμε μία παράσταση, την οποία ονομάζουμε between-class variance.

Η συγκεκριμένη παράσταση υπολογίζεται ως:

between-class variance:

$$\sigma_b^2(t) = q_1(t) \cdot q_2(t) [\mu_1^2(t) - \mu_2^2(t)] \quad (\text{εξ. 2})$$

όπου  $\mu_1, \mu_2$  είναι οι μέσες τιμές των κλάσεων.

Ωστόσο, λόγω του γεγονότος ότι η διασπορά του ιστογράμματος είναι σταθερή, το μόνο που καλούμαστε να κάνουμε είναι η μεγιστοποίηση της παράστασης της

between-class variance. Εκτελώντας όμως τους υπολογισμούς της παράστασης για διάφορες τιμές του ορίου, συμπεραίνουμε ότι οι υπολογισμοί δεν είναι ανεξάρτητοι ο ένας από τον άλλο. Επίσης παρατηρούμε ότι με αυτό τον τρόπο μπορούμε να βρούμε τις μέσες τιμές των κλάσεων επαναληπτικά, καθώς γίνεται διαδοχικός έλεγχος για όλα τα πιθανά κατώφλια.

Εν ολίγοις, ο υπολογισμός του between-class variance γίνεται όλο και πιο εύκολος χρησιμοποιώντας τους παρακάτω τύπους.

$$q_1(t+1) = q_1(t) + P(t+1), \quad (\text{εξ. 3})$$

$$q_2(t+1) = q_2(t) + P(t+1), \quad (\text{εξ. 4})$$

$$\mu_1(t+1) = \frac{q_1(t)\mu_1(t) + (t+1)P(t+1)}{q_1(t+1)}, \quad (\text{εξ. 5})$$

$$\mu_2(t+1) = \frac{\mu - q_1(t+1)\mu_1(t+1)}{1 - q_1(t+1)} \quad (\text{εξ. 6})$$

### 2.2.2 Εντοπισμός ακμών

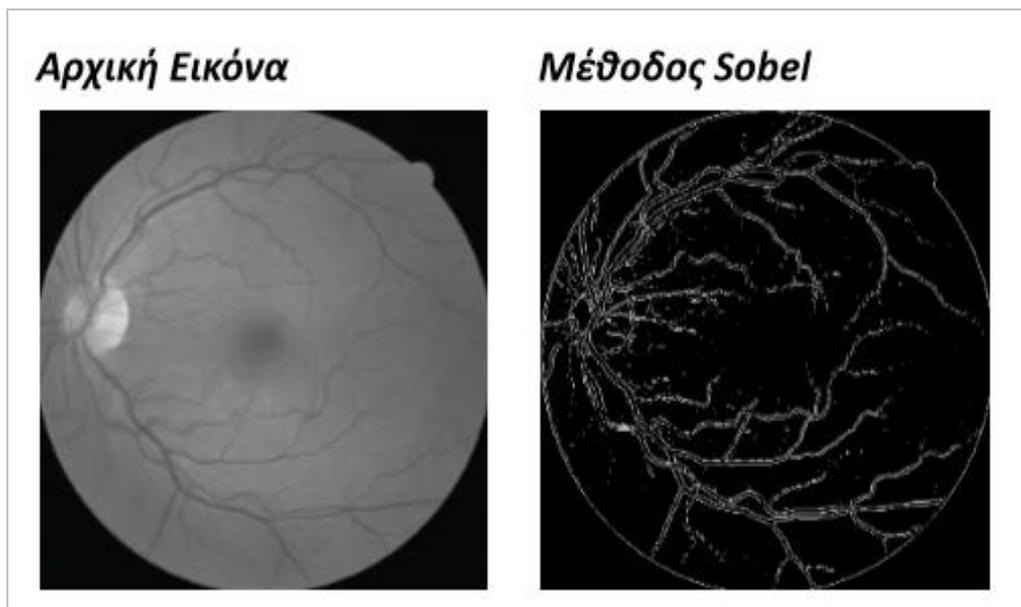
Προκειμένου να γίνει κατανοητή η διαδικασία του εντοπισμού των ακμών, κρίνεται απαραίτητο να εξηγήσουμε αρχικά τον όρο ακμή. Ως ακμή ορίζεται το όριο μεταξύ περιοχών με σχετικά διακριτές τιμές χρωματικών πυκνοτήτων. Υποθέτουμε ότι οι περιοχές είναι αρκετά ομοιογενείς, ώστε η μεταβολή των χρωματικών πυκνοτήτων να είναι αρκετή για τον προσδιορισμό της μετάβασης μεταξύ περιοχών.

Σε μια ασπρόμαυρη εικόνα εντοπίζουμε τις ακμές στις αλλαγές της φωτεινότητας μεταξύ των γειτονικών περιοχών της. Οι αλλαγές της φωτεινότητας συνήθως αντιστοιχούν στη διαφοροποίηση ιδιοτήτων της απεικόνισης τρισδιάστατων αντικειμένων, όπως αλλαγές της υφής, του βάθους, των ορίων των αντικειμένων, του φωτισμού και της αντανάκλασης. Με την ανίχνευση ακμών μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες για τις φυσικές ιδιότητες των εικονιζόμενων αντικειμένων.

Η μέθοδος ανίχνευσης ακμών πραγματοποιείται με τον υπολογισμό ενός τελεστή τοπικού παραγώγου. Η πρώτη παράγωγος (σε οποιοδήποτε σημείο της εικόνας)

υπολογίζεται με το μέτρο του διανύσματος της κλίσης, ενώ η δεύτερη παράγωγος υπολογίζεται με τη χρήση του τελεστή Laplace. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ένα στοιχείο της εικόνας ανήκει στο περίγραμμα μιας δομής, εφόσον η δισδιάστατη πρώτη ή δεύτερη παράγωγός του είναι μεγαλύτερη από κάποιο προκαθορισμένο κατώφλι.

Μία ευρέως διαδεδομένη μέθοδος ανίχνευσης ακμών βασίζεται στη χρήση της κλίσης της εικόνας, η οποία υπολογίζεται μέσω μερικών παραγώγων πρώτης τάξης σε κάθε θέση εικονοστοιχείου της εικόνας. Οι συγκεκριμένες παράγωγοι είναι σε θέση να υλοποιηθούν ψηφιακά με διάφορους τρόπους. Παρατηρείται όμως ότι οι τελεστές Sobel διαθέτουν το πλεονέκτημα της ταυτόχρονης διαφόρισης και εξομάλυνσης. Οι τελεστές Sobel κρίνονται απαραίτητοι, καθώς εξομαλύνουν το θόρυβο, ο οποίος ενισχύεται από τις παράγωγους (Εικ. 2.2).



Εικόνα 2.2: Εντοπισμός ακμών με τη μέθοδο Sobel

Ακολουθώντας αυτή τη μέθοδο παρατηρούμε ότι στην περιοχή των ορίων των αντικειμένων, το πλάτος της κλίσης των χρωματικών πυκνοτήτων έχει πολύ χαμηλότερη τιμή από ότι μακριά από τα όρια. Επομένως, το σύνολο των εικονοστοιχείων ενός οργάνου (στα οποία το πλάτος της κλίσης έχει σημαντική τιμή), αναπαριστά το σύνολο των εικονοστοιχείων του ζητούμενου περιγράμματος του οργάνου.

Το μειονέκτημα που εμφανίζει αυτή η μέθοδος εντοπίζεται στο ότι περιλαμβάνει και άλλα στοιχεία που δεν ανήκουν στη δομή. Ακόμη ενδέχεται αυτή η μέθοδος να μην μπορέσει να πετύχει την ανίχνευση εικονοστοιχείων που ανήκουν στη δομή. Προκειμένου να αντιμετωπισθεί αυτό το πρόβλημα δημιουργήθηκε μία σειρά τεχνικών βελτίωσης. Αυτές οι τεχνικές αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση των εικονοστοιχείων του περιγράμματος που λείπουν και των εικονοστοιχείων που δεν ανήκουν στο περίγραμμα.

Η ανίχνευση των ακμών μιας εικόνας αποτελεί μία πολύπλοκη διαδικασία, όπως μπορεί κανείς να αντιληφθεί από τις παρακάτω δυσκολίες:

- Οι ακμές μπορεί να χαρακτηρίζονται από προοδευτικές ή ακόμα και από πολύ μικρές αλλαγές στην φωτεινότητα της εικόνας.
- Η παρουσία του θορύβου σε μία εικόνα μπορεί να οδηγήσει στην ανίχνευση εσφαλμένων ακμών, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση των ορίων των αντικειμένων.
- Ο διαφορετικός φωτισμός και η σκίαση μπορεί να ανιχνευτούν σαν ψευδοακμές (δηλαδή μη πραγματικές ακμές) χωρίς όμως να αντιστοιχούν σε φυσικές ακμές.

Τα αποτελέσματα από την ανίχνευση των ακμών πρέπει να είναι αξιόπιστα, καθώς επηρεάζουν την πορεία της επεξεργασίας και ανάλυσης των ψηφιακών εικόνων. Επιπλέον η ανίχνευση ακμών είναι απαραίτητη και για την επεξεργασία με αλγόριθμους υπολογιστικής όρασης, (π.χ. ανάλυση υφής, τμηματοποίησης, αναγνώρισης προτύπων).

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης αλγόριθμου για τον εντοπισμό ακμών πρότεινε ο Canny. Αυτή η μέθοδος είναι γνωστή με την ονομασία Canny Edge Detector και επιδίωκε την βελτίωση των υπάρχοντων αλγορίθμων στην έρευνα ανίχνευσης των ακμών. Προκειμένου να πετύχει η μέθοδος του, ο Canny όρισε συγκεκριμένα κριτήρια για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας αυτών των αλγορίθμων.

## Κριτήρια Canny Edge Detector:

1. Μείωση πιθανότητας σφάλματος: κριτήριο να ανιχνεύονται μόνο οι πραγματικές ακμές (ως πραγματικές ακμές ορίζονται αυτές που υφίστανται και στον τρισδιάστατο κόσμο) και να μην ανιχνεύονται ακμές που στην πραγματικότητα δεν υπάρχουν.
2. Σωστή τοπική τοποθέτηση των ακμών: κριτήριο να ελαχιστοποιηθεί η απόσταση μεταξύ της πραγματικής ακμής και της ακμής που εντοπίζει ο αλγόριθμος και να υπάρχει ακριβής προσδιορισμός της ακμής (να μην παίρνει εκτεταμένες διαστάσεις).

Ο Canny δημιούργησε βάσει αυτών των κριτηρίων τον κατάλληλο αλγόριθμο. Στην εικόνα χρησιμοποιείται αρχικά ένα ψηφιακό γκαουσιανό (gaussian) φίλτρο, ώστε να μειωθεί ο θόρυβος και έτσι να μπορέσουμε να ανιχνεύσουμε τις ακμές. Η ψηφιακή μορφή του (γκαουσιανού) φίλτρου είναι ένα τετραγωνικό μητρώο συνέλιξης. Όσο μεγαλώνει η διάσταση του φίλτρου και η τυπική απόκλιση ( $\sigma$ ) της γκαουσιανής δισδιάστατης κατανομής, τόσο περισσότερο εξομαλύνεται η εικόνα και μειώνεται η επίδραση του θορύβου στην εικόνα. Έπειτα γίνεται εφαρμογή του τελεστή διαφόρισης στην εικόνα.

Επόμενο βήμα είναι η χρήση κατωφλίωσης με στέρηση για να αποφευχθεί η ανίχνευση ανύπαρκτων ακμών. Σε περίπτωση που εντοπίσουμε μία περιοχή με ένταση ακμών πάνω από ένα ισχυρό κατώφλι, τις λαμβάνουμε ως ακμές. Αντιθέτως, εάν παρατηρήσουμε χαμηλότερες εντάσεις από το κατώφλι τις αγνοούμε, εκτός και αν συνδέονται γειτονικά με περιοχές μεγάλης έντασης και ξεπερνούν ένα ελάχιστο κατώφλι. Τότε εικάζουμε ότι πρόκειται για ακμές που έχουν εξασθενήσει από τον θόρυβο, οπότε προσμετρούνται ως ακμές.

Αξιολογώντας τη μέθοδο ανίχνευσης ακμών του Canny, μπορούμε να πούμε ότι συμβάλλει σημαντικά στην ποιότητα των ανιχνευόμενων ακμών. Παράλληλα όμως αυξάνει σε μεγάλο βαθμό την πολυπλοκότητα, αφού απαιτεί την συνέλιξη της εικόνας με δύο μητρώα συνέλιξης. Ακόμη η διαδικασία που ακολουθεί, δηλαδή η

κατωφλίωση με υστέρηση, με την οποία πραγματοποιείται η επιλογή των εικονοστοιχείων (που απαρτίζουν ακμές), εισάγει πρόσθετη πολυπλοκότητα και απαιτήσεις μνήμης.

### 2.2.3 Μορφολογικοί τελεστές

Στο πλαίσιο της επεξεργασίας των εικόνων που εξετάζουμε χρησιμοποιούμε τους μορφολογικούς τελεστές. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μέσω της μαθηματικής μορφολογίας, η οποία παρέχει εργαλεία για την αναπαράσταση και περιγραφή των περιοχών της εικόνας (π.χ. όρια, περίγραμμα, σκελετός). Επιπλέον η μορφολογία παρέχει τεχνικές, οι οποίες χρησιμοποιούνται προτού ή αφού ακολουθήσει η επεξεργασία της εικόνας.

Η εφαρμογή της μορφολογικής πράξης σε μία εικόνα αποσκοπεί:

- στην απλοποίηση των δεδομένων της
- στη διατήρηση των βασικών χαρακτηριστικών των σχημάτων
- στον περιορισμό του θορύβου
- στην ανακατασκευή των σχημάτων από την αλλοιωμένη μορφή τους.

Οι μορφολογικές πράξεις, οι οποίες θα αναφερθούν παρακάτω αναλυτικά είναι: οι Dilation και Erosion, οι οποίες θεωρούνται βασικές και χρησιμοποιούνται συνήθως συνδυαστικά σε πιο πολύπλοκες διαδικασίες και οι Opening και Closing.

#### **Dilation (Διαστολή)**

Με αυτή την μορφολογική πράξη της διαστολής γίνεται η τοποθέτηση ενός δομικού στοιχείου, το οποίο εφαρμόζεται πάνω σε κάθε pixel ξεχωριστά. Το σχήμα και μέγεθος που αποκτά το δομικό στοιχείο καθορίζεται από εμάς. Η διαδικασία που ακολουθεί υλοποιείται με την εφαρμογή του δομικού στοιχείου κατά μήκος της εικόνας. Το κεντρικό pixel της δομής ονομάζεται αρχή του δομικού στοιχείου.

Κατά τη διάρκεια εφαρμογής του δομικού στοιχείου στην ψηφιακή εικόνα πραγματοποιείται έλεγχος για να καταστεί σαφές, εάν η αρχή της δομής συμπίπτει με μηδενικό στοιχείο. Σε αυτή την περίπτωση δεν κάνουμε καμία αλλαγή και προχωράμε στο διπλανό pixel. Κατά την εφαρμογή του δομικού στοιχείου στην εικόνα μπορεί το κεντρικό pixel να συμπίπτει με την τιμή 1. Τότε πρέπει να εκτελέσουμε την εντολή OR για όλα τα εικονοστοιχεία, τα οποία βρίσκονται εντός του δομικού στοιχείου.

Μέσω αυτής της διαδικασίας διαστολής επιτυγχάνονται οι εξής στόχοι:

- παραμονή των μη μηδενικών στοιχείων της περιοχής
- γέμισμα οπών (τρυπών)
- διεύρυνση των ορίων μιας περιοχής

### **Erosion (Διάβρωση)**

Σε αυτή τη διαδικασία μορφολογικής πράξης της διάβρωσης γίνεται επίσης η τοποθέτηση ενός δομικού στοιχείου, το οποίο εφαρμόζεται κατά μήκος της εικόνας, όπως στην Dilation. Ακόμα μία ομοιότητα παρατηρείται στην περίπτωση που η αρχή του δομικού στοιχείου συμπίπτει με το μηδενικό στοιχείο, όπου δεν κάνουμε καμία αλλαγή και προχωράμε στο διπλανό pixel. Όταν όμως το κεντρικό pixel να συμπίπτει με pixel που έχει την τιμή 1, τότε πρέπει να ελέγξουμε εάν κάποιο '1' της δομής συμπίπτει με '0' της εικόνας. Έχοντας αυτά τα δεδομένα συνεχίζουμε μετατρέποντας όλες τις τιμές '1' εντός της περιοχής σε '0'.

Ακολουθώντας τη μέθοδο Erosion πετυχαίνουμε:

- σμίκρυνση των αντικειμένων
- απομάκρυνση πολύ μικρών περιοχών

## **Opening και Closing**

Οι δύο αυτές μορφολογικές διαδικασίες θεωρούνται οι πιο γνωστές. Το Opening είναι Erosion (διάβρωση), η οποία ακολουθείται από Dilation (διαστολή). Αντιθέτως το Closing είναι Dilation που ακολουθείται από Erosion.

### **2.2.4 Επαναληπτικές μέθοδοι ανάπτυξης περιοχών**

Κατά τη διάρκεια της μελέτης που διεξήγαμε σχετικά με το θέμα της αρχικής κατάτμησης της εικόνας, παρατηρήσαμε ότι υπάρχει ποικιλία μεθόδων που μπορούμε να εφαρμόσουμε. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η K-means (η οποία αναλύεται λεπτομερώς στο επόμενο υποκεφάλαιο 2.2.5), η Seed Region Growing (αυξανόμενη περιοχή με σπόρο) και η Watershed transform (μετασχηματισμός υδροκρίτη). Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζονται οι δύο τελευταίες μέθοδοι, καθώς είναι απαραίτητες για την εξέλιξη της εργασίας μας.

#### **Seed Region Growing (Αυξανόμενη περιοχή με σπόρο)**

Η κατάτμηση των εικόνων με τη μέθοδο Seed Region Growing παρέχει πολλά πλεονεκτήματα, καθώς μέσω αυτής μπορούμε να έχουμε μία πιο ολοκληρωμένη κατάτμηση, με πιο απλή μορφή και ταυτοχρόνως λιγότερο χρονοβόρα. Ο αλγόριθμος αυξημένης μορφής και συγκεκριμένα η κατάτμηση περιοχής με σπόρο (Seed Region Growing) δύναται να χρησιμοποιήσει με κατάλληλο τρόπο τις πρωταρχικές μας γνώσεις.

Προκειμένου να εφαρμόσουμε πρακτικά τον αλγόριθμο κατάτμησης περιοχής με σπόρο, πρέπει να ορίσουμε ως είσοδο την αρχική εικόνα I και ως έξοδο την τελική εικόνα J. Ακόμη, λαμβάνουμε ως αρχικές παραμέτρους τις συντεταγμένες του σπόρου, ένα κατώφλι μέγιστης έντασης, τις διαστάσεις της αρχικής εικόνας, τις συντεταγμένες του κέντρου της περιοχής, το μέγεθος κάθε περιοχής σε πλήθος pixel, την απόσταση του κάθε pixel από το κέντρο της περιοχής και τις θέσεις των γειτονικών pixel. Οφείλουμε να διευκρινίσουμε ότι οι θέσεις των γειτονικών pixel είναι μία μάσκα ανίχνευσης 4 προς 1, δηλαδή τεσσάρων υπονήφιων για να

ενσωματωθούν στην περιοχή των γειτονικών pixel προς το pixel, το οποίο ελέγχεται κάθε φορά.

Στο δεύτερο βήμα της μεθόδου γίνεται η εφαρμογή του αλγόριθμου αυξανόμενης περιοχής, έως ότου η απόσταση του pixel από το κέντρο της περιοχής να γίνει μικρότερη από το κατώφλι που ορίσαμε. Επιπλέον γίνεται έλεγχος ενός γειτονικού pixel, το οποίο είναι υποψήφιο για ενσωμάτωση στην περιοχή. Ως αρχικό κέντρο της περιοχής χρησιμοποιούμε τον σπόρο, του οποίου τις συντεταγμένες ορίσαμε.

Στο τρίτο στάδιο, το οποίο διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο για το αποτέλεσμα του αλγόριθμου, πραγματοποιείται έλεγχος για την απόσταση της έντασης των τεσσάρων γειτονικών pixel από το κέντρο της περιοχής. Το κοντινότερο με το κέντρο pixel ενσωματώνεται στην περιοχή και θεωρείται πλέον νέο μέλος της. Έπειτα γίνεται επανυπολογισμός του κέντρου της περιοχής, διαδικασία που εφαρμόζεται με την είσοδο κάθε νέου μέλους στην περιοχή. Η μέθοδος ολοκληρώνεται με την έξοδο του αλγόριθμου, η οποία δηλώνεται με την επιστροφή του πίνακα J σε δυαδική μορφή.

### **Κατάτμηση Watershed (Μετασχηματισμός υδροκρίτη/απορροής)**

Ο μετασχηματισμός Watershed αποτελεί επίσης μία από τις αποτελεσματικότερες τεχνικές κατάτμησης. Θεωρείται δύσκολη η επεξήγηση αυτής της τεχνικής, οπότε θα προσπαθήσουμε να την αναλύσουμε μέσω ενός απλού παραδείγματος.

Η τεχνική αυτή φαίνεται ότι βλέπει την εικόνα σαν ένα γεωγραφικό τοπίο, το οποίο πλημμυρίζεται από νερό και το μόνο που απομένει είναι οι κορυφές των βουνών. Για να εξηγήσουμε πιο σωστά την μέθοδο, υποθέτουμε ότι τα τοπικά ελάχιστα της εικόνας είναι οι πηγές από τις οποίες εισέρχεται το νερό. Καθώς πλημμυρίζεται ο χώρος, σε κάποια σημεία συναντάται το νερό από τις διαφορετικές πηγές. Σε αυτά τα σημεία ο αλγόριθμος τοποθετεί φράγματα. Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου η στάθμη του νερού να καλύψει και την τελευταία κορυφή. Στο τελικό στάδιο της διαδικασίας γίνεται ο διαχωρισμός της εικόνας από τα νοητά αυτά φράγματα που δημιουργήθηκαν, δηλαδή τα watersheds.

Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιείται κυρίως στην κατάτμηση ιατρικών εικόνων, λόγω του γεγονότος ότι μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτός. Ακόμη θεωρείται αποτελεσματικός και σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν ακμές με μεγάλη ένταση. Ωστόσο αυτή η μέθοδος παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην πολυπλοκότητά της.

Πρώτα απ' όλα η μέθοδος αυτή απαιτεί πολύ χρόνο για την ολοκλήρωσή της. Επιπλέον, κάνει υπερκατάτμηση, η οποία μερικές φορές δεν είναι ουσιαστική. Αυτή η υπερκατάτμηση παρατηρείται συνήθως όταν η εικόνα έχει υποστεί σε πρώιμο στάδιο επεξεργασία. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η χρήση των markers, τα οποία διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του αποτελέσματος. Στο επόμενο βήμα απαιτείται η εισαγωγή νέων markers στην εικόνα, από τα οποία ξεκινάει η διαδικασία του χώρου.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα βήματα για την μέθοδο Watershed.

1. Μη γραμμικό φιλτράρισμα
2. Εξαγωγή χαρακτηριστικών
3. Ανίχνευση περιγράμματος περιοχών

### **1. Μη γραμμικό φιλτράρισμα:**

Πρώτα εκτελείται η απομάκρυνση του θορύβου από την εικόνα, προκειμένου να πετύχουμε καλύτερη ανάλυση της εικόνας. Επιπλέον σε κάποιες περιπτώσεις εφαρμόζεται και ενδυνάμωση των ακμών, ώστε να λειτουργήσει καλύτερα ο αλγόριθμος. Αυτά τα δύο στάδια προετοιμάζουν κατάλληλα την εικόνα για να προχωρήσουμε στην κατάτμησή της. Για το μη γραμμικό φιλτράρισμα της εικόνας συνήθως χρησιμοποιούνται τα ASF φίλτρα, καθώς καταστέλλουν επιτυχώς τον θόρυβο χωρίς να επηρεάζουν τα περιγράμματα των αντικειμένων της εικόνας.

## **2. Εξαγωγή χαρακτηριστικών:**

Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται εξαγωγή και επεξεργασία των χαρακτηριστικών της φιλτραρισμένης εικόνας. Το στάδιο αυτό αποσκοπεί στην εξαγωγή μικρών ομοιογενών περιοχών από την εικόνα, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν ως markers. Υπάρχουν δύο είδη markers: οι Inside markers που σχετίζονται με τα αντικείμενα της εικόνας και οι Outside markers που σχετίζονται με το υπόβαθρο της εικόνας.

## **3. Ανίχνευση περιγράμματος περιοχών:**

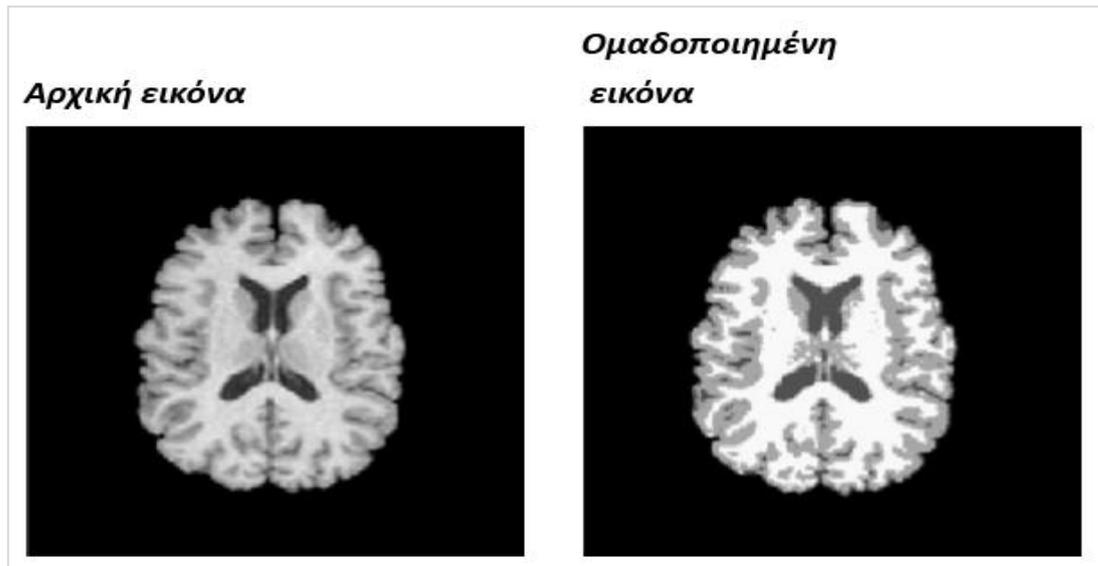
Στο τελικό στάδιο τοποθετούμε τους Inside markers ως τα τοπικά ελάχιστα της εικόνας, και εφαρμόζουμε την watershed για τον εντοπισμό των περιγραμμάτων, τα οποία βρίσκονται ανάμεσα στους Inside-Outside markers.

### **2.2.5 Μέθοδοι ομαδοποίησης**

1. Οι αλγόριθμοι ομαδοποίησης είναι τεχνικές αναγνώρισης προτύπων που αποσκοπούν στη διαίρεση του χώρου των χαρακτηριστικών μιας εικόνας με τη χρήση δεδομένων (Εικ. 2.3). Πιο συγκεκριμένα ο αλγόριθμος ξεκινάει με έναν τυχαίο διαχωρισμό των εικονοστοιχείων σε ομάδες και στη συνέχεια επανατοποθετεί τα εικονοστοιχεία.

Οι δημοφιλέστεροι αλγόριθμοι κατάτμησης με ομαδοποίηση είναι οι εξής:

- Ασαφής C-μέσος (fuzzy c-means)
- Ασαφής K-μέσος (fuzzy k-means) ή ISODATA αλγόριθμος
- Αλγόριθμος μέγιστης προσδοκίας



Εικόνα 2.3: Κατάτμηση με ομαδοποίηση

### **K-means**

Ο αλγόριθμος K-means είναι ο πιο γνωστός αλγόριθμος ομαδοποίησης, ο οποίος εφευρέθηκε το 1956, ενώ τη γνωστή τελική του μορφή την οφείλει στον MacQueen (1967). Πρόκειται για έναν από τους απλούστερους αλγορίθμους αυτόματης εκμάθησης που μπορεί να επιλύσει το πρόβλημα της ομαδοποίησης σε συστάδες, δηλαδή σε ομάδες pixel που αντιπροσωπεύουν ένα αντικείμενο της εικόνας.

Τα βασικά βήματα του αλγόριθμου K-means παρουσιάζονται επιγραμματικά στον παρακάτω πίνακα και στη συνέχεια έπεται η ανάλυση των βημάτων.

1. Επιλογή του αριθμού των ομάδων
2. Τυχαία δημιουργία k-ομάδων και ορισμός των κεντροειδών των ομάδων
3. Μεταβίβαση του κάθε σημείου στο κεντροειδές της κοντινότερης ομάδας
4. Υπολογισμός των νέων κεντροειδών των ομάδων
5. Επανάληψη (βημάτων 2 και 3) μέχρι να συγκλίνει ο αλγόριθμος σε κάποιο κριτήριο

Ο αλγόριθμος K-means ακολουθεί μία τεχνική επαναληπτικής δομής για να χωρίσει μία εικόνα σε K αριθμό ομάδων. Με αυτή τη διαδικασία τελείται με απλό και εύκολο τρόπο η ταξινόμηση ενός δοσμένου συνόλου στοιχείων, μέσω ορισμένου πλήθους

ομάδων. Η μέθοδος βασίζεται στον καθορισμό K-κέντρων (ένα για κάθε ομάδα). Αυτά τα κέντρα πρέπει να τοποθετούνται με έναν έξυπνο τρόπο, καθώς εάν τοποθετηθούν τα αρχικά κέντρα σε διαφορετική θέση, τότε δημιουργείται και διαφορετικό αποτέλεσμα. Προκειμένου να μην ενωθούν οι ομάδες μεταξύ τους, προτείνεται ως η καλύτερη τακτική να τοποθετηθούν όσο το δυνατόν πιο μακριά γίνεται το ένα κέντρο από το άλλο. Ο αριθμός K ορίζεται είτε τυχαία, είτε από τον χρήστη, είτε από έναν ευρητή (heuristic).

Στο επόμενο στάδιο γίνεται η λήψη κάθε σημείου που ανήκει σε μία συστάδα (ομάδα) στοιχείων και η σύνδεσή της με το κοντινότερο σε αυτό κέντρο. Σε περίπτωση που κανένα σημείο δεν είναι εκκρεμές, τότε το πρώτο στάδιο ολοκληρώνεται και έτσι έχει εκτελεστεί μια πρώτη κατηγοριοποίηση. Στη συνέχεια καλούμαστε να κάνουμε έναν εκ νέου υπολογισμό K-κέντρων, τα οποία θεωρούνται πλέον ως κέντρα βαρύτητας των ομάδων και ως αποτέλεσμα του προηγούμενου βήματος. Μετά την απόκτηση των νέων κέντρων πρέπει να γίνει μια νέα σύνδεση μεταξύ των ίδιων καθορισμένων στοιχείων και του κοντινότερου νέου κέντρου.

Με τη διαδικασία που ακολουθήσαμε δημιουργήθηκε μία δομή επανάληψης, ένας βρόγχος. Ως αποτέλεσμα αυτού του βρόχου λαμβάνουμε ότι τα K-κέντρα αλλάζουν σταδιακά τη θέση τους έως ότου να μην επέρχονται άλλες αλλαγές, δηλαδή μέχρι τα κέντρα αυτά να σταθεροποιηθούν και να αποτελέσουν τα τελικά κέντρα καθεμίας ομάδας. Ακόμη, οι ιδιότητες του κάθε αντικειμένου της εικόνας πρέπει να αντιστοιχούν σε διανύσματα. Με αυτό τον τρόπο γίνονται γνωστές οι αποστάσεις μέσω μιας διαφοράς, η οποία βασίζεται συνήθως στο χρώμα, την ένταση, τη σύσταση ή τη θέση ενός pixel ή έστω έναν ισορροπημένο συνδυασμό αυτών των παραγόντων. Η διαδικασία αυτή αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση της συνολικής διαφοράς των συστάδων ή στη συνάρτηση τετραγωνισμού απόκλισης.

Το μειονέκτημα που έχει αυτή η μέθοδος για τον υπολογισμό του αλγορίθμου, έγκειται στο γεγονός ότι δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε σε πόσες ομάδες πρέπει να κατηγοριοποιήσουμε τα δεδομένα μας. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει καμία γενική θεωρητική λύση για τον εντοπισμό του βέλτιστου αριθμού ομάδων για οποιοδήποτε δεδομένο σύνολο στοιχείων. Γι' αυτό το λόγο προτείνεται μία κατά

προσέγγιση λύση, με την οποία μπορεί να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων πολλαπλών εφαρμογών του αλγορίθμου με διαφορετικές τιμές του  $K$  και να επιλεγεί ο καλύτερος σύμφωνα με ένα δεδομένο κριτήριο. Εφαρμόζοντας αυτή τη λύση οφείλουμε να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί, καθώς οι μεγάλες τιμές του  $K$  οδηγούν μεν σε μικρότερες τιμές απόκλισης, αλλά και σε αυξανόμενο κίνδυνο σύγχυσης των ομάδων.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι η διαδικασία του αλγορίθμου ολοκληρώνεται πάντα, χωρίς όμως ο αλγόριθμος  $K$ -means να εντοπίζει πάντα τη βέλτιστη λύση. Η ποιότητα του αποτελέσματος εξαρτάται από την αρχική θέση των κέντρων των ομάδων (ιδιαίτερα όταν αυτά δίνονται τυχαία) και φυσικά και το πλήθος τους (δηλαδή των αριθμό  $K$ ). Μειονέκτημα για τον αλγόριθμο αποτελεί ότι ο αριθμός  $K$ -ομάδων είναι μια παράμετρος εισαγωγής. Όπως προαναφέρθηκε, μία άστοχη επιλογή του  $K$  μπορεί να αποδώσει ελλιπή αποτελέσματα. Ωστόσο διαθέτουμε την δυνατότητα να εκτελέσουμε τον αλγόριθμο πολλές φορές, προκειμένου να βελτιώσουμε τα αποτελέσματά του.

### **Fuzzy C-means**

Ο ασαφής  $C$ -μέσος πραγματοποιεί τμηματοποίηση βασισμένη στην ασαφή θεωρία συνόλων. Ο αλγόριθμος Fuzzy  $C$ -means αποτελεί μία μέθοδο ομαδοποίησης που επιτρέπει στα δεδομένα να ανήκουν σε περισσότερες ομάδες. Στην προσπάθειά μας να κάνουμε πιο κατανοητή την τεχνική Fuzzy  $C$ -means προχωρήσαμε στη δημιουργία του παρακάτω πίνακα, στον οποίο αναφέρονται τα βήματα που ακολουθούμε.

<b>1.</b> Αρχικοποίηση του μητρώου με τυχαίες τιμές
<b>2.</b> Υπολογισμός των τιμών των κέντρων των ομάδων
<b>3.</b> Υπολογισμός του κόστους και τερματισμός του όταν ξεπεράσει το όριο.
<b>4.</b> Επανάληψη υπολογισμού του μητρώου
<b>5.</b> Επιστροφή στο βήμα 2 μέχρι να μην επέρχονται αλλαγές στο μητρώο.

Το μειονέκτημα των μεθόδων  $C$ -means και  $K$ -means είναι ότι κάθε φορά πρέπει να ορίζεται εξ αρχής ο αριθμός των ομάδων.

### **2.3 Αξιολόγηση εικόνων**

Όλες οι παραπάνω διαδικασίες αποσκοπούν στην τελική αξιολόγηση της εικόνας και των ευρημάτων σε αυτή. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτές τις τεχνικές στις ιατρικές εικόνες. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η διάγνωση ή θεραπεία μιας ασθένειας. Παραδείγματος χάρη, εάν σε μία ιατρική εικόνα βρεθεί ένας όγκος, ο ιατρός μπορεί να μετρήσει το μέγεθος του όγκου και να αξιολογήσει το σχήμα του, στοιχείο το οποίο μαρτυρά πολύ συχνά το πόσο επιθετικός και κακοήθης είναι.

Άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα που συναντάμε στις εικόνες της βιοψίας ήπατος, όπου αφού εντοπίσουμε τις φυσαλίδες του λίπους (τα σημεία συσσώρευσης λίπους), μπορεί ο γιατρός να μετρήσει το μέγεθός τους σε σχέση με ολόκληρο τον ιστό. Με αυτό τον τρόπο είναι εφικτός ο υπολογισμός του ποσοστού λίπους που διαθέτει ο ιστός.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΒΙΟΨΙΩΝ ΗΠΑΤΟΣ

Η ηπατική στεάτωση απαιτεί ακριβή διάγνωση, καθώς η εξάπλωση αυτής της ασθένειας μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα υγείας (βλέπε κεφάλαιο 1). Γι' αυτό το λόγο η αυτοματοποιημένη εύρεση λίπους μέσω ανάλυσης της εικόνας αποτελεί ένα θέμα το οποίο έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές. Η ακριβής μορφομετρική και ποσοτική αξιολόγηση του βαθμού στεάτωσης μαζί με άλλα χαρακτηριστικά διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο κατά την εκτίμηση της συσσώρευσης ηπατικού λίπους. Υπάρχει πλούσιο υλικό που καλύπτει αυτό το θέμα με πολλά βιβλία αναφοράς. Στο παρόν κεφάλαιο πρόκειται να παρουσιάσουμε και να αναλύσουμε τις σημαντικότερες μεθόδους που αναφέρουν οι μελετητές στα δημοσιευμένα έργα τους.

#### **Μέθοδος Marsman**

Η παρουσίαση των μεθόδων ανάλυσης λίπους ξεκινάει με τον Marsman. Η διμερής μελέτη του (εργαστηριακή πιλοτική και κλινική αναδρομική) συγκρίνει την παραδοσιακή ερμηνεία της στεάτωσης από τον παθολόγο με μία αυτοματοποιημένη μέτρηση που προσδιορίζεται από ένα σύστημα ανάλυσης εικόνας. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η μελέτη αξιολογεί ποιο είναι το καλύτερο λογισμικό, το παθολογικό ή το αυτοματοποιημένο, το οποίο εφαρμόζεται σε περιπτώσεις μεταμόσχευσης σε ασθενείς με ηπατική στεάτωση. Η ηπατική στεάτωση (λιπώδες ήπαρ) προκαλείται από ποικίλους παράγοντες, χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν το υπερβολικό βάρος (παχυσαρκία), η μεγάλη κατανάλωση αλκοόλ και ο διαβήτης τύπου II (ζάχαρο).

Η διαδικασία ξεκινάει με την μακροσκοπική εξέταση που κάνει ο ιατρός στο συκώτι, κατά τη διάρκεια της οποίας παρατηρεί τα σημάδια που δείχνουν αν έχει γίνει συσσώρευση λίπους. Εάν ο ιατρός υποψιάζεται ότι ο ασθενής πάσχει από ηπατική στεάτωση, τότε η ιστολογική αξιολόγηση του δότη ήπατος πραγματοποιείται πριν από τη μεταμόσχευση. Στο εργαστήριο διεξάγεται έρευνα με ένα αυτοματοποιημένο πρόγραμμα λογισμικού ανάλυσης (Image Pro Plus, Media Cybernetics, Silver Springs, MD), το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως για την αρχειοθέτηση και την ανάλυση ψηφιακών εικόνων από διάφορους τύπους ιστών. Λόγω της ευκολίας στη χρήση και την ευρεία εφαρμογή, το πρόγραμμα αυτό έχει αποδείξει τη χρησιμότητά του σε πολλαπλά πεδία της εργαστηριακής έρευνας.

Στην πιλοτική μελέτη οι ψηφιακές εικόνες λήφθηκαν μέσω ενός μικροσκοπίου με ένα βίντεο συστηματικής αρχειοθέτησης. Χρησιμοποιώντας το αυτοματοποιημένο λογισμικό, το συνολικό ποσοστό της περιεκτικότητας σε λίπος εμφανιζόταν στις ψηφιακές εικόνες, οι οποίες έπειτα ορίζονταν σε ομάδες. Τα δείγματα βιοψίας εξετάστηκαν από μία ανατόμο παθολόγο που υπολόγισε τη συνολική ποσότητα λίπους. Στην κλινική μελέτη λήφθηκε επίσης το ποσοστό περιεκτικότητας σε λίπος από τις αναφορές του παθολόγου, που εμφανίζεται στον ιατρικό φάκελο του νοσοκομείου. Η ανάλυση του ποσοστού αιματοξυλίνης και ηωσίνης χρώσης πραγματοποιήθηκε με το αυτοματοποιημένο λογισμικό.

Συνολικά σε αυτή τη μελέτη αξιολογήθηκε ένα αυτοματοποιημένο πρόγραμμα ανάλυσης εικόνας για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του λίπους, τόσο σε ανθρώπους που πάσχουν από ηπατική στεάτωση, όσο και σε αρουραίους. Η στεάτωση αποτελεί ένα σχετικά κοινό εύρημα σε δότες ήπατος, όπως επιβεβαίωσε η κλινική μελέτη. Από τα δείγματα βιοψίας στους αρουραίους συμπεραίνεται ότι αυτά ήταν ευκολότερο να ερμηνευθούν από έναν παθολόγο και ένα αυτοματοποιημένο λογισμικό, δηλαδή τα δύο αυτά εργαλεία μέτρησης σχετίζονται άμεσα μεταξύ τους. Όλα τα δείγματα βιοψίας που χρησιμοποιήθηκαν χρωματίστηκαν με αιματοξυλίνη και ηωσίνη, αλλά παρ' όλα αυτά είναι συγκεκριμένα σημεία λίπους διαθέσιμα.

Το αυτοματοποιημένο λογισμικό παρέχει μία αξιόπιστη μέθοδο αυτοματοποίησης και απλούστευσης, προκειμένου να γίνει προσδιορισμός της ποσότητας λίπους στα

δείγματα ήπατος του εργαστηρίου και στα δείγματα δότη βιοψίας ήπατος πριν τη μεταμόσχευση. Βασική προϋπόθεση αυτής της τεχνικής αποτελεί η τοποθέτηση ενός μικροσκοπίου με μία ψηφιακή κάμερα και υπολογιστή. Πρόκειται για εξοπλισμό που βρίσκεται συνήθως σε ένα σύγχρονο εργαστήριο παθολογίας. Μόνο μία διαφάνεια βιοψίας από δότη ήπατος είναι έτοιμη, ενώ οι διάφορες ψηφιακές εικόνες λαμβάνονται και αποθηκεύονται πριν εκτελέσει το λογισμικό την αξιολόγηση. Αυτή η διαδικασία διαρκεί περίπου 5-10 λεπτά.

Κατά την εφαρμογή αυτής της τεχνικής πρέπει να δοθεί έμφαση στην εξέταση της ερμηνείας του ποσοστού στεάτωσης από την αυτοματοποιημένη τεχνική. Λόγω του γεγονότος ότι το αυτοματοποιημένο λογισμικό υπολογίζει την επιφάνεια λίπους στο μικροσκόπιο, ενώ ο παθολόγος υπολογίζει τη συνολική έκταση που περιλαμβάνει η στεάτωση, οι δύο αυτές τεχνικές αποδίδουν διαφορετικά αποτελέσματα, δηλαδή διαφορετικά ποσοστά στεάτωσης. Με την αυτοματοποιημένη τεχνική δεν μπορεί να εντοπιστεί εάν η στεάτωση είναι ήπιας, μέτριας ή πολύ μεγάλου βαθμού. Ένα άλλο μειονέκτημα αυτής της τεχνικής αποτελεί το γεγονός ότι πολύ λίγα ήπατα με στεάτωση έγιναν δεκτά για μεταμόσχευση.

Εν κατακλείδι, η στεάτωση είναι ένας σημαντικός παράγοντας κινδύνου για τη δυσλειτουργία του μοσχεύματος μετά από τη μεταμόσχευση ήπατος. Η μελέτη δείχνει ότι ο προσδιορισμός της στεάτωσης σε δότες ήπατος μπορεί να αυτοματοποιηθεί με τη χρήση ενός λογισμικού προγράμματος ανάλυσης εικόνας. Περαιτέρω έρευνα θεωρείται απαραίτητη ώστε να διαπιστωθεί, εάν μία αυτοματοποιημένη τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της αξιολόγησης των δοτών ήπατος για κλινική μεταμόσχευση.

### **Μέθοδος Liquori**

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η δημιουργία μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας, η οποία θα είναι σε θέση να αξιολογήσει με ακρίβεια τη μορφομετρική ανάλυση και το βαθμό συσσώρευσης λίπους στο ήπαρ. Η λιπώδης διήθηση του ήπατος έγινε μέσω εξέτασης του ήπατος αρουραίων και μέσω βιοψίας του ήπατος

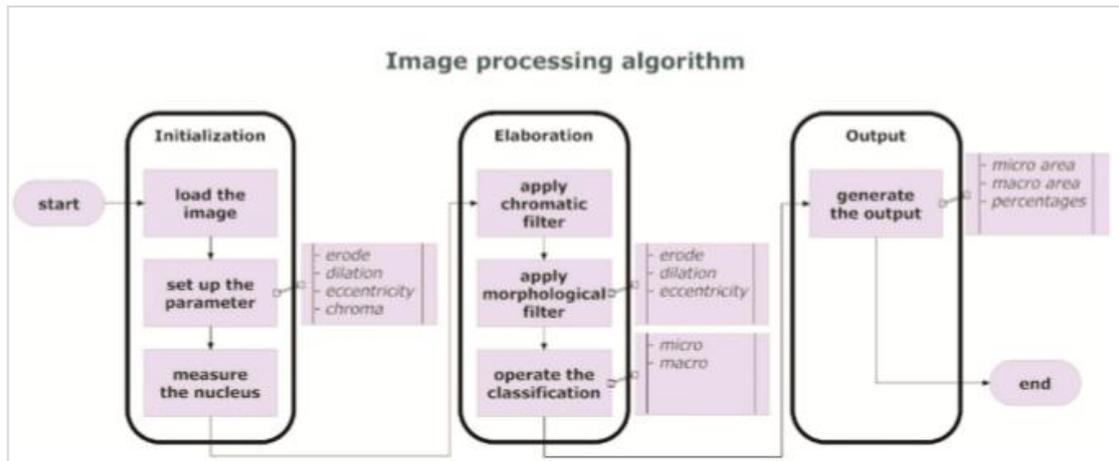
παχύσαρκων ασθενών που υποβάλλονται σε χειρουργική επέμβαση. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ειδικό λογισμικό που λειτουργεί με έναν μορφολογικό χειριστή. Τα αποτελέσματα στην έρευνα ήταν σταθερά τόσο στην περίπτωση του αρουραίου όσο και στους ασθενείς. Μία βελτίωση στην τοπογραφική, μορφομετρική και ποσοτική εκτίμηση της λιπώδους διηθήσεως ήπατος επιτυγχάνεται με το λογισμικό πρόγραμμα σε συνεργασία με έναν μορφολογικό χειριστή.

Το λογισμικό εικόνας αναπτύχθηκε με το πρόγραμμα MathWorks Matlab 2007b. Ιστολογικά τα σημεία με το λίπος χαρακτηρίζονται από χρωματική ομοιομορφία και κυκλικό σχήμα. Αυτά τα χαρακτηριστικά χρησιμοποιήθηκαν ως διακριτά κριτήρια στην ανάπτυξη αλγορίθμων για το αυτοματοποιημένο λογισμικό επεξεργασίας εικόνας.

Το λογισμικό λειτουργεί με τους ακόλουθους αλγορίθμους:

- κλιματισμός εικόνας
- χρωματική και μορφολογική ανάλυση (αναγνώριση προτύπων)
- ταξινόμηση και ερμηνεία αποτελεσμάτων.

Ο κλιματισμός εικόνας είναι απαραίτητος για τη διόρθωση των χρωματικών διαβαθμίσεων που συνήθως συμβαίνουν, όταν οι εικόνες λαμβάνονται σε μη ομοιόμορφο φωτισμό. Για την επιλογή των περιοχών με λίπος η χρωματική και μορφολογική ανάλυση ακολουθεί 4 βήματα. Ξεκινώντας από τον αλγόριθμο αρχικοποίησης ο ίδιος επιλέγει μία άμορφη μάζα (ένα σύνολο κατακερματισμού των περιφερειών) που περιέχει όλο το λίπος. Ως δεύτερο στάδιο η άμορφη μάζα υφίσταται επεξεργασία από ένα φίλτρο διάβρωσης (Erosion). Αυτός ο μορφολογικός χειριστής μειώνει όλες τις άμορφες μάζες. Στο τρίτο στάδιο ένα φίλτρο διαστολής επεκτείνει τις μάζες στο αρχικό τους μέγεθος. Στο τέταρτο βήμα το φίλτρο εκκεντρικότητας μειώνει τον αριθμό των μαζών ελέγχοντας το σχήμα τους.



Εικόνα. 3.1: Βήματα για τον εντοπισμό των περιοχών με λίπος

Τα υψηλά αποτελέσματα ανάλυσης της εικόνας εξαρτώνται από την ποιότητα των ιστολογικών δειγμάτων. Η έρευνα αποσκοπεί στη σημαντική βελτίωση των διαθέσιμων μέχρι σήμερα μεθόδων, ακολουθώντας τα παρακάτω (Εικ. 3.1):

1. χρήση λεπτών ιστολογικών τομών (2 εκ.),
2. χρωματισμός των τομών για να σημειωθούν όλες οι περιοχές με κυτταρόπλασμα (που δε διαθέτουν όμως λίπος),
3. χρήση ενός ειδικού λογισμικού που προμηθεύεται έναν μορφολογικό φορέα για να χρωματίσει μία από τις επιλεγμένες περιοχές λίπους.

Ακολουθώντας αυτά τα βήματα υπάρχει το πλεονέκτημα ότι παρέχονται ιστολογικά καλά καθορισμένες εικόνες. Επίσης αποφεύγονται τυχόν σφάλματα που ενδέχεται να έχουν προκύψει από την αυτοματοποιημένη επιλογή κριτηρίων, η οποία βασίζεται μόνο στα χρωματικά κριτήρια. Αυτά τα λάθη μπορούν να αποφευχθούν επειδή το πρόγραμμα θεωρεί ότι τόσο το σχήμα όσο και το χρώμα αποτελούν κριτήρια για την επιλογή των περιοχών με λίπος. Τέλος αξίζει να σημειώσουμε ότι αυτή η αυτοματοποιημένη καινοτόμος διαδικασία ανάλυσης εικόνας φαίνεται ότι πληροί τις προϋποθέσεις που είναι απαραίτητες για να εφαρμοστεί σε δείγματα ανθρώπινου ήπατος, προσφέροντας πολλά υποσχόμενες διαγνωστικές προοπτικές.

## **Μέθοδος Kong**

Αυτή η έρευνα προτείνει ένα μηχανογραφημένο μοντέλο ανάλυσης, το οποίο επιτρέπει τους ποσοτικούς χαρακτηρισμούς των περιοχών με στεάτωση σε εικόνες μικροσκοπίου από παιδιατρικές βιοψίες ήπατος. Έχουν πραγματοποιηθεί επίσης μετρήσεις λίπους από την ανάλυση των δεδομένων με τη χρήση του μαγνητικού τομογράφου. Τα αρχικά αποτελέσματα δείχνουν μία μεγάλη βαθμού σύνδεση μεταξύ των περιοχών με στεάτωση, κβαντισμένη με εικόνες μικροσκοπίου και ποσοστά λίπους που υπολογίζονται από τα δεδομένα απεικόνισης της ραδιολογίας. Επιπλέον έγινε σύγκριση των επιδόσεων της προτεινόμενης μεθόδου ανάλυσης με εκείνες τριών εγκεκριμένων παθολόγων και έναν διάσημο εμπορικό αλγόριθμο.

Η μέθοδος που χρησιμοποίησε ο Kong και η ομάδα του προσφέρει υψηλή ανάλυση στις εικόνες για να γίνει ο εντοπισμός του λίπους. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν την ανωτερότητα της μεθόδου αυτής, τόσο σε παρατηρητές ως ανθρώπινους κριτές, όσο και στην εμπορική μέθοδο με όρους της ισχύος συσχέτισης του ηπατικού λίπους. Αυτό αποδεικνύει ότι η ανεπτυγμένη μέθοδος υπόσχεται την παραγωγή ποσοτικών και αξιόπιστων αποτελεσμάτων ανάλυσης για την καλύτερη υποστήριξη περαιτέρω μελέτης της ηπατικής νόσου.

## **Μέθοδος Weijers**

Ο Weijers και οι συνεργάτες του πρότειναν μία μέθοδο για την απεικόνιση της στεάτωσης χρησιμοποιώντας ιστούς χαρακτηριστικών παραμέτρων από εικόνες υπερήχων. Η μέθοδος αυτή δοκιμάστηκε σε εικόνες υπερήχων αγελάδων και πέτυχε υψηλές προσδοκίες. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ο διαδερμικός έναντι του διεγχειρητικού ποσοτικού υπερήχου για την παρουσίαση της ηπατικής στεατώσεως βοοειδών.

Στόχος της έρευνας είναι να εξετάσει την υπόθεση ότι η ποσοτική ανάλυση διαδερμικών εικόνων υπερήχου μπορεί να υπολογίσει το περιεχόμενο λίπους του ήπατος με σαφήνεια και ακρίβεια, αντίστοιχα με τη χρήση της διεγχειρητικής μεθόδου. Δεύτερος στόχος της μελέτης αποτελούσε η απάντηση στο ερώτημα, εάν

ένα φάσμα μίμησης ιστού θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως αναφορά για αυτόματο κέρδος αποζημίωσης έναντι βάθους, αντί για τη χρήση δεδομένων από ένα σύνολο αγελάδων χωρίς ηπατικές αλλοιώσεις.

Μία μελέτη διεξήχθη σε αγελάδες με γαλακτοπαραγωγή μετά από τον τοκετό ως ένα ζωικό μοντέλο της ανθρώπινης μη αλκοολικής λιπώδους νόσου του ήπατος. Πέντε εικόνες του ήπατος Transc και πέντε Intraop λήφθηκαν από κάθε ζώο και λήφθηκε μία βιοψία ήπατος. Σε δείγματα ηπατικού ιστού, μετρήθηκε το περιεχόμενο τριακυλογλυκερόλης με βιοχημική ανάλυση και οι ηπατικές αλλοιώσεις, εκτός από ηπατική στεάτωση, αποκλείστηκαν από την κλινική εξέταση. Διάφορα βήματα προεργασίας έγιναν πριν από τα χαρακτηριστικά υπερήχων των ιστών, αντλήθηκαν παράμετροι από εικόνες B – Mode. Σταδιακή ανάλυση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης πραγματοποιήθηκε σε ένα δοκιμαστικό σύνολο και τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν για την ομάδα δοκιμής (N = 75) για να προβλεφθεί η περιεκτικότητα TAG στο ήπαρ.

Σε όλες τις περιπτώσεις, ο υπολειπόμενος συντελεστής εξασθένησης ήταν η μόνη επιλεγμένη παράμετρος. Η ανάλυση των χαρακτηριστικών λειτουργίας του δέκτη εφαρμόστηκε για να υπολογιστεί η απόδοση και η περιοχή κάτω από την καμπύλη της πρόβλεψης του TAG και για να συγκριθούν η ευαισθησία και η ειδικότητα των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν. Ελήφθησαν υψηλές τιμές ROC για AUC (95%), η ευαισθησία (87%) και η ειδικότητα (83%) και για τις δύο εφαρμογές Intraop και Transc με την ομάδα ελέγχου, καθώς και με βάση φάσμα AGC. Συνεπώς, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα Transc είναι ισοδύναμα με τα αποτελέσματα Intraop. Επιπλέον ισοδύναμες τιμές ROC, κατά της διάρκειας χρήσης TMP AGC, υποδεικνύει την πιθανή χρήση διορθώσεων με βάση το TMP αντί για διορθώσεις με βάση την κανονική ομάδα. Οι υψηλές τιμές πρόβλεψης δείχνουν ότι η μη επεμβατική ποσοτική US έχει μεγάλες δυνατότητες για την καταγραφή και παρουσίαση της ηπατικής στεάτωσης στις αγελάδες.

## Μέθοδος Vanderbeck

Ο Vanderbeck και το ερευνητικό του προσωπικό παρουσίασε μία αυτόματη ταξινόμηση των λευκών περιοχών σε βιοψίες ήπατος με ελεγχόμενη μηχανική μάθηση. Η αυτοματοποιημένη αξιολόγηση των ιστολογικών χαρακτηριστικών της μη αλκοολικής λιπώδους νόσου του ήπατος (NAFLD) μπορεί να μειώσει την ανθρώπινη μεταβλητότητα και να παρέχει συνεχή παρά ημιποσοτική μέτρηση αυτών των χαρακτηριστικών. Ως μέρος μιας ευρύτερης προσπάθειας, προβαίνουμε σε αυτόματη ταξινόμηση της στεάτωσης, του βασικού χαρακτηριστικού της NAFLD, και άλλων περιοχών που εμφανίζονται ως λευκές στις εικόνες της αιματοξυλίνης και τμημάτων βιοψίας με ήπαρ χρωματισμένο με ηωσίνη. Αυτές οι περιοχές περιλαμβάνουν μακροστεατώσεις, κεντρικές φλέβες, πυλαίες φλέβες, πυλαίες αρτηρίες, αιμοφόρα και χοληφόρα αγγεία. Ελήφθησαν σε 20απλή μεγέθυνση ψηφιακές εικόνες αιματοξυλίνης και διαφάνειες με ηωσίνη από 47 βιοψίες ήπατος ασθενών με φυσιολογικό ηπατικό ιστό (20) και με NAFLD (27).

Οι εικόνες αναλύθηκαν με τη χρήση ταξινομητών εποπτευόμενης μηχανικής μάθησης, που δημιουργήθηκαν βάσει των παρατηρήσεων δύο ειδικών παθολόγων. Ο αλγόριθμος ταξινόμησης λειτουργεί με 89% συνολική ακρίβεια. Προσδιόρισε μακροστεατώση (macrosteatosis), χοληφόρες οδούς, πυλαία φλέβα και αιμοφόρα αγγεία με υψηλή ακρίβεια και ανάκληση ( $\geq 82\%$ ). Ο προσδιορισμός των κεντρικών φλεβών και πυλαίων αρτηριών ήταν λιγότερο δυνατός, αλλά ακόμα καλός. Η ακρίβεια του ταξινομητή για τον εντοπισμό macrosteatosis είναι η καλύτερη, όπως παρατηρήθηκε.

Η ακριβής αυτοματοποιημένη ταυτοποίηση μακροστεατώσεως που επετεύχθη με αυτόν τον αλγόριθμο έχει χρήσιμες κλινικές και σχετικές με την έρευνα εφαρμογές. Η ακριβής ανίχνευση μικροσκοπικών ανατομικών στοιχείων του ήπατος μπορεί να διευκολύνει σημαντικά επόμενες εργασίες, όπως την εντόπιση άλλων ιστολογικών βλαβών σύμφωνα με τη μικροσκοπική ανατομία του ήπατος.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 4.1 Εισαγωγή

Στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος εντοπισμού λίπους σε εικόνες βιοψίας Tsimplakidou et al.. Πρόκειται για μία πρόσφατη και καινοτόμο μέθοδο, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάστηκαν από τους συντελεστές της σε συνέδριο Βιοιατρικής Τεχνολογίας με ευφυή συστήματα και εφαρμογές στην φροντίδα υγείας που διεξήχθη στο Παρίσι. ("Automated hepatic steatosis assesment through liver biopsy image processing", Intelligent Systems and Applications in Healthcare, Paris, France, 2016). Βασισμένοι σε αυτή την επιστημονική μέθοδο, επιχειρήσαμε την αναπαραγωγή των βημάτων της και την εφαρμογή της σε μικρό σύνολο εικόνων. Η υλοποίηση έγινε σε περιβάλλον MATLAB.

Πρόκειται για μία νέα μεθοδολογία, η οποία αποσκοπεί στην αυτόματη ανίχνευση και στην ποσοτικοποίηση της ηπατικής στεάτωσης που έχει αναπτυχθεί. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην έρευνα και την ανάλυση της εικόνας βιοψίας ήπατος από ασθενείς που πάσχουν από ηπατίτιδα C. Στην προκειμένη περίπτωση μελετήθηκαν 20 εικόνες βιοψίας ήπατος. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μέσω των ερευνών μας δείχνουν ότι η μέθοδος είναι σε θέση να εκτιμήσει με ακρίβεια το συκώτι με στεάτωση.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτελείται από δύο στάδια. Τα διάφορα στάδια επεξεργασίας της εικόνας χρησιμοποιούνται προκειμένου να παραχθεί η εικόνα, στην οποία γίνεται η ανίχνευση και η αξιολόγηση του λίπους. Στο δεύτερο στάδιο

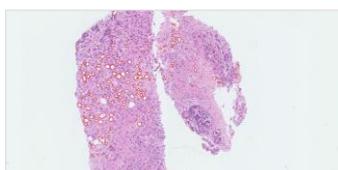
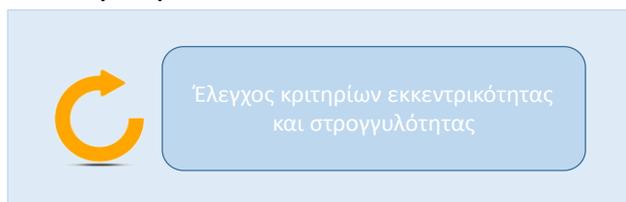
ανιχνεύτηκαν οι διάφορες υποψήφιες περιοχές της εικόνας και στη συνέχεια εκτελέστηκε ο αρχικός έλεγχος με βάση την εκκεντρικότητα της περιοχής, με στόχο να γίνει σαφές εάν μια υποψήφια περιοχή θα απορριφθεί ή θα προχωρήσει στο επόμενο βήμα.

Οι υποψήφιες περιοχές που διαθέτουν λιπαρά και δεν απορρίπτονται μέσα από το πρώτο στάδιο, στη συνέχεια αξιολογούνται περαιτέρω με κριτήριο το σχήμα τους (κυκλικότητα). Αυτό το χαρακτηριστικό υπολογίζεται με βάση την περιοχή και την περίμετρο της περιοχής (αν η τιμή είναι 1, τότε η περιοχή είναι ένας κύκλος). Οι περιφέρειες που πληρούν το κριτήριο της στρογγυλάδας θεωρούνται ως λίπος.

#### ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ



#### Επαναληπτική Διαδικασία



**Τελική  
Εικόνα**

Εικόνα 4.1: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας

## 4.2 Εντοπισμός λευκών περιοχών μέσα στον ιστό

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζεται η αναλυτική περιγραφή των βημάτων της μεθόδου, όπως αυτή διαμορφώθηκε για τις απαιτήσεις αυτής της πτυχιακής, ακολουθώντας βέβαια την εργασία της Tsimplakidou et al..

### ΠΡΩΤΟ ΣΤΑΔΙΟ: Προεπεξεργασία εικόνας

Στο πρώτο στάδιο της μεθόδου πραγματοποιείται η επεξεργασία της εικόνας. Με αυτό τον τρόπο η αρχική εικόνα της βιοψίας του ήπατος υποβάλλεται σε αρκετά στάδια επεξεργασίας, προκειμένου να επιτευχθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο η ανάλυση της εικόνας. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τα στάδια επεξεργασίας της εικόνας και ποιες μέθοδοι χρησιμοποιούνται.

#### 1. Μεγέθυνση εικόνας:

Η εικόνα μεγεθύνεται από 2 φορές περισσότερο. Η μεγέθυνση γίνεται με την μέθοδο της παρεμβολής και αποσκοπεί στην καλύτερη ευκρίνεια των περιοχών του λίπους.

#### 2. Μετατροπή εικόνας σε κλίμακα του γκρι:

Η εικόνα μετατρέπεται από RGB σε κλίμακα του γκρι χρησιμοποιώντας ένα weighted άθροισμα των R, G και B:

$$I_{grayscale} = 0.2989R + 0.5870G + 0.1140B \quad (\text{εξ. 7})$$

όπου,  $I_{grayscale}$  είναι η κλίμακα του γκρι της εικόνας και R, G και B είναι οι τιμές έντασης του κάθε καναλιού RGB, αντίστοιχα.

#### 3. Ισοστάθμιση ιστογράμματος:

Η φωτεινότητα της εικόνας ρυθμίζεται με ιστογράμμα εξομάλυνσης.

#### 4. Όξυνση των χαρακτηριστικών:

Αυτό το βήμα γίνεται με τη χρήση της μεθόδου όξυνσης συγκάλυψης που επιστρέφει μια βελτιωμένη έκδοση της κλίμακας του γκρι της εικόνας, το οποίο οξύνει τις άκρες και τα χαρακτηριστικά.

#### 5. Μετατροπή σε δυαδικό:

Τέλος, η εικόνα μετατρέπεται σε δυαδικό χρησιμοποιώντας το ιστόγραμμα κατωφλίου. Το όριο αυτό ορίζεται με βάση μια προσέγγιση δοκιμής και λάθους.

Στη δυαδική εικόνα, όλες οι λευκές περιοχές ανιχνεύονται μετά από έναν αλγόριθμο σε τρία στάδια:

- (i) Αναζήτηση για το επόμενο μη επισημασμένο pixel
- (ii) Χρήση ενός αλγορίθμου flood-fill για την επισήμανση όλων των pixel που περιέχει το συνδεδεμένο συστατικό.
- (iii) Επανάληψη των βημάτων (i) και (ii) έως ότου έχουν επισημανθεί όλα τα pixel.

#### ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΑΔΙΟ: Επαναληπτική διαδικασία

Το δεύτερο στάδιο της μεθόδου αποτελείται από μία επαναληπτική διαδικασία. Το μορφολογικό άνοιγμα εκτελεί μία λειτουργία διάβρωσης που ακολουθείται από μία εργασία διαστολής, χρησιμοποιώντας ένα στοιχείο δόμησης και το μέγεθός του ξεκινάει από 2 και αυξάνεται κάθε φορά που επαναλαμβάνεται, προκειμένου να διαχωριστούν οι περιοχές συσσώρευσης λίπους που ενώνονται. Η εκκεντρότητα της κάθε περιοχής που ανιχνεύεται στην εικόνα υπολογίζεται ως:

$$Eccentricity = \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2} \quad (\text{εξ. 8})$$

(όπου 2a είναι το μήκος του κύριου άξονα και 2b είναι το μήκος του δευτερεύοντα άξονα).

Η εκκεντρότητα δείχνει πού βρίσκεται το κέντρο της περιοχής και παίρνει τις τιμές 0 ή 1, (όπου μηδέν: το σχήμα της περιοχής είναι ένας κύκλος, όπου 1: το σχήμα της περιοχής είναι μια ευθεία γραμμή).

Σε πρώτη φάση επιλέξαμε έναν πιο χαλαρό έλεγχο και ορίστηκε η τιμή του κατωφλιού 0.8. Εάν η εκκεντρότητα του σημείου είναι μεγαλύτερη από 0.8 απορρίπτεται, αλλιώς μεταβαίνει στον επόμενο αυστηρότερο έλεγχο.

Η κυκλικότητα της κάθε περιοχής που ανιχνεύεται στην εικόνα υπολογίζεται από τον τύπο:

$$Roundness = 4\pi \frac{\alpha}{p} \quad (\text{εξ. 9})$$

(όπου  $\alpha$  είναι η περιοχή και  $p$  η περίμετρος της περιοχής).

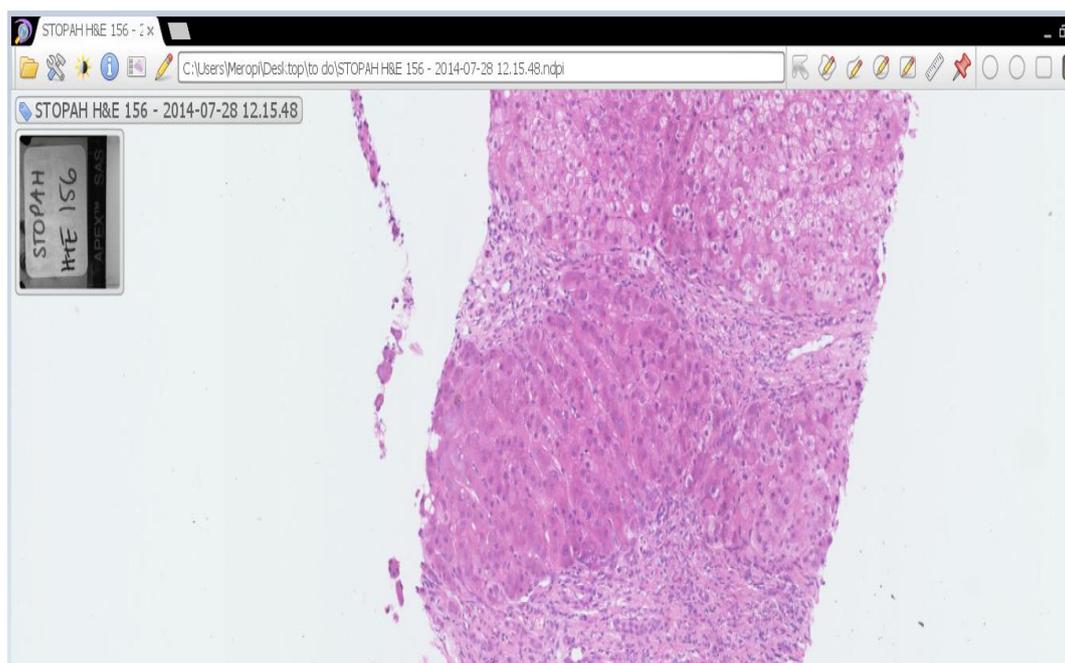
Το αρχικό όριο ως προς την καμπυλότητα έχει οριστεί σε 0,6 και αυξάνεται με κάθε επανάληψη μέχρι να φτάσει το 0.9. Στο τέλος κάθε επανάληψης έχουμε το αποτέλεσμα της εικόνας, η οποία περιλαμβάνει όλες τις περιοχές που προσδιορίζονται ως λίπος σε αυτή την επανάληψη. Για να είμαστε σίγουροι ότι οι περιοχές εντοπίζονται μόνο μία φορά, όλα τα σημεία που αξιολογήθηκαν σε κάθε επανάληψη αφαιρούνται από την εικόνα (είτε δηλαδή ταξινομούνται ως λίπος, είτε απορρίπτονται). Όταν δεν υπάρχουν άλλες περιοχές για αξιολόγηση, τότε η επαναληπτική διαδικασία τερματίζεται. Το τελικό αποτέλεσμα της εικόνας δημιουργείται μέσω της συγχώνευσης όλων των μεμονωμένων εικόνων με τα αποτελέσματα των περιοχών που έχουν εντοπιστεί με λίπος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 5.1 Σύνολο εικόνων

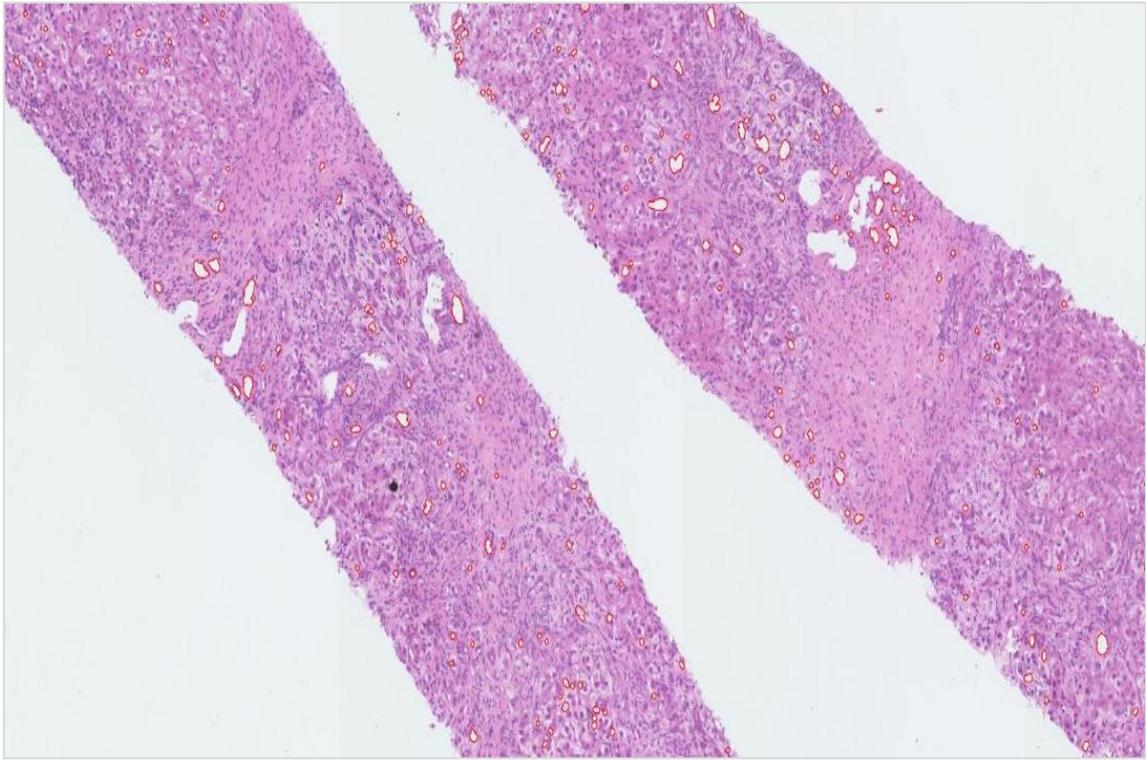
Στην παρούσα εργασία έχουμε χρησιμοποιήσει εικόνες βιοψίας ήπατος από το Imperial College London. Οι εικόνες αυτές έχουν προκύψει από το μικροσκόπιο σάρωσης της εταιρείας Hamamatsu, η οποία παρέχει και το αντίστοιχο λογισμικό για την οπτικοποίηση και την επισημείωση των εικόνων αυτών (Εικ. 5.1). Με τη χρήση αυτού του προγράμματος σημειώσαμε στις εικόνες τα λευκά σημεία, τα οποία δηλώνουν το ηπατικό λίπος.



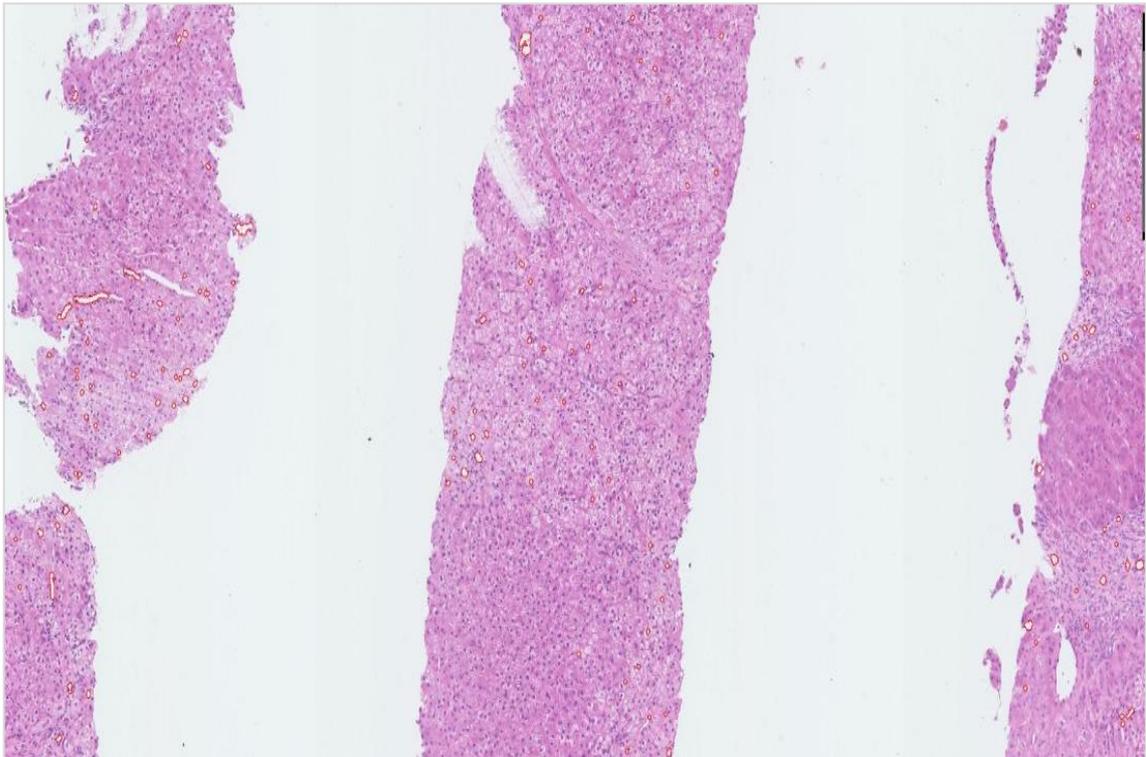
Εικόνα. 5.1: Προβολή εικόνας μέσω του προγράμματος της εταιρείας Hamamatsu

## 5.2 Αποτελέσματα εικόνων

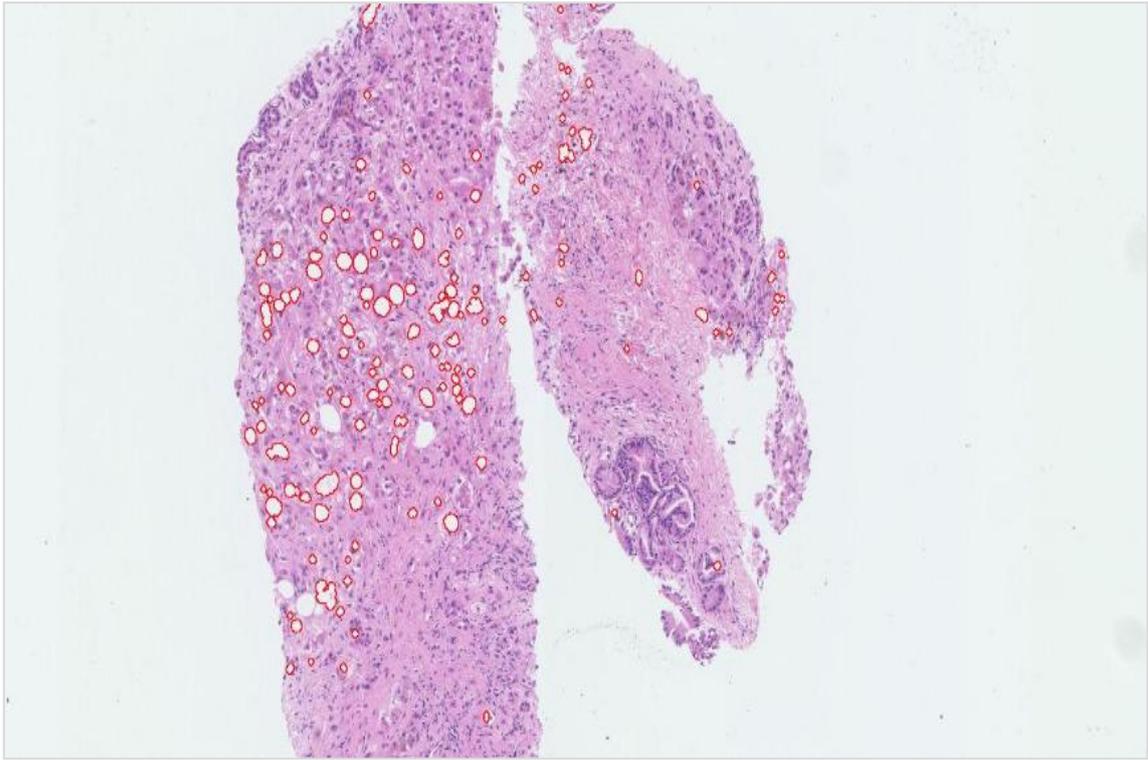
Παρακάτω απεικονίζονται μέρη από τις 20 εικόνες που επεξεργαστήκαμε ακολουθώντας την προαναφερθείσα μέθοδο. Με κόκκινο έχουν επισημανθεί οι λευκές περιοχές που έχουν εντοπιστεί ως λίπος (Εικ. 5.2-5.21). Οι εικόνες οι οποίες επεξεργαστήκαμε αντιστοιχούν σε μεγέθυνση x5 του φακού του μικροσκοπίου και το μέγεθός τους σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνούσε τα 10000x10000 pixels. Εύκολα γίνεται κατανοητό το γεγονός ότι η επεξεργασία τόσο μεγάλων εικόνων είναι ιδιαίτερα απαιτητική. Κατά συνέπεια, πρέπει να εφαρμοστούν οι όποιες μέθοδοι με σεβασμό στις απαιτήσεις της υπολογιστικής ισχύος και μνήμης.



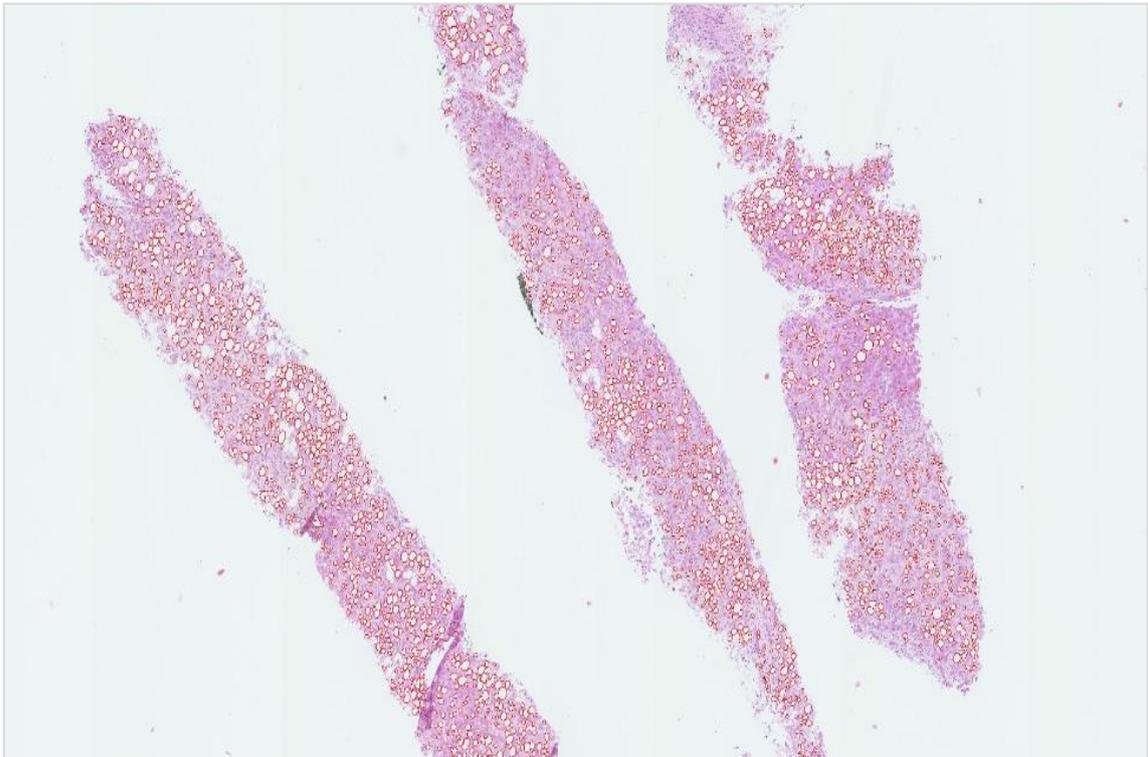
*Εικόνα 5.2: STOPAH\_155.jpg*



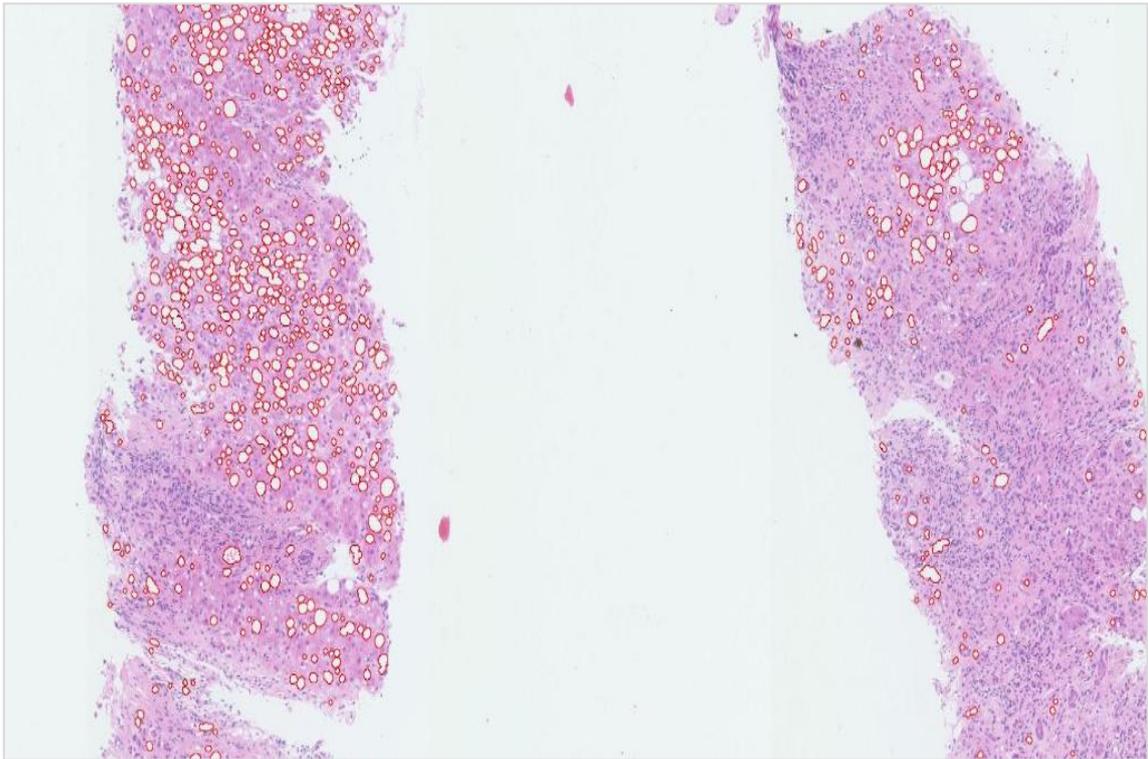
*Εικόνα 5.3: STOPAH\_156.jpg*



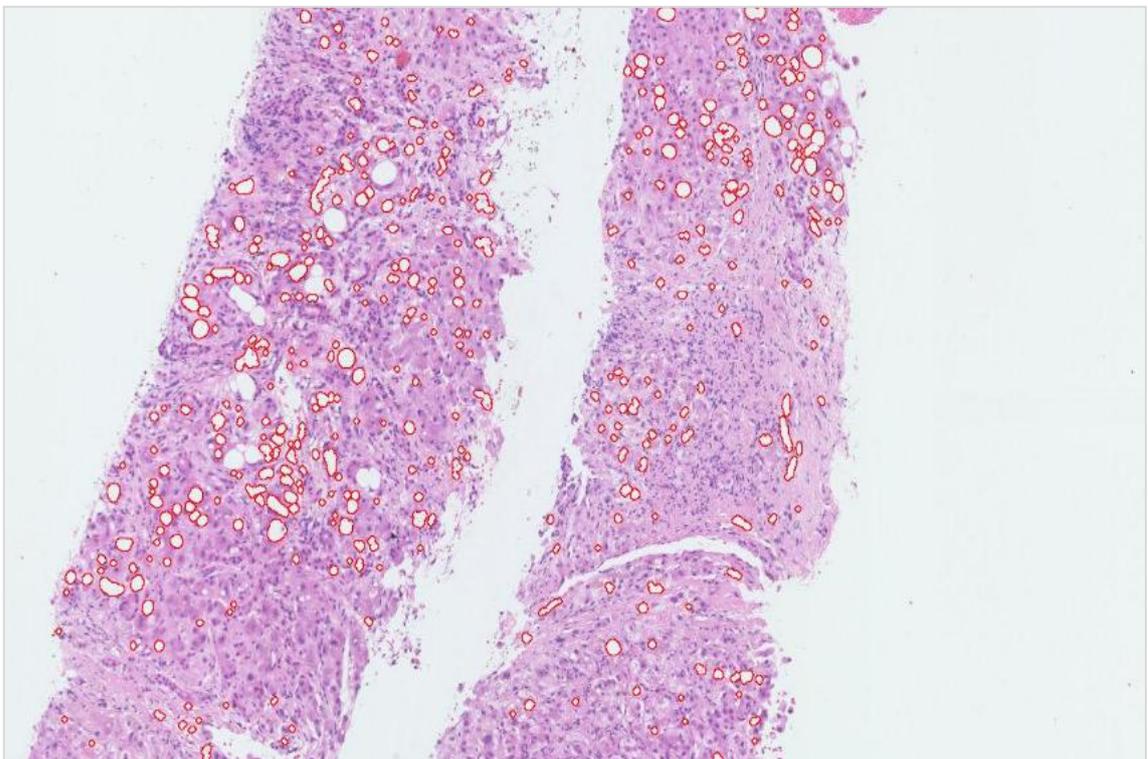
*Εικόνα 5.4: STOPAH\_158.jpg*



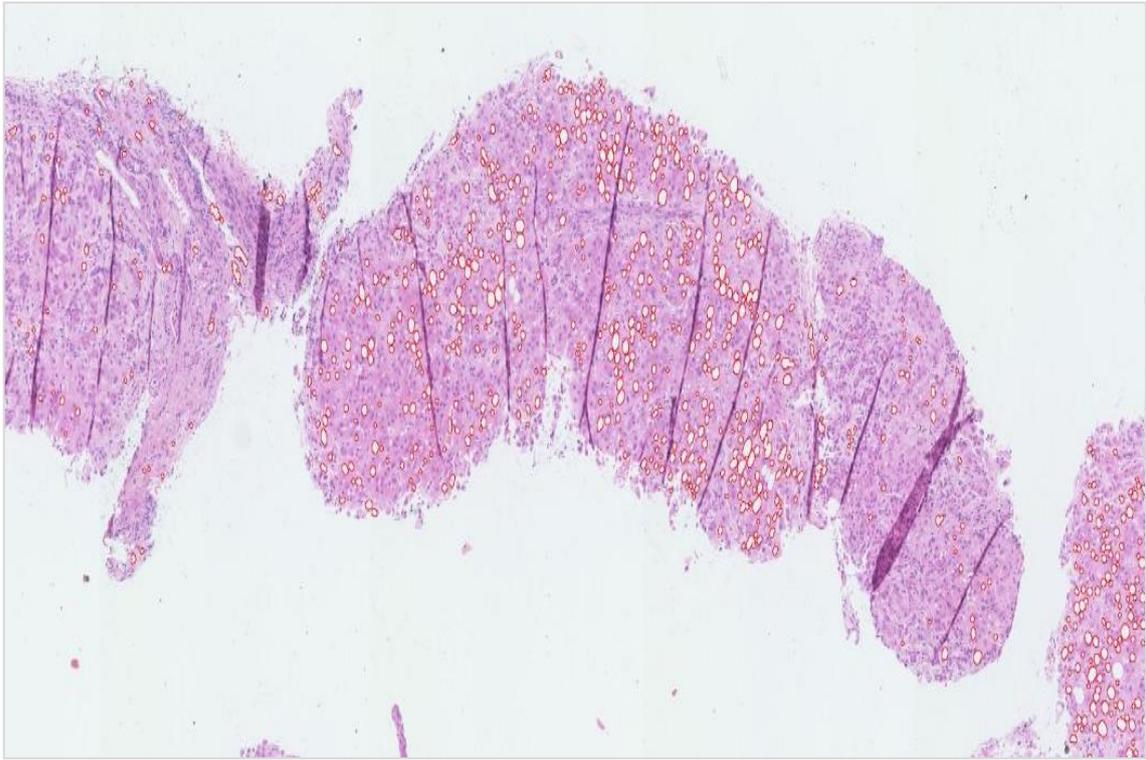
*Εικόνα 5.5: STOPAH\_159.jpg*



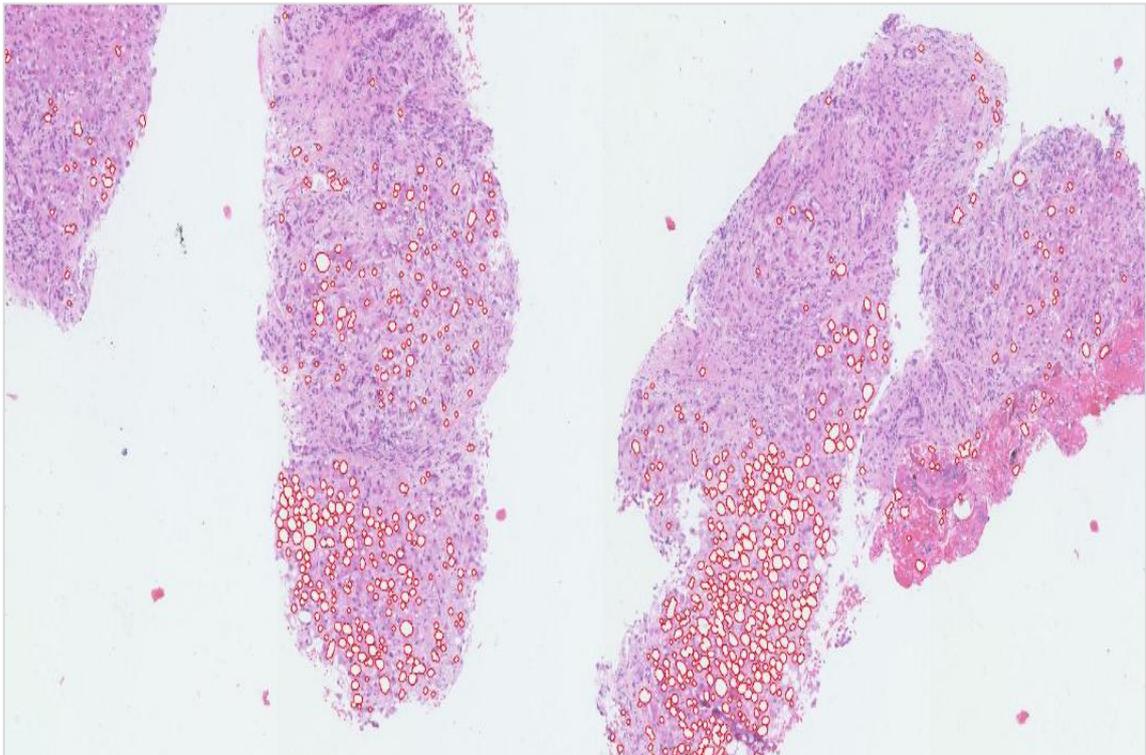
*Εικόνα 5.6: STOPAH\_160.jpg*



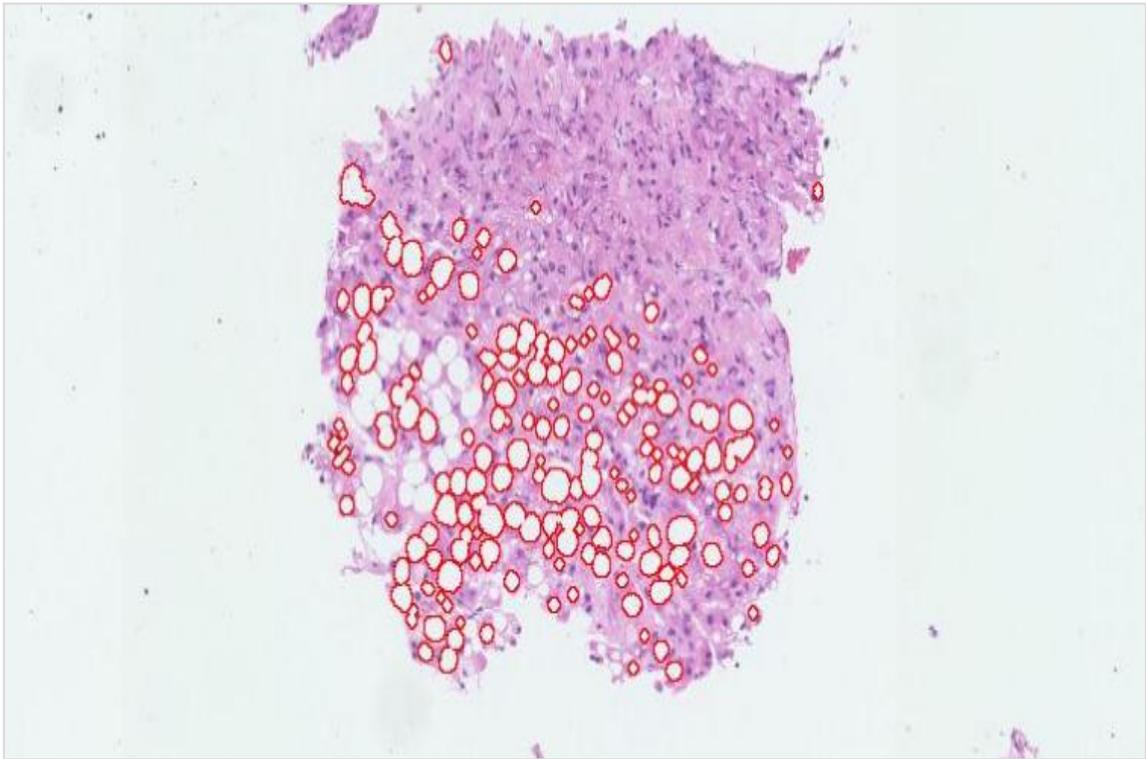
*Εικόνα 5.7: STOPAH\_161.jpg*



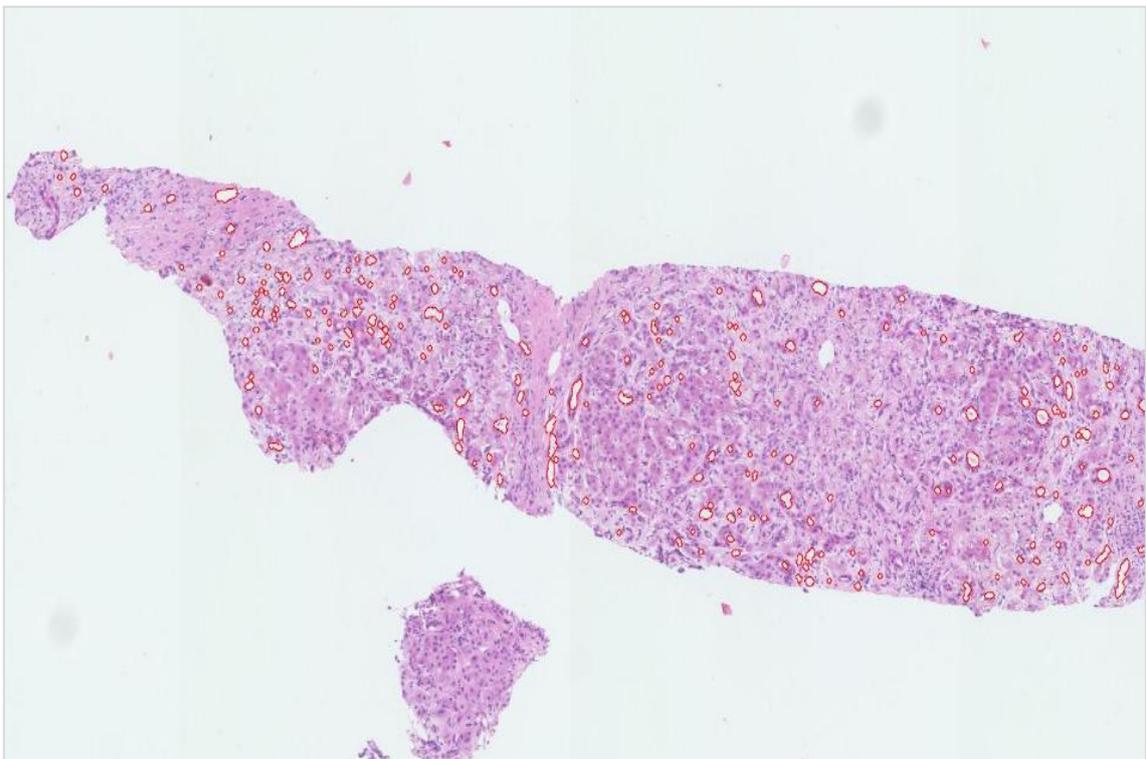
*Εικόνα 5.8: STOPAH\_162.jpg*



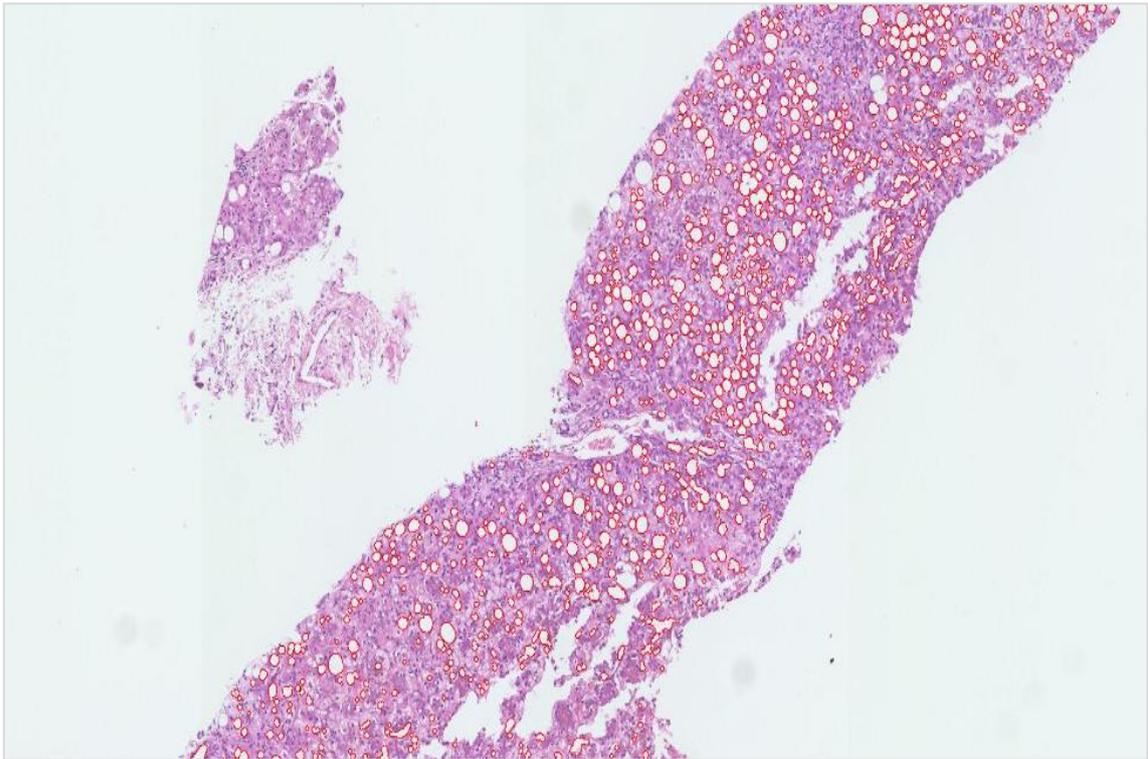
*Εικόνα 5.9: STOPAH\_163.jpg*



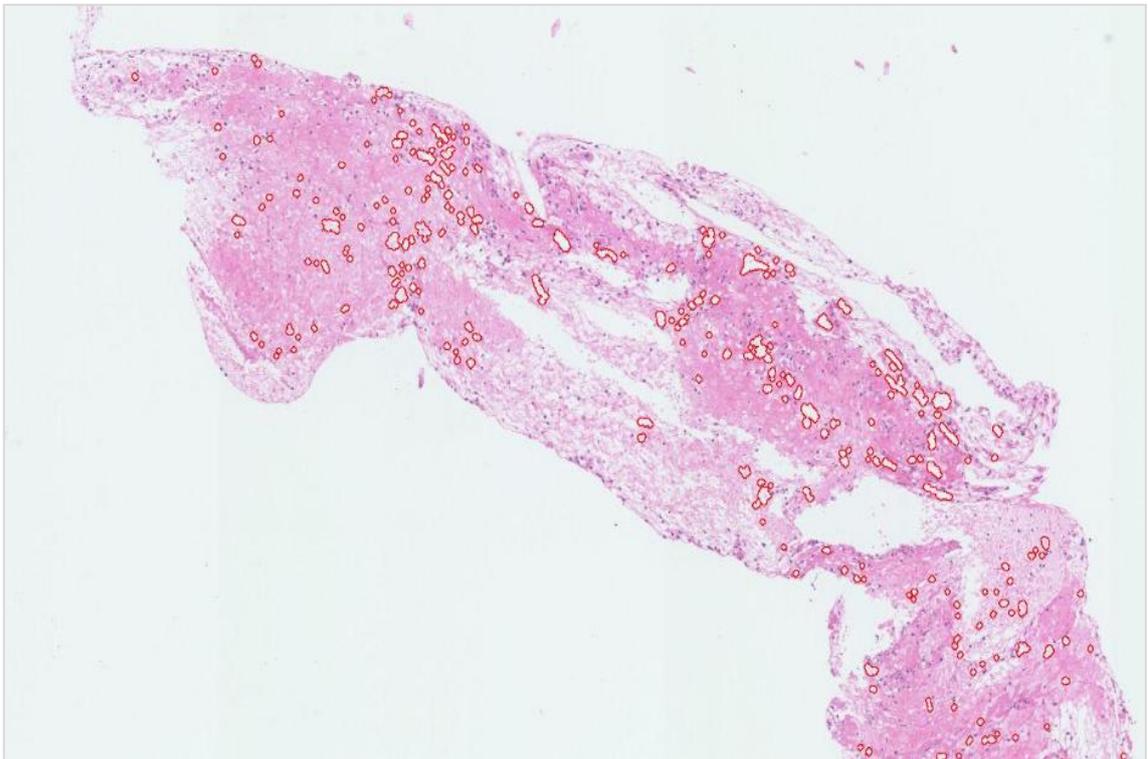
*Εικόνα 5.10: STOPAH\_164.jpg*



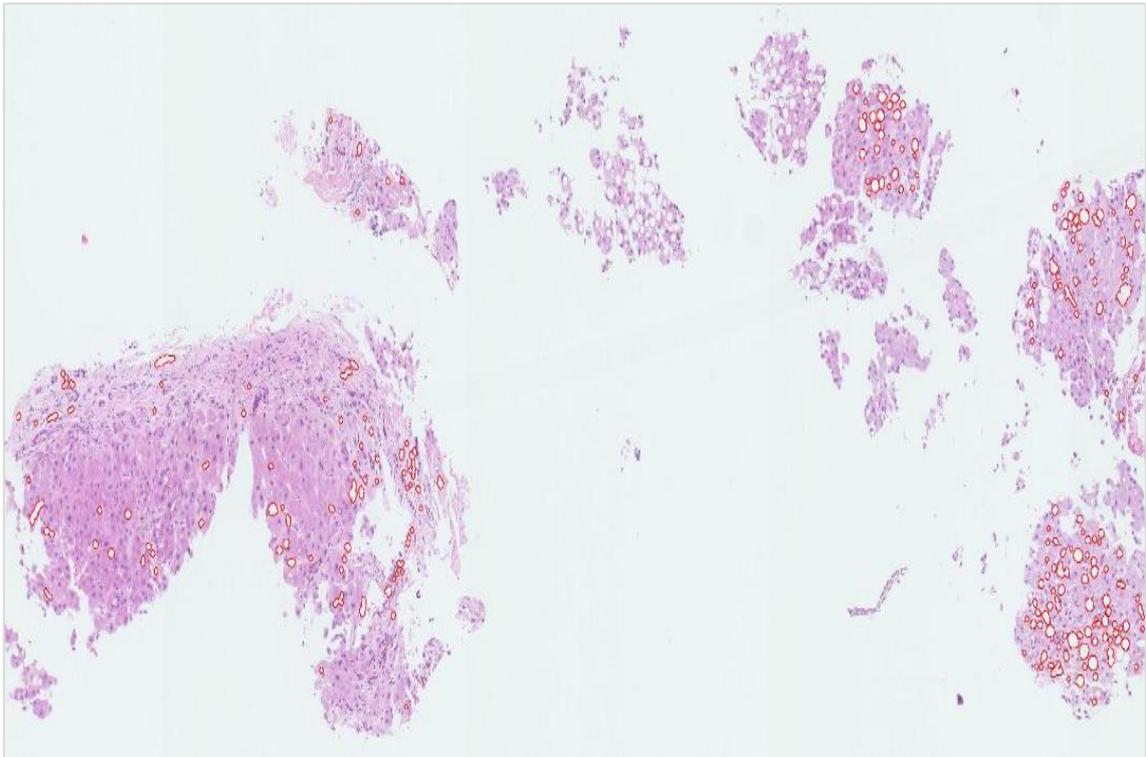
*Εικόνα 5.11: STOPAH\_166.jpg*



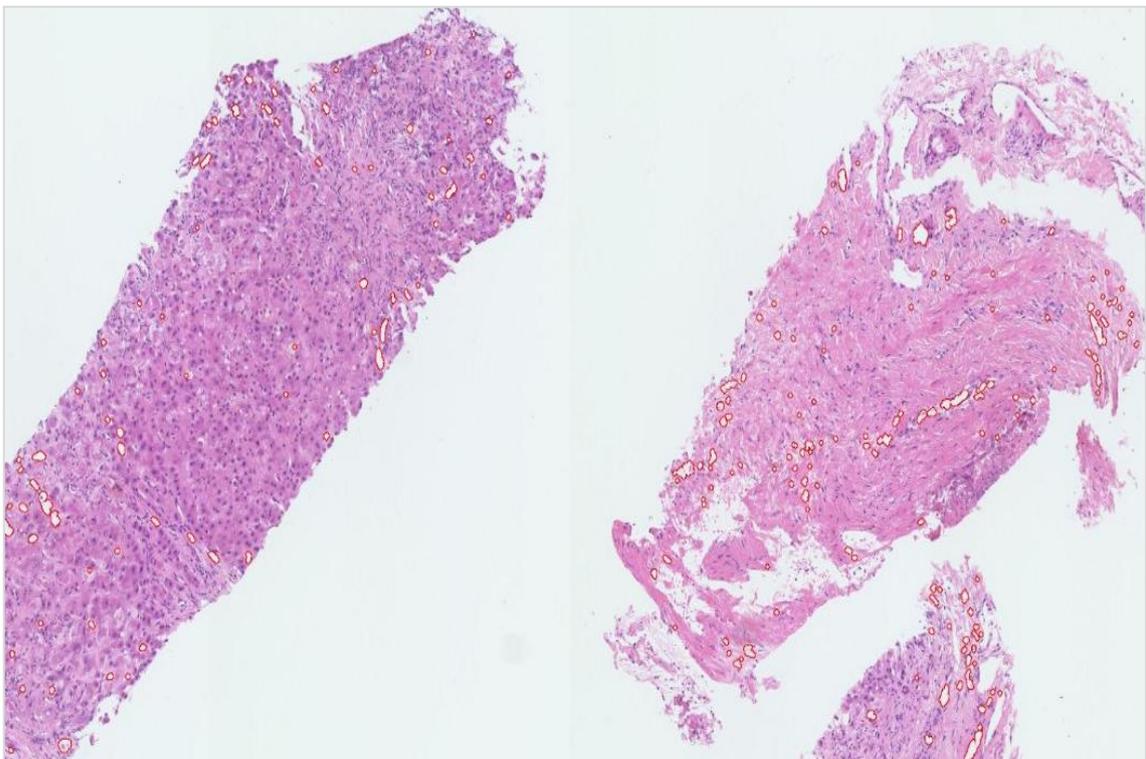
*Εικόνα 5.12: STOPAH\_168.jpg*



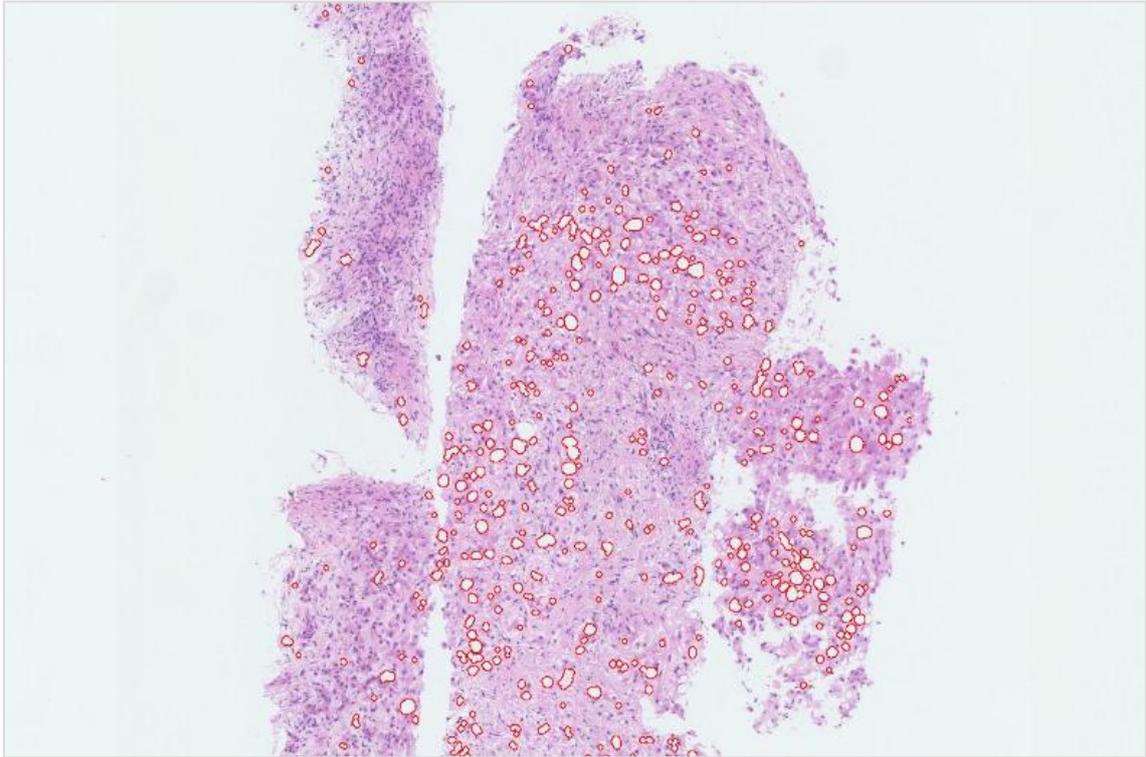
*Εικόνα 5.13: STOPAH\_169.jpg*



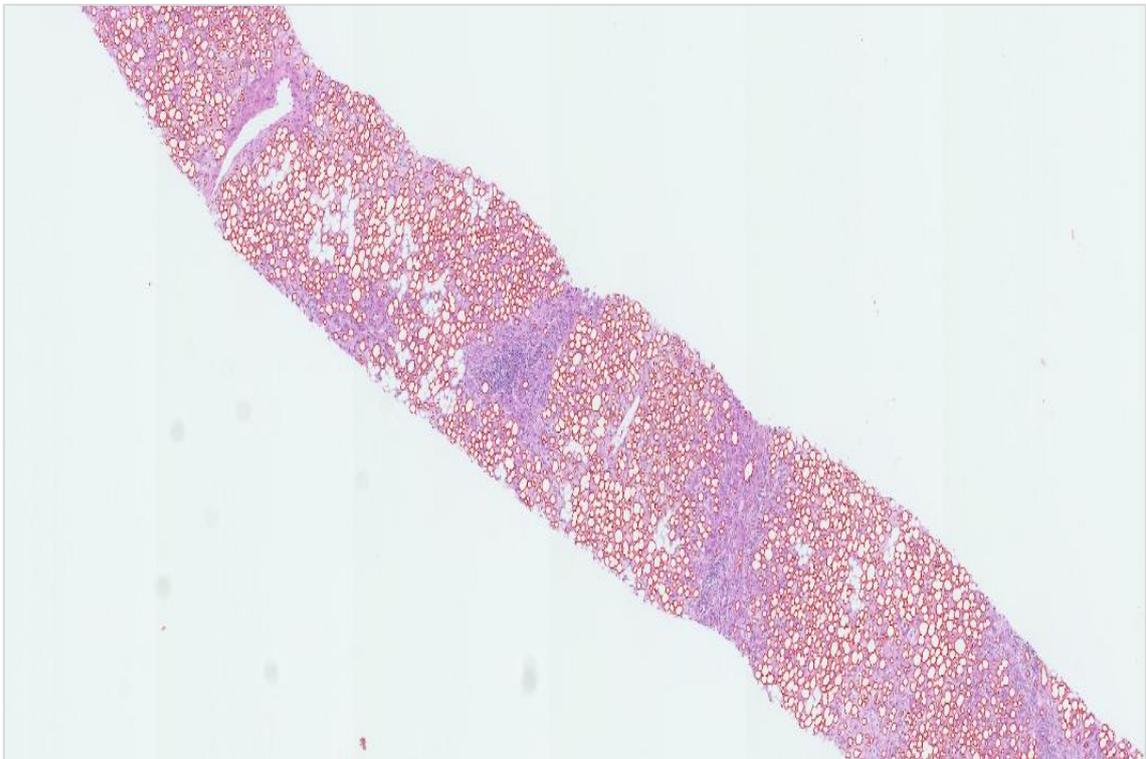
*Εικόνα 5.14: STOPAH\_170.jpg*



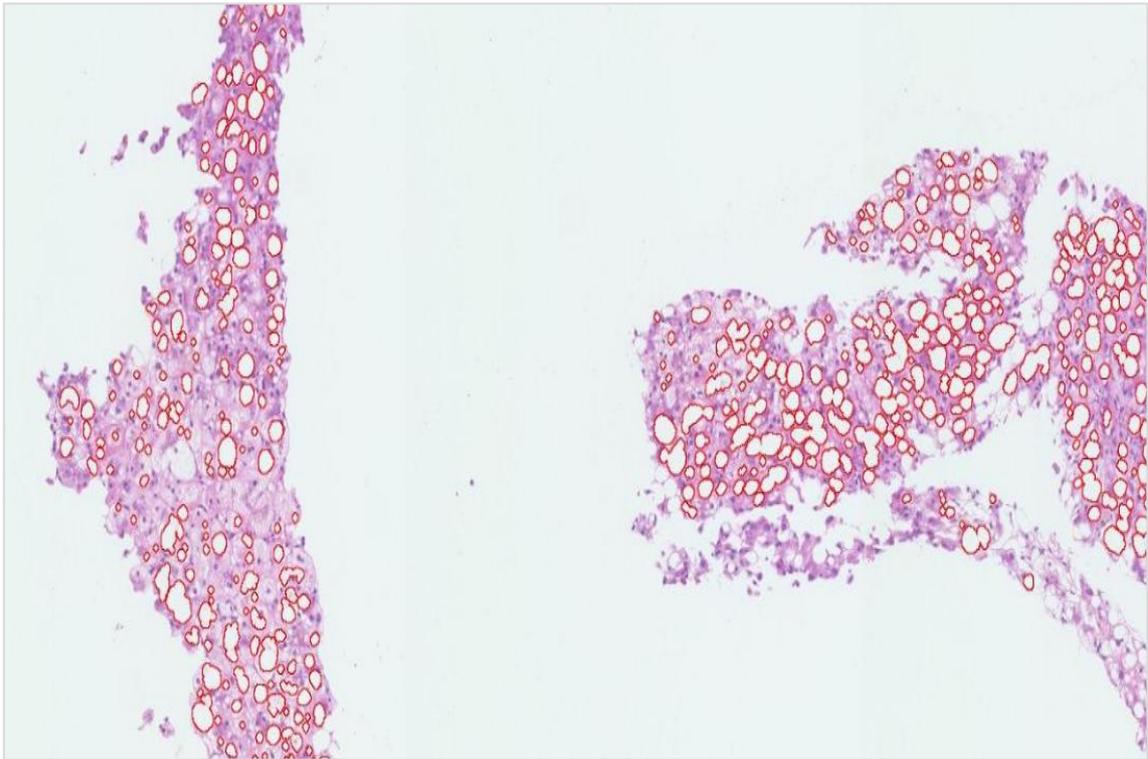
*Εικόνα 5.15: STOPAH\_171.jpg*



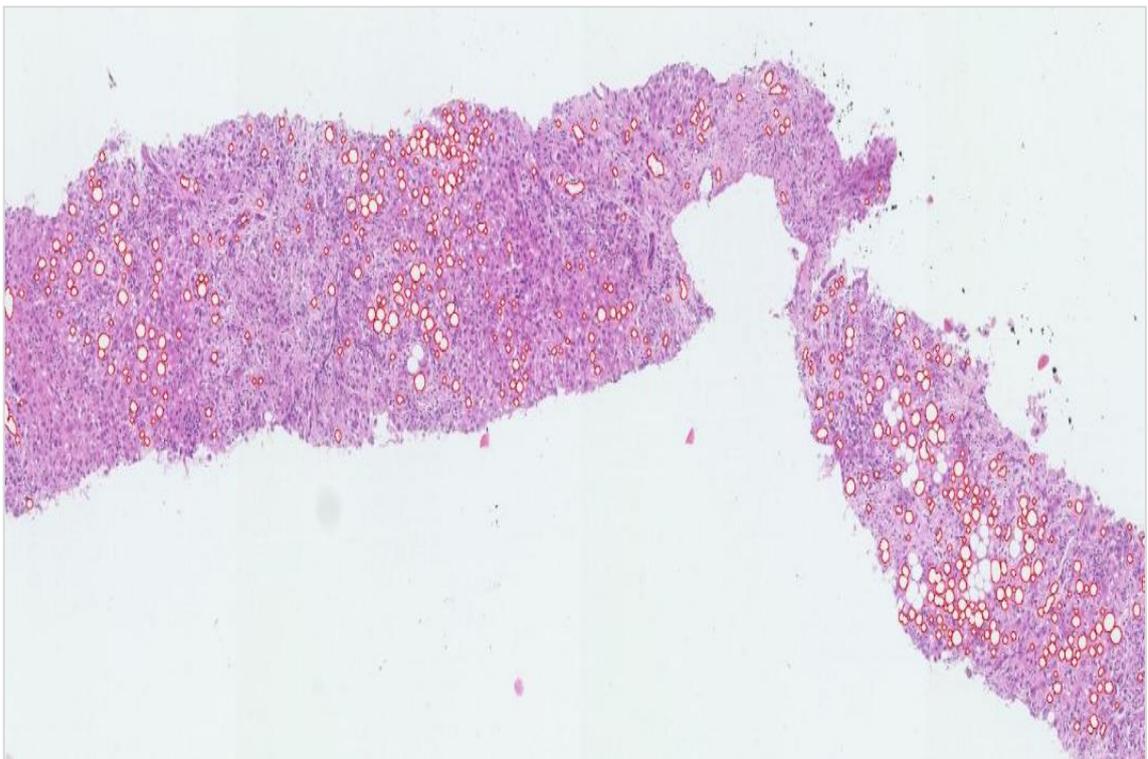
*Εικόνα 5.16: STOPAH\_173.jpg*



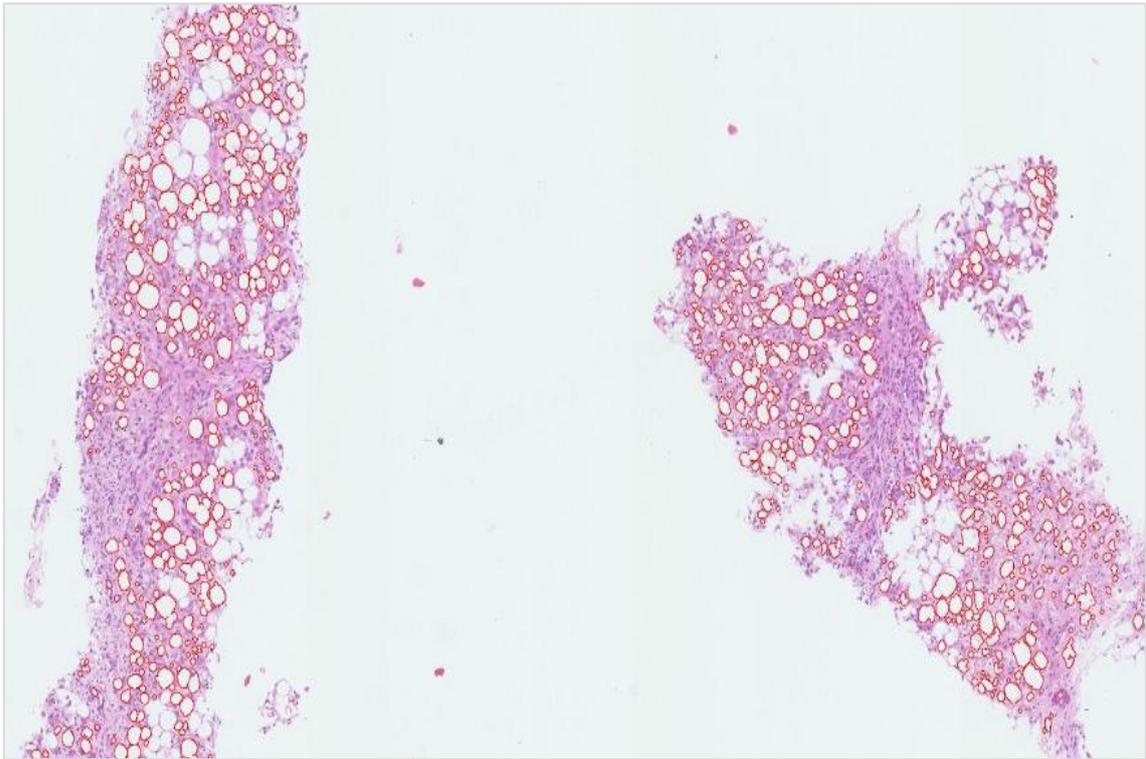
*Εικόνα 5.17: STOPAH\_175.jpg*



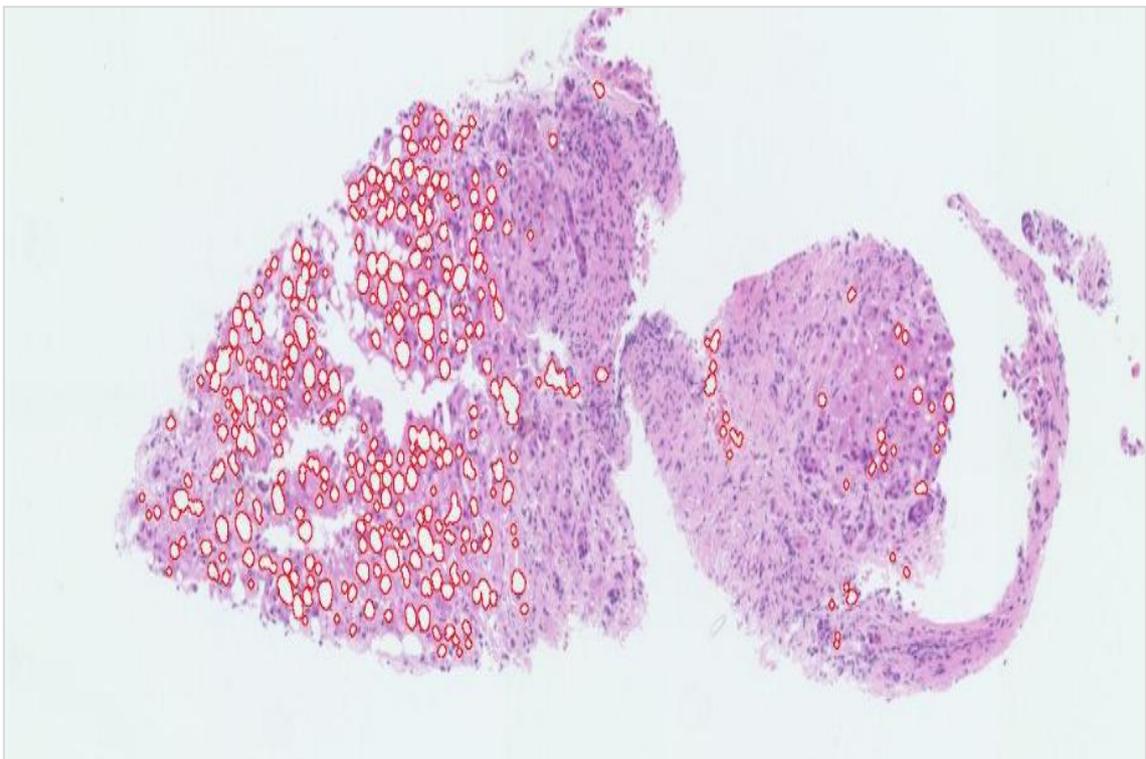
*Εικόνα 5.18: STOPAH\_176.jpg*



*Εικόνα 5.19: STOPAH\_178.jpg*



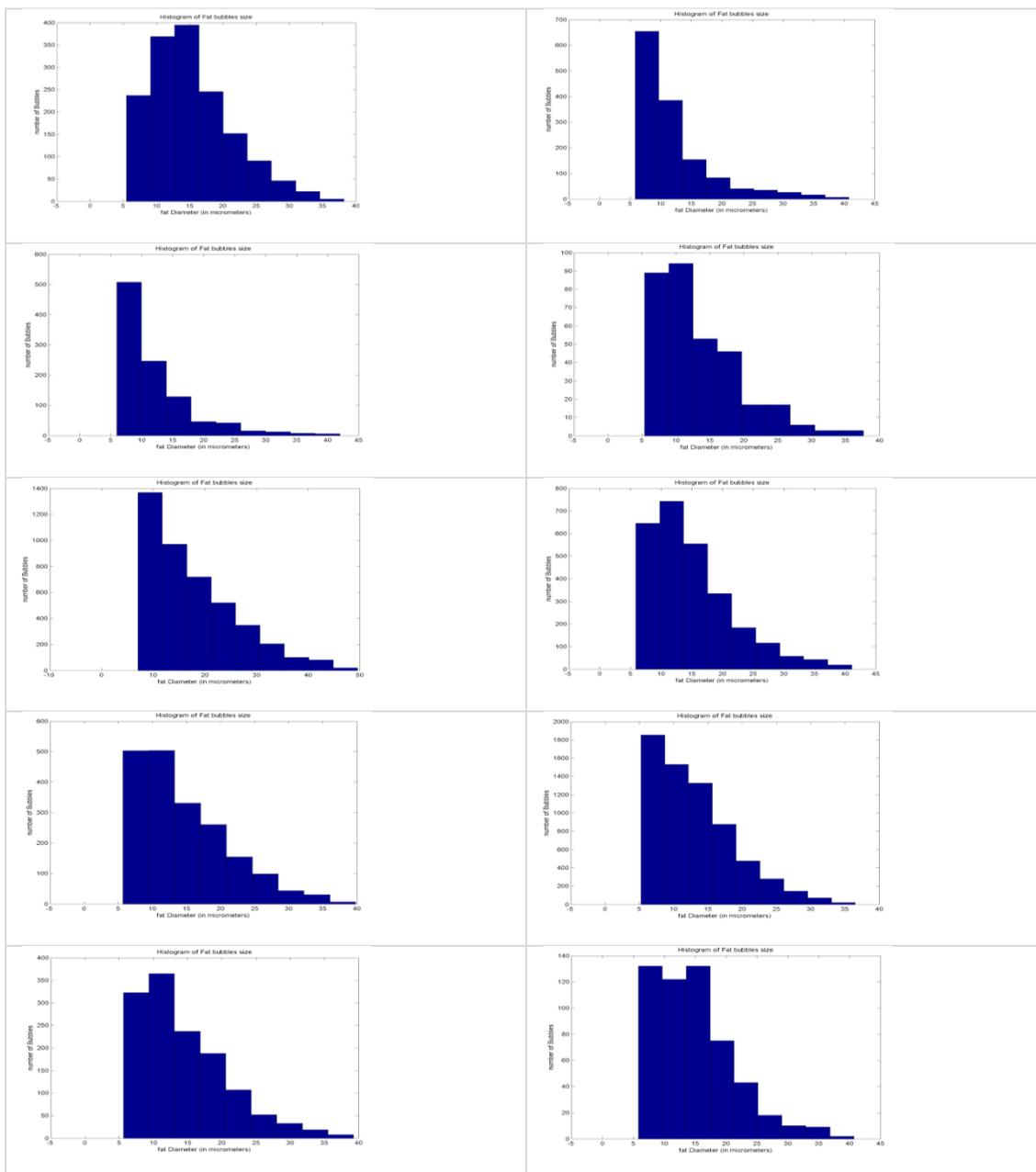
*Εικόνα 5.20: STOPAH\_179.jpg*



*Εικόνα. 5.21: STOPAH\_180.jpg*

### 5.3 Ποσοτικά αποτελέσματα

Τα παρακάτω ιστογράμματα παρουσιάζουν την συχνότητα των μεγεθών των σημείων λίπους για κάποιες από τις εικόνες (Εικ. 5.22). Είναι ένα μέτρο το οποίο διερευνάται, καθώς τα περισσότερα σε πλήθος μεγαλύτερα κύτταρα λίπους φανερώνουν το στάδιο της ασθένειας.



Εικόνα 5.22: Διαγράμματα του ποσοστού λίπους δια του εμβαδού όλου του ιστού

## 5.4 Πίνακας αποτελεσμάτων

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εικόνων που εφαρμόσαμε την μέθοδο: α) το ποσοστό του λίπους στις εικόνες, β) το μέσο εμβαδόν του λίπους, γ) τον χρόνο επεξεργασίας της εικόνας.

	<b>Image</b>	<b>Processing time (sec)*</b>	<b>Ratio (Fat/Tissue) %</b>	<b>mean Fat Diameter (μm)</b>
1	STOPAH_H&E_154	442	7,7	15,3
2	STOPAH_H&E_155	253	1,4	12,2
3	STOPAH_H&E_156	275	1,1	12,1
4	STOPAH_H&E_158	75	2,8	13,5
5	STOPAH_H&E_159	183	17	17,7
6	STOPAH_H&E_160	189	7,5	15
7	STOPAH_H&E_161	146	6,4	14,7
8	STOPAH_H&E_162	412	3,9	13,4
9	STOPAH_H&E_163	121	4	14,4
10	STOPAH_H&E_164	125	8,5	14,9
11	STOPAH_H&E_165	354	10,2	17,5
12	STOPAH_H&E_166	202	2,3	12,4
13	STOPAH_H&E_168	180	11,3	16,5
14	STOPAH_H&E_169	218	2,2	12,8
15	STOPAH_H&E_170	73	4,1	13,5
16	STOPAH_H&E_171	193	2	13,4
17	STOPAH_H&E_173	72	5,8	13,5
18	STOPAH_H&E_174	437	4,5	14
19	STOPAH_H&E_175	324	29,2	21,5
20	STOPAH_H&E_176	209	21,3	19,3

*Εικόνα. 5.23 Πίνακας αποτελεσμάτων*

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας επιχειρήθηκε η αναπαραγωγή μιας πρόσφατης και καινοτόμου μεθόδου που παρουσιάστηκε από τους Tsimplakidou et al.. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας παρουσιάστηκαν από τους συντελεστές της σε συνέδριο Βιοιατρικής Τεχνολογίας με ευφυή συστήματα και εφαρμογές στην φροντίδα υγείας που διεξήχθη στο Παρίσι. ("Automated hepatic steatosis assesment through liver biopsy image processing", Intelligent Systems and Applications in Healthcare, Paris, France, 2016). Την μέθοδο εφαρμόσαμε σε σύνολο 20 εικόνων.

Με την χρήση της μεθόδου μετρήθηκε το ποσοστό του λίπους στους ιστούς που περιέχονται σε όλες τις εικόνες των βιοψιών. Για λόγους οπτικοποίησης, όπως φάνηκε στις εικόνες του προηγούμενου κεφαλαίου, οι περιοχές οι οποίες τελικά χαρακτηρίστηκαν ως λίπος έχουν επισημανθεί με κόκκινο πλαίσιο. Παρατηρώντας τις εικόνες διαπιστώσαμε μία αδυναμία της μεθόδου, η οποία αφορά τις εικόνες που περιέχουν μεγάλο ποσοστό λίπους. Πιο συγκεκριμένα, είμαστε σε θέση να αναγνωρίσουμε εάν η ασθένεια είναι εκτεταμένη, καθώς στις εικόνες οι φυσαλίδες λίπους είναι μεγαλύτερες σε μέγεθος και πολύ κοντά μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό όμως έχει ως αποτέλεσμα την συσσωμάτωση πολλών φυσαλίδων σε μία μόνο περιοχή, όπου αυτές συναθροίζονται και επικαλύπτονται. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι δυνατόν τα κριτήρια κυκλικότητας και εκκεντρότητας να αποτυγχάνουν, καθώς οι περιοχές αυτές αποκλίνουν αρκετά από το κυκλικό σχήμα. Ως αποτέλεσμα αυτές δεν χαρακτηρίζονται τελικά ως λίπος, λανθασμένα.

Ένα άλλο ενδιαφέρον άξιο σχολιασμού στοιχείο είναι η εξαγωγή των ιστογραμμάτων για τα μεγέθη των φυσαλίδων του λίπους. Σε ασθενείς οι οποίοι βρίσκονται σε πιο προχωρημένο στάδιο της ασθένειας (και επομένως έχουν και μεγαλύτερο ποσοστό λίπους στο ήπαρ) παρουσιάζονται αρκετά μεγαλύτερες περιοχές (βλ. τις τιμές σε μικρόμετρα). Το γεγονός αυτό μπορεί κανείς πράγματι να το διαπιστώσει και παρατηρώντας τις εξαγόμενες εικόνες. Ωστόσο, το αποτέλεσμα αυτό αριθμητικά είναι επαυξημένο από το φαινόμενο που περιγράφηκε αμέσως προηγουμένως με τα συσσωματώματα λίπους. Ο συλλογισμός είναι ο εξής: όσο περισσότερο λίπος παρουσιάζει μια βιοψία, τόσο περισσότερα συσσωματώματα θα παρουσιάζονται και

άρα αυτά θα αυξάνουν την μέση τιμή του μεγέθους των περιοχών που έχουν εντοπιστεί και χαρακτηρίζονται ως λίπος.

Το πεδίο της επεξεργασίας ιατρικής εικόνας, το οποίο μελετήθηκε στην παρούσα εργασία θα εξακολουθήσει να κεντρίζει το ενδιαφέρον των ερευνητών παθολόγων, δεδομένου ότι δομές οι οποίες μπορούν να εντοπιστούν με αυτόματο τρόπο σε μια βιοψία ενδεχομένως στο μέλλον να καθοδηγούν στην θεραπεία του ασθενούς. Τέτοιου τύπου αυτόματες διαδικασίες έχουν χώρο στην υποστήριξη της απόφασης των ειδικών, οι οποίοι στην παρούσα φάση αποφαινόμενοι για την πορεία του ασθενούς σύμφωνα με την υποκειμενική τους κρίση.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Gale Encyclopedia of Medicine. (2008). Hepatic steatosis [Online]. Available: <http://medicaldictionary.thefreedictionary.com/Hepatic+steatosis>.

J. Kong, J. Lee Michael, P. Bagci, P. Sharma, D. Martin, N. Volkan Adsay, J. H. Saltz and A. B. Farris, “Computer-based Image Analysis of Liver Steatosis with Large-scale Microscopy Imagery and Correlation with Magnetic Resonance Imaging Lipid Analysis.”, in [IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine], [2011] © [978-0-7695-4574-5/11 IEEE] doi:[DOI 10.1109/BIBM.2011.37 2011].

S. Kim. (2015, October 2). Fatty Liver [Online]. Available: <http://www.healthline.com/health/fatty-liver#Overview1>.

Dr Bruno Di Muzio and A.Prof Frank Gaillard. (2015, June 24). Diffuse hepatic steatosis [Online]. Available: <http://radiopaedia.org/articles/diffuse-hepatic-steatosis>.

H. Cortez-Pinto and M. E. Camilo, “Non-alcoholic fatty liver disease/nonalcoholic steatohepatitis (NAFLD/NASH): diagnosis and clinical course.”, Best Practice & Research Clinical Gastroenterology, Vol. 18, No. 6, pp. 1089–1104, 2004.

R. Vuppalanchi, A. Ünalp, M. Van Natta, O. W. Cummings, K. E. Sandrasegaran, “Effects of Liver Biopsy Sample Length and Number of Readings on sampling variability in nonalcoholic fatty liver disease.”, Clinical gastroenterology and hepatology, Vol. 7, No. 4, 7:481–486, 2009.

B. Eldad, A. Ezenekwe, E. Brunt, B. Collins, P. Brent, B. Kirke, and A. Dibisceglie, “Comparison of Liver Biopsy and Noninvasive Methods for Diagnosis of Hepatocellular Carcinoma.”, Clinical gastroenterology and hepatology, Vol. 4, No. 3, 4:361–368, 2006.

I. Doycheva, N. Patel, M. Peterson and R. Loomba, “Prognostic implication of liver histology in patients with nonalcoholic fatty liver disease in diabetes.”, J. of Diabetes and Its Complications, Vol 27 , pp 293–300, 2013.

H. Marsman, T. Matsushita and R. Dierkhising., “Assessment of donor liver steatosis: pathologist or automated software“, *Hum Pathol*, vol 35, No. 4, pp 430–435, April 2004.

G. E. Liquori, C. Giuseppe, D. Cascella, M. Mastrodonato, P. Portincasa and D. Ferri “An innovative methodology for the automated morphometric and quantitative estimation of liver steatosis”, *Histol Histopathol*, Vol 24, pp 49-60, 2009.

G. Weijers, A. Starke, J. M. Thijssen, A. Haudum, P. Wohlsein, J. Rehage, and C. L. De Korte, “Transcutaneous vs. intraoperative quantitative ultrasound for staging bovine hepatic steatosis.”, *Ultrasound in Med. & Biol.*, Vol. 38, No. 8, pp. 1404–1413, 2012.

S. Vanderbeck, J. Bockhorst, R. Komorowski, D. E. Kleiner and S. Gawrieh, “Automatic classification of white regions in liver biopsies by supervised machine learning.”, *Human Pathology*, Vol 45, pp 785–792, 2014.

J. B. MacQueen, “Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations.”, in *5th Berkeley Symp. on Mathematical Statistics and Probability*, Berkeley, University of California Press, vol.1, pp 281-297, 1967.

Φ. Ν. Γαλατούλας, *Ανάλυση αλγορίθμων αυτόματης κατάτμησης εικόνας και εφαρμογές τους σε αρχαία κείμενα*, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2013 (Διπλωματική εργασία)

Σ. Γεωργιάδης – Δ. Μαζαράκης, *Τμηματοποίηση εικόνων με τη χρήση ασαφούς λογικής*, ΑΤΕΙ Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, 2014 (Πτυχιακή εργασία)

Ι. Θεοδώρου, *Μικροδομή κονιαμάτων με ψηφιακή ανάλυση εικόνων τομών από μικροσκόπιο*, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2013 (Διπλωματική εργασία)

Μ. Καλαφατέλη, *Ο ρόλος του λιπώδους ιστού στη χρόνια ηπατοπάθεια*, Περιφερειακό Πανεπιστημιακό Γενικό Νοσοκομείο Πατρών, 2015 (Διατριβή)

Κ. Λουκοπούλου, *Κατάτμηση εικόνας με μεθόδους ομαδοποίησης υπερ-εικονοστοιχείων*, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 2010 (Μεταπτυχιακή εργασία εξειδίκευσης)

Ν. Ξυλουργός, *Κατάτμηση εικόνων υπερήχων για την εύρεση ανατομικών αναφορών*, ΤΕΙ Κρήτης, 2009 (Διπλωματική εργασία)

Μ. Πελώνη – Μ. Τσεμεντζή, *Μέθοδοι τμηματοποίησης ψηφιακής εικόνας με εφαρμογή στην ανάλυση βιοϊατρικών εικόνων*, ΑΤΕΙ Καβάλας, 2011 (Διπλωματική εργασία)

Σ. Πλακιάς, *Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας και Υπολογιστική Όραση*, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, (Διατριβή)

Ε. Φρονιμάκη, *Μελέτη ποιότητας ισχύος, ανάλυση αρμονικών και τρόποι αντιμετώπισης*, ΑΤΕΙ Πειραιά, 2013 (Πτυχιακή εργασία)