

## Βελεντζάς Γεώργιος

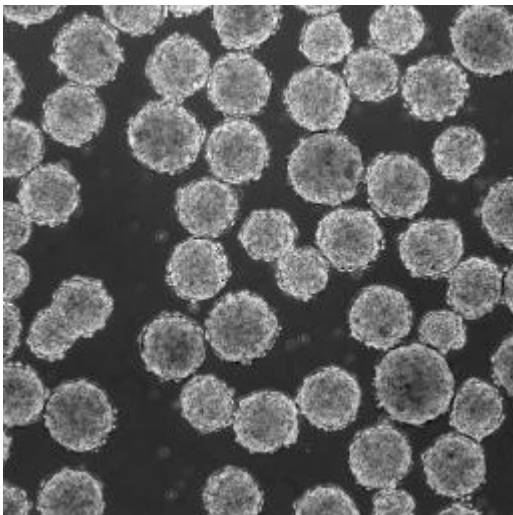
**Θέμα : Κατάτμηση Βιοϊατρικών Γκρίζων Εικόνων με χρήση Φίλτρων Ανακατασκευής και Μετασχηματισμού Watershed (σε MATLAB)**

### **Μέρος 1: Ανίχνευση Κορυφών/Κοιλάδων με Top-Hat και Contrast Reconstruction**

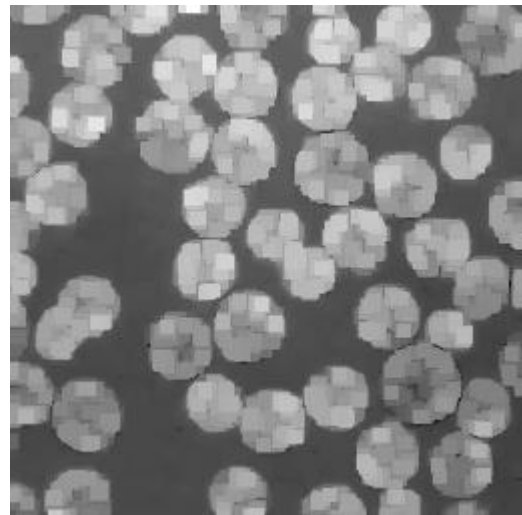
Σ' αυτό το μέρος της άσκησης θα χρησιμοποιήσουμε δυο διαφορετικές τεχνικές για την ανίχνευση των γκρίζων κορυφών της εικόνας `stemicells.tif` η οποία απεικονίζει βλαστοκύτταρα.

Κατα την πρώτη περίπτωση θα χρησιμοποιούμε το Minkowski opening της εικόνας.

Αρχική εικόνα



Minkowski opening της εικόνας

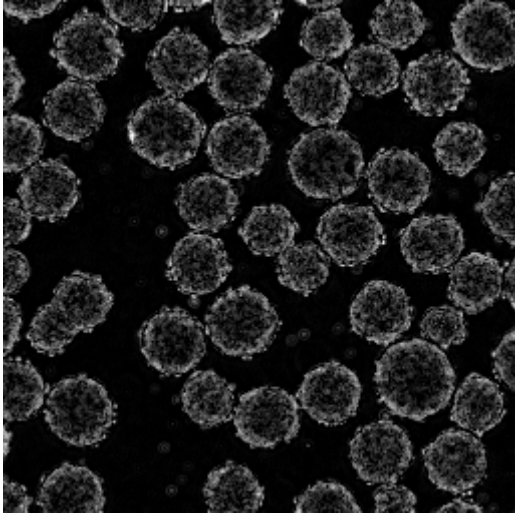


*Σχήμα 1: Αρχική εικόνα βλαστοκυττάρων (αριστερά) και  $f \circ B$  (δεξιά)*

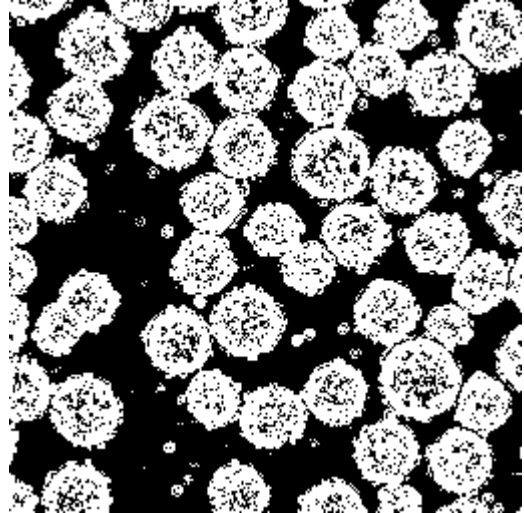
Στην παραπάνω εικόνα χρησιμοποιήθηκε ως μορφολογικός τελεστής:  $B = \text{strel}(\text{'disk'}, 4, 8)$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε την εικόνα top-hat από τη σχέση :  $g = f - f \circ B$  και στη συνέχεια επιλέγουμε να κατωφλιοποιήσουμε αυτήν σε ένα ποσοστό της μέγιστης τιμής της με την εντολή  $G = (g > g_{\max} * \text{sat})$  όπου  $g_{\max}$  η μέγιστη τιμή της εικόνας και  $\text{sat}$  ένα επιλεγμένο ποσοστό.

top-hat



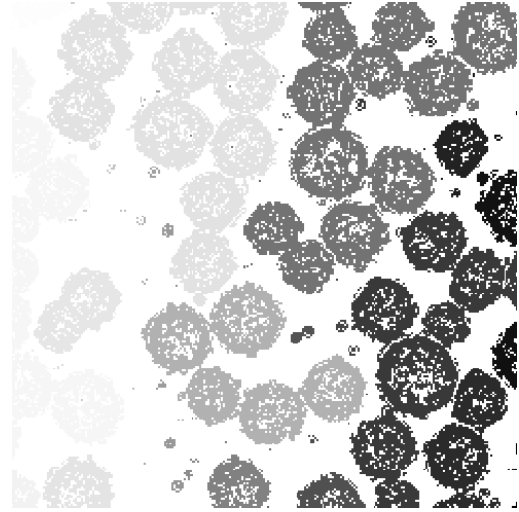
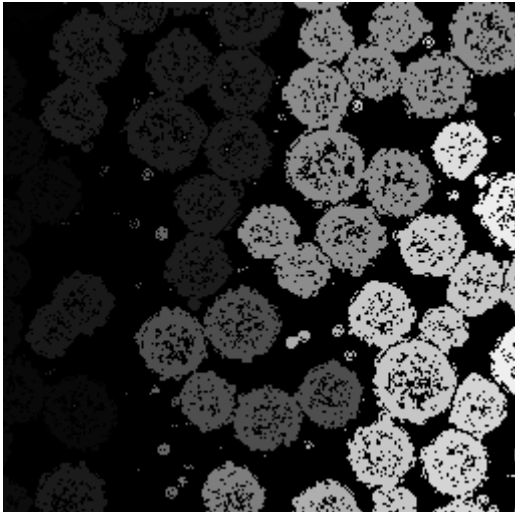
Κατωφλιοποίηση της top-hat



Σχήμα 2: top-hat εικόνα (αριστερά) και κατωφλιοποιημένη με  $sat = 0.05$  (δεξιά)

Έτσι με χρήση της εντολής **bwlabel** μπορούμε να παρατηρήσουμε και να μετρήσουμε της συνεκτικές συνιστώσες αυτής οι οποίες φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

### Εμφάνιση συνεκτικών συνιστωσών (=111)

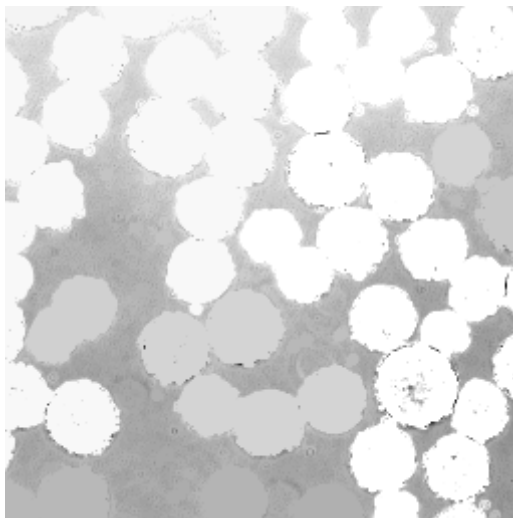


Σχήμα 3: Συνεκτικές συνιστώσες της κατωφλιοποιημένης top-hat για connectivity-8. Δεξιά φαίνεται το συμπλήρωμα της εικόνας για καλύτερη εποπτεία.

Σε κάθε περίπτωση οι συνεκτικές συνιστώσες ήταν αρκετά περισσότερες απο αυτές που θα θέλαμε να έχουμε (δηλαδή ίσες με τον αριθμό των κυττάρων), ενώ πολλά διαφορετικά κύτταρα παρουσιάζονται ως ένα σώμα. Οι παραπάνω εικόνες προέκυψαν απο μια σχετικά καλή επιλογή των παραμέτρων. Ακόμα κι αν αρχικά κάνουμε συνέλιξη της εικόνας με ένα μικρό gaussian παράθυρο ωστε να επιτύχουμε μια ομαλοποίηση τα αποτελέσματα και πάλι δεν είναι ικανοποιητικά. Το ανθρώπινο μάτι μπορεί να κάνει την κατάτμηση των κυττάρων αυτών με ευκολία κυρίως όμως λόγω γνωσιακών (cognitive) παραμέτρων.

Στη συνέχεια η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε με αντικατάσταση του Minkowski opening με το Reconstruction opening :  $g = f - \rho^-(m|f)$  όπου ως marker πήραμε:  $m(x) = f(x) - h$

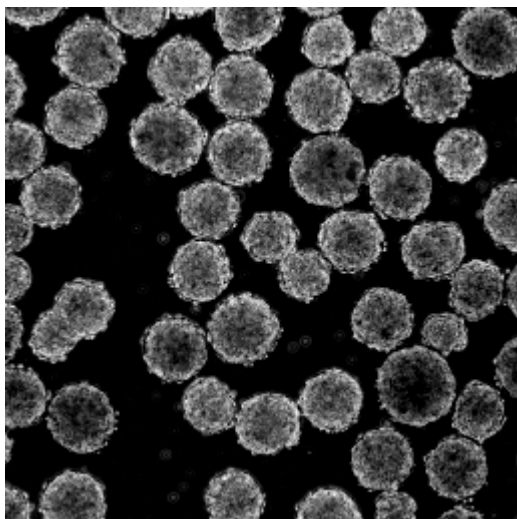
### Reconstruction opening της εικόνας



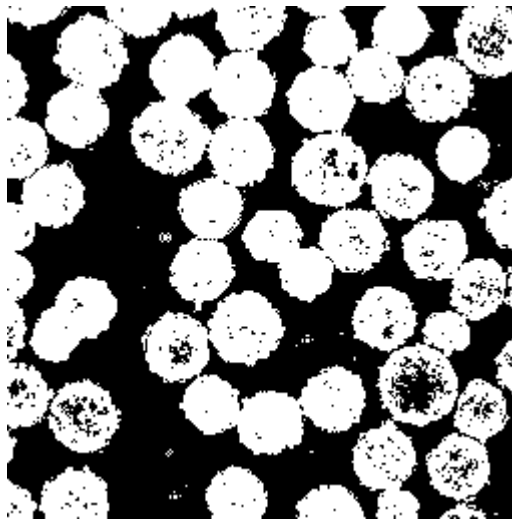
Σχήμα 4: reconstruction opening με  $h=170$

Όπως και στην προηγούμενη διαδικασία μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε την top-hat εικόνα και έπειτα να την κατωφλιοποιήσουμε σε μια κατάλληλη τιμή.

top-hat



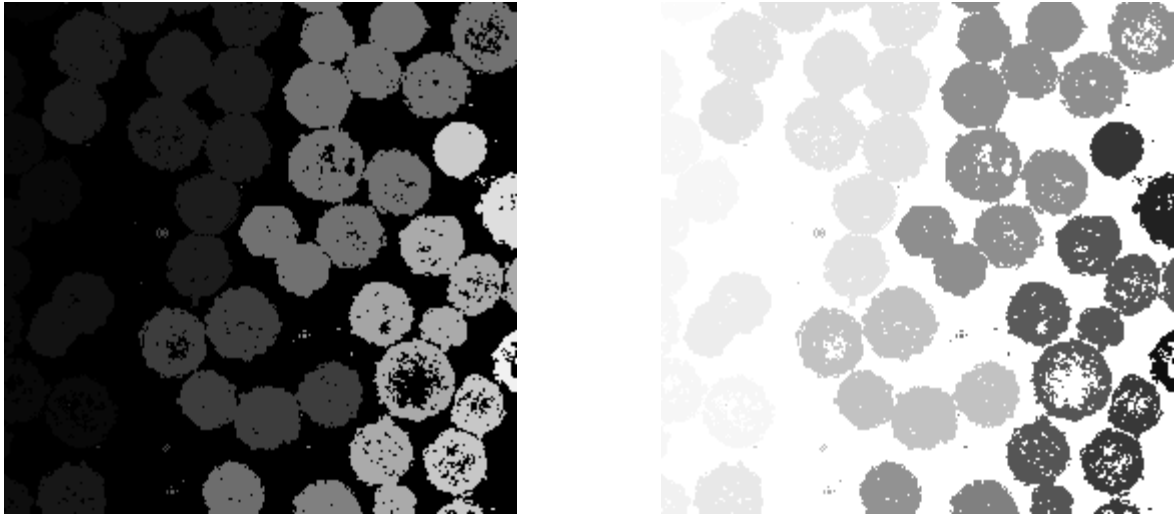
Κατωφλιοποίηση της top-hat



Σχήμα 5: Εμφάνιση της top-hat εικόνας (αριστερά) και κατωφλιοποίηση αυτής (δεξιά) με τιμή κατωφλίου ίσης με 20

Να αναφέρουμε εδώ πριν τα τελικά αποτελέσματα ότι σε κάθε περίπτωση το ζητούμενο μπορεί να διαφέρει. Σίγουρα και με τις δύο αυτές μεθόδους δεν μπορούμε να έχουμε κατάτμηση των κυττάρων καθώς επιλέγοντας τιμές παραμέτρων ώστε αυτά να παρουσιάζονται σαν ένα σύνολο, τότε αντίστοιχα αρχίζουν και ένώνονται μεταξύ τους και ο διαχωρισμός είναι σχεδόν αδύνατος. Αντίθετα αν θέλουμε τα κύτταρα να είναι διαχωρισμένα μεταξύ τους τότε θα είναι και διαχωρισμένα από το εσωτερικό τους όπου παρουσιάζονται ασυνέχειες στην τοπολογία τους.

## Εμφάνιση συνεκτικών συνιστωσών (=54)



*Σχήμα 6: Συνεκτικές συνιστώσες της κατωφλιοποιημένης top-hat για connectivity-8. Δεξιά φαίνεται το συμπλήρωμα της εικόνας για καλύτερη εποπτεία.*

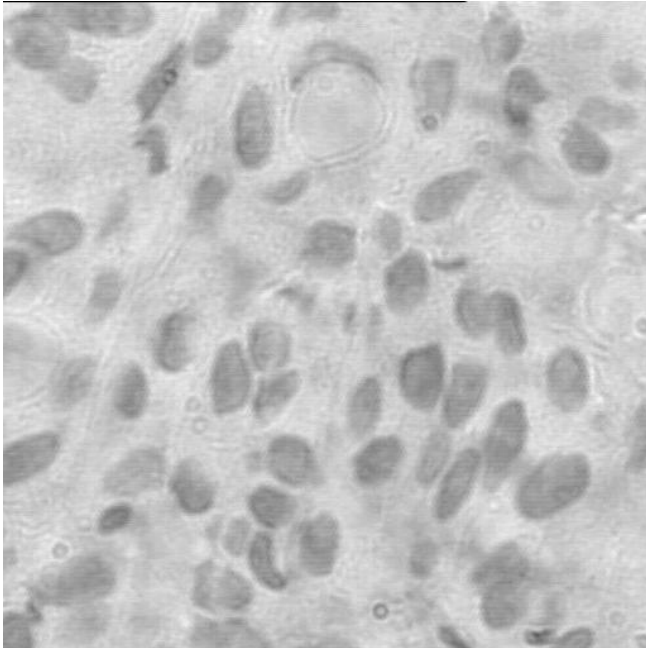
Τελικά μπορούμε να εξάγουμε το συμπέρασμα ότι η μέθοδος με χρήση του reconstruction opening είναι πιο αποτελεσματική. Ωστόσο τα αποτελέσματα και των δύο δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κατάτμηση αντικειμένων εικόνων όταν τα αντικείμενα αυτά παρουσιάζουν μεγάλες ασυνέχειες από pixel σε pixel στο εσωτερικό τους.

## Μέρος 2: Κατάτμηση Γκρίζων Εικόνων με το Μετασχηματισμό Watershed

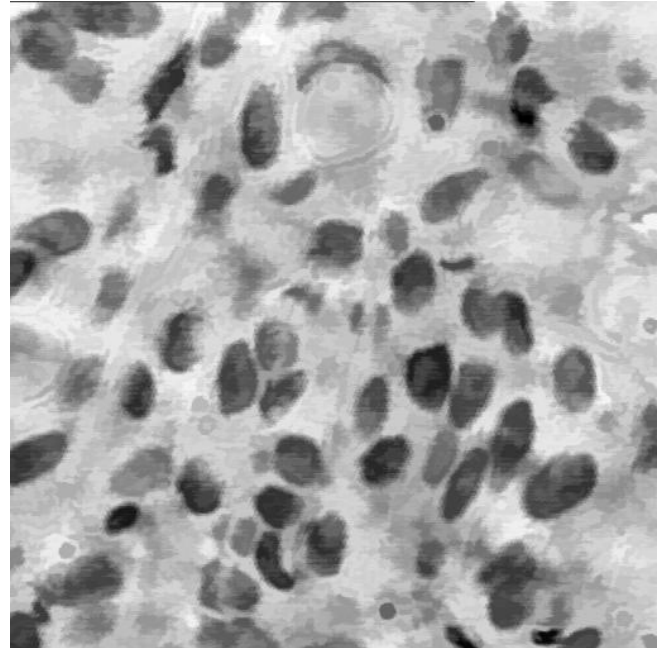
Στο δεύτερο μέρος της άσκησης θα δούμε πώς επιτυγχάνεται η κατάτμηση με χρήση του watershed αλγορίθμου.

Αρχικά λοιπόν με Alternating Sequential Filtering και για τη ακρίβεια με εναλλασσόμενα reconstruction openings και reconstruction closings , όπως ακριβώς περιγράφεται και στην εκφώνηση της άσκησης , θα ομαλοποιήσουμε την εικόνα. Επίσης για ευκολία εφόσον δεν υπάρχει η συνάρτηση `imreconstructclosing` την δημιουργούμε ώστε να μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε και στη συνέχεια όπου είναι απαραίτητο.

Αρχική εικόνα



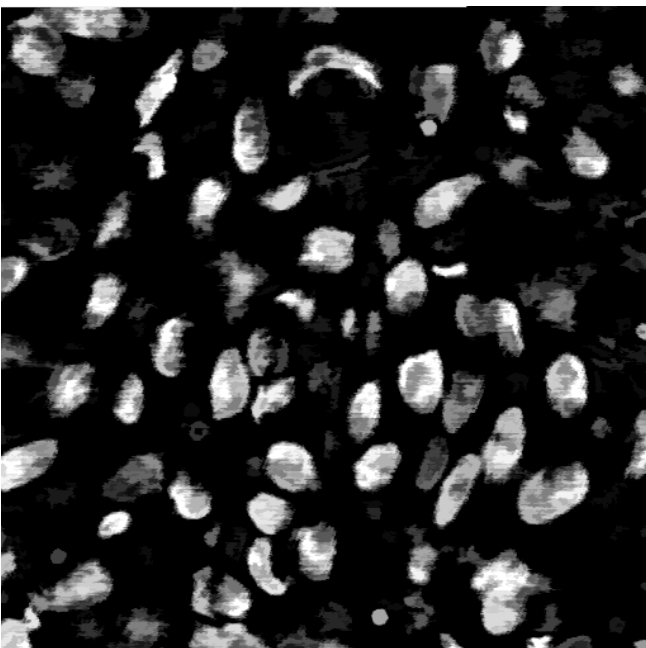
Εικόνα μετά απο ASF



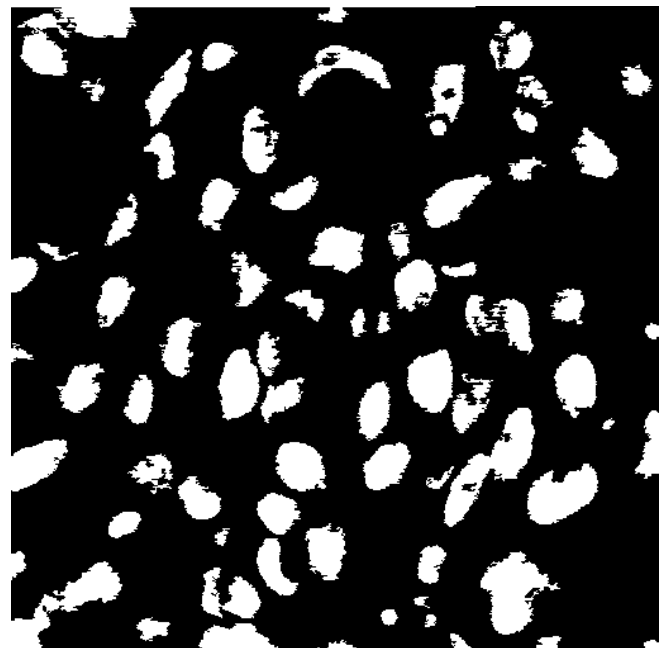
Σχήμα 1 : Αρχική εικόνα (αριστερά) και εικόνα μετά απο ASF κλίμακας  $n=3$  (δεξιά)

Στη συνέχεια θα βρούμε τους εσωτερικούς σημαδευτές με κατωφλιοποίηση των τοπικών ελαχίστων.

Regional minima (τοπικά ελάχιστα)



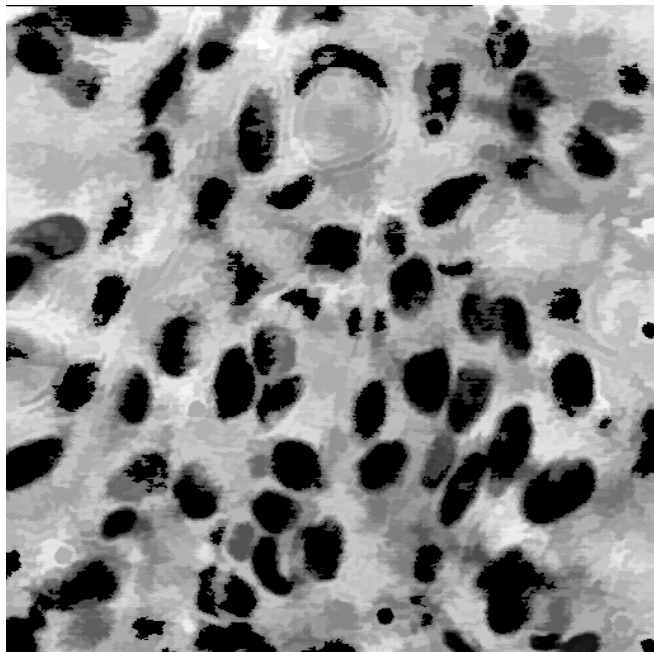
Inside Markers



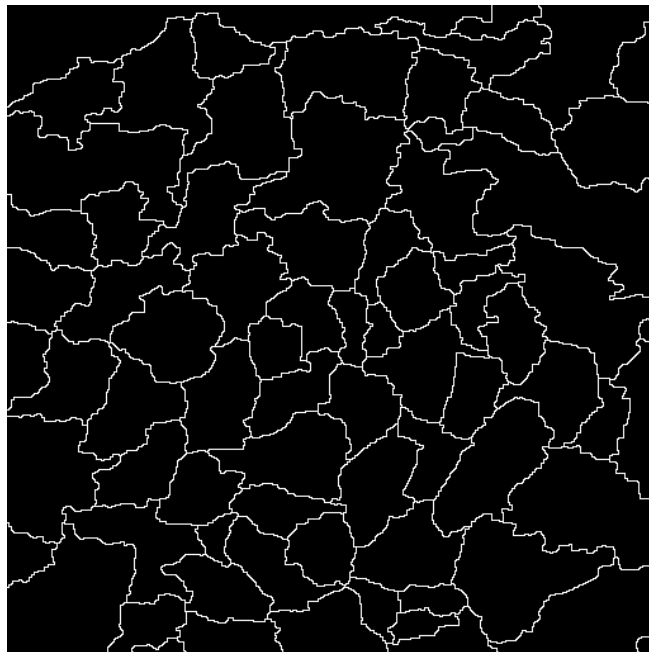
Σχήμα 2: Εύρεση των τοπικών ελαχίστων (αριστερά) και κατωφλιοποίηση (δεξιά)

Στις παραπάνω εικόνες για εξαγωγή των εσωτερικών markers χρησιμοποιήθηκαν  $h=20$  και η κατωφλιοποίηση έγινε για τιμή  $0.3 \cdot h$ . Στη συνέχεια με βάση τους εσωτερικούς markers θα επιβάλλουμε αλλαγή τοπολογίας θέτοντας στις θέσεις τους τα μοναδικά τοπικά ελάχιστα. Ουσιαστικά από εκεί επιβάλλουμε να αρχίσει ο πλημμυρισμός στη μέθοδο watershed από τα εσωτερικά των κυττάρων. Ο πλημμυρισμός αυτός θα μας δώσει τα όρια μέσα στα οποία βρίσκεται το κάθε κύτταρο και θα αποτελούν τους εξωτερικούς σημαδευτές

Αλλαγή τοπολογίας της φιλτραρισμένης εικόνας



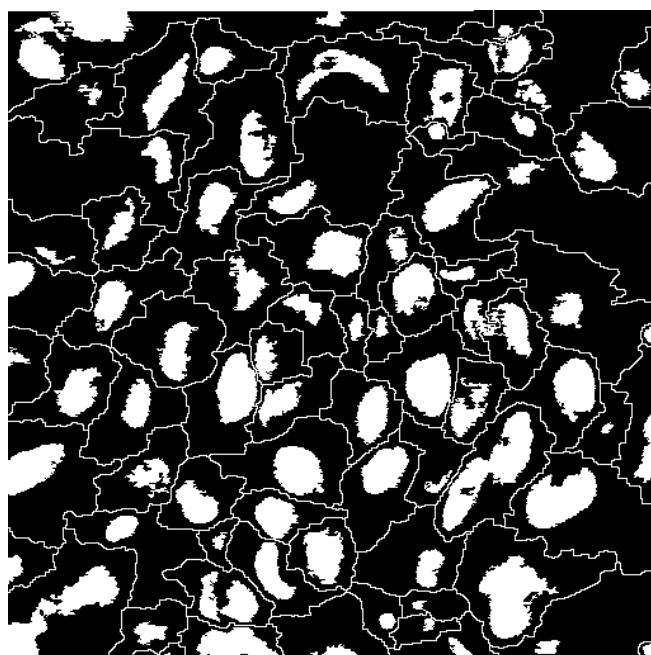
Outside Markers



Σχήμα 3: Αλλαγή τοπολογίας της φιλτραρισμένης εικόνας με βάση τους εσωτερικούς markers (αριστερά) και watershed αυτής για εξαγωγή των εξωτερικών markers (δεξιά)

Για την εξαγωγή των εξωτερικών markers μετά από watershed επιλέξαμε τα σύνορα των περιοχών τα οποία είχαν την τιμή μηδέν. Έτσι πλέον μπορούμε να έχουμε τους συνολικούς markers από την ένωση των εσωτερικών και των εξωτερικών.

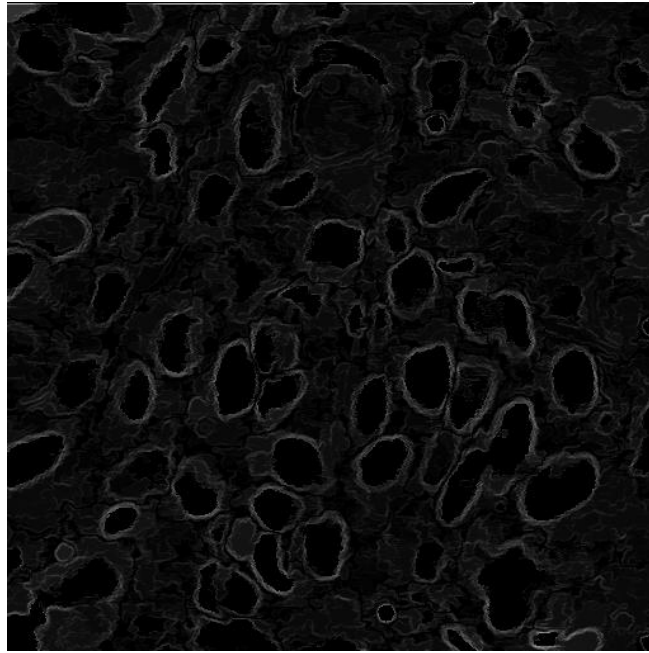
Συνολικοί Markers



Σχήμα 4: Συνολικοί markers

Πλέον με βάση τους συνολικούς markers κάνουνε αλλαγή τοπολογίας στο gradient magnitude της φιλτραρισμένης εικόνας ώστε στη συνέχεια να εφαρμόσουμε watershed πάνω σ'αυτή.

Gradient Magnitude μετά απο αλλαγή τοπολογίας



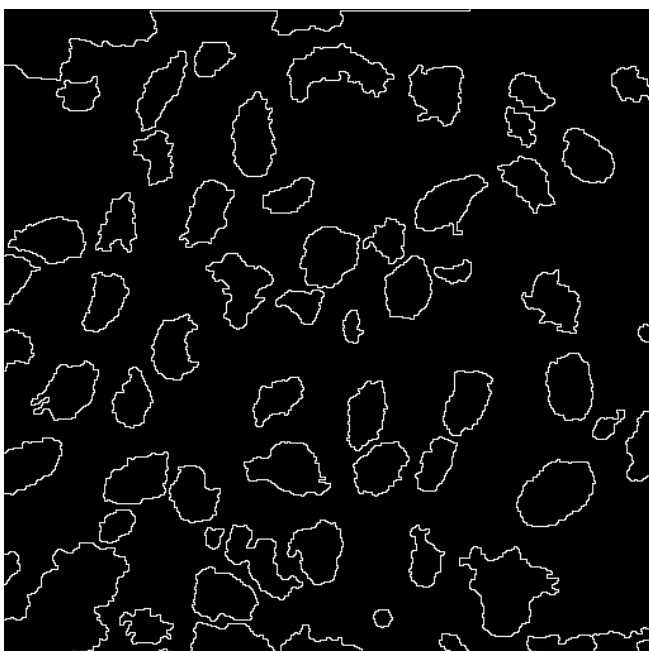
*Σχήμα 5: Αλλαγή τοπολογίας του Gradient Magnitude με επιβολή των τοπικών ελαχίστων στη θέση των markers*

Έτσι με εφαρμογή watershed πάνω στην παραπάνω εικόνα μπορούμε να έχουμε την τελική κατάτμηση των κυττάρων.

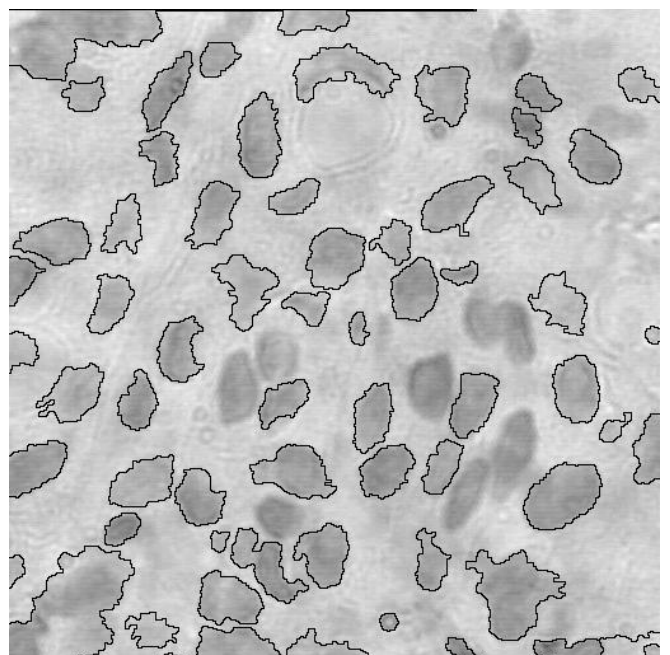
Στη συνέχεια με χρήση της συνάρτησης imoverlay η οποία βρίσκεται διαθέσιμη στην ιστοσελίδα του Matlab Central υπερθέτουμε το αποτέλεσμα αυτό στην αρχική εικόνα.

<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/10502-image-overlay/content/imoverlay.m>

Εμφάνιση των ορίων



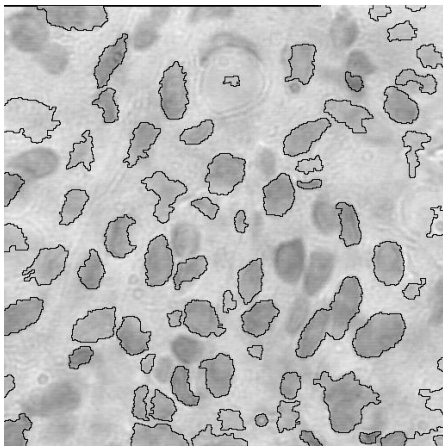
Τελική εικόνα - Κατάτμηση



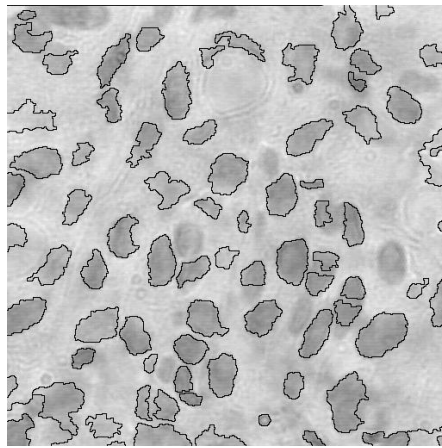
*Σχήμα 6 : Τελική κατάτμηση και υπέρθεση στην αρχική εικόνα*



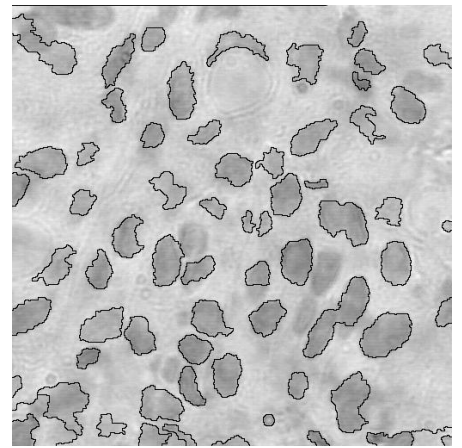
Παρατηρούμε λοιπόν ότι για τις επιλεγμένες τιμές ( $h=20$ ,  $\text{sat}=a \cdot h$ ,  $a=0.3$ ) δεν έχει επιτευχθεί πλήρης κατάτμηση, δηλαδή κάποια κύτταρα δεν βρέθηκαν, ενώ έχουν επισημανθεί περιοχές που δεν είναι βέβαιο ότι είναι κύτταρα. Παρ'όλα αυτά το παραπάνω αποτέλεσμα είναι απο τα καλύτερα που εξήχθησαν. Αυτό φανερώνει και το ότι η κατάτμηση είναι γενικά μια δύσκολη διαδικασία όταν η εικόνα δεν είναι καθαρή. Φυσικά κάτι τέτοιο θα ήταν δύσκολο ακόμα και για το ανθρώπινο μάτι. Κατ'επέκταση συνήθως χρησιμοποιούνται heuristic αλγόριθμοι σε συνδιασμό με χαμηλό κατώφλι οπότε επιλέγονται όσες περισσότερες περιοχές είναι δυνατό ενώ στη συνέχεια μέσω των heuristics αυτών απορρίπτονται όσες δεν θα μπορούσαν να αποτελούν κύτταρο κυρίως λόγω γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους. Έπειτα χρησιμοποιούνται τεχνικές Gradient Vector Flow με Snake-Active Contour για ομαλοποίηση των περιμέτρων ώστε στη συνέχεια να γίνεται καλύτερη εκτίμηση χαρακτηριστικών όπως καμπυλότητα, εκκεντρότητα κ.λ.π. Παρακάτω φαίνεται η τελική κατάτμηση για διαφορετικές τιμές  $h$  και  $a$ .



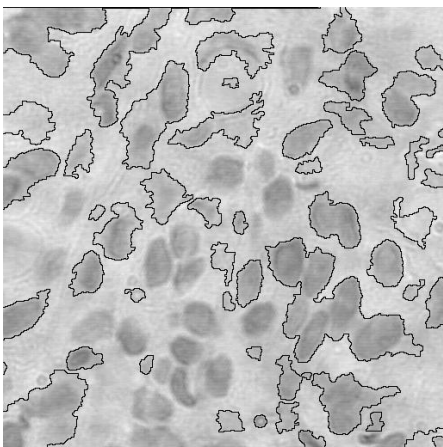
$h=10, a=0.1$



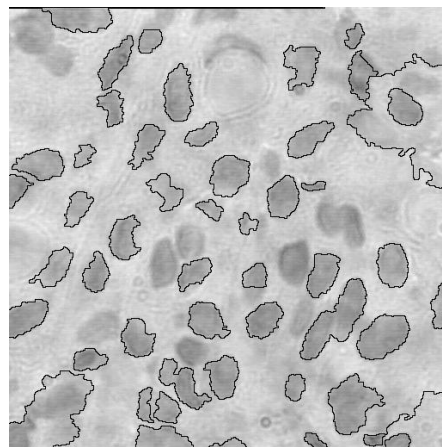
$h=10, a=0.5$



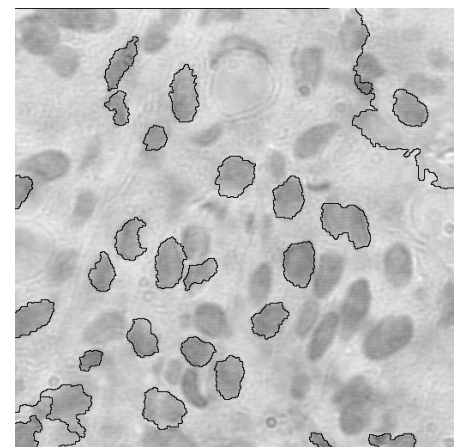
$h=10, a=0.8$



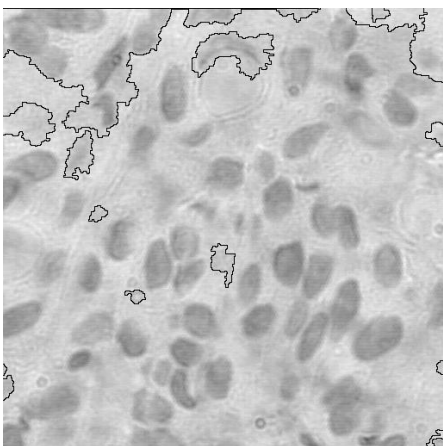
$h=30, a=0.1$



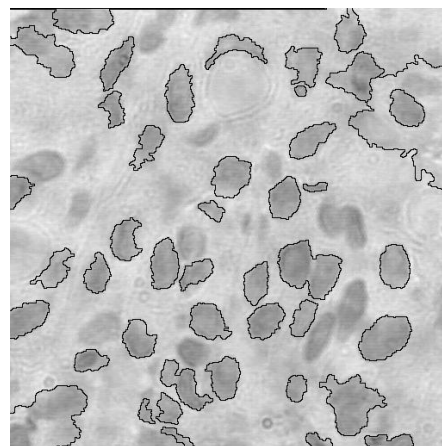
$h=30, a=0.5$



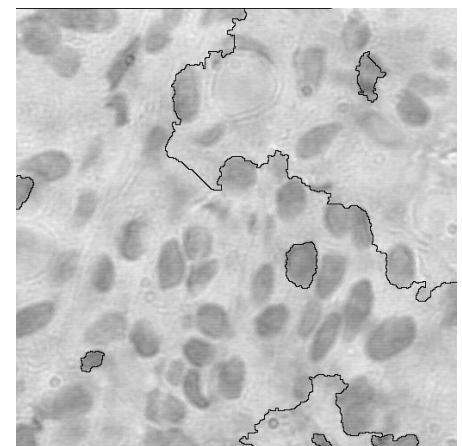
$h=30, a=0.8$



$h=50, a=0.1$



$h=50, a=0.5$

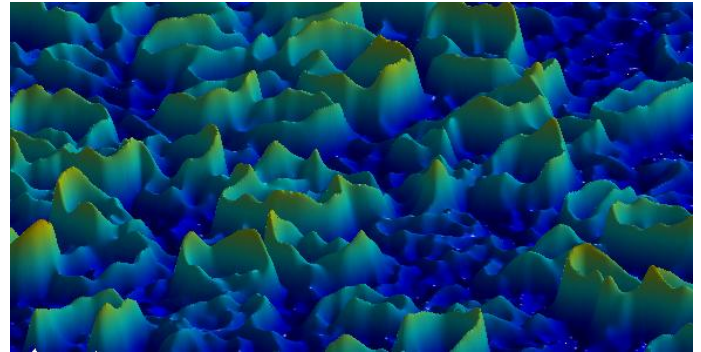
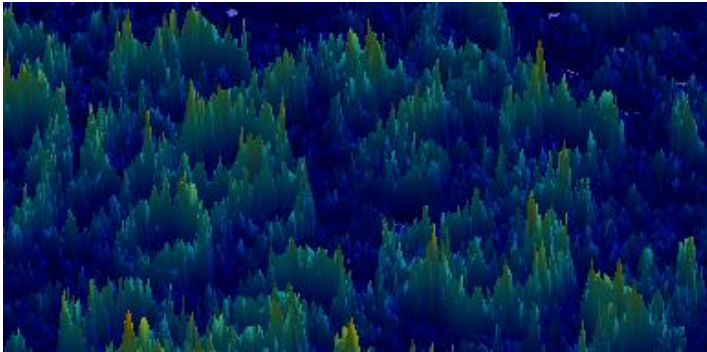


$h=50, a=0.8$

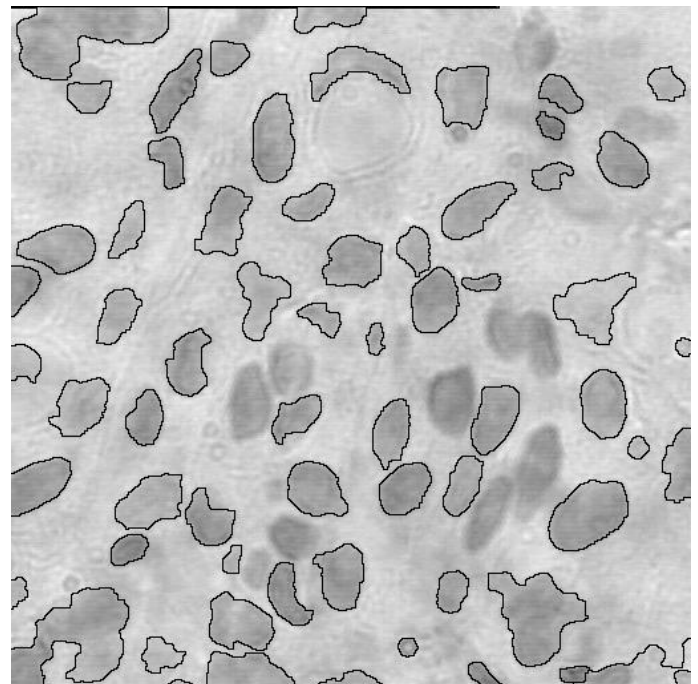
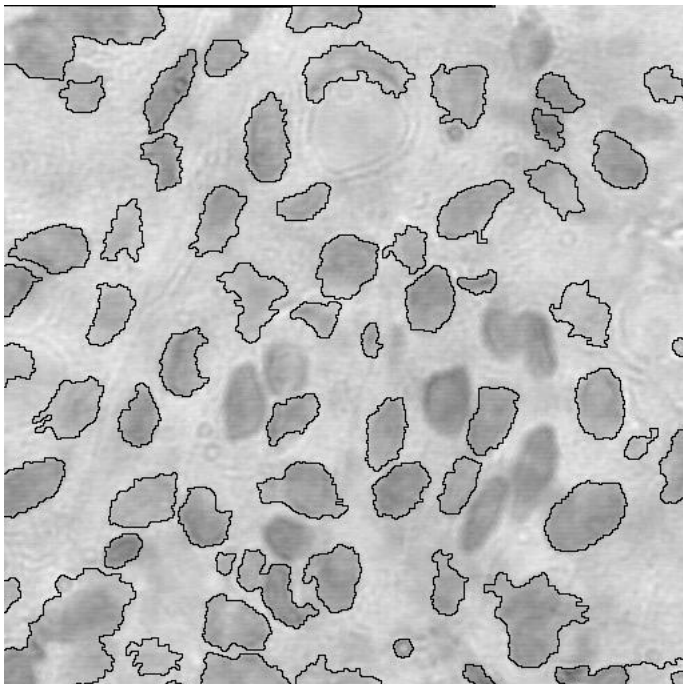


Απο αυτές τις εικόνες είναι εμφανές το πόσο σημαντικές είναι οι τιμές των παραμέτρων για τη σωστή κατάτμηση.

Στην εικόνα του σχήματος 6 παρατηρήσαμε ότι οι δομές που εμφανίζονται είναι σχετικά "αγριες" και δεν αντιστοιχούν στην ομαλότητα των κυττάρων. Μια απλή τεχνική που δοκιμάσαμε ήταν να ομαλοποιήσουμε όχι την αρχική εικόνα αλλά τη συνάρτηση gradient magnitude με συνέλιξη της με gaussian πυρήνα. Το αποτέλεσμα είναι να έχουμε ένα πιο ομαλοποιημένο αποτέλεσμα. Αυτό είναι λογικό καθώς παρατηρώντας πλέον τον πίνακα του gradient ως επιφάνεια βλέπουμε ότι έχουν σχηματιστεί πιο ομαλές παριοχές κατι που αν δοκιμάζαμε προηγουμένως θα ήταν δύσκολη ακόμα και η παρατήρηση των περιοχών των κοιλάδων και των κορυφών.



*Σχήμα 7 : Gradient Magnitude ως επιφάνεια (αριστερά) και Gradient Magnitude μετά απο συνέλιξη με gaussian πυρήνα ως επιφάνεια (δεξιά)*



*Σχήμα 8: Κατάτμηση με απλή μέθοδο (αριστερά) Κατάτμηση μετά απο ομαλοποίηση του μέτρου του gradient της εικόνας με gaussian πυρήνα (δεξιά)*