



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

# ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟ ΣΕ ΕΙΚΟΝΑ ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

Τσάκα Αντωνία

Αριθμός Μητρώου: 18388059

Επιβλέπων Καθηγητής

Νεκτάριος Καλύβας, Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2024

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Νεκτάριος Καλύβας

Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Ιωάννης Βαλαής

Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Χρήστος Μιχαήλ

Αναπληρωτής Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η υπογράφουσα Τσάκα Αντωνία του Αθανασίου, με αριθμό μητρώου 18388059 φοιτήτρια του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ημερομηνία

9/07/2024

Η Δηλούσα



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των προπτυχιακών σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, εκπονήθηκε η παρούσα διπλωματική εργασία. Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Νεκτάριο Καλύβα, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής, ο οποίος με την υποστήριξη, την ενθάρρυνση και τη πολύτιμη καθοδήγηση του έκανε εφικτή την επιτυχή υλοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου και στη κύρια Γεωργία Οικονόμου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τομέα Ακτινολογίας και Ακτινοθεραπείας του Τμήματος Βιοϊατρικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, η οποία με την εμπειρία της στην ιατρική ακτινολογία και τις πολύτιμες επισημάνσεις της, συνέβαλλε στην ορθή προσέγγιση της ανατομίας του μαστού και το πως αυτή αποτυπώνεται σε μία μαστογραφία. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την συνεχή υποστήριξη και την εμπύχωση τους από την αρχή των σπουδών μου έως και την ολοκλήρωσή τους.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη μεθοδολογίας κατασκευής ψηφιακού ομοιώματος βασισμένο σε εικόνα μαστογραφίας, καθώς και η αξιολόγηση του μέσω της προσομοίωσης της ακτινοβόλησης με τη χρήση ανιχνευτικής διάταξης. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν πέντε εικόνες μαστογραφίας από βιβλιογραφικές πηγές ανοιχτής πρόσβασης, για καθεμιά από τις οποίες ακολουθήθηκαν δύο διαφορετικές μεθοδολογίες κατασκευής ψηφιακού ομοιώματος. Τόσο η πρώτη όσο και η δεύτερη μεθοδολογία, βασίζονται στην δημιουργία κώδικα στο προγραμματιστικό περιβάλλον του λογισμικού MATLAB, με τη συμβολή του λογισμικού ImageJ στην εξαγωγή των εικονοστοιχείων των εικόνων ώστε να πραγματοποιηθεί η ανάθεση τους σε επιμέρους συστατικά του μαστού. Αφού κατασκευάστηκαν τα ψηφιακά ομοιώματα, προσομοιώθηκε η ακτινοβόληση τους μέσω του MATLAB με τη χρήση του ανιχνευτή RadEye, για διάφορες συνθήκες ακτινοβόλησης. Οι γραμμικοί συντελεστές εξασθένησης των επιμέρους συστατικών του μαστού, για κάθε ενέργεια, υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού XMuDat. Στη συνέχεια, μέσω του MATLAB και του ImageJ, δημιουργήθηκαν τα ιστογράμματα των παραγόμενων εικόνων των ακτινοβολούμενων ομοιωμάτων, ενώ παράλληλα υπολογίστηκε η δόση πριν το μαστό αλλά και στην επιφάνεια του ανιχνευτή μέσω MATLAB. Συνοπτικά το σύνολο των αποτελεσμάτων έδειξε ότι η δεύτερη μεθοδολογία κατασκευής ομοιώματος είναι καλύτερη από τη πρώτη, η χρωματική διαβάθμιση στα ομοιώματα όσον αφορά τον ινοαδενικό ιστό και το λίπος αλληλεπικαλύπτεται με αυτή του αίματος, οι πολύ μικρές τιμές των δόσεων αφορούν μικροαποτιτανώσεις και η διακύμανση στις τιμές των δόσεων στην είσοδο του ανιχνευτή αποδεικνύει τη πολυπλοκότητα του μαστού. Πεδία για περαιτέρω μελέτη και έρευνα συνιστούν η προσθήκη θορύβου και ασάφειας στον ανιχνευτή RadEye ή ακόμη και η χρήση κάποιου άλλου ανιχνευτή, η εισαγωγή μικροαποτιτανώσεων ή όζων στα ομοιώματα, η επιλογή διαφορετικών παραμέτρων ακτινοβόλησης, η εύρεση των βέλτιστων παραγόντων στάθμισης στο στάδιο της ακτινοβόλησης, η χρησιμοποίηση άλλων μαστογραφικών εικόνων για τη δημιουργία ομοιωμάτων, καθώς και η χρήση των ομοιωμάτων που κατασκευάστηκαν για τον έλεγχο τεχνικών απεικόνισης όπως η απεικόνιση διπλής ενέργειας.

**Λέξεις κλειδιά:** Ψηφιακό ομοίωμα, Μαστογραφία, MATLAB, RadEye

## ABSTRACT

The purpose of this thesis is the development of a methodology for the construction of a digital phantom based on a mammographic image and then the evaluation of it through the simulation of irradiation using a detection system. More specifically, five mammographic images from open access sources were used for each of which two different methodologies for creating the digital phantom were followed. Both methodologies are based on the programming environment of MATLAB, with the contribution of the ImageJ software in extracting the pixels of the images in order to be assigned to the different breast's components. The irradiation of the created phantoms was simulated through MATLAB, for various irradiation conditions. The linear attenuation coefficients of the breast's components, for each energy, were calculated via XMuDat software. Then, through MATLAB and ImageJ, the histograms of the generated images of the irradiated digital phantoms were created, as well as the dose before the breast and at the detector's surface was calculated with MATLAB. In summary, the results showed that the second methodology of the construction of a digital phantom is better than the first, the color grading of fibroglandular tissue and fat overlaps with that of blood, the very small values of dose refer to microcalcifications and the variation in dose's values at the detector's entrance demonstrates the breast's complexity. For further study and research some topics could be the addition of noise and ambiguity to RadEye detector or even the use of other detector, the introduction of microcalcifications or nodules in the digital phantoms, the selection of different irradiation parameters, the finding of the optimal weighting factors at the irradiation stage, the usage of other mammographic images for creating digital phantoms, as well as the use of the phantoms that were constructed to test imaging techniques like the dual-energy imaging.

**Key words:** Digital phantom, Mammography, MATLAB, RadEye

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	5
<b>ABSTRACT</b> .....	6
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	9
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	14
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	15
1.1 ΑΚΤΙΝΕΣ-Χ.....	15
1.1.1 ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	15
1.1.2 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΥΛΗ.....	15
1.1.3 ΝΟΜΟΣ ΕΚΘΕΤΙΚΗΣ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗΣ .....	16
1.1.4 ΕΚΘΕΣΗ, ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΗ ΔΟΣΗ ΚΑΙ ΚΕΡΜΑ .....	17
1.2 ΜΑΣΤΟΣ.....	17
1.2.1 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΑΝΑΤΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	17
1.2.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΙΣΤΩΝ.....	18
1.3 ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑ .....	18
1.3.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΗΨΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑΣ .....	18
1.3.2 ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ .....	19
1.4 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΙΚΟΝΑΣ.....	19
<b>2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ</b> .....	20
2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ Α.....	20
2.1.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.1 .....	21
2.1.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.2 .....	23
2.1.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.3 .....	25
2.1.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.4 .....	27
2.1.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.5 .....	29
2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ Β.....	31
2.2.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.1 .....	32
2.2.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.2 .....	33
2.2.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.3 .....	34
2.2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.4 .....	35
2.2.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.5 .....	36
<b>3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ</b> .....	37

<b>4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b> .....	39
4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΑ ΟΜΟΙΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ Α .....	40
4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΑ ΟΜΟΙΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ Β .....	60
4.3 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	81
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ</b> .....	82
<b>6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	84



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

*Εικόνα 1.1: Λόγοι  $\mu/\rho$  ινοαδενικού και λιπώδους ιστού συναρτήσει της ενέργειας.*

*Εικόνα 2.1: Εικόνα μαστογραφίας 1 (Πηγή: Gordon, P.B. (2022)). Το τεκμήριο αυτό είναι δημοσιευμένο σε ανοιχτή πρόσβαση υπό το Creative Common CC BY license: <https://www.mdpi.com/openaccess>.*

*Εικόνα 2.1.1: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.1 με τη μέθοδο A.*

*Εικόνα 2.2: Εικόνα μαστογραφίας 2 (Πηγή: Gordon, P.B. (2022)). Το τεκμήριο αυτό είναι δημοσιευμένο σε ανοιχτή πρόσβαση υπό το Creative Common CC BY license: <https://www.mdpi.com/openaccess>.*

*Εικόνα 2.2.1: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.2 με τη μέθοδο A.*

*Εικόνα 2.3: Εικόνα μαστογραφίας 3 (Πηγή: Pawlak, M.E. et al. (2023)). Το τεκμήριο αυτό είναι δημοσιευμένο σε ανοιχτή πρόσβαση υπό το Creative Common CC BY license: <https://www.mdpi.com/openaccess>.*

*Εικόνα 2.3.1: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.3 με τη μέθοδο A.*

*Εικόνα 2.4: Εικόνα μαστογραφίας 4 (Πηγή: Pawlak, M.E. et al. (2023)). Το τεκμήριο αυτό είναι δημοσιευμένο σε ανοιχτή πρόσβαση υπό το Creative Common CC BY license: <https://www.mdpi.com/openaccess>.*

*Εικόνα 2.4.1: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.4 με τη μέθοδο A.*

*Εικόνα 2.5: Εικόνα μαστογραφίας 5 (Πηγή: Rahman, H. et al. (2023)). Το τεκμήριο αυτό είναι δημοσιευμένο σε ανοιχτή πρόσβαση υπό το Creative Common CC BY 4.0 International Deed license: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.*

*Εικόνα 2.5.1: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.5 με τη μέθοδο A.*

*Εικόνα 2.1.2: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.1 με τη μέθοδο B.*

*Εικόνα 2.2.2: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.2 με τη μέθοδο B.*

*Εικόνα 2.3.2: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.3 με τη μέθοδο B.*

*Εικόνα 2.4.2: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.4 με τη μέθοδο B.*

*Εικόνα 2.5.2: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.5 με τη μέθοδο B.*

*Εικόνα 4.1: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.1.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.1.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.1 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.1.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.1 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.2: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.1.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.2.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.2 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.2.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.2 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.3: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.1.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.3.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.3 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.3.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.3 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.4: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.1.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.4.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.4 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.4.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.4 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.5: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.2.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.5.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.5 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.5.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.5 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.6: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.2.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.6.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.6 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.6.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.6 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.7: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.2.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.7.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.7 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.7.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.7 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.8: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.2.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.8.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.8 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.8.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.8 από το MATLAB*

*Εικόνα 4.9: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.3.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.9.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.9 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.9.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.9 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.10: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.3.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.10.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.10 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.10.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.10 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.11: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.3.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.11.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.11 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.11.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.11 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.12: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.3.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.12.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.12 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.12.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.12 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.13: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.4.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.13.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.13 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.13.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.13 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.14: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.4.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.14.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.14 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.14.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.14 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.15: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.4.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.15.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.15 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.15.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.15 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.16: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.4.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.16.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.16 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.16.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.16 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.17: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.5.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.17.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.17 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.17.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.17 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.18: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.5.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.18.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.18 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.18.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.18 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.19: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.5.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.19.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.19 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.19.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.19 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.20: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.5.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.20.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.20 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.20.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.20 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.21: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.1.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.21.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.21 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.21.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.21 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.22: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.1.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.22.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.22 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.22.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.22 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.23: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.1.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.23.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.23 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.23.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.23 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.24: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.1.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.24.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.24 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.24.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.24 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.25: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.2.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.25.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.25 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.25.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.25 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.26: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.2.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.26.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.26 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.26.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.26 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.27: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.2.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.27.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.27 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.27.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.27 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.28: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.2.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.28.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.28 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.28.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.28 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.29: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.3.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.29.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.29 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.29.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.29 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.30: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.3.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.30.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.30 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.30.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.30 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.31: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.3.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.31.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.31 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.31.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.31 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.32: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.3.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.32.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.32 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.32.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.32 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.33: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.4.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.33.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.33 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.33.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.33 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.34: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.4.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.34.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.34 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.34.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.34 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.35: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.4.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.35.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.35 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.35.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.35 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.36: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.4.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.36.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.36 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.36.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.36 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.37: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.5.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.37.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.37 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.37.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.37 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.38: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.5.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.38.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.38 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.38.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.38 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.39: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.5.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.*

*Εικόνα 4.39.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.39 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.39.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.39 από το MATLAB.*

*Εικόνα 4.40: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.5.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.*

*Εικόνα 4.40.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.40 από το ImageJ.*

*Εικόνα 4.40.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.40 από το MATLAB.*

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

*Πίνακας 2.1: Αντιστοιχία περιοχών ενδιαφέροντος της Εικόνας 2.1 με εύρη τιμών pixel.*

*Πίνακας 2.2: Αντιστοιχία περιοχών ενδιαφέροντος της Εικόνας 2.2 με εύρη τιμών pixel.*

*Πίνακας 2.3: Αντιστοιχία περιοχών ενδιαφέροντος της Εικόνας 2.3 με εύρη τιμών pixel.*

*Πίνακας 2.4: Αντιστοιχία περιοχών ενδιαφέροντος της Εικόνας 2.4 με εύρη τιμών pixel.*

*Πίνακας 2.5: Αντιστοιχία περιοχών ενδιαφέροντος της Εικόνας 2.5 με εύρη τιμών pixel.*

*Πίνακας 3.1: Οι λόγοι  $\mu/\rho$  και  $\tau/\rho$  κάθε ακτινοβολούμενης περιοχής για ενέργεια ίση με 28keV.*

*Πίνακας 3.2: Οι λόγοι  $\mu/\rho$  και  $\tau/\rho$  κάθε ακτινοβολούμενης περιοχής για ενέργεια ίση με 32keV.*

*Πίνακας 4.1: Συγκεντρωτικός πίνακας των στοιχείων ακτινοβολήσης και των αποτελεσμάτων υπολογισμού των δόσεων πριν το μαστό καθώς και στην είσοδο του ανιχνευτή.*

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΑΚΤΙΝΕΣ-Χ

Οι ακτίνες-Χ συνιστούν μία μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και η συνεισφορά τους στη διαγνωστική ακτινολογία έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα σημαντική, όσον αφορά την απεικόνιση ιστών του σώματος και κατ' επέκταση τη διάγνωση διαφόρων ασθενειών (Tafti and Maani, 2024).

#### 1.1.1 ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Σε γενικά πλαίσια, η κεντρική ιδέα της παραγωγής των ακτίνων-Χ βασίζεται στην αλληλεπίδραση κινούμενων ηλεκτρονίων με την ύλη, όπου τα ηλεκτρόνια έχουν επιταχυνθεί με συγκεκριμένη διαφορά δυναμικού (Prabhu *et al.*, 2020, Tafti and Maani, 2024). Η διάταξη στην οποία πραγματοποιείται η παραπάνω διαδικασία ονομάζεται λυχνία ακτίνων-Χ (x-ray tube) και αποτελείται από ένα εξωτερικό περίβλημα θωράκισης αλλά και από ένα εσωτερικό γυάλινο περίβλημα, όπου το εσωτερικό του τελευταίου βρίσκεται σε χαμηλή πίεση (Κανδαράκης, 2007, Tafti and Maani, 2024). Επιπλέον, εντός του γυάλινου περιβλήματος βρίσκεται μία κάθοδος (cathode), που είναι συνήθως ένα νήμα βολφραμίου, και μία μεταλλική άνοδος (anode), τα οποία συνδέονται με καλώδια υψηλής τάσης. Συνεπώς, με βάση όλα τα προαναφερθέντα στοιχεία, μία συνοπτική περιγραφή του τρόπου λειτουργίας της λυχνίας ακτίνων-Χ είναι η εξής: α) θέρμανση νήματος μέσω ενός κυκλώματος χαμηλής τάσης στη κάθοδο και απελευθέρωση ηλεκτρονίων λόγω θερμονικής εκπομπής, β) δημιουργία υψηλής διαφοράς δυναμικού μεταξύ ανόδου και καθόδου, γ) επιτάχυνση ηλεκτρονίων προς την άνοδο και δ) παραγωγή ακτίνων-Χ μέσω του φαινομένου της ακτινοβολίας πεδήσεως (bremsstrahlung process) ή μέσω παραγωγής χαρακτηριστικών ακτίνων-Χ (characteristic x-ray production) (Κανδαράκης, 2007, Prabhu *et al.*, 2020, Tafti and Maani, 2024). Η παραγωγή ακτινοβολίας πεδήσεως λαμβάνει χώρα όταν τα ηλεκτρόνια κινούνται κοντά στον πυρήνα των ατόμων της ανόδου, με αποτέλεσμα να προκληθεί επιβράδυνση και αλλαγή κατεύθυνσης των ηλεκτρονίων και τελικά να παραχθούν ακτίνες-Χ με συνεχές ενεργειακό φάσμα (Tafti and Maani, 2024). Όσον αφορά τη παραγωγή χαρακτηριστικών ακτίνων-Χ, είναι μία διαδικασία που προκύπτει από τη διέγερση ηλεκτρονίων της ανόδου από τα ηλεκτρόνια που προσπίπτουν σε αυτήν, με αποτέλεσμα κατά την αποδιέγερση τους να παραχθούν ακτίνες-Χ συγκεκριμένων ενεργειών με διακριτό ενεργειακό φάσμα (Tafti and Maani, 2024).

#### 1.1.2 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΥΛΗ

Οι κυριότερες αλληλεπιδράσεις των φωτονίων και κατ' επέκταση των ακτίνων-Χ με την ύλη, είναι το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ή αλλιώς φαινόμενο της “απορρόφησης”, η ανελαστική σκέδαση Compton, η ελαστική σκέδαση Rayleigh και η δίδυμη γένεση (Meroli, 2023), τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια.



Αρχικά, σύμφωνα με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (photoelectric effect/photoelectric absorption), όταν ένα φωτόνιο-Χ αλληλεπιδρά με ένα άτομο της ύλης, εξαφανίζεται ή αλλιώς “απορροφάται” από ένα εσωτερικό ηλεκτρόνιο του ατόμου (Κανδαράκης, 2007, Meroli, 2023). Έτσι, το ατομικό ηλεκτρόνιο έχοντας την ενέργεια που απαιτείται για να ιονιστεί, οδηγείται εκτός του ατόμου και η κενή θέση που δημιουργήθηκε καλύπτεται από ένα ηλεκτρόνιο κάποιας εξωτερικής στοιβάδας του ατόμου, με αποτέλεσμα να παραχθεί χαρακτηριστική ακτινοβολία x (Cesareo *et al.*, 1992, Meroli, 2023).

Όσον αφορά τη σκέδαση Compton (Compton scattering), συνιστά μορφή ανελαστικής σκέδασης και λαμβάνει χώρα όταν ένα φωτόνιο-Χ αλληλεπιδράσει με ένα εξωτερικό ηλεκτρόνιο ατόμου και τελικά προκληθεί σκέδαση μεταξύ τους (Κανδαράκης, 2007, Meroli, 2023). Το σκεδαζόμενο φωτόνιο έχει ενέργεια μικρότερη από αυτή που είχε το αρχικό, εφόσον ένα μέρος της ενέργειας του αρχικού φωτονίου έχει αποδοθεί ως κινητική ενέργεια στο σκεδασμένο ηλεκτρόνιο (Cesareo *et al.*, 1992, Meroli, 2023). Ωστόσο, η περίπτωση της σκέδασης Rayleigh (Rayleigh scattering) πρόκειται για ελαστική σκέδαση και η αλληλεπίδραση του φωτονίου-Χ πραγματοποιείται με ολόκληρο το άτομο της ύλης, με αποτέλεσμα την εκτροπή του φωτονίου χωρίς τη πρόκληση ιονισμού (Meroli, 2023). Επομένως η σκέδαση αυτή συχνά θεωρείται αμελητέα, εφόσον δεν συμμετέχει στην απορρόφηση.

Τέλος, η δίδυμη γένεση (pair production) μπορεί να προκληθεί σε πολύ υψηλές ενέργειες και πραγματοποιείται όταν ένα φωτόνιο-Χ αλληλεπιδράσει με ένα ηλεκτρόνιο ή ένα πυρήνα ενός ατόμου της ύλης, με αποτέλεσμα να παραχθεί ένα ζεύγος ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου (Meroli, 2023). Απαραίτητη προϋπόθεση για τη δημιουργία του ζεύγους είναι το προσπίπτον φωτόνιο-Χ να έχει τουλάχιστον ενέργεια ίση με 1,022 MeV.

### 1.1.3 ΝΟΜΟΣ ΕΚΘΕΤΙΚΗΣ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗΣ

Λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις παραπάνω αλληλεπιδράσεις των ακτίνων-Χ με την ύλη, είναι αναγκαίο να τονισθεί ότι τα φαινόμενα αυτά είναι πιθανοκρατικά. Δηλαδή, στη περίπτωση μιας δέσμης φωτονίων και κατ’ επέκταση μιας δέσμης ακτίνων-Χ η οποία εισέρχεται σε ένα υλικό, κάποια φωτόνια θα αλληλεπιδράσουν με την ύλη ενώ κάποια άλλα όχι (ΕΕΑΕ, 2011). Έτσι, προκύπτει ο νόμος της εκθετικής εξασθένησης για μονοενεργειακή δέσμη φωτονίων ως εξής (Κανδαράκης, 2007):

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad (1.1)$$

$I_0$  = το αρχικό πλήθος των φωτονίων που εισέρχεται στο υλικό ή η αρχική ένταση της δέσμης φωτονίων

$I$  = το πλήθος των φωτονίων που δεν έχει αλληλεπιδράσει με το υλικό και τελικά το διαπερνά ή η τελική ένταση της δέσμης φωτονίων



$\mu$  = ο γραμμικός συντελεστής εξασθένησης του υλικού

$x$  = η διαδρομή που διανύει η δέσμη φωτονίων μέσα στο υλικό.

Τα  $\mu$  και  $x$  εκφράζονται συνήθως σε μονάδες  $\text{cm}^{-1}$  και  $\text{cm}$  αντίστοιχα (Bushberg and Boone, 2011).

### 1.1.4 ΕΚΘΕΣΗ, ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΗ ΔΟΣΗ ΚΑΙ KERMA

Κάποια βασικά στοιχεία δοσιμετρίας μίας δέσμης ακτίνων-Χ στη διαγνωστική ακτινολογία είναι η έκθεση, η δόση και το KERMA (Κανδαράκης, 2007, IAEA, 2007, Bushberg and Boone, 2011), όπου παρακάτω παρατίθενται οι ορισμοί τους:

α) Έκθεση **X** (Exposure): ορίζεται ως το σύνολο του ηλεκτρικού φορτίου **Q** που παράγεται από την χρησιμοποιούμενη ιοντίζουσα ακτινοβολία ανά μονάδα μάζας **m** αέρα (μονάδα στο SI: Coulomb/kg (C/kg) ή Roentgen (R)):

$$\mathbf{X} = \frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{m}} \quad (1.2)$$

β) Απορροφούμενη δόση **D** (Absorbed Dose): ορίζεται ως η συνολική ενέργεια **E** που έχει εναποτεθεί από την ιοντίζουσα ακτινοβολία ανά μονάδα μάζας **m** του ακτινοβολούμενου υλικού (μονάδα στο SI: Joule/kg (J/kg) ή Gray (Gy)):

$$\mathbf{D} = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{m}} \quad (1.3)$$

γ) **KERMA** ή **K** (Kinetic Energy Released in Matter): ορίζεται ως το σύνολο των αρχικών κινητικών ενεργειών **E<sub>k</sub>** όλων των φορτισμένων σωματιδίων που απελευθερώνονται εντός του ακτινοβολούμενου υλικού από σωματίδια που δεν έχουν φορτιστεί ανά μονάδα μάζας **m** του υλικού (μονάδα στο SI: Joule/kg (J/kg) ή Gray (Gy)):

$$\mathbf{K} = \frac{\mathbf{E}_k}{\mathbf{m}} \quad (1.4)$$

## 1.2 ΜΑΣΤΟΣ

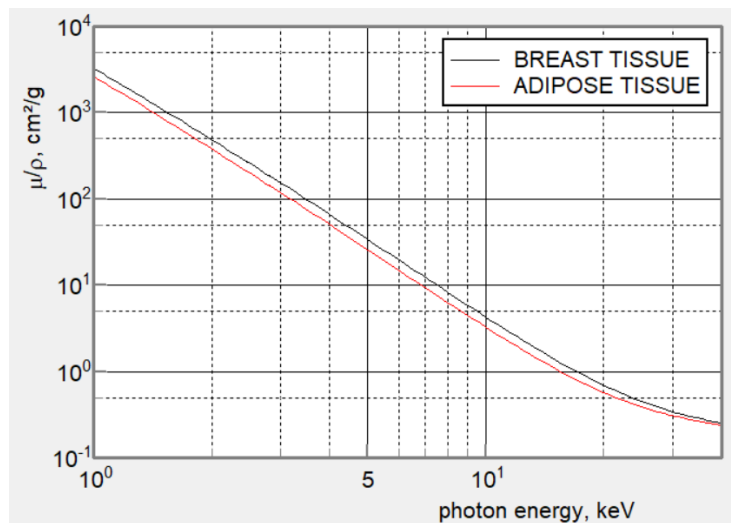
### 1.2.1 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΑΝΑΤΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι μαστοί αποτελούν σημαντικά όργανα του γυναικείου σώματος και βρίσκονται στο πρόσθιο τμήμα του θώρακα αλλά και στα πλάγια τμήματα του, μπροστά από τους θωρακικούς μύες (Moore, Dalley and Agur, 2013, Zolfagharnasab *et al.*, 2018). Η σύσταση του μαστού παρουσιάζει μία ετερογένεια ως προς τους ιστούς που διαμορφώνουν την τελική του δομή. Συνίσταται, κυρίως, από λιπώδη ιστό (fat/adipose tissue), καθώς και από έναν συνδυασμό ινώδους συνδετικού ιστού (fibrous tissue) και αδενικού ιστού (glandular tissue) (Zolfagharnasab *et al.*, 2018, Said Camilleri *et al.*, 2022), με το λίπος να λειτουργεί

ως στήριγμα για τον ινοαδενικό ιστό (fibroglandular tissue) (Said Camilleri *et al.*, 2022). Επίσης, ο μαστός περιλαμβάνει και αιμοφόρα αγγεία τα οποία είναι περισσότερο εμφανή στη μαστογραφία γυναικών με πιο λιπώδεις μαστούς (Benedetto *et al.*, 2016). Τέλος, στο πρόσθιο εξωτερικό τμήμα υπάρχει η θηλή (nipple), όπου το δέρμα της είναι σκουρόχρωμο και άτριχο (Δαΐκος *et al.*, 2016) και η οποία περιβάλλεται από τη θηλαία άλως (areola) που έχει κυκλικό σχήμα, μέγεθος που ποικίλλει, σκούρο χρώμα και διάσπαρτα τριχοθυλάκια (Moore, Dalley and Agur, 2013, Δαΐκος *et al.*, 2016, Zucca-Matthes, Urban and Vallejo, 2016).

### 1.2.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΙΣΤΩΝ

Η εξασθένηση που υφίσταται μία μονοενεργειακή δέσμη φωτονίων κατά τη διαδρομή της μέσα από ένα υλικό συγκεκριμένου πάχους, εκφράζεται μέσω του γραμμικού συντελεστή εξασθένησης (linear attenuation coefficient) του υλικού και συμβολίζεται ως  $\mu$  (Bushberg and Boone, 2011). Ένας άλλος τρόπος έκφρασης της εξασθένησης της δέσμης είναι ο λόγος  $\mu/\rho$  (mass attenuation coefficient) όπου  $\rho$  είναι η πυκνότητα του υλικού και αποτελεί ουσιαστικά μία κανονικοποίηση του  $\mu$  ως προς το  $\rho$  του υλικού (Bushberg and Boone, 2011). Στην *Εικόνα 1.1*, από το λογισμικό XMuDat, φαίνεται το πως οι λόγοι  $\mu/\rho$  του ινοαδενικού ιστού (breast tissue) και του λιπώδους ιστού (adipose tissue), δηλαδή των δύο βασικών ιστών του μαστού, αλλάζουν σε συνάρτηση με την ενέργεια της δέσμης των φωτονίων.



Εικόνα 1.1: Λόγοι  $\mu/\rho$  ινοαδενικού και λιπώδους ιστού συναρτήσει της ενέργειας.

## 1.3 ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

### 1.3.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΗΨΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΜΑΣΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η λήψη μίας σωστής μαστογραφικής εικόνας εξαρτάται τόσο από την ορθή τοποθέτηση του μαστού, όσο και από τη βέλτιστη συμπίεση από το ειδικό πίεστρο (Sripathi and Sraraj, 2020). Πιο συγκεκριμένα, ο ρόλος του πίεστρου είναι ιδιαίτερα σημαντικός εφόσον η συμπίεση του μαστού συμβάλλει: α) στη βελτίωση της

αντίθεσης της εικόνας, λόγω μείωσης του πάχους του μαστού το οποίο συνεπάγεται ελάττωση της σκέδασης, β) στη μείωση της γεωμετρικής ασάφειας, λόγω της μικρότερης απόστασης μεταξύ των δομών του μαστού και του ανιχνευτή, γ) στην ελάττωση της πιθανότητας ψευδενδείξεων, λόγω ακινητοποίησης του μαστού, δ) στη μείωση της αλληλοεπικάλυψης των δομών, ώστε να είναι εφικτός ο εντοπισμός όλων των ύποπτων περιοχών και ε) στη μείωση της δόσης από την ακτινοβολία (Sripathi and Sraj, 2020).

### 1.3.2 ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ

Η βασική οργανολογία ενός συστήματος μαστογραφίας περιλαμβάνει τη λυχνία ακτίνων-Χ (x-ray tube), τον ανιχνευτή (x-ray detector), το ειδικό πίεστρο για τη βέλτιστη συμπίεση του μαστού (compression paddle), το αντιδιαχυτικό πλέγμα (anti-diffusion grid) που χρησιμοποιείται για τη μείωση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας που προσπίπτει στον ανιχνευτή, καθώς επίσης και το σύστημα αυτόματης έκθεσης (AEC-Automatic Exposure Control) (Fico *et al.*, 2023). Επιπλέον, σημαντικά τμήματα αποτελούν τόσο το φίλτρο (filter) στην έξοδο της λυχνίας για την αποκοπή των μη χρήσιμων χαμηλών ενεργειών, οι οποίες όχι μόνο δεν συμμετέχουν στην δημιουργία της τελικής εικόνας αλλά οδηγούν στη χορήγηση μεγαλύτερης δόσης στον εξεταζόμενο, όσο και ο κατευθυντήρας (collimator) για τη κατάλληλη διαμόρφωση της δέσμης (Fico *et al.*, 2023).

## 1.4 ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

Η ποιότητα μιας μαστογραφικής εικόνας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο όσον αφορά τον έγκαιρο εντοπισμό διαφόρων παθολογικών καταστάσεων του μαστού, όπως ο καρκίνος (Chevalier *et al.*, 2012). Από τα κυριότερα χαρακτηριστικά που καθορίζουν τη ποιότητα της εικόνας αποτελεί η χωρική διακριτική ικανότητα, η οποία σχετίζεται με τη απεικόνιση της πιο μικρής λεπτομέρειας που μπορεί να γίνει διακριτή σε μία εικόνα (Bushberg and Boone, 2011). Η χωρική διακριτική ικανότητα ενός απεικονιστικού συστήματος μπορεί να ποσοτικοποιηθεί σε μονάδες χωρικής συχνότητας, δηλαδή ζεύγη γραμμών ανά χιλιοστό (lp/mm), η οποία συνδέεται άμεσα με μία τιμή της συνάρτησης μεταφοράς διαμόρφωσης (MTF-Modulation Transfer Function) (Bushberg and Boone, 2011, Chevalier *et al.*, 2012). Παράλληλα, ένα ακόμη βασικό ποιοτικό χαρακτηριστικό συνιστά ο θόρυβος με τον κβαντικό θόρυβο να είναι η κυρίαρχη πηγή θορύβου, ενώ ο απλούστερος τρόπος μέτρησης του θορύβου είναι μετρώντας τη τυπική απόκλιση των απορροφούμενων φωτονίων σε μία ορισμένη περιοχή του ανιχνευτή (Chevalier *et al.*, 2012). Φυσικά, η αντίθεση αποτελεί και αυτή κρίσιμο παράγοντα της ποιότητας μιας εικόνας και ορίζεται ως η διαφορά της φωτεινότητας μεταξύ της περιοχής ενδιαφέροντος και του περιβάλλοντος ιστού (Tompe and Sargar, 2024). Τέλος, η ποιότητα εικόνας επηρεάζεται και από ψευδενδείξεις, οι οποίες παραμορφώνουν τις ανατομικές δομές και μπορεί να προέρχονται από πιθανές βλάβες στο σύστημα απεικόνισης ή ακόμη και από κίνηση του οργάνου ενδιαφέροντος (Chevalier *et al.*, 2012), όπως είναι ο μαστός.

## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

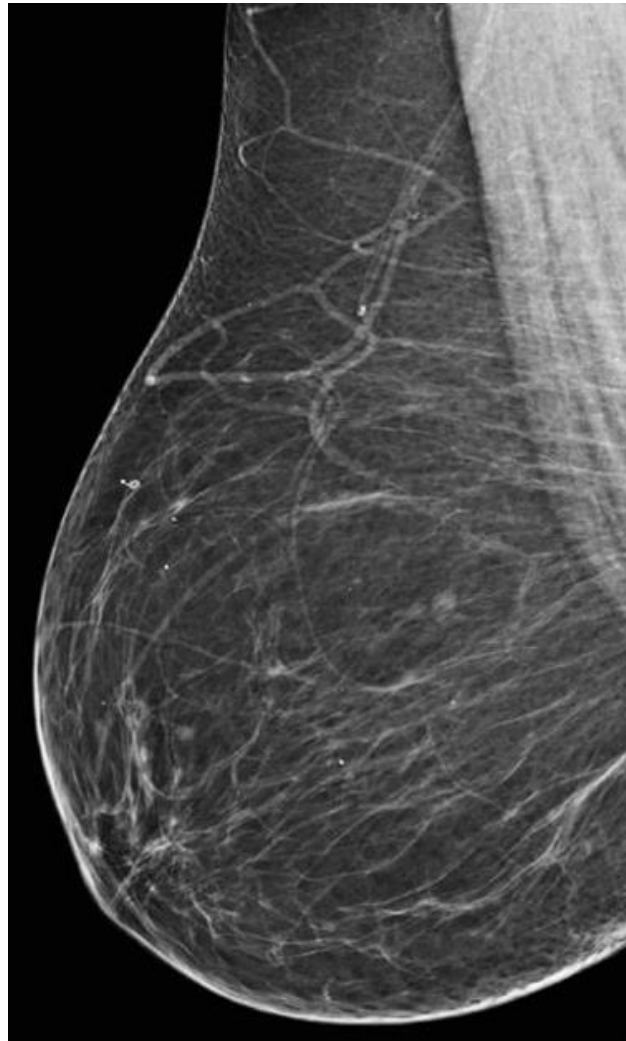
Η μεθοδολογία κατασκευής του ψηφιακού ομοιώματος βασισμένη σε εικόνα μαστογραφίας υλοποιήθηκε με δύο διαφορετικές προγραμματιστικές μεθόδους στο λογισμικό MATLAB (The Mathworks Inc, 2022), όπου σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν 5 εικόνες μαστογραφίας από βιβλιογραφικές πηγές ανοιχτής πρόσβασης (Gordon, 2022, Pawlak *et al.*, 2023, Rahman *et al.*, 2023). Τόσο στη πρώτη, όσο και στη δεύτερη μέθοδο, αρχικά, έγινε χρήση του λογισμικού ImageJ (Rasband and National Institutes of Health-USA, 2022) από όπου πάρθηκαν οι τιμές των εικονοστοιχείων (pixel values) των εικόνων, σε επιλεγμένες περιοχές ενδιαφέροντος (ROIs-Regions Of Interest), στη κλίμακα των τόνων του γκρι από το 0 (μαύρο) έως το 255 (άσπρο). Τα ROIs περιλάμβαναν περιοχές του μαστού που παρατηρήθηκαν στις εικόνες όπως: α) ο ινοαδενικός ιστός που φαίνεται με ανοιχτές αποχρώσεις, β) ο λιπώδης ιστός με σκούρες αποχρώσεις, γ) ο θωρακικός μυς με αποχρώσεις κοντά σε αυτές του ινοαδενικού ιστού, δ) το αίμα, με τα αγγεία να έχουν σωληνοειδή μορφή με ανοιχτές αποχρώσεις, ε) κάποια πιθανή μικροαποτιτάνωση με άσπρο, καθώς και στ) ο αέρας, που δεν αποτελεί περιοχή του μαστού, αλλά είναι εμφανής αποτελώντας το μαύρο υπόβαθρο της εικόνας. Για τη δομή και την απόχρωση καθεμιάς από τις παραπάνω περιοχές σε μία εικόνα μαστογραφίας ρωτήθηκε έμπειρος γιατρός ακτινολόγος. Στη συνέχεια, με βάση τις τιμές των pixel ενδιαφέροντος χρησιμοποιήθηκε το προγραμματιστικό περιβάλλον του MATLAB, ώστε να δημιουργηθούν τα ψηφιακά ομοιώματα των 5 εικόνων με τις δύο μεθόδους που περιγράφονται στη συνέχεια.

### 2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ Α

Στη πρώτη μέθοδο, οι τιμές των pixel ενδιαφέροντος εξάχθηκαν, από την κάθε εικόνα ξεχωριστά, με τη συμβολή του ImageJ όπως προαναφέρθηκε. Στη συνέχεια, στο περιβάλλον του MATLAB, πραγματοποιήθηκε ένας διαχωρισμός των περιοχών που παρατηρήθηκαν σε κάθε εικόνα, δηλαδή των ROIs που έγινε η περιγραφή τους παραπάνω, σε διαστήματα τιμών pixel από το πιο μαύρο που αντιστοιχεί στον αέρα στο πιο άσπρο που αντιστοιχεί σε μία πιθανή μικροαποτιτάνωση. Τα διαστήματα συνέβαλλαν ώστε να χωριστούν τα ROIs σε επιμέρους περιοχές και να δημιουργηθεί μία διαβάθμιση σε αυτές, με τελικό σκοπό το παραγόμενο ψηφιακό ομοίωμα να προσομοιάζει όσο καλύτερα γίνεται το μαστό της αρχικής εικόνας κάθε περίπτωσης. Σε αυτό το σημείο σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι σε αυτή τη μέθοδο τα διαστήματα των τιμών pixel κάθε επιμέρους ιστού έχουν ισοδιαχωριστεί, ώστε να απέχουν περίπου 20-30 pixel. Κατ' επέκταση, τα διαστήματα των επιμέρους τμημάτων κάθε ιστού είναι διαφορετικά, ανάλογα με το εύρος τιμών pixel καθενός από αυτούς. Τέλος, σε όσες εικόνες βρέθηκαν να αλληλεπικαλύπτονται οι τιμές των pixel του ινοαδενικού ιστού με του θωρακικού μυ, εξαιρέθηκε ο θωρακικός μυς από τους υπολογισμούς.

### 2.1.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.1

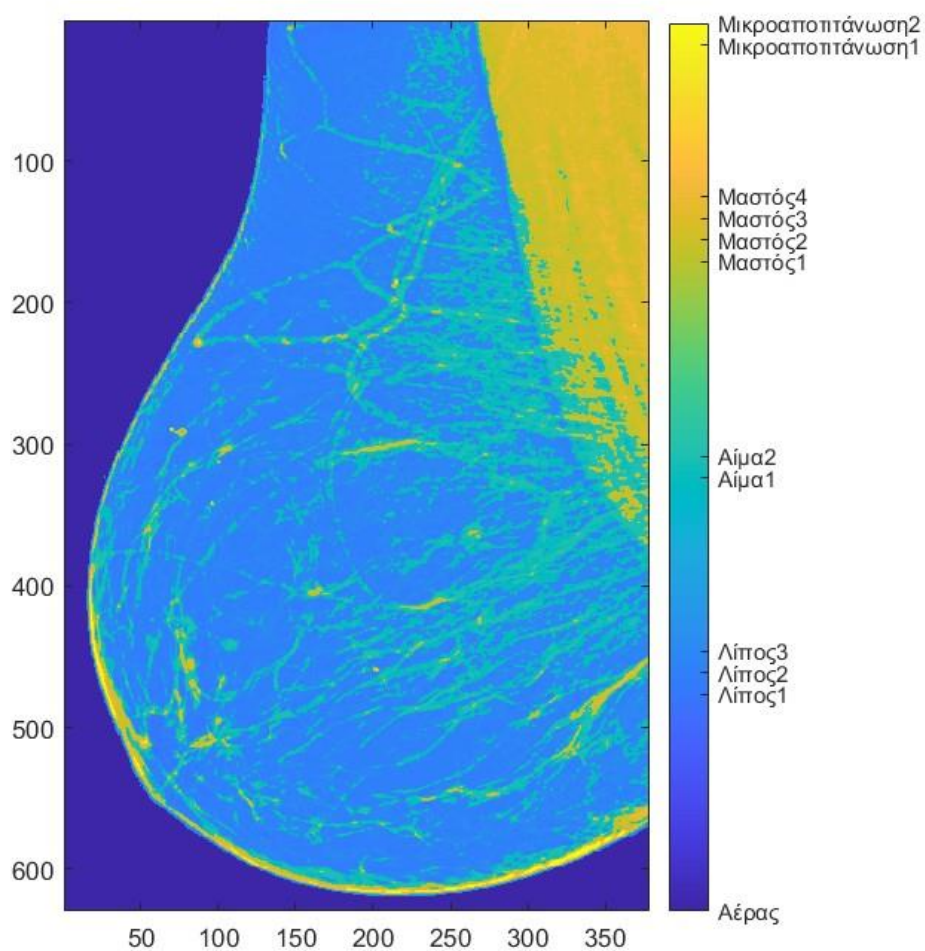
Στον Πίνακα 2.1, φαίνονται οι περιοχές ενδιαφέροντος της *Εικόνας 2.1* καθώς και τα αντίστοιχα εύρη τιμών *pixel*. Προκειμένου να δημιουργηθεί μία ενιαία εικόνα του παραγόμενου ψηφιακού ομοιώματος, τα παραπάνω εύρη τιμών *pixel* διαμορφώθηκαν ώστε να μην εμφανίζουν κενά μεταξύ τους. Έπειτα, κάθε επιμέρους περιοχή ενδιαφέροντος χωρίστηκε σε διαστήματα τιμών *pixel* με τη μέθοδο A που αναλύθηκε στην ενότητα 2.1. Τελικά, λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω, το ψηφιακό ομοίωμα που δημιουργείται αναπαρίσταται με χρωματική διαβάθμιση στην *Εικόνα 2.1.1*, όπου φαίνονται οι ο αριθμός των επιμέρους περιοχών στις οποίες έχει χωριστεί κάθε παρατηρούμενη περιοχή.



*Εικόνα 2.1: Εικόνα μαστογραφίας 1* (Πηγή: Gordon, P.B. (2022)). Το τεκμήριο αυτό είναι δημοσιευμένο σε ανοιχτή πρόσβαση υπό το Creative Common CC BY license: <https://www.mdpi.com/openaccess>.

Πίνακας 2.1: Αντιστοιχία περιοχών ενδιαφέροντος της Εικόνας 2.1 με εύρη τιμών pixel.

Περιοχή ενδιαφέροντος εικόνας	Εύρος τιμών pixel
Ινοαδενικός ιστός	130-188
Λιπώδης ιστός	14-56
Αίμα	80-100
Θωρακικός μυς	123-211
Μικροαποτιτάνωση	216-255
Αέρας	<14

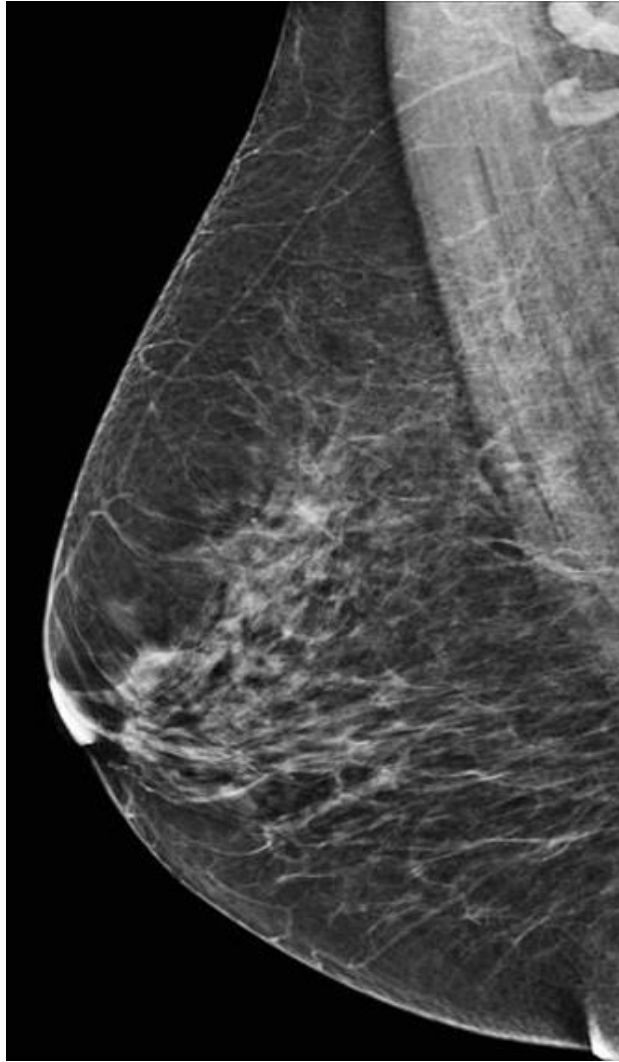


Εικόνα 2.1.1: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.1 με τη μέθοδο Α.



### 2.1.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.2

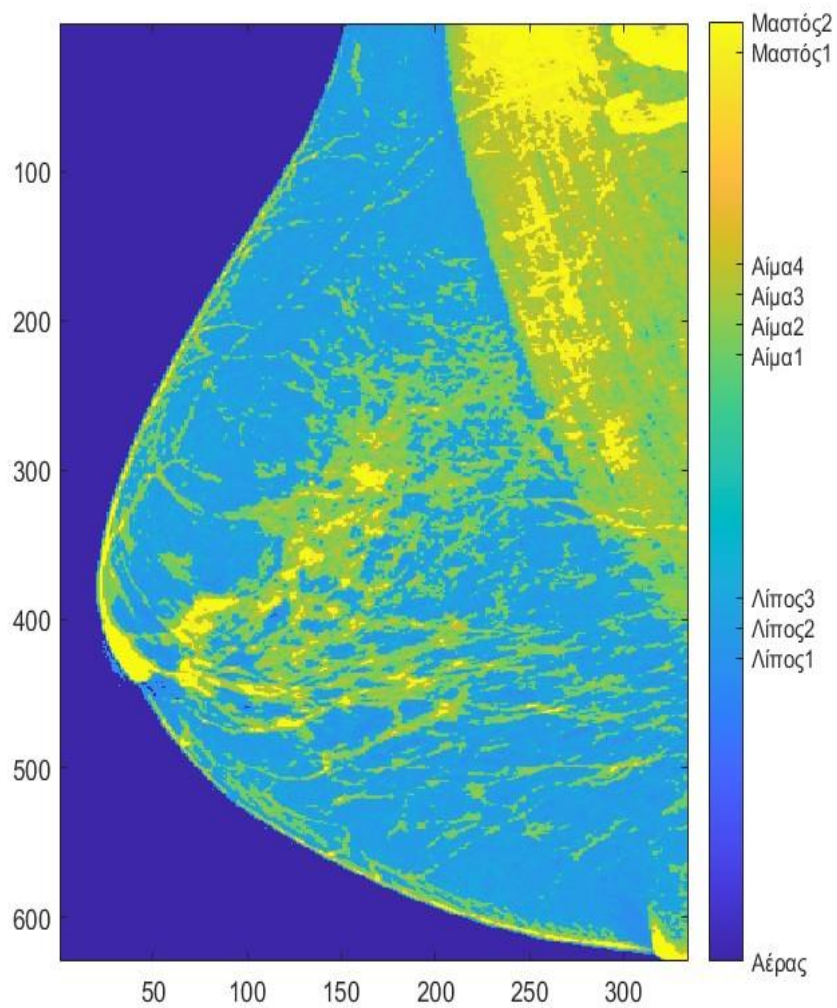
Στον Πίνακα 2.2, φαίνονται οι περιοχές ενδιαφέροντος της *Εικόνας 2.2* καθώς και τα αντίστοιχα εύρη τιμών ρixel. Το ψηφιακό ομοίωμα στην *Εικόνα 2.2.1* δημιουργήθηκε με τον ίδιο τρόπο όπως στην προηγούμενη εικόνα.



*Εικόνα 2.2: Εικόνα μαστογραφίας 2* (Πηγή: Gordon, P.B. (2022)). Το τεκμήριο αυτό είναι δημοσιευμένο σε ανοιχτή πρόσβαση υπό το Creative Common CC BY license: <https://www.mdpi.com/openaccess>.

Πίνακας 2.2: Αντιστοιχία περιοχών ενδιαφέροντος της Εικόνας 2.2 με εύρη τιμών pixel.

Περιοχή ενδιαφέροντος εικόνας	Εύρος τιμών pixel
Ινοαδενικός ιστός	152-200
Λιπώδης ιστός	28-70
Αίμα	76-86
Θωρακικός μυς	90-184
Αέρας	<28

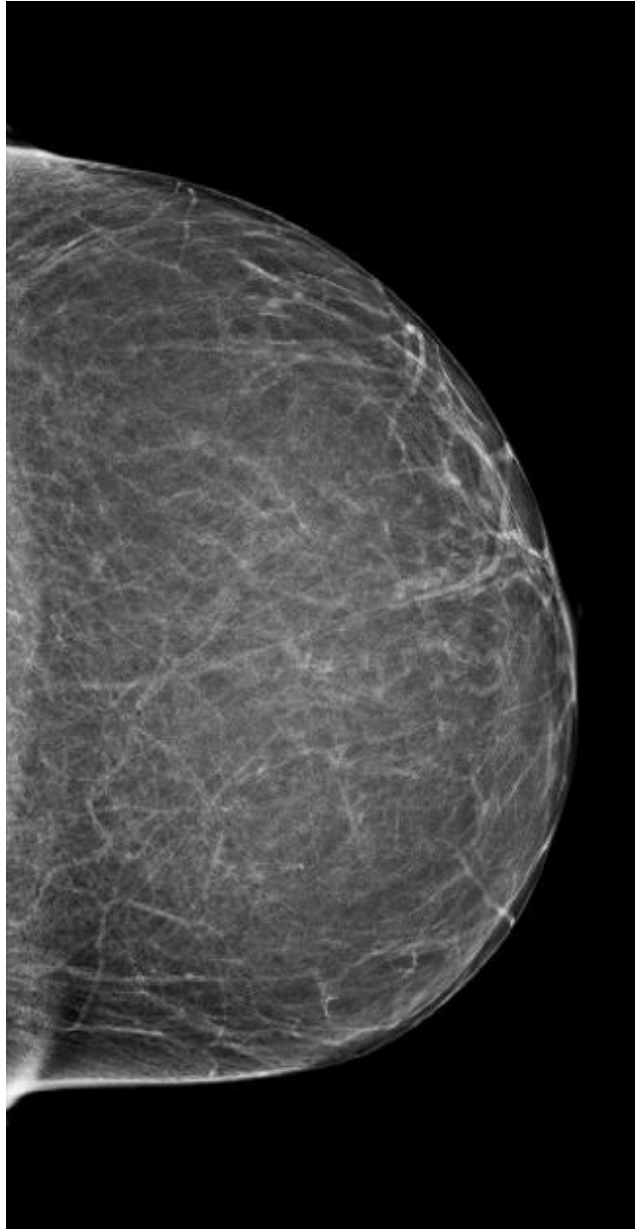


Εικόνα 2.2.1: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.2 με τη μέθοδο Α.



### 2.1.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.3

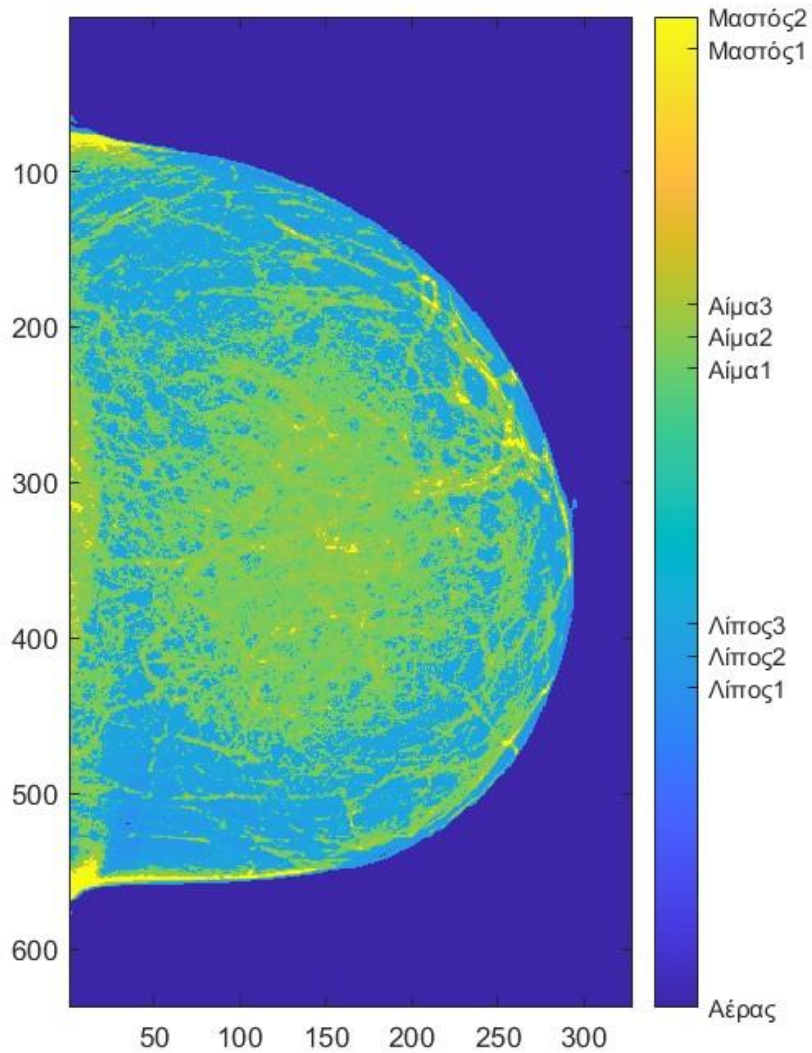
Στον Πίνακα 2.3, φαίνονται οι περιοχές ενδιαφέροντος της Εικόνας 2.3 καθώς και τα αντίστοιχα εύρη τιμών ρixel. Το ψηφιακό ομοίωμα στην Εικόνα 2.3.1 δημιουργήθηκε με τον ίδιο τρόπο όπως στις προηγούμενες εικόνες.



Εικόνα 2.3: Εικόνα μαστογραφίας 3 (Πηγή: Rawlak, M.E. et al. (2023)). Το τεκμήριο αυτό είναι δημοσιευμένο σε ανοιχτή πρόσβαση υπό το Creative Common CC BY license: <https://www.mdpi.com/openaccess>.

Πίνακας 2.3: Αντιστοιχία περιοχών ενδιαφέροντος της Εικόνας 2.3 με εύρη τιμών pixel.

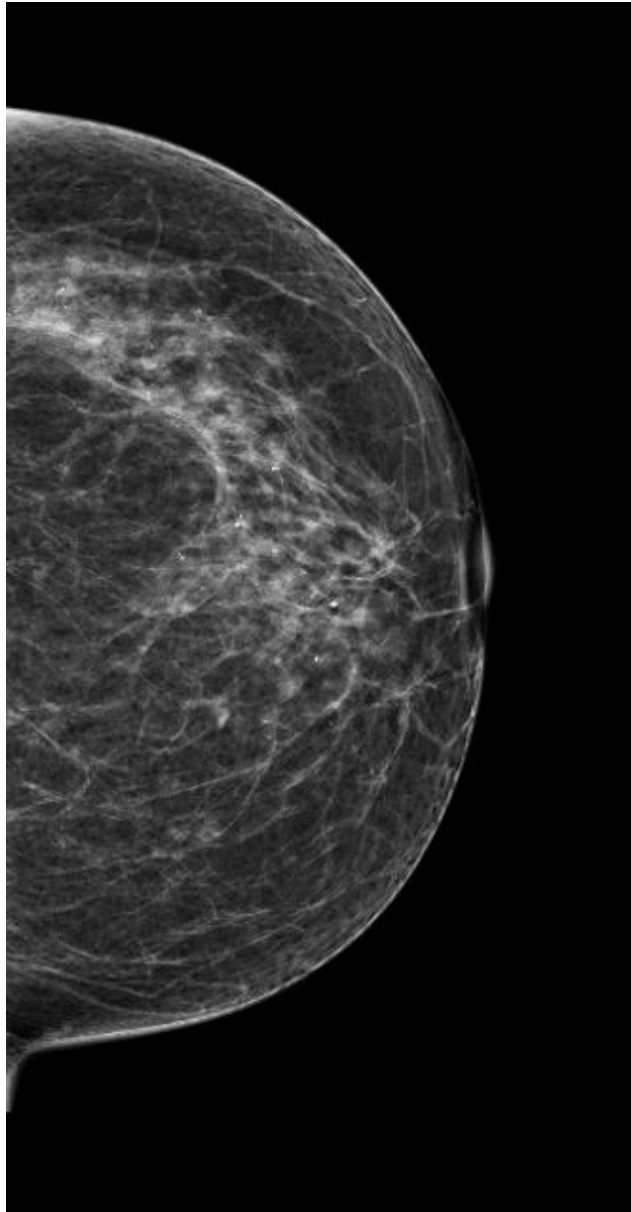
Περιοχή ενδιαφέροντος εικόνας	Εύρος τιμών pixel
Ινοαδενικός ιστός	153-200
Λιπώδης ιστός	41-76
Αίμα	87-108
Αέρας	<41



Εικόνα 2.3.1: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.3 με τη μέθοδο Α.

#### 2.1.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.4

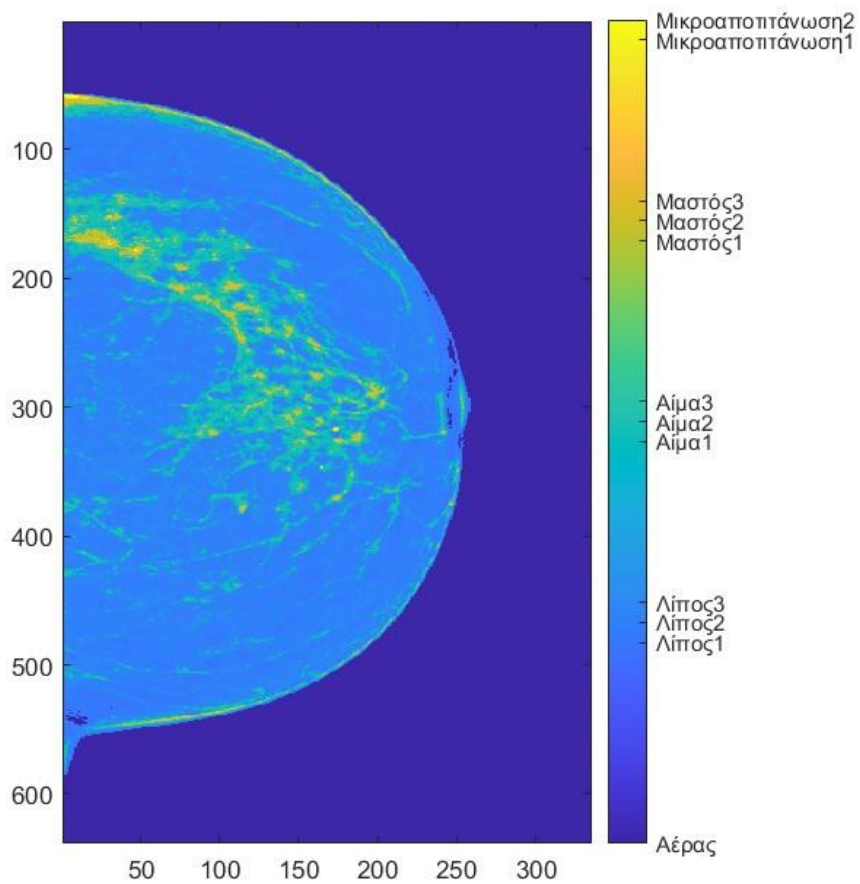
Στον Πίνακα 2.4, φαίνονται οι περιοχές ενδιαφέροντος της Εικόνας 2.4 καθώς και τα αντίστοιχα εύρη τιμών ρixel. Το ψηφιακό ομοίωμα στην Εικόνα 2.4.1 δημιουργήθηκε με τον ίδιο τρόπο όπως στις προηγούμενες εικόνες.



Εικόνα 2.4: Εικόνα μαστογραφίας 4 (Πηγή: Pawlak, M.E. *et al.* (2023)). Το τεκμήριο αυτό είναι δημοσιευμένο σε ανοιχτή πρόσβαση υπό το Creative Common CC BY license: <https://www.mdpi.com/openaccess>.

Πίνακας 2.4: Αντιστοιχία περιοχών ενδιαφέροντος της Εικόνας 2.4 με εύρη τιμών pixel.

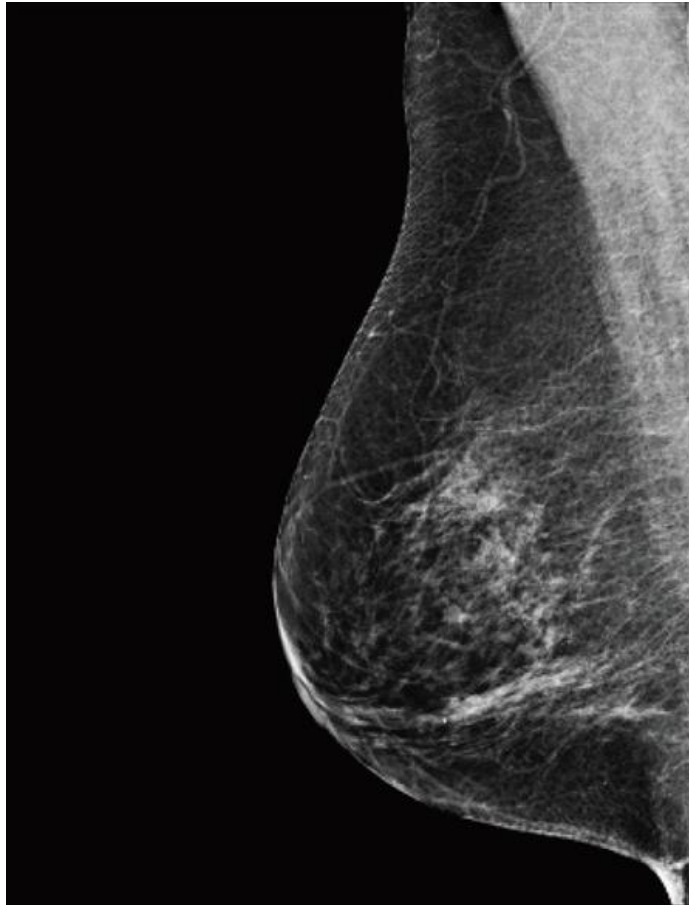
Περιοχή ενδιαφέροντος εικόνας	Εύρος τιμών pixel
Ινοαδενικός ιστός	148-201
Λιπώδης ιστός	17-46
Αίμα	87-118
Μικροαποτιτάνωση	211-237
Αέρας	<17



Εικόνα 2.4.1: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.4 με τη μέθοδο Α.

### 2.1.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.5

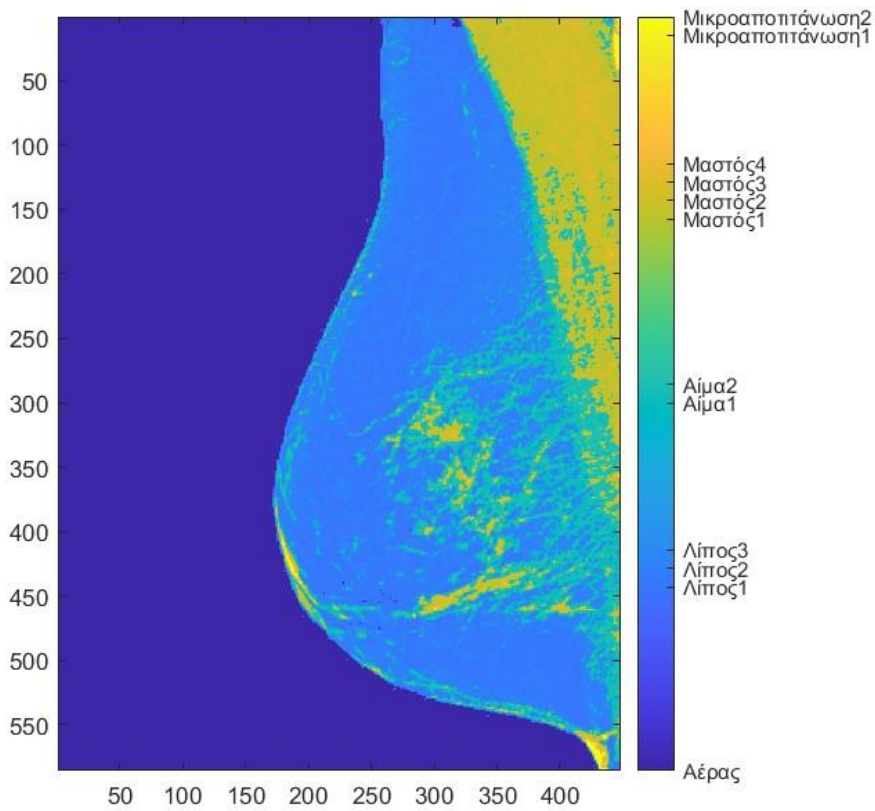
Στον Πίνακα 2.5, φαίνονται οι περιοχές ενδιαφέροντος της *Εικόνας 2.5* καθώς και τα αντίστοιχα εύρη τιμών ρixel. Το ψηφιακό ομοίωμα στην *Εικόνα 2.5.1* δημιουργήθηκε με τον ίδιο τρόπο όπως στις προηγούμενες εικόνες.



*Εικόνα 2.5: Εικόνα μαστογραφίας 5* (Πηγή: Rahman, H. *et al.* (2023)). Το τεκμήριο αυτό είναι δημοσιευμένο σε ανοιχτή πρόσβαση υπό το Creative Common CC BY 4.0 International Deed license: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Πίνακας 2.5: Αντιστοιχία περιοχών ενδιαφέροντος της Εικόνας 2.5 με εύρη τιμών pixel.

Περιοχή ενδιαφέροντος εικόνας	Εύρος τιμών pixel
Ινοαδενικός ιστός	136-217
Λιπώδης ιστός	17-71
Αίμα	77-81
Θωρακικός μυς	127-207
Μικροαποτιτάνωση	215-235
Αέρας	<17



Εικόνα 2.5.1: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.5 με τη μέθοδο Α.

## 2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ Β

Στην δεύτερη μέθοδο, χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες εικόνες και τιμές των pixel ενδιαφέροντος που εξάχθηκαν με τη βοήθεια του ImageJ για την υλοποίηση των ψηφιακών ομοιωμάτων της πρώτης μεθόδου. Ωστόσο, σε αυτή τη περίπτωση, η προγραμματιστική μέθοδος που υλοποιήθηκε στο MATLAB ήταν διαφορετική. Η γενική ιδέα ήταν ένας ισοδιαχωρισμός των pixel των περιοχών ενδιαφέροντος (ROIs) σε 4 διαστήματα το καθένα χρησιμοποιώντας τη μέση τιμή (mean), τη τυπική απόκλιση (std-standard deviation), την ελάχιστη τιμή (min-minimum) και τη μέγιστη τιμή (max-maximum) κάθε ROI. Πιο ειδικά, έχοντας υπολογίσει όλα τα προαναφερθέντα για κάθε ROI, τα 4 διαστήματα στα οποία χωρίστηκε το καθένα ήταν τα εξής:

1<sup>ο</sup> διάστημα → από **min** έως (**mean-std**)

2<sup>ο</sup> διάστημα → από (**mean-std**) έως **mean**

3<sup>ο</sup> διάστημα → από **mean** έως (**mean+std**)

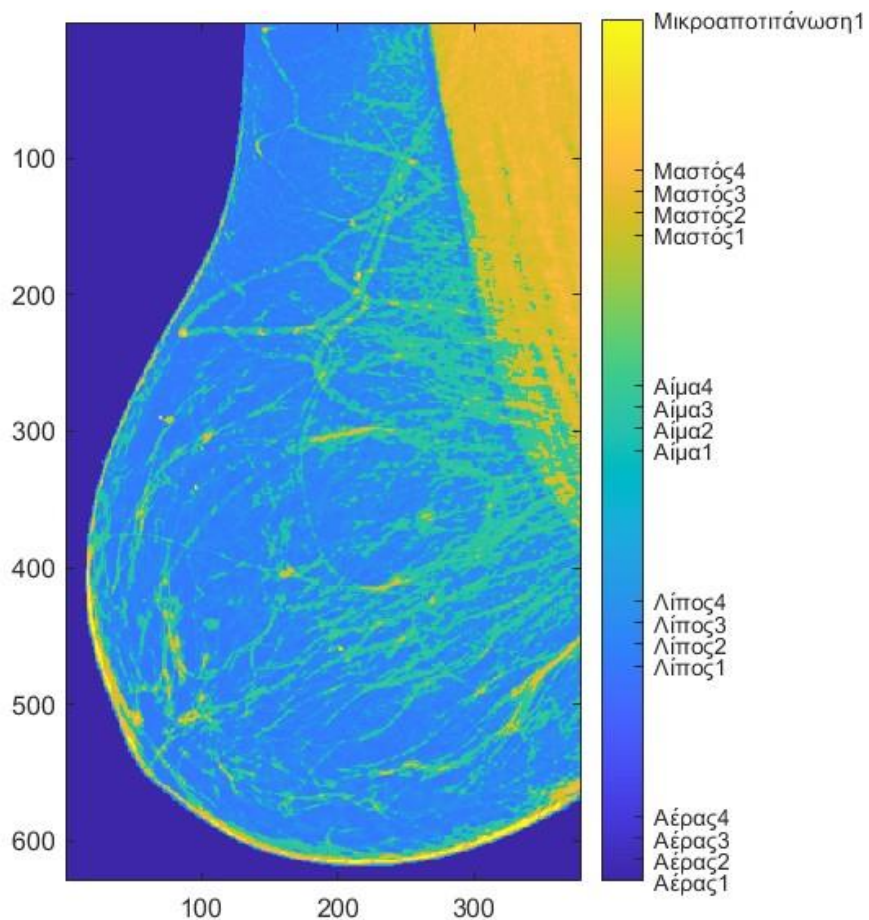
4<sup>ο</sup> διάστημα → από (**mean+std**) έως **max**

Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω διαχωρισμό των διαστημάτων, η διαβάθμιση των pixel είναι, και σε αυτή τη μέθοδο, από το πιο μαύρο προς το πιο άσπρο. Παράλληλα, στις εικόνες που υπήρχε η αλληλοεπικάλυψη των pixel μεταξύ του ινοαδενικού ιστού και θωρακικού μυ, εξαιρέθηκε και σε αυτή τη περίπτωση ο θωρακικός μυς από τους υπολογισμούς.



### 2.2.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.1

Με βάση την *Εικόνα 2.1* και τον *Πίνακα 2.1*, το ψηφιακό ομοίωμα που δημιουργήθηκε με τη δεύτερη μέθοδο φαίνεται με χρωματική διαβάθμιση των επιμέρους τεσσάρων περιοχών κάθε ROI στην *Εικόνα 2.1.2*.

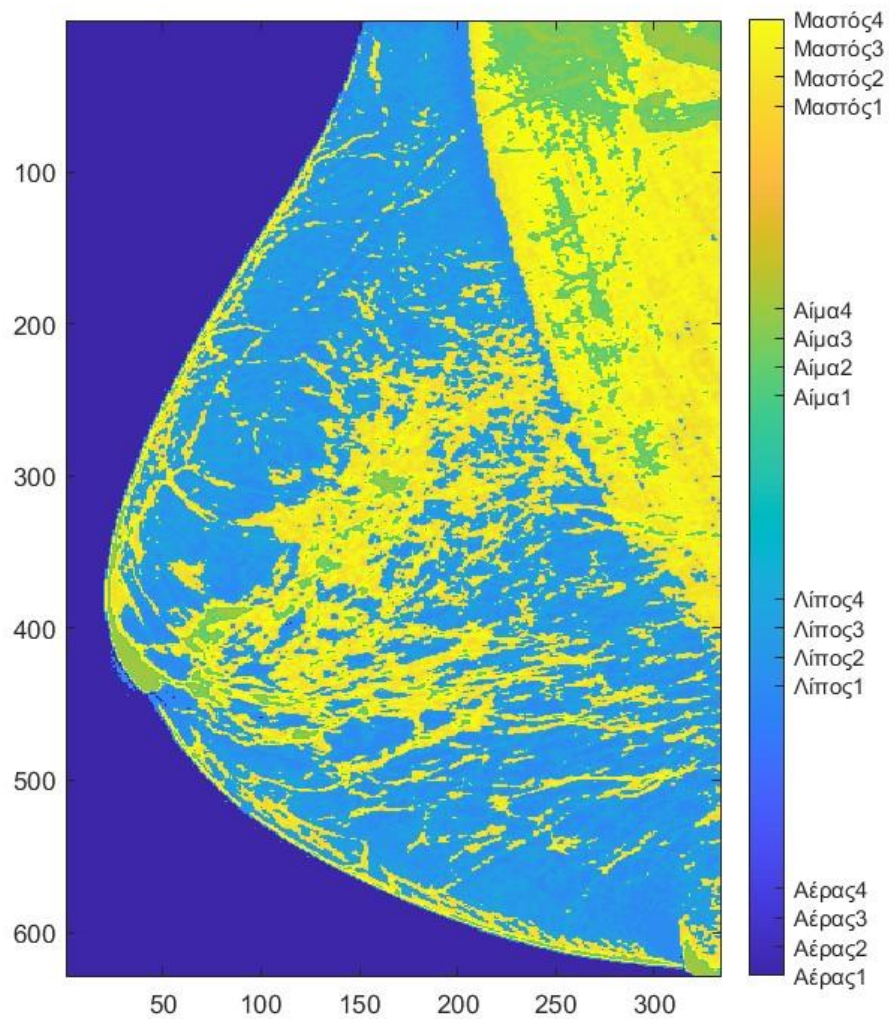


*Εικόνα 2.1.2: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.1 με τη μέθοδο Β.*



### 2.2.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.2

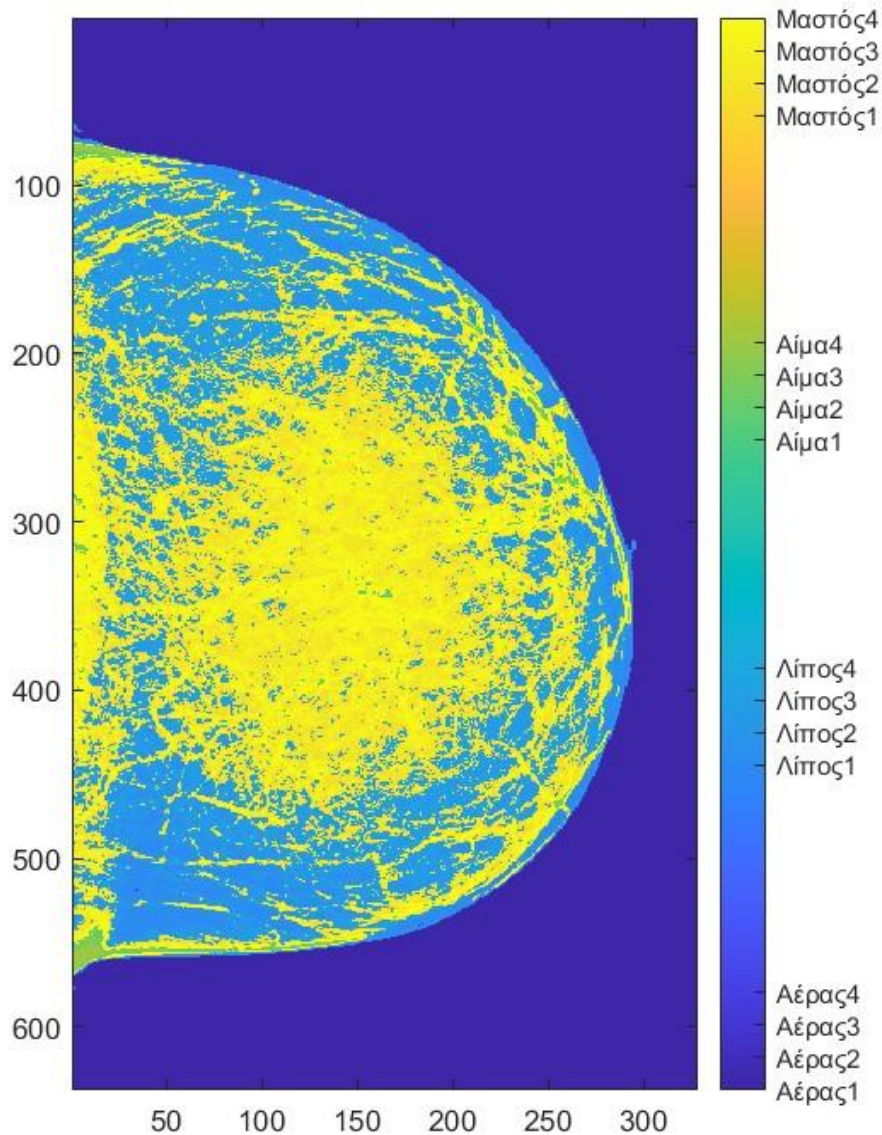
Με βάση την *Εικόνα 2.2* και τον *Πίνακα 2.2*, το ψηφιακό ομοίωμα που δημιουργήθηκε με τη δεύτερη μέθοδο φαίνεται με χρωματική διαβάθμιση των επιμέρους τεσσάρων περιοχών κάθε ROI στην *Εικόνα 2.2.2*.



*Εικόνα 2.2.2: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.2 με τη μέθοδο Β.*

### 2.2.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.3

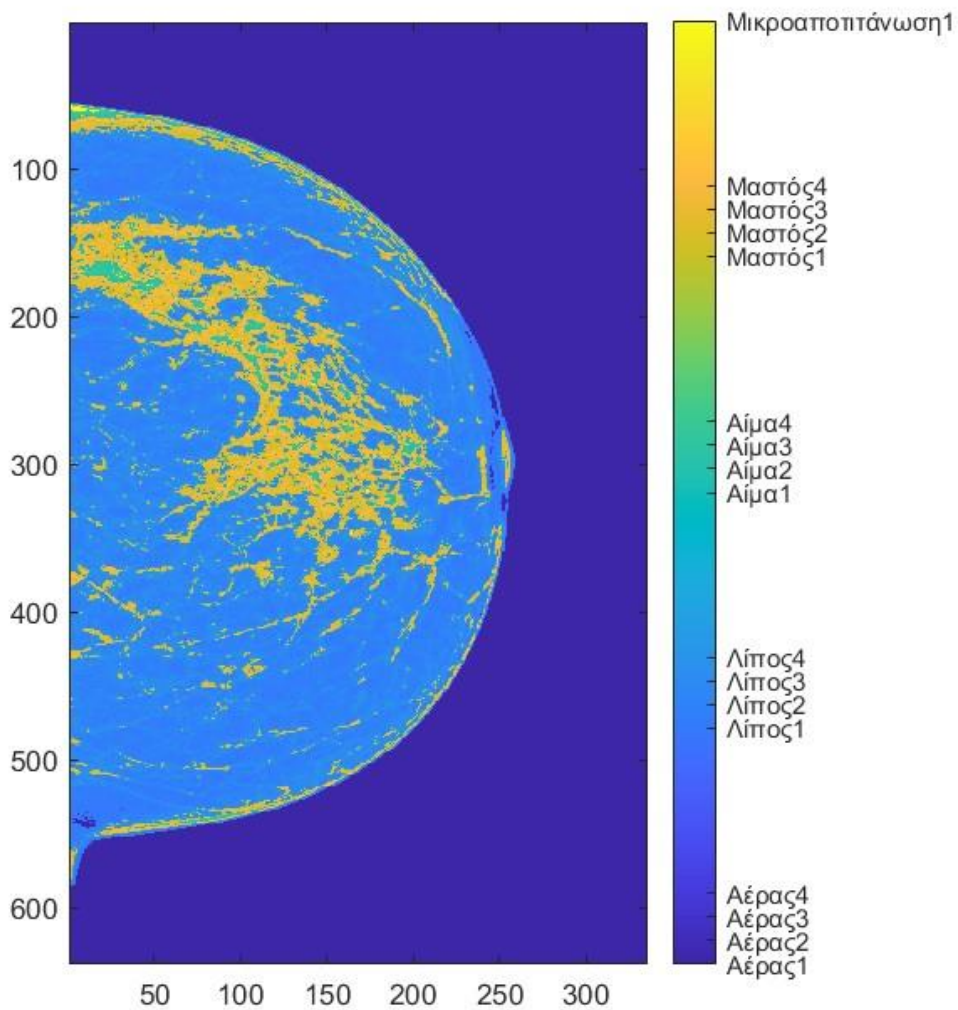
Με βάση την *Εικόνα 2.3* και τον *Πίνακα 2.3*, το ψηφιακό ομοίωμα που δημιουργήθηκε με τη δεύτερη μέθοδο φαίνεται με χρωματική διαβάθμιση των επιμέρους τεσσάρων περιοχών κάθε ROI στην *Εικόνα 2.3.2*.



*Εικόνα 2.3.2: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.3 με τη μέθοδο Β.*

### 2.2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.4

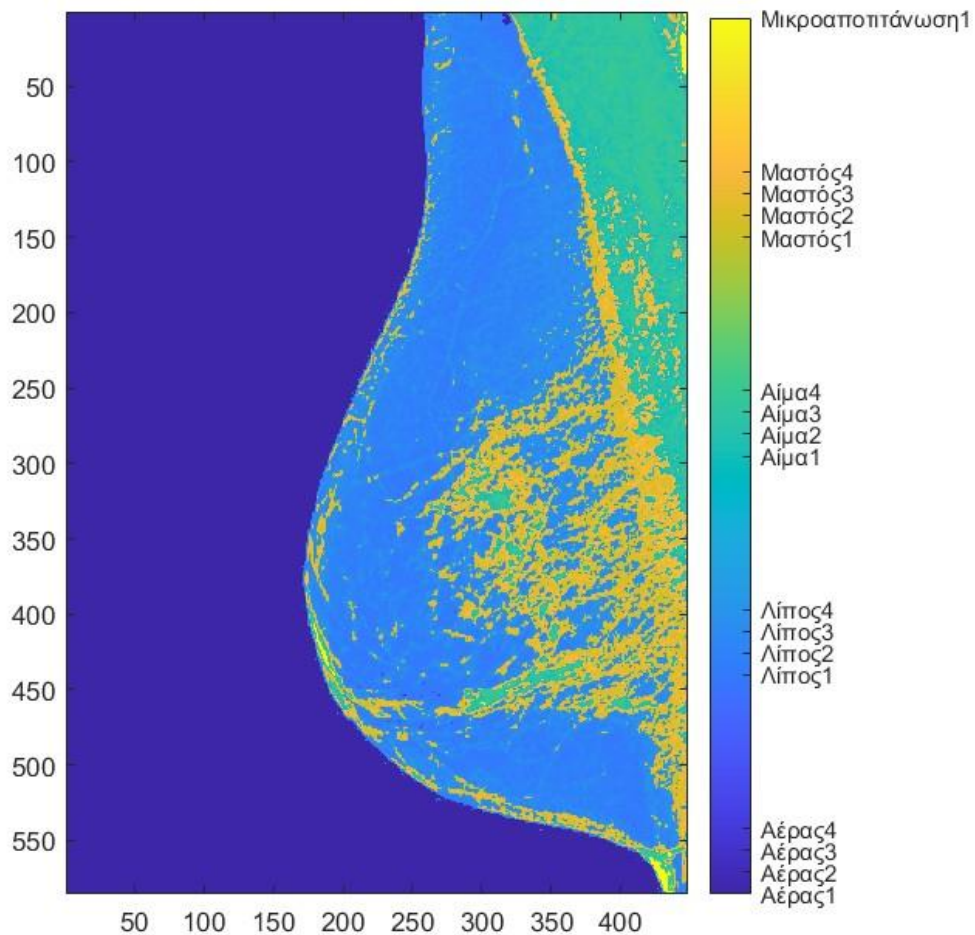
Με βάση την *Εικόνα 2.4* και τον *Πίνακα 2.4*, το ψηφιακό ομοίωμα που δημιουργήθηκε με τη δεύτερη μέθοδο φαίνεται με χρωματική διαβάθμιση των επιμέρους τεσσάρων περιοχών κάθε ROI στην *Εικόνα 2.4.2*.



*Εικόνα 2.4.2: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.4 με τη μέθοδο Β.*

### 2.2.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2.5

Με βάση την *Εικόνα 2.5* και τον *Πίνακα 2.5*, το ψηφιακό ομοίωμα που δημιουργήθηκε με τη δεύτερη μέθοδο φαίνεται με χρωματική διαβάθμιση των επιμέρους τεσσάρων περιοχών κάθε ROI στην *Εικόνα 2.5.2*.



*Εικόνα 2.5.2: Ψηφιακό ομοίωμα βασισμένο στην Εικόνα 2.5 με τη μέθοδο Β.*



### 3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Τα ψηφιακά ομοιώματα που δημιουργήθηκαν στο κεφάλαιο 2, τόσο με τη μέθοδο Α όσο και με τη μέθοδο Β, υποβλήθηκαν σε ακτινοβολήση και έπειτα σε δημιουργία εικόνας από ανιχνευτή με τη προσομοίωση της διαδικασίας μέσω του λογισμικού MATLAB (The Mathworks Inc, 2022). Πιο συγκεκριμένα, αρχικά, έγινε χρήση της εξίσωσης 1.1 για τον υπολογισμό των φωτονίων που διαπέρασαν κάθε ένα από τα παραγόμενα ομοιώματα. Οι ενέργειες με τις οποίες πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση ήταν τα 28keV και 32keV, ως πάχη για το μαστό θεωρήθηκαν τα 4cm και 5,5cm, ενώ ο αρχικός αριθμός των φωτονίων που επιλέχθηκε ήταν τα 5000000 σε όλες τις περιπτώσεις ακτινοβολήσης. Προκειμένου να υπολογιστούν οι γραμμικοί συντελεστές εξασθένησης ( $\mu$ ) των διαφόρων περιοχών των ψηφιακών ομοιωμάτων και να εφαρμοστούν στην εξίσωση 1.1, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό XMuDat (Nowotny, 1998). Λόγω του ότι το συγκεκριμένο λογισμικό δείχνει το πως οι λόγοι  $\mu/\rho$  των ιστών αλλάζουν συναρτήσει της ενέργειας ακτινοβολήσης, τα  $\mu$  των ιστών υπολογίστηκαν πολλαπλασιάζοντας τους λόγους  $\mu/\rho$  με τις πυκνότητες  $\rho$ . Στους Πίνακες 3.1 και 3.2 φαίνονται οι λόγοι  $\mu/\rho$  και τα  $\rho$  κάθε περιοχής που ακτινοβολήθηκε για κάθε ενέργεια. Παρατίθενται και οι τιμές για τον θωρακικό μυ παρόλο που δεν συμπεριλήφθηκε στους υπολογισμούς, λόγω αλληλοεπικάλυψης των τιμών pixel με αυτές του ινοαδενικού ιστού.

Πίνακας 3.1: Οι λόγοι  $\mu/\rho$  και τα  $\rho$  κάθε ακτινοβολουμένης περιοχής για ενέργεια ίση με 28keV.

Ενέργεια (keV)	Περιοχές ομοιώματος	$\mu/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
	28	Ινοαδενικός ιστός	0,374
Λιπώδης ιστός		0,3318	0,95
Αίμα		0,4293	1,06
Θωρακικός μυς		0,3968	1,07
Μικροαποτιτάνωση		4,954	1,55
Αέρας		0,3948	0,001205

Πίνακας 3.2: Οι λόγοι  $\mu/\rho$  και τα  $\rho$  κάθε ακτινοβολουμένης περιοχής για ενέργεια ίση με 32keV.

Ενέργεια (keV)	Περιοχές ομοιώματος	$\mu/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
	32	Ινοαδενικός ιστός	0,3138
Λιπώδης ιστός		0,2863	0,95
Αίμα		0,3504	1,06
Θωρακικός μυς		0,3286	1,07
Μικροαποτιτάνωση		3,382	1,55
Αέρας		0,3218	0,001205

Αφού πραγματοποιήθηκαν όλα τα προαναφερθέντα, το επόμενο βήμα ήταν ο υπολογισμός του KERMA που εξέρχεται από τις διάφορες περιοχές του ψηφιακού ομοιώματος και θα προσπέσει τελικά σε κάποια ανιχνευτική διάταξη για τη λήψη εικόνας. Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του KERMA σε μονάδες  $\mu\text{Gy}$  ήταν η παρακάτω (Χαμογεωργάκη, 2022, Kalyvas *et al.*, 2023, Κατσανεβάκη, 2024):

$$K_T = 1,83 \cdot 10^{-6} \cdot f \cdot e^{-\mu \cdot T \cdot w} \cdot E \cdot \left[ \frac{\mu}{\rho} \right]_{\text{en,air}} \cdot 8,77 \quad (3.1)$$

$f$  = το πλήθος των αρχικών φωτονίων της δέσμης ή η ροή της ακτινοβολίας  $x$

$\mu$  = ο γραμμικός συντελεστής εξασθένησης της περιοχής του ομοιώματος που υπολογίζεται το KERMA κάθε φορά ( $\text{cm}^{-1}$ )

$T$  = το πάχος του μαστού ( $\text{cm}$ )

$E$  = η ενέργεια της δέσμης των ακτίνων-Χ ( $\text{keV}$ )

$[\mu/\rho]_{\text{en,air}}$  = ο μαζικός συντελεστής απορρόφησης ενέργειας του αέρα ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )

8,77 = ο όρος που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της έκθεσης με μονάδες mR σε KERMA με μονάδες  $\mu\text{Gy}$

$w$  = ο παράγοντας στάθμισης που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία διαβάθμισης στη τελική εικόνα, ανάλογα με τη τιμή του pixel κάθε φορά.

Σε αυτό το σημείο, είναι σημαντικό να επισημανθεί η σημασία της εφαρμογής των παραγόντων στάθμισης στην εξίσωση 3.1, ώστε η τελική εικόνα που προκύπτει μετά τον ανιχνευτή να προσομοιάζει όσο το δυνατόν καλύτερα μία εικόνα μαστογραφίας. Η χρήση αυτών των παραγόντων στάθμισης υλοποιήθηκε τόσο για τα ομοιώματα που δημιουργήθηκαν με τη μέθοδο A όσο και με τη μέθοδο B. Ειδικότερα, πρόκειται για αριθμούς οι οποίοι πολλαπλασιάστηκαν με τον εκθέτη της εξίσωσης 3.1, για όλες τις επιμέρους περιοχές κάθε περιοχής ενδιαφέροντος όπου ο μικρότερος πολλαπλασιαστικός όρος αντιστοιχεί στη μικρότερη τιμή pixel. Η θεώρηση αυτή βασίστηκε στο γεγονός ότι όσο πιο μικρή πυκνότητα  $\rho$  έχει μία περιοχή του ομοιώματος, τόσο πιο μικρή θα είναι και η τιμή του pixel, πριν την διαδικασία αντιστροφής με την εξίσωση 3.4, που θα της αντιστοιχεί. Στα ομοιώματα της μεθόδου A, ανάλογα με τον αριθμό των επιμέρους περιοχών και με βάση τη παραπάνω θεώρηση, η διαβάθμιση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ως παράγοντες στάθμισης τα: 0,8, 0,85, 0,9 και 1. Ωστόσο, στα ομοιώματα της μεθόδου B χρησιμοποιήθηκαν τα: 0,9, 0,95, 1,05 και 1,1.

Έπειτα, έχοντας υπολογίσει το KERMA που πρόκειται να προσπέσει σε κάποια ανιχνευτική διάταξη, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί για τη προσομοίωση της διάταξης αυτής ο ανιχνευτής RadEye. Ειδικότερα, πρόκειται για έναν ανιχνευτή τύπου συμπληρωματικού ημιαγωγού μετάλλου-οξειδίου, γνωστός ως CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), ο οποίος προσομοιώθηκε μέσω

της εξίσωσης της καμπύλης απόκρισης του ως εξής (Michail *et al.*, 2011, Χαμογεωργάκη, 2022, Kalivas *et al.*, 2023):

$$PV(K_T) = 2,29 \cdot K_T - 0,052 \quad (3.2)$$

Το επόμενο βήμα ήταν η ανάθεση των τιμών που προέκυψαν από τη καμπύλη απόκρισης του ανιχνευτή σε τόνους του γκρι από το 0 έως το 255 με γραμμικό τρόπο, εφόσον θεωρήθηκε ότι ο ανιχνευτής είναι γραμμικός. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω της παρακάτω εξίσωσης δημιουργίας παραθύρου (Χαμογεωργάκη, 2022, Kalivas *et al.*, 2023):

$$Im(i, j) = \frac{255}{PV_{max} - PV_{min}} \cdot [PV(i, j) - PV_{min}] \quad (3.3)$$

$PV_{max}$  = το pixel με τη μέγιστη τιμή

$PV_{min}$  = το pixel με την ελάχιστη τιμή

$PV(i, j)$  = το τρέχον pixel για το οποίο γίνεται η ανάθεση τιμής τόνου του γκρι.

Στη συνέχεια, η εικόνα που προέκυψε αναπαραστάθηκε σε μορφή 8bit μέσω της συνάρτησης του MATLAB *uint8*, η οποία χρησιμοποιήθηκε για να παραχθεί η τελική εικόνα της ακτινοβόλησης μετά τον ανιχνευτή RadEye. Πιο συγκεκριμένα, η 8bit εικόνα μετατράπηκε στην τελική επιθυμητή εικόνα μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

$$I(i, j) = |(L - 1) - S(i, j)| \quad (3.4)$$

$(L-1)$  = η μέγιστη τιμή του τόνου του γκρι, όπου σε αυτή τη περίπτωση είναι το 255

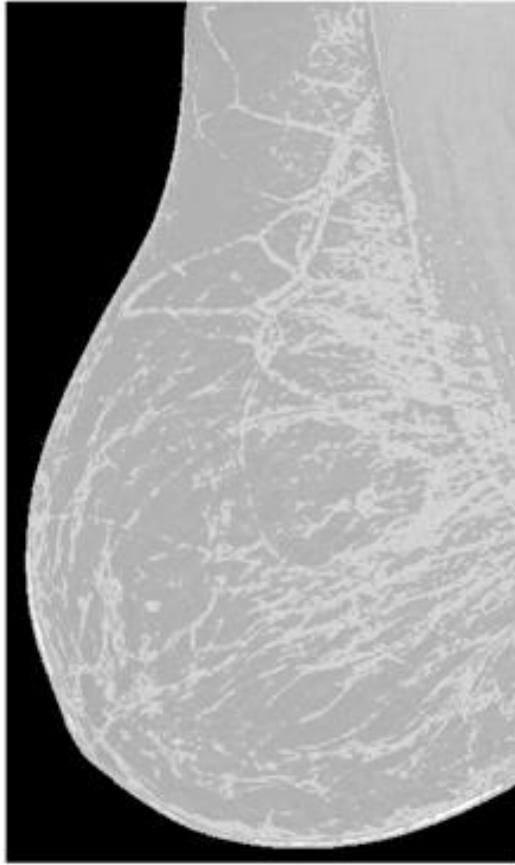
$S(i, j)$  = το τρέχον pixel της 8bit εικόνας για το οποίο γίνεται η μετατροπή.

Επιπλέον, υπολογίστηκε για κάθε εικόνα το ιστόγραμμα της, τόσο με τη βοήθεια του MATLAB όσο και με του ImageJ. Τέλος, έγινε υπολογισμός της δόσης της ακτινοβολίας που πρόκειται να χορηγηθεί σε κάθε περίπτωση δηλαδή της δόσης πριν τον μαστό, ενώ παράλληλα υπολογίστηκε και η δόση μετά τον μαστό, δηλαδή η δόση στην επιφάνεια του ανιχνευτή.

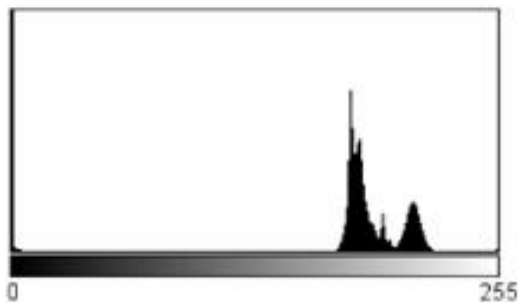
#### 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι εικόνες που προέκυψαν μετά από τη προσομοίωση της ακτινοβόλησης των ψηφιακών ομοιωμάτων τόσο της πρώτης μεθόδου όσο και της δεύτερης μεθόδου φαίνονται παρακάτω. Παράλληλα, με την κάθε εικόνα παρατίθεται το αντίστοιχο ιστόγραμμα από το MATLAB και το ImageJ. Το πλήθος των φωτονίων  $x$  της δέσμης είναι σε όλες τις περιπτώσεις το ίδιο ανεξαρτήτως ενέργειας και πάχους μαστού. Επίσης, μετά το πέρας των *ενοτήτων 4.1 και 4.2* παρατίθεται και ο συγκεντρωτικός Πίνακας 4.1 με τα στοιχεία ακτινοβόλησης, αλλά και τη δόση που υπολογίστηκε τόσο πριν το μαστό όσο και στην είσοδο του ανιχνευτή για κάθε εικόνα.

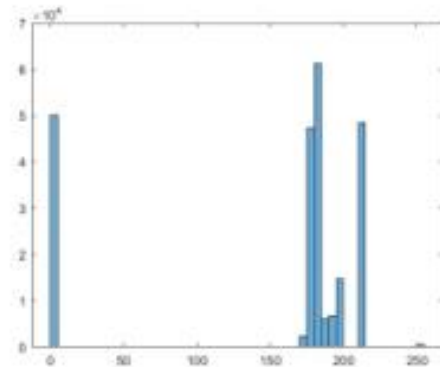
## 4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΑ ΟΜΟΙΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ Α



Εικόνα 4.1: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.1.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.

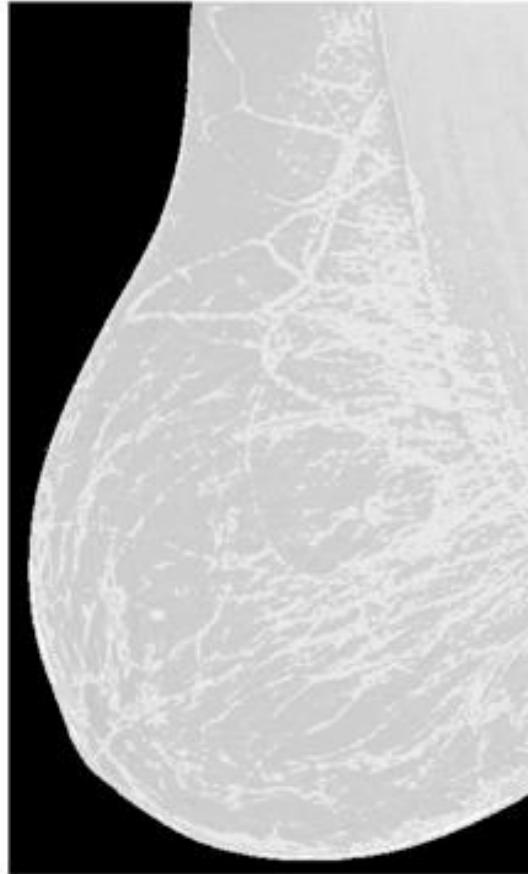


Εικόνα 4.1.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.1 από το ImageJ.

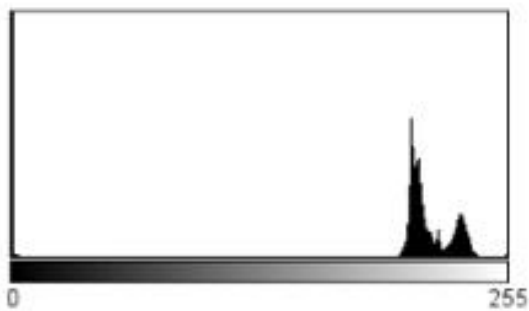


Εικόνα 4.1.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.1 από το MATLAB.

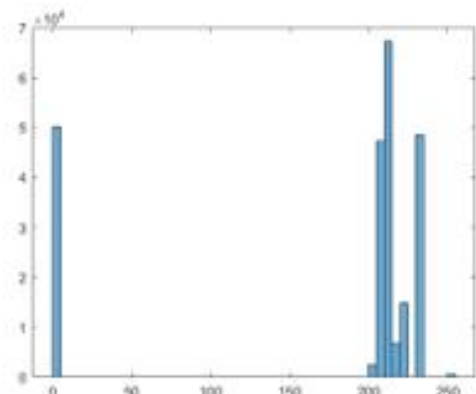




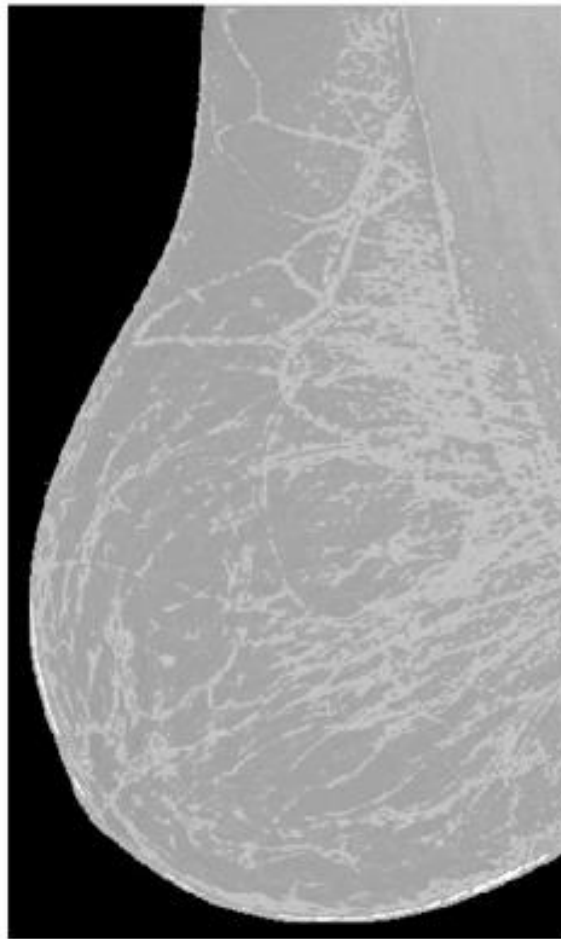
Εικόνα 4.2: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.1.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.



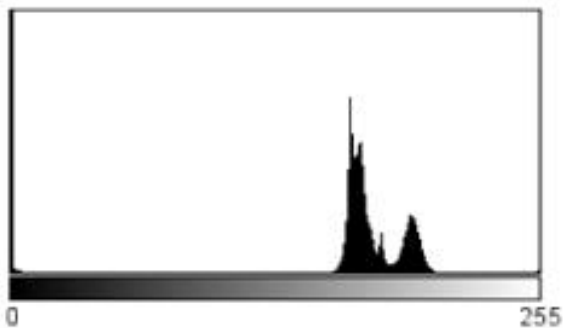
Εικόνα 4.2.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.2 από το ImageJ.



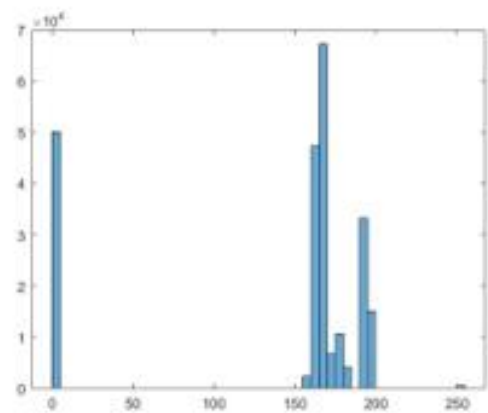
Εικόνα 4.2.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.2 από το MATLAB.



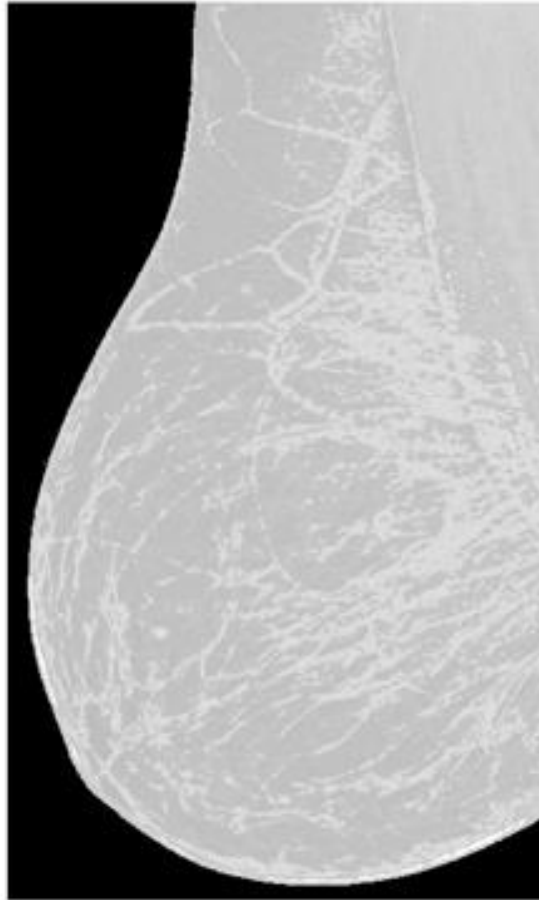
Εικόνα 4.3: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.1.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.



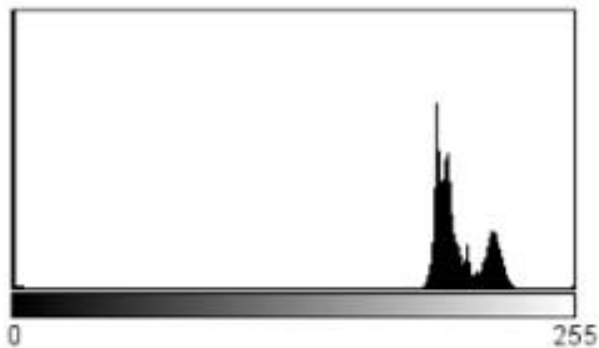
Εικόνα 4.3.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.3 από το ImageJ.



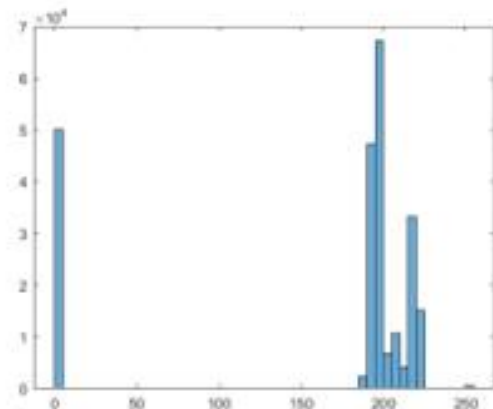
Εικόνα 4.3.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.3 από το MATLAB.



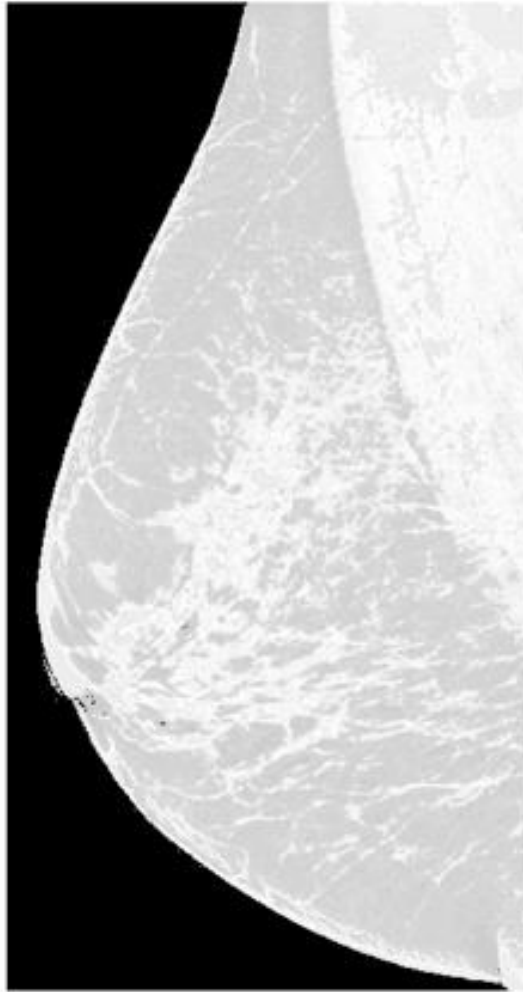
Εικόνα 4.4: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.1.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.



Εικόνα 4.4.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.4 από το ImageJ.



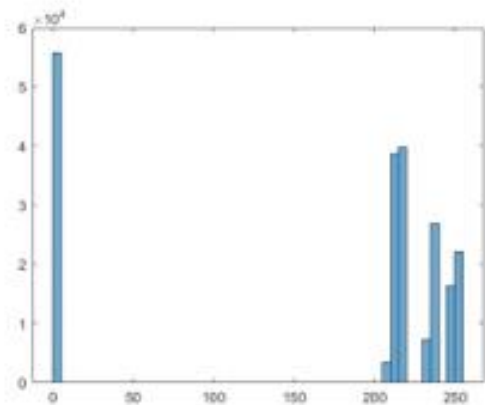
Εικόνα 4.4.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.4 από το MATLAB.



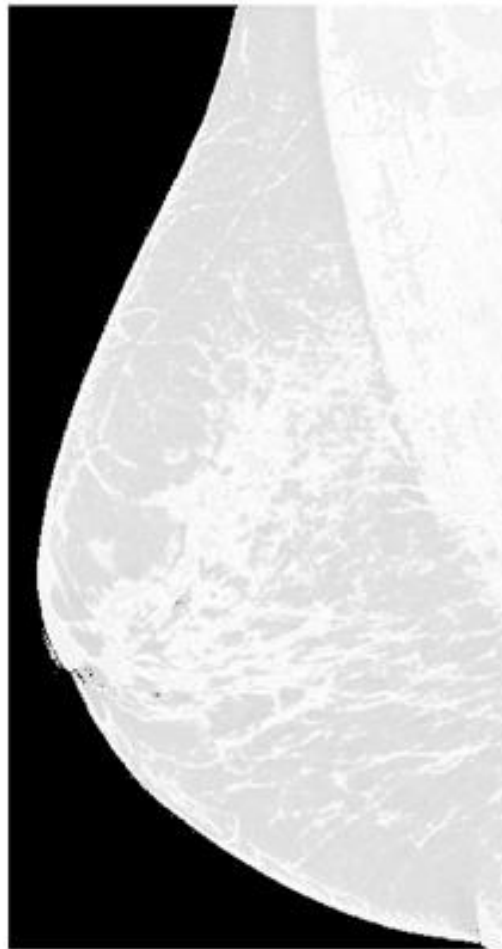
Εικόνα 4.5: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.2.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.



Εικόνα 4.5.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.5 από το ImageJ.



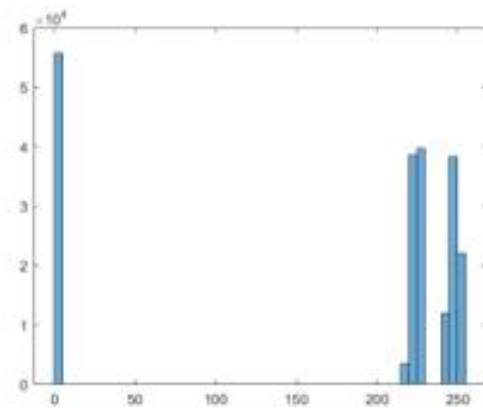
Εικόνα 4.5.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.5 από το MATLAB.



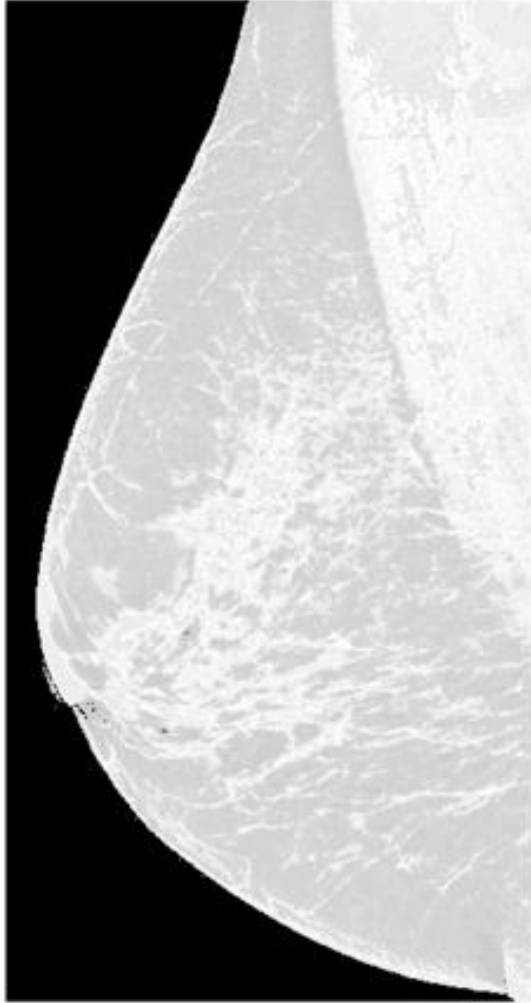
Εικόνα 4.6: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.2.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.



Εικόνα 4.6.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.6 από το ImageJ.



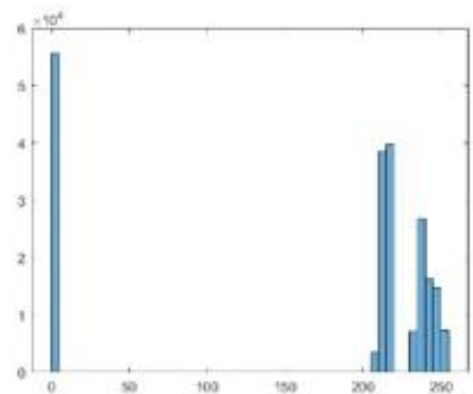
Εικόνα 4.6.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.6 από το MATLAB.



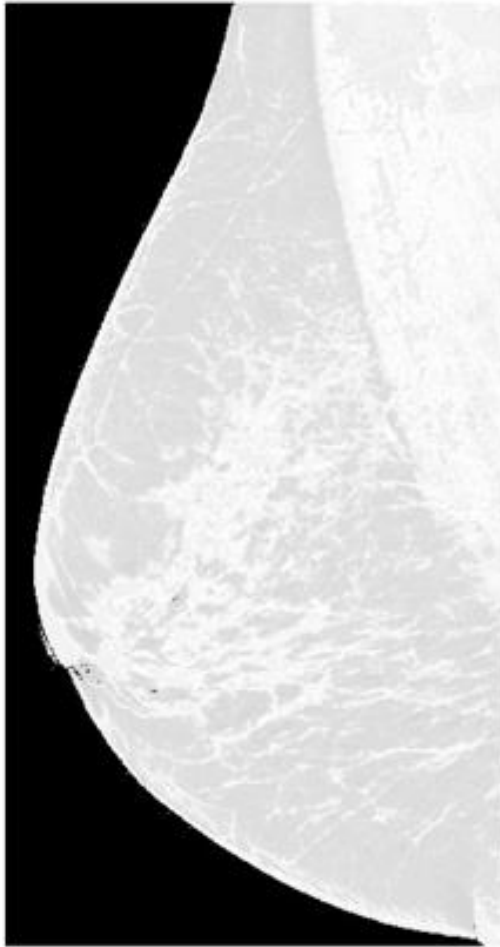
Εικόνα 4.7: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.2.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.



Εικόνα 4.7.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.7 από το ImageJ.



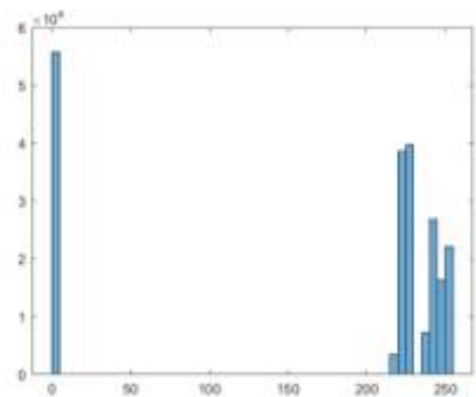
Εικόνα 4.7.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.7 από το MATLAB.



Εικόνα 4.8: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.2.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.

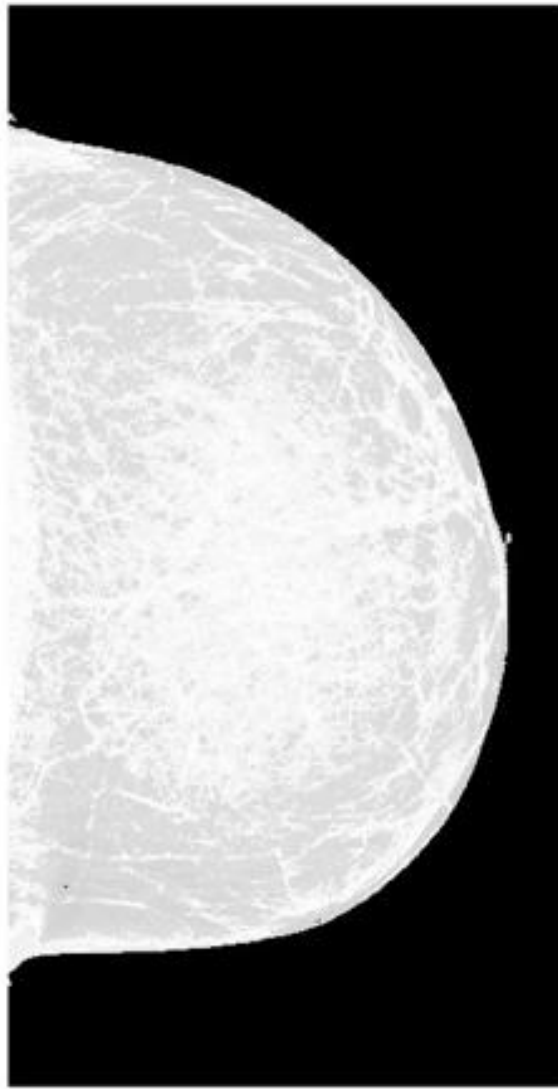


Εικόνα 4.8.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.8 από το ImageJ.



Εικόνα 4.8.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.8 από το MATLAB.

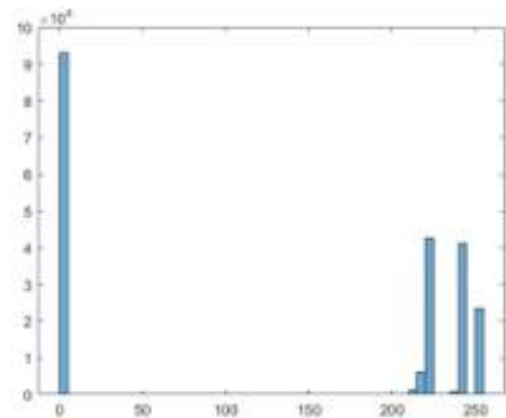




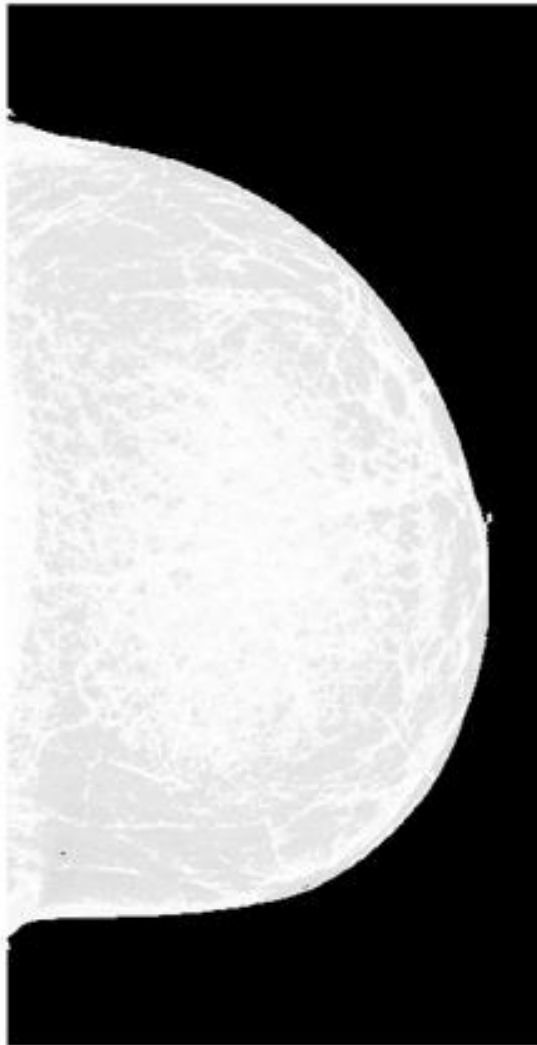
Εικόνα 4.9: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.3.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.



Εικόνα 4.9.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.9 από το ImageJ.



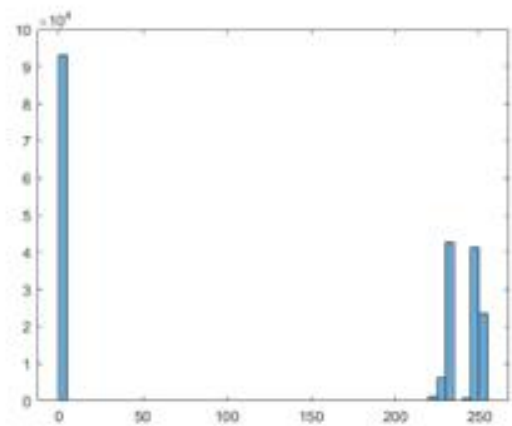
Εικόνα 4.9.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.9 από το MATLAB.



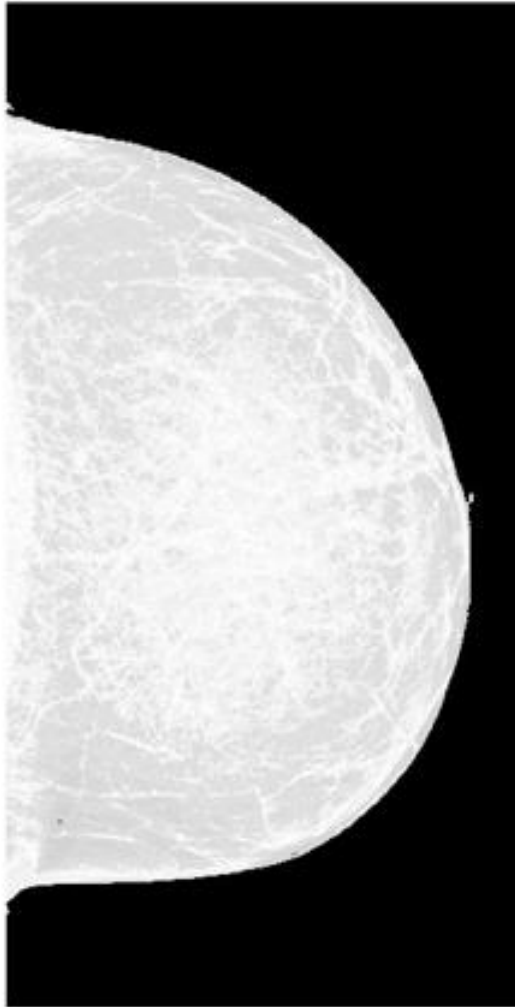
Εικόνα 4.10: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.3.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.



Εικόνα 4.10.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.10 από το ImageJ.



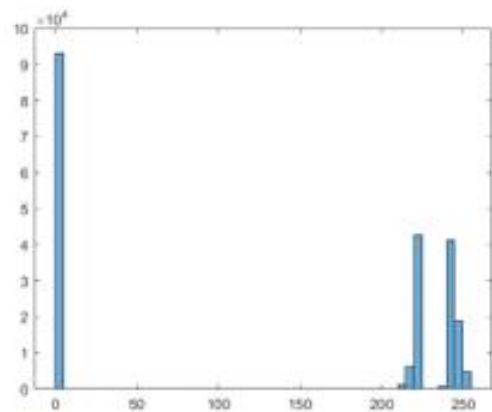
Εικόνα 4.10.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.10 από το MATLAB.



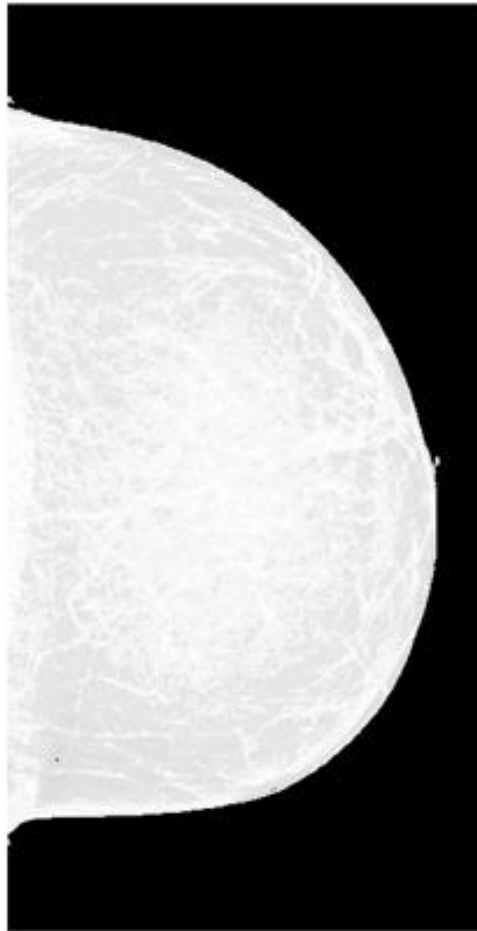
Εικόνα 4.11: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.3.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.



Εικόνα 4.11.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.11 από το ImageJ.



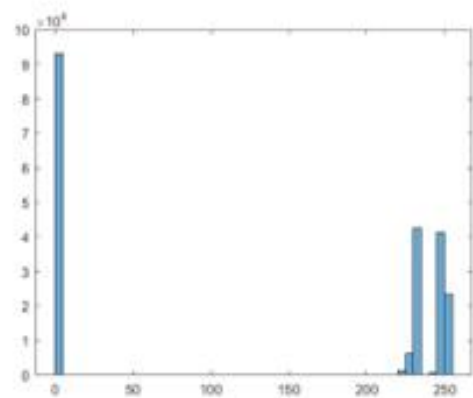
Εικόνα 4.11.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.11 από το MATLAB.



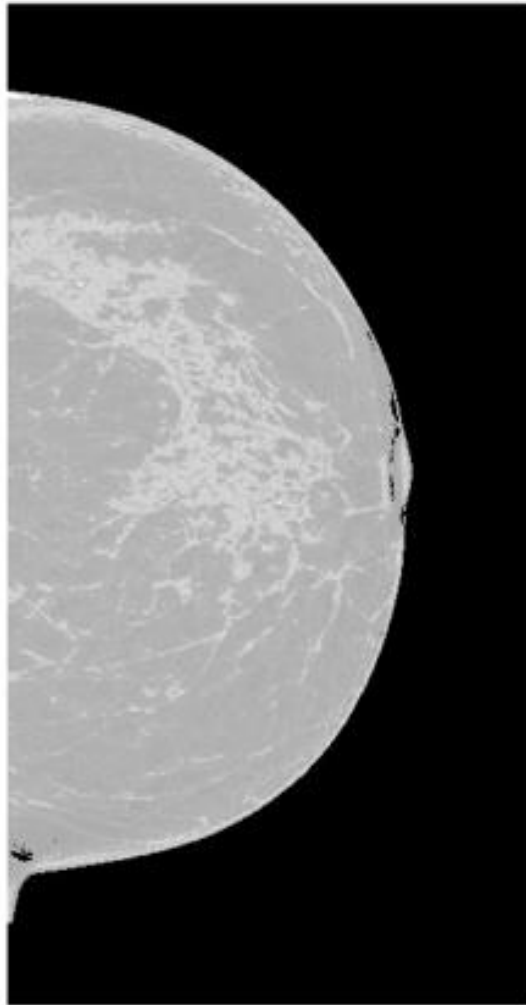
Εικόνα 4.12: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.3.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.



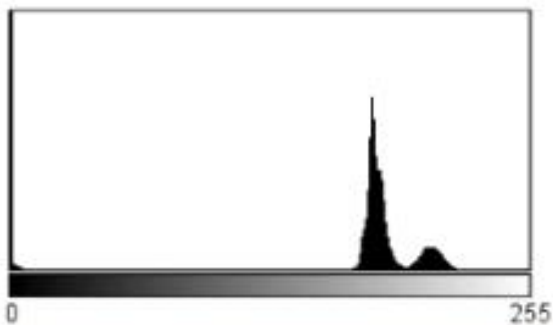
Εικόνα 4.12.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.12 από το ImageJ.



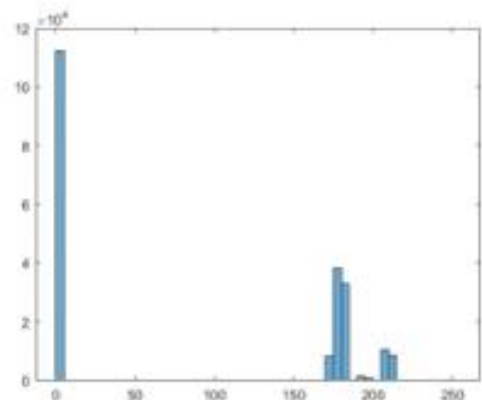
Εικόνα 4.12.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.12 από το MATLAB.



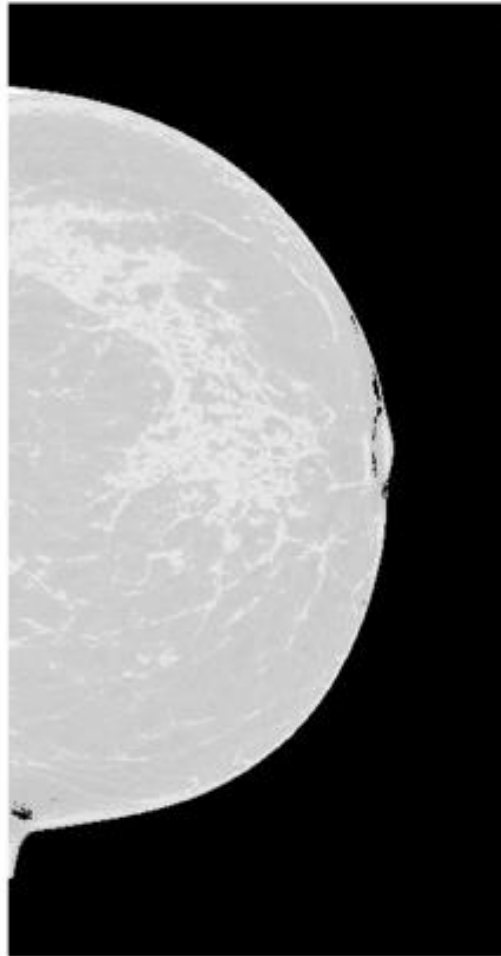
Εικόνα 4.13: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.4.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.



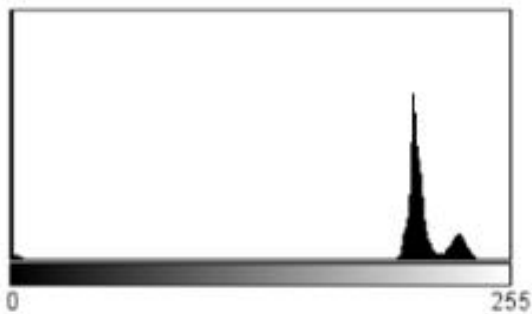
Εικόνα 4.13.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.13 από το ImageJ.



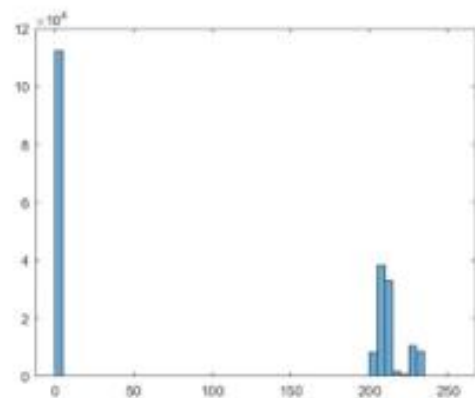
Εικόνα 4.13.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.13 από το MATLAB.



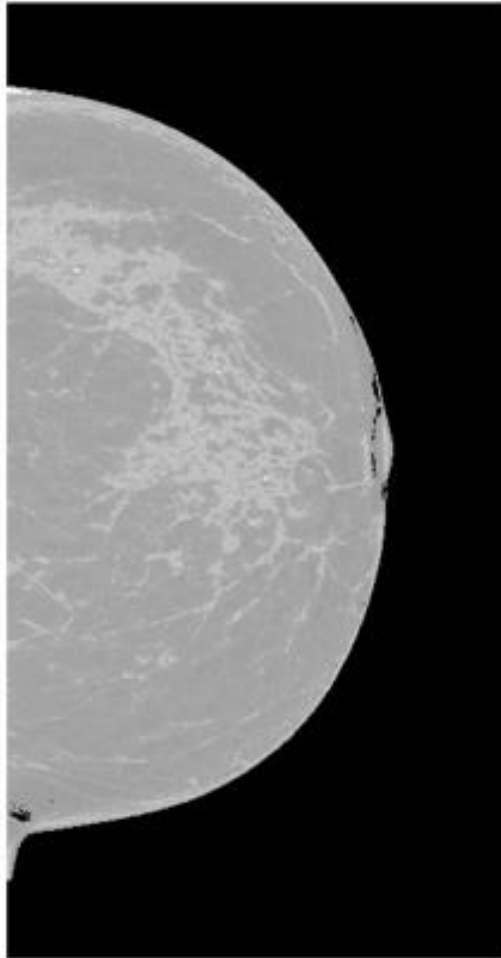
Εικόνα 4.14: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.4.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.



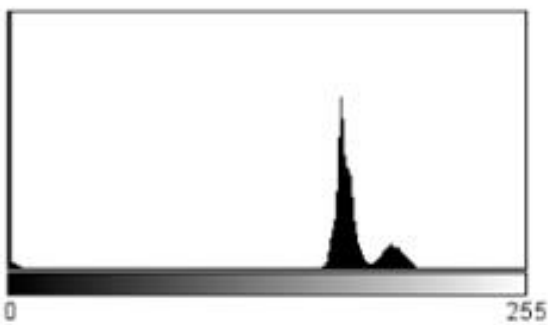
Εικόνα 4.14.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.14 από το ImageJ.



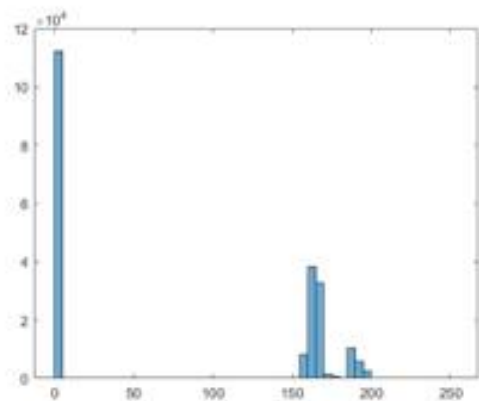
Εικόνα 4.14.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.14 από το MATLAB.



Εικόνα 4.15: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.4.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.

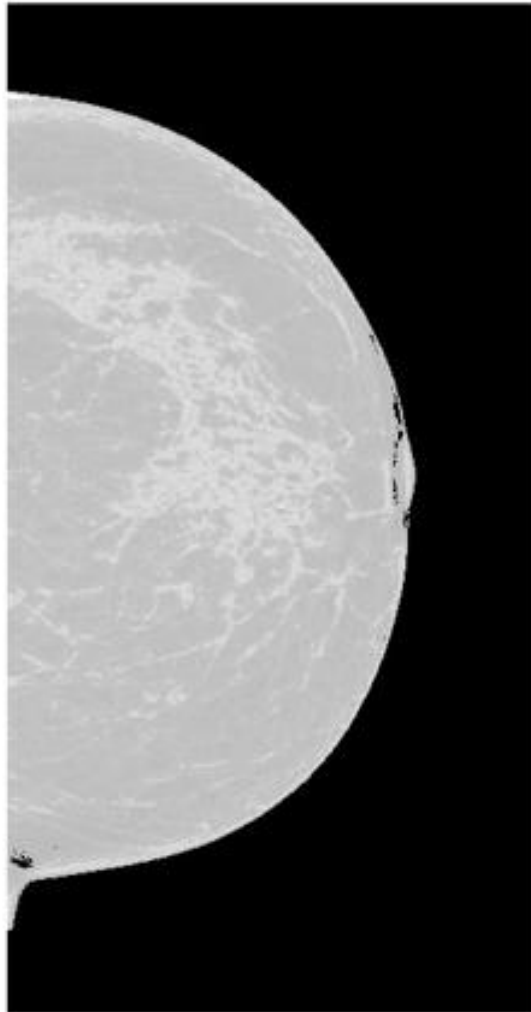


Εικόνα 4.15.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.15 από το ImageJ.

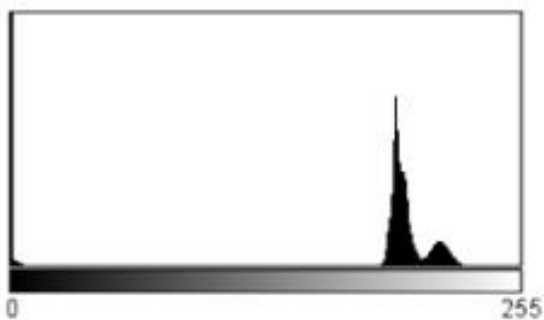


Εικόνα 4.15.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.15 από το MATLAB.

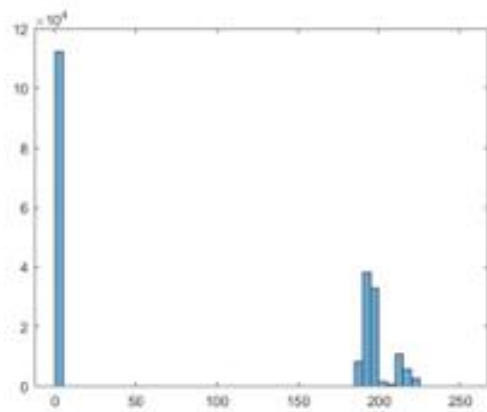




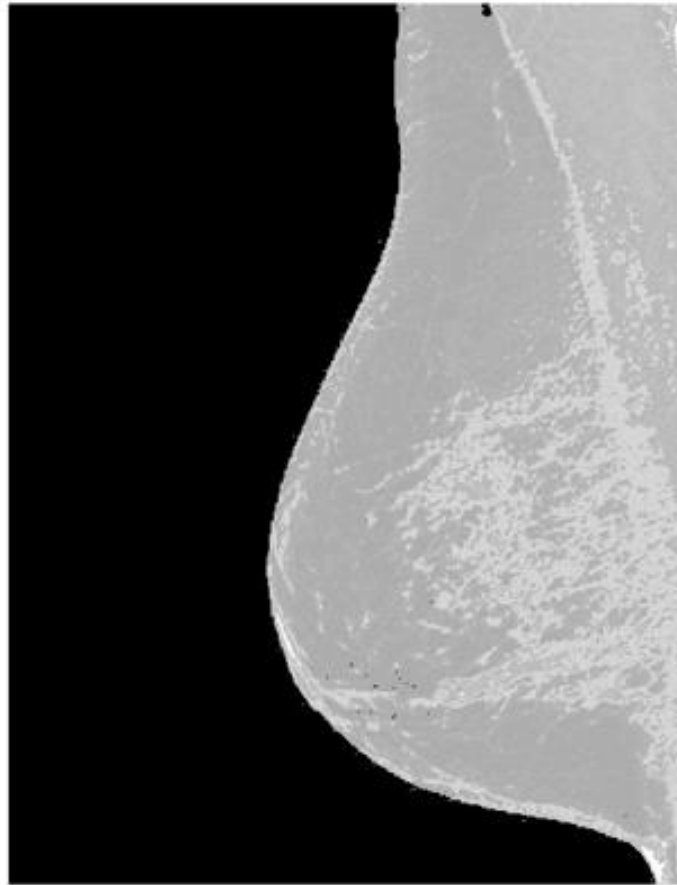
Εικόνα 4.16: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.4.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.



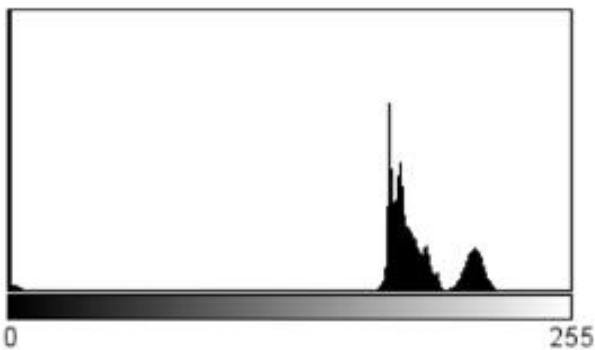
Εικόνα 4.16.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.16 από το ImageJ.



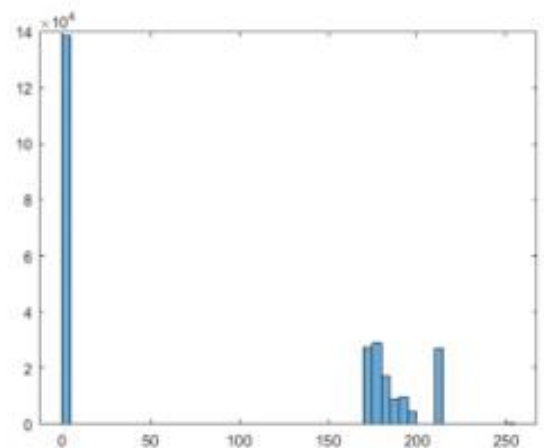
Εικόνα 4.16.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.16 από το MATLAB.



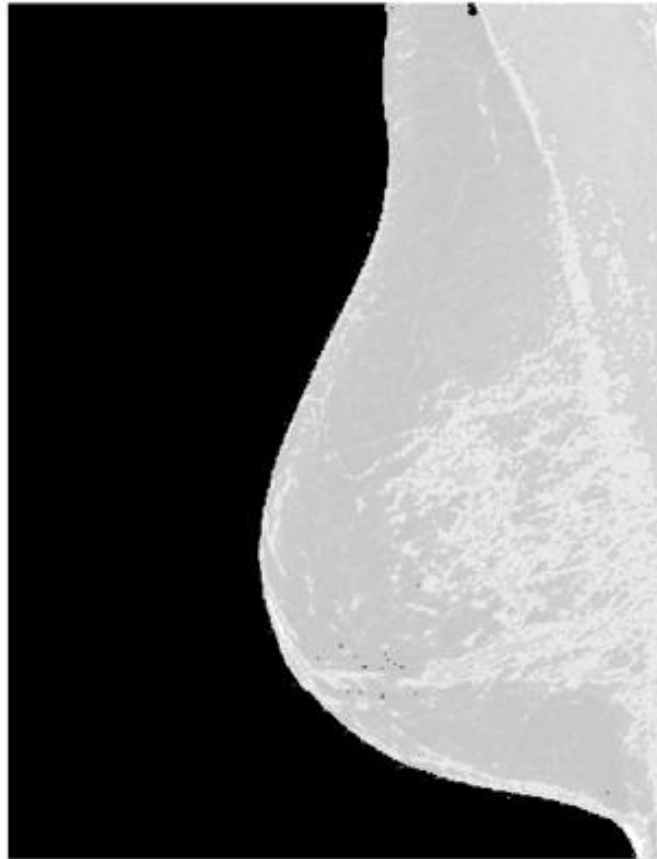
Εικόνα 4.17: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.5.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.



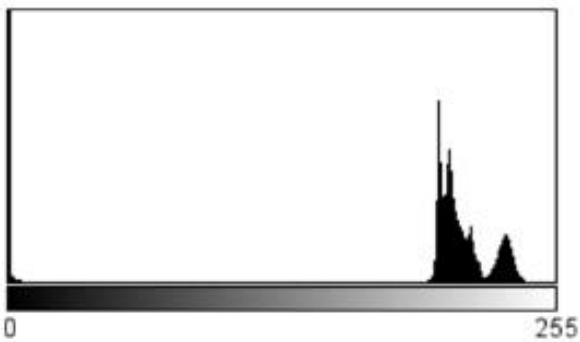
Εικόνα 4.17.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.17 από το ImageJ.



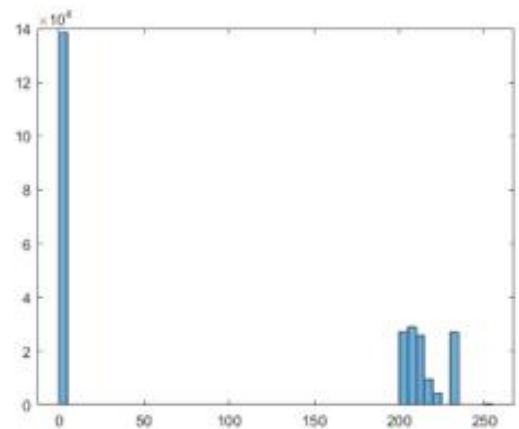
Εικόνα 4.17.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.17 από το MATLAB.



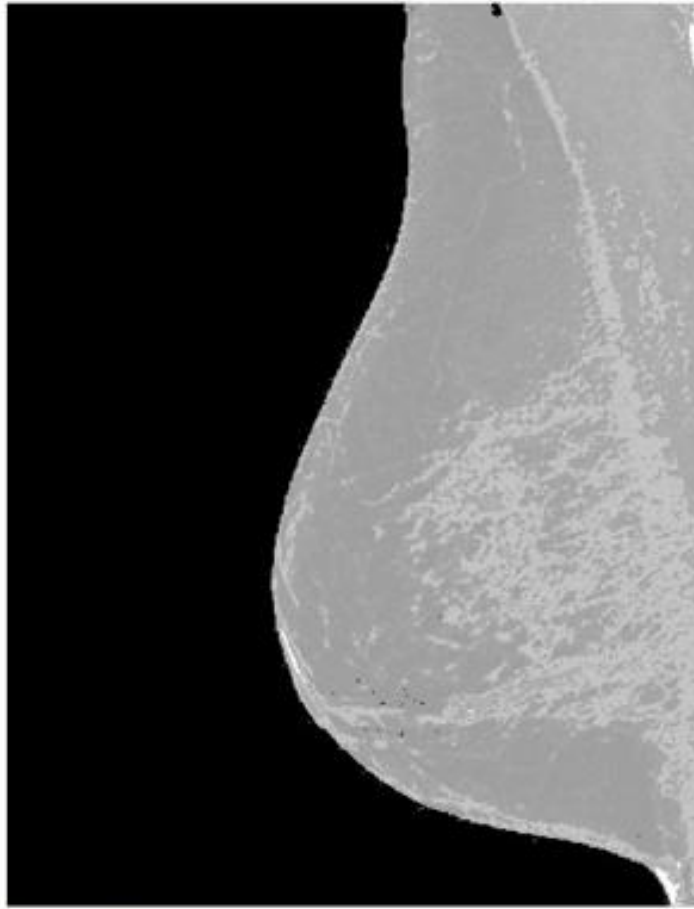
Εικόνα 4.18: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.5.1 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.



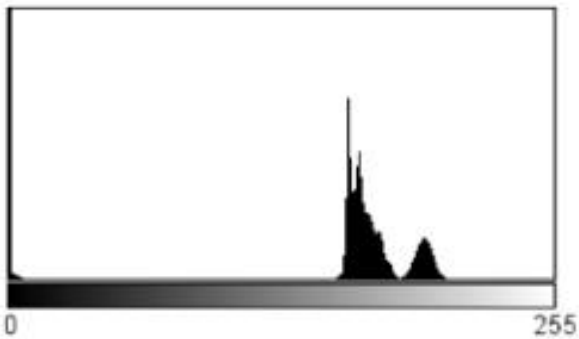
Εικόνα 4.18.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.18 από το ImageJ.



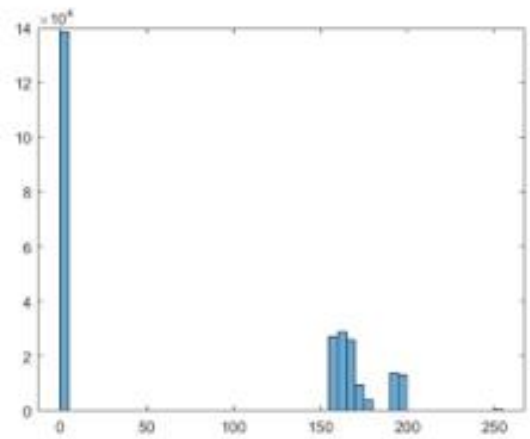
Εικόνα 4.18.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.18 από το MATLAB.



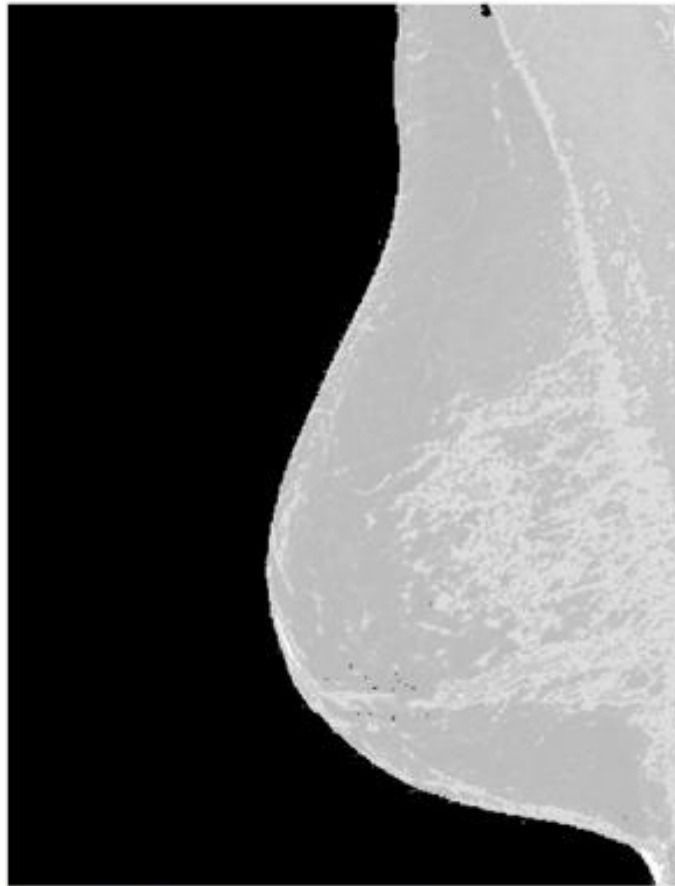
Εικόνα 4.19: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.5.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.



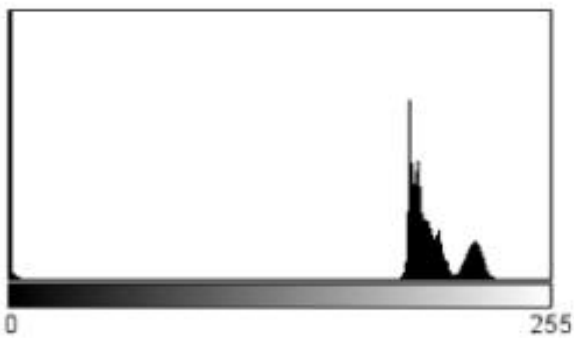
Εικόνα 4.19.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.19 από το ImageJ.



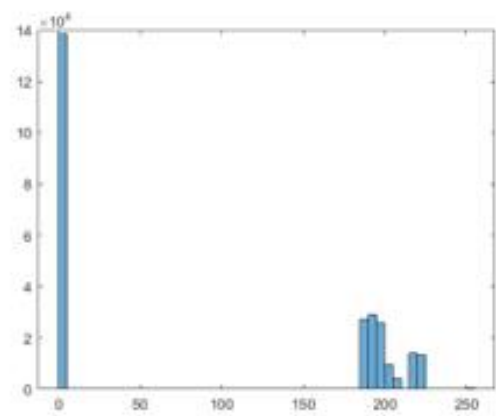
Εικόνα 4.19.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.19 από το MATLAB.



Εικόνα 4.20: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.5.1 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.

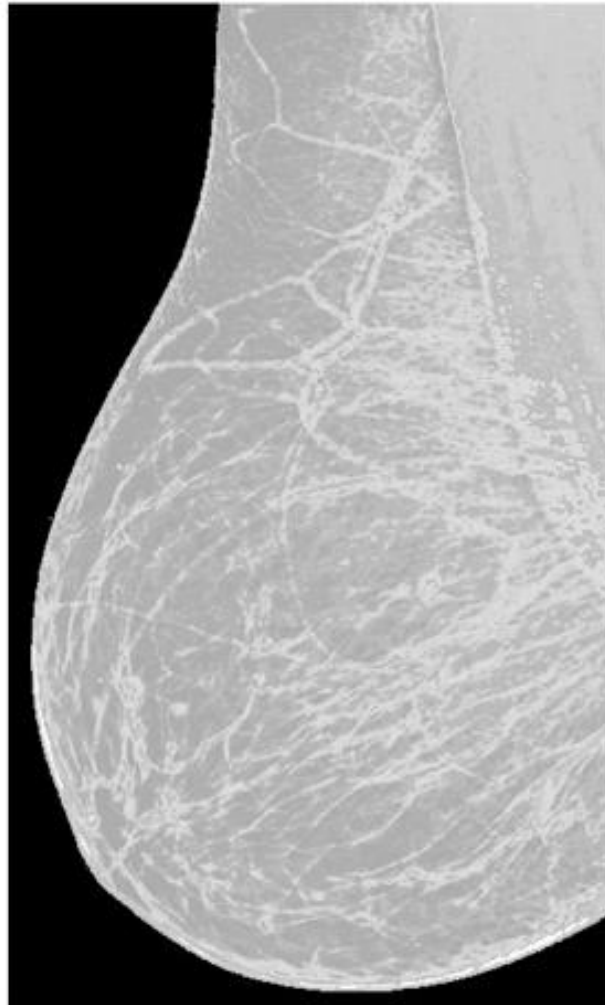


Εικόνα 4.20.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.20 από το ImageJ.

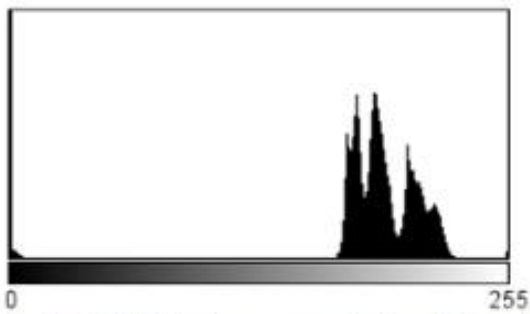


Εικόνα 4.20.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.20 από το MATLAB.

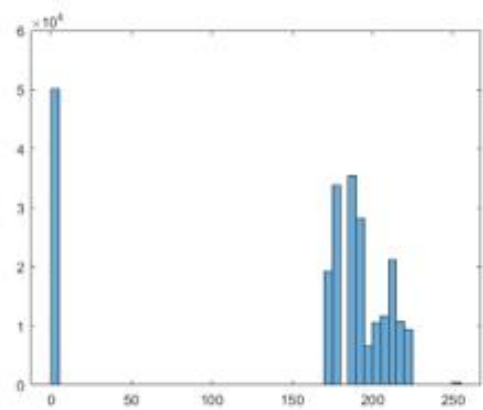
## 4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΑ ΟΜΟΙΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ Β



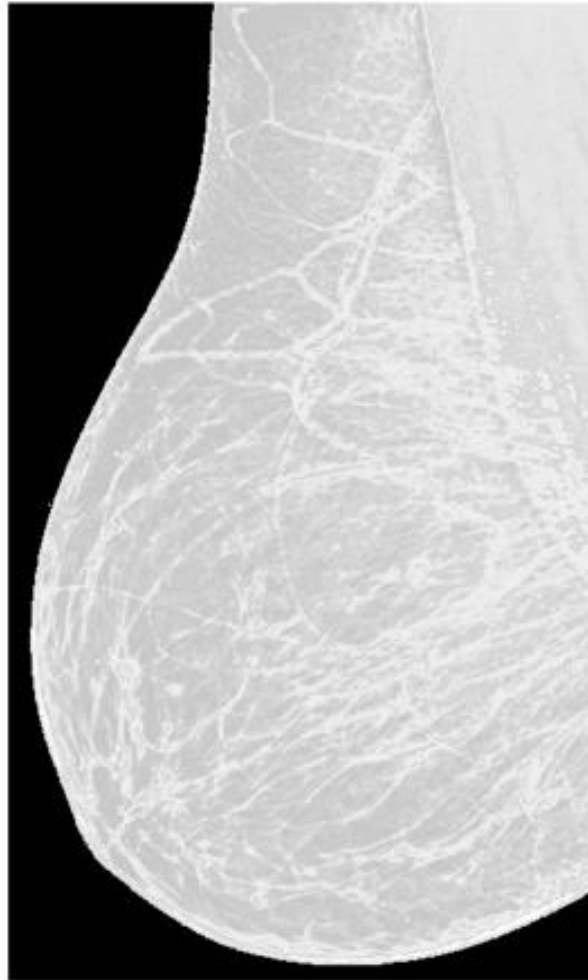
Εικόνα 4.21: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.1.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.



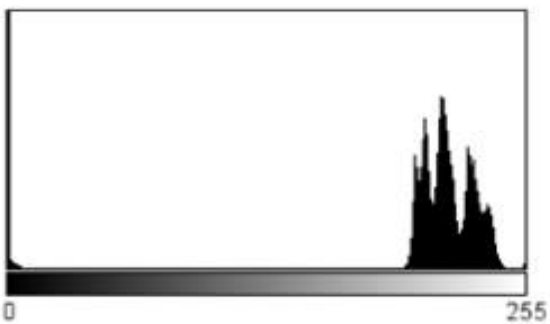
Εικόνα 4.21.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.21 από το ImageJ.



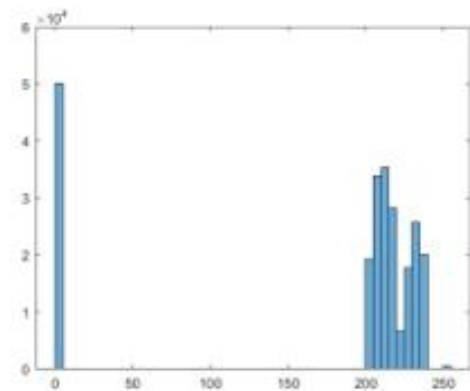
Εικόνα 4.21.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.21 από το MATLAB.



Εικόνα 4.22: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.1.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.

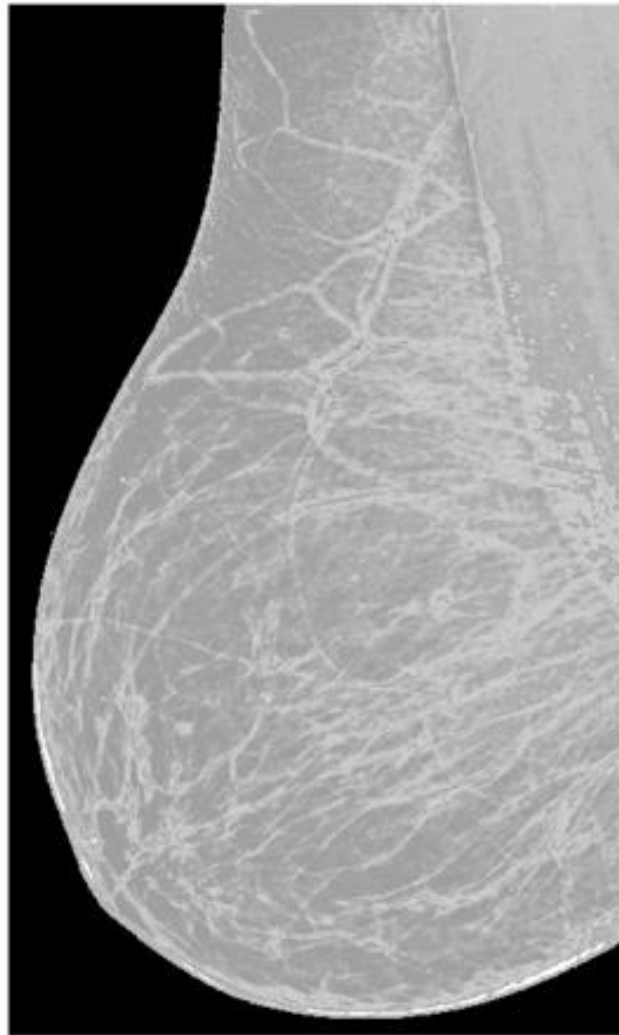


Εικόνα 4.22.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.22 από το ImageJ.

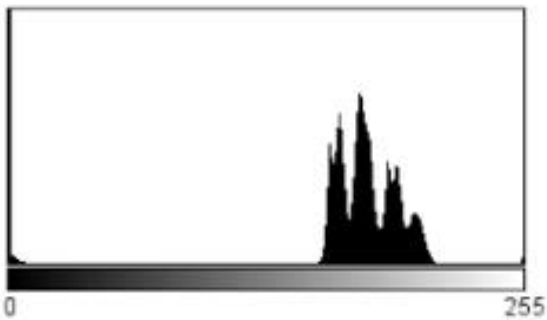


Εικόνα 4.22.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.22 από το MATLAB.

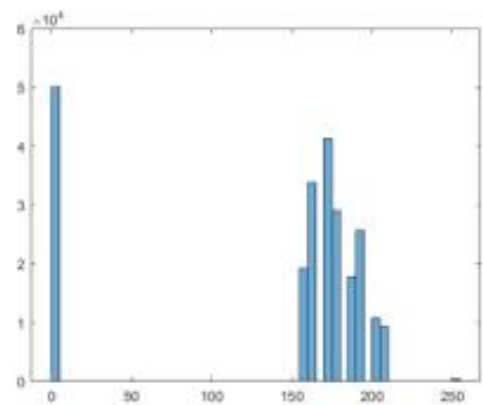




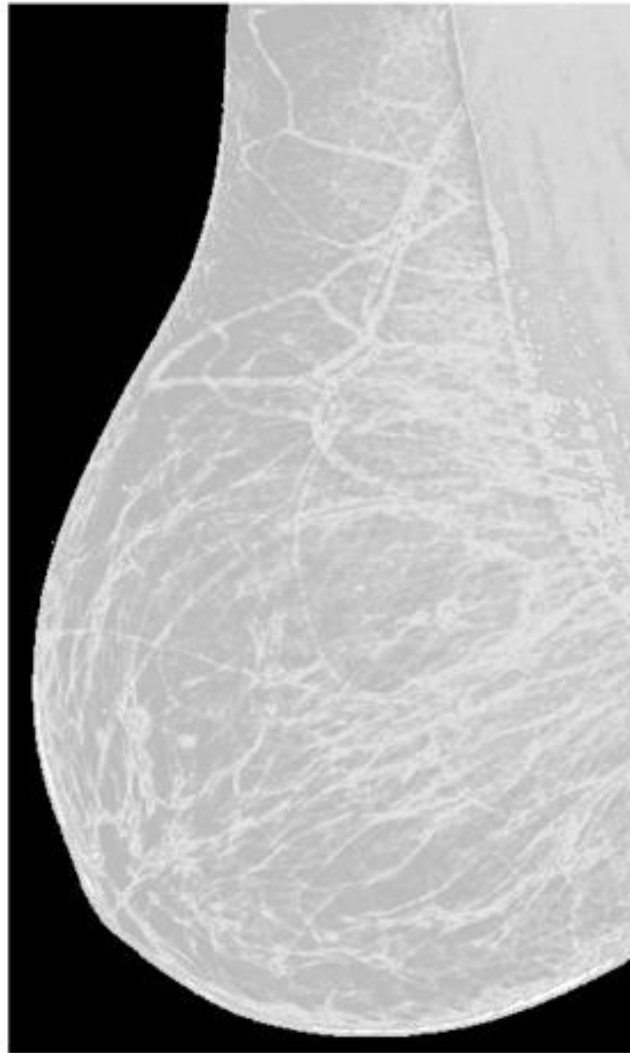
Εικόνα 4.23: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.1.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.



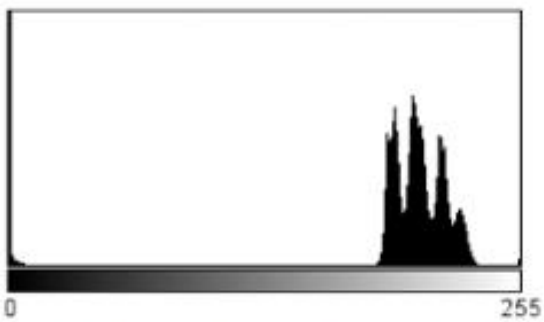
Εικόνα 4.23.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.23 από το ImageJ.



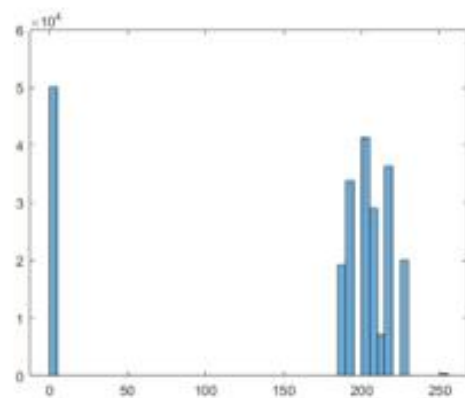
Εικόνα 4.23.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.23 από το MATLAB.



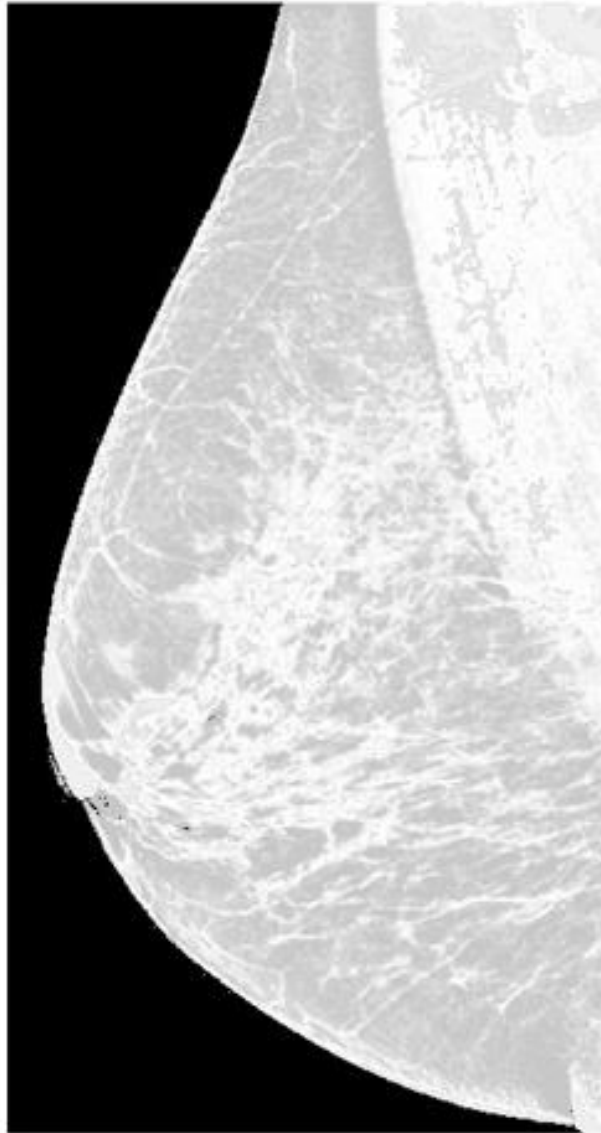
Εικόνα 4.24: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.1.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.



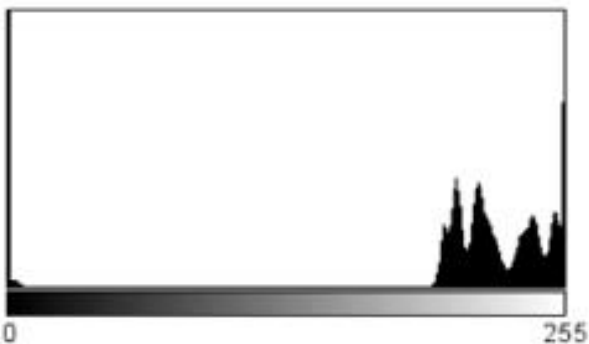
Εικόνα 4.24.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.24 από το ImageJ.



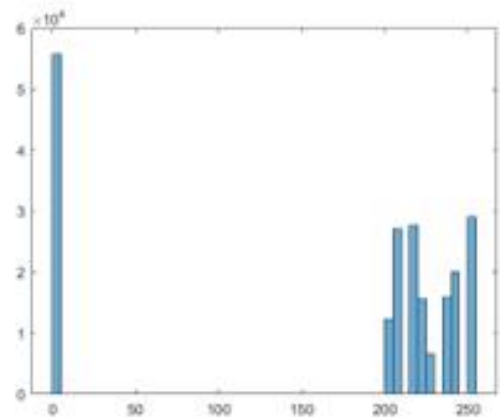
Εικόνα 4.24.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.24 από το MATLAB.



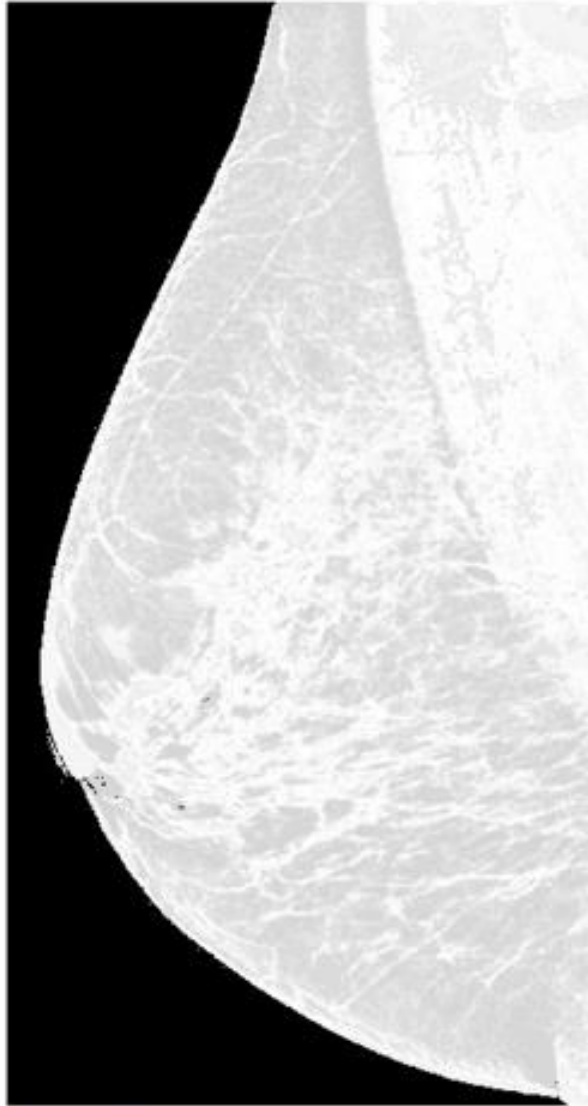
Εικόνα 4.25: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.2.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.



Εικόνα 4.25.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.25 από το ImageJ.



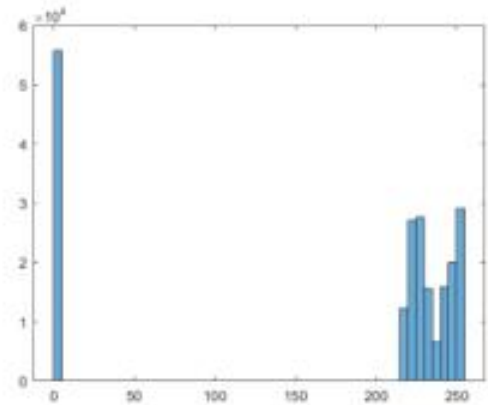
Εικόνα 4.25.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.25 από το MATLAB.



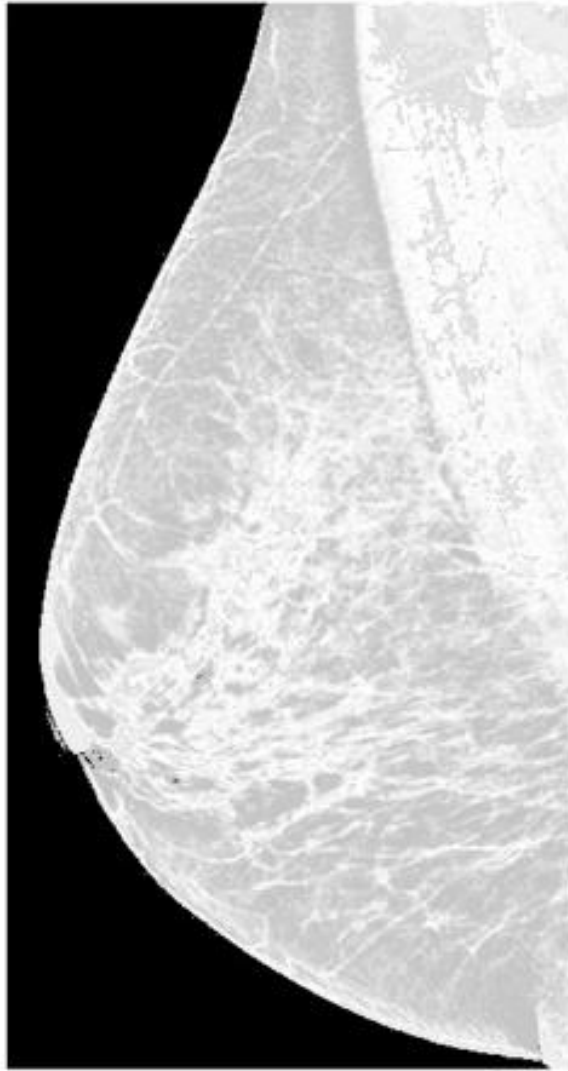
Εικόνα 4.26: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.2.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.



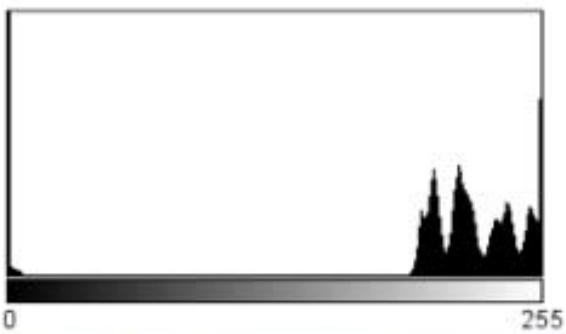
Εικόνα 4.26.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.26 από το ImageJ.



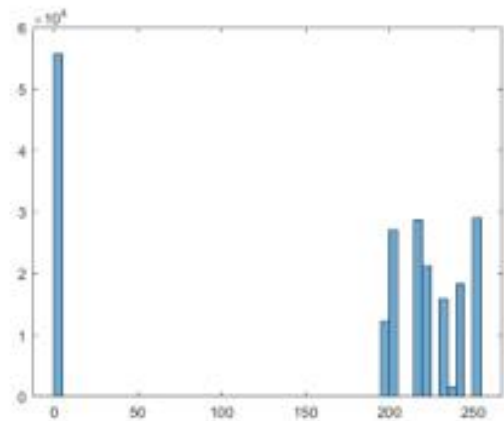
Εικόνα 4.26.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.26 από το MATLAB.



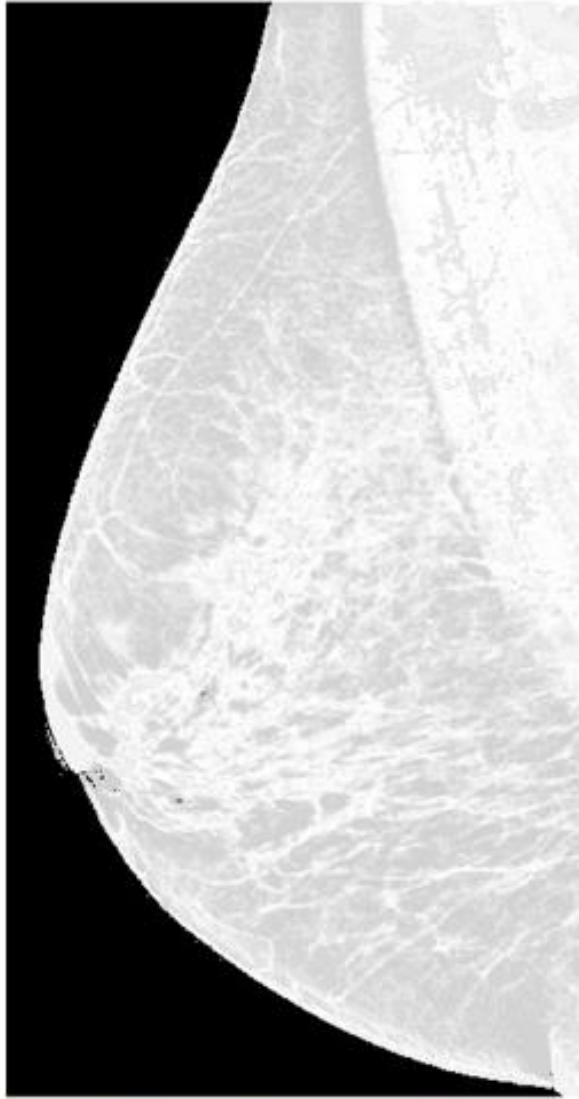
Εικόνα 4.27: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.2.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.



Εικόνα 4.27.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.27 από το ImageJ.



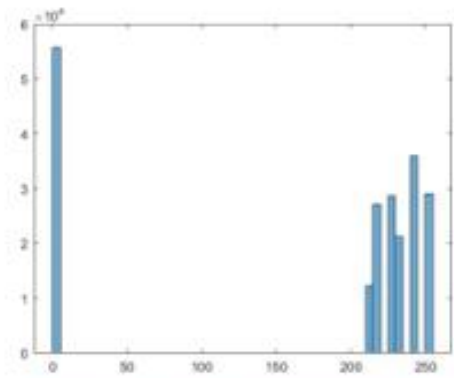
Εικόνα 4.27.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.27 από το MATLAB.



Εικόνα 4.28: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.2.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.

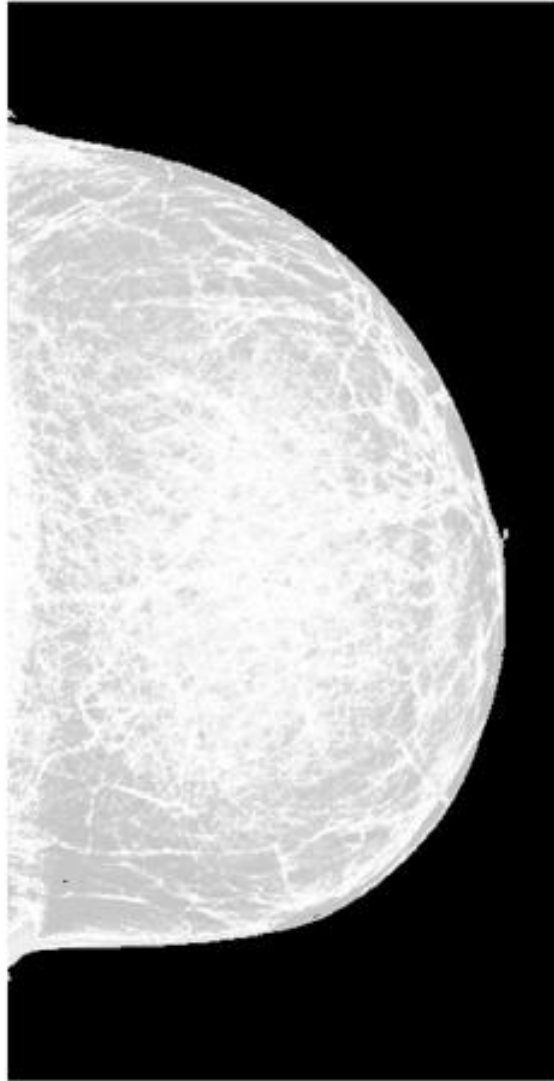


Εικόνα 4.28.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.28 από το ImageJ.



Εικόνα 4.28.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.28 από το MATLAB.

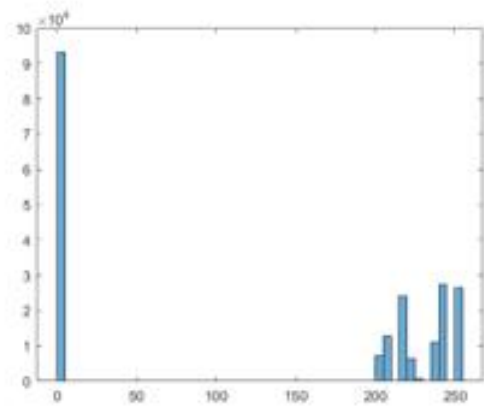




Εικόνα 4.29: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.3.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.

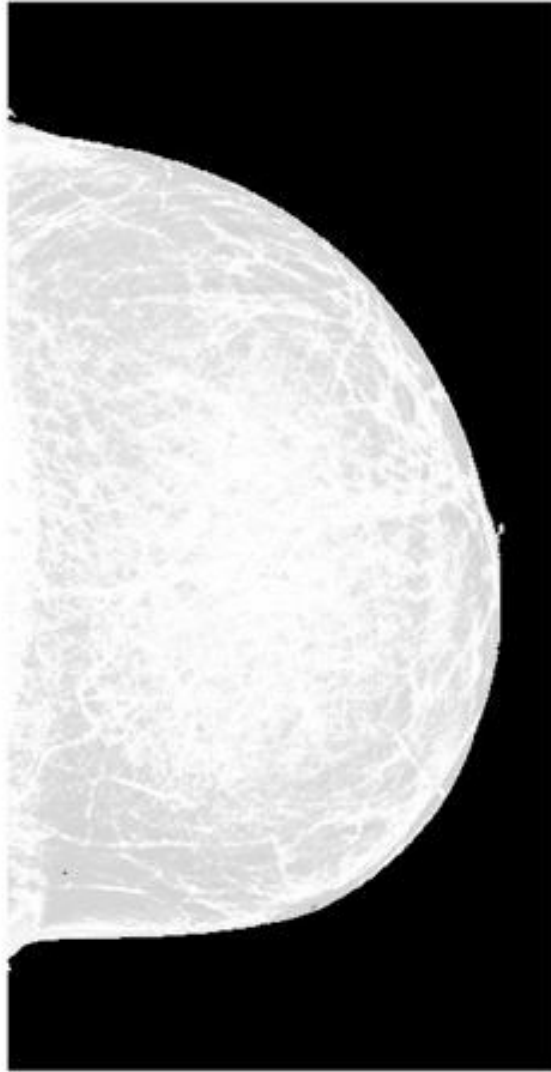


Εικόνα 4.29.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.29 από το ImageJ.



Εικόνα 4.29.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.29 από το MATLAB.

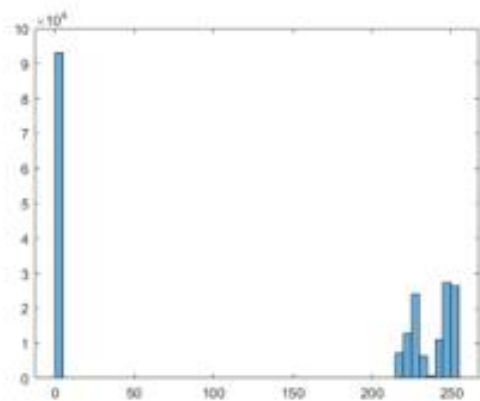




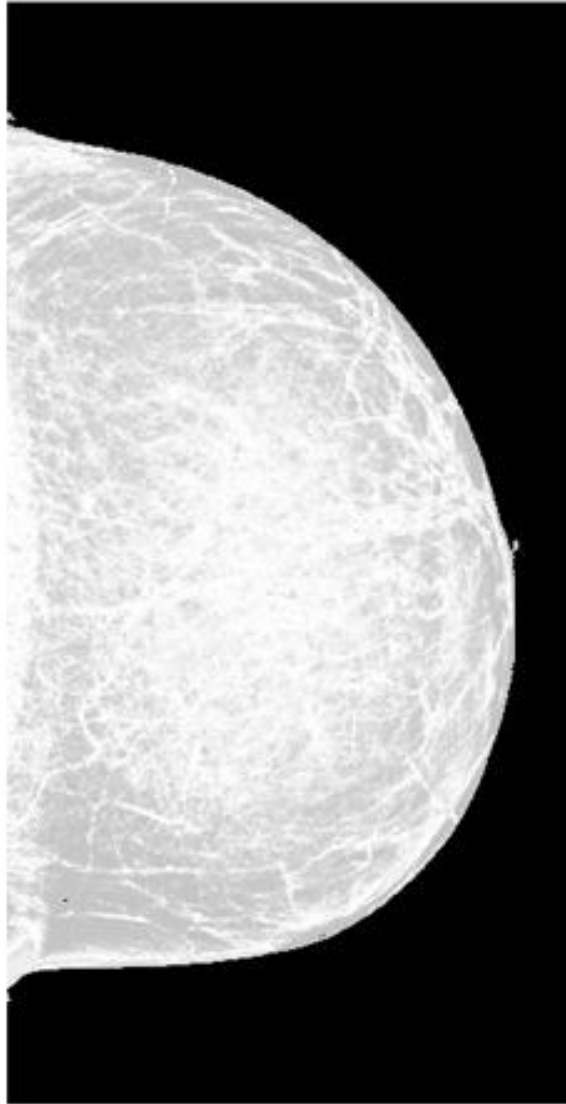
Εικόνα 4.30: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.3.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.



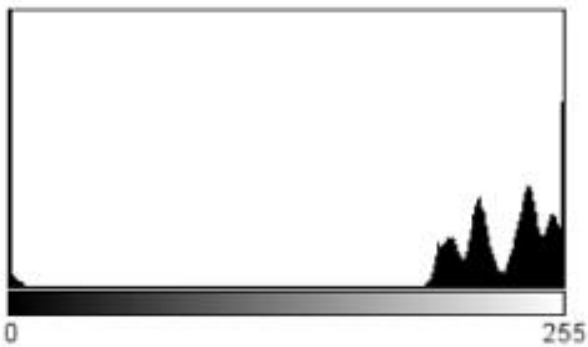
Εικόνα 4.30.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.30 από το ImageJ.



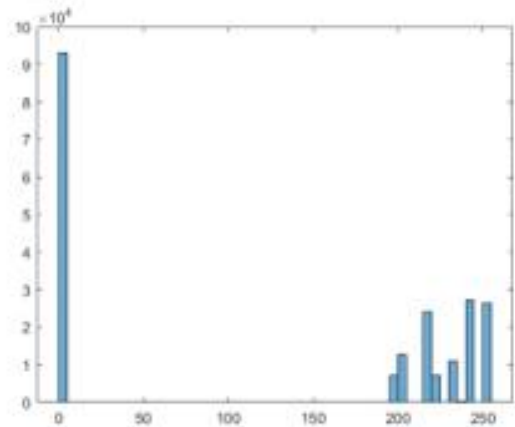
Εικόνα 4.30.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.30 από το MATLAB.



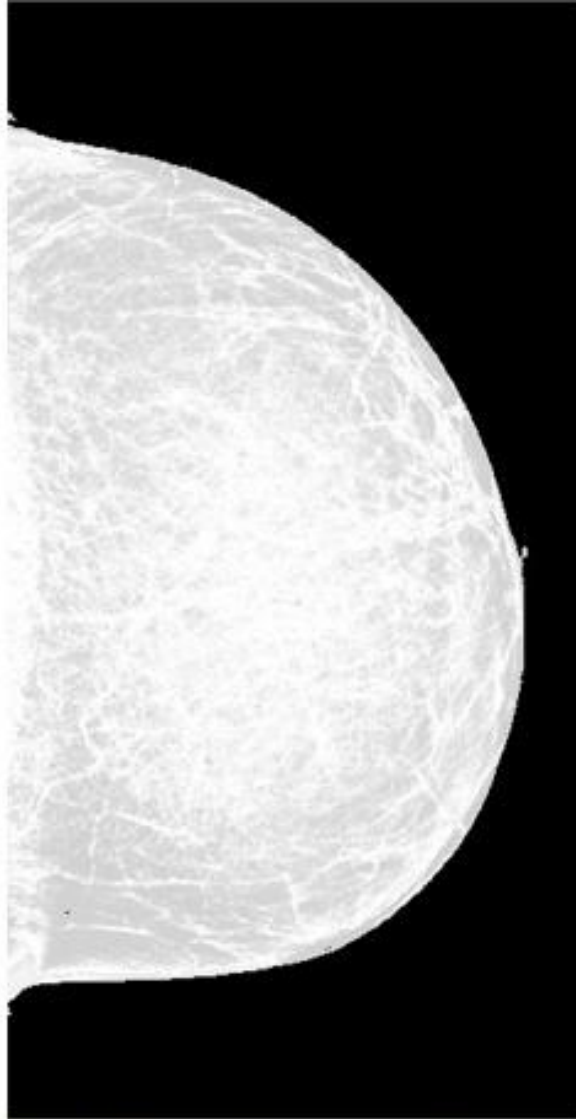
Εικόνα 4.31: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.3.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.



Εικόνα 4.31.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.31 από το ImageJ.



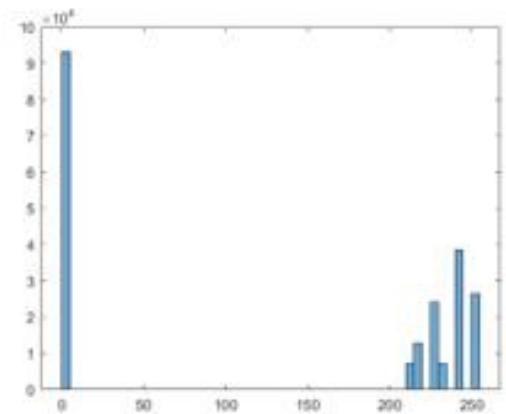
Εικόνα 4.31.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.31 από το MATLAB.



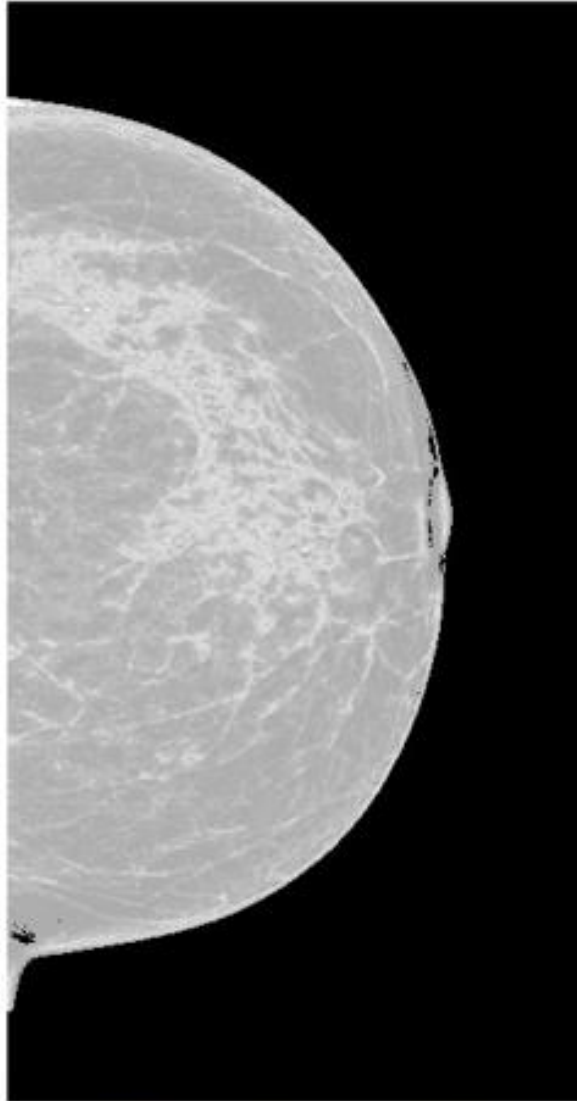
Εικόνα 4.32: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.3.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.



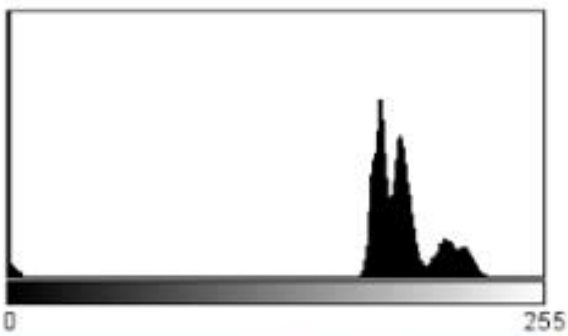
Εικόνα 4.32.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.32 από το ImageJ.



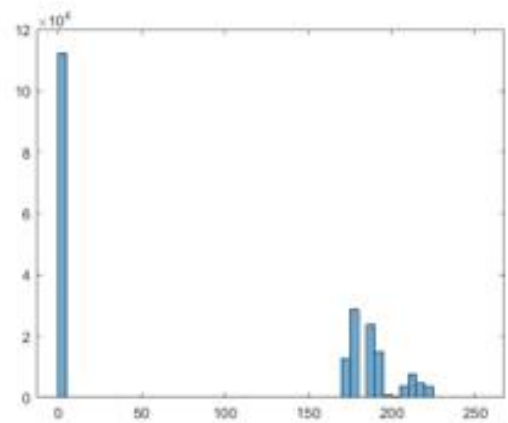
Εικόνα 4.32.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.32 από το MATLAB.



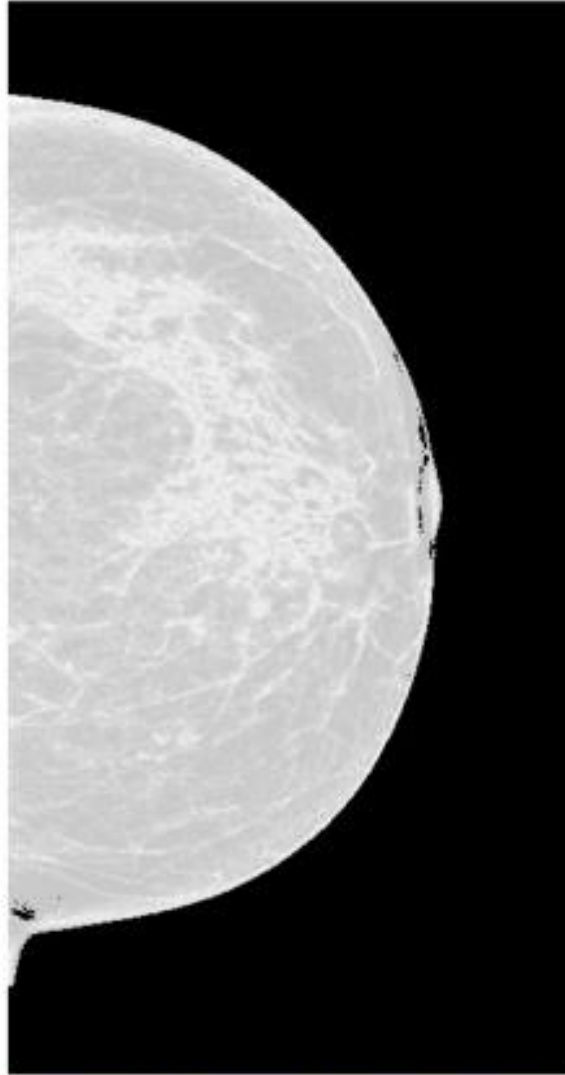
Εικόνα 4.33: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.4.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.



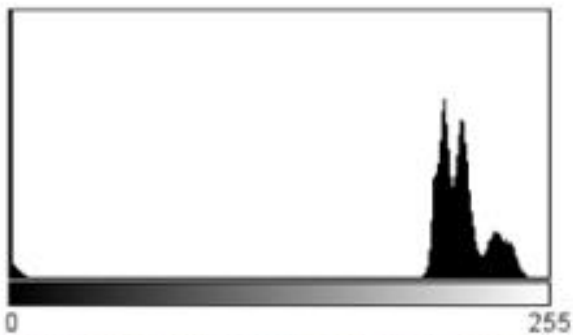
Εικόνα 4.33.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.33 από το ImageJ.



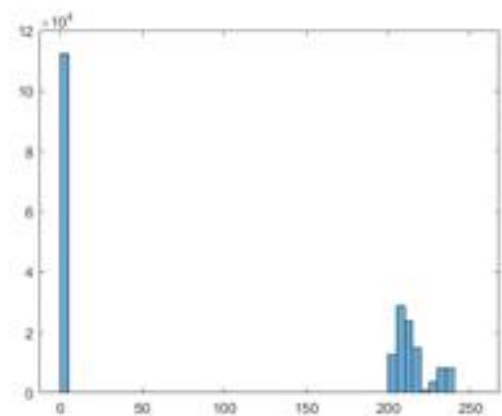
Εικόνα 4.33.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.33 από το MATLAB.



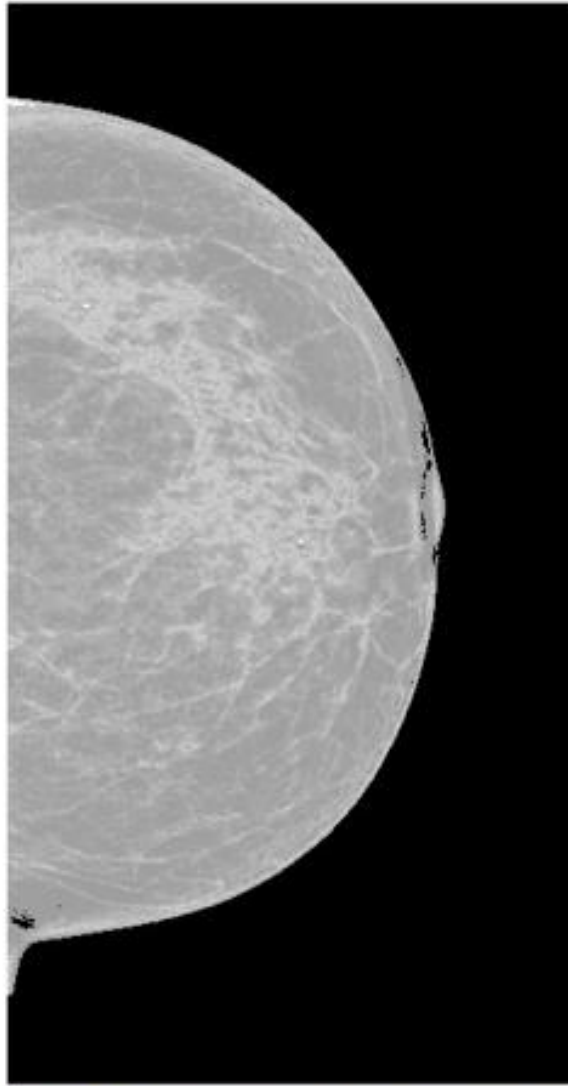
Εικόνα 4.34: Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης του ομοιώματος της Εικόνας 2.4.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.



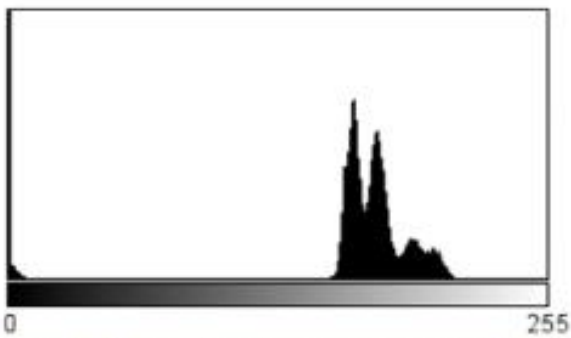
Εικόνα 4.34.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.34 από το ImageJ.



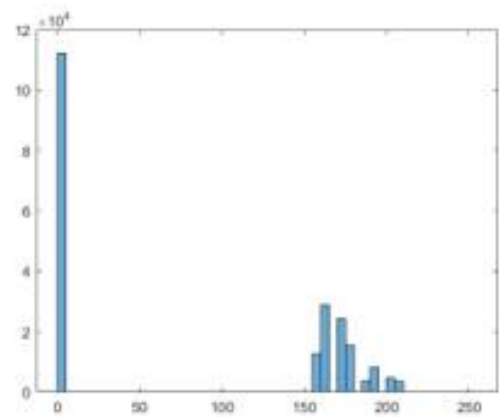
Εικόνα 4.34.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.34 από το MATLAB.



Εικόνα 4.35: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.4.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.



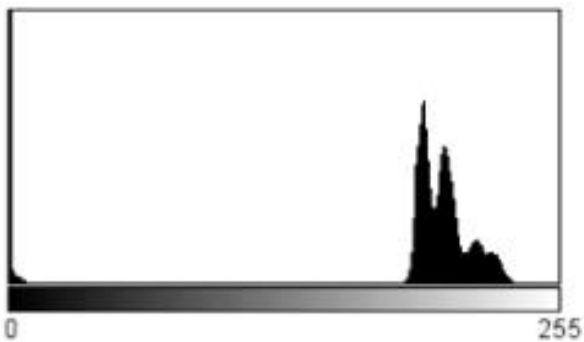
Εικόνα 4.35.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.35 από το ImageJ.



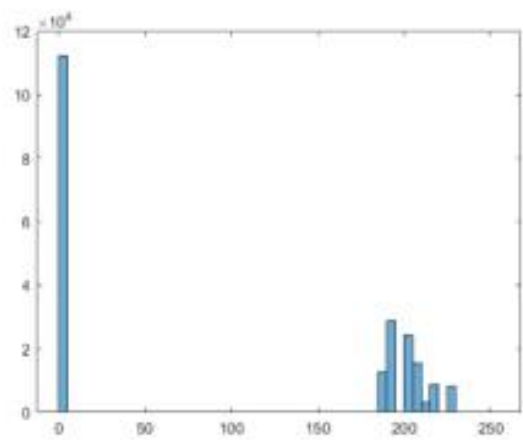
Εικόνα 4.35.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.35 από το MATLAB.



Εικόνα 4.36: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.4.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.

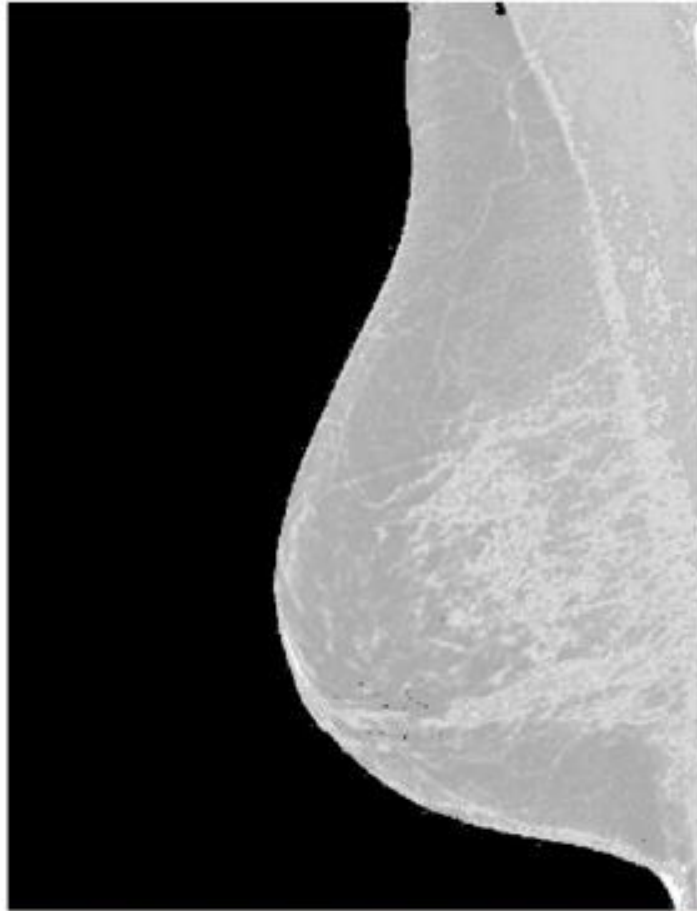


Εικόνα 4.36.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.36 από το ImageJ.

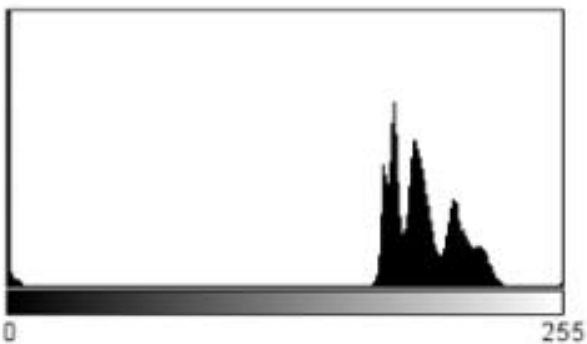


Εικόνα 4.36.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.36 από το MATLAB.

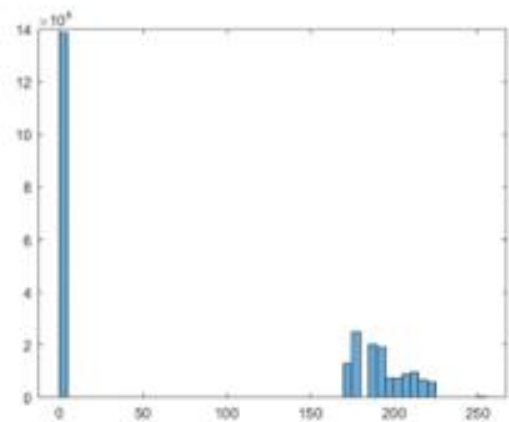




Εικόνα 4.37: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.5.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 4cm.



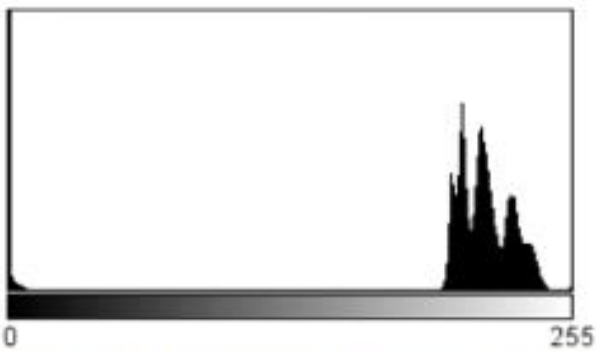
Εικόνα 4.37.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.37 από το ImageJ.



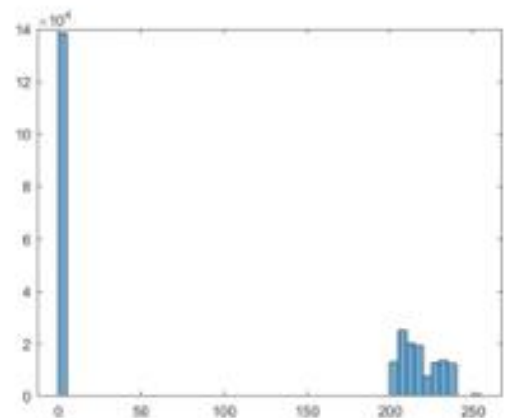
Εικόνα 4.37.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.37 από το MATLAB.



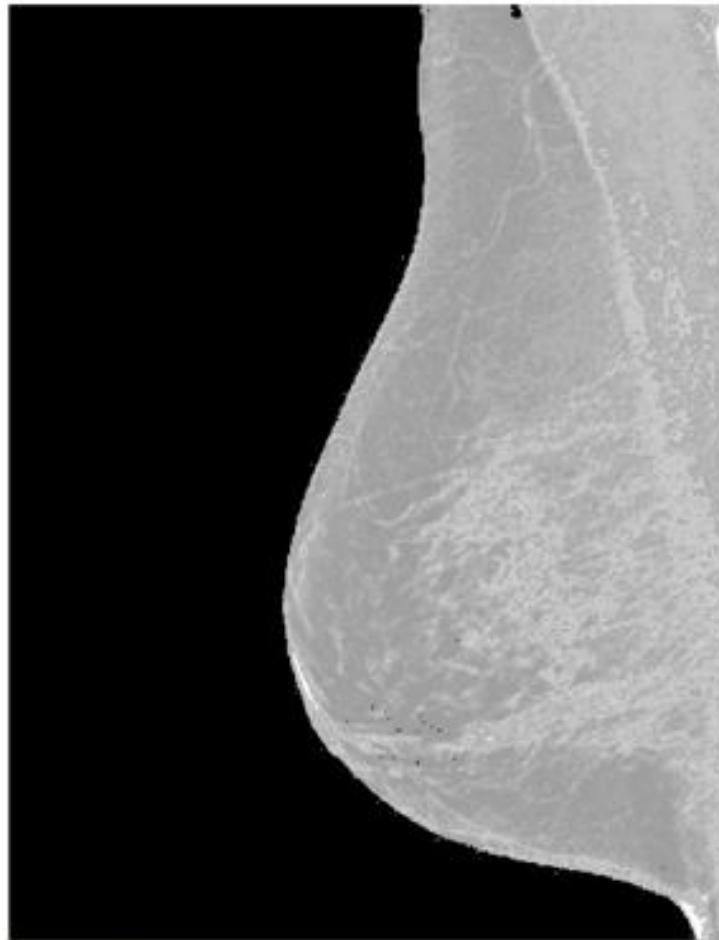
Εικόνα 4.38: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.5.2 με ενέργεια δέσμης 28keV και πάχος μαστού 5,5cm.



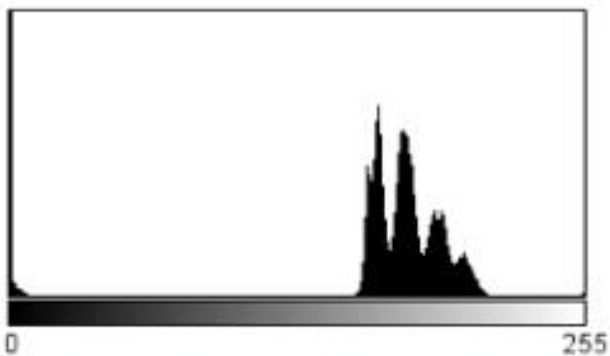
Εικόνα 4.38.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.38 από το ImageJ.



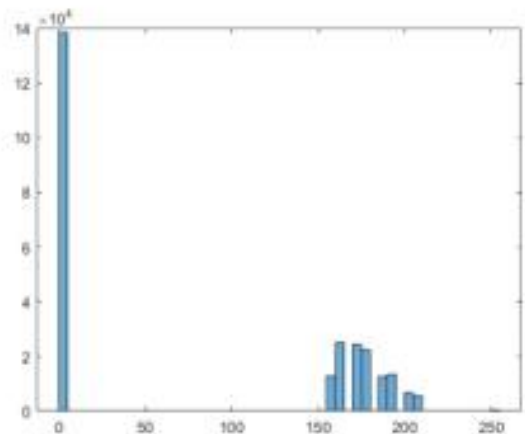
Εικόνα 4.38.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.38 από το MATLAB.



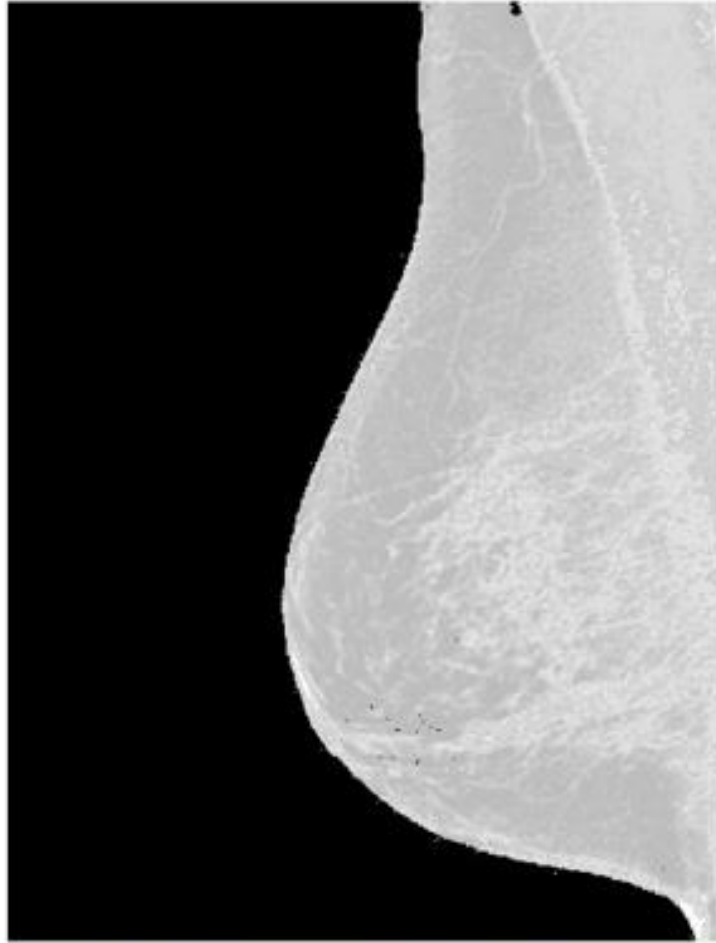
Εικόνα 4.39: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.5.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 4cm.



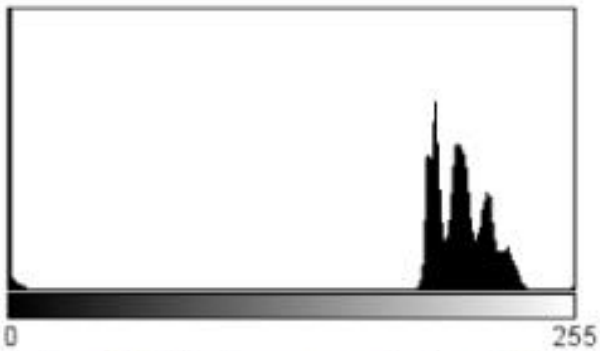
Εικόνα 4.39.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.39 από το ImageJ.



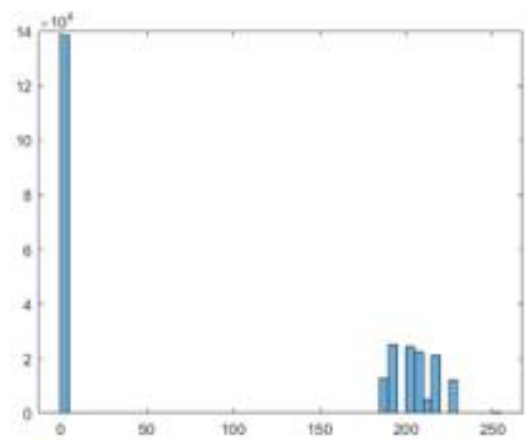
Εικόνα 4.39.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.39 από το MATLAB.



Εικόνα 4.40: Αποτέλεσμα ακτινοβολήσης του ομοιώματος της Εικόνας 2.5.2 με ενέργεια δέσμης 32keV και πάχος μαστού 5,5cm.



Εικόνα 4.40.1: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.40 από το ImageJ.



Εικόνα 4.40.2: Ιστόγραμμα της Εικόνας 4.40 από το MATLAB.

Πίνακας 4.1: Συγκεντρωτικός πίνακας των στοιχείων ακτινοβόλησης και των αποτελεσμάτων υπολογισμού των δόσεων πριν το μαστό καθώς και στην είσοδο του ανιχνευτή.

Πλήθος φωτονίων δέσμης ακτίνων-Χ	Ενέργεια (keV)	Πάχος μαστού (cm)	KERMA/Δόση ΠΡΙΝ τον μαστό (μGy)	Αποτέλεσμα ακτινοβόλησης (αριθμός εικόνας από το κείμενο)	KERMA/Δόση ΜΕΤΑ τον μαστό, στην είσοδο του ανιχνευτή (μGy)		
					Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή
5x10 <sup>6</sup>	28	4	887,06	4.1	4,06x10 <sup>-11</sup>	885,38	364,13
				4.5	143,69	885,38	397,4
				4.9	157,38	885,38	512,72
				4.13	4,06x10 <sup>-11</sup>	885,38	580,81
				4.17	4,06x10 <sup>-11</sup>	885,38	578,95
				4.21	8,76x10 <sup>-10</sup>	885,55	356,38
				4.25	119,78	885,55	386,19
				4.29	119,78	885,55	500,95
		4.33		0	885,55	575,33	
		4.37		0	885,55	570,66	
		4.2		4,04x10 <sup>-16</sup>	884,75	293,92	
		4.6		72,6	884,75	332,33	
		4.10		82,29	884,75	463,98	
		4.14		4,04x10 <sup>-16</sup>	884,75	536,74	
		4.18		4,04x10 <sup>-16</sup>	884,75	535,97	
		4.22		2,76x10 <sup>-14</sup>	884,98	287,87	
	4.26	56,53	884,98	323,91			
	4.30	56,53	884,98	455,41			
	4.34	0	884,98	532,41			
	4.38	0	884,98	529,2			
	4.3	6,47x10 <sup>-7</sup>	825,05	377			
	4.7	187,04	825,05	406,61			
	4.11	201,05	825,05	506,31			
	4.15	6,47x10 <sup>-7</sup>	825,05	563,31			
	4.19	6,47x10 <sup>-7</sup>	825,05	562,02			
	4.23	5,26x10 <sup>-6</sup>	825,18	369,27			
	4.27	161,21	825,18	395,16			
	4.31	161,21	825,18	494,12			
	4.35	0	825,18	557,87			
	4.39	0	825,18	553,92			
	4.4	2,49x10 <sup>-10</sup>	824,57	305,88			
	4.8	107,14	824,57	340,32			
4.12	118,66	824,57	456,28				
4.16	2,49x10 <sup>-10</sup>	824,57	519,45				
4.20	2,49x10 <sup>-10</sup>	824,57	518,92				
4.24	4,44x10 <sup>-9</sup>	824,75	299,3				
4.28	87,34	824,75	330,8				
4.32	87,34	824,75	446,32				
4.36	0	824,75	514,77				
4.40	0	824,75	511,77				

### 4.3 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το σημείο, λαμβάνοντας όλα τα παραπάνω αποτελέσματα υπόψιν, έγιναν κάποιες παρατηρήσεις. Αρχικά, η πρώτη παρατήρηση αφορά στη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των εικόνων που προέκυψαν από την ακτινοβολήση των ομοιωμάτων της μεθόδου Α και της μεθόδου Β, για τις ίδιες συνθήκες ακτινοβολήσης κάθε φορά. Πιο συγκεκριμένα, συγκρίνοντας τις *Εικόνες 4.1* έως και *4.20*, που προέκυψαν από την ακτινοβολήση των ομοιωμάτων της μεθόδου Α, με τις *Εικόνες 4.21* έως και *4.40*, που προέκυψαν από την ακτινοβολήση των ομοιωμάτων της μεθόδου Β, είναι εμφανές ότι οι διαβαθμίσεις των αποχρώσεων του γκρι είναι περισσότερες στις εικόνες από την ακτινοβολήση των ομοιωμάτων της μεθόδου Β. Κατ' επέκταση, η μέθοδος Β που αναπτύχθηκε για τη κατασκευή των ομοιωμάτων φαίνεται να αναπαριστά καλύτερα τις αρχικές εικόνες μαστογραφίας εφόσον αποτυπώνει με περισσότερη λεπτομέρεια τα επιμέρους συστατικά κάθε μαστού.

Παράλληλα, μία κοινή διαπίστωση για τα ομοιώματα που παράχθηκαν και από τις δύο μεθοδολογίες συνιστά το γεγονός ότι η χρωματική διαβάθμιση τόσο του ινοαδενικού ιστού όσο και του λίπους παρουσιάζει σε κάποια σημεία των ομοιωμάτων αλληλοεπικάλυψη με εκείνη του αίματος. Παρόλο που οι τιμές των εικονοστοιχείων του ινοαδενικού ιστού και του λίπους δεν αλληλοεπικαλύπτονται με αυτές του αίματος, όπως φαίνεται στους *Πίνακες 2.1, 2.2, 2.3, 2.4* και *2.5*, είναι πιθανόν η παραπάνω παρατήρηση να συμβαίνει διότι στη πράξη το αίμα αποτελεί προβολή μιας περιοχής που έχει πολύ ινοαδενικό ιστό ή λίπος.

Επίσης, μία ακόμη επισήμανση αφορά τα αποτελέσματα του υπολογισμού των δόσεων που παρατίθενται στο *Πίνακα 4.1*. Ειδικότερα, μελετώντας τους *Πίνακες 2.1, 2.2, 2.3, 2.4* και *2.5*, στους οποίους φαίνονται οι περιοχές ενδιαφέροντος κάθε εικόνας με το αντίστοιχο εύρος τιμών των εικονοστοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή των ομοιωμάτων, είναι εμφανές ότι για τη δημιουργία των ομοιωμάτων των *Εικόνων 2.1, 2.4* και *2.5* λήφθηκαν υπόψιν και οι μικροαποτιτανώσεις που σε αυτές τις εικόνες ήταν αρκετά ευδιάκριτες. Έτσι, οι μηδενικές τιμές καθώς και οι τιμές πολύ κοντά στο μηδέν που φαίνονται στον *Πίνακα 4.1*, στη στήλη που έχουν υπολογιστεί οι ελάχιστες τιμές της δόσης στην είσοδο του ανιχνευτή, αφορούν μικροαποτιτανώσεις. Δηλαδή, σε αυτά τα σημεία του μαστού έχει γίνει πλήρης απορρόφηση των ακτίνων-Χ, με αποτέλεσμα μόνο ένα μικρό ποσοστό της δόσης να φτάσει στον ανιχνευτή.

Τέλος, είναι σημαντικό να τονισθεί και το γεγονός ότι τα εύρη και οι μέσες τιμές των δόσεων στην είσοδο του ανιχνευτή ποικίλλουν, όπως φαίνεται στον *Πίνακα 4.1*. Παρατηρώντας τις στήλες με την ελάχιστη τιμή, τη μέγιστη τιμή και τη μέση τιμή, σε κάθε περίπτωση, γίνεται προφανής η πολυπλοκότητα του μαστού ως προς τη κατανομή της δόσης ανάλογα με τη σύσταση του, αλλά και με τον τρόπο που είναι κατανομημένα τα επιμέρους συστατικά του.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Σε αυτήν την εργασία υλοποιήθηκε η κατασκευή ψηφιακών ομοιωμάτων βασισμένων σε εικόνες μαστογραφίας, με τελικό σκοπό την αξιολόγηση τους μέσω της προσομοίωσης της ακτινοβόλησης με τη χρήση ανιχνευτικής διάταξης στο λογισμικό MATLAB. Οι μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν για τη παραγωγή των ομοιωμάτων, αλλά και για την ακτινοβόληση τους φάνηκε να ήταν επιτυχείς, με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Στη προσομοίωση της ακτινοβόλησης, ως ανιχνευτής χρησιμοποιήθηκε ο RadEye, χωρίς ωστόσο να έχει ληφθεί υπόψη στην διαδικασία η επίδραση του θορύβου και της ασάφειας του ανιχνευτή στη τελική παραγόμενη εικόνα, δηλαδή στην έξοδο της ανιχνευτικής διάταξης. Συνεπώς, προκειμένου η τελική εικόνα να προσομοιάσει όσο το δυνατόν καλύτερα το αποτέλεσμα μίας μαστογραφίας, θα μπορούσε να εισαχθεί στην διαδικασία της ακτινοβόλησης ο θόρυβος και η ασάφεια από τον ανιχνευτή RadEye. Παράλληλα, σημαντικό θα ήταν να χρησιμοποιηθούν και άλλοι ανιχνευτές (Liarapinos *et al.*, 2013, Seferis *et al.*, 2013, Seferis *et al.*, 2014) με διαφορετικές καμπύλες απόκρισης, με σκοπό να βρεθεί κάποιος ανιχνευτής όπου στην έξοδο του θα παράγει εικόνα με την ελάχιστη δυνατή χορήγηση δόσης, αλλά και με τον ελάχιστο συνδυασμό θορύβου και ασάφειας.

Επιπροσθέτως, προκειμένου η ιδέα της δημιουργίας ενός ψηφιακού ομοιώματος από εικόνα μαστογραφίας να αποτελέσει αντικείμενο για περαιτέρω έρευνα, έχει μεγάλη σημασία να υλοποιηθεί η εισαγωγή κάποιων συχνά εμφανιζόμενων παθήσεων του μαστού στα παραγόμενα ομοιώματα. Πιο συγκεκριμένα, θα μπορούσαν να προστεθούν μικροαποτιτανώσεις, αλλά και όζοι σε διάφορες περιοχές του ομοιώματος και στη συνέχεια να ακτινοβοληθεί, με στόχο την αξιολόγηση της ποιότητας της τελικής εικόνας που θα παράγει ο ανιχνευτής RadEye ή οποιαδήποτε άλλη ανιχνευτική διάταξη.

Επιπλέον, στη μεθοδολογία της ακτινοβόλησης των ομοιωμάτων που ακολουθήθηκε στη παρούσα έρευνα, χρησιμοποιήθηκαν δύο μόνο ενέργειες (28keV και 32keV), δύο πάχη μαστού (4cm και 5,5cm) και ένα μόνο πλήθος φωτονίων της δέσμης (5000000 ακτίνες-Χ). Επομένως, θα είχε μεγάλη σημασία η χρήση και άλλων συνδυασμών παραμέτρων ακτινοβόλησης, δηλαδή η επιλογή και τελική η εφαρμογή διαφορετικών ενεργειών, παχών μαστού αλλά και πλήθους της δέσμης ακτίνων-Χ. Φυσικά, η επιλογή των παραμέτρων θα γίνει λαμβάνοντας υπόψη τη φυσική του μαστού, αλλά και τις αρχές της μαστογραφίας.

Μία ακόμη πρόταση για περαιτέρω έρευνα αποτελεί η αλλαγή των παραγόντων στάθμισης που χρησιμοποιήθηκαν στη μεθοδολογία της ακτινοβόλησης στο κεφάλαιο 3. Ειδικότερα, αλλάζοντας τις τιμές των παραγόντων αυτών, τόσο στη μέθοδο Α όσο στη μέθοδο Β, θα μπορούσε να βρεθεί κάποιος καλύτερος συνδυασμός, ώστε να ληφθεί η βέλτιστη δυνατή διαβάθμιση των τόνων του γκρι στη τελική παραγόμενη εικόνα.

Επίσης, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η χρήση άλλων μαστογραφικών εικόνων για τη δημιουργία ψηφιακών ομοιωμάτων, οι οποίες θα περιλαμβάνουν



πιο πυκνούς ή πιο αραιούς μαστούς, με τη πιθανή ύπαρξη καρκινωμάτων σε κάποια περιοχή.

Τέλος, τα ψηφιακά ομοιώματα μαστών που κατασκευάστηκαν, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για τον έλεγχο τεχνικών απεικόνισης. Μία τέτοια περίπτωση συνιστά η απεικόνιση διπλής ενέργειας (Koukou *et al.*, 2017, Martini *et al.*, 2017, Martini *et al.*, 2020), με σκοπό την εύρεση των βέλτιστων παραμέτρων ακτινοβολήσης, ώστε εφαρμόζοντας αυτή τη τεχνική να διακρίνονται με σαφήνεια οι υπάρχουσες μικροαποτιτανώσεις στα ομοιώματα.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Benedetto, D.D. *et al.* (2016) 'Radiological anatomy of the breast', *Italian Journal of Anatomy and Embryology*, pp. 20–36.

Bushberg, J.T. and Boone, J.M. (2011) *The Essential Physics of Medical Imaging*. Lippincott Williams & Wilkins.

Cesareo, R. *et al.* (1992) 'Interaction of keV photons with matter and new applications', *Physics Reports*, 213(3), pp. 117–178. Available at: [https://doi.org/10.1016/0370-1573\(92\)90086-F](https://doi.org/10.1016/0370-1573(92)90086-F).

Chevalier, M. *et al.* (2012) 'Image Quality Requirements for Digital Mammography in Breast Cancer Screening', in. Available at: <https://doi.org/10.5772/30973>.

Fico, N. *et al.* (2023) 'Breast Imaging Physics in Mammography (Part I)', *Diagnostics*, 13(20), p. 3227. Available at: <https://doi.org/10.3390/diagnostics13203227>.

Gordon, P.B. (2022) 'The Impact of Dense Breasts on the Stage of Breast Cancer at Diagnosis: A Review and Options for Supplemental Screening', *Current Oncology*, 29(5), pp. 3595–3636. Available at: <https://doi.org/10.3390/currncol29050291>.

IAEA (2007) *Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice*. Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (Technical Reports Series, 457). Available at: <https://www.iaea.org/publications/7638/dosimetry-in-diagnostic-radiology-an-international-code-of-practice>.

Kalyvas, N. *et al.* (2023) 'A Novel Method to Model Image Creation Based on Mammographic Sensors Performance Parameters: A Theoretical Study', *Sensors*, 23(4), p. 2335. Available at: <https://doi.org/10.3390/s23042335>.

Koukou, V. *et al.* (2017) 'Dual energy subtraction method for breast calcification imaging', *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 848, pp. 31–38. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2016.12.034>.

Liaparinos, P. *et al.* (2013) 'Analysis of the imaging performance in indirect digital mammography detectors by linear systems and signal detection models', *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 697, pp. 87–98. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2012.08.014>.

Martini, N. *et al.* (2017) 'Characterization of breast calcification types using dual energy x-ray method', *Physics in Medicine & Biology*, 62(19), p. 7741. Available at: <https://doi.org/10.1088/1361-6560/aa8445>.

Martini, N. *et al.* (2020) 'Dual Energy X-ray Methods for the Characterization, Quantification and Imaging of Calcification Minerals and Masses in Breast', *Crystals*, 10(3), p. 198. Available at: <https://doi.org/10.3390/cryst10030198>.

Meroli, S. (2023) *What is a Photon and How They Interact with Matter*. Available at: <https://www.scienceshot.com/post/the-interaction-of-photons-with-matter-explained> (Accessed: 4 April 2024).

Michail, C. *et al.* (2011) 'Experimental and Theoretical Evaluation of a High Resolution CMOS Based Detector Under X-Ray Imaging Conditions', *Nuclear Science, IEEE Transactions on*, 58, pp. 314–322. Available at: <https://doi.org/10.1109/TNS.2010.2094206>.

Moore, K.L., Dalley, A.F. and Agur, A.M.R. (2013) *ΚΛΙΝΙΚΗ ΑΝΑΤΟΜΙΑ*. 6th edition. BROKEN HILL PUBLISHERS LTD. ISBN: 978-9963-716-07-4.

Nowotny, R. (1998) 'XMuDat (Version 1.0.1)'. Available at: <https://www-nds.iaea.org/publications/iaea-nds/iaea-nds-0195.htm>.

Pawlak, M.E. *et al.* (2023) 'Comparative Analysis of Diagnostic Performance of Automatic Breast Ultrasound, Full-Field Digital Mammography and Contrast-Enhanced Mammography in Relation to Breast Composition', *Biomedicines*, 11(12), p. 3226. Available at: <https://doi.org/10.3390/biomedicines11123226>.

Prabhu, S. *et al.* (2020) 'Production of X-RAYS using X-RAY Tube', *Journal of Physics: Conference Series*, 1712(1), p. 012036. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1712/1/012036>.

Rahman, H. *et al.* (2023) 'Efficient Breast Cancer Diagnosis from Complex Mammographic Images Using Deep Convolutional Neural Network', *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2023, p. e7717712. Available at: <https://doi.org/10.1155/2023/7717712>.

Rasband, W. and National Institutes of Health-USA (2022) 'ImageJ (Version 1.53t)'. Available at: <https://imagej.net/ij>.

Said Camilleri, J. *et al.* (2022) 'Review of Thermal and Physiological Properties of Human Breast Tissue', *Sensors*, 22(10), p. 3894. Available at: <https://doi.org/10.3390/s22103894>.

Sferis, I. *et al.* (2014) 'Light emission efficiency and imaging performance of Lu2O3:Eu nanophosphor under X-ray radiography conditions: Comparison with Gd2O2S:Eu', *Journal of Luminescence*, 151, pp. 229–234. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2014.02.017>.

Sferis, I.E. *et al.* (2013) 'On the response of a europium doped phosphor-coated CMOS digital imaging detector', *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 729, pp. 307–315. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2013.06.107>.

Sripathi, S. and Sraj, A. (2020) *Essentials of Breast Imaging*. Jaypee Brothers Medical Publishers.

Tafti, D. and Maani, C.V. (2024) 'X-ray Production', in *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537046/> (Accessed: 4 April 2024).

The Mathworks Inc (2022) 'MATLAB (Version 9.13.0 (R2022b))'. Available at: <https://www.mathworks.com>.

Tompe, A. and Sargar, K. (2024) 'X-Ray Image Quality Assurance', in *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK564362/> (Accessed: 8 April 2024).

Zolfagharnasab, H. *et al.* (2018) 'A Regression Model for Predicting Shape Deformation after Breast Conserving Surgery', *Sensors*, 18, p. 167. Available at: <https://doi.org/10.3390/s18010167>.

Zucca-Matthes, G., Urban, C. and Vallejo, A. (2016) 'Anatomy of the nipple and breast ducts', *Gland Surgery*, 5(1), pp. 32–36. Available at: <https://doi.org/10.3978/j.issn.2227-684X.2015.05.10>.

Δαΐκος, Γ. *et al.* (2016) *Λήψη ιστορικού και κλινική εξέταση στην παθολογία*. Available at: <https://doi.org/10.57713/kallipos-587>.

ΕΕΑΕ (2011) *ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΑΚΤΙΝΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΧΕΙΡΙΣΤΕΣ ΙΑΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΙΟΝΤΙΖΟΥΣΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΩΝ - ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ*. Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας. Available at: [https://eeae.gr/files/ekpaideusi/\\_info\\_ekpaideytiko%20yliko\\_june2011.pdf](https://eeae.gr/files/ekpaideusi/_info_ekpaideytiko%20yliko_june2011.pdf).

Κανδαράκης, Ι. (2007) *ΑΚΤΙΝΟΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ*. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ 'ΑΡΑΚΥΝΘΟΣ'. ISBN: 978-960-89768-1-8.

Κατσανεβάκη, Σ. (2024) 'Μαθηματική δημιουργία ομοιώματος για μελέτη της επίδρασης της έκθεσης στη μαστογραφία'. Available at: <https://doi.org/10.26265/polynoe-5930>.

Χαμογεωργάκη, Α. (2022) 'Δημιουργία ψηφιακού ομοιώματος για μαστογραφική απεικόνιση'. Available at: <https://doi.org/10.26265/polynoe-2471>.