

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ*

Των Σπύρου Ε. Παπαδάκη, Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, ΤΕΙ Α, Σεραφείμ Μπακάλη, Εργαστήριο Χημείας & Τεχνολογίας Τροφίμων, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων μέτρησης χρώματος με μια μέθοδο ψηφιακής απεικόνισης και με χρωματομέτρο. Σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε σύστημα για τη φωτογράφιση. Μέσω πειραμάτων βελτιστοποιήθηκαν ο φωτισμός και οι ρυθμίσεις της φωτογραφικής μηχανής. Μετρήθηκαν δείγματα χρωμάτων με τις δύο μεθόδους και προέκυψαν καμπύλες αναφοράς για τις παραμέτρους L^* , a^* , b^* του χρώματος. Μετρήθηκε επίσης το χρώμα διαφόρων τροφίμων και μέσω αυτών ελέγχθηκε η εφαρμοσιμότητα των καμπυλών αναφοράς. Συμπεραίνεται ότι με την απλή και χαμηλού κόστους μέθοδο ψηφιακής απεικόνισης είναι δυνατή η μέτρηση του χρώματος των τροφίμων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πολύ συχνά τόσο στη βιομηχανία όσο και στην έρευνα είναι απαραίτητη η μέτρηση του χρώματος των τροφίμων καθώς το χρώμα αποτελεί σημαντική παράμετρο της ποιότητάς τους και κριτήριο επιλογής τους από τους καταναλωτές. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται συνήθως με αντικειμενικές μεθόδους (χρωματομέτρα και φασματοφωτόμετρα ανάκλασης). Τα όργανα αυτά αν και προσφέρουν ακριβείς και επαναλήψιμες μετρήσεις του χρώματος έχουν αρκετά υψηλό κόστος. Επιπλέον, καθώς μετρούν τις μέσες τιμές του χρώματος μιας μικρής περιοχής της επιφάνειας, είναι απαραίτητες μετρήσεις σε πολλά σημεία ώστε να γίνει ανάλυση της κατανομής του χρώματος, το δε χρώμα της επιφάνειας πρέπει να είναι αρκετά ομοιόμορφο. Με μερικά απ' αυτά τα όργανα ο έλεγχος του δείγματος είναι καταστροφικός.

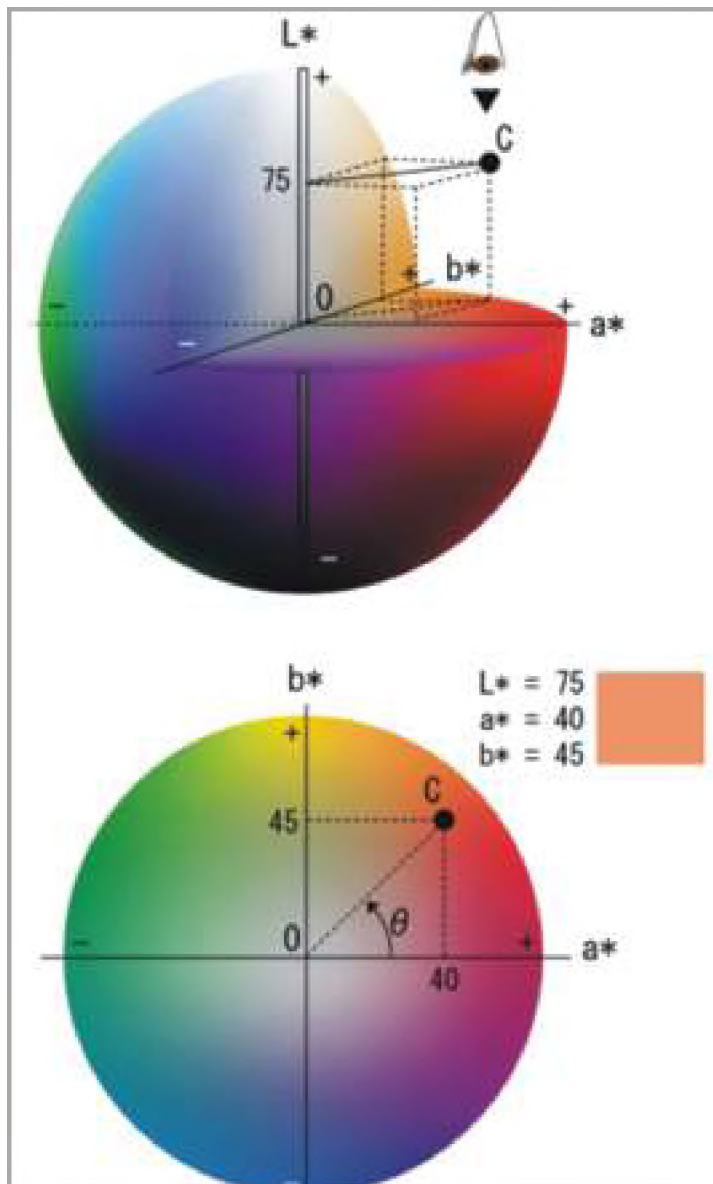
Πρόσφατα προτάθηκε στη βιβλιογραφία [1,2] μια απλή και οικονομική μέθοδος ψηφιακής απεικόνισης για τη μέτρηση και ανάλυση του χρώματος των τροφίμων. Στην μέθοδο χρησιμοποιούνται ψηφιακή φωτογράφιση και ανάλυση των δεδομένων με λογισμικό επεξεργασίας εικόνας. Αν και η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί από διάφορους ερευνητές [3,4], δεν έχει γίνει ακόμη συγκριτική αξιολόγησή της με άλλες αντικειμενικές μεθόδους μέτρησης χρώματος.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η συστηματική σύγκριση των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται με τη μέθοδο αυτή μ' εκείνα που λαμβάνονται με χρωματομέτρο και η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την εφαρμοσιμότητα της μεθόδου.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Για τον ακριβή ποσοτικό προσδιορισμό του χρώματος ενός αντικειμένου είναι απαραίτητη η χρήση ενός μοντέλου για το χρώμα. Με το λογισμικό επεξεργασίας εικόνας Adobe Photoshop που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι δυνατή η εμφάνιση, επεξεργασία και μετατροπή του χρώματος σε τρία διαφορετικά μοντέλα: RGB (red, green, blue), CMYK (cyan, magenta, yellow, black) και $L^*a^*b^*$. Το μοντέλο $L^*a^*b^*$ (Σχήμα 1) είναι ένα διεθνές πρότυπο για μετρήσεις χρώματος που αναπτύχθηκε από την Commission Internationale d' Eclairage (CIE) το 1976.

Σχεδιάστηκε ώστε να είναι ανεξάρτητο της συσκευής εμφάνισης της εικόνας και να δίδει πάντα σταθερό χρώμα. Χρησιμοποιείται συνήθως σε ερευνητικές μελέτες στα τρόφιμα και στα πλέον διαδεδομένα χρωματομέτρα. Αποτελείται από την συνιστώσα φωτεινότητα L^* (luminance ή lightness) που κυμαίνεται μεταξύ 0 και 100, και από τις δύο χρωματικές συνιστώσες a^* και b^* που κυμαίνονται μεταξύ -120 και



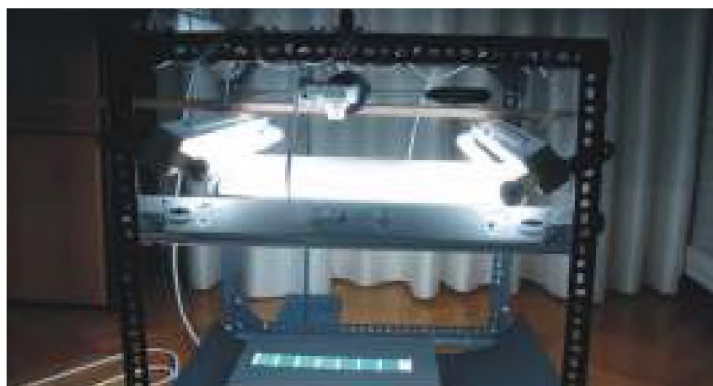
Σχήμα 1: Το μοντέλο $L^*a^*b^*$

+120. Το μεν a^* αντιπροσωπεύει τα χρώματα από το πράσινο στο κόκκινο, το δε b^* από το μπλε στο κίτρινο.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

Σύστημα Ψηφιακής Απεικόνισης. Το σύστημα ψηφιακής απεικόνισης που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από τα ακόλουθα επιμέρους τμήματα:

Σύστημα Φωτισμού (Σχήμα 2). Χρησιμοποιήθηκαν 4 λαμπτήρες φθορισμού (Radium BioSun, NL 18W/965, Germany) με "θερμοκρασία" χρώματος 6,500 K και μήκος 60 cm. Κατασκευάστηκε το πλαίσιο ενός



Σχήμα 2: Σύστημα φωτισμού του προς φωτογράφιση δείγματος.

κύβου με μεταλλικές ράβδους να αποτελούν τις ακμές και πάνω στις 4 πλευρικές έδρες του κύβου στηρίχτηκαν τα φωτιστικά υπό γωνία 45 και σε κατακόρυφη απόσταση 35 cm από τη βάση του κύβου.

Το προς φωτογράφιση δείγμα τοποθετείτο στο μέσο της βάσης πάνω σε μαύρο ματ χαρτόνι. Οι 4 παράπλευρες έδρες του κύβου ήταν και αυτές καλυμμένες με μαύρο ματ χαρτόνι. Η φωτογράφιση γινόταν σε σκοτεινό θάλαμο με μόνη πηγή φωτισμού τις 4 λάμπες φθορισμού.

Ψηφιακή φωτογραφική μηχανή. Χρησιμοποιήθηκε μια 5.0 megapixel ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Olympus (μοντέλο C-5000ZOOM).

Στηριζόταν στην πάνω έδρα του κύβου και ο φακός της ήταν στραμμένος προς τη βάση του κύβου, κάθετα πάνω από το δείγμα και σε απόσταση 42 cm. Μια αρχική σειρά πειραμάτων είχε σαν στόχο τον καθορισμό των βέλτιστων ρυθμίσεων της φωτογραφικής μηχανής.

Από τα πειράματα αυτά βρέθηκε ότι η ταχύτητα, το διάφραγμα και η ισορροπία του λευκού (white balance) είναι πολύ σημαντικά.

Χρησιμοποιήθηκαν τελικά οι ακόλουθες ρυθμίσεις: manual mode με το διάφραγμα ρυθμισμένο σε $f=4.8$ και την ταχύτητα σε $1/20$, remote mode on, ISO = 50, no flash, macro mode on, ανάλυση (resolution) HQ 2560 x 1920 pixels, και οι φωτογραφίες αποθηκεύονταν στην μνήμη ως φάκελοι JPEG. Η ισορροπία λευκού (white balance) ρυθμιζόταν χρησιμοποιώντας φύλλο λευκού χαρτιού. Η φωτογράφιση γινόταν με τηλεχειριστήριο αφού πρώτα ρυθμιζόταν η εστιακή απόσταση του φακού και εστιαζόταν ο φακός. Οι φωτογραφίες μεταφέρονταν στον Η/Υ μέσω θύρας USB και με το λογισμικό της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής.

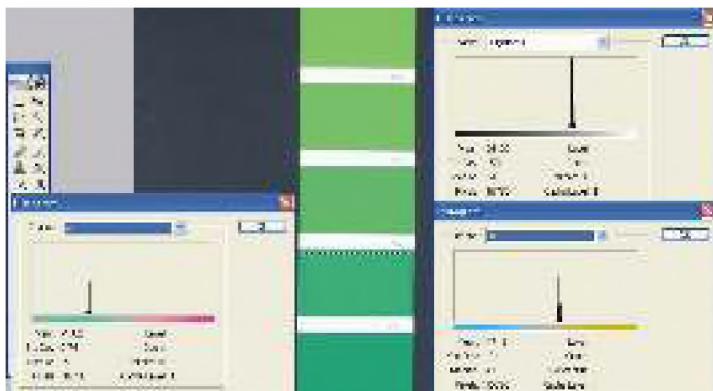
Ανάλυση των ψηφιακών φωτογραφιών για τη μέτρηση του χρώματος των δειγμάτων. Οι φωτογραφίες επεξεργάστηκαν στον Η/Υ με το λογισμικό επεξεργασίας εικόνας Adobe Photoshop όπως περιγράφεται από τους Papadakis et al [1] και παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχήμα 3.

Χρωματόμετρο. Μετρήσεις του χρώματος των δειγμάτων έγιναν και με χρωματόμετρο Minolta, μοντέλο CR-200 (Minolta Co., Osaka, Japan) με διάμετρο ανοίγματος 8 mm.

Χρωματικά Δείγματα. Καρτέλες με εμπορικά δείγματα χρωμάτων (χρωματολόγιο) εταιρείας παραγωγής χρωμάτων αναλύθηκαν με τις δυο μεθόδους.

Ήταν συνολικά 127 δείγματα χρωμάτων στα οποία συμπεριλαμβάνονταν πράσινα, κόκκινα, μπλε, κίτρινα, καφέ χρώματα. Επειδή δε η κατανομή χρώματος στα δείγματα ήταν ομοιόμορφη, ανά δείγμα ελήφθη μόνο μια μέτρηση με το χρωματόμετρο και η μέση τιμή κάθε παραμέτρου για όλη την επιφάνεια του δείγματος με την μέθοδο της ψηφιακής απεικόνισης.

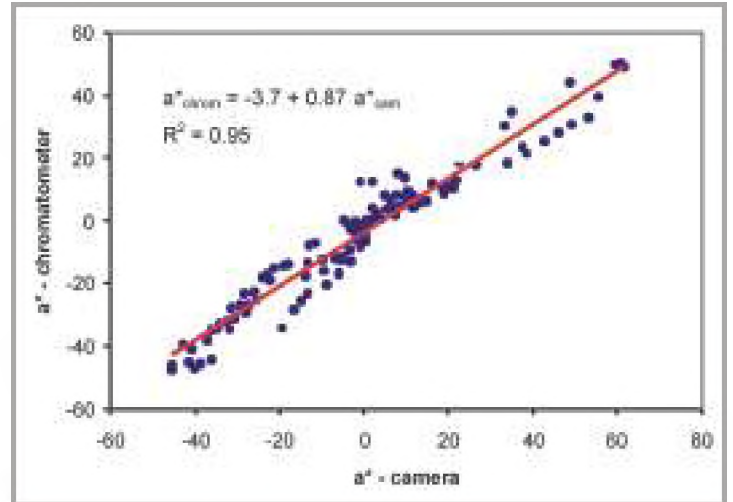
Με τις δυο μεθόδους αναλύθηκαν επίσης διάφορα φρούτα, όπως μπανάνα, πορτοκάλι, λεμόνι, πράσινο μήλο, κόκκινο μήλο, φιρίκι και



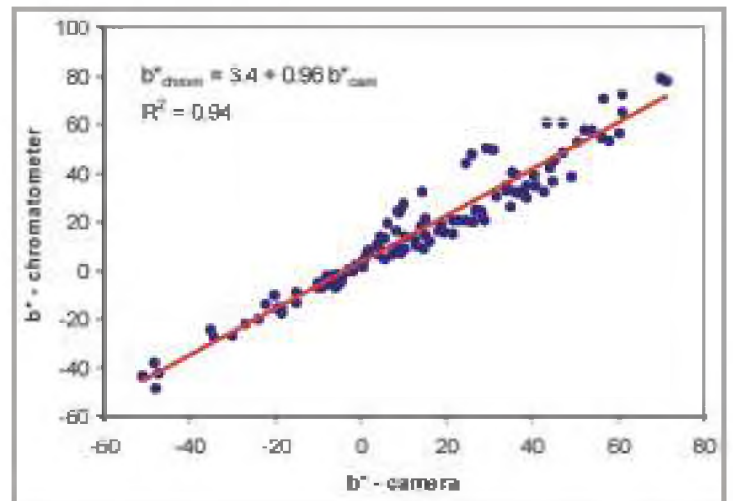
Σχήμα 3: Επεξεργασία φωτογραφιών με Adobe Photoshop.

ακτινίδιο.

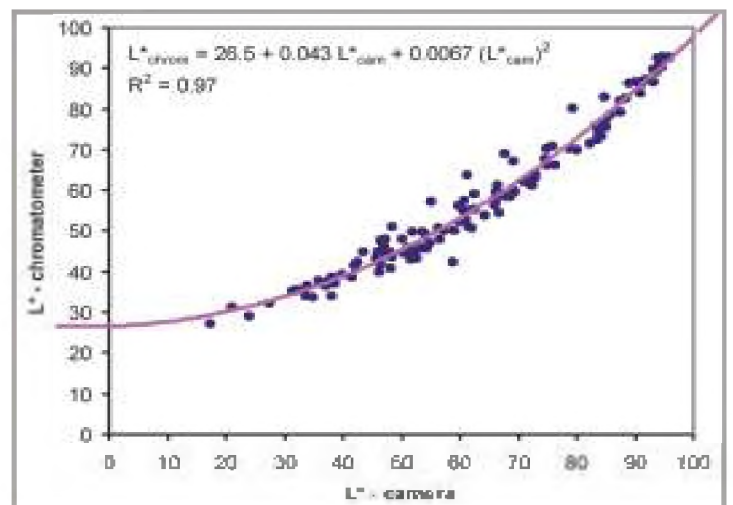
Οι μετρήσεις με το χρωματόμετρο έγιναν σε διάφορα σημεία της επιφάνειας του φρούτου και τελικά ελήφθη ο μέσος όρος των παραμέτρων L^* , a^* , b^* . Με την μέθοδο της ψηφιακής απεικόνισης ελήφθη και πάλι ο μέσος όρος των παραμέτρων επιλέγοντας στο Photoshop την φωτογραφία ολόκληρου του φρούτου.



Σχήμα 4: Συσχέτιση τιμών a^* των δειγμάτων χρωμάτων από χρωματολόγιο, όπως μετρήθηκαν από ψηφιακή φωτογραφική μηχανή και χρωματόμετρο.



Σχήμα 5: Συσχέτιση τιμών b^* των δειγμάτων χρωμάτων από χρωματολόγιο, όπως μετρήθηκαν από ψηφιακή φωτογραφική μηχανή και χρωματόμετρο.



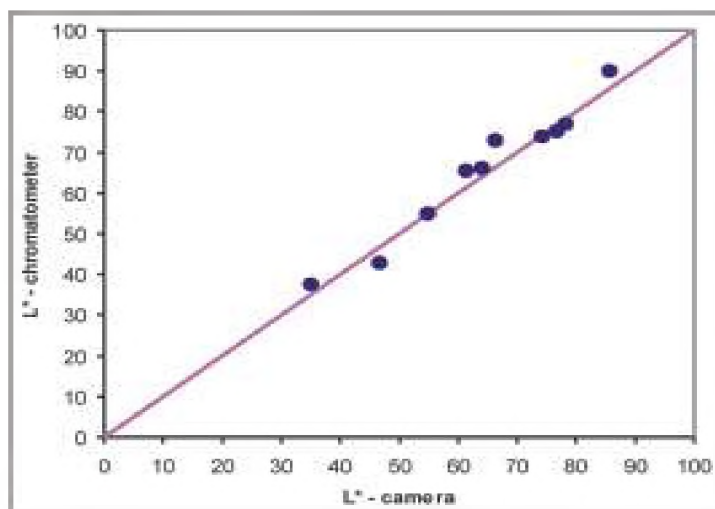
Σχήμα 6: Συσχέτιση τιμών L^* των δειγμάτων χρωμάτων από χρωματολόγιο, όπως μετρήθηκαν από ψηφιακή φωτογραφική μηχανή και χρωματόμετρο.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο Σχήμα 4 συγκρίνονται οι τιμές της παραμέτρου a^* των δειγμάτων χρωμάτων από το χρωματολόγιο, όπως μετρήθηκαν με τις δυο μεθόδους, απ' όπου και προκύπτει ότι η σχέση μεταξύ τους είναι γραμμική. Στα Σχήματα 5 και 6 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες τιμές για ☐

το b^* και το L^* . Σε αντίθεση με τα a^* και b^* (που η καμπύλη συσχέτισης ήταν ευθεία), για το L^* η καμπύλη συσχέτισης φαίνεται να είναι πολυώνυμο δευτέρου βαθμού. Οι εξισώσεις των καμπυλών συσχέτισης παρουσιάζονται πάνω στα αντίστοιχα σχήματα.

Αποφασίστηκε κατόπιν όλες οι τιμές των L^* , a^* , b^* που λαμβάνονται πλέον με την μέθοδο της ψηφιακής απεικόνισης να διορθώνονται χρησιμοποιώντας τις καμπύλες συσχέτισης ως καμπύλες αναφοράς ή ισοδύναμα να υπολογίζονται διορθωμένες τιμές με τις εξισώσεις των καμπυλών.

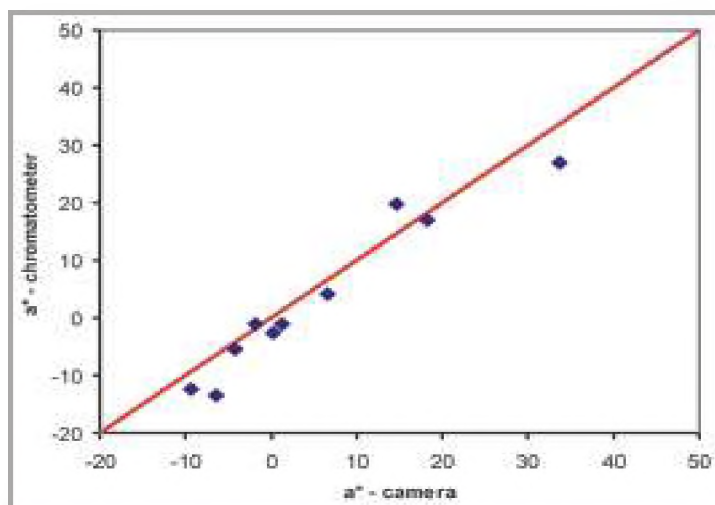


Σχήμα 7: Σύγκριση διορθωμένων τιμών L^* του χρώματος των φρούτων που μετρήθηκαν με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή με τις τιμές που μετρήθηκαν με χρωματόμετρο.

Οι μετρήσεις του χρώματος των φρούτων με τις δυο μεθόδους χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για τον έλεγχο της εφαρμοσιμότητας της καμπύλης αναφοράς ή ισοδύναμα των εξισώσεων διόρθωσης. Οι μέσες τιμές χρώματος για τα φρούτα που προέκυψαν με την μέθοδο της ψηφιακής απεικόνισης, αφού διορθώθηκαν με τις τρεις καμπύλες αναφοράς, συγκρίνονται με τις τιμές που ελήφθησαν με το χρωματόμετρο στα Σχήματα 7, 8 και 9.

Όπως φαίνεται στα σχήματα 7 και 8, η συμφωνία για τις τιμές των L^* και a^* είναι ικανοποιητική καθώς τα σημεία βρίσκονται εκατέρωθεν και πλησίον της ευθείας με κλίση 45. Η συμφωνία όμως δεν είναι ικανοποιητική για το b^* (Σχήμα 9).

Η απόκλιση αυτή έχει αναφερθεί και από άλλους ερευνητές [3] και πιθανόν να οφείλεται στην ανομοιομορφία του χρώματος της επιφάνειας του φρούτου με συνέπεια να είναι δύσκολη η εκτίμηση της

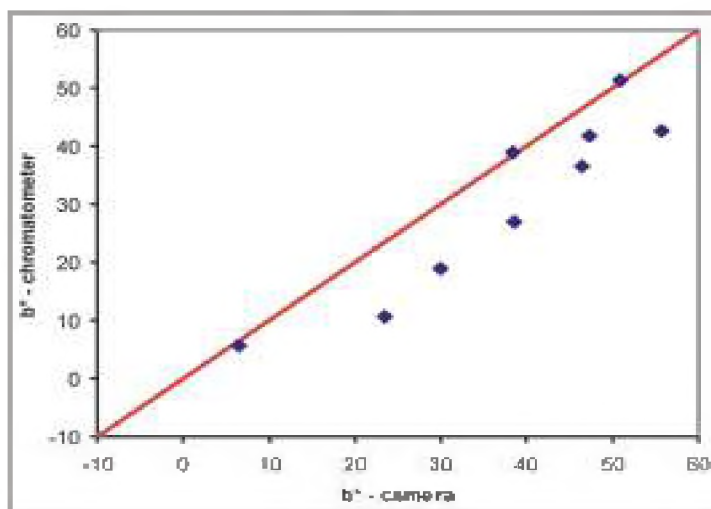


Σχήμα 8: Σύγκριση διορθωμένων τιμών a^* του χρώματος των φρούτων που μετρήθηκαν με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή με τις τιμές που μετρήθηκαν με χρωματόμετρο.

μέσης τιμής του b^* με το χρωματόμετρο. Μπορεί επίσης να οφείλεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής. Σχεδιάζεται περαιτέρω έρευνα ώστε να διερευνηθεί η απόκλιση που ίσως τελικά οδηγήσει στην κατασκευή και χρήση δυο καμπυλών αναφοράς για το b^* , μια για κάθε χρωματική περιοχή.

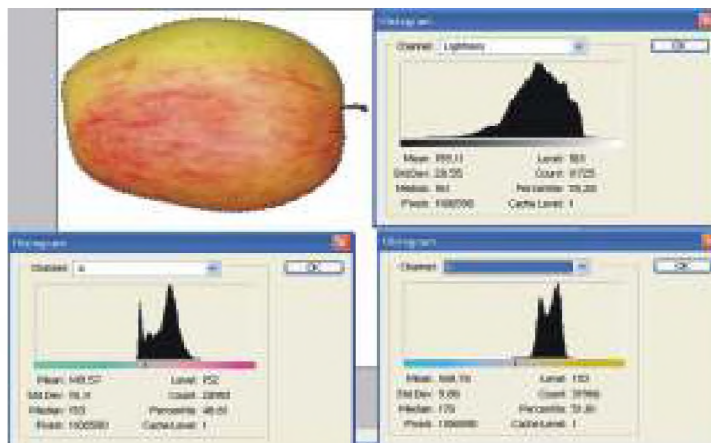
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι δυνατή η μέτρηση του χρώματος των τροφίμων με χρήση ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής. Το μειονέκτημα της μικρότερης ακρίβειας της μεθόδου σε σχέση με το



Σχήμα 9: Σύγκριση διορθωμένων τιμών b^* του χρώματος των φρούτων που μετρήθηκαν με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή με τις τιμές που μετρήθηκαν με χρωματόμετρο.

χρωματόμετρο, αντισταθμίζεται από το μικρότερο κόστος και τη δυνατότητα να αντλούνται πληροφορίες για τρόφιμα με ανομοιομορφή κατανομή χρώματος (για παράδειγμα το φρούτο του Σχήματος 10). L



Σχήμα 10: Μέτρηση χρώματος σε φρούτο με ανομοιομορφή κατανομή χρώματος.

* Η εργασία αυτή παρουσιάστηκε στο 5ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο Χημικής Μηχανικής, Θεσσαλονίκη 26-28 Μαΐου 2005, Συνεδριακό Κέντρο «Νικόλαος Γερμανός», HELEXPO.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Papadakis, S.E., Abdul-Malek, S., Kamden, R.E. and Yam, K.L., *Food Technology*, 54(12), (2000), 48-51.
- 2) Yam, K.L. and Papadakis, S.E., *Journal of Food Engineering*, 61, (2004), 137-142.
- 3) Mendoza, F. and Aguilera, J.M., *Journal of Food Science*, 69, 9, (2004), 471-477.
- 4) Lazaridou, A., Billaderis, C.G., Bacandritsos, N. and Sabatini, A.G., *Journal of Food Engineering*, 64, (2004), 9-21.