

**ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ PAN ΚΑΙ MS ΤΟΥ ΔΟΥΦΟΡΟΥ ΙΚΟΝΟΣ-2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΣΥΝΘΕΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ.<sup>1</sup>**

**ΤΣΑΚΙΡΗ-ΣΤΡΑΤΗ ΜΑΡΙΑ<sup>2</sup> ΤΣΙΟΥΚΑΣ ΒΑΣΙΛΗΣ<sup>3</sup> ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ<sup>2</sup>**

**ΣΥΝΟΨΗ**

Μια από τις σημαντικότερες πηγές ψηφιακών δεδομένων για ένα GIS, αποτελεί σήμερα ο δορυφόρος Ikonos-2. Τα χωρικά και φασματικά χαρακτηριστικά των εικόνων του, επιτρέπουν τη δημιουργία χωρικών και περιγραφικών βάσεων δεδομένων, κατάλληλων για εφαρμογές ακόμη και σε αστικό περιβάλλον. Σκοπός της εργασίας, ήταν η περαιτέρω βελτίωση των δεδομένων Ikonos-2 και η σύνθεση μιας νέας εικόνας με προδιαγραφές, που να της επιτρέπουν να ενταχθεί στις λειτουργίες ενός GIS για μελέτες σε μεγάλη κλίμακα. Η σύνθεση της νέας εικόνας προέκυψε από τη συγχώνευση των εικόνων PAN και MS, οι οποίες προηγουμένως υπέστησαν ορθοαναγωγή. Η ορθοαναγωγή έγινε με λογισμικό που αναπτύχθηκε για την επεξεργασία εικόνων, των οποίων το γεωμετρικό μοντέλο σχηματισμού τους δεν είναι γνωστό. Η εκτίμηση των γεωμετρικών και φασματικών χαρακτηριστικών της σύνθετης εικόνας, έγινε μέσω στατιστικών κριτηρίων και αποδείχτηκε ότι διατηρήθηκαν πολύ καλά τόσο τα φασματικά χαρακτηριστικά της MS και όσο και τα γεωμετρικά της PAN.

**ABSTRACT**

Today, one of the most important data sources for a GIS is the Ikonos-2 satellite. The spatial and spectral characteristics of its images allow the construction of spatial and descriptive databases appropriate for urban studies. The aim of this paper was the further improvement of Ikonos-2 data and the composition of a new synthetic image that keeps the high spatial resolution of the PAN image and the spectral resolution of the MS image. This new image would be very useful for GIS studies at large cartographic scales.

The synthetic image was created by the fusion of the original PAN and MS images. The Principal Components Analysis (PCA) fusion method was used. The original images were firstly orthorectified through special software developed for the orientation of images with unknown orientation characteristics. In addition to this, the orthorectified MS image was registered on the orthorectified PAN image so that their geometric characteristics coincide as much as possible. The spatial coincidence accomplished, improved the results of the PCA fusion method significantly. The specific method was applied twice and two synthetic images were created: The FMS4 image using all the four spectral bands of MS and the FMS3 image using only bands 1, 3 and 4. The latter band combination was chosen according to the values of the Optimum Index Factor (OIF).

The spectral quality and the spatial accuracy of the FMS4 and FMS3 were estimated through statistical criteria. It was proved that both FMS4 and FMS3 kept the original spectral and spatial characteristics very satisfactory. According to these results the FMS4 and FMS3 images are completely appropriate for spatial analysis procedures at large scales.

**ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ:** Τηλεπισκόπηση, ΣΓΠ, Ikonos-2, ορθοαναγωγή εικόνας, συγχώνευση εικόνων, χωρική ακρίβεια, φασματική ποιότητα

**KEYWORDS:** Remote sensing, GIS, image ortho-rectification, image fusion, spatial accuracy, spectral quality

---

1:FUSION OF PAN AND MS IMAGES. ESTIMATION OF SPATIAL ACCURACY AND SPECTRAL QUALITY OF THE SYNTHETIC IMAGE

2:Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τομέας Κτηματολογίου Φωτογραμμετρίας και Χαρτογραφίας, ΤΑΤΜ, ΑΠΘ

3:Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Διδάκτωρ ΤΑΤΜ ΑΠΘ, Τομέας Κτηματολογίου Φωτογραμμετρίας και Χαρτογραφίας, ΤΑΤΜ, ΑΠΘ

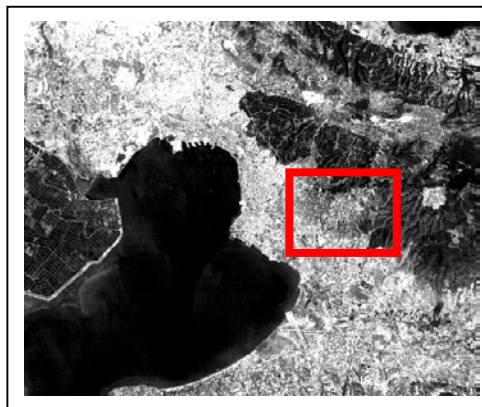
## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι τηλεπισκοπικοί δορυφόροι παρέχουν δεδομένα εικόνων, τα οποία είναι δυνατόν να καλύπτουν διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, και να έχουν διαφορετικές χωρικές, χρονικές και ραδιομετρικές αναλύσεις. Για την πλήρη εκμετάλλευση όλων αυτών των εικόνων, αναπτύχθηκαν πολλές τεχνικές συγχώνευσης για τη δημιουργία νέων σύνθετων εικόνων που φέρουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά των υπαρχουσών αρχικών (Cliché et al. 1985, Chavez 1986, Carper et al. 1990, Pellemans et al. 1993, Pohl and van Genderen 1998, Erdas 1999, Antunes 2000, Rancin and Wald 2000). Η συγχώνευση γίνεται μέσω κατάλληλων αλγορίθμων οι οποίοι προβλέπουν την είσοδο εικόνων από διαφορετικές πηγές και έχουν σκοπό τη βελτίωση της αναγνωσιμότητας της εικόνας. Τα φασματικά χαρακτηριστικά είναι χρήσιμα για την αναγνώριση πληροφοριών, όπως η φυτική κάλυψη, το νερό, το έδαφος, το τσιμέντο, η άσφαλτος κλπ. Από την άλλη πλευρά, η αύξηση της χωρικής διακριτικής ικανότητας συνεπάγεται την αύξηση της ακρίβειας της θεματικής χαρτογράφησης και χρησιμεύει σε εφαρμογές κατά τις οποίες απαιτούνται τέτοια δεδομένα, όπως για παράδειγμα σε μελέτες αστικού περιβάλλοντος. Είναι επομένως ευνόητο, ότι με τη συγχώνευση των δορυφορικών δεδομένων αφενός είναι δυνατή η εκμετάλλευση εικόνων διαφόρων προελεύσεων και αφετέρου η δημιουργία σύνθετης εικόνας με βελτιωμένα χωρικά και φασματικά χαρακτηριστικά. Για τα GIS, που σήμερα σε πάρα πολλές εφαρμογές χρησιμοποιούν δορυφορικά raster δεδομένα, η δυνατότητα της εκμετάλλευσης του υπάρχοντος ψηφιακού υλικού και της βελτίωσής του, αποτελεί ένα σημαντικό κεφάλαιο στην περιοχή της εισόδου και επεξεργασίας των δεδομένων.

Η συγχώνευση γίνεται μεταξύ μιας εικόνας μεγάλης χωρικής ανάλυσης και μιας εικόνας μεγάλης φασματικής ανάλυσης. Η σύνθετη εικόνα έχει τα χωρικά και φασματικά χαρακτηριστικά και των δύο αρχικών. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη δυνατότητα συγχώνευσης των εικόνων, είναι η εγγραφή της πολυφασματικής εικόνας στην εικόνα υψηλής χωρικής ανάλυσης, με σκοπό τη χωρική ταύτιση των αντίστοιχων ψηφίδων τους. Στην περίπτωση που οι εικόνες καλύπτουν ορεινή περιοχή με έντονο ανάγλυφο, είναι επίσης απαραίτητη η ορθοαναγωγή τους σε ένα χαρτογραφικό σύστημα αναφοράς, ή οποία προηγείται της εγγραφής της εικόνας με τη χαμηλότερη χωρική ανάλυση στην εικόνα με την υψηλότερη. Τέλος, οι δύο εικόνες πριν από τη συγχώνευση, πρέπει να αποκτήσουν την ίδια διάσταση ψηφίδας και ραδιομετρική ισορροπία (Schowengerdt 1997).

Προκειμένου τα δορυφορικά δεδομένα να ενταχθούν στη διαδικασία ενός GIS, είναι απαραίτητη η ορθοαναγωγή τους σε χαρτογραφικό σύστημα είτε αναφέρονται σε περιοχή με έντονο ανάγλυφο είτε όχι. Η αναγωγή αυτή επιτρέπει τον περαιτέρω συνδυασμό των δεδομένων με ψηφιακά δεδομένα από άλλες πηγές, τόσο κατά τη δημιουργία των γεωμετρικών βάσεων όσο και κατά τις διαδικασίες της ανάλυσης στο χώρο. Στη συγκεκριμένη εργασία, δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στην δημιουργία των ορθοεικόνων από την παγχρωματική και την πολυφασματική εικόνα του δορυφόρου. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε λογισμικό που αναπτύχθηκε ειδικά για την επεξεργασία εικόνων των οποίων το γεωμετρικό μοντέλο σχηματισμού τους δεν είναι γνωστό (Τσιούκας 2000, Tsioukas et al. 2001), όπως είναι οι εικόνες του Ikonos-2.

Η περιοχή μελέτης της εργασίας, αποτελείται από ένα τμήμα του δάσους Σείχ-Σου της Θεσσαλονίκης και ένα τμήμα της περιαστικής δομημένης περιοχής στα βορειοανατολικά της πόλης (σχ. 1).



Σχήμα 1. Η περιοχή μελέτης  
Figure 1. The study area

Για τη συγχώνευση των εικόνων χρησιμοποιήθηκε η τεχνική του μετασχηματισμού στις κύριες συνιστώσες (Principal Component Analysis, PCA) η οποία έχει δοκιμαστεί επιτυχώς για την αντίστοιχη περιοχή και για δορυφορικά δεδομένα SPOT4 (βλ. Τσακίρη-Στρατή κα. 2001, Χαλκίδου κα. 2001). Η σύνθετη εικόνα που δημιουργήθηκε, ελέγχθηκε ως προς τη γεωμετρική ακρίβεια και τη φασματική της ποιότητα μέσω στατιστικών κριτηρίων.

## **2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Τα δορυφορικά δεδομένα της μελέτης είναι μία παγχρωματική υψηλής χωρικής ανάλυσης εικόνα PAN του δορυφόρου, με διάσταση ψηφίδας 1 m και λήψης που έγινε το Μάρτιο του 2000 και η αντίστοιχη πολυφασματική εικόνα MS με τέσσερις διαύλους, και με διάσταση ψηφίδας 4 m (σχ. 2α και 2β).

Για την ορθοαναγωγή τους χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό μοντέλο εδάφους το οποίο δημιουργήθηκε από την Λιόντα (1999), με βήμα καννάβου 2 m και σε προβολή UTM. Για το ψηφιακό μοντέλο εδάφους χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες λήψης που έγινε τον Ιούλιο του 1997 και κλίμακας 1:10,000.

Η συνολική μελέτη έγινε μέσω του λογισμικού Erdas/Imagine 8.5 και λογισμικού που αναπτύχθηκε από τον Τσιούκα (2000).

## **3. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ**

### **3.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΟΡΘΟΕΙΚΟΝΩΝ**

Για τη δημιουργία των ορθοεικόνων από την παγχρωματική και την πολυφασματική εικόνα του δορυφόρου Ikonos-2, χρησιμοποιήθηκε λογισμικό που αναπτύχθηκε ειδικά για τον προσανατολισμό και γενικότερα για την επεξεργασία εικόνων των οποίων το γεωμετρικό μοντέλο σχηματισμού τους δεν είναι γνωστό (Τσιούκας 2000, Tsioukas et al. 2001).

Το μοντέλο του σχηματισμού των εικόνων που προέρχονται από τον αισθητήρα που χρησιμοποιεί ο δορυφόρος Ikonos-2 δεν είναι γνωστό, διότι η εταιρεία κατασκευής του δορυφόρου δεν έχει διαθέσει στην επιστημονική κοινότητα το μοντέλο που ανταποκρίνεται ακριβώς στη δημιουργία των εικόνων. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε αυθαίρετα ένα παραπλήσιο μοντέλο, αυτό της κεντρικής προβολής, και το οποίο χρησιμοποιείται για το σχηματισμό των εικόνων από αεροφωτομηχανές. Η μόνη διαφορά του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε με το μοντέλο της κεντρικής προβολής μιας αεροφωτομηχανής, είναι η παραδοχή ότι το κέντρο προβολής για το σχηματισμό της εικόνας του συγκεκριμένου δορυφόρου, δεν ορίζεται στο κέντρο της, αλλά σε μία θέση, η οποία προκύπτει μετά από συνορθωτική διαδικασία όλων των παραμέτρων που συμμετέχουν στον ορισμό της εσωτερικής και εξωτερικής γεωμετρίας του αισθητήρα. Στην ουσία, το λογισμικό που αναπτύχθηκε είναι λογισμικό αυτοβαθμονόμησης, κατά την οποία προκύπτουν οι τιμές όχι μόνο των παραμέτρων της εξωτερικής θέσης του δορυφόρου, αλλά και οι παράμετροι της εσωτερικής γεωμετρίας του.

Έτσι, η τεχνική που εφαρμόστηκε για τον προσδιορισμό των προσανατολισμών των εικόνων, χρησιμοποιεί ένα γενικευμένο μοντέλο αισθητήρα. Οι άγνωστες παράμετροι για τον υπολογισμό των προσανατολισμών των εικόνων περιλαμβάνουν τα έξι τυπικά στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού  $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$  και τρία στοιχεία εσωτερικού προσανατολισμού, τα οποία είναι η εστιακή απόσταση και οι συντεταγμένες θέσης του πρωτεύοντος σημείου της εικόνας, το οποίο όπως αναφέρθηκε, δεν βρίσκεται αναγκαστικά κοντά στο κέντρο της. Το μέγεθος της ψηφίδας σε πραγματικές διαστάσεις του αισθητήρα θεωρήθηκε αυθαίρετα γνωστό και ίσο με 10 $\mu$ m.

Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά επτά φωτοσταθερά των οποίων οι συντεταγμένες προήλθαν από την ορθοεικόνα αεροφωτογραφιών με μέγεθος ψηφίδας 2 m και το αντίστοιχο μοντέλο εδάφους (Λιόντα 1999), του οποίου το βήμα προσαρμόσθηκε στις απαιτήσεις της κάθε υπό ορθοαναγωγή εικόνας.

Το λογισμικό που αναπτύχθηκε (Τσιούκας 2000, Tsioukas et al. 2001), δέχεται για τον υπολογισμό των προσανατολισμών των εικόνων, προσεγγιστικές τιμές των έξι στοιχείων του εξωτερικού προσανατολισμού καθώς και προσεγγιστικές τιμές για τα τρία άγνωστα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού. Για τον υπολογισμό των αγνώστων παραμέτρων εφαρμόζεται συνόρθωση. Στη συγκεκριμένη εργασία, υπολογίστηκε η τιμή των παραμέτρων του εξωτερικού προσανατολισμού με ακρίβεια ( $\sigma_0$ ) της τάξης των 3 m. Ακολούθησε επαναδειγματοληψία των εικόνων με την τεχνική της δικυβικής παρεμβολής.

Σημαντικό στοιχείο για την ορθή συγχώνευση των δεδομένων από την παγχρωματική και πολυφασματική εικόνα, αποτελεί η χωρική ταύτιση των τμημάτων των δύο εικόνων που αναφέρονται στην ίδια περιοχή εδάφους. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε η συγχώνευση να

γίνει στις ορθοεικόνες και όχι στις αρχικές εικόνες. Το σφάλμα με το οποίο έχει ταυτιστεί η πολυφασματική ορθοεικόνα με την αντίστοιχη παγχρωματική είναι μικρότερο από το μέγεθος της ψηφίδας της πολυφασματικής εικόνας (4 m) και μεγαλύτερο από το μέγεθος της ψηφίδας της παγχρωματικής (1 m). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ακρίβεια του υπολογισμού του εξωτερικού προσανατολισμού (δηλ. της θέσης του αισθητήρα) και για τις δύο εικόνες είναι τα 3 m, καθώς οι ίδιες παρατηρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των τιμών αυτών και στις δύο περιπτώσεις.

Στη συνέχεια, έγινε εγγραφή της ορθοεικόνας MS στην ορθοεικόνα PAN. Σκοπός της εγγραφής αυτής, ήταν η επίτευξη ακόμα μεγαλύτερης ταύτισης των συντεταγμένων των αντίστοιχων ψηφίδων τους. Η εγγραφή έγινε με ακρίβεια της τάξης του 0.5 m.

### 3.2. ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Μερικές τεχνικές επιτρέπουν ένα περιορισμένο πλήθος διαύλων στη διαδικασία συγχώνευσης, ενώ άλλες μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε πλήθος διαύλων (Pohl and van Genderen 1998). Η τεχνική PCA (βλ. πχ. Chavez et al. 1991, Erdas 1999, Pohl and van Genderen 1998, Li 2000), η οποία εφαρμόστηκε στην εργασία αυτή, μπορεί να χρησιμοποιεί οποιοδήποτε πλήθος διαύλων (Pohl and van Genderen 1998). Σε πολλές εφαρμογές, χρησιμοποιεί μόνον τρεις διαύλους, των οποίων η επιλογή γίνεται μέσω κάποιου κριτηρίου. Εδώ η τεχνική συγχώνευσης PCA εφαρμόστηκε με δύο τρόπους. Στον πρώτο χρησιμοποιήθηκαν και οι τέσσερις δίαυλοι και στο δεύτερο μόνον τρεις, των οποίων η επιλογή έγινε μέσω του παράγοντα βέλτιστου δείκτη (Optimum Index Factor, OIF) (Chavez et al. 1991).

#### 3.2.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΔΙΑΥΛΩΝ

Ο συντελεστής OIF βασίζεται στο ποσό της ολικής μεταβλητότητας και τη συσχέτιση μεταξύ των διαφόρων συνδυασμών των διαύλων της πολυφασματικής εικόνας ανά τρείς. Ο αλγόριθμος υπολογισμού του OIF χρησιμοποιείται για τον κάθε συνδυασμό τριών διαύλων και εκφράζεται από τη συνάρτηση: (Chavez et al. 1991)

$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^3 \sigma_i}{\sum_{j=1}^3 |r_i r_j|}$$

όπου για κάθε τριάδα διαύλων,  $\sigma_i$  είναι η τυπική απόκλιση του διαύλου  $i$ , και  $r_i r_j$  είναι η απόλυτη τιμή του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των διαύλων ανά δύο. Ο συνδυασμός με μεγαλύτερο OIF γενικά έχει την περισσότερη πληροφορία. Για την MS του Ikonos-2, ο OIF υπολογίστηκε για τους τέσσερις συνδυασμούς των τεσσάρων διαύλων ανά τρείς και προέκυψε μεγαλύτερος για το συνδυασμό των διαύλων 1, 3 και 4 (πίν. 1).

συνδυασμοί διαύλων	OIF
1, 2, 3	42.92
1, 2, 4	49.18
1, 3, 4	<b>49.78</b>
2, 3, 4	48.28

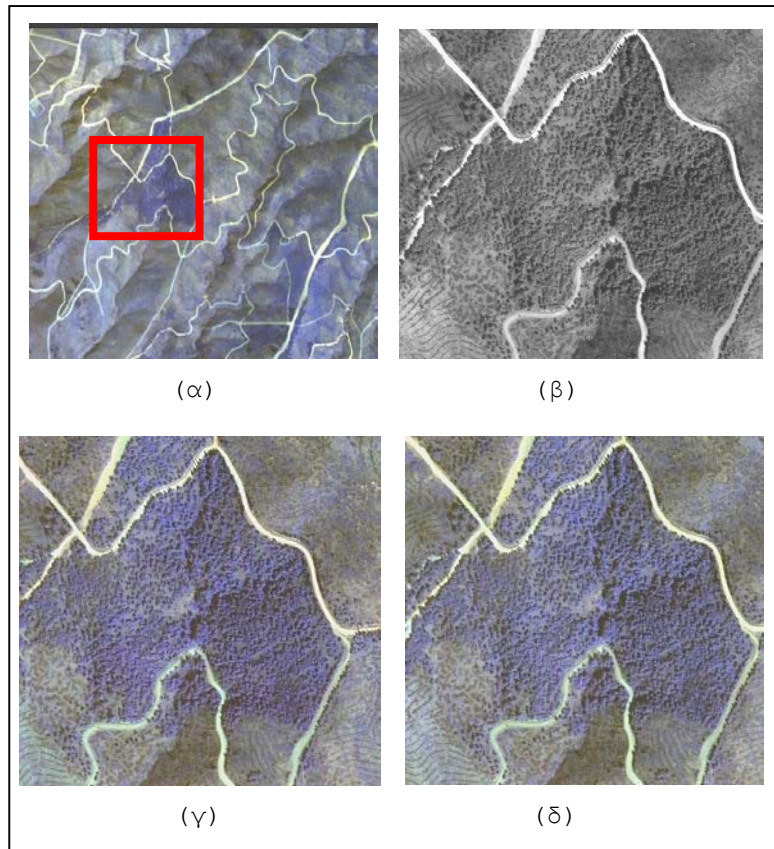
Πίνακας 1. Ο παράγοντας βέλτιστου δείκτη στις τέσσερις τριάδες διαύλων  
Table 1. The OIF for the four band triplets

#### 3.2.2. Η ΤΕΧΝΙΚΗ PCA

Η τεχνική συγχώνευσης PCA εφαρμόστηκε μία φορά και με τους τέσσερις διαύλους της εικόνας MS και μία φορά με τους διαύλους 1, 3, 4, οι οποίοι έδωσαν τον καλύτερο OIF, σύμφωνα με τον πίνακα 1. Από τη συγχώνευση προέκυψαν δύο σύνθετες εικόνες των οποίων η μία έχει τρεις διαύλους (FMS3) και η άλλη τέσσερις (FMS4) (σχ. 2). Προ της συγχώνευσης και για την αποκατάσταση της ραδιομετρικής ισορροπίας μεταξύ των εικόνων PAN και MS, έγινε προσαρμογή του ιστογράμματος όλων των διαύλων της MS στο ιστόγραμμα της PAN.

#### 4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Το πρώτο από τα ζητούμενα στα προϊόντα της συγχώνευσης, είναι η διατήρηση των φασματικών χαρακτηριστικών της αρχικής πολυφασματικής εικόνας. Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία (βλ.πχ. Wald et al. 1997, Rancin and Wald 2000) για τον έλεγχο της διατήρησης της φασματικής πληροφορίας, εκτός των άλλων, χρησιμοποιούνται συχνά και οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των αντίστοιχων διαύλων της αρχικής και της σύνθετης εικόνας καθώς και μεταξύ των διαύλων όλων των πολυφασματικών (αρχικής και σύνθετων) και της PAN. Στη συγκεκριμένη εργασία προτείνεται από τους συγγραφείς, να ελεγχεται επιπλέον μέσω του συντελεστή συσχέτισης και η διατήρηση της φασματικής σχέσης που υπάρχει μεταξύ των διαύλων της ίδιας εικόνας.



Σχήμα 2. Η αρχικές ορθοεικόνες MS (α) και PAN (β) και τα προϊόντα των συγχωνεύσεων FMS3 (γ) και FMS4 (δ)

Figure 2. The orthorectified MS (α) and PAN (β) images and the fusion products FMS3 (γ) and FMS4 (δ)

Συγκεκριμένα, για την εικόνα FMS4 ελέγχθηκε εκτός των άλλων, εάν η σχέση ανάμεσα στα ζεύγη των διαύλων (1,2), (1,3), (1,4), (2,3), (2,4) και (3,4) παραμένει η ίδια με εκείνη που υπάρχει στα αντίστοιχα ζεύγη της αρχικής MS. Δεδομένου ότι η εικόνα FMS3 έχει τρεις διαύλους, για την περίπτωση της ελέγχθηκαν τα ζεύγη (1,3), (1,4) και (3,4). Τα αποτελέσματα των ελέγχων, φαίνονται στον πίνακα 2, στον οποίο περιλαμβάνονται και όλες οι προαναφερθείσες συσχετίσεις.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι πριν από τον υπολογισμό των δεικτών συσχέτισης, έγινε προσαρμογή των ιστογραμμάτων των διαύλων των σύνθετων εικόνων, στα ιστογράμματα των αντίστοιχων διαύλων της αρχικής, ώστε να είναι δυνατή η αριθμητική σύγκριση μεταξύ των εικόνων (βλ. Τσακίρη-Στρατή κά. 2001).

Στον πίνακα 2 που ακολουθεί, με πράσινο χρώμα (■) σημειώνονται οι δείκτες συσχέτισης ανάμεσα στην PAN και στους διαύλους των πολυφασματικών MS, FMS3 και FMS4. Με έντονα στοιχεία δίνονται οι δίαυλοι των σύνθετων εικόνων, οι οποίοι διατηρούν καλύτερα την σχέση την οποία είχε η PAN με την MS. Για παράδειγμα, ο συσχετισμός της PAN με την FMS4 διατηρείται καλύτερα μεταξύ PAN και διαύλου 4 (αρχικός δείκτης

συσχετισμού 0.83, νέος δείκτης 0.84). Αυτό δείχνει, ότι μετά τη συγχώνευση οι υπόλοιποι δίαυλοι της FMS4, πήραν περισσότερη πληροφορία από την PAN.

Με γκρί χρώμα (■) σημειώνονται οι σχέσεις των διαύλων της MS με τους αντίστοιχους διαύλους των δύο σύνθετων εικόνων και σημειώνονται με έντονα στοιχεία οι δίαυλοι που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη συσχέτιση. Για παράδειγμα, ο δίαυλος 1 της MS, έχει μεγαλύτερο δείκτη συσχέτισης με το δίαυλο 1 της FMS3 από ότι με το δίαυλο 1 της FMS4 ( δείκτης συσχέτισμού 0.91 και 0.92 αντίστοιχα). Επομένως, στην περίπτωση αυτή, η FMS3 παρουσιάζει καλύτερη φασματική συμπεριφορά από την FMS4.

Τέλος, με κίτρινο χρώμα (■), δίνονται οι συντελεστές της εσωτερικής συσχέτισης των διαύλων κάθε εικόνας, ανά δύο. Με έντονα στοιχεία σημειώνονται οι δίαυλοι των σύνθετων εικόνων, των οποίων η συσχέτιση διατηρείται πολύ κοντά στην αρχική κατάσταση. Για παράδειγμα, ο δείκτης συσχέτισμού του διαύλου 1 με το δίαυλο 3 της αρχικής MS, είναι 0.94. Οι αντίστοιχοι δείκτες στην FMS4 και στην FMS3 είναι 0.92. Σύμφωνα με τους δείκτες αυτούς, οι δίαυλοι 1 και 3 και στις δύο σύνθετες εικόνες, διατηρούν ικανοποιητικά τη σχέση που είχαν οι αντίστοιχοι δίαυλοι στην αρχική MS και επομένως και τα φασματικά χαρακτηριστικά τους.

Σύμφωνα με το συνολικό περιεχόμενο του πίνακα 2, η σύνθετη FMS3 φαίνεται ότι διατηρεί καλύτερα (με ελάχιστη όμως διαφορά από την FMS4), τα φασματικά χαρακτηριστικά της αρχικής, καθώς συγκεντρώνει τις περισσότερες τιμές δεικτών συσχέτισμού που σημειώνονται στον πίνακα με έντονα στοιχεία.

		PAN	MS				FMS4				FMS3		
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	3	4
<b>PAN</b>		<b>1.00</b>	0.81	0.86	0.87	0.83	0.93	0.98	0.98	0.84	0.92	0.97	0.87
<b>MS</b>	1	0.81	<b>1.00</b>	0.98	0.94	0.68	0.91	0.87	0.81	0.47	<b>0.92</b>	0.83	0.51
	2	0.86	0.98	<b>1.00</b>	0.98	0.76	0.90	0.90	0.87	0.56	0.91	0.88	0.60
	3	0.87	0.94	0.98	<b>1.00</b>	0.79	0.87	0.89	0.89	0.59	0.87	<b>0.90</b>	0.63
	4	0.83	0.68	0.76	0.79	<b>1.00</b>	0.67	0.75	0.77	<b>0.89</b>	0.65	0.75	<b>0.89</b>
<b>FMS4</b>	1	0.93	0.91	0.90	0.87	0.67	<b>1.00</b>	0.97	0.92	0.63	0.99	0.93	0.67
	2	0.98	0.87	0.90	0.89	0.75	0.97	<b>1.00</b>	0.97	0.74	0.96	0.98	0.77
	3	0.98	0.81	0.87	0.89	0.77	0.92	0.97	<b>1.00</b>	0.77	0.91	0.99	0.80
	4	0.84	0.47	0.56	0.59	0.89	0.63	0.74	0.77	<b>1.00</b>	0.60	0.74	0.99
<b>FMS3</b>	1	0.92	0.92	0.91	0.87	0.65	0.99	0.96	0.91	0.60	<b>1.00</b>	0.92	<b>0.64</b>
	3	0.97	0.83	0.88	0.90	0.75	0.93	0.98	0.99	0.74	0.92	<b>1.00</b>	<b>0.77</b>
	4	0.87	0.51	0.60	0.63	0.89	0.67	0.77	0.80	0.99	0.64	0.77	<b>1.00</b>

Πίνακας 2. Συσχετισμός ανάμεσα στους διαύλους στις αρχικές και στις σύνθετες εικόνες. Δίνεται επίσης η σχέση των πολυφασματικών εικόνων με την PAN.

Table 2. Correlation between the MS bands and the synthetic images bands. The correlations between the multispectral images and the PAN image are also given

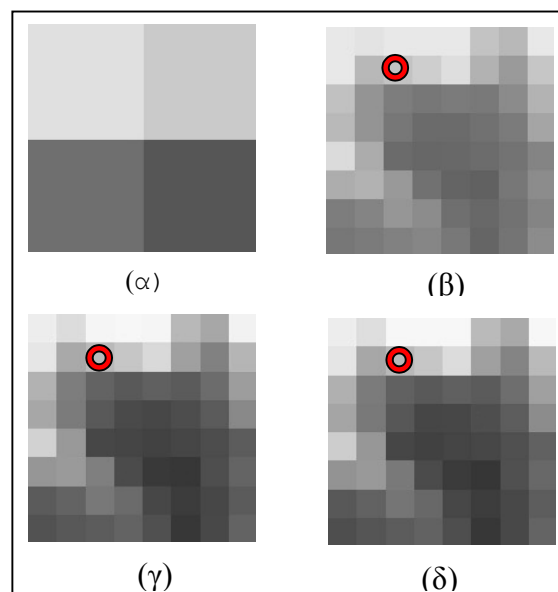
## 5. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Το δεύτερο ζητούμενο σε μια διαδικασία συγχώνευσης, είναι η διατήρηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της αρχικής εικόνας υψηλής χωρικής ανάλυσης, δηλ. της PAN. Η διατήρηση της γεωμετρίας στις δύο σύνθετες εικόνες, ελέγχθηκε μέσω τριανταπέντε σημείων ομοιογενώς κατανομημένων σε όλη την επιφάνεια της PAN. Για τα σημεία αυτά μετρήθηκαν οι συντεταγμένες στην PAN και στη συνέχεια εντοπίστηκαν οι θέσεις τους επάνω στις δύο σύνθετες εικόνες. Για την FMS3 το RMS των τριανταπέντε κοινών σημείων προέκυψε ίσο με 0.0374 m και για την FMS4 προέκυψε ίσο με 0.0325 m. Οι τιμές αυτές του RMS δείχνουν ότι η γεωμετρία της PAN διατηρήθηκε εξ ίσου καλά και στις δύο σύνθετες εικόνες, οι οποίες σύμφωνα με τα αποτελέσματα και αυτών των ελέγχων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε χωρικές αναλύσεις μεγάλης κλίμακας. Στο σχήμα 3, είναι εμφανής τόσο η γεωμετρι-

κή ταύτιση των δύο σύνθετων εικόνων με την PAN όσο και ο εύκολος εντοπισμός ενός κοινού σημείου στις εκόνες PAN, FMS3 και FMS4.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα των ελέγχων αλλά και από την οπτική παρατήρηση, φάνηκε ότι οι δύο σύνθετες εικόνες διατηρούν πολύ καλά τα φασματικά χαρακτηριστικά της MS και τα γεωμετρικά της PAN. Αυτό οφείλεται στη σωστή επεξεργασία των εικόνων η οποία προηγήθηκε της συγχώνευσης, αλλά και στη μέθοδο συγχώνευσης PCA, η οποία είχε ήδη δοκιμαστεί για την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης (βλ. Τσακίρη-Στρατή κα., 2001, Χαλκίδου κα. 2001). Το μοντέλο προσανατολισμού εφαρμόστηκε επιτυχώς στα δεδομένα Ikonos-2 και συνετέλεσε στο να γίνει η ορθοαναγωγή των εικόνων με πολύ καλή ακρίβεια. Παράλληλα, η εγγραφή της ορθοεικόνας MS στην ορθοεικόνα PAN πριν από τη συγχώνευση, συνετέλεσε στη μεγάλη γεωμετρική ομοιότητα των σύνθετων εικόνων με την αρχική PAN. Τέλος, η εφαρμογή της μεθόδου PCA στα συγκεκριμένα δεδομένα και για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, έδωσε εξίσου καλά αποτελέσματα τόσο με τέσσερις όσο και με τρεις διάυλους. Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι δύο σύνθετες εικόνες FMS3 και FMS4 είναι εξίσου κατάλληλες για να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας μέσω ενός GIS.



Σχήμα 3. (α) περιοχή της MS (β) η αντίστοιχη περιοχή στην PAN και στις σύνθετες FMS3 (γ) και FMS4 (δ). Με κόκκινο σημειώνεται ένα από τα 35 κοινά σημεία ελέγχου.

Figure 3. (α) an area from MS and the same area on PAN (β), FMS3 (γ) and FMS4 (δ). The red circle represents one of the 35 common check points.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]Antunes A. F., 2000, "Thematic Resolution Assessment Merging Landsat and SPOT 10 m", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. XXXIII, part B2, Amsterdam, pp. 52-55
- [2]Carper W. J., T. M. Lillesand, R. W. Kiefer, 1990, "The Use of Intensity-Hue-Saturation Transformations for Merging SPOT Panchromatic and Multispectral Image Data", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 56, no. 4, April, pp. 459-467
- [3]Chavez P.S., Side S. C., Anderson J.A., 1991, "Comparison of Three Different Methods to Merge Multiresolution and Multispectral Data: TM and Spot Panchromatic", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 57, no. 3, pp. 295-303
- [4]Chavez P. S. and Jr., 1986 "Digital Merging of Landsat TM and Digitized NHAP Data for 1:24,000-Scale Image Mapping", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 52, no. 10, October, pp. 1637-1646



- [5] Cliché G., Bonn F., Teillet P., 1985 "Integration of the SPOT Panchromatic Channel into Its Multispectral Mode for Image Sharpness Enhancement", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 51, no. 3, March, pp. 311-316.
- [6] Erdas, 1999, "Erdas Field Guide", Erdas, 5<sup>th</sup> ed, USA, pp. 160-162
- [7] Li J., 2000, "Spatial Quality Evaluation of Fusion of Different Resolution Images", *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXIII, part B2, Amsterdam, 16-23 July, pp. 339-346
- [8] Λιόντια Φ., "Η Συμβολή της Φωτογραμμετρίας στις Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων", Μεταπτυχιακή διατριβή, στο ΜΠΣ Γεωπληροφορικής με κατεύθυνση στις Ψηφιακές Απεικονίσεις, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 1999
- [9] Pellemans A. H. J. M., Jordans R. W. L., Allewijn R., 1993, "Merging Multispectral and Panchromatic SPOT Images with Respect to the Radiometric Properties of the Sensor", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 59, no. 1, January, pp. 81-87
- [10] Pohl C., Van Genderen J. L., 1998 "Multiresolution Image Fusion in Remote Sensing: Concepts, Methods and Applications", *Int. J. Remote Sensing*, vol. 19, no. 5, March, pp. 823-854.
- [11] Rancin Th., Wald L., 2000, "Fusion of High Spatial and Spectral Resolution Images: The Arsis Concept and its Implementation", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 66, no 1, January, pp. 49-61
- [12] Schowengerdt R.A., 1997, "Remote Sensing, Models and Methods for Image Processing", Academic Press, N. York
- [13] Τσακίρη-Στρατή Μ., Παπαδοπούλου Μ. και Γεωργούλα Ο., 2001, "Μείξη εικόνων PAN και XS του SPOT με το λογισμικό ERDAS. Αξιολόγηση των τεχνικών μείξης", Ημερίδα Χρηστών ERDAS, Αθήνα
- [14] Τσιούκας Β., 2000, "Αυτόματοποιημένες και ημιαυτόματοποιημένες μέθοδοι Ψηφιακής Φωτογραμμετρίας. Εφαρμογές σε επίγειες, εναέριας και δορυφορικές λήψεις", Διδακτορική Διατριβή, ΤΑΤΜ, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη
- [15] Tsioukas V., Patias P. and Spatalas S., 2001, "The Concept of Neutral Geometry of Digital Images and its Application in Data Fusion", Proc. of "The fourth Turkish-German Joint Geodetic days", Berlin (under publishing)
- [16] Vrabel J., 1998, "Multispectral Imagery Band Sharpening Study", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 64, no. 2, February, pp. 109-113.
- [17] Wald L., Th. Ranchin, Mangolini M., 1997, "Fusion of Satellite Images of Different Spatial Resolutions: Assessing the Quality of Resulting Images", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 63, no. 6, June, pp. 691-699.
- [18] Χαλκίδου Μ., Μπανιά Κ., Χαλκίδης Λ., 2001, "Συνδυασμός δεδομένων εικόνων IKONOS και φωτογραμμετρικών προϊόντων για τη δημιουργία τρισδιάστατης απεικόνισης της Πανεπιστημίουπολης ΑΠΘ", Διπλωματική Εργασία, Τομέας Κτηματολογίου, Φωτογραμμετρίας και Χαρτογραφίας, ΤΑΤΜ, ΑΠΘ, σελ. 54-69