

ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ

Οι Σημειώσεις περί **Ορθοφωτογραφίας** αναφέρονται συνοπτικά στο αντικείμενο της ψηφιακής σύνταξης ορθοφωτογραφιών, που δεν καλύπτεται στο σχετικό κεφάλαιο του βιβλίου του Karl Kraus “**ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ – Τόμος 1: Βασικές έννοιες και μέθοδοι**”.

Ορθοφωτογραφία είναι μια φωτογραφική εικόνα που έχει αναχθεί διαφορεικά ώστε να εξαλειφθούν οι παραμορφώσεις της αρχικής εικόνας, που οφείλονταν στην επίδραση των κλίσεων, στις εκτροπές λόγω αναγλύφου κ.λ.π. Οι κυριότερες ιδιότητές είναι ότι έχει ενιαία κλίμακα, περιέχει ποιοτική πληροφορία, έχει μετρητική αξιοπιστία και αποτελεί ευέλικτο ψηφιακό προϊόν. Η παραγωγή της διαφορεικά αναγμένης φωτογραφίας ή ορθοφωτογραφίας είναι σήμερα μια **αυτοματοποιημένη ψηφιακή μονοεικονική φωτογραμμετρική διαδικασία**, που έχει ως αποτέλεσμα την απεικόνιση του χώρου σε ορθή προβολή. Ακτινική μετατόπιση στην παραγόμενη εικόνα εμφανίζεται μόνον στις οριζοντιογραφικές θέσεις των σημείων των υπερκείμενων της επιφάνειας του εδάφους, π.χ. κτιρίων ή άλλων τεχνικών έργων.

Ο εμπλουτισμός της ορθοφωτογραφίας με πρόσθετες πληροφορίες όπως σύμβολα για οριζοντιογραφικές λεπτομέρειες, αλφαριθμητικούς χαρακτήρες (ονόματα περιοχών, δρόμων κλπ), υψομετρική πληροφορία (καμπύλες και μεμονωμένα υψόμετρα) κ.ά., οδηγεί στην παραγωγή του **ορθοφωτοχάρτη**.

Τα πλεονεκτήματα που παρέχει η ορθοφωτογραφία έναντι των άλλων φωτογραμμετρικών μεθόδων (σε ακρίβεια ως προς την αναγωγή, σε ταχύτητα και οικονομία ως προς τη στερεοαπόδοση) συνέβαλαν στην ευρύτατη διεθνή εφαρμογή της για τη σύνταξη υποβάθρων για θέματα διαχείρισης γής, ιδίως με την ανάπτυξη των ψηφιακών μεθόδων σύνταξης της ορθοφωτογραφίας. Η σύνταξη μέσης και μεγάλης (1:5.000) κλίμακας χαρτών αγροτικών εκτάσεων είναι το ιδεώδες, αλλά όχι το μόνο, πεδίο εφαρμογής της ορθοφωτογραφίας. Άλλες βασικές χρήσεις της περιλαμβάνουν την ενημέρωση χαρτών, τη σύνταξη κτηματολογικών χαρτών, τις περιβαλλοντικές, χωροταξικές και πολεοδομικές μελέτες, ακόμη και επίγειες εφαρμογές στη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων ή άλλων αντικειμένων.

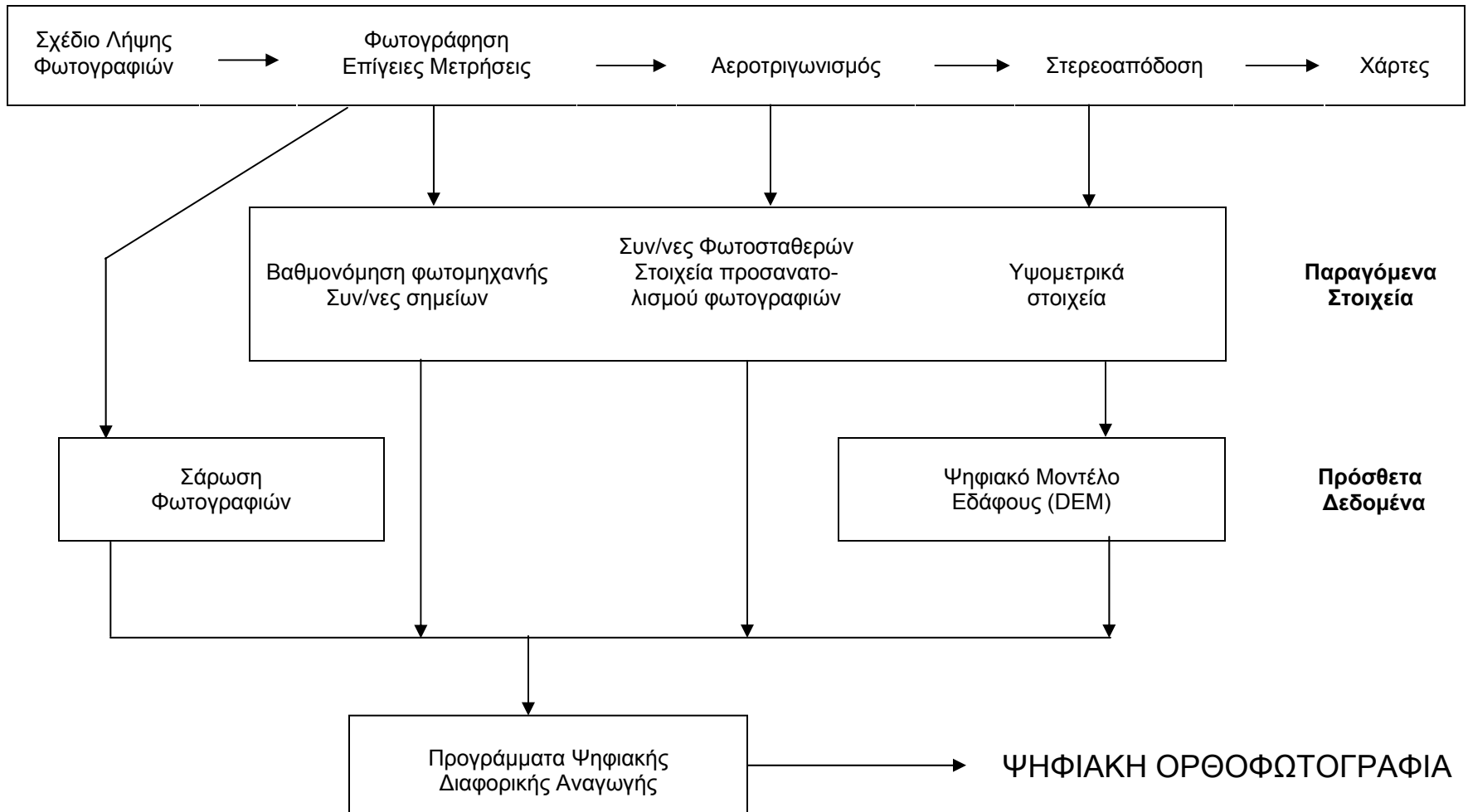
Η γενική αρχή στην οποία στηρίχθηκε η παραγωγή της ορθοφωτογραφίας όπως αναπτύχθηκε και υλοποιήθηκε στα πρώτα όργανα κατά τη δεκαετία του 1950 (π.χ. Ορθοφωτοσκόπιο), υπέστη με την πάροδο των χρόνων πολλές

τροποποιήσεις και βελτιώσεις. Η εξέλιξη των φωτογραμμετρικών οργάνων και κυρίως των Η/Υ και των μονάδων τους αποθήκευσης και διαχείρισης δεδομένων, οδήγησε στη δημιουργία ποικίλων συστημάτων διαφορικής αναγωγής και παραγωγής ορθοφωτογραφίας. Την τελευταία δεκαετία για λόγους αυτοματοποίησης της διαδικασίας, ταχύτητας και ακρίβειας του παραγόμενου προϊόντος, επικράτησε πλήρως η ψηφιακή παραγωγή της ορθοφωτογραφίας, μέσω διαχείρισης ψηφιακών αρχικών φωτογραφιών.

Στην Εικόνα 1 φαίνεται σχηματικά ο τρόπος ένταξης και η πορεία παραγωγής της ψηφιακής ορθοφωτογραφίας στο σύνολο της φωτογραμμετρικής διαδικασίας.

Τα δεδομένα για τη σύνταξη ορθοφωτογραφίας είναι:

- η **ψηφιακή εικόνα**. Σε ασπρόμαυρη φωτογραφία αποθηκεύεται η τιμή της κλίμακας του γκρι σε κάθε pixel, ενώ σε έγχρωμη απαιτείται η καταγραφή τριών τιμών για το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε χρώμα. Το μέγεθος του pixel ποικίλει από 7,5-50 μm, ανάλογα με την εφαρμογή και την επιδιωκόμενη τελική ακρίβεια
- ο **εσωτερικός προσανατολισμός** της φωτομηχανής
- ο **εξωτερικός προσανατολισμός** της εικόνας ή οι συντεταγμένες εδάφους φωτοσταθερών σημείων, που μπορούν να προκύψουν από την επίλυση αεροτριγωνισμού
- το **ψηφιακό μοντέλο του εδάφους (D.E.M.)**, σε μορφή καννάβου ή σε ακανόνιστο δίκτυο σημείων. Πηγές αυτής της πληροφορίας μπορεί να είναι:
 - η ψηφιοποίηση υπαρχόντων χαρτών ή διαγραμμάτων κατάλληλων κλιμάκων
 - τοπογραφικές μετρήσεις ή μετρήσεις με GPS
 - συλλογή υψομετρικής πληροφορίας με φωτογραμμετρικές διαδικασίες στερεο-απόδοσης, που αποτελεί την συνηθέστερη μέθοδο
 - εναέρια συστήματα Laser (LIDAR)
 - απεικονίσεις SAR (Radar).



Εικόνα 1: Ενταξη της Ψηφιακής Ορθοφωτογραφία στη φωτογραμμετρική διαδικασία

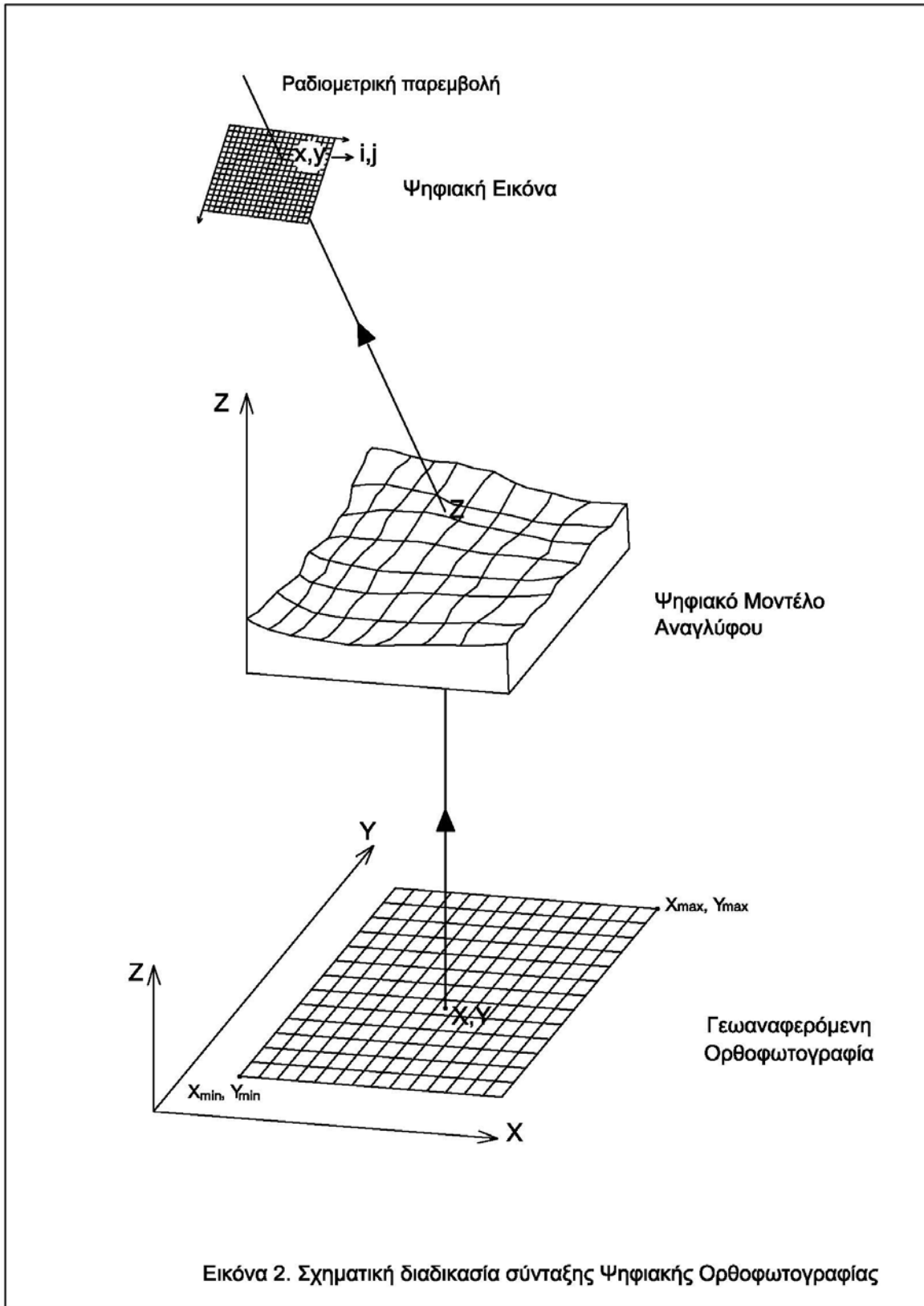
Για την παραγωγή της ορθοφωτογραφίας δεν χρειάζεται ιδιαίτερος φωτογραμμετρικός εξοπλισμός. Αρκεί η ύπαρξη μετατροπών πληροφορίας από αναλογική σε ψηφιακή μορφή και αντίστροφα (για την εκτύπωση της ορθοφωτογραφίας) και σταθμού εργασίας Η/Υ με γραφική οθόνη και μεγάλης χωρητικότητας μονάδα αποθήκευσης, εξοπλισμένου με κατάλληλο λογισμικό. Οι βασικές λειτουργίες ενός τέτοιου Συστήματος Ψηφιακής Ορθοφωτογραφίας μπορούν να συνοψισθούν στα παρακάτω βήματα:

1. **είσοδος των ψηφιακών δεδομένων**, από σαρωτές ή ψηφιακές φωτομηχανές, και αποκατάσταση εσωτερικού προσανατολισμού
2. **διαχείριση της εικόνας**, που περιλαμβάνει μετακινήσεις στη φωτογραφία, μεγεθύνσεις, γεωμετρικούς μετασχηματισμούς, και μόνο- ή στερεο-σκοπική απεικόνιση στην οθόνη
3. **επεξεργασία της εικόνας**, για περιορισμό του θορύβου, ενίσχυση ακμών και διαβάθμισης, συμπίεση των δεδομένων, αλγεβρικές και λογικές λειτουργίες
4. **πραγματοποίηση μετρήσεων στην εικόνα**, όπως μέτρηση εικονοσυντεταγμένων ή συντεταγμένων των pixel
5. **αποκατάσταση** σχετικού και απόλυτου **προσανατολισμού** ή οπισθοτομίας (εξωτερικού προσανατολισμού)
6. **δημιουργία και επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (D.E.M.)**, που περιλαμβάνει αλγόριθμους παρεμβολής, παραγωγή υψομετρικών καμπυλών και διατομών του εδάφους
7. **παραγωγή της ορθοφωτογραφίας**, με διαφορική αναγωγή
8. **επεξεργασία των ορθοφωτογραφιών**, με σύνταξη φωτομωσαϊκού, επεξεργασία μεμονομένων pixel και περιοχών της εικόνας

9. **έλεγχος της ποιότητας** των ορθοφωτογραφιών
10. **προσθήκη διανυσματικών πληροφοριών**, όπως συμβόλων, υψομετρικών καμπυλών, κανάβου, γραμμών και πολυγώνων (οριογραμμών δρόμων, ιδιοκτησιών κ.α.), διαγραμμίσεων κλπ
11. **έξοδος των τελικών προϊόντων**, που είναι ορθοφωτογραφίες, χάρτες ή ψηφιακά δεδομένα
12. **σύνδεση με συστήματα GIS/LIS** και βάσεις δεδομένων.

Σε ένα πλήρως ψηφιακό σύστημα δημιουργίας ορθοφωτοχαρτών υπάρχουν πέντε επιμέρους στάδια παραγωγής :

- I. **Σχεδιασμός της όλης εργασίας**, όπου με βάση τις υπάρχουσες προδιαγραφές ακρίβειας, ορίζονται η κλίμακα σύνταξης της ορθοφωτογραφίας και η διάσταση στο έδαφος της στοιχειώδους ψηφίδας της ορθοφωτογραφίας. Με διαδικασίες προσομοίωσης γίνεται ο βέλτιστος σχεδιασμός του προγράμματος και οι εκτιμήσεις για τα προβλεπόμενα σφάλματα των τελικών προϊόντων.
- II. **Επιλογή των τμημάτων των φωτογραφιών** που θα αναχθούν για την καλύτερη κάλυψη ολόκληρης της περιοχής ενδιαφέροντος.
- III. **Ψηφιακή διαφορική αναγωγή** των εικόνων, που περιλαμβάνει (βλέπε σχηματική παράσταση στην Εικόνα 2):
 - την εισαγωγή των ψηφιακών δεδομένων
 - τον υπολογισμό των παραμέτρων αφινικού μετασχηματισμού των εικονοψηφίδων της raster εικόνας στο σύστημα των εικονοσυντεταγμένων (απο τα εικονοσήματα) και αντίστροφα
 - την επίλυση οπισθοτομίας για υπολογισμό του εξωτερικού προσανατολισμού (από τα φωτοσταθερά)
 - την έναρξη της διαδικασίας διαφορικής αναγωγής από το πάνω - αριστερό pixel της ανηγμένης εικόνας (ορθοφωτογραφίας), συντεταγμένων (r_{op} , c_{op})



- τον εντοπισμό των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων εδάφους (X,Y) του κέντρου του συγκεκριμένου pixel
- την διενέργεια παρεμβολής στο Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (D.E.M.) για υπολογισμό του αντίστοιχου υψομέτρου, $Z = f(X,Y)$
- την αντίστροφη εφαρμογή της συνθήκης συγγραμμικότητας για τον υπολογισμό των συντεταγμένων εικόνας (x,y)
- την επιβολή αντίστροφων διορθώσεων συρρίκνωσης, ακτινικής διαστροφής, καμπυλότητας της γης, ατμοσφαιρικής διάθλασης κ.ο.κ., για τον υπολογισμό των πραγματικών εικονοσυντεταγμένων:

$$x = x-dx \quad \text{και} \quad y' = y-dy$$

- τον αφινικό μετασχηματισμό των εικονοσυντεταγμένων σε συντεταγμένες (γραμμή, στήλη) της raster εικόνας:

$$r_{di} = a_0 + a_1x' + a_2y' \quad c_{di} = b_0 + b_1x' + b_2y'$$

- την διενέργεια ραδιομετρικής παρεμβολής, για τον καθορισμό της τιμής του τόνου του γκρι (ή των τιμών τριών βασικών χρωμάτων για έγχρωμες εικόνες), στη θέση (r_{di}, c_{di}). Οι βασικές τεχνικές παρεμβολής είναι:

α. της πλησιέστερης γειτνίασης, με τη συμμετοχή 1 εικονοστοιχείου (pixel) της αρχικής εικόνας: Η τιμή του γκρι στο pixel (r_{op}, c_{op}) ισούται με την τιμή του γκρι στο pixel της αρχικής εικόνας όπου περιλαμβάνεται η θέση (r_{di}, c_{di})

β. η διγραμμική, με συμμετοχή παραθύρου $2 \times 2 = 4$ εικονοστοιχείων (pixels) της αρχικής εικόνας: Η συμβολή κάθε pixel στον υπολογισμό της τιμής του γκρι στη θέση (r_{di}, c_{di}), είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης του κέντρου του από την θέση αυτή

γ. η δικυβική, με συμμετοχή παραθύρου $4 \times 4 = 16$ εικονοστοιχείων (pixels) της αρχικής εικόνας

- την καταγραφή για το pixel (r_{op}, c_{op}), στο αρχείο αποθήκευσης της αναγμένης εικόνας, της υπολογισθείσας τιμής του γκρι στη θέση (r_{di}, c_{di})
- την επανάληψη των παραπάνω βημάτων για το επόμενο pixel της αναγμένης εικόνας, μέχρι το κάτω - δεξιό pixel αυτής της εικόνας.

IV. Δημιουργία του τελικού φωτομωσαϊκού, που περιλαμβάνει:

- ακριβή προσδιορισμό των τμημάτων των αναχθέντων εικόνων από τα οποία θα απαρτίζονται τα φύλλα των ορθοφωτογραφιών. Ο καθορισμός των θέσεων των συναρμογών γίνεται είτε από τον χειριστή στην γραφική οθόνη όπου απεικονίζονται οι ορθοφωτογραφίες είτε αυτόματα από ειδικό λογισμικό
- καθορισμό των περιοχών εφαρμογής ενός προγράμματος αυτόματης συσχέτισης για την παραγωγή σημείων ελέγχου των συναρμογών
- χρήση μοντέλων γεωμετρικής και ραδιομετρικής διόρθωσης των αναχθέντων εικόνων και των ενώσεών τους
- εφαρμογή τεχνικών ενίσχυσης της εικόνας, με χωρικά φίλτρα, ενίσχυση της διαβάθμισης κ.α.
- προσθήκη της απαραίτητης διανυσματικής πληροφορίας, όπως σύμβολα, ονοματολογία, υψομετρικές καμπύλες κ.α.

V. Ποιοτικό έλεγχο των ορθοφωτοχαρτών, που αφορά:

- την ποιότητα σύνθεσης του φωτομωσαϊκού, όπου ο έλεγχος γίνεται με απλή παρατήρηση (με τη βοήθεια τοπικών μεγεθύνσεων) της απεικόνισής του σε γραφική οθόνη
- τον εντοπισμό προβλημάτων που οφείλονται σε χονδροειδή σφάλματα του ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Ο έλεγχος γίνεται με διάφορους τρόπους, όπως επίθεση των υψομετρικών καμπυλών στην ορθοφωτογραφία, παραγωγή της ίδιας ορθοφωτογραφίας και από τις δύο εικόνες ενός στερεομοντέλου (αριστερής και δεξιάς), ψηφιακός έλεγχος των διαφορών τους ανά pixel κ.ο.κ.
- την οριζοντιογραφική ακρίβεια της ορθοφωτογραφίας, όπου ο έλεγχος απαιτεί την ύπαρξη δικτύου σημείων γνωστών συντεταγμένων.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τα σφάλματα της ψηφιακής ορθοφωτογραφίας είναι:

- η αρχική εικόνα

- η φωτομηχανή και η ακρίβεια με την οποία είναι γνωστά τα στοιχεία του εωτερικού προσανατολισμού
- ο αριθμός, η κατανομή και η ακρίβεια με την οποία έχουν προσδιορισθεί οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών
- τα χαρακτηριστικά του σαρωτή και η ανάλυση σάρωσης, για τη μετατροπή της αρχικής αναλογικής φωτογραφίας σε ψηφιακή εικόνα
- η πυκνότητα – το βήμα κανάβου του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (D.E.M.), που συνήθως (σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές σύνταξης ορθοφωτογραφιών που ισχύουν διεθνώς) κυμαίνεται από 0,2 – 2,0 cm στην κλίμακα της τελικής ορθοφωτογραφίας
- η ακρίβεια προσδιορισμού του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (D.E.M.)
- η τεχνική παρεμβολής υψομέτρων στο D.E.M.
- ο αλγόριθμος παραγωγής της ορθοφωτογραφίας
- το μέγεθος του pixel της ορθοφωτογραφίας (P_o). Συνήθως, το P_o υπολογίζεται από τον εμπειρικό τύπο: $P_o = P_a (1,5 k_a / k_o)$, όπου k_a , P_a - η κλίμακα και το μέγεθος του pixel της αεροφωτογραφίας και k_o , P_o - η κλίμακα και το μέγεθος του pixel της ορθοφωτογραφίας
Συνεπώς: $P_o = (30\% \sigma_g / k_a) (1,5 k_a / k_o) = (0,3 \sigma_o k_o / k_a) (1,5 k_a / k_o) = (0,3 * 0,0002 / m) * (1,5 * m) = 0,00009 \leq 100 \mu m$
- ο τρόπος δημιουργίας του ορθοφωτομωσαϊκού.

Τα πλεονεκτήματα της ψηφιακής ορθοφωτογραφίας είναι:

- ο μεγάλος βαθμός αυτοματοποίησης της όλης διαδικασίας, από την παραγωγή του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου μέσω στερεοαπόδοσης μέχρι τη σύνταξη της ορθοφωτογραφίας
- η οικονομικότητα της μεθόδου, που αφορά τόσο στην σύνταξη του ορθοφωτοχάρτη όσο και στην αγορά του αναγκαίου εξοπλισμού σε όργανα και λογισμικό
- η πληρότητα του τελικού προϊόντος, που ως φωτογραφική αναπαράσταση του χώρου δεν εξαρτάται από την αφαιρετική και γενικευμένη απεικόνισή του στον χάρτη. Ο χρήστης μπορεί να εξάγει και να συλλέξει τον όγκο και το

- η αναγνωρισιμότητα της περιεχόμενης πληροφορίας από μη ειδικούς ή χρήστες εξοικειωμένους στην ανάγνωση χαρτών ή διαγραμμάτων
- η γεωμετρική σταθερότητα και η κάλυψη των απαιτήσεων ακριβείας, με κατάλληλη επιλογή των δεδομένων και των παραμέτρων σύνταξης της ορθοφωτογραφίας. Γεωμετρικά προβλήματα εμφανίζονται στις αστικές περιοχές όπου αν το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων περιλαμβάνει αποκλειστικά σημεία του εδάφους, τα κτίρια στην ορθοφωτογραφία εμφανίζουν μετάθεση και απεικονίζονται με εσφαλμένη κλίμακα, ενώ υπάρχει και το πρόβλημα των ‘νεκρών’ περιοχών γύρω αυτά. Η χρησιμοποίηση ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου που περιέχουν σημεία και επί των κτιρίων μπορεί να δώσει ως αποτέλεσμα ορθοφωτογραφία με τα κτίρια σε σωστή θέση και κλίμακα, αφού αντιμετωπισθεί προηγουμένως το πρόβλημα των ‘διπλών απεικονίσεων’. Το πρόβλημα των ‘νεκρών’ περιοχών αντιμετωπίζεται μόνον με την σύνταξη ορθοφωτογραφιών της ίδιας περιοχής από γειτονικές εικόνες (με αύξηση του χρόνου και του κόστους σύνταξης του τελικού ορθο-φωτομωσαϊκού)
- η εύκολη, γρήγορη και οικονομική αναπαραγωγή του προϊόντος, που είναι σε ψηφιακή μορφή, για περαιτέρω αξιοποίηση ή για τη λειτουργία του ως ενός επιπέδου πληροφορίας σε Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Arbiol R., I. Colomina and J. Torres, 1987. A system concept for digital orthophoto generation, *Proceedings of Conference on Fast Processing of Photogrammetric Data*, Interlaken, Switzerland, pp. 388-403.

Cliff G., 1996. *Digital Photogrammetry: An addendum to the Manual of Photogrammetry*. ASPRS.

Hood J., 1989. Image processing techniques for digital orthophoto production, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol 55(9), pp. 1323-1329.

Kasser M. and Egels Y., 2002. *Digital Photogrammetry*. Taylor & Francis, London and New York.

Kraus K., 1997. *Photogrammetry – Volume 2: Advanced Methods and Applications*. Duemmler Verlag, Bonn.

Mayr W. and Heipke C., 1988. A contribution to digital orthophoto generation, *Proceedings of XVI ISPRS Congress*, vol 27, part B11, Commission IV, Kyoto, Japan, pp. 430-439 IV.

Shanks R. and Jensen H., 1994. Digital Orthophoto Production Issues, *ASPRS/MAPPS Conference on Mapping and Remote Sensing Tools for the 21st Century*, Washington D.C.