

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΣΤΗ ΓΕΩΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΙΛΤΡΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΟΡΙΩΝ

Βαϊόπουλος Δ. Α., Σκιάνης Γ. Αιμ., Βασιλόπουλος Α., Ευελπίδου Ν.

Εργαστήριο Τηλεανίχνευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών,
Πανεπιστημιούπολη, Αθήνα 157 84.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνάται το πώς η τηλεανίχνευση μπορεί να συμβάλει στην επίλυση προβλημάτων που άπτονται της γεωαρχαιολογίας. Καταρχήν συζητάται συνοπτικά τί είδους αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες μπορούν να αξιοποιηθούν για τον εντοπισμό αρχαιολογικών στόχων ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια, προτείνονται τροποποιημένα φίλτρα ανίχνευσης ορίων, που διευρύνουν το φάσμα επιλογών του χρήστη κατά την επεξεργασία μιας δορυφορικής εικόνας ή αεροφωτογραφίας. Τέλος, διατυπώνονται συμπεράσματα για τις δυνατότητες και τις προοπτικές αξιοποίησης της τηλεανίχνευσης και της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας στον εντοπισμό στόχων γεωλογικού, εδαφολογικού και αρχαιολογικού ενδιαφέροντος.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωαρχαιολογία είναι πεδίο συνάντησης δυο διαφορετικών γνωστικών αντικειμένων, που αν και συμβατικά βρίσκονται εκατέρωθεν της παραδοσιακής διαχωριστικής γραμμής μεταξύ ανθρωπιστικών και θετικών επιστημών, έχουν προοπτικές γόνιμης και αμοιβαία επωφελούς συνεργασίας. Η γνώση της τοπογραφίας, της γεωλογίας και της γεωμορφολογίας μιας περιοχής, μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό ενός στόχου αρχαιολογικού ενδιαφέροντος και στη μελέτη της λειτουργικότητάς του στο ιστορικό-κοινωνικό πλαίσιο όπου εντάσσεται αυτός. Από την άλλη πλευρά, η γνώση της αρχαιολογίας μιας περιοχής, των κτισμάτων και εγκαταστάσεων που φιλοξένησε και των προγενέστερων χρήσεων γης, παρέχει πληροφορίες για τη γεωμορφολογία και τη γεωγραφία της περιοχής και για τις μεταβολές που υπέστη αυτή στο πέρασμα του χρόνου. Με βάση αυτές τις πληροφορίες μπορούν να δημιουργηθούν μοντέλα παλαιοπεριβάλλοντος.

Η τηλεανίχνευση αξιοποιείται στη γεωαρχαιολογία, με σκοπό είτε τον εντοπισμό κτισμάτων και υπολειμμάτων του οδικού δικτύου από προγενέστερες εποχές, είτε στην αναγνώριση γεωλογικών και εδαφολογικών σχηματισμών που παραπέμπουν σε καλλιέργειες και χρήσεις γης που έλαβαν χώρα κατά το παρελθόν.

Στην παρούσα εργασία συζητούνται, κατ'αρχήν, οι δυνατότητες αξιοποίησης αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων στην αρχαιογεωλογία. Στη συνέχεια, εξετάζεται η δυνατότητα δημιουργίας νέων φίλτρων ανίχνευσης ορίων, με βάση τη μελέτη της συμπεριφοράς των φίλτρων βαθμίδας και των λαπλασιανών φίλτρων στο χώρο των συχνοτήτων.

Τα συμπεράσματα αυτής της εργασίας μπορούν να αξιοποιηθούν στην επεξεργασία και ερμηνεία δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών, με σκοπό τον εντοπισμό γεωαρχαιολογικών στόχων ενδιαφέροντος.

2. ΕΙΔΗ ΕΙΚΟΝΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΣΦΕΡΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΓΕΩΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΟΧΩΝ

Η αεροφωτογραφία υπήρξε, ιστορικά, το πρώτο μέσο αποτύπωσης της επιφάνειας της γης από απόσταση και εξακολουθεί να αξιοποιείται στις γεωεπιστήμες. Μια χαρακτηριστική περίπτωση συμβολής της αεροφωτογραφίας στον εντοπισμό και μελέτη στόχων αρχαιολογικού ενδιαφέροντος ήταν η φωτογράφιση, από το πρώτο μισό του 20ου αιώνα, του

οροπεδίου Nazca (Περού), που είναι η κοιτίδα του ομώνυμου προκολομβιανού πολιτισμού, οι απαρχές του οποίου εντοπίζονται κατά τον 2ο αιώνα π.Χ. [1]. Τα παράξενα γεωμετρικά σχήματα στην επιφάνεια του εδάφους, η δομή των οποίων μπορεί να γίνει αντιληπτή μόνο από παρατηρητή που βρίσκεται σε σχετικά μεγάλο ύψος πάνω απ'την περιοχή, εντυπωσίασαν τους ερευνητές και κίνησαν το ενδιαφέρον για έναν πολιτισμό για τον οποίο ίσως να γνωρίζουμε πολύ λιγότερα από όσο νομίζουμε. Ο προβληματισμός για τη σκοπιμότητα και τις συνθήκες δημιουργίας αυτών των σχηματισμών προκάλεσε και εξακολουθεί να προκαλεί ένα διάλογο στον οποίο επιστρατεύονται η αρχαιολογία, η ανθρωπολογία και η ιστορία του πολιτισμού από τη μια πλευρά, και η γεωλογία, η γεωμορφολογία, η εδαφολογία και οι γεωεπιστήμες, γενικότερα, από την άλλη.

Οι σχηματισμοί του οροπεδίου Nazca είναι ευδιάκριτοι σε φωτογραφίες στο ορατό φάσμα. Σε άλλες περιπτώσεις όμως, είναι σκόπιμο να αξιοποιούνται και άλλες περιοχές του φάσματος, όπως το υπέρυθρο ανάκλασης, με το οποίο μπορούν να εκδηλωθούν διαφορές ως προς τον τύπο του εδάφους, την υγρασία και τη φυτοκάλυψη. Στην Ευρώπη, πολλές αστικές περιοχές και δρόμοι από τη Ρωμαϊκή εποχή καλύπτονται σήμερα από αγρούς και μπορεί κανείς να τις διακρίνει σε έγχρωμες φωτογραφίες υπέρυθρου [2]. Δορυφορικές εικόνες έχουν αξιοποιηθεί στην αναγνώριση καταλοίπων προγενέστερου οδικού δικτύου, μέσω των οποίων εντοπίστηκε η αρχαία πόλη Ubar, στην Αραβική Χερσόνησο [3], [4].

Η εικόνα θερμικού υπέρυθρου μπορεί να δώσει πληροφορίες για τις χρήσεις γης στο παρελθόν. Οι Berlin et.al. [5], σε έρευνά τους στη Β. Αμερική, έδειξαν ότι οι λωρίδες έντονης φωτεινότητας, σε εικόνα από λήψη κατά τη διάρκεια της ημέρας, οφείλονται στην ηφαιστειακή τέφρα που χρησιμοποιούσαν οι Ινδιάνοι αγρότες στις καλλιέργειες καλαμποκιού. Η τέφρα έχει μικρή πυκνότητα και μικρή θερμική αδράνεια σε σχέση με το γύρω έδαφος, με αποτέλεσμα να θερμαίνεται τη μέρα και να ακτινοβολεί έντονα στο θερμικό υπέρυθρο.

Οι εικόνες ραντάρ μπορούν επίσης να δώσουν πληροφορίες για την υγρασία του εδάφους, την πυκνότητα βλάστησης, καθώς και για γεωλογικούς σχηματισμούς μικρού βάθους. Οι Adams et.al. [6], εντόπισαν, στη ζούγκλα της Κεντρικής Αμερικής, δίκτυο αποστραγγιστικών καναλιών που χρησιμοποιούσαν οι Mayas. Το δίκτυο αυτό διακρίνονταν στην εικόνα ραντάρ, που ελήφθη από αεροπλάνο, από τη χαμηλή φωτεινότητα των γραμμών σε σχέση με τη γειτονική περιοχή, όπου η βλάστηση είναι πιο πυκνή και η ανάκλαση των μικροκυμάτων είναι εντονότερη.

3. ΦΙΛΤΡΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΟΡΙΩΝ

Η πρωτογενής εικόνα που λαμβάνεται από μια συσκευή τηλεανίχνευσης, συχνά δεν προσφέρεται άμεσα για μια αξιόπιστη ερμηνεία, αλλά χρειάζεται μια επεξεργασία, μέσα από την οποία μπορούν να εκδηλωθούν ευκρινέστερα και χωρίς θόρυβο ή παραμορφώσεις, οι στόχοι ενδιαφέροντος. Η ανίχνευση ορίων, τα οποία μπορούν να είναι μεμονωμένες γραμμές, επαφές μεταξύ διαφορετικών σχηματισμών, ή περιγράμματα στόχων ενδιαφέροντος, χρησιμοποιείται συχνά στην επεξεργασία εικόνας, αποβλέποντας στον τονισμό της αντίθεσης φωτεινότητας μεταξύ γραμμικού σχηματισμού και υποβάθρου. Για την ανίχνευση ορίων χρησιμοποιούνται συχνά **μάσκες**, με τις οποίες η αρχική τιμή φωτεινότητας του κάθε εικονοστοιχείου αντικαθίσταται από ένα γραμμικό συνδυασμό της τιμής αυτής και των τιμών φωτεινότητας γειτονικών εικονοστοιχείων.

Τα **λαπλασιανά φίλτρα** χρησιμοποιούνται συχνά στην ανίχνευση ορίων και έχουν την παρακάτω μορφή:

$$\begin{matrix} -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{matrix} \quad (1)$$

Υπάρχουν και άλλες μάσκες λαπλασιανών φίλτρων, όπου ο κεντρικός συντελεστής είναι πάντα θετικός και με σχετικά μεγάλη τιμή, ενώ οι γειτονικοί συντελεστές είναι αρνητικοί και με σχετικά μικρή απόλυτη τιμή.

Με ένα λαπλασιανό φίλτρο προσδιορίζεται το άθροισμα των δευτέρων παραγώγων στους δυο ορθογώνιους άξονες (λαπλασιανή συνάρτησης) και μπορούν να ανιχνευτούν γραμμικοί σχηματισμοί διαφόρων διευθύνσεων.

Μια άλλη κατηγορία φίλτρων, τυπικός εκπρόσωπος της οποίας είναι τα **φίλτρα Sobel**, υπολογίζει τη βαθμίδα μεταβολής της φωτεινότητας κατά τη διεύθυνση x (οριζόντια) ή τη διεύθυνση y (κάθετη). Παρακάτω παρουσιάζονται δυο μάσκες βαθμίδας (φίλτρα Sobel).

$$\begin{matrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix} \quad (2\alpha) \qquad \begin{matrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{matrix} \quad (2\beta)$$

Η μάσκα (3α) υπολογίζει τη βαθμίδα G_x , κατά τον άξονα x. Η μάσκα (3β) υπολογίζει τη βαθμίδα G_y , κατά τον άξονα y. Υπολογίζοντας τις βαθμίδες G_x και G_y , μπορεί να βρεθεί η συνολική βαθμίδα G, από τη σχέση

$$G=(G_x^2+G_y^2)^{1/2} \quad (3)$$

Κανένα φίλτρο δεν ανιχνεύει με την απαιτούμενη ευκρίνεια οποιοδήποτε όριο σε οποιαδήποτε εικόνα. Η έρευνα πάνω σε φίλτρα ανίχνευσης ορίων βρίσκεται σε εξέλιξη και ο κατάλογος των βιβλιογραφικών αναφορών πάνω σε αυτό το αντικείμενο είναι μακρύς και αδιάκοπα διευρυνόμενος. Βιβλία αναφοράς που παρουσιάζουν, αρκετά κατατοπιστικά, διάφορα φίλτρα ανίχνευσης ακμών και, γενικότερα, τεχνικές επεξεργασίας εικόνας, είναι, μεταξύ άλλων, τα συγγράμματα των Jensen 1996 [7] και Richards & Jia [8].

Ο ερευνητής που επιθυμεί να διακρίνει τα όρια των στόχων ενδιαφέροντος, συνήθως δοκιμάζει μάσκες με διάφορους συντελεστές, αναζητώντας το βέλτιστο οπτικό αποτέλεσμα. Τα σύγχρονα πακέτα επεξεργασίας εικόνας, παρέχουν τη δυνατότητα σχεδιασμού φίλτρων από το χρήστη και ελέγχου της αποτελεσματικότητάς τους στην εικόνα, σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.

4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΝΕΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΟΡΙΩΝ

Η μελέτη της απόκρισης των φίλτρων Laplace και Sobel στο χώρο των χωρικών συχνοτήτων (spatial frequency domain), μπορεί να συμβάλει αφενός στην καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας των φίλτρων αυτών και αφετέρου στη δημιουργία νέων φίλτρων ανίχνευσης ορίων, ώστε να διευρυνθούν οι επιλογές που μπορεί να έχει ο χρήστης κατά την επεξεργασία μιας αεροφωτογραφίας ή μιας δορυφορικής εικόνας. Παρακάτω προτείνονται νέα φίλτρα ανίχνευσης ορίων, η συμπεριφορά των οποίων παρουσιάζει ομοιότητες, είτε με τα φίλτρα Laplace, είτε με τα φίλτρα Sobel.

4α. Σχεδιασμός φίλτρων με συμπεριφορά παρόμοια με αυτήν των λαπλασιανών

Ένα λαπλασιανό φίλτρο μπορεί να εκφραστεί, στο χώρο των διαστημάτων, ως μια μάσκα 3x3, οι συντελεστές της οποίας παρουσιάζονται στη σχέση (1). Η μάσκα αυτή μπορεί να εκφραστεί και ως συνάρτηση $f_L(x,y)$, όπου

$$f_L(x,y)=4.\delta(0)-\delta(x_0).\delta(0)-\delta(0).\delta(y_0)-\delta(-x_0).\delta(0)-\delta(0).\delta(-y_0) \quad (4)$$

x_0, y_0 είναι, στη γενική περίπτωση, οι διαστάσεις των εικονοστοιχείων στους άξονες x και y , αντίστοιχα.

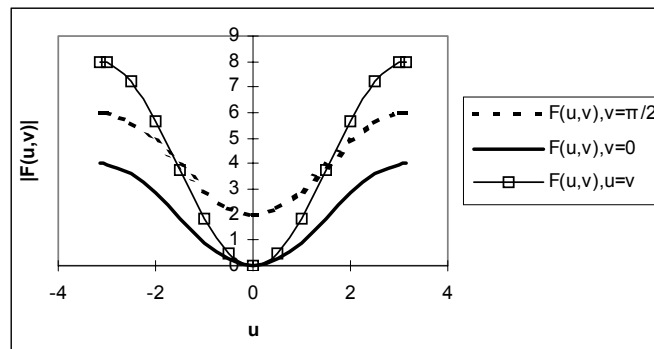
δ είναι η συνάρτηση του Dirac.

Αξιοποιώντας τις ιδιότητες του μετασχηματισμού Fourier, και θεωρώντας μοναδιαίες τις διαστάσεις του κάθε εικονοστοιχείου, αποδεικνύεται ότι η απόκριση $F_L(u,v)$ του φίλτρου Laplace στο χώρο των συχνοτήτων είναι

$$F_L(u,v)=4-2\cos u-2\cos v \quad (5)$$

u, v είναι οι συχνότητες για τους άξονες x, y , αντίστοιχα.

Στο (Σχ. 1), παρουσιάζεται η συμπεριφορά της $F_L(u, v)$, στο χώρο των συχνοτήτων. Παρατηρούμε ότι το φίλτρο Laplace τείνει να λειτουργήσει ενισχυτικά στους υψηλούς κυματαρίθμους, σε βάρος των χαμηλών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι το λαπλασιανό φίλτρο ιδιαίτερα ευαίσθητο στον υψίσυχο θόρυβο, ο οποίος εκδηλώνεται στην εικόνα που προκύπτει από την εφαρμογή του φίλτρου.



Σχ. 1. Η συμπεριφορά του λαπλασιανού φίλτρου στο χώρο των συχνοτήτων

Από ποιοτική άποψη, η $F_L(u, v)$, έχει μια παρόμοια συμπεριφορά με αυτήν του φίλτρου

$$F(u, v)=\{1-k.\exp[-2b.(u^2+v^2)^{1/2}]\}/(1-k) \quad (6)$$

όπου k, b θετικοί αριθμοί και $k < 1$.

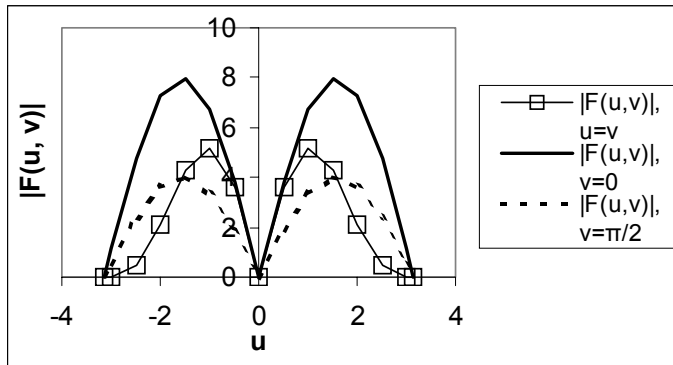
Το φίλτρο της σχέσης (6) έχει μελετηθεί από τους Σκιάνη κ.α. [9], και, σε αντίθεση με την $F_L(u, v)$, η $F(u, v)$ δεν είναι 0 για $u=0$ και $v=0$. Από την άλλη πλευρά όμως, το φίλτρο $F(u, v)$ τονίζει τα όρια του απεικονιζόμενου σχηματισμού σε σχέση με το υπόβαθρο. Είναι επομένως δυνατό να σχεδιαστεί μια οικογένεια φίλτρων, με βάση τη σχέση (6), για διάφορες τιμές των k, b . Οι αντίστοιχες μάσκες που προκύπτουν στο χώρο των διαστημάτων, θα λειτουργούν ως φίλτρα ανίχνευσης ορίων, χωρίς να μηδενίζουν τη φωτεινότητα εντός των ορίων του σχηματισμού. Θα έχουν, επίσης, μια δομή παρόμοια με αυτήν του λαπλασιανού φίλτρου, αλλά διαφορετικούς συντελεστές, επομένως και διαφορετική επίδραση στην εικόνα. Με τον τρόπο αυτό διευρύνεται το φάσμα επιλογών του χρήστη ως προς την ανίχνευση ορίων.

4β. Σχεδιασμός νέων φίλτρων βαθμίδας

Τα φίλτρα Sobel, που προσδιορίζονται από τις μάσκες (2α) και (2β), είναι φίλτρα υπολογισμού των βαθμίδων της φωτεινότητας G_x και G_y , κατά τις διευθύνσεις x και y , αντίστοιχα. Μπορεί να αποδειχτεί ότι για το φίλτρο της βαθμίδας ως προς x , η απόκριση F_{sx} στο χώρο των χωρικών συχνοτήτων είναι

$$F_{sx}(u, v) = -2i \cdot \sin(u) \cdot (2 + 2\cos v) \quad (7)$$

Στο (Σχ. 2) παρουσιάζεται γραφικά η συμπεριφορά του μέτρου της $F_{sx}(u, v)$. Τόσο από τη γραφική παράσταση, όσο και από τη σχέση (7), συνάγεται ότι η απόκριση του φίλτρου Sobel παρουσιάζει πτωτική τάση στις υψηλές τιμές των u, v και μηδενίζεται όταν $u=v=\pm\pi$. Αυτό σημαίνει ότι το φίλτρο Sobel έχει μικρότερη ευαισθησία στον υψίσυχο θόρυβο από όσο το φίλτρο Laplace. Ανάλογες παρατηρήσεις μπορούν να διατυπωθούν και για τη μάσκα (2β).



Σχ. 2. Η συμπεριφορά του φίλτρου Sobel στο χώρο των συχνοτήτων

Το φίλτρο Sobel μπορεί να θεωρηθεί ότι υπάγεται σε μια γενικότερη κατηγορία φίλτρων της μορφής

$$\begin{matrix} -1 & 0 & 1 \\ -\alpha & 0 & \alpha \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix} \quad (8\alpha)$$

$$\begin{matrix} -1 & -\alpha & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & \alpha & 1 \end{matrix} \quad (8\beta)$$

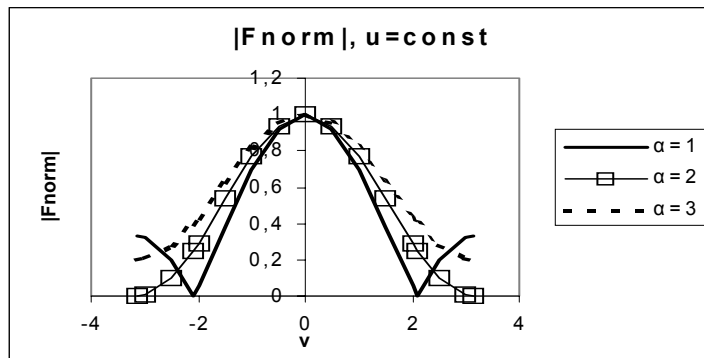
όπου α θετικός αριθμός. Με τις μάσκες (8α) και (8β) υπολογίζονται οι βαθμίδες G_x και G_y , αντίστοιχα.

Ο μετασχηματισμός Fourier $F_x(u, v)$ της (8α), αποδεικνύεται ότι είναι

$$F_x(u, v) = -2i \cdot \sin(u) \cdot (\alpha + 2\cos v) \quad (9)$$

Στο (σχ. 3) παρουσιάζεται η συμπεριφορά του παράγοντα $\alpha + 2\cos v$, για σταθερό u . Παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται το α , αυξάνεται και η απόκριση του φίλτρου στους υψηλούς κυματάρθμους v . Ο κυματάρθμος v αντιστοιχεί στο μετασχηματισμό Fourier κατά τον άξονα y , δηλαδή στη διεύθυνση την κάθετη προς αυτήν της βαθμίδας G_x . Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνεται το α , εντείνονται οι αντιθέσεις φωτεινότητας κατά τη διεύθυνση την κάθετη προς αυτήν της βαθμίδας G_x . Αντίθετα, μια τιμή του α κοντά στο 1, εξομαλύνει τις αντιθέσεις φωτεινότητας κατά τον άξονα των y . Ανάλογες παρατηρήσεις μπορούν να διατυπωθούν και για τη μάσκα (8β), με την οποία υπολογίζεται η βαθμίδα μεταβολής της φωτεινότητας κατά τον άξονα y .

Είναι λοιπόν δυνατό, μεταβάλλοντας το α , να σχεδιαστούν μάσκες υπολογισμού της βαθμίδας της φωτεινότητας, με διάφορους, γενικά, συντελεστές από αυτούς του φίλτρου Sobel και με διαφορετική επίδραση πάνω στην εικόνα.



Σχ. 3. Η απόκριση του τροποποιημένου φίλτρου Sobel στο χώρο των συχνοτήτων, για διάφορες τιμές της παραμέτρου α

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τηλεανίχνευση μπορεί να συμβάλει στην επίλυση προβλημάτων που ενδιαφέρουν τη γεωαρχαιολογία, βοηθώντας κυρίως στον εντοπισμό υπολειμμάτων προγενέστερου οδικού δικτύου, οικισμών, χρήσεων γης και καλλιεργειών και στον προσδιορισμό της παλαιγεωμορφολογίας.

Κατά την επεξεργασία της αεροφωτογραφίας ή της δορυφορικής εικόνας, μπορούν να αξιοποιηθούν φίλτρα ανίχνευσης ορίων για την καλύτερη διάκριση των στόχων ενδιαφέροντος. Με βάση το μετασχηματισμό Fourier, μπορεί να μελετηθεί η συμπεριφορά των φίλτρων αυτών στο χώρο των κυματαριθμών και να σχεδιαστούν νέα, τροποποιημένα φίλτρα ανίχνευσης ορίων, με τα οποία διευρύνεται το φάσμα επιλογών του χρήστη κατά την ψηφιακή επεξεργασία της εικόνας.

Η παρούσα εργασία θέλει να αποτελέσει τη βάση για μια συστηματικότερη ερευνητική δουλειά, τόσο στο θεωρητικό πεδίο (φίλτρα επεξεργασίας εικόνας), όσο και στο πεδίο των εφαρμογών (εντοπισμός γεωαρχαιολογικών στόχων ενδιαφέροντος).

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]-Gilardi, A., Figares, F. F. & Planas, J. A., 1989: Αρχαίοι Πολιτισμοί του Περού. Εκδόσεις Νέα Ακρόπολη, 183 σελ.
- [2]-Sabins, F. F., 1997: Remote Sensing. Principles and Interpretation. Freeman and Company, New York, 494p.
- [3]-Aspaturian, H., 1992: The Road to Ubar. Caltech News, 26, 1-8, Pasadena CA.
- [4]-Williams, R. J., 1992: In search of a legend-the lost city of Ubar. Point of Beginning, 17, 10-18.
- [5]-Berlin, G. L., Ambler, J. R., Hevly, R. H. & Schaber, G. G., 1977: Identification of a Sinagua agricultural field by aerial thermography, soil chemistry, pollen/plant analysis and archaeology. American Antiquity, 42, 588-600.
- [6]-Adams, R. E., Brown, W. E., & Culbert, T. P., 1981: Radar mapping, archaeology and ancient Maya land use: Science, 213, 1457-1463.
- [7]-Jensen, J. R., 1996: Introductory digital image prospecting. A Remote Sensing Perspective. Prentice Hall, 316p.
- [8]-Richards, J. A. & Jia, X., 1998: Remote Sensing Digital Image Analysis. Springer, 363p.
- [9]-Σκιάνης, Γ. Αιμ., Βαϊόπουλος, Δ. και Τσαρμπός, Β., 1999: Ένα φίλτρο διαύγασης/εξομάλυνσης σημάτων και εικόνων. Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Αθήνα, 11-13 Νοεμβρίου 1999, σελ. 352-360.