



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

**Η χρήση δορυφορικών δεδομένων πολύ υψηλής
διακριτικής ικανότητας στη γεωαρχαιολογία**

Πτυχιακή εργασία

Παντέρας Γεώργιος

Επιβλέπων Καθηγητής

Ισαάκ Παρχαρίδης

Αθήνα

Σεπτέμβριος, 2006

Περιεχόμενα

<i>Πρόλογος</i>	5
-----------------------	---

Κεφάλαιο 1^ο: Εφαρμογή των Διαστημικών και από Αέρος δεδομένων παρατήρησης της Γης στη Γεωαρχαιολογία

1. Εισαγωγή.....	8
2. Χρήση των αεροφωτογραφιών στην Γεωαρχαιολογία-Εναέρια Αρχαιολογία.....	9
2.1 Αρχαιολογικές μελέτες που βασίστηκαν στην χρήση αεροφωτογραφιών.....	12
3. Χρήση των δορυφορικών εικόνων στην Γεωαρχαιολογία.....	13
3.1 Πρώιμο στάδιο ανάπτυξης της δορυφορικής τηλεπισκόπησης στην Γεωαρχαιολογία.....	14
3.2 Πρόσφατες εξελίξεις-Χρήση διαστημικών δεδομένων υψηλής και πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης.....	15
- Διαστημικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης.....	15
- Διαστημικά δεδομένα πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης.....	17
3.3 Αρχαιολογικές μελέτες που βασίστηκαν στην παρατήρηση της γης από το Διάστημα.....	17
-Ανεύρεση αρχαίων καταλοίπων αποικισμών των Maya στην Κεντρική Αμερική.....	18
-Χαρτογράφηση αρχαιολογικών οντοτήτων της Χώρας της Χερσονήσου στην Ουκρανία.....	20
-Αναγνώριση αρχαιολογικών οντοτήτων με χρήση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων στην άγονη περιοχή της Δυτικής Κίνας.....	21
-Ανάδειξη αρχαιολογικών ευρημάτων με την χρήση εικόνων Quickbird στην περιοχή Φιλλιποί της βορείου Ελλάδος.....	23
4. Διαστημικά RADAR.....	25

Κεφάλαιο 2^ο: Δορυφόρος IKONOS

1. Εισαγωγή.....	29
2. Τροχιακό Μοντέλο.....	30
3. Τεχνική αναπαράσταση της πλατφόρμας του δορυφόρου.....	34
3.1 Γενικά χαρακτηριστικά.....	34
3.2 Αισθητήριο όργανο καταγραφής.....	35
3.2.1 Τεχνοτροπία σάρωσης.....	35
3.2.2 Φωτογραφικό σύστημα του δορυφόρου.....	37
3.2.3 Ικανότητα ανάλυσης των αισθητήριων οργάνων.....	39
3.2.4 Παγχρωματικός και Πολυφασματικός αισθητήρας.....	40
4. Διαδικασία συλλογής της πληροφορίας.....	43
5. Τα προϊόντα του Ikonos.....	45
6. Είδη τύπων (format) των αρχείων.....	46
7. Χαρτογραφικές προβολές και ελλειψοειδή που υποστηρίζονται.....	46
8. Περιοχές κάλυψης του δορυφόρου.....	47

Κεφάλαιο 3^ο: Δορυφόρος QUICKBIRD

1. Εισαγωγή.....	49
2. Χαρακτηριστικά της τροχιάς του Quickbird.....	50
3. Τεχνική αναπαράσταση της πλατφόρμας του δορυφόρου.....	52
3.1 Γενικά χαρακτηριστικά.....	52
3.2 Αισθητήριο όργανο καταγραφής.....	52
3.2.1 Τεχνοτροπία σάρωσης.....	52
3.2.2 Φωτογραφικό σύστημα του δορυφόρου.....	53
3.2.3 Παγχρωματικός και Πολυφασματικός αισθητήρας.....	55
4. Διαδικασία συλλογής της πληροφορίας.....	57
5. Τα προϊόντα του Quickbird.....	57
6. Είδη τύπων (format) των αρχείων.....	58
7. Χαρτογραφικές προβολές και ελλειψοειδή που υποστηρίζονται.....	58
8. Περιοχές κάλυψης του δορυφόρου.....	59

Κεφάλαιο 4ο: Περιοχή μελέτης

1. Γενικά στοιχεία.....	61
2. Γεωγραφία.....	61
3. Γεωλογία.....	63
4. Οικονομία.....	64
5. Αρχαιολογία της περιοχής μελέτης.....	64
5.1 Αρχαία Κόρινθος.....	64
5.2 Ακροκόρινθος.....	67
5.3 Δίολκος.....	69
5.4 Λέχαιο.....	70
5.5 Τα τείχη της αρχαίας Κορίνθου.....	71

Κεφάλαιο 5ο: Ψηφιακή επεξεργασία και οπτική ερμηνεία των εικόνων

1. Εισαγωγή.....	73
2. Παρουσίαση των δεδομένων.....	73
-Εικόνα του δορυφόρου Ikonos.....	73
-Εικόνα του δορυφόρου Quickbird.....	74
3. Συνοπτική περιγραφή της μεθοδολογίας.....	78
4. Ανάλυση των Κυρίων Συνιστωσών (PCA).....	79
4.1 Εφαρμογή της μεθόδου PCA.....	80
5. Χωρικά φίλτρα.....	83
6. Ενίσχυση των ακμών (Edge enhancement).....	85
7. Συνέλιξη (Convolution).....	87
8. Εφαρμογή της βελτίωσης των ακμών βάσει των πινάκων Συνέλιξης.....	90
8.1 Μη κατευθυνόμενα φίλτρα.....	91
8.1.1 Laplacian.....	91
8.1.2 Chavez.....	92
8.1.3 Prewitt & Sobel.....	94
8.2 Κατευθυνόμενα φίλτρα.....	95
9. Ανάλυση της Υφής.....	98
-Variance.....	100
-Skewness.....	101

10. Edge Crispening.....	101
11. Εικονική ερμηνεία των αποτελεσμάτων.....	103
11.1 Αρχές της ερμηνείας.....	104
11.2 Εικόνα της αγοράς της αρχαίας Κορίνθου.....	106
11.3 Εικόνα της αγοράς της αρχαίας Κορίνθου.....	107
11.4 Εικόνα του λιμανιού του Λεχαίου.....	110
11.5 Εικόνα της περιοχής του Διόλκου.....	113
11.6 Εικόνα της περιοχής των τειχών της αρχαίας Κορίνθου.....	114
 <i>Συμπεράσματα.....</i>	 116
 <i>Βιβλιογραφία.....</i>	 119
 <i>Ευρετήριο.....</i>	 124

Πρόλογος

Με το πέρας των χιλιετιών οι άνθρωποι κάνουν αισθητή την ύπαρξή τους αφήνοντας ορισμένα σημάδια σε ποικίλες μορφές, τα περισσότερα από τα οποία κατάφεραν να διατηρηθούν, έως ένα βαθμό μέχρι την χρονική στιγμή που διανύουμε. Η ύπαρξη αυτής της πολιτιστικής κληρονομιάς έδωσε την δυνατότητα στους σύγχρονους πολιτισμούς να ανακαλύψουν, να καταγράψουν και να αποκωδικοποιήσουν τα μυστήρια του παρελθόντος της ανθρωπότητας.

Η αρχαιολογία αποτελεί το αίτημα για γνώση του ανθρώπινου παρελθόντος. Με το πέρας των χρόνων εξελίχθηκε σε μια πολυδιάστατη δραστηριότητα καθώς για την βαθύτερη κατανόηση του παρελθόντος χρειάστηκε η οπτική μέσω διαφόρων πρισμάτων, επιστημών όπως των γεωεπιστημών, της ανθρωπολογίας, της κοινωνιολογίας κ.α. Πλέον είναι πλήρως αποδεκτό ότι ο άνθρωπος και οι δραστηριότητες του δε ήταν απομονωμένες αλλά συσχετιζόμενες ούτως ή άλλως με τις αλλαγές που έλαβαν χώρα στο περιβάλλον του. Οι δραστηριότητες και η ζωή του ανθρώπου επηρέασαν και επηρεάστηκαν ευρέως από το περιβάλλον στο οποίο έζησε. Συνεπώς για την αναδόμηση και την καλύτερη κατανόηση της ανθρώπινης ιστορίας κρίνεται απαραίτητη η συλλογή των περισσότερων δυνατών δεδομένων από μια ευρεία περιοχή.

Παράλληλα, η εξέλιξη των γεωεπιστημών και ιδιαίτερα στον τομέα της τηλεπισκόπησης, έδωσε στην αρχαιολογική έρευνα νέες διαστάσεις απελευθερώνοντας την από τους περιορισμούς της επίγειας παρατήρησης.

Κατά τον Ravi P. Gupta η τηλεπισκόπηση ορίζεται ως η επιστήμη της απόκτησης πληροφοριών για ένα αντικείμενο χωρίς να υπάρχει άμεση επαφή με αυτό. Η διάσταση που δίνει στην έννοια αυτή είναι διττή και περιέχει τις δυο ακόλουθες παραμέτρους, οι οποίες βρίσκονται σε άμεση σχέση μεταξύ τους:

- α) την τεχνική απόκτησης δεδομένων με τη βοήθεια ενός μέσου που βρίσκεται σε απόσταση από το αντικείμενο, και
- β) την ανάλυση των δεδομένων για την ερμηνεία του αντικειμένου.

(Πηγή: Παρχαρίδης 1999)

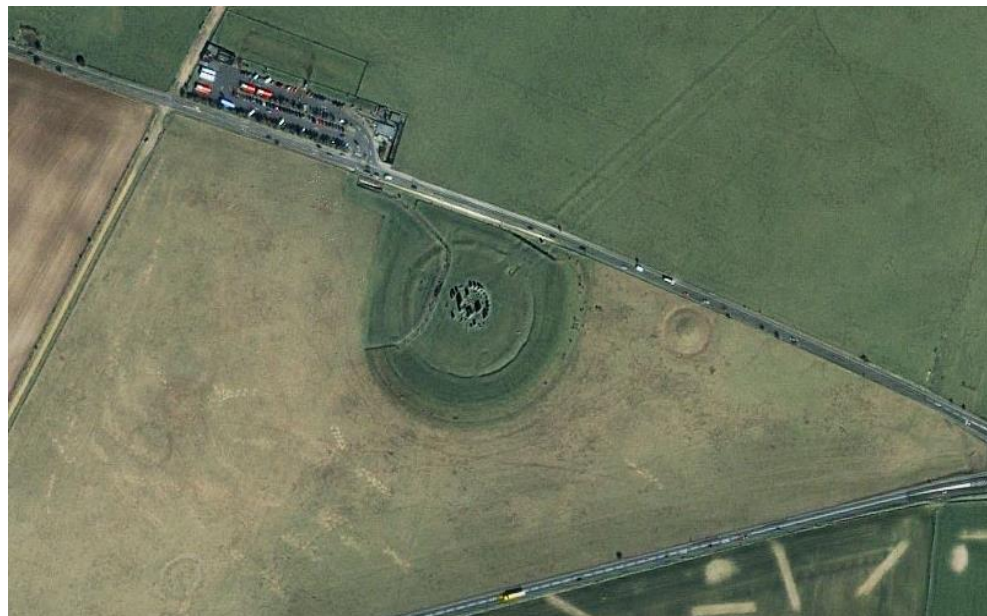
Η εφαρμογή της τηλεπισκόπησης στην αρχαιολογία, μέσω των μεθόδων της πρώτης, έκανε δυνατή την ανίχνευση είτε των επιφανειακών είτε των υποεπιφανειακών αρχαιολογικών οντοτήτων χωρίς την ανάγκη της άμεσης επαφής,

με την ικανότητα απόκτησης της πληροφορίας από ύψος. Το γεγονός αυτό συνέβαλε σημαντικά στην αναλυτικότερη αρχαιολογική έρευνα καθώς η οπτική των μνημείων και γενικά αρχαιολογικών κατάλοιπων από το επίπεδο του εδάφους αδυνατεί να διασαφηνίσει πλήρως την χωρική σημαντικότητά τους ή ακόμη την σχέση τους με την περιβάλλουσα αρχαιολογική τοποθεσία. Επίσης βάσει των τηλεπισκοπικών μεθόδων αποφεύγεται η παρέμβαση στην περιοχή μελέτης και κατά συνέπεια η πιθανότητα αλλοίωσης των στοιχείων καθώς η απόκτηση των δεδομένων γίνεται από απόσταση.

Μέχρι στιγμής οι δυο κυριότεροι μέθοδοι που έχουν εφαρμοστεί στην ανάδειξη και εύρεση αρχαιολογικών κατάλοιπων είναι η αεροφωτογράφιση και η δορυφορική λήψη εικόνων. Η πρώτη μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον καθώς η δορυφορική τεχνολογία έχει παρουσιάσει ραγδαία άλματα τις τελευταίες δεκαετίες τον χώρο της παρατήρησης της γης, με ακόμα πιο πρόσφατη την διαθεσιμότητα εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης. Στην κατηγορία των δορυφόρων αυτών είναι πολύ σημαντική η συμβολή των δορυφόρων Ikonos και Quickbird, η αναλυτική παρουσίαση των οποίων γίνεται στα ακόλουθα κεφάλαια. Οι δυο αυτοί δορυφόροι αποτέλεσαν τους βασικούς παράγοντες εξέλιξης της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, τα τελευταία πέντε έτη, με την ικανότητα παραγωγής δεδομένων ιδιαίτερα μεγάλης χωρικής ανάλυσης, αποκαλύπτοντας ένα πλήθος νέων εφαρμογών και δυνατοτήτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Εφαρμογή των Διαστημικών και από Αέρος δεδομένων παρατήρησης της Γης στη Γεωαρχαιολογία



(Επάνω) Αεροφωτογραφία του Stonehenge, έτος λήψης 1944 (Πηγή: mit.edu/6.933/www/Fall2000/edgerton/www/) (Κάτω) Δορυφορική εικόνα του Ikonos (Πηγή: <http://www.spaceimaging.com/gallery/ancientObservatories/Stonehenge.jpg>)

1. Εισαγωγή

Η γεωαρχαιολογία στον γενικότερο της ορισμό είναι η εφαρμογή μεθόδων, πρακτικών και εννοιών των επιστημών της γης στην επίλυση αρχαιολογικών προβλημάτων. Η επιστήμη αυτή αποτελεί μια βασική προσέγγιση της αρχαιολογίας από τη σκοπιά των γεωεπιστημών καθώς αφορά την μελέτη εδαφών, των γεωμορφών και γενικότερα των τρόπων σχηματισμού των αρχαιολογικών θέσεων (Καρκάνας Π. et al. 2004) .

Η εξέλιξη της δορυφορικής τεχνολογίας στον τομέα της παρατήρησης της γης καθώς επίσης και των μεθόδων που την απαρτίζουν, αποκάλυψε ένα πλήθος νέων εφαρμογών για την επιστήμη της τηλεπισκόπησης. Η δυνατότητα απόκτησης μεγάλου όγκου και υψηλής πληροφορίας δεδομένων καθώς και η πληθώρα τεχνικών διαχείρισης αυτών, ανέδειξε την επιστήμη της τηλεπισκόπησης σε μία από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους στον χώρο των γεωεπιστημών.

Μια από τις πιο πρόσφατες εφαρμογές της παρατήρησης της γης από το διάστημα, είναι η γεωαρχαιολογία. Παρά το γεγονός του ότι η εφαρμογή αυτή έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια, αντίστοιχες προσπάθειες έχουν υλοποιηθεί και στο παρελθόν κατά την διεξαγωγή σημαντικών αρχαιολογικών ερευνών, με τη χρήση παλαιότερων τηλεπισκοπικών μεθόδων και τεχνολογίας.

Είναι γνωστό ότι προτού αναπτυχθεί η δορυφορική τεχνολογία, είχε χρησιμοποιηθεί κατά κόρον η εναέρια φωτογράφιση για τον εντοπισμό αρχαιολογικών θέσεων και την διασαφήνιση των επιμέρους τμημάτων τους. Μια από τις παλαιότερες εφαρμογές της μεθόδου της τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιήθηκε στην αρχαιολογία, υπήρξε η αεροφωτογράφιση για την ανίχνευση των μνημείων που ήταν μη ορατά από το έδαφος. Η διερμηνεία των φωτογραφιών αυτών αποδείχθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη στον εντοπισμό τοποθεσιών των οποίων το ιστορικό προφίλ είχε χαθεί. (Αργιαλάς Δ.Π. et al. 1999).

Η καινοτομία που επαναπροσδιόρισε την χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων στην γεωαρχαιολογία, προέρχεται από το την πλέον δυνατή απόκτηση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης. Βασικοί συντελεστές αυτής της καινοτομίας υπήρξαν οι εμπορικοί δορυφόροι Ikonos και Quickbird, όπου εκτός από το μεγάλο φασματικό εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στο οποίο καταγράφουν οι αισθητήρες τους, έχουν επιπλέον επιτύχει να αυξήσουν αισθητά την χωρική διακριτική τους ικανότητα.

2. Χρήση των αεροφωτογραφιών στην Γεωαρχαιολογία-Εναέρια Αρχαιολογία.

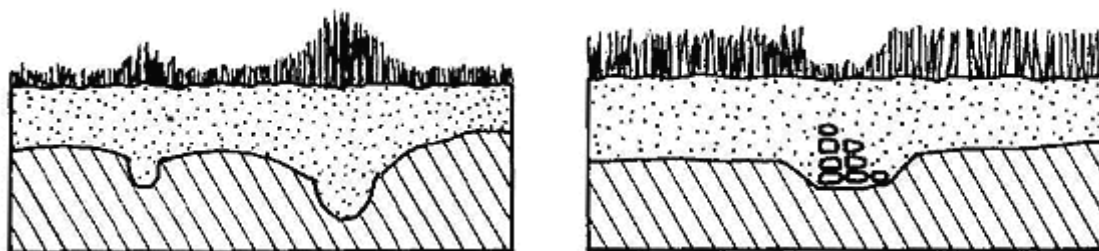
Ο όρος εναέρια αρχαιολογία δόθηκε στην από αέρος μελέτη και παρακολούθηση τοποθεσιών μέσω της επεξεργασίας αεροφωτογραφιών και την προπαρασκευή χαρτών και σχεδίων βασισμένα στην μελέτη σημαδιών των καλλιεργειών και της φωτοσκίασης που γίνονται ορατά μέσω επεξεργασίας των φωτογραφιών αυτών. Τα συμπεράσματα τα οποία αναφέρονται σε παλαιά όρια κτισμάτων και σχεδίων αρχαίων τοποθεσιών ή τοίχων, αναχωμάτων είναι αρκετά αξιόπιστα και αναγνωρίσιμα (Lyons TR. and Mathien F. 1980).

Η γενική μεθοδολογία για την αρχαιολογική φωτοερμηνεία αρχικά τυποποιήθηκε από τον Riley το έτος 1946. Κατά την μελέτη του αναγνώρισε ποικίλους τύπους σημαδιών, ορατά στις αεροφωτογραφίες, τέτοια όπως σημεία σκίασης, εδάφους, υγρασίας, παγετού, χιονιού και σημάδια στις καλλιέργειες, ως βασική ένδειξη πολιτισμικών οντοτήτων (Riley et al. 1946). Το έτος 1960 ο Spurr εξήγησε ότι τα αντικείμενα μπορούν να αναγνωριστούν από το σχήμα τους, τις διαστάσεις τους, την απόχρωση, την υφή, τον τύπο τους αλλά επίσης πολύ σημαντικό από την τοποθεσία και την αλληλοσχετιζόμενα αντικείμενα του κοντινού του περιβάλλοντος (Spurr et al. 1960).

Ολόκληρο αρχείο φωτογραφιών αναπτύχθηκε σαν ένα μεγάλο μωσαϊκό πάνω στο οποίο σημαντικές πολιτισμικές και περιβαλλοντικές οντότητες όπως δρόμοι, κτήρια, ποταμοί, δάση κλπ, σηματοδοτήθηκαν. Οντότητες που παρουσίαζαν ανωμαλίες θα έπρεπε να σημειωθούν και να αναγνωριστούν για επαλήθευση με επιτόπια έρευνα. Στο πεδίο της αρχαιολογίας, οι πολιτισμικές οντότητες έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον από τότε που οι άνθρωποι τείνουν να κατασκευάσουν κτίσματα με συμμετρικά σχήματα όπως τετράγωνα κυκλικά και ευθείες γραμμές. Ανωμαλίες στο έδαφος ή στον τύπο βλάστησης είναι αξιοσημείωτες καθώς συνήθως αντανakλούν οντότητες κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Διαφορές στην βλάστηση που συνεπάγονται σε σημάδια στις καλλιέργειες, βρίσκονται πάνω από θαμμένες τοποθεσίες και απαιτούν μεγάλη προσοχή. Η ανάπτυξη των καλλιεργειών συναντάται λιγότερο αραιή στην περιοχή όπου εντοπίζεται ο θαμμένος αρχαιολογικός χώρος, απ' ότι στην περιοχή που τον περιβάλλει. Ανεξαρτήτου κατηγορίας και συνθηκών, τέτοιου είδους περιοχές εμφανίζουν αντιθέσεις στην φωτεινότητα καθώς παρατηρούνται σημάδια σκίασης. Η

αναγνώριση τέτοιων τοποθεσιών εξαρτάται από το υπέδαφός τους, το κλίμα και την βλάστηση που τους περιβάλλει.

Πιο συγκεκριμένα κατά τις καλοκαιρινές περιόδους η έλλειψη νερού στο έδαφος αναγκάζει τα φυτά να εισχωρούν τις ρίζες τους σε βαθύτερα επίπεδα εκεί όπου πιθανά να υπάρχει νερό. Ο υποεπιφανειακός χώρος που περιέχει αρχαιολογικά κατάλοιπα έχει την δυνατότητα να συγκεντρώνει μεγαλύτερες ποσότητες νερού, με συνέπεια τα φυτά που βρίσκονται ακριβώς επάνω από τον χώρο αυτό να έχουν μεγαλύτερη ανάπτυξη και να διατηρούνται περισσότερο. Αυτή η κατηγορία αναφέρεται ως θετικά σημάδια καλλιέργειας και εμφανίζεται σε μια φωτογραφία με σκούρο πράσινο χρώμα, παρουσιάζοντας μια τονική αντίθεση από το υπόλοιπο τμήμα της καλλιέργειας. Στην αντίθετη περίπτωση, που τα φυτά δυσκολεύονται να αναπτυχθούν, είναι πιθανή η ύπαρξη θαμμένων τοιχίων στο υπέδαφος και συνήθως η βλάστηση συνορεύει με αυτές τις κατασκευές. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε αρνητικά σημάδια καλλιέργειας (**Εικόνα 1**).

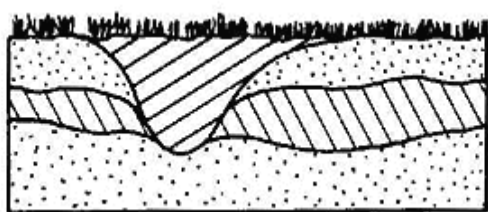


Εικόνα 1: (αριστερά) Θετικά σημάδια καλλιέργειας, (δεξιά) Αρνητικά σημάδια καλλιέργειας.
(Πηγή: <http://www.emporia.edu/earthsci/student/tilton2/archrs.html>)



Παράδειγμα ένδειξης αρνητικών σημαδιών καλλιέργειας στην περιοχή Stoeegen της Αυστρίας. Οι ομόκεντροι κύκλοι στην μέση του χωραφιού είναι τάφροι που κατασκευάστηκαν κατά την Νεολιθική Εποχή. (Πηγή: <http://www.emporia.edu/earthsci/student/tilton2/archrs2.html>)

Επίσης φωτοσκίαση εμφανίζεται και στις περιπτώσεις όπου έχουμε κατασκευές των οποίων τα υλικά αναμειγνύονται με τα συστατικά του υπεδάφους με αποτέλεσμα την διαφοροποίηση του εδάφους αυτού από το φυσικό που το περιβάλλει. Συνήθως, λόγω των υλικών που χρησιμοποιούνται, το υπέδαφος το οποίο έχει υποστεί ανθρώπινη παρέμβαση, έχει αραιότερη σύνθεση με αποτέλεσμα την αποθήκευση μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την σκίαση του περιβάλλοντος εδάφους, όταν φαίνεται από ύψος. Και στην αντίθετη περίπτωση, όπου το υπέδαφος δεν μπορεί να συσσωρεύσει νερό, λόγω συμπαγών πέτρινων κατασκευών, το σημείο αυτό θα έχει μεγαλύτερη φωτεινότητα από τον υπόλοιπο χώρο (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Σημάδια σκίασης λόγω διαφορετικής σύστασης του υπεδάφους. (Πηγή: <http://www.emporia.edu/earthsci/student/tilton2/archrs.html>)



Παράδειγμα διαφορετικής σύστασης του εδάφους που υποδηλώνει την ύπαρξη αρχαιολογικού χώρου. Στην εικόνα παρουσιάζεται ένα ινδιάνικο χωριό της Παλαιολιθικής Εποχής. (Πηγή: <http://www.emporia.edu/earthsci/student/tilton2/archrs2.html>)

Η τωση αυτή χρησιμοποιήθηκε για αρχαιολογικούς σκοπούς το έτος 1915 από τον Lewn Rey στην Μακεδονία και από τον G.A. Breezely στο Ιράκ το 1919. Ο Crawford, το έτος 1928, με την βοήθεια αεροφωτογραφιών, χαρτογράφησε αρχαία κατάλοιπα Κελτών και Σαξόνων στην Αγγλία (Bewley R.H et al. 1997)

Από το έτος 1939, αναπτύχθηκε η στερεοσκοπική εξέταση σε ευρεία κλίμακα. Οι πλάγιες αεροφωτογραφίες προτιμήθηκαν για λόγους σκίασης, ενώ οι κατακόρυφες για την κάλυψη μεγαλύτερων εκτάσεων και διαφορών στην βλάστηση.

Η στερεοσκοπική όψη των φωτογραφιών έδωσε στην εικόνα τρισδιάστατη αντίληψη βοηθώντας την αναγνώριση αντικειμένων τα οποία ήταν αδύνατον να φανούν με γυμνό μάτι στην μονοδιάστατη εικόνα. Συνεπώς με την επικάλυψη των φωτογραφιών, οι αρχαιολογικές οντότητες αποκτούν τρισδιάστατη όψη. (Bewley R.H. et al. 2003).

(Πηγή: http://www.univie.ac.at/Luftbildarchiv/intro/aa_hist.htm)

2.1 Αρχαιολογικές μελέτες που βασίστηκαν στην χρήση αεροφωτογραφιών

Η πρώτη αρχαιολογική τοποθεσία που φωτογραφήθηκε κατά αυτόν τον τρόπο ήταν το μνημείο του Stonehenge της Χάλκινη Εποχή στην Αγγλία, όπου λήφθηκαν δυο φωτογραφίες από ένα στρατιωτικό αερόστατο το 1906 (Εικόνα 3). Πριν τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο οι περισσότερες φωτογραφήσεις αρχαιολογικών τοποθεσιών λήφθηκαν από κάμερες χειρός. Κατά την διάρκεια του πολέμου ένα τεράστιο φωτογραφικό αρχείο δημιουργήθηκε με εικόνες από την Δυτική Ευρώπη, το οποίο περιέχει σημαντικές πληροφορίες για την Ευρωπαϊκή αρχαιολογία.



Εικόνα 3: Αεροφωτογραφία του μνημείου Stonehenge από τον Lieutenant P. H. Sharpe. Η λήψη της έγινε από στρατιωτικό αερόστατο το έτος 1906. (Πηγή: http://www.muzarp.poznan.pl/archweb/archweb_eng/Publications/arch_lot/2d.html)

Η πρώτη γνωστή αεροφωτογραφία η οποία λήφθηκε σκόπιμα για αρχαιολογικούς λόγους ήταν του όρους Cahokia στο Illinois των ΗΠΑ η οποία αποκτήθηκε από Αμερικανούς πιλότους Lieutenants Goddard and Ramey το έτος 1922 (Εικόνα 4). Το ίδιο έτος φωτογραφίες των κοιλάδων Gila και Salt River της Κεντρικής Αριζόνα, λήφθηκαν για την μελέτη των προϊστορικών καναλιών.



Εικόνα 4: Αεροφωτογραφία του όρους Cahokia (Monks Mount) στην περιοχή του Illinois των ΗΠΑ το έτος 1922. (Πηγή: <http://www.uwm.edu/Dept/ArchLab/cahokia/pictures/monksair3.html>)

Η χρήση μεγάλης κλίμακας αεροφωτογραφιών παρέχουν αρκετή λεπτομέρεια για εις βάθος επεξεργασία για αρχαιολογική ανάλυση (Ebert and Lyons, 1986). Οι πιο εξεζητημένες εφαρμογές της αεροφωτογραφίας έχουν παρουσιαστεί από τον Strandberg σε δυο διαφορετικά μέρη των ΗΠΑ αποκαλύπτοντας έως τώρα άγνωστα φαινόμενα συμπεριλαμβανομένου προϊστορικών παγίδων ψαριών και Ινδιάνικων τοποθεσιών.

Η εναέρια αναγνωριστική αποστολή που πραγματοποιήθηκε από τον καθηγητή J.K.S St Joseph του πανεπιστημίου του Cambridge και αναφέρθηκε στο βρετανικό αρχαιολογικό περιοδικό, *Antiquity*, από το 1964 έως το 1980, παρουσιάζει επαρκή στοιχεία για την χρησιμότητα της αεροφωτογραφίας στην αποτίμηση των αποικισμών και γενικότερα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων του παρελθόντος. Με τον καιρό η πολυφασματική φωτογράφιση έχει αξιοποιηθεί για αρχαιολογικούς σκοπούς με την τεχνική της συσχέτισης των διαφορών τονικότητας των χρωμάτων αναπτυσσόμενων καλλιιεργειών.

3. Χρήση των δορυφορικών εικόνων στην Γεωαρχαιολογία.

Η δορυφορική τηλεσκοπική τεχνολογία είναι μια σύγχρονη επιστήμη. Οι δορυφόροι έχουν διαφορετικά αισθητήρια όργανα τα οποία χάρη στο ύψος τους μπορούν να δουν μια ευρεία περιοχή και περισσότερα αντικείμενα με τη σχετική τους θέση. Αυτό αποτελεί ένα τέλειο μέσο για να παραχθεί ένας τεράστιος όγκος δεδομένων, τα οποία έχουν επιταχύνει τις διαδικασίες αποτίμησης και διαχείρισης διαφόρων αποθεμάτων στη γη. Τα δεδομένα που παράγονται από τους δορυφόρους έχουν χρησιμοποιηθεί σε αρκετές περιοχές για διαφορετικούς σκοπούς. Η τεχνολογία αυτή έχει αξιοποιηθεί σε διάφορες περιοχές περιλαμβανομένης της αρχαιολογίας.

Στο παρόν στάδιο του άλματος της τεχνολογίας και της προόδου στο πεδίο της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, οι εφαρμογές της στη αρχαιολογία πρόκειται να προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες στην έρευνα, τον εντοπισμό, την συντήρηση και την διαχείριση της πολιτισμικής κληρονομιάς.

Τα δορυφορικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης κρίνονται χρήσιμα για την ανίχνευση αρχαιολογικών τοποθεσιών. Αποικιακά κατάλοιπα ή αρχαίες οριοθετήσεις που περιβάλλονται από παρόμοιες δομές ή φυσικά εμπόδια, είναι δύσκολο να ανιχνευτούν

και να διαχωριστούν με την επεξεργασία μίας φωτογραφίας. Η χρήση ενός μόνο καναλιού μπορεί επίσης να μην αποβεί τόσο αποτελεσματική όσο τα πολυφασματικά δεδομένα διαφόρων καναλιών μέσω των οποίων είναι εμφανής ο διαχωρισμός μεταξύ φυσικών εμποδίων και ανθρώπινων επεμβάσεων του παρελθόντος. Επίσης πολύ μεγάλη είναι η συμβολή των δορυφορικών συστημάτων RADAR καθώς έχουν την επιπλέον δυνατότητα της νυχτερινής λήψης κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες. Τα δορυφορικά στοιχεία καλύπτουν μια ευρεία περιοχή και παράγουν μια ψηφιακή εικόνα στην οποία κάθε σημείο ή περιοχή μπορεί να επεξεργαστεί ψηφιακά διευκολύνοντας έτσι την λεπτομερέστερη μελέτη μιας οντότητας.

3.1 Πρώιμο στάδιο ανάπτυξης της δορυφορικής τηλεπισκόπησης στην Γεωαρχαιολογία.

Οι αρχικές μελέτες που σχετίστηκαν με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων, εστίασαν την προσοχή τους σε περιβαλλοντικά ζητήματα ή στην χαρτογράφηση περιοχών της γήινης επιφάνειας, σχετικά με την εξερεύνηση των γήινων φυσικών πόρων. Επίσης δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιήθηκαν σε ερημικές τοποθεσίες ή γενικά σε περιοχές όπου τα διαστημικά δεδομένα ήταν η μοναδική πηγή πληροφόρησης, παραγομένη από τηλεπισκοπικούς μεθόδους. (Stefano Campana et al.2001). Βασική αιτία των περιορισμών των εφαρμογών τους, υπήρξε η χαμηλή χωρική ανάλυση των δεδομένων αυτών που απέτρεπε την χρήση τους για αρχαιολογικές τοποθεσίες και οντότητες, από τη στιγμή που υπήρχε ήδη ένας μεγάλος όγκος αεροφωτογραφιών αισθητά καλύτερης χωρικής ανάλυσης (Ebert et al. 1988)

Επίσημα από την δεκαετία του 70', ξεκίνησε ένα πλήθος διαστημικών αποστολών, σχετικά με την τοποθέτηση σε τροχιά δορυφόρων παρατήρησης τη γης, κυρίως, χρηματοδοτούμενες από κυβερνητικούς οργανισμούς και μεταγενέστερα από ιδιωτικές εταιρίες. Η απαρχή στην καταγραφή της γήινης επιφάνειας έγινε με την εκτόξευση του δορυφόρου LANDSAT, από την NASA στις 23 Ιουλίου του 1972 και εν συνεχεία, τους LANDSAT 2 και 3 έως και το 1978. Παρά το γεγονός της χαμηλής χωρικής ανάλυσης, της τάξεως των 79 m, τα δεδομένα του δεν αγνοήθηκαν σε αρχαιολογικές μελέτες καθώς αξιοποιήθηκε η φασματική τους πληροφορία.

Παρατηρήθηκε ότι οι αρχαιολογικές τοποθεσίες, παρουσιάζουν κάποιες ιδιότητες στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, διαφορετικές από υπόλοιπο χώρο που τους περιβάλλει. Η διαπίστωση αυτή προήλθε από αρχικά το έτος 1980 από τους Findlow & Confeld στην περιοχή του Νέου Μεξικού και αργότερα, το έτος 1986 από τον Custer παράκτια του Delaware των ΗΠΑ. Ένας επιπλέον παράγοντας που συνέβαλε στη χρήση διαστημικών δεδομένων για αρχαιολογικούς σκοπούς, υπήρξε η ευκολία στην ανίχνευση μεγάλων τοποθεσιών και οντοτήτων, σχετικού ενδιαφέροντος, καθώς η απόκτηση της εικόνας πραγματοποιούνταν από αρκετά μεγάλο ύψος.

Στα επόμενα 6 έτη και συγκεκριμένα το 1982 και 1984, ακολούθησε η εκτόξευση των δορυφόρων LANDSAT 4 και 5, σε τροχιακό ύψος 705 km από 900 km των προκατόχων τους, προσδίδοντας τους βελτιωμένη χωρική διακριτική ικανότητα, της τάξεως των 30 m. Ενδεικτικές έρευνες που αξιοποίησαν τα δεδομένα αυτά έδωσαν βελτιωμένα αποτελέσματα και ιδιαίτερα στην ανίχνευση καναλιών, όπως στην περίπτωση του λιμανιού του Phoenix, το έτος 1993 από την P.H. Showalter.

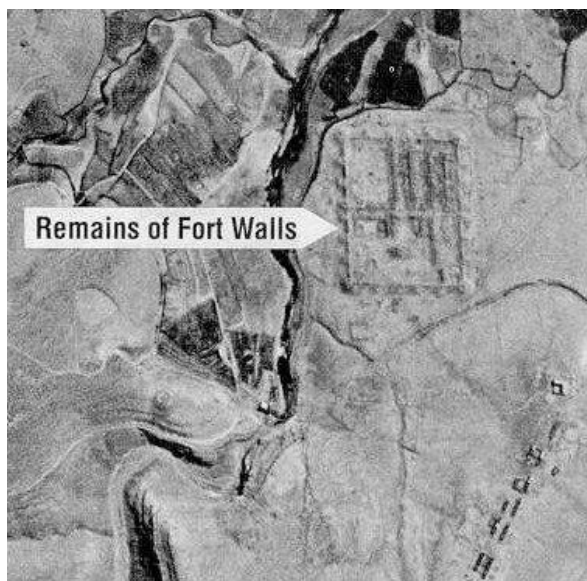
Επίσης η εκτόξευση της σειράς των γαλλικών δορυφόρων SPOT συνείσφερε αρκετά στην διεξαγωγή σημαντικών αρχαιολογικών ερευνών. Από τις πρώτες εφαρμογές δεδομένων του SPOT σε τέτοιου είδους έρευνες, υπήρξε η ανίχνευση και η χαρτογράφηση τμημάτων της Ρωμαϊκής εκατονταρχίας στα περίχωρα της Κορίνθου. Η αύξηση της χωρικής ανάλυσης των 10 m στα παγχρωματικά δεδομένα, προσέδωσε μεγαλύτερη χωρική λεπτομέρεια από τα προηγούμενα δορυφορικά συστήματα.

3.2 Πρόσφατες εξελίξεις-Χρήση διαστημικών δεδομένων υψηλής και πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης.

Διαστημικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης

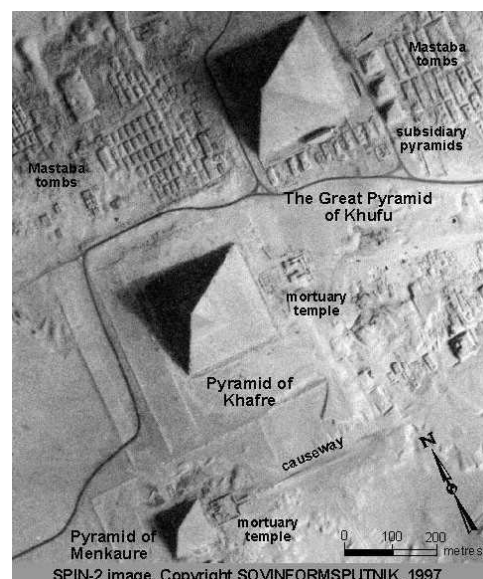
Η εξέλιξη που ακολούθησε, στα μέσα της δεκαετίας του 90', ήταν ουσιαστική για την χρήση των δορυφορικών εφαρμογών στον χώρο της αρχαιολογίας, καθώς έγιναν διαθέσιμες πλέον εικόνες υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας < 4 m. Τα δεδομένα αυτά, ήταν πλέον επαρκή για την ανίχνευση και χαρτογράφηση μεμονωμένων αρχαιολογικών τοποθεσιών καθώς και των οντοτήτων που περιείχαν.

Είναι αντιφατικό το γεγονός ότι η εξέλιξη αυτή δεν προήλθε από την ανάπτυξη της δορυφορικής τεχνολογίας αλλά από την άρση απορρήτου εικονικού υλικού που είχε συλλέξει κατά το παρελθόν ο στρατός. Συγκεκριμένα ο Ρωσικός δορυφόρος KVR 1000 και ο Αμερικάνικος Corona είχαν τεθεί σε τροχιά το έτος 1987 και 1960 αντίστοιχα, καταγράφοντας την γήινη επιφάνεια για λόγους κατασκοπευτικούς. Οι εικόνες που παράχθηκαν ήταν στο παγχρωματικό κανάλι με φωτογραφικό φιλμ και η χωρική τους ανάλυση κυμαινόταν από 1-2 m και 2-10 m αντίστοιχα. Το έτος 1995 μετά από έγκριση του Λευκού Οίκου, επισημοποιήθηκε και έγινε διαθέσιμο ένα αρχείο 860.000 εικόνων της γήινης επιφάνειας που λήφθηκαν μεταξύ 1960 και 1972. Το ίδιο έτος αποδεσμεύτηκαν και οι εικόνες του δορυφόρου KVR 1000. Ενδεικτικά, το έτος 1996, εικόνες του δορυφόρου KVR 1000, χρησιμοποιήθηκαν από τον Fowler για την ανάδειξη χαρακτηριστικών σημαδιών καλλιέργειών στην περιοχή του Stonehenge της Αγγλίας, ενώ εικόνες του Corona έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάδειξη προϊστορικών αποικιών στην Τουρκία από τον D. Kennedy το έτος 1998.



Εικόνα 5: Δορυφορική εικόνα του Corona KH-4B, στην οποία φαίνεται ένα οχυρό Ρωμαϊκής Λεγεώνας στην περιοχή του *El-Lejjun* της *Ιορδανίας*. (Πηγή: <http://www.geo-informatie.nl/projects/bcrs/multisensor/report1/10.htm>)

Εικόνα 6: Στην δορυφορική εικόνα του KVR 1000 φαίνεται το κτιριακό συγκρότημα των πυραμίδων της Γκίζας. (Πηγή: http://ourworld.compuserve.com/homepages/mjff/giza_kvr.htm)



Διαστημικά δεδομένα πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης

Η νέα γενεά δορυφόρων που πέτυχαν την παραγωγή δεδομένων πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης, εγκαινιάστηκε με την εκτόξευση των δορυφόρων Ikonos και Quickbird, το έτος 1999 και 2001 αντίστοιχα. Ο όρος πολύ υψηλή χωρική ανάλυση παραπέμπει στην ικανότητα των δεκτών που χρησιμοποιούν τέτοιου είδους δορυφόροι, να καταγράφουν αντικείμενα της γήινης επιφάνειας, που είναι μικρότερα ή ίσα του ενός μέτρου. Αυτός ο χαρακτηρισμός όμως δεν περιορίζεται μόνο στην βελτίωση της χωρικής διακριτικής ικανότητας αλλά επίσης περιέχει την φασματική και χρονική ανάλυση (Uwe Weidner et al.). Χαρακτηριστικό του τεχνολογικού άλματος είναι το γεγονός ότι η περίοδος που χρειάστηκε για την καταγραφή της γήινης επιφάνειας διήρκησε σχεδόν πενήντα χρόνια σε αντίθεση με τους νέους δορυφόρους που απαιτήθηκε λιγότερο από ένα έτος. Επίσης η ικανότητα επανεπίσκεψης από μία καθορισμένη περιοχή, σε διάστημα περίπου 1-3 μέρες επέφερε πλήθος πλεονεκτημάτων.

Τα δεδομένα των δορυφόρων νέας γενεάς, πλέον μπορούν να συγκριθούν και να ανταγωνιστούν αυτά των κατακόρυφων, μικρής κλίμακας αεροφωτογραφιών λόγω της πολύ υψηλής χωρικής πληροφορίας που περιέχουν αλλά επίσης της επιπλέον πληροφορίας των πολυφασματικών δεδομένων. Συνεπώς οντότητες διαστάσεων μεταξύ 3-4 m είναι πλέον δυνατόν να ανιχνευτούν και να αναγνωριστούν σε μία περιοχή 1000-2500 sq m (Campana St. 2002). Στο παρόν στάδιο της εφαρμογής διαστημικών δεδομένων και γενικότερα τηλεπισκοπικών μεθόδων, αν και η χρήση δορυφορικών εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης έχει εφαρμοστεί σχετικά ελάχιστα, τα αποτελέσματα των αρχαιολογικών μελετών που βασίστηκαν σε αυτά είναι αρκετά εντυπωσιακά και ελπιδοφόρα.

3.3 Αρχαιολογικές μελέτες που βασίστηκαν στην παρατήρηση της γης από το Διάστημα.

Είναι εύκολα αντιληπτό ότι αρχαιολογικές τοποθεσίες εντοπίζονται σε διάφορες περιοχές ανά τη Γη, δημιουργώντας έτσι ένα κοινό ενδιαφέρον για την διαχείριση και των τοποθεσιών αυτών αλλά και την ανακάλυψη νέων πιθανών τοπίων πολιτιστικής

αξίας. Το έτος 1972 ο Εκπαιδευτικός, Επιστημονικός και Πολιτιστικός Οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών (UNESCO), στην προσπάθεια του να προάγει την αναγνώριση, την προστασία και την διατήρηση της πολιτιστικής και φυσικής κληρονομιάς του πλανήτη, υπέγραψε μια διεθνή συμφωνία. Η συμφωνία έφερε την ονομασία «**Convention concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage**» ή διαφορετικά **Συνθήκη Παγκόσμιας Κληρονομιάς (World Heritage Convention)**, της οποίας το διοικητικό κέντρο βρίσκεται στο Παρίσι.

Κατά την διεξαγωγή της συνέλευσης, ορίζεται το είδος των φυσικών ή πολιτιστικών τοποθεσιών οι οποίες καταχωρούνται την **Παγκόσμια Πολιτιστική Λίστα**. Μέχρι στιγμής έχουν καταχωρηθεί 812 τοποθεσίες, από 177 κράτη μέλη της συνθήκης, στις οποίες το αρμόδιο όργανο λήψης αποφάσεων (**World Heritage Committee**), έχει αναγνωρίσει παγκόσμια αξία (Haraguchi S. & Oers R, 2003).

Τον Οκτώβριο του έτους 2001, η UNESCO πέτυχε τη συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (**ESA**), με αποτέλεσμα την εισαγωγή της διαστημικής τεχνολογίας στην παρατήρηση και καταγραφή τοποθεσιών πολιτιστικής κληρονομιάς. Σήμερα στον οργανισμό αυτό έχουν ενταχθεί ένα πλήθος διεθνών Διαστημικών Υπηρεσιών, Ερευνητικών Ινστιτούτων και Πανεπιστημίων όπως επίσης και ένας μεγάλος αριθμός ειδικών επιστημόνων σε αυτή την προσπάθεια, εισάγοντας ένα σύνολο σύγχρονων τεχνολογικών μεθόδων.

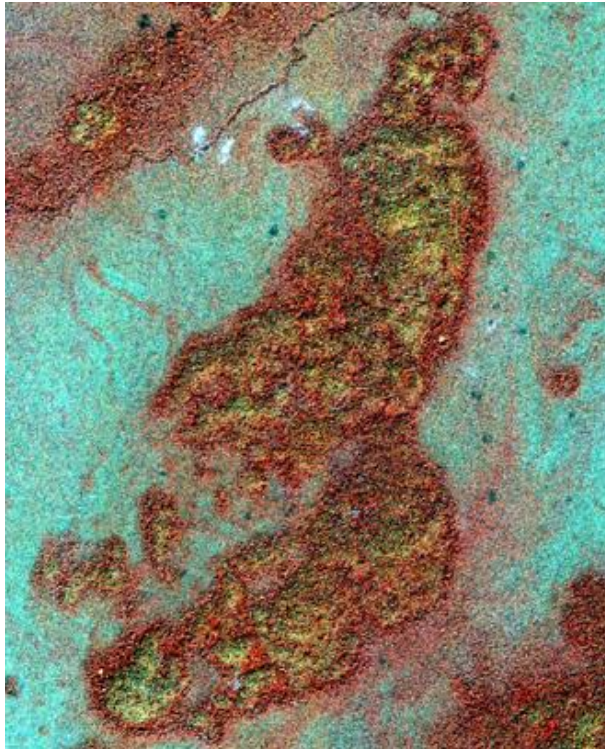
Παρακάτω ακολουθούν, ενδεικτικά, ορισμένες από τις σπουδαιότερες εφαρμογές της διαστημικής τεχνολογίας στην παρατήρηση σημαντικών αρχαιολογικών τοποθεσιών (Πηγή: http://www.esa.int/esaEO/SEMKGZ9WO4HD_index_0.html).

Ανεύρεση αρχαίων καταλοίπων αποικισμών των Maya στην Κεντρική Αμερική

Το έτος 2004 η NASA σε συνεργασία με μια ομάδα πανεπιστημιακών επιστημόνων, μετά από επαλήθευση επί του εδάφους των διαστημικών δεδομένων που είχαν χρησιμοποιήσει, ανακάλυψαν ερείπια αρχαίων αποικισμών των Maya. Κατάλοιπα, χαρακτηριστικά της κουλτούρας αυτού του αρχαίου πολιτισμού βρίσκονταν κρυμμένα στα Τροπικά δάση της Κεντρικής Αμερικής για περισσότερο από 1.000 χρόνια. Ο εντοπισμός τους έγινε δυνατός με την χρήση δορυφορικών

εικόνων Ikonos και Landsat, βάσει των οποίων αναγνωρίστηκαν και αναδείχτηκαν χρησιμοποιώντας την φασματική ταυτότητα των υλικών των αρχαίων κατασκευασμάτων.

(Πηγή: http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/mayan_ruins.html)



Εικόνα 7; Σύνθετη ψευδέγχρωμη εικόνα του δορυφόρου Ikonos στην περιοχή της Γουατεμάλα, στην οποία φαίνονται πλατιές πεδινές περιοχές οι οποίες είναι μερικώς καλυμμένες με νερό (bajo) κατά τις βροχερές περιόδους. Οι περιοχές με το κίτρινο χρώμα δηλώνουν αποχρωματισμούς της πυκνότητας της δασικής κάλυψης και επίσης εμφανίζουν με ακρίβεια τις τοποθεσίες των αρχαίων κτηρίων των Maya.

(Πηγή: www.SpaceImaging.com)



Εικόνα 8: Σύγκριση δορυφορικών εικόνων Landsat 30m (αριστερά) και Ikonos 1m (δεξιά), ερειπίων της αρχαίας πόλης Tikal, στη Γουατεμάλα.

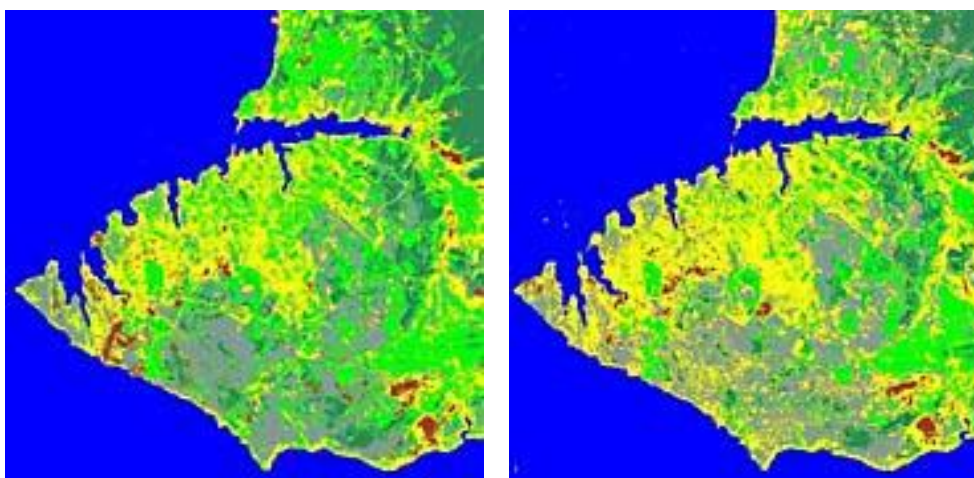
(Πηγή: http://www.thepanamanews.com/pn/v_12/issue_04/science_06.html)

Χαρτογράφηση αρχαιολογικών οντοτήτων της Χώρας της Χερσονήσου στην Ουκρανία.

Η Χώρα της Χερσονήσου βρίσκεται στην βόρεια ακτή της Μαύρης Θάλασσας και πρόκειται για μια ελληνική αποικία που δημιουργήθηκε τον 6^ο αιώνα π.Χ. Η μελέτη αυτή διερεύνησε την χρήση διαστημικών δεδομένων για την χαρτογράφηση αρχαιολογικών οντοτήτων με προέκταση την καταγραφή της επέκτασης του αστικού δικτύου και της παραλιακής διάβρωσης που απειλούν τα ιστορικά μνημεία. Σε αυτήν την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν εικόνες των δορυφόρων Corona, IRS, Landsat και των διαστημικών radar SIR-C και ERS SAR (Trelogan J, Crowford M., Teng L., Kwon O. and Carter J. 1999).



Εικόνα 9; Η σύγκριση της εικόνας του δορυφόρου Corona που λήφθηκε το 1968 (δεξιά) με την παγχρωματική εικόνα του IRS 1997 (αριστερά), δείχνει την καταπάτηση των αρχαιολογικών καταλοίπων από την έντονη αστική επέκταση.
(Πηγή: http://www.csr.utexas.edu/rs/research/arch/data_corona.html)



Εικόνα 10: Η σύγκριση των δυο εικόνων του Landsat TM, Ιούλιος του 1988 και Αύγουστος του 1992, φανερώνει την ταχεία ανάπτυξη των αστικών χρήσεων γης, που αναπαρίσταται με κίτρινο χρώμα, σε μικρό χρονικό διάστημα. Η αστική επέκταση, βάσει των εικόνων, εντοπίζεται περισσότερο ταχύρρυθμη στην περιοχή που περιβάλλουν οι αρχαίες Ελληνικές καλλιέργειες.

(Πηγή: http://www.csr.utexas.edu/rs/research/arch/data_landsat.html)

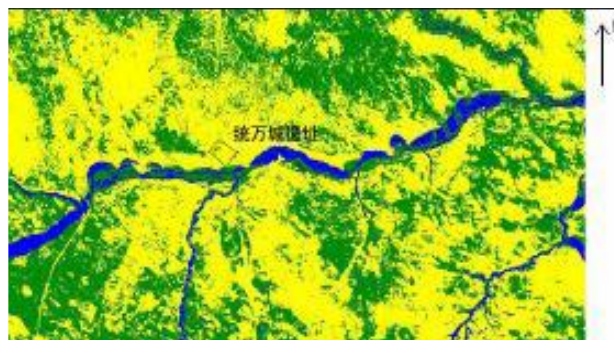
Αναγνώριση αρχαιολογικών οντοτήτων με χρήση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων στην άγονη περιοχή της Δυτικής Κίνας.

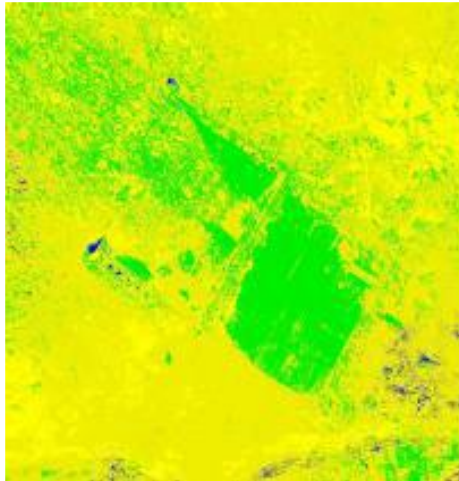
Η έρευνα διεξάχθηκε από το κινέζικο Εργαστήριο Τηλεπισκοπικής Αρχαιολογίας (JLRSA), σε συνεργασία με την Κινεζική Ακαδημία Επιστημών τον Μάρτιο του 2004. Σκοπός της έρευνας αυτής, ήταν η ανάδειξη αρχαιολογικών καταλοίπων, της περιόδου 419-994 μ.Χ. στην τοποθεσία Tong Wan Cheng, βόρεια της επαρχίας Shaanxi. Μεγάλο μέρος των καταλοίπων είχε καλυφθεί από κινούμενες μάζες άμμου που προέρχονταν από την έρημο Maowusu. Επίσης εξερευνήθηκε το γύρο περιβάλλον του Μεγάλου Τείχους που αποτελεί τμήμα της Δυναστείας των Ming. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν περιλάμβαναν δορυφορικές εικόνες του Landsat, του Ikonos και του Quickbird καθώς επίσης και αεροφωτογραφίες. Η επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων έγινε υπό το πρίσμα της περιβαλλοντικής κατάστασης που επικρατεί στο χώρο, η οποία και επηρεάζει την διατήρηση των πολιτιστικών μνημείων (Wang Changlin, Yin Ning, Nie Yueping and Yang Lin. 2004).



Εικόνα 11: Αεροφωτογραφία της Tong Wan Cheng που δείχνει την κάλυψη μεγάλου μέρους των αρχαίων καταλοίπων από κινούμενη άμμο.

Εικόνα 12: Ταξινόμηση εικόνας Landsat ETM, της περιοχής Tong Wan Cheng στην οποία το κίτρινο αντιπροσωπεύει την αμμώδη κάλυψη, το πράσινο την βλάστηση και το μπλε το νερό. Βάσει της εικόνας παρατηρείται μια αύξηση στην αναδάσωση της περιοχής.





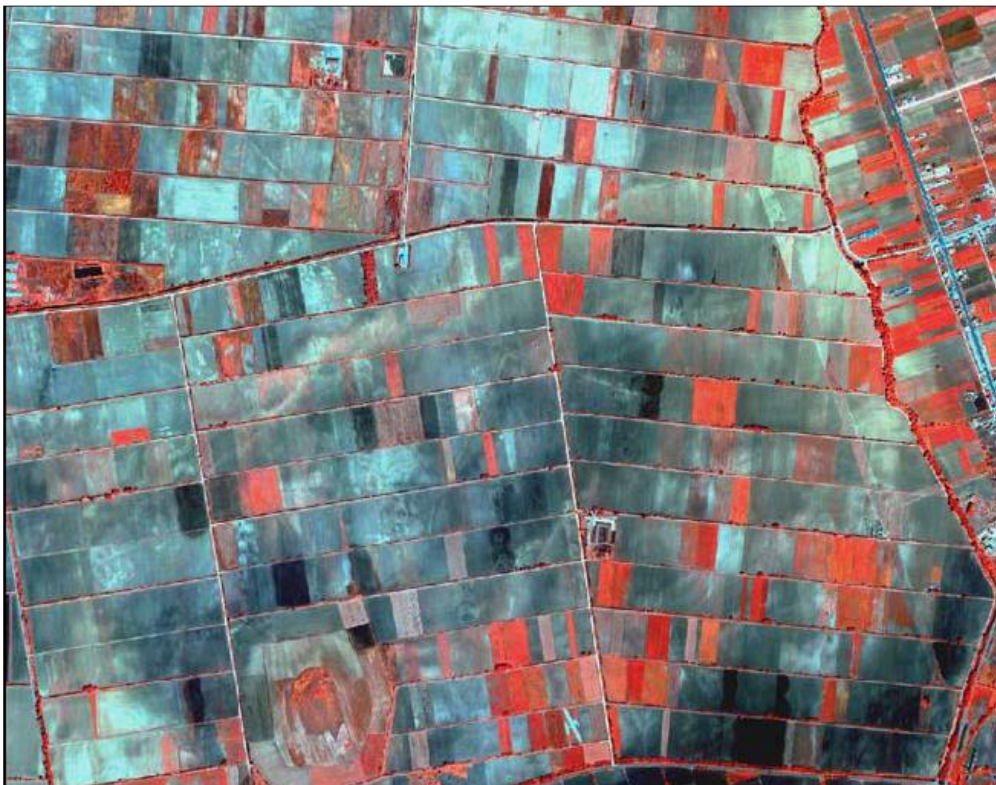
Εικόνα 13: Εικόνα του Quickbird στην οποία με κίτρινο χρώμα παρουσιάζονται οι περιοχές με αμμώδη κάλυψη, με πράσινο η βλάστηση και με μπλε μέρη του πύργου Zhen Bei Tai.

Εικόνα 14: Εικόνα του Ikonos στην οποία φαίνεται η περιοχή Zhen Bei Tai, όπου το Μεγάλο Τείχος διέρχεται από το κέντρο της αριστερής γωνίας έως το πάνω δεξιό άκρο της εικόνας. Ο πύργος του Zhen Bei Tai παρουσιάζεται με σκούρο μπλε χρώμα στο αριστερό κάτω τεταρτημόριο της εικόνας.



Ανάδειξη αρχαιολογικών ευρημάτων με την χρήση εικόνων Quickbird στην περιοχή Φιλλιποί της βορείου Ελλάδος.

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε από το τμήμα του Κτηματολογίου, Φωτογραμμετρίας και Χαρτογραφίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης με σκοπό την αξιολόγηση της χρήσης εικόνων του Quickbird στην ανάδειξη θαμμένων αρχαιολογικών οντοτήτων. Ανάλογες μελέτες είχαν γίνει και στο παρελθόν με την χρήση αεροφωτογραφιών αλλά και με κλασσικές μεθόδους εκσκαφής, κατά τα τελευταία 90 χρόνια πετυχαίνοντας την ανεύρεση ενός μικρού τμήματος της Εγνατίας Οδού. Στις εικόνες του δορυφόρου Quickbird που ακολουθούν παρουσιάζεται τα πλεονεκτήματα των εικόνων της υψηλής χωρικής διακριτικής για την ανάδειξη των αρχαιολογικών οντοτήτων τόσο στις παγχρωματικές εικόνες (PAN) όσο και στις πολυφασματικές (MS), μέσω διαφόρων τεχνικών επεξεργασίας τους. Οι οντότητες που είναι εκ των προτέρων γνωστές αφορούν το κομμάτι της Εγνατίας Οδού, τμήμα ενός αμυντικού τοίχους και ένα άγνωστο κτίσμα θαμμένο στο κέντρο του λόφου (Georgoula G., Kaimaris D., Tsakiri M. and Patias P. 2003)



Εικόνα 15: Συγχώνευση της υψηλής χωρικής πληροφορίας της παγχρωματικής εικόνας με την φασματική πληροφορία των πολυφασματικών δεδομένων, (data fusion).



Εικόνα 16: Σύγκριση της εικόνα του ορθομοσαϊκού (αριστερά) και της συγχωνευμένης εικόνας του Quickbird (δεξιά), για την ανάδειξη του αμυντικού τοίχους.



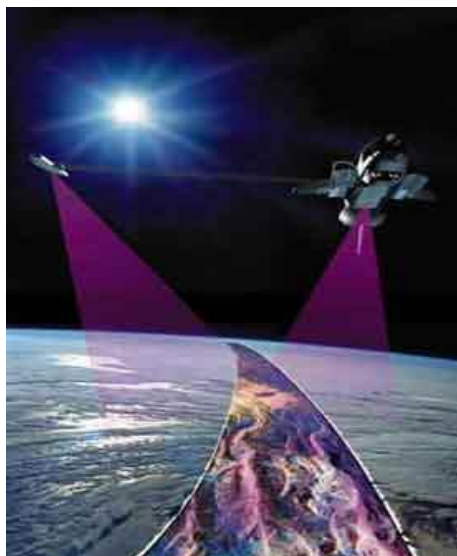
Εικόνα 17: Σύγκριση της εικόνας του ορθομοσαϊκού (αριστερά) και της συγχωνευμένης δορυφορικής (δεξιά) για την ανάδειξη τμήματος της Εγνατίας Οδού.



Εικόνα 18: Σύγκριση της εικόνας του ορθομοσαϊκού (αριστερά) και της Συγχωνευμένης δορυφορικής (δεξιά) για την ανάδειξη του άγνωστου αρχαίου κτίσματος στο κέντρο του λόφου.

4. Διαστημικά RADAR

Η τεχνολογία των radar αποτελεί μια από τις σημαντικότερες μεθόδους παρατήρησης της γήινης επιφάνειας καθώς η καταγραφή της εικόνας μπορεί να γίνει και σε περιπτώσεις πυκνής δασικής κάλυψης και νεφοκάλυψης καθώς επίσης και κατά την διάρκεια της νυκτός. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι τα radar είναι ενεργητικά συστήματα καταγραφής δηλαδή έχουν την δυνατότητα να εκπέμπουν παλμούς μικροκυματικής ακτινοβολίας από μια κεραία που βρίσκεται πάνω στον δορυφόρο, με συνέπεια να αποτελούν από μόνα τους πηγές



Εικόνα 19: Δορυφορικό Σύστημα Radar. (Πηγή: <http://srtm.usgs.gov/>)

ενέργεια ή φωτισμού (Παρχαρίδης I. et al. 2003). Το γεγονός του ότι τα δορυφορικά radar εκπέμπουν ακτινοβολία στην μικροκυματική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, δίνει την δυνατότητα της καταγραφής χαρακτηριστικών του υπεδάφους. Η διεισδυτικότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας εξαρτάται από το μήκος της και κυμαίνεται 1mm έως και 1m (McDonough R.N. et al. 1991). Συνεπώς η χρήση τους στην αρχαιολογία είναι πολύ σημαντική καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό θαμμένων τοποθεσιών ή επίσης τοποθεσιών με πυκνή βλάστηση όπως σε περιοχές τροπικών δασών.

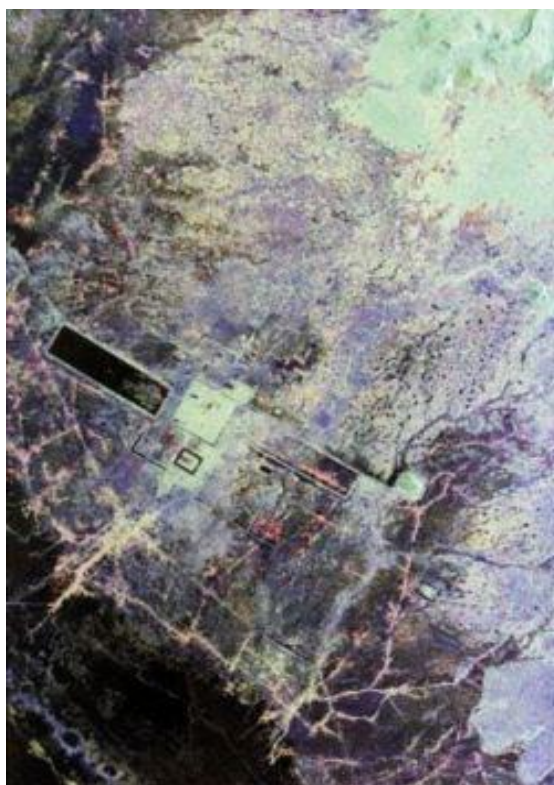
Το ενδιαφέρον των αρχαιολόγων για την χρήση εικόνων RADAR που μεταφερόταν σε δορυφορική πλατφόρμα, πρωτοεκδηλώθηκε από τα πρώτα στάδια ανάπτυξης αυτής της τεχνολογίας (**Εικόνα 19**).

Τα πρώτα διαστημικά RADAR που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν οι δύο δέκτες τύπου SAR, οι SIR-A και SIR-B, που κατασκευάστηκαν από την NASA σε συνεργασία με την ESA (European Space Agency) και την DLR (Διαστημικό Κέντρο Γερμανίας) την περίοδο 1981-1984 (Παρχαρίδης et al.).

Συγκεκριμένα το έτος 1981 με τη χρήση του SIR-A αποκαλύφθηκαν ένα πλήθος αρχαίων φαραγγιών και παλαιών καναλιών, τα οποία ήταν θαμμένα αρκετά μέτρα κάτω από την επιφάνεια της ερήμου Sahara, που μετά από συμβατικές εκσκαφές, ανακαλύφθηκαν προϊστορικές τοποθεσίες.

Η επιτυχία στην λήψη αυτών των εικόνων οφείλεται στην διεισδυτική ικανότητα των RADAR, ειδικά σε αμμώδεις περιοχές με χαμηλή διηλεκτρική σταθερά (McCauley et al. 1982). Το 1994 ακολούθησε η εκτόξευση του SIR-C, ο οποίος έλαβε εικόνες από την αρχαία πόλη του Angkor Wat στην Cambodia. Η διερμηνεία των εικόνων αυτών ανέδειξε ναούς, δρόμους, φράγματα καθώς επίσης και άλλες οντότητες (Εικόνα). Επίσης μια σημαντική εφαρμογή του δορυφορικού ραντάρ SIR-C το έτος 1998, υπήρξε η ανάδειξη τμημάτων του Σινικού Τείχους. Το ίδιο έτος τα δορυφορικά radar SIR-A και SIR-B κατάφεραν να εντοπίσουν την χαμένη πόλη Ubar στο Oman που ήταν θαμμένη κάτω από το έδαφος.

(Πηγή: <http://www.jpl.nasa.gov/releases/98/angkor98.html>)



Εικόνα 20: Η εικόνα του SIR-C/ x-band SAR, καλύπτει την περιοχή γύρω από την πόλη Angkor Wat της Cambodia. Αριστερά του κέντρου της εικόνας, το φωτεινό τετράγωνο αντιστοιχεί στο κύριο συγκρότημα του παλατιού της μητρόπολης, ενώ το σκοτεινό παραλληλόγραμμο αντιστοιχεί στο ναό που ονομαζόταν Angkor Thom. Οι παρακαίμενες λευκές γραμμές είναι αρχαίοι αλλά και μεταγενέστεροι δρόμοι καθώς επίσης και κατάλοιπα αρχαίων καναλιών που χρησιμοποιούνταν αρδευτικούς και μεταφορικούς σκοπούς.

(Πηγή:

<http://ourworld.compuserve.com/homepages/mjff/angkor.htm>)

Επίσης σημαντική είναι η συμβολή του Καναδικού διαστημικού radar, RADARSAT, στην αρχαιολογία., το οποίο παρουσιάζει ένα πλήθος βελτιώσεων όπως την δυνατότητα περιστροφής της κεραίας SAR, το μεγάλο εύρος επιλογής χωρικής διακριτικής ικανότητας και την υψηλή συχνότητα κάλυψης (Παρχαρίδης et al. 2003). Η πιο πρόσφατη εφαρμογή του πραγματοποιήθηκε στις 14 Μαρτίου του 2006, κατά την οποία στο Όρος Ararat, ανατολικά της Τουρκίας, η εικόνα του RADARSAT ανέδειξε μια γεωμορφολογική ανωμαλία. Βάσει του Porcher Taylor, ο

οποίος παρακολουθεί συστηματικά αυτή την περιοχή τα τελευταία δέκα χρόνια, πιθανολογείται ότι αυτή η ανωμαλία πρόκειται για την χαμένη κιβωτό του Νώε (Εικόνα).

(Πηγή:<http://www.canadiangeographic.ca/geonews/archives.asp?cat=Archaeology>)



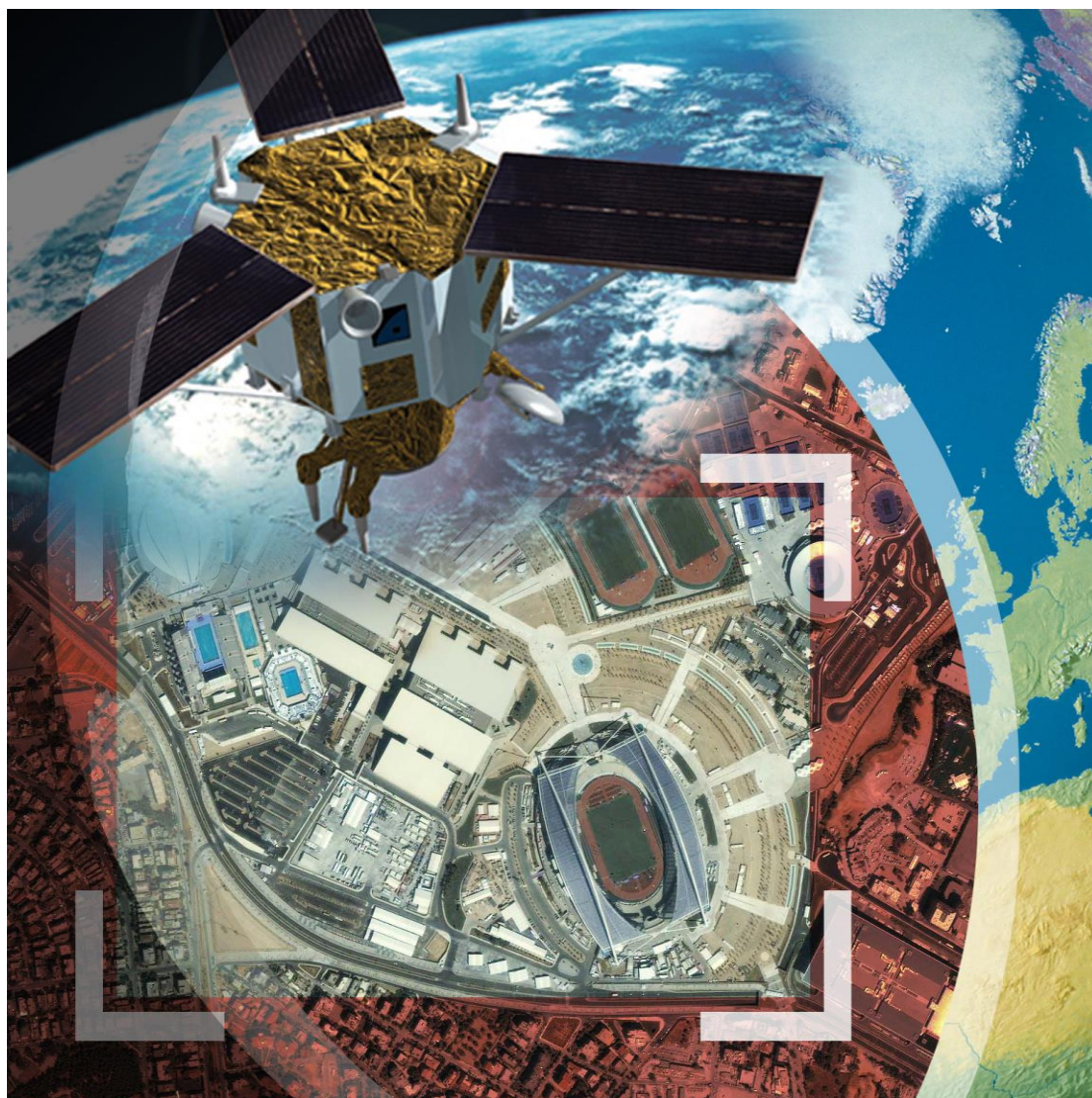
Εικόνα 21: Στην εικόνα του Radarsat το κόκκινο ελλειψοειδές περικλείει την περιοχή στην βορειοδυτική γωνία του Όρους Ararat που παρουσιάζει ανωμαλία. Πιθανά στο σημείο αυτό να βρίσκονται κατάλοιπα ενός αρχαίου γιγαντιαίου πλοίου. (Πηγή: <http://www.msnbc.msn.com/id/11747932/>)

Μια άλλη πολύ σημαντική εφαρμογή, αποτελεί η αποστολή της NASA σε συνεργασία με την NGA (National Geospatial-Intelligence Agency), με την ονομασία **“The Shuttle Radar Topography Mission”**, που ξεκίνησε το έτος 2000. Βάσει αυτής της αποστολής δημιουργήθηκαν Ψηφιακά Υψομετρικά Μοντέλα (**DEM**), που καλύπτουν το 80% της γήινης επιφάνειας, με την χρήση εικόνων radar. Τα δεδομένα αυτά έχουν πλήθος εφαρμογών στην χαρτογράφηση και τον εντοπισμό αρχαιολογικών τοποθεσιών.

(Πηγή: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Δορυφόρος IKONOS



1. Εισαγωγή

Το έτος 1999 στις 24 Σεπτεμβρίου τέθηκε σε τροχιά 680 km από τη Γη, ο πρώτος δορυφόρος τηλεπισκόπησης και παρέχει εικόνες της Γης με χωρική ανάλυση 1m. Ο δορυφόρος ονομάζεται IKONOS (**Εικόνα 1**) η ονομασία του οποίου προέρχεται από την ελληνική λέξη εικόνα και κατασκευάστηκε από την Lockheed Martin για λογαριασμό της εταιρείας Space Imaging Inc. Συνεπώς ο εν λόγω δορυφόρος αποτελεί τον πρώτο της



Εικόνα 1: Δορυφόρος IKONOS (Πηγή: www.spaceimaging.com)

γενεάς των εμπορικών δορυφόρων υψηλής ανάλυσης καθώς επιτυγχάνει ταυτόχρονα να συλλέγει ενός μέτρου ανάλυσης παγχρωματικές εικόνες και τεσσάρων μέτρων πολυφασματικές. Η απόκτηση αυτών των ψηφιακών εικόνων πραγματοποιείται σε ύψος 680 km από τη Γη κινούμενος με ταχύτητα 7km/s, επιτυγχάνοντας έτσι ουσιαστικά την οπτική διάκριση στην γήινη επιφάνεια αντικειμένων μεγέθους ενός μέτρου, χωρίς την δυνατότητα όμως να ξεχωρίζει μεμονωμένα άτομα.

Στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 1**) απεικονίζονται οι περιοχές που είναι κράτη-μέλη της Space Imaging Inc. και κατέχουν δικούς τους σταθμούς ελέγχου του δορυφόρου (Πηγή: <http://www.spaceimaging.com/newsroom/1999.htm>).

Japan Space Imaging Tokyo, Japan
Space Imaging Asia Seoul, Korea

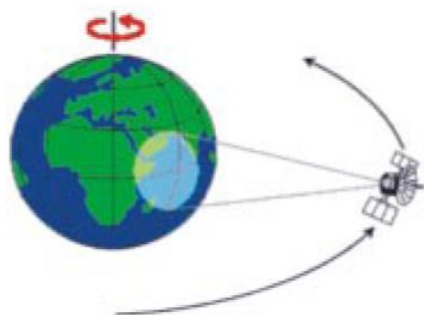
European Space Imaging
Munich, Germany

Space Imaging Eurasia Ankara, Turkey
Space Imaging Middle East Dubai,
United Arab Emirates
Space Imaging Southeast Asia
Bangkok, Thailand

Πίνακας 1: Κράτη μέλη στο πρόγραμμα της Space Imaging

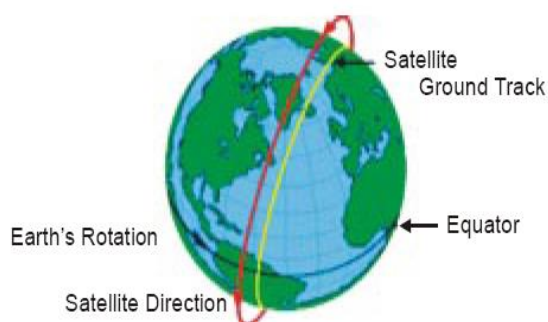
2. Τροχιακό Μοντέλο

Ο όρος τροχιά αναφέρεται στο μονοπάτι που διαγράφει ένας δορυφόρος γύρω από την Γη υπό την επιρροή της βαρύτητας. Οι δορυφόροι χωρίζονται σε δυο γενικές κατηγορίες βάσει της τροχιάς, τους γεωστατικούς (**Εικόνα 2**) και τους ηλιοσύγχρονους ή πολικούς (**Εικόνα 3**).



Εικόνα 2: Γεωστατική τροχιά.

(Πηγή: CCRS 1998)

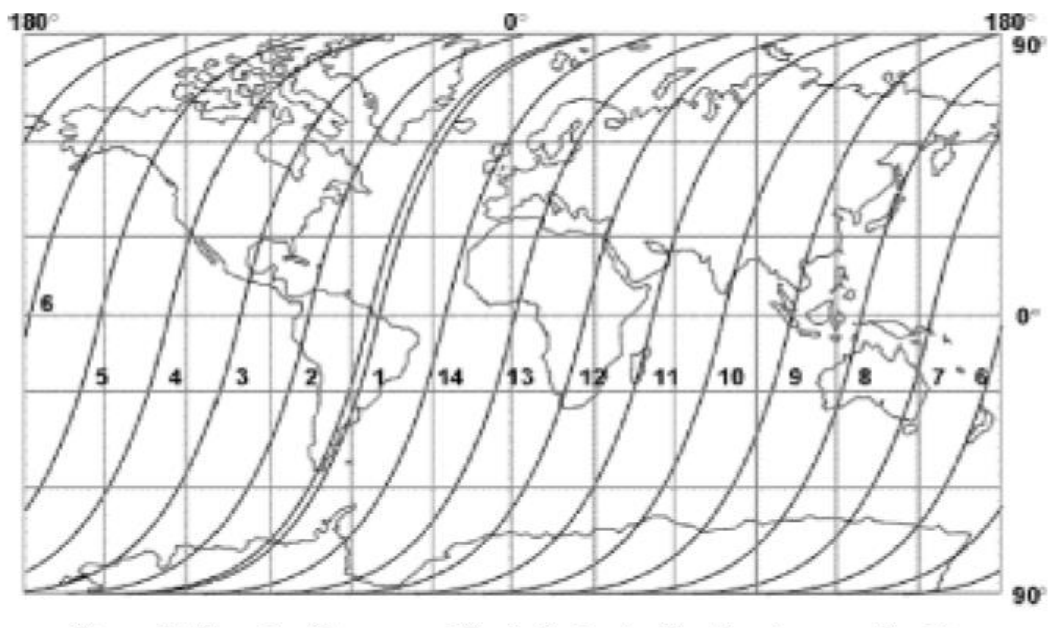


Εικόνα 3: Πολική, ηλιοσύγχρονη τροχιά.

(Πηγή: CCRS 1998)

Στην πρώτη κατηγορία η περιστροφική κίνηση του δορυφόρου συμβαδίζει με αυτή της γης παρέχοντας έτσι μια συνεχή και αναγκαστικά ημισφαιρική κάλυψη της ίδιας περιοχής κατά την διάρκεια της ημέρας. Συνεπώς η στάθμη της τροχιάς που ακολουθούν είναι σε γεωγραφικό πλάτος μεταξύ 70°B και 70°N . Στην κατηγορία αυτή υπάγονται κυρίως οι τηλεπικοινωνιακοί και οι μετεωρολογικοί δορυφόροι.

Στην δεύτερη κατηγορία οι δορυφόροι με πολική τροχιά περιστρέφονται γύρω από την Γη από τον Βόρειο προς τον Νότιο πόλο, γωνιακής κλίσης περίπου 99° με τον Ισημερινό συντηρώντας έτσι μια ηλιοσύγχρονη τροχιά καθώς είναι σύγχρονη με τη θέση της Γης ως προς τον ήλιο, σε ύψος που κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 650 και 900km. Συνεπώς ο δορυφόρος περνάει πάνω από όλες τις περιοχές της Γης έχοντας το ίδιο γεωγραφικό πλάτος δυο φορές σε κάθε τροχιά στον ίδιο τοπικό ηλιακό χρόνο (**Εικόνα 4**), (Πηγή: CCRS 1998).



Εικόνα 4: Πλήρης κάλυψη της γήινης επιφάνειας από ηλιοσύγχρονους δορυφόρους

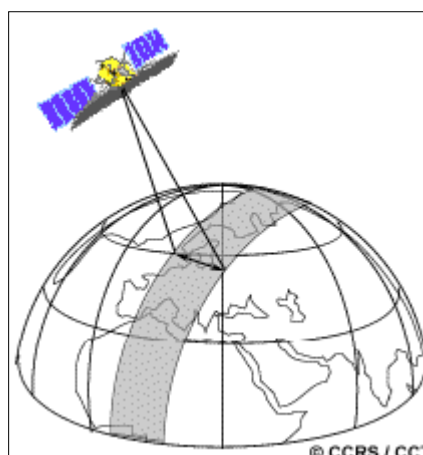
Βάσει του παραπάνω σχήματος γίνεται αντιληπτό ότι ο συνδυασμός αυτής της τροχιάς με την περιστροφή της Γης, επιτρέπουν την πλήρη κάλυψη της γήινης επιφάνειας μετά την ολοκλήρωση μίας ολόκληρης περιστροφής. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι με την κίνηση του δορυφόρου από πόλο σε πόλο η δυτικό-ανατολική του θέση δεν θα άλλαζε εάν η Γη δεν περιστρεφόταν. Εντούτοις όπως φαίνεται από την Γη, η κατεύθυνση του δορυφόρου φαίνεται να αλλάζει προς τα δυτικά καθώς η Γη περιστρέφεται κάτωθεν αυτού. Αυτή η φαινομενική κίνηση επιτρέπει στη ζώνη σάρωσης του δορυφόρου να καλύπτει νέα περιοχή με κάθε του πέρασμα. Συνεπώς μέσω των δορυφόρων αυτού του τύπου τροχιάς, ολόκληρη η σφαίρα καλύπτεται ομοιόμορφα προσδίδοντας μια περιοδική επαναληψιμότητα. Σε αυτή την κατηγορία εκτός από τον Ikonos συμπεριλαμβάνονται και άλλοι γνωστοί τηλεπισκοπικοί δορυφόροι, όπως ο LANDSAT, SPOT series, IRS series, NOAA, κα.

Χαρακτηριστικά της τροχιάς του Ikonos

Ο Δορυφόρος Ikonos διαγράφει ηλιοσύγχρονη τροχιά καθώς το τροχιακό επίπεδο περιστροφής γύρω από τη Γη είναι ιδίου ρυθμού με την κίνηση του ηλίου κατά μήκος γήινης επιφάνειας. Το όφελος έγκειται στο γεγονός ότι θα επικρατούν παρόμοιες καταστάσεις φωτισμού στην απόκτηση εικόνων μιας συγκεκριμένης περιοχής σε μια αλληλουχία ημερών. Η απόκτηση των εικόνων γίνεται συνήθως κατά τις πρωινές ώρες, μεταξύ 9:30πμ και 11:00πμ, που η θέση του ηλίου είναι ευνοϊκότερη. Ο Ikonos διέρχεται από τον Ισημερινό στην τοπική ώρα 10:30πμ σε ύψος όπως προαναφέρθηκε 680km.

Το επίπεδο της τροχιάς του Ikonos είναι σχεδόν πολικό καθώς σχηματίζει με τον Ισημερινό γωνία κλίσης 98.1° , δίνοντας του έτσι την δυνατότητα μεγαλύτερης επιφανειακής κάλυψης (Πηγή: <http://www.sisea.co.th/ikonos/characteristics.html>).

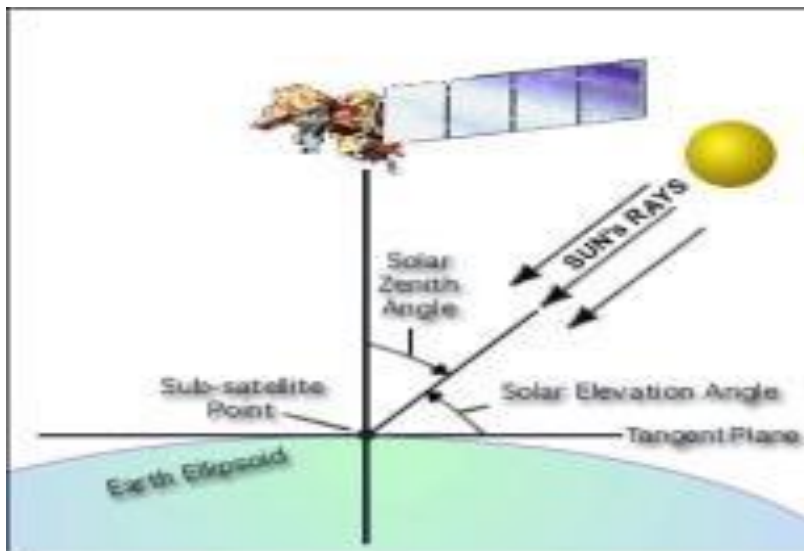
Η έκταση κάλυψης μιας πλήρους εικόνας περιγράφεται από το πλάτος σάρωσης ενός σταθερού τμήματος της γη που καταγράφεται με το πέρασμα ενός δορυφόρου και ποικίλει καθώς κυμαίνεται μεταξύ δεκάδων έως εκατοντάδων χιλιομέτρων, ανάλογα του σκοπού για τον οποίο έχει κατασκευαστεί ο εκάστοτε δορυφόρος (**Εικόνα 5**). Συγκεκριμένα για τον Ikonos πλάτος σάρωσης



είναι 11.3km στο ναδίρ και 13.8km στις 26° εκτός ναδίρ.

Σχήμα 5: Πλάτος της λωρίδας σάρωσης. (Πηγή: CCRS 1998)

Ένας βασικός παράγοντας που επηρεάζει την λήψη των εικόνων είναι η ηλιακή γωνιακή κλίση (**Εικόνα 6**). Κατά την διάρκεια του προαναφερθέντος χρονικού διαστήματος, στο πάνω όριό του η γωνία του ηλίου με το οριζόντιο επίπεδο είναι μικρή τονίζοντας έτσι περισσότερο το ανάγλυφο της περιοχής. Όσο πλησιάζουμε προς το κατώτερο χρονικό όριο και ιδιαίτερα προς τις μεσημεριανές ώρες, μεγιστοποιείται ο φωτισμός. Συνεπώς η επιλογή της χρονικής στιγμής που θα περάσει ένας δορυφόρος από την περιοχή που μας ενδιαφέρει (AOI: Area Of Interest), γίνεται με βάσει τις επιθυμούμενες παρατηρήσεις.



Εικόνα 6: Γωνία ηλιακής ανύψωσης. (Πηγή: CCRS 1998)

Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της τροχιάς του Ikonos.

Ύψος πτήσης (Altitude)	680km
Γωνία κλίσης (Inclination)	98.1°
Τύπος	Σχεδόν πολική (Near-polar) Ηλιοσύγχρονη (Sun-synchronous)
Διάρκεια πλήρους περιστροφής (Orbit Time)	98.3 min
Έκταση κάλυψης μιας πλήρους εικόνας	11.3 km στο ναδίρ 13.8 km στις 26° εκτός ναδίρ
Ταχύτητα	7.5km/sec (27.000 km/hr)
Ωρα διέλευσης από τον Ισημερινό (Descending Nodal Crossing Time)	10:30 a.m.
Συχνότητα επανεπίσκεψης (Revisit frequency)	2.1 (1-3 max) (rev/day)

Πίνακας 2: Βασικά χαρακτηριστικά της τροχιάς του Ikonos

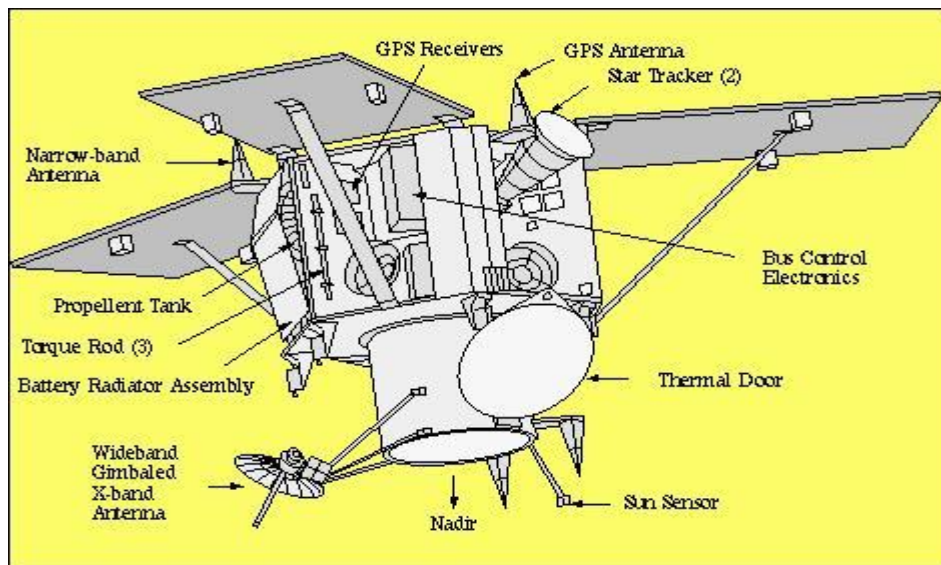
3. Τεχνική αναπαράσταση της πλατφόρμας του δορυφόρου

3.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Ο Ikonos (Εικόνα 7) είναι ένα τριαξονικά εξισωμένο αεροσκάφος το οποίο χρησιμοποιεί το σύστημα LM900 δορυφορικής πλατφόρμας που συνήθως αναφέρεται ως Block-1. Η καινοτομία του συστήματος αυτού, σε σχέση με τα συστήματα των είδη εν λειτουργία εμπορικών τηλεπισκοπικών δορυφόρων έγκειται στο γεγονός ότι επιτρέπει σε κάθε μέλος της Space Imaging Inc. διεθνώς, να διευθύνει τους δικούς του επίγειους σταθμούς. Αυτοί οι σταθμοί είναι χρονικά προσδιορισμένες τοποθεσίες (blocks) στον δορυφόρο, τα οποία μπορούν απευθείας να του αναθέσουν μια αποστολή και άμεσα να παραλάβουν τα αιτούμενα δεδομένα. Επιπρόσθετα για τα στιγμιαία εικονικά δεδομένα που έχουν ληφθεί είναι δυνατό από τον κάθε σταθμό λήψης η καλύτερη αξιοποίηση των τοπικών καιρικών δεδομένων. Η προαναφερόμενη ωφέλεια είναι πραγματοποιήσιμη μόνο όταν ο επίγειος σταθμός είναι σε επαφή με τον Ikonos.

Η θέση του σκάφους στο χώρο που περιγράφεται από την γεωμετρική ακρίβεια του την υπολογίζεται από δυο αστρικούς ανιχνευτές, από ένα γυροσκόπιο και από έναν ηλιακό αισθητήρα. Η τοποθεσία του δορυφόρου γνωστοποιείται από έναν αναμεταδότη GPS. Ο χρόνος ζωής βάσει των κατασκευαστών του είναι επτά έτη. Οι διαστάσεις του είναι 1.83m x 1.57m προσδίδοντας του έτσι έναν εξαγωνικό σχηματισμό, μάζας 817kg και δύναμης 1.5kW που παρέχονται από τρεις ηλιακές κυψέλες, ιστία.

Ο IKONOS είναι ένας πλήρως ευκίνητος δορυφόρος. Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι σε αντίθεση με τον Landsat ο οποίος συλλαμβάνει εικόνες μόνο στο ναδίρ και τον SPOT, ο οποίος έχει έναν περιστρεφόμενο καθρέπτη που του επιτρέπει απόκτηση εικόνας side-to-side, ο IKONOS μπορεί να περιστραφεί, για την απόκτηση μιας εικόνας, σε αμφότερες πλευρές όπως επίσης και εμπρόσθια ή οπίσθια της εδαφικής περιοχής που σαρώνει.



Εικόνα 7: Διαστημική πλατφόρμα του δορυφόρου. (Πηγή: directory.eoportal.org/pres_Ikonos2Block1.html)

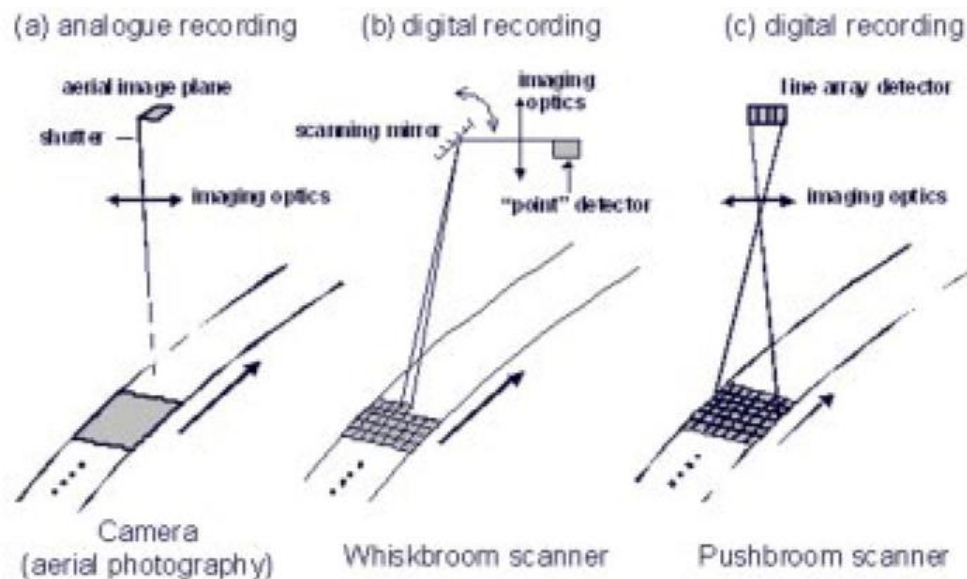
3.2 Αισθητήριο όργανο καταγραφής

3.2.1 Τεχνοτροπία σάρωσης

Η καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και η δημιουργία της ψηφιακής εικόνας γίνεται μέσω ενός σαρωτή που συλλέγει την ψηφιακή πληροφορία αποθηκεύοντας την σε συγκεκριμένες περιοχές του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ψηφιακή μορφή με την ονομασία **ψηφιακές τιμές DN** (Digital Numbers).

Οι τηλεπισκοπικοί δορυφόροι χρησιμοποιούν δυο τύπους συστημάτων καταγραφής της ανακλώμενης ακτινοβολίας. Ο πρώτος αφορά τα **συστήματα γραμμικής σάρωσης**, (line scanning systems) και βασίζεται στην περιστροφή ενός επίπεδου κατόπτρου το οποίο αντανακλά και διαμοιράζει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία από τη Γη σε μία σειρά ανιχνευτών. Η διαδικασία αυτού του τύπου καταγραφής ονομάζεται και **Whiskbroom**. Ο δεύτερος τύπος αφορά τα **συστήματα διανυσματικής καταγραφής**, (array sensor systems) στα οποία η καταγραφή της ακτινοβολίας γίνεται από μια συστοιχία ανιχνευτών σε γραμμική διάταξη και αναφέρεται συνήθως ως **pushbroom** (Μερτίκας Στ. 1999).

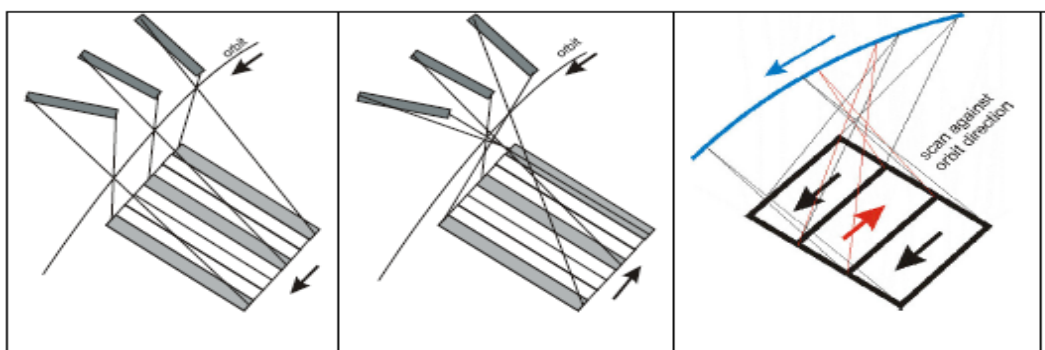
Ο Ikonos ανήκει στην κατηγορία των οπτικομηχανικών σαρωτών που βασίζεται στο σύστημα διανυσματικής καταγραφής, όπως περιγράφεται παρακάτω, (**Εικόνα 8**).



Εικόνα 8: Βασικές τεχνικές σάρωσης. (Πηγή: cgi.girs.wageningen-ur.nl/igi-new)

Τεχνική σάρωσης Pushbroom

Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται από τους ανιχνευτές τύπου along-track (διαμήκης πορεία) οι οποίοι χρησιμοποιούν εμπρόσθια κίνηση της πλατφόρμας τους για να καταγράψουν διαδοχικές γραμμές σάρωσης και να χτίσουν έτσι μια δυσδιάστατη εικόνα κάθετη στην πορεία πτήσης. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού, ο αισθητήρας είναι εξοπλισμένος με μια σειρά ανιχνευτών σε γραμμική παράταξη, CCDs (Charge-Coupled Devices), η οποίοι εντοπίζονται στο εστιακό επίπεδο της εικόνας που σχηματίζεται από κατοπτρικά συστήματα που ωθούνται κατά μήκος της τροχιακής κατεύθυνσης. Για κάθε γραμμή σάρωσης η ενέργεια που καταγράφεται από τον κάθε ανιχνευτή της κάθε γραμμικής παράταξης, υποβάλλεται σε ηλεκτρονικό δειγματοληπτικό έλεγχο και καταγράφεται ψηφιακά. Συνεπώς η ονομασία της τεχνικής αυτής προέρχεται από το γεγονός ότι η κίνηση των CCDs είναι ανάλογη με το "σκούπισμα" προς τα εμπρός ενός δαπέδου. Ο Ikonos είναι ο πρώτος τηλαπισκοπικός δορυφόρος που υπερτερεί στην επιδεξιότητα απόκτησης μιας εικόνας καθώς έχει την δυνατότητα να καταγράφει και από εμπρός προς τα πίσω της πλατφόρμας, (along-track) αλλά και από την μία πλευρά προς την άλλη της λωρίδας σάρωσης (across-track), ταυτόχρονα (Εικόνα 9) (Lillesand Th. & Kiafer Ra., 2000). Αυτό επιτυγχάνεται με την περιστροφή και προσανατολισμό ολόκληρου του αισθητήριου οργάνου καταγραφής (Jacobsen K., 2002).



Εικόνα 9: Αναπαράσταση τεχνικής σάρωσης Pushbroom. (Πηγή: Jacobsen K. 2002)

3.2.2 Φωτογραφικό σύστημα του δορυφόρου

Η απόκτηση της ψηφιακής εικόνας από τον δορυφόρο γίνεται βάσει μιας ψηφιακής κάμερας (Εικόνα 10), που αποτελείται από έναν παγχρωματικό δέκτη χωρικής ανάλυσης 1m και έναν πολυφασματικό, χωρικής ανάλυσης 4m, που καλύπτουν μια ζώνη 11km της γήινης επιφάνειας, ενώ μοιράζονται το ίδιο οπτικό σύστημα και συλλέγουν ταυτοχρόνως εντός 0.5 sec. Η κατασκευάστρια της κάμερας είναι η Kodak Commercial & Government Systems με το μοντέλο 1000TM, του οποίου το διάφραγμα και η συνολική μάζα αργότερα τροποποιήθηκαν για τις ανάγκες του εν λόγω δορυφόρου. Το μοντέλο αυτό αναφέρεται σε ένα Cassegrain τύπου τηλεσκόπιο με 70 cm διαμέτρου πρωτεύον κάτοπτρο και 10 m εστιακής απόστασης. Τα βασικά στοιχεία που συνθέτουν αυτό το μοντέλο κάμερας είναι πέντε: η Οπτική

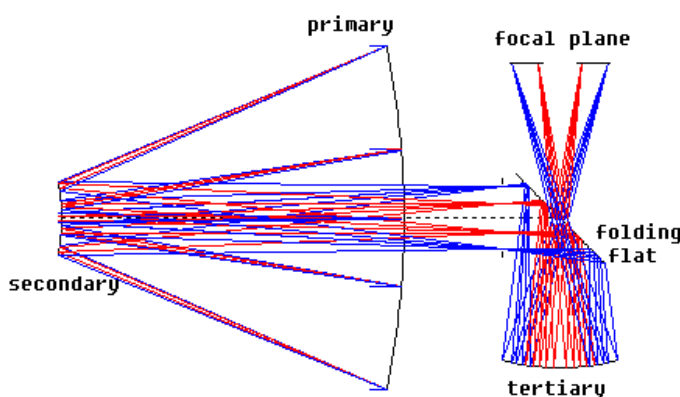


Μονάδα Τηλεσκοπίου, η Μονά Εστιακού Επιπέδου, η Μονάδα Ψηφιακής Επεξεργασίας, η Μονάδα Παροχής Δύναμης (ρεύματος) και η Μονάδα Καλωδίωσης. Το συνολικό βάρος του οπτικού αυτού συστήματος είναι περίπου 100kg. Ακολουθεί η συνοπτική παρουσίαση των τμημάτων της κάμερας.(Πηγή: directory.eoportal.org/pres_Ikonos2Block1.html).

Εικόνα 10: Ψηφιακή κάμερα 1000TM. (Πηγή: directory.eoportal.org/pres_Ikonos2Block1.html).

OTA (Optical Telescope Assembly)

Η Οπτική Μονάδα Τηλεσκοπίου είναι υπεύθυνη για την συλλογή της εικόνας το οποίο επιτυγχάνεται μέσω της ανάκλασής της στους ψηφιακούς αισθητήρες που βρίσκονται στο πίσω άκρο του, με την βοήθεια πέντε φακών. Στο σύνολο των φακών που χρησιμοποιεί, οι τρεις είναι κοίλοι, τεχνολογίας TMA (Three Mirror Anastigmat) και οι δυο υπολοιπόμενοι είναι επίπεδοι παρέχοντας έτσι την ικανότητα αναδίπλωσης της εικόνας διαμέσου του εύρους του τηλεσκοπίου (**Εικόνα 11**). Η τεχνολογία TMA είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη καθώς εξαλείφει τον αστιγματισμό που είναι σύνηθες πρόβλημα στα τηλεσκόπια. Έτσι αυτή η διάταξη των φακών μειώνει την εστιακή απόσταση από 10 m σε περίπου 2m.



Εικόνα 11: Οπτική ανάλυση της εικόνας μέσω των φακών της OTA

FPU (Focal Plane Unit)

Η Μονάδα Εστιακού Επιπέδου αποτελείται από τον παγχρωματικό και από τον πολυφασματικό αισθητήρα και μετατροπείς A/D, που μετατρέπουν το φως που χτυπάει σε κάθε pixel σε διακριτά ηλεκτρικά φορτία. Η περιγραφή του παγχρωματικού και του πολυφασματικού αισθητήρα γίνεται στα επόμενα κεφάλαια. Είναι τοποθετημένη στο πίσω μέρος του τηλεσκοπίου και έχει διαστάσεις 25cm x 23cm x 23 cm.

DPU (Digital Process Unit)

Η Μονάδα Ψηφιακής Επεξεργασίας είναι υπεύθυνη για τον συγχρονισμό των ηλεκτρονικών τμημάτων των αισθητήρων διαμέσου ενός πρωταρχικού ωρολογίου και συμπιέζει τα ψηφιακά εικονικά δεδομένα των 11 bit, σε περίπου 2.5 bpp (bits per pixel), σε ταχύτητα 115.000 pps (pixels per second) χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο ADPCM (Advanced Differential Pulse Code Modulation) που παρέχεται από την KODAK. Η μονάδα αυτή αποστέλλει τις πληροφορίες στην Μονάδα Εστιακού Επιπέδου και στην Μονάδα Παροχής Δύναμης.

PSU (POWER SUPPLY UNIT)

Η Μονάδα Παροχής Ρεύματος φιλτράρει, ρυθμίζει και διανέμει την ποσότητα ρεύματος που περισσεύει στις μονάδες DPU και PSU, με την χρήση υβριδικών μετασχηματιστών DC-AC και κατάλληλων ηλεκτρονικών φίλτρων.

CU (CABLING UNIT)

Η Μονάδα Καλωδίωσης παρέχει την καλωδίωση μεταξύ των διάφορων ηλεκτρονικών κουτιών.

3.2.3 Ικανότητα ανάλυσης των αισθητήριων οργάνων

Προτού γίνει η παρουσίαση των χαρακτηριστικών των δυο βασικών αισθητήριων οργάνων του Ikonos που είναι υπεύθυνα για την παραγωγή της ψηφιακής εικόνας, κρίνεται αναγκαία η εισαγωγή σε βασικές έννοιες που περιγράφουν την ανάλυση αυτών των αισθητήρων. Η ανάλυση ορίζεται ως η ικανότητα ενός συστήματος να αποδίδει την πληροφορία στην ελάχιστη ξεχωριστή ποσότητα που αναλύεται και είναι διακριτές οι αποστάσεις της, το μήκος κύματός της, το ηλεκτρομαγνητικό εύρος, ο χρόνος και η εκπεμπόμενη ποσότητα ακτινοβολίας.

3.2.4 Παγχρωματικός και Πολυφασματικός δέκτης

Ο παγχρωματικός όπως προαναφέρθηκε αποτελείται από μία διάταξη CCD με 13.500 μοναδιαίους ανιχνευτές και καταγράφει στην περιοχή 0.5-0.75 του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ο πολυφασματικός είναι ένας γραμμικός αισθητήρας και παρέχει εικόνες σε τέσσερα φασματικά κανάλια, το καθένα από τα οποία αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (EMS).

Συγκεκριμένα,

Φασματικό (Band)	Κανάλι	Φασματικό Εύρος	Χωρική ικανότητα	διακριτική
Παγχρωματικό (Pan)		0.45-0.90 μm	1 m	
Κανάλι 1 (Μπλε)		0.45-0.52 μm	4 m	
Κανάλι 2 (Πράσινο)		0.52-0.60 μm	4 m	
Κανάλι 3 (Κόκκινο)		0.63-0.69 μm	4 m	
Κανάλι 4 (Κοντινό Υπέρυθρο) (NIR: Near infrared)		0.76-0.90 μm	4 m	

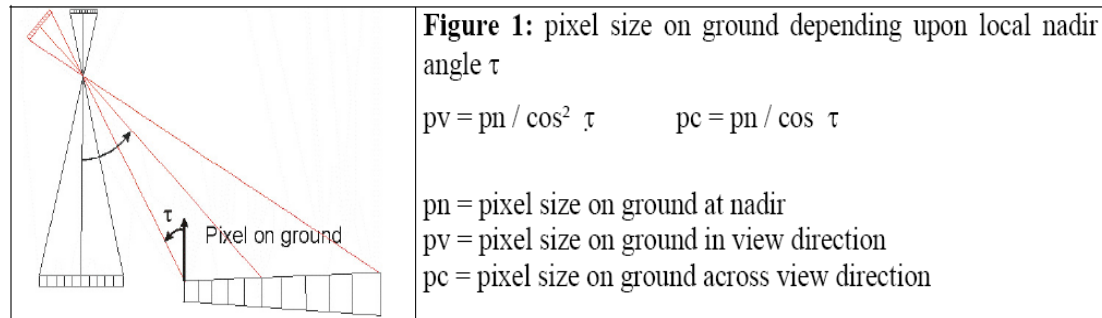
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά των φασματικών ζωνών του δορυφόρου Ikonos

Παρακάτω ακολουθεί η συνοπτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων της ανάλυσης των δυο αισθητήριων οργάνων.

Χωρική Ανάλυση

Η χωρική διακριτική ικανότητα, που περιγράφεται από την επίγεια δειγματοληπτική απόσταση (GSD), για τις παγχρωματικές εικόνες είναι 0.82 m και 3.28 m για τις πολυφασματικές, στο ναδίρ. Η χωρική διακριτική ικανότητα του 1 m και των 4 m αντίστοιχα, επιτυγχάνεται στις 30° εκτός ναδίρ. Γενικά, όπως προαναφέρθηκε, το πλάτος σάρωσης του δορυφόρου είναι 11.3 km αλλά για GSD 1 m το πλάτος σάρωσης ισοδυναμεί με 13.8 km.. Για την επίτευξη μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης, είναι δυνατός ο συνδυασμός της χωρικής διακριτικής ικανότητας των παγχρωματικών

δεδομένων με την φασματική πληροφορία των πολυφασματικών δεδομένων, (εικόνα pansharpened). (Πηγή: Παρχαρίδης)



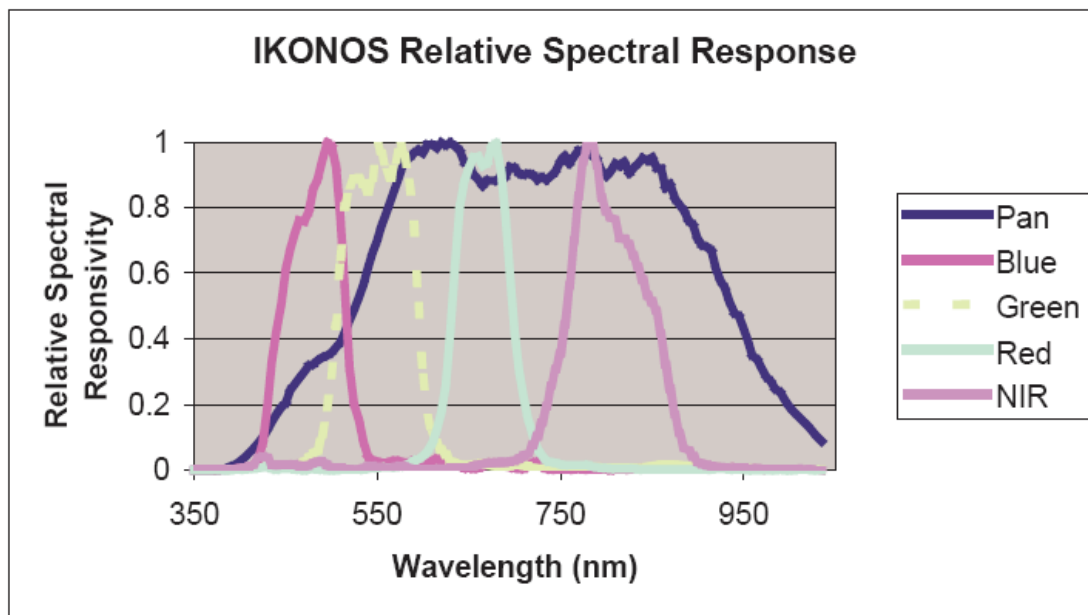
Σχήμα 1: Η εξάρτηση του εδαφικού pixel από το ναδίρ. (Πηγή; Jacobsen K. 2002)

nadir angle	0°	10°	20°	30°	40°	50°	
pan across view direction	0.82	0.83	0.87	0.95	1.07	1.28	IKONOS pan
pan in view direction	0.82	0.85	0.93	1.09	1.40	1.98	IKONOS pan
ms across view direction	3.28	3.32	3.48	3.80	4.28	5.10	IKONOS ms
ms in view direction	3.28	3.38	3.71	4.37	5.59	7.94	IKONOS ms

Πίνακας 4: Μέγεθος του εδαφικού pixel σε m ανάλογα με το ναδίρ. (Πηγή: Jacobsen, 2002)

Φασματική Ανάλυση

Ο δορυφόρος Ikonos συλλέγει εικόνες, όπως προαναφέρθηκε, σε τέσσερα πολυφασματικά κανάλια και σε ένα παγχρωματικό. Για την τηλεπισκοπική ανάλυση απαιτείται η μετατροπή των ψηφιακών τιμών της εικόνας, δηλαδή η προσδιορισμένη τιμή ενός pixel μέσα σε μια εικόνα, στην απόλυτη ακτινοβολία. Αυτό επιτυγχάνεται με ορισμένους ραδιομετρικούς συντελεστές που παρέχονται από την Space Imaging (Grodecki J. & Dial G., 2000). Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η σχετική φασματική απόκριση του κάθε καναλιού στις παγχρωματικές και στις πολυφασματικές εικόνες (**Εικόνα 12**).



Εικόνα 12: Σχετική φασματική απόκριση των εικόνων του Ιkonos

Ραδιομετρική Ανάλυση

Το δυναμικό εύρος των bits και των πέντε καναλιών είναι 8 ή 11, που σημαίνει ότι η ραδιομετρική ανάλυση της εικόνας είναι 256 ή 2048 τόνοι του γκρι. Σε μία εικόνα των 11 bit λεπτομέρειες στην φωτοσκίαση, υπερφωτισμένα και χαμηλής αντίθεσης φωτεινού-σκούρου τμήματα, μπορούν να διακριθούν ευκολότερα από ότι σε μια εικόνα με 256 αποχρώσεις του γκρι.

Χρονική Ανάλυση

Στις 40° γεωγραφικού πλάτους ο χρόνος επανεπίσκεψης του δορυφόρου είναι 2.9 η μέρες με χωρική διακριτική ικανότητα 1 m και 1.5 ημέρες στο 1.5 m. Οι χρόνοι επανεπίσκεψης είναι συντομότεροι για μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και αυξάνονται όσο το γεωγραφικό πλάτος πλησιάζει προς τον Ισημερινό.

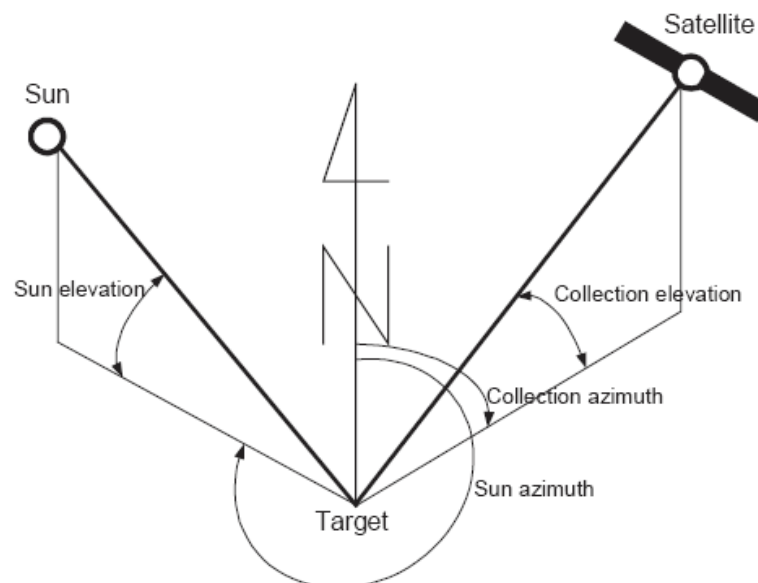
4. Διαδικασία συλλογής της πληροφορίας

Η περιοχή του εδάφους που απεικονίζεται από τον δέκτη σε ένα χρονικό διάστημα ή αλλιώς το στιγμιαίο οπτικό πεδίο (IFOV), βασίζεται στο γεωμετρικό μοντέλο που ακολουθείται για την απόκτηση της εικόνας, πιο συγκεκριμένα, από το αζιμούθιο του δέκτη και την γωνία ανύψωσής του. Τα δεδομένα αυτά, για τον Ikonos, περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 5**).

```
Acquired Nominal GSD
Cross Scan: 0.84 meters
Along Scan: 0.83 meters
Scan Direction: 0 degrees
Nominal Collection Azimuth: 93.7818 degrees
Nominal Collection Elevation: 81.18989 degrees
Sun Angle Azimuth: 151.5820 degrees
Sun Angle Elevation: 29.57948 degrees
```

Πίνακας 5: Μεταδεδομένα της εικόνας

Στο σχήμα που ακολουθεί, (**Σχήμα 2**), απεικονίζεται το αζιμούθιο του δέκτη, το οποίο μετρείται δεξιόστροφα από τον Βορά και η γωνία ανύψωσης η οποία σχηματίζεται μεταξύ ορίζοντα και δορυφόρου. .

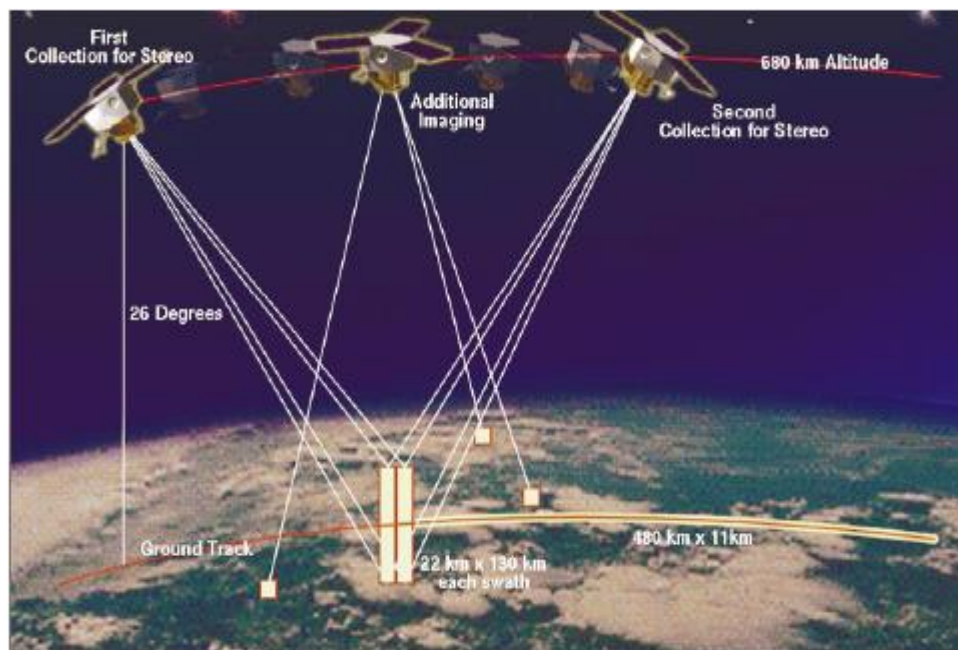


Σχήμα 2: Γεωμετρία απόκτησης της εικόνας

Για την απόκτηση μίας εικόνας η λωρίδα σάρωσης του Ikonos κυμαίνεται από 11 km. x 100 km. έως 11 km. x 1000 km ανάλογα με το σχήμα και τις διαστάσεις της περιοχή ενδιαφέροντος, τις καιρικές συνθήκες, την γωνία ανύψωσης και γενικά τις απαιτήσεις για την παραγόμενη εικόνα (Grodecki J. & Dial G., 2000).

Συγκεκριμένα για τις μονοσκοπικές εικόνες η λωρίδα σάρωσης κυμαίνεται από 10 km έως περίπου 200 km.

Η απόκτηση του στερεοζεύγους εικόνων, δηλαδή δυο επικαλυπτόμενων εικόνων που απεικονίζονται στερεοσκοπικά, ο Ikonos την πραγματοποιεί κατά το ίδιο τροχιακό πέρασμα. Αυτό επιτυγχάνεται με την εξής διαδικασία. Αρχικά, δορυφόρος συλλέγει το πρώτο σκέλος του στερεοζεύγους με προσανατολισμό του αισθητήρα προς το ναδίρ και με προσανατολισμό προς τα πίσω, μετά από περιστροφή του αισθητήρα, για την συλλογή του δεύτερου σκέλους, με αποτέλεσμα την κατασκευή ενός στερεοσκοπικού μοντέλου (Cook M.K., et. al.2000) (Εικόνα 13).



Εικόνα 13: Συλλογή στερεοσκοπικού ζεύγους

5. Τα προϊόντα του Ikonos

Επανασυνοψίζοντας, οι δυο βασικοί αισθητήρες του Ikonos, ο παγχρωματικός και ο πολυφασματικός, παράγουν τρία εικονικά προϊόντα.

Το πρώτο είναι μια παγχρωματική εικόνα 1 m, η οποία παραδίδεται σε 256 (8 bit) ή 2048 (11 bit) αποχρώσεις στην κλίμακα του γκρι.

Το δεύτερο είναι τέσσερις εικόνες του κάθε καναλιού του πολυφασματικού δέκτη, με GSD 4 m. Οι τέσσερις εικόνες μπορούν να συνδυαστούν σε μία κανονική έγχρωμη, δηλαδή τα χρώματα που επιλέγονται για το κάθε κανάλι απαντούν στα φυσικά χρώματα, ή σε μία σύνθετη ψευδέγχρωμη, στις οποίας τα κανάλια δίνονται χρωματισμοί ανάλογα με τις απαιτήσεις, παράγοντας έτσι μια εικόνα με χρώματα που δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

Το τρίτο προϊόν είναι οι εικόνες pan-sharpened που προκύπτουν από τον συνδυασμό των δεδομένων της παγχρωματικής και της πολυφασματικής και παραδίδεται ως κανονικού χρωματισμού ή σύνθετη ψευδέγχρωμη.

Κάθε ένα από τα τρία αυτά προϊόντα μπορεί να σταλεί στους χρήστες σε πέντε διαφορετικά επίπεδα ανάλογα με την ακρίβεια της θέσης, δηλαδή η ακρίβεια με τη οποία το απεικονιζόμενο στοιχείο αντιστοιχεί στο πραγματικό που βρίσκεται στο έδαφος

Για κάθε επίπεδο αναφέρεται και το ποσοστό λάθους του εντοπισμού που περιγράφεται από το κυκλικό σφάλμα σε ποσοστό 90% (CE 90%) και σημαίνει ότι οι εντοπισμός των αντικειμένων, αναπαρίστανται στην εικόνα εντός της δεδομένης ακρίβειας, 90%, του χρόνου. Ανάλογα του CE 90% είναι και το RMSE (Root Mean Square Error) και το NMAS (National Map Accuracy Standards).

Τα πέντε επίπεδα των προϊόντων του Ikonos παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 6**).

(Πηγή: www.spaceimaging.com/whitepapers_pdfs/IKONOS_Product_Guide.pdf)

	Positional Accuracy			Ortho Corrected	Target Elevation Angle	Mosaicked	Stereo Option	Applications
	CE90	RMS	NMAS					
Geo	15.0 meters*	N/A	N/A	No	60° to 90°	No	No	Visual & interpretive applications
Standard Ortho	50.0 meters**	25.0 meters	1:100,000	Yes	60° to 90°	No	No	Basic mapping projects
Reference	25.4 meters	11.8 meters	1:50,000	Yes	60° to 90°	Yes	Yes	Regional, large area mapping and general GIS applications
Pro	10.2 meters	4.8 meters	1:12,000	Yes	66° to 90°	Yes	No	Transportation, infrastructure, utilities planning, economic development
Precision	4.1 meters	1.9 meters	1:4,800	Yes	72° to 90°	Yes	Yes	High positional accuracy for urban applications
PrecisionPlus	2.0 meters	0.9 meters	1:2,400	Yes	75° to 90°	Yes	No	Detailed urban analysis, cadastral & infrastructure mapping
* Exclusive of terrain effects								
** May be up to 75 meters CE90 in undeveloped areas with high terrain relief (e.g., Andes or Himalayan mountain ranges)								

Πίνακας 4: Επίπεδα των προϊόντων του Ikonos.

(Πηγή: www.spaceimaging.com/whitepapers_pdfs/IKONOS_Product_Guide.pdf).

6. Είδη τύπων (format) των αρχείων

Οι μονοσκοπικές εικόνες παραδίδονται από την space Imaging στους χρήστες, αγοραστές σε μορφή αρχείου άτιτλου GeoTIFF ή σε ασυμπίεστο αρχείο NITF 2.0.

Οι στερεοσκοπικές εικόνες παραδίδονται σε μορφή αρχείου TIFF για τις εικόνες με επιτολική προβολή και σε μορφή GeoTIFF για εικόνες προβολής χαρτών.

7. Χαρτογραφικές προβολές και ελλειψοειδή που υποστηρίζονται

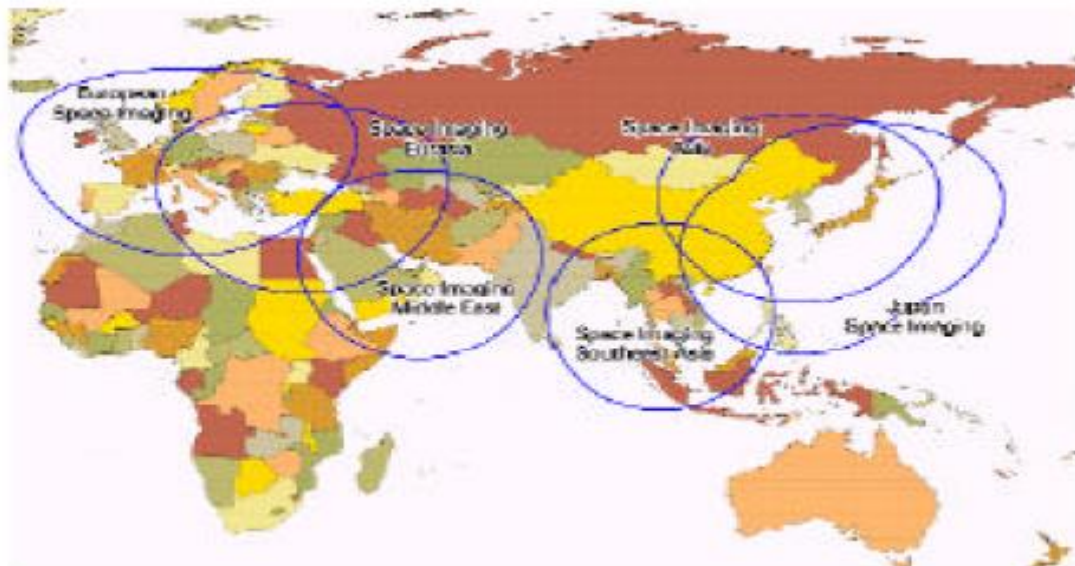
Τα προβολικά συστήματα στα οποία αναφέρονται τα προϊόντα του Ikonos είναι το UMP (Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή), το State Plane, το Albers Conic Equal Area (Ισοδύναμη Κωνική Προβολή), το Lambert Conformal Conic (Σύμφορη Κωνική Προβολή) και το Transverse Mercator (Ορθή Μερκατορική Προβολή).

Τα ελλειψοειδή αναφοράς είναι το WGS84, το οποίο είναι παγκοσμίως διαθέσιμο, το NAD 83, που διατίθεται μόνο στη Βόρεια Αμερική και το NAD27.

8. Περιοχές κάλυψης του δορυφόρου

Το επίγειο τμήμα ελέγχου του δορυφόρου Ikonos αποτελείται από το Πρωταρχικό Κέντρο Διαχείρισης (POC) και τα διακεκριμένα Περιφερειακά Κέντρα (ROCs). Το POC χωροθετείται στο Thornton του Κολοράντο των ΗΠΑ σε συνεργασία με τρεις τεματικούς σταθμούς που βρίσκονται στην Alaska, στην Oklahoma και στο Koruna. Τα ROCs (παραπομπή Πίνακας 1) παρά το γεγονός ότι συνεργάζονται σε διεθνές επίπεδο, έχουν την δυνατότητα, αυτόνομα, να διαχειρίζονται τον δορυφόρο όταν βρίσκεται εντός του επικοινωνιακού τους κώνου. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η παγκόσμια κάλυψη του δορυφόρου Ikonos (**Εικόνα 14**).

(Πηγή: Dech St. et. al., 2003)



Εικόνα 14: Οι επίγειοι σταθμοί λήψης των εικόνων του δορυφόρου Ikonos και το εύρος που καλύπτουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Δορυφόρος QUICKBIRD



1. Εισαγωγή

Μετά την επιτυχή καινοτομία του Ikonos στην εξέλιξη και ανάπτυξη των δορυφόρων για την εξερεύνηση της γης ακολούθησε η κατασκευή του δορυφόρου Quickbird. Μεταξύ των υπολοίπων εμπορικών δορυφόρων που παρέχουν εικόνες υψηλής ανάλυσης, ο εν λόγω δορυφόρος βρίσκεται στη πρώτη θέση την παρούσα χρονική στιγμή καθώς μεταξύ των άλλων προτερημάτων του είναι ο μοναδικός με χωρική διακριτική ικανότητα κατώτερης του ενός μέτρου. Σε σύγκριση με τους υπόλοιπους δορυφόρους, ο QuickBird διαθέτει το μεγαλύτερο εύρος εικόνας, την μεγαλύτερη μνήμη αποθήκευσης δεδομένων (128 Gbits) και την υψηλότερη χωρική ανάλυση (Πηγή: www.ballaerospace.com/quickbird.html)

Ο δορυφόρος Quickbird ανήκει στην πολυεθνική εταιρία DigitalGlobe™, η οποία είναι παροχέας προϊόντων χωρικής εικονικότητας και πληροφοριών με την συμβολή των εταιριών Ball Aerospace & Technologies Corp, Kodak και Fokker Space στην κατασκευή του **(Εικόνα 1)**.



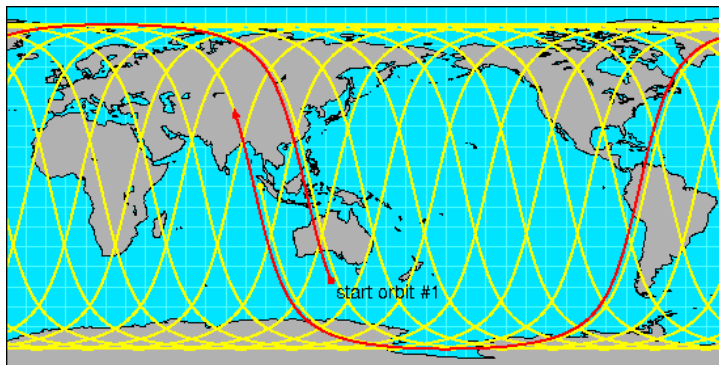
Εικόνα 1: Δορυφόρος Quickbird. (Πηγή: www.satimagingcorp.com)

Η εκτόξευση του δορυφόρου πραγματοποιήθηκε στις 18 Οκτωβρίου του 2001, από την βάση Vandenberg Air Force Base της Καλιфорνίας, με το όχημα Delta II και τα πρώτα του δεδομένα έγιναν διαθέσιμα τον Μάιο του έτους 2002 (πηγή: NOAA). Πριν την επιτυχή εκτόξευση και λειτουργία του δορυφόρου είχε επιχειρηθεί η εκτόξευση του προγενέστερου μοντέλου με την ονομασία Quickbird, προσδίδοντας έτσι στον παρών δορυφόρο την ονομασία Quickbird 2, με σκοπό την παροχή εικόνων με χωρική διακριτική ικανότητα 1m στο παγχρωματικό και 4m στο πολυφασματικό. Η αποστολή όμως απέτυχε λόγω του ότι ο δορυφόρος δεν κατάφερε να τεθεί σε τροχιά. Η αρχική τροχιά που προβλεπόταν για την πτήση του πρώτου μοντέλου μειώθηκε μετά από την απαίτηση πελατών της DigitalGlobe προσδίδοντας έτσι στον Quickbird 2, ο οποίος μετονομάστηκε σε Quickbird, μεγαλύτερη χωρική ανάλυση. Συμπερασματικά πλέον ο εν λόγω δορυφόρος βρίσκεται σε λειτουργία από το έτος 2001 παρέχοντας εικόνες

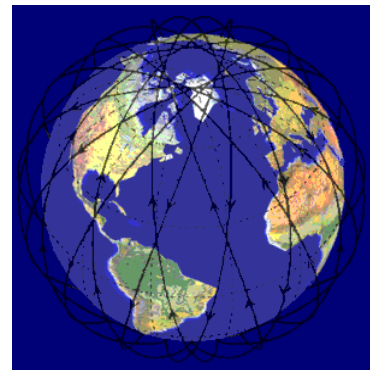
χωρικής διακριτικής ικανότητας 0,61m στο παγχρωματικό και 2,44m στο πολυφασματικό με ύψος τροχιάς 450km. (Πηγή: www.digitalglobe.com).

2. Χαρακτηριστικά της τροχιάς του Quickbird

Ο Quickbird, όπως και οι υπόλοιποι δορυφόροι που συλλέγουν δεδομένα για την γήινη επιφάνεια, ανήκει στην κατηγορία των ηλιο-σύγχρονων τροχιών, με επίπεδο τροχιάς σχεδόν πολικό, όμοια με τροχιά δηλαδή του δορυφόρου Ikonos που αναφέρεται αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 2) (Εικόνες 2 & 3).

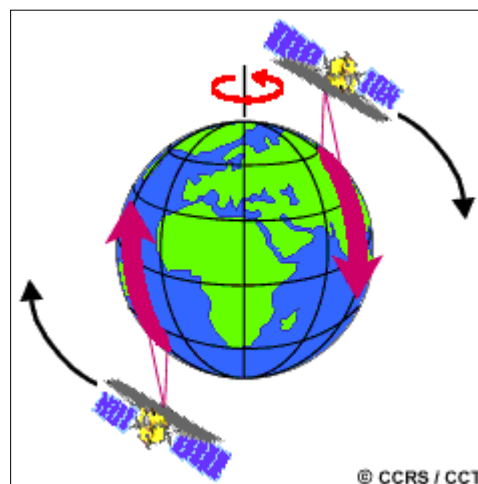


Εικόνα 2: Τα τροχιακά περάσματα του δορυφόρου κατά την διάρκεια μιας ημέρας, γύρω από την γη.



Εικόνα 3: Η τροχιά των ηλιοσύγχρονων δορυφόρων όπως φαίνεται από ένα σημείο που περιστρέφεται με τη γη.

Όπως προαναφέρθηκε η διεύθυνση που διαγράφει ένας δορυφόρος με σχεδόν πολική τροχιά, είναι από τον Βορά προς τον Νότο και αντίστροφα με ελαφρά απόκλιση από τον άξονα περιστροφής της Γης σχηματίζοντας έτσι μια γωνιακή κλίση από τον Ισημερινό η οποία είναι ίση με 97.2° . Η διάρκεια μιας πλήρους περιστροφής του είναι 93.5 min. Κατά την διάρκεια αυτής της περιστροφής για την ολοκλήρωση μιας πλήρους τροχιάς ο δορυφόρος ανεβαίνει από τον Βόρειο πόλο προς τον Νότιο κατά την διάρκεια της ημέρας και συνεχίζει με την κατάβασή του προς τον Βόρειο πόλο κατά την διάρκεια της νύκτας (Εικόνα 4). Συνεπώς, λόγω του ότι ο Quickbird ανήκει στα παθητικά συστήματα καταγραφής της ηλεκτρομαγνητικής



Εικόνα 4: Ανιούσα και κατιούσα δορυφορική τροχιά. (Πηγή: CCRS 1998)

ακτινοβολίας, η λήψη των δεδομένων πραγματοποιείται μόνο κατά την διάρκεια της ημέρας, δηλαδή κατά την κατιούσα τροχιά (Μερτίκας Σ, et al. 1999).

Το ύψος πτήσης του δορυφόρου είναι 450km και η ταχύτητα με την οποία κινείται είναι 7.1km/sec, διερχόμενος από τον Ισημερινό τη χρονική στιγμή 10:30 πμ, δηλαδή κατά την κατιούσα τροχιά. Κατά την πτήση του ο Quickbird, σε αυτό το ύψος πάνω από την γήινη επιφάνεια, επιτυγχάνει για την απόκτηση μιας πλήρους εικόνας να καλύψει μια έκταση 16.5km στο ναδίρ. Ο χρόνος επανεπίσκεψης πάνω από ένα συγκεκριμένο σημείο εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και είναι περίπου 1-3.5 μέρες στις 30° εκτός ναδίρ (Meek M. et. al., 2003).

Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της τροχιάς του Quickbird.

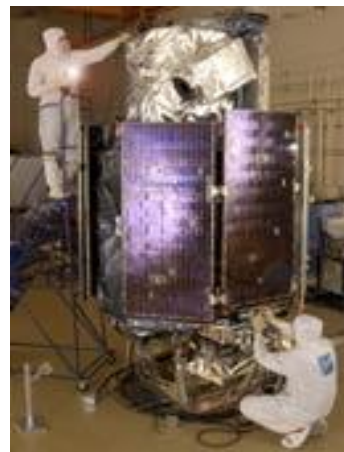
Ύψος πτήσης (Altitude)	450km
Γωνία κλίσης (Inclination)	97.2°
Τύπος	Σχεδόν πολική (Near-polar) Ηλιο-σύγχρονη (Sun-synchronous)
Διάρκεια πλήρους περιστροφής (Orbit Time)	93.5 min
Έκταση κάλυψης μιας πλήρους εικόνας	16.5km στο ναδίρ
Ταχύτητα	7.1km. /sec. (25.560km/hr)
Ωρα διέλευσης από τον Ισημερινό (Descending Nodal Crossing Time)	10:30 a.m.
Συχνότητα επανεπίσκεψης (Revisit frequency)	1-3.5 (rev/day) 30° εκτός ναδίρ

Πίνακας 4: Βασικά χαρακτηριστικά της τροχιάς του Quickbird

3. Τεχνική αναπαράσταση της πλατφόρμας του δορυφόρου

3.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Ο Quickbird χρησιμοποιεί το μοντέλο BGIS 2000 σχεδιασμού δορυφορικής πλατφόρμας. Τα δυο βασικά μέρη που συνθέτουν τον δορυφόρο είναι η πλατφόρμα του με την ονομασία BCP 2000 και η ψηφιακή κάμερα BHRC 60 (**Εικόνα 5**). Ο καθορισμός της θέσης του αεροσκάφους στο χώρο και ο έλεγχος του υποσυστήματός καθώς επίσης και ο εντοπισμός του πραγματοποιείται από δέκτες GPS. Επίσης σε αυτό συμβάλουν και δυο αστρικοί ανιχνευτές (IRUs), ηλιακοί αισθητήρες και μαγνητόμετρα. Η ηλεκτρική του ισχύς είναι 1500Watt και παρέχεται από δυο "πλάκες" των τριών ηλιακών κυψελών εμβαδού 3.2m^2 η κάθε πλάκα, με ανεξάρτητο άξονα περιστροφής. Ο προκαθορισμένος χρόνος ζωής είναι 5 χρόνια από τα τέλη του έτους 2001. Το ύψος του αεροσκάφους είναι 3.04m και το συνολικό του βάρος 931kg. (Πηγή: directory.eoportal.org/pres_QUICKBIRD2.html).

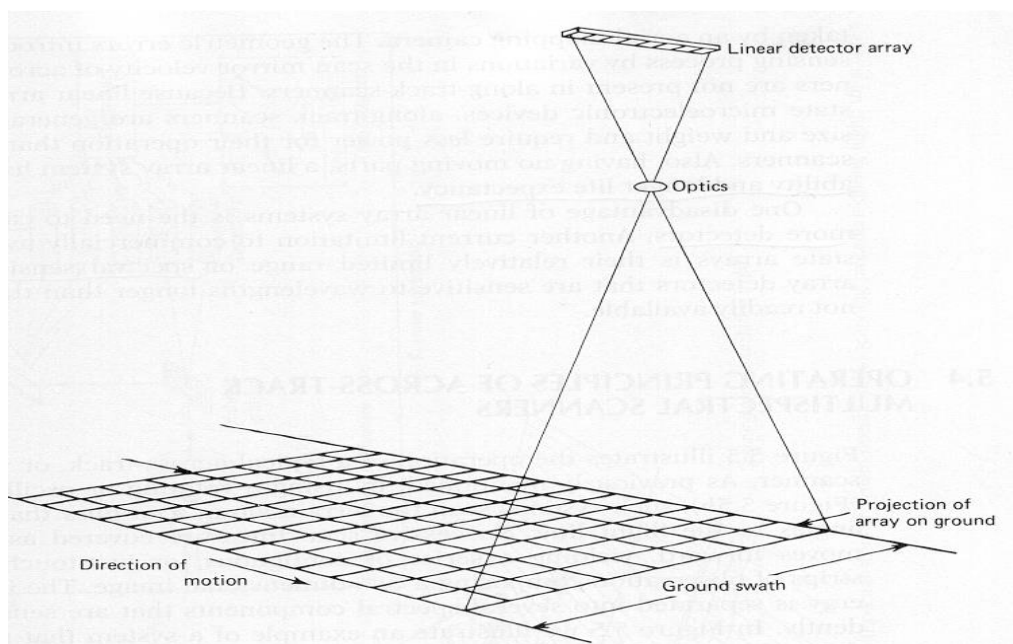


Εικόνα 5: Δορυφορική πλατφόρμα BGIS 2000.
(Πηγή: www.ballaerospace.com/quickbird.html)

3.2 Αισθητήριο όργανο καταγραφής

3.2.1 Τεχνοτροπία σάρωσης

Ο δορυφόρος Quickbird όμοια με τον Ikonos ανήκει στα συστήματα διανυσματικής καταγραφής (**Εικόνα 6**) και έχει την δυνατότητα περιστροφής ολόκληρης της πλατφόρμας (BCP 2000) και όχι απλώς του αισθητήριου οργάνου, σημαδεύοντας προς την κατεύθυνση για την συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων (Lillesand Th. & Kiafer Ra., 2000). Το γεγονός αυτό του προσδίδει μεγαλύτερο χρόνο διαμονής κατά την διάρκεια καταγραφής ενός σημείου, βελτιώνοντας έτσι την χωρική και φασματική διακριτική ικανότητα καθώς το καταγραφόμενο σήμα ενισχύεται (Ball Aerospace & Technologies Corp).



Εικόνα 6: Τεχνική σάρωσης του Quickbird.

3.2.2 Φωτογραφικό σύστημα του δορυφόρου

Το αισθητήριο όργανο καταγραφής του δορυφόρου Quickbird, αποτελείται από μια ψηφιακή κάμερα, BHRC 60 (Ball High Resolution 60) (Εικόνα 7), που περιλαμβάνει πέντε φασματικά κανάλια, ένα στον παγχρωματικό και τέσσερα στον πολυφασματικό δέκτη. Μετά την επανάσταση που έφερε ο δορυφόρος Ikonos στην παρατήρηση της Γης από το διάστημα, πλέον ο Quickbird κατέχει την πρώτη θέση καθώς η χωρική διακριτική ικανότητα που επιτυγχάνει είναι σημαντικά μικρότερη του ενός μέτρου. Συγκεκριμένα ο παγχρωματικός δέκτης καταγράφει εικόνες με χωρική ανάλυση 0.61 cm και ο πολυφασματικός 2.44 cm στο ναδίρ. Το μοντέλο της κάμερας έχει κατασκευαστεί από την Ball Aerospace & Technologies Corp σε



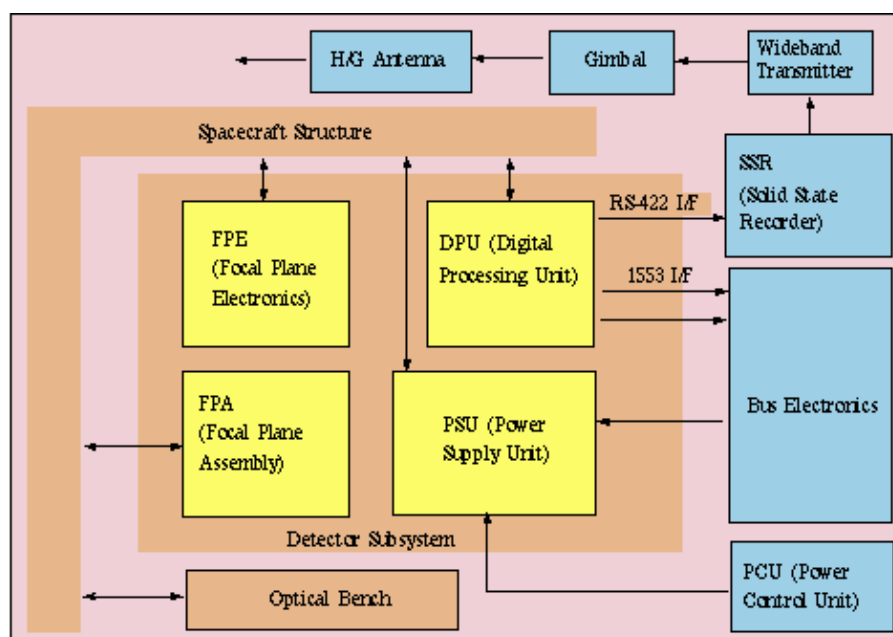
Εικόνα 7: Ψηφιακή κάμερα, BHRC 60 (Πηγή: www.ballaerospace.com/quickbird.html)

συνεργασία με την Kodak Commercial & Government Systems η οποία και είναι υπεύθυνη για την κατασκευή δυο βασικών μονάδων της οι οποίες είναι ίδιας τεχνολογίας με αυτά της ψηφιακής κάμερας του Ikonos (1000TM), με μοναδική διαφοροποίηση στο μέγεθός της. (Πηγή: www.ballaerospace.com/pdf/bhrc.pdf).

Η κάμερα απαρτίζεται από πέντε επιμέρους μονάδες, τη μονάδα Οπτικού Συστήματος, την μονάδα Εστιακού Επιπέδου και τη μονάδα Ψηφιακής Επεξεργασίας, εκ των οποίων οι δυο τελευταίες έχουν ήδη παρουσιαστεί στο κεφάλαιο του Ikonos. Η αναλυτική περιγραφή των μονάδων του οπτικού υποσυστήματος της κάμερας γίνεται παρακάτω.

Μονάδα Οπτικού Υποσυστήματος (Optical Subsystem)

Το οπτικό υποσύστημα (**Εικόνα 8**) αποτελείται από ένα τηλεσκόπιο το οποίο βασίζεται πάνω σε ένα οπτικό έδρανο της δορυφορικής εξέδρας. Το διάφραγμα του φακού έχει διάμετρο 60 cm με οπτικό εύρος 8,8 m, μάζας 138kg και μεγέθους 115cm x 141 cm x 195 cm. Η καταγραφόμενη ηλιακή δέσμη διέρχεται αρχικά μέσα από τρεις κοίλους αστιγματικούς φακούς ενώ ένα τέταρτο κάτοπτρο χρησιμοποιείται για την αναδίπλωση της δέσμης αυτής. Συνεπώς επιτυγχάνει την μεγέθυνση του οπτικού πεδίου

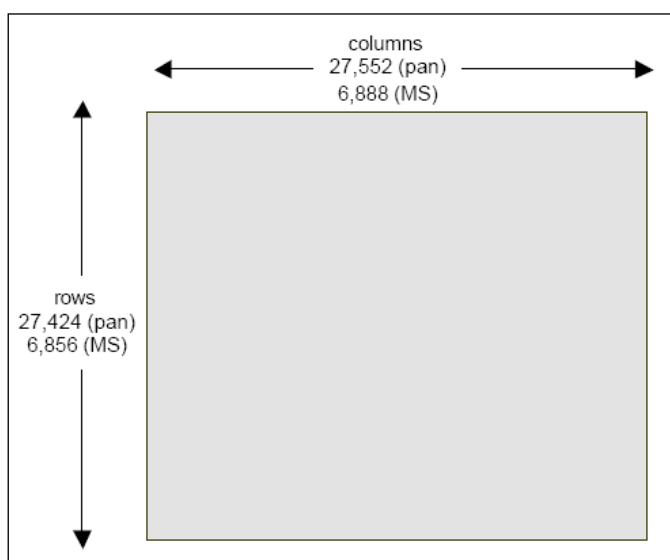


Εικόνα 8: Λειτουργικό διάγραμμα ροής του υποσυστήματος της κάμερας BHRC 60. (Πηγή: directory.eoportal.org/pres_QUICKBIRD2.html)

καταγραφής (FOV) παρέχοντας λωρίδα σάρωσης πλάτους ίσο με 15 km σε ύψος τροχιάς περίπου 400 km ή 54km σε ύψος 900 km με χωρική διακριτική ικανότητα που κυμαίνεται μεταξύ 0.5 m και 1.5 m αντιστοίχως.

3.2.3 Παγχρωματικός και Πολυφασματικός αισθητήρας

Η συστοιχία CCD του ανιχνευτή καταγράφει 27.568 pixels κατά την απόκτηση μιας εικόνας, στο παγχρωματικό κανάλι και 6.892 pixels για κάθε ένα από τα πολυφασματικά κανάλια (Εικόνα 9). Η χωρική διακριτική ικανότητα των φασματικών ζωνών του



Quickbird παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2).

Εικόνα 9: Αριθμός εικονοστοιχείων που καταγράφονται κατά τη λήψη μιας περιοχής από τον παγχρωματικό (pan) και πολυφασματικό (MS) δέκτη.

Φασματικό (Band)	Κανάλι	Φασματικό Εύρος	Χωρική ικανότητα	διακριτική
Παγχρωματικό (Pan)		0.45-0.90 μm	0.61 m	
Κανάλι 1 (Μπλε)		0.45-0.52 μm	2.44 m	
Κανάλι 2 (Πράσινο)		0.52-0.60 μm	2.44 m	
Κανάλι 3 (Κόκκινο)		0.63-0.69 μm	2.44 m	
Κανάλι 4 (Κοντινό Υπέρυθρο)		0.76-0.90 μm	2.44 m	
(NIR: Near infrared)				

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά των φασματικών ζωνών του δορυφόρου Quickbird

Παρακάτω ακολουθεί η συνοπτική παρουσίαση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων της ανάλυσης των δυο αισθητήριων οργάνων.

Χωρική ανάλυση

Κατά απόκτηση μιας εικόνας το 90% των καρέ που συλλέγονται, πραγματοποιείται σε γωνία 0° - 15° από το ναδίρ. Συνεπώς η χωρική διακριτική ικανότητα του Quickbird συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 0.61 cm στο ναδίρ και 0.66 cm στις 15° εκτός ναδίρ στο παγχρωματικό κανάλι. Αντίστοιχα για τα τέσσερα πολυφασματικά κανάλια για τις ανάλογες γωνίες απόκτησης, οι τιμές είναι 2.44 cm και 2.7 cm. Το πλάτος σάρωσης στη δεδομένη χωρική ανάλυση είναι από 16.5 km έως 18 km.. Άρα η επέκταση του κάθε καρέ της παραγόμενης εικόνας είναι κατά προσέγγιση από 270 έως και 300 τμ.km. Επίσης παρόμοια με τον Ikonos, ο Quickbird, έχει την δυνατότητα συνδυασμού παγχρωματικών και πολυφασματικών δεδομένων για την εξαγωγή εικόνας pansharpened. (Πηγή: www.digitalglobe.com).

Φασματική Ανάλυση

Ο Quickbird έχει την φασματική διακριτική ικανότητα να καταγράφει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στις περιοχές του ορατού και του κοντινού υπέρυθρου του οπτικού φάσματος. Συγκεκριμένα στον παγχρωματικός δέκτη η πληροφορία εξάγεται από την περιοχή του μπλε χρώματος (0.45 μm -0.52 μm), έως την περιοχή του κοντινού υπέρυθρου (0.76 μm -0.90 μm). Ο πολυφασματικός δέκτης καταγράφει ισόποσα διακριτά μεγέθη από την περιοχή του μπλε χρώματος έως και την περιοχή του κοντινού υπέρυθρου. (Πηγή: www.digitalglobe.com).

Ραδιομετρική Ανάλυση

Η ραδιομετρική ευαισθησία των εικόνων, είναι 11 bit για κάθε φασματικό κανάλι, προδίδοντας έτσι ένα εύρος 2048 τόνων του γκρι χρώματος, δηλαδή ο αριθμός αυτός εκπροσωπεί τον αριθμό των πιθανών DN (Digital Number) τιμών, για κάθε κανάλι σε μια εικόνα. Το γεγονός αυτό παρέχει την δυνατότητα, με κατάλληλη επεξεργασία, την πιο εύκολη και λεπτομερή εξαγωγή πληροφοριών από περιοχές με υψηλά επίπεδα σκίασης που σε πρώτη ανάλυση φαίνεται αδύνατη. (Πηγή: www.digitalglobe.com).

Χρονική Ανάλυση

Η χρονική ανάλυση σχετίζεται με την συχνότητα επανεπίσκεψης του δορυφόρου πάνω από μια συγκεκριμένη περιοχή, δηλαδή την συχνότητα λήψης εικόνων της περιοχής αυτής (Παρχαρίδης I. et al. 2003). Η περίοδος επαναληψιμότητας για μία περιοχή εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και κυμαίνεται από 1 έως και 3.5 για γωνία παρατήρησης 30° εκτός ναδip. (Πηγή: www.digitalglobe.com).

4. Διαδικασία συλλογής της πληροφορίας

Η γεωμετρία απόκτησης εικόνων στον δορυφόρο Quickbird είναι παρόμοια με αυτή του Ikonos (βλέπε Κεφάλαιο 2).

5. Τα προϊόντα του Quickbird

Τα παγχρωματικά και πολυφασματικά δεδομένα όπως επίσης και τα δεδομένα pan-sharpened του δορυφόρου, προσφέρονται για εικονική ανάλυση και διερμηνεία και μπορούν να συνδυαστούν με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) για χαρτογραφήσεις. Η εταιρεία που προμηθεύει και διανέμει τα δεδομένα αυτά, φροντίζει για το ποσοστό γεωμετρικής τους επεξεργασία, ανάλογα με την χρήση στην

οποία αποσκοπεί ο εκάστοτε αγοραστής. Η γεωμετρική διόρθωση που εξασφαλίζεται γίνεται σε μικρό βαθμό καθώς ο αγοραστής έχει την πλήρη δυνατότητα για περεταίρω επεξεργασία, σε αντίθεση με το μοντέλο γεωμετρικής επεξεργασίας που χρησιμοποιεί η Space Imaging Inc, όπου έχει μικρότερο περιθώριο επέμβασης .

(Πηγή:www.digitalglobe.com/downloads/QuickBird%20Imagery%20Products%20-%20Product%20Guide.pdf)

Τα βασικά επίπεδα προϊόντων, ανάλογα με τον βαθμό επεξεργασίας, που είναι διαθέσιμα προς πώληση είναι τρία,

- *Basic Imagery*
- *Standard and Standard Ortho-ready Imagery*
- *Orthorectified Imagery*

Συμπληρωματικά υπάρχει και ένα τέταρτο επίπεδο το οποίο είναι πλήρως γεωμετρικά διορθωμένο, με την ονομασία *Ortho Product* (Volpe F. et al. 2003)

(<http://www.eurimage.com/products/quickbird.html>)

6. Είδη τύπων (format) των αρχείων

Τα προϊόντα του δορυφόρου μπορούν να αποσταλούν στους τρεις παρακάτω τύπους αρχείων,

- *GeoTIFF 1.0*
- *NITF 2.0*
- *NITF 2.1*

7. Χαρτογραφικές προβολές και ελλειψοειδή που υποστηρίζονται

Τα προβολικά συστήματα στα οποία αναφέρονται τα προϊόντα του Quickbird είναι η Γεωγραφική προβολή (φ,λ), το σύστημα State Plane Coordinate System και το UTM.

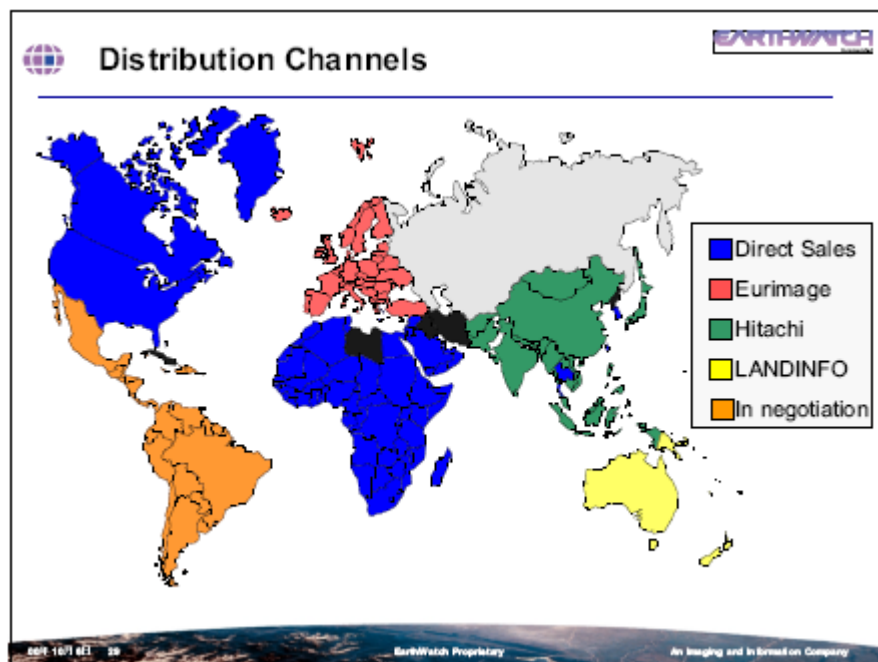
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα γεωγραφικά datums και τα αντίστοιχα ελλειψοειδή.

Γεωγραφικά Datums	Ελλειψοειδή
GDA 1994	AFN
GRS80	GRS80
NAD27	Clarce 1866
NAD83	GRS80
WGS84	WGS84
Tokyo	Bessel 1841

Πίνακας 6: Γεωγραφικά Datums & Ελλειψοειδή των εικόνων του Quickbird (Πηγή: DigitalGlobe Product Guide).

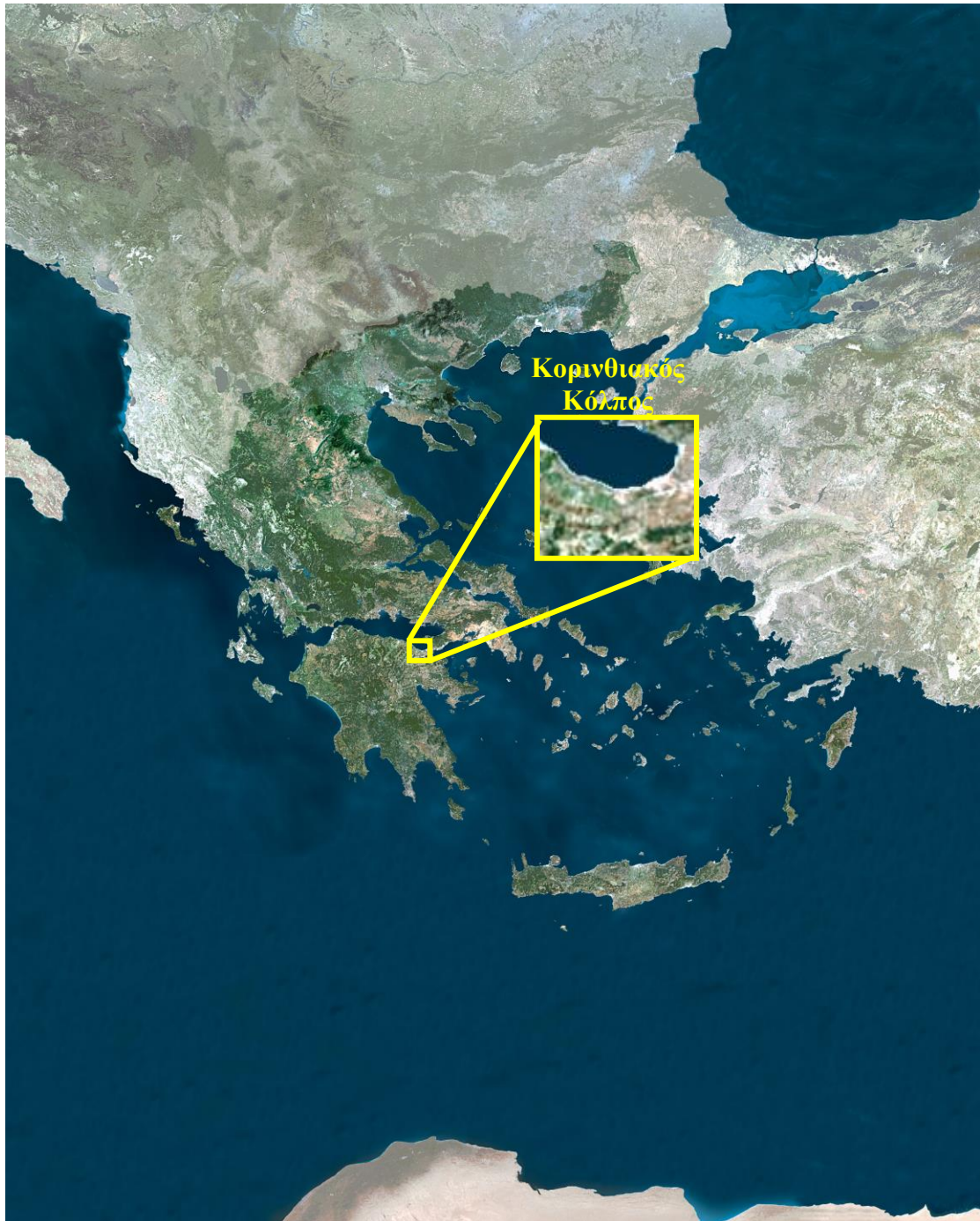
8. Περιοχές κάλυψης του δορυφόρου

Οι εικόνες του δορυφόρου μπορούν να αποκτηθούν από οποιοδήποτε περιοχή παγκοσμίως, σε μια δεδομένη χρονική στιγμή και τιμή. Στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 10**), παρουσιάζονται οι εταιρίες πώλησης των προϊόντων του Quickbird, ανάλογα με την περιοχή κάλυψης του δορυφόρου.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Περιοχή μελέτης



(Πηγή: <http://earth.esa.int/cgi-bin/satimsgsql.pl?search=greece&sat=0>)

1. Γενικά στοιχεία

Ο Νομός Κορινθίας καταλαμβάνει το βορειοανατολικό τμήμα της Πελοποννήσου. Συνορεύει Δυτικά με το Νομό Αχαΐας, Νότια με το Νομό Αργολίδος, Βόρεια βρέχεται από τον Κορινθιακό Κόλπο και Ανατολικά από τον Σαρωνικό Κόλπο. Έχει έκταση 2.289 τετραγωνικών χιλιομέτρων και πληθυσμό 142.365 κατοίκους. Στα παράλια του νομού υπάρχουν μικρές ακατοίκητες νησίδες. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι οι Αλκυονίδες Νήσοι (Ζωοδόχος Πηγή, Δασκαλειό, Γλαρονήσι, Πρασονήσι και Πλατειά). Πρωτεύουσα του νομού είναι η Κόρινθος.

(Πηγή: www.geocities.com/world_greek_geografia/Greekstart/start.htm).



Εικόνα 1: Χάρτης του Νομού Κορίνθου.

2. Γεωγραφία

Έδαφος

Εκτός από μια στενή πεδινή έκταση στα παράλια του νομού, το έδαφος είναι ορεινό και ημιορεινό. Αναλυτικά η κατανομή του σε κατηγορίες έχει ως εξής: 11,8% πεδινό, 31,4% ημιορεινό και 56,8% ορεινό.

Όρη

Στην Κορινθία δεσπόζει η οροσειρά της Κυλλήνης (2.376 μ.). Στα Ανατολικά υψώνονται οι κορυφές Αροάνια και Σαϊτιάς και στα Νότια τα Όνεια Όρη και η Ακροκόρινθος.

Πεδιάδες

Οι μόνες πεδινές εκτάσεις της Κορινθίας απλώνονται κατά μήκος των ακτών και γύρω από την Κόρινθο και είναι πολύ εύφορες. Αξίζει ακόμη να αναφερθεί ως πεδιάδα και το εύφορο οροπέδιο του Φαίνου.

Ποταμοί

Μεγάλοι ποταμοί δεν υπάρχουν στην Κορινθία. Υπάρχουν μόνο μικρά ποτάμια όπως ο Ασωπός που πηγάζει από τον Ολίγυρτο, ο Λογγοπόταμος που πηγάζει από το Χιλιομόδι, ο Κουτσοδιώτικος που πηγάζει από την περιοχή της Νεμέας και ο Λέχοβας που πηγάζει από την Κυλλήνη.

Λίμνες

Στην Κορινθία υπάρχει μόνο μία λίμνη, η λίμνη της Στυμφαλίας. Παλιότερα υπήρχε και δεύτερη, η λίμνη του Φενεού, που έχει αποξηραθεί. Η λίμνη της Στυμφαλίας, που έχει αποξηραθεί και αυτή στο μεγαλύτερο μέρος της, βρίσκεται στα νότια της Κυλλήνης.

Ιαματικές Πηγές

Σε όλο το νομό υπάρχουν συνολικά επτά ιαματικές πηγές. Δύο από αυτές είναι όμως μόνο αναγνωρισμένες και τελούν υπό συστηματική εκμετάλλευση. Αυτές είναι η ιαματική πηγή του Λουτρακίου με χλωριονατριούχα και ελαφρά ραδιενεργά νερά και τα Λουτρά της Ελένης με χλωριονατριούχα νερά.

Δάση

Ο Νομός Κορινθίας δεν έχει εκτεταμένη δασοκάλυψη, σε σχέση με το ορεινό του εδάφους της. Σημαντική όμως οικολογική παράμετρο αποτελούν για το νομό τα δασικά φυσικά οικοσυστήματά του, που καλύπτουν το 54% της συνολικής έκτασής του. Τα κυριότερα είδη δέντρων που συναντώνται είναι το έλατο και το πεύκο. Τα πεύκα αποδίδουν μεγάλη ποσότητα ρετσινιού, που τελεί υπό ειδική επεξεργασία στο εργοστάσιο στην Ποσειδώνια.

Κλίμα

Στα παράλια της Κορινθίας το κλίμα έχει σε γενικές γραμμές τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού κλίματος, δηλαδή ήπιους και βροχερούς χειμώνες, σχετικώς θερμά και ξηρά καλοκαίρια και μεγάλη ηλιοφάνεια όλο σχεδόν το χρόνο.

2. Γεωλογία

Γεωλογικώς η Κορινθία ανήκει στο ευρύτερο γεωλογικό σύνολο, που προέκυψε από τη σύγκλιση και τελική σύγκρουση των ηπειρωτικών πλακών της Αφρικής και της Ευρασίας. Έτσι, με βάση τη χρονολόγηση των πετρωμάτων του Νομού, προκύπτει ότι τα παλαιότερα πετρώματα είναι οι ασβεστόλιθοι, που εμφανίζονται στο δρόμο Λουτρακίου - Περαιχώρας, μετά τη διασταύρωση προς Άγιο Πατάτιο. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί καλύπτουν μικρή έκταση επιφανειακά, έχουν μικρό πάχος (3-4 μέτρα) και διασχίζονται από ηφαιστειακά πετρώματα. Η ηλικία τους είναι Περμίου δηλ. 230-285 εκατομμύρια χρόνια, από σήμερα. Επίσης, παρόμοια πετρώματα ίδιας ηλικίας εμφανίζονται στην εθνική οδό Κορίνθου - Αθηνών, μετά τους Αγίους Θεοδώρους, στη θέση Παλαιά Μονή βόρεια του Αγιονορίου και στη θέση Προφήτης Ηλίας βόρεια του Στεφανίου. Τριαδικής ηλικίας πετρώματα (195-225 εκατομμύρια χρόνια από σήμερα) εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή ΒΑ του Σοφικού καλύπτοντας μεγάλη έκταση, στην Περαιχώρα, στο παράκτιο τμήμα της Μυλοκοπής, έως τον όρμο Μικρά Στραβά και είναι ασβεστόλιθοι. Ιουρασικής ηλικίας πετρώματα (135-195 εκατομμύρια χρόνια από σήμερα) εμφανίζονται, κυρίως, στις περιοχές νοτίως του Σοφικού και του Αγίου Βασιλείου, βόρεια του Λουτρακίου και είναι ασβεστόλιθοι. Ίδιας ηλικίας είναι και ο ασβεστόλιθος του Ακροκορίνθου. Επίσης, οι οφιόλιθοι που εμφανίζονται κυρίως στα Γεράνεια όρη και στο Μαυροβούνι είναι της ίδιας ηλικίας. Κρητιδικής περιόδου (65-135 εκατομμύρια χρόνια από σήμερα) είναι οι ασβεστόλιθοι της περιοχής νότια του Λουτρού και του λόφου της Κορφιώτισσας και η φλύσχη της περιοχής της Περαιχώρας. Νεώτερα πετρώματα είναι οι γνωστές "ασπριές", που η ηλικία τους είναι πλειοκαινική (τέλος Τριτογενούς) και καλύπτουν την ημιλοφώδη ζώνη του νομού. Τέλος, οι ηλικιακά νεώτεροι γεωλογικοί σχηματισμοί είναι οι τεταρτογενείς (2 εκατομμύρια χρόνια από σήμερα), που

καλύπτουν κυρίως την παράκτια ζώνη και τις κλειστές εσωτερικές λίμνες (Νεμέας, Κλεωνών, Κεφαλαρίου).

4. Οικονομία

Ο βασικός κλάδος της οικονομίας της Κορινθίας είναι η γεωργία. Το πεδινό τμήμα του νομού αποτελεί ένα από τα παραγωγικότερα τμήματα της χώρας. Η αγροτική παραγωγή έχει κύρια στοιχεία τη σταφιδοπαραγωγή, τα εσπεριδοειδή, τα οπωρικά και τα κηπευτικά. Σχετικά αναπτυγμένα είναι και η κτηνοτροφία, κυρίως των μικρών ζώων. Σημαντικός οικονομικός παράγοντας του νομού είναι και η βιομηχανία επεξεργασίας και συσκευασίας αγροτικών προϊόντων.

5. Αρχαιολογία της περιοχής μελέτης

5.1 Αρχαία Κόρινθος

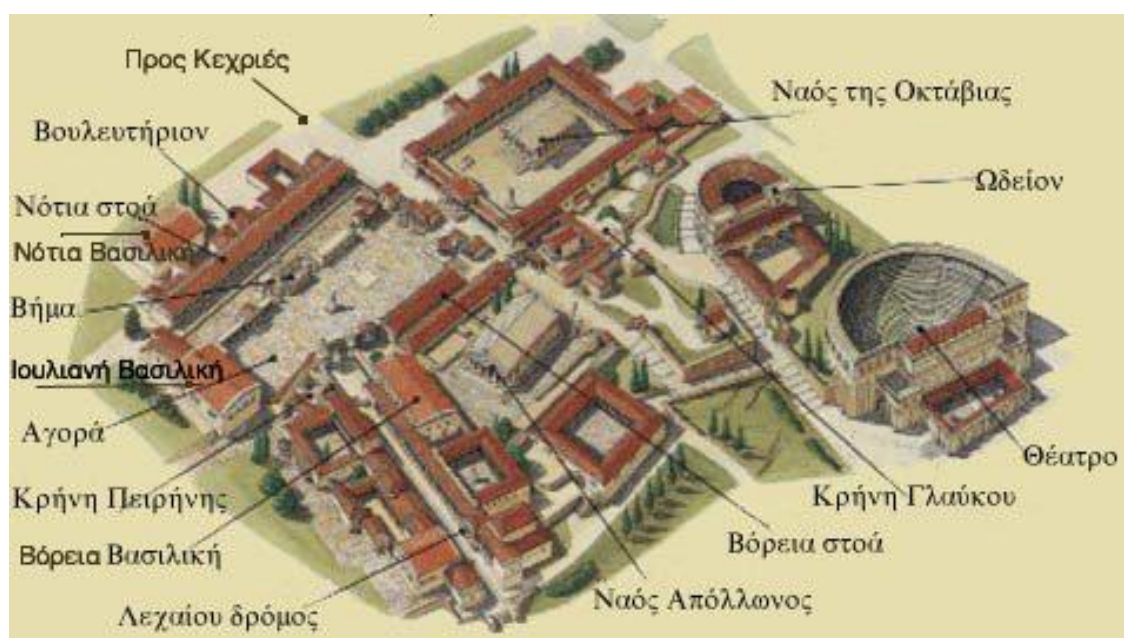
Οι αρχικές ανασκαφές διεξήχθησαν το έτος 1892 από την ελληνική αρχαιολογική εταιρία περιμετρικά της περιοχής της παλαιάς πόλης. Στο χώρο της αγοράς οι συστηματικές μελέτες άρχισαν 1986 από την αμερικάνικη αρχαιολογική σχολή των Αθηνών, η οποία συνεχίζει την έρευνά της μέχρι και σήμερα. Η σημαντική θέση της αρχαίας Κορίνθου κατοικήθηκε από τα νεολιθικά χρόνια (5000-3000 π.Χ.). Η μεγάλη όμως ακμή της αρχίζει από τον 8ο π.Χ. αιώνα και συνεχίζεται μέχρι την καταστροφή της από τον Ρωμαίο στρατηγό Μόμμιο το 146 π.Χ. Η καταστροφή της Κορίνθου κατά το έτος 146 π.Χ. αποτελεί καίρια διαχωριστική γραμμή στην ιστορία της πόλης και των μνημείων της, μετατρέποντας την πόλη σε ρωμαϊκή αγορά. Τα ερείπια του αρχαϊκού ναού του Απόλλωνος που υψώνονται στο χαμηλό λόφο της αγοράς είναι τα μόνα εμφανή κατάλοιπα της προρρωμαϊκής πόλης (**Εικόνα 2**).

(Πηγή: www.korinthia.net/arxaia-korinthos.htm).



Εικόνα 2: Αρχαιολογικός χώρος της ρωμαϊκής αγοράς της αρχαίας Κορίνθου. (Πηγή: <http://www.korinthia.net/arxaia-korinthos.htm>)

Παρακάτω ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση των κυριότερων αρχαιολογικών οντοτήτων της πόλης, των οποίων η αναγνώριση και ανάδειξη θα πραγματοποιηθεί μέσω των δορυφορικών δεδομένων. Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται μια αναπαράσταση του αρχαιολογικού χώρου της πόλης της Κορίνθου.



Εικόνα 3: Κάτοψη των ανασκαφέντων θεμελίων στην πόλη της Αρχαίας Κορίνθου. Δεξιά απεικονίζεται το θέατρο και το ωδείο, στη μέση ο αρχαϊκός ναός του Απόλλωνα και αριστερά η οδός Λεχαιού. (Πηγή: http://www.sikyon.com/Korinth/Monuments/korinth_vgr00.html)

Στο κέντρο της εικόνας 3 φαίνεται ο επιβλητικός **αρχαϊκός ναός του Απόλλωνα**, με τους μονολιθικούς δωρικούς κίονες από τους οποίους εφτά παραμένουν όρθιοι σε περίοπτη θέση πάνω από τα ερείπια της αγοράς (**Εικόνα 4**). Οι δωρικοί κίονες του πτερού ήταν 6 στις στενές πλευρές και 15 στις μακρές. Για τη στήριξη της οροφής υπήρχαν και εσωτερικές κιονοστοιχίες κατά μήκος του αρκετά επιμήκους σηκού, ο οποίος ήταν χωρισμένος σε δύο δωμάτια και επιπλέον σε πρόναο και οπισθόδομο που είχαν στην πρόσοψή τους ανά δυο κίονες ανάμεσα σε παραστάδες. Ο ναός χτίστηκε περί το 550 π.Χ. και ανοικοδομήθηκε κατά τα ρωμαϊκά χρόνια οπου και αφιερώθηκε στον Απόλλωνα. Η αγορά είχε μορφή ορθογωνίου και διαστάσεις 160 μέτρα μήκος και 70 πλάτος. Τα κυριότερα κτίσματα που την περιβάλλουν είναι η **νότια στοά**, που σχηματίζεται από σειρά ομοιόμορφων καταστημάτων, καθένα από τα οποία ήταν χωρισμένο σε δύο δωμάτια. Μπροστά στα καταστήματα υπάρχει διπλή σειρά κιονοστοιχίας. Η εξωτερική ήταν δωρική, ενώ η εσωτερική ιωνική. Άλλη σειρά καταστημάτων της αγοράς είναι τα κεντρικά καταστήματα με το **"βήμα του Αποστόλου Παύλου"** ανάμεσά τους και μία άλλη σειρά είναι τα **βορειοδυτικά καταστήματα**, που περιλαμβάνουν το χαρακτηριστικό τοξωτό οικοδόμημα. Αφήνοντας την αγορά και κατεβαίνοντας τα μνημειακά σκαλοπάτια των προπυλαίων, προσεγγίζουμε την **οδό Λεχαίου** (**Εικόνα 5**). Δεξιά και αριστερά της οδού υπήρχαν, κατά μήκος του πλακόστρωτου, στενά πεζοδρόμια με ρείθρα για τα νερά της βροχής. Η οδός πλαισιώνονταν με στοές. Δια μέσου μίας στοάς στην αρχή της ανατολικής πλευράς ήταν προσιτή μια σειρά καταστημάτων. Άλλα καταστήματα υπήρχαν σε παρόδια τετράπλευρη αγορά στην δυτική πλευρά της οδού. Ανατολικά του βόρειου τμήματος της οδού Λεχαίου εντοπίζεται η πρόσοψη μιας **ρωμαϊκής βασιλικής** προς το εσωτερικό της κεντρικής αγοράς. Το **Ωδείο**, (**Εικόνα 6**), το οποίο κατασκευάστηκε στο τέλος του 1ου αιώνα μ.Χ., ανακαινίστηκε από τον Ηρώδη τον Αττικό και δημιουργήθηκε τότε η αυλή του με στοές γύρω, η οποία έφερε το ωδείο πλησιέστερα στο θέατρο. Αυτό βρίσκεται λίγο χαμηλότερα. Βεβαιώθηκαν ίχνη ενός παλιότερου **θεάτρου** του τέλους του 5ου π.Χ. αιώνα με ξύλινη σκηνή (**Εικόνα 7**). Τον 3ο π.Χ. αιώνα το θέατρο αποκτά χτιστή σκηνή. Το κοίλο του (κερκίδες) υπολογίζεται πως ήταν χωρητικότητας 18.000 θεατών. Στην αρχή του 3ου μ.Χ. αιώνα η ορχήστρα μετατράπηκε σε ρωμαϊκή αρένα για θηριομαχίες (Παπαχατζής Ν. 2002). (Πηγή: www.culture.gr/2/21/211/21104a/g211da05.html)



Εικόνα 4: Οι επτά εναπομείναντες δωρικοί κίονες του ναού του Απόλλωνα.



Εικόνα 5: Η λιθόστρωτη οδός του Λεχαίου. Στο πίσω μέρος της εικόνας φαίνεται το όρος στο οποίο βρίσκεται το κάστρο του Ακροκορίνθου.



Εικόνα 6: Το θέατρο της ρωμαϊκής αγοράς.



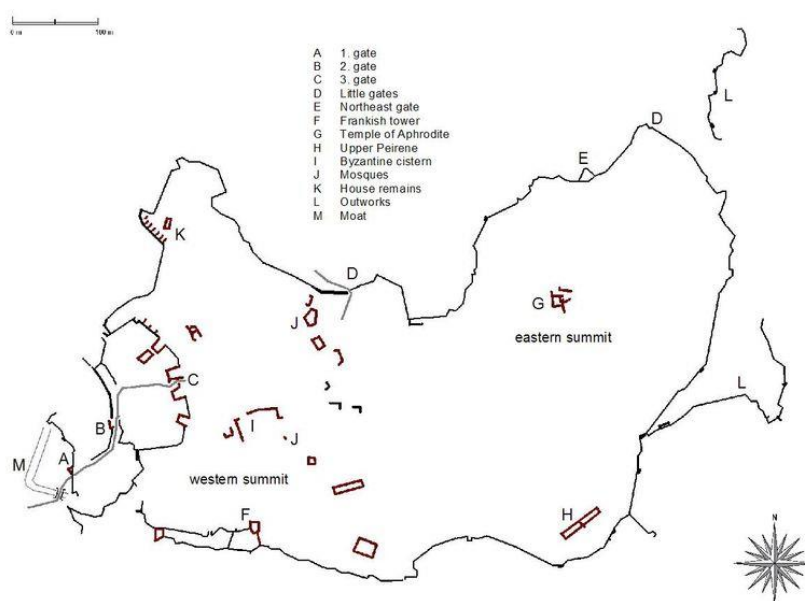
Εικόνα 7: Το ωδείο της ρωμαϊκής αγοράς.

5.2 Ακροκόρινθος

Στον Ακροκόρινθο, το κάστρο της Κορίνθου, οι ανασκαφές ξεκίνησαν το 1961 από την Αμερικανική αρχαιολογική Σχολή. Ο βραχώδης λόφος αποτελούσε την ακρόπολη της αρχαίας και μεσαιωνικής Κορίνθου και που το μεγαλύτερο ύψος του είναι 575 μέτρα και είναι προσιτός μόνο από την δυτική πλευρά όπου οδηγεί ένας ελισσόμενος δρόμος (**Εικόνα 8**). Τα σημαντικότερα κτίσματα που ήρθαν στο φως είναι τα εξής: Ο ναΐσκος της Αφροδίτης, οι μικροί ναοί που ήταν αφιερωμένοι στη Δήμητρα και την Κόρη, βωμοί του Ήλιου, η κρήνη της "επάνω Πειρήνης". Επειδή το κάστρο ήταν σε διαρκή χρήση από την πρώιμη αρχαιότητα μέχρι και πρόσφατα, τα κατά καιρούς κτίσματα έχουν αναδομηθεί διαφορετικά πολλές φορές, ενώ η χρησιμοποίηση του οικοδομικού υλικού έχει συμβεί εξίσου συχνά για να καλύψει τις ανάγκες των εποχών. Έτσι, τα ευρήματα της αρχαιότητας είναι περιορισμένα, παρά το γεγονός ότι το οικοδομικό υλικό αυτής της εποχής είναι διάσπαρτο στο χώρο και ξαναχρησιμοποιημένο σε νεότερα κτίρια. Αναλυτικότερες πληροφορίες μπορούν να αντληθούν από το σχεδιάγραμμα που ακολουθεί.

(Πηγή: www.culture.gr/2/21/212/21206a/g212fa07.html)





Εικόνα 9: Σχεδιάγραμμα της κάτοψης του κάστρου του Ακροκορίνθου.

5.3 Δίολκος

Ο Ισθμός, το στενό αυτό κομμάτι γης, που ενώνει τη Στερεά Ελλάδα με την Πελοπόννησο, αποτέλεσε, από την αρχαιότητα, μείζον ζήτημα για τους κατοίκους της Κορίνθου, αφού χώριζε το Σαρωνικό από τον Κορινθιακό κόλπο -και κατ' επέκταση το Αιγαίο από το Ιόνιο πέλαγος- και καθιστούσε τη μετάβαση από τη μία θάλασσα στην άλλη επικίνδυνη, κουραστική και χρονοβόρα. Έτσι, λοιπόν, στους χρόνους του Περίανδρου κατασκευάστηκε ο δίολκος, ένας δρόμος λιθόστρωτος, από την παραλία του Σχοινούντα (Καλαμάκι) έως του δυτικού πέρατος του καναλιού. Ο δρόμος δεν είχε χαραχτεί σε ευθεία γραμμή, με σκοπό να αποφευχθούν οι απότομες ανηφοριές και κατηφοριές, έχει πλάτος 3 έως 5,5 μέτρα και είναι στρωμένος με κανονικούς, πώρινους κυβόλιθους (Εικόνα 10). Δεξιά και αριστερά φαίνεται πως είχαν

ισοπεδωθεί χωματόδρομοι, χρήσιμοι επίσης στο έργο της μεταφοράς των σκαφών. Στη μέση του λίθινου καταστρώματος υπάρχουν δυο βαθιές παράλληλες αυλακιές, που απέχουν 1,50 μέτρα η μία από την άλλη. Στις αυλακιές αυτές κινούνταν οι τροχοί μιας, μεγάλου μήκους, κατασκευής, η οποία έφερε πάνω της το σκάφος και η οποία ονομαζόταν ολκός. Η κουραστική αυτή διαδικασία χρησιμοποιούνταν μόνο για ελαφρά πλοία και κυρίως πολεμικά, όταν ήταν πραγματικά ανάγκη να βρεθούν γρήγορα από τη μία θάλασσα στην άλλη (Παπαχατζής Ν. 2002).



Εικόνα 10: Δίολκος, λιθόστρωτος δρόμος που κατασκεύασαν οι Κορίνθιοι για να "διέλκουν" τα πλοία από τον Κορινθιακό στον Σαρωνικό κόλπο και αντίστροφα. (Πηγή: http://www.sikyon.com/Korinth/Monuments/korinth_vgr11.html)

5.4

Το τεχνητό λιμάνι του Λεχαιού είναι ένα επίτευγμα της αρχαίας κορινθιακής τεχνολογίας (Εικόνα 11). Το όνομά του προέρχεται από το Λέχη γιό του Ποσειδώνα και ήταν το κύριο επίνειο της Κορίνθου. Η κατασκευή του μεγαλύτερου μέρους του λιμανιού έγινε την εποχή του Κύψελου και του Περίανδρου, οπότε επιχώθηκε μια θαλάσσια έκταση 100 στρ. και δημιουργήθηκαν 3 εσωτερικές λιμενολεκάνες και ο μεγάλος δυτικός εξωτερικός προλιμένας. Τα χώματα της εκσκαφής σωρεύθηκαν σε δυό λόφους, ούτως ώστε να μειώνεται η ένταση των ανέμων και να προστατεύονται τα πλοία. Κατασκευάστηκαν επίσης πολλές αποθήκες και άλλες λιμενικές εγκαταστάσεις, ενώ το συνολικό μήκος των προβλητών ήταν περίπου 7 χλμ.. Το Λέχαιο ήταν ο πολεμικός ναύσταθμος της Κορίνθου όπου ναυλοχούσαν οι τριήρεις

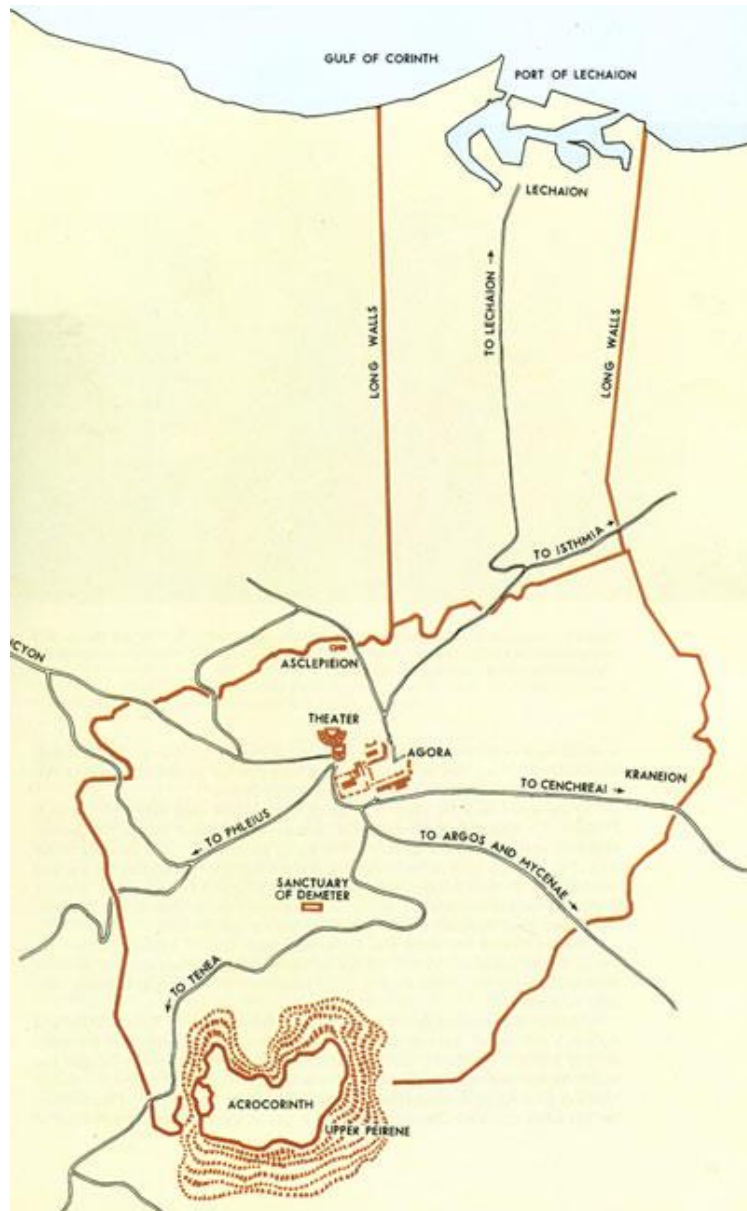
του κορινθιακού πολεμικού στόλου. Η τριήρης το κορυφαίο κωπήλατο πολεμικό σκάφος της αρχαιότητας εφευρέθηκε στα ναυπηγεία του Λεχαίου από τον Κορίνθιο ναυπηγό Αμεινοκλή. Το λιμάνι του Λεχαίου συνδεόταν με την Κόρινθο με μακρά τείχη από όπου διερχόταν η περίφημη οδός Λεχαίου που ξεκινούσε από το πρόπυλο στην αγορά της πόλης. Σήμερα το λιμάνι έχει μετατραπεί σε έλος και φιλοξενεί πολλά είδη αποδημητικών. Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η χλωρίδα του με χαρακτηριστικό εκπρόσωπο τον κρίνο της θάλασσας.



Εικόνα 11: Λέχαιο, το βόρειο λιμάνι της Κορίνθου ήταν σε ακμή στην μεταρωμαϊκή και στην παλαιοχριστιανική περίοδο. Ένα από τα κατάλοιπα της παλαιοχριστιανικής εποχής είναι τα θεμέλια της βασιλικής που εντοπίζεται μεταξύ του αρχαίου λιμανιού και της ακτογραμμής. (Πηγή: Παπαχατζής Νικ., Αθήνα 2002)

5.5 Τα τείχη της αρχαίας Κορίνθου

Κατά τον 4^ο αιώνα π.Χ. ο Ακροκόρινθος συνδέθηκε με την πόλη της αρχαίας Κορίνθου με μία σειρά τειχών, πάχους 2.4-2.6 m, τα οποία κάλυπταν την πόλη περιμετρικά. Αργότερα, κατά την ίδια περίοδο, το λιμάνι του Λεχαίου το οποίο απείχε 2.2 km από την αρχαία πόλη συνδέθηκε με αυτήν με δύο ευθύγραμμα τμήματα τείχους τα οποία κατέληγαν εκατέρωθεν του λιμανιού του Λεχαίου (Εικόνα 12).



Εικόνα 12: Πλάνο των τοιχίων περιφρούρησης της αρχαίας Κορίνθου και των μακραιών τειχών που ένωναν την Κόρινθο με το Λιμάνι του Λεχαίου. (Πηγή: Παπαχατζής Νικ., Αθήνα 2002)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

Ψηφιακή επεξεργασία και οπτική ερμηνεία των εικόνων



1. Εισαγωγή

Ο απώτερος στόχος της διαδικασίας που ακολουθήθηκε είναι ο εντοπισμός και η ανάδειξη των είδη γνωστών αρχαιολογικών οντοτήτων, εντός της περιοχής μελέτης, μέσω των δορυφορικών εικόνων. Η αναγνώριση αυτών των οντοτήτων θα γίνει μέσω της εικονικής ερμηνείας (*visual interpretation*). Η εικονική ερμηνεία των

ψηφιακών εικόνων που λαμβάνονται από τους δορυφόρους δεν επιτρέπει την πλήρη αξιοποίηση των δεδομένων. Η ανθρώπινη όραση μπορεί να ερμηνεύσει μόνο τρία επίπεδα πληροφορίας αυτών των δεδομένων κάθε φορά. Επιπλέον ένα μεγάλο τμήμα της φασματικής πληροφορίας που εμπεριέχεται στα δορυφορικά δεδομένα είναι εκτός του ορατού πεδίου του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και γενικά η αναγνώριση των φασματικών διαφορών μιας πολυφασματικής εικόνας είναι αδύνατη μέσω της ανθρώπινης όρασης. Για τον λόγο αυτό η οπτική ερμηνεία θα βασιστεί στην ψηφιακή επεξεργασία των εικόνων με την βοήθεια λογισμικού του ηλεκτρονικού υπολογιστή έτσι ώστε να γίνει δυνατή η οπτική αναγνώριση.

2. Παρουσίαση των δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον σκοπό αυτό είναι μία εικόνα του δορυφόρου Ikonos και μία εικόνα του δορυφόρου Quickbird. Παρακάτω ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση των δύο συγκεκριμένων δορυφορικών δεδομένων.

Εικόνα του δορυφόρου Ikonos

Η εικόνα καλύπτει μία περιοχή διαστάσεων μήκους 13,223 km και πλάτους 11,866 km και έχει αποκτηθεί στις 31 Οκτωβρίου του 2003 την τοπική ώρα 8:30 π.μ. έτσι ώστε να αποφευχθεί μεγαλύτερο ποσοστό πιθανής νεφοκάλυψης. Οι συντεταγμένες της είναι ορισμένες στο ελλειψοειδές WGS84 και στο προβολικό σύστημα UTM34. Οι συντεταγμένες τις εικόνας για το κάθε ακρο είναι:

Για τον άξονα των x , επάνω αριστερά: 654328.531048

κάτω δεξιά: 666193.531048

Για τον άξονα των y , επάνω αριστερά: 4208246.569888

κάτω δεξιά: 4195024.569888

Η εικόνα είναι pan-sharpened δηλαδή συνδυασμός της παγχρωματικής και της πολυφασματικής βελτιώνοντας έτσι την οπτική λεπτομέρεια στην παρουσίασή της σε κανονικά χρώματα καθώς επιτυγχάνει χωρική ανάλυση 1 m (**Εικόνα 1**).



Εικόνα 1: Εικόνα Ikonos true-color, pan-sharpened με τις περιοχές ενδιαφέροντος. Από επάνω προς τα κάτω η πρώτη περιοχή αντιστοιχεί στο παλαιό λιμάνι του Λεχαίου, η μεσαία στην ρωμαϊκή αγορά της αρχαίας Κορίνθου και η κάτω περιοχή στον Ακροκόρινθο.

Εικόνα του δορυφόρου Quickbird

Η εικόνα (**Εικόνα 2**) καλύπτει μία περιοχή διαστάσεων μήκους 18,729 km και πλάτους 11,949 km και έχει αποκτηθεί στις 29 Οκτωβρίου του 2004 την τοπική ώρα 8:30 π.μ. Οι συντεταγμένες της είναι ορισμένες στο ελλειψοειδές WGS84 και στο προβολικό σύστημα UTM34. Επίσης η εικόνα του Quickbird είναι της κατηγορίας των προϊόντων pan-sharpened της εταιρίας DigitalGlobe, επιτυγχάνοντας έτσι χωρική ανάλυση 60 cm. Οι συντεταγμένες τις εικόνας για το κάθε άκρο είναι:

Για τον άξονα των x , επάνω αριστερά: 666399.600000

κάτω δεξιά: 673568.400000

Για τον άξονα των y , επάνω αριστερά: 4204033.200000

κάτω δεξιά: 4192796.400000



Εικόνα 2: Εικόνα Quickbird true-color, pan-sharpened με τη περιοχή ενδιαφέροντος που αντιστοιχεί στο δυτικό τμήμα του διόλκου που εξακολουθεί να υπάρχει.

Λόγω του ότι οι περιοχές ενδιαφέροντος (AOI) καταλαμβάνουν πολύ μικρότερα τμήματα της εικόνας και επειδή η διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων μέσω του λογισμικού αποτελεί μειονέκτημα για την επεξεργασία που θα ακολουθήσει, κρίθηκε απαραίτητη μια αρχική προ-επεξεργασία των εικόνων. Η προ-επεξεργασία αφορά την τεμαχιοποίηση (subsetting) των περιοχών του ενδιαφέροντος οι οποίες διαχωρίζονται και απομονώνονται δημιουργώντας έτσι τέσσερις νέες εικόνες που διατηρούν την ίδια πληροφορία με αυτή των αρχικών τους (Εικόνες 3, 4, 5 & 6).



Εικόνα 3: Περιοχή της ρωμαϊκής αγοράς της αρχαίας Κορίνθου. (Εικόνα δορυφόρου Ikonos).



Εικόνα 4: Περιοχή του οχυρού του Ακροκορίνθου. (Εικόνα δορυφόρου Ikonos).



Εικόνα 5: Περιοχή του αρχαίου λιμανιού του Λεχαίου και της παλαιοβυζαντινής βασιλικής. (Εικόνα δορυφόρου Ikonos).



Εικόνα 6: Περιοχή του εναπομίναντος, δυτικού τμήματος του Διόλκου. (Εικόνα δορυφόρου Quickbird).

3. Συνοπτική περιγραφή της μεθοδολογίας

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε κατά την ψηφιακή επεξεργασία των εικόνων επιλέχθηκε με βάση τις χωρικές ιδιότητες των οντοτήτων που μελετήθηκαν και βασίστηκε σε τεχνικές βελτίωσης της εικόνας (*Image Enhancement*). Οι τεχνικές της βελτίωσης της εικόνας περιέχουν ένα σύνολο από αλγορίθμους οι οποίοι εφαρμόζονται στα δορυφορικά δεδομένα για την βελτίωση της εμφάνισης μιας εικόνας έτσι ώστε να γίνεται δυνατή η οπτική ερμηνεία ή ακόμη περιστασιακά για περεταίρω ανάλυση (Jensen J. et al., 1996). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αύξησης της διακριτικής ικανότητας μεταξύ των διαφόρων οντοτήτων που μελετώνται καθώς επίσης και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους (Lillesand T. et al., 2004).

Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν για την βελτίωση της εικόνας σχετίζονται με τις δυο παρακάτω γενικότερες κατηγορίες,

- Φασματική βελτίωση: Ανάλυση των Κυρίων Συνιστωσών (*Principal Components Analysis, PCA*).
- Χωρική βελτίωση: Χωρικά φίλτρα Βελτίωσης των Ακμών και της υφής (*Spatial Enhancement Filtering*).

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τον σκοπό αυτό είναι το *ERDAS Imagine 8.6* (Earth Resources Data Analysis System). Το ERDAS είναι ένα ολοκληρωμένο πακέτο λογισμικού το οποίο επικεντρώνεται την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων καθώς επίσης και αεροφωτογραφιών και στις αντίστοιχες εφαρμογές τους στις Γεωεπιστήμες. Επίσης ενσωματώνει τις λειτουργίες επεξεργασίας της εικόνας σε συνδυασμό με τα GIS. Είναι σχεδιασμένο για να ενσωματώνει δύο τρόπους πληροφορίας, τα raster και vector σε ένα σύστημα επεξεργασίας. Οι συνήθεις τύποι ψηφιδωτών στοιχείων είναι:

- ✓ Ορατές υπέρυθρες δορυφορικές εικόνες
- ✓ Εικόνες από RADAR
- ✓ Εικόνες από αερομεταφερόμενους αισθητήρες
- ✓ Σαρωμένους χάρτες

Το συγκεκριμένο πακέτο λογισμικού προτιμήθηκε καθώς περιέχει ένα σύνολο ειδικευμένων αλγορίθμων που σχετίζονται με την βελτίωση της εικόνας καθώς επίσης και τις αρκετές δυνατότητες επέμβασης του χρήστη πάνω σε αυτούς.

4. Ανάλυση των Κυρίων Συνιστωσών (PCA)

Ο εκτεταμένος δια-φασματικός συσχετισμός είναι ένα πρόβλημα που συναντάται συχνά στην ανάλυση των πολυφασματικών εικόνων. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι οι εικόνες που παράγονται από ψηφιακά δεδομένα διαφορετικών φασματικών καναλιών, συχνά εμπεριέχουν ομοιότητες καθώς στην ουσία μεταβιβάζουν την ίδια πληροφορία. Ο μετασχηματισμός ή αλλιώς η ανάλυση των κυρίων ή κανονικών συνιστωσών (*PCA, Principal Components Analysis*) είναι δύο τεχνικές που σχεδιάστηκαν για να μειώσουν την περιττή επανάληψη της πληροφορίας στα πολυφασματικά δεδομένα καθώς μετατρέπουν τα δεδομένα με υψηλό βαθμό συσχέτισης σε νέα δεδομένα μη συσχετισμένα. Ο μετασχηματισμός αυτός είναι αρκετά χρήσιμος για μία αρχική βελτίωση πρώτου ξεκινήσει η διαδικασία της εικονικής ερμηνείας των δεδομένων. Αυτό συμβαίνει διότι συνεισφέρει στην υπολογιστική αποδοτικότητα των δεδομένων μέσω της άμβλυνσης της διαστατικότητας του αρχικού συνόλου αυτών. Εναλλακτικά, ο σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι να συμπίεσει όλη την πληροφορία που περιέχεται στο αρχικό σύνολο n -φασματικών καναλιών της αρχικής εικόνας σε ένα n -αριθμό κυρίων συνιστωσών. Ο μετασχηματισμός των κυρίων συνιστωσών είναι ένας γραμμικός μετασχηματισμός και η δομή του μπορεί να περιγραφεί ως μια γραμμική σύνθεση (Lillesand Th. et al, 2004). Για παράδειγμα, νέες εικόνες-συνιστώσες παράγονται πολλαπλασιάζοντας κάθε αρχική φασματική ζώνη με ένα συντελεστή και προσθέτοντας τα αποτελέσματα. Στην περίπτωση μας όπου έχουμε τρεις φασματικές ζώνες A, B και C , οι τρεις εξισώσεις που ακολουθούνται για την δημιουργία της κάθε συνιστώσας είναι:

$$DN_I = a_{11}DN_A + a_{12}DN_B + a_{13}DN_C$$

$$DN_{II} = a_{21}DN_A + a_{22}DN_B + a_{23}DN_C$$

$$DN_{III} = a_{31}DN_A + a_{32}DN_B + a_{33}DN_C$$

όπου

DN_I, DN_{II} και DN_{III} οι προσαρμοσμένες, στο νέο σύστημα συντεταγμένων, ψηφιακές τιμές των pixels των εικόνων των κυρίων συνιστωσών.

DN_A, DN_B και DN_C οι ψηφιακές τιμές των pixels στον αρχικό σύστημα συντεταγμένων.

a_{11-13}, a_{21-23} και a_{31-33} οι συντελεστές του μετασχηματισμού

Η περιγραφή της στατιστικής διαδικασίας αυτής της μεθόδου μπορεί να γίνει μέσω μια γραφικής αναπαράστασης σε ένα σύστημα συντεταγμένων με n άξονες, αντίστοιχους των φασματικών καναλιών. Η γραφική αναπαράσταση των διαγραμμάτων κατανομής είναι πέρα από τις ανάγκες του παρόντος σκοπού. Η αναλυτική περιγραφή της γραφικής αναπαράστασης βρίσκεται το *Παράρτημα*.

Οι συντελεστές του μετασχηματισμού ονομάζονται *ιδιοδιανύσματα* και εκφράζουν τον βαθμό συσχετισμού μεταξύ κάθε συνιστώσας και των αρχικών εικόνων (Παρχαρίδης I. et al, 2003).

4.1 Εφαρμογή της μεθόδου PCA

Αρχικά επιλέγουμε από την βασική γραμμή εργαλείων του μενού του προγράμματος το εικονίδιο *Interpreter*. Από τον κατάλογο αυτό χρησιμοποιούμε την επιλογή *Spectral Enhancement* καθώς όπως προαναφέρθηκε η βελτίωση μέσω της μεθόδου *PCA* αναφέρεται στην φασματική πληροφορία της εικόνας και στην συνέχεια επιλέγουμε *Principal Component Analysis*.

Στο νέο παράθυρο που εμφανίζεται εισάγουμε την αρχική εικόνα στο πλαίσιο *Input File* και στο πλαίσιο *Output File* ορίζεται ο χώρος που θα αποθηκευτεί το αποτέλεσμα του μετασχηματισμού της *PCA*. Στη συνέχεια επιλέγουμε τον αριθμό 3 στο πλαίσιο *Number of Components Desired* όσα δηλαδή είναι και τα φασματικά κανάλια που συνθέτουν την αρχική εικόνα. Στο πλαίσιο *Output Options* επιλέγουμε το *Ignore Zero in Stat*. Τέλος επιλέγουμε να εγγραφούν στον ίδιο χώρο ο πίνακας των ιδιοδιανυσμάτων, *Eigen Matrix* και οι ιδιοτιμές, *eigenvalues*, οι οποίες μαζί με το ποσοστό μεταβλητότητας προσδιορίζουν το ποσό πληροφορίας για κάθε συνιστώσα, με το ενδιαφέρον να επικεντρώνεται κυρίως στα ποσοστά της πληροφορίας ανά εικόνα-συνιστώσα (Παρχαρίδης Ισ. et al, 2003). Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι τρεις νέες εικόνες-συνιστώσες (**Εικόνες 7_(α-γ), 8_(α-γ), 9_(α-γ) & 10_(α-γ)**) καθώς επίσης και οι πίνακες των ιδιοτιμών και των ιδιοδιανυσμάτων.



Εικόνα 7α: Πρώτη συνιστώσα.

Εικόνα 7β: Δεύτερη συνιστώσα.

Εικόνα 7γ: Τρίτη συνιστώσα.

	<i>Ιδιοτιμές (Eigenvalues)</i>	<i>Ποσοστό Πληροφορίας</i>
PC_A	684.7642968346033	0.972%
PC_B	17.80478337116022	0.025%
PC_C	1.325929383763493	0.001%
Σύνολο	703.895009589527013	100%

Πίνακας 7: Ιδιοτιμές και ποσοστά πληροφορίας ανά εικόνα-συνιστώσα.

	PC_A	PC_B	PC_C
Green	0.4775057939622728	-0.6451922891201835	0.5964185835400422
Blue	0.5597454379920289	-0.2998477240426332	-0.7725130335687809
Red	0.6772542073546468	0.7027220307110106	0.2179644149262743

Πίνακας 8: Πίνακας ιδιοδιανυσμάτων.



Εικόνα 8α: Πρώτη συνιστώσα.

Εικόνα 8β: Δεύτερη συνιστώσα.

Εικόνα 8γ: Τρίτη συνιστώσα.

	<i>Ιδιοτιμές (Eigenvalues)</i>	<i>Ποσοστό Πληροφορίας</i>
PC_A	459.8504212662197	0.986%
PC_B	5.79619305677203	0.012%
PC_C	0.5753895748630306	0.001%
Σύνολο	466.2220038978547606	100%

Πίνακας 3: Ιδιοτιμές και ποσοστά πληροφορίας ανά εικόνα-συνιστώσα.

	PC_A	PC_B	PC_C
Green	0.4301470503148768	-0.7092702365601051	0.5584883585492012
Blue	0.5681651745258693	-0.2680596438228521	-0.7780310802336982
Red	0.7015424788003926	0.6519814099219553	0.2876775826426551

Πίνακας 4: Πίνακας ιδιοδιανυσμάτων.



Εικόνα 9α: Πρώτη συνιστώσα.



Εικόνα 9β: Δεύτερη συνιστώσα.



Εικόνα 9γ: Τρίτη συνιστώσα.

	<i>Ιδιοτιμές (Eigenvalues)</i>	<i>Ποσοστό Πληροφορίας</i>
PC_A	1451.342415113949	0.953%
PC_B	67.96685063032014	0.044%
PC_C	3.266611436891238	0.002%
Σύνολο	1522.575877291160378	100%

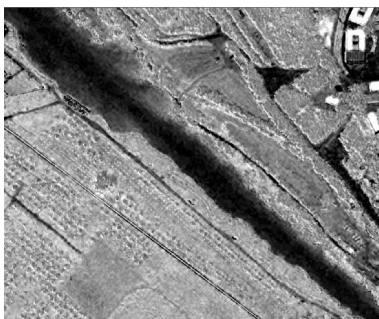
Πίνακας 5: Ιδιοτιμές και ποσοστά πληροφορίας ανά εικόνα-συνιστώσα.

	PC_A	PC_B	PC_C
Green	0.4390601206360819	-0.773903027247478	0.4563992932555587
Blue	0.5454694941660997	-0.1740403312562504	-0.8198615700411785
Red	0.7139252351620642	0.6089204114770811	0.3457263239694446

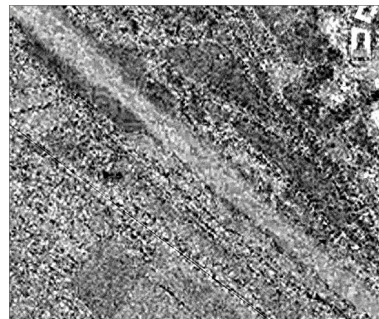
Πίνακας 6: Πίνακας ιδιοδιανυσμάτων.



Εικόνα 10α: Πρώτη συνιστώσα.



Εικόνα 10β: Δεύτερη συνιστώσα.



Εικόνα 10γ: Τρίτη συνιστώσα.

	<i>Ιδιοτιμές (Eigenvalues)</i>	<i>Ποσοστό Πληροφορίας</i>
PC_A	1087.81458277463	0.974%
PC_B	26.85733743815251	0.024%
PC_C	2.015457029579646	0.001%
Σύνολο	1116.68737724235280579646	100%

Πίνακας 7: Ιδιοτιμές και ποσοστά πληροφορίας ανά εικόνα-συνιστώσα.

	PC_A	PC_B	PC_C
Green	0.3193755021124005	-0.6259328632438493	0.7114824940656649
Blue	0.5925527725187488	-0.4540039564307732	-0.6654033508523245
Red	0.7395136918480928	0.6341044537428506	0.2259005119795923

Πίνακας 8: Πίνακας ιδιοδιανυσμάτων.

Μετά από παρατήρηση των τριών νέων εικόνων που προκύπτουν για την κάθε μία από τις τέσσερις εικόνες, διαπιστώνουμε ότι στην πρώτη συνιστώσα τις κάθε εικόνας (**Εικόνες 7α-10α**) όλες οι γεωγραφικές λεπτομέρειες γίνονται εμφανής γεγονός που διευκολύνει την οπτική ερμηνεία στην συνέχεια. Αυτή η διαπίστωση προκύπτει και από των πίνακα των ιδιοτιμών καθώς η πρώτη συνιστώσα συγκεντρώνει ποσοστό μεγαλύτερο του 95% της συνολικής πληροφορίας που υπήρχε αρχικά. Στην δεύτερη συνιστώσα (**Εικόνες 7β-10β**) παρόλο που το ποσοστό πληροφορίας είναι αρκετά λιγότερο παρατηρούμε ότι επιτυγχάνει την ανάδειξη των κτιρίων σε μεγαλύτερο βαθμό από την πρώτη συνιστώσα. Στην τρίτη συνιστώσα (**Εικόνες 7γ-10γ**) το ποσοστό πληροφορίας είναι σχεδόν μηδενικό καθώς σε αυτές τις εικόνες αποτυπώνεται ο θόρυβος που έχει καταγραφεί κατά την διαδικασία της συλλογής των δεδομένων από τον δορυφόρο και της ψηφιοποίησης του σήματος (Girard M. et al, 1999). Συνεπώς η εικόνες που θα αξιοποιηθούν στη συνέχεια για την περαιτέρω επεξεργασία είναι η εικόνες της πρώτης κύριας συνιστώσας (**Εικόνα 7α-10α**).

5. Χωρικά φίλτρα.

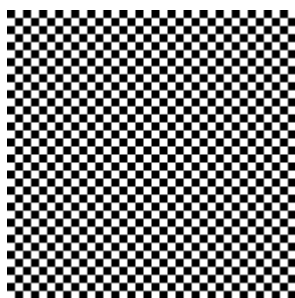
Τα χωρικά φίλτρα είναι τεχνικές οι οποίες δίνουν έμφαση στην επιλεκτική πληροφόρηση σε διάφορες χωρικές κλίμακες που εμπεριέχονται σε μία εικόνα. Μια εικόνα θεωρείται ως το άθροισμα συνιστωσών υψηλής και χαμηλής συχνότητας. Η λειτουργία του φίλτρου βασίζεται στο να εμποδίσει, διαχωρίσει μεγάλα ή μικρά μήκη κύματος δηλαδή μικρές ή χαμηλές συχνότητες αντίστοιχα (Παρχαρίδης Ι. et al, 2003). Εφαρμόζονται για ποικίλους σκοπούς σε μια εικόνα όπως η γενίκευσή της, η απομάκρυνση του τυχαίου θορύβου, την συμπλήρωση των κενών μεταξύ των εικονοστοιχείων που προκύπτουν από την μετατροπή διανυσματικών δεδομένων σε δεδομένα που έχουν την δομή εικονοστοιχείων, τον εντοπισμό απότομων αλλαγών της τιμής φωτεινότητας, την ενίσχυση ή εντοπισμό της πληροφορίας υψηλών συχνοτήτων, κ.α (Rosenfeld & Kak, 1982). Η εφαρμογή των φίλτρων μπορεί να γίνει,

- α) απευθείας στα δεδομένα της αρχικής εικόνας στο πεδίο ορισμού της είτε
- β) στο φάσμα συχνοτήτων, το οποίο προϋποθέτει μετασχηματισμό Fourier της εικόνας.

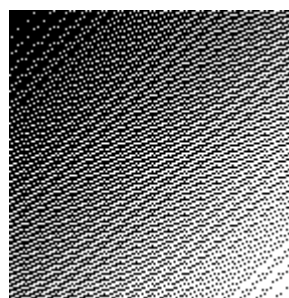
Η εφαρμογή που εξυπηρετεί τον σκοπό της μεθοδολογίας που ακολουθείται και βάση των δεδομένων που χρησιμοποιούνται, είναι η πρώτη και αφορά τα χωρικά φίλτρα

που επενεργούν στην χωρική συχνότητα δηλαδή στην τραχύτητα των εναλλαγών του τόνου σε μια περιοχή της εικόνας (Μηλιαρέσης Γ., 2003).

Η βασική λειτουργία των χωρικών φίλτρων στηρίζεται στον αριθμό των αλλαγών στις τιμές φωτεινότητας μεταξύ των αποστάσεων ενός σημείου ή περιοχής μίας εικόνας. Στην περίπτωση όπου οι αλλαγές στις τιμές φωτεινότητας σε μία περιοχή της εικόνας είναι λίγες τότε έχουμε μια περιοχή χαμηλής συχνότητας (**Εικόνα 11**). Αντιθέτως εάν σε μία περιοχή οι τιμές φωτεινότητας μεταβάλλονται σημαντικά ανά μικρά τμήματά της τότε η περιοχή έχει υψηλής συχνότητας λεπτομέρεια (Jensen J., 1996).



*Εικόνα υψηλής χωρικής
συχνότητας*



*Εικόνα χαμηλής χωρικής
συχνότητας*

Εικόνα 11: Είδη χωρικών συχνοτήτων.

(Πηγή: www.cas.sc.edu/geog/rsrab/rscc/rscc-frames.html)

Συνεπώς υπάρχουν δυο βασικοί τύποι φίλτρων, ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα,

- Τα φίλτρα *διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων (low pass filter)*, τα οποία διαχωρίζουν την χαμηλή συχνότητα επιτυγχάνοντας την αναγνώριση του υποβάθρου με μειωμένη την χωρική λεπτομέρεια.
- Τα φίλτρα *διέλευσης υψηλών συχνοτήτων (high pass filters)*, τα οποία επιτρέπουν την διέλευση υψηλής συχνότητας που εμπεριέχει την ταχέως μεταβαλλόμενη λεπτομέρεια της εικόνας επιτυγχάνοντας έτσι την ενίσχυσή της.

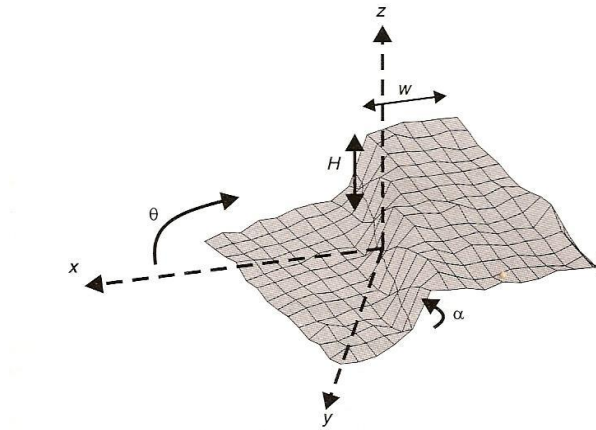
Στην περίπτωση μελέτης αρχαιολογικών οντοτήτων η βελτίωση της χωρικής πληροφορίας με την συμβολή των φίλτρων προκύπτει μέσω της ανάδειξης των ακμών που περιβάλλουν τα διάφορα αντικείμενα που μας ενδιαφέρουν. Αυτός ο σκοπός μπορεί να επιτευχθεί μέσω μιας ειδικής κατηγορίας χωρικών φίλτρων τα λεγόμενα ως *φίλτρα ενίσχυσης ακμών (Edge Enhancement)*.

6. Ενίσχυση των ακμών (Edge enhancement)

Η εφαρμογή της ενίσχυσης των ακμών έχει σαν σκοπό την δημιουργία μιας απότομης, οξείας εικόνας καθώς η υψηλή συχνότητα πληροφορήσης ενισχύεται από ένα υψηλής διέλευσης φίλτρο (Παρχαρίδης I. et al, 2003). Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση των ακμών επεμβαίνουν στις ψηφιακές τιμές δυο εικονοστοιχείων που συνορεύουν και έχουν απότομη αλλαγή στην τιμή τους, γεγονός άλλωστε που υποδηλώνει την ύπαρξη κάποιας ακμής. Πιο συγκεκριμένα σε μία εικόνα που έχει υποβληθεί σε αυτή τη διαδικασία η αντίθεση των ψηφιακών τιμών μεταξύ ομόρων εικονοστοιχείων που παρουσιάζουν απότομες αλλαγές αυξάνεται, βελτιώνοντας έτσι την απεικόνιση των ακμών και κατά συνέπεια των γραμμικών οντοτήτων. Όπως προαναφέρθηκε μία εικόνα που έχει επεξεργαστεί με φίλτρο υψηλών συχνοτήτων, αποτελείται από συνιστώσες υψηλής συχνότητας φωτεινότητας. Μια εικόνα που έχει υποβληθεί σε ενίσχυση των ακμών επιτυγχάνει να συνδυάσει και την βελτιωμένη αντίθεση των γραμμών και των ακμών αλλά και την χαμηλής συχνότητας φωτεινότητα της επιμέρους σκηνής.

Ορισμένες γραμμικές οντότητες εμφανίζονται ως στενές γραμμές έναντι ενός φόντου με αντίθεση φωτεινότητας. Άλλες οντότητες αποτελούν γραμμική σύνδεση μεταξύ γειτονικών περιοχών διαφορετικής φωτεινότητας. Σε όλες τις περιπτώσεις οι γραμμικές οντότητες αποτελούνται από ακμές. Ορισμένες ακμές εντοπίζονται από διαφορές της φωτεινότητας και είναι εύκολα αναγνωρίσιμες. Στις περισσότερες, όμως, περιπτώσεις, οι ακμές εντοπίζονται σε ιδιαίτερα ευαίσθητες διαφορές της φωτεινότητας, γεγονός που καθιστά δύσκολη την ανίχνευσή τους. Η βελτίωση των ακμών είναι μια διαδικασία που δίνει έμφαση στην υπογραφή μίας ακμής σε μια εικόνα (Sabins F.F., 1997). Για τον λόγο αυτό είναι πολύ σημαντικό να διασαφηνιστεί το τι μπορεί να αποτελεί ακμή σε μία εικόνα. Γενικά τα σημεία που παρουσιάζουν ασυνέχειες στο πλάτος της, δηλαδή αντιθέσεις των επιπέδων του γκρι, υποδηλώνουν την ύπαρξη ακμής. Αυτές οι ακμές είναι συνήθως μια ένδειξη σχηματισμού ορίων μεταξύ διαφόρων αντικειμένων της εικόνας (Girard M. et al, 1999). Εντούτοις τα σημεία αυτά μπορεί να βρίσκονται και σε περιοχές με υψηλή σκίαση ή θόρυβο, ενδεχόμενο του οποίου η πιθανότητα έχει ελαχιστοποιηθεί μέσω της ψηφιακής επεξεργασίας που προηγήθηκε. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα γενικό μοντέλο μίας ακμής (**Εικόνα 12**) και στη συνέχεια τέσσερις βασικές κατηγορίες της

σε σχέση με την απόδοση της χρωματικής αντίθεσης (**Εικόνες 13-16**) (Πηγή: Erdas Field Guide, 2002 & Girard M. et al, 1999).

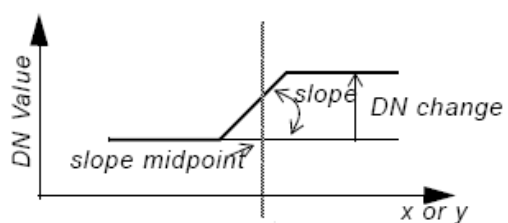


Εικόνα 12: Γενικό μοντέλο ακμής. (Πηγή: Girard M. et al, 1999)

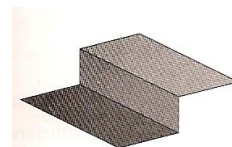
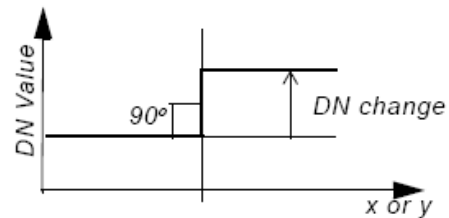
όπου **H** είναι το ύψος της ακμής

α η κλίση της σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο

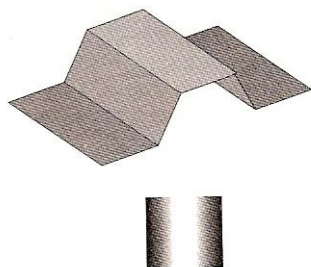
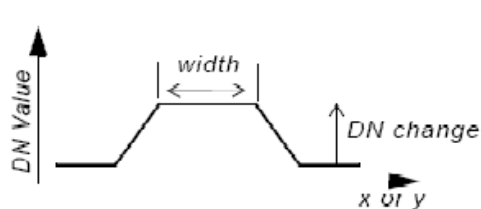
W το πλάτος



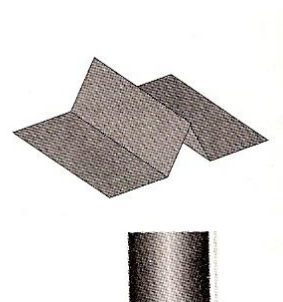
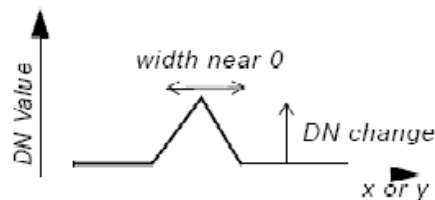
Εικόνα 13: Ακμή κεκλιμένου επιπέδου.



Εικόνα 14: Ακμή 90°



Εικόνα 15: Γραμμή.



Εικόνα 16: Κορυφή.

Η βελτίωση των ακμών συνήθως προσεγγίζεται μέσω των τεχνικών της συνέλιξης η οποία περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

7. Συνέλιξη (Convolution)

Η συνέλιξη είναι μια απλή μαθηματική διαδικασία που είναι θεμελιώδης σε πολλές κοινές τεχνικές επεξεργασίας εικόνας. Η λειτουργία της συνέλιξης βασίζεται στην χρήση πινάκων (*kernels*) που περιέχουν τιμές οι οποίες με την εφαρμογή του πίνακα σε κάποιο pixel υπολογίζουν τον μέσο όρο της ψηφιακής του τιμής σε σχέση με τις τιμές του πίνακα που το περιβάλλουν δηλαδή των γειτονικών του τιμών (Erdas Field Guide, 2002). Ο μαθηματικός τύπος βάσει του οποίου διεξάγεται η διαδικασία της συνέλιξης για την εξαγωγή των νέων τιμών που είναι γειτονικές του pixel στο οποίο εφαρμόζεται, είναι ο ακόλουθος,

$$V = \left[\frac{\sum_{i=1}^q \left(\sum_{j=1}^q f_{ij} d_{ij} \right)}{F} \right]$$

Όπου

f_{ij} ο συντελεστής του πίνακα συνέλιξης στη θέση i, j του πίνακα.

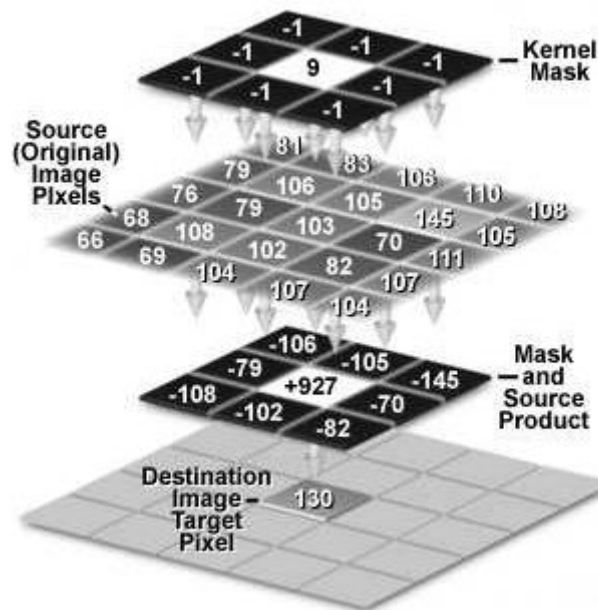
$d_{i,j}$ η τιμή των δεδομένων του pixel στο οποίο ανταποκρίνεται ο συντελεστής $f_{i,j}$.

q οι διαστάσεις του πίνακα (*kernel*), με την προϋπόθεση ότι είναι τετράγωνος, δηλαδή αποτελείται από τον ίδιο αριθμό γραμμών και στηλών (π.χ. 3x3).

F το άθροισμα των συντελεστών του πίνακα το οποίο στην περίπτωση όπου η τιμή των συντελεστών είναι το μηδέν, θα ισούται με 1.

V η τιμή που αποκτά το pixel με το πέρας της διαδικασίας.

Οι πίνακες συνέλιξης μετακινούνται επάνω στο σύνολο των pixels μιας εικόνας και συνήθως οι διαστάσεις τους είναι 3x3, 5x5 και 9x9. Συνεπώς η επίδραση που μπορεί να έχει ένας πίνακας συνέλιξης σε μια εικόνα εξαρτάται από τις διαστάσεις του και από τις τιμές που αυτός εμπεριέχει.



Εικόνα 17: Εφαρμογή ενός kernel σε ένα τμήμα μίας εικόνας.

Βάσει των Chavez & Bauer (1982), το βέλτιστο μέγεθος του *kernel* (3x3, 5x5, 7x7 κοκ.), που χρησιμοποιείται σε μια διαδικασία βελτίωσης των ακμών είναι μια συνάρτηση της τραχύτητας της επιφάνειας και των χαρακτηριστικών της ηλιακής γωνίας την ώρα που έγινε η λήψη των δεδομένων. Λαμβάνοντας υπόψη αυτούς τους δυο παράγοντες προκύπτει η τιμή Δ που είναι στενά συνδεδεμένη με την τραχύτητα

της επιφάνειας. Ο ακόλουθος αλγόριθμος και το αποτέλεσμα του στην κάθε περίπτωση παρουσιάζονται στον Πίνακα 9 και χρησιμοποιούνται για την επιλογή του κατάλληλου μεγέθους του *kernel*. Ο τυπος του αλγορίθμου είναι ο εξής,

Kernel size =12-Δ

Όπου,

<i>Delta, Δ</i>	<i>Ομαλότητα/ Τραχύτητα</i>	<i>Μέγεθος Kernel</i>
$\leq \pm 3$	Πολύ ομαλό	9x9
± 4	Ομαλό	
± 5	Ημι-ομαλό	7x7
± 6	Ομαλό/Τραχύ	
± 7	Τραχύ/Ομαλό	5x5
± 8	Ημι-τραχύ	
± 9	Τραχύ	3x3
$\geq \pm 10$	Πολύ τραχύ	1x1

Πίνακας 9: Κλίμακα συνάρτησης του Δ εναντι του μεγέθους του πίνακα kernel. (Πηγή: Chavez, P.A., Jr. and B. Bauer, 1982)

Βάσει του Πίνακα 9 το μέγεθος του *kernel* που θα χρησιμοποιηθεί στα διάφορα φίλτρα βελτίωσης των ακμών είναι ο πίνακας διαστάσεων 3x3.

Παρακάτω ακολουθεί η γενικευμένη εφαρμογή για ένα πίνακα συνέλιξης διάστασης 3x3 που εφαρμόζεται για το pixel $a_{(i,j)}$ μιας εικόνας.

Ένας πίνακας τέτοιου τύπου με τιμές n_{1-9} θα έχει την ακόλουθη μορφή,

n_1	n_2	n_3
n_4	n_5	n_6
n_7	n_8	n_9

Πίνακας 10: Τυχαίο kernel διαστάσεων 3x3.

Ο πίνακας αυτός θα εφαρμοστεί στις τιμές μίας παράταξης pixel που αποτελείται από ένα κεντρικό και τα γειτονικά του, δηλαδή της τιμής $a_{i,j}$ του κεντρικού pixel και των οκτώ γειτονικών του.

$a_{(i-1,j-1)}$	$a_{(i-1,j)}$	$a_{(i-1,j+1)}$
$a_{(i,j-1)}$	$a_{(i,j)}$	$a_{(i,j+1)}$
$a_{(i+1,j-1)}$	$a_{(i+1,j)}$	$a_{(i+1,j+1)}$

Πίνακας 11: Πίνακας ψηφιακών τιμών ενός τμήματος μιας εικόνας.

Στην συνέχεια οι ψηφιακές τιμές των pixel του πίνακα συνέλιξης πολλαπλασιάζονται με αυτές των pixel του πίνακα της αρχικής εικόνας και από το άθροισμα των εννέα γινομένων προκύπτει η νέα τιμή του $a_{(i,j)}$, η $A_{(i,j)}$, ως ακολούθως:

$$A_{(i,j)} = (n_1 * a_{(i-1,j-1)}) + (n_2 * a_{(i-1,j)}) + (n_3 * a_{(i-1,j+1)}) + (n_4 * a_{(i,j-1)}) + (n_5 * a_{(i,j)}) + (n_6 * a_{(i,j+1)}) + (n_7 * a_{(i+1,j-1)}) + (n_8 * a_{(i+1,j)}) + (n_9 * a_{(i+1,j+1)})$$

8. Εφαρμογή της βελτίωσης των ακμών βάσει των πινάκων Συνέλιξης

Υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες για τα χωρικά φίλτρα που αφορούν την βελτίωση, εντοπισμό των ακμών και βασίζονται τεχνικές πινάκων συνέλιξης. Οι δυο αυτές κατηγορίες σχετίζονται με την γραμμικότητα της κίνησης των πινάκων *kernel* μέσα σε μια εικόνα. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται τα μη κατευθυνόμενα φίλτρα των οποίων η ονομασία απορρέει από το γεγονός ότι δεν έχουν καμία κατεύθυνση ως προς την βελτίωση των γραμμών άρα και των ακμών. Έτσι η βελτίωση που επιτυγχάνουν είναι σχεδόν σε όλες τις κατευθύνσεις.

Στην δεύτερη κατηγορία εντάσσονται τα φίλτρα που επενεργούν π προσδιορισμένη κατεύθυνση με σκοπό την βελτίωση ακμών και γραμμών συγκεκριμένης κατεύθυνσης.

8.1 Μη κατευθυνόμενα φίλτρα

Μερικά από τα κυριότερα φίλτρα αυτής της κατηγορίας είναι τα *Laplacian*, το φίλτρο *Sobel*, το φίλτρο *Prewitt* και το φίλτρο *Chavez* των οποίων η αναλυτική παρουσίαση γίνεται παρακάτω.

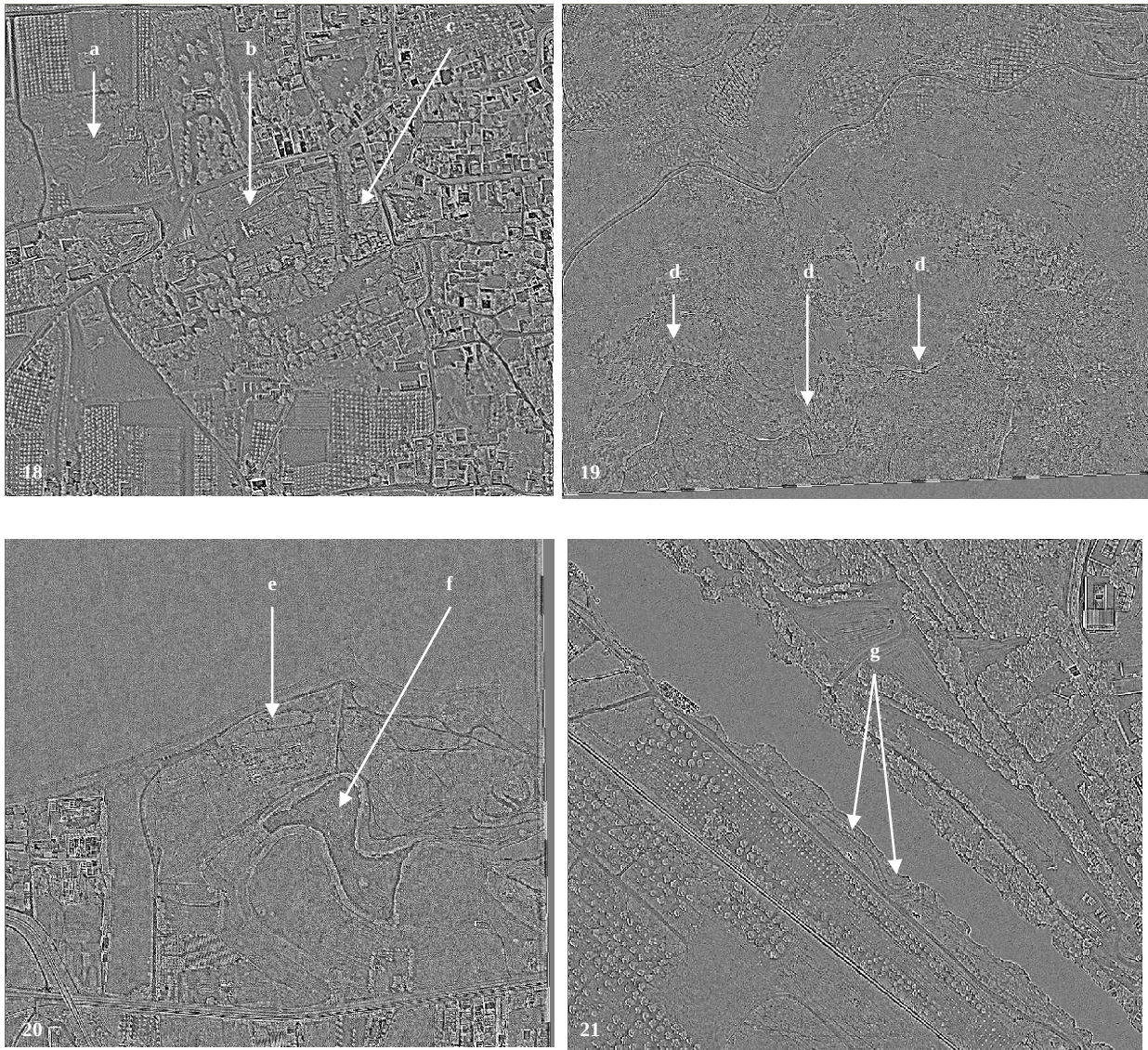
8.1.1 Laplacian

Το φίλτρο *Laplace* διαφέρει από τα υπόλοιπα φίλτρα που χρησιμοποιούνται για την βελτίωση των ακμών ως προς την τάξη παραγώγου που χρησιμοποιεί για την ανάλυση μίας ακμής. Το φίλτρο αυτό χρησιμοποιεί την πληροφορία της δεύτερης τάξης παραγώγου για την ένταση των αλλαγών σε μία εικόνα μέσω μίας διαφορικής εξίσωσης. Δηλαδή είναι μη εξαρτώμενο στην κατεύθυνση την οποία ακολουθούν οι ασυνέχειες όπως τα σημεία οι γραμμές και οι ακμές. Κατά αυτόν τον τρόπο μια ακμή (εναλλαγή τοπικού μέγιστου με ένα διαδοχικό τοπικό ελάχιστο) θα εμφανίζεται σαν εναλλαγή ενός θετικού και ενός αρνητικού τμήματος και με μερικά μηδέν κατά περίπτωση στην κορυφή της ακμής (Pratt W.K., 1991).

Τρία από τα βασικότερα *kernels* (εναλλακτικά, *convolution Masks*), που χρησιμοποιούν τα φίλτρα αυτής της κατηγορίας είναι τα ακόλουθα,

1	-2	1	-1	-1	-1	1	4	1
-2	4	-2	-1	8	-1	4	-20	4
1	-2	1	-1	-1	-1	1	4	1

Το *kernel* που επιλέχθηκε για την εφαρμογή, μετά από την δοκιμή και των τριών είναι το τρίτο καθώς η κεντρική του τιμή επηρεάζει εντονότερα το τελικό αποτέλεσμα. Παρακάτω ακολουθεί η εφαρμογή του φίλτρου αυτού στις τέσσερις πρώτες συνιστώσες των τεσσάρων αρχικών εικόνων. Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε μέσω του μενού *Interpreter* επιλέγοντας *Spatial Enhancement* και στην συνέχεια *Convolution*. Το *kernel* που χρησιμοποιήθηκε καθώς επίσης και το δεύτερο από τους παραπάνω πίνακες εμπεριέχονται στις επιλογές *3x3 Laplacian Edge detection* και *3x3 Edge Detection* αντίστοιχα.



Εικόνες 18-21: Εικόνα 18: περιοχή αρχαίας Αγοράς (a: θέατρο, b: ναός του Απόλλωνα, c: οδός Λεχαίου) , Εικόνα 19: Ακροκόρινθος (d: τείχη του Ακροκορίνθου), Εικόνα 20: Λιμάνι του Λεχαίου (e: παλαιοβυζαντινή βασιλική, f: το λιμάνι), Εικόνα 21: περιοχή του Διόλκου (g), με την προσθήκη φίλτρου Laplace.

8.1.2 Chavez

Το φίλτρο *Chavez* αποτελείται από ένα *kernel* υψηλής συχνότητας το οποίο συμβάλει περισσότερο στην βελτίωση των ακμών παρά στον εντοπισμό τους. Αντίθετα με τα φίλτρα που ειδικεύονται στον εντοπισμό των ακμών, όπως τα *Laplacian*, το φίλτρο *Chavez* τονίζει τις ακμές χωρίς απαραίτητα να απαλείφει άλλες γειτονικές οντότητες. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής. Όταν το *Kernel* του συγκεκριμένου φίλτρου χρησιμοποιείται σε μια ομάδα pixels στην οποία μια σχετικά

χαμηλή τιμή περιβάλλεται από υψηλότερες τιμές τότε η τιμή αυτή γίνεται χαμηλότερη και αντιστρόφως (P.A. Chavez Jr, et al. 1982).

Η εφαρμογή του φίλτρου αυτού γίνεται επίσης από το μενού *Convolution* τα αποτελέσματα του οποίου παρουσιάζονται παρακάτω και το αντίστοιχο *kernel* που χρησιμοποιήθηκε είναι το ακόλουθο.

-1	-1	-1
-1	17	-1
-1	-1	-1



Εικόνες 22-25: Εικόνα 22: περιοχή αρχαίας Αγοράς (a: θέατρο, b: ναός του Απόλλωνα, c: οδός Λεχαίου) , Εικόνα 23: Ακροκόρινθος (d: τείχη του Ακροκορίνθου), Εικόνα 24: Λιμάνι του Λεχαίου (e: παλαιοβυζαντινή βασιλική, f: το λιμάνι), Εικόνα 25: περιοχή του Διόλκου (g), με την προσθήκη φίλτρου Chavez.

8.1.3 Prewitt & Sobel

Τα δυο αυτά φίλτρα ανήκουν στην κοινή κατηγορία των φίλτρων πρώτης παραγώγου δηλαδή υπολογίζουν το μέτρο της κλίσης της φωτεινότητας και είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε το άθροισμα των μεταβλητών των πινάκων *kernel* να καταλήγει στο μηδέν (*zero-sum filters*). Τα *kernels* που χρησιμοποιούν είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να αποκρίνονται πλήρως σε ακμές που βρίσκονται κάθετα και οριζόντια, το κάθε ένα *kernel* για κάθε ένα από τους δυο προσανατολισμούς. Αυτά τα *kernel* μπορούν να εφαρμοστούν ξεχωριστά στην αρχική εικόνα έτσι ώστε να παράγουν ξεχωριστά μετρήσεις την συνιστώσα της κλίσης σε κάθε ένα από τους δύο προσανατολισμούς. Επίσης μπορεί να γίνει και συνδυασμός αυτών έτσι ώστε να παραχθεί η απόλυτη ένταση της κλίσης σε κάθε σημείο της και τον προσανατολισμό αυτής.

. Η εφαρμογή των φίλτρων αυτών μέσω του καταλόγου *Spatial Enhancement* επιλέγοντας *Non Directional Edge*. Βάσει αυτής της διαδικασίας τα δύο *kernel* χρησιμοποιεί το κάθε φίλτρο επιδρούν ξεχωριστά το κάθε ένα στην εικόνα και οι δυο παραγόμενες εικόνες συνδυάζονται παράγοντας την τελική. Οι διαφορές αυτών των δυο φίλτρων είναι αμυδρές για αυτό για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε το φίλτρο *Prewitt*. Παρακάτω ακολουθούν τα *kernels* του κάθε φίλτρου και το αποτελέσματα του φίλτρου *Prewitt*.

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

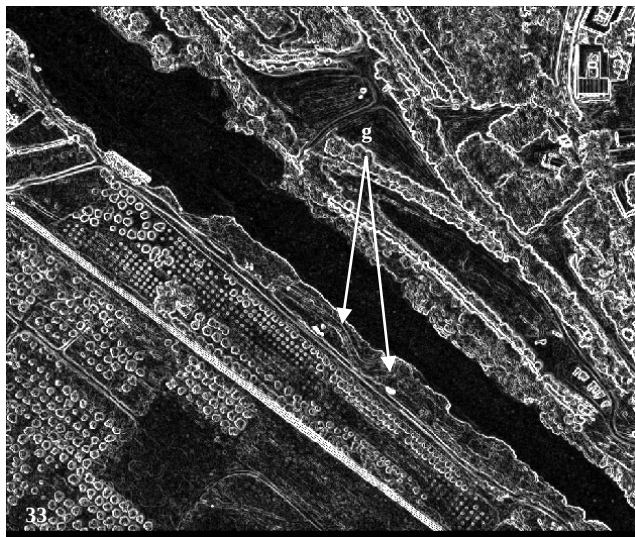
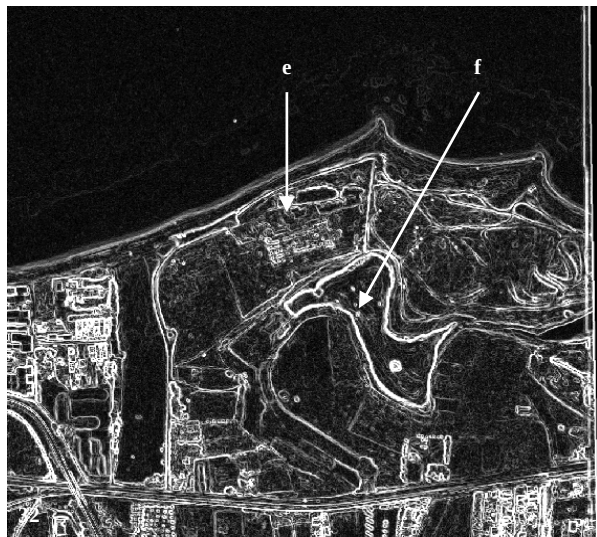
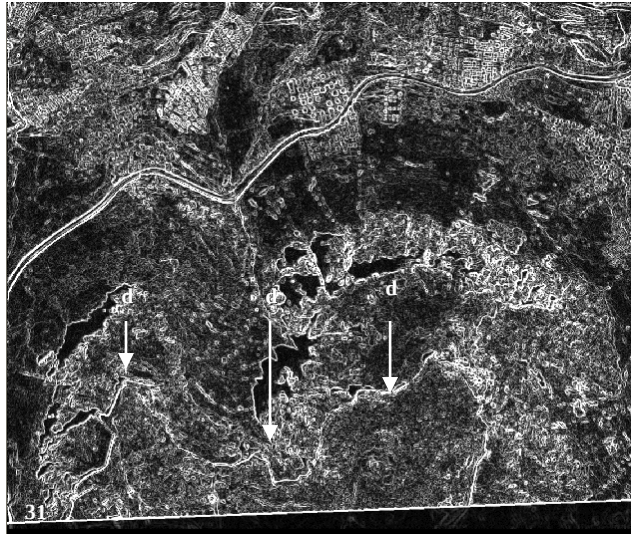
Prewitt

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Sobel

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

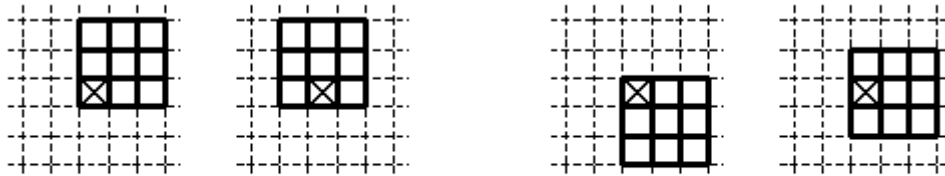


Εικόνες 26-29: Εικόνα 26: περιοχή αρχαίας Αγοράς (a: θέατρο, b: ναός του Απόλλωνα, c: οδός Λεχαίου) , Εικόνα 27: Ακροκόρινθος (d: τείχη του Ακροκορίνθου), Εικόνα 28: Λιμάνι του Λεχαίου (e: παλαιοβυζαντινή βασιλική, f: το λιμάνι), Εικόνα 29: περιοχή του Διόλκου (g), με την προσθήκη φίλτρου Prewitt.

8.2 Κατευθυνόμενα φίλτρα

Μερικά από τα κυριότερα φίλτρα αυτής της κατηγορίας είναι το φίλτρο *Kirsch* και το φίλτρο *Robinson*, των οποίων η αναλυτική παρουσίαση γίνεται παρακάτω. Τα δυο αυτά φίλτρα προσεγγίζουν την πρώτη παράγωγο της εικόνας και έχουν την δυνατότητα να κατευθύνονται σε 8 διαφορετικές κατευθύνσεις επιτυγχάνοντας έτσι να καθορίζουν το προσανατολισμό της κλίσης στον προσανατολισμό που έχει

επιλεχθεί. Συνεπώς η χρήση των φίλτρων αυτών ενδείκνυται για την βελτίωση και τον εντοπισμό γραμμικών οντοτήτων που τείνουν προς κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση (Sabins F.F., 1997). Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι οκτώ διαφορετικές κατευθύνσεις των *kernels* ανάλογα με την διεύθυνση του ορίζοντα που τείνουν οι οντότητες που επιλέχθηκαν για να αναδειχθούν.



Εικόνα 30: 8 πιθανές κατευθύνσεις ενός *kernel* 3x3 σε μία εικόνα. (Πηγή: <http://www.icaen.uiowa.edu/~dip/LECTURE/PreProcessing3.html>)

Το φίλτρο *Kirsch* και το φίλτρο *Robinson* παρουσιάζουν αρκετες ομοιότητες και το αποτέλεσμα τους είναι σχεδόν όμοιο στην παραγόμενη εικόνα για αυτό το λόγο θα χρησιμοποιηθεί το πρώτο εκ των δυο. Η εφαρμογή αυτού του φίλτρου μέσω του προγράμματος ERDAS μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Κατά τον πρώτο τρόπο η εφαρμογή του αλγορίθμου μπορεί να συμβεί από το μενού *Radar* στην συνέχεια *Radar Interpreter* και στην συνέχεια επιλέγοντας *Edge Enhancement*. Μέσα από το παράθυρο που εμφανίζεται δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει μια συγκεκριμένη κατεύθυνση προς την οποία θα δράσει ο πίνακας *kernel*. Ο δεύτερος τρόπος αφορά την επιλογή *Convolution*, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τους προηγούμενους αλγορίθμους, μέσω της οποίας παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη να δημιουργήσει έναν νέο πίνακα *kernel* ή ακόμη να επέμβει και να αλλάξει σε ένα πίνακα των είδη υπάρχοντων αλγορίθμων. Ο τρόπος που χρησιμοποιήθηκε είναι ο πρώτος. Παρακάτω ακολουθούν τα 8 πιθανά *kernels* του φίλτρου ανάλογα με την διεύθυνση του ορίζοντα καθώς επίσης και τα αποτελέσματα στις εικόνες. Εφόσον ο αριθμός των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν είναι 4, ο αλγόριθμός χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τις τέσσερις βασικές διευθύνσεις του ορίζοντα και στην συνέχεια για τις τέσσερις ενδιάμεσες.

5	5	5
-3	0	-3
-3	-3	-3

Βορράς

-3	-3	-3
-3	0	-3
5	5	5

Νότος

5	-3	-3
5	0	-3
5	-3	-3

Δύση

-3	-3	5
-3	0	5
-3	-3	5

Ανατολή

5	5	-3
5	0	-3
-3	-3	-3

ΒοριοΔυτικά

-3	5	5
-3	0	5
-3	-3	-3

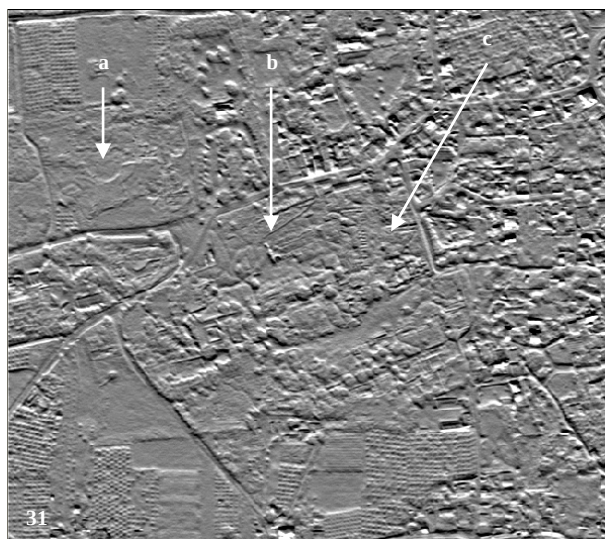
ΒοριοΑνατολικά

-3	-3	-3
5	0	-3
5	5	-3

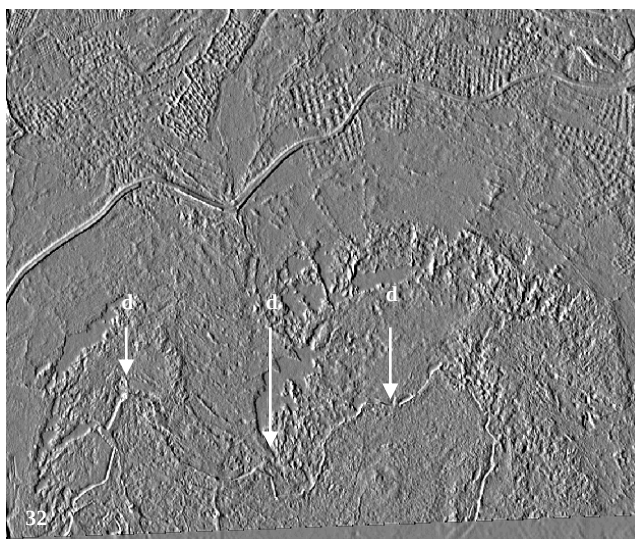
ΝότιοΔυτικά

-3	-3	-3
-3	0	5
-3	5	5

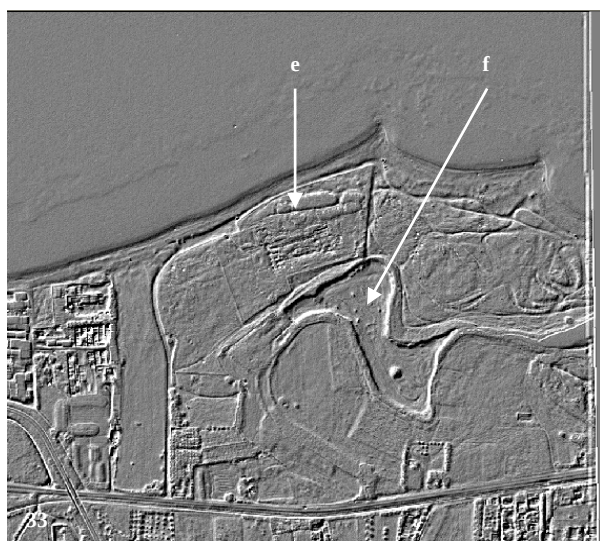
ΝοτιοΑνατολικά



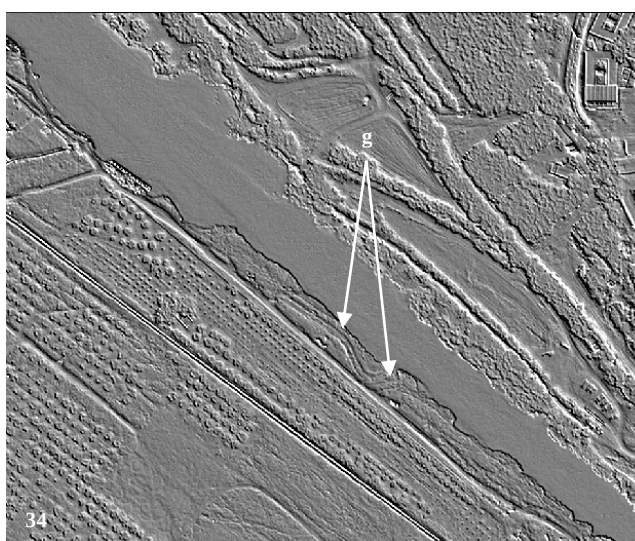
Βορράς



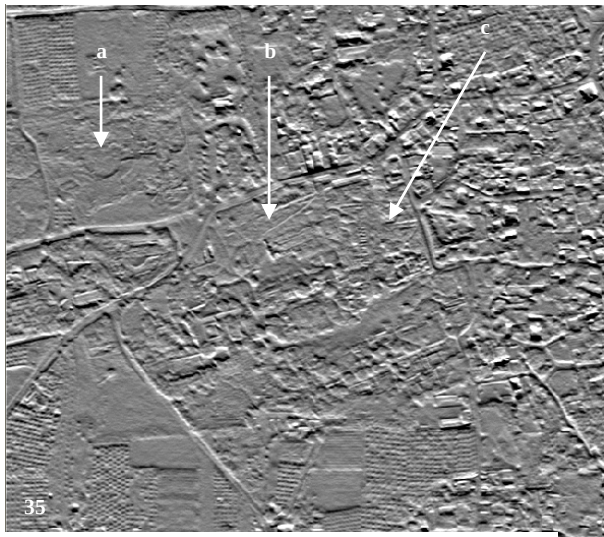
Ανατολή



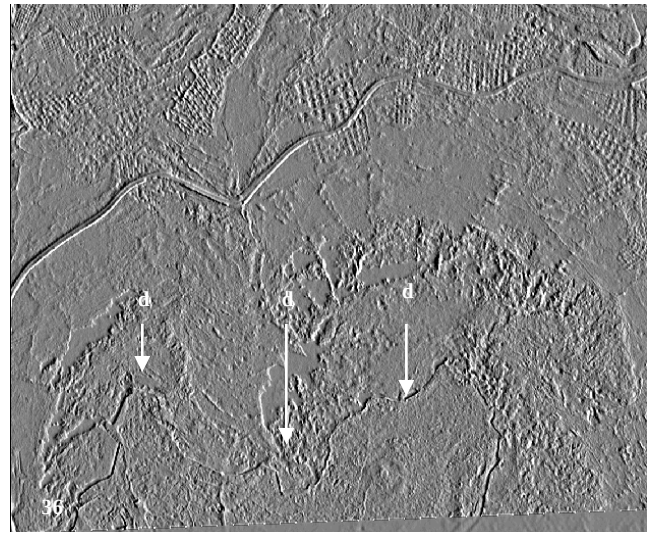
ΒοριοΔυτικά



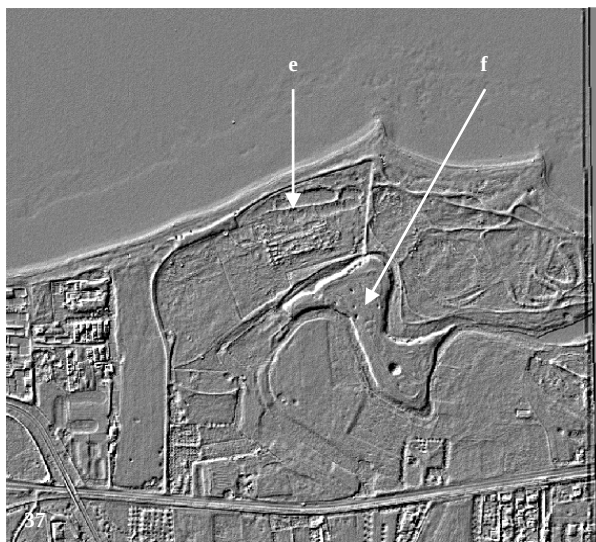
ΒοριοΑνατολικά



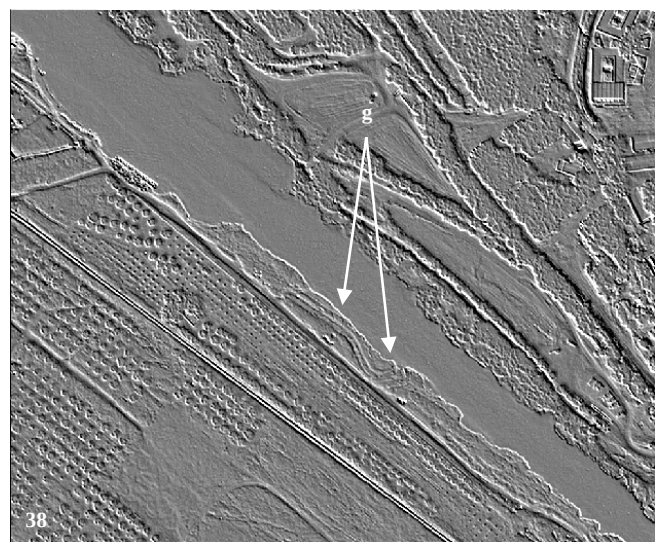
Νότος



Δύση



ΝοτιοΑνατολικά



ΝότιοΔυτικά

Εικόνες 31-38: Εικόνα 31 & 35: περιοχή αρχαίας Αγοράς (a: θέατρο, b: ναός του Απόλλωνα, c: οδός Λεχαίου) Εικόνα 32 & 36: Ακροκόρινθος (d: τείχη του Ακροκορίνθου), Εικόνα 33 & 37: Λιμάνι του Λεχαίου (e: παλαιοβυζαντινή βασιλική, f: το λιμάνι), Εικόνα 34 & 38: περιοχή του Διόλκου (g), με την προσθήκη φίλτρου Kirsch.

9. Ανάλυση της Υφής

Μια άλλη προσέγγιση της βελτίωσης της εικόνας μέσω των χωρικών φίλτρων για τον εντοπισμό και την βελτίωση των χωρικών οντοτήτων είναι η ανάλυση της υφής μίας εικόνας. Η υφή μίας εικόνας ορίζεται ως ένας συνδυασμός των διαφορετικών χωρικών στοιχείων που συνθέτουν μία εικόνα και που το καθένα έχει δικά του χαρακτηριστικά. Αυτές οι ομάδες των χωρικών στοιχείων, των οποίων η περιοχή που καταλαμβάνουν καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά του ηλεκτροπτικού αισθητήρα, περιέχουν pixels με παρόμοιες τιμές φωτεινότητας και έτσι είναι χωρικά συνδεδεμένα

(Girard M.C. et al. 2003). Ένας από τους βασικούς στόχους της ανάλυσης της υφής σε μία εικόνα είναι ο διαχωρισμός και η ανάδειξη των περιοχών διαφορετικής υφής. Αυτό μπορεί να συμβεί μέσω των μεταβαλλόμενων σκιάσεων στην επιφάνεια των αντικειμένων ή τον σχετικό σχηματισμό που αποκτούν τα διάφορα όρια και σημεία συνένωσης που κάνουν δυνατή την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ύπαρξη ενός τρισδιάστατου σχηματισμού που προκύπτει από τις ευθείες του αντικειμένου.

(Πηγή: www.ghcc.msfc.nasa.gov/land/ncrst/infoextract.html#bm2).

Για την βελτίωση της υφής έχουν προκύψει αρκετές προσεγγίσεις οι οποίες συγκεντρώνονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες, η στατιστική, η γεωμετρική, η βάσει μοντέλου και η ανάλυση σήματος. Η τεχνική που ακολουθείται από το πρόγραμμα EDRAS αφορά την στατιστική προσέγγιση η οποία αναλύει την χωρική κατανομή των αποχρώσεων του γκρι υπολογίζοντας τα τοπικά χαρακτηριστικά σε κάθε σημείο της εικόνας και παράγοντας ένα σύνολο στατιστικών από τις κατανομές των τοπικών χαρακτηριστικών. Πιο συγκεκριμένα το πρόγραμμα χρησιμοποιεί δύο αλγόριθμους για τον υπολογισμό της διακύμανσης (*variance*), σ^2 και την ασυμμετρία της κατανομής (*skewness*) αντίστοιχα. Οι μαθηματικοί τύποι τους παρουσιάζονται παρακάτω.

$$Variance = \frac{\sum (x_{ij} - M)^2}{n - 1}$$

Όπου:

x_{ij} η ψηφιακή τιμή ενός pixel (i,j)

n ο αριθμός των pixels σε ένα παράθυρο

M η διάμεσος του κινούμενου παραθύρου

$$Skew = \frac{\left| \sum (x_{ij} - M)^3 \right|}{(n - 1) \left(\frac{V}{2} \right)^{\frac{3}{2}}}$$

Όπου:

x_{ij} η ψηφιακή τιμή ενός pixel (i,j)

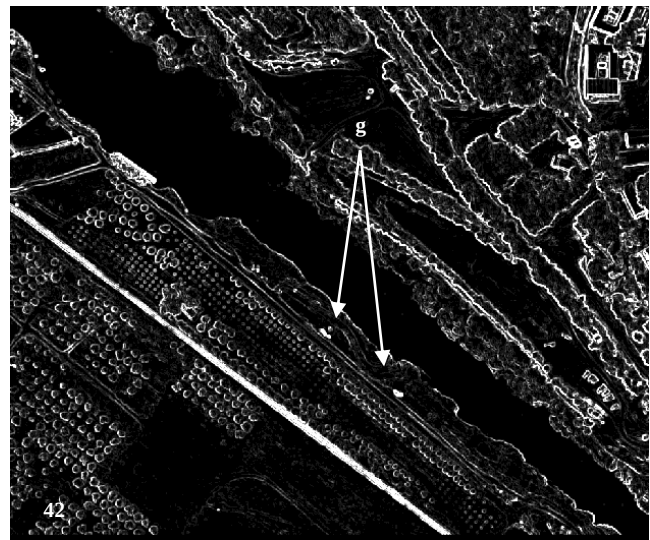
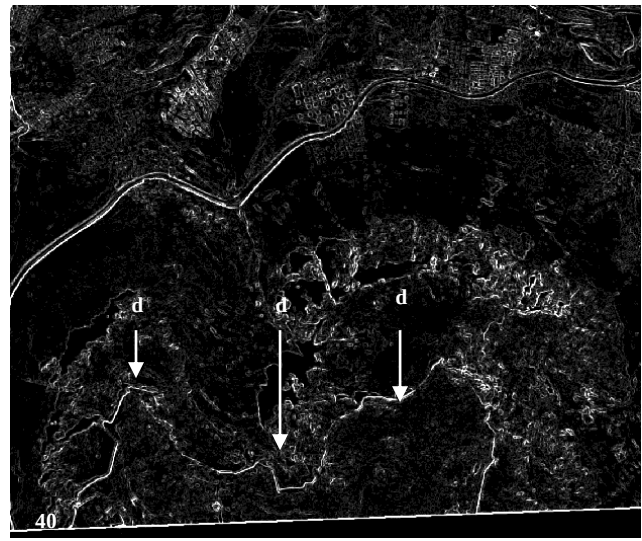
n ο αριθμός των pixels σε ένα παράθυρο

M η διάμεσος του κινούμενου παραθύρου και

V η διακύμανση

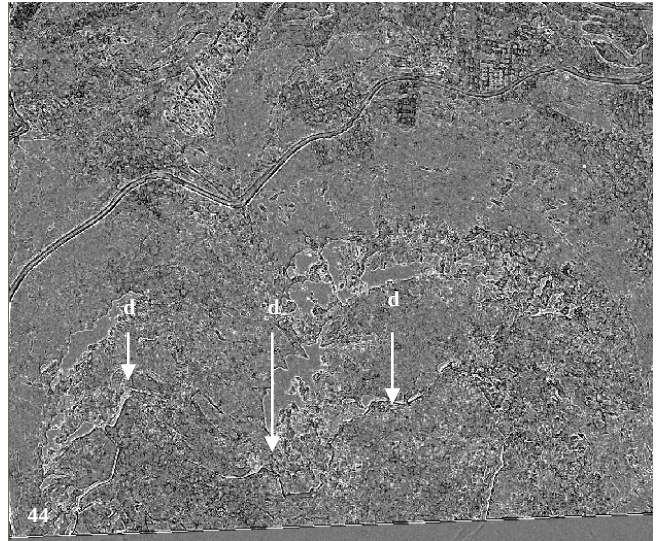
Η εφαρμογή τους πραγματοποιείται επίσης από το μενού *Spatial Enhancement* επιλέγοντας *Texture*. Το μέγεθος του μετακινούμενου παραθύρου που χρησιμοποιούν οι αλγόριθμοι επιλέγεται να είναι 3x3 βάσει του Πίνακα 9 καθώς μεγαλύτερα μεγέθη παραθύρων θα προκαλούσαν εξομάλυνση της τελικής εικόνας γεγονός που μειώνει την λεπτομέρεια της. Παρακάτω ακολουθεί η εφαρμογή της καθεμίας μεθόδου ξεχωριστά.

Variance



Εικόνες 39-42: Εικόνα 39: περιοχή αρχαίας Αγοράς (a: θέατρο, b: ναός του Απόλλωνα, c: οδός Λεχαίου) , Εικόνα 40: Ακροκόρινθος (d: τείχη του Ακροκορίνθου), Εικόνα 41: Λιμάνι του Λεχαίου (e: παλαιοβυζαντινή βασιλική, f: το λιμάνι), Εικόνα 42: περιοχή του Διόλκου (g), με την βελτίωση της υφής μέσω διακύμανσης (*Variance*).

Skewness



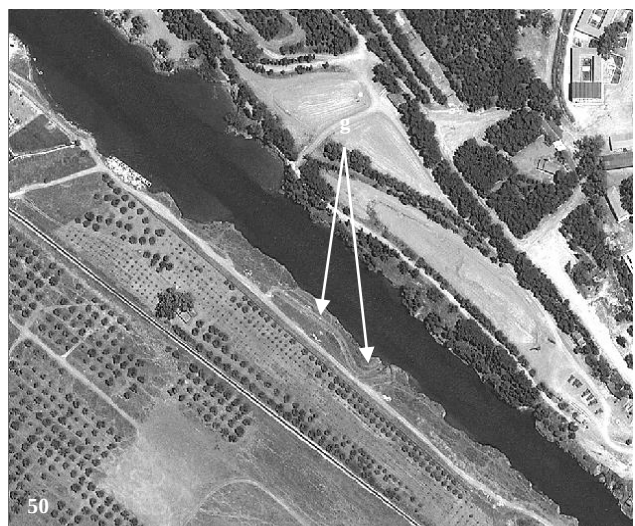
Εικόνες 43-46: Εικόνα 43: περιοχή αρχαίας Αγοράς (a: θέατρο, b: ναός του Απόλλωνα, c: οδός Λεχαίου) , Εικόνα 44: Ακροκόρινθος (d: τείχη του Ακροκορίνθου), Εικόνα 45: Λιμάνι του Λεχαίου (e: παλαιοβυζαντινή βασιλική, f: το λιμάνι), Εικόνα 46: περιοχή του Διόλκου (g), με την βελτίωση της υφής μέσω ασύμμετρης κατανομής (*Skewness*).

10. Edge Crispening

Η διαδικασία αυτή είναι μια επιπρόσθετη λειτουργία του προγράμματος ERDAS η οποία είναι παραπλήσια με την διαδικασία των αλγορίθμων που χρησιμοποιούν πίνακες συνέλιξης. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται είναι πρώτης τάξης παραγώγου και η κίνηση του *kernel* είναι μη κατευθυνόμενη. Τα αποτελέσματά του

είναι παρόμοια με αυτά ενός φίλτρου υψηλών συχνοτήτων που ειδικεύεται στην ανίχνευση και ανάδειξη των ακμών με μοναδική διαφορά τις μικρές τιμές που χρησιμοποιούνται στο kernel αυτού του αλγορίθμου. Η εικόνα που παράγεται παρουσιάζει μια γενική αύξηση της φωτεινότητας με τέτοιο τρόπο ώστε να τονίζονται τα γραμμικά στοιχεία και οι ακμές της, χωρίς να αλλάζει το θεματικό της περιεχόμενο. Η εφαρμογή αυτή επιλέγεται από τον κατάλογο *Spatial Enhancement* και στην συνέχεια *Crisp*. Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας *kernel* και το αποτέλεσμα αυτού του αλγορίθμου στις τέσσερις εικόνες.

-0.627	0.352	-0.627
0.352	2.923	0.352
-0.627	0.352	-0.627

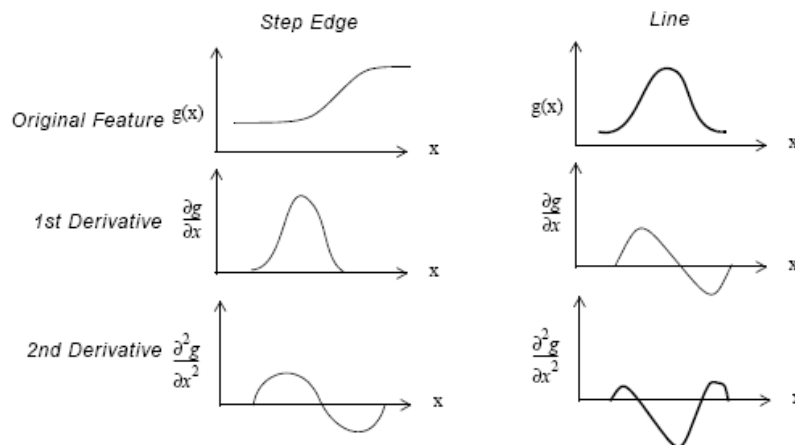


Εικόνες 47-50: Εικόνα 47: περιοχή αρχαίας Αγοράς (a: θέατρο, b: ναός του Απόλλωνα, c: οδός Λεχαίου) , Εικόνα 48: Ακροκόρινθος (d: τείχη του Ακροκορίνθου), Εικόνα 49: Λιμάνι του Λεχαίου (e: παλαιοβυζαντινή βασιλική, f: το λιμάνι), Εικόνα 50: περιοχή του Διόλκου (g), με την εφαρμογή *edge crispning*.

11. Εικονική ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Βάσει των αποτελεσμάτων της ψηφιακής επεξεργασίας που προηγήθηκε η μέθοδος που κρίθηκε καταλληλότερη για την εικονική ερμηνεία είναι η χρήση του φίλτρου *Laplace* καθώς τα αποτελέσματα παρουσιάζουν την μεγαλύτερη ακρίβεια και καθιστούν την ερμηνεία ευκολότερη. Συγκεκριμένα οι λόγοι που επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος αλγόριθμος είναι οι εξής:

- ✓ Γενικά τα φίλτρα *Laplace* καταλαμβάνουν μια γενικότερη κατηγορία αλγορίθμων που χρησιμοποιούν δεύτερης τάξης παραγώγου της εικόνας. Αυτό συντελεί στον εντοπισμό μεγαλύτερης ακρίβειας τόσο των ακμών όσο των γραμμικών στοιχείων της εικόνας καθώς τα δεύτερης παραγώγου φίλτρα ανταποκρίνονται διπλά στον εντοπισμό των στοιχείων αυτών. Συνεπώς το αποτέλεσμα έχει μεγαλύτερη ακρίβεια.



Εικόνα 51: Παράγωγοι των ακμών και των γραμμών. (Πηγή: Erdas Field Guide, 2002)

- ✓ Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος που χρησιμοποιεί το φίλτρο αυτό ανήκει επίσης στην κατηγορία των μη κατευθυνόμενων φίλτρων. Η αντίθετη περίπτωση δεν θα εξυπηρετούσε τον σκοπό της εικονικής ερμηνείας καθώς οι οντότητες που πρέπει να αναδειχθούν είναι σε διάφορες κατευθύνσεις και δεν τείνουν προς κάποια συγκεκριμένη.
- ✓ Τέλος σε σχέση με τα περισσότερα χωρικά φίλτρα, η επέμβαση στο θεματικό περιεχόμενο της εικόνας είναι η ελάχιστη δυνατή καθώς χρησιμοποιεί μόνο δύο pixels για την απεικόνιση των γραμμών και των ακμών.

11.1 Αρχές της ερμηνείας

Η ερμηνεία των εικόνων που ακολουθεί την ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση τους αφορά την επεξήγηση κάθε τμήματος των εικόνων αναφορικά με το σύνολό τους. Έτσι μέσω της ερμηνείας επιχειρείται η διάκριση μεταξύ των φυσικών και ανθρωπογενών χαρακτηριστικών που είναι αποτυπωμένα σε αυτές. Η αναγνώριση και η καταγραφή αυτών των χαρακτηριστικών αφορά την ποιοτική ανάλυση των δεδομένων και καλείται φωτοερμηνεία (Παρχαρίδης I. et al., 2003). Αυτά τα χαρακτηριστικά αναφέρονται ως *αναγνωριστικά στοιχεία* και αφορούν το σχήμα, το μέγεθος, την μορφή, την σκίαση, τον φωτογραφικό τόνο, την υφή, την σχέση με κάποια άλλη οντότητα και την τοποθεσία (Avery T.E. & Berlin G.L., 1992). Παρακάτω ακολουθεί μία συνοπτική επεξήγηση του κάθε στοιχείου.

Σχήμα: Το σχήμα αναφέρεται στην εξωτερική μορφή, σχηματισμό ενός αντικειμένου. Πολιτισμικές οντότητες τείνουν να έχουν γεωμετρικούς σχηματισμούς και ευκρινή όρια εν αντιθέσει με τις φυσικές οντότητες των οποίων το σχήμα και τα όρια τους είναι ακανόνιστα και λιγότερο σαφή.

Μέγεθος: Σ ένα δισδύστατο χώρο το μέγεθος είναι ένα κριτήριο των επιφανειακών διαστάσεων ενός αντικειμένου. Οι σύγκριση σχετικών μεγεθών αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο για την αναγνώριση οντοτήτων.

Μορφή: Η μορφή αναφέρεται στο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τύπο που κατέχει μία οντότητα χωρικά. Η επανάληψη ιδιαίτερων μορφών είναι χαρακτηριστικό αρκετών πολιτισμικών οντοτήτων αλλά και κάποιων φυσικών.

Σκίαση: Η σκίαση αποτελεί βασικό στοιχείο καθώς οι σχηματισμοί που δημιουργούνται από αυτή, υποδηλώνουν την ύπαρξη ορισμένων οντοτήτων.

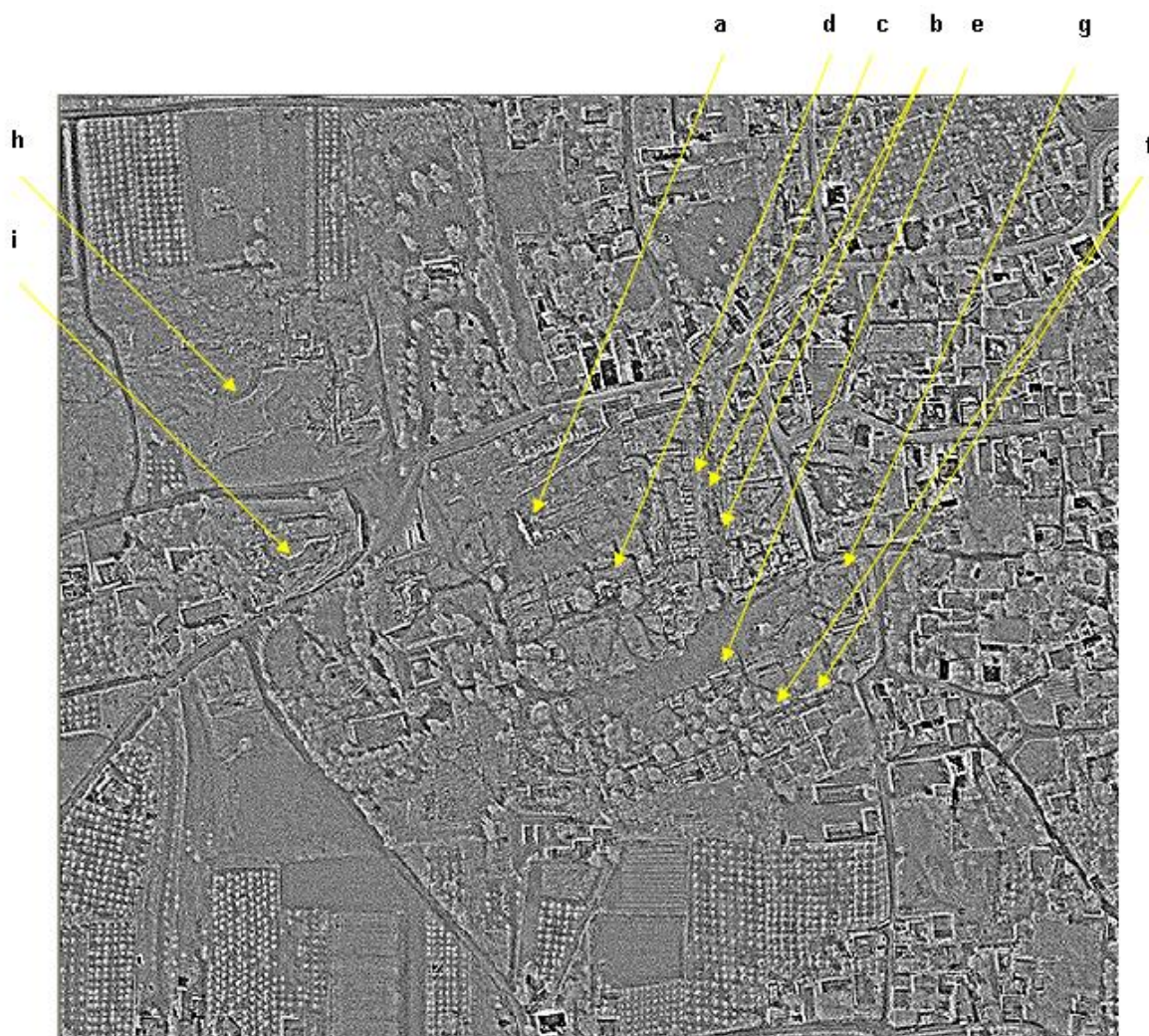
Φωτογραφικός τόνος: Ο τόνος σχετίζεται με τις τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων που συνθέτουν ένα αντικείμενο. Οι μεταβολές στον τόνο επιτρέπουν την διάκριση των υπολοίπων κριτηρίων αναγνώρισης να γίνουν ορατά.

Υφή: Αναφέρεται στην τραχύτητα ή στην ομαλότητα που προκαλούνται από την ποικιλομορφία ή την ομοιομορφία, αντίστοιχα, στον τόνο της εικόνας.

Αλληλοσυσχέτιση: Η ύπαρξη ορισμένων αντικειμένων σχετίζεται, συνδέεται με την ύπαρξη κάποιων άλλων, συνεπώς η εύρεση του ενός υποδηλώνει και την γειτονική ύπαρξη και του άλλου ή άλλων.

Τοποθεσία: Στις περισσότερες περιπτώσεις μία οντότητα είναι ενταγμένη μέσα σε ένα περιβάλλοντα χώρο, μία τοποθεσία η οποία και χαρακτηρίζει την οντότητα αυτή καθώς η ίδια είναι προσαρμοσμένη στα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας που την περιέχει.

11.2 Εικόνα της αγοράς της αρχαίας Κορίνθου



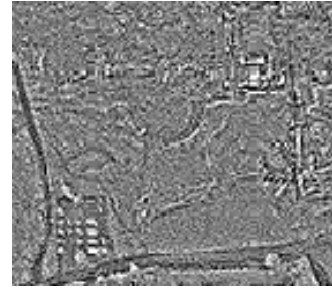
Εικόνα 52: Εικόνα αρχαίας αγοράς με τις οντότητες που έχουν αναγνωριστεί μετά την προσθήκη του φίλτρου Laplace στην πρώτη συνιστώσα της αρχικής εικόνας.

Στο κέντρο της εικόνας διαγράφονται οι επτά κίονες (a) του ναού του Απόλλωνα, οι πέντε που βρίσκονται προς τα δυτικά ως ευθεία γραμμή και οι δυο κάτω δεξιά της γραμμής που σχηματίζουν οι πέντε κίονες. Προς τα ανατολικά του ναού διαγράφεται η οδός Λεχαίου (b) και κατά μήκος της οδού οι κίονες (c) του οικοδομήματος που στέγαζε τα καταστήματα που βρισκόταν δίπλα στην οδό. Σε μικρή απόσταση δίπλα στα όρια του ναού του Απόλλωνα εντοπίζεται το κεντρικό οικοδόμημα των βορειοδυτικών καταστημάτων (d). Στην περιοχή των κεντρικών καταστημάτων της αρχαίας αγοράς



Εικόνα 53: Ναός του Απόλλωνα (a) & Οδός Λεχαίου (b).

και στην συνέχεια της ευθείας που διαγράφει η οδός του Λεχαίου προς αυτήν την περιοχή διαφαίνεται το βήμα (e). Ακριβώς κάτω από το βήμα, βορειοανατολικά της εικόνας διαγράφονται τα όρια της περιοχής της νότιας (f) στοάς και με τα όρια των καταστημάτων που την αποτελούσαν. Επάνω από την βορειοανατολική πτέρυγα της νότιας στοάς εντοπίζεται η πρόσοψη της ρωμαϊκής βασιλικής (g). Στο επάνω αριστερό άκρο της εικόνας διαγράφεται η χαρακτηριστική πεταλοειδής μορφή του θεάτρου (h) του οποίου στο δεξιό τμήμα διαγράφονται μερικές από τις κερκίδες, καθώς επίσης και οι διάδρομοι μεταξύ αυτών κατά μήκος όλου του θεάτρου. Ακριβώς κάτω από το θέατρο εντοπίζεται το ωδείο (i), του οποίου το περίγραμμα αναδεικνύεται πλήρως.



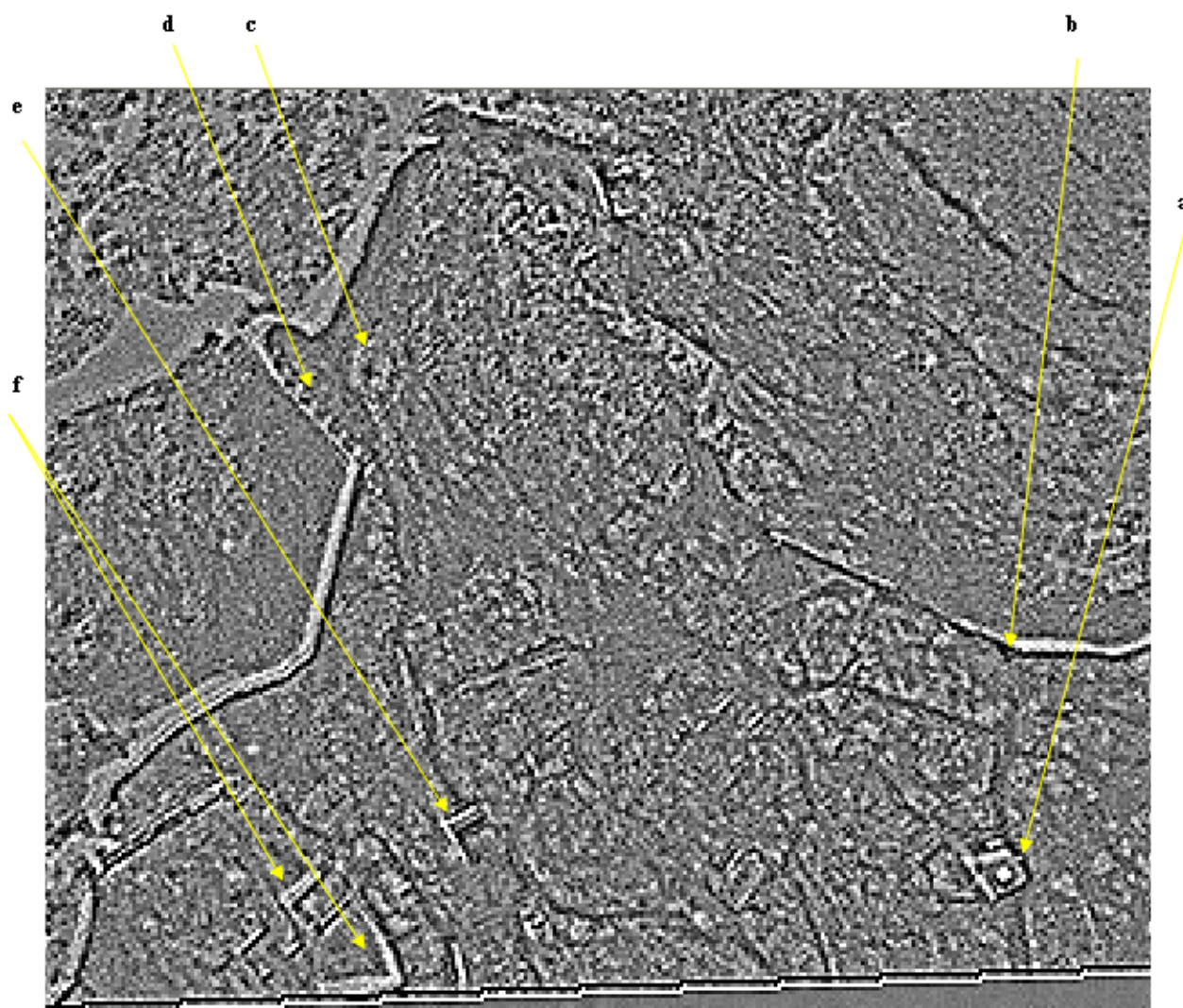
Εικόνα 54: Αρχαίο θέατρο (h)

11.3 Εικόνα της αγοράς της αρχαίας Κορίνθου



Εικόνα 55: Εικόνα του Ακροκορίνθου με τις οντότητες που έχουν αναγνωριστεί μετά την προσθήκη του φίλτρου Laplace στην πρώτη συνιστώσα της αρχικής εικόνας.

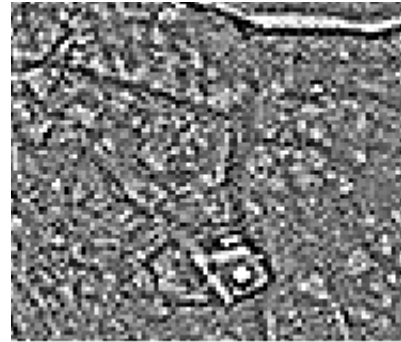
Στην Εικόνα 24 διαφαίνεται ο σχηματισμός των τειχών του κάστρου του Ακροκορίνθου. Για τον λόγο του ότι οι αρχαιολογικές οντότητες που αναδεικνύονται στην εικόνα εκτός των τειχών, έχουν διαστάσεις που δεν διευκολύνουν την οπτική ερμηνεία, οι αρχική εικόνα έχει διασπαστή σε δυο άλλες εστιάζοντας στα σημεία που εμπεριέχουν τις οντότητες αυτές.



Εικόνα 56: Δυτική περιοχή του κάστρου του Ακροκορίνθου με τις οντότητες που έχουν αναγνωρισθεί μετά την προσθήκη του φίλτρου Laplace στην πρώτη συνιστώσα της αρχικής εικόνας.

Γενικά παρατηρείται μία τραχύτητα στην εικόνα καθώς η περιοχή είναι βραχώδης. Αντίθετα γύρω από τους χώρους που καταλαμβάνουν οι αρχαιολογικές οντότητες η επιφάνεια είναι πιο ομαλή γεγονός που υποδηλώνει και την ύπαρξη ανθρώπινων επεμβάσεων. Στο κάτω δεξιά άκρο της εικόνας εμφανίζεται ένας μουσουλμανικός ναός (**a**) και βόρεια αυτού μία από τις δευτερεύουσες πύλες (**b**) που διέθετε το κάστρο κατά μήκος των τειχών του. Στην ευθεία μεταξύ αυτών σχηματίζεται έντονα,

σε σχέση με αντίστοιχες μορφές, ένας δρόμος, λόγω του ότι η κατασκευή του είναι μεταγενέστερη των υπολοίπων δομών. Στο επάνω αριστερό άκρο της εικόνας εντοπίζονται κάποια κατάλοιπα οικιών (c) με χαρακτηριστικό τετράγωνο σχηματισμό και ακριβώς δίπλα αριστερά αυτών διαγράφεται μία συστοιχία από παράλληλες γραμμές κάθετα κατά μήκος του τείχους, υποδηλώνοντας την ύπαρξη πολεμιστρών (d), Στο

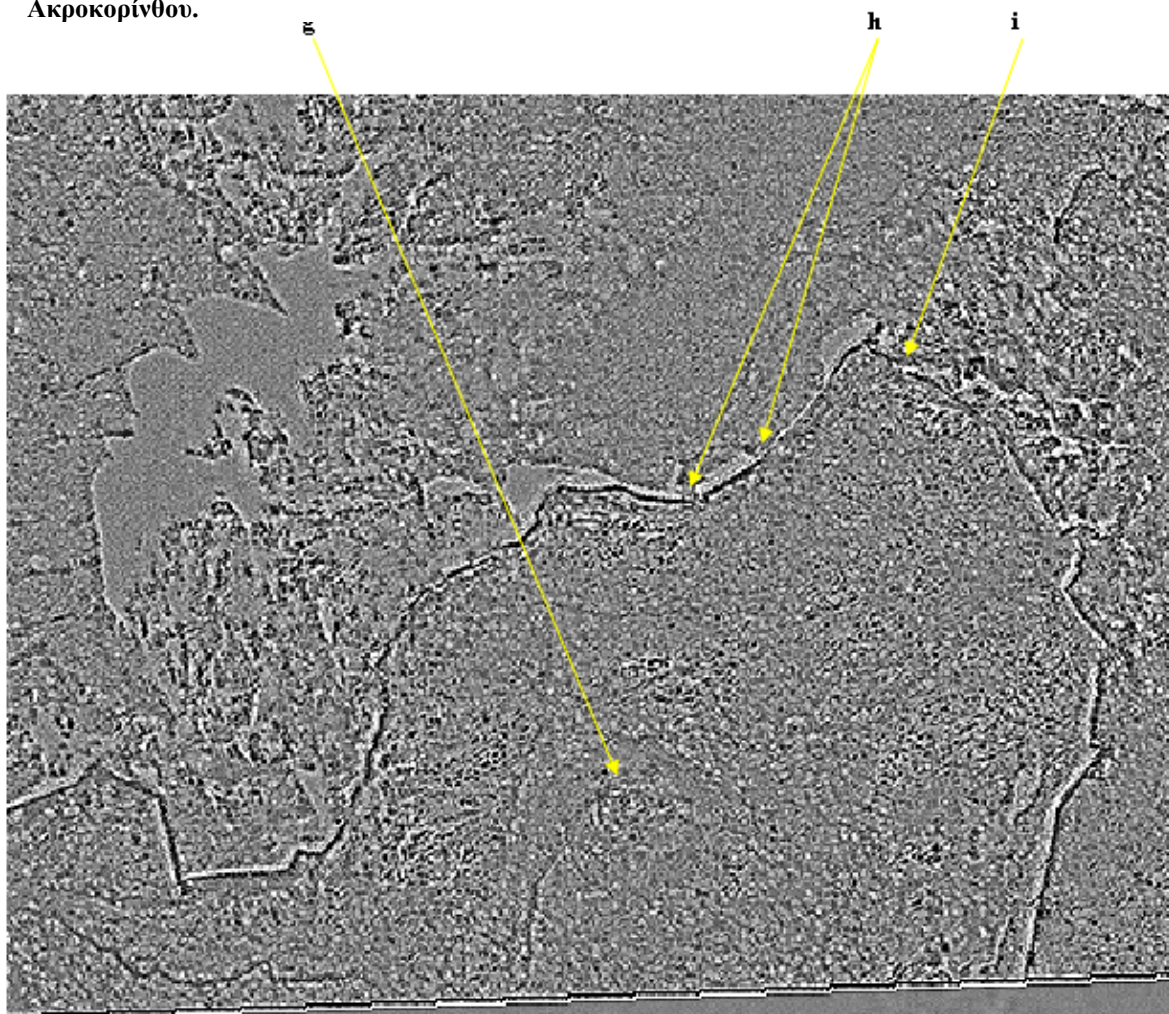


Εικόνα 57: Μουσουλμανικός ναός (a) & δευτερεύουσες πύλες (b) του Ακροκορίνθου.



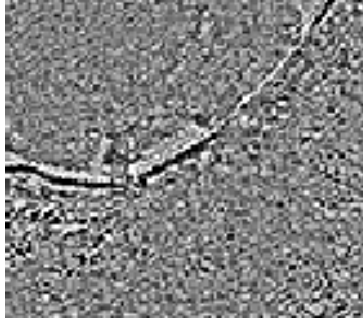
Εικόνα 58: Αριστερά τα τείχη των κεντρικών πυλών (f), δεξιά διάφορα οικοδομήματα (e) του Ακροκορίνθου.

κάτω αριστερό άκρο της εικόνας διαγράφονται κάποιοι ορθογώνιοι σχηματισμοί που πιθανά να υποδηλώνουν την ύπαρξη κάποιων οικοδομημάτων (e). Κάτω από το σημείο αυτό διαγράφονται οι σχηματισμοί των τοιχίων (f) που συνέθεταν τις κεντρικές πύλες και προεξείχαν, δημιουργώντας έτσι ορθογώνιους σχηματισμούς κατά μήκος του τοιχίου.



Εικόνα 59: Ανατολική περιοχή του κάστρου του Ακροκορίνθου με τις οντότητες που έχουν αναγνωρισθεί μετά την προσθήκη του φίλτρου Laplace στην πρώτη συνιστώσα της αρχικής εικόνας.

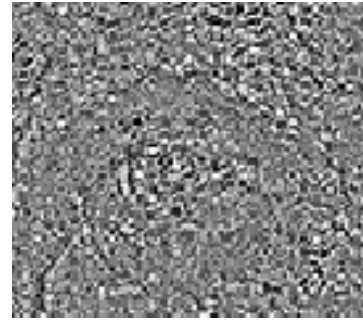
Σχεδόν στο κέντρο της Εικόνας 26 εντοπίζεται ο ναός της Αφροδίτης (g) βάσει των αντιθέσεων που εμφανίζει η περιβάλλουσα περιοχή του με την γύρω βραχώδη επιφάνεια και των σχηματισμών εντός αυτής της περιοχής. Στο επάνω τμήμα της εικόνα διαγράφονται τα



Εικόνα 61: Νοτιοανατολικές πύλες του Ακροκορίνθου.

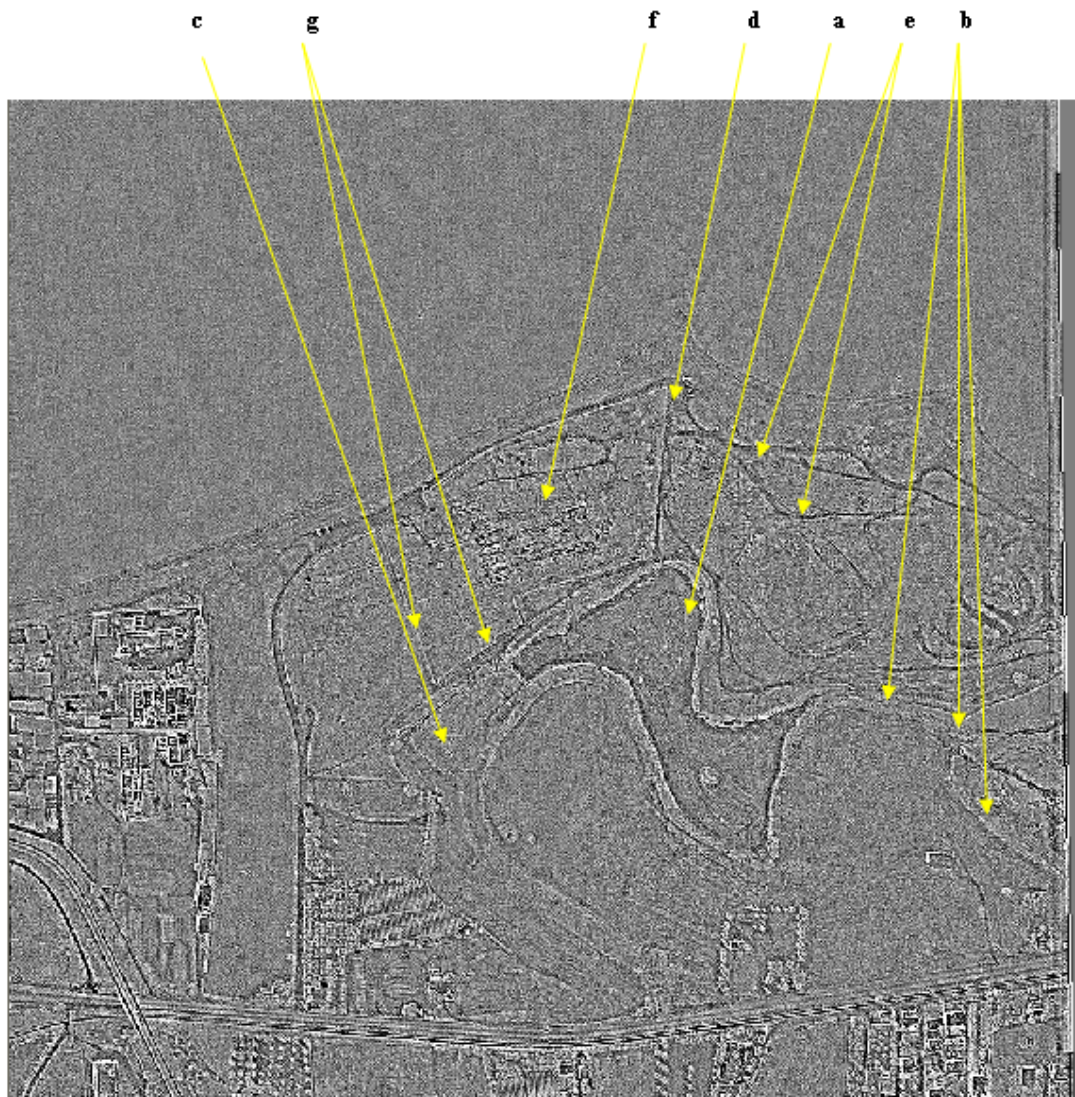
δυο σημεία εισόδου των νοτιοανατολικών πυλών (h) και δεξιά αυτών κατά

μήκος του τείχους διαγράφεται μία ασυνέχεια που υποδηλώνει την ύπαρξη κάποιας μικρότερης πύλης (ι).



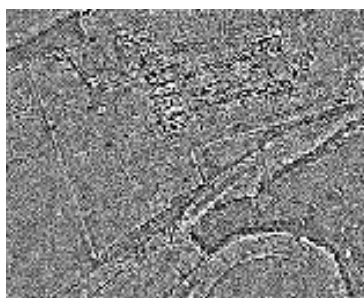
Εικόνα 60: (κέντρο) Ναός της Αφροδίτης του Ακροκορίνθου.

11.4 Εικόνα του λιμανιού του Λεγαίου

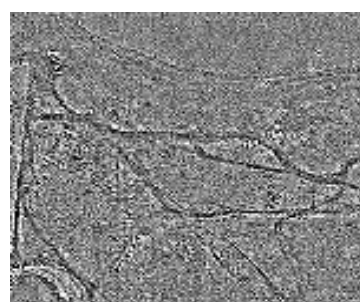


Εικόνα 62: Εικόνα του λιμανιού του Λεγαίου και της παλαιοβυζαντινής βασιλικής με τις 12 οντότητες που έχουν αναγνωριστεί μετά την προσθήκη του φίλτρου Laplace στην πρώτη συνιστώσα της αρχικής εικόνας.

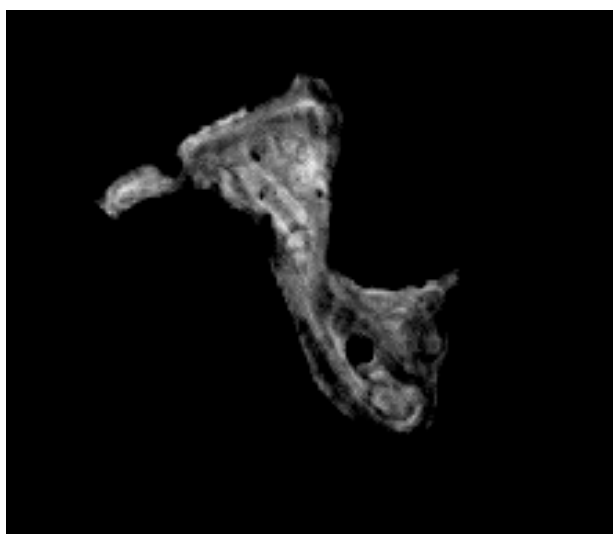
Στο κέντρο της εικόνας εμφανίζεται το τεχνητό αρχαίο τμήμα του λιμανιού που έχει απομείνει και τα όρια του **(a)** καθώς επίσης και το ανατολικό του τμήμα που καταλήγει στη δεύτερη λιμενολεκάνη **(b)**. Αρχικά εξετάστηκε το ενδεχόμενο ύπαρξης αρχαιολογικών καταλοίπων στον πυθμένα του έλους, η περιγραφή ακολουθεί στην επόμενη παράγραφο. Δυτικά της πρώτης λιμενολεκάνης που βρίσκεται στο κέντρο της εικόνας, διαγράφεται η συνέχεια του λιμανιού **(c)**, στη θέση του οποίου σήμερα εντοπίζονται καλλιέργειες. Στο επάνω μέρος της πρώτης λιμενολεκάνης σχηματίζεται η πορεία που ακολουθούσαν τα ύδατα για την έξοδό τους προς την θάλασσα που αποτελούσε και το δυτικό όριο του αρχαίου λιμανιού **(d)**. Ανατολικά του ορίου αυτού διαγράφονται τα εξωτερικά όρια του λιμανιού που βρίσκονται πλέον εντός του εδάφους **(e)**. Επάνω αριστερά του λιμανιού εντοπίζεται η παλαιοβυζαντινή βασιλική **(f)** της οποίας οι εσωτερικές δομές καθώς και το εξωτερικό της περίγραμμα είναι εμφανή. Περιμετρικά της διαγράφεται ο περίβολος της **(g)**.



Εικόνα 63: (επάνω) Παλαιοχριστιανική βασιλική **(f)** & περίβολός της **(g)**, (κάτω) δυτικό τμήμα του εναπομείναντος λιμανιού του Λεχαίου **(a)**.

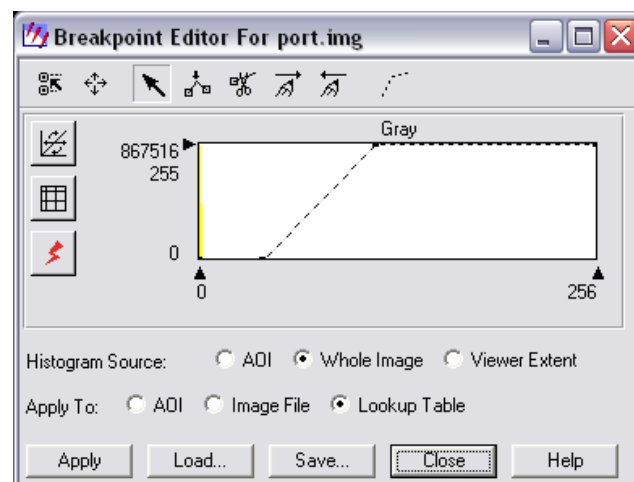


Εικόνα 64: Τα εξωτερικά όρια του αρχαίου λιμανιού του Λεχαίου **(e)** & (αριστερά) το δυτικό όριο του αρχαίου λιμανιού **(d)**.



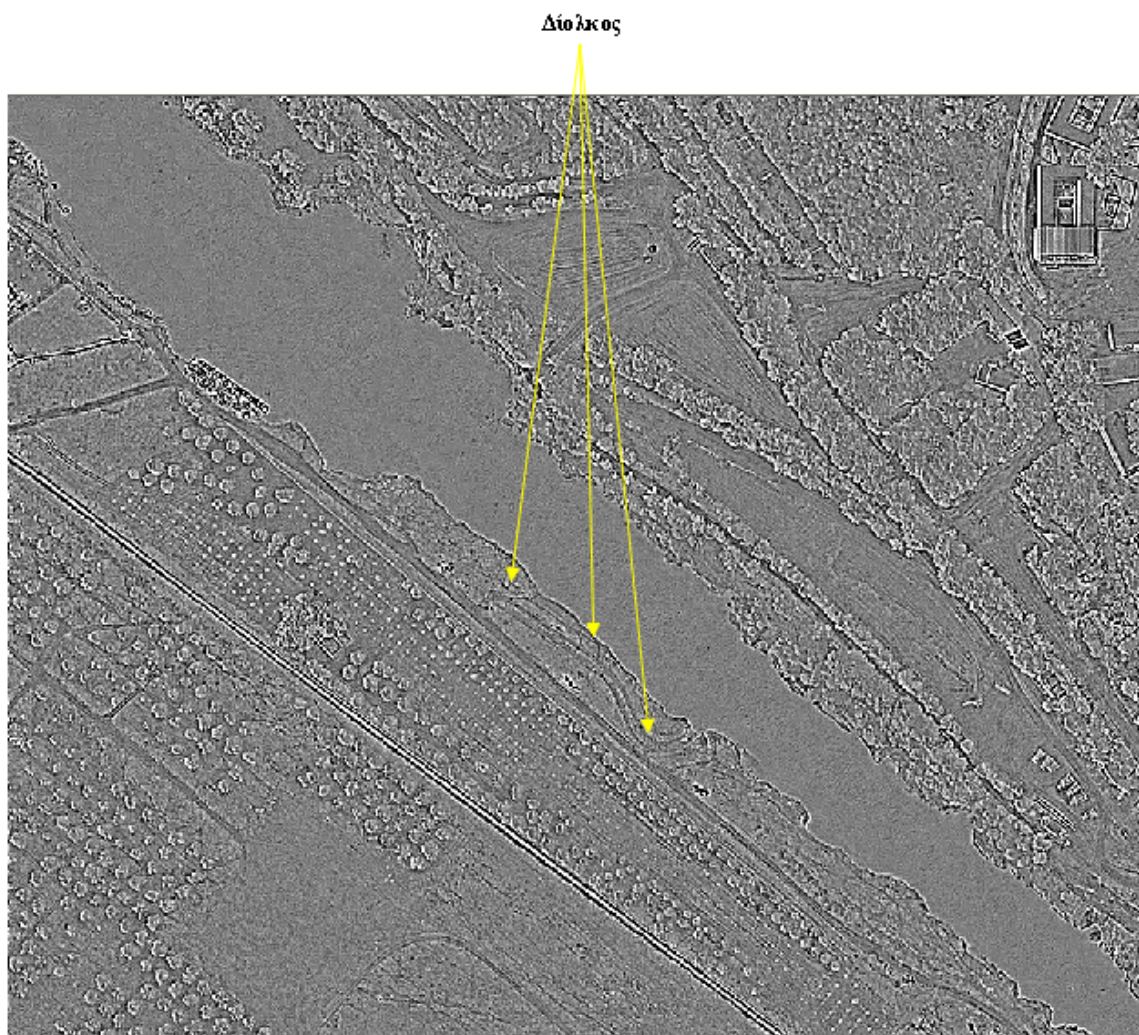
Εικόνα 65: Τοπογραφία αναγλύφου του πυθμένα του έλους του λιμανιού,

Δεδομένου ότι το έλος του λιμανιού είναι αβαθές η απόκτηση πληροφοριών από τον πυθμένα είναι δυνατή μέσω του δορυφόρου Ikonos καθώς μπορεί να καταγράψει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανακλάται από τον πυθμένα μπορεί να καταγραφεί από τους αισθητήρες του δορυφόρου. Για την ανάδειξη της γεωμορφολογίας του πυθμένα χρησιμοποιήθηκε το ιστόγραμμα της εικόνας το οποίο μεταρρυθμίστηκε χειροκίνητα, μέσω του *Viewer* τον κατάλογο *Raster* και επιλογή *Brightness/Contrast*.



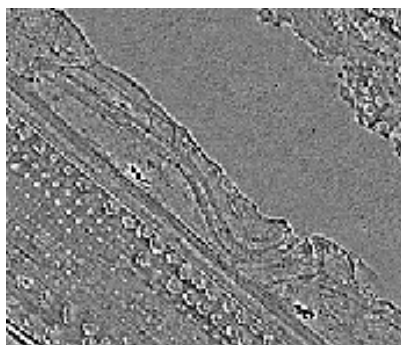
Βάσει της εικόνας που προέκυψε, Εικόνα 61, δεν παρατηρείται κάποιος σχηματισμός στον πυθμένα που μπορεί να αποτελεί αρχαιολογικό ή και γενικότερα κάποιο αντικείμενο από ανθρώπινη επέμβαση το οποίο να έχει βυθιστεί.

11.5 Εικόνα της περιοχής του Διόλκου



Εικόνα 66: Εικόνα της περιοχής του Διόλκου με τις οντότητες που έχουν εντοπιστεί μετά την προσθήκη του φίλτρου Laplace στην πρώτη συνιστώσα της αρχικής εικόνας.

Από την παρατήρηση της παραπάνω εικόνας ή μόνη πλευρά του Διόλκου που γίνεται εμφανής είναι η δυτική καθώς στην ανατολική δεν εντοπίζεται κανένα ίχνος του. Στο εμφανές τμήμα εκτός από τα όρια του Διόλκου είναι επίσης ορατοί και οι σχηματισμοί οι κυβικοί λίθοι από τους οποίους και αποτελείται.



Εικόνα 67: Διόλκος.

11.4 Εικόνα της περιοχής των τειχών της αρχαίας Κορίνθου

Για την ανάδειξη των τειχών χρησιμοποιήθηκε η αρχική εικόνα του δορυφόρου Ikonos (**Εικόνα 1**), στην οποία μετά την διαδικασία της ψηφιακής επεξεργασίας που ακολουθήθηκε έγινε δυνατός ο εντοπισμός των ιχνών του τείχους που γύρω από την περιοχή της αρχαίας αγοράς καθώς επίσης και το δυτικό τμήμα των μακρών τειχών που ένωνε την αγορά με το λιμάνι του Λεχαίου. Το ανατολικό τμήμα των μακρών τειχών δεν συμπεριλαμβάνεται στην περιοχή κάλυψης της συγκεκριμένης εικόνας. Τα τείχη ψηφιοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό με βάση την διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω. Από τον *Viewer* της εικόνας επιλέγουμε το άνοιγμα *Vector Layer* με αποτέλεσμα την δημιουργία στον δίσκο ενός αρχείου που να περιέχει δυνατότητες σχεδιασμού ανυσματικών επιπέδων. μετά από αυτό το βήμα είναι πλέον δυνατό να γίνει ψηφιοποίηση διαφόρων οντοτήτων στην εικόνα καθώς η δομή των ανυσματικών δεδομένων που ακολουθεί το πρόγραμμα ERDAS IMAGINE βασίζεται στο μοντέλο δεδομένων που του λογισμικού ArcInfo. Από τον *Viewer* επιλέγουμε *Vector Tools* και στη συνέχεια επιλέγουμε το κατάλληλο εργαλείο για την ψηφιοποίηση γραμμικών οντοτήτων καθώς οι οντότητες που θα ψηφιοποιηθούν είναι τα τείχη. Παράλληλα για την ταυτόχρονη επαλήθευση των ιχνών με τα σημεία τους που αντιστοιχούν στην αρχική εικόνα χρησιμοποιήθηκε η εντολή *Geolink* για τους δυο *Viewer* επιτυγχάνοντας έτσι την ταυτόχρονη μετακίνηση και των δύο εικόνων και την επιλεκτική μεγέθυνση σε όποια από τις δύο επιλέξουμε. Συγκεκριμένα για την ψηφιοποίηση του δυτικού τμήματος των μακρών τειχών λόγω του ότι κάποια ίχνη είχαν πλέον εξαφανιστεί ενώ κάποια άλλα παραπλήσια εντοπιζόταν σε μικρή απόσταση από τα πρώτα ψηφιοποιήθηκαν τα περισσότερα που πιθανά αποτελούν τμήμα των τειχών με μία απόκλιση μικρή εκατέρωθέν τους (**Εικόνα 68**).



Εικόνα 68: Σύνδεση των δυο Viewers και επαλήθευση των ιχνών της ψηφιακά επεξεργασμένης εικόνας με την αρχική.

Παρακάτω απεικονίζεται η τελική επεξεργασμένη εικόνα με αποτυπωμένα τα τείχη (Εικόνα 69).



Εικόνα 69: Τα τείχη της αρχαίας αγοράς της Κορίνθου και το δυτικό τμήμα των μακρών τειχών που ένωναν την αγορά με το λιμάνι του Λεχαιού μετά την προσθήκη του φίλτρου Laplace στην πρώτη συνιστώσα της αρχικής εικόνας.

Συμπεράσματα

Πλεονεκτήματα που αφορούν την χρήση δορυφορικών εικόνων στην αρχαιολογία έναντι των υπολοίπων κλασσικών μεθόδων

- Ένα από τα βασικότερα πλεονέκτημα που προσφέρει η χρήση των δορυφορικών εικόνων στην αρχαιολογία είναι το μεγαλύτερο φασματικό εύρος στο οποίο καταγράφουν οι δέκτες των δορυφορικών συστημάτων. Η χρήση των αεροφωτογραφιών ήταν περιορισμένη στην λήψη δεδομένων μόνο στο ορατό φάσμα, περιορίζοντας έτσι την αναγνώριση των οντοτήτων σε οπτικές μεθόδους. Τα πολυφασματικά δεδομένα των δορυφόρων παρέχουν την δυνατότητα για βαθύτερη ανάλυση και επεξεργασία της εικόνας
- Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η προσβασιμότητα του δορυφόρου σε οποιαδήποτε περιοχή και η κάλυψη μεγάλων περιοχών σε αρκετά σύντομο χρονικό διάστημα καθώς επίσης και το προτέρημα της επανεπίσκεψης μίας περιοχής από τον δορυφόρο σε διάστημα έως και τριών ημερών γεγονός που συμβάλει στην ταχύτερη ανανέωση των δεδομένων ή ακόμη και στην διεύρυνση των επιλογών καλύτερων δεδομένων σχετικά με τις συνθήκες λήψης τους.
- Επίσης η χρήση αυτών των δεδομένων μπορεί διευκολύνει την διαδικασία μιας κλασσικής αρχαιολογικής μελέτης καθώς μπορεί να προσανατολίσει και να κατευθύνει την έρευνα προς συγκεκριμενοποιημένες περιοχές μειώνοντας έτσι την δαπάνη και τον χρόνο της έρευνας, ανασκαφής και ταυτόχρονα μηδενίζοντας τον κίνδυνο αλλοίωσης του αρχαιολογικού χώρου και των ευρημάτων του. Παρόμοια οικονομικά οφέλη μπορούν να υπάρξουν και σε σχέση με την χρήση αεροφωτογραφιών καθώς για την ίδια περιοχή κάλυψης μια δορυφορική εικόνα μπορεί να αντικαταστήσει ένα πολυάριθμο σετ αεροφωτογραφιών.
- Η εφαρμογή των εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης στην αρχαιολογική έρευνα βάσει τηλεπισκοπικών μεθόδων γεφυρώνει πλέον το χάσμα που προυπήρχε με παλαιότερες μεθόδους, κυρίως την εναέρια φωτογράφιση, όπου η χωρική διακριτική ικανότητα ήταν 2m τις τελευταίες δεκαετίες. Πλέον με την έναρξη της εποχής δορυφορικών δεδομένων χωρικής ανάλυσης

μικρότερης του ενός μέτρου τα πλεονεκτήματα είναι ασύγκριτα καθώς πέρα από την χωρική πληροφορία που βελτιώθηκε εντυπωσιακά επιτυγχάνεται ο συνδυασμός της με την πολυφασματική αξιοποιώντας έτσι στο μέγιστο την πληροφορία.

Τα δεδομένα

Το γεγονός ότι ο τύπος των εικόνων ήταν *pan sharpened* συνέβαλλε στην μεγιστοποίηση της χωρικής πληροφορίας και κατά συνέπεια στην διευκόλυνση της οπτικής ερμηνείας. Ο συγκεκριμένος τύπος αποτέλεσε και έναν από τους βασικότερους λόγους για τον οποίο ακολουθήθηκε η δεδομένη μεθοδολογία εικονικής επεξεργασίας.

Εναλλακτικά βέβαια το γεγονός αυτό περιόρισε κατά κάποιο τρόπο την εφαρμογή άλλων σημαντικών μεθοδολογιών οι οποίες θα μπορούσαν να βασιστούν στην φασματική πληροφορία του κάθε καναλιού ξεχωριστά. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί η αξιοποίηση των φασματικών συχνοτήτων του κάθε καναλιού, η οποία προϋποθέτει μετασχηματισμό Fourier της εικόνας.

Μεθοδολογία

- Όπως προαναφέρθηκε ο απώτερος σκοπός της επεξεργασίας των εικόνων ήταν η βελτίωση των εικόνων έτσι ώστε να γίνει δυνατή η εικονική ερμηνεία. Η χρήση των χωρικών φίλτρων αποδείχτηκε αρκετά χρήσιμη καθώς συνήθως ένας αρχαιολογικός χώρος αποτελείται από ένα σύνολο οντοτήτων που ποικίλουν μεταξύ τους και έχουν ασαφή όρια και μορφή δυσκολεύοντας έτσι την κατηγοριοποίησή ,την ομαδοποίησή τους και κυρίως την ανάδειξή τους.
- Επίσης οι περισσότερες από τις οντότητες που επιχειρήθηκαν να εντοπιστούν, αναγνωριστούν, είχαν μικρό μέγεθος. Συνεπώς η εφαρμογή των χωρικών φίλτρων κατάφερε να αξιοποιήσει την πολύ υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα των δορυφόρων Ikonos-2 και Quickbird, δείχνοντας έτσι ότι η εφαρμογή των δορυφορικών εικόνων στην αρχαιολογία παύει πλέον

να περιορίζεται στην αναγνώριση τεράστιων δομών καθώς επεκτείνεται και στην αναγνώριση αρκετά μικρότερων με αυξημένη χωρική λεπτομέρεια.

- Το λογισμικό ERDAS IMAGINE 8.6 αποδείχτηκε αρκετά αποτελεσματικό για τέτοιου είδους εφαρμογές καθώς πέραν το μεγάλο εύρος των αυτοματοποιημένων αλγορίθμων που περιλαμβάνει, έχει επίσης ένα πλήθος δυνατοτήτων που επιτρέπουν στον χρήστη την δημιουργία δικών του παραμέτρων και επιλογών δίνοντας του έτσι την ελευθερία να κατασκευάσει τον επιθυμητό αλγόριθμο ή φίλτρο από μόνος του ανάλογα την εφαρμογή.

Συνοψίζοντας, η εφαρμογή δορυφορικών εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης στην ανάδειξη και αναγνώριση ήδη γνωστών αρχαιολογικών οντοτήτων αποτελεί μια εξολοκλήρου νέα προσέγγιση στην αρχαιολογική έρευνα παρόλο που και άλλα τηλεπισκοπικά δεδομένα έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν. Η εφαρμογή αυτή βρίσκεται προς το παρόν σε εμβρυακό στάδιο για να μπορέσει να θεωρηθεί πανάκεια στην αρχαιολογική έρευνα και μελέτη. Παρόλα αυτά όμως η εφαρμογή αυτή έχει ήδη δώσει δείγματα που μπορούν να την καταστήσουν ως ένα από τα πολυτιμότερα εργαλεία σε μία τέτοιου είδους έρευνα. Πρόκειται για μια εφαρμογή που σίγουρα στο προσεχές μέλλον θα απασχολήσει τόσο τον επιστημονικό πεδίο της αρχαιολογίας όσο και της δορυφορικής τηλεπισκόπησης.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

Αγγλική

Avery T.E & Berlin G.I., (1992). *Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation*. 5th edition, Mc Millan Publishing Company, New York.

Bewley Robert H., (2003) *Aerial Survey For Archaeology*. English Heritage, Photogrammetric Record.

Campana St., (2002). *High resolution satellite imagery: a new source of information to the archaeological study of Italian landscapes*. Case study of Tuscany, in Space Application for Heritage Conservation, Atti del Convegno Mondiale organizzato dall'International Space University, UNESCO, European Space Agency, NASA, Council of Europe.

Campana St., Forte M., (2001), *Remote Sensing in Archaeology*, atti dell'XI International School in Archaeology, (Certosa di Pontignano, 6-11 dicembre 1999).

Campana St., Francovich R., (2001). *Landscape Archaeology in Tuscany: Cultural resource management, remotely sensed techniques, GIS based data integration and interpretation*. Department of Archaeology and Arts History, Italy.

Cook M.K., et. al., (2000). *"Ikonos Technical Performance Assessment"*. Space Imaging White Papers.

Chavez, P.A., Jr. and B. Bauer, (1982). An automatic optimum kernel-size selection technique for edge enhancement, *Remote Sensing of Environment*.

Dech St. et. al., (2003). “*European Ground Segment for High Resolution Ikonos Data*”. German Remote Sensing Data Center (DFD), German Aerospace Center (DLR).

Ebert, J I., (1988). Remote Sensing in Archaeological Projection and Prediction. In Quantifying the Present and Predicting the Past: theory, method and application of archaeological predictive modelling edited by W J Judge and L Sebastian. Denver.

Fowler M.J.F., (1996). High-resolution satellite imagery in archaeological application: a Russian satellite photograph of the Stonehenge region. *Antiquity* 70, 667-71.

Georgoula G., Kaimaris D., Tsakiri M. and Patias P., *From the Aerial Photo to High Resolution Satellites Image Tools for the Archaeological Research*. Department of Cadastre, Photogrammetry and Cartography, Aristotles University of Thessaloniki, Greece.

Girard M.C. & Girard C.M., (2003). *Processing of Remote Sensing Data*. A.A. Balkem Publishers.

Gonzalez R.C. & Woods R.E. (1993). *Digital Image Processing*. 2nd edition, Addison-Wesley Company Inc.

Grodecki J. & Dial G., (2000). “*Ikonos Geometric Accuracy*”. Space Imaging White Pappers.

Gupta P.R., (1991). *Remote Sensing in Geology*. Springer-Verlang

Haraguchi S. & Oers R., (2003) *Identification and Documentation of Modern Heritage*. UNESCO World Heritage Centre with financial contribution from the Netherlands Funds-in-Trust.

Hartley R. & Gupta R. (2003). *“A camera model for space-borne, pushbroom imaging systems,”*, Technical Report, GE Corporate R&D, 1 River Road, Schenectady, NY..

Jacobsen K., (2002). *“Geometric Potential of IKONOS- and QuickBird-Images”*. University of Hannover, Germany.

Jensen J.R. (1996). *Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective*. 2nd edition, Prentice Hall series in geographic information science.

Lillesand T.M. & Kiefer R.W., (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation*, 5th edition, J. Wiley & Sons.

Lyons, T R and F J Mathien, (1980). *Cultural resources remote sensing*. National Park Service Cultural Resources Management Division, Washington DC.

Meek M. et. al., (2003). *“Orbit Determination for the Quickbird Spacecraft”*. Colorado Center for Astrodynamics Research, The University of Colorado.

Pratt W.K. (1991). *Digital Image Processing*. 2nd edition, J. Wiley & Sons.

Riley D N, (1996). *Aerial Archaeology in Britain*. Shire Publications.

Rosenfeld, A., Kak, A., (1982). *Digital Picture Processing*. Volume 1 & 2. Academic Pres, New York

Sabins F.F. (1997). *Remote Sensing: Principlles and Interpretation*. 3rd edition, W.H. Freeman and Company, New York.

Spurr S., (1960). *Photogrammetry and Photo-interpretation*. The Ronald Co. NY. USA.

Trelogan, J., Crawford, M.M., Kwon, O., and Carter, J., (1999). *Mapping the Features of the Chora of Chersonesos via Remotely Sensed Data*. Proceedings of the 1999 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Hamburg, Germany,

Wang Changlin, Yin Ning, Nie Yueping and Yang Lin (2004). *Environmental Study and Information Extraction of Archaeological Features with Remote Sensing Imagery in Arid Area of Western China*. International Conference on Remote Sensing Archaeology, Beijing.

Ιστοσελίδες

www.spaceimaging.com

www.spaceimaging.com/newsroom/1999.htm

www.spaceimaging.com/gallery/ancientObservatories/Stonehenge.jpg

www.spaceimaging.com/products/ikonos/index.htm

www.emporia.edu/earthsci/student/tilton2.html

www.univie.ac.at/Luftbildarchiv/intro/aa_hist.htm

www.muzarp.poznan.pl/archweb/archweb_eng/Publications/arch_lot/2d.html

www.uwm.edu/Dept/ArchLab/cahokia/pictures/monksair3.html

www.geo-informatie.nl/projects/bcrs/multisensor/report1/10.htm

ourworld.compuserve.com/homepages/mjff/giza_kvr.htm

www.muzarp.poznan.pl/archweb/archweb_eng/archweb_e.htm

rst.gsfc.nasa.gov

eosps0.gsfc.nasa.gov/

epsilon.nought.de/

www.ldeo.columbia.edu/res/fac/rsvlab/glossary.html

www.research.umbc.edu/~tbenja1/umbc7/

www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/terms/glossary/glossary_e.html

www.esa.int/esaEO/SEMKZ9WO4HD_index_0.html

www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/mayan_ruins.html

www.thepanamanews.com/pn/v_12/issue_04/science_06.html

www.csr.utexas.edu/rs/research/arch/

www.jpl.nasa.gov/releases/98/angkor98.html

www.canadiangeographic.ca/geonews/archives.asp?cat=Archaeology

www.msnbc.msn.com/id/11747932/

www2.jpl.nasa.gov/srtm/

www.sisea.co.th/ikonos/characteristics.html

directory.eoportal.org/pres_Ikonos2Block1.html

cgi.girs.wageningen-ur.nl/igi-new

www.ballaaerospace.com/quickbird.html

www.digitalglobe.com

www.satimagingcorp.com

directory.eoportal.org/pres_QUICKBIRD2.html

www.digitalglobe.com/downloads/QuickBird%20Imagery%20Products%20-%20Product%20Guide.pdf

www.geocities.com/world_greek_geografia/Greekstart/start.htm

www.korinthia.net/arxaia-korinthos.htm

www.culture.gr/2/21/211/21104a/g211da05.html

www.cas.sc.edu/geog/rslab/rscc/rscc-frames.html

www.ghcc.msfc.nasa.gov/land/ncrst/infoextract.html#bm2

Ευρετήριο

Εικόνες

Κεφάλαιο 1^ο: Εφαρμογή των Διαστημικών και από Αέρος δεδομένων παρατήρησης της Γης στη Γεωαρχαιολογία

Εικόνα 1: (αριστερά) Θετικά σημάδια καλλιέργειας, (δεξιά) Αρνητικά σημάδια καλλιέργειας.....10

Εικόνα 2: Σημάδια σκίασης λόγω διαφορετικής σύστασης του υπεδάφους.....11

Εικόνα 3: Αεροφωτογραφία του μνημείου Stonehenge από τον Lieutenant P. H. Sharpe. Η λήψη της έγινε από στρατιωτικό αερόστατο το έτος 1906.....12

Εικόνα 4: Αεροφωτογραφία του όρους Cahokia (Monks Mount) στην περιοχή του Illinois των ΗΠΑ το έτος 1922.....12

Εικόνα 5: Δορυφορική εικόνα του Corona KH-4B, στην οποία φαίνεται ένα οχυρό Ρωμαϊκής Λεγεώνας στην περιοχή του *El-Lejjun της Ιορδανίας*.....16

Εικόνα 6: Στην δορυφορική εικόνα του KVR 1000 φαίνεται το κτιριακό συγκρότημα των πυραμίδων της Γκίζας.....16

Εικόνα 7: Σύνθετη ψευδέγχρωμη εικόνα του δορυφόρου Ikonos στην περιοχή της Γουατεμάλα, στην οποία φαίνονται πλατιές πεδινές περιοχές οι οποίες είναι μερικώς καλυμμένες με νερό (*bajó*) κατά τις βροχερές περιόδους. Οι περιοχές με το κίτρινο χρώμα δηλώνουν αποχρωματισμούς της πυκνότητας της δασικής κάλυψης και επίσης εμφανίζουν με ακρίβεια τις τοποθεσίες των αρχαίων κτηρίων των Maya.....19

Εικόνα 8: Σύγκριση δορυφορικών εικόνων Landsat 30m (αριστερά) και Ikonos 1m (δεξιά), ερειπίων της αρχαίας πόλης Tikal, στη Γουατεμάλα.....19

Εικόνα 9: Η σύγκριση της εικόνας του δορυφόρου Corona που λήφθηκε το 1968 (δεξιά) με την παγχρωματική εικόνα του IRS 1997 (αριστερά), δείχνει την καταπάτηση των αρχαιολογικών καταλοίπων από την έντονη αστική επέκταση.....20

Εικόνα 10: Η σύγκριση των δυο εικόνων του Landsat TM, Ιούλιος του 1988 και Αύγουστος του 1992, φανερώνει την ταχεία ανάπτυξη των αστικών χρήσεων γης, που αναπαρίσταται με κίτρινο χρώμα, σε μικρό χρονικό διάστημα. Η αστική επέκταση, βάσει των εικόνων, εντοπίζεται περισσότερο ταχύρρυθμη στην περιοχή που περιβάλλουν οι αρχαίες Ελληνικές καλλιέργειες.20

Εικόνα 11: Αεροφωτογραφία της Tong Wan Cheng που δείχνει την κάλυψη μεγάλου μέρους των αρχαίων καταλοίπων από κινούμενη άμμο.....21

Εικόνα 12: Ταξινόμηση εικόνας Landsat ETM, της περιοχής Tong Wan Cheng στην οποία το κίτρινο αντιπροσωπεύει την αμμώδη κάλυψη, το πράσινο την βλάστηση και το μπλε το νερό. Βάσει της εικόνας παρατηρείται μια αύξηση στην αναδάσωση της περιοχής.....	21
Εικόνα 13: Εικόνα του Quickbird στην οποία με κίτρινο χρώμα παρουσιάζονται οι περιοχές με αμμώδη κάλυψη, με πράσινο η βλάστηση και με μπλε μέρη του πύργου Zhen Bei Tai....	22
Εικόνα 14: Εικόνα του Ikonos στην οποία φαίνεται η περιοχή Zhen Bei Tai, όπου το Μεγάλο Τείχος διέρχεται από το κέντρο της αριστερής γωνίας έως το πάνω δεξιό άκρο της εικόνας. Ο πύργος του Zhen Bei Tai παρουσιάζεται με σκούρο μπλε χρώμα στο αριστερό κάτω τεταρτημόριο της εικόνας.....	22
Εικόνα 15: Συγχώνευση της υψηλής χωρικής πληροφορίας της παγχρωματικής εικόνας με την φασματική πληροφορία των πολυφασματικών δεδομένων, (data fusion).....	23
Εικόνα 16: Σύγκριση της εικόνα του ορθομοσαϊκού (αριστερά) και της συγχωνευμένης εικόνας του Quickbird (δεξιά), για την ανάδειξη του αμυντικού τοίχους.....	24
Εικόνα 17: Σύγκριση της εικόνας του ορθομοσαϊκού (αριστερά) και της συγχωνευμένης δορυφορικής (δεξιά) για την ανάδειξη τμήματος της Εγνατίας Οδού.....	24
Εικόνα 18: Σύγκριση της εικόνας του ορθομοσαϊκού (αριστερά) και της Συγχωνευμένης δορυφορικής (δεξιά) για την ανάδειξη του άγνωστου αρχαίου κτίσματος στο κέντρο του λόφου.....	24
Εικόνα 19: Δορυφορικό Σύστημα Radar.....	25
Εικόνα 20: Η εικόνα του SIR-C/ x-band SAR, καλύπτει την περιοχή γύρω από την πόλη Angkor Wat της Cambodia.....	26
Εικόνα 21: Στην εικόνα του Radarsat το κόκκινο ελλειψοειδές περικλείει την περιοχή στην βορειοδυτική γωνία του Όρους Ararat που παρουσιάζει ανωμαλία. Πιθανά στο σημείο αυτό να βρίσκονται κατάλοιπα ενός αρχαίου γιγαντιαίου πλοίου.....	27

Κεφάλαιο 2^ο: Δορυφόρος IKONOS

Εικόνα 2: Δορυφόρος IKONOS.....	29
Εικόνα 2: Γεωστατική τροχιά.....	30

Εικόνα 3: Πολική, ηλιοσύγχρονη τροχιά.....	30
Εικόνα 4: Πλήρης κάλυψη της γήινης επιφάνειας από ηλιοσύγχρονους δορυφόρους.....	31
Σχήμα 5: Πλάτος της λωρίδας σάρωσης.....	32
Εικόνα 6: Γωνία ηλιακής ανύψωσης.....	33
Εικόνα 7: Διαστημική πλατφόρμα του δορυφόρου.....	35
Εικόνα 8: Βασικές τεχνικές σάρωσης.....	36
Εικόνα 9: Αναπαράσταση τεχνικής σάρωσης Pushbroom.....	37
Εικόνα 10: Ψηφιακή κάμερα 1000TM.....	37
Εικόνα 11: Οπτική ανάλυση της εικόνας μέσω των φακών της OTA.....	38
Εικόνα 12: Σχετική φασματική απόκριση των εικόνων του Ikonos.....	42
Εικόνα 13: Συλλογή στερεοσκοπικού ζεύγους.....	44
Εικόνα 14: Οι επίγειοι σταθμοί λήψης των εικόνων του δορυφόρου Ikonos και το εύρος που καλύπτουν.....	47

Κεφάλαιο 3^ο: Δορυφόρος QUICKBIRD

Εικόνα 1: Δορυφόρος Quickbird.....	49
Εικόνα 2: Τα τροχιακά περάσματα του δορυφόρου κατά την διάρκεια μιας ημέρας, γύρω από την γη.....	50
Εικόνα 3: Η τροχιά των ηλιοσύγχρονων δορυφόρων όπως φαίνεται από ένα σημείο που περιστρέφεται με τη γη.....	50
Εικόνα 4: Ανιούσα και κατιούσα δορυφορική τροχιά.....	50
Εικόνα 5: Δορυφορική πλατφόρμα BGIS 2000.....	52
Εικόνα 6: Τεχνική σάρωσης του Quickbird.....	53
Εικόνα 7: Ψηφιακή κάμερα, BHRC 60.....	53
Εικόνα 8: Λειτουργικό διάγραμμα ροής του υποσυστήματος της κάμερας BHRC 60.....	54
Εικόνα 9: Αριθμός εικονοστοιχείων που καταγράφονται κατά τη λήψη μιας περιοχής από τον παγχρωματικό (pan) και πολυφασματικό (MS) δέκτη.....	55

Κεφάλαιο 4^ο: Περιοχή μελέτης

Εικόνα 1: Χάρτης του Νομού Κορίνθου.....	61
Εικόνα 2: Αρχαιολογικός χώρος της ρωμαϊκής αγοράς της αρχαίας Κορίνθου.....	65
Εικόνα 3: Κάτοψη των ανασκαφέντων θεμελίων στην πόλη της Αρχαίας Κορίνθου. Δεξιά απεικονίζεται το θέατρο και το ωδείο, στη μέση ο αρχαϊκός ναός του Απόλλωνα και αριστερά η οδός Λεχαίου.....	65
Εικόνα 4: Οι επτά εναπομείναντες δωρικοί κίονες του ναού του Απόλλωνα.....	67
Εικόνα 5: Η λιθόστρωτη οδός του Λεχαίου. Στο πίσω μέρος της εικόνας φαίνεται το όρος στο οποίο βρίσκεται το κάστρο του Ακροκορίνθου.....	67
Εικόνα 6: Το θέατρο της ρωμαϊκής αγοράς.....	67
Εικόνα 7: Το ωδείο της ρωμαϊκής αγοράς.....	67
Εικόνα 8: Εναέρια φωτογραφία του Ακροκορίνθου.....	68
Εικόνα 9: Σχεδιάγραμμα της κάτοψης του κάστρου του Ακροκορίνθου.....	68
Εικόνα 10: Διόλκος, λιθόστρωτος δρόμος που κατασκεύασαν οι Κορίνθιοι για να "διέλκουν" τα πλοία από τον Κορινθιακό στον Σαρωνικό κόλπο και αντίστροφα.....	69
Εικόνα 11: Λέχαιο, το βόρειο λιμάνι της Κορίνθου ήταν σε ακμή στην μεταρωμαϊκή και στην παλαιοχριστιανική περίοδο. Ένα από τα κατάλοιπα της παλαιοχριστιανικής εποχής είναι τα θεμέλια της βασιλική που εντοπίζεται μεταξύ του αρχαίου λιμανιού και της ακτογραμμής...70	
Εικόνα 12: Πλάνο των τοιχίων περιφρούρησης της αρχαίας Κορίνθου και των μακραιών τειχών που ένωσαν την Κόρινθο με το Λιμάνι του Λεχαίου.....	71

Κεφάλαιο 5^ο: Ψηφιακή επεξεργασία και οπτική ερμηνεία των εικόνων

Εικόνα 1: Εικόνα Ikonos true-color, pan-sharpened με τις περιοχές ενδιαφέροντος. Από επάνω προς τα κάτω η πρώτη περιοχή αντιστοιχεί στο παλαιό λιμάνι του Λεχαίου, η μεσαία στην ρωμαϊκή αγορά της αρχαίας Κορίνθου και η κάτω περιοχή στον Ακροκόρινθο.....	74
Εικόνα 2: Εικόνα Quickbird true-color, pan-sharpened με τη περιοχή ενδιαφέροντος που αντιστοιχεί στο δυτικό τμήμα του διόλκου που εξακολουθεί να υπάρχει.....	76
Εικόνα 3: Περιοχή της ρωμαϊκής αγοράς της αρχαίας Κορίνθου.(Εικόνα δορυφόρου Ikonos).....	77
Εικόνα 4: Περιοχή του οχυρού του Ακροκορίνθου. (Εικόνα δορυφόρου Ikonos).....	77
Εικόνα 5: Περιοχή του αρχαίου λιμανιού του Λεχαίου και της παλαιοβυζαντινής βασιλική (Εικόνα δορυφόρου Ikonos).....	77
Εικόνα 6: Περιοχή του εναπομείναντος, δυτικού τμήματος του Διόλκου. (Εικόνα δορυφόρου Quickbird).....	77

Εικόνα 7α: Πρώτη συνιστώσα.....	81
Εικόνα 7β: Δεύτερη συνιστώσα.....	81
Εικόνα 7γ: Τρίτη συνιστώσα.....	81
Εικόνα 8α: Πρώτη συνιστώσα.....	81
Εικόνα 8β: Δεύτερη συνιστώσα.....	81
Εικόνα 8γ: Τρίτη συνιστώσα.....	81
Εικόνα 9α: Πρώτη συνιστώσα.....	82
Εικόνα 9β: Δεύτερη συνιστώσα.	82
Εικόνα 9γ: Τρίτη συνιστώσα.	82
Εικόνα 10α: Πρώτη συνιστώσα.	82
Εικόνα 10β: Δεύτερη συνιστώσα.	82
Εικόνα 10γ: Τρίτη συνιστώσα.	82
Εικόνα 11: Είδη χωρικών συχνοτήτων.	84
Εικόνα 12: Γενικό μοντέλο ακμής.	86
Εικόνα 13: Ακμή κεκλιμένου επιπέδου.	86
Εικόνα 14: Ακμή 90°.....	86
Εικόνα 15: Γραμμή.	87
Εικόνα 16: Κορυφή.	87
Εικόνα 17: Εφαρμογή ενός kernel σε ένα τμήμα μίας εικόνας.....	88
Εικόνες 18-21: Εικόνα 18: περιοχή αρχαίας Αγοράς (a: θέατρο, b: ναός του Απόλλωνα, c: οδός Λεχαίου) , Εικόνα 19: Ακροκόρινθος (d: τείχη του Ακροκορίνθου), Εικόνα 20: Λιμάνι του Λεχαίου (e: παλαιοβυζαντινή βασιλική, f: το λιμανι), Εικόνα 21: περιοχή του Διόλκου (g), με την προσθήκη φίλτρου Laplace.....	92
Εικόνες 22-25: Εικόνα 22: περιοχή αρχαίας Αγοράς (a: θέατρο, b: ναός του Απόλλωνα, c: οδός Λεχαίου) , Εικόνα 23: Ακροκόρινθος (d: τείχη του Ακροκορίνθου), Εικόνα 24: Λιμάνι του Λεχαίου (e: παλαιοβυζαντινή βασιλική, f: το λιμανι), Εικόνα 25: περιοχή του Διόλκου (g), με την προσθήκη φίλτρου Chavez.....	93
Εικόνες 26-29: Εικόνα 26: περιοχή αρχαίας Αγοράς (a: θέατρο, b: ναός του Απόλλωνα, c: οδός Λεχαίου) , Εικόνα 27: Ακροκόρινθος (d: τείχη του Ακροκορίνθου), Εικόνα 28: Λιμάνι του Λεχαίου (e: παλαιοβυζαντινή βασιλική, f: το λιμανι), Εικόνα 29: περιοχή του Διόλκου (g), με την προσθήκη φίλτρου Prewitt.....	95

Εικόνα 30: 8 πιθανές κατευθύνσεις ενός <i>kernel</i> 3x3 σε μία εικόνα.....	96
Εικόνες 31-38: Εικόνα 31 & 35: περιοχή αρχαίας Αγοράς (a: θέατρο, b: ναός του Απόλλωνα, c: οδός Λεχαίου) Εικόνα 32 & 36: Ακροκόρινθος (d: τείχη του Ακροκορίνθου), Εικόνα 33 & 37: Λιμάνι του Λεχαίου (e: παλαιοβυζαντινή βασιλική, f: το λιμάνι), Εικόνα 34 & 38: περιοχή του Διόλκου (g), με την προσθήκη φίλτρου Kirsch.....	97-98
Εικόνες 39-42: Εικόνα 39: περιοχή αρχαίας Αγοράς (a: θέατρο, b: ναός του Απόλλωνα, c: οδός Λεχαίου) , Εικόνα 40: Ακροκόρινθος (d: τείχη του Ακροκορίνθου), Εικόνα 41: Λιμάνι του Λεχαίου (e: παλαιοβυζαντινή βασιλική, f: το λιμάνι), Εικόνα 42: περιοχή του Διόλκου (g), με την βελτίωση της υφής μέσω διακύμανσης (<i>Variance</i>).....	100
Εικόνες 43-46: Εικόνα 43: περιοχή αρχαίας Αγοράς (a: θέατρο, b: ναός του Απόλλωνα, c: οδός Λεχαίου) , Εικόνα 44: Ακροκόρινθος (d: τείχη του Ακροκορίνθου), Εικόνα 45: Λιμάνι του Λεχαίου (e: παλαιοβυζαντινή βασιλική, f: το λιμάνι), Εικόνα 46: περιοχή του Διόλκου (g), με την βελτίωση της υφής μέσω ασύμμετρης κατανομής (<i>Skewness</i>).....	101
Εικόνες 47-50: Εικόνα 47: περιοχή αρχαίας Αγοράς (a: θέατρο, b: ναός του Απόλλωνα, c: οδός Λεχαίου) , Εικόνα 48: Ακροκόρινθος (d: τείχη του Ακροκορίνθου), Εικόνα 49: Λιμάνι του Λεχαίου (e: παλαιοβυζαντινή βασιλική, f: το λιμάνι), Εικόνα 50: περιοχή του Διόλκου (g), με την εφαρμογή edge crispening.....	102
Εικόνα 51: Παράγωγοι των ακμών και των γραμμών.....	103
Εικόνα 52: Εικόνα αρχαίας αγοράς με τις οντότητες που έχουν αναγνωριστεί μετά την προσθήκη του φίλτρου Laplace στην πρώτη συνιστώσα της αρχικής εικόνας.....	106
Εικόνα 53: Ναός του Απόλλωνα (a) & Οδός Λεχαίου (b).....	106
Εικόνα 54: Αρχαίο θέατρο (h).....	107
Εικόνα 55: Εικόνα του Ακροκορίνθου με τις οντότητες που έχουν αναγνωριστεί μετά την προσθήκη του φίλτρου Laplace στην πρώτη συνιστώσα της αρχικής εικόνας.....	107
Εικόνα 56: Δυτική περιοχή του κάστρου του Ακροκορίνθου με τις οντότητες που έχουν αναγνωριστεί μετά την προσθήκη του φίλτρου Laplace στην πρώτη συνιστώσα της αρχικής εικόνας.....	108
Εικόνα 57: Μουσουλμανικός ναός (a) & δευτερεύουσες πύλες (b) του Ακροκορίνθου.....	109
Εικόνα 58: Αριστερά τα τείχη των κεντρικών πυλών (f), δεξιά διάφορα οικοδομήματα (e) του Ακροκορίνθου.....	109
Εικόνα 59: Ανατολική περιοχή του κάστρου του Ακροκορίνθου με τις οντότητες που έχουν αναγνωριστεί μετά την προσθήκη του φίλτρου Laplace στην πρώτη συνιστώσα της αρχικής εικόνας.....	109
Εικόνα 60: (κέντρο) Ναός της Αφροδίτης του Ακροκορίνθου.....	110
Εικόνα 61: Νοτιοανατολικές πύλες του Ακροκορίνθου.....	110
Εικόνα 62: Εικόνα του λιμανιού του Λεχαίου και της παλαιοβυζαντινής βασιλικής με τις οντότητες που έχουν αναγνωριστεί μετά την προσθήκη του φίλτρου Laplace στην πρώτη συνιστώσα της αρχικής εικόνας.....	110

Εικόνα 63: (επάνω) Παλαιοχριστιανική βασιλική (f) & περίβολός της (g), (κάτω) δυτικό τμήμα του εναπομείναντος λιμανιού του Λεχαίου (a).....	111
Εικόνα 64: Τα εξωτερικά όρια του αρχαίου λιμανιού του Λεχαίου (e) & (αριστερά) το δυτικό όριο του αρχαίου λιμανιού (d).....	111
Εικόνα 65: Τοπογραφία αναγλύφου του πυθμένα του έλους του λιμανιού.....	111
Εικόνα 66: Εικόνα της περιοχής του Διόλκου με τις οντότητες που έχουν εντοπιστεί μετά την προσθήκη του φίλτρου Laplace στην πρώτη συνιστώσα της αρχικής εικόνας.....	113
Εικόνα 67: Διόλκος.....	113
Εικόνα 68: Σύνδεση των δυο Viewers και επαλήθευση των ιχνών της ψηφιακά επεξεργασμένης εικόνας με την αρχική.....	114
Εικόνα 69: Τα τείχη της αρχαίας αγοράς της Κορίνθου και το δυτικό τμήμα των μακρών τειχών που ένωναν την αγορά με το λιμάνι του Λεχαίου μετά την προσθήκη του φίλτρου Laplace στην πρώτη συνιστώσα της αρχικής εικόνας.....	115

Πίνακες

Κεφάλαιο 1^ο: Εφαρμογή των Διαστημικών και από Αέρος δεδομένων παρατήρησης της Γης στη Γεωαρχαιολογία

-

Κεφάλαιο 2^ο: Δορυφόρος IKONOS

Πίνακας 9: Κράτη μέλη στο πρόγραμμα της Space Imaging.....	29
Πίνακας 10: Βασικά χαρακτηριστικά της τροχιάς του Ikonos.....	33
Πίνακας 4: Μέγεθος του εδαφικού pixel σε m ανάλογα με το ναδίρ.....	41
Πίνακας 5: Μεταδεδομένα της εικόνας.....	43
Πίνακας 6: Επίπεδα των προϊόντων του Ikonos.....	46.

Κεφάλαιο 3^ο: Δορυφόρος QUICKBIRD

Πίνακας 11: Βασικά χαρακτηριστικά της τροχιάς του Quickbird.....	51
--	----

Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά των φασματικών ζωνών του δορυφόρου Quickbird.....55

Πίνακας 13: Γεωγραφικά Datums & Ελλειψοειδή των εικόνων του Quickbird.....59

Κεφάλαιο 4^ο: Περιοχή μελέτης

-

Κεφάλαιο 5^ο: Ψηφιακή επεξεργασία και οπτική ερμηνεία των εικόνων

Πίνακας 14: Ιδιοτιμές και ποσοστά πληροφορίας ανά εικόνα-συνιστώσα.....81

Πίνακας 15: Πίνακας ιδιοδιανυσμάτων.....81

Πίνακας 3: Ιδιοτιμές και ποσοστά πληροφορίας ανά εικόνα-συνιστώσα.....81

Πίνακας 4: Πίνακας ιδιοδιανυσμάτων.....81

Πίνακας 5: Ιδιοτιμές και ποσοστά πληροφορίας ανά εικόνα-συνιστώσα.....82

Πίνακας 6: Πίνακας ιδιοδιανυσμάτων.....82

Πίνακας 7: Ιδιοτιμές και ποσοστά πληροφορίας ανά εικόνα-συνιστώσα.....82

Πίνακας 8: Πίνακας ιδιοδιανυσμάτων.....82

Πίνακας 9: Κλίμακα συνάρτησης του Δ εναντι του μεγέθους του πίνακα kernel.....89

Πίνακας 10: Τυχαίο kernel διαστάσεων 3x3.....89

Πίνακας 11: Πίνακας ψηφιακών τιμών ενός τμήματος μιας εικόνας.....90

Σχήματα

Κεφάλαιο 2^ο: Δορυφόρος IKONOS

Σχήμα 1: Η εξάρτηση του εδαφικού pixel από το ναδίρ.....41

Σχήμα 2: Γεωμετρία απόκτησης της εικόνας.....43



