

Εκτίμηση πολεοδομικών παραμέτρων με την χρήση δεδομένων PANTAP(SAR) στον Δήμο Κοζάνης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φοιτητής: Γιαλίδης Χρήστος

Επιβλέπων: Σταθάκης Δημήτριος

ΒΟΛΟΣ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2020

ESTIMATION OF URBAN PLANNING
PARAMETERS USING RADAR(SAR) DATA IN
KOZANI

Δήλωση

Βεβαιώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφεί από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή αλλού. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώσει των κανόνων περί λογοκλοπής του ΤΜΧΠΠΑ και ότι στο πλαίσιο αυτού έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κ.λπ., τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του ΠΘ ή και του ΤΜΧΠΠΑ.

Ημερομηνία: 25/09/2020

Όνοματεπώνυμο: Χρήστος Γιαλίδης

Υπογραφή:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Christos Giailidis', written over a horizontal line.

Περίληψη

Η τηλεπισκόπηση είναι μια πολυκλαδική επιστήμη με πληθώρα εργαλείων που μπορούν να προσφέρουν, στην έρευνα, σε διάφορους τομείς. Τα ραντάρ είναι αισθητήρες ενεργητικής τηλεπισκόπησης με πολλά πλεονεκτήματα ειδικά στο είδος των πληροφοριών που μπορούν να καταγράψουν αλλά και στον τρόπο καταγραφής. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα ραντάρ και πιο συγκεκριμένα εικόνες SAR για την ανάλυση των πολεοδομικών παραμέτρων της Κοζάνης. Η τεχνική που θα ακολουθηθεί είναι η συμβολομετρία SAR. Μια μέθοδος που με την εισαγωγή δύο εικόνων κοινής τροχιάς και σχετικά κοντινής χρονολογικά περιόδου, θα παραχθεί ένα ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας(Ψ.Μ.Επ) μέσω του υπολογισμού της διαφοράς φάσης δηλαδή την χρονική απόκλιση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας να βρεί τον στόχο. Ύστερα και με την βοήθεια δευτερογενών δεδομένων θα γίνει μια ανάλυση στον χώρο και θα δωθεί μια εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης, όπως το μέσο υψόμετρο των οικοδομικών τετραγώνων το ποσοστό κάλυψης και την κατάσταση της συνολικής δόμησης καθώς και τις διαφορές σε σχέση με τους ισχύοντες κανονισμούς της περιοχή.

Abstract

Remote sensing is a multidisciplinary science with a variety of tools that can offer, in research, in various fields. The radar are active remote sensing sensors with a lot advantages, speacialy at the kind of information that they can gather and also of the way of scanning. In this project is going to use radar data and more specifically , SAR images, in order to analyzis the urban planning parametres of the city of Kozani. The technich that is going to use is the interferometry SAR. A method which with two images of the same orbit and with a close time period of imaging, can produce a digital surface model via of calculating the phace changing of the electromagnetic pulse on the same target of images. After that and with the use of secondary data an analysis will be made on the urban space and export an estimation of existing situation of urban planning like the average height of the city blocks, the rate of buildings coverage, overall construction and the diferrence with the Kozani's current regulations.

Λέξεις κλειδιά: τηλεπισκόπηση, εικόνες SAR, ραντάρ, πολεοδομικοί παράμετροι, συμβολομετρία, ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή του ΤΜΧΠΠΑ κ. Σταθάκη Δημήτριο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και για την καθοδήγηση που μου έδωσε για την εκπόνησης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Ευχαριστώ τον υποψήφιο διδάκτορα του ΤΜΧΠΠΑ κ. Λέτσιο Βασίλειο για την πολύτιμη βοήθεια που μου έδωσε ώστε να είμαι σε θέση να βγάλω εις πέρας αυτήν την εργασία. Ευχαριστώ επίσης την κα.Χαραλαμποπούλου και την Geosystem Hellas για την χορήγηση δεδομένων στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Τέλος ευχαριστώ την οικογένεια μου, για την στήριξη της σε όλη την διάρκεια της φοιτήσης μου στο ΤΜΧΠΠΑ.

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Περιεχόμενα..... | 6 |
| Κατάλογος Εικόνων | 8 |
| Κατάλογος Πινάκων | 10 |
| Κατάλογος Χαρτών..... | 10 |
| 1. Κεφάλαιο - Εισαγωγή..... | 12 |
| 1.1 Εισαγωγή..... | 12 |
| 1.2 Σκοπός..... | 13 |
| 1.3.Δομή..... | 13 |
| 2. Κεφάλαιο – Βασική Θεωρία..... | 14 |
| 2.1 Πολεοδομικοί Παράμετροι..... | 14 |
| 2.2 Τηλεπισκόπηση – Remote Sensing | 15 |
| 2.2.1 Παθητικά Συστήματα Τηλεπισκόπησης..... | 15 |
| 2.2.2 Ενεργητικά Συστήματα Τηλεπισκόπησης..... | 16 |
| 2.2.3 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα | 16 |
| 2.3 Συστήματα PANTAP..... | 17 |
| 2.3.1 Οπισθοσκέδαση Ραντάρ | 19 |
| 2.3.2 Φαινόμενο διπλής αναπήδησης..... | 20 |
| 2.3.3 Πόλωση | 20 |
| 3 Κεφάλαιο – Βασικές έννοιες SAR..... | 21 |
| 3.1 Συστήματα SAR..... | 21 |
| 3.2 Εφαρμογές SAR | 23 |
| 3.3 Βασική γεωμετρία SAR..... | 24 |
| 3.3.1 Αποτύπωση Εδάφους..... | 25 |
| 3.3.2 Διακριτική ικανότητα | 26 |
| 3.4 Παραμορφώσεις και Σφάλματα..... | 27 |
| 3.4.2 Γεωμετρικές παραμορφώσεις..... | 27 |
| 3.5 Συμβολομετρία – InSAR | 31 |
| 3.6 Διαφορική Συμβολομετρία | 32 |
| 3.7 Θόρυβος στο συμβολογράφημα..... | 34 |
| 4 Κεφάλαιο - Επεξεργασία και Ανάλυση | 35 |
| 4.3 Περιοχή μελέτης..... | 36 |
| 4.4 Δορυφόρος TerraSAR..... | 38 |

| | |
|---|----|
| 4.3 Επεξεργασία εικόνων - SNAP | 40 |
| 4.3.1 Σύζευξη εικόνων – Coregistration | 42 |
| 4.3.2 Συνοχή – Coherence | 43 |
| 4.3.3 Δημιουργία Συμβολογραφήματος -Interferogram formation | 43 |
| 4.3.4 Φιλτράρισμα – Filtering | 44 |
| 4.3.5 Ξετύλιγμα συμβολογραφήματος -Snaphu Unwrapping | 45 |
| 4.3.6 Μετατροπή φάσης σε ύψος (Phase to HEIGHT) | 47 |
| 4.3.7 Διόρθωση σκηνής - Range Doppler terrain correction | 49 |
| 4.3.8 Υψομετρική διόρθωση - Calibration | 49 |
| 4.3.9 Επεξεργασία τελικού προϊόντος SAR | 51 |
| 4.4 Εφαρμογή πολεοδομικών κανόνων στο χώρο..... | 54 |
| 4.5 Ανάλυση δεδομένων..... | 56 |
| 5 Κεφάλαιο – Συμπεράσματα | 58 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 60 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ | 63 |

Κατάλογος Εικόνων

| | |
|---|----|
| Εικόνα 2.1 Τρόπος λειτουργίας του Ραντάρ Πηγή: Georg Wiora (Dr. Schorsch)..... | 18 |
| Εικόνα 2.2 Παραδείγματα οπισθοσκέδασης ανάλογα τον στόχο - Πηγή: SARscape | 19 |
| Εικόνα 2.3 Διαφορά στην οπισθοσκέδαση σύμφωνα με την μορφολογία του εδάφους..... | 19 |
| Εικόνα 2.4 Διπλή αναπήδηση | 20 |
| Εικόνα 2.5 Πόλωση μαγνητικών κυμάτων Πηγή: GISGeography.com | 21 |
| Εικόνα 3.1 Εικόνα SAR-Οι σκοτεινές περιοχές αφορούν περιοχές που ο δορυφόρος δεν δέχθηκε επιστρεφόμενο σήμα ή δέχθηκε πολύ χαμηλή ενέργεια. Όμως είναι δυνατόν να εντοπιστούν δίκτυα όπως για παράδειγμα το ποτάμι στο κέντρο της εικόνας Πηγή: Intelligence - Airbus | 23 |
| Εικόνα 3.2 Ο υπολογισμός της φάσης ενός SAR Πηγή: ESA | 23 |
| Εικόνα 3.3 Γωνίες παρατήρησης και πρόσπτωσης της πλευρικής απεικόνισης SAR..... | 24 |
| Εικόνα 3.4 Γεωμετρία αποτύπωσης SAR - Πηγή: SARscape | 25 |
| Εικόνα 3.5 Διακριτική ανάλυση (pixel) Πηγή: Didier Massonnet & Jean-Cleude Souyris, 2008..... | 26 |
| Εικόνα 3.6 Σκίαση - Πηγή: E-ESA Earth online | 28 |
| Εικόνα 3.7 Σμίκρυνση - Πηγή: E-ESA Earth online..... | 29 |
| Εικόνα 3.8 Πτύχωση - Πηγή: E-ESA Earth online..... | 29 |
| Εικόνα 3.9 Εικόνα Ραντάρ με στίγματα – Ιδία Επεξεργασία..... | 30 |
| Εικόνα 3.10 Εικόνα ραντάρ μετά από φίλτρο "Multilook" για την απαλοιφή των σιγμάτων – Ιδία επεξεργασία | 30 |
| Εικόνα 3.11 Η μέθοδος InSAR για την δημιουργία συμβολογραφήματος..... | 31 |
| Εικόνα 3.12 Γεωμετρία συμβολομετρίας Πηγή: European Space Agency:InSAR Principles..... | 32 |
| Εικόνα 3.13 Διαφορική συμβολομετρία – Εντοπισμός παραμόρφωσης | 33 |
| Εικόνα 4.1 Διάγραμμα ροής επεξεργασίας- Ιδία επεξεργασία | 35 |
| Εικόνα 4.2 Αστικός χώρος Κοζάνης - Πηγή: Κτηματολόγιο..... | 36 |
| Εικόνα 4.3 Δορυφόρος TerraSAR-X - Πηγή: EO Sharing Earth Observation Resources | 38 |
| Εικόνα 4.4 Εικόνα Master-TDX1_SAR_SSC_SM_S_SRA_20171012T162413_20171012T162421 – Ιδία επεξεργασία | 41 |
| Εικόνα 4.5 Εικόνα Slave TDX1_SAR_SSC_SM_S_SRA_20171023T162413_20171023T162421– Ιδία επεξεργασία | 41 |
| Εικόνα 4.6 Διαφορά αποτύπωσης ραντάρ και οπτικής λήψης..... | 42 |
| Εικόνα 4.7 Συμβολογράφημα από τα προϊόντα TDX1_SAR_SSC_SM_S_SRA_20171023T162413_20171023T162421 και TDX1_SAR_SSC_SM_S_SRA_20171012T162413_20171012T162421 – ιδία επεξεργασία..... | 44 |
| Εικόνα 4.8 Εφαρμογή φίλτρου Goldstein στο συμβολογράφημα – Ιδία επεξεργασία..... | 45 |
| Εικόνα 4.9 Ξετύλιγμα φάσης μέσω SNAP χωρίς διαχωρισμού της εικόνας σε λωρίδες - Ιδία επεξεργασία | 46 |
| Εικόνα 4.10 "Ξετυλιγμένο" Συμβολογράφημα - Ιδία επεξεργασία | 47 |
| Εικόνα 4.11 Μετατροπή της φάσης σε υψόμετρα – Ιδία επεξεργασία..... | 48 |
| Εικόνα 4.12 Υψομετρική απόδοση των χρωμάτων – Ιδία επεξεργασία..... | 48 |
| Εικόνα 4.13 Τοπογραφική παραμόρφωση αποτύπωσης SAR - Πηγή: ESA – SNAP | 49 |

| | |
|--|----|
| Εικόνα 4.14 Ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας με την μέθοδο InSAR – Ιδία επεξεργασία | 52 |
| Εικόνα 4.15 Με κόκκινο απεικονίζονται τα εικονοστοιχεία άνω του 0.5 συνοχής - – Ιδία επεξεργασία | 53 |
| Εικόνα 4.16 Απεικόνιση της περιοχής μελέτης σε συνδυασμό με το παραγόμενο ΨΜΕπ - – Ιδία επεξεργασία | 53 |
| Εικόνα 0.1 Τρισδιάστατη απεικόνιση του Ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας σε συνδυασμό οπτικό υπόβαθρο από το κτηματολόγιο -1-Ιδία επεξεργασία | 63 |
| Εικόνα 0.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση του Ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας σε συνδυασμό οπτικό υπόβαθρο από το κτηματολόγιο -2-Ιδία επεξεργασία | 64 |
| Εικόνα 0.3 Τρισδιάστατη απεικόνιση του Ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας σε συνδυασμό οπτικό υπόβαθρο από το κτηματολόγιο -3-Ιδία επεξεργασία | 64 |
| Εικόνα 0.4 Υπόμνημα απο τον χάρτη 0-1 Πηγή: Πολεοδομία Κοζάνης | 65 |

Κατάλογος Πινάκων

| | |
|--|----|
| Πίνακας 2.1 Κανάλια ηλεκτρομαγνητικού φάσματος – Ιδία επεξεργασία | 17 |
| Πίνακας 4.1 Τα ψηφιοποιημένα οικοδομικά τετράγωνα με υπόβαθρο το εγκεκριμένο ρυμοτομικό σχέδιο - Ιδία επεξεργασία | 37 |
| Πίνακας 4.2 Πίνακας χαρακτηριστικών του δορυφόρου Πηγή: EO Sharing Earth Observation Resources | 39 |
| Πίνακας 4.3 Πίνακας παραμέτρων ανάλογα με τον τύπο της σάρωσης Πηγή: EO Sharing Earth Observation Resources | 39 |
| Πίνακας 4.4 Πληροφορίες των εικόνων προς εισαγωγή - ιδία επεξεργασία | 42 |
| Πίνακας 4.5 Πίνακας υψομετρικών αποκλίσεων - Για την συλλογή των υψομέτρων με την χρήση GPS χρησιμοποιήθηκε το GPS South S720 - Ιδία επεξεργασία | 51 |
| Πίνακας 0.1 Δορυφόροι SAR - Πηγή: IEEE Geoscience and remote sensing magazine | 66 |

Κατάλογος Χαρτών

| | |
|---|----|
| Χάρτης 4-1 Εγκεκριμένο Ρυμοτομικό Σχέδιο Πόλεως Κοζάνης(Υπόμνημα σε μεγέθυνση στο Παράρτημα Εικόνα 0.4) - Πηγή: Πολεοδομία Κοζάνης..... | 37 |
| Χάρτης 4-2 Περιοχή μελέτης - Οικοδομικά τετράγωνα - Πολεοδομικοί κανόνες βάσει ΓΠΣ - – Ιδία επεξεργασία | 54 |
| Χάρτης 4-3 Ψηφιοποιημένα κτίρια στην περιοχή μελέτης - – Ιδία επεξεργασία..... | 55 |
| Χάρτης 4-4 Εκτίμηση Πολεοδομικής Συμμόρφωσης – Ιδία επεξεργασία | 56 |
| Χάρτης 4-5 Ποσοστό υπέρβασης κάλυψης – Ιδία επεξεργασία..... | 57 |
| Χάρτης 4-6 Υπέρβαση Δόμησης – Ιδία επεξεργασία | 58 |

Λίστα Συντομογραφιών

SAR: Synthetic Aperture Radar

RAR: Real Aperture Radar

InSAR: Interferometry Synthetic Aperture Radar

DInSAR: Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar

SLC: Side Looking Complex

Σ.Δ: Συντελεστής Δόμησης

Ο.Τ: Οικοδομικό τετράγωνο

H: Horizontal

V: Vertical

ΓΠΣ: Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο

ΨΜΕ: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους

ΨΜΕπ: Ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας

DEM: Digital Elevation Model

1. Κεφάλαιο - Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Η ψηφιακή αποτύπωση του Ελλαδικού χώρου είναι αναγκαία για την κατανόηση των συνθηκών κάθε περιοχής αλλά και για την επανασχεδίαση του στις σημερινές απαιτήσεις. Στην περίπτωση της Ελλάδας, τα υπάρχοντα ψηφιακά δεδομένα καθώς και οι μηχανισμοί παραγωγής και επεξεργασίας τους επιδέχονται τεράστια περιθώρια βελτίωσης τόσο στο κομμάτι της ποιότητας δεδομένων όσο και της ποσότητας. Πιο συγκεκριμένα, σε βασικές ανθρωπογενείς περιοχές όπως σε αστικούς χώρους υπάρχει μεγάλη έλλειψη δευτερογενών δεδομένων και συνεπώς απουσία αποτύπωσης της υφιστάμενης κατάστασης. Η ψηφιακή αποτύπωση δίνει ένα επιπλέον εργαλείο στους ερευνητές. Η τηλεπισκόπηση είναι μια επιστήμη που πλέον διαθέτει μια πληθώρα μέσων από αισθητήρες και δορυφόρους, παθητικούς και ενεργητικούς, που μπορούν να δώσουν το «χαμένο έδαφος» για την ανάλυση των αστικών αλλά και των έξω-αστικών χώρων. Ήδη τα τελευταία χρόνια οι οπτικοί δορυφόροι έχουν συμβάλλει σε διάφορους τομείς όπως στις καλλιέργειες, την αποτύπωση πλημμύρων, τον υπολογισμό της καμένης γης ύστερα από μεγάλες πυρκαγιές, καθώς και σε εφαρμογές εντός δομημένου χώρου. Στον τομέα της ενεργητικής τηλεπισκόπησης, όπως τα ραντάρ, δεν παρατηρείται η ίδια προστριβή. Τα ραντάρ είναι ένα σύστημα αποτύπωσης που μπορεί να καταγράφει ημέρα και νύχτα, ακόμα και σε συνθήκες πλήρους νεφοκάλυψης. Ειδικότερα, τα συστήματα SAR έχουν αναπτυχθεί από την δεκαετία του 70' με πρώτο πειραματικό δορυφόρο να μπαίνει σε τροχιά το 1978. Στη συνέχεια, το 1990 μπαίνει ο 1^{ος} ευρωπαϊκός δίνοντας λύσεις σε πολλές εφαρμογές. Η συμβολομετρία SAR είναι μια μέθοδος που δίνει μια νέα διάσταση στα ψηφιακά δεδομένα, με την InSAR, όπως είναι γνωστή αυτή η μέθοδος, δύναται η δημιουργία ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας, προσφέροντας στην ανάλυση και την τρίτη διάσταση(ύψος), χωρίς την χρήση γεωδαιτικού εξοπλισμού. Στην πολεοδομία ο παράγοντας «ύψος» είναι δεδομένο που δεν

μπορεί να παραλειφθεί στην ανάλυση. Η χρήση νέων τεχνικών στην ανάλυση του αστικού χώρου και των πολεοδομικών παραμέτρων θα προσδώσουν μια νέα δυναμική.

1.2 Σκοπός

Η εφαρμογή νέων τεχνικών στην ανάλυση χωρικών δεδομένων, όπως η μέθοδος InSAR για παραγωγή ΨΜΕ, δίνει την δυνατότητα στην βελτίωση των αποτελεσμάτων. Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η άντληση πληροφοριών σε πολεοδομική κλίμακα με την χρήση της τηλεπισκόπησης και πιο συγκεκριμένα την ενεργητική τηλεπισκόπηση. Για δεκαετίες η χρήση της τηλεπισκόπησης στον πολεοδομικό σχεδιασμό και την πολεοδομική ανάλυση περιοριζόταν σε οπτικούς δορυφόρους. Κρίσιμοι δείκτες και τιμές ήταν αποτέλεσμα επιτόπιας εργασίας και με την χρήση τοπογραφικών και γεωδαιτικών εργαλείων. Με την χρήση των ραντάρ δίνεται η δυνατότητα εξαγωγής επιπλέον τιμών όπως τα υψόμετρα και κατ' επέκταση ψηφιακών μοντέλων επιφάνειας. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθούν αυτά τα δεδομένα και τα τυχών αποτελέσματα της έρευνας για τον υπολογισμό των πολεοδομικών συνθηκών μιας περιοχής με την λιγότερο δυνατή επιτόπια εργασία. Η κατανόηση και η καταγραφή μιας υφιστάμενης κατάστασης βοηθάει στον πολεοδομικό σχεδιασμό. Η ταχύτητα και η ακρίβεια καταγραφής της κατάστασης ενισχύει την αποδοτικότητα του χρήσης και μειώνει το κόστος της μελέτης.

1.3.Δομή

Η δομή της παρούσας εργασίας διορθώνεται σε 5 κεφάλαια, το 1^ο κεφάλαιο είναι η εισαγωγή. Στο 2^ο κεφάλαιο παραθέτονται οι βασικές έννοιες, όπως οι πολεοδομικοί παράμετροι, ο τρόπος λειτουργίας των ραντάρ κα. Το 3^ο κεφάλαιο είναι το θεωρητικό υπόβαθρο και το βασικότερο κεφάλαιο για την κατανόηση της συγκεκριμένης εργασίας, καθώς θα αναλυθούν τα συστήματα SAR από τα οποία προέρχονται τα δεδομένα ραντάρ. Θα αναλυθεί η γεωμετρία των συγκεκριμένων συστημάτων, τα γενικά χαρακτηριστικά και τα σφάλματα που εντοπίζονται σε αυτή την επιστήμη. Επίσης στο συγκεκριμένο κεφάλαιο

θα αναλυθεί και η βασική μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί δηλαδή η συμβολομετρία. Στο 4^ο σκέλος της εργασίας αφορά όλη την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων στο λογισμικό SNAP, καθώς και εφαρμογή των πολεοδομικών κανόνων στον χώρο με την χρήση της γεωπληροφορικής και συγκεκριμένα του λογισμικού QGIS. Τέλος στο τελευταίο κεφάλαιο 5 είναι τα συμπεράσματα της εργασίας και τα γενικά συμπεράσματα της συγκεκριμένης μεθοδολογίας

2. Κεφάλαιο – Βασική Θεωρία

Σημαντικό για κάθε έρευνα είναι η γνώση της βασικής θεωρία και των βασικών εννοιών. Όπως τι είναι η τηλεπισκόπηση, τα ραντάρ, ο τρόπος λειτουργία τους, το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα κ.α. Καθώς επίσης και η περιγραφή των πολεοδομικών παραμέτρων που στοχεύει η παρούσα διπλωματική να εκτιμήσει.

2.1 Πολεοδομικοί Παράμετροι

Στην παρούσα εργασία θα ερευνηθεί, με την χρήση των ραντάρ, κατά πόσο πληρούνται οι όροι δόμησης στην περιοχή μελέτης καθώς και η μέτρηση αυτών σε επίπεδο κτιρίου και οικοδομικού τετραγώνου. Οι όροι δόμησης κάθε περιοχής καθορίζονται από τα Τοπικά Χωρικά Σχέδιο(ΤΧΣ) που αντικαθιστούν τα Γενικά Πολεοδομικά Σχέδια(ΓΠΣ). Η σύνηθες τακτική στον καθορισμό των όρων δόμησης μιας πόλης είναι η δημιουργία ζωνών. Είναι δύσκολο η οριζόντια θέσπιση κανόνων διότι σε κάθε περίπτωση πρέπει να ληφθούν υπόψη τα τοπικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής. Οι όροι δόμησης επηρεάζουν σημαντικά την αγορά ακινήτων και είναι ένας σημαντικός παράγοντας για πολεοδομική ισορροπία μιας πόλης. Οι βασικοί παράμετροι είναι ο Συντελεστής Δόμησης (ΣΔ), το Ποσοστό κάλυψης και το μέγιστο ύψος. Ο ΣΔ είναι ο αριθμός πολλαπλασιασμένος με το μέγεθος του γεωτεμαχίου και είναι το μέγιστο μέγεθος που μπορεί να οικοδομηθεί στο εκάστων γεωτεμάχιο. Ο ΣΔ μπορεί να είναι από πολύ μικρό, για παράδειγμα οι παραδοσιακοί οικισμοί, για εκτός σχεδίου δόμησης κ.α. ή πολύ μεγάλοι όπως και εφαρμόζεται σε μεγάλες πόλεις. Για

παράδειγμα αν ο Σ.Δ σε μια γειτονία είναι 1.8 τότε σε ένα οικόπεδο άρτιο και οικοδομήσιμο 200τμ μπορούν να οικοδομηθούν σύνολο $200 \times 1.8 = 360$ τμ.. Το ποσοστό κάλυψης ορίζει την μέγιστη επιφάνεια που μπορεί να καλυφθεί από το οικοδόμημα, για παράδειγμα στο γεωτεμάχιο 200τμ και ποσοστό κάλυψης 0.6 μπορούν να καλυφθούν μόνο τα 120τμ(200×0.6) επομένως στο ίδιο γεωτεμάχιο τα 360τμ μπορεί να χτιστούν σε 3 ορόφους. Τα υπόλοιπα 80τμ των 200τμ του οικοπέδου πρέπει να είναι ακάλυπτος χώρος. Τέλος το μέγιστο ύψος ορίζει τον μέγιστο αριθμό ορόφων που μπορούν να οικοδομηθούν ή καθορίζεται από τον Σ.Δ.

2.2 Τηλεπισκόπηση – Remote Sensing

2.2.1 Παθητικά Συστήματα Τηλεπισκόπησης

Τα παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούν την ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης για να απεικονίσουν το έδαφος για διάφορες εφαρμογές. Η ακτινοβολία που καταγράφεται είναι η θερμική ,το ορατό φως και η υπέρυθρη. Ονομάζονται παθητικοί διότι για την καταγραφή χρειάζεται μόνο η λήψη ηλεκτρομαγνητικού κύματος και όχι και η μετάδοση. Χρησιμοποιούνται σήμερα για πολλές εφαρμογές όπως την δημιουργία μοντέλου εδάφους, την επιθεώρηση φωτοβολταϊκών πάρκων, στην γεωργία και σε πολλές άλλες εφαρμογές. Τα συγκεκριμένα συστήματα περιορίζονται από την διάρκεια της ημέρας δεδομένου ότι χρειάζεται το ορατό φως και τις καιρικές συνθήκες καθώς η νεφοκάλυψη κατά την διάρκεια καταγραφής μπορεί «κρύψει» όλη την πληροφορία και επομένως να πρέπει να ξαναπεράσει ο δορυφόρος. Επιπλέον υπάρχουν σημεία της γης που η νεφοκάλυψη αγγίζει το 95% ετησίως με αποτέλεσμα τα δεδομένα οπτικών δορυφόρων να είναι ελάχιστα.

2.2.2 Ενεργητικά Συστήματα Τηλεπισκόπησης

Τα ενεργητικά συστήματα από την άλλη εκπέμπουν την δικιά τους ακτινοβολία για την καταγραφή της επιφάνειας της γης. Και για αυτό τον λόγο ονομάζονται ενεργητικά. Καθώς δεν έχουν ανάγκη εξωγενής ακτινοβολίας για την καταγραφή. Η ιδιαιτερότητα τους είναι ότι δεν χρειάζονται το οπτικό φώς για να απεικονίσουν και έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν σε διάφορες συνθήκες(Νύχτα, με νεφοκάλυψη, βροχή κλπ). Δημιουργήθηκαν στον Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο, τα λεγόμενα Radar, για τον εντοπισμό εχθρικών πλοίων. Σήμερα η τεχνολογία αυτή έχει αναπτυχθεί και έχει βρει χρησιμότητα σε πληθώρα εφαρμογών. Τα συστήματα αυτά επηρεάζονται από το είδος του στόχου και την ατμόσφαιρα.

2.2.3 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Οι οπτικοί αισθητήρες υπολογίζουν το εκπεμπόμενο ορατό φως και για αυτό τον λόγω η καταγραφή του περιορίζεται στις ώρες που υπάρχει φως. Επιπλέον τα σύννεφα και η κακοκαιρία της ατμόσφαιρας είναι ένα φυσικό εμπόδιο για του οπτικούς δορυφόρους. Οι δορυφόροι καθώς βρίσκονται σε τροχιά γύρω από την γή και ανάλογα τον δορυφορο και το ύψος στο οποίο βρίσκεται μπορεί να χρειάζεται και μέρες για να κάνει ένα πλήρες «σκανάρισμα». Η διάρκεια της ημέρας, η πιθανή νεφοκάλυψη και η συχνότητα καταγραφής μια περιοχής έχει ως αποτέλεσμα πολλές φορές να μην υπάρχουν επαρκή δεδομένα για μια περιοχή. Υπάρχουν περιοχές στην επιφάνεια της γής όπου καλύπτονται από σύννεφα σχεδόν όλη την διάρκεια του χρόνου, επομένως σε αυτές τις περιοχές είναι σχεδόν αδύνατο ένας οπτικός δορυφόρος να καταγράψει μια εικόνα. Αντιθέτως τα μικροκύματα έχουν την δυνατότητα και ανάλογα το μήκος κύματος να διαπερνούν τα σύννεφα , να καταγράφουν μέρα-νύχτα εφόσον δεν χρειάζονται το ηλιακό φώς για να καταγράψουν και τέλος να διεισδύσουν κάτω από τα φυλλώματα, χώμα, νερό και να καταγράψουν περισσότερες πληροφορίες σε σχέση με έναν οπτικό δορυφόρο.

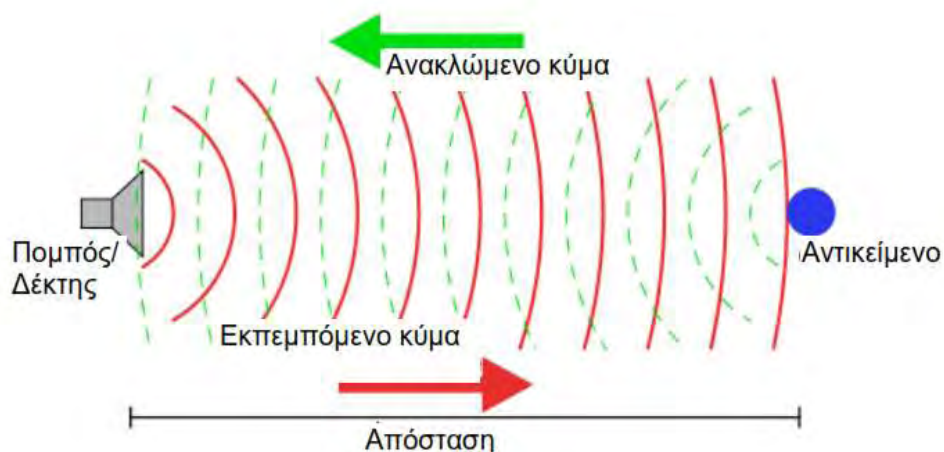
Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι το εύρος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από διάφορους «πομπούς». Το εύρος του μήκους κύματος είναι από 10^4 έως 10^{-12} m και η συχνότητα του από 10^4 έως 10^{20} Hz. Με τα μεγαλύτερα μήκη κύματος να είναι τα ραδιοκύματα και τα μικρότερα οι ακτίνες Χ και οι ακτίνες γ. Το ορατό φώς είναι μεταξύ 0.4×10^{-6} (κυανό) έως περίπου 0.7×10^{-6} (κόκκινο). Τα ραντάρ χρησιμοποιούν τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα με μήκος κύματος περίπου 1 cm έως 100 cm τα οποία αντιστοιχούν σε συχνότητες 300MHz έως 40GHz

| ○ Όνομα καναλιού | ○ Μήκος κύματος (λ) | ○ Συχνότητα (f) |
|------------------|---------------------|-----------------|
| ○ Ka-band | ○ 0.75 - 1.1cm | ○ 40 - 26.5 GHz |
| ○ K-band | ○ 1.1 - 1.67cm | ○ 26.5 - 18 GHz |
| ○ Ku-band | ○ 1.67 - 2.4cm | ○ 18 - 12.5 GHz |
| ○ X-band | ○ 2.4 - 3.75cm | ○ 12.5 - 8 GHz |
| ○ C-band | ○ 3.75 - 7.5cm | ○ 8 - 4 GHz |
| ○ S-band | ○ 7.5 - 15cm | ○ 4 - 2 GHz |
| ○ L-band | ○ 15 - 30cm | ○ 2 - 1 GHz |
| ○ P-band | ○ 30 - 100cm | ○ 1 - 0.3 GHz |

Πίνακας 2.1 Κανάλια ηλεκτρομαγνητικού φάσματος – Ιδία επεξεργασία

2.3 Συστήματα PANTAR

Η λέξη Radar είναι ένα ακρωνύμιο των λέξεων Radio Detection And Ranging δηλαδή ραδιοανίχνευση και εντοπισμός. Ο τρόπος λειτουργία ενός συστήματος Radar χωρίζεται σε τρεις φάσεις: 1) Μετάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος, 2) Η επιστροφή ενός μέρους του ίδιου κύματος και 3) η κατανόηση της επιστρεφόμενης ενέργειας του κύματος.



Εικόνα 2.1 Τρόπος λειτουργίας του Ραντάρ Πηγή: Georg Wiora (Dr. Schorsch)

Για αυτόν τον λόγο τα συστήματα radar τοποθετούνται στην κατηγορία της ενεργητικής τηλεπισκόπησης (active remote sensing). Τα συστήματα ραντάρ αντιλαμβάνονται τον στόχο βάση των ραδιοκυμάτων και των μικροκυμάτων και όχι του ορατού φάσματος, καθώς λοιπόν τα κύματα δεν εμποδίζονται από τα σύννεφα και δεν χρειάζεται ηλιακό φως για την καταγραφή, τα καθιστά λειτουργικά σε οποιαδήποτε συνθήκη με την οποιαδήποτε νεφοκάλυψη. Ο κάθε δορυφόρος RADAR έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και διαφέρουν μεταξύ τους σε μεγάλο βαθμό. Είναι σχεδιασμένοι για συγκεκριμένη λειτουργία και ως εκ τούτου εκπέμπουν σε διαφορετικές συχνότητες ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Οι πιο σύνηθες συχνότητες είναι οι L, C και X παρόλα αυτά υπάρχουν και άλλες συχνότητες οι οποίες είναι για ειδικές εφαρμογές. Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος (ή συχνότητα) τόσο πιο πολύ διεισδύει η ακτινοβολία στα διάφορα υλικά που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης, έτσι γίνεται εφικτό να περάσει την επιφάνεια της γης, των φύλλων και άλλων υλικών. Καθώς επίσης τα μήκη κύματος άνω των $\sim 2\text{cm}$ διαπερνάν τα σύννεφα και άνω των $\sim 4\text{cm}$ την βροχή. Η δυνατότητα απορρόφησης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κάθε υλικού υποδηλώνεται από την διηλεκτρική ιδιότητα του .

Τα Ραντάρ για τηλεπισκοπικές εφαρμογές διακρίνονται σε 3 κατηγορίες:

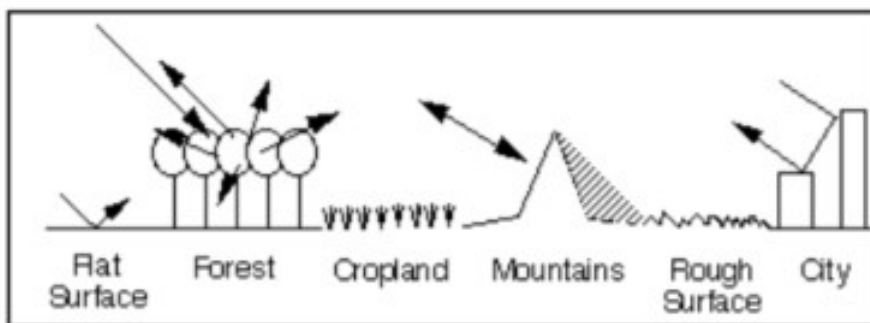
- Το ραντάρ πλευρικής απεικόνισης (Side-looking imaging)
- Τα αλτιμετρικά ραντάρ (Nadir-looking radars)

- ο Τα ραντάρ διασκορπισμού(scatterometers)

Τα ραντάρ πλευρικής απεικόνισης αναπτύχθηκαν αρχικά με τα ραντάρ πραγματικού ανοίγματος(Real Aperture Radar – RAR) και στην συνέχεια εξελίχθηκαν στα ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (Synthetic Aperture Radar – SAR) . Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία της πλευρικής απεικόνισης και πιο συγκεκριμένα τα συστήματα SAR.

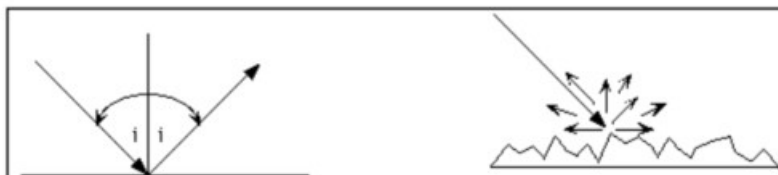
2.3.1 Οπισθοσκέδαση Ραντάρ

Οι εικόνες ραντάρ αποτελούνται από τον υπολογισμό της οπισθοσκέδασης από μια περιοχή του εδάφους. Οπισθοσκέδαση είναι η επιστροφή της ενέργειας που έχει εκπέμψει ο αισθητήρας. Οι «σκοτεινές» εικόνες υποδηλώνουν χαμηλή οπισθοσκέδαση ενώ οι πιο φωτεινές, υψηλή. Η οπισθοσκέδαση μιας περιοχής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, το μήκος κύματος ,οι τοπικές καιρικές συνθήκες, οι φυσικές διαστάσεις, η διηλεκτρική σταθερά των υλικών, η πόλωση, επηρεάζουν σημαντικά την αποτύπωση.



Εικόνα 2.2 Παραδείγματα οπισθοσκέδασης ανάλογα τον στόχο - Πηγή: SARscape

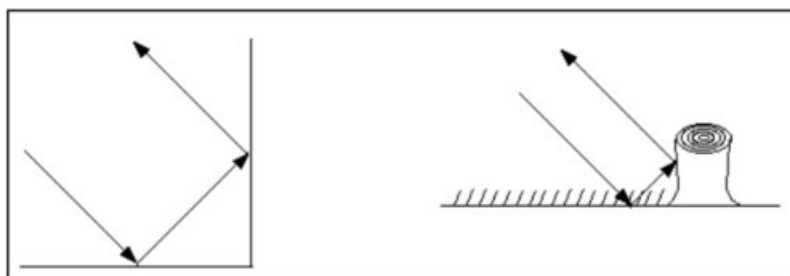
Για παράδειγμα ένας τραχύς βράχος θα επιστρέψει αρκετή ενέργεια πίσω στον δορυφόρο ενώ μια λίμνη θα επιστρέψει ελάχιστη.



Εικόνα 2.3 Διαφορά στην οπισθοσκέδαση σύμφωνα με την μορφολογία του εδάφους

2.3.2 Φαινόμενο διπλής αναπήδησης

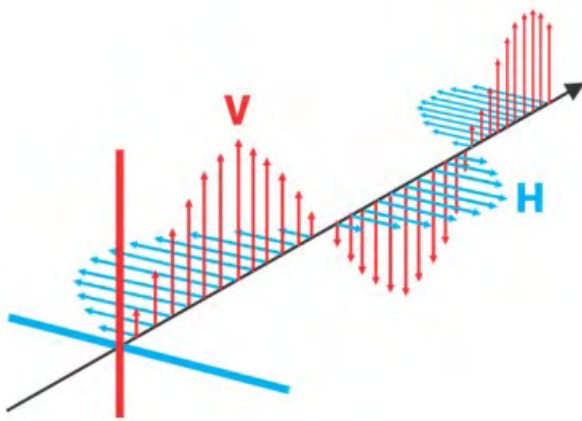
Οι επιφάνειες όπου είναι κεκλιμένες προς το ραντάρ εμφανίζονται πιο φωτεινές διότι επιστρέφουν περισσότερη ενέργεια από τις επιφάνειες με αντίθετη κλίση. Κάποιες επιφάνειες δεν εμφανίζονται καθόλου στο ραντάρ και απεικονίζονται μύυρες, τέτοιες περιοχές είναι για παράδειγμα πίσω από έναν λόφο. Όταν η σάρωση γίνεται ανάμεσα από κτίρια και δρόμους, σε αστικό δηλαδή, είναι συχνό το φαινόμενο της διπλής αναπήδησης. Ενώ τα κτίρια χαρακτηρίζεται από στόχο που θα είναι ικανό να επιστρέψει αρκετή ενέργεια πίσω, ο παλμός αναπηδά από το κτίριο σε έναν άλλον στόχο και μετά επιστρέφει πίσω. Αυτό δημιουργεί «θόρυβο» και η επιστρεφόμενη ενέργεια είναι μικρότερη από την αναμενόμενη.



Εικόνα 2.4 Διπλή αναπήδηση

2.3.3 Πόλωση

Ανεξάρτητα από το μήκος κύματος, οι παλμοί των ρανταρ μπορούν να μεταδοθούν σε οριζόντια(H-Horizantal) ή κάθετα(V-Vertical) διανύσματα και να λαμβάνουν πίσω αντίστοιχα διανύσματα ή και αντίθετα. Οι απεικονίσεις χαρακτηρίζονται ανάλογα με τον τρόπο μετάδοσης και λήψης σε HH,VV,HV,VH δηλαδή οριζόντια-οριζόντια, κάθετα-κάθετα, οριζόντια-κάθετα και κάθετα οριζόντια. Όταν ένας αισθητήρας μεταδίδει και λαμβάνει τα σήματα με όλους τους συνδυασμούς μπορεί να παράγει εικόνες με περισσότερες πληροφορίες για την επιφάνεια που σαρώνει



Εικόνα 2.5 Πόλωση μαγνητικών κυμάτων Πηγή: GISGeography.com

Το πλεονέκτημα είναι ότι δέχεται περισσότερες πληροφορίες σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας όπου εφαρμόζοντας τεχνική αποσύνθεσης(Freeman-Durden), είναι εφικτό τον υπολογισμό το πλήθος των διπλών αναπηδήσεων και τον όγκο της επιστρεφόμενης ενέργειας σε μια εικόνα SAR.

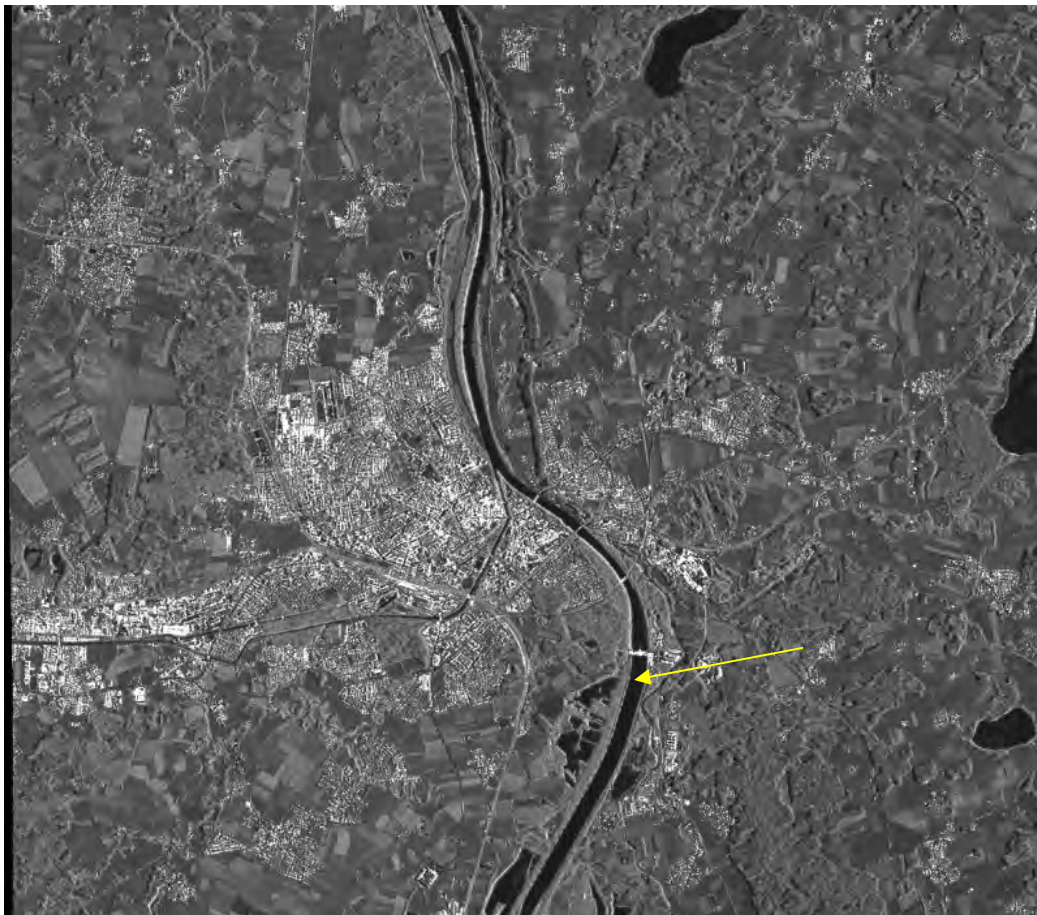
3 Κεφάλαιο – Βασικές έννοιες SAR

Το θεωρητικό υπόβαθρο των συστημάτων SAR είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι της έρευνας που αποσκοπεί στην κατανόηση της ίδιας της εργασίας αλλά και τις δυσκολίες που ενδεχομένως να αντιμετωπίζει.

3.1 Συστήματα SAR

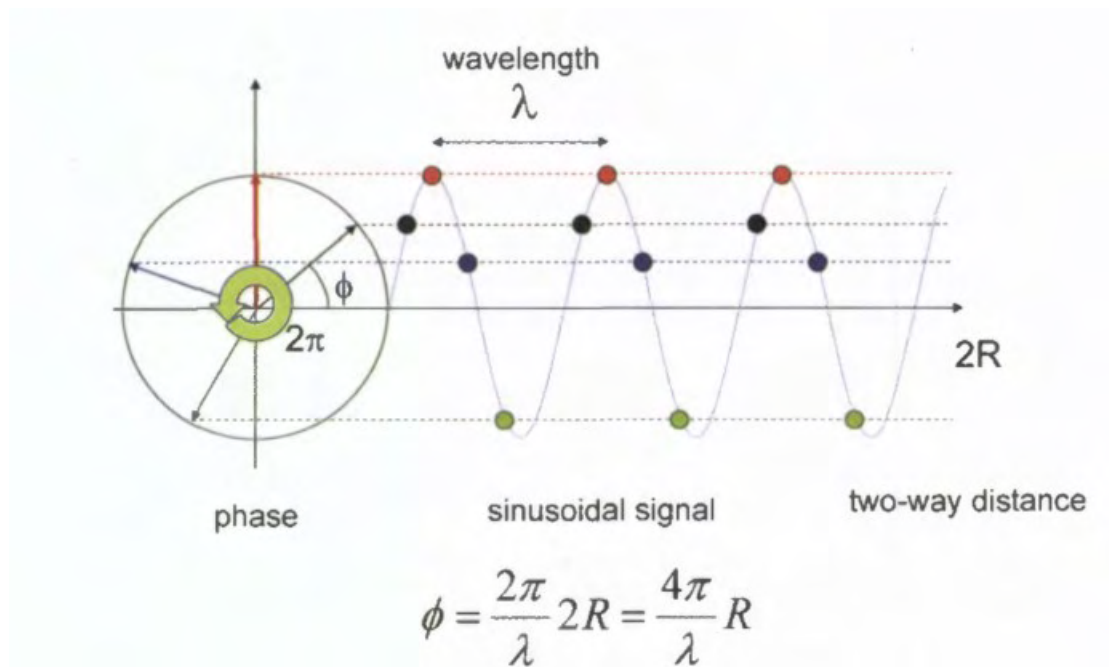
Το συνθετικό άνοιγμα ραντάρ(Synthetic Aperture Radar – SAR) είναι η τεχνητή αύξηση του μεγέθους της αντένας εκμεταλλευόμενη την κίνηση του δορυφόρου κατά μήκος του αζιμούθιου. Το συγκεκριμένο σύστημα αναπτύχθηκε ώστε να αντιμετωπίσει τους περιορισμούς του ραντάρ πραγματικού ανοίγματος (RAR). Καθώς ο δορυφόρος κινείται εκπέμπεται ένας παλμός και η αντένα του δορυφόρου καταγράφει την ανακλώμενη ενέργεια που δέχεται, με την κίνηση του δορυφόρου τα επιστρεφόμενα σήματα είναι

μετατοπισμένα λόγω του φαινομένου Doppler. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την καταγραφή πολλών ανακλώμενων παλμών από κάθε σημείο, παράγοντας εικόνες υψηλής ανάλυσης. Κάθε εικονοστοιχείο περιέχει το εύρος και την φάση του επιστρεφόμενου σήματος από συγκεκριμένο σημείο του εδάφους. Κάθε στόχος επηρεάζει την οπισθοσκέδαση διαφορετικά λόγω των φυσικών ιδιοτήτων του. Οι πιο τραχύς επιφάνειες ανακλούν τα σήματα με μεγαλύτερη διάχυση και έτσι τα σήματα είναι πιο ισχυρά σε αντίθεση με τις λείες επιφάνειες που αποτελούν ισχυρούς ανακλαστήρες και το σήμα ανακλάται κάθετα από την γωνία πρόσπτωσης και το επιστρεφόμενο σήμα είναι ανίσχυρο, τέτοιες επιφάνειες είναι η θάλασσα, γυάλινες επιφάνειες, λίμνες κλπ. Παρόλα αυτά, οι δρόμοι, ποτάμια, κλπ, αν και δεν μπορούν να καταγραφτούν και εμφανίζονται «σκοτεινές» δηλαδή η επιστρεφόμενη ενέργεια είναι ασθενή, μπορούν να εντοπισθούν λόγω της δικτυακής τους δομής, αυτό βέβαια προϋποθέτει υψηλή διακριτική ικανότητα του αισθητήρα.



Εικόνα 3.1 Εικόνα SAR-Οι σκοτεινές περιοχές αφορούν περιοχές που ο δορυφόρος δεν δέχθηκε επιστρεφόμενο σήμα ή δέχθηκε πολύ χαμηλή ενέργεια. Όμως είναι δυνατόν να εντοπιστούν δίκτυα όπως για παράδειγμα το ποτάμι στο κέντρο της εικόνας Πηγή: Intelligence - Airbus

Η ακτινοβολία που μεταδίδεται από το ραντάρ πρέπει να φτάσουν στον στόχο και μέρος αυτής της ακτινοβολίας πρέπει να επιστρέψει πίσω για την δημιουργία της εικόνας. Εξαιτίας της σχεδόν τέλει ημιτονοειδής φύσης του σήματος η καθυστέρηση (τ) είναι ισοδύναμο της διαφοράς φάσης ϕ μεταξύ της μετάδοσης και της λήψης των σημάτων. Η διαφορά φάσης είναι ανάλογη της απόστασης που διανύει στο ταξίδι μετάδοσης και λήψης $2R$ της ακτινοβολίας διαιρεμένη με το μήκος κύματος.



Εικόνα 3.2 Ο υπολογισμός της φάσης ενός SAR Πηγή: ESA

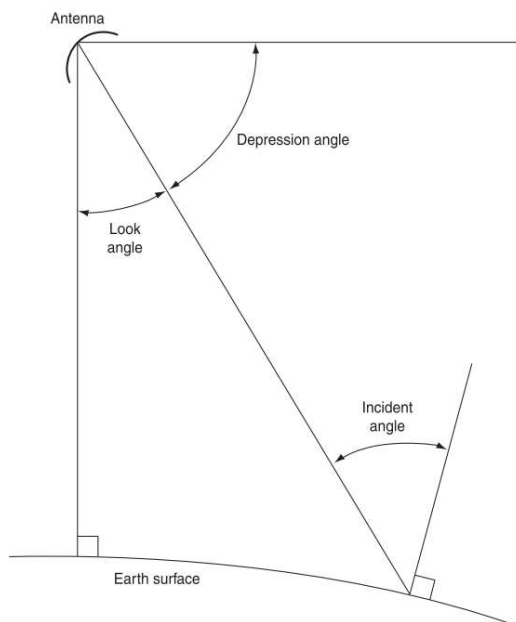
3.2 Εφαρμογές SAR

Τα συστήματα που φέρουν ραντάρ συνθετικού ανοίγματος μπορούν να συνεισφέρουν σε εφαρμογές στους τομείς της τοπογραφίας/γεωδαισίας, χαρτογράφηση κινητών αντικειμένων, διαχρονικές μεταβολές της επιφάνειας της γης. Πιο συγκεκριμένα στον τομέα της γεωδαισίας και με την μέθοδο που χρησιμοποιεί η παρούσα η εργασία(InSAR) μπορεί να εξάγει ψηφιακό μοντέλο εδάφους(Ψ.Μ.Ε) και επιφάνειας ή αλλιώς DEM αλλά και την εξαγωγή οριζοντιογραφικών χαρακτηριστικών δύο διαστάσεων. Όσον αφορά με την χαρτογράφηση κινητών αντικειμένων, έχει την δυνατότητα να υπολογίζει με ακρίβεια τις

μετακινήσεις-μεταβολές πάγων, πλοίων και άλλων κινούμενων στόχων, καθώς επίσης και να υπολογίζει μεγάλη ακρίβεια τον όγκο του πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και να εκτιμήσει το συνολικό του μέγεθος. Τέλος με την διαφορική συμβολομετρία υπολογίζεται η διαχρονική μεταβολή-μετατόπιση του εδάφους, την μετατόπιση μετά από σεισμό, την χαρτογράφηση πλημμυρών, την παρακολούθηση κατασκευών, παρακολούθηση ηφαιστειών, έρευνες κοιτασμάτων, μελέτη χρήσεων γης, αρχαιολογικές έρευνες κ.α

3.3 Βασική γεωμετρία SAR

Ένα σύστημα απεικόνισης SAR από έναν δορυφόρο περιγράφεται στην εικόνα 3-4. Ένας δορυφόρος μεταφέρει ένα ραντάρ με την κεραία να σαρώνει προς την επιφάνεια της γης όσο αυτός βρίσκεται σε τροχιά από αυτήν. Τα συστήματα SAR είναι πλευρικής απεικόνισης και επομένως οι παλμοί του ραντάρ μεταφέρονται πλάγια προς την επιφάνεια της γης και όχι κάθετα. Η γωνία παρατήρησης είναι πάντα ίδια σε κάθε δορυφόρο, γωνία πρόσπτωσης (incident angle) μεταβάλλεται ανάλογα την καμπυλότητα της γης και την επιφάνεια του εδάφους καθώς δημιουργείται από τον εκπεμπόμενο παλμό και τον κάθετο άξονα του στόχου.

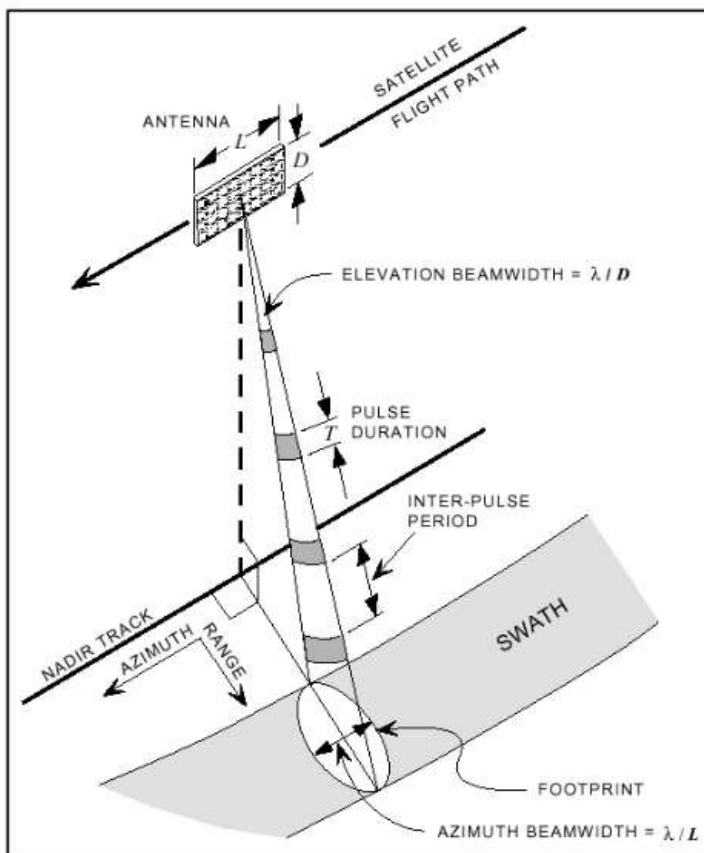


Εικόνα 3.3 Γωνίες παρατήρησης και πρόσπτωσης της πλευρικής απεικόνισης SAR

Αυτή η κλίση της κεραίας(Αντένας) από το ναδίρ του δορυφόρου προς την επιφάνεια ονομάζεται off-nadir angle ή γωνία παρατήρησης(look angle). Η κλίση που δημιουργείται είναι μεταξύ 20° και 50° . Η γωνία πρόσπτωσης και λόγω της καμπυλότητας είναι πάντα μεγαλύτερη της γωνίας παρατήρησης αλλά αν η γη ήταν επίπεδη, αυτές οι δυο γωνίες θα ήταν ίσες.

3.3.1 Αποτύπωση Εδάφους

Η απεικόνιση SAR είναι μία εικόνα δύο διαστάσεων (2D). Στην περίπτωση ενός SAR συστήματος η εικόνα παράγεται σαρωτικά(SCAN). Οι διαστάσεις της αποτύπωσης (X,Y) εξαρτώνται από την διεύθυνση πτήσης του αισθητήρα και την διεύθυνση σάρωσης. Η διάσταση αζιμουθίου ορίζεται ως $A=L/2$, όπου L το μήκος της πραγματικής κεραίας. Διεύθυνση Σάρωσης $R=Ct/2\sin\theta$ όπου C η ταχύτητα του αισθητήρα, t ο χρόνος μεταξύ των παλμών και θ η γωνία πρόσπτωσης των παλμών.



Εικόνα 3.4 Γεωμετρία αποτύπωσης SAR - Πηγή: SARscape

Δύο αντικείμενα με ενδιάμεση απόσταση X παρατηρούμενο από απόσταση R θα φανούν από τον αισθητήρα ως δύο αντικείμενα μόνο αν X/R υπερβαίνει λ/D όπου λ το μήκος κύματος και D το μήκος της αντένας (Didier Massonnet & Jean-Claude Souyris, 2008)

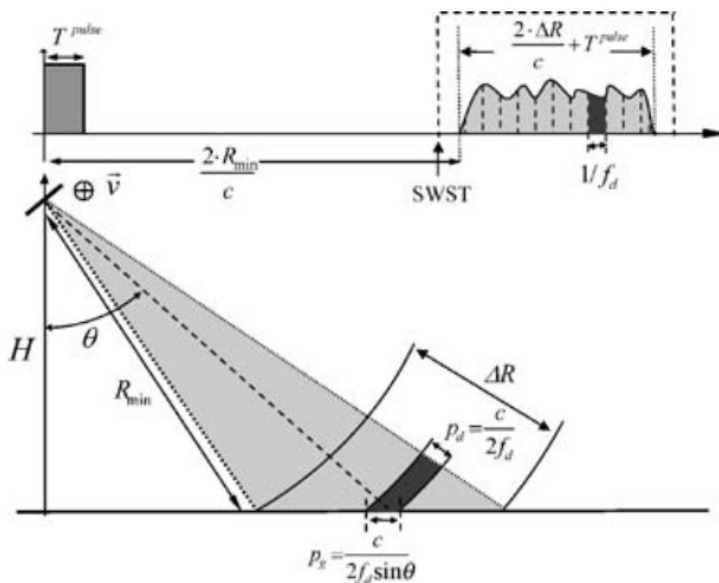
3.3.2 Διακριτική ικανότητα

Η συχνότητα των εκπεμπόμενων παλμών ορίζουν τη διάσταση του pixel στην διεύθυνση σάρωσης (Range) από την εξίσωση:

$$P_r = c / (2 \cdot f), \quad c = \text{speed of light}, \quad f = \text{frequency}$$

Μεταξύ δύο Pixel ο παλμός του SAR έχει πραγματοποιήσει έναν ολόκληρο κύκλο και για αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται ο συντελεστής 2. Για τον υπολογισμό της διακριτικής ικανότητας στην κεκλιμένη απόσταση του εδάφους (ground range) πρέπει να διαιρεθεί η διάσταση P_r από το ημίτονο της τοπικής γωνίας πρόσπτωσης (local incident angle) του κύματος.

$$P_{gr} = P_r / \sin \theta$$



Εικόνα 3.5 Διακριτική ανάλυση (pixel) Πηγή: Didier Massonnet & Jean-Claude Souyris, 2008

Η διάσταση του εικονοστοιχείου (Pixel) στην διεύθυνση του αζιμούθιου προσδιορίζεται από την συχνότητα μετάδοσης του παλμού RF και την ταχύτητα του οργάνου V που μεταφέρει τον αισθητήρα SAR. Με την υπόθεση ότι η πορεία του οργάνου είναι γραμμική, η εξίσωση είναι

$$P_a = v / RF ,$$

Στην περίπτωση όμως ενός δορυφόρου η πορεία δεν μπορεί να είναι γραμμική επομένως το P_a δίνεται από την εξίσωση

$$P_a = C_{\text{earth}} / (T_{\text{orb}} * RF)$$

Όπου C_{earth} η περιφέρεια της γής, περίπου 40.000χλμ, T_{orb} η περίοδος μιας πλήρους τροχιάς του εκάστωτε δορυφόρου.

3.4 Παραμορφώσεις και Σφάλματα

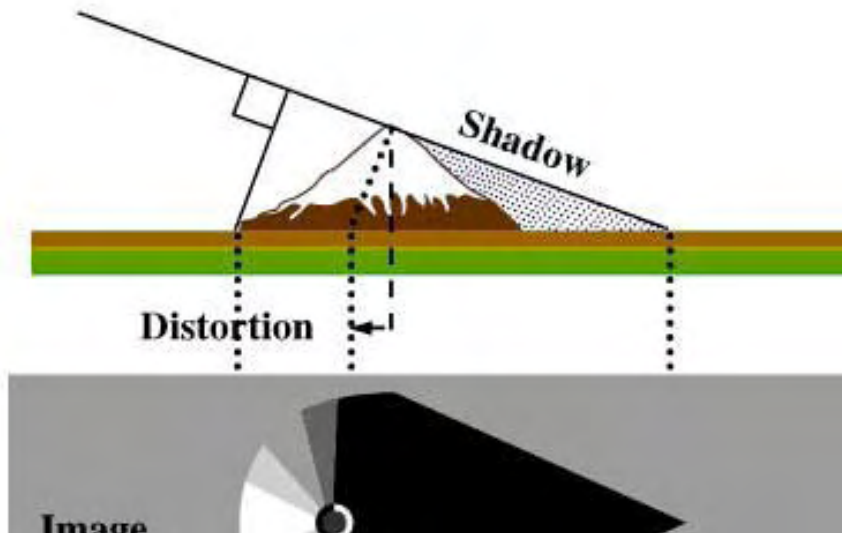
3.4.2 Γεωμετρικές παραμορφώσεις

Το σύστημα SAR όπως προαναφέρθηκε είναι στην κατηγορία των πλευρικών απεικονίσεων ραντάρ (SLC - Side-Looking complex RADAR). Ο τρόπος και η γεωμετρία που χρησιμοποιείται για την λήψη των απεικονίσεων οδηγεί σε κάποιες παραμορφώσεις του εδάφους. Αυτό συμβαίνει διότι οι κεκλιμένες αποστάσεις το εδάφους υπολογίζονται βάσει των αποστάσεων των σημείων της επιφάνειας σε σχέση με την αντένα και όχι την πραγματική μέτρηση της κεκλιμένης πλευράς. Έτσι δημιουργούνται 3 είδη παραμορφώσεων. Η Σμίκρυνση, η πτύχωση και η σκιά.

3.4.1.1 Σκίαση - Radar shadow

Ένα μειονέκτημα των πλευρικών απεικονίσεων είναι η δημιουργία της σκιάς, το φαινόμενο αυτό είναι ακριβώς το ίδιο με το φαινόμενο του ήλιου. Όταν ο ήλιος είναι κάθετα στο ναδίρ δηλαδή κάθετα σε ένα κτίριο, οι σκιές είναι πολύ λιγότερες έως και αμελητέες ενώ όταν δύει ή ανατέλλει, οι σκιές από την μια πλευρά είναι πολύ μεγάλες και ήλιος δεν βλέπει τίποτα πίσω από το κτίριο. Στα πλευρικά συστήματα όπως τα SAR, τις σκιές τις απεικονίζει

μαύρες διότι δεν έχει φτάσει κανένας παλμός για να επιστρέψει κάποια ενέργεια. Οι σκιές επηρεάζονται από το ύψος του δορυφόρου, από την γωνία που δημιουργείται από τον δορυφόρο και τον στόχο, και το ύψος του στόχου. Στο αστικό περιβάλλον, και ειδικά στο πυκνοδομημένο, το φαινόμενο αυτό μπορεί να «κρύψει» πληροφορίες, το ίδιο συμβαίνει και σε περιβάλλον με πολλές κορυφές και λόφους.

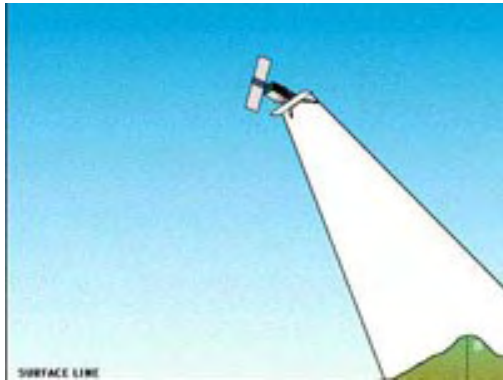


Εικόνα 3.6 Σκίαση - Πηγή: E-ESA Earth online

3.4.1.2 Σμίκρυνση - Foreshortening

Στην κατεύθυνση της σάρωσης διακρίνεται πολύ συχνά η παραμόρφωση της απεικόνισης με τη σμίκρυνση των στόχων. Αυτό συμβαίνει λόγω της βασικής λειτουργίας ενός ενεργητικού συστήματος όπως είναι τα SAR. Η μέτρηση των αποστάσεων μεταξύ των στόχων γίνεται μέσω του χρόνου που χρειάζεται ένας παλμός να ταξιδέψει από έναν στόχο σε έναν άλλον. Όταν όμως η κλίση της επιφάνειας του στόχου είναι παρόμοια με την κλίση του δορυφόρου και κατ' επέκταση του εκπεμπόμενου παλμού, τα άκρα της επιφάνειας A-B θα «φωτιστούν» ταυτόχρονα ή σε πολύ μικρότερο χρόνο από ότι θα χρειαζόταν αν η επιφάνεια είχε μικρότερη κλίση. Σε αυτή την περίπτωση η απόσταση A-B ενός στόχου

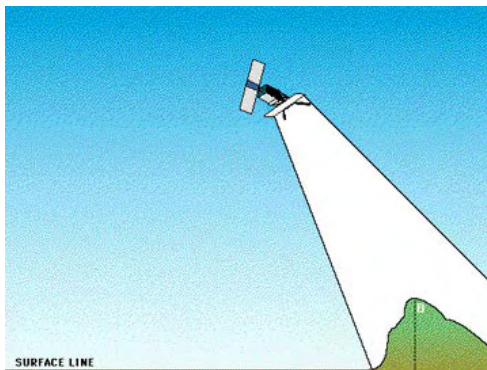
αποτυπώνεται πιο συμπιεσμένη από την πραγματικότητα.



Εικόνα 3.7 Σμίκρυνση - Πηγή: E-ESA Earth online

3.4.1.3 Πτύχωση - Layover

Όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, όταν η κλίση του στόχου είναι ίδιο ή παρόμοιο με την κλίση του παλμού δημιουργείται η σμίκρυνση του στόχου. Το ίδιο φαινόμενο επηρεάζει την αποτύπωση διαφορετικά όταν η επιφάνεια ξεπεράσει την γωνία του παλμού. Σε αυτήν την περίπτωση ο παλμός μπορεί να φτάσει πρώτα στο τέλος της απόστασης A-B, δηλαδή στο B και μετά στο A. Όποτε και αντιστρέφεται η πραγματικότητα με αποτέλεσμα να φαίνονται ανεστραμμένα σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία.



Εικόνα 3.8 Πτύχωση - Πηγή: E-ESA Earth online

3.4.1.5 Στίγματα - Speckle

Όλες οι εικόνες SAR περιέχουν έναν αριθμό από speckles. Τα στίγματα είναι εικονοστοιχεία ανάμεσα σε ένα πλήθος όμοιων εικονοστοιχείων. Πιο συγκεκριμένα είναι κάποια σημεία όπου η ανακλώμενη ενέργεια είχε λάθος πληροφορία, αυτό οφείλετε στην μορφολογία του στόχου, την κλίση του αισθητήρα κα. Είναι ένα πολύ συχνό φαινόμενο που διορθώνεται

μερικώς με το φιλτράρισμα της εικόνας. Παρόλα αυτά μερικά στίγματα δεν εξαλείφονται, οπότε και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται από τον χρήστη. Τα πιο γνωστά φίλτρα είναι το «multilooking», «Goldstein» και το «Speckle filter».



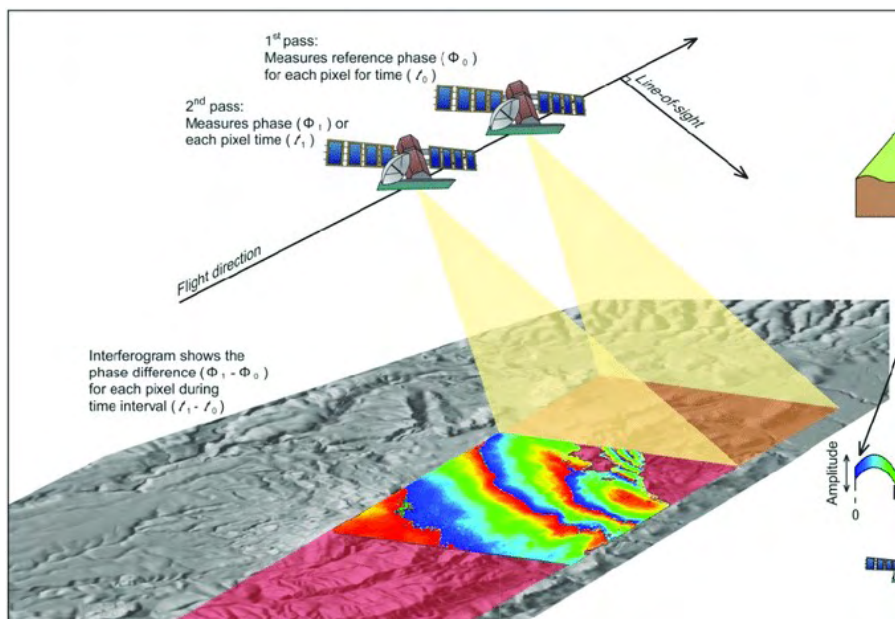
Εικόνα 3.9 Εικόνα Ραντάρ με στίγματα – Ιδία Επεξεργασία



Εικόνα 3.10 Εικόνα ραντάρ μετά απο φίλτρο "Multilook" για την απαλοιφή των σιγμάτων – Ιδία επεξεργασία

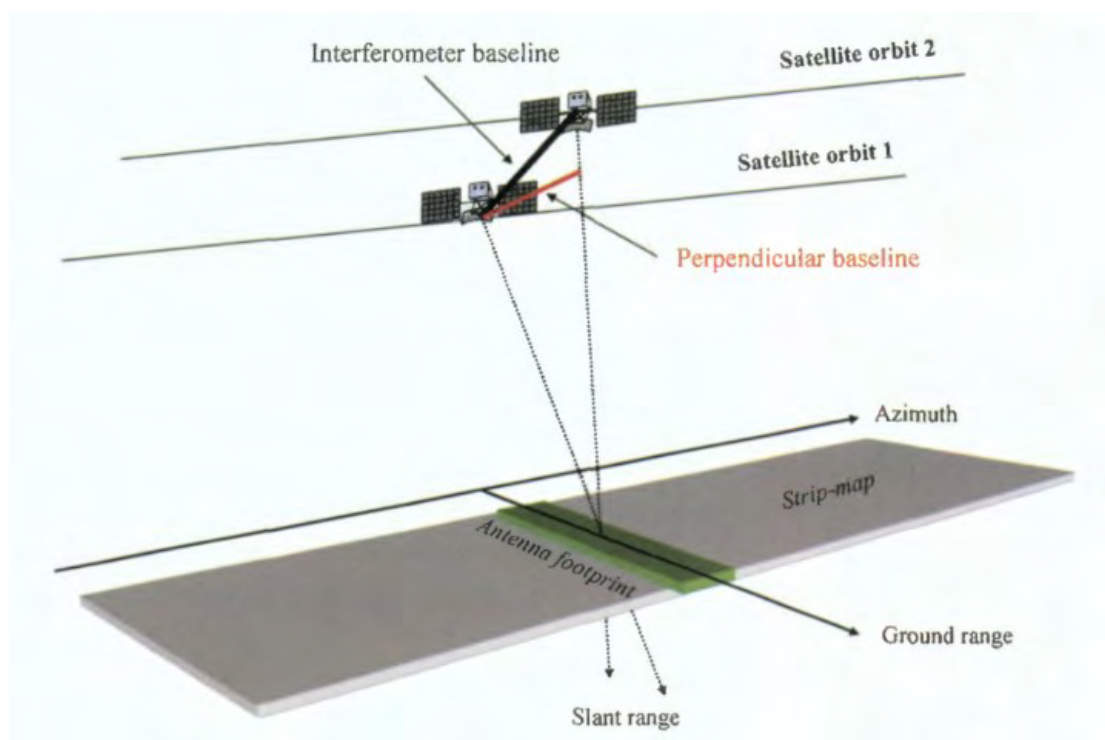
3.5 Συμβολομετρία – InSAR

Η εφαρμογή της συμβολομετρίας ή InSAR όπως θα αναφέρεται στην συνέχεια είναι η παραγωγή ενός ζεύγους εικόνων το οποίο προέρχεται είτε από έναν δορυφόρο SAR με δύο αντένες ή από δυο διαφορετικούς δορυφόρους ή από τον ίδιο δορυφόρο επαναλαμβάνοντας την τροχιά του σε δυο διαφορετικές χρονικές στιγμές. Ακόμα και στην περίπτωση όπου οι αντένες των δορυφόρων δεν καταγράφουν το ανάγλυφο της Γής ταυτόχρονα, έχοντας διατηρήσει τις ίδιες παραμέτρους καταγραφής, είναι δυνατόν η δημιουργία εικόνων υψηλής ανάλυσης και τριών διαστάσεων. Τα συμβολογραφήματα (Interferograms) είναι το αποτέλεσμα του συσχετισμού τουλάχιστον δύο εικόνων SAR. Οι εικόνες SAR περιέχουν τη φάση και το εύρος του στόχου, αυτές οι πληροφορίες από μόνες τους δημιουργούν εικόνες δύο διαστάσεων καθώς λείπει η πληροφορία που καθορίζει ύψος. Με την τεχνική InSAR δηλαδή συμβολομετρία μπορεί να υπολογισθεί το ύψος των στόχων. Πιο συγκεκριμένα ένα συμβολογράφημα περιέχει την διαφορά φάσης των δυο λήψεων, αυτή η πληροφορία και γνωρίζοντας την απόσταση των δορυφόρων από το σημείο λήψης μπορεί μετατρέψει την διαφορά φάσης σε μέτρα και έτσι να υπολογισθεί το ύψος του στόχου. Η εικόνα αποτελείται από κροσσούς συμβολής (fringes). Η μετατροπή αυτή προϋποθέτει το «ξετύλιγμα» του συμβολογραφήματος, όπου θα αναλυθεί παρακάτω



Εικόνα 3.11 Η μέθοδος InSAR για την δημιουργία συμβολογραφήματος

Η κάθετη απόσταση μεταξύ των δορυφόρων ονομάζεται «κάθετη γραμμή βάσης» ή perpendicular baseline όπως εμφανίζεται στην βιβλιογραφία αλλά και στα προγράμματα επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων όπως το SNAP,SARscape,ENVI κ.α.

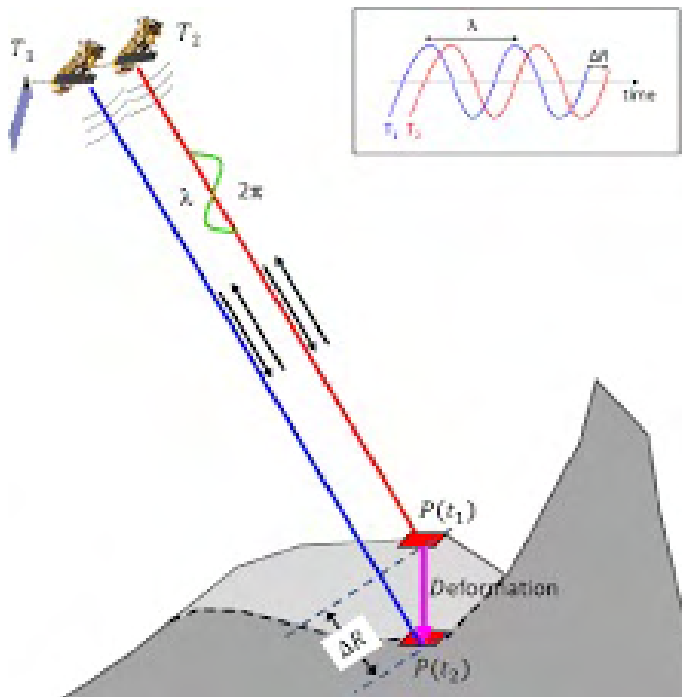


Εικόνα 3.12 Γεωμετρία συμβολομετρίας Πηγή: European Space Agency:InSAR Principles

3.6 Διαφορική Συμβολομετρία

Μία από τις εφαρμογές της συμβολομετρίας είναι ο εντοπισμός μικρομετατοπίσεων στην επιφάνεια του εδάφους. Μπορεί να αναλυθεί με μεγάλη ακρίβεια η ανοδική ή καθοδική μετατόπιση σε μεγάλες επιφάνειες. Τέτοιες μετατοπίσεις μπορεί να συμβαίνουν συνεχώς λόγω της μορφολογίας του εδάφους ή μπορεί να εντοπιστούν μετά από σεισμό, φυσική καταστροφή, εξόρυξη κ.α. Έχοντας διαχρονικές εικόνες από δορυφόρους ή αεροπλάνα που φέρουν αισθητήρα SAR επιτρέπει την διαχρονική καταγραφή των αλλαγών του εδάφους. Η μεθοδολογία για την καταγραφή της παραμόρφωσης του εδάφους (Deformation) είναι η Διαφορική συμβολομετρία η αλλιώς DInSAR(Differential Interferometry SAR). Η διαδικασία είναι παρόμοια με την InSAR, ηλεκτρομαγνητικά κύματα στο εύρος των μικροκυμάτων και των ραδιοκυμάτων διαδίδονται στην επιφάνεια του εδάφους και μέρος αυτών επιστρέφουν

στον αισθητήρα. Για την δημιουργία του συμβολογραφήματος χρειάζονται τουλάχιστον δυο απεικονίσεις, με την ιδανική απόσταση, για τον εντοπισμό της παραμόρφωσης του εδάφους, των αισθητήρων SAR να είναι 0. Παρόλα αυτά σε αυτή την εφαρμογή είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί η μηδενική απόσταση διότι τα δεδομένα θα πρέπει να έχουν την επιθυμητή χρονική διαφορά, είτε να είναι εκατέρωθεν ενός συμβάντος που θα μπορούσε να επιφέρει παραμόρφωση είτε να έχει ένα διαχρονικό εύρος για την διαχρονική ανάλυση του εδάφους. Επομένως δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα ζεύγος εικόνων από έναν δορυφόρο με δύο αντένες. Η διαφορική συμβολομετρία(DInSAR) είναι η διαφορά φάσης των δύο εικόνων και η αφαίρεση της τοπογραφίας με σκοπό την διατήρηση των διαφορικών κινήσεων μεταξύ των δύο απεικονίσεων.



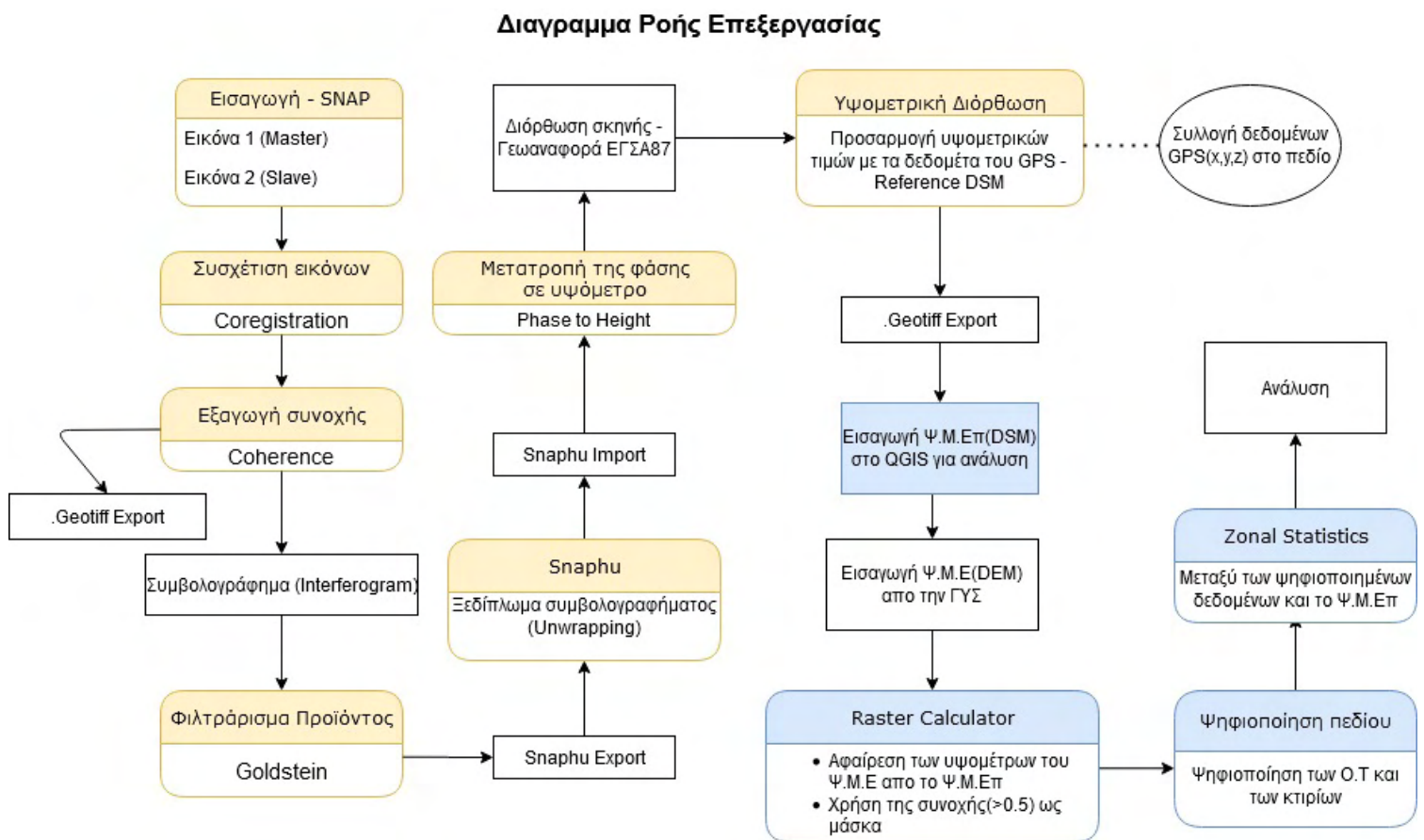
Εικόνα 3.13 Διαφορική συμβολομετρία – Εντοπισμός παραμόρφωσης

3.7 Θόρυβος στο συμβολογράφημα

Όπως προαναφέρθηκε, στην συμβολομετρία χρειάζονται τουλάχιστον 2 εικόνες για την επεξεργασία. Όσο περισσότερες εικόνες τόσο πιο ασφαλές είναι τα αποτελέσματα. Παρόλα αυτά σε κάθε εικόνα και ανάλογα με τον εκάστων αισθητήρα SAR, συναντάται ο λεγόμενος «θόρυβος». Ο θόρυβος υπάρχει σε κάθε είδους απεικόνιση και επηρεάζεται σημαντικά από το εξωτερικό περιβάλλον. Στον τομέα των ραντάρ και της ενεργητικής τηλεπισκόπησης υπάρχουν τρία είδη συντελεστών που προκαλούν θόρυβο. Ο χρόνος μεταξύ των λήψεων, η θέση λήψης και ο στόχος. Ο χρόνος μεταξύ των λήψεων επηρεάζει σημαντικά τους ανακλαστήρες, ειδικά όταν ο στόχος είναι φυσικός όπου οι μεταβολές στον χρόνο είναι πιο έντονες από ένα αστικό περιβάλλον (π.χ αύξηση-μείωση στάθμης ποταμού), η θέση λήψης είναι ο συντελεστής που επηρεάζει σημαντικά και ειδικότερα όταν ο στόχος είναι ένα αστικό περιβάλλον με έντονες διαφορές στην τοπογραφία του, η θέση του δορυφόρου μερικών μέτρων μεταξύ των λήψεων αλλάζει κατά πολύ την γωνία πρόσπτωσης προς τον ίδιο στόχο, αυτό πολλές φορές δημιουργεί αποσυσχέτιση με αποτέλεσμα η συσχέτιση των δύο εικόνων να μην είναι απόλυτη, μειώνοντας έτσι την ποιότητα του τελικού προϊόντος και τέλος ο στόχος ο ίδιος δημιουργεί θόρυβο(π.χ λίμνες, γυάλινες επιφάνειες,κα).

4 Κεφάλαιο - Επεξεργασία και Ανάλυση

Στο Κεφάλαιο 4 θα γίνει η επεξεργασία των διαθέσιμων εικόνων ραντάρ με την μέθοδο της συμβολομετρίας InSAR. Θα περιγραφτούν όλα τα επιμέρους βήματα. Η επεξεργασία γίνεται στο ανοιχτό πρόγραμμα SNAP της ESA. Ζητούμενο της επεξεργασίας είναι η δημιουργία ενός αξιόλογου DEM έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση των πολεοδομικών παραμέτρων του Δήμου Κοζάνης. Στο παρακάτω διάγραμμα ροής των εργασιών παρουσιάζεται όλη η διαδικασία της επεξεργασίας βήμα-βήμα.



Εικόνα 4.1 Διάγραμμα ροής επεξεργασίας- Ιδία επεξεργασία

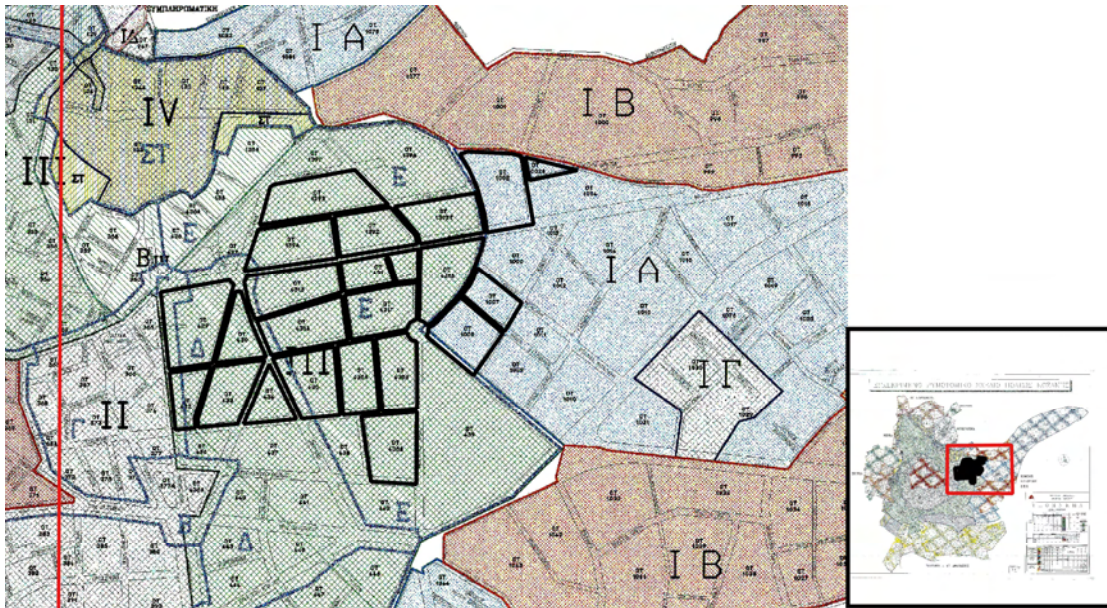
4.3 Περιοχή μελέτης

Η εφαρμογή της μεθόδου InSAR για την εξαγωγή ενός ψηφιακού μοντέλο επιφάνειας θα γίνει στον αστικό δομημένο χώρο της Κοζάνης. Η επιλογή της πόλης έγινε λόγω της διαθεσιμότητας εικόνων υψηλότερης ανάλυσης σε σχέση με τα ανοιχτά δεδομένα του Sentinel 1. Η Κοζάνη βρίσκεται στην βόρεια Ελλάδα, στην περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας με πληθυσμό άνω των 70.000 κατοίκων. Η έκταση της είναι 9.451τ.χλμ, χτισμένη σε υψόμετρο περίπου στα 720μ από την επιφάνεια της θάλασσας, στους πρόποδες της οροσειράς Βερμίου. Είναι μια πόλη μεσαίων διαστάσεων για τα δεδομένα της Ελλάδας.

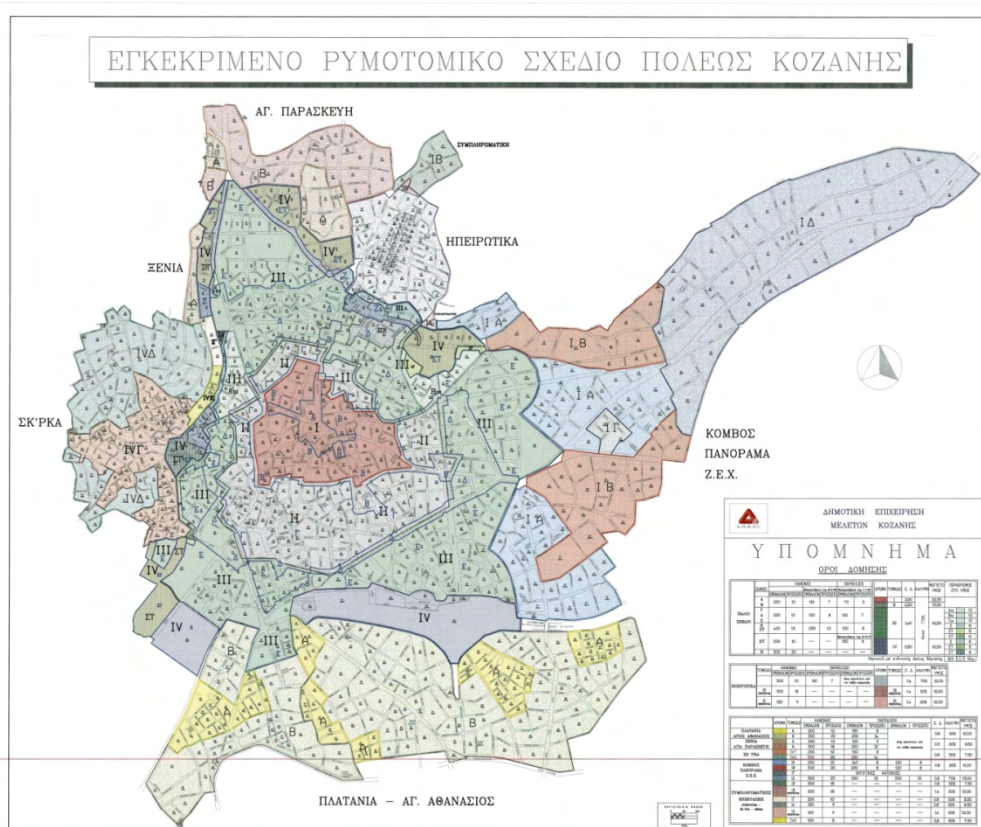


Εικόνα 4.2 Αστικός χώρος Κοζάνης - Πηγή: Κτηματολόγιο

Η Κοζάνη έχει εγκεκριμένο και αναθεωρημένο Ρυμοτομικό σχέδιο από τον Σεπτέμβριο του 2000. Αυτή την περίοδο είναι σε διαβούλευση το νέο Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο, παρόλα αυτά στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το εγκεκριμένο του 2000.



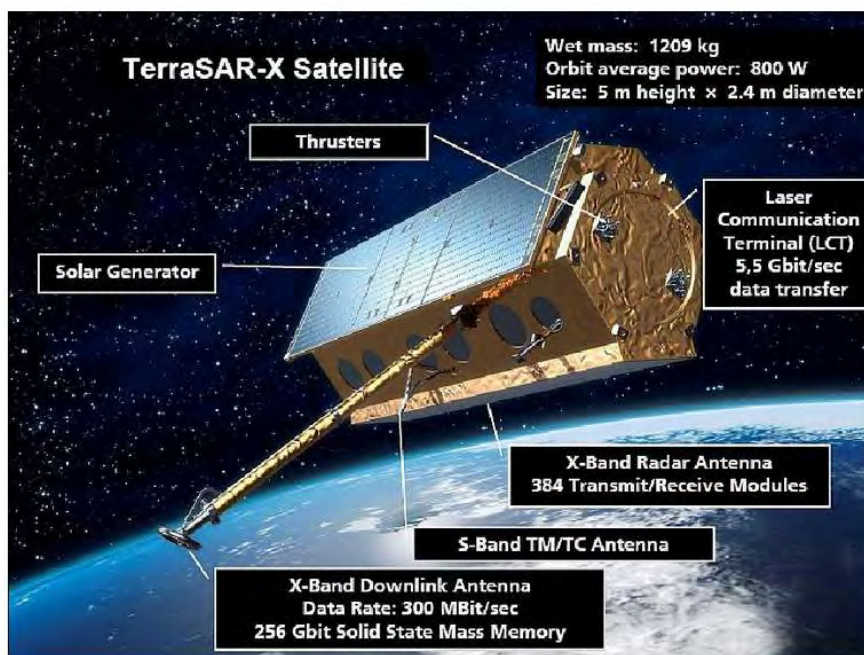
Πίνακας 4.1 Τα ψηφιοποιημένα οικοδομικά τετράγωνα με υπόβαθρο το εγκεκριμένο ρυμοτομικό σχέδιο - Ιδία επεξεργασία



Χάρτης 4-1 Εγκεκριμένο Ρυμοτομικό Σχέδιο Πόλεως Κοζάνης(Υπόμνημα σε μεγέθυνση στο Παράρτημα Εικόνα 0.4) - Πηγή: Πολεοδομία Κοζάνης

4.4 Δορυφόρος TerraSAR

Ο TerraSAR-X γνωστός και ως TSX είναι δορυφόρος SAR υποστηριζόμενος από το υπουργείο εκπαίδευσης και επιστήμης της Γερμανικής κυβέρνησης και τον διαχειρίζεται η DLR (Αεροδιαστημικό κέντρο της Γερμανίας). Εκτοξεύτηκε 15 Ιουνίου 2007 από την Ρωσική Cosmodrome". Ο TSX εκπέμπει κύματα στο κανάλι Χ (X-Band), στον παράρτημα πίνακας με άλλους δορυφόρους SAR καθώς το κανάλι εκπομπής.



Εικόνα 4.3 Δορυφόρος TerraSAR-X - Πηγή: EO Sharing Earth Observation Resources

Ο TerraSAR X-Band δορυφόρος κατασκευάστηκε από την Airbus Defence και την Space Geo-Intelligence/Infoterra GmbH. Το εξάγωνο σχήμα του, με το συνολικό του ύψος 5 μέτρα και διάμετρο 2.4 μέτρα, περιλαμβάνει στην μια του πλευρά ένα ηλιακό πάνελ, 3 πλευρές με ηλεκτρονικό εξοπλισμό και μία πλευρά δεσμεύει ο κεραία του SAR, η οποία είναι στις 33,8° από το ναδίρ του δορυφόρου και η 6 πλευρά που βρίσκεται στο ναδίρ και αφορά μια κεραία S-Band για σύνδεση με τον σταθμό εδάφους και την μεταφορά των δεδομένων.

Οι διαστάσεις του δορυφόρου αναλυτικά στον πίνακα 4.2

| | |
|------------------------|---|
| S/C wet mass | 1230 kg (bus=549 kg, payload=394 kg, propellant of 78 kg) |
| S/C dimensions | 5 m x 2.4 m |
| SAR antenna dimensions | 5 m x 0.80 m |
| S/C power | 800 W of orbit average power (EOL), 1.8 kW of peak power (BOL); energy storage of 108 Ah capacity of Lithium-Ion battery |
| Power distribution | 35-51 V unregulated power bus; converter to 28 V and converter to 115 V 30 kHz AC for TSX-SAR front end |
| S/C pointing accuracy | 65 arcsec (3σ) |
| RF communications | X-band of 300 Mbit/s link of payload data downlink with DQPSK modulation; S-band uplink of 4 kbit/s (2025-2110 MHz), BPSK modulation; S-band downlink of 32 kbit/s to 1 Mbit/s (2200-2400 MHz), BPSK modulation |

Πίνακας 4.2 Πίνακας χαρακτηριστικών του δορυφόρου Πηγή: EO Sharing Earth Observation Resources

Γενικά χαρακτηριστικά ανάλογα με τον τρόπο σάρωσης:

| Parameter/Operational mode | Spotlight HS mode | Spotlight SL mode | Experimental Spotlight | Stripmap mode (SM) | ScanSAR mode (SC) |
|---|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| Resolution, cross-track | 2 m | 2 m | 1 m | 3 m | 16 m |
| Resolution, along-track | 1 m | 1 m | 1 m | 3 m | 16 m |
| Product coverage, (km) along-track x cross-track | 5 x 10 | 10 x 10 | 5 x 10 | ≤ 1500x 30 | ≤ 1500x 100 |
| Access range of incidence angles (full performance) | 20-55° 2 x 463 km | 20-55° 2 x 463 km | 20-55° 2 x 463 km | 20-45° 2 x 287 km | 20-45° 2 x 287 km |
| Access range of incidence angles (data collection) | 15-60° 2 x 622 km | 15-60° 2 x 622 km | 15-60° 2 x 622 km | 15-60° 2 x 622 km | 20-60° 2 x 577 km |
| Sensitivity NESZ - typical - worst case | -23 dB -19 dB | -23 dB -19 dB | -20 dB -16 dB | -22 dB -19 dB | -21 dB -19 dB |
| DTAR ambiguity ratio | < -17 dB | < -17 dB | < -17 dB | < -17 dB | < -17 dB |
| Source data rate, (8/4 BAQ) | 340 Mbit/s | 340 Mbit/s | 680 Mbit/s | 580 Mbit/s | 580 Mbit/s |

Πίνακας 4.3 Πίνακας παραμέτρων ανάλογα με τον τύπο της σάρωσης Πηγή: EO Sharing Earth Observation Resources

4.3 Επεξεργασία εικόνων - SNAP

Για την παραγωγή του ΨΜΕπ έτσι ώστε να γίνει η ανάλυση της περιοχής ως προς τους πολεοδομικούς παραμέτρους θα εφαρμοστεί η μέθοδος InSAR. Για αυτήν την μέθοδο χρειάζεται τουλάχιστον 2 εικόνες. Οι εικόνες που θα χρησιμοποιηθούν είναι από τον δορυφόρο TerraSAR-X και αποτυπώθηκαν μετά από σάρωση του δορυφόρου στις 12/10/2017 και 23/10/2017.

- TDX1_SAR_SSC_SM_S_SRA_20171012T162413_20171012T162421
- TDX1_SAR_SSC_SM_S_SRA_20171023T162413_20171023T162421

Ιδιότητες εικόνας TerraSAR-X

Οι τίτλοι των εικόνων κωδικοποιούν κάποιες από τις ιδιότητες της εικόνας.

- TDX1_SAR_SSC_SM_S_SRA_ xxxxxxxxTxxxxxx_yyyyyyyTyyyyy
 - SSC – Single-look Slant-range Complex
 - SM – StripMap mode
 - S –Polarization mode – S-Single mode
 - SRA- Single receive antenna
 - xxxxxxxxTxxxxxx – Αρχή της αποτύπωσης
 - yyyyyyyTyyyyy- Τέλος αποτύπωσης

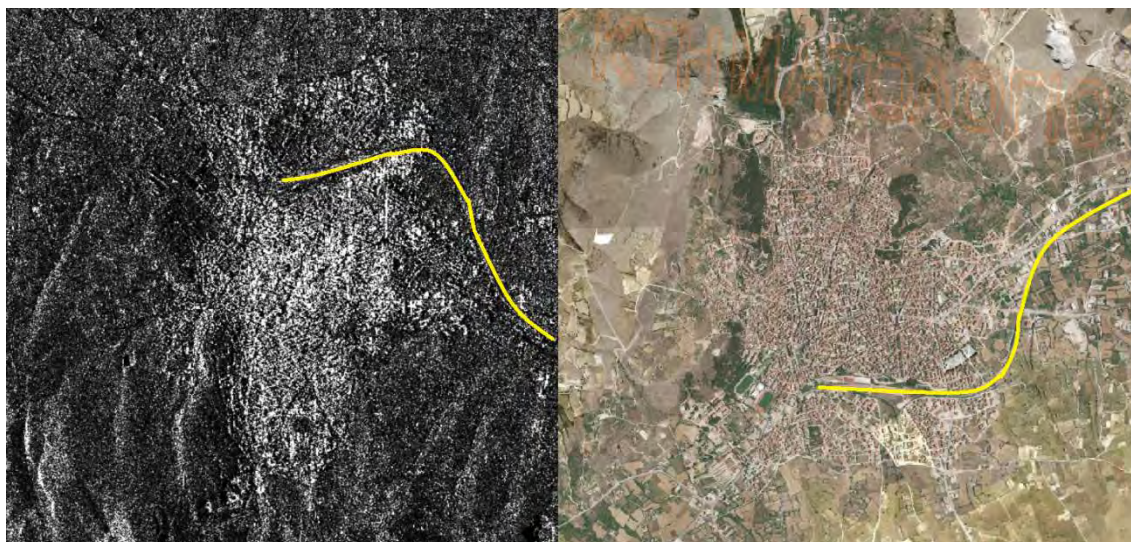


Εικόνα 4.4 Εικόνα Master-TDX1_SAR_SSC_SM_S_SRA_20171012T162413_20171012T162421 – Ιδία επεξεργασία



Εικόνα 4.5 Εικόνα Slave TDX1_SAR_SSC_SM_S_SRA_20171023T162413_20171023T162421– Ιδία επεξεργασία

Οι εικόνες είναι ανεστραμμένες λόγω της γεωμετρίας του ραντάρ. Στην εικόνα 4-6 αποτυπώνεται αυτή η αναστροφή λόγω της γεωμετρίας. Η κίτρινη γραμμή είναι το σιδηροδρομικό δίκτυο της Κοζάνης. Αριστερά είναι αποτύπωση ραντάρ ενώ δεξιά είναι αεροφωτογραφία δηλαδή οπτική αποτύπωση.



Εικόνα 4.6 Διαφορά αποτύπωσης ραντάρ και οπτικής λήψης

4.3.1 Σύζευξη εικόνων – Coregistration

Η διαδικασία της σύζευξης είναι η αντιστοίχιση των εικονοστοιχείων(pixel) μεταξύ δύο εικόνων. Οι εικόνες στο SNAP διαχωρίζονται σε Master και Slave, στην φάση του coregistration μπορούν να υπάρχουν παραπάνω από μία εικόνα slave αλλά μόνο μία Master. Όλες οι εικόνες «σκλάβος» αντιστοιχούνται pixel-pixel με την κύρια(master) εικόνα. Αυτή η φάση επεξεργασίας είναι πολύ σημαντική για την συνέχεια καθώς δημιουργείται τελικά μια εικόνα με 2 κανάλια, όπου σε κάθε ένα αντιστοιχεί η πληροφορία από την κάθε εικόνα. Παρακάτω παρουσιάζεται η σύζευξη των εικόνων

TDX1_SAR_SSC_SM_S_SRA_20171012T162413_20171012T162421

TDX1_SAR_SSC_SM_S_SRA_20171023T162413_20171023T162421

| File Name | Mst/Slv | Acquisition | Track | Orbit | Bperp [m] | Btemp [days] | Modeled Coherence | Height Ambg [m] | Delta fDC [Hz] |
|-------------------|---------|-------------|-------|-------|-----------|--------------|-------------------|-----------------|----------------|
| subset_2_of_TD... | Master | 23Oct2017 | 161 | 40712 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | ∞ | 0.00 |
| subset_3_of_TD... | Slave | 12Oct2017 | 161 | 40545 | -149.28 | 11.00 | 0.87 | 37.11 | 2.39 |

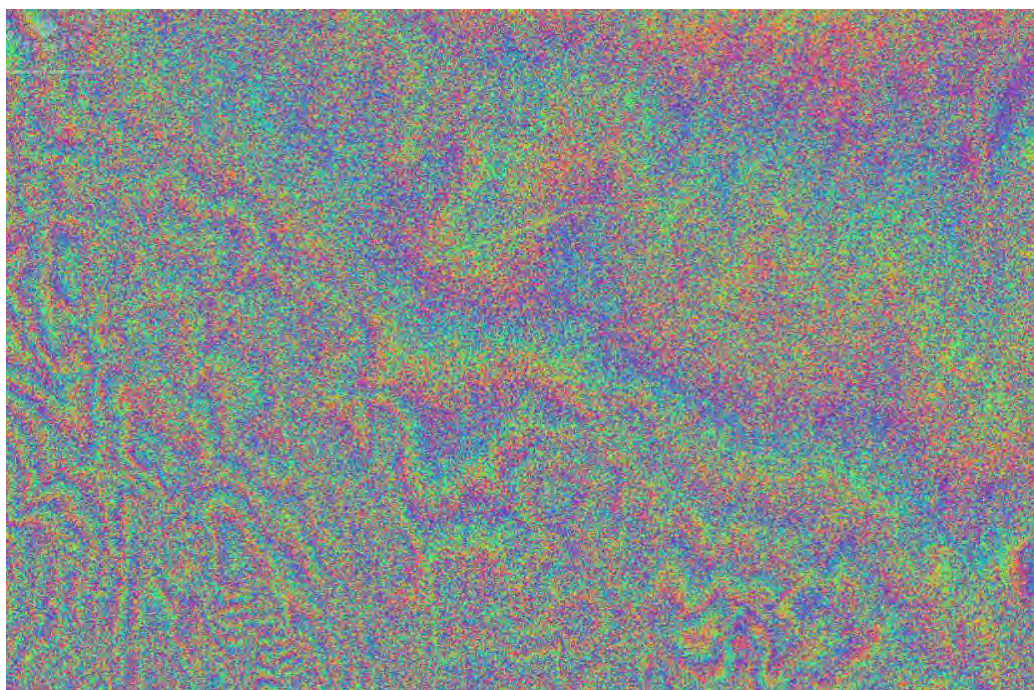
Πίνακας 4.4 Πληροφορίες των εικόνων προς εισαγωγή - ίδια επεξεργασία

4.3.2 Συνοχή – Coherence

Σε κάθε μελέτη που γίνεται ο στόχος είναι οι πληροφορίες και τα δεδομένα να είναι αξιόπιστα ώστε και το αποτέλεσμα να είναι εξίσου αξιόπιστο. Η συνοχή των δύο εικόνων συμβάλει στην αξιολόγηση της αξιοπιστίας του τελικού προϊόντος. Στην διαδικασία αυτή εκτιμάται κατά πόσο διαφέρει η επιστρεφόμενη ενέργεια κάθε εικονοστοιχείου που αντιστοιχεί σε master και slave. Οι τιμές της συνοχής είναι μεταξύ 0 και 1, όταν οι τιμές είναι κοντά στο 1 δηλώνουν μεγάλη συνοχή των pixels δηλαδή είναι σταθεροί ανακλαστήρες και η ανακλώμενη ενέργεια ήταν και στις δύο λήψης παρόμοια, ενώ όταν είναι κοντά στο 0 σημαίνει ότι στο συγκεκριμένο εικονοστοιχείο υπάρχει διαφορά μεταξύ της επιστρεφόμενης ενέργειας και επομένως η πληροφορία είναι αναξιόπιστη. Η συνοχή επηρεάζεται σημαντικά από το πεδίο της σάρωσης των δορυφόρων. Όσοι περισσότεροι σταθεροί ανακλαστήρες των παλμών υπάρχουν στην περιοχή αποτύπωσης τόσο μεγαλύτερη είναι η συνολική συνοχή της εικόνας. Οι στόχοι μιας περιοχής ανάλογα με την τοπογραφία τους συμβάλλουν θετικά ή αρνητικά στην συνοχή των εικόνων διαχρονικά. Για παράδειγμα ένας απότομος βράχος, ένα κτίριο, ένα σύμπλεγμα κτιρίων είναι πιθανό κάθε φορά λόγω της εκάστων θέσης του δορυφόρου να επιστρέφει διαφορετική ενέργεια πίσω και επομένως η συνοχή της εικόνας να έχει διακυμάνσεις μεταξύ του 0 και 1. Επομένως για να διατηρηθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων η συνοχή χρησιμοποιείται ως μάσκα, πιο συγκεκριμένα επιλέγοντας τα εικονοστοιχεία με συνοχή άνω του 0.4 περιορίζεται το σφάλμα.

4.3.3 Δημιουργία Συμβολογραφήματος -Interferogram formation

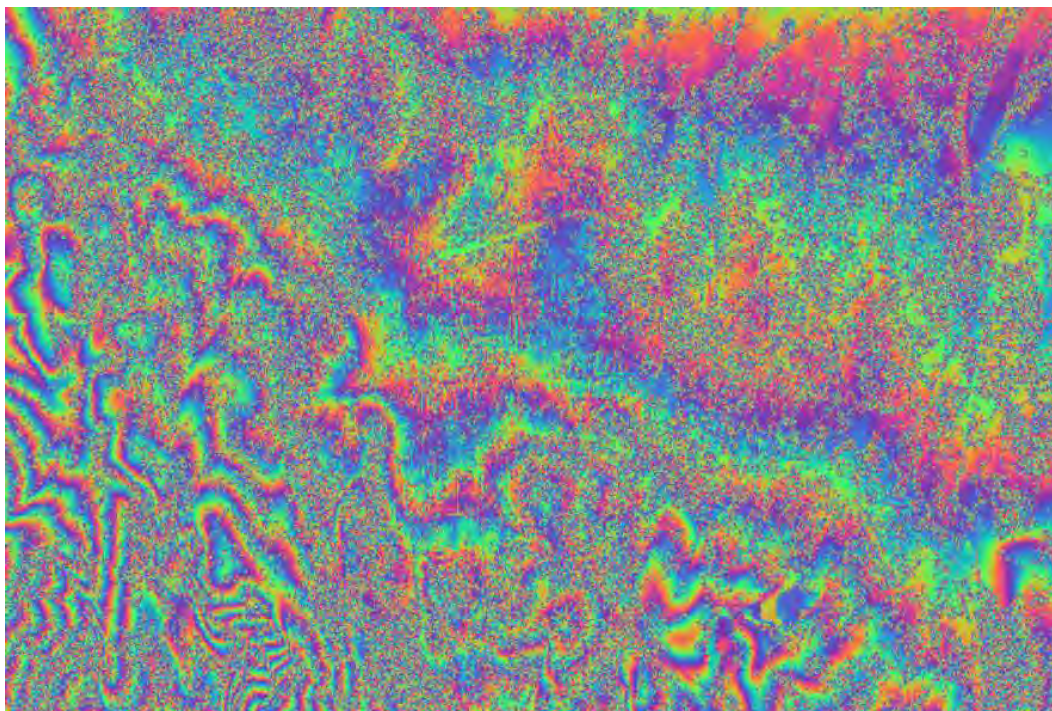
Το συμβολογράφημα απεικονίζει την διαφορά φάσης του Master προϊόντος TDX1_SAR_SSC_SM_S_SRA_20171012T162413_20171012T162421 και του Slave TDX1_SAR_SSC_SM_S_SRA_20171023T162413_20171023T162421. Δεδομένου ότι ο δορυφόρος κατά την διάρκεια παραγωγής των δύο εικόνων βρισκόταν σε διαφορετική θέση και ύψος όπως παρουσιάστηκε, θα υπάρχει διαφορά φάσης. Η διαφορά αυτή απεικονίζεται τους κροσσούς συμβολής(fringes-ομόκεντρους κύκλους). Σε αυτό συμβάλει και η τοπογραφία.



Εικόνα 4.7 Συμβολογράφημα απο τα προϊόντα TDX1_SAR_SSC_SM_S_SRA_20171023T162413_20171023T162421 και TDX1_SAR_SSC_SM_S_SRA_20171012T162413_20171012T162421 – ίδια επεξεργασία

4.3.4 Φιλτράρισμα - Filtering

Η χρήση ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR) συχνά επηρεάζεται την χρονική διαφορά των λήψεων, την γεωμετρία των λήψεων και άλλων συντελεστών. Κάθε συμβολογράφημα αποτελείται από την διαφορά φάσης των λήψεων συνδυασμένο με ένα εύρος θορύβου. Για αυτό και εφαρμόζεται φιλτράρισμα με αποτέλεσμα την μείωση του θορύβου και κατ' επέκταση ενισχύει την ακρίβεια των μετρήσεων που ο θόρυβος επηρεάζει αρνητικά. Επίσης το φιλτράρισμα βοηθάει πολύ στο «ξετύλιγμα» της φάσης όπως θα παρουσιαστεί παρακάτω. Στο παραπάνω συμβολογράφημα παρατηρείται έντονος «θόρυβος» και για αυτό θα πρέπει να γίνει φιλτράρισμα αυτού του θορύβου έτσι ώστε να μειωθούν τα στίγματα. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται είναι ο Goldstein (Goldstein, Werner, 1998).



Εικόνα 4.8 Εφαρμογή φίλτρου Goldstein στο συμβολογράφημα – Ιδία επεξεργασία

4.3.5 Ξετύλιγμα συμβολογραφήματος -Snaphu Unwrapping

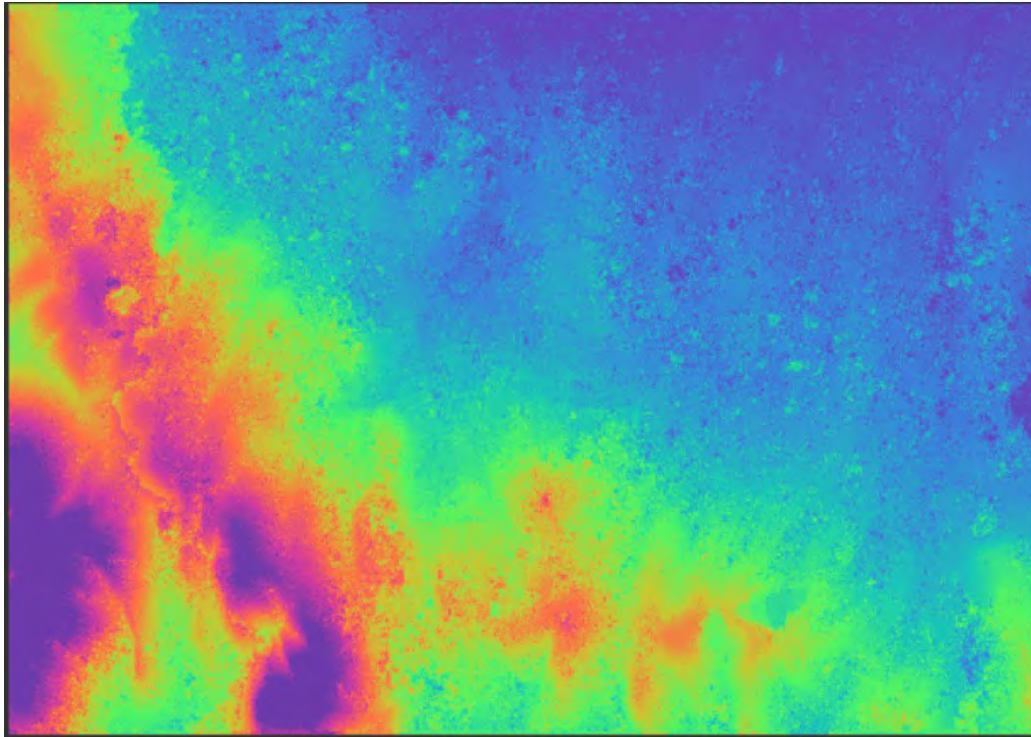
Το συμβολογράφημα αποτελείται από τους κροσσούς συμβολής που δημιουργούνται από την διαφορά φάσης και την τοπογραφία της περιοχής. Αυτά τα δεδομένα για να «μεταφραστούν» σε χωρικά δεδομένα πρέπει να «ξετυλιχτούν» με την βοήθεια του αλγόριθμου SNAPHU(Chen, Zebker). Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος στην αρχή ήταν ένα ανεξάρτητο πρόγραμμα, εκτός περιβάλλον SNAP και χρειαζόταν περιβάλλον linux. Πλέον έχει ενσωματωθεί στο ίδιο το SNAP και χρήση του γίνεται από οποιοδήποτε περιβάλλον, αυτό υποδηλώνει την αξιοπιστία του αλγορίθμου. Ο Snaphu είναι ένας αλγόριθμος στατιστικής- κόστους , στόχος του οποίου είναι ο υπολογίσει την πιο πιθανή λύση ξετύλιγμα της φάσης, δηλαδή να αφαιρέσει τους πρόσθετους κύκλους σε σχέση με τα γειτονικά του εικονοστοιχεία. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί μια διαδικασία συνεχούς βελτιστοποίησης έως

όπου καταλήξει στο πιθανότερο αποτέλεσμα. Ο χρόνος εκτέλεσης εξαρτάται από την δυσκολία του συμβολογραφήματος, όσο πιο θορυβώδες τόσο περισσότερο χρόνο χρειάζεται. Δίνει την δυνατότητα τον κατακερματισμό του συμβολογραφήματος σε έως και 10 λωρίδες και 10 στήλες, επομένως η διαδικασία βελτιστοποίησης να είναι μικρότερη σε διάρκεια δεδομένου ότι όσο αυξάνεται το μέγεθος της εικόνας, ο χρόνος που χρειάζεται αυξάνεται εκθετικά. Παρόλα αυτά σε μια εικόνα αστικού περιβάλλοντος με πιο απότομη τοπογραφία και περισσότερο θόρυβο είναι πιθανό σε κάθε κομμάτι του συμβολογραφήματος να βρει μια άλλη λύση και τελικώς να μην έχει «ξετυλιχθεί» σωστά σε όλο το εύρος της εικόνας. Για αυτό και εφαρμόστηκε σε ενιαία εικόνα και όχι σε διαχωρισμό σε μικρότερες.

```
27 parameters input from file snaphu.conf (84 lines total)
only one tile--disregarding multiprocessor option
Logging run-time parameters to file snaphu.log
Reading wrapped phase from file Phase_ifg_HH_03Nov2017_06Dec2017.snaphu.img
No weight file specified. Assuming uniform weights
No brightness file specified. Using interferogram magnitude as intensity
Reading correlation data from file coh_HH_03Nov2017_06Dec2017.snaphu.img
Calculating topography-mode cost parameters
Despeckling intensity image
Normalizing intensity
Building range cost arrays
Building azimuth cost arrays
Initializing flows with MCF algorithm
Setting up data structures for cs2 MCF solver
Running cs2 MCF solver
Running nonlinear network flow optimizer
Maximum flow on network: 2
Number of nodes in network: 10798338
Flow increment: 1 (Total improvements: 0)
Treesize: 10798338 Pivots: 80184959 Improvements: 142372
Maximum flow on network: 1
Total solution cost: 854955126
Integrating phase
Writing output to file UnwPhase_ifg_HH_03Nov2017_06Dec2017.snaphu.img
Program snaphu done
Elapsed processor time: 1:36:49.02
Elapsed wall clock time: 1:40:46

C:\snaphu\snaphu-v1.4.2_win64\bin\Snaphu4-6\g\interferogram4-6_fit_ML>n
```

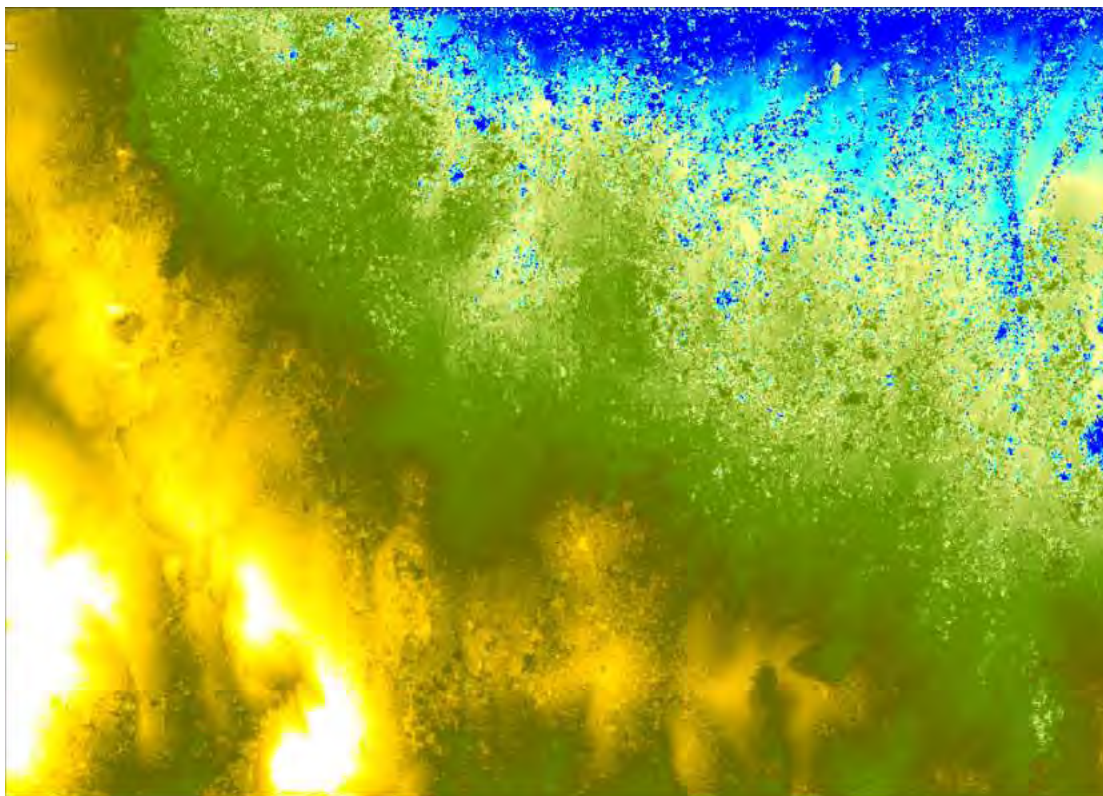
Εικόνα 4.9 Ξετύλιγμα φάσης μέσω SNAPHU χωρίς διαχωρισμού της εικόνας σε λωρίδες - Ιδία επεξεργασία



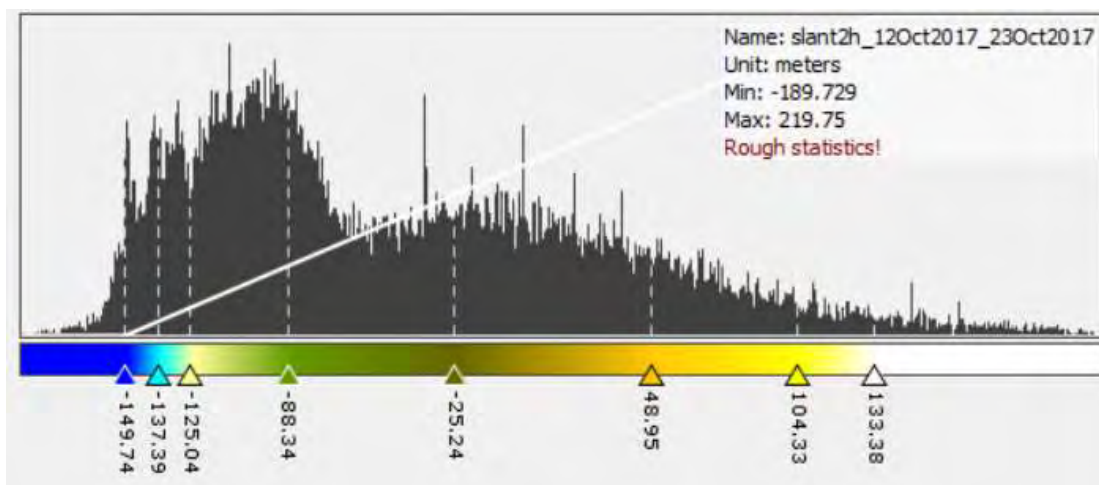
Εικόνα 4.10 "Ξετυλιγμένο" Συμβολογράφημα - Ιδία επεξεργασία

4.3.6 Μετατροπή φάσης σε ύψος (Phase to HEIGHT)

Για την μετατροπή της φάσης σε υψόμετρο χρησιμοποιείται το εργαλείο "Phase to HEIGHT". Σε αυτό το σημείο είναι το πρώτο στάδιο δημιουργίας ενός Ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας(ΨΜΕ-DSM) με την μέθοδο Schawabisch (M. Schawabisch, 1995). Είναι μια γρήγορη μέθοδος για να αποδώσει τα κωδικοποιημένα ύψη. Υπολογίζει το ύψος βάσει της φάσης σε συγκεκριμένα εικονοστοιχεία-σημεία αναφοράς- του συμβολογραφήματος και στην συνέχεια μετατρέπει και τα υπόλοιπα βάσει πλέον τα σημεία που έχει ήδη προσδιορίσει. Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας επιλέχθηκαν 500 σημεία , τον μέγιστο αριθμό που δύναται από το πρόγραμμα SNAP, δεδομένου τον υψηλό θόρυβο αλλά και λόγω της έντονης τοπογραφίας της περιοχής(αστικό περιβάλλον). Τα σημεία αυτά έχουν κοινή φάση και παίρνουν την τιμή 0 , τα υπόλοιπα σημεία μπορούν να δεχτούν και αρνητικές τιμές δεδομένου ότι τα σημεία αναφοράς βρίσκονται σε τυχαίο ύψος και όχι στο ύψος της θάλασσας.



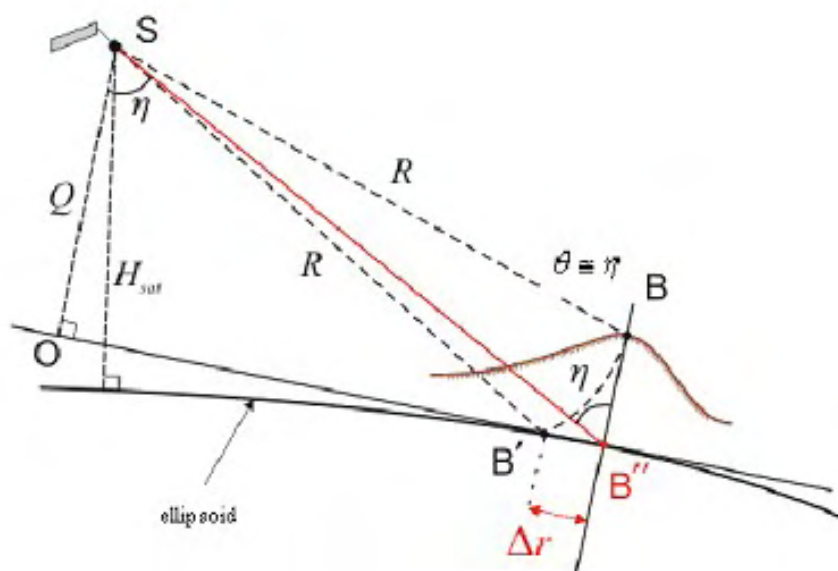
Εικόνα 4.11 Μετατροπή της φάσης σε υψόμετρα – Ιδία επεξεργασία



Εικόνα 4.12 Υψομετρική απόδοση των χρωμάτων – Ιδία επεξεργασία

4.3.7 Διόρθωση σκηνής - Range Doppler terrain correction

Εξαιτίας των τοπογραφικών διακυμάνσεων των εικόνων, καθώς και από την κλίση του δορυφόρου, οι αποστάσεις μπορεί να παρεκκλίνουν. Για αυτό πρέπει να γίνει μια εδαφική προσαρμογή έτσι ώστε η σκηνή να είναι γεωμετρικά προσαρμοσμένη στην πραγματικότητα.



Εικόνα 4.13 Τοπογραφική παραμόρφωση αποτύπωσης SAR - Πηγή: ESA – SNAP

Η γεωμετρία από την τοπογραφική παραμόρφωση όπως αναλύεται παραπάνω. Το σημείο B με το υψόμετρο «η» πάνω στην ελλειψοειδή καμπύλη αποτυπώνεται ως B' σε SAR εικόνα. Ενώ η πραγματική του θέση είναι η B''. Η απόκλιση Δr μεταξύ των σημείων B' και B'' είναι το φαινόμενο της τοπογραφικής παραμόρφωσης. Για την διόρθωση αυτής της παραμόρφωσης χρησιμοποιείται ένας ορθοδιορθωτικός αλγόριθμος (Orthorectification method – Small D, Schubert A., 2008). Με την βοήθεια των metadata της εικόνας για την κλίση του εδάφους και με την χρήση ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους ΨΜΕ (DEM) εξάγονται ακριβείς πληροφορίες την γεωγραφική τοποθεσία των σημείων. Σε αυτό το σημείο γίνεται και η γεωαναφορά του προϊόντος με το σύστημα προβολής του ΨΜΕ.

4.3.8 Υψομετρική διόρθωση - Calibration

Σε αυτή την φάση της επεξεργασίας η εικόνα είναι γεωμετρικά διορθωμένη και γεωγραφικά αναφερμένη στο επιθυμητό σύστημα αναφοράς. Τα υψόμετρα μεταξύ των σημείων έχουν

υπολογισθεί με «κατανόηση» της φάσης αλλά τα τελικά υψόμετρα δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Για να μετατραπούν τα υπολογισθέντα ύψη σε πραγματικά, χρειάζονται σημεία για τα οποία να είναι γνωστά τα X, Y, Z. Στην προκειμένη περίπτωση της Κοζάνης δεν υπήρχαν και χρειάστηκε να μετρηθούν με τοπογραφικό εργαλείο ,GPS. Δεδομένου ότι η σκηνή είναι ένα αστικό περιβάλλον με πυκνή δόμηση, τα σημεία που επιλέχθηκαν έπρεπε να είναι σε σημεία που ο δορυφόρος μπορεί να «φωτίσει», να έχει υψηλή συνοχή μεταξύ των εικόνων , χωρίς μεταβολή μεταξύ των λήψεων . Τέτοια σημεία είναι κορυφές κτιρίων(δώμα), μεγάλοι ανοιχτοί χώροι, λόφοι, κ.α, μακριά από σημεία που ενδεχομένως θα παρουσιάσουν σφάλματα. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκαν 10 σημεία στον χώρο. Ένα σημείο είναι για την υψομετρική διόρθωση και τα υπόλοιπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υψομετρική διαφορά των σημείων μεταξύ της εικόνας και της πραγματικότητας και επομένως να παρουσιαστεί η απόκλιση τους.

Πίνακας υψομετρικής απόκλισης

| 0. | GPS/GNSS | SAR | Διαφορά |
|----|----------|---------|---------|
| 1 | 699,442 | 699,442 | - |
| 2 | 759,850 | 764,090 | -5,31 |
| 3 | 761,200 | 768,710 | -7,51 |
| 4 | 760,339 | 766,930 | -6,59 |
| 5 | 715,993 | 711,030 | 4,96 |
| 6 | 720,639 | 721,490 | -0,85 |
| 7 | 720,668 | 725,430 | -4,76 |
| 8 | 695,261 | 697,830 | -2,57 |
| 9 | 695,312 | 699,640 | -4,33 |
| 10 | 698,895 | - | - |
| 11 | 698,804 | - | - |

| | | | |
|----|---------|---------|-------|
| 12 | 698,974 | 699,600 | -1,64 |
| 13 | 699,526 | 700,110 | -1,31 |
| 14 | 776,756 | 782,360 | -6,26 |

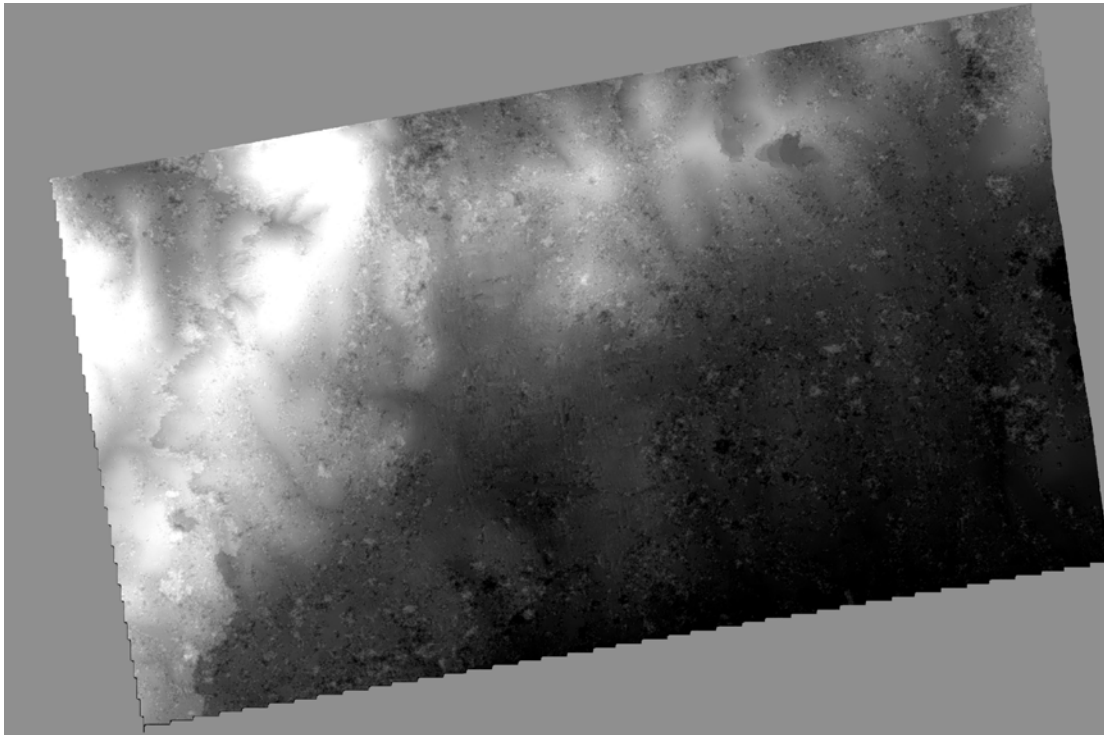
Πίνακας 4.5 Πίνακας υψομετρικών αποκλίσεων - Για την συλλογή των υψομέτρων με την χρήση GPS χρησιμοποιήθηκε το GPS South S720 - Ιδία επεξεργασία

Το σημείο 1, είναι και το σημείο αναφοράς για την μετατροπής σε πραγματικό υψόμετρο. Όπως παρατηρείται το υπάρχει μια απόκλιση-σφάλμα από 1 έως και 8 μέτρα με τον Μ.Ο 3.67 μέτρα

4.3.9 Επεξεργασία τελικού προϊόντος SAR

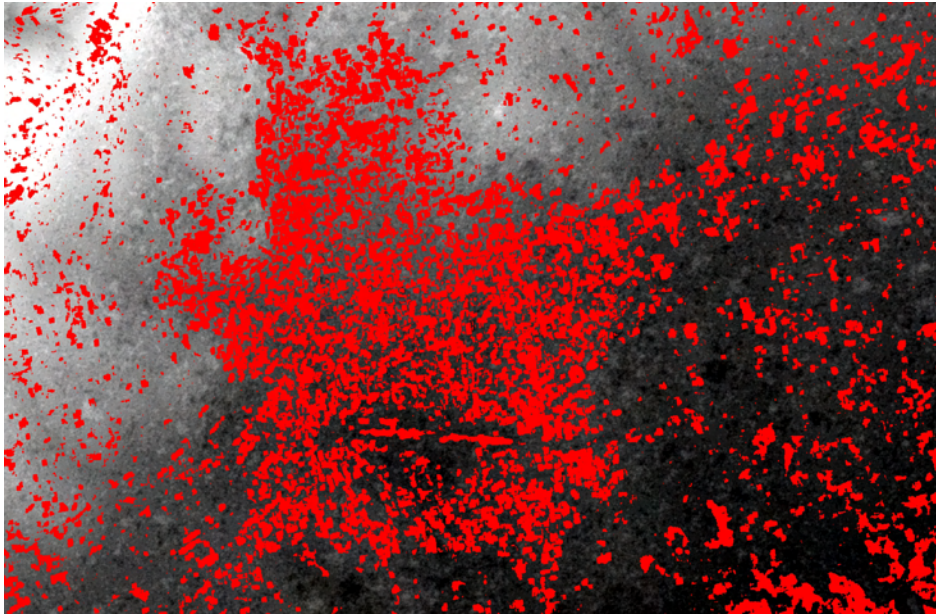
Για την επεξεργασία του τελικού προϊόντος θα χρειαστεί η εξαγωγή του σε .Geotiff και να εισαχθεί στο QGIS. Το τελικό προϊόν αφορά ένα γεωαναφερμένο και γεωμετρικά διορθωμένο ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας(ΨΜΕπ). Δηλαδή μια εικόνα τριών διαστάσεων η οποία παράχθηκε με την μέθοδο της σάρωσης και στην συνέχεια με την μέθοδο της συμβολομετρίας. Στην εικόνα περιέχεται ό,τι σημείο «φωτίστηκε» από τον δορυφόρο και επιστράφηκε ενέργεια σε αυτόν. Ο σκοπός της επεξεργασίας είναι να απομονωθεί ο όγκος της Κοζάνης από το έδαφος και πάνω για να επιτευχθεί, αφαιρείται από το ΨΜΕπ το ΨΜΕ(ψηφιακό μοντέλο εδάφους). Το επιθυμητό ΨΜΕ είναι αυτό με την καλύτερη δυνατή ανάλυση παρόλα αυτά για την συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκε ΨΜΕ με βήμα 30 μέτρα από την Γεωγραφική υπηρεσία στρατού (ΓΥΣ) . Το συγκεκριμένο ΨΜΕ και σε συνδυασμό το παραγόμενο ΨΜΕπ και το μέσο σφάλμα στα 3,67 μέτρα ωθεί την ανάλυση να γίνει σε επίπεδο οικοδομικού τετραγώνου και όχι κτιρίου.

Δημιουργία Ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας



Εικόνα 4.14 Ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας με την μέθοδο InSAR – Ιδία επεξεργασία

Το ΨΜΕπ που παράχθηκε με την μέθοδο που αναλύθηκε παραπάνω είναι ένα προϊόν σχετικής ακριβείας. Αν η διακριτική ικανότητα του δορυφόρου ήταν υψηλότερη καθώς και το πλήθος των λήψεων ήταν μεγαλύτερο θα μπορούσε να εξαχθεί ένα ΨΜΕπ μεγαλύτερης ακρίβειας ακόμα και του ± 1 μέτρο. Μέγεθος ικανό για να γίνει ανάλυση σε μικρότερη κλίμακα. Το συγκεκριμένο προϊόν έχει ένα σφάλμα μεταξύ περίπου ± 4 μέτρα. Καθώς και η αποδεκτή συνοχή του 0.5 δεν είναι στην καλύτερη δυνατή έκταση.



Εικόνα 4.15 Με κόκκινο απεικονίζονται τα εικονοστοιχεία άνω του 0.5 συνοχής - – Ιδία επεξεργασία

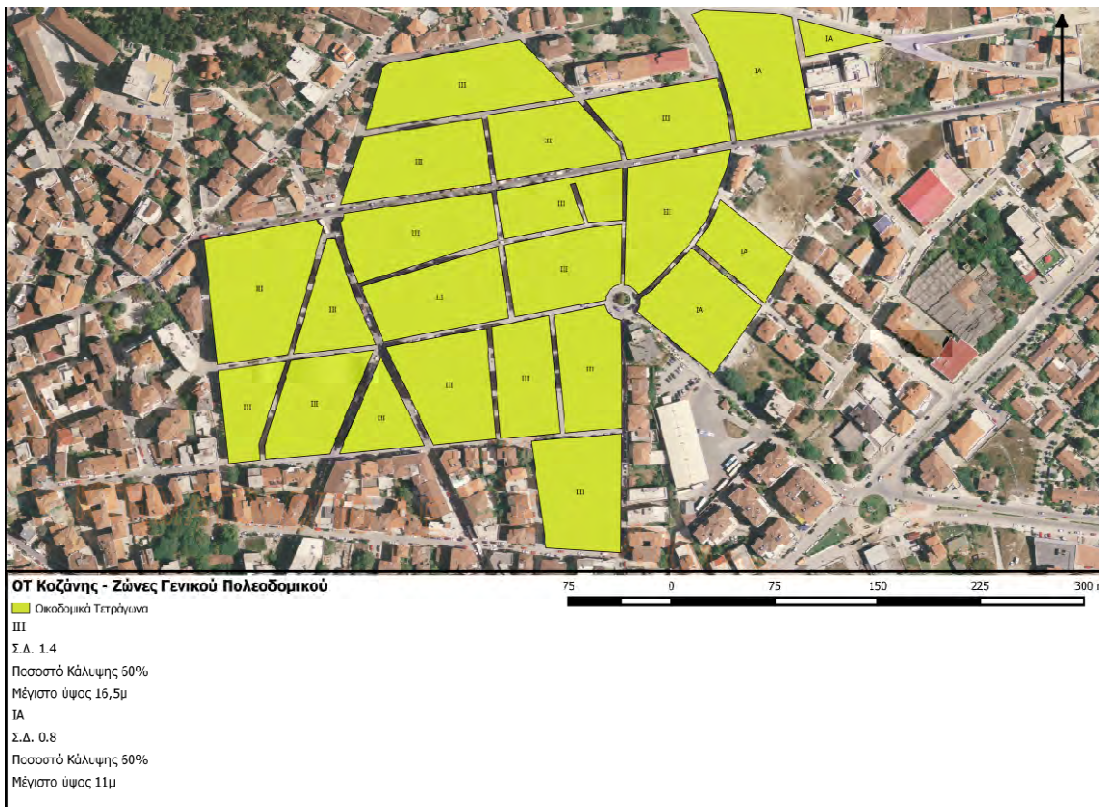
Η ανάλυση θα γίνει σε επίπεδο οικοδομικού τετραγώνου. Για αυτό και πρέπει να ψηφιοποιηθεί μια περιοχή εντός αστικού δικτύου καθώς και με υψηλή περιεκτικότητα εικονοστοιχείων υψηλής συνοχής.



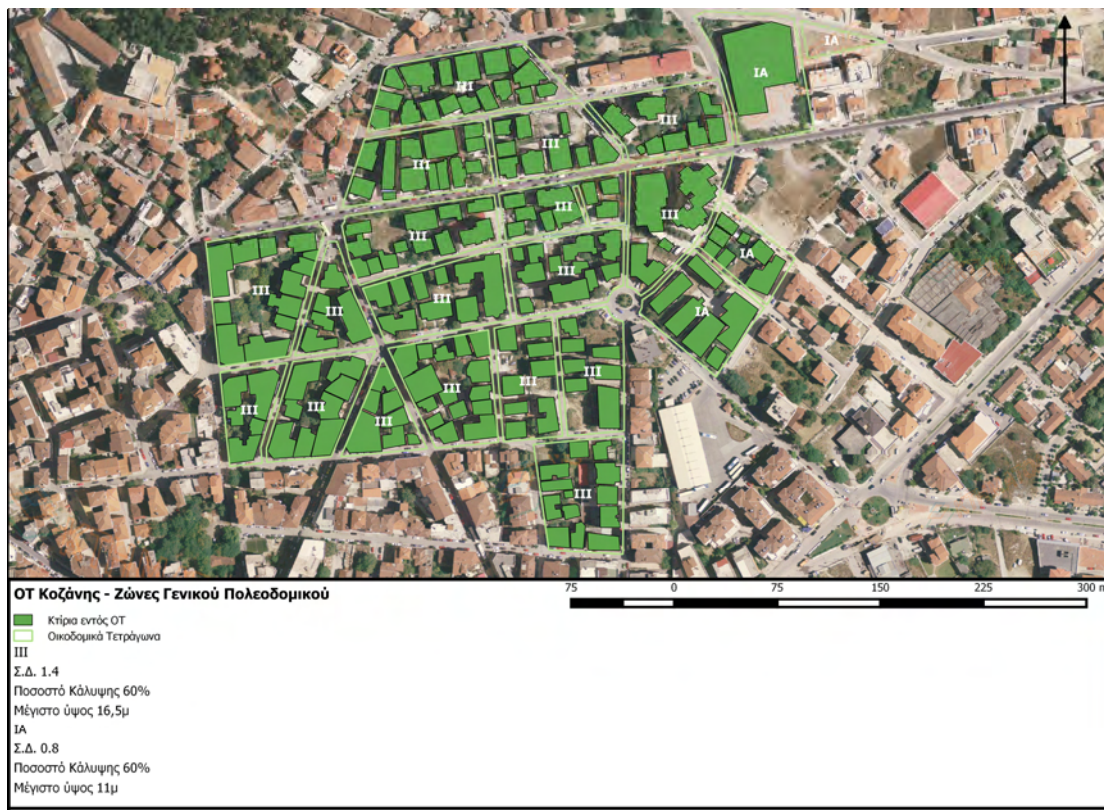
Εικόνα 4.16 Απεικόνιση της περιοχής μελέτης σε συνδυασμό με το παραγόμενο ΨΜΕπ - – Ιδία επεξεργασία

4.4 Εφαρμογή πολεοδομικών κανόνων στο χώρο

Οι πολεοδομικοί παράμετροι που θα απασχολήσουν την παρούσα εργασία είναι το ποσοστό κάλυψης(Π.Κ), ο συντελεστής δόμησης(ΣΔ) και το μέγιστο ύψος κτιρίου. Δεδομένου ότι η ανάλυση γίνεται σε επίπεδο οικοδομικού τετραγώνου(ΟΤ) , υπολογίζεται το μέσο ύψος των κτιρίων σε κάθε ΟΤ. Για να υπολογισθεί ο ΜΟ όσο πιο ακριβής γίνεται ,εκτός της ψηφιοποίησης των ΟΤ, ψηφιοποίηση και των κτιρίων ώστε να χρησιμοποιηθεί ως μάσκα και να αποφευχθούν υψομετρικές τιμές του εδάφους που θα επηρέαζαν αρνητικά το ΜΟ.



Χάρτης 4-2 Περιοχή μελέτης - Οικοδομικά τετράγωνα - Πολεοδομικοί κανόνες βάσει ΓΠΣ - – Ιδία επεξεργασία



Χάρτης 4-3 Ψηφιοποιημένα κτίρια στην περιοχή μελέτης -- Ιδία επεξεργασία

- **Κάλυψη επί Ο.Τ**

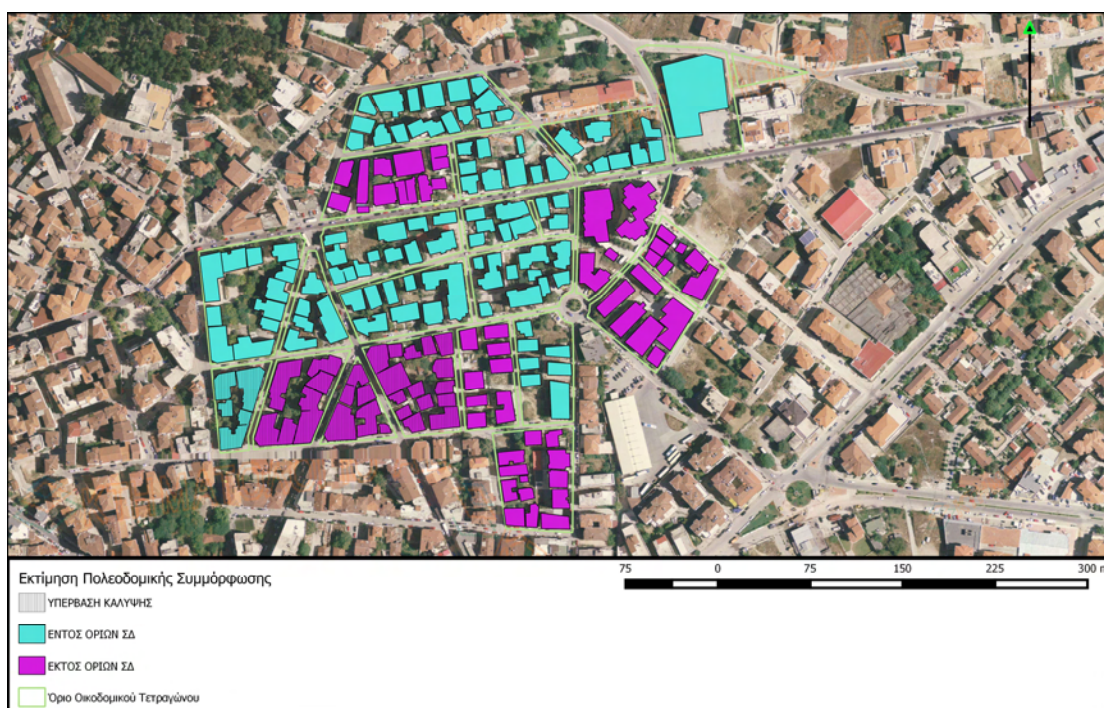
Το σύνολο του εμβαδού των κτιρίων εντός του οικοδομικού τετραγώνου είναι η κάλυψη. Το ποσοστό κάλυψης είναι το εμβαδό των κτιρίων προς το εμβαδό του ΟΤ. Σε κτιριακή ανάλυση είναι το εμβαδό του κτιρίου προς το σύνολο της έκτασης του οικοπέδου.

- **Σύνολο δομημένων τετραγωνικών.**

Όπως έχει αναφερθεί το σύνολο των τετραγωνικών που μπορούν να δομηθούν προκύπτει από τον Σ.Δ και το σύνολο του οικοπέδου. Στην παρούσα εργασία το οικοπέδο είναι όλο το οικοδομικό τετράγωνο. Αλλά για να υπολογισθεί το σύνολο των δομημένων με ακρίβεια είναι μια περίπλοκη συνθήκη. Για να υπάρχει η απόλυτη ακρίβεια χρειάζονται οι οικοδομικές άδειες όλων των κτιρίων καθώς και όλες οι παραβάσεις. Παραβάσεις οι οποίες

σε πολλές περιπτώσεις δεν θα έχουν καταγραφθεί. Επομένως ο υπολογισμός γίνεται μόνο εμπειρικά. Στην προκειμένη περίπτωση θα γίνει μια εκτίμηση των δομημένων τετραγωνικών. Πιο συγκεκριμένα θα πολλαπλασιαστούν οι όροφοι με τετραγωνικά της κάλυψης. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει ύψος από κάθε κτίριο αλλά ο μέσος όρος των υψομετρικών τιμών του τετραγώνου γίνεται η διαίρεση αυτής της τιμής με το ύψος μέσου ορόφου όπου είναι τα 3.1 μ.

4.5 Ανάλυση δεδομένων



Χάρτης 4-4 Εκτίμηση Πολεοδομικής Συμμόρφωσης – Ιδία επεξεργασία

Σε αυτόν τον χάρτη εμφανίζεται η εκτίμηση της πολεοδομικής συμμόρφωσης στα επιλεγμένα οικοδομικά τετράγωνα της Κοζάνης. Για την κάλυψη υπολογίστηκε το εμβαδό των οικοδομικών τετραγώνων και το σύνολο των εμβαδών των κτιρίων που βρίσκονται εντός Ο.Τ. Για τα δομημένα τετραγωνικά χρησιμοποιήθηκε το ΨΜΕπ που παράχθηκε σύμφωνα με την ανάλυση παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα από το ΨΜΕπ αφαιρέθηκε το ΨΜΕ που αποκτήθηκε από την ΓΥΣ. Έχοντας πλέον μόνο τα υψόμετρα από την επιφάνεια της γης και πάνω και όχι από την επιφάνεια της θάλασσας, δύναται να εντοπισθούν τα ύψη των

κτιρίων. Σε επίπεδο Ο.Τ υπολογίζεται ο Μ.Ο των υψομέτρων που δίνει η «μάσκα» των κτιρίων επάνω στα Ο.Τ. Με αυτόν τον τρόπο περιορίζεται το σφάλμα δεδομένου ότι αποφεύγονται τα μηδενικά σημεία. Επίσης τα δεδομένα φιλτράρονται με μια επιπλέον μάσκα, αυτή της συνοχής. Κάθε Ο.Τ περιέχει μια γραμμή στον πίνακα δεδομένων που αποτελείται από το μέσο ύψος(ΜΟ) , το εμβαδό των κτιρίων (Εκ), Εμβαδό Ο.Τ(Εοτ). Ο υπολογισμός των δομημένων(Δμ) δόθηκε από την παρακάτω συνάρτηση

- $\Delta\mu=(\text{ΜΟ}/3,2)*\text{Εκ}$

Για την δημιουργία του παραπάνω χάρτη λήφθηκαν υπόψη τα στοιχεία του χάρτη 4-3. Η υπέρβαση κάλυψης υπάρχει εκεί όπου τα κτίρια καλύπτουν πάνω από το 60% του οικοδομικού τετραγώνου ενώ για τον υπολογισμό της υπέρβασης των επιτρεπόμενων τετραγωνικών υπολογίσθηκε αν τα δομημένα τετραγωνικά είναι πάνω από το 140%(III) και 80%(IA) σε σχέση με το μέγεθος των εκάστων οικοδομικών τετραγώνων.



Χάρτης 4-5 Ποσοστό υπέρβασης κάλυψης – Ιδία επεξεργασία

Στον χάρτη 4-4 παρατηρείται ότι σε κάποια Ο.Τ υπάρχει υπόλοιπο κάλυψης ενώ σε κάποια άλλα υπάρχει υπέρβαση επομένως και παράβαση. Με ανοιχτό πράσινο είναι αυτά όπου

υπάρχει ελεύθερος χώρος ενώ με κόκκινο είναι αυτά που έχουν καλύψει περισσότερα τετραγωνικά από αυτά που του επιτρέπει ο υφιστάμενος κανονισμός του Δήμου Κοζάνης. Να σημειωθεί ότι ο ελεύθερος χώρος δεν σημαίνει ότι μπορούν να δομηθούν επιπλέον τετραγωνικά δεδομένου ότι παρά τον ελεύθερο χώρο να έχουν δομηθεί όλα τα επιτρεπόμενα. Στον χάρτη 5 έχει αναλυθεί η διαφορά επιτρεπόμενων με τα εκτιμηθέντα υφιστάμενα τετραγωνικά. Παρατηρείτε καταρχάς ότι στα Ο.Τ όπου υπάρχει υπέρβαση κάλυψης υπάρχει και υπέρβαση δόμησης. Ενώ επίσης παρατηρείτε σε μια σύγκριση των δύο χαρτών ότι ακόμα και εκεί όπου η κάλυψη συμπίπτει με την επιτρεπόμενη, μπορεί να υπάρχει υπέρβαση δόμησης.



Χάρτης 4-6 Υπέρβαση Δόμησης – Ιδία επεξεργασία

5 Κεφάλαιο – Συμπεράσματα

Η έρευνα ξεκίνησε με σκοπό την παραγωγή ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους με τις λιγότερο δυνατόν αποκλίσεις με την πραγματικότητα. Μια αστική περιοχή μπορεί να

παρουσιάζει πληθώρα παραμορφώσεις όπως αυτές αναλύθηκαν στην θεωρία. Το Φαινόμενο της σκίασης είναι το πιο συχνό και αυτό λόγω των κτιρίων σε συνδυασμό με την πλευρική απεικόνιση των SAR. Η χρήση ενός ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας στην ανάλυση δεδομένων δίνει την δυνατότητα στον μελετητή να διαχειριστεί περισσότερες πληροφορίες. Τέτοιου είδους ψηφιακών δεδομένων δεν υπάρχουν για όλη την επικράτεια και συνήθως η παραγωγή τους γίνεται με ακριβιά μέσα όπως είναι το LIDAR ή με την χρήση γεωδαιτικού εξοπλισμού, μια μέθοδος χρονοβόρα και εξίσου ακριβή, δεδομένου ότι θα χρειαστούν πολλές εργατοώρες. Ακόμα και με δεδομένα υψηλού θορύβου και χαμηλής ανάλυσης όπως είναι το ΨΜΕ που χρησιμοποιήθηκε για την αφαίρεση των υψομέτρων από την επιφάνεια του εδάφους έως την επιφάνεια της θάλασσας, έδωσε στην ανάλυση μια πληροφορία ιδιαίτερα χρήσιμη. Να σημειωθεί δε ότι τα αποτελέσματα της ανάλυσης των πολεοδομικών παραμέτρων είναι εκτίμηση και όχι απόλυτα ακριβή. Επίσης για τα ύψη των κτιρίων λήφθηκε υπόψη ο μέσος όρος και επομένως δεν μπορεί να εντοπιστεί παράβαση σε αυτή την παράμετρο. Ο TerraSAR-X δεν είναι ανοιχτή πηγή δεδομένων, ακόμα και για την καταγραφή μιας περιοχής από τον δορυφόρο χρειάζεται αίτημα στην εταιρεία κατοχής, του δορυφόρου. Στις ελεύθερες πηγές δεδομένων, τα δεδομένα δεν είναι ακόμα ικανά για την παραγωγή ΨΜΕ στο αστικό περιβάλλον. Η διακριτική ικανότητα του ευρωπαϊκού Sentinel-1 είναι απαγορευτική για την χρήση του σε αστικό περιβάλλον. Παρόλα αυτά το τελικό ΨΜΕ θεωρείται αξιόπιστο για την ανάλυση των πολεοδομικών παραμέτρων σε επίπεδο οικοδομικού τετραγώνου και όχι γεωτεμαχίου. Σε μεγαλύτερη κλίμακα θα ήταν δυνατόν οι παραβάσεις υπέρβασης κάλυψης και δόμησης να αποδοθούν ανά ιδιοκτησία. Γεγονός που θα μεγιστοποιούσε την αξία των αποτελεσμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Μπενέκος, Γ. (2012). Διαφορική συμβολομετρία ραντάρ για την ανίχνευση της εδαφικής παραμόρφωσης στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης Τριχωνίδας για την περίοδο (2003-2010). Αθήνα: Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Μεταπτυχιακή Διατριβή.

Δεληκαράογλου Δ., (2005) Ειδικά Θέματα Δορυφορικής Γεωδαισίας

Περάκης Κ., Φαρασλής Ι., Μωυσιάδης, Α, (2015) Η Τηλεπισκόπηση σε 13 Ενότητες

Αραβαντινός Α. (2007) Πολεοδομικός σχεδιασμός – Για μια βιώσιμη ανάπτυξη του αστικού χώρου, Εκδόσεις ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Λέτσιος Β., (2017) Δεδομένα Ραντάρ: ανάλυση επιφανειακών εδαφικών παραμορφώσεων μέσω συμβολομετρίας στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης Κάρλας

Μπικουβαράκη Μ., (2011) Συμβολομετρία RADAR στην παρακολούθηση υψομετρικών παραμορφώσεων του εδάφους

Μπουρεξή Φ., (2012) Φωτογραμμετρική Επεξεργασία και Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Απεικονίσεων TerraSar-X

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

V.Letsios, I.Faraslis, D.Stathakis, (2019) InSAR DSM using Sentinel 1 and spatial data creation, AGILE, 17-20 June, Limassol, Cyprus.

V.Letsios, I.Faraslis, D.Stathakis, (2018) Athens DSM using Sentinel-1 data and SNAP (ESA) software. International Conference Geommaplica, Syros-Mykonos, 25-29 June 2018.

V.Letsios, I.Faraslis, D.Stathakis,(2018) Mapping Athens urban footprint using Sentinel-1 radar data. 38th EARSeL Symposium, 9-12 July 2018, Chania, Crete, Greece.

Schwabisch M., A Fast and Efficient Technique for SAR Interferogram Geocoding

Doerry A., Dickey F.,(2004) Synthetic Aperture Radar

Lillesand T., Kiefer R., Chipman J., (2015)Remote Sensing and Image Interpretation, seventh edition, Wiley

Rocca F., Prati C., Ferretti A.(2014) An Overview of SAR Interferometry, ESA Publications

Massonnet, D. and Souyris, J-C. (2008) Imaging with Synthetic Aperture Radar, EPFL Press

Hariharan, P., (2007)- Basics of interferometry, Elsevier Academic Press

Wen-Qin Wang, (2013), Multi-antenna synthetic aperture radar, CRC Press

Balz, T., Soergel, U., Crespi, M., and Osmanoglou, B., Advances in SAR: Sensors, Methodologies and Applications, Remote sensing

S. Moretto, M. Paolo, T. Lefort , K. Partington, F. Bozzano , The InSAR Feasibility Tool

Y. Minkyoo, Y. Hongsic, K. Kwangbae, K. Hanbual, L. Woneung, A Study on Optimal D-InSAR Filtering Technique According to Landform Relief

Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., Rocca, F.,-(2007), InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation, ESA Publications

Z. Lu, O. Kwoun, R. Rykjus,Interferometric Synthetic Aperture Radar(InSAR):Its Past, Present and Future

N. Liosis, R.R. Marpu, K. Pavlopoulos, T. B.M.J. Ouarda, Ground subsidence monitoring with SAR interferometry techniques in the rural area of AL Wagan, UAE

O. Monserrat, M. Crosetto, G. Luzi, A review of ground-based SAR interferometry for deformation measurement

Girard M., Girard C.,(2003)Processing of Remote Sensing Data, A.A. Balkema, a member of Swets & Zeitlinger Publishers

Krieger G., Gebert N., Younis M., Borboni F., Patyuchenko A., Moreira A.,(2008) Advanced Concepts for Ultra-Wide-Swath SAR Imaging

D.Uys, (2016), InSAR: an Introduction, Macquarie University

M.Schwäbisch, (1995), Die SAR-Interferometrie zur Erzeugung digitaler Geländemodelle. Forschungsbericht 95-25, Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt, Oberpfaffenhofen.

D. Small, (1998) Generation of Digital elevation models through spaceborn SAR Interferometry

Small D., Schubert A.,(2008) Guide to ASAR Geocoding, RSL-ASAR-GC-AD, Issue 1.0

Strozzi T., et al, Satellite SAR interferometry for the improved assessment of the state of activity of landslides: A case study from the Cordilleras of Peru

Abdelfattah R., InSAR phase analysis: Phase unwrapping for noisy SAR interferograms

Thiele A., Hinz S., Cadario E., Compining GIS and INSAR data for 3D Building Reconstruction

Abdul-Rahman A., Pilouk M.,(2007) Spatial Data Modelling for 3D GIS, Springer

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

<http://step.esa.int/> - E-ESA

<https://www.pcigeomatrics.com/> - PCI GEOMATICS

<https://gisgeography.com/> - GISGEOGRAPHY

<https://www.radartutorial.eu/>

<https://www.ktimatologio.gr/> - Ελληνικό Κτηματολόγιο

<https://www.intelligence-airbusds.com/>

<https://www.crisp.nus.edu.sg/> - CRISP Center for remote imaging, sensing and processing

Λογισμικά

ESA SNAP 6.0.10

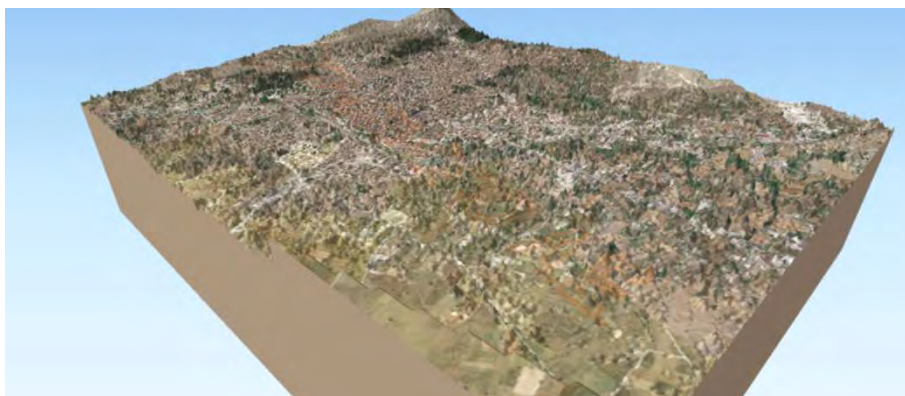
QGIS 2.8.9 Wien

SNAPHU

Γεωδαιτικός-τοπογραφικός εξοπλισμός

GPS/GNSS South S720

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Εικόνα 0.1 Τρισδιάστατη απεικόνιση του Ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας σε συνδυασμό οπτικό υπόβαθρο από το κτηματολόγιο -1-Ιδία επεξεργασία



Εικόνα 0.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση του Ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας σε συνδυασμό οπτικό υπόβαθρο από το κτηματολόγιο -2-Ιδία επεξεργασία



Εικόνα 0.3 Τρισδιάστατη απεικόνιση του Ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας σε συνδυασμό οπτικό υπόβαθρο από το κτηματολόγιο -3-Ιδία επεξεργασία



ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ
ΜΕΛΕΤΩΝ ΚΟΖΑΝΗΣ

Υ Π Ο Μ Ν Η Μ Α
Ο Ρ Ο Ι Δ Ο Μ Η Σ Η Σ

| ΠΑΛΙΟ ΣΧΕΔΙΟ | ΖΩΝΕΣ | ΚΑΝΟΝΑΣ | | | | ΠΑΡΕΚΛΙΣΗ | | ΧΡΩΜΑ | ΤΟΜΕΑΣ | Σ. Δ. | ΚΑΛΥΨΗ | ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΣ | ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΥΨΟΣ | | |
|-----------------|-------|--------------------------|---------|-------------------------|---------------------------|-----------|------|-------|--------|-------------|--------|-----------------|-------------------------|---------|---------|
| | | Προμετρήσιμα της 18-2-86 | | Προμετρήσιμα της 7-7-62 | | ΑΙΙΙ | ΒΙΙΙ | | | | | | ΓΙΙΙ | | |
| | | ΕΜΒΑΔΟΝ | ΠΡΟΣΩΠΟ | ΕΜΒΑΔΟΝ | ΠΡΟΣΩΠΟ | | | | | | | | | ΕΜΒΑΔΟΝ | ΠΡΟΣΩΠΟ |
| Α Β | 200 | 10 | 110 | 7 | 70 | 5 | I | 3,00 | 22,50 | κατα Γ.Ο.Κ. | 19,50 | 13 | 13 | 13 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | 200 |
| Γ Δ Ζ | 200 | 10 | 150 | 8 | 110 | 7 | III | 1,40 | 10,50 | 8 | 8 | 8 | 8 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | Ε ΣΤ | 400 |
| ΣΤ' | 200 | 10 | — | — | Προμετρήσιμα της 19-11-77 | | — | — | — | — | — | — | — | | |
| | | | | | Η | 500 | | | | | | | | 20 | — |

Περιοχή με ειδικούς όρους δόμησης ΕΟ1

| ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΑ | ΤΟΜΕΑΣ | ΚΑΝΟΝΑΣ | | ΠΑΡΕΚΛΙΣΗ | | ΧΡΩΜΑ | ΤΟΜΕΑΣ | Σ. Δ. | ΚΑΛΥΨΗ | ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΣ |
|------------|------------------|---------|---------|-----------|---------|-------|--------|-------|--------|-----------------|
| | | ΕΜΒΑΔΟΝ | ΠΡΟΣΩΠΟ | ΕΜΒΑΔΟΝ | ΠΡΟΣΩΠΟ | | | | | |
| | | 200 | 10 | 110 | 7 | — | — | 1,4 | 70% | 12,00 |
| | ΙΒ ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΑ | 500 | 18 | — | — | — | — | 1,4 | 50% | 12,00 |
| | ΙΔ ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΑ | 120 | 9 | — | — | — | — | 1,4 | 60% | 12,00 |

| | ΧΡΩΜΑ | ΤΟΜΕΑΣ | ΚΑΝΟΝΑΣ | | ΠΑΡΕΚΛΙΣΗ | | Σ. Δ. | ΚΑΛΥΨΗ | ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΣ | | | |
|---|------------------|------------------|---------------------|---------|-----------|---------|-------|--------|-----------------|---------|---------|-------|
| | | | ΕΜΒΑΔΟΝ | ΠΡΟΣΩΠΟ | ΕΜΒΑΔΟΝ | ΠΡΟΣΩΠΟ | | | | ΕΜΒΑΔΟΝ | ΠΡΟΣΩΠΟ | |
| ΠΛΑΤΑΝΙΑ ΑΓΙΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΞΕΝΙΑ ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚ'ΡΚΑ | — | A | 200 | 12 | 150 | 8 | 0,8 | 50% | 12,00 | | | |
| | | B | 500 | 20 | 250 | 14 | | | | | | |
| | | A | 250 | 13 | 120 | 9 | | | | | | |
| | | B | 500 | 18 | 200 | 12 | | | | | | |
| | | IVΓ | 250 | 12 | 150 | 8 | | | | | | |
| ΚΟΜΒΟΣ ΠΑΝΟΡΑΜΑ Ζ.Ε.Χ. | — | ΙΑ | 250 | 12 | 140 | 8 | 120 | 8 | 0,8 | 60% | 11,00 | |
| | | ΙΒ | 500 | 20 | 200 | 8 | 120 | 8 | | | | |
| | | ΙΓ | ΕΡΓΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ | | | | | | | | | |
| ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ (ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΑ - ΣΚ'ΡΚΑ - ΞΕΝΙΑ) | — | ΙΔ | 500 | 20 | 250 | 12 | 250 | 12 | 0,8 | 70% | 15,00 | |
| | | ΙΒ | 500 | 18 | — | — | — | — | 0,8 | 50% | 7,50 | |
| | | ΙΒ ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΑ | 500 | 18 | — | — | — | — | — | 1,4 | 50% | 12,00 |
| | | ΙΓ | 200 | 10 | — | — | — | — | — | 0,8 | 60% | 8,50 |
| | | ΙΔ | 120 | 9 | — | — | — | — | — | 0,8 | 60% | 8,50 |
| | ΙΔ ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΑ | 120 | 9 | — | — | — | — | — | 1,4 | 60% | 12,00 | |
| | ΙVE | 100 | 8 | — | — | — | — | — | 0,8 | 50% | 7,50 | |

Εικόνα 0.4 Υπόμνημα από τον χάρτη 0-1 Πηγή: Πολεοδομία Κοζάνης

TABLE 2. OVERVIEW OF SPACEBORNE SAR SENSORS AND THEIR MAIN CHARACTERISTICS [22].

| SENSOR | OPERATION | FREQUENCY BAND (POLARIZATION) | COMMENTS | INSTITUTION, COUNTRY |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--|---|
| Seasat | 1978 | L (HH) | First civilian SAR satellite, operation for only ca. three months | NASA/JPL, USA |
| ERS-1/2 | 1991–2000/ 1995–2011 | C (VV) | European Remote Sensing Satellites (first European SAR satellites) | ESA, Europe |
| J-ERS-1 | 1992–1998 | L (HH) | Japanese Earth Resource Satellite (first Japanese SAR satellite) | JAXA, Japan |
| SIR-C/ X-SAR | April and October 1994 | L & C (quad) X (VV) | Shuttle imaging radar mission, first demonstration of spaceborne multi-frequency SAR | NASA/JPL, USA DLR, Germany ASI, Italy |
| Radarsat-1 | 1995–today | C (HH) | First Canadian SAR satellite, swath width of up to 500 km with ScanSAR imaging mode | CSA, Canada |
| SRTM | Feb. 2000 | C (HH+VV) and X (VV) | Shuttle Radar Topography Mission, first spaceborne interferometric SAR | NASA/JPL, USA DLR, Germany ASI, Italy |
| ENVISAT/ ASAR | 2002–2012 | C (dual) | First SAR satellite with Transmit/Receive module technology, swath width up to 400 km | ESA, Europe |
| ALOS/PaISAR | 2006–2011 | L (quad) | Advanced Land Observing Satellite (Daichi), swath width up to 360 km | JAXA, Japan |
| TerraSAR-X/ TanDEM-X | 2007–today 2010–today | X (quad) | First bi-static radar in space, resolution up to 1 m, global topography available by end of 2014 | DLR/Astrium, Germany |
| Radarsat-2 | 2007–today | C (quad) | Resolution up to: 1 m × 3 m (azimuth × range), swath width up to 500 km | CSA, Canada |
| COSMO-SkyMed-1/4 | 2007 ... 2010–today | X (dual) | Constellation of four satellites, up to 1 m resolution | ASU/MiD, Italy |
| RISAT-1 | 2012–today | C (quad) | Follow-on satellite (RISAT-1a) to be launched in 2016, RISAT-3 (L-band) in development | ISRO, India |
| HJ-1C | 2012–today | S (VV) | Constellation of four satellites, first satellite launched in 2012 | CRESDA/CAST/ NRSCC, China |
| Kompsat-5 | Launch scheduled in 2013 | X (dual) | Korea Multi-Purpose Satellite 5, resolution up to 1 m | KARI, Korea |
| PAZ | Launch scheduled in 2013 | X (quad) | Constellation with TerraSAR-X and TanDEM-X planned | CDTI, Spain |
| ALOS-2 | Launch scheduled in 2013 | L (quad) | Resolution up to: 1 m × 3 m (azimuth × range), swath width up to 490 km | JAXA, Japan |
| Sentinel-1a/1b | Launch scheduled in 2013/2015 | C (dual) | Constellation of two satellites, swath width up to 400 km | ESA, Europe |
| Radarsat Constellation-1/2/3 | Launch scheduled in 2017 | C (quad) | Constellation of three satellites, swath width up to 500 km | CSA, Canada |
| SAOCOM-1/2 | Launch scheduled in 2014/2015 | L (quad) | Constellation of two satellites, fully polarimetric | CONAE, Argentina |

Πίνακας 0.1 Δορυφόροι SAR - Πηγή: IEEE Geoscience and remote sensing magazine