ΧΑΡΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
Τμήμα Γεωγραφίας

Χαρτογράφηση του δικτύου μεταφορών για τη νήσο Πάρο με την αξιοποίηση των τεχνολογιών Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) και Συστήματος Παγκοσμίου Εντοπισμού Θέσης (GPS).

Πτυχιακή εργασία της φοιτήτριας:
Ελένη Μπομπότη

Αθήνα, Φεβρουάριος 2008

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
Τμήμα Γεωγραφίας

Χαρτογράφηση του δικτύου μεταφορών για τη νήσο Πάρο με την αξιοποίηση των τεχνολογιών Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) και Συστήματος Παγκοσμίου Εντοπισμού Θέσης (GPS).

Πτυχιακή εργασία της φοιτήτριας:
Ελένη Μπομπότη

Επιβλέπων καθηγητής:
Χρίστος Χαλκιάς

Αθήνα, Φεβρουάριος 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ 1
Περίληψη 7
Abstract 9
Εισαγωγή 11
1. Το Σύστημα Παγκόσμιου Εντοπισμού Θέσης G.P.S. 13
1.1 Λίγα λόγια για το σύστημα G.P.S. 13
1.2 Τα μέρη του συστήματος G.P.S. 14
1.3 Πώς λειτουργεί το G.P.S; 15
1.4 Τύποι σφαλμάτων του συστήματος 20
1.4.1 Σφάλμα θέσης δορυφόρου 21
1.4.2 Σφάλμα των χρονομέτρων του δορυφόρου 21
1.4.3 Σφάλμα λόγω της ατμόσφαιρας 21
1.4.4 Σφάλμα του δέκτη 22
1.4.5 Διάχυση του σήματος 22
1.4.6 Κατανομή των δορυφόρων 23
1.5 Εξοπλισμός 24
1.5.1 Δέκτης G.P.S. 24
1.5.2 Λογισμικό 24
1.5.3 Υλικό 25
1.5.4 Χάρτες αναφοράς 25
1.6 Διαμόρφωση του δέκτη 25
1.6.1 Σύστημα συντεταγμένων 26
1.6.2 Datum 26
1.6.3 Μονάδες μέτρησης 26
1.6.4 Ημερομηνία και ώρα 27
1.7 Προβολικά συστήματα και datum 27
1.7.1 Γεωδαιτικά datum 27
1.7.2 Συστήματα συντεταγμένων 30
1.7.3 Χαρτογραφικές Προβολές 31

1.8 Συλλογή Στοιχείων 33
1.8.1 Επιλογή μεθόδου διόρθωσης σφαλμάτων 33
1.8.2 Πρωτόκολλα συλλογής δεδομένων 34
1.8.3 Ποιότητα δεδομένων 35
1.8.4 Χωρικά δεδομένα 36
1.9 Το σύστημα G.P.S. στο μέλλον 37
1.10 Το ευρωπαϊκό σύστημα εντοπισμού θέσης Galileo 37
2. Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών 40
2.1 Ιστορική εξέλιξη 41
2.1.1 Τα πρώτα βήματα 41
2.1.2 Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών σήμερα 43
2.2 Βασικές έννοιες 44
2.2.1 Ποιες είναι οι βασικές έννοιες των ΣΓΠ; 44
2.2.2 Τί είναι τα ΣΓΠ; 45
2.2.3 Τα συστατικά μέρη των ΣΓΠ 47
2.3 Από την πραγματικότητα στα ΣΓΠ 50
2.3.1 Σημειακές οντότητες 50
2.3.2 Γραμμικές οντότητες 50
2.3.3 Πολυγωνικές οντότητες 51
2.3.4 Θεματικά επίπεδα 52
2.4 Εισαγωγή δεδομένων 53
2.4.1 Ψηφιοποίηση 53
2.4.2 Δεδομένα από GPS 54
2.4.3 Δορυφορικές εικόνες 55
2.5 Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους 56
2.5.1 Ψηφιδωτά μοντέλα 57
2.5.2 Διανυσματικά μοντέλα 58
2.5.3 Πηγές δεδομένων για τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους 61
2.6 Έξοδος – Παρουσίαση 61
2.6.1 Κλασσική χαρτογραφική απόδοση 62
2.6.2 Μη χαρτογραφικές αποδόσεις 63

2.7 Ποιότητα δεδομένων 63
2.7.1 Ορθότητα 64
2.7.2 Ακρίβεια 64
2.7.3 Διακριτική ικανότητα 65
2.7.4 Κλίμακα 66
2.8 Εφαρμογές ΣΓΠ 67
2.8.1 Γεωλογία 67
2.8.2 Αρχαιολογία 68
2.8.3 Πλοήγηση 68
2.9 Τα ΣΓΠ στο μέλλον 69
2.9.1 Υλικό 69
2.9.2 Λογισμικό 70
2.9.2 Δεδομένα 70
3. Μελέτη περίπτωσης: χαρτογράφηση και ανάλυση του οδικού δικτύου της Πάρου 72
3.1 Ιστορικά στοιχεία 72
3.2 Φυσικά χαρακτηριστικά 73
3.3 Γεωλογικά Χαρακτηριστικά 78
3.4 Χρήσεις Γης 80
3.5 Δημογραφικά Χαρακτηριστικά 81
3.6 Η καταγραφή του οδικού δικτύου 85
3.6.1 Συλλογή δεδομένων 85
3.6.2 Αναπαράσταση δεδομένων 89
3.7 Ανάλυση οδικού δικτύου 93
3.7.1 Συνδετικότητα 93
3.7.2 Προσιτότητα 95
3.7.3 Αξιολογημένο δίκτυο 101
3.8 Αξιολόγηση οδικού δικτύου με την αξιοποίηση αναλυτικών λειτουργιών ΣΓΠ 105
3.8.1 Κλίση εδάφους 105
3.8.2 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία 110
3.8.3 Υπολογισμός χρονοαποστάσεων πρόσβασης 112

3.9 Συμπεράσματα 121
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 122
ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ 124

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Τα τμήματα του GPS 14
Εικόνα 1.2: Το σύμπλεγμα GPS 15
Εικόνα 1.3: Εντοπισμός θέσης δέκτη 17
Εικόνα 1.4: Συμβολή δύο δορυφόρων στον εντοπισμό θέσης 18
Εικόνα 1.5: Απόκλιση τιμών χρόνου λόγω μικρότερης ακρίβειας του ρολογιού του δέκτη 19
Εικόνα 1.6: Λόγω του χρονικού σφάλματος του δέκτη ούτε τρεις δορυφόροι μπορούν να μας δώσουν την ακριβή θέση 20
Εικόνα 1.7: Εσφαλμένες μετρήσεις μπορεί να προκύψουν λόγω διάχυσης του σήματος 22
Εικόνα 1.8: Η πιθανή περιοχή τοποθέτησης του δέκτη είναι ανάλογη με την κατανομή των δορυφόρων 23
Εικόνα 1.9: Καλή και κακή κατανομή δορυφόρων 23
Εικόνα 1.10: Το ελλειψοειδές, το γεωειδές και η σφαίρα απεικόνισης της γης 28
Εικόνα 1.11: Γήινο datum 29
Εικόνα 1.12: Τοπικό datum 29
Εικόνα 1.13: Το πλέγμα μεσημβρινών και παραλλήλων της γης 31
Εικόνα 1.14: Η αζιμουθιακή, η κωνική και η κυλινδρική προβολή 32
Εικόνα 1.15: Γραμμικές, σημειακές και πολυγωνικές απεικονίσεις οντοτήτων 36
Εικόνα 1.16: Ο δορυφόρος GIOVE A του συστήματος Galileo 38
Εικόνα 2.1: Χάρτης της αμερικανικής ηπείρου του 1500 42
Εικόνα 2.2: Τα συστατικά μέρη ενός ΣΓΠ 48
Εικόνα 2.3: Πολυγωνικές, γραμμικές και σημειακές οντότητες σε μία γειτονιά 51
Εικόνα 2.4: Θεματικά επίπεδα ανάλυσης μίας περιοχής 52
Εικόνα 2.5: Ψηφιοποιητής 53

Εικόνα 2.6: Εισαγωγή δεδομένων σε ένα ΣΓΠ με τη χρήση GPS. 54
Εικόνα 2.7: Η δορυφορική εικόνα ως πηγή δεδομένων 55
Εικόνα 2.8 Δεδομένα μορφής raster.....57
Εικόνα 2.9: Η συνθήκη Delaunay.....59
Εικόνα 2.10: Το μοντέλο ακανόνιστων τριγώνων (TIN) 59
Εικόνα 2.11: Μορφές εξαγωγής δεδομένων σε ένα ΣΓΠ.....62
Εικόνα 2.12: Ακρίβεια και προσιτότητα 65
Εικόνα 2.13: Επίπεδα διακριτικής ικανότητας.....66
Εικόνα 2.14: Η περιοχή Gorham σε τρεις κλίμακες 67
Εικόνα 2.15: Σύστημα πλοήγησης της ESRI.....69

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης Αναγλύφου, 74
Χάρτης Κλισεων, 76
Χάρτης Προσανατολισμών, 77
Χρήσεις Γης, 80
Οι εξεταζόμενοι οικισμοί της Πάρου, 83
Καταγραφή του οδικού δικτύουμε τη χρήση GPS, 86
Το οδικό δίκτυο ως γραμμική οντότητα, 88
Ισοϋψείς Καμπύλες, 90
Περιοχές με κλίση άνω των 15 μοιρών, 106
Επικίνδυνα τμήματα του οδικού δικτύου λόγω μεγάλων κλίσεων, 107
Επικίνδυνα τμήματα του οδικού δικτύου λόγω άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, 111
Χάρτης Χρονοαποστάσεων, 113
Απαιτούμενος χρόνος μετάβασης στο ιατρικό κέντρο, 114
Η συντομότερη διαδρομή από το Δρυό στο ιατρικό κέντρο, 116
Η συντομότερη διαδρομή από τις Καμάρες στο ιατρικό κέντρο, 117
Η συντομότερη διαδρομή από ένα τυχαίο σημείο στο ιατρικό κέντρο (1), 119
Η συντομότερη διαδρομή από ένα τυχαίο σημείο στο ιατρικό κέντρο (2), 119

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε προσπάθεια καταγραφής και επεξεργασίας του οδικού δικτύου της Πάρου με τη χρήση GPS και GIS. Το περιεχόμενο της εργασίας αφορά στην παρουσίαση των δύο τεχνολογιών καθώς και στο συνδυασμό τους για την ανάλυση του οδικού δικτύου της περιοχής μελέτης.

Η ανάπτυξη της εργασίας γίνεται σε τρία κεφάλαια. Αρχικά παρουσιάζεται η φύση και ο τρόπος λειτουργίας του Συστήματος Παγκοσμίου Εντοπισμού Θέσης (GPS). Επίσης, γίνονται αναφορές σε ορισμένες παραμέτρους οι οποίες είναι απαραίτητες για τη σωστή χρήση του συστήματος. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, τις βασικές έννοιες αυτών καθώς και στις μεθόδους εισαγωγής, επεξεργασίας και αναπαράστασης γεωγραφικών δεδομένων. Στη συνέχεια, το τρίτο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας αφορά σε μία μελέτη περίπτωσης στην οποία παρουσιάζεται ο συνδυασμός των τεχνολογιών GPS και GIS για την καταγραφή και αναπαράσταση του οδικού δικτύου της νήσου Πάρου. Σε αυτό το κεφάλαιο, εκτός από τη χαρτογράφηση του οδικού δικτύου έγινε και η ανάλυσή του με την αξιοποίηση των δυνατοτήτων των GIS βάση της οποίας μπορούμε να αντλήσουμε χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με το δίκτυο. Τέλος, στο κεφάλαιο των συμπερασμάτων αναφέρεται η χρησιμότητα του GPS και των GIS στη χαρτογράφηση και ανάλυση του οδικού δικτύου.

Abstract

Mapping geographic entities is essential in managing space whether those entities are of natural substance (such as stream networks) or man-made (for example a road network).

The last decades a number of technological innovations have been developed which are widely used for collecting, processing as well as visualizing geographic data. The most common innovations of that kind are the Global Positioning System (GPS) and Geographic Information Systems (GIS). Especially in Greece it is quite hard to obtain updated maps or spatial data of isolated areas such as small islands.

In this dissertation there will be an attempt in recording, analyzing and presenting the road network of Paros Island. We will mention the nature of the above mentioned technologies as well as the way they both helped us go through this application.

In the first chapter we are going to report the basic concepts of the GPS and the way this system works. It is of great importance to be aware of the way the GPS works because that way we will be able to know the presuppositions under which this system will provide us with the most accurate and useful information. It is necessary to know the compartments which should be used when using the GPS as well as the settings that must be adjusted. Furthermore, one ought to be aware of the proper coordinate system which ought to be applied in a particular area. The reason for this is because in most applications we have to combine a various number of data coming from different types of sources such as maps, digital imagery etc. where a coordinate system has already been used.

The second chapter deals with the Geographic Information Systems (GIS). GIS happen to be the tool for recording, analyzing and representing

geographic data which have somehow been collected. For this reason we have to know as many aspects of them as possible in order to obtain a great deal of useful information. Digital Terrain Models (DTMs) are a very good example. Importing some essential data such as contour lines together with their values will provide us with the ability of creating a Digital Elevation Model which can be used to make further surface analysis. But we will not be able to manage any kind of data unless we are aware of the sources from which we can get them like the GPS or satellite imagery. Last but not least, data quality is of great importance to any application. The more accurate data we have, the best quality will we have in our final results and calculations.

On the last part of the dissertation there is a case study of Paros Island in Greece. In this chapter we will present the benefits from using both the GPS and GIS. Here we use the GPS for collecting the most accurate data possible for locating the island's road network. After transferring the data to the GIS there has been an attempt in analyzing the road network. Using various tools we managed to come up with some useful information on which we can rely in order to take crucial decisions. Through the present dissertation one can have a good grip of how the two above mentioned technological innovations can be combined for creating maps and analyzing geographical data.

Finally, there is a chapter in which some conclusions will be cited.

Εισαγωγή

Η χαρτογράφηση των γεωγραφικών οντοτήτων είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την αποτελεσματική διαχείριση του χώρου είτε πρόκειται για φυσικές οντότητες, όπως το υδρογραφικό δίκτυο μιας περιοχής, είτε για ανθρωπογενείς, όπως για παράδειγμα το οδικό δίκτυο.

Τα τελευταία σαράντα, περίπου, χρόνια έχουν αρχίσει σταδιακά να χρησιμοποιούνται το Σύστημα Παγκοσμίου Εντοπισμού Θέσης (GPS) και τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) για τη συλλογή, την επεξεργασία και την παρουσίαση/χαρτογράφηση των γεωγραφικών δεδομένων. Παρόλα αυτά, στον Ελληνικό χώρο είναι συχνά δύσκολο να βρεθούν πληροφορίες και ενημερωμένοι χάρτες για τα νησιά της Ελλάδας.

Από τον καιρό που οι μεταφορές έπαιζαν σημαντικότατο ρόλο στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων, ήταν απαραίτητη η κατασκευή δικτύων μεταφοράς. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να γίνει καταγραφή και αναπαράσταση του οδικού δικτύου της νήσου Πάρου με τη χρήση των τεχνολογιών GPS και GIS. Επίσης, θα παρουσιαστούν ορισμένες εφαρμογές ανάλυσης οι οποίες μας παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικές με το οδικό δίκτυο. Θα παρουσιάσουμε τη φύση των GIS και του GPS καθώς και το πώς αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν κατάλληλα, ώστε να μας βοηθήσουν ατην εφαρμογή μας. Η ανάπτυξη του θέματος θα γίνει σε τρείς βασικές ενότητες.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας του βασικού εργαλείου που χρησιμοποιήθηκε, του GPS. Η αλήθεια είναι ότι παρ' όλο που η χρήση του GPS είναι σχεδόν απαραίτητη για κάθε εφαρμογή στην οποία επιβάλλεται η εργασία πεδίου, αυτό δεν αρκεί. Απαραίτητο είναι να κατανοήσουμε τον τρόπο λειτουργίας του καθώς και τις βασικές αρχές που τη συνοδεύουν έτσι, ώστε να γνωρίζουμε τις προϋποθέσεις κάτω από τις οποίες το σύστημα θα έχει τη μέγιστη απόδοση. Πρέπει να γνωρίζουμε τις συσκευές οι οποίες είναι απαραίτητες για τη χρήση του συστήματος όπως και τις απαραίτητες

ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν. Σημαντικό είναι, επίσης, να γνωρίζουμε ορισμένα στοιχεία για τα συστήματα συντεταγμένων που αφορούν την εκάστοτε περιοχή μελέτης. Αυτό διότι συχνά θα πρέπει να συνδυάσουμε τα δεδομένα που καταγράφουμε με υπάρχοντα δεδομένα, συνήθως από χάρτες, στα οποία θα έχει ήδη οριστεί ένα συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Τα GIS είναι, ουσιαστικά, το μέσο το οποίο θα δώσει μορφή στα δεδομένα που συλλέγουμε. Για αυτόν ακριβώς το λόγο είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε τις δυνατότητές τους. Με την εισαγωγή δεδομένων σε ένα ΣΓΠ είμαστε σε θέση να τα επεξεργαστούμε και να αναπαραστήσουμε την πραγματικότητα. Ένα παράδειγμα είναι η απεικόνιση του γήινου αναγλύφου με τη χρήση των Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους (ΨΜΕ). Για να το πετύχουμε, όμως, αυτό θα πρέπει να γνωρίζουμε πολύ καλά τους τρόπους εισαγωγής δεδομένων σε ένα ΣΓΠ όπως είναι, για παράδειγμα, η χρήση του GPS και οι δορυφορικές εικόνες. Η ποιότητα των δεδομένων που εισάγουμε σε ένα ΣΓΠ διαδραματίζει, επίσης, πολύ σημαντικό ρόλο καθώς από αυτήν εξαρτάται και η ποιότητα των αποτελεσμάτων που θα παρουσιάσουμε.

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας παρουσιάζεται η μελέτη περίπτωσης, δηλαδή ο συνδυασμός της χρήσης των GPS και των GIS για την καταγραφή, την αναπαράσταση καθώς και την ανάλυση του οδικού δικτύου της Πάρου καθώς και ορισμένα χαρακτηριστικά του νησιού. Αναλύονται τα βήματα που ακολουθούνται από τη συλλογή δεδομένων με τη χρήση GPS, μέχρι και την επεξεργασία και παρουσίαση των αποτελεσμέτων μέσω των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Επίσης, παρουσιάζονται ορισμένες εφαρμογές σχετικές με το οδικό δίκτυο βάση των οποίων είμαστε σε θέση να πάρουμε σημαντικές αποφάσεις. Μέσω αυτής της παρουσίασης μπορεί κανείς να καταλάβει τον τρόπο χαρτογράφησης και αναπαράστασης μίας γεωγραφικής οντότητας με τη χρήση των δύο προαναφερθέντων τεχνολογιών.

Τέλος, η εργασία κλείνει με την παράθεση των τελικών συμπερασμάτων.

1. Το Σύστημα Παγκόσμιου Εντοπισμού Θέσης G.P.S.

1.1 Λίγα λόγια για το σύστημα G.P.S.

Το Σύστημα Παγκόσμιου Εντοπισμού θέσης (Global Positioning System ή αλλιώς G.P.S) αποτελεί ένα σύγχρονο σύστημα με το οποίο είναι δυνατό να εντοπισθεί ένα οποιοδήποτε σημείο στην επιφάνεια της γης με τη χρήση ενός συμπλέγματος δορυφόρων. Υπάρχουν διάφορα συστήματα εντοπισμού θέσης, τα οποία χωρίζονται στα επίγεια και τα δορυφορικά. Τα επίγεια, όπως τα συστήματα Omega, Loran, VOR/DME και ILS, λειτουργούν μόνο με χρήση επίγειων σταθμών ενώ τα δορυφορικά, όπως το Transit, το ρωσικό σύστημα GLONASS καθώς και το G.P.S., χρησιμοποιούν δεδομένα από δορυφόρους.

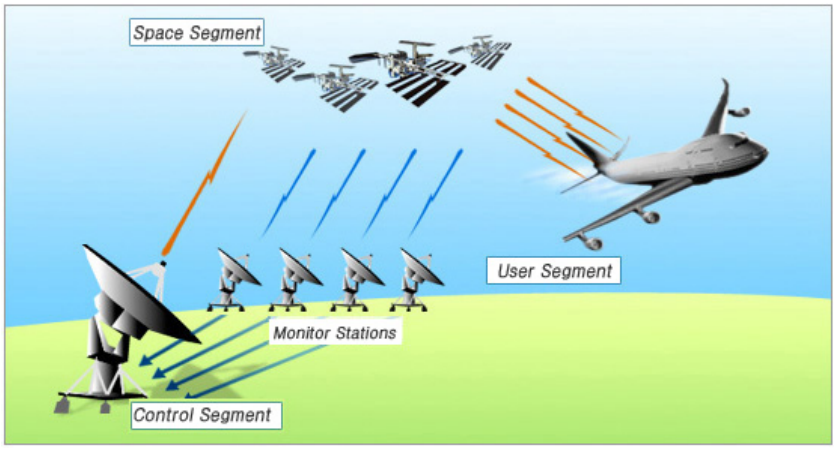
Το σύστημα G.P.S. αναπτύχθηκε από τον Αμερικανικό στρατό στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και αρχικά χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά για τις ανάγκες του Αμερικανικού στρατού. Αργότερα , όμως, άρχισε να είναι διαθέσιμο και για τους υπόλοιπους πολίτες. (Rabbany, 2002)

Σήμερα, η χρήση του συστήματος G.P.S. είναι ευρεία καθώς μπορεί να υποστηρίξει πολυάριθμες εφαρμογές. Αυτό κυρίως γιατί είναι σε θέση να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη θέση ενός δέκτη 24 ώρες το εικοσιτετράωρο, οπουδήποτε και να βρίσκεται και κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες. Οι πιο διαδεδομένες χρήσεις του αφορούν την πλοήγηση στην στεριά, τη θάλασσα και τον αέρα, την υποστήριξη αυτόματης πλοήγησης οχημάτων, τη χαρτογράφηση (που θα μας απασχολήσει σε αυτή την εργασία), την εκπόνηση τοπογραφικών εργασιών καθώς και δραστηριότητες αναψυχής. (Χαλκιάς Χ., 2005)

1.2 Τα μέρη του συστήματος G.P.S.

Το σύστημα G.P.S. αποτελείται από τρία βασικά τμήματα:

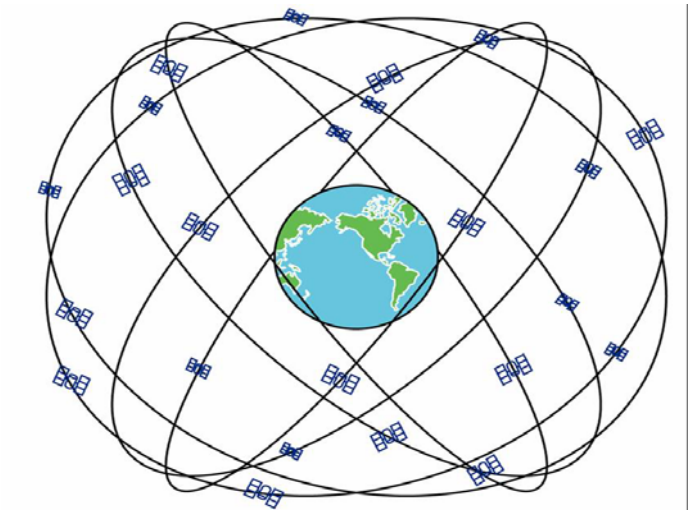
1. Το τμήμα του διαστήματος (δορυφόροι)
2. Το τμήμα επίγειου ελέγχου
3. Το τμήμα των χρηστών



Εικόνα 1.1: Τα τμήματα του GPS

Πηγή: http://www.navicom.co.kr/english/gps/fundamental.asp

Το τμήμα του διαστήματος συνιστούν ένα σύμπλεγμα από 24 δορυφόρους οι οποίοι κατανέμονται σε έξι τροχιές γύρω από τη γη και σε υψόμετρο περίπου 20.300km. Όλες οι τροχιές είναι σχεδόν κυκλικές, με ίσες αποστάσεις μεταξύ τους σε σχέση με τον ισημερινό και σχηματίζουν γωνία 55° με το επίπεδο αυτού. Σε κάθε μία από αυτές τις τροχιές συναντάμε τέσσερις δορυφόρους του συστήματος. (Kaplan, 1996)



Εικόνα 1.2: Το σύμπλεγμα GPS
Πηγή: http://140.137.13.100/derceng/SERVICE/SE_JPG/cstech014.jpg

Το σύστημα επίγειου ελέγχου είναι υπεύθυνο για τη σωστή λειτουργία των δορυφόρων. Αποτελείται από ένα παγκόσμιο δίκτυο σταθμών εντοπισμού δορυφόρων με κεντρικό σταθμό αυτόν που βρίσκεται στο Colorado των Ηνωμένων Πολιτειών. Ο πρωταρχικός σκοπός αυτού τμήματος είναι η παρακολούθηση της τροχιάς του κάθε δορυφόρου του συστήματος έτσι, ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός και ο καθορισμός ορισμένων δεδομένων όπως η θέση των δορυφόρων, η ακεραιότητα του συστήματος, η λειτουργία των δορυφορικών ρολογιών και η κατάσταση της ατμόσφαιρας.

Το τμήμα των χρηστών αποτελείται από όλους τους χρήστες είτε αυτοί είναι από το στρατό είτε απλοί χρήστες. Έχοντας έναν δέκτη, οι χρήστες μπορούν να λάβουν ραδιοσήματα από τους δορυφόρους του συστήματος τα οποία περιέχουν πληροφορία για τη θέση τους πάνω στη γη. (Rabbany, 2002)

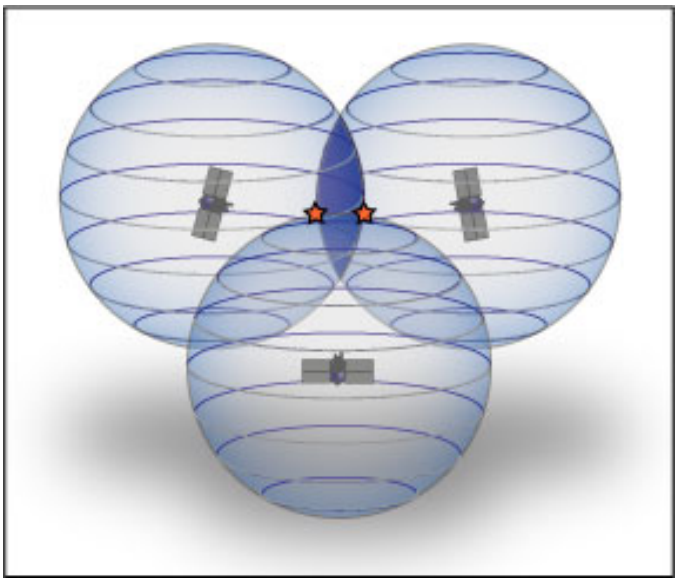
1.3 Πώς λειτουργεί το G.P.S;

Η λειτουργία του συστήματος G.P.S. βασίζεται σε ορισμένες απλές λειτουργίες. Η απόσταση του δέκτη από τους δορυφόρους αποτελεί τη βασική παράμετρο για τον εντοπισμό της θέσης του. Η απόσταση αυτή υπολογίζεται με τη χρήση στοιχείων τριγωνισμού (French, 1996).

Κάθε δορυφόρος του συστήματος G.P.S. εκπέμπει ραδιοσήματα προς όλες τις κατευθύνσεις, και συνεπώς και προς την κατεύθυνση της γης, δηλαδή εκεί όπου βρίσκεται ο δέκτης. Ο τελευταίος μετράει το χρόνο που χρειάζεται να ταξιδέψει το σήμα από το δορυφόρο μέχρι αυτόν. Έπειτα, χρησιμοποιώντας τον από τύπο d=v*t όπου v είναι η ταχύτητα του φωτός (300.000km/sec) και t ο χρόνος που μετρήθηκε, υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ δορυφόρου και χρήστη. Αυτό όμως δεν είναι αρκετό καθώς ο δέκτης θα μπορούσε να βρίσκεται σε οποιοδήποτε σημείο της σφαίρας που ορίζεται με κέντρο τον δορυφόρο και ακτίνα τη μετρούμενη απόσταση δέκτη-δορυφόρου.

Η λήψη αντίστοιχης πληροφορίας από έναν δεύτερο δορυφόρο θα μπορέσει να περιορίσει τα πιθανά μέρη στα οποία μπορεί να βρίσκεται ο δέκτης. Αν, δηλαδή, γνωρίζουμε την απόσταση δέκτη-δορυφόρου χρησιμοποιώντας δύο δορυφόρους τα πιθανά σημεία περιορίζονται στο γεωμετρικό τόπο της τομής των δύο υποθετικών σφαιρών με κέντρο τους δορυφόρους. Το αποτέλεσμα και πάλι δεν θα είναι ακριβές διότι αυτή η τομή σχηματίζει έναν κύκλο. Δεν μπορούμε να ξέρουμε σε ποιο σημείο ακριβώς του κύκλου βρίσκεται ο δέκτης.

Εδώ έρχεται να μας βοηθήσει η πληροφορία που θα πάρουμε από έναν τρίτο δορυφόρο. Υπολογίζοντας την (τρίτη) απόσταση δέκτη-δορυφόρου, έχουμε ουσιαστικά το γεωμετρικό τόπο της τομής τριών υποθετικών σφαιρών. Το αποτέλεσμα είναι να έχουμε δύο πιθανά σημεία στα οποία μπορεί να βρίσκεται ο δέκτης.

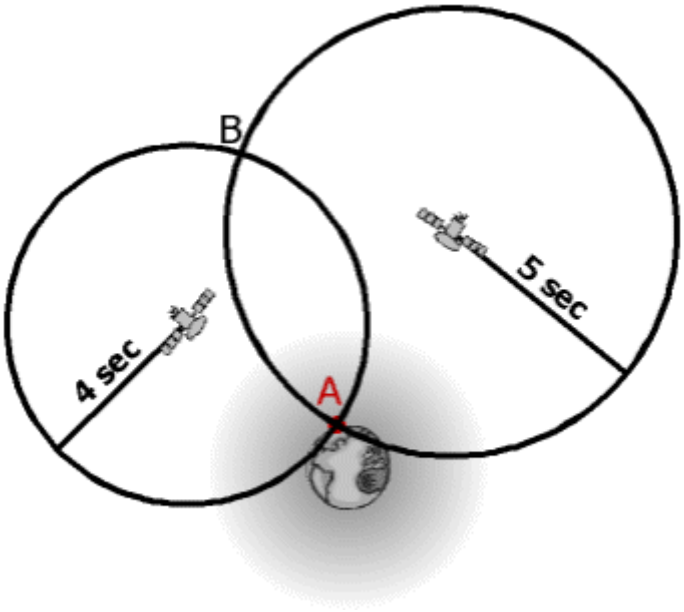


Εικόνα 1.3: Εντοπισμός θέσης δέκτη
Πηγή: www.sco.wisc.edu

Στην πραγματικότητα, το ένα από τα δύο αυτά σημεία είναι όντως η θέση του δέκτη ενώ το δεύτερο βρίσκεται κάπου στο διάστημα. Οι δέκτες, όμως, είναι κατασκευασμένοι έτσι, ώστε να μπορούν να απορρίψουν το σημείο που βρίσκεται στο διάστημα και να δώσουν σαν αποτέλεσμα την πραγματική θέση.

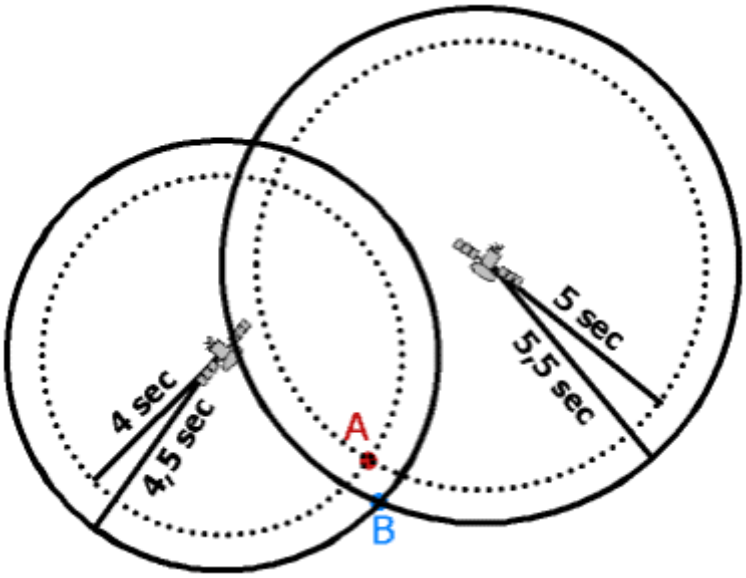
Σε αυτό το σημείο πρέπει να ανακαλέσουμε ότι όλες οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα βασίζονται στη μέτρηση του χρόνου που χρειάζεται το σήμα να φτάσει από τον δορυφόρο στο δέκτη. Οι δορυφόροι είναι εξοπλισμένοι με δύο ρολόγια ρουβιδίου και δύο καισίου τα οποία εξασφαλίζουν ελάχιστα σφάλματα της τάξης του δισεκατομμυριοστού του δευτερολέπτου ανά μήνα. Τα ρολόγια, όμως, που χρησιμοποιούνται στους δέκτες (ρολόγια χαλαζία) παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερα σφάλματα αφού είναι χαμηλότερης ακρίβειας. Αποτέλεσμα είναι οι λανθασμένες εκτιμήσεις της απόστασης μεταξύ δέκτη και δορυφόρου και κατ' επέκταση της θέσης του δέκτη. Για να γίνει κατανοητό το μέγεθος των επιπτώσεων από τα σφάλματα των ρολογιών ακολουθεί ένα παράδειγμα το οποίο, όμως, παρουσιάζεται σε δύο διαστάσεις για να αποφύγουμε την πολυπλοκότητα των διαγραμμάτων που αναφέρονται και στις τρεις διαστάσεις.

Στην περίπτωση που το ρολόι του δέκτη ήταν ακριβές και γνωρίζοντας πως ο δέκτης μπορεί να απορρίψει το σημείο που βρίσκεται στο διάστημα, τότε θα μπορούσε να υπολογιστεί η ακριβής θέση Α εύκολα, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



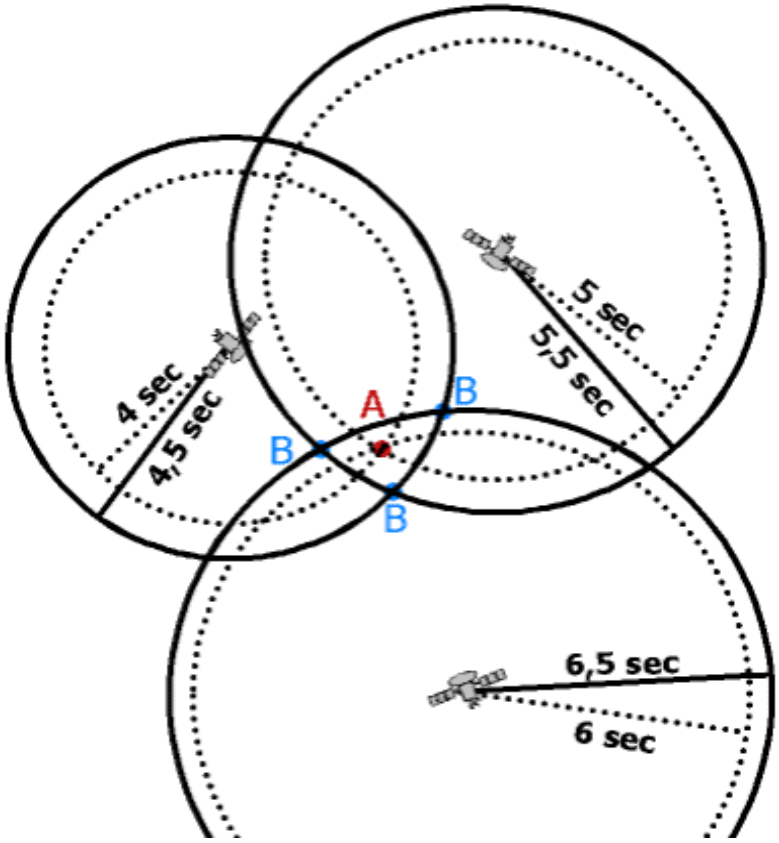
Εικόνα 1.4: Συμβολή δύο δορυφόρων στον εντοπισμό θέσης
Πηγή: www.kowoma.de/en/gps/gps_posb_1.gif

Στην πραγματικότητα, όμως, το πρόβλημα δεν είναι και τόσο απλό. Το ρολόι του δέκτη συνήθως έχει αποκλίσεις που επηρεάζουν το αποτέλεσμα. Ας υποθέσουμε, λοιπόν, ότι το ρολόι του δέκτη πάει 0,5 δευτερόλεπτα μπροστά. Αυτό σημαίνει ότι ενώ στην πραγματικότητα απέχει 4 δευτερόλεπτα από τον ένα δορυφόρο και 5 δευτερόλεπτα από τον άλλον (τιμές που απέχουν πολύ από την πραγματικότητα), σύμφωνα με το ρολόι του δέκτη οι αποστάσεις χρειάζονται μισό δευτερόλεπτο παραπάνω για να διανυθούν από το σήμα του δορυφόρου. Υπολογίζεται, έτσι, μία εσφαλμένη εκτίμηση της θέσης του δέκτη (σημείο Β) αντί της πραγματικής (σημείο Α).



Εικόνα 1.5: Απόκλιση τιμών χρόνου λόγω μικρότερης ακρίβειας του ρολογιού του δέκτη
Πηγή: http://www.kowoma.de/en/gps/positioning.htm

Μπορεί το αποτέλεσμα να μην αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα αλλά έχει υπολογιστεί ένα σημείο έστω και αν βρίσκεται μακριά από τη θέση του δέκτη. Το πρόβλημα γίνεται εμφανές όταν ληφθεί υπ' όψιν η πληροφορία από τον τρίτο δορυφόρο. Είναι πολύ πιθανό οι τρεις υποτιθέμενοι κύκλοι, που απεικονίζουν τις αποστάσεις του δέκτη από τους τρεις δορυφόρους, να μην τέμνονται. Δεν έχουμε, συνεπώς, κάποιο σημείο που να απεικονίζει τη θέση του δέκτη. Σε αυτή την περίπτωση ο δέκτης ρυθμίζει το χρονόμετρο έτσι, ώστε να υπάρξει η τομή των τριών κύκλων και να προσδιοριστεί τελικά η θέση του.



Εικόνα 1.6: Λόγω του χρονικού σφάλματος του δέκτη ούτε τρεις δορυφόροι μπορούν να μας δώσουν την ακριβή θέση
Πηγή: http://www.kowoma.de/en/gps/positioning.htm

Ένας τέταρτος δορυφόρος θα βοηθούσε στο να μην υπάρχουν αυτές οι αποκλίσεις και θα λειτουργούσε ως "χρονική αναφορά". Ακριβέστερα, συνεπώς, αποτελέσματα για τη θέση μας θα έχουμε όταν λαμβάνουμε σήμα από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους.

Όλο αυτό το σκεπτικό λειτουργεί σε επίπεδο τριών και όχι δύο διαστάσεων αλλά το σκεπτικό παραμένει σε γενικές γραμμές το ίδιο. (Χαλκιάς, 2005)

1.4 Τύποι σφαλμάτων του συστήματος

Χρησιμοποιώντας το σύστημα G.P.S. είναι πολύ πιθανό να μη λαμβάνουμε το ακριβές ζεύγος συντεταγμένων της θέσης μας πάνω στη γη. Αυτό γίνεται διότι συμβάλλουν ορισμένοι παράγοντες οι οποίοι δημιουργούν σφάλματα. Έξι είναι οι κυριότεροι τύποι σφαλμάτων: το σφάλμα θέσης δορυφόρου, το σφάλμα

των ρολογιών του δορυφόρου, το σφάλμα λόγω της ατμόσφαιρας, το σφάλμα του δέκτη, το σφάλμα της διάχυσης και το σφάλμα κακής κατανομής των δορυφόρων. (Spencer, Frizzelle, Page, Gogler, 2003)

1.4.1 Σφάλμα θέσης δορυφόρου

Αυτό το είδος σφάλματος παρατηρείται όταν το σήμα του δορυφόρου δεν μεταφέρει σωστή πληροφορία. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο κεντρικός σταθμός ελέγχου του συστήματος στο Colorado των ΗΠΑ ενημερώνει τους δορυφόρους σχετικά με την επικείμενη θέση τους καθώς και με πληροφορία για τη διαδρομή που θα ακολουθήσει αργότερα. Όλη αυτή η πληροφορία μεταφέρεται αυτομάτως και από τον δορυφόρο στον δέκτη. Σε περίπτωση που αυτή είναι ανακριβής, ο δέκτης δεν θα έχει τις ακριβείς τιμές των συντεταγμένων του σημείου στο οποίο βρίσκεται.

1.4.2 Σφάλμα των χρονομέτρων του δορυφόρου

Γνωρίζουμε ότι οι υπολογισμοί του δέκτη βασίζονται στο χρόνο που κάνει το σήμα να πάει από το δορυφόρο σε αυτόν. Κατ' επέκταση οι υπολογισμοί αυτοί βασίζονται στις ενδείξεις του ρολογιού του δέκτη καθώς και αυτών του δορυφόρου. Οι δορυφόροι μπορεί να είναι εξοπλισμένοι με χρονόμετρα πολύ μεγάλης ακρίβειας αλλά ακόμα και οι ελάχιστες αποκλίσεις μπορεί να επηρεάσουν το αποτέλεσμα.

1.4.3 Σφάλμα λόγω της ατμόσφαιρας

Υπάρχουν δύο παράγοντες που δημιουργούν αυτό το είδος σφάλματος. Ο πρώτος αφορά την ιονόσφαιρα. Το σήμα των δορυφόρων επιβραδύνεται από την πρόσκρουσή του στα ελεύθερα ηλεκτρόνια της ιονόσφαιρας. Αυτό μπορεί να προκαλέσει απόκλιση των αποτελεσμάτων κατά 2 με 5 μέτρα. Ο δεύτερος παράγοντας είναι η τροπόσφαιρα. Η υγρασία, και η πίεση σε αυτή την περιοχή

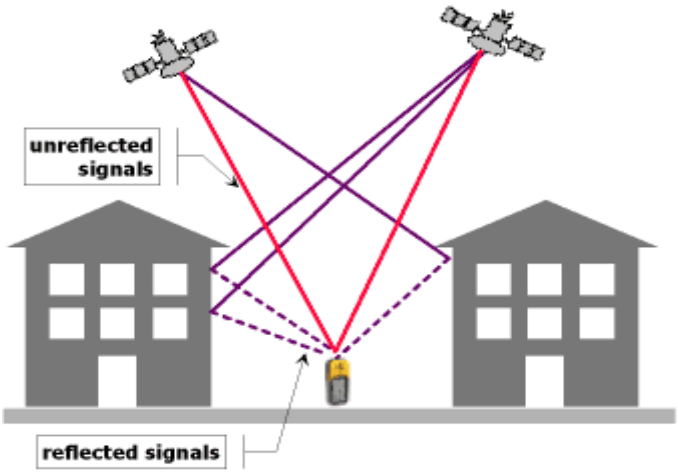
προκαλούν επιπλέον καθυστερήσεις του σήματος οι οποίες, όμως, είναι μικρότερης κλίμακας (περίπου 1m).

1.4.4 Σφάλμα του δέκτη

Σε αντίθεση με τους δορυφόρους, οι δέκτες είναι εξοπλισμένοι με φθηνά ρολόγια χαλαζία τα οποία δεν μετρούν την ώρα με μεγάλη ακρίβεια. Ενώ τα ρολόγια των δορυφόρων έχουν τη δυνατότητα να υπολογίζουν την ώρα με ακρίβεια 11 δεκαδικών ψηφίων (π.χ. 10:35:20,2648516729) το ρολόι του δέκτη μπορεί να υπολογίσει το πολύ μέχρι 6 δεκαδικά ψηφία (π.χ. 10:35:20,264851). Αυτή η διαφορά μπορεί να συμβάλλει στη μη ακριβή ένδειξη της θέσης του δέκτη.

1.4.5 Διάχυση του σήματος

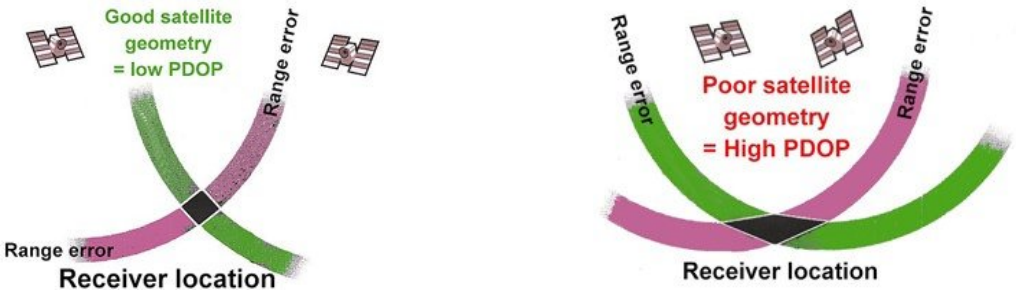
Τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα του δορυφόρου δεν έχουν την ικανότητα να διαπερνούν συμπαγή αντικείμενα όπως για παράδειγμα κτίρια και πυκνή βλάστηση. Σε αυτή την περίπτωση το σήμα πρώτα να ανακλάται από αυτά τα αντικείμενα και έπειτα να φτάνει στο δέκτη με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο χρόνος που χρειάζεται για να φτάσει σε αυτόν.



Εικόνα 1.7: Εσφαλμένες μετρήσεις μπορεί να προκύψουν λόγω διάχυσης του σήματος
Πηγή: www.kowoma.de

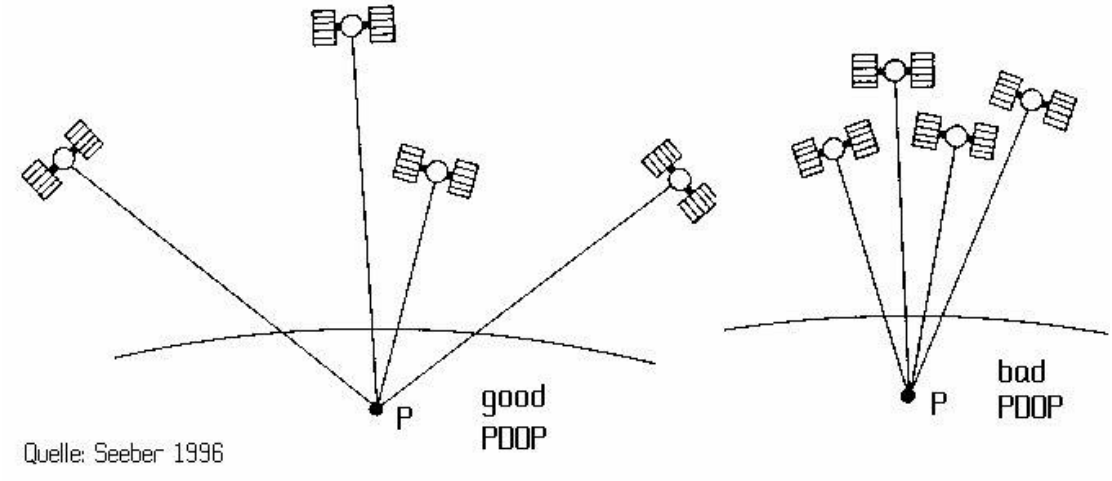
1.4.6 Κατανομή των δορυφόρων

Αφορά τη γεωγραφική κατανομή των δορυφόρων από τους οποίους ο δέκτης λαμβάνει πληροφορία. Το ιδανικό θα ήταν να έχουμε τέσσερις ή περισσότερους δορυφόρους οι οποίοι να είναι 'ομοιόμορφα' κατανεμημένοι στον ουρανό πάνω από τον δέκτη. Αν ο ένας είναι πολύ κοντά με τον άλλο, τότε το σφάλμα γίνεται μεγαλύτερο γιατί η πιθανή περιοχή στην οποία βρίσκεται ο δέκτης είναι μεγαλύτερη.



Εικόνα 1.8: Η πιθανή περιοχή τοποθέτησης του δέκτη είναι ανάλογη με την κατανομή των δορυφόρων

Πηγή: www.aviationshop.com.au



Εικόνα 1.9: Καλή και κακή κατανομή δορυφόρων

Πηγή: www.arboris.de

Στην πρώτη περίπτωση του σχήματος έχουμε καλή κατανομή των δορυφόρων ενώ στη δεύτερη όχι.

1.5 Εξοπλισμός

Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τις συσκευές που θα χρησιμοποιήσουμε και τα οποία θα μας βοηθήσουν στη σωστή συλλογή στοιχείων στην εργασία πεδίου. Πρέπει να γνωρίζουμε τις δυνατότητες του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιήσουμε πριν ξεκινήσουμε την εργασία μας. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα απαραίτητα εξαρτήματα και η χρήση τους στην ύπαιθρο. (Spencer, Frizzelle, Page, Gogler, 2003)

1.5.1 Δέκτης G.P.S.

Κατά την αγορά ενός δέκτη G.P.S. θα πρέπει να γνωρίζουμε πόσο ακριβή θέλουμε να είναι τα αποτελέσματά μας. Αυτή είναι η βασικότερη παράμετρος που πρέπει να έχουμε υπ' όψιν μας.

1.5.2 Λογισμικό

Οι περισσότεροι δέκτες G.P.S έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν δεδομένα από τη μνήμη τους σε έναν υπολογιστή, συνήθως συνδέοντας τα μεταξύ τους με ένα καλώδιο. Είναι απαραίτητο, λοιπόν, να εφοδιαστούμε με το κατάλληλο λογισμικό που θα μπορεί να μετατρέψει τα δεδομένα του δέκτη σε ένα αρχείο που θα έχει τις συντεταγμένες καθώς και επιπρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τα σημεία που αποτυπώθηκαν. Αυτά τα αρχεία μπορούν αργότερα να χρησιμοποιηθούν και να αναλυθούν από κάποιο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π.). Ανάλογα με τις ανάγκες του ερευνητή, υπάρχουν τριών ειδών λογισμικά:

- Αυτά που υπολογίζουν τη βέλτιστη ώρα για να γίνουν οι μετρήσεις λαμβάνοντας υπ' όψιν την τρέχουσα θέση των δορυφόρων.
- Αυτά που εφαρμόζουν διορθώσεις στα δεδομένα.
- Αυτά που δημιουργούν αρχεία συμβατά με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών.

Τα περισσότερα λογισμικά, όμως, απλά αποθηκεύουν τα δεδομένα σε αρχεία κειμένου τα οποία πρέπει να υποστούν κάποια επιπλέον επεξεργασία για να χρησιμοποιηθούν από τα Σ.Γ.Π.

1.5.3 Υλικό

Το υλικό αποτελεί απαραίτητο μέσο επεξεργασίας, αποθήκευσης και ανάδειξης των δεδομένων που έχουμε συλλέξει. Αυτό μπορεί να είναι ένας υπολογιστής παλάμης για άμεση χρήση των δεδομένων ή ακόμη και ένας επιτραπέζιος υπολογιστής αν έχουμε τη δυνατότητα να κάνουμε την επεξεργασία αργότερα. Πολλές φορές ο δέκτης μας μπορεί να είναι ήδη ένας υπολογιστής παλάμης στον οποίο έχουμε τη δυνατότητα να εισάγουμε τις μετρήσεις μας και με τον οποίο μπορούμε να εφαρμόσουμε περιορισμένες λειτουργίες.

1.5.4 Χάρτες αναφοράς

Οι χάρτες αναφοράς αποτελούν σημαντικό κομμάτι του εξοπλισμού. Η χρήση τους είναι απαραίτητη καθώς είναι εργαλεία για την πλοήγησή μας στην περιοχή μελέτης. Με τους χάρτες μπορούμε να υπολογίσουμε ποια είναι η βέλτιστη διαδρομή που θα ακολουθήσουμε για να επισκεφθούμε όλα τα σημεία και τις περιοχές που μας ενδιαφέρουν.

1.6 Διαμόρφωση του δέκτη

Στους περισσότερους δέκτες G.P.S. έχουμε τη δυνατότητα να κάνουμε ορισμένες βασικές ρυθμίσεις ανάλογα με την εφαρμογή μας αντί να χρησιμοποιήσουμε τις προεπιλεγμένες ρυθμίσεις τους. Με αυτόν τον τρόπο εφαρμόζουμε τις κατάλληλες δυνατότητες του δέκτη για την εργασία πεδίου μας. Όταν, λοιπόν, ορίσουμε τις παραμέτρους που αναφέρονται παρακάτω, δεν θα χρειαστεί να τις αλλάξουμε κατά τη διάρκεια της εργασίας μας. Αυτές είναι:

- Το σύστημα συντεταγμένων
- Το datum
- Οι μονάδες μέτρησης
- Η ώρα και η ημερομηνία

Πιο αναλυτικά:

1.6.1 Σύστημα συντεταγμένων

Οι περισσότεροι δέκτες έχουν μία σειρά από συστήματα συντεταγμένων έτσι, ώστε κάθε χρήστης να μπορεί να χρησιμοποιεί το καταλληλότερο για την περιοχή μελέτης του. Ορίζοντας ένα σύστημα συντεταγμένων, τα σημεία που παίρνουμε με τον δέκτη θα τοποθετούνται στις αντίστοιχες θέσεις με βάση αυτό το σύστημα. Η χρήση ενός τέτοιου συστήματος είναι απαραίτητη, ειδικά όταν χρησιμοποιούμε χάρτες αναφοράς. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να υιοθετήσουμε το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται στον χάρτη.

1.6.2 Datum

Το datum είναι άλλη μία παράμετρος που ορίζεται από τον χρήστη και συνήθως ταυτίζεται με αυτό που χρησιμοποιείται στους χάρτες αναφοράς. Οι δέκτες έχουν πολλά datum αποθηκευμένα ώστε κάθε φορά να επιλέγεται το κατάλληλο. Όλοι οι δέκτες παρ' όλ΄αυτά χρησιμοποιούν σαν βάση το datum WGS84.

Τα συστήματα συντεταγμένων καθώς και τα datum θα αναλυθούν εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο.

1.6.3 Μονάδες μέτρησης

Υπάρχουν διάφορα μετρητικά συστήματα στον κόσμο με αποτέλεσμα κάθε χρήστης να είναι εξοικειωμένος με διαφορετικό σύστημα. Έτσι, οι δέκτες

προσφέρουν αρκετές επιλογές γι' αυτή την παράμετρο. Οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται από τον δέκτη επηρεάζουν ορισμένες μετρήσεις όπως το υψόμετρο, την ταχύτητα και τις αποστάσεις.

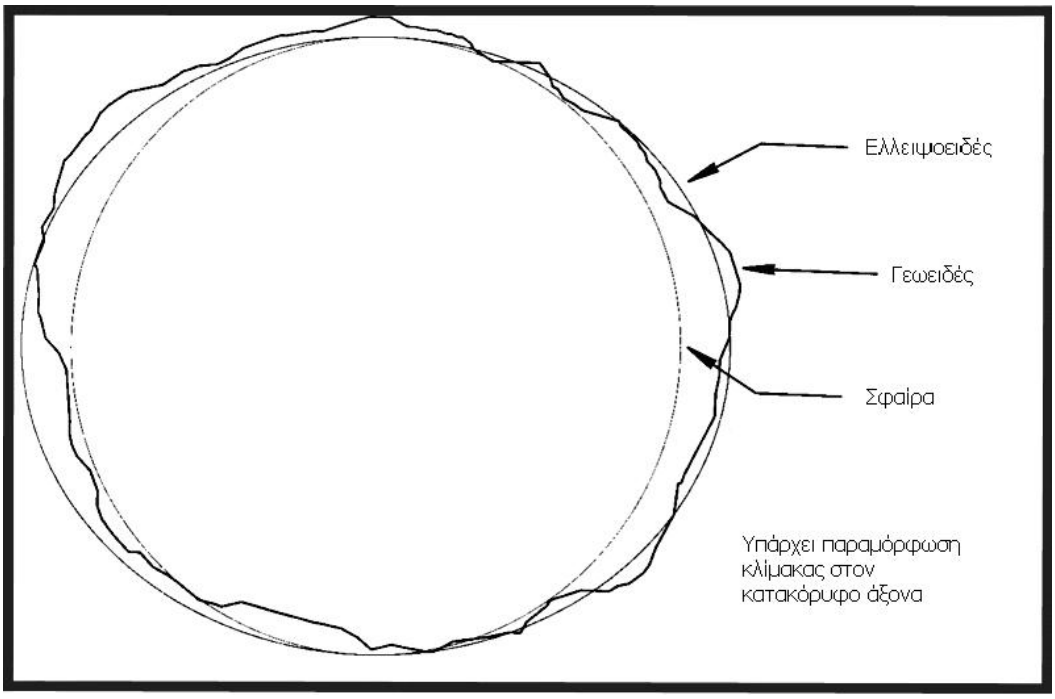
1.6.4 Ημερομηνία και ώρα

Συνήθως, η προεπιλεγμένη ώρα στους δέκτες είναι αυτή του Greenwich (GMT). Ο χρήστης, όμως, μπορεί να ρυθμίσει την ώρα του δέκτη με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι να ορίσει τη διαφορά της ώρας από το GMT και ο δεύτερος να εισάγει την ακριβή τοπική ώρα.

1.7 Προβολικά συστήματα και datum

1.7.1 Γεωδαιτικά datum

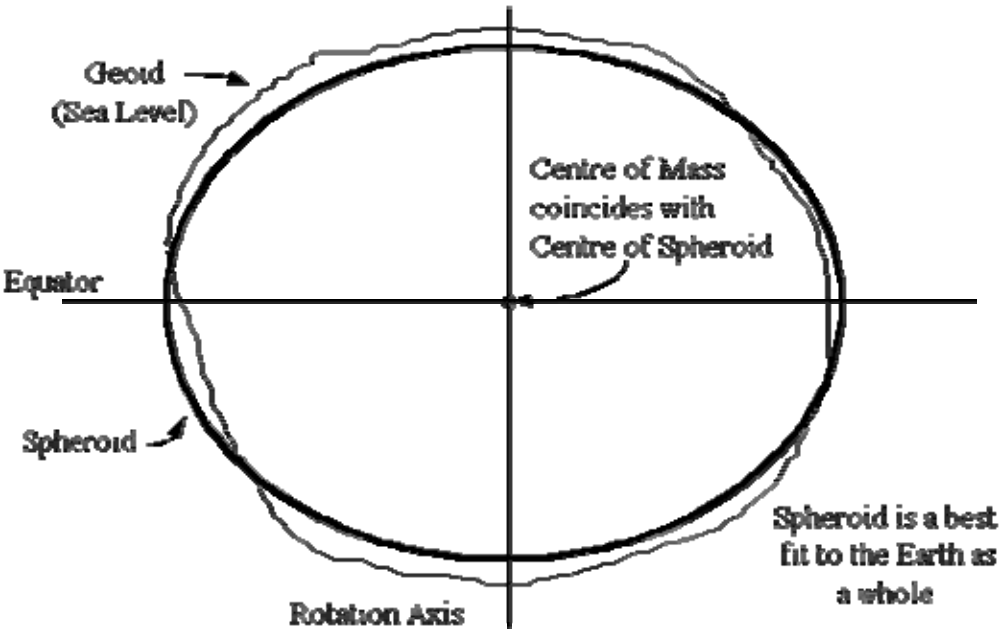
Το σχήμα της γης, ενώ συνήθως παρουσιάζεται ως σφαιρικό ή ελλειψοειδές, στην πραγματικότητα είναι πολύ πιο περίπλοκο καθώς παρουσιάζει πολλές επιφανειακές ανωμαλίες. Ένας τρόπος να αναπαρασταθεί η επιφάνεια της γης είναι το γεωειδές το οποίο απεικονίζει τη μέση στάθμη της θάλασσας. Και πάλι, όμως, αυτή η επιφάνεια δεν είναι ομαλή και δεν είναι δυνατό να συνοδευτεί από μαθηματικές περιγραφές και τύπους. Έτσι, για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, υιοθετήθηκαν ορισμένες ομαλές μαθηματικές επιφάνειες, η σφαίρα και το ελλειψοειδές εκ περιστροφής. Η σφαίρα χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον σε εφαρμογές όπου δεν ήταν απαραίτητες υψηλές τιμές ακρίβειας. Σε περιπτώσεις, όμως, που χρειαζόμαστε υψηλότερες τιμές ακρίβειας, όπως κατά την χρήση του συστήματος G.P.S. χρησιμοποιούμε το ελλειψοειδές εκ περιστροφής. Αυτό διότι το ελλειψοειδές παρουσιάζει την επιφάνεια της γης με μεγαλύτερη ακρίβεια. (Rabbany, 2002)



Εικόνα 1.10: Το ελλειψοειδές, το γεωειδές και η σφαίρα απεικόνισης της γης
Πηγή: instruct.uwo.ca

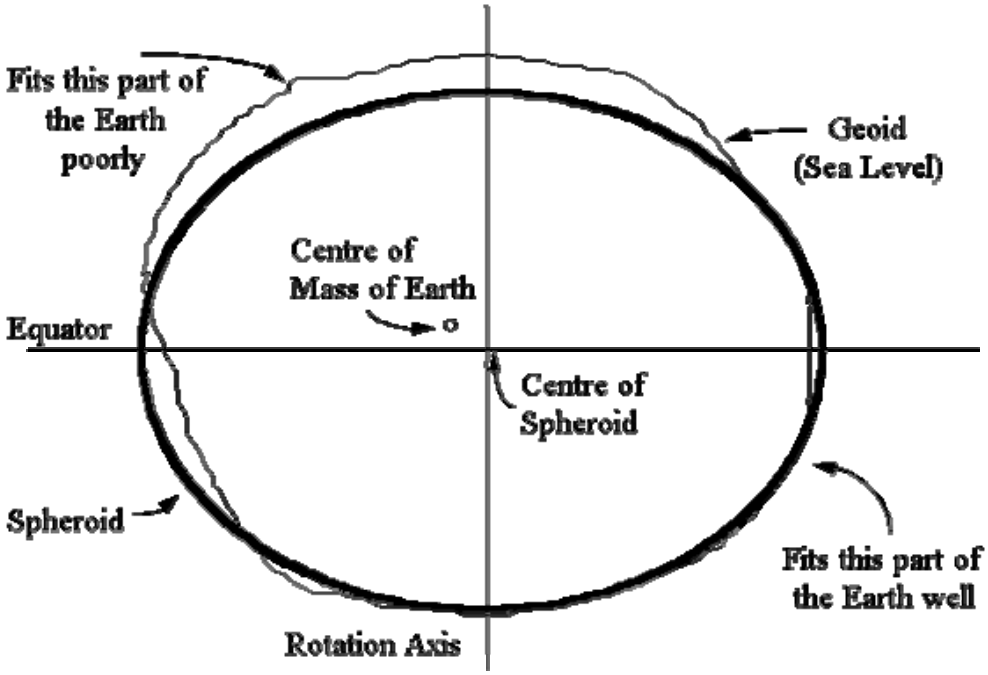
Το πρόβλημα, όμως, δεν έχει λυθεί ακόμα. Για να είμαστε σε θέση να κάνουμε ακριβείς υπολογισμούς χρησιμοποιώντας τους μαθηματικούς τύπους που σχετίζονται με το ελλειψοειδές εκ περιστροφής, είναι απαραίτητο το ελλειψοειδές να εφάπτεται στην περιοχή μελέτης μας. Αυτό προϋποθέτει τον ορισμό δύο παραμέτρων. Αρχικά, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε το κατάλληλο ελλειψοειδές για την περιοχή και κατόπιν να το προσαρμόσουμε σε αυτήν έτσι, ώστε να ταυτίζεται όσο το δυνατόν περισσότερο με το γεωειδές της. Με λίγα λόγια, χρειάζεται να επιλέξουμε το κατάλληλο γεωδαιτικό *datum*.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, υπάρχουν πολλά datum τα οποία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα γήινα/παγκόσμια και τα τοπικά. Τα γήινα επιχειρούν την ελαχιστοποίηση των διαφορών μεταξύ γεωειδούς και ελλειψοειδούς για όλη την επιφάνεια της γης. Τα τοπικά είναι κατάλληλα για την ελαχιστοποίηση αυτών των διαφορών σε μικρότερες περιοχές, π.χ. σε επίπεδο χώρας ή ακόμη και ηπείρου. (Στεφανάκης Ε., 2006)



Εικόνα 1.11: Γήινο datum

Πηγή: iodeweb5.vliz.be



Εικόνα 1.12: Τοπικό datum

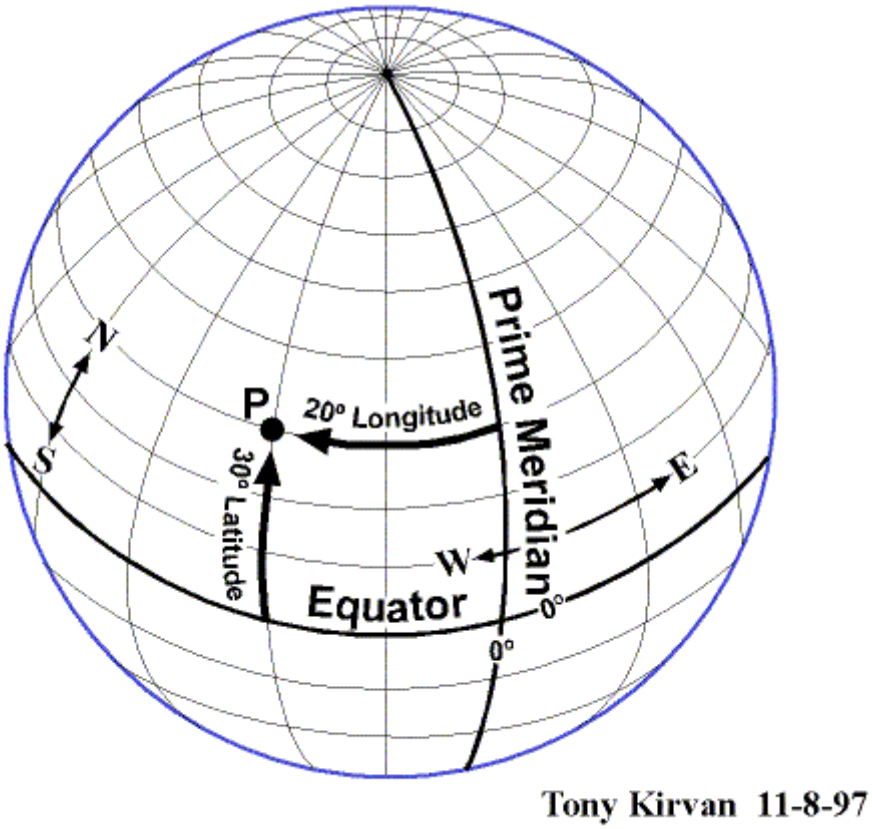
Πηγή: iodeweb5.vliz.be

Όπως βλέπουμε στα παραπάνω σχήματα, το γήινο datum είναι προσαρμοσμένο με βάση όλη την επιφάνεια της γης ενώ το τοπικό ταυτίζεται μόνο με μία μικρότερη περιοχή.

1.7.2 Συστήματα συντεταγμένων

Όταν κοιτάμε ένα χάρτη συνήθως αυτός έχει έναν κάναβο με βάση τον οποίο μπορούμε να βρούμε τις συντεταγμένες ενός σημείου πάνω στο χάρτη όπως κάνουμε και σε περιπτώσεις όπου αναφερόμαστε σε ένα σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων. Η διαφορά είναι ότι στην περίπτωση της γήινης επιφάνειας οι συντεταγμένες του κάθε σημείου ορίζονται από το γεωγραφικό πλάτος (φ) και το γεωγραφικό μήκος (λ) και όχι με αυθαίρετες μονάδες μέτρησης.

Ως γεωγραφικό πλάτος ενός σημείου ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται από το επίπεδο που ορίζει ο ισημερινός και την ακτίνα από το κέντρο της γης στο σημείο αυτό. Οι τιμές που μπορεί να πάρει είναι από 0 (αν το σημείο βρίσκεται στο επίπεδο του ισημερινού) έως και 90 μοίρες βόρεια (N), όταν είναι στο βόρειο πόλο, και 90 μοίρες νότια (S), όταν είναι στο νότιο πόλο. Το γεωγραφικό μήκος είναι η γωνιακή απόσταση ενός σημείου στην επιφάνεια της γης από τον μεσημβρινό του Greenwich (πρώτος μεσημβρινός) κατά μήκος ενός παραλλήλου. (Χαλκιάς, 2006) Σε αυτή την περίπτωση οι τιμές κυμαίνονται από 0 μέχρι 180 μοίρες. Το γεωγραφικό μήκος είναι μηδέν όταν το σημείο βρίσκεται στον μεσημβρινό του Greenwich (στο ημικύκλιο που περνάει από το Greenwich) και 180 μοίρες όταν το σημείο είναι στον ίδιο μεσημβρινό αλλά στο άλλο ημικύκλιο. Οι τιμές του γεωγραφικού μήκους χαρακτηρίζονται με τη λέξη 'ανατολικά' (E) ή 'δυτικά' (W) ανάλογα με το αν το σημείο που μας ενδιαφέρει βρίσκεται ανατολικά ή δυτικά του Greenwich. (Στεφανάκης, 2002)



Εικόνα 1.13: Το πλέγμα μεσημβρινών και παραλλήλων της γης
Πηγή: www.slc.k12.ut.us

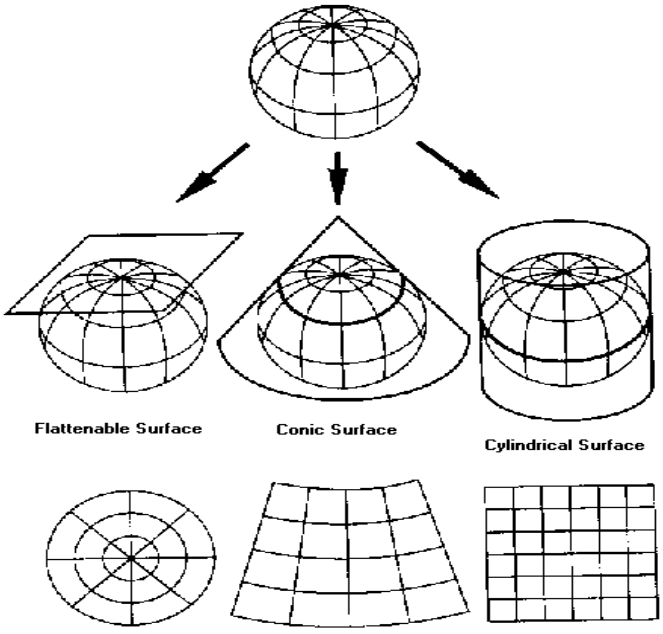
Τα σημεία με τις ίδιες τιμές γεωγραφικού πλάτους και μήκους σχηματίζουν τους μεσημβρινούς και τους παραλλήλους αντίστοιχα. Δημιουργείται, έτσι, ένα πλέγμα με βάση το οποίο μπορούμε να ορίσουμε τις γεωγραφικές συντεταγμένες ενός σημείου. Πάνω σε αυτό βασίζεται και η πληροφορία που παίρνουμε από τους δέκτες G.P.S.

1.7.3 Χαρτογραφικές Προβολές

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε πως ορίζεται το γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων. Εύκολα, όμως, καταλαβαίνουμε ότι είναι πρακτικά αδύνατο να χρησιμοποιούμε σφαίρες για τον εντοπισμό των σημείων που μας ενδιαφέρουν. Έτσι, παρουσιάστηκε η ανάγκη να μεταφέρουμε αυτές τις συντεταγμένες σε ένα δισδιάστατο μέσο, το χαρτί, δηλαδή την κατασκευή των χαρτών.

Η μεταφορά αυτή των συντεταγμένων γίνεται με τη χρήση ποικίλλων χαρτογραφικών προβολών. Για να καταλάβουμε πως προκύπτουν οι διάφορες προβολές πρέπει πρώτα να δούμε τι είναι οι επιφάνειες προβολής.

Ας φανταστούμε ότι η γη είναι γυάλινη και ότι υπάρχει μία πηγή φωτός στο κέντρο της. Εάν εφαρμόσουμε μία χάρτινη επιφάνεια στην επιφάνεια της γης (να εφάπτεται δηλαδή με αυτήν), τότε όλα τα στοιχεία της επιφάνειάς της θα αποτυπωθούν στο χαρτί. Υπάρχουν τρεις επιφάνειες που χρησιμοποιούνται γενικά γι' αυτό τον σκοπό. Οι επίπεδες ή αζιμουθιακές, οι κωνικές και οι κυλινδρικές, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, απ' όπου παίρνουν το όνομά τους και οι προβολές. Πρέπει να σημειώσουμε εδώ ότι σε όλες τις περιπτώσεις έχουμε και παραμορφώσεις. Οι ελάχιστες παραμορφώσεις παρατηρούνται στα σημεία επαφής των επιφανειών με τη γη. Ενώ στην περίπτωση της επίπεδης προβολής έχουμε μόνο ένα σημείο επαφής, στις κωνικές και τις κυλινδρικές η επαφή είναι γραμμική και σχηματίζει έναν κύκλο, οπότε μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας έχει μικρές παραμορφώσεις. Όσο απομακρυνόμαστε από τα σημεία επαφής, τόσο μεγαλύτερες είναι και οι παραμορφώσεις. (Στεφανάκης, 2002)



Εικόνα 1.14: Η αζιμουθιακή, η κωνική και η κυλινδρική προβολή

Πηγή: hosting.soonet.ca

Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87), που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, είναι βασισμένο στη Μερκατορική προβολή η οποία είναι κυλινδρική προβολή.

1.8 Συλλογή Στοιχείων

Πολύ σημαντικό, ίσως το σημαντικότερο, κομμάτι μίας εργασίας που χρησιμοποιεί δεδομένα από G.P.S. είναι η μέθοδος με την οποία θα συλλεχθούν αυτά τα δεδομένα. Η μέθοδος που θα υιοθετηθεί, για παράδειγμα, για την αποτύπωση ενός γραμμικού στοιχείου εξαρτάται από την ακρίβεια με την οποία θέλουμε να απεικονιστεί το σχήμα του. Εαν επιθυμούμε να έχουμε το ακριβές σχήμα του, τότε θα πρέπει να αποτυπώσουμε περισσότερα σημεία.

Γενικά, η μέθοδος συλλογής στοιχείων αποτελείται από τα παρακάτω:

1. Μέθοδος διόρθωσης σφαλμάτων που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ακρίβειας της εκάστοτε εργασίας.
2. Καλά προσδιορισμένα προτόκολα συλλογής δεδομένων τα οποία χρησιμοποιούνται καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.
3. Εξασφάλιση της ποιότητας των δεδομένων.

Καθώς η επιλογή της μεθόδου διόρθωσης σφαλμάτων επιρεάζει τα προτόκολα συλλογής δεδομένων, πρέπει να είναι και η πρώτη παράμετρος που θα καθοριστεί.

1.8.1 Επιλογή μεθόδου διόρθωσης σφαλμάτων

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, όποιος πρόκειται να χρησιμοποιήσει το σύστημα G.P.S. θα ήταν καλό να προσδιορίσει το επίπεδο ακρίβειας της θέσης των δεδομένων που συλλέγει ανάλογα με τις ανάγκες της εργασίας του. Αυτό, βέβαια, εξαρτάται από τις οικονομικές δυνατότητες για

αγορά δέκτη. Συνήθως, όσο φθηνότεροι είναι οι δέκτες, τόσο χαμηλότερης ακρίβειας θα είναι και τα δεδομένα. Είναι απαραίτητο, λοιπόν, να γνωρίζουμε την ακρίβεια των συντεταγμένων των σημείων που συλλέγουμε για να μπορούμε αργότερα να βγάλουμε ορισμένα συμπεράσματα.

1.8.2 Πρωτόκολλα συλλογής δεδομένων

Αποτελούν το δεύτερο βήμα της μεθόδου συλλογής δεδομένων. Τα πρωτόκολλα περιγράφουν με ποιο τρόπο πρέπει να συλλέγονται τα δεδομένα και ποια γνωρίσματα πρέπει να αποτυπώνονται μαζί με αυτά. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπ' όψιν είναι οι παρακάτω:

Καθαρός ουρανός

Απαραίτητη προϋπόθεση για τον υπολόγισμό της θέσης του δέκτη είναι να έχουμε καθαρό ουρανό. Εμπόδια όπως πυκνό φύλλωμα, κτίρια, βουνά ακόμα και το σώμα του ερευνητή μπορεί να επμοδίσουν τα σήματα από τους δορυφόρους να φτάσουν στην κεραία του δέκτη.

Χωρητικότητα μνήμης του δέκτη G.P.S.

Τα όρια της χωρητικότητας ενός δέκτη διαφέρει ανάλογα με τον δείκτη. Όταν θέλουμε να κάνουμε μία εργασία στην οποία χρειάζεται να καταγράψουμε χωρικά δεδομένα πρέπει να γνωρίζουμε πόσα σημεία μπορούμε να αποθηκεύσουμε στο δέκτη. Με αυτό τον τρόπο υπολογίζουμε την περιοδικότητα καταγραφής σημείων. Σε περίπτωση που απαιτείται η καταγραφή περισσότερων σημείων είναι απαραίτητο να έχουμε έναν υπολογιστή στον οποίο και θα μεταφέρουμε τα δεδομένα μας. Μετά από αυτό θα έχουμε τη δυνατότητα να διαγράψουμε τις εγγραφές μας από τη μνήμη του δέκτη και να καταχωρήσουμε νέα δεδομένα.

1.8.3 Ποιότητα δεδομένων

Η συλλογή όσο υψηλότερης ποιότητας δεδομένων αποτελεί βασική επιδίωξη για κάθε ερευνητή είτε αυτά είναι χωρικά, όπως στην περίπτωσή μας, είτε όχι. Συνήθως, η ύπαρξη χαμηλής ποιότητας δεδομένων είναι σίγουρη και οφείλεται σε λάθη κατά τη συλλογή τους. Παρακάτω αναφέρεται πώς μπορούμε εξασφαλίσουμε όσο το δυνατόν ποιοτικότερα και ακριβή δεδομένα.

Τα λάθη στη συλλογή δεδομένων μπορεί να οφείλονται στη μη σωστή χρήση του δέκτη ή στη δυσλειτουργία του εξοπλισμού τα οποία, όμως, θα πρέπει να διορθώνονται επιτόπου όταν γίνουν αντιληπτά.

Η επαλήθευση των σημείων που καταγράφονται είναι μία πολύ χρήσιμη τακτική. Έχοντας ορισμένες ψηφιακές ή αναλογικές πηγές αναφοράς (τοπογραφικούς χάρτες, αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες), μπορούμε να κάνουμε μία στοιχειώδη σύγκριση. Να δούμε, δηλαδή, αν οι συντεταγμένες των σημείων που καταγράψαμε έχουν τις ίδιες περίπου τιμές με τις αντίστοιχες της πηγής μας. Αυτή η σύγκριση μπορεί να γίνει και μέσω υπολογιστή. Υπάργουν ορισμένα λογισμικά πακέτα τα οποία εισάγουν τα δεδομένα του δέκτη G.P.S. και τα προβάλλουν πάνω σε άλλα θεματικά επίπεδα τα οποία έχουν πληροφορία σχετικά με το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται στο δέκτη να είναι το ίδιο με αυτό της εκάστοτε πηγής αναφοράς.

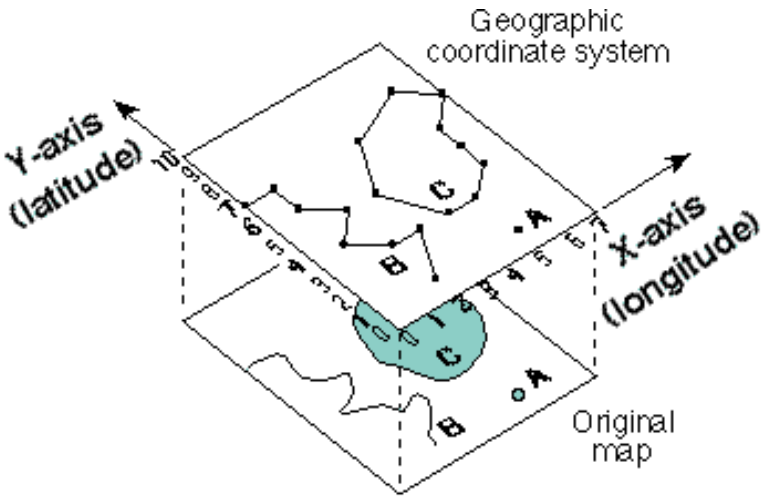
Μία άλλη λύση είναι να οριστούν κάποια εύρη τιμών οι οποίες θα προσδιορίζουν τις αποδεκτές τιμές συντεταγμένων των δεδομένων μας. Αυτή η μέθοδος είναι μεν πιο οικονομική αλλά είναι και λιγότερο ακριβής.

Για να είμαστε σε θέση να εκτιμήσουμε την ποιότητα των δεδομένων που συλλέγουμε μπορούμε, επίσης, πρώτα να καταγράψουμε μερικά σημεία σαν δείγμα. Έπειτα, ξανακαταγράφουμε τα ίδια σημεία και τα συγκρίνουμε μεταξύ

τους ώστε να δούμε αν υπάρχουν διαφορές. Με αυτόν τον τρόπο θα αξιολογίσουμε τα αποτελέσματα και θα κάνουμε τις αλλαγές που απαιτούνται.

1.8.4 Χωρικά δεδομένα

Η γεωμετρία των οντοτήτων που θέλουμε να καταγράψουμε μπορεί να είναι από απλή ως πολύ περίπλοκη. Συνήθως, η αναπαράσταση των οντοτήτων απαιτεί κάποια γενίκευση. Πρέπει, δηλαδή να απλουστευθεί το σχήμα τους και να απεικονίζονται από σημεία, γραμμές, πολύγωνα ή και επιφάνειες τριών διαστάσεων. Βασικό δομικό στοιχείο όλων των παραπάνω είναι τα σημεία. Εκτός από τις σημειακές οντότητες, όπως οι φάροι σε ένα ναυτικό χάρτη (που προφανώς απεικονίζονται με σημεία), οι γραμμικές καθώς και οι πολυγωνικές οντότητες απεικονίζονται, επίσης, από μία σειρά από σημεία.



Εικόνα 1.15: Γραμμικές, σημειακές και πολυγωνικές απεικονίσεις οντοτήτων
Πηγή: www.extension.umn.edu

Κατά την ανάπτυξη πρωτοκόλλων συλλογής δεδομένων με τη χρήση G.P.S. είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την προσβασιμότητα και τη γεωμετρία των οντοτήτων προς καταγραφή έτσι, ώστε να μπορούμε να οργανώσουμε τον τρόπο καταγραφής τους. Πρέπει, δηλαδή, να μελετήσουμε την περιοχή ενδιαφέροντος και να υπολογίσουμε τα πιθανά εμπόδια που μπορεί να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια της εργασίας μας. Σε περίπτωση που

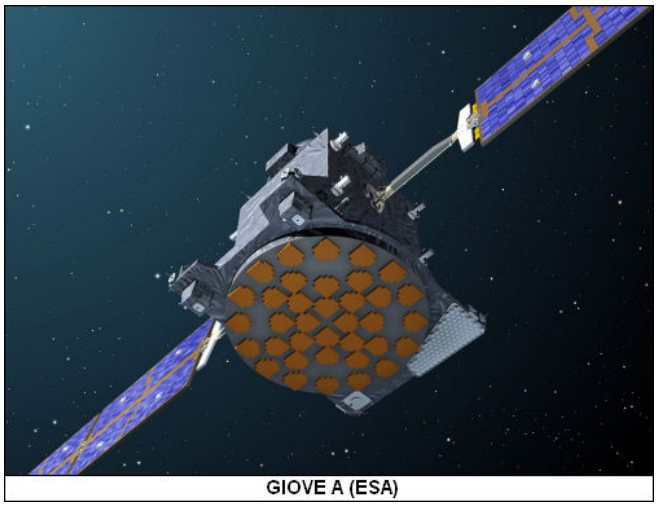
αντιμετωπίσουμε κάποια δυσκολία πρόσβασης στο σημείο που επιθυμούμε, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε άλλα εργαλεία χαρτογράφησης και συσκευές μέτρησης από απόσταση σε συνδυασμό με το δέκτη G.P.S. (Spencer, Frizzelle, Page, Gogler, 2003)

1.9 Το σύστημα G.P.S. στο μέλλον

Χωρίς αμφιβολία, ο αριθμός των χρηστών του συστήματος θα συνεχίσει να αυξάνεται με το πέρασμα των χρόνων καθώς η χρήση του G.P.S. θα επεκτείνεται σε όλο και περισσότερες εφαρμογές. Το μέγεθος και το κόστος των δεκτών θα μειώνεται συνέχεια και θα ενσωματώνονται σε πολλές συσκευές όπως για παράδειγμα σε ρολόγια και σε συσκευές κινητών τηλεφώνων, πράγμα που έχει αρχίσει ήδη να υλοποιείται. Υπάρχουν, επίσης, δέκτες οι οποίοι μπορούν να προσαρτηθούν σε PDA, σε υπολογιστές παλάμης καθώς και σε φορητούς υπολογιστές (laptop). Πολύ σημαντική εξέλιξη θα είναι η βελτίωση της ποιότητας των δορυφορικών σημάτων και των δεκτών. Με αυτό τον τρόπο θα είναι δυνατό να λαμβάνουμε σήματα υπό δύσκολες συνθήκες, ακόμα και στο εσωτερικό κτιρίων. (Spencer, Frizzelle, Page, Vogler, 2003)

1.10 Το ευρωπαϊκό σύστημα εντοπισμού θέσης Galileo

Οι ευρωπαίοι χρήστες συστημάτων εντοπισμού θέσης έχουν μόνο δύο επιλογές ως προς το σύστημα που θα χρησιμοποιήσουν. Το αμερικανικό σύστημα G.P.S. και το ρωσικό GLONASS. Επειδή, όμως, κανένας δεν εγγυάται ότι δεν θα διακοπεί η παροχή πληροφοριών από αυτά τα συστήματα, αναπτύχθηκε η ιδέα κατασκευής ενός ευρωπαϊκού συστήματος, του Galileo.



Εικόνα 1.16: Ο δορυφόρος GIOVE A του συστήματος Galileo

Πηγή: www.vectorsite.net

Το σύστημα Galileo είναι ένα ευρωπαϊκό δορυφορικό σύστημα πλοήγησης που θα παρέχει υπηρεσίες εντοπισμού θέσης υψηλής ακρίβειας. Αποτελείται από 27 ενεργούς και 3 συμπληρωματικούς δορυφόρους σε συνολικά τρεις τροχιές και σε ύψος περίπου 23.000km. Οι χρήστες θα μπορούν να χρησιμοποιούν τους ίδιους δέκτες με αυτούς των συστημάτων G.P.S. και GLONASS. (Rabbany, 2002)

Υπεύθυνοι οργανισμοί για την ανάπτυξη του συστήματος Galileo είναι η Ευρωπαϊκή Ένωση καθώς και η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA). Η Ευρωπαϊκά Ένωση θα είναι αυτή που θα ορίζει τους στόχους του συστήματος και θα είναι υπεύθυνη για την υλοποίησή τους. Από την άλλη μεριά, σκοπός της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Υπηρεσίας είναι να κατασκευάζει και να διατηρεί τον εξοπλισμό του συστήματος. Το τεχνικό κέντρο της υπηρεσίας, που βρίσκεται στην Ολλανδία, είναι υπεύθυνο για την μελέτη και την εφαρμογή νέων τεχνολογιών στο σύστημα έτσι, ώστε να είναι αποδοτικότερη η λειτουργία του.

Εκτός από τους παραπάνω οργανισμούς υπάρχουν και ορισμένα κράτη τα οποία έχουν υπογράψει συμφωνίες συνεργασίας. Αυτές είναι η Κίνα, το

Ισραήλ, η Ουκρανία, η Ινδία, το Μαρόκο, η Σαουδική Αραβία και η Νότια Κορέα. (Μανασής Θ., 2006)

Το σύστημα θα μπορεί να ενημερώνει το χρήστη μέσα σε δευτερόλεπτα σε περίπτωση που υπάρχει βλάβη σε κάποιον από τους δορυφόρους. Αυτό το κάνει να είναι κατάλληλο για περιπτώσεις όπου η ασφάλεια αποτελεί σημαντικότατο παράγοντα όπως για την καθοδήγηση αεροσκαφών. Επίσης, μία πολύ ενδιαφέρουσα μελλοντική λειτουργία του συστήματος είναι η λειτουργία διάσωσης. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης θα έχει τη δυνατότητα να εκπέμψει σήμα εκτάκτου ανάγκης το οποίο θα αναγνωριστεί από κάποιον δορυφόρο του συστήματος. Στη συνέχεια, ο δορυφόρος θα μεταφέρει αυτό το σήμα σε κάποιο κέντρο διάσωσης το οποίο με τη σειρά του θα επέμβει.

Μέχρι στιγμής, ένας μόνο δορυφόρος του συστήματος είναι σε τροχιά γύρω από τη γη ο οποίος εκτοξεύτηκε στις 28 Δεκεμβρίου το 2005. Όταν όλοι οι δορυφόροι τεθούν σε τροχιά, το σύστημα θα είναι σε θέση να εξυπηρετεί περιοχές με γεωγραφικό πλάτος μέχρι και 75° βόρεια. (www.esa.int)

2. Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών

Το Σύστημα Παγκοσμίου Εντοπισμού Θέσης, GPS, είναι εξαιρετικά χρήσιμο σε αναρίθμητες εφαρμογές. Δεν είναι, όμως, εφικτό να εξάγουμε πληροφορίες αποκλειστικά και μόνο με τη χρήση του GPS. Εδώ έρχονται να συμπληρώσουν κάθε προσπάθειά μας για δημιουργία χρήσιμης πληροφορίας τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Μέσω των τελευταίων είμαστε σε θέση να επεξεργαστούμε τα δεδομένα που συλλέγονται από τους δέκτες GPS και να εξάγουμε ορισμένα συμπεράσματα.

Απαραίτητος είναι, συνεπώς, ο συνδυασμός GPS και GIS. Πρόκειται για δύο αλληλένδετες τεχνολογίες. Με το GPS έχουμε τη δυνατότητα να συλλέξουμε δεδομένα εύκολα και με ακρίβεια. Τα GIS αποτελούν το επόμενο βήμα. Μας βοηθούν στην επεξεργασία των δεδομένων που συλλέξαμε.

Στη συγκεκριμένη εργασία θα ασχοληθούμε με την καταγραφή γραμμικών οντοτήτων καθώς στόχος μας είναι η καταγραφή του οδικού δικτύου της Πάρου. Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών θα μας βοηθήσουν στην επεξεργασία, την ανάλυση και την απεικόνιση των δεδομένων που θα συλλέξουμε από την εργασία πεδίου. Χωρίς τη συμβολή των ΣΓΠ η εξαγωγή χρήσιμης πληροφορίας σχετικά με το οδικό δίκτυο θα ήταν εξαιρετικά δύσκολη αν όχι αδύνατη.

2.1 Ιστορική εξέλιξη

2.1.1 Τα πρώτα βήματα

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών έχουν τις ρίζες τους από την εποχή που ξεκίνησαν να γίνονται χάρτες, απεικονίσεις δηλαδή της γήινης επιφάνειας. Οι πρώτοι χάρτες σχεδιάστηκαν για να δείχνουν τις θέσεις των ορυχείων χρυσού στην Κόπτη την περίοδο της βασιλείας του Ραμψή του δεύτερου της Αιγύπτου (1292-1225 π.Χ.). (Bernhardsen T., 2002) Πριν από αυτό, όμως, υπάρχει περίπτωση να έχουμε απεικονίσεις του τότε γνωστού κόσμου από τους Βαβυλώνιους. Αργότερα, το 300 π.Χ. περίπου, οι Έλληνες απέκτησαν γνώσεις χαρτογράφησης και κατασκεύασαν τους πρώτους ρεαλιστικούς χάρτες χρησιμοποιώντας συστήματα συντεταγμένων. 100 χρόνια αργότερα, ο Έλληνας μαθηματικός, αστρονόμος και γεωγράφος Ερατοσθένης θεμελίωσε τις πρώτες αρχές χαρτογράφησης. Ένας από τους πρώτους δημοφιλείς χάρτες του κόσμου ήταν αυτός του Πτολεμαίου της Αλεξάνδρειας το 90-168 μ.Χ. Οι πρώτοι, όμως, που ενδιαφέρθηκαν να καταγράψουν περιουσίες (όπως κάνουμε σήμερα με το Κτηματολόγιο) ήταν οι Ρωμαίοι.

Περίπου 1000 χρόνια μετά την κατάλυση της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας, το 1570 και ύστερα από μία περίοδο παρακμής της χαρτογραφίας στην Ευρώπη, κατασκευάστηκαν οι πρώτοι χάρτες, αποκλειστικά για χρήση από εμπορικά πλοία, στους οποίους απεικονίζονταν με ακρίβεια οι ακτές και τα λιμάνια. Επίσης, τα ταξίδια και οι ανακαλύψεις εξερευνητών όπως ο Μάρκο Πόλο και ο Χριστόφορος Κολόμβος διεύρυναν το εμπόριο και κατά συνέπεια δημιούργησαν την ανάγκη για χάρτες απεικόνισης ευρύτερων περιοχών. (Bernhardsen T., 2002)

Εικόνα 2.1: Χάρτης της αμερικανικής ηπείρου του 1500

Πηγή: http://www.floridahistory.com/us@1544.html

Μέχρι το 19^{ο} αιώνα τα γεωγραφικά δεδομένα χρησιμοποιούνταν κυρίως για το εμπόριο και τις εξερευνήσεις. Η κατασκευή, όμως, δρόμων, σιδηροδρόμων, τηλεφωνικών γραμμών και δικτύων παροχής νερού και φυσικού αερίου δημιούργησαν αργότερα νέες ανάγκες αναπαράστασης του γήινου αναγλύφου. Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε τα ακριβή σημεία στα οποία βρίσκονται οι πόλεις, οι λίμνες, τα βουνά και οι πεδιάδες καθώς και τη σύσταση του εδάφους έτσι, ώστε να είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε πού μπορούμε να υλοποιήσουμε τις παραπάνω κατασκευές χωρίς προβλήματα.

Τέλος, οι αεροφωτογραφίες βοήθησαν πολύ για την βελτίωση της χαρτογράφησης ξεκινώντας από τις πρώτες το 1909. Η φωτογραμμετρία, η επιστήμη επεξεργασίας οντοτήτων μέσω αεροφωτογραφιών αναπτύχθηκε ραγδαία τις δεκαετίες 1920-1930 μαζί με τη βοήθεια των συμφερόντων των δύο Παγκοσμίων Πολέμων.

2.1.2 Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών σήμερα

Τα ΣΓΠ με τη σημερινή τους μορφή χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1960 από μία καναδική εταιρεία χαρτογράφησης δασών. Σκοπός τους ήταν να αποτυπώσουν τις εκτάσεις και τις χρήσεις γης του κράτους. (Longley P., Goodchild M., Maguire D., Rhind D. 2001) Συνέχισαν να αναπτύσσονται από Καναδούς και Αμερικανούς ερευνητές πανεπιστημίων οι οποίοι ήθελαν να αναπαραστήσουν την επιφάνεια της γης χρησιμοποιώντας βάσεις δεδομένων και εμφανίζοντας τα αποτελέσματα στην οθόνη ενός υπολογιστή ή τυπωμένα σε χαρτί, δημιουργώντας, δηλαδή χάρτες. Κατασκεύασαν, επίσης, ορισμένα προγράμματα τα οποία τους βοηθούσαν να διαχειριστούν και να αναλύσουν τα δεδομένα τους.

Τη δεκαετία του 1970 συστάθηκαν αρκετές εταιρείες οι οποίες πουλούσαν συστήματα δημιουργίας και ανάλυσης χαρτών με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών. Παρά το μεγάλο αριθμό εταιριών που ασχολούνται με την ανάπτυξη ΣΓΠ, τα τελευταία χρόνια δύο είναι οι αυτές που κυριαρχούν. (Heywood I., Cornelius S., Carver S., 2002) Η πρώτη είναι η Intergraph Corporation of Huntsville στην Αλαμπάμα των Η.Π.Α. που ασχολείται με την εισαγωγή και αποθήκευση χωρικών δεδομένων καθώς και με τη δημιουργία χαρτών με τη χρήση Η/Υ. Η δεύτερη εταιρεία είναι η Environmental Systems Research Institute (ESRI) of Redlands στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α. Η ESRI ασχολείται κυρίως με την κατασκευή εργαλείων για την ανάλυση χωρικών δεδομένων.

Αρχικά, μόνο κρατικές υπηρεσίες και μεγάλες εταιρείες είχαν τη δυνατότητα να αγοράσουν εμπορικά πακέτα ΣΓΠ διότι οι τιμές τους δεν ήταν καθόλου προσιτές (περίπου $100.000 συνολικό κόστος). Παρ' όλα αυτά, η διάδοση των ΣΓΠ διευρύνθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Τα πλεονεκτήματά τους έγιναν ευρέως γνωστά μέσω επιστημονικών περιοδικών και συνεδρίων ανά τον κόσμο. Αναπτύχθηκαν ακόμα περισσότερο όταν άρχισαν να μπαίνουν οι προσωπικοί Η/Υ στη ζωή όλο και περισσότερων ανθρώπων. Ακόμα

μεγαλύρετες, κυρίως οικονομικές, ευκολίες έχουμε με τη διάδοση των Free GIS. Πρόκειται για ορισμένες εφαρμογές που γίνονται κυρίως μέσω διαδικτύου χωρίς κάποια οικονομική επιβάρυνση.

Τα ΣΓΠ αναπτύχθηκαν με βάση τρεις σημαντικές λειτουργίες. (Korte G., 2001)

1. Τα ΣΓΠ έχουν τη δυνατότητα να παρουσιάζουν τα χωρικά δεδομένα στη σωστή τους γεωγραφική θέση χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα συστήματα συντεταγμένων. Αυτά τα δεδομένα συνοδεύονται, επίσης, από ορισμένες αποθηκευμένες πληροφορίες που τα χαρακτηρίζουν (attributes).

2. Τα χωρικά δεδομένα μπορούν να απεικονιστούν είτε στην οθόνη είτε στο χαρτί σε οποιαδήποτε κλίμακα επιθυμούμε. Αυτό κάνει τα ΣΓΠ να είναι πιο ευέλικτα στην παρουσίαση χωρικών δεδομένων σε σχέση με τους παραδοσιακούς χάρτες.

3. Πολύ σημαντική λειτουργία των ΣΓΠ είναι η δυνατότητά τους να επεξεργάζονται και να αναλύουν τις σχέσεις μεταξύ των δεδομένων. (Korte G., 2001) Για παράδειγμα, μπορούμε να υπολογίσουμε το συνολικό μήκος του οδικού δικτύου εντός των ορίων ενός δήμου.

2.2 Βασικές έννοιες

2.2.1 Ποιες είναι οι βασικές έννοιες των ΣΓΠ;

Η πρώτη και ίσως βασικότερη επιστήμη στην οποία βασίζονται τα ΣΓΠ, καθώς και πολλά άλλα συστήματα, είναι η *πληροφορική*. Πληροφορική είναι η επιστήμη η οποία αφορά τη δημιουργία, την επεξεργασία, την οργάνωση, την αποθήκευση, την ανάκτηση και τη ερμηνεία των πληροφοριών. (Μανιάτης Γ., 1993) Οι πληροφορίες αυτές άρχισαν με την πάροδο του χρόνου να οργανώνονται με τη χρήση βάσεων δεδομένων. (Χαλκιάς Χ., 2004)

Τί είναι, όμως, οι πληροφορίες; Οι *πληροφορίες* προκύπτουν από την επεξεργασία δεδομένων τα οποία από μόνα τους ίσως να μη μας βοηθούν να βγάλουμε συγκεκριμένα συμπεράσματα. Για παράδειγμα, δεδομένα αποτελούν τα είδη των πετρωμάτων που αναγνωρίζονται από έναν γεωλόγο σε μία περιοχή τα οποία θα καταγραφούν σε ένα γεωλογικό χάρτη της περιοχής. Αυτός ο χάρτης θα αποτελέσει αργότερα μία από τις πηγές τις οποίες θα συμβουλευτεί μία κατασκευαστική εταιρεία για να εξάγει πληροφορία σχετικά με το αν είναι κατάλληλη αυτή η περιοχή για την ανέγερση κτιρίων.

Το *Σύστημα Πληροφοριών* είναι ο κρίκος που ενώνει τις δύο παραπάνω έννοιες. Είναι δηλαδή ένα τεχνητό μέσο με το οποίο μπορούμε να μετατρέψουμε τα δεδομένα σε χρήσιμη πληροφορία η οποία θα χρησιμοποιηθεί για τη λήψη αποφάσεων. (Μανιάτης Γ., 1993)

Στη συγκεκριμένη εργασία θα ασχοληθούμε με τις *γεωγραφικές πληροφορίες*. Αυτές προκύπτουν από την επεξεργασία δεδομένων που αναπαριστούν τον κόσμο μας. Πολλές φορές δημιουργείται η ανάγκη να παρθούν ορισμένες αποφάσεις που σχετίζονται με το τι μας περιβάλλει. Έτσι, χρειαζόμαστε πληροφορίες σχετικές με συγκεκριμένες οντότητες της γήινης επιφάνειας. Οι γεωγραφικές πληροφορίες μας δίνουν τη δυνατότητα να εφαρμόσουμε κάποιες αρχές σε συγκεκριμένες περιοχές, να δούμε την κατάσταση και την εξέλιξη μίας περιοχής, να κατανοήσουμε τις διαφορές μεταξύ περιοχών, είτε αυτές αφορούν τη μορφολογία του εδάφους είτε την ανθρώπινη ανάπτυξη κ.α. (Bernhardsen T., 2002)

2.2.2 Τί είναι τα ΣΓΠ;

Όταν αναφέρουμε τον όρο Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών συνήθως εννοούμε κάθε ενέργεια διαχείρισης γεωγραφικών δεδομένων με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Τα ΣΓΠ, όμως, δεν περιλαμβάνουν μόνο υλικό (υπολογιστές) και λογισμικό (προγράμματα). Κάθε συσκευή η οποία χρησιμοποιείται για την εισαγωγή δεδομένων ή για την εξαγωγή

αποτελεσμάτων θεωρείται ότι αποτελεί τμήμα των ΣΓΠ. Οι λειτουργίες των ΣΓΠ επιγραμματικά είναι οι παρακάτω:

- Εισαγωγή δεδομένων
- Εκτέλεση λειτουργιών
- Αποθήκευση
- Ενημέρωση
- Διαχείριση
- Χωρική ανάλυση
- Ανάκτηση και παρουσίαση

Όλες οι παραπάνω λειτουργίες αφορούν χωρικά δεδομένα τα οποία παρουσιάζονται στην οθόνη με βάση ένα συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς. Αυτό διότι κάθε οντότητα βρίσκεται σε συγκεκριμένο σημείο της επιφάνειας της γης. (Bernhardsen T., 2002)

Ένας καλύτερος τρόπος να παρουσιάσουμε με τι ασχολούνται τα ΣΓΠ είναι να δώσουμε απαντήσεις στα παρακάτω ερωτήματα τα οποία αφορούν την τοποθεσία, τις μορφές, τις τάσεις και την κατάσταση των γεωγραφικών δεδομένων. Τα ερωτήματα είναι:

1. Πού μπορούμε να βρούμε συγκεκριμένες οντότητες;
   Π.χ. σε ποια σημεία ενός πάρκου υπάρχουν αναψυκτήρια;

2. Υπάρχουν κάποιες τάσεις εμφάνισης συγκεκριμένων δραστηριοτήτων/ συμβάντων σε μία περιοχή;
   Π.χ. υπάρχουν συγκεκριμένες περιοχές του Αιγαίου Πελάγους όπου έχουν σημειωθεί ναυάγια με παρεμφερή αίτια;

3. Έχουν συμβεί αλλαγές με το πέρασμα του χρόνου;
   Π.χ. ποιά είναι η συμπεριφορά των σεισμών σε μία σεισμοπαθή περιοχή σε διάστημα δέκα ετών;

4. Που μπορούν να εφαρμοστούν ορισμένοι όροι;
   Π.χ. με βάση ποιά κριτήρια πρέπει να διακοπεί η διέλευση των αυτοκινήτων από ένα τμήμα δρόμου;

5. Ποιες θα είναι οι επιπτώσεις αν υπάρξει δράση κάποιου οργανισμού σε μία περιοχή;
   Π.χ. τί ποσοστό ρύπανσης στην ατμόσφαιρα μπορεί να προκαλέσει η λειτουργία μίας βιομηχανίας;

Τέτοιου είδους ερωτήματα έχουν απασχολήσει πολλούς γεωγράφους για αιώνες. Δυστυχώς, παλαιότερα δεν είχαν τη δυνατότητα να απαντήσουν σε τέτοια ερωτήματα διότι ο όγκος των χωρικών δεδομένων προς ανάλυση ήταν πολύ μεγάλος καθώς, επίσης, και η έλλειψη μέσων για τη γρήγορη επεξεργασία τους. (Heywood I., Cornelius S., Carver S., 2002)

2.2.3 Τα συστατικά μέρη των ΣΓΠ

Έχουν γίνει πολλές συζητήσεις προκειμένου να οριστούν τα ακριβή συστατικά μέρη των ΣΓΠ. Αρχικά, ήταν αρκετό αν λέγαμε ότι τα ΣΓΠ είναι ένα λογισμικό πακέτο το οποίο έχει τη δυνατότητα να εισάγει δεδομένα, να τα επεξεργάζεται και να εξάγει πληροφορία με τη χρήση ορισμένων εργαλείων. Σήμερα θεωρούμε ότι ένα ΣΓΠ αποτελείται από το υλικό (μηχανήματα), το λογισμικό, τα χωρικά δεδομένα, τις διαδικασίες διαχείρισης και ανάλυσης των δεδομένων, και το ανθρώπινο δυναμικό.

Εικόνα 2.2: Τα συστατικά μέρη ενός ΣΓΠ

Πηγή: http://www.csc.noaa.gov/products/sccoasts/html/images/gisparts.gif

Υλικό - Λογισμικό

Τα ΣΓΠ μπορούν να λειτουργήσουν σε συστήματα διάφορων ικανοτήτων, από προσωπικούς υπολογιστές μέχρι και υπολογιστές που εξυπηρετούν παραπάνω από έναν χρήστες. Επίσης, ο προγραμματισμός τους γίνεται με το συνδυασμό πολλών γλωσσών προγραμματισμού. Σε κάθε περίπτωση, όμως, υπάρχουν ορισμένα περιφεριακά μηχανήματα - συσκευές τα οποία είναι απαραίτητα για τη σωστή λειτουργία των ΣΓΠ. Αυτά είναι:

- Η κεντρική μονάδα
- Μνήμη, αρκετή για να αποθηκεύονται μεγάλων όγκων δεδομένων
- Οθόνη με υψηλή ανάλυση για την σωστή αναπαράσταση των πληροφοριών.
- Συσκευές εισαγωγής και εξαγωγής (scanners, plotters κλπ) (Heywood I., Cornelius S., Carver S., 2002), (Κουτσόπουλος Κ. 2005)

Όσον αφορά το λογισμικό, ορισμένα συστήματα απαιτούν την εισαγωγή εντολών μέσω μίας γραμμής εντολών. Άλλα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με εντολές επί της οθόνης, χρησιμοποιώντας το ποντίκι. Η μέθοδος που θα εφαρμοστεί εξαρτάται από τις προτιμήσεις και την εμπειρία του χρήστη. Ένας έμπειρος, συνήθως, χρήστης είναι σε θέση να εισάγει εντολές με τη χρήση μίας γλώσσας προγραμματισμού (π.χ. Visual Basic) για να διευρύνει τις δυνατότητες της εφαρμογής του.

Χωρικά δεδομένα

Τα δεδομένα αποτελούν το κυριότερο συστατικό των ΣΓΠ. «Τα γεωγραφικά δεδομένα είναι ένα σύνολο από καταγραφές – μετρήσεις που σχετίζονται με αντικείμενα του γεωγραφικού χώρου»[1] Όλα τα ΣΓΠ έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε να διαχειρίζονται χωρικά δεδομένα τα οποία χαρακτηρίζονται από τη γεωγραφική τους θέση, τη σχέση τους με άλλα δεδομένα και από συγκεκριμένα περιγραφικά χαρακτηριστικά. Απαραίτητο είναι τα χωρικά δεδομένα να αποθηκεύονται με βάση κάποιο σύστημα αναφοράς.

Διαχείριση και ανάλυση

Η διαχείριση και η ανάλυση των χωρικών δεδομένων αποτελεί, ίσως, την κυριότερη λειτουργία των ΣΓΠ. Μέσω αυτών των διαδικασιών προκύπτουν οι πληροφορίες βάση των οποίων παίρνονται αποφάσεις. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα δεδομένα από μόνα τους δεν μας βοηθούν στο να βγάλουμε συμπεράσματα. Αναγκαία είναι η επεξεργασία τους έτσι, ώστε να παραχθεί χρήσιμη πληροφορία.

Ανθρώπινο δυναμικό

Παρόλο που σχεδόν πάντα οι συζητήσεις περί ΣΓΠ αφορούν αποκλειστικά το υλικό και το λογισμικό, πρέπει να αναφέρουμε ότι όλα αυτά δεν είναι δυνατό να λειτουργήσουν και να πάρουν αποφάσεις από μόνα τους. Οι άνθρωποι είναι

[1]Χαλκιάς Χ., 2006: *Όροι και Έννοιες επιστήμης Γεωγραφικών Πληροφοριών*, εκδόσεις Ίων, Αθήνα.

αυτοί που θα χειριστούν το σύστημα και θα βγάλουν συμπεράσματα. (Heywood I., Cornelius S., Carver S., 2002)

2.3 Από την πραγματικότητα στα ΣΓΠ

Τα ΣΓΠ αναπαριστούν τον πραγματικό κόσμο με διάφορους τρόπους. Κάθε οντότητα μπορεί να καταγραφεί και να παρουσιαστεί με διαφορετικούς τρόπους. Ο σκοπός της εκάστοτε εφαρμογής και η κλίμακα απεικόνισης των δεδομένων μας, μας οδηγεί στην ανάγκη να αποφασίσουμε πως θα αναπαραστήσουμε κάθε οντότητα με τη χρήση των ΣΓΠ. Τρεις είναι οι τρόποι απεικόνισης οντοτήτων. Τα σημεία, οι γραμμές και τα πολύγωνα.

2.3.1 Σημειακές οντότητες

Τα σημεία χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση οντοτήτων που είναι τόσο μικρά που η απεικόνισή τους με πολύγωνα είναι αδύνατη. Κάθε σημείο περιέχει πληροφορία σχετική με τις συντεταγμένες του και πολλές φορές με το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται. Σημαντικό παράγοντα, βέβαια, αποτελεί η κλίμακα στην οποία εργαζόμαστε. Για παράδειγμα, ένα οίκημα μπορεί να απεικονιστεί σαν σημείο αν η κλίμακα είναι μικρή. Στην περίπτωση, όμως, που η κλίμακα είναι μεγάλη τα οικήματα θα μπορούσαν να παρουσιαστούν σαν πολύγωνα.

2.3.2 Γραμμικές οντότητες

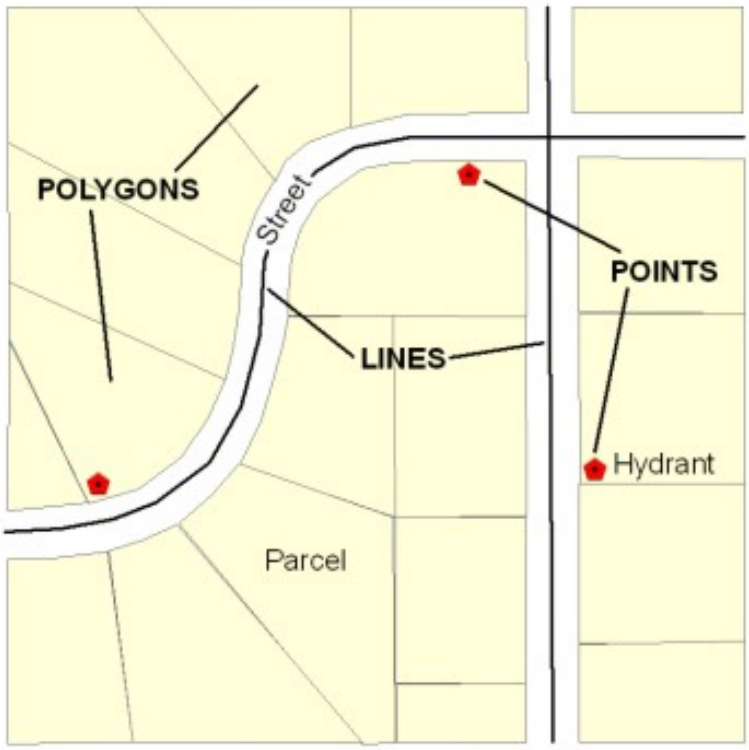
Οι γραμμές μας βοηθούν να αναπαραστήσουμε οντότητες που στην πραγματικότητα είναι γραμμικές, όπως οι δρόμοι, τα ποτάμια και οι σιδηροδρομικές γραμμές. Χρησιμοποιούνται, επίσης, για την παρουσίαση νοητών οντοτήτων όπως είναι τα σύνορα των κρατών ή οι αεροδιάδρομοι των αεροπλάνων. Οι γραμμικές οντότητες, αποτελούν ουσιαστικά μία ακολουθία σημείων τα οποία ενώνονται μεταξύ τους. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε και πάλι καταγραφή των συντεταγμένων και της υψομετρικής τιμής όλων των

σημείων που απαρτίζουν την οντότητα. Έχουμε τη δυνατότητα, έτσι να δούμε την οντότητα σε τρεις διαστάσεις.

2.3.3 Πολυγωνικές οντότητες

Τα πολύγονα απεικονίζουν επιφάνειες οι οποίες μπορεί να είναι λίμνες, κράτη, δασικές εκτάσεις κλπ. Τεχνικά, αποτελούνται και αυτές από ένα σύνολο γραμμών. Συνήθως, όσο μεγαλύτερη είναι η κλίμακα απεικόνισης, τόσο περισσότερες οντότητες μπορούν να αναπαρασταθούν από πολύγωνα.

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε πώς μπορούμε να αναπαραστήσουμε τον πραγματικό κόσμο με σημεία, γραμμές και πολύγωνα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, οι σημειακές οντότητες απεικονίζουν πυροσβεστικούς κρουνούς, οι γραμμικές δρόμους και οι πολυγωνικές τα αγροτεμάχια μιας γειτονιάς.



Εικόνα 2.3: Πολυγωνικές, γραμμικές και σημειακές οντότητες σε μία γειτονιά
Πηγή: www.co.dakota.mn.us

2.3.4 Θεματικά επίπεδα

Όλα τα παραπάνω οργανώνονται σε θεματικά επίπεδα. Κάθε θεματικό επίπεδο αποτελεί ένα σύνολο ομοειδών οντοτήτων. Μπορούμε να πούμε ότι σε γενικές γραμμές τα θεματικά επίπεδα είναι ό,τι παρουσιάζεται στο υπόμνημα ενός χάρτη. (http://support.esri.com) Είναι, δηλαδή, οι οντότητες του πραγματικού κόσμου χωρισμένες σε κατηγορίες. Τέτοιες οντότητες μπορεί να είναι το οδικό δίκτυο, οι δασικές εκτάσεις, οι πόλεις, τα πετρώματα κ.ά.

Σε ένα ΣΓΠ το γήινο ανάγλυφο και τα χαρακτηριστικά του, είτε αυτά είναι φυσικά είτε ανθρωπογενή, συχνά παρουσιάζονται με την επίθεση θεματικών επιπέδων το ένα πάνω στο άλλο. Για να τοποθετηθούν τα θεματικά επίπεδα ακριβώς στη θέση που πρέπει θα πρέπει να είναι όλα γεωαναφερμένα, να προβάλλονται, δηλαδή, σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς.

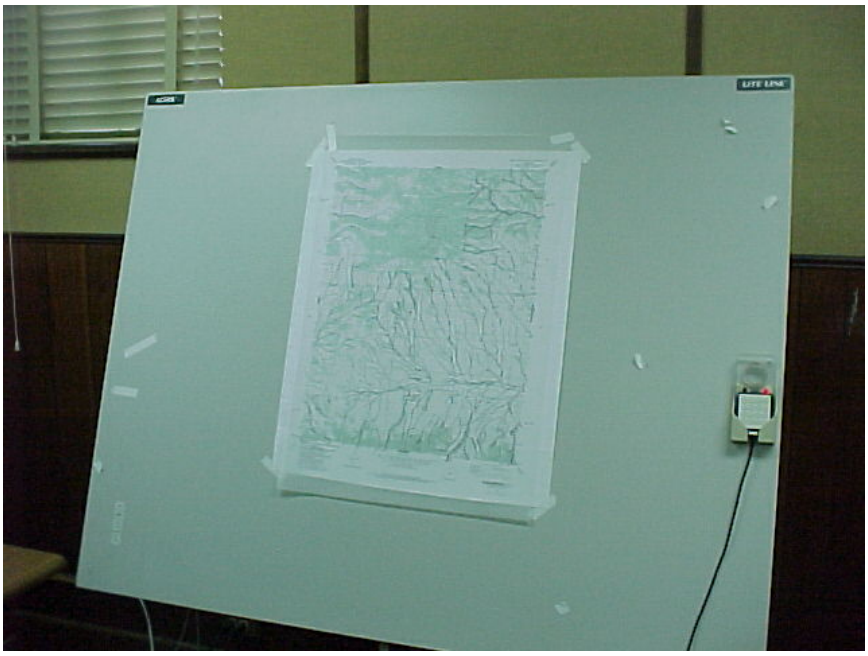
Εικόνα 2.4: Θεματικά επίπεδα ανάλυσης μίας περιοχής
Πηγή: www.uwlax.edu

2.4 Εισαγωγή δεδομένων

Για να μπορέσουμε να επεξεργαστούμε ορισμένα δεδομένα σε ένα ΣΓΠ θα πρέπει πρώτα να τα συλλέξουμε και να τα εισάγουμε στο σύστημα. Σήμερα υπάρχουν πολλοί τρόποι εισαγωγής δεδομένων στα ΣΓΠ πολλοί από τους οποίους είναι αυτοματοποιημένοι.

2.4.1 Ψηφιοποίηση

Ψηφιοποίηση είναι η μέθοδος μετατροπής αναλογικών δεδομένων ενός χάρτη σε ψηφιακά. Αρχικά, υπήρχαν οι πίνακες ψηφιοποίησης σαν αυτόν που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.5: Ψηφιοποιητής
Πηγή: ndis1.nrel.colostate.edu

Αυτοί οι πίνακες έχουν ένα πλέγμα από συντεταγμένες στο εσωτερικό τους το οποίο αναγνωρίζεται από τον υπολογιστή με τον οποίο είναι συνδεδεμένοι. Ψηφιοποιώντας, έτσι, τις οντότητες του χάρτη αποθηκεύεται και ένα ζεύγος συντεταγμένων. Εδώ, όμως, πρέπει να προσέξουμε οτι αυτές οι συντεταγμένες δεν αναφέρονται σε κάποιο γεωγραφικό σύστημα

συντεταγμένων αλλά σε ένα απλό καρτεσιανό σύστημα του πίνακα, το οποίο χρησιμοποιεί συντεταγμένες ψηφιοποιητή, που αφορά στήλες και γραμμές.

Τα τελευταία χρόνια αυτή η μέθοδος ψηφιοποίησης έχει αρχίσει να περιορίζεται. Οι ψηφιοποιήσεις γίνονται πλέον στην οθόνη του υπολογιστή χρησιμοποιώντας το συνηθισμένο ποντίκι. Αρκεί να σκανάρουμε τον χάρτη και να του ορίσουμε ένα σύστημα συντεταγμένων (γεωαναφορά). Έπειτα, η ψηφιοποίηση γίνεται επί της οθόνης.

2.4.2 Δεδομένα από GPS

Χρησιμοποιώντας το σύστημα GPS έχουμε τη δυνατότητα να συλλέξουμε δεδομένα όπως τις γεωγραφικές μας συντεταγμένες καθώς και το υψόμετρο στο οποίο βρισκόμαστε ανά πάσα στιγμή. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι να παίρνουμε σήμα από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους του συστήματος. Έτσι, καταχωρώντας την εκάστοτε θέση μας γινόμαστε οι ίδιοι ένα είδος ψηφιοποιητή (Korte G., 2001) καθώς τα δεδομένα που συλλέγουμε μπορούν αυτόματα να αποτελέσουν ένα θεματικό επίπεδο στο ΣΓΠ. Για παράδειγμα, έχοντας ανά χείρας ένα δέκτη GPS μπορούμε να «ψηφιοποιήσουμε» το οδικό δίκτυο μίας περιοχής την ώρα που περνάμε οδηγώντας από αυτό.

Εικόνα 2.6: Εισαγωγή δεδομένων σε ένα ΣΓΠ με τη χρήση GPS.
Πηγή: www.wayfarer.co.uk

2.4.3 Δορυφορικές εικόνες

Οι δορυφορικές εικόνες αποτελούν βασικό μέσο συλλογής δεδομένων σε ψηφιδωτή μορφή. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμες όταν πρόκειται για εργασίες που αφορούν χρήσεις γης, αστική ανάπτυξη και ότι έχει να κάνει με ανίχνευση διαφορών σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Οι εικόνες που μας παρέχουν οι δορυφόροι τηλεανίχνευσης, όπως ο γαλλικός SPOT και ο αμερικανικός LANDSAT, είναι γεωαναφερμένες σε ένα σύστημα αναφοράς, συνήθως το WGS 84. Έτσι, αν χρειαστεί να ψηφιοποιήσουμε ορισμένες οντότητες αυτές θα έχουν αυτόματα ένα σύστημα αναφοράς. Δύο είναι τα βασικότερα πλεονεκτήματα των δορυφορικών εικόνων: α) η παροχή εικόνων σε διάφορες κλίμακες και β) η παρουσίαση δυναμικών φαινομένων όπως για παράδειγμα η μετακινήσεις και ο σχηματισμός των νεφών.

Εικόνα 2.7: Η δορυφορική εικόνα ως πηγή δεδομένων

Πηγή: www.eomonline.com

2.5 Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους

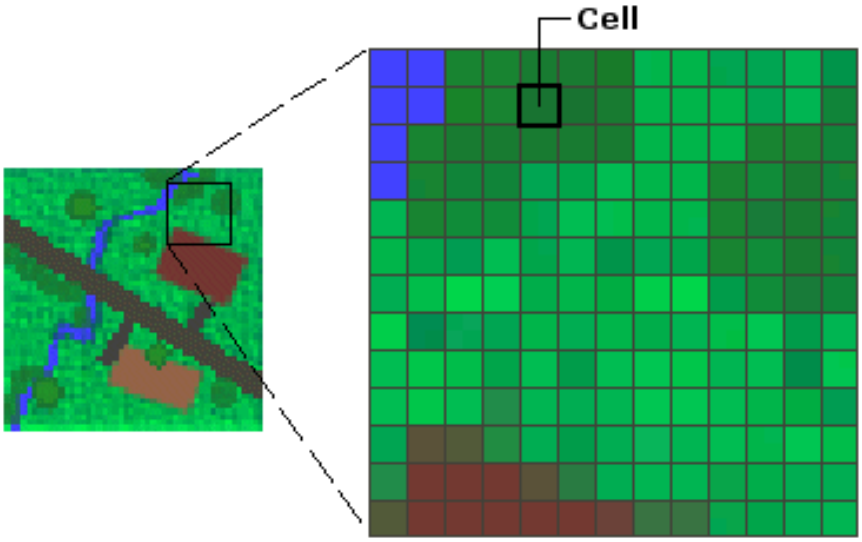
Μία αρκετά σημαντική και χρήσιμη εφαρμογή των ΣΓΠ είναι η αναπαράσταση συνεχών φαινομένων όπως είναι η θερμοκρασία, το ύψος βροχοπτώσεων και το ανάγλυφο της επιφάνειας της γης με τη χρήση ψηφιακών μοντέλων εδάφους (DTM – Digital Terrain Models). Εδώ σημειώνουμε ότι στην περίπτωση του αναγλύφου χρησιμοποιούμε τον πιο ειδικό όρο, DEM – Digital Elevation Model.

Γενικά, η αναπαράσταση της γήινης επιφάνειας γίνεται χρησιμοποιώντας δύο μοντέλα. Το διανυσματικό (vector) και το ψηφιδωτό (raster). Αποτελούν, ουσιαστικά, δύο διαφορετικούς τρόπους απεικόνισης των χωρικών δεδομένων κάθε ένας από τους οποίους παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. (Korte G., 2001) Στην περίπτωση των διανυσματικών δεδομένων έχουμε διακριτές οντότητες οι οποίες αναπαρίστανται με τους τρεις τρόπους που αναφέρθηκαν παραπάνω (σημεία, γραμμές πολύγωνα). Από την άλλη, το ψηφιδωτό μοντέλο βασίζεται στην αναπαράσταση των δεδομένων με τη βοήθεια ενός ενιαίου συνόλου το οποίο υποδιαιρείται σε επιμέρους τμήματα (συνήθως τετράγωνα) ίδιων διαστάσεων, τις ψηφίδες (pixels). (Στεφανάκης Ε, 2003)

Πρέπει να αναφέρουμε ότι για να είμαστε σε θέση να δημιουργήσουμε ψηφιακά μοντέλα αναπαράστασης του γήινου αναγλύφου είναι απαραίτητο να έχουμε εισάγει στο σύστημα τις υψομετρικές τιμές όσο το δυνατόν περισσότερων σημείων της περιοχής. Όσο πιο πολλές τιμές έχουμε στη διάθεσή μας, τόσο πιο κοντά στην πραγματικότητα θα είναι και το αποτέλεσμά μας. Αυτά τα δεδομένα συνήθως αποκτώνται μέσω αποτελεσμάτων τηλεανίχνευσης, από τοπογραφικούς χάρτες (π.χ. ισοϋψείς καμπύλες) ή από μετρήσεις πεδίου. Με βάση αυτές τις τιμές θα κατασκευαστεί το ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

2.5.1 Ψηφιδωτά μοντέλα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σε αυτή την περίπτωση τα δεδομένα μας αναπαρίστανται με τη χρήση των ψηφίδων. Έτσι, λοιπόν, το ανάγλυφο θα παρουσιάζεται, επίσης, με ψηφίδες. Κάθε ψηφίδα περιέχει μία και μοναδική υψομετρική τιμή η οποία είναι και η αντιπροσωπευτική τιμή για την περιοχή που αναπαριστά η ψηφίδα. Συνεπώς, το κατά πόσο ακριβής θα είναι η αναπαράσταση εξαρτάται από το μέγεθος της ψηφίδας και το πόσο έντονο είναι το ανάγλυφο στην περιοχή. Όσο πιο μικρή είναι η ψηφίδα και όσο πιο ομαλό είναι το ανάγλυφο, τόσο το αποτέλεσμά μας θα είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα.



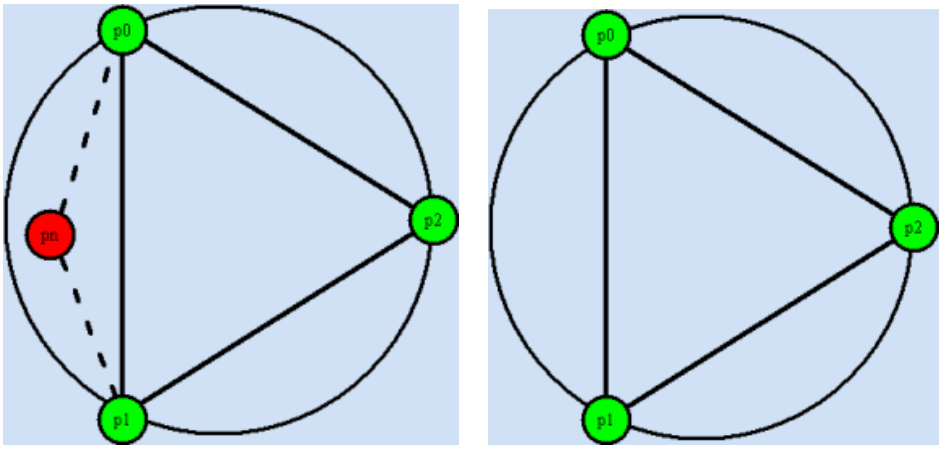
Εικόνα 2.8 Δεδομένα μορφής raster
Πηγή: webhelp.esri.com

Για παράδειγμα, αν θέλουμε να αναπαραστήσουμε το ανάγλυφο των Άλπεων θα πρέπει αναγκαστικά τα δεδομένα μας να αναπαρίστανται με όσο το δυνατόν μικρότερες ψηφίδες ώστε το αποτέλεσμα να είναι ακριβές. Με αυτό τον τρόπο θα έχουμε τη δυνατότητα να παρουσιάσουμε τις μεγάλες υψομετρικές διαφορές που παρατηρούνται στην περιοχή. Όταν το ανάγλυφο είναι πιο ομαλό, όπως για παράδειγμα στην Ολλανδία, μπορούμε να αναπαραστήσουμε την περιοχή με μεγαλύτερες ψηφίδες για να έχουμε τον ίδιο βαθμό ακρίβειας. Αυτό διότι στην Ολλανδία δεν έχουμε μεγάλες υψομετρικές διαφορές.

Σε περίπτωση που η περιοχή μελέτης περιέχει ένα ορεινό κομμάτι αλλά και ένα πεδινό, τα πράγματα περιπλέκονται και δημιουργούνται προβλήματα. Τί μέγεθος ψηφίδας πρέπει να χρησιμοποιηθεί; Σύμφωνα με τα παραπάνω, η ορεινή περιοχή απαιτεί μικρές ψηφίδες, ενώ η πεδινή για τον ίδιο βαθμό ακρίβειας χρειάζεται μεγαλύτερες. Αν χρησιμοποιήσουμε μικρές ψηφίδες θα δημιουργήσουμε μεγάλο όγκο δεδομένων χωρίς λόγο και κατά συνέπεια μεγάλα αρχεία τα οποία θα είναι και δύσκαμπτα με την έννοια ότι θα χρειάζονται μεγαλύτερους χρόνους επεξεργασίας και χώρους αποθήκευσης. Από την άλλη μεριά, αν επιλέξουμε μεγάλες ψηφίδες θα χάσουμε μεγάλο όγκο πληροφορίας από το ορεινό κομμάτι. Σε τέτοιες περιπτώσεις πρέπει να συμβιβαστούμε με μία από τις δύο επιλογές ανάλογα με το σκοπό της εκάστοτε εργασίας ή επιλέξουμε ένα ενδιάμεσο μέγεθος ψηφίδας.

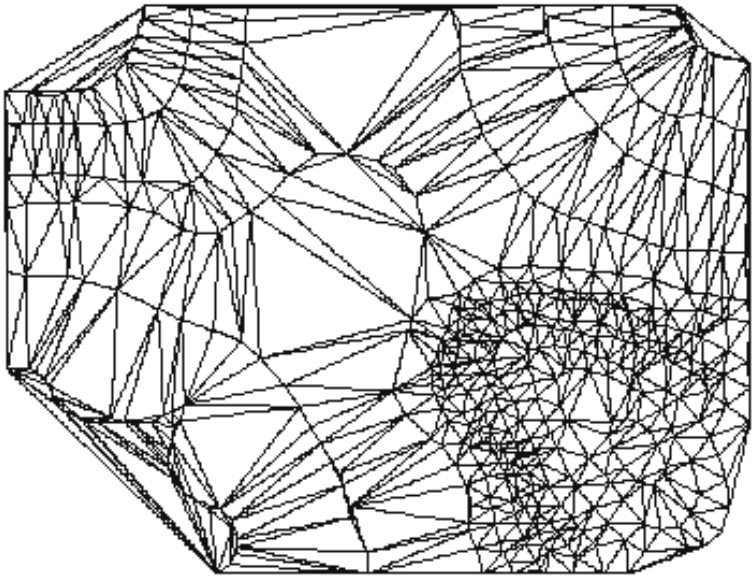
2.5.2 Διανυσματικά μοντέλα

Μία πιο περίπλοκη και πιο εξειδικευμένη αναπαράσταση του αναγλύφου γίνεται με τη χρήση διανυσματικών μοντέλων. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται ένα ειδικό μοντέλο, το μοντέλο ακανόνιστων τριγώνων (TIN – Triangulated Irregular Model). Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, κατασκευάζονται τρίγωνα τα οποία απεικονίζουν την κλίση και τον προσανατολισμό της επιφάνειας της γης. Ο υπολογισμός των τριγώνων αυτών βασίζεται στη συνθήκη του Delaunay. Σύμφωνα με τη συνθήκη αυτή οι κορυφές των τριγώνων αποτελούν τα σημεία των οποίων έχουμε την υψομετρική τιμή. Τα τρίγωνα σχηματίζονται έτσι, ώστε ο περιγεγραμμένος κύκλος (ο κύκλος που περνάει και από τις τρεις κορυφές του τριγώνου) του κάθε τριγώνου να μην εσωκλείει άλλο σημείο. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε έναν λανθασμένο σχηματισμό τριγώνου στην πρώτη περίπτωση και έναν σωστό στη δεύτερη.



Εικόνα 2.9: Η συνθήκη Delaunay
Πηγή: www.partow.net

Ενώνοντας, λοιπόν, όλα τα σημεία μεταξύ τους σχηματίζοντας τέτοια τρίγωνα παίρνουμε σαν αποτέλεσμα την αναπαράσταση του γήινου αναγλύφου με πολλά και διαφόρων διαστάσεων τρίγωνα.



Εικόνα 2.10: Το μοντέλο ακανόνιστων τριγώνων (TIN)
Πηγή: www.geog.buffalo.edu

Παρατηρώντας την παραπάνω εικόνα, βλέπουμε ότι το δίκτυο είναι πιο πυκνό στην νοτιοανατολική πλευρά της περιοχής (αν υποθέσουμε ότι ο βορράς είναι προς τα πάνω). Αυτό σημαίνει ότι έχουμε περισσότερα σημεία. Έχοντας υπόψιν ότι για να αναπαρασταθούν οι ορεινές περιοχές με μεγαλύτερη

ακρίβεια χρειαζόμαστε περισσότερες υψομετρικές τιμές μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η περιοχή είναι ορεινή. Το κυριότερο πλεονέκτημα του TIN είναι ότι το μόνο που χρειάζεται να αποθηκευτεί, ουσιαστικά, είναι τα σημεία τα οποία χρησιμοποιούνται. (Heywood I., Cornelius S., Carver S., 2002)

Το διανυσματικό και το ψηφιδωτό μοντέλο παρουσιάζουν ορισμένες διαφορές. Δυστυχώς, δεν μπορούμε να έχουμε ένα τέλειο μοντέλο από όλες τις προοπτικές. Έτσι, αναγκαζόμαστε να συμβιβαστούμε με τη χρήση ενός μοντέλου, αυτού που καλύπτει καλύτερα, αλλά όχι πάντα τέλεια, τις ανάγκες της εργασίας μας. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται τα πλεονεκτήματα καθώς και τα μειονεκτήματα κάθε μοντέλου αναγλύφου.

Μοντέλο	**Πλεονεκτήματα**	**Μειονεκτήματα**
Ψηφιδωτά	▪ Απλή δομή δεδομένων ▪ Συμβατά με δεδομένα τηλεπισκόπησης ▪ Απλές διαδικασίες χωρικής ανάλυσης	· Μεγάλος όγκος δεδομένων · Το σχήμα των οντοτήτων δεν αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα · Μεγαλύτερη δυσκολία στη μετατροπή συστημάτων συντεταγμένων · Δυσκολία στην αναπαράσταση τοπολογικών σχέσεων
Διανυσματικά	▪ Μικρότερος όγκος δεδομένων ▪ Υιοθέτηση τοπολογικών σχέσεων ▪ Το σχήμα των οντοτήτων είναι κοντά στην πραγματικότητα	· Σύνθετη δομή δεδομένων · Λιγότερο συμβατά με δεδομένα τηλεπισκόπησης · Ακριβότερα λογισμικά πακέτα · Πιο περίπλοκες διαδικασίες χωρικής ανάλυσης · Η σύνθεση δεδομένων είναι πολύ πιο περίπλοκη

uwadmnweb.uwyo.edu

2.5.3 Πηγές δεδομένων για τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους

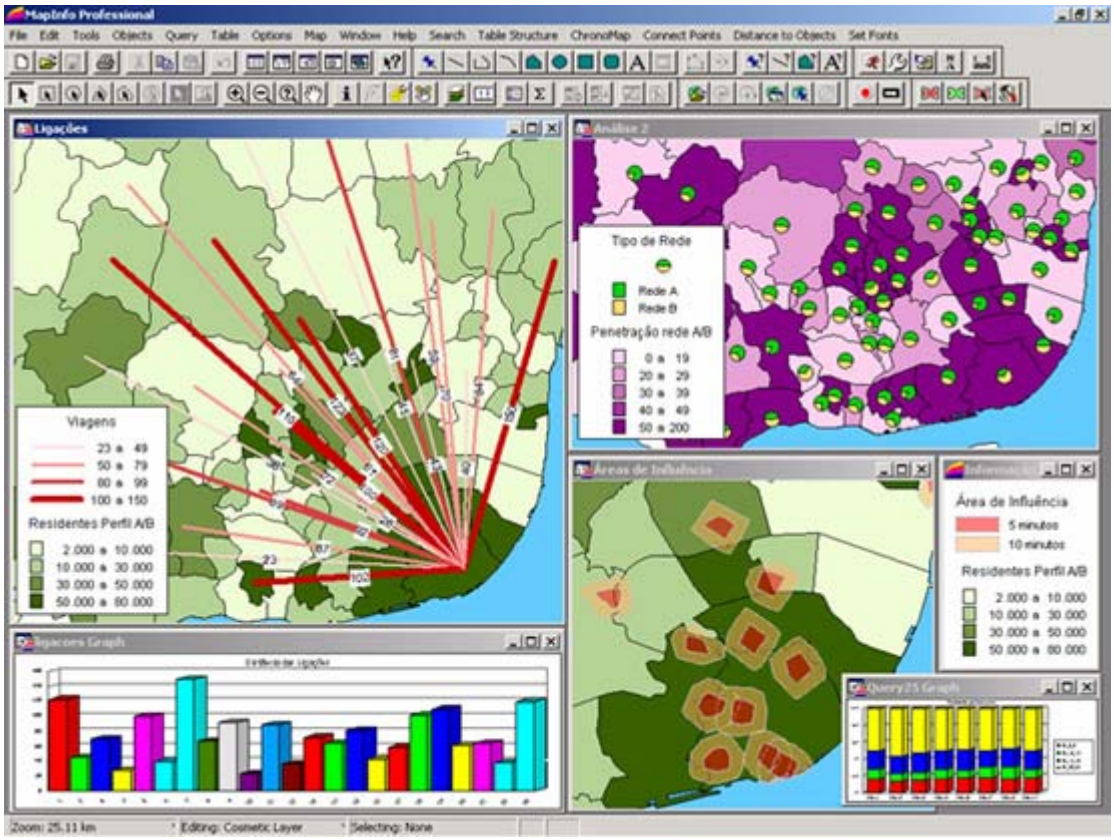
Τις πιο συνήθεις πηγές δεδομένων για την κατασκευή ΨΜΕ είναι οι ισοϋψείς καμπύλες και τα υψομετρικά σημεία των τοπογραφικών χαρτών. Τα παραπάνω δεδομένα μπορεί να υπάρχουν ήδη σε ψηφιακή μορφή. Αλλιώς θα πρέπει να εισαχθούν στο σύστημα με ψηφιοποίηση. Υψομετρικά δεδομένα μπορούμε να συλλέξουμε και με τη χρήση στερεοζεύγων αεροφωτογραφιών ή δορυφορικών εικόνων. Ζεύγη, δηλαδή, εικόνων οι οποίες έχουν ληφθεί υπό διαφορετικές γωνίες. Το GPS αποτελεί, επίσης, ένα καλό μέσο απόκτησης δεδομένων για αυτό το σκοπό καθώς εκτός από τη θέση μας, μας παρέχει πληροφορία για το υψόμετρο στο οποίο βρισκόμαστε. Κάθε μία από αυτές τις μεθόδους έχει διαφορετική επίδραση στην ακρίβεια του αποτελέσματος όπως φαίνεται και παρακάτω.

Πηγή δεδομένων	**Ακρίβεια ΨΜΕ**
Τοπογραφικοί χάρτες	Χαμηλή – Μέτρια
Αεροφωτογραφίες	Υψηλή
Δορυφορικές εικόνες	Μέτρια
GPS	Υψηλή

(Heywood I., Cornelius S., Carver S., 2002)

2.6 Έξοδος – Παρουσίαση

Με τα ΣΓΠ έχουμε τη δυνατότητα να επεξεργαστούμε και να εκτελέσουμε ποικίλες εφαρμογές σε γεωγραφικά δεδομένα. Τα αποτελέσματα των παραπάνω, όμως, πρέπει να παρουσιαστούν με κάποιο τρόπο ώστε η πληροφορία που προκύπτει από αυτά να χρησιμοποιηθεί για ενημέρωση και για λήψη ορισμένων αποφάσεων. Είναι απαραίτητο, συνεπώς, να υπάρχει κάποια απόδοση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων όπως για παράδειγμα με τη χρήση χαρτών, γραφημάτων και στατιστικών πινάκων. Όπως θα δούμε παρακάτω, υπάρχουν διάφοροι τρόποι παρουσίασης των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 2.11: Μορφές εξαγωγής δεδομένων σε ένα ΣΓΠ

Πηγή: www.novabase.pt

2.6.1 Κλασσική χαρτογραφική απόδοση

Οι χάρτες αποτελούν τον πιο δημοφιλή τρόπο παρουσίασης τόσο ποσοτικών, όσο και ποιοτικών δεδομένων. Μέσω των ΣΓΠ ένας χαρτογράφος έχει τη δυνατότητα να μετατρέψει τα γεωγραφικά δεδομένα, τα οποία είναι σε ψηφιακή μορφή, σε έναν εύχρηστο και ευανάγνωστο χάρτη. Είναι πολύ σημαντικό ένας χάρτης να είναι κατανοητός από τον αναγνώστη. Αυτό επιτυγχάνεται με τη σωστή επιλογή χρωμάτων, γραμματοσειρών, σχημάτων κλπ.

Ανεξάρτητα από τη μέθοδο που ακολουθείται για την κατασκευή ενός χάρτη, αυτός αποτελεί ένα μέσο οπτικής επικοινωνίας και μάλιστα μονόδρομης. (Bernhardsen T., 2002) Η πληροφορία, δηλαδή, μεταφέρεται αποκλειστικά από το δημιουργό στο χρήστη/ αναγνώστη. Από τη στιγμή, λοιπόν, που ο αναγνώστης δεν έχει τη δυνατότητα να υποβάλλει ερωτήματα για

διευκρινίσεις οι χάρτες οφείλουν να είναι όσο το δυνατόν πιο κατανοητοί και ευκρινείς.

2.6.2 Μη χαρτογραφικές αποδόσεις

Οι χάρτες αποτελούν ανδιαμφισβήτητα τον πιο διαδεδομένο τρόπο εξαγωγής πληροφορίας. Δεν μπορούμε, όμως, να μην αναφέρουμε ότι τα γεωγραφικά δεδομένα μπορούν να αναπαρασταθούν και με τη χρήση πινάκων και γραφημάτων. Πολλές φορές είναι ευκολότερο να παρουσιάσουμε ορισμένα ποσοτικά χαρακτηριστικά μέσω ενός διαγράμματος.

Ένας άλλος τρόπος αναπαράστασης χωρικών δεδομένων είναι μέσω των πολυμέσων. Με αυτό τον τρόπο γίνεται ένας συνδυασμός εικόνας, κειμένου, φωνής και βίντεο με σκοπό την καλύτερη επεξήγηση και κατανόηση του αποτελέσματος. Η εφαρμογή πολυμέσων είναι πολύ χρήσιμη, ειδικά όταν παρουσιάζεται ένα μέρος το οποίο δεν έχουμε επισκευτεί ποτέ. (Heywood I., Cornelius S., Carver S., 2002)

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε έναν πιθανό τρόπο αναπαράστασης του χώρου μέσα σε ένα δωμάτιο πολυμέσων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η εικόνα και ο ήχος μας βοηθούν να να αντιληφθούμε πως θα ήταν να βρισκόμασταν σε έναν δρόμο της Νέας Υόρκης.

2.7 Ποιότητα δεδομένων

Η βέλτιστη ποιότητα των αποτελεσμάτων ενός ΣΓΠ αποτελεί επιθυμία κάθε χρήστη. Οποιοσδήποτε θα προτιμούσε ένα καλό αποτέλεσμα από ένα κακό ή ακόμα και μέρτιο. Πού πρέπει να ανατρέξουμε, όμως, και τί ενέργειες πρέπει να κάνουμε ώστε να εξασφαλίσουμε ποιοτικά αποτελέσματα; Όπως έχει γίνει κατανοητό από τα παραπάνω, το βασικό δομικό στοιχείο που χρησιμοποιούμε είναι τα αρχικά γεωγραφικά δεδομένα μου συλλέγονται με διάφορους τρόπους. Ανάλογα με την ποιότητα αυτών των δεδομένων, θα έχουμε και το

αντίστοιχο αποτέλεσμα. Το κατά πόσο είναι σωστά τα δεδομένα που συλλέγουμε μπορούμε να το κρίνουμε εξετάζοντας τις παραμέτρους που αναφέρονται παρακάτω. (Jones C., 1997)

2.7.1 Ορθότητα

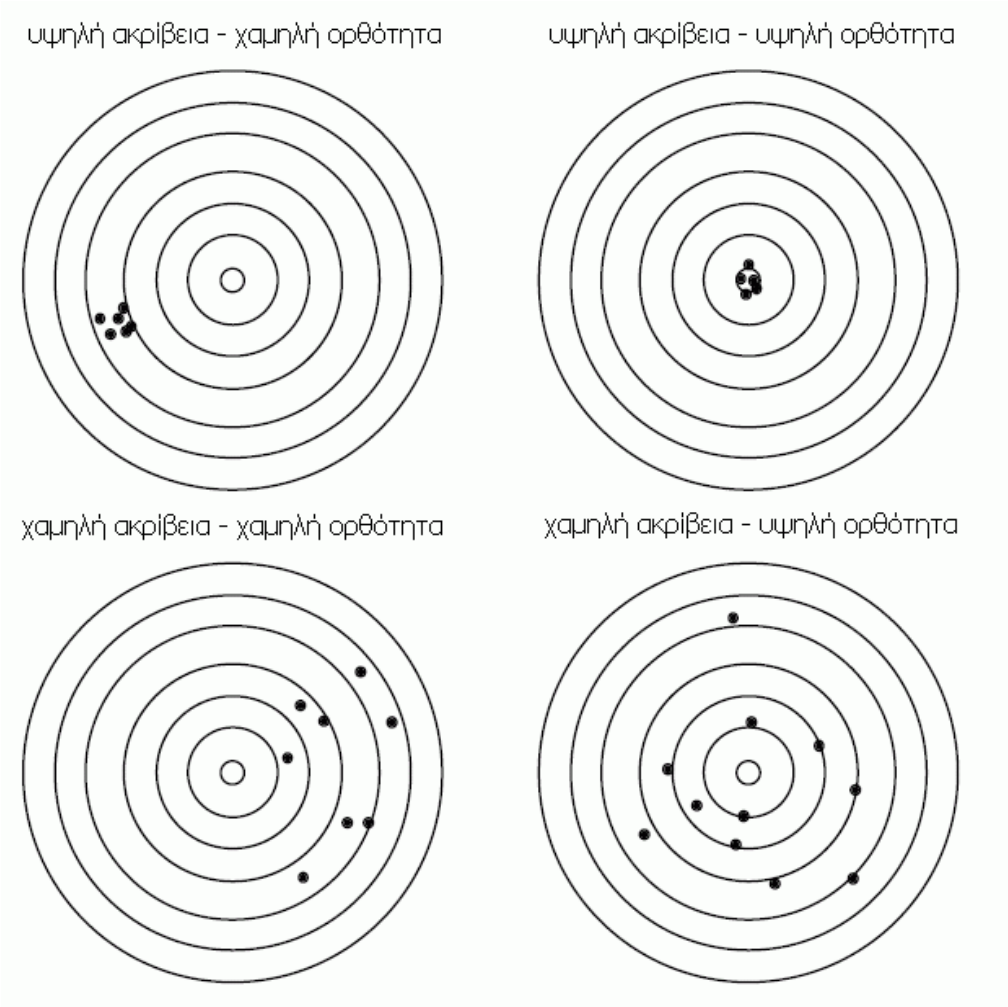
Πολλές φορές η συλλογή των δεδομένων μας επηρεάζεται έτσι, που αυτά δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Ο όρος ορθότητα (accuracy) αφορά το πόσο μεγάλη είναι η διαφορά μεταξύ των καταγεγραμένων και των πραγματικών τιμών των δεδομένων. Κατά πόσο, δηλαδή, οι μετρήσεις μας ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Για παράδειγμα, όταν συλλέγουμε δεδομένα σχετικά με τη γεωγραφική θέση μίας οντότητας, οι μετρήσεις μας θα είναι ορθές όταν οι τιμές των συντεταγμένων που μετρήσαμε συμπίπτουν με τις πραγματικές συντεταγμένες της.

2.7.2 Ακρίβεια

Η ακρίβεια (precision) μας δείχνει πόσο λεπτομερής είναι μία μέτρηση. Ένα παράδειγμα ακρίβειας είναι ο αριθμός των δεκαδικών ψηφίων ενός αριθμού. Όσο περισσότερα δεκαδικά ψηφία έχουμε, τόσο πιο ακριβής είναι η μέτρησή μας.

Η αλήθεια είναι ότι είναι δύσκολο και πολλές φορές χρονοβόρο και κοστίζει αρκετά να έχουμε δεδομένα τα οποία να είναι πολύ ακριβή. Γι’ αυτό το λόγο, συνήθως, ακριβή δεδομένα έχουμε όταν είναι απαραίτητο όπως για παράδειγμα όταν γίνεται κατασκευή σημαντικών έργων. (Χαλκιάς Χ., 2004)

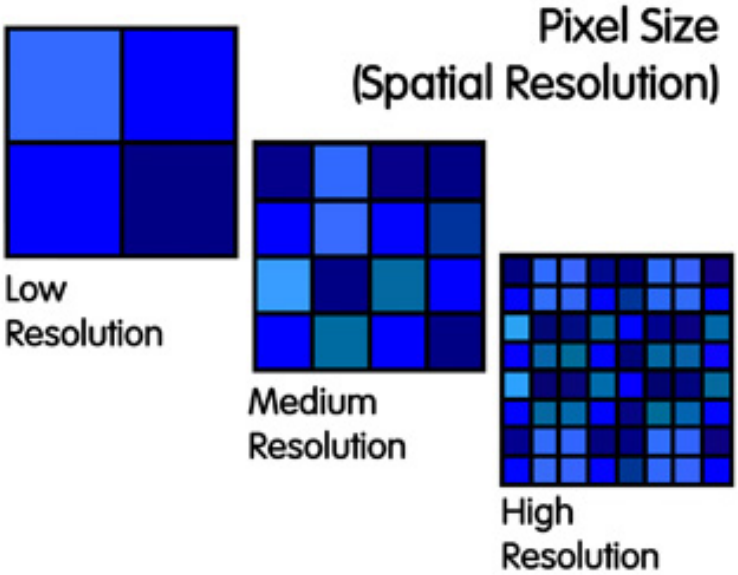
Η ακρίβεια δεν επηρεάζει την ορθότητα, ούτε το αντίθετο. Είναι δύο ανεξάρτητα χαρακτηριστικά της ποιότητας των δεδομένων. Το ιδανικό θα ήταν τα δεδομένα μας να ήταν και ορθά και ακριβή αλλά αυτό συνήθως δεν είναι εφικτό. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται περιπτώσεις υψηλών και χαμηλών τιμών ακρίβειας και ορθότητας των δεδομένων.



Εικόνα 2.12: Ακρίβεια και προσιτότητα
Πηγή: ee.sharif.edu

2.7.3 Διακριτική ικανότητα

Η χωρική ανάλυση παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο στην ποιότητα των δεδομένων. Το μέγεθος ενός εικονοστοιχείου (pixel) ορίζει το ελάχιστο εμβαδό που μπορεί να απεικονιστεί με αυτό. Έτσι, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος της ψηφίδας, τόσο οι απεικονίσεις θα είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα καθώς θα διακρίνονται και οι μικρότερες οντότητες. Αυτό, όμως, εξαρτάται και από την ικανότητα του ανθρώπου να βλέπει λεπτομέρειες σε ένα χάρτη. Το ανθρώπινο μάτι δεν μπορεί να ξεχωρίσει τα pixel αν το μήκος της πλευράς τους είναι μικρότερα από κάποιο όριο. Δεν έχει σημασία, λοιπόν, αν το μέγεθος της ψηφίδας είναι μικρότερο από αυτό το όριο καθώς δεν θα γίνει αντιληπτό.



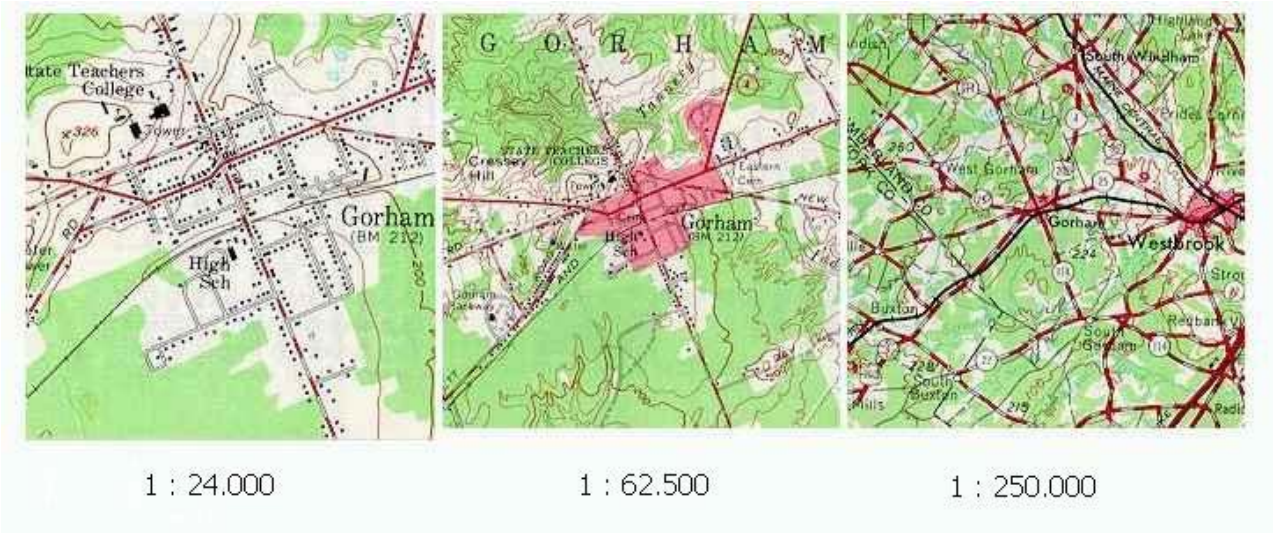
Εικόνα 2.13: Επίπεδα διακριτικής ικανότητας

Πηγή: pubs.caes.uga.edu

Συμπεραίνουμε, συνεπώς, ότι το μέγεθος των pixel επηρεάζει την ποιότητα των δεδομένων προς παρουσίαση.

2.7.4 Κλίμακα

Οι χάρτες, και γενικά τα αποτελέσματα ενός ΣΓΠ, παρουσιάζονται υπο κλίμακα. Η ποιότητα των δεδομένων και το κατά πόσο εκπροσωπούν την πραγματικότητα εξαρτάται από τη κλίμακα απεικόνισής τους κυρίως όσον αφορά τις διαστάσεις τους. Όταν, για παράδειγμα, έχουμε έναν χάρτη με κλίμακα 1:10.000, μία γραμμική οντότητα πάχους 0.5mm στην πραγματικότητα θα έχει πάχος 5m. Αυτό, όμως, δεν ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις. Δεδομένου ότι δεν μπορούμε εύκολα να χαράξουμε λεπτότερες γραμμές δεν έχουμε τη δυνατότητα να αναπαραστήσουμε σωστά σε αυτή την κλίμακα οντότητες που στην πραγματικότητα έχουν πάχος μικρότερο από 5m (π.χ. καλώδια ηλεκτροδότησης). Επηρεάζεται, συνεπώς, η ποιότητα των δεδομένων μας.



Εικόνα 2.14: Η περιοχή Gorham σε τρεις κλίμακες
Πηγή: rockyweb.cr.usgs.gov

2.8 Εφαρμογές ΣΓΠ

Τα ταλευταία χρόνια τα ΣΓΠ έχουν ολοένα και περισσότερες εφαρμογές. Είναι δύσκολο να βρούμε μία εφαρμογή στην οποία δεν θα μπορούσαν να ενσωματωθούν τα ΣΓΠ καθώς οι απεικονίσεις φαινομένων στο χώρο και η επεξεργασία τους αποτελούν σημαντικό κομμάτι σχεδόν σε κάθε εφαρμογή.

2.8.1 Γεωλογία

Τα ΣΓΠ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για γεωλογικές εφαρμογές καθώς βοηθούν στην ενοποίηση γεωλογικών δεδομένων τα οποία μπορεί να προέρχονται από διάφορες πηγές όπως χάρτες, γεωφυσικές και γεωχημικές έρευνες. Η πραγματική συνεισφορά των ΣΓΠ σε αυτό τον τομέα φάνηκε όταν ενσωματώθηκαν εργαλεία αναπαράστασης και οπτικοποίησης τριών διαστάσεων. Ένα παράδειγμα εφαρμογής των ΣΓΠ είναι η αναζήτηση πετρελαίου λαμβάνοντας υπ' όψιν τα είδη των πετρωμάτων μιας περιοχής.

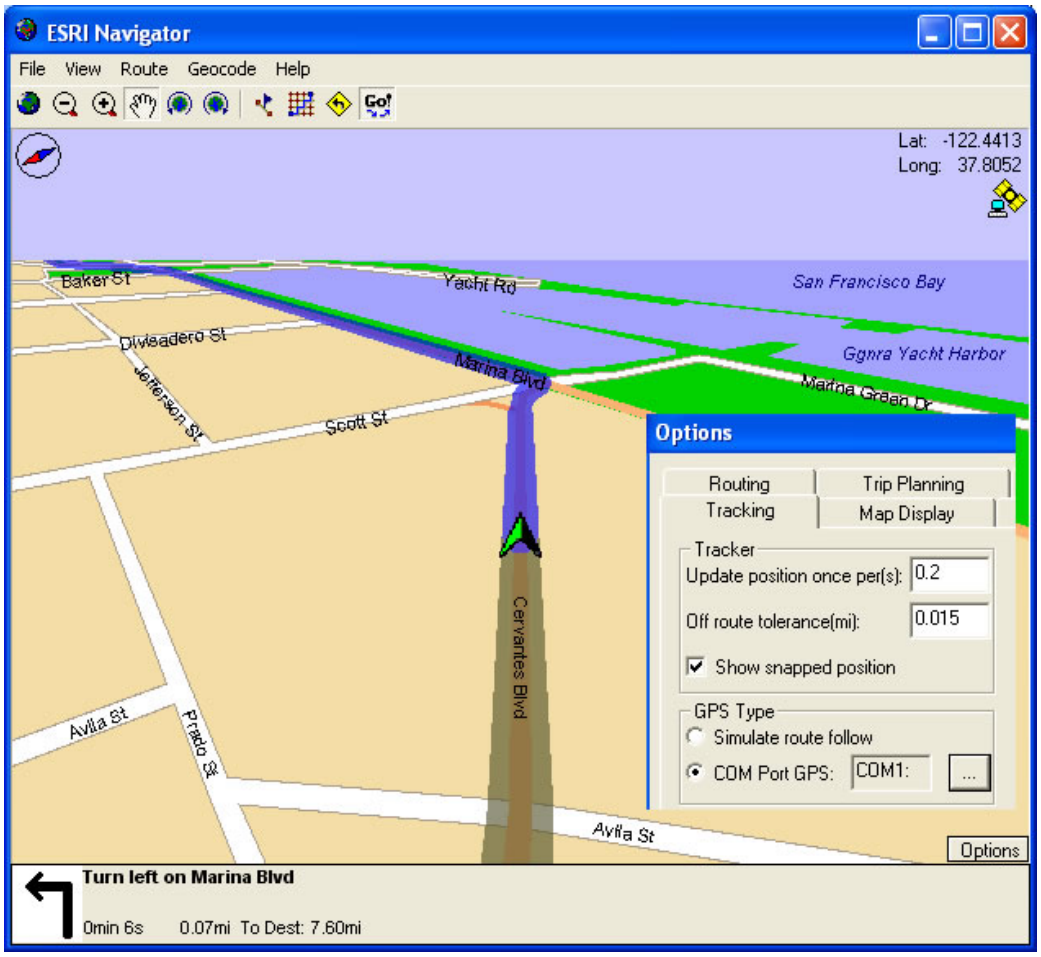
2.8.2 Αρχαιολογία

Τα ΣΓΠ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αρχαιολογικές εφαρμογές καθώς μέσω αυτών έχουμε τη δυνατότητα να αναπαραστήσουμε μία περιοχή όπως ήταν τότε και να την «επισκεφτούμε» με τη χρήση της εικονικής πραγματικότητας. Πολύ χρήσιμα είναι, επίσης, για την κατασκευή χαρτών με τα ιστορικά μνημεία μιας περιοχής. Βασική προϋπόθεση, όμως, είναι να έχουμε στη διάθεσή μας τα ανάλογα δεδομένα.

2.8.3 Πλοήγηση

Όταν απαιτείται η χρήση γεωγραφικών δεδομένων για την πλοήγησή μας, τότε τα ΣΓΠ και η χαρτογραφία είναι πολύ χρήσιμα εργαλεία. Έχοντας στη διάθεσή μας μία βάση γεωγραφικών δεδομένων μπορούμε να δημιουργήσουμε χάρτες διαμορφωμένους έτσι, ώστε να καλύπτουν τις εκάστοτε ανάγκες μας. Οι απαιτήσεις μας όσον αφορά τις διαδρομές και την κλίμακα, για παράδειγμα, μπορεί να μην είναι πάντα οι ίδιες. Ένα ΣΓΠ μπορεί να μας υποδείξει τη γρηγορότερη διαδρομή από ένα σημείο σε ένα άλλο. Επίσης, μπορεί να μας υποδείξει ποια διαδρομή πρέπει να ακολουθήσουμε ώστε να φτάσουμε στον προορισμό μας περνώντας ή αποφεύγοντας να περάσουμε από ένα συγκεκριμένο σημείο. Αυτού του είδους οι εφαρμογές είναι πολύ χρήσιμες για την πλοήγηση οχημάτων.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το λογισμικό που διατίθεται από την ESRI για εφαρμογές πλοήγησης, ένα από τα πολλά λογισμικά που κυκλοφορούν. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα παρουσιάζεται το στίγμα ενός αυτοκινήτου που κυκλοφορεί στους δρόμους του Σαν Φρανσίσκο.



Εικόνα 2.15: Σύστημα πλοήγησης της ESRI

Πηγή: www.esri.com

2.9 Τα ΣΓΠ στο μέλλον

Τα ΣΓΠ εξελίσσονται συνεχώς με το πέρασμα του χρόνου με αποτέλεσμα να έχουν ολοένα και περισσότερες εφαρμογές. Η εξέλιξή τους είναι συνδεδεμένη και εξαρτάται από την εξέλιξη των επιμέρους τμημάτων τους, πιο συγκεκριμένα, του υλικού, του λογισμικού και της μορφής των δεδομένων.

2.9.1 Υλικό

Όλοι γνωρίζουμε ότι η τεχνολογία μας προσφέρει συνεχώς καινούργια και με περισσότερες δυνατότητες μηχανήματα. Οι δυνατότητες αποθήκευσης μεγάλων όγκων δεδομένων και κατά συνέπεια η διαχείριση μεγάλων βάσεων

δεδομένων αυξάνονται συνεχώς. Επίσης, τα τελευταία χρόνια γίνεται εκτεταμένη χρήση δικτύων. Πολλοί υπολογιστές, δηλαδή, ανά τον κόσμο επικοινωνούν μεταξύ τους και ανταλλάσσουν πληροφορίες και δεδομένα. Οι προβλέψεις για το μέλλον είναι οι παρακάτω:

- Εύκολη πρόσβαση σε εμπορικά πακέτα ΣΓΠ τα οποία θα παρέχουν και βοήθεια σε όλο και περισσότερα θέματα μέσω διαδικτύου.
- Η συλλογή δεδομένων θα γίνεται συνεχώς ευκολότερη καθώς η εξέλιξη των μικροϋπολογιστών είναι και θα είναι ραγδαία.
- Δυνατότητα «συνεργασίας» συσκευών τηλεπικοινωνίας (π.χ. κινητά τηλέφωνα) με ΣΓΠ με αποτέλεσμα τη χρήση τους από περισσότερους χρήστες. (Κουτσόπουλος, 2005)

2.9.2 Λογισμικό

Υπάρχουν πολλά λογισμικά πακέτα ΣΓΠ τα οποία με τη σειρά τους εξελίσσονται και γίνονται ολοένα και πιο εύχρηστα. Περισσότεροι χρήστες θα είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν ένα τέτοιο πακέτο έχοντας μόνο βασικές γνώσεις. Επίσης, η χρήση εξελιγμένων βάσεων δεδομένων καθώς και των πολυμέσων (Κουτσόπουλος, 2005) θα βοηθήσουν στην ευκολότερη διαχείριση των δεδομένων και στην καλύτερη παρουσίαση πληροφοριών.

Οι τελευταίες εξελίξεις στον τομέα των ΣΓΠ είναι ότι υπάρχει πλέον η δυνατότητα δημοσιοποίησης και χρήσης γεωγραφικών δεδομένων μέσω του διαδικτύου. Με τη χρήση των Web GIS είμαστε σε θέση να διαχειριστούμε χωρικά δεδομένα μέσω διαδικτύου καθώς και να κάνουμε ορισμένες απλές εφαρμογές.

2.9.2 Δεδομένα

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερα γεωγραφικά δεδομένα είναι διαθέσιμα σε ψηφιακή μορφή. Αυτό θα διευρύνει τη χρήση των ΣΓΠ,

χαμηλώνοντας το κόστος προσπέλασης και διαχείρισης των δεδομένων. Πλέον όλες οι εταιρείες και οι οργανισμοί παροχής γεωγραφικών δεδομένων προμηθεύουν τα δεδομένα σε ψηφιακή μορφή. (Star J., Estes J 1990) Με αυτόν τον τρόπο, όσο περισσότερα δεδομένα παρέχονται σε ψηφιακή μορφή τόσο δεν θα είναι απαραίτητο να ανατρέχουμε σε χάρτες και γενικά σε αναλογικές πηγές δεδομένων.

Συνοψίζοντας όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα Συστήματα Γεωγραφικών πληροφοριών είναι χρήσιμα σε πολλές εφαρμογές και στο ότι έχουν αναρίθμητες δυνατότητες επεξεργασίας γεωγραφικών δεδομένων. Στα επόμενα κεφάλαια θα παρουσιαστούν οι δυνατότητες και η χρήση των τεχνολογιών Συστημάτων Γεωγραφικών πληροφοριών και του Συστήματος Παγκοσμίου Εντοπισμού θέσης σε σχέση με την καταγραφή του οδικού δικτύου της Πάρου.

3. Μελέτη περίπτωσης: χαρτογράφηση και ανάλυση του οδικού δικτύου της Πάρου

3.1 Ιστορικά στοιχεία

Η Πάρος πρωτοκατοικήθηκε από τους Κρητικούς, τους Αρκάδες και αργότερα, τον 8^{ο} αιώνα προ Χριστού, από τους Ίωνες. Το νησί γνώρισε μεγάλη άνθιση όσο κατοικούταν από τους Ίωνες καθώς αποτελούσε το πλουσιότερο νησί των Κυκλάδων μέχρι και τον 6^{ο} αιώνα π.Χ. Κατά την πρώτη εκστρατεία των Περσών η Πάρος συμμάχησε με τους Πέρσες. Το 378 π.Χ. ανήκε στην Αθηναϊκή συμμαχία ενώ από το 338 π.Χ. αποτελούσε διαδοχικά κτήση των Μακεδόνων, των Πτολεμαίων και των Ρωμαίων. Μετά τη διαίρεση της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας και μέχρι το 1207 ανήκε στο ανατολικό κομμάτι, τη Βυζαντινή αυτοκρατορία. Αφού περιήλθε τότε στο δουκάτο της Νάξου και σε διάφορους οίκους, κατέληξε να αποτελεί το 1537 κτήση του γνωστού πειρατή Χαϊρεδδίν Βαρβαρόσα. Αφού αποτέλεσε καταφύγιο για πολλούς πειρατές, κατέληξε το 17^{ο} αιώνα να κατοικείται αποκλειστικά από πειρατές. Έπειτα, η Πάρος έγινε στόχος των Τούρκων καθώς έκαναν επιδρομές με πρόσχημα την εκδίωξη των πειρατών. Καταστροφή του νησιού σημειώθηκε το 1677 όταν οι Τούρκοι κατέπλευσαν στη Νάουσα για να εκδιώξουν τους Φράγκους πειρατές. Τη χειρότερη καταστροφή, όμως, την έζησε κατά τους Τουρκοβενετικούς πολέμους. Τέλος συμμετείχε στην επανάσταση του 1821. Παρόλα αυτά, λεηλατήθηκε ταυτοχρόνως από Κρητικούς πειρατές.

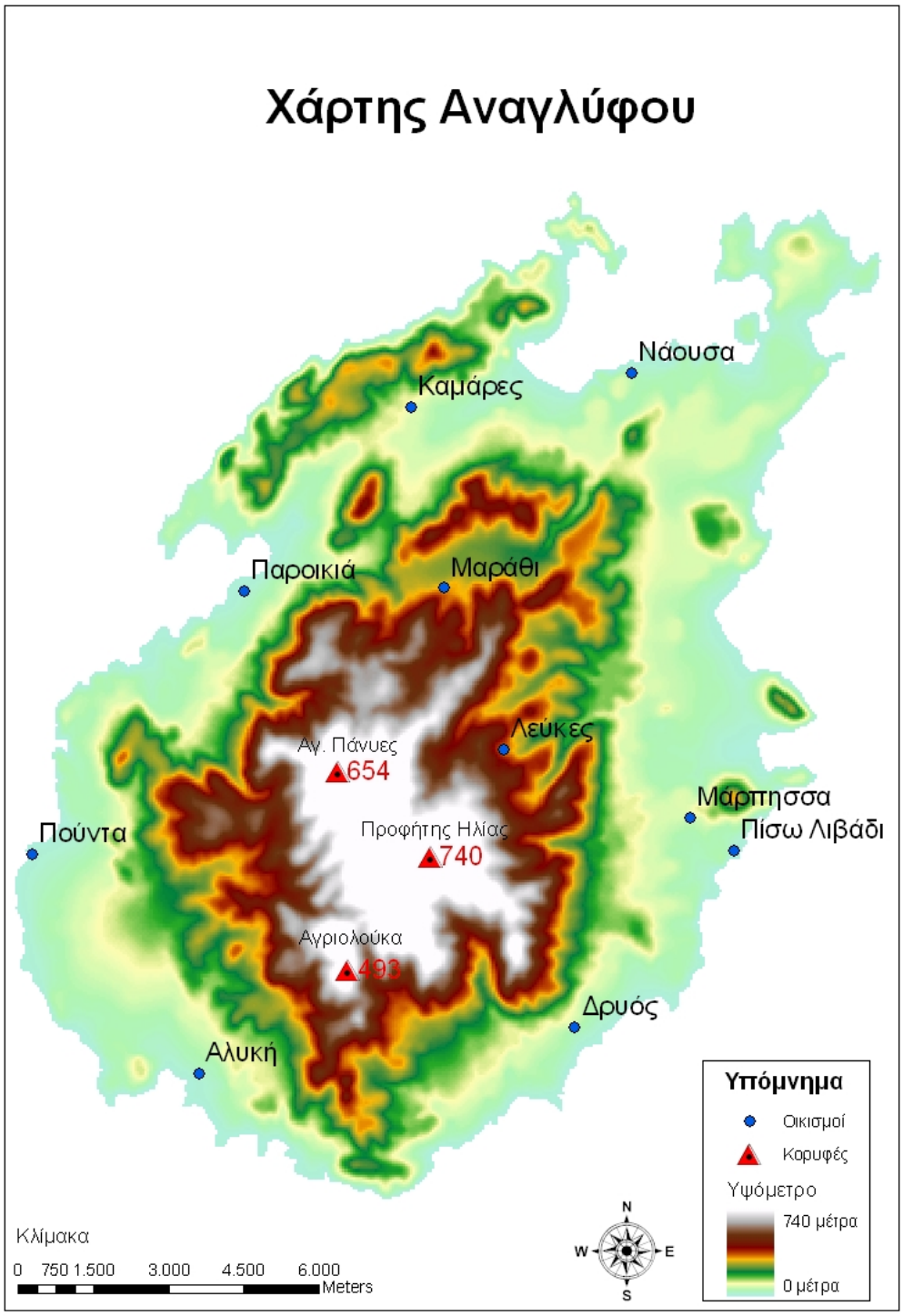
Η Πάρος είναι ξακουστή για την εξόρυξη μαρμάρου. Πρόκειται για ένα είδος χιονόλευκου μαρμάρου από το οποίο κατασκευάστηκαν σπουδαία αριστουργήματα της κλασσικής εποχής όπως αυτό του Ερμή του Πραξιτέλους και της Αφροδίτης της Μήλου, της πρόσοψης του ναού των Δελφών. (Γενική Παγκόσμιος Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος – Λαρούς)

3.2 Φυσικά χαρακτηριστικά

Εξετάζοντας το χάρτη αναγλύφου της Πάρου μπορούμε να βγάλουμε ορισμένα συμπεράσματα σχετικά με το ανάγλυφο του νησιού, το μέγεθος, το σχήμα του κλπ.

Η Πάρος είναι ένα νησί που θα έλεγε κανείς ότι έχει σχετικά κυκλικό σχήμα. Η έκτασή του είναι 197,2 χμ² και το μήκος της ακτογραμμής του 118 χμ. Η ελάχιστη απόστασή του από την ενδοχώρα είναι 114 χμ, από το κοντινότερο νησί (Αντίπαρος) 1 χμ και από το κοντινότερο ισοδύναμο νησί (Νάξος) 5 χμ. (Χαλκιάς Χ., 2002)

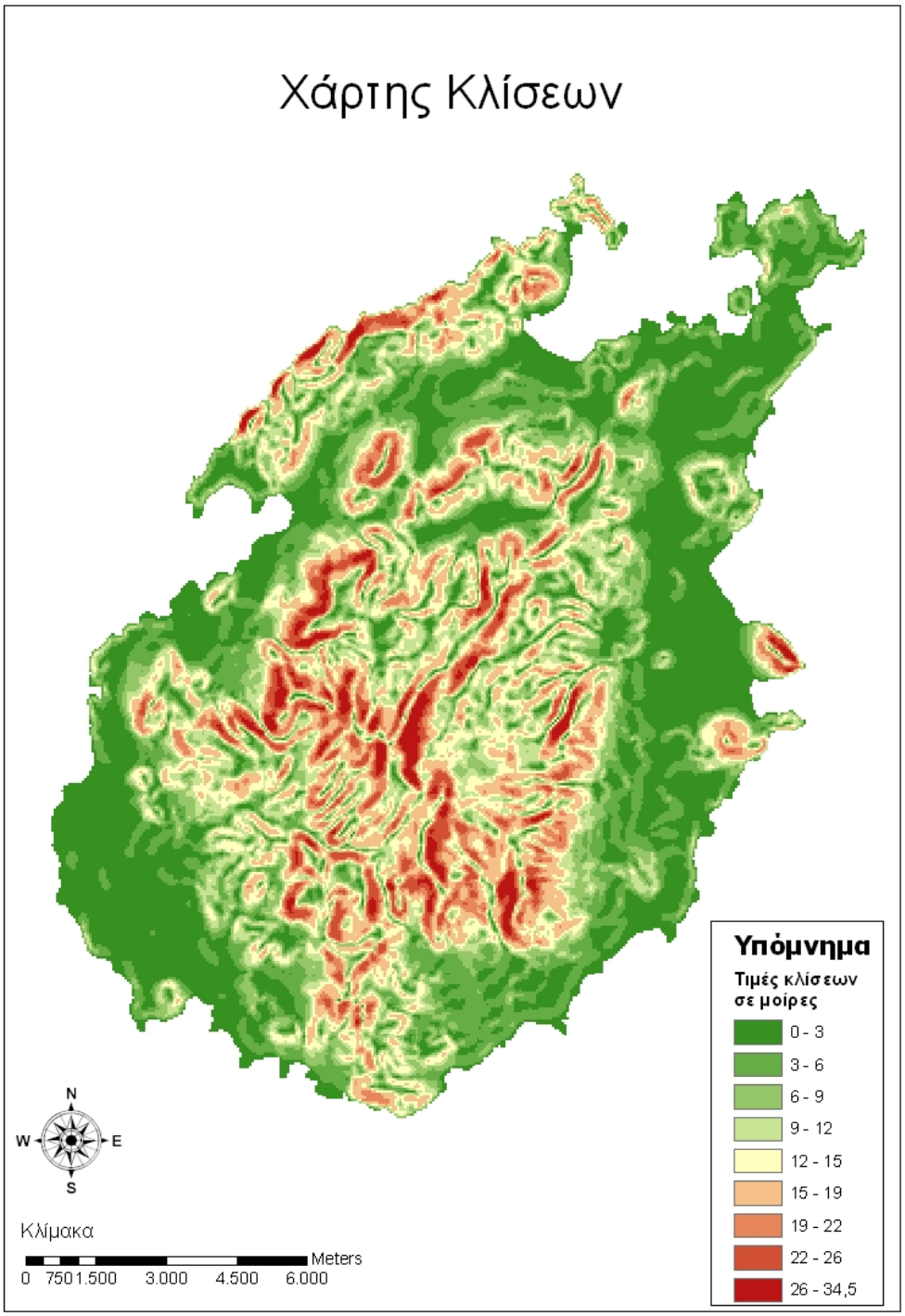
Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό που έχει ενδιαφέρον να εξετάσουμε είναι το σχήμα του νησιού. Υπολογίζοντας το δείκτη σχήματος είμαστε σε θέση να δούμε μαθηματικά πόσο "συμπαγές" είναι το σχήμα του. Αν ο δείκτης τείνει προς την τιμή 1, τότε το νησί θεωρείται ότι είναι συμπαγές. Στην περίπτωση της Πάρου αυτή η τιμή είναι περίπου 0,42 που αποτελεί μία ενδιάμεση τιμή.



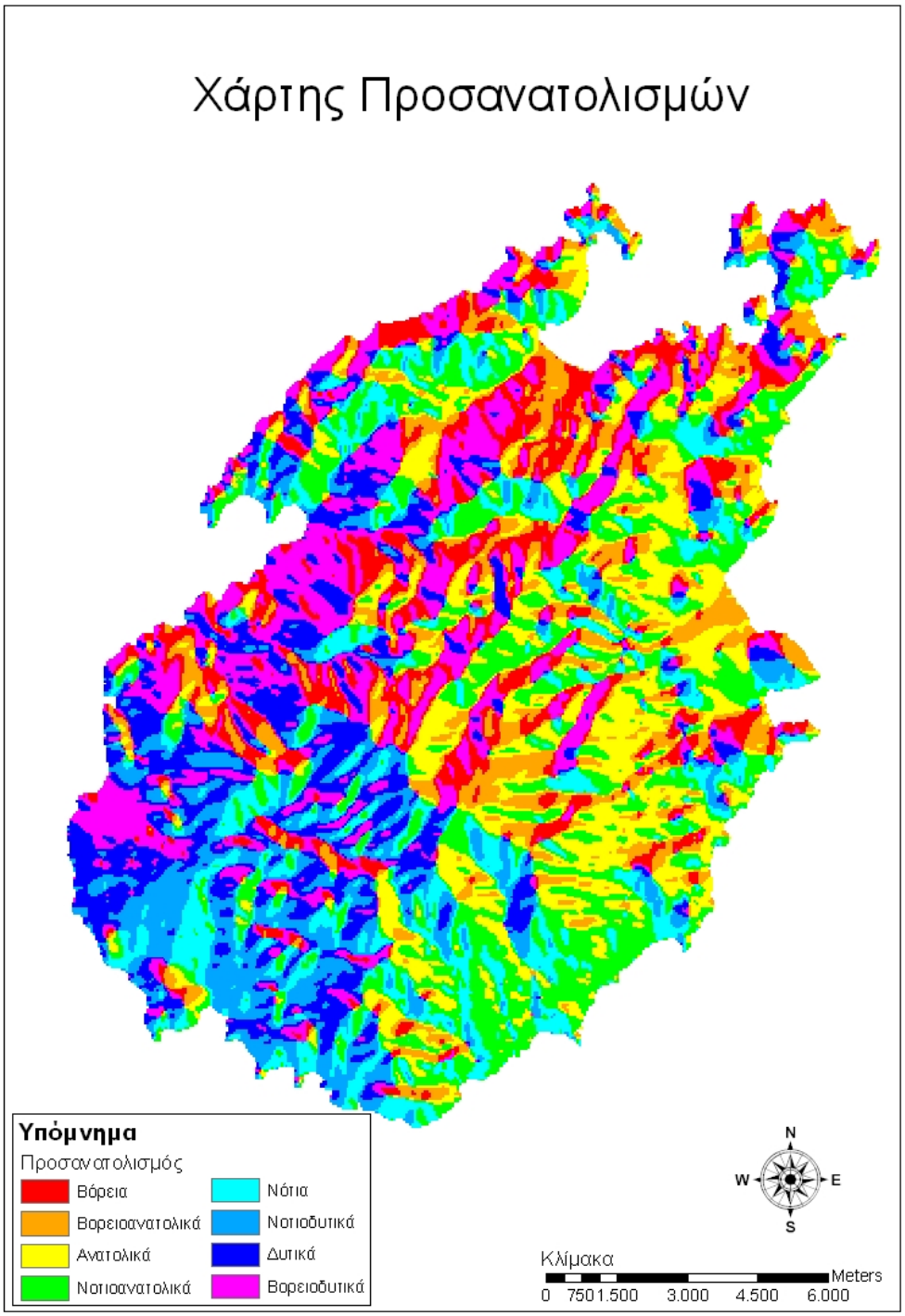
Από τον παραπάνω χάρτη της Πάρου παρατηρούμε ότι το ανάγλυφο της Πάρου είναι σχετικά έντονο. Αντιλαμβανόμαστε πως υπάρχει ένας σχετικά μεγάλος ορεινός όγκος, στο κεντρικό με νότιο μέρος του νησιού, του οποίου το μέγιστο ύψος φτάνει τα 740 μέτρα στον Προφήτη Ηλία. Ένας μικρότερος

ορεινός όγκος υπάρχει στο βορειοδυτικό μέρος του νησιού και ένας ακόμη στο βόρεια του κυρίως ορεινού όγκου.

Παρατηρώντας τον χάρτη της Πάρου βλέπουμε ότι σε δύο σημεία του νησιού σχηματίζονται φυσικά λιμάνια. Το πρώτο είναι στη δυτική πλευρά του νησιού, στην περιοχή της Παροικιάς. Το δεύτερο και μεγαλύτερο σχηματίζεται στο βόρρειο μέρος του νησιού, στην ευρύτερη περιοχή της Νάουσας.



Ο παραπάνω χάρτης κλίσεων παρουσιάζει τις τιμές των κλίσεων του εδάφους σε μοίρες. Οι μεγαλύτερες κλίσεις παρουσιάζονται κυρίως στον κύριο ορεινό όγκο του νησιού. Μεγάλες κλίσεις έχουμε, επίσης, στο βορειοδυτικό μέρος του νησιού και σε δύο μικρότερους ορεινούς όγκους στο ανατολικό μέρος του παρόλο που δεν έχουν μεγάλο υψόμετρο.



Από το χάρτη προσανατολισμών μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα σχετικά με την έκθεση του εδάφους της Πάρου. Προς τα που, δηλαδή, "κοιτάει" η επιφάνεια του εδάφους. Παρατηρώντας το χάρτη, βλέπουμε ότι, όπως είναι προφανές, οι εκθέσεις σχετίζονται με τους ορεινούς όγκους. Οι ανατολικές πλευρές των βουνών και των λόφων κοιτούν προς τα ανατολικά, οι

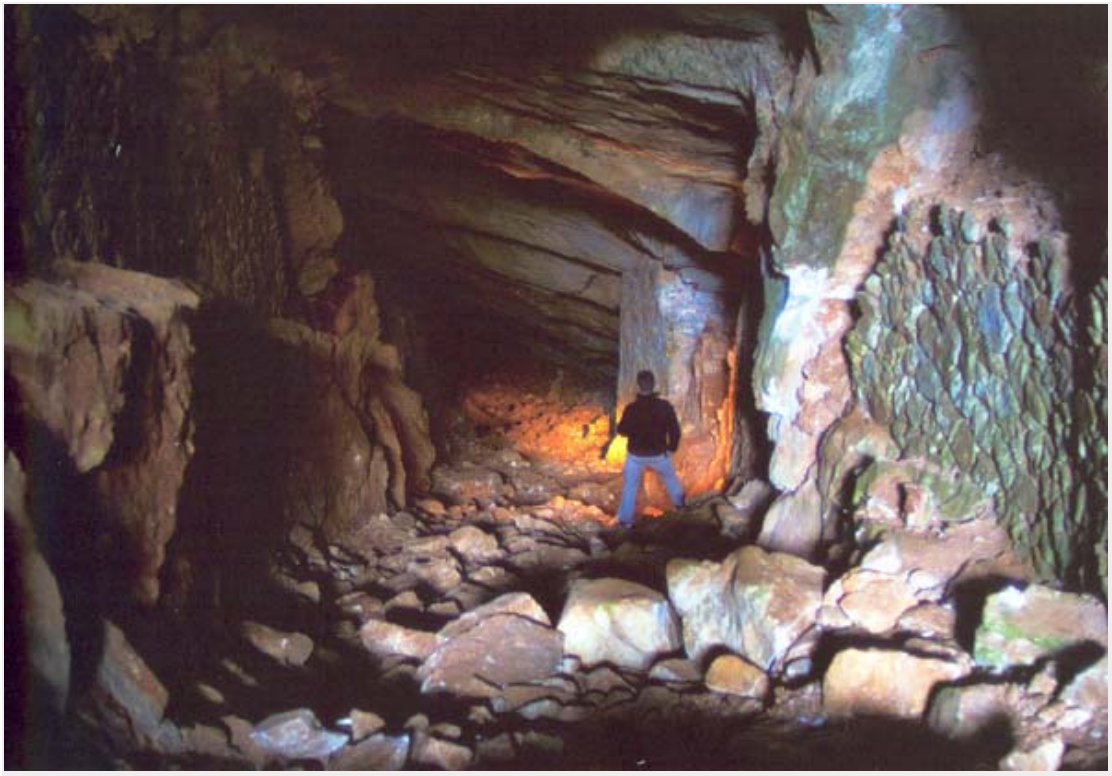
δυτικές προς τη δύση κλπ. Αυτό γίνεται περισσότερο αντιληπτό όταν παρατηρούμε τον κύριο ορεινό όγκο της Πάρου. Το ίδιο συμβαίνει και με τον ορεινό όγκο στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού.

3.3 Γεωλογικά Χαρακτηριστικά

Σύμφωνα με τον Δρ. Υδρογεωλόγο Κάρολο Α. Μπεζέ "Η Πάρος, γεωλογικώς, ανήκει στην γεωτεκτονική ζώνη της Αττικοκυκλαδικής Μάζας, που περιλαμβάνει μεταμορφωμένα και αμεταμόρφωτα πετρώματα και εκτείνεται από την Αττική και τη Νότιο Εύβοια μέχρι την Ικαρία και την Σάμο. Γενικά, υπάρχουν τρεις στρωματογραφικές - τεκτονικές ενότητες (εάν δεν ληφθούν υπόψη τα νεογενή και τεταρτογενή πετρώματα). Από κάτω προς τα επάνω διακρίνονται η ενότητα των γνευσίων, η ενότητα των κατώτερων μαρμάρων με αμφιβολίτες και η ενότητα των ανώτερων μαρμάρων με σχιστόλιθους."

Όσον αφορά τα μάρμαρα της Πάρου, αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Του Μαραθίου και του Δρυού. Τα μάρμαρα της πρώτης κατηγορίας εμφανίζονται μόνο στις κεντρικές και ορεινές περιοχές του νησιού και συγκεκριμένα στο όρος Άγ. Πάντες. Τα μάρμαρα του Δρυού, αντιθέτως, εμφανίζονται σε χαμηλότερα υψόμετρα και περιφερειακά του νησιού. (Κάρολος Α. Μπεζές)

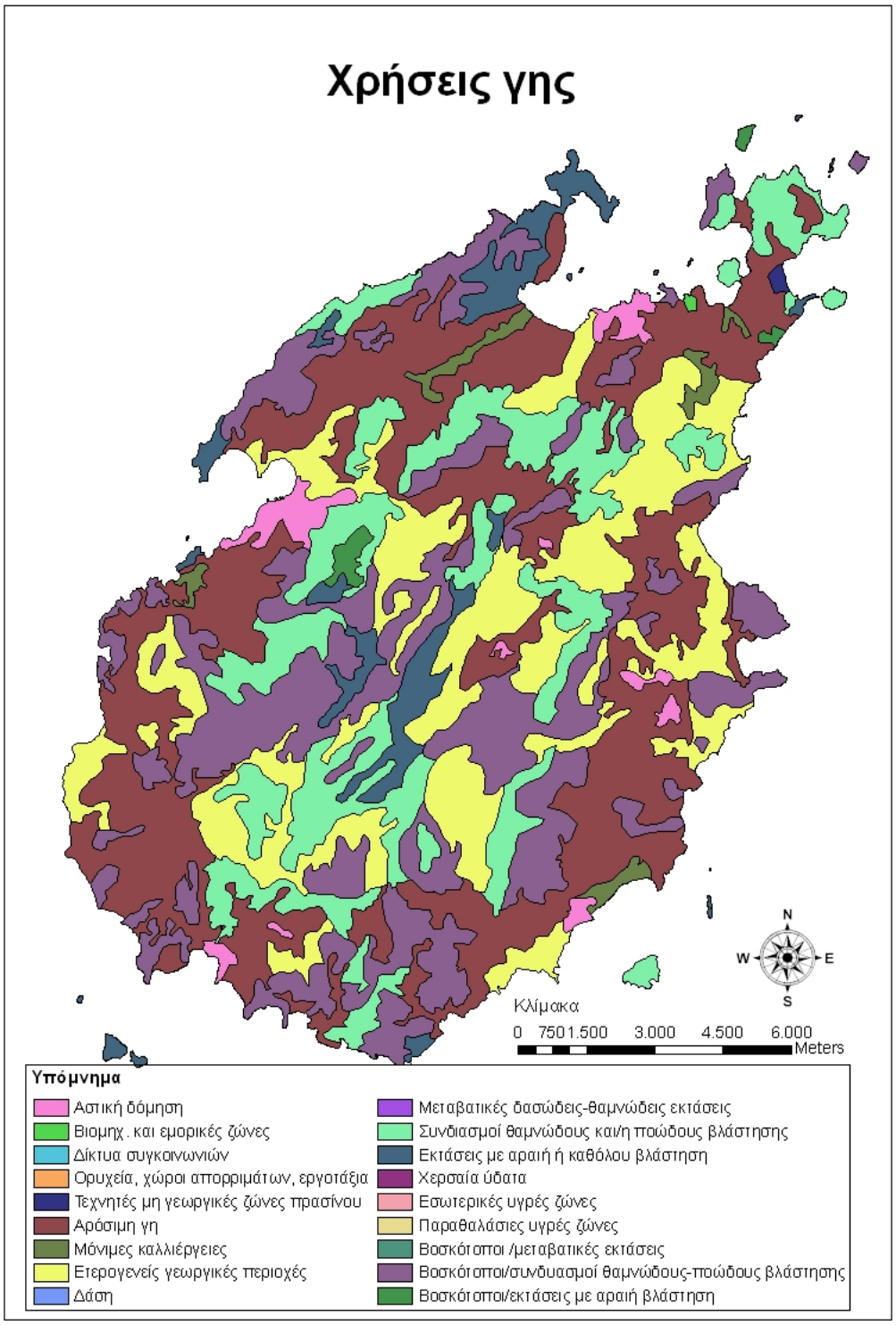
Λέγεται ότι το Παριανό μάρμαρο ήταν το καλύτερο σε φωτοδιαύγεια (διαπερατότητα στο φως), αλλά και σε ποιότητα. Αυτό ενισχύεται και από το γεγονός ότι πολλά έργα της Κλασσικής αρχαιότητας, όπως για παράδειγμα τα αγάλματα, έχουν φτιαχτεί από παριανό μάρμαρο και οι γλύπτες της εποχής εκείνης το προτιμούσαν ιδιαιτέρως. Η εξόρυξη μαρμάρου συνεχίστηκε και από μια γαλλική εταιρεία τον 19^{ο} αιώνα, και επεκτάθηκε κυρίως πάνω στις αρχαίες στοές που υπήρχαν κάτι ανάλογο, δηλαδή, με αυτό που έγινε στα αρχαία ορυχεία του Λαυρίου. (http://users.panafonet.gr/paneios/paros.htm, 07-01-2008)



Λατομεία στο Μαράθι
Πηγή: www.windmillstravel.com

3.4 Χρήσεις Γης

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό που αξίζει να αναφερθεί σχετικά με την Πάρο είναι οι χρήσεις γης του νησιού.

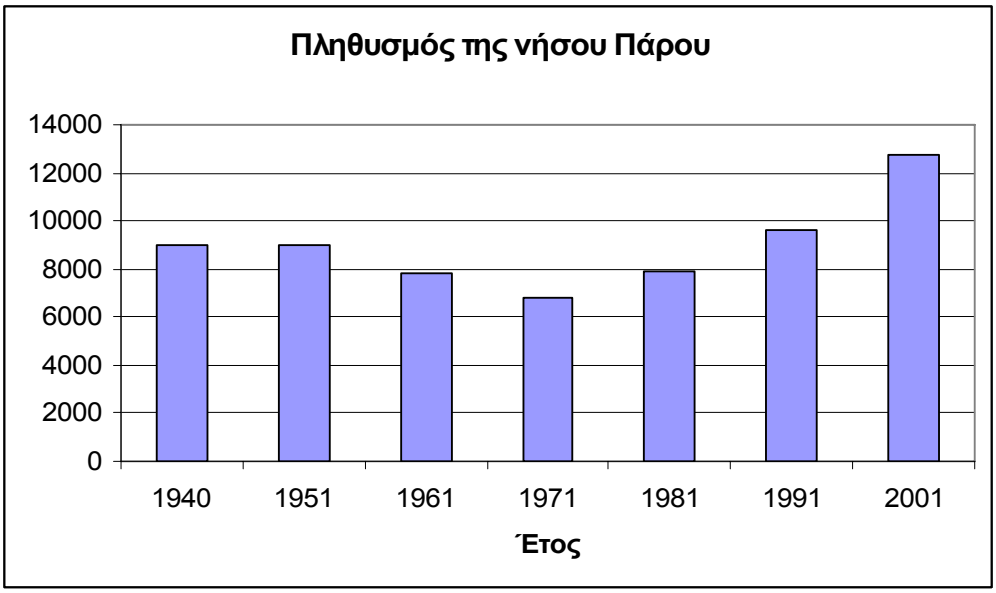


Πηγή: Corine 2000

Ο παραπάνω χάρτης μας παρουσιάζει τις χρήσεις γης της Πάρου με βάση το πρόγραμμα CORINE (COoRdination of INformation on the Environment). Πρόκειται για ένα πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης το οποίο αφορά στην οργάνωση μιας ψηφιακής βάσης δεδομένων για την ταξινόμηση των εδαφών σύμφωνα με τις καλύψεις γης. (http://www.univ-ag.fr) Παρατηρώντας τον χάρτη είμαστε σε θέση να βγάλουμε ορισμένα συμπεράσματα. Μία πρώτη παρατήρηση είναι ότι αστική δόμηση έχουμε στις περιοχές της Παροικιάς, της Νάουσας, του Δρυού, της Αλυκής, της Μάρπησσας και των Λευκών. Γενικά, βλέπουμε ότι το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας του νησιού καλύπτεται από ετερογενείς γεωργικές περιοχές και από αρόσιμη γη. Επίσης υπάρχουν μεγάλες εκτάσεις οι οποίες αποτελούν βοσκότοπους. Ακολουθούν οι εκτάσεις με θαμνώδη βλάστηση.

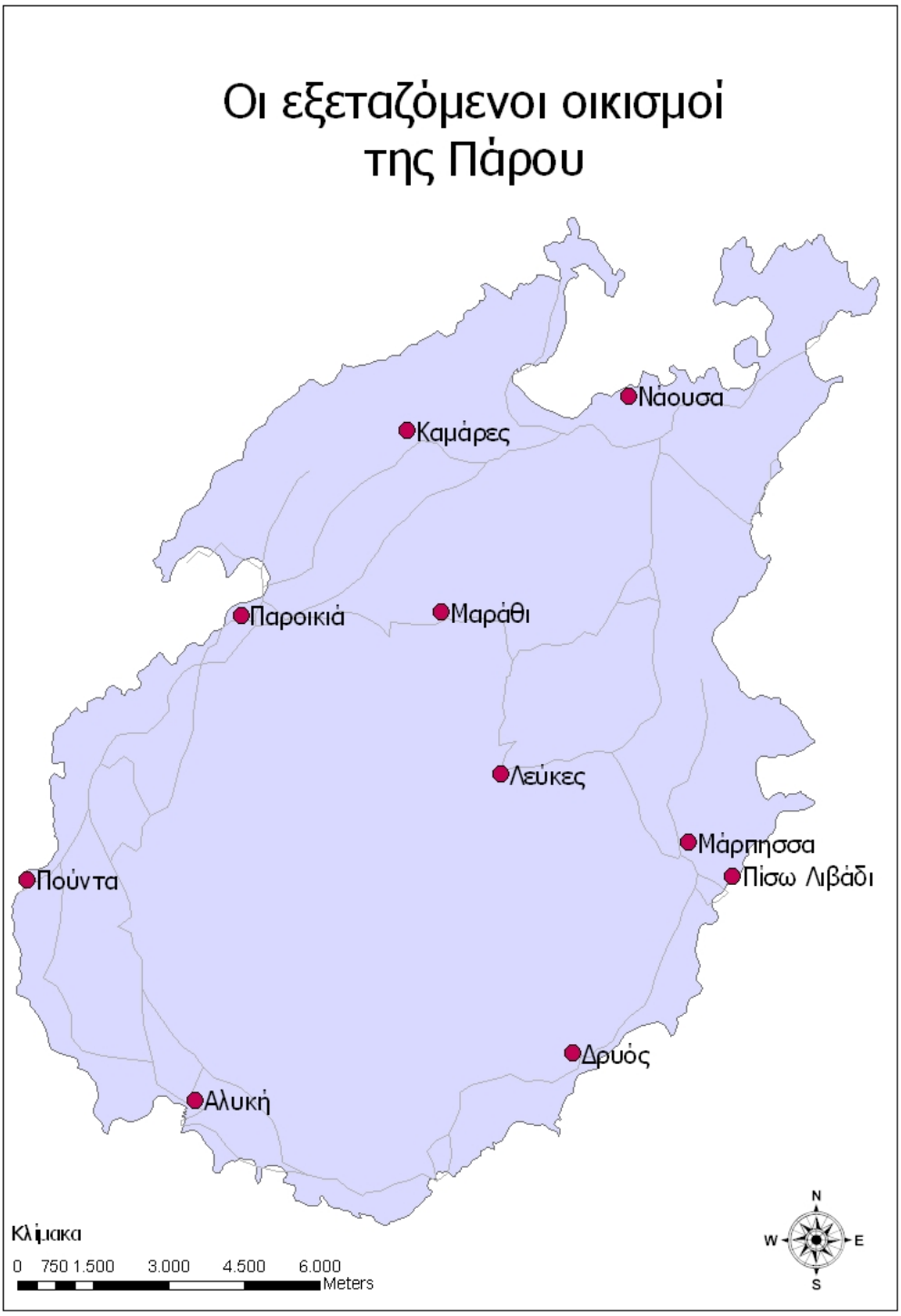
3.5 Δημογραφικά Χαρακτηριστικά

Η Πάρος είναι ένα νησί του οποίου ο πληθυσμός δεν ακολουθεί σταθερή πορεία. Από τον παρακάτω πίνακα βλέπουμε ότι παρουσιάζει μία μείωση της τάξης των 2.246 κατοίκων από το 1951 μέχρι το 1971 όπου ανέρχεται στους 6.776. Από τότε, όμως, παρατηρούμε μία σταθερή αύξηση του συνολικού πληθυσμού ο οποίος φτάνει το 2001 τους 12.783 κατοίκους. Μέσα σε 30 χρόνια, δηλαδή, ο πληθυσμός της Πάρου διπλασιάστηκε. Αυτό ίσως είναι αποτέλεσμα της ευκολότερης και γρηγορότερης πρόσβασης στο νησί με την εξέλιξη των πλοίων και την κατασκευής του αεροδρομίου.

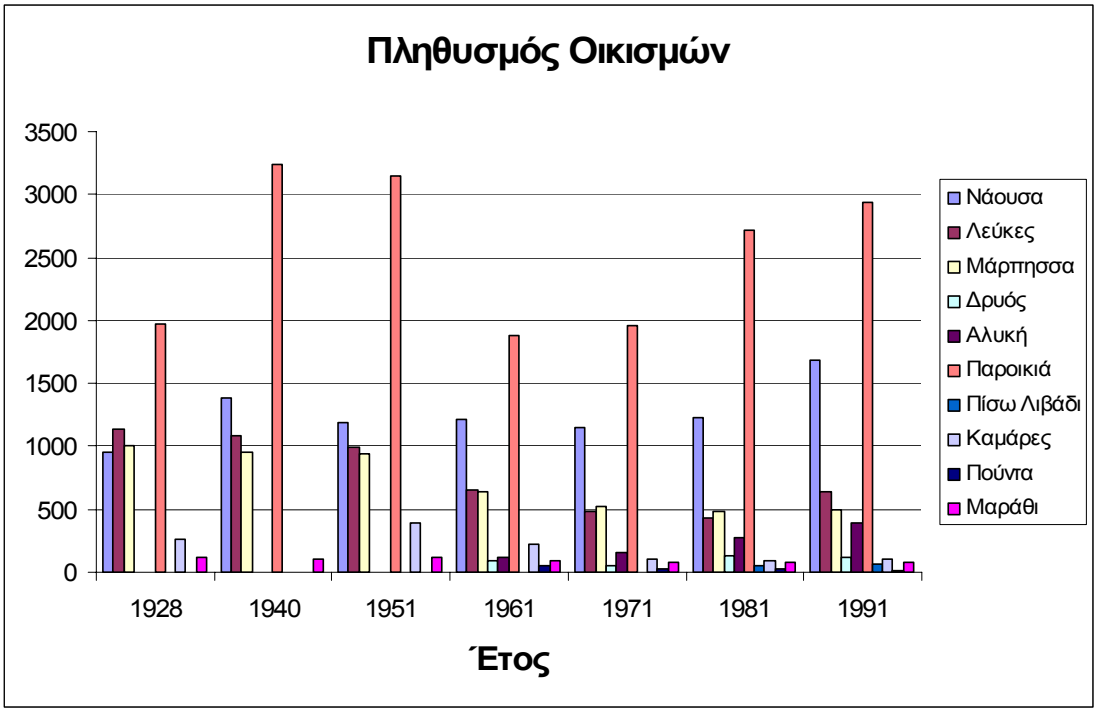


Πηγή: Χαλκιάς Χ., 2001

Παρατηρώντας τις τοποθεσίες των οικισμών καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι περισσότεροι οικισμοί βρίσκονται παραθαλάσσια, οι κυριότεροι από οποίους είναι η πρωτεύουσα Παροικιά και η Νάουσα. Στο εσωτερικό του νησιού έχουμε πολύ λιγότερους οικισμούς και με μικρότερο πληθυσμό. Αυτό κυρίως διότι εκεί το ανάγλυφο είναι πολύ εντονότερο με αποτέλεσμα οι περιοχές να είναι πιο δύσβατες.



Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται ο πληθυσμός 10 σημαντικών οικισμών της Πάρου των οποίων οι τοποθεσίες παρουσιάζονται στον παραπάνω χάρτη.



Πηγή: Σταματελάτος Μ., Βάμβα – Σταματελάτου Φ., 2001

Η πρώτη μας παρατήρηση είναι ότι η πολυπληθέστερη περιοχή είναι αυτή της Παροικίας και μάλιστα με μεγάλη διαφορά από τις υπόλοιπες. Στην Παροικία έχουμε και τις μεγαλύτερες μεταβολές πληθυσμού. Από το 1928 μέχρι το 1940 η πληθυσμός της διπλασιάζεται ενώ από τότε μέχρι το 1971 ξαναχάνει τον πληθυσμό που είχε κερδίσει. Από το 1971 μέχρι το 1991 ο πληθυσμός της αυξάνεται και πάλι. Ο πληθυσμός της Νάουσας ακολουθεί το 'πρότυπο' της Παροικίας. Οι πληθυσμοί των υπόλοιπων προς εξέταση οικισμών παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές μείωση από το 1928 μέχρι και το 1981 ενώ από τότε μέχρι το 1991 υπάρχει μία μικρή αύξηση. Παρατηρούμε, επίσης, ότι δεν υπάρχουν πληθυσμιακά δεδομένα για όλους τους οικισμούς σε όλα τα έτη απογραφής. Συγκεκριμένα, φαίνεται ότι οι οικισμοί του Δρυού, της Αλυκής, του Πίσω Λιβαδιού και της Πούντας δεν υπάρχουν καταγραφές μέχρι το 1951. Όλες αυτές οι περιοχές αποτελούν σήμερα μικρούς παραλιακούς οικισμούς. Η Πούντα είναι επιπλέον το λιμάνι από το συνδέεται το νησί με την Αντίπαρο.

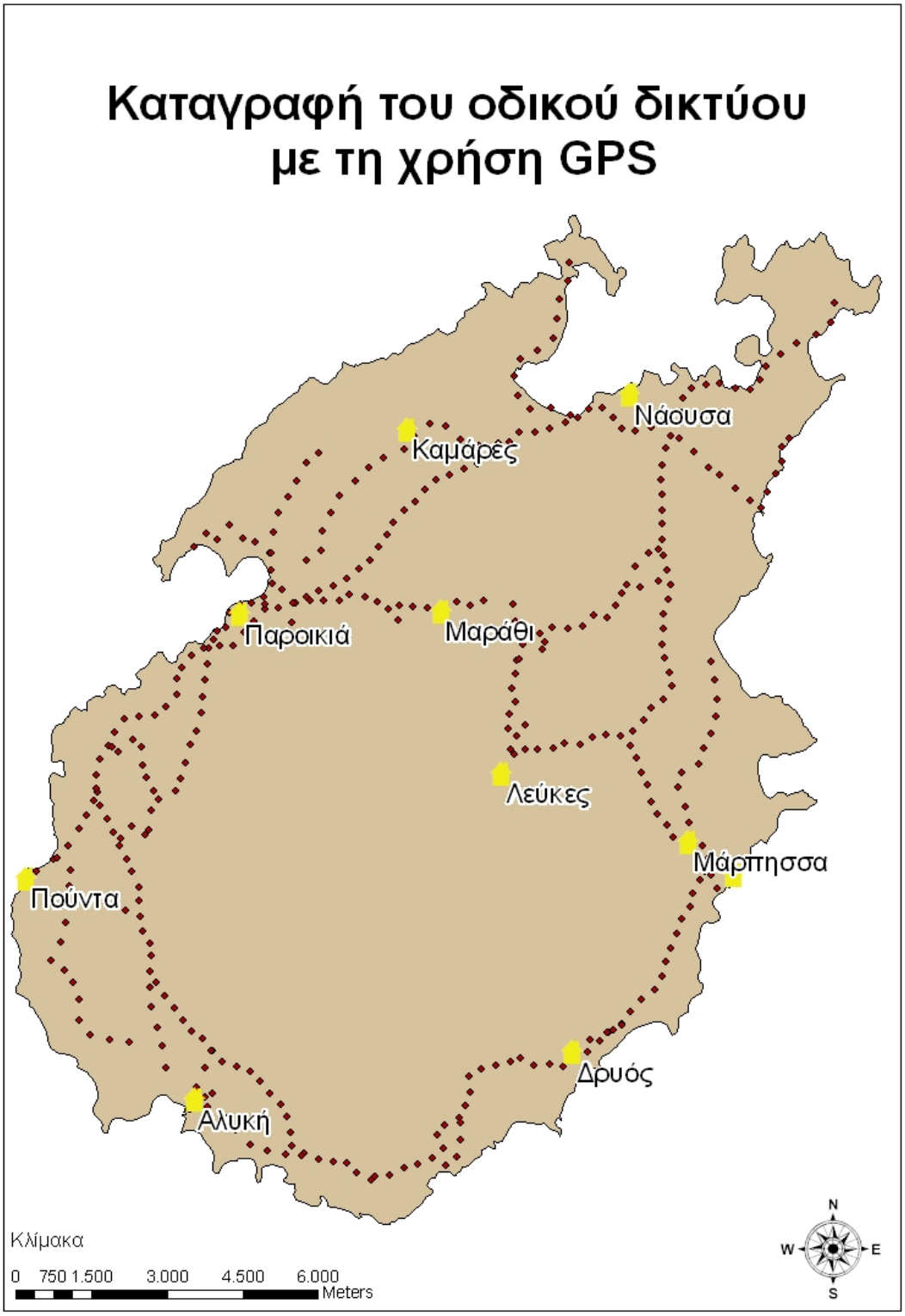
3.6 Η καταγραφή του οδικού δικτύου

Περνώντας στο πρακτικό κομμάτι της εργασίας θα αναλυθεί και θα παρουσιαστεί η διαδικασία καταγραφής και αναπαράστασης του οδικού δικτύου της Πάρου χρησιμοποιώντας τις τεχνολογίες που αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Τα βασικά εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν είναι ένας δέκτης GPS, ένας οδικός χάρτης καθώς και κάποιο λογισμικό πακέτο Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (συγκεκριμένα το ArcGIS της ESRI). Εκτός από την καταγραφή του οδικού δικτύου θα αναπτύξουμε ορισμένες σημαντικές εφαρμογές. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσουμε να δούμε πόσο σημαντική είναι η χρήση των ΣΓΠ στη δημιουργία και εξαγωγή χρήσιμης πληροφορίας.

3.6.1 Συλλογή δεδομένων

Καταγραφή σημείων

Η καταγραφή του οδικού δικτύου έγινε με τη χρήση ενός δέκτη GPS. Η μέθοδος που θα εφαρμοσθεί είναι η εξής: Θα καταγραφεί, αρχικά, μία σειρά από σημεία κατά μήκος όλου του οδικού δικτύου. Αυτό μπορεί να γίνει εύκολα σημειώνοντας με τον δέκτη τις συντεταγμένες της εκάστοτε θέσης μας. Κάθε δέκτης GPS, όμως, μπορεί να αποθηκεύσει μέχρι ένα ορισμένο αριθμό σημείων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η συσκευή μας μπορεί να αποθηκεύσει περίπου 400 σημεία. Από τον οδικό χάρτη υπολογίσαμε ότι το συνολικό μήκος του οδικού δικτύου που θα καταγραφεί είναι περίπου 160 χλμ. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι είναι απαραίτητο να καταγράφουμε τα σημεία που αποτελούν διασταυρώσεις δρόμων. Επίσης, όπου υπάρχουν στροφές στις οποίες η κατεύθυνση του δρόμου αλλάζει απότομα πρέπει να καταγράψουμε το σημείο καμπής του ώστε να μπορέσουμε να αναπαραστήσουμε αυτή την από τομη αλλαγή.



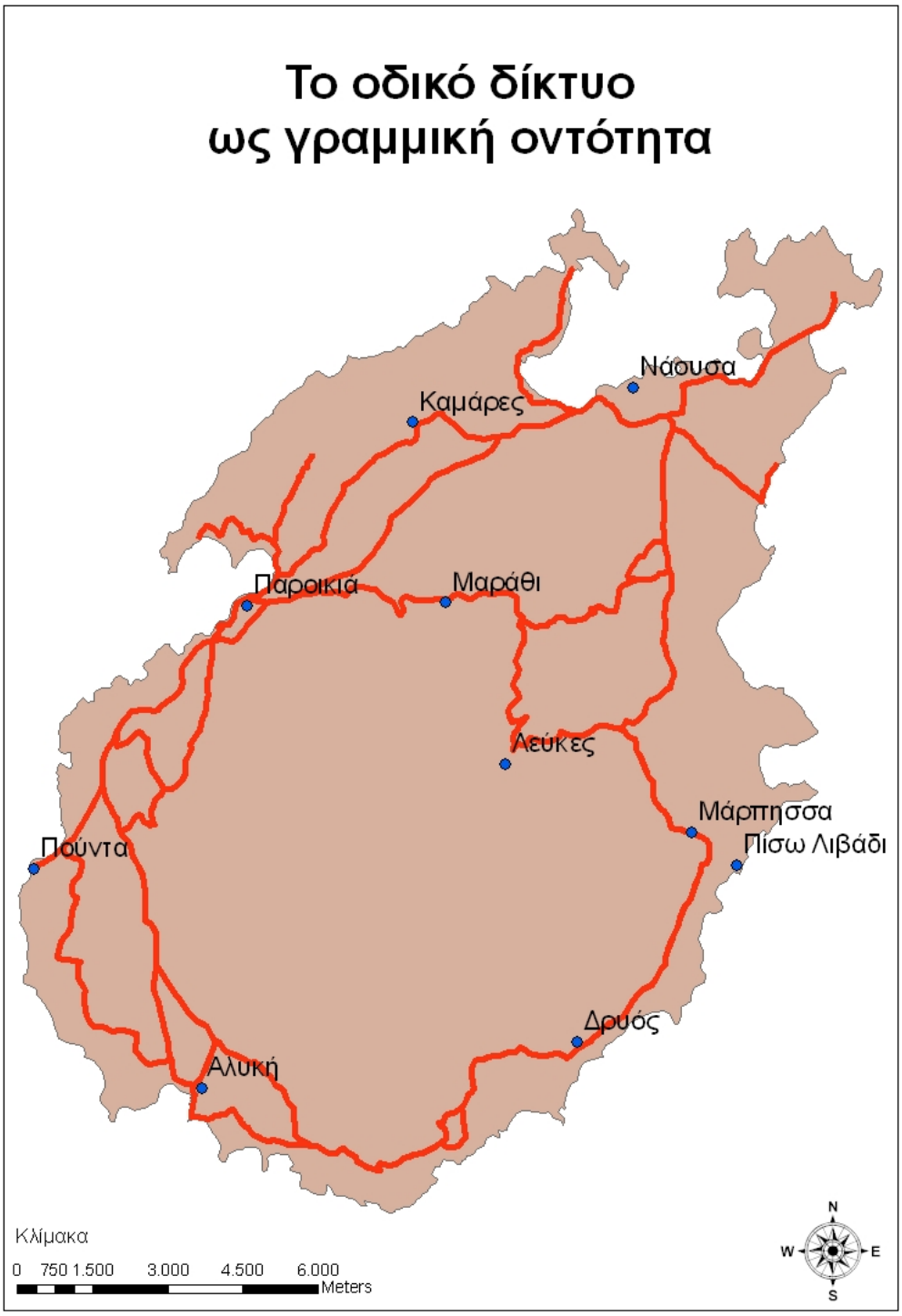
Ο παραπάνω χάρτης παρουσιάζει τα καταγεγραμμένα σημεία κατά την εργασία πεδίου στο οδικό δίκτυο της Πάρου.

Μεταφορά δεδομένων στο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών

Αφού συλλέξουμε τα απαραίτητα δεδομένα στην εργασία πεδίου, θα πρέπει να τα εισάγουμε σε ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών έτσι, ώστε να μπορύμε να τα διαχειριστούμε, να τα επεξεργαστούμε και έπειτα να τα παρουσιάσουμε.

Θα εισάγουμε τις τιμές των συντεταγμένων καθώς και τις υψομετρικές τιμές των σημείων που καταγράψαμε και έπειτα θα τα εισάγουμε στο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών ορίζοντάς τους και το κατάλληλο σύστημα συντεταγμένων.

Τα δεδομένα που συλλέξαμε, όμως, αποτελούν σημειακές οντότητες. Καθώς οι δρόμοι είναι γραμμικές οντότητες, τα σημεία αυτά θα ενωθούν με αποτέλεσμα να σχηματιστεί το οδικό δίκτυο.


Το οδικό δίκτυο
ως γραμμική οντότητα
Νάουσα
Καμάρες
Παροικιά
Μαράθι
Λεύκες
Μάρπησσα
Πίσω Λιβάδι
Πούντα
Δρυός
Αλυκή
Κλίμακα
0 750 1.500 3.000 4.500 6.000
Meters
N
W
E
S

3.6.2 Αναπαράσταση δεδομένων

Τα δεδομένα που καταγράφηκαν πρέπει με κάποιο τρόπο να παρουσιαστούν και μάλιστα πάνω σε ένα υπόβαθρο το οποίο θα αναπαριστά, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, την πραγματικότητα. Γι' αυτόν το λόγο δημιουργήθηκε ένα μοντέλο αναπαράστασης του γήινου αναγλύφου της Πάρου πάνω στο οποίο θα παρουσιάσουμε το οδικό δίκτυο που έχουμε καταγράψει.

Για να το πετύχουμε αυτό απαραίτητο είναι να εισάγουμε στο σύστημα υψομετρικές τιμές από όλη την επιφάνεια του νησιού. Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκαν τα κριτήρια βάση των οποίων επιλέγουμε τον αριθμό καθώς και τη θέση των σημείων που θα λάβουμε υπ' όψιν. Στην περίπτωσή μας θα χρησιμοποιήσουμε τις ισοϋψείς καμπύλες των τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:50.000 του νησιού. Ψηφιοποιώντας τις καμπύλες και ορίζοντας τις υψομετρικές τιμές τους, δημιουργούμε ένα θεματικό επίπεδο το οποίο θα μας βοηθήσει στη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Θα είμαστε, έτσι, σε θέση να παρουσιάσουμε τα δεδομένα μας σε τρεις διαστάσεις.

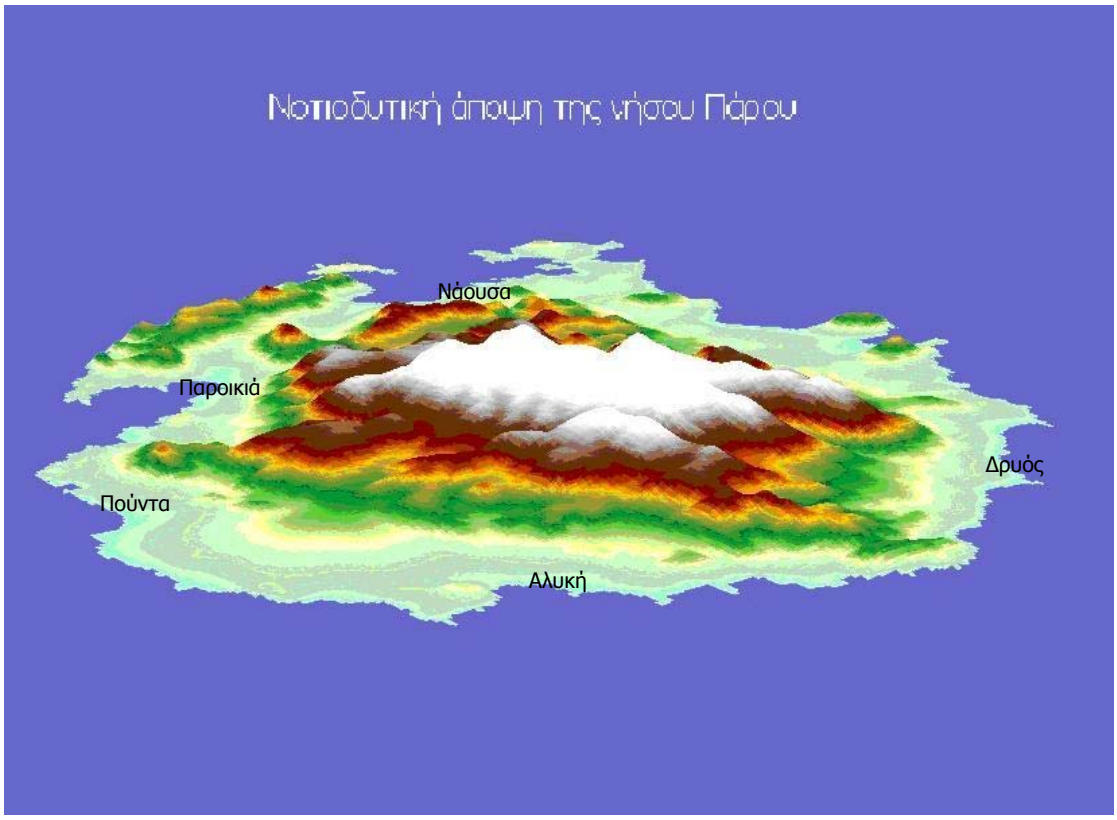
Ο παρακάτω χάρτης παρουσιάζει τις ισοϋψείς καμπύλες που ψηφιοποιήθηκαν οι οποίες έχουν ισοδιάσταση 20μ.

Πηγή: Γ.Υ.Σ.

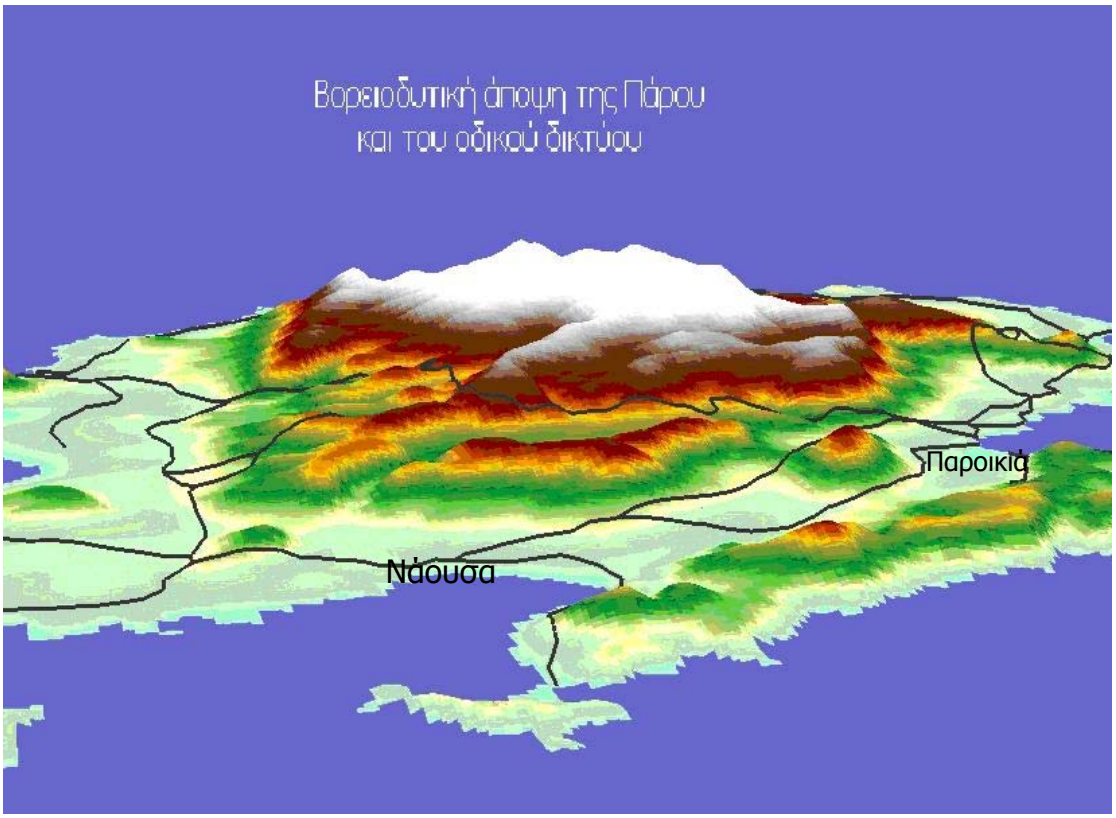
Χρησιμοποιώντας τις ισοϋψείς καμπύλες (με ισοδιάσταση 20 μέτρα) που παρουσιάζονται παραπάνω, είμαστε σε θέση να κατασκευάσουμε το ψηφιακό μοντέλο της Πάρου. Για την κατασκευή του ΨΜΕ δημιουργήσαμε ένα δίκτυο

ακανόνιστων τριγώνων (TIN) όπως αυτό παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2. Στην περίπτωσή μας, οι κορυφές των τριγώνων του δικτύου βρίσκονται κατά μήκος των ισοϋψών καμπυλών. Επίσης, οι τιμές z (το υψόμετρο) είναι οι τιμές υψομέτρων που καταχωρήθηκαν στις ισοϋψείς καμπύλες. Το αποτέλεσμα είναι το ανάγλυφο της νήσου Πάρου σε ψηφιακή μορφή.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται το ανάγλυφο της Πάρου όπως θα φαινόταν αν την έβλεπε κανείς από ένα σημείο νοτιοδυτικά του νησιού.



Τώρα που έχουμε το ΨΜΕ της Πάρου μπορούμε πολύ εύκολα να παρουσιάσουμε πάνω σε αυτό και το οδικό δίκτυο που καταγράψαμε με τη χρήση του GPS.

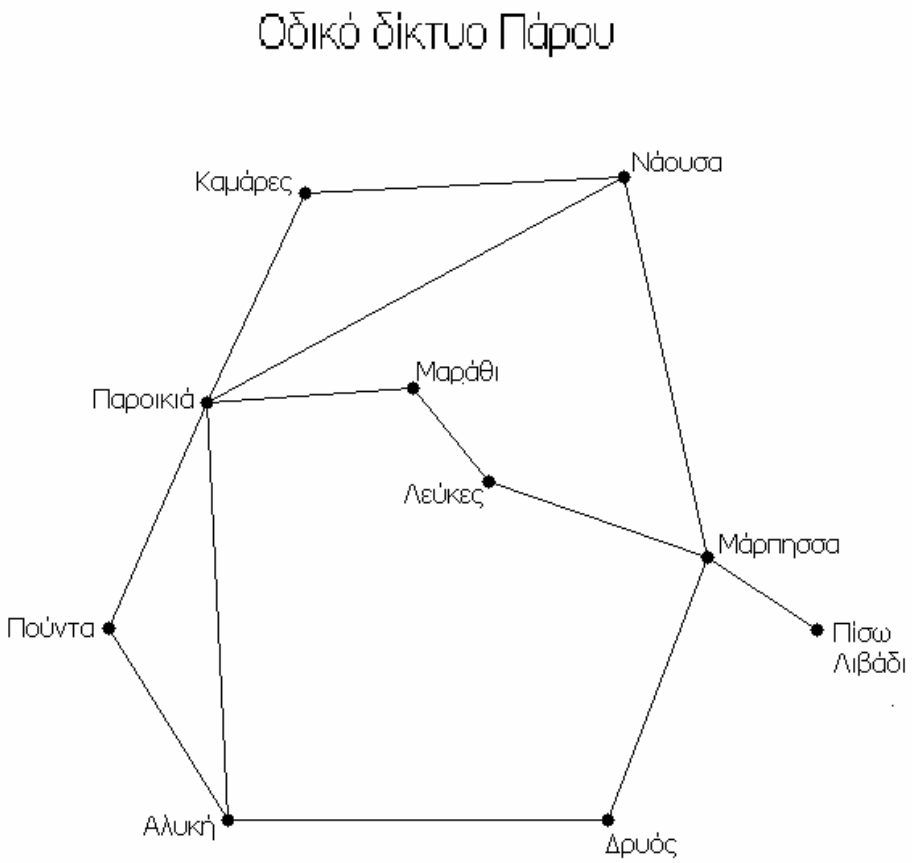


Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, το υψόμετρο του οδικού δικτύου συμπίπτει με αυτό της γήινης επιφάνειας στην οποία βρίσκεται. Παρουσιάζεται, δηλαδή, όπως θα το βλέπαμε και στην πραγματικότητα. Εδώ παρουσιάζεται το βορειοδυτικό μέρος του νησιού.

3.7 Ανάλυση οδικού δικτύου

3.7.1 Συνδετικότητα

Καθώς η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη του οδικού δικτύου είναι απαραίτητο να το εξετάσουμε και να το αναλύσουμε σαν δίκτυο. Θα αναπαραστήσουμε, συνεπώς, τους οικισμούς και τους δρόμους που τους συνδέουν ως ένα δίκτυο που θα αποτελείται από κόμβους και συνδέσμους. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι βασικοί κόμβοι (κ) και οι βασικές συνδέσεις (σ) του νησιού. Οι οικισμοί που εξετάζονται επιλέχθηκαν σύμφωνα με τη θέση τους στο νησί και με τη σημασία τους. Οι οικισμοί που παρουσιάζονται είναι διεσπαρμένοι σε όλη την έκταση του νησιού και όχι ο ένας πολύ κοντά στον άλλο. Επίσης, πρόκειται για τους σχετικά μεγάλους, για τα δεδομένα της Πάρου, οικισμούς. Ένα άλλο κριτήριο επιλογής τους είναι η προσιτότητά τους στο κύριο οδικό δίκτυο που χαρτογραφήθηκε κατά την εργασία πεδίου. Όλοι οι οικισμοί που επιλέχθηκαν βρίσκονται πάνω στο κύριο οδικό δίκτυο της Πάρου. Έτσι, έχουμε συνολικά 10 κόμβους και 13 συνδέσεις. Όλοι ο υπολογισμοί που ακολουθούν έχουν γίνει με βάση αυτό το δίκτυο.



Αρχικά, θα πρέπει να υπολογίσουμε ορισμένους δείκτες οι οποίοι θα μας βοηθήσουν να εκτιμήσουμε το βαθμό συνδετικότητας του δικτύου. Να δούμε, δηλαδή, κατά πόσο οι οικισμοί του νησιού συνδέονται μεταξύ τους. Ο δείκτης γ θα μας παρουσιάσει το ποσοστό επί τοις εκατό της συνδετικότητας του δικτύου μας. Ο υπολογισμός του γίνεται ως εξής.

$$\gamma = \sigma / \sigma_{max}$$

Όπου $\sigma_{max} = 3(\kappa-2)$

Κάνοντας τους υπολογισμούς βλέπουμε ότι γ=0,54 ή αλλιώς 54%. Το αποτέλεσμα αυτό δηλώνει ότι το οδικό δίκτυο της Πάρου είναι κατά 54% συνδεδεμένο. Είναι, δηλαδή, ένα μέτρια συνδεδεμένο δίκτυο.

Ο επόμενος δείκτης (ο δείκτης α) αφορά τα δίκτυα τα οποία περιέχουν κυκλικούς συνδέσμους και υπολογίζει την επί τοις εκατό ύπαρξή τους. Στην

εφαρμογή μας, για παράδειγμα, μπορούμε από το Δυρό να πάμε στην Παροικία είτε μέσω Λευκών είτε από την Αλυκή. Σε τέτοιου είδους δίκτυα υπάρχουν και εναλλακτικές συνδέσεις δύο κόμβων και όχι μόνο μία. Για να αποδείξουμε ότι όντως υπάρχουν κυκλικοί σύνδεσμοι στο δίκτυο πρέπει να ισχύει σ>κ-1. Αφού σ=13 και κ-1=9, η ανισότητα ισχύει στην περίπτωσή μας. Τώρα μπορούμε να υπολογίσουμε το δείκτη α.

$$\alpha=(\sigma-\kappa+1)/(2\kappa-5)$$

Αν κάνουμε τους υπολογισμούς θα δούμε ότι το δίκτυο της Πάρου έχει κατά 27% κυκλικούς συνδέσμους. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχει πολλούς κυκλικούς συνδέσμους συγκριτικά με το συνολικό αριθμό κόμβων και συνδέσεων του δικτύου.

3.7.2 Προσιτότητα

Το επόμενό μας βήμα είναι να υπολογίσουμε την προσιτότητα του δικτύου μας. Κατά πόσο, δηλαδή, είναι προσιτός ο κάθε κόμβος-οικισμός από τους υπόλοιπους. Για να μπορέσουμε να κάνουμε αυτό τον υπολογισμό πρέπει να κατασκευάσουμε αρχικά τους πίνακες συνδετικότητας C. Από αυτούς τους πίνακες μπορούμε να δούμε μόνο τη συνδετικότητα κάθε κόμβου μεμονωμένα και όχι του δικτύου σαν σύνολο. (Κουτσόπουλος Κ., 2005)

Σε κάθε σειρά του πίνακα C έχουμε πληροφορία σχετικά με ποιους κόμβους συνδέεται ο εκάστοτε κόμβος. Όταν δύο κόμβοι συνδέονται άμεσα μεταξύ τους, τότε έχουμε την τιμή 1 ενώ σε αντίθετη περίπτωση την τιμή 0. Η τελευταία στήλη του πίνακα δείχνει με πόσους κόμβους συνδέεται συνολικά ο κάθε κόμβος. Ο πίνακας C^2 αποτελεί το αποτέλεσμα του πίνακα C πολλαπλασιασμένο με τον εαυτό του, ο πίνακας C^3 του πίνακα C με τον πίνακα C^2 κλπ. Από τους πίνακες συνδετικότητας C δεν μπορούμε να δούμε καθαρά πόσα βήματα χρειαζόμαστε για να πάμε από έναν κόμβο σε έναν άλλο.

Δυστυχώς, με τους πίνακες συνδετικότητας C δεν είμαστε σε θέση να βγάλουμε συμπεράσματα σχετικά με την προσιτότητα του δικτύου σαν σύνολο. Ειδικά όταν πρόκειται για συνδέσεις κόμβων που απαιτούν πάνω από ένα βήμα. Γι' αυτόν το λόγο, κατασκευάσαμε τους πίνακες συντομότερης τοπολογικής απόστασης D. Αυτοί οι πίνακες παρουσιάζουν ποιοι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους και πόσα βήματα απαιτούνται. Για την κατασκευή αυτών των πινάκων χρειαζόμαστε τους πίνακες προσιτότητας C, C^2 κλπ βάση των οποίων παίρνουν τις τιμές τους. Στον πίνακα D έχουμε τιμές, συγκεκριμένα την τιμή 1, όπου έχουμε συνδέσεις που χρειάζονται ένα μόνο βήμα. Ο πίνακας D^2 παρουσιάζει επιπλέον τις συνδέσεις με δύο βήματα. Ο υπολογισμός των τιμών του γίνεται με βάση τις τιμές του πίνακα C^2. Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται και οι τιμές των υπόλοιπων πινάκων συντομότερης τοπολογικής απόστασης.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες συνδετικότητας και συντομότερης τοπολογικής απόστασης του οδικού δικτύου της Πάρου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΔΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ C

	Νάουσα	Λεύκες	Μάρπησσα	Δρυός	Αλυκή	Παροικία	Πίσω Λιβάδι	Καμάρες	Πούντα	Μαράθι	Σ
Νάουσα	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	3
Λεύκες	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2
Μάρπησσα	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	4
Δρυός	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
Αλυκή	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	3
Παροικία	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	5
Πίσω Λιβάδι	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Καμάρες	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Πούντα	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
Μαράθι	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΤΕΡΗΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ D										
	Νάουσα	Λεύκες	Μάρπησσα	Δρυός	Αλυκή	Παροικία	Πίσω Λιβάδι	Καμάρες	Πούντα	Μαράθι
Νάουσα	0	-	1	-	-	1	-	1	-	-
Λεύκες	-	0	1	-	-	-	-	-	-	1
Μάρπησσα	1	1	0	1	-	-	1	-	-	-
Δρυός	-	-	1	0	1	-	-	-	-	-
Αλυκή	-	-	-	1	0	1	-	-	1	-
Παροικία	1	-	-	-	1	0	-	1	1	1
Πίσω Λιβάδι	-	-	1	-	-	-	0	-	-	-
Καμάρες	1	-	-	-	-	1	-	0	-	-
Πούντα	-	-	-	-	1	1	-	-	0	-
Μαράθι	-	1	-	-	-	1	-	-	-	0

Στους παραπάνω πίνακες μπορούμε να δούμε τους κόμβους που συνδέονται άμεσα μεταξύ τους. Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να αντιληφθούμε εύκολα και από τους δύο πίνακες ποιοι είναι αυτοί οι κόμβοι. Παρατηρούμε, επίσης, ότι η Παροικία είναι ο οικισμός με τις περισσότερες άμεσες συνδέσεις. Αυτό είναι λογικό καθώς αποτελεί το λιμάνι και την πρωτεύουσα του νησιού.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΔΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ C^2											
	Νάουσα	Λεύκες	Μάρπησσα	Δρυός	Αλυκή	Παροικία	Πίσω Λιβάδι	Καμάρες	Πούντα	Μαράθι	Σ
Νάουσα	3	1	0	1	1	1	1	1	1	1	11
Λεύκες	1	2	0	1	0	1	1	0	0	0	6
Μάρπησσα	0	0	4	0	1	1	0	1	0	1	8
Δρυός	1	1	0	2	0	1	1	0	1	0	7
Αλυκή	1	0	1	0	3	1	0	1	1	1	9
Παροικία	1	1	1	1	1	5	0	1	1	0	12
Πίσω Λιβάδι	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	4
Καμάρες	1	0	1	0	1	1	0	2	1	1	8
Πούντα	1	0	0	1	1	1	0	1	2	1	8
Μαράθι	1	0	1	0	1	0	0	1	1	2	7

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΤΕΡΗΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ D^2										
	Νάουσα	Λεύκες	Μάρπησσα	Δρυός	Αλυκή	Παροικία	Πίσω Λιβάδι	Καμάρες	Πούντα	Μαράθι
Νάουσα	0	2	1	2	2	1	2	1	2	2
Λεύκες	2	0	1	2	-	2	2	-	-	1
Μάρπησσα	1	1	0	1	2	2	1	2	-	2
Δρυός	2	2	1	0	1	2	2	-	2	-
Αλυκή	2	-	2	1	0	1	-	2	1	2
Παροικία	1	2	2	2	1	0	-	1	1	1
Πίσω Λιβάδι	2	2	1	2	-	-	0	-	-	-
Καμάρες	1	-	2	-	2	1	-	0	2	2
Πούντα	2	-	-	2	1	1	-	2	0	2
Μαράθι	2	1	2	-	2	1	-	2	2	0

Σε αυτή την περίπτωση ο πίνακας C^2 δε μας βοηθά στο να βγάλουμε συμπεράσματα. Μας χρησιμεύει, όμως, στο να κατασκευάσουμε τον πίνακα D^2. Από τον τελευταίο συμπεραίνουμε ότι στους περισσότερους οικισμούς μπορούμε να πάμε με δύο μόνο βήματα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΔΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ C^3											
	Νάουσα	Λεύκες	Μάρπησσα	Δρυός	Αλυκή	Παροικία	Πίσω Λιβάδι	Καμάρες	Πούντα	Μαράθι	Σ
Νάουσα	2	1	6	1	3	7	0	4	2	2	28
Λεύκες	1	0	5	0	2	1	0	2	1	3	15
Μάρπησσα	6	5	0	5	1	3	4	1	2	1	28
Δρυός	1	0	5	0	4	2	0	2	1	2	17
Αλυκή	3	2	1	4	2	7	1	2	4	1	27
Παροικία	7	1	3	2	7	4	1	6	6	6	43
Πίσω Λιβάδι	0	0	4	0	1	1	0	1	0	1	8
Καμάρες	4	2	1	2	2	6	1	2	2	1	23
Πούντα	2	1	2	1	4	6	0	2	2	1	21
Μαράθι	2	3	1	2	1	6	1	1	1	0	18

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΤΕΡΗΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ D^3										
	Νάουσα	Λεύκες	Μάρπησσα	Δρυός	Αλυκή	Παροικία	Πίσω Λιβάδι	Καμάρες	Πούντα	Μαράθι
Νάουσα	0	2	1	2	2	1	2	1	2	2
Λεύκες	2	0	1	2	3	2	2	3	3	1
Μάρπησσα	1	1	0	1	2	2	1	2	3	2
Δρυός	2	2	1	0	1	2	2	3	2	3
Αλυκή	2	3	2	1	0	1	3	2	1	2
Παροικία	1	2	2	2	1	0	3	1	1	1
Πίσω Λιβάδι	2	2	1	2	3	3	0	3	-	3
Καμάρες	1	3	2	3	2	1	3	0	2	2
Πούντα	2	3	3	2	1	1	-	2	0	2
Μαράθι	2	1	2	3	2	1	3	2	2	0

Το ίδιο συμβαίνει και με αυτούς τους πίνακες με τη διαφορά ότι οι περιπτώσεις στις οποίες αφορούν αποστάσεις τριών βημάτων είναι λιγότερες

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΔΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ C^4											
	Νάουσα	Λεύκες	Μάρπησσα	Δρυός	Αλυκή	Παροικία	Πίσω Λιβάδι	Καμάρες	Πούντα	Μαράθι	Σ
Νάουσα	26	12	40	14	32	54	4	30	23	21	256
Λεύκες	12	2	28	3	19	16	1	17	11	17	126
Μάρπησσα	40	28	6	30	16	35	20	15	21	12	223
Δρυός	14	3	30	4	25	23	1	19	13	17	149
Αλυκή	32	19	16	25	24	53	10	22	27	14	242
Παροικία	54	16	35	23	53	52	11	45	44	41	374
Πίσω Λιβάδι	4	1	20	1	10	11	0	9	4	8	68
Καμάρες	30	17	15	19	22	45	9	20	21	13	211
Πούντα	23	11	21	13	27	44	4	21	20	14	198
Μαράθι	21	17	12	17	14	41	8	13	14	6	163

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΤΕΡΗΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ D^4										
	Νάουσα	Λεύκες	Μάρπησσα	Δρυός	Αλυκή	Παροικία	Πίσω Λιβάδι	Καμάρες	Πούντα	Μαράθι
Νάουσα	0	2	1	2	2	1	2	1	2	2
Λεύκες	2	0	1	2	3	2	2	3	3	1
Μάρπησσα	1	1	0	1	2	2	1	2	3	2
Δρυός	2	2	1	0	1	2	2	3	2	3
Αλυκή	2	3	2	1	0	1	3	2	1	2
Παροικία	1	2	2	2	1	0	3	1	1	1
Πίσω Λιβάδι	2	2	1	2	3	3	0	3	4	3
Καμάρες	1	3	2	3	2	1	3	0	2	2
Πούντα	2	3	3	2	1	1	4	2	0	2
Μαράθι	2	1	2	3	2	1	3	2	2	0

Τέλος, έχουμε τους πίνακες C^4 και D^4 από τους οποίους παρατηρούμε με πόσα βήματα μπορούμε από κάθε οικισμό σε οποιονδήποτε άλλο του δικτύου. Στο δίκτυο της Πάρου όπως παρουσιάζεται σε αυτή την εργασία τέσσερα βήματα έχουμε μόνο στη σύνδεση μεταξύ Πούντας και Πίσω Λιβαδιού.

Προσθέτοντας τις τιμές και των τεσσάρων πινάκων συνδετικότητας C προέκυψε ο πίνακας προσιτότητας T. Αυτός ο πίνακας μας δείχνει το σύνολο των πιθανών διαδρομών που μπορεί να ακολουθήσει κανείς για να πάει από έναν οικισμό στον άλλο ανεξάρτητα με το αν είναι σύντομη ή όχι. Για παράδειγμα υπάρχουν 30 πιθανές διαδρομές που μπορεί να ακολουθήσει κανείς για να πάει από το Δυρό στην Αλυκή. Επιπλέον, από τη τελευταία

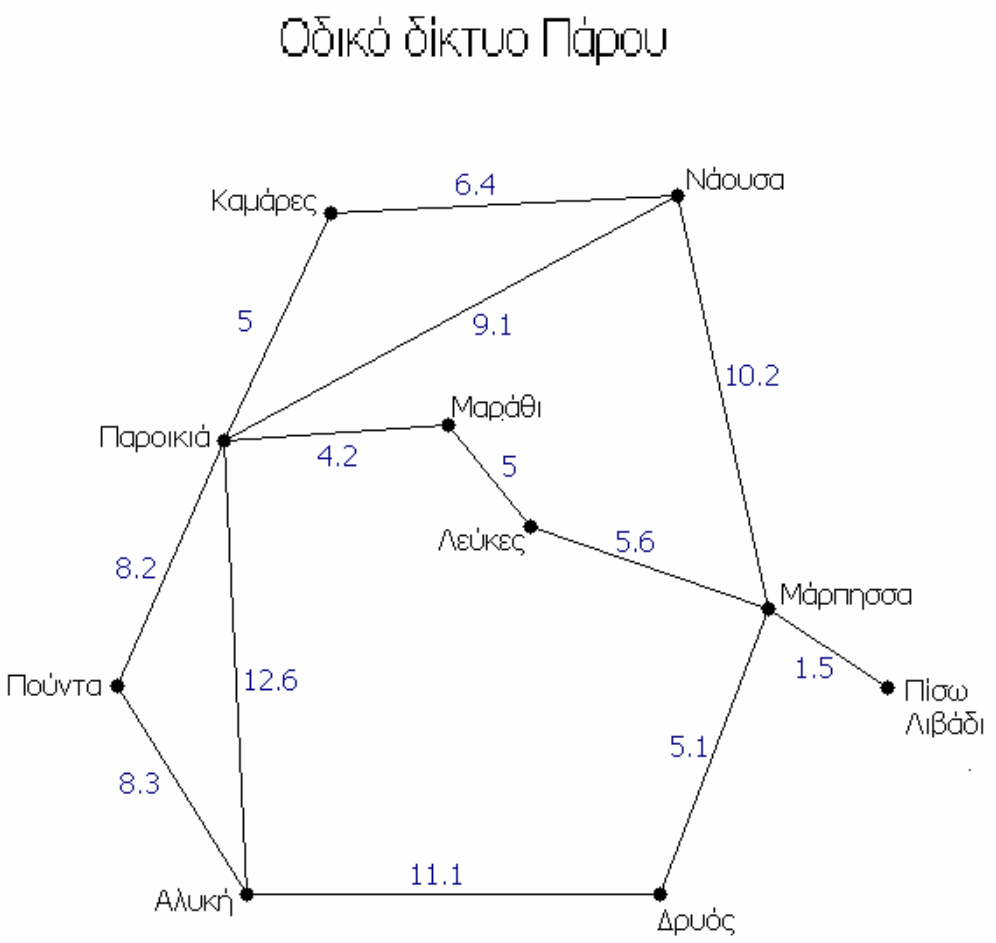
στήλη αυτού του πίνακα είμαστε σε θέση να αποφανθούμε για το ποιος οικισμός είναι γενικά ο πιο προσιτός απ' όλους. Στην περίπτωση της Πάρου ο πιο προσιτός οικισμός είναι αυτός της Παροικίας και μάλιστα με διαφορά από τους υπόλοιπους. Ακολουθούν η Νάουσα και η Μάρπησσα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΣΙΤΟΤΗΤΑΣ Τ											
	Νάουσα	Λεύκες	Μάρπησσα	Δρυός	Αλυκή	Παροικία	Πίσω Λιβάδι	Καμάρες	Πούντα	Μαράθι	Σ
Νάουσα	31	14	47	16	36	63	5	36	26	24	298
Λεύκες	14	4	34	4	21	18	2	19	12	21	149
Μάρπησσα	47	34	10	36	18	39	25	17	23	14	263
Δρυός	16	4	36	6	30	26	2	21	15	19	175
Αλυκή	36	21	18	30	29	62	11	25	33	16	281
Παροικία	63	18	39	26	62	61	12	53	52	48	434
Πίσω Λιβάδι	5	2	25	2	11	12	1	10	4	9	81
Καμάρες	36	19	17	21	25	53	10	24	24	15	244
Πούντα	26	12	23	15	33	52	4	24	24	16	229
Μαράθι	24	21	14	19	16	48	9	15	16	8	190
										Σ=	2344

3.7.3 Αξιολογημένο δίκτυο

Πολλές φορές δεν αρκεί να γνωρίζουμε μόνο τον αριθμό των οικισμών με τους οποίους συνδέεται ένας οικισμός. Οι μεταξύ τους αποστάσεις μπορεί να παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές είτε αυτές αφορούν χρονοαποστάσεις είτε χιλιομετρικές αποστάσεις ή ακόμα και ροές προϊόντων κλπ. Λαμβάνοντας υπ' όψιν ορισμένες τέτοιες παραμέτρους μας δίνεται η δυνατότητα να αξιολογήσουμε ένα δίκτυο, και συγκεκριμένα το οδικό δίκτυο, και να βγάλουμε κάποια επιπλέον συμπεράσματα.

Παρακάτω θα παρουσιαστεί το οδικό δίκτυο αφού προστέθηκαν οι χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ των κόμβων-οικισμών. Θα μπορέσουμε, έτσι, να υπολογίσουμε επιπλέον όχι μόνο τις τοπολογικές αποστάσεις αλλά και την πραγματική απόστασή τους σε χιλιόμετρα.



Το παραπάνω σχήμα μπορεί να αναπαρασταθεί από έναν αξιολογημένο πίνακα L. Σε αυτόν τον πίνακα παρουσιάζονται οι πραγματικές αποστάσεις μεταξύ των άμεσα συνδεδεμένων οικισμών. Ακολουθούν οι πίνακες L^2, L^3 και L^4 οι οποίοι παρουσιάζουν τις ελάχιστες χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ οικισμών που απέχουν μεταξύ τους 2, 3 και 4 βήματα αντίστοιχα. Όταν δύο οικισμοί δεν συνδέονται μεταξύ τους με το βήμα που ορίζει ο πίνακας, τότε αυτή η σύνδεση έχει την τιμή του απείρου (∞).

Παρακάτω παρουσιάζονται όλοι οι αξιολογημένοι πίνακες του οδικού δικτύου της Πάρου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ L										
	Νάουσα	Λεύκες	Μάρπησσα	Δρυός	Αλυκή	Παροικία	Πίσω Λιβάδι	Καμάρες	Πούντα	Μαράθι
Νάουσα	0	∞	10,2	∞	∞	9,1	∞	6,4	∞	∞
Λεύκες	∞	0	5,6	∞	∞	∞	∞	∞	∞	5
Μάρπησσα	10,2	5,6	0	5,1	∞	∞	1,5	∞	∞	∞
Δρυός	∞	∞	5,1	0	11,1	∞	∞	∞	∞	∞
Αλυκή	∞	∞	∞	11,1	0	12,6	∞	∞	8,3	∞
Παροικιά	9,1	∞	∞	∞	12,6	0	∞	5	8,2	4,2
Πίσω Λιβάδι	∞	∞	1,5	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞
Καμάρες	6,4	∞	∞	∞	∞	5	∞	0	∞	∞
Πούντα	∞	∞	∞	∞	8,3	8,2	∞	∞	0	∞
Μαράθι	∞	5	∞	∞	∞	4,2	∞	∞	∞	0

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ L^2										
	Νάουσα	Λεύκες	Μάρπησσα	Δρυός	Αλυκή	Παροικιά	Πίσω Λιβάδι	Καμάρες	Πούντα	Μαράθι
Νάουσα	0	15,8	10,2	15,3	21,7	9,1	11,7	6,4	17,3	13,3
Λεύκες	15,8	0	5,6	10,7	∞	9,2	7,1	∞	∞	5
Μάρπησσα	10,2	5,6	0	5,1	16,2	19,3	1,5	16,6	∞	10,6
Δρυός	15,3	10,7	5,1	0	11,1	23,7	6,6	∞	19,4	∞
Αλυκή	21,7	∞	16,2	11,1	0	12,6	∞	17,6	8,3	16,8
Παροικιά	9,1	9,2	19,3	23,7	12,6	0	∞	5	8,2	4,2
Πίσω Λιβάδι	11,7	7,1	1,5	6,6	∞	∞	0	∞	∞	∞
Καμάρες	6,4	∞	16,6	∞	17,6	5	∞	0	13,2	9,2
Πούντα	17,3	∞	∞	19,4	8,3	8,2	∞	13,2	0	12,4
Μαράθι	13,3	5	10,6	∞	16,8	4,2	∞	9,2	12,4	0

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ L^3										
	Νάουσα	Λεύκες	Μάρπησσα	Δρυός	Αλυκή	Παροικιά	Πίσω Λιβάδι	Καμάρες	Πούντα	Μαράθι
Νάουσα	0	15,8	10,2	15,3	21,7	9,1	11,7	6,4	17,3	13,3
Λεύκες	15,8	0	5,6	10,7	21,8	9,2	7,1	22,2	17,4	5
Μάρπησσα	10,2	5,6	0	5,1	16,2	19,3	1,5	16,6	24,5	10,6
Δρυός	15,3	10,7	5,1	0	11,1	23,7	6,6	21,7	19,4	15,7
Αλυκή	21,7	21,8	16,2	11,1	0	12,6	17,7	17,6	8,3	16,8
Παροικιά	9,1	9,2	19,3	23,7	12,6	0	20,1	5	8,2	4,2
Πίσω Λιβάδι	11,7	7,1	1,5	6,6	17,7	20,8	0	18,1	∞	12,1
Καμάρες	6,4	22,2	16,6	21,7	17,6	5	18,1	0	13,2	9,2
Πούντα	17,3	17,4	24,5	19,4	8,3	8,2	∞	13,2	0	12,4
Μαράθι	13,3	5	10,6	15,7	16,8	4,2	12,1	9,2	12,4	0

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ L^4											
	Νάουσα	Λεύκες	Μάρπησσα	Δρυός	Αλυκή	Παροικιά	Πίσω Λιβάδι	Καμάρες	Πούντα	Μαράθι	Σ
Νάουσα	0	15,8	10,2	15,3	21,7	9,1	11,7	6,4	17,3	13,3	120,8
Λεύκες	15,8	0	5,6	10,7	21,8	9,2	7,1	22,2	17,4	5	114,8
Μάρπησσα	10,2	5,6	0	5,1	16,2	19,3	1,5	16,6	24,5	10,6	109,6
Δρυός	15,3	10,7	5,1	0	11,1	23,7	6,6	21,7	19,4	15,7	129,3
Αλυκή	21,7	21,8	16,2	11,1	0	12,6	17,7	17,6	8,3	16,8	143,8
Παροικιά	9,1	9,2	19,3	23,7	12,6	0	20,1	5	8,2	4,2	111,4
Πίσω Λιβάδι	11,7	7,1	1,5	6,6	17,7	20,8	0	18,1	26	12,1	121,6
Καμάρες	6,4	22,2	16,6	21,7	17,6	5	18,1	0	13,2	9,2	130
Πούντα	17,3	17,4	24,5	19,4	8,3	8,2	26	13,2	0	12,4	146,7
Μαράθι	13,3	5	10,6	15,7	16,8	4,2	12,1	9,2	12,4	0	99,3

Ο τελευταίος πίνακας είναι αυτός που θα μας δείξει τις συνολικές χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ των οικισμών. Μπορούμε να δούμε, δηλαδή, τί απόσταση πρέπει να διανύσουμε ώστε να πάμε από έναν οικισμό σε οποιονδήποτε άλλο. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι έχει γίνει μία παραδοχή. Στην περίπτωση του δικτύου στο οποίο εργαζόμαστε, για να κάνει κανείς τη διαδρομή από Μαράθι στη Νάουσα και αντίστροφα θα πρέπει να πάει μέσω Μάρπησσας. Αυτό, όμως, δεν ισχύει στην πραγματικότητα οπότε σε όσους υπολογισμούς εμπεριέχεται αυτό το τμήμα του οδικού δικτύου οι χιλιομετρικές αποστάσεις είναι μεγαλύτερες απ' ότι είναι στην πραγματικότητα. Η τελευταία στήλη περιέχει τις συνολικές αποστάσεις ενός οικισμού από τους υπόλοιπους. Παρατηρούμε ότι συνολικά τις μικρότερες αποστάσεις διανύει κανείς αν βρίσκεται στο Μαράθι. Αυτό γίνεται διότι ο οικισμός αυτός βρίσκεται στο κέντρο του νησιού και έχει τις κατάλληλες συνδέσεις έτσι ώστε να είναι χιλιομετρικά πιο κοντά σε όλους τους υπόλοιπους οικισμούς. Αντιθέτως η Αλυκή και η Πούντα αποτελούν τους οικισμούς οι οποίοι είναι γενικά πιο απομακρυσμένοι από τους υπόλοιπους καθώς οι συνολικές αποστάσεις τους από τους υπόλοιπους οικισμούς είναι συγκριτικά οι μεγαλύτερες. Επίσης, παρατηρούμε ότι ούτε η Παροικιά, που είναι η πρωτεύουσα, αλλά ούτε και η Νάουσα, που αποτελεί τον

επόμενο μεγαλύτερο οικισμό, έχουν μικρές αποστάσεις από τους υπόλοιπους οικισμούς.

3.8 Αξιολόγηση οδικού δικτύου με την αξιοποίηση αναλυτικών λειτουργιών ΣΓΠ

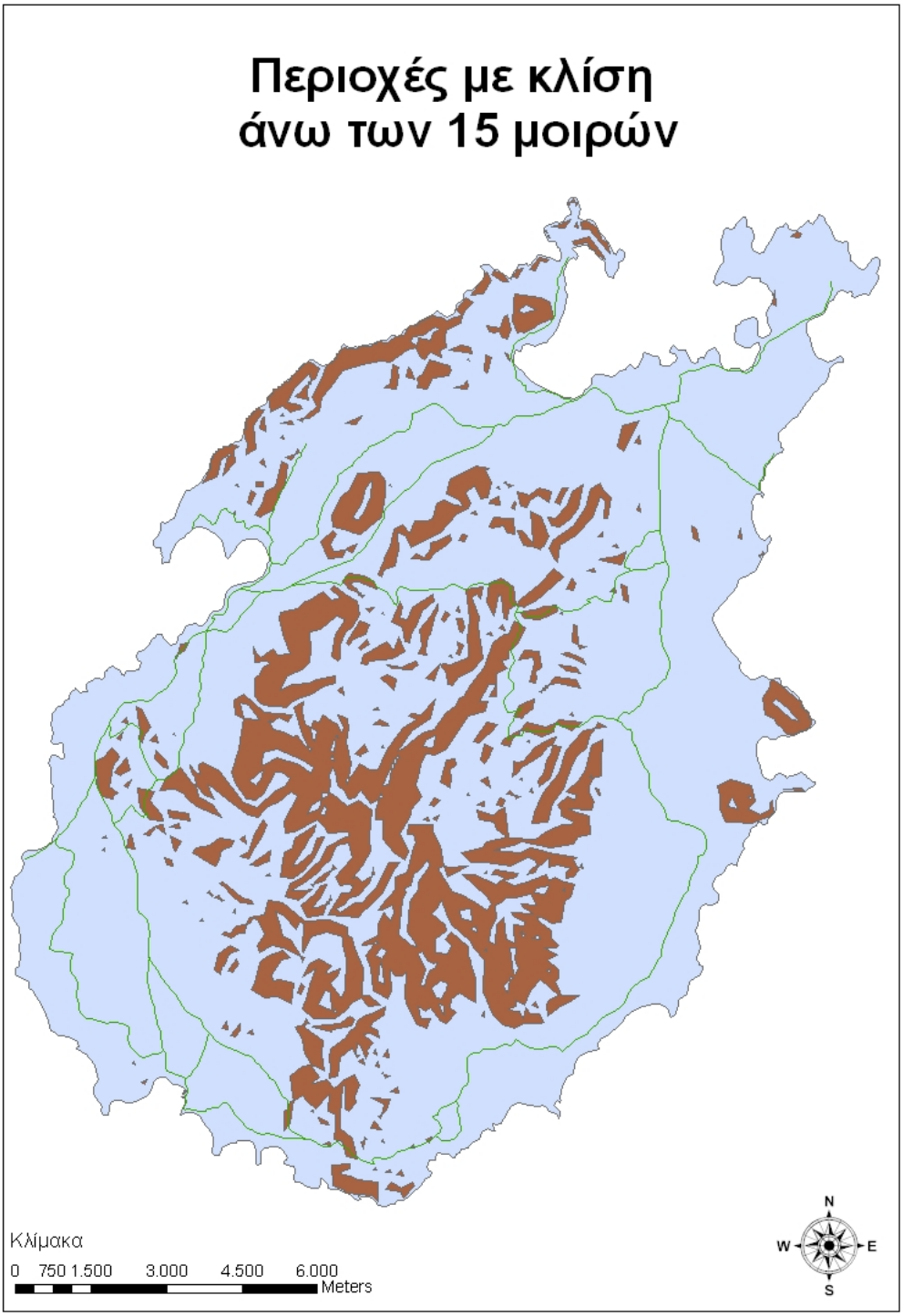
Με τη χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών είμαστε σε θέση να κάνουμε υπολογισμούς και να εξάγουμε χρήσιμη πληροφορία, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Σε αυτό το κεφάλαιο θα προσπαθήσουμε να παρουσιάσουμε πότε και σε ποια σημεία του οδικού δικτύου μπορεί η οδήγηση να είναι επικίνδυνη. Η επικινδυνότητα αυτή θα εξετασθεί με βάση δύο παράγοντες. Ο πρώτος έχει να κάνει με την κλίση του εδάφους και ο δεύτερος με τη θέση του ηλίου.

3.8.1 Κλίση εδάφους

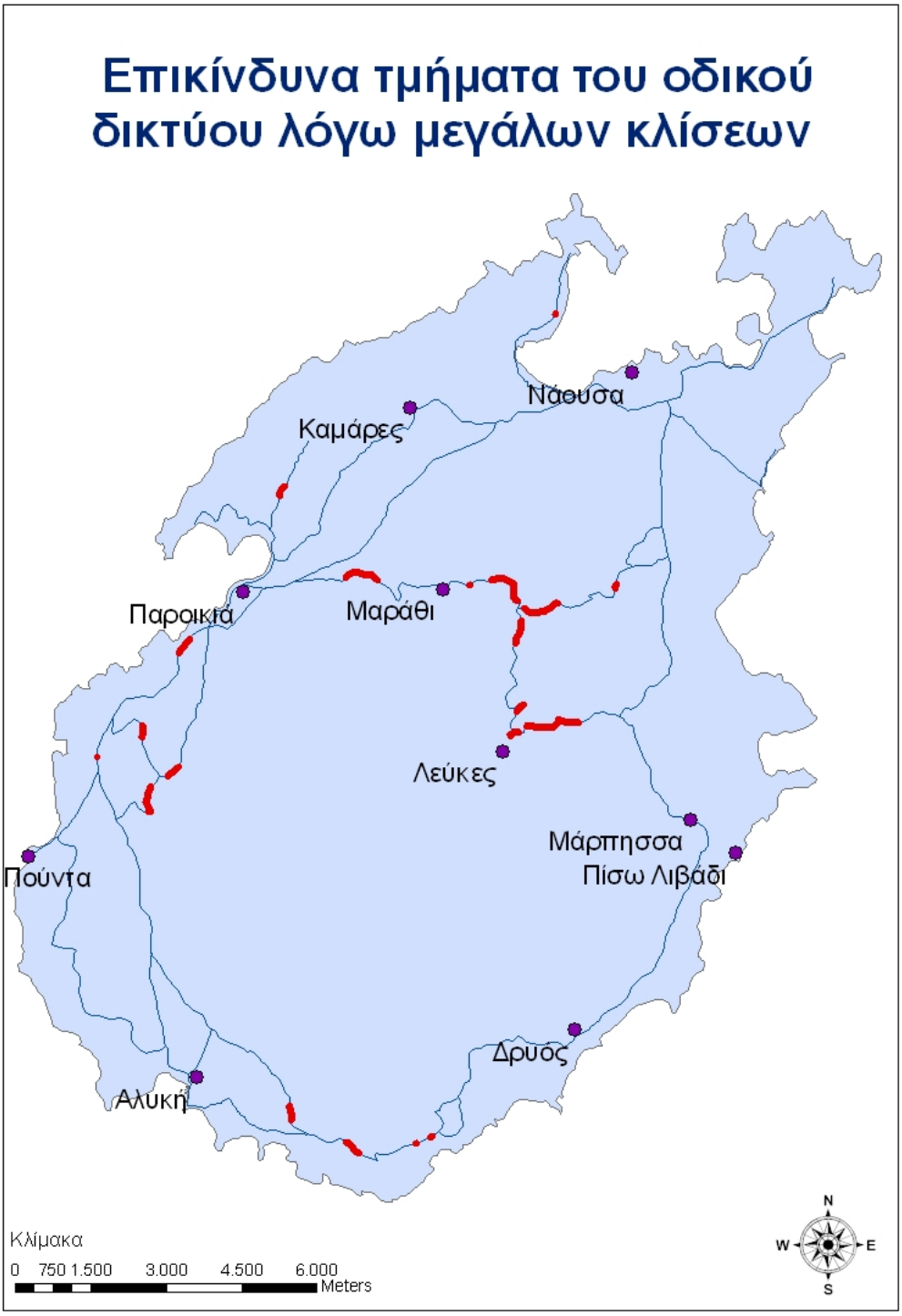
Πολλές φορές η κλίση του εδάφους στο οποίο βρίσκεται ένα τμήμα του οδικού δικτύου είναι τόσο μεγάλη που υπάρχει κίνδυνος να προκληθούν προβλήματα τα οποία με τη σειρά τους είναι πιθανό να γίνουν η αιτία για κάποιο ατύχημα. Ορισμένα παραδείγματα αποτελούν η αστάθεια του εδάφους, η οποία μπορεί να προκαλέσει κατολισθήσεις, και οι μεγάλες ταχύτητες που αναπτύσσει το νερό όταν πρόκειται για επιφάνειες απορροής αυτού.

Όπως παρουσιάστηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, υπάρχουν περιοχές στο νησί οι οποίες έχουν σχετικά μεγάλη κλίση. Αναγκαίο, λοιπόν, είναι να παρουσιάσουμε τα τμήματα του οδικού δικτύου τα οποία βρίσκονται πάνω σε τέτοιες περιοχές. Υποθέτοντας ότι η κλίση του εδάφους μπορεί να χαρακτηριστεί επικίνδυνη όταν η τιμή της είναι από 15 μοίρες και πάνω, θα υπολογίσουμε αρχικά ποιες είναι αυτές οι περιοχές.

Όπως παρατηρούμε στον επόμενο χάρτη, οι απότομες κλίσεις (κλίσεις άνω των 15 μοιρών) παρουσιάζονται στις ορεινές περιοχές του νησιού. Πρόκειται για τις 'επικίνδυνες' περιοχές λόγω κατολισθήσεων.

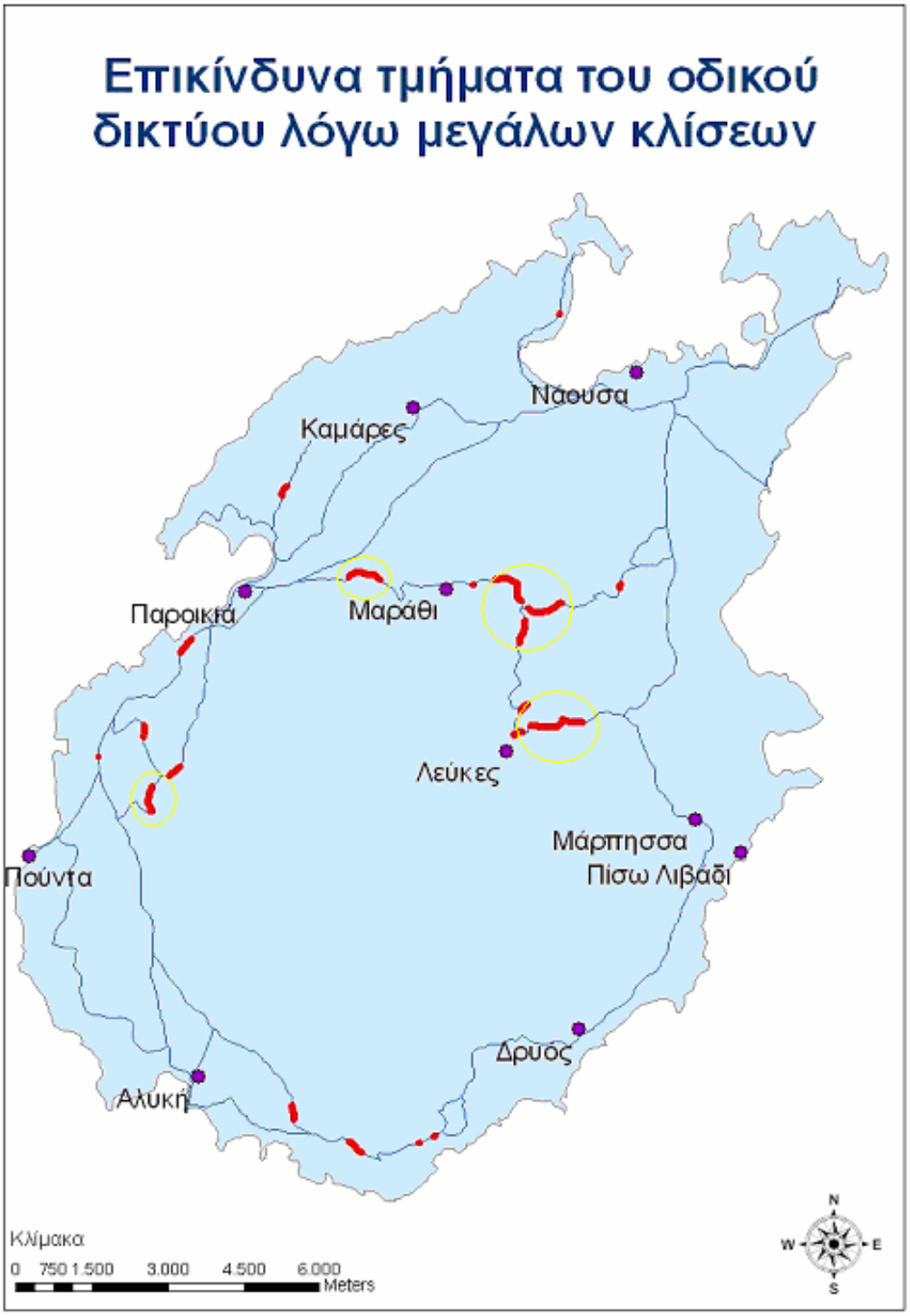


Βασιζόμενοι σε αυτό τον υπολογισμό είμαστε σε θέση να παρουσιάσουμε και τα τμήματα του οδικού δικτύου της Πάρου στα οποία υπάρχει κίνδυνος ατυχήματος λόγω κατολισθήσεων. Αυτά παρουσιάζονται στον παρακάτω χάρτη.



Όπως φαίνεται, τα περισσότερα 'επικίνδυνα' τμήματα του οδικού δικτύου βρίσκονται στο τμήμα του δρόμου που ενώνει τη Μάρπησσα με την Παροικιά και περνάει από τις Λεύκες και το Μαράθι. Επίσης, μεγάλες κλίσεις κοντά στο οδικό δίκτυο έχουμε στο τμήμα μεταξύ Παροικιάς και Πούντας καθώς και στην ευρύτερη περιοχή της Νάουσας.

Όπως βλέπουμε στον παρακάτω χάρτη, υπάρχουν αρκετά σημεία του δρόμου μήκους άνω των 400 μέτρων τα οποία βρίσκονται σε έδαφος με κλίση μεγαλύτερη των 15 μοιρών.



Τα τρία τμήματα που βρίσκονται μεταξύ Μαραθίου και Λευκών αποτελούν το πιο μακρύ κομμάτι καθώς μετρούν συνολικά περίπου 2,1 χιλιόμετρα. Ακολουθεί το τμήμα ανατολικά των Λευκών με μήκος περίπου 1,3 χιλιόμετρα. Τέλος δύο πιο μικρά κομμάτια του οδικού δικτύου που βρίσκονται σε περιοχή

επικίνδυνων κλίσεων βρίσκονται το ένα δυτικά του Μαραθίου και το άλλο βορειοδυτικά της Πούντας με μήκος 721 και 620μετρα αντίστοιχα.

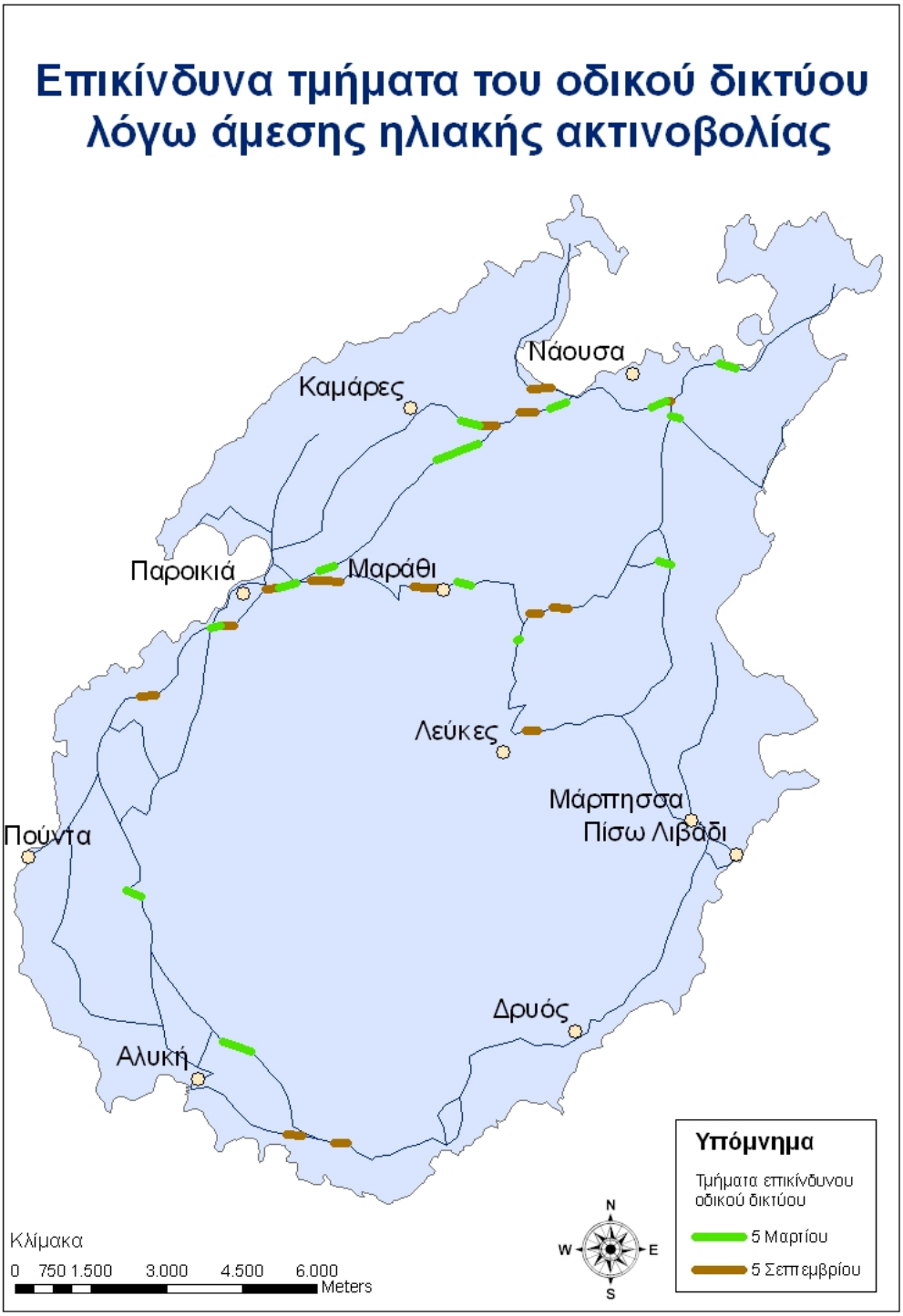
3.8.2 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία

Μια άλλη χρήσιμη εφαρμογή είναι ο εντοπισμός τμημάτων του δρόμου οι οποίοι μπορεί να είναι επικίνδυνοι λόγω άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας η οποία επηρρεάζει το οπτικό πεδίο των οδηγών. Αυτό συνήθως παρατηρείται τις πρωινές ώρες που το ύψος του ήλιου είναι μικρό. Σε αυτή την περίπτωση υποθέτουμε ότι ο ήλιος είναι 'επικίνδυνος' όταν οι ακτίνες του έχουν την ίδια κατεύθυνση με αυτή του δρόμου και όταν αυτές σχηματίζουν με την επιφάνεια του δρόμου γωνία 0-20 μοίρες. Εδώ έχουμε κάνει την παραδοχή ότι οι δρόμοι είναι επίπεδοι και ότι δεν υπάρχει σκίαση.

Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τα επικίνδυνα τμήματα του οδικού δικτύου πρέπει αρχικά να βρούμε το ύψος καθώς και το αζιμούθιο του ηλίου τις συγκεκριμένες μέρες που εξετάσθηκαν ($5^{η}$ Σεπτεμβρίου και $5^{η}$ Μαρτίου). Το επόμενο βήμα ήταν να αποκόψουμε και να χρησιμοποιήσουμε μόνο τις τιμές αζιμουθίου οι οποίες αντιστοιχούν στις τιμές ύψους του ηλίου οι οποίες μπορεί να θεωρηθούν επικίνδυνες. Έτσι, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι άμεση ηλιακή ακτινοβολία την $5^{η}$ Σεπτεμβρίου έχουμε όταν το αζιμούθιο του ηλίου είναι 90° το πρωί και 268° το βράδυ. Αυτές οι τιμές στην περίπτωση της $5^{ης}$ Μαρτίου είναι 108° και 251° αντίστοιχα.

Στον παρακάτω χάρτη παρουσιάζονται τα επικίνδυνα τμήματα του οδικού δικτύου λόγω ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως παρατηρούμε αυτά δεν παραμένουν τα ίδια καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αυτό διότι αλλάζει η θέση της γης ως προς τον ήλιο με αποτέλεσμα οι ακτίνες του να 'πέφτουν' στη γη με διαφορετική γωνία. Στην περίπτωσή μας έχουμε πάρει ενδεικτικά τιμές από δύο μήνες του έτους. Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκαν η $5^{η}$ Μαρτίου και η $5^{η}$ Σεπτεμβρίου 2007. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, κάθε μήνα έχουμε και

διαφορετικά σημεία του δρόμου όπου ο ήλιος μπορεί να είναι επικίνδυνος στην οδήγηση.



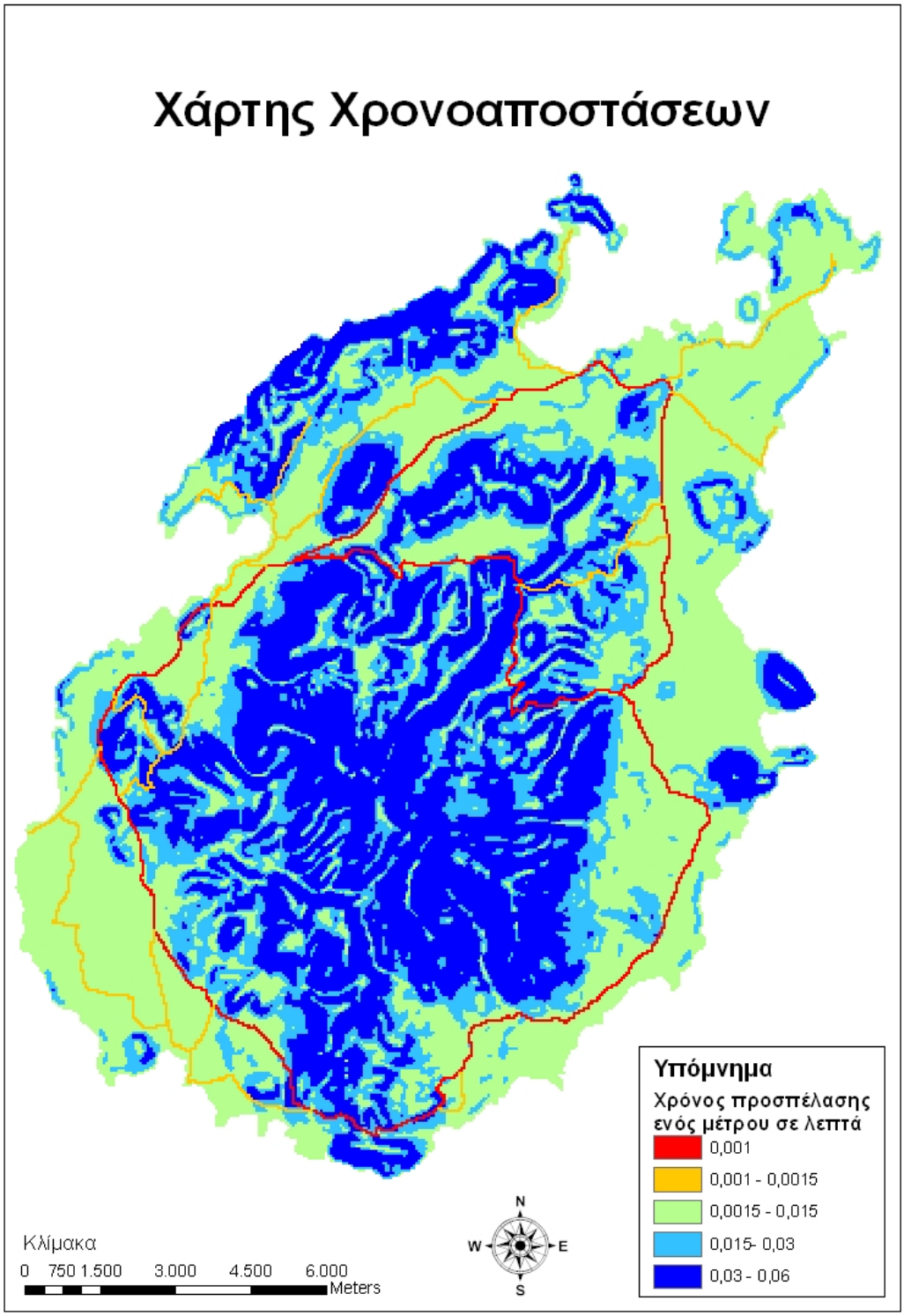
3.8.3 Υπολογισμός χρονοαποστάσεων πρόσβασης

Μία εξαιρετικά χρήσιμη εφαρμογή είναι ο υπολογισμός της συντομότερης διαδρομής από ένα σημείο σε ένα άλλο. Είναι πολύ σημαντικό να μπορούμε να γνωρίζουμε ποια διαδρομή θα ακολουθήσουμε ώστε να έχουμε το χαμηλότερο δυνατό κόστος μετακίνησης. Το κόστος αυτό μπορεί να αφορά χρόνο, κατανάλωση καυσίμου, έξοδα ή κάποιο άλλο κριτήριο (http://support.esri.com). Με τη χρήση του αντίστοιχου εργαλείου (cost path) τα ΣΓΠ θα μας βοηθήσουν να βρούμε ποια είναι η συντομότερη διαδρομή από ένα σημείο σε ένα άλλο. (ArcGIS Desktop Help, 11/02/2008) Στα πλαίσια αυτής της εργασίας θα περιοριστούμε στην εύρεση της συντομότερης διαδρομής από οποιοδήποτε σημείο της Πάρου στο ιατρικό κέντρο το οποίο βρίσκεται στην Παροικιά. Ο χρόνος, δηλαδή, θα αποτελεί στην περίπτωσή μας τη μονάδα κόστους. Ο υπολογισμός του χρόνου πρόσβασης από ένα σημείο σε ένα άλλο καθώς και η συντομότερη διαδρομή πρόσβασης εξαρτώνται από μία σειρά από παράγοντες (www.esri.com, 2/2/2008). Στην παρούσα εργασία θα λειφθούν υπ' όψιν δύο μόνο παράγοντες. Η ταχύτητα που μπορούμε να αναπτύξουμε στο βασικό οδικό δίκτυο της Πάρου και η ταχύτητα που μπορούμε να αναπτύξουμε εκτός αυτού, ανάλογα με την κλίση του εδάφους.

Αρχικά, είναι απαραίτητο να κάνουμε ορισμένες παραδοχές. Πρώτον, υποθέτουμε ότι το οδικό δίκτυο του νησιού περιορίζεται αποκλειστικά και μόνο σε αυτό που καταγράφηκε και παρουσιάστηκε παραπάνω. Σύμφωνα με αυτή την παραδοχή, δεν υπάρχουν πουθενά χωματόδρομοι ή μονοπάτια. Οι καταγεγραμμένοι δρόμοι, ανήκουν σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με τη μέση ανάπτυξη ταχύτητας σε αυτούς. Στην πρώτη κατηγορία, που αποτελεί και το κύριο οδικό δίκτυο, η μέση ταχύτητα είναι 60km/h και στη δεύτερη 40km/h.

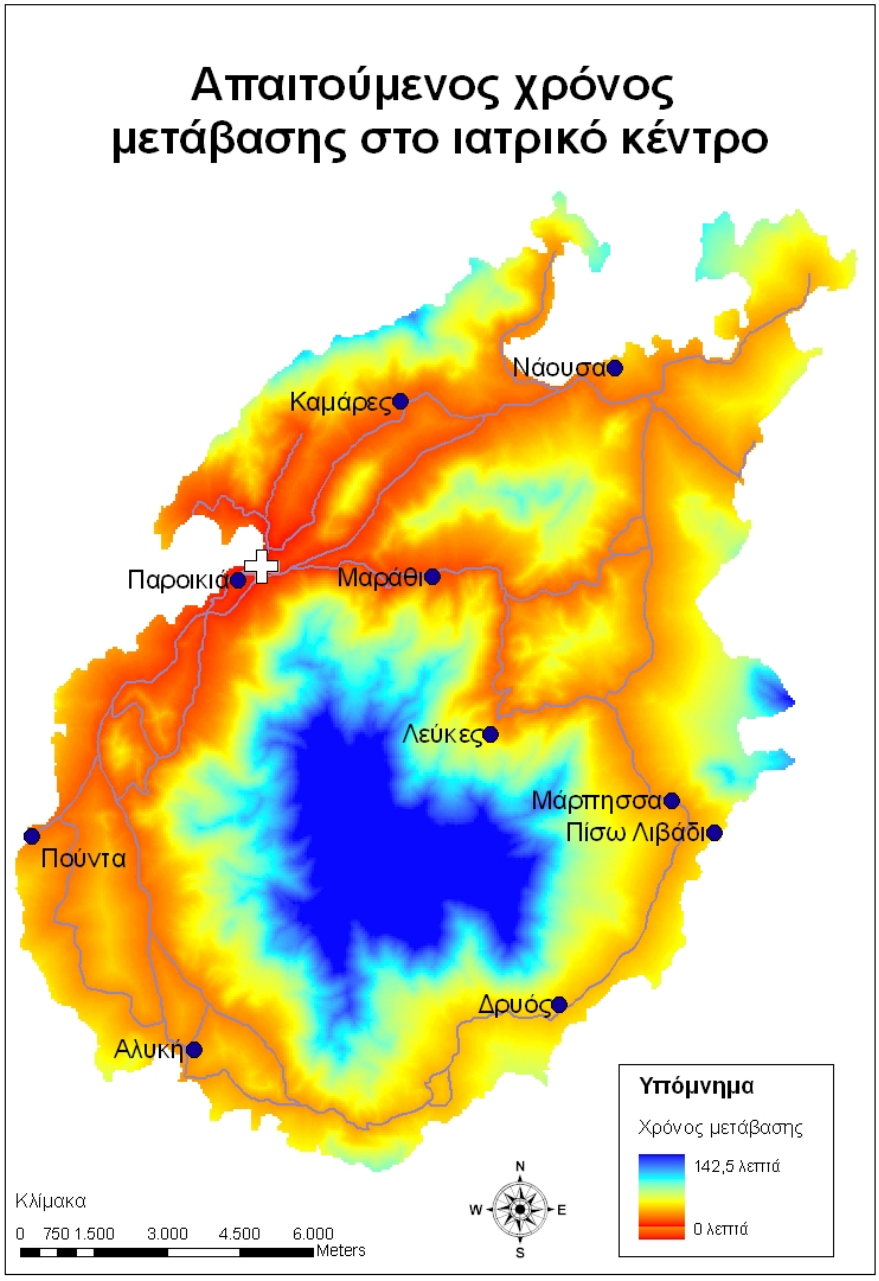
Η δεύτερη παραδοχή μας είναι η μέση ταχύτητα βαδίσματος ανάλογα με την κλίση του εδάφους. Υποθέτουμε, λοιπόν, ότι ένας άνθρωπος μπορεί να διανύσει 4km/h σε έδαφος με κλίση μέχρι 10%, 2km/h με κλίση από 10 μέχρι 20% και 1km/h με κλίση μεγαλύτερη από 20%.

Εφόσον δεχόμαστε τα παραπάνω, μπορούμε να προχωρήσουμε και να δημιουργήσουμε ένα ψηφιδωτό αρχείο στο οποίο θα υπάρχει η πληροφορία σχετικά με το πόση ώρα (σε λεπτά) χρειαζόμαστε για να διανύσουμε ένα μέτρο, σύμφωνα με τις παραπάνω τιμές.



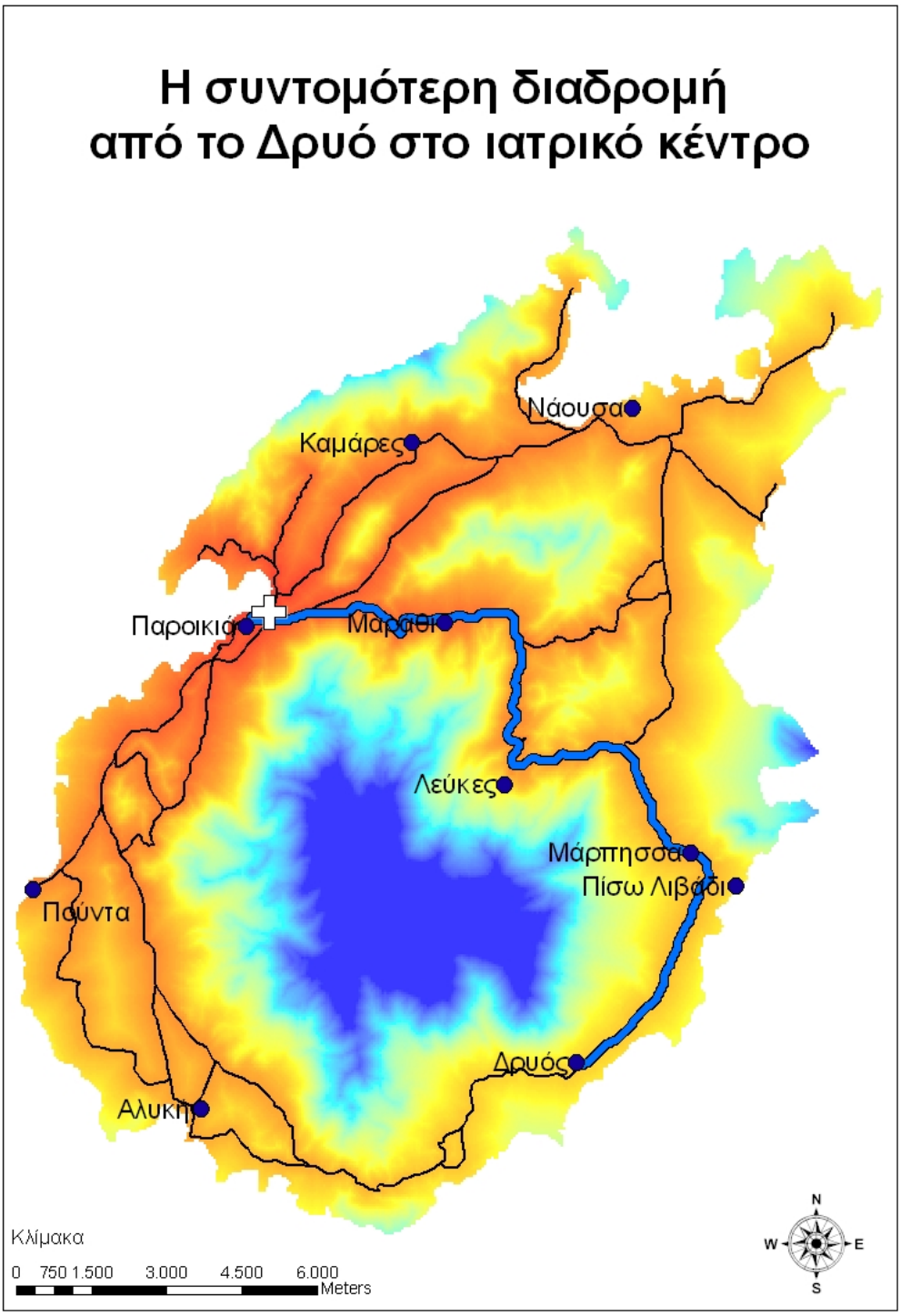
Ο παραπάνω χάρτης μας παρουσιάζει το χρόνο που χρειαζόμαστε να διανύσουμε την απόσταση του ενός μέτρου. Παρατηρούμε ότι οι μικρότεροι χρόνοι εμφανίζονται (όπως είναι αναμενόμενο) κατά μήκος του οδικού δικτύου ενώ οι μεγαλύτερες τιμές χρόνου παρουσιάζονται στις περιοχές όπου έχουμε ορεινούς όγκους και συνεπώς μεγαλύτερες κλίσεις εδάφους.

Το επόμενό μας βήμα είναι να δημιουργήσουμε ένα αρχείο στο οποίο θα υπάρχει πληροφορία σχετικά με το πόσο χρόνο χρειαζόμαστε να πάμε από ένα οποιοδήποτε σημείο του νησιού στο ιατρικό κέντρο.

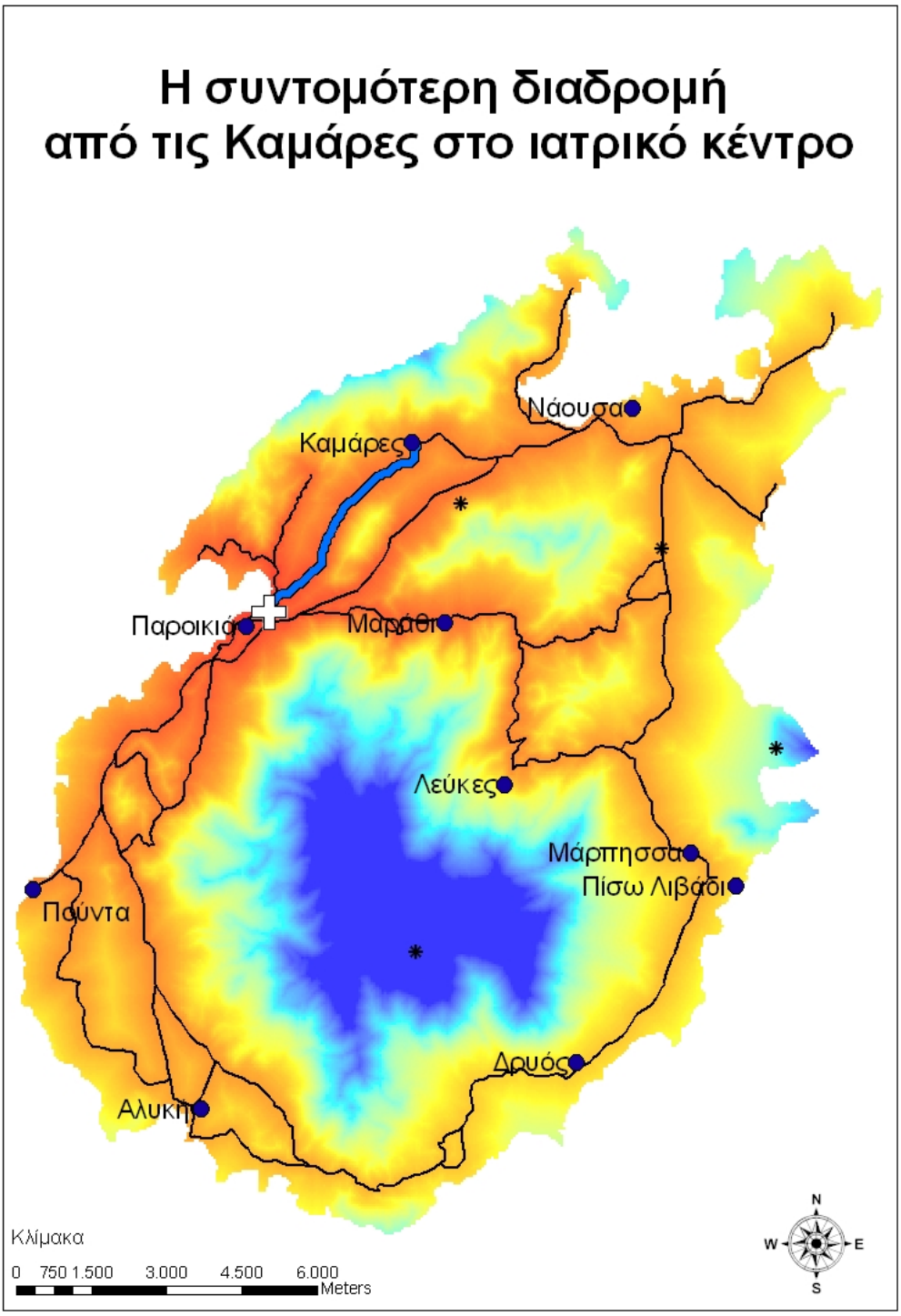


Κάθε σημείο του νησιού απεικονίζεται με άλλο χρώμα, ανάλογα με το χρόνο που απαιτείται για να μεταβεί κανείς από εκεί στο ιατρικό κέντρο. Όπως παρατηρούμε, οι μικρότεροι χρόνοι μετάβασης παρουσιάζονται στις περιοχές που βρίσκονται κοντά στο οδικό δίκτυο ενώ όσο απομακρυνόμαστε από αυτό ο χρόνος αυξάνεται. Στη χειρότερη περίπτωση, όμως, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των υπολογισμών μας θα κάνουμε 142,5 λεπτά, δηλαδή περίπου 2,5 ώρες για να φτάσουμε στο ιατρικό κέντρο.

Αν προχωρήσουμε ένα βήμα παραπάνω, έχουμε τη δυνατότητα, χρησιμοποιώντας την πληροφορία σχετικά με τους χρόνους προσπέλασης των περιοχών του νησιού, να υπολογίσουμε και να υποδείξουμε τη συντομότερη διαδρομή από ένα οποιοδήποτε σημείο στο ιατρικό κέντρο. Έτσι, παρακάτω παρουσιάζονται οι συντομότερες διαδρομές από ορισμένους οικισμούς της Πάρου καθώς και από κάποια τυχαία σημεία στο ιατρικό κέντρο της Παροικιάς.



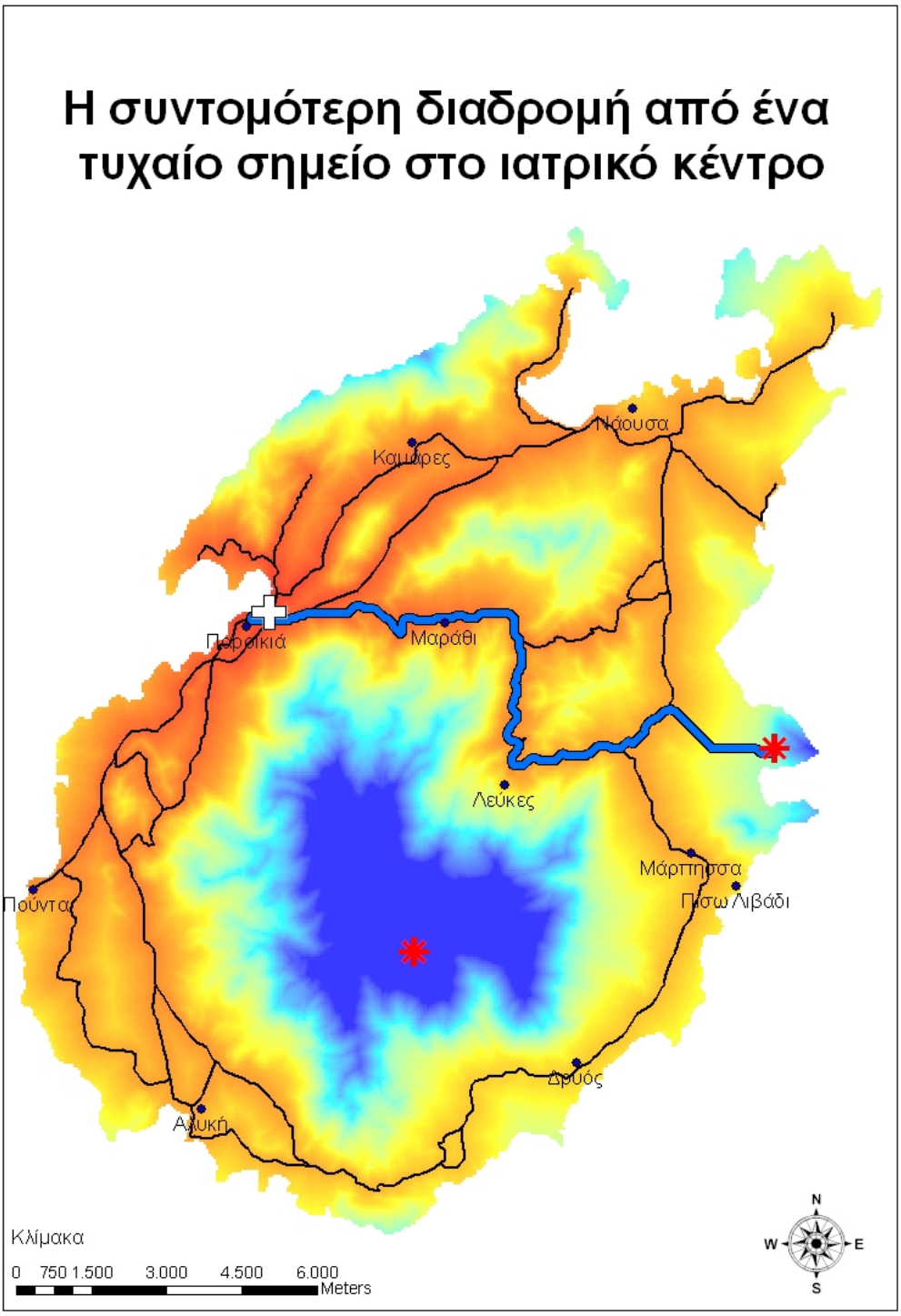
Από τον παραπάνω χάρτη συμπεραίνουμε ότι ο συντομότερος δρόμος από το Δρυό στο ιατρικό κέντρο της Παροικιάς είναι μέσω Λευκών και φυσικά ακολουθώντας το οδικό δίκτυο. Αν ανατρέξουμε και στο αξιολογημένο δίκτυο που παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο θα δούμε ότι και από εκεί θα καταλήγαμε στο ίδιο συμπέρασμα



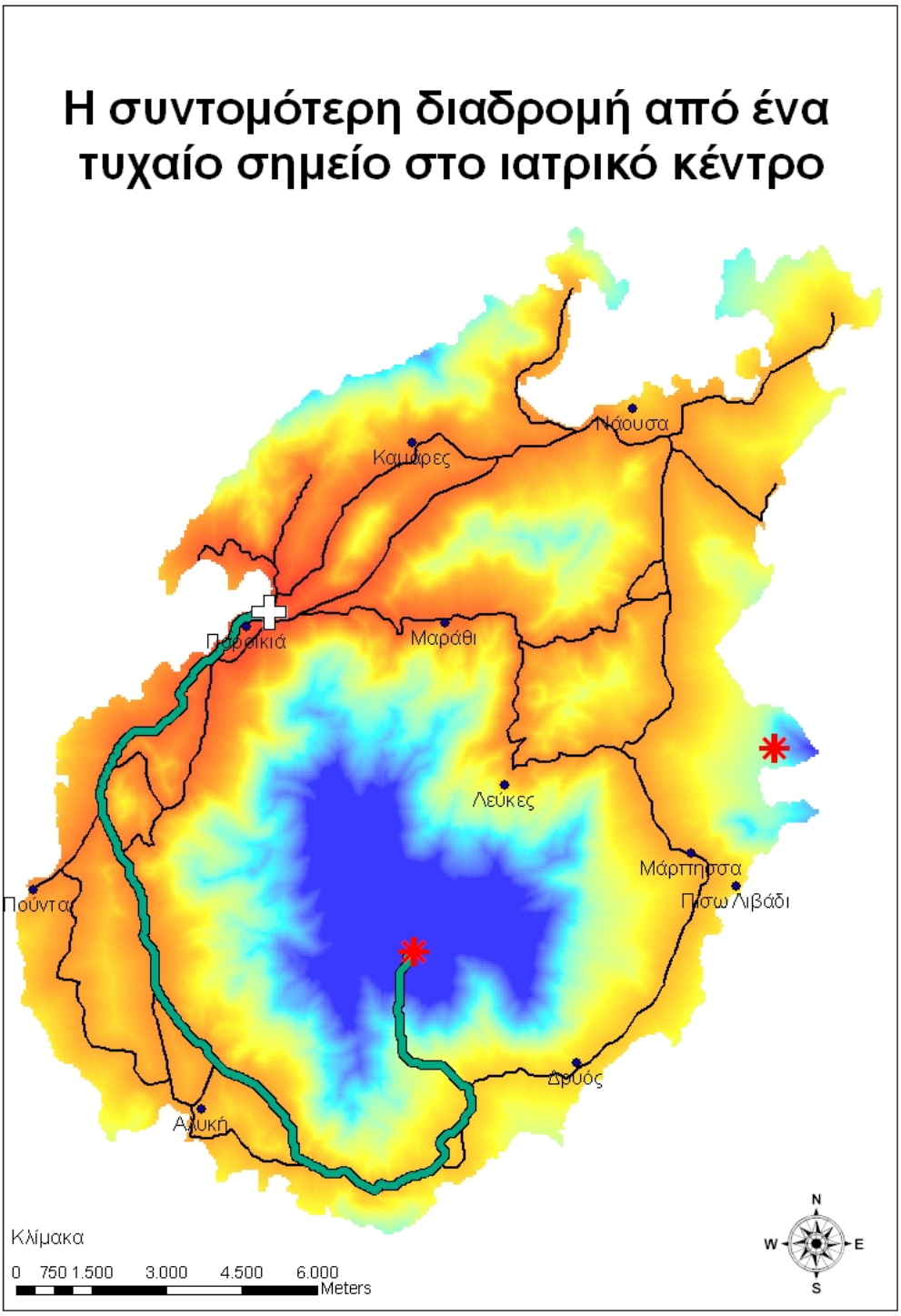
Όπως είναι αναμενόμενο, η συντομότερη διαδρομή από τις Καμάρες στο ιατρικό κέντρο είναι από το τμήμα του οδικού δικτύου που απεικονίζεται στον παραπάνω χάρτη.

Στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις τα σημεία εκκίνησης ήταν κάποιοι οικισμοί οι οποίοι έτσι κι αλλιώς βρίσκονται πάνω στο οδικό δίκτυο. Όπως θα μπορούσε να προβλέψει κανείς με σχετική ακρίβεια, οι συντομότερες διαδρομές ακολουθούν το οδικό δίκτυο το οποίο περνά από αυτούς τους οικισμούς. Τι γίνεται, όμως, στην περίπτωση που θέλουμε να πάμε στο ιατρικό κέντρο από ένα σημείο το οποίο είναι απομακρυσμένο από το οδικό δίκτυο; Ποια διαδρομή θα πρέπει να ακολουθήσουμε ώστε να φτάσουμε όσο το δυνατόν συντομότερα στον προορισμό μας; Χρησιμοποιώντας και πάλι τα εργαλεία του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (ArcMap) μπορούμε εύκολα να βρούμε και σε αυτή την περίπτωση τη συντομότερη χρονικά διαδρομή.

Παρακάτω παρουσιάζονται δύο παραδείγματα περιπτώσεων στα οποία πρέπει να επιλύσουμε παρόμοιο πρόβλημα.



Σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε ότι ακολουθείται μία συγκεκριμένη και όχι ευθύγραμμη πορεία, μέχρι κάποιο σημείο του δρόμου από το οποίο και συνεχίζουμε ακολουθώντας τους δρόμους.



Εδώ, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, ακολουθείται μία συγκεκριμένη διαδρομή μέχρι ένα σημείο του οδικού δικτύου. Από εκεί και πέρα η διαδρομή ακολουθεί το οδικό δίκτυο. Παρατηρούμε ότι δεν πρέπει να κατευθυνθούμε από την αρχή προς την κατεύθυνση της Παροικιάς. Αυτό διότι παρόλο που

φαινομενικά η πρόσβαση είναι πιο άμεση, απαιτεί περισσότερο χρόνο. Η συντομότερη χρονικά διαδρομή είναι αυτή που παρουσιάζεται στο χάρτη.

3.9 Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι και στην παρούσα εργασία, όπως και σε κάθε ανάλογη περίπτωση, το σύστημα GPS, τα ΣΓΠ και περισσότερο απ' όλα ο συνδυασμός αυτών ήταν τα βασικά εργαλεία μας. Το ένα εργαλείο συμληρώνει το άλλο και τα δύο μαζί μας βοήθησαν στην καταγραφή αλλά και την απεικόνιση του οδικού δικτύου της Πάρου καθώς και του αναγλύφου αυτής. Όσο απαραίτητη ήταν η χρήση του συστήματος GPS στην καταγραφή του οδικού διτύου, άλλο τόσο απαραίτητα μας ήταν τα GIS για τη διαχείριση και ανάλυση των χωρικών μας δεδομένων. Όπως παρουσιάστηκε και φάνηκε στο τελευταίο κεφάλαιο, με τα ΣΓΠ έχουμε αναρύθμιτες εφαρμογές για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών οι οποίες με τη σειρά τους μας βοηθούν να πάρουμε από απλές μέχρι πολύ κρίσιμες αποφάσεις. Όταν οι αποφάσεις μας στηρίζονται κατά μεγάλο ποσοστό σε πηροφορία χωρικού περιεχομένου τότε τα ΣΓΠ αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα (αν όχι το σημαντικότερο) εργαλείο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bernhardsen T., 2002: *Geographic Information Systems: an introduction*, 3rd Edition, John Wiley and Sons, New York.

El-Rabbany Ahmed, 2002: *Introduction to GPS: The Global Positioning System*, Artech House INC.

French G., 1996: *Understanding the GPS: An Introduction to the Global Positioning System*, GeoResearch Inc.

Heywood I., Cornelius S., Carver S., 2002: *An introduction to Geographical Information Systems*, 2nd Edition, Pearson Education Ltd.

Jones C., 1997: *Geographical Information Systems and Computer Cartography*, Prentice Hall.

Kaplan Elliott D., 1996: *Understanding GPS: Principles and Applications*, Artech House INC.

Korte G., 2001: *The GIS book: How to implement, manage, and assess the value of Geographic Information Systems*, 5th Edition, On Word Press.

Longley P., Goodchild M., Maguire D., Rhind D. 2001: *Geographic Information Systems and Science*, John Willey and Sons.

Spencer J., Frizzelle B., Page P., Vogler J., 2003: *Global Positioning System: A Field Guide for the Social Sciences*, Blackwell Publishing Ltd.

Star J., Estes J 1990: *Geographic Information Systems: An Introduction*, Prentice Hall.

Γενική Παγκόσμιος Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος – Λαρούς, Επιστημονική Εταιρεία των Ελληνικών γραμμάτων, 1964, σελ. 1072.

Κουτσόπουλος Κ. 2005: *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Μανασής Θ., 2006: *Το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης και πλοήγησης Galileo της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος και σύγκρισή του με το GPS*, Πτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

Μανιάτης Γ., 1993: *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Γης – Κτηματολογίου*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Μπεζές Α. Κάρολος: *Υδρογεωλογία της Νήσου Πάρου*, http://www.waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/bezes_k.pdf

Σταματελάτος Μ., Βάμβα – Σταματελάτου Φ., 2001: *Επίτομο Γεωγραφικό Λεξικό της Ελλάδος*, Ερμής, Αθήνα.

Στεφανάκης Ε, 2003: *Βάσεις Γεωγραφικών Δεδομένων και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Στεφανάκης Ε., 2006: *Αναλυτική Χαρτογραφία, Σημειώσεις*, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Καλλιθέα.

Στεφανάκης Ε., 2002: *Φύση και Καταγραφή Γεωγραφικών Δεδομένων, Σημειώσεις*, τεύχος 1, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Καλλιθέα.

Χαλκιάς Χ., 2006: *Όροι και Έννοιες επιστήμης Γεωγραφικών Πληροφοριών*, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.

Χαλκιάς Χ., 2002: *Οργάνωση Γεωγραφικών Πληροφοριών για τα Ελληνικά νησιά με την αξιοποίηση σύγχρονων τεχνολογιών εργαλείων*, σελ. 62 – 95, στο *Γεωγραφίες*, Εξάντας.

Χαλκιάς Χ., 2005: *Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών ΙΙ (Συμπληρωματικές σημειώσεις)*, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

Χαλκιάς Χ., 2004: *Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών Ι*, Συμπληρωματικές σημειώσεις, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Καλλιθέα.

Χαλκιάς Χ., 2005: *Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών ΙΙ*, Συμπληρωματικές σημειώσεις, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Καλλιθέα.

ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

http://www.navicom.co.kr/english/gps/fundamental.asp
http://140.137.13.100/derceng/SERVICE/SE_JPG/cstech014.jpg
http://www.kowoma.de/en/gps/positioning.htm
http://www.sco.wisc.edu
http://www.arboris.de
http://www.aviationshop.com.au
http://instruct.uwo.ca
http://iodeweb5.vliz.be
www.slc.k12.ut.us
http://hosting.soonet.ca
http://www.esa.int
www.vectorsite.net
www.extension.umn.edu
http://www.floridahistory.com
http://www.gce.com.jo
http://www.ec-gis.org
http://www.csc.noaa.gov

www.co.dakota.mn.us
webhelp.esri.com
www.partow.net
www.geog.buffalo.edu
uwadmnweb.uwyo.edu
http://support.esri.com
www.uwlax.edu
ndis1.nrel.colostate.edu
www.wayfarer.co.uk
www.eomonline.com
www.novabase.pt
ee.sharif.edu
pubs.caes.uga.edu
rockyweb.cr.usgs.gov
www.esri.com
www.windmillstravel.com
http://www.univ-ag.fr