



ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ –
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΕΣΗ
ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΧΑΡΑΞΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ
ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕΓΑΛΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΕΝΑΝΤΙ
ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΓΕΩΚΙΝΔΥΝΩΝ



Γεωργόπουλος Γεώργιος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Πρόδρομος Ψαρρόπουλος, ΕΔΙΠ, ΕΜΠ

Αθήνα, 2023





ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ –
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

THESIS

MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR FINDING THE
OPTIMAL ROUTE OF HIGH LENGTH ENERGY
NETWORKS AGAINST SEISMIC GEOHAZARDS



Georgopoulos Georgios

Athens, 2023



Στην οικογένεια μου



Ευχαριστίες

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Πρόδρομο Ψαρρόπουλο που ήταν επιβλέπων της διπλωματικής εργασίας μου και με καθοδήγησε ώστε να έχω το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Νίκο Μακράκη για τις σημαντικές συμβουλές και κατευθυντήριες που μου έδωσε καθόλη τη διάρκεια της διεξαγωγής της μελέτης μου.

Θα ήθελα να πω και ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους και συμφοιτητές μου που ήταν μαζί μου σε αυτή την πορεία και ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Γιάννη Αυγερινό και τον Περσέα Στυλιανού που είχαν πάντοτε μια απάντηση για κάθε μου απορία.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου την οικογένειά μου, που με στήριξε και με υποστήριξε σε όλη την διάρκεια αυτού του κύκλου αλλά και τους φίλους μου που ήταν κοντά μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Μαρία Σ. που από την αρχή της διεξαγωγής της εργασίας ήταν στο πλάι μου κάθε στιγμή, με στήριξε και με βοηθούσε καθημερινά να μην σταματώ.



Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία, αποτελεί μια μελέτη περίπτωσης για την εφαρμογή της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας σαν πολυκριτηριακή μέθοδο με σκοπό την χάραξη ενός αγωγού στην Βόρεια Ελλάδα. Μέσα από την πολυκριτηριακή αυτή μέθοδο μετρήθηκαν οι βαρύτητες των στοιχείων που παίζουν καθοριστικό ρόλο για την κατασκευή ενός αγωγού, μέρους ενός ενεργειακού δικτύου. Οι Γεωκίνδυνοι της περιοχής, που αποτελούνται από μια ομάδα ρηγμάτων, μια περιοχή ρευστοποίησης και έντονες εναλλαγές στις κλίσεις με κίνδυνο κατολισθήσεων, είναι τα στοιχεία αυτά που μελετώνται κατά κύριο λόγο και που επηρεάζουν περισσότερο την κατασκευή ενός αγωγού. Επιπρόσθετα μελετώνται και άλλα χαρακτηριστικά της περιοχής όπως είναι το οδικό δίκτυο οι οικισμοί και οι προστατευόμενες περιοχές έχοντας όμως μικρότερο αντίκτυπο στο αποτέλεσμα. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μιας σειράς υποθετικών σεναρίων και ενός σεναρίου προσέγγισης μιας ρεαλιστικής συνθήκης, μέσα από τα οποία εναλλάσσονταν οι βαρύτητες των προ αναφερθέντων στοιχείων με βάση κάποια λογικά κριτήρια. Οι χαράξεις υλοποιήθηκαν μέσα από το περιβάλλον γεωπληροφορικής του ArcGIS, αξιοποιώντας διάφορα από τα χρήσιμα εργαλεία που έχει να προσφέρει για μια τέτοια περίπτωση μελέτης.



Abstract

The present thesis is a case study on the application of the analytical hierarchical process as a multi-criteria method for the purpose of constructing a route for a pipeline in Northern Greece. Through this multi-criteria method, the weights of the elements that play a decisive role in the construction of a pipeline, part of an energy network, were measured. The geohazards of the area, consisting of a group of faults, a liquefaction area and strong variations in gradients with landslide risk, are the elements that are primarily studied and that have the greatest impact on the construction of a pipeline. In addition, other features of the area such as the road network, settlements and protected areas are also studied, but with less impact on the outcome. The study was carried out in the context of a series of hypothetical scenarios and a realistic scenario in which the weights of the aforementioned elements were alternated according to some logical criteria. The pipeline routes, were created through the ArcGIS geoinformatics environment, utilizing several of the useful tools it has to offer for such a study case.





Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	IV
Περίληψη	V
Κεφάλαιο I	1
Γεωκίνδυνοι	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Πρωτογενείς Γεωκίνδυνοι	4
1.2.1 Ρήγματα	5
1.2.2 Σεισμοί	7
1.2.3 Ηφαιστειακές Εκρήξεις	9
1.3 Δευτερογενείς Γεωκίνδυνοι	11
1.3.1 Από Σεισμούς	11
1.3.2 Από Ηφαιστειακές Εκρήξεις	13
1.4 Τεκτονικά Χαρακτηριστικά στον Ελληνικό Χώρο	15
Κεφάλαιο II	18
Ενεργειακά Δίκτυα	18
2.1 Εισαγωγή	18
2.2 Ιστορική εξέλιξη	19
2.3 Αγωγοί Μεταφοράς	21
2.3.1 Κλειστοί Αγωγοί	21
2.4 Ο Τρόπος λειτουργίας ενός Ενεργειακού Δικτύου Αγωγών Μεταφοράς	22
2.5 Κατασκευή Αγωγών	24
2.5.1 Υλικά	24
2.5.2 Προστασία	25
2.5.3 Εγκατάσταση	25
2.5.4 Πίεση κατά τη λειτουργία	27
2.5.5 Κανονισμοί Ασφάλειας	27
2.6 Παγκόσμια ανάπτυξη Ενεργειακών Δικτύων	29
2.6.1 Ηνωμένες πολιτείες	29
2.6.2 Ασία	30
2.6.3 Ευρώπη	33



2.7	Στην Ελλάδα.....	36
2.7.1	Αγωγός Τουρκίας - Ελλάδα - Ιταλίας.....	37
2.7.2	Διασυνδεδετήριος Αγωγός Ελλάδας – Βουλγαρίας (IGB).....	37
2.7.3	Αδριατικός Αγωγός Φυσικού Αερίου (Trans Adriatic Pipeline, TAP)	37
	Κεφάλαιο III	38
	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφορικής (GIS)	38
3.1	Εισαγωγή.....	38
3.2	Τα GIS αποδομημένα.....	39
3.3	Γεωχωρικά Δεδομένα.....	40
3.4	Κλίμακα.....	42
3.5	Γεωαναφορά.....	42
3.6	Λογισμικό Γεωπληροφορικής ArcGIS.....	43
3.6.1	Εφαρμογές του ArcGIS	44
	Κεφάλαιο IV	47
	Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία.....	47
4.1	Εισαγωγή.....	47
4.2	Η μέθοδος.....	48
4.3	Τα βήματα της AHP.....	49
	Κεφάλαιο V.....	52
	Μελέτη Περίπτωσης : Διερεύνηση σεναρίων για την χάραξη αγωγού στην βόρεια Ελλάδα σε περιβάλλον Γεωπληροφορικής.....	52
5.1	Εισαγωγή.....	52
5.2	Η περιοχή μελέτης.....	53
5.3	Συλλογή Δεδομένων.....	55
5.3.1	Ρήγματα	55
5.3.2	Περιοχή Ρευστοποίησης	56
5.3.3	Κλίσεις Πρανών	56
5.3.4	Προστατευόμενες Περιοχές Natura	57
5.3.5	Οδικό Δίκτυο & Οικισμοί.....	58
5.4	Εφαρμογή της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας	59
5.4.1	Σενάρια	60
5.4.2	Υπολογισμός Βαρυτήτων Σεναρίων 1-4.....	61
5.4.3	Υπολογισμός Βαρυτήτων 5 ^ο Σεναρίου	74
5.5	Διαδικασία Χάραξης Στο ArcGIS.....	76
5.6	Χαράξεις.....	83



5.7	Αξιολόγηση	89
5.8	Προσομοίωση Υφιστάμενου Αγωγού ΤΑΡ – Επαλήθευση μεθοδολογίας.....	90
	Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις.....	93
	Βιβλιογραφία	94

Κεφάλαιο I

Γεωκίνδυνοι

1.1 Εισαγωγή

Οι Γεωκίνδυνοι μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες ομάδες. Η πρώτη ομάδα είναι οι πρωτογενείς φυσικοί γεωκίνδυνοι, στους οποίους περιλαμβάνονται οι σεισμοί και οι ηφαιστειακές εκρήξεις. Αυτοί οι κίνδυνοι έχουν κυκλική εμφάνιση και περιόδους επαναφοράς που καθορίζονται από γεγονότα του παρελθόντος, επηρεάζουν περιοχές και ελέγχονται από την περιφερειακή γεωλογία. Είναι γενικά απρόβλεπτοι, καθώς οι γεωλογικές διεργασίες δεν είναι καλά κατανοητές, και επί του παρόντος είναι σχεδόν αδύνατο να προληφθούν. Η δεύτερη ομάδα είναι οι δευτερογενείς φυσικοί γεωκίνδυνοι, οι οποίοι συχνά προκαλούνται από πρωτογενείς κινδύνους, έχουν περιόδους επαναφοράς που είναι δύσκολο να προσδιοριστούν με ανάλυση παρελθοντικών γεγονότων, επηρεάζουν περιοχές και συνοικίες και ελέγχονται από την τοπική γεωλογία. Είναι εν μέρει προβλέψιμοι από την κατανόηση των γεωλογικών διεργασιών και μπορούν να ελεγχθούν σε κάποιο βαθμό. Ο καλύτερος τρόπος για τον μετριασμό τους είναι μέσω του σχεδιασμού της χρήσης γης, της ασφάλισης και της μηχανικής για συγκεκριμένες τοποθεσίες. Η τρίτη ομάδα είναι οι γεωκίνδυνοι που προκαλούνται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, οι οποίοι περιλαμβάνουν την εξόρυξη ορυκτών και τα επακόλουθά της, τις μηχανικές



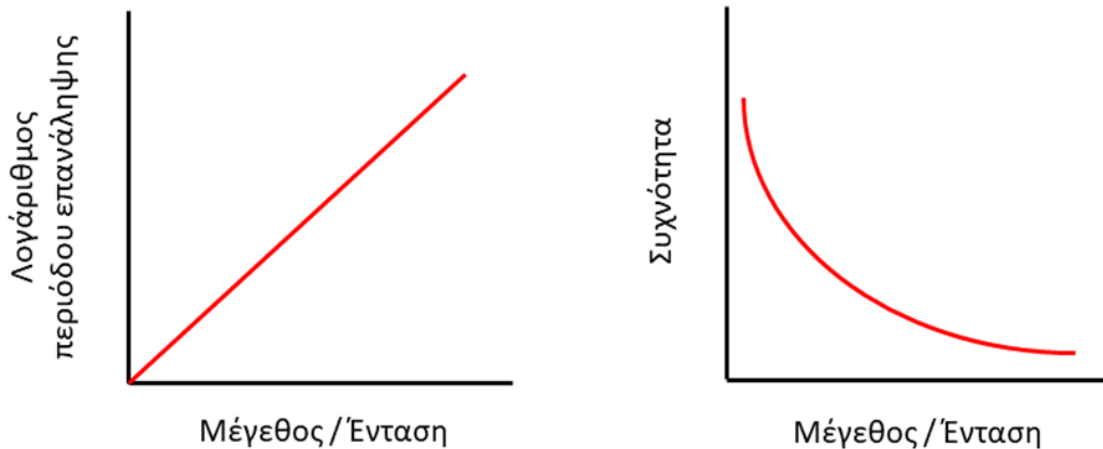
Εικόνα 1.1.1- Δεξιόστροφα : Σεισμός(FEB. 7, 2023 , [WWW.LATIMES.COM](http://www.latimes.com)), Ηφαιστειακή έκρηξη(www.dw.com), Χιονοστιβάδα, Κατολίσθηση(Brazil, 1 December 2022, BBC)



δραστηριότητες πάνω ή ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, τη μεταβολή των συνθηκών των επιφανειακών ή υπόγειων υδάτων και τα απόβλητα που τοποθετούνται στο έδαφος ή πάνω στο έδαφος. Ορισμένοι από αυτούς τους γεωκινδύνους έχουν πολύ μικρό γεωλογικό έλεγχο, εκτός εάν τα γεγονότα στην "Ανθρωπόκαινο" θεωρηθούν ότι είναι τόσο γεωλογικά όσο και ανθρώπινα ελεγχόμενα. Οι γεωκίνδυνοι μπορούν επίσης να ταξινομηθούν ανάλογα με τις διεργασίες που τους προκαλούν ή τις ιδιότητες των υλικών που μπορεί να είναι επικίνδυνα. Οι επιστήμονες ομαδοποιούν τους γεωκινδύνους σε γεωμορφολογικούς κινδύνους, γεωτεχνικούς κινδύνους, υδρολογικούς ή υδρογεωλογικούς κινδύνους, γεωλογικούς κινδύνους, θαλάσσιους κινδύνους και τεχνητούς κινδύνους. Οι μηχανικοί γεωλόγοι εμπλέκονται στη διερεύνηση όλων των τύπων γεωκινδύνων και οι επιμέρους γεωκίνδυνοι εξετάζονται λεπτομερέστερα αλλού". (Martin Culshaw, Encyclopedia of Engineering Geology, 2018)

Η προσαρμοστικότητα των ανθρώπων στους γεωλογικούς κινδύνους αποτελεί μια συνεχή διαδικασία, καθώς οι φυσικές καταστροφές, όπως οι σεισμοί, οι πλημμύρες και οι κατολισθήσεις, αποτελούν μεγάλη απειλή για την ασφάλεια των ανθρώπων και των ιδιοκτησιών τους. Οι άνθρωποι έχουν προσαρμόσει τις κατασκευές και τις πρακτικές τους στο πέρασμα των χρόνων, προκειμένου να αντιμετωπίσουν αυτούς τους κινδύνους. Ένας από τους τρόπους που έχουν προσαρμόσει τις κατασκευές τους είναι μέσω της ανάπτυξης ειδικών δομικών συστημάτων. Αυτά τα συστήματα προορίζονται για να αντέχουν σε σεισμούς, πλημμύρες και κατολισθήσεις και μπορούν να μειώσουν τις ζημιές στις κατοικίες και τις ιδιοκτησίες. Επιπλέον, οι άνθρωποι έχουν αναπτύξει τεχνικές παρακολούθησης και αντιμετώπισης των κινδύνων, όπως οι απομακρυσμένοι αισθητήρες και δίκτυα παρακολούθησης, που μπορούν να εντοπίσουν εγκαίρως κινδύνους και να λάβουν αποτελεσματικά μέτρα για την ασφάλεια των ανθρώπων. Επιπρόσθετα, έχουν προσαρμόσει τις πρακτικές τους στον κίνδυνο. Για παράδειγμα, στις περιοχές με υψηλό κίνδυνο κατολισθήσεων, οι κάτοικοι μπορεί να αποφασίσουν να μην κατασκευάσουν στις πλαγιές των βουνών ή να μην καλλιεργούν στις κλίσεις. Επίσης, οι κάτοικοι των παραθαλάσσιων περιοχών έχουν προσαρμόσει τα σπίτια τους στις αυξημένες πιθανότητες πλημμυρικών κινδύνων, όπως με την κατασκευή υψηλότερων κτιρίων και τη χρήση αδιαβροχοποιητικών υλικών. Τέλος, η εκπαίδευση και η ενημέρωση των ανθρώπων είναι σημαντική στην προσαρμογή τους στους γεωλογικούς κινδύνους. Οι κάτοικοι πρέπει να είναι ενήμεροι για τους κινδύνους που υφίστανται στην περιοχή τους και για τις βέλτιστες πρακτικές για την προστασία τους. Επιπλέον, οι κυβερνήσεις και οι τοπικές αρχές μπορούν να λάβουν μέτρα για την αύξηση της επίγνωσης του κοινού σχετικά με τους γεωλογικούς κινδύνους και τη διάδοση των βέλτιστων πρακτικών προστασίας. Επιπλέον, μπορούν να επενδύσουν στην έρευνα για την πρόληψη και την αντιμετώπιση των γεωλογικών κινδύνων και στη δημιουργία νέων τεχνολογιών που θα βοηθήσουν στην πρόληψη και αντιμετώπιση αυτών των κινδύνων.

Συνολικά, οι γεωλογικοί κίνδυνοι επηρεάζουν σημαντικά την ανθρώπινη κοινωνία, αλλά οι άνθρωποι έχουν αναπτύξει τεχνικές και πρακτικές που τους βοηθούν να προσαρμοστούν και να αντιμετωπίσουν αυτούς τους κινδύνους. Η συνεχής έρευνα και η ενημέρωση του κοινού είναι σημαντικές για τη βελτίωση της προστασίας των ανθρώπων και των κατασκευών από τους γεωλογικούς κινδύνους. Δυστυχώς, όμως, ο απόλυτος εντοπισμός και αντιμετώπιση των γεωλογικών κινδύνων αποτελεί μια ανέφικτη πρόκληση. Οι γεωλογικοί κίνδυνοι είναι πολύπλοκοι και συχνά εκτυλίσσονται με απρόβλεπτο τρόπο, καθιστώντας τους δύσκολους στον εντοπισμό τους και στην αντιμετώπισή τους. Συνεπώς, η αντιμετώπιση των γεωλογικών κινδύνων απαιτεί σταθερή παρακολούθηση, αναλύσεις και εκτιμήσεις για την αναγνώριση πρόωρων σημάτων και τη λήψη αποτελεσματικών μέτρων πρόληψης και αντιμετώπισης των κινδύνων.

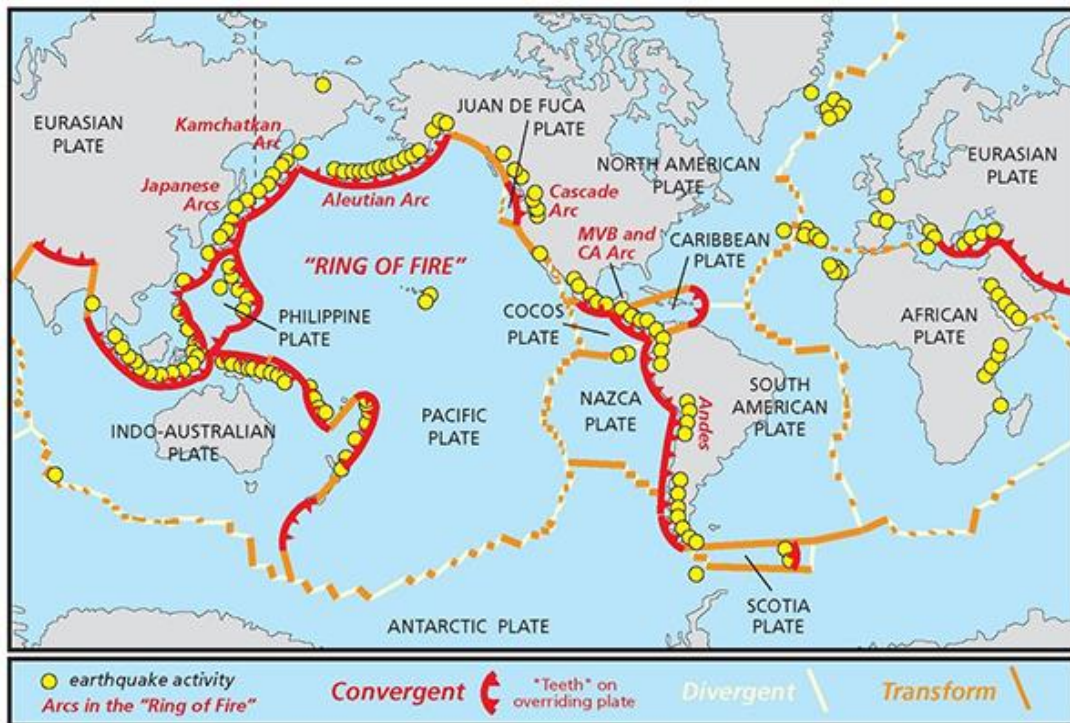


Εικόνα 1.1.2 Συσχέτιση μεγέθους φυσικού φαινομένου με τη συχνότητα και την περίοδο επανάληψης

(Πηγή : ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ Καθηγητής & Γεωλογίας ΑΠΘ n.d., Τεχνική Γεωλογία και Γεωλογικοί Κίνδυνοι)

1.2 Πρωτογενείς Γεωκίνδυνοι

Στο φλοιό της Γης συναντάται σημαντικός αριθμός ηφαιστείων και σεισμών που συμβαίνουν κυρίως κατά μήκος της περιφέρειας των τεκτονικών πλακών. Οι πλάκες αυτές κινούνται με διάφορους τρόπους, όπως η καταβύθιση, η σύγκρουση, ο διαχωρισμός και η ολίσθηση η μία δίπλα στην άλλη, γεγονός που οδηγεί στην εμφάνιση ηφαιστειακών εκρήξεων και σεισμών. Το πιο διάσημο παράδειγμα αυτού του φαινομένου μπορεί να παρατηρηθεί στα άκρα των ηπείρων που περιβάλλουν τον Ειρηνικό Ωκεανό και σχηματίζουν τον δακτύλιο της Φωτιάς. (J. D. Mollard, Encyclopedia of Natural Hazards)

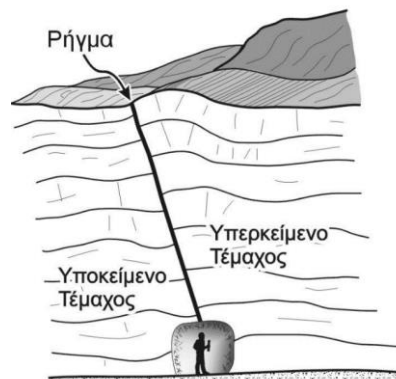


Εικόνα 1.2.1 Τεκτονικές Πλάκες

Πηγή: National Parks Service (Public Domain)

1.2.1 Ρήγματα

Παρόλο που η θεωρία της τεκτονικής των πλακών (Alfred Wegener, et al. 1912) αποδίδει γενικά την κίνηση των πλακών σε έναν από τους τρεις τύπους ορίων των πλακών, μια πιο προσεκτική εξέταση αποκαλύπτει ότι η κίνηση σε μια συγκεκριμένη θέση μπορεί να είναι περίπλοκη. Σε ορισμένες περιοχές, τα όρια των πλακών είναι σαφή και εύκολα διακριτά, ενώ σε άλλες μπορεί να είναι πιο διάσπαρτα, με μικρότερες πλάκες να σχηματίζονται μεταξύ μεγαλύτερων πλακών. Τοπικά, η κίνηση μεταξύ δύο τμημάτων του φλοιού θα συμβεί σε ρήγματα, τα οποία είναι νέες ή προϋπάρχουσες ανωμαλίες στη γεωλογική δομή του φλοιού. Τα ρήγματα μπορεί να κυμαίνονται από μερικά μέτρα έως εκατοντάδες χιλιόμετρα σε μήκος και μπορεί να εκτείνονται από την επιφάνεια σε βάθη αρκετών δεκάδων χιλιομέτρων. Η παρουσία ενός ρήγματος δεν υποδηλώνει απαραίτητα την εμφάνιση σεισμών- η κίνηση μπορεί να συμβεί χωρίς σεισμική δραστηριότητα ή το ρήγμα μπορεί να είναι ανενεργό. Αντίθετα, η απουσία ορατών επιφανειακών ρηγμάτων δεν αποκλείει την πιθανότητα σεισμών- στην πραγματικότητα, στους περισσότερους σεισμούς, το ρήγμα του ρήγματος δεν φτάνει στην επιφάνεια της γης. Ωστόσο, τα ρήγματα είναι ένας σημαντικός παράγοντας σεισμών (Kramer, 1996).

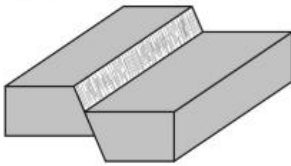


Εικόνα 1.2.2 Ένα ρήγμα διακόπτει τη συνέχεια των πετρωμάτων. Οι όροι Οροφή (Υπερκείμενο Τέμαχος) και Δάπεδο (Υποκείμενο Τέμαχος) είναι κληρονομιά παλιών μεταλλευτικών όρων και δηλώνουν τη μάζα των πετρωμάτων που βρίσκεται πάνω ή κάτω, αντίστοιχα, από το ρήγμα.

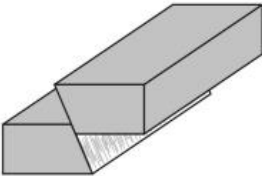
(Πηγή: <http://labtect.geol.uoa.gr/>)

Η κίνηση των ρηγμάτων ταξινομείται συνήθως με βάση τις κατευθύνσεις της διάτμησης και της βύθισης, με την κίνηση προς τη μία ή την άλλη κατεύθυνση να είναι πιο συχνή. Ενώ μπορεί να συμβεί κάποια κίνηση και προς τις δύο κατευθύνσεις, συνήθως κυριαρχεί η μία κατεύθυνση (Kramer, 1996).

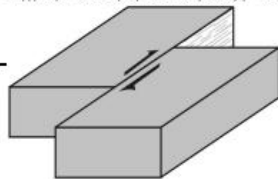
Ρήγμα με ολίσθηση κατά κλίση - κανονικό



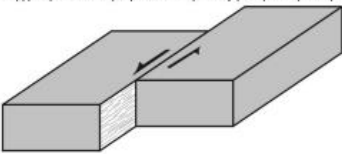
Ρήγμα με ολίσθηση κατά κλίση - ανάστροφο



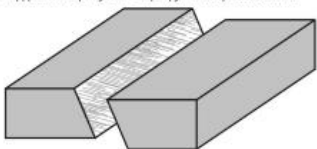
Ρήγμα με ολίσθηση κατά παράταξη - δεξιόστροφο



Ρήγμα με ολίσθηση κατά παράταξη - αριστερόστροφο



Ρήγμα πλάγιας ολίσθησης - πλαγιοκανονικό



Εικόνα 1.2.3 Τύποι Ρηγμάτων με βάση την κίνηση

(Πηγή: <http://labtect.geol.uoa.gr/>)

Όταν ένα ρήγμα κινείται κυρίως προς την κατεύθυνση της βύθισης ή κάθετα προς της διάτμησης, αναφέρεται ως κίνηση ολίσθησης κατά κλίση. Υπάρχουν διάφοροι τύποι κινήσεων ολίσθησης κατά κλίση, οι οποίοι ταξινομούνται με βάση την κατεύθυνση της κίνησης και τη γωνία βύθισης του ρήγματος. Τα κανονικά ρήγματα εμφανίζονται όταν η οριζόντια συνιστώσα αυτής της κίνησης είναι διασταλτική, με αποτέλεσμα το υλικό πάνω από το ρήγμα να κινείται προς τα κάτω σε σχέση με το υλικό κάτω από το ρήγμα. Αυτός ο τύπος ρήγματος συνδέεται με εφελκυστικές τάσεις και έχει ως αποτέλεσμα την οριζόντια επιμήκυνση του φλοιού. Το ανάστροφο ρήγμα εμφανίζεται όταν η οριζόντια συνιστώσα είναι συμπιεστική, προκαλώντας την κίνηση του υλικού πάνω από το ρήγμα προς τα πάνω σε σχέση με το υλικό κάτω από το ρήγμα. Αυτός ο τύπος ρήγματος οδηγεί σε οριζόντια βράχυνση του. Τα ρήγματα ώθησης είναι ένας ειδικός τύπος ανάστροφου ρήγματος που εμφανίζεται όταν το επίπεδο του ρήγματος έχει μικρή γωνία βύθισης και μπορούν να προκαλέσουν πολύ μεγάλες μετακινήσεις. (Kramer 1996)

Τα ρήγματα που κινούνται προς την κατεύθυνση που είναι παράλληλη προς την διεύθυνση της διάτμησης ονομάζονται ρήγματα με ολίσθηση κατά παράταξη. Αυτοί οι τύποι ρηγμάτων είναι συχνά σχεδόν κατακόρυφοι και μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές μετακινήσεις. Η σχετική κατεύθυνση της κίνησης εκατέρωθεν του ρήγματος κατηγοριοποιεί περαιτέρω αυτά τα ρήγματα. Για παράδειγμα, ένα δεξιόστροφο ρήγμα ολίσθησης κατά παράταξη θα προκαλούσε μετακίνηση του εδάφους στην άλλη πλευρά του ρήγματος προς τα δεξιά, ενώ ένα αριστερόστροφο ρήγμα θα προκαλούσε μετακίνηση προς τα αριστερά. Η κίνηση ρηγμάτων με πλάγια ολίσθηση, η οποία περιλαμβάνει τόσο συνιστώσες ολίσθησης κατά παράταξη όσο και συνιστώσες ολίσθησης κατά κλίση, είναι επίσης συχνή. Ο σεισμός του Σαν Φερνάντο το 1971, για παράδειγμα, προκάλεσε κατακόρυφη μετατόπιση λόγω της κίνησης του ανάστροφου ρήγματος και οριζόντια μετατόπιση λόγω της κίνησης της αριστερόπλευρης ολίσθησης κατά παράταξη. (Kramer 1996)



Δευτερογενή Ρήγματα, ονομάζονται τα ρήγματα μικρότερου μεγέθους που συνοδεύουν κύρια/μεγάλα ρήγματα, και παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των Ρηγμάτων. Έχουν παρατηρηθεί δύο μορφές δευτερογενών ρηγμάτων. Αυτά που συμβαίνουν στις κορυφές του αρχικού ρήγματος και έχουν σχετικά μικρή έκταση, και σε αυτά που αναπτύσσονται περιφερειακά του κύριου ρήγματος ωστόσο αναπτύσσονται αργότερα αλλά παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά με το κύριο ρήγμα. (Hargitai Henrik (2015)). Ο τρόπος με τον οποίο δημιουργούνται τα δευτερογενή ρήγματα, είναι λόγω της ανακατανομής του συνόλου της τάσης γύρω από το ρήγματα, σε συνδυασμό με ανομοιογένειες στα χαρακτηριστικά του βραχώδους υποστρώματος.(Mandl, 2000)

1.2.2 Σεισμοί

Οι Σεισμοί μπορεί να συμβούν απότομα και χωρίς καμία προειδοποίηση. Ο σεισμός είναι μια ισχυρή και ταχεία μετακίνηση του εδάφους που προκαλείται από τη μετατόπιση μεταξύ τεκτονικών πλακών κατά μήκος μιας γραμμής ρήγματος εντός του φλοιού της Γης. Οι σεισμοί μπορεί να οδηγήσουν σε διάφορα αποτελέσματα, όπως κλυδωνισμούς του εδάφους, ρευστοποίηση του εδάφους, κατολισθήσεις, σχισμές, χιονοστιβάδες, πυρκαγιές και τσουνάμι. Το επίπεδο των καταστροφών και των ζημιών που προκαλεί ένας σεισμός εξαρτάται από παράγοντες όπως το μέγεθος, την ένταση και τη διάρκεια του σεισμού, τη τοπική γεωλογία, την ώρα της ημέρας που συμβαίνει, ο σχεδιασμός και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα κτίρια και τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις, καθώς και τα μέτρα διαχείρισης κινδύνου που έχουν τεθεί σε εφαρμογή. (WHO, 2021)

Μεταξύ 1998 και 2017, οι σεισμοί είχαν ως αποτέλεσμα σχεδόν 750.000 θανάτους παγκοσμίως, οι οποίοι αντιστοιχούν σε πάνω από το ήμισυ όλων των θανάτων που αποδίδονται σε φυσικές καταστροφές. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, περισσότερα από 125 εκατομμύρια άτομα επλήγησαν από σεισμούς, γεγονός που σημαίνει ότι τραυματίστηκαν, έχασαν τα σπίτια τους, εκτοπίστηκαν ή απομακρύνθηκαν κατά τη φάση έκτακτης ανάγκης της καταστροφής (WHO, 2021).

Η πλειονότητα των σεισμών συνδέεται συνήθως με τα όρια μεταξύ των τεκτονικών πλακών. Ωστόσο, σημαντικά σεισμικά γεγονότα μπορούν επίσης να συμβούν εντός των πλακών, όπως ο σεισμός της Νέας Μαδρίτης το 1811, και στα λεγόμενα παθητικά περιθώρια, όπως ο σεισμός της Λισαβόνας το 1755 και ο σεισμός του Τσάρλεστον το 1886. Επιπλέον, ορισμένοι σεισμοί μπορεί να συνδέονται με ισοστατική ανύψωση μετά από αποπαγοποίηση ή ηφαιστειακή δραστηριότητα. Η παγκόσμια κατανομή των σεισμών παρατηρείται σε σεισμικές ζώνες που γενικά εμφανίζονται στα όρια μεταξύ τεκτονικών πλακών όπου λαμβάνουν χώρα ισχυρές σεισμοτεκτονικές διεργασίες. Εντός αυτών των ζωνών, τα επίκεντρα είναι συνήθως πυκνά συγκεντρωμένα, αλλά είναι επίσης διασκορπισμένα εκτός αυτών των ζωνών. Οι σεισμικές ζώνες μπορούν να

κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κύριους τύπους, οι οποίοι είναι η σεισμική ζώνη του Ειρηνικού (γνωστή και ως "δακτύλιος της φωτιάς"), η ζώνη των Άλπεων και η ζώνη των ωκεάνιων κορυφογραμμών. (Shengwen Qi, Encyclopedia of Engineering Geology)

Προκειμένου να μελετήσουμε τους σεισμούς χρησιμοποιούμε το μέγεθος και την ένταση. Το μέγεθος (M) αν και μετράται με διάφορες κλίμακες, η πιο διαδεδομένη είναι η κλίμακα Richter. Το μέγεθος αποτελεί το σύνολο της ενέργειας που απελευθερώνεται από την εστία κατά τη διάρκεια του σεισμού. Σεισμοί κάτω από 2 βαθμούς στην κλίμακα Richter δεν γίνονται αισθητοί και μέχρι 4 βαθμούς δεν προκαλούν συνήθως προβλήματα. Από 5 βαθμούς και πάνω ωστόσο μπορεί να προβούν καταστροφικοί.



*Εικόνα 1.2.4 Δεξιόστροφα από πάνω: Συντρίμμια από το Χαλέπι της Συρίας, η κινεζική ομάδα διάσωσης Blue Sky και οι ιρανικές ομάδες έρευνας και διάσωσης στο Adiyaman, βοήθεια της USAID στην αεροπορική βάση Incirlik και ένα συγκρότημα με σκηνές στο Kahramanmaraş. (Σεισμός Τουρκίας - Συρίας 2023, 7.8 R)
(Πηγή: www.Wikipedia.com)*



1.2.3 Ηφαιστειακές Εκρήξεις

*"**Ηφαίστειο** είναι μια έξοδος ή καμινάδα που συνδέει μια δεξαμενή λιωμένης ύλης, γνωστή ως "μάγμα", στο βάθος του φλοιού της της γης, με την επιφάνεια της γης. Το υλικό που εκτοξεύεται από την έξοδο συχνά συσσωρεύεται γύρω από το άνοιγμα, δημιουργώντας έναν κώνο που ονομάζεται "ηφαιστειακό οικοδόμημα". (Bullard, 1962, Volcanoes in History, in Theory, in Eruption)*

Σύμφωνα με τους Dumaisnil et al. (2008), ο ηφαιστειακός κίνδυνος αναφέρεται στην πιθανότητα να λάβει χώρα ένα γεγονός, όπως ένας ηφαιστειακός σεισμός ή μια ροή λάβας, σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Αν και είναι ζωτικής σημασίας να κατανοήσουμε αυτόν τον κίνδυνο, ο μετριασμός του είναι δύσκολος, καθώς οι συνέπειες των εκρήξεων είναι συνήθως εκτός των δυνατοτήτων μας να τις διαχειριστούμε. Η αξιολόγηση και ο προσδιορισμός του φάσματος των ηφαιστειακών κινδύνων που μπορεί να αφορούν ένα συγκεκριμένο ηφαίστειο ή το περιβάλλον του είναι μια περίπλοκη διαδικασία που περιλαμβάνει διάφορες εργασίες. Το πρώτο βήμα είναι ο εντοπισμός ενός δυνητικά επικίνδυνου ηφαιστείου με βάση φυσικά, γεωλογικά και κοινωνικοοικονομικά κριτήρια. Στη συνέχεια, είναι απαραίτητο να προβλεφθεί μια έκρηξη με τη δημιουργία ενός κατάλληλου δικτύου παρακολούθησης. Το τρίτο καθήκον είναι ο καθορισμός και η κατάταξη πιθανών σεναρίων έκρηξης με βάση την παρελθούσα και την παρούσα συμπεριφορά του ηφαιστείου. Το τέταρτο βήμα είναι η σκιαγράφηση των περιοχών που ενδέχεται να επηρεαστούν από τα εκρηκτικά φαινόμενα με βάση τα αναγνωρισμένα σεναρία. Μόλις προσδιοριστούν αυτές οι περιοχές, το επόμενο καθήκον είναι να προσδιοριστούν και να σταθμιστούν οι κίνδυνοι που αντιμετωπίζουν οι άνθρωποι, οι κοινότητες και τα ευάλωτα στοιχεία, όπως οι κοινωνικές, οικονομικές και πολιτιστικές πτυχές. Τέλος, η διαδικασία περιλαμβάνει την ανάπτυξη διαδικασιών έκτακτης ανάγκης, πολιτικών χρήσης γης και σχεδίων διαχείρισης κινδύνου με στόχο τη βιώσιμη ανάπτυξη, συμπεριλαμβανομένης της πολιτικής άμυνας, της οργάνωσης της βοήθειας, του μετριασμού, της ετοιμότητας και της συνείδησης (Muzeau et al., 2010).



Εικόνα 3 Έκρηξη ηφαιστείου

Πηγή: <https://www.pxfuel.com/en/desktop-wallpaper-eyqwb>

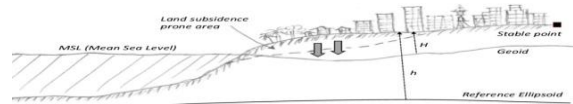
Έχει παρατηρηθεί ότι πριν από την έκρηξη ενός ηφαιστείου, παρατηρούνται αλλαγές σε διάφορες φυσικές και χημικές παραμέτρους, όπως η σεισμική δραστηριότητα, οι αλλαγές στη χημική σύνθεση των θερμών πηγών και οι εκπομπές αερίων, καθώς και οι μεταβολές στο μαγνητικό και βαρυτικό πεδίο της Γης. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να παρακολουθούνται μέσω εγκατεστημένων δικτύων για την πρόβλεψη ηφαιστειακών εκρήξεων. Ωστόσο, για οικονομικούς λόγους, η παρακολούθηση και ο έλεγχος της δραστηριότητας των ηφαιστείων επιτυγχάνεται μόνο για λίγες περιπτώσεις σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι πρόδρομοι παράγοντες των ηφαιστειακών εκρήξεων περιλαμβάνουν τη σεισμική δραστηριότητα, τη γήινη παραμόρφωση, τα υδροθερμικά φαινόμενα και τις χημικές μεταβολές. Για να μειωθούν οι απώλειες ανθρώπινων ζώων κατά τη διάρκεια ηφαιστειακών εκρήξεων, θα πρέπει να αναπτυχθούν λεπτομερή σχέδια εκκένωσης της γύρω περιοχής. Οι οικονομικές απώλειες μπορούν επίσης να ελαχιστοποιηθούν με τη χαρτογράφηση των ηφαιστειακών κινδύνων, την επεξεργασία γεωλογικών και τοπογραφικών δεδομένων και τη δημιουργία μοντέλων διασποράς των ηφαιστειακών προϊόντων με βάση μετεωρολογικές παραμέτρους. Συνιστάται επίσης η κατασκευή μικρών φραγμάτων για την αποτροπή ή την εκτροπή των ροών λάβας και η ψύξη τους με νερό.

1.3 Δευτερογενείς Γεωκίνδυνοι

Όπως έχουμε αναφέρει οι δευτερογενείς γεωκίνδυνοι αποτελούν σημαντικό παράγοντα κινδύνου για πολλές περιοχές του πλανήτη. Ενώ οι πρωτογενείς φυσικοί γεωκίνδυνοι, όπως οι σεισμοί και οι ηφαιστειακές εκρήξεις, είναι γενικά απρόβλεπτοι και δύσκολο να προληφθούν, οι δευτερογενείς κίνδυνοι που προκύπτουν από αυτούς μπορούν να μειωθούν με τη σωστή προετοιμασία και πρόληψη. Παρακάτω, εξετάζουμε τους δευτερογενείς γεωκινδύνους που προκύπτουν από την εκδήλωση σεισμών και ηφαιστειακών εκρήξεων, και τις προληπτικές μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση των κινδύνων που απορρέουν από αυτούς τους φυσικούς καταστροφείς.

1.3.1 Από Σεισμούς

Η **Καθίζηση** του εδάφους αναφέρεται σε μια τοπική βύθιση της επιφάνειας της Γης, η οποία συνήθως προκύπτει από την κατάρρευση μιας υποκείμενης υπόγειας κοιλότητας, όπως ένα σπήλαιο. Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται από μια κοιλότητα στο έδαφος και περιορίζεται γενικά σε μια μικρή περιοχή. Ωστόσο, ξαφνική και σημαντική καθίζηση του εδάφους μπορεί να συμβεί σε κατοικημένες περιοχές, προκαλώντας την κατάρρευση κτιρίων και δρόμων.



*Εικόνα 1.3.1 Παράδειγμα Καθίζησης του εδάφους
(www.ResearchGate.com)*

Η **Κατολίσθηση** είναι ένα γεγονός κατά το οποίο βράχοι, χώμα, δέντρα και άλλα υλικά που αποτελούν το έδαφος, ολισθαίνουν ή πέφτουν μακριά από την αρχική τους θέση. Η μετακίνηση αυτή μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως η αστάθεια του εδάφους ή οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι κατολισθήσεις λάσπης είναι ένας ειδικός τύπος κατολίσθησης, όπου το κορεσμένο με νερό έδαφος ή ο πηλός χάνει την αντοχή του και ρέει προς τα κάτω, παρασύροντας συντρίμμια και προκαλώντας σημαντικές ζημιές στη γύρω περιοχή. Σε αντίθεση με άλλους τύπους κατολισθήσεων, οι κατολισθήσεις λάσπης προκαλούνται κυρίως από έντονες βροχοπτώσεις ή από την ταχεία τήξη του χιονιού.



*Εικόνα 1.3.2 Κατολίσθηση κοντά στο Cusco, Peru 2018
(www.Wikipedia.com)*



Εικόνα 1.3.3 Υπό κλίση πολυκατοικίες λόγω ρευστοποίησης στη Νιγκάτα

(Πηγή: εφημερίδα Niigata Nippo, 1964.)

Η **Ρευστοποίηση** είναι μια φυσική διεργασία που συμβαίνει όταν η αντοχή ή η πραγματική τάση του εδάφους μειώνεται λόγω της ταλάντωσης του εδάφους, που συνήθως προκαλείται από σεισμική φόρτιση. Αυτή η μείωση της αντοχής οφείλεται στην αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων, η οποία ασκεί πίεση στους κόκκους του εδάφους και μειώνει την αποτελεσματική τάση του εδάφους. Ως αποτέλεσμα, το έδαφος μπορεί να συμπεριφέρεται ως ρευστό αντί για στερεό, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένες ζημιές στο δομημένο περιβάλλον. Οι ζημιές αυτές περιλαμβάνουν βύθιση ή κλίση κτιρίων, καθίζηση ή πλευρική μετατόπιση του εδάφους, βρασμούς άμμου και αστοχίες πρανών. Η ρευστοποίηση προκαλείται συνηθέστερα από τη σεισμική δόνηση του εδάφους, αλλά μπορεί επίσης να προκληθεί από άλλους τύπους φόρτισης, όπως η κυκλοφορία τρένων, ή η ταχεία απόθεση ιζημάτων. Η αξιολόγηση και ο μετριασμός των κινδύνων ρευστοποίησης αποτελούν σημαντικό μέρος της πρακτικής της γεωτεχνικής μηχανικής στις σεισμικά ενεργές περιοχές του κόσμου (Kramer, 1996; Seed, 1979).



Εικόνα 1.3.4 Κύματα πλησιάζουν την πόλη Miyako μετά τον σεισμό των 9,0 Ρίχτερ που έπληξε την Ιαπωνία. Αυτό το τσουνάμι οδήγησε σε περισσότερους από 15.000 θανάτους.

(Πηγή : <https://www.nbcnews.com>)

Το **Τσουνάμι** είναι ένα μεγάλο και ισχυρό ωκεάνιο κύμα που προκαλείται από μια ξαφνική και σημαντική μετατόπιση του νερού, η οποία συνήθως προκαλείται κατά κύριο λόγο από σεισμούς, αλλά υπάρχει και η περίπτωση να προκληθεί από ηφαιστειακές εκρήξεις και κατολισθήσεις. Τα τσουνάμι μπορούν να εμφανιστούν σε οποιονδήποτε ωκεανό, θάλασσα ή λίμνη και μπορούν να ταξιδέψουν σε βαθιά νερά με μεγάλες ταχύτητες με σχετικά μικρή διάχυση ενέργειας. Μπορεί να είναι επικίνδυνα για τους ανθρώπους και τις περιουσίες, ιδίως όταν φτάνουν σε υψηλή παλίρροια. Τα τσουνάμι δεν σχετίζονται με τις παλίρροιας

και συχνά λανθασμένα αποκαλούνται "παλίρροϊκά κύματα". Η λέξη "τσουνάμι" προέρχεται από την ιαπωνική γλώσσα -Tsu που σημαίνει λιμάνι και Nami που σημαίνει κύμα-, καθώς η Ιαπωνία έχει ιστορικό εμπειρίας από αυτές τις καταστροφές λόγω της θέσης της κοντά στα όρια τεκτονικών πλακών και πολλών ηφαιστειών.

1.3.2 Από Ηφαιστειακές Εκρήξεις

Η **ροή λάβας** είναι το πιο αναγνωρισμένο χαρακτηριστικό των ηφαιστειακών εκρήξεων. Η λάβα, η οποία αποτελείται κυρίως από βασαλτική σύσταση, μπορεί να ρέει με διαφορετικές ταχύτητες, από λιγότερο από 1 μέτρο ανά ημέρα έως και 3 μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Ωστόσο, η απειλή για ανθρώπινες ζωές είναι μικρότερη όταν η λάβα ρέει γρήγορα. Η ταχύτητα της ροής μειώνεται καθώς η λάβα ψύχεται όταν έρχεται σε επαφή με το έδαφος και την ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να πήξει επιφανειακά και η ροή να συνεχίζεται κάτω από αυτήν και μέσα από σωλήνες λάβας. Τα ηφαίστεια που εκρήγνυνται βίαια αποτελούν σοβαρή απειλή λόγω της **εκτόξευσης τέφρας**. Ποσότητες από λάβα μπορούν να εκτοξευθούν σε μια ακτίνα 5 χιλιομέτρων από το ηφαιστειακό κέντρο, έχοντας σοβαρές επιπτώσεις.

Το **Λαχάρ** είναι μια μορφή φυσικής καταστροφής που μπορεί να συμβεί κατά τη διάρκεια ηφαιστειακών εκρήξεων ή σε απόκρημνες ηφαιστειακές περιοχές, όπου μεγάλες ποσότητες ιζημάτων και νερού μπορούν να μετακινηθούν γρήγορα προς τα κάτω και να απομακρυνθούν από τις πλαγιές ενός ηφαιστείου. Η κορεσμένη με νερό κατάσταση των λαχάρ επηρεάζει τη συμπεριφορά τους, η οποία επηρεάζεται τόσο από τις αλληλεπιδράσεις υγρών όσο και στερεών που τα διαφοροποιούν από άλλα συναφή φαινόμενα, όπως οι χιονοστιβάδες συντριμμιών και οι πλημμύρες. Τα λαχάρ είναι ιδιαίτερα καταστροφικά



λόγω των θραυσμάτων πετρωμάτων που μεταφέρουν, ενώ η υψηλή περιεκτικότητά τους σε υγρό τους επιτρέπει να ταξιδεύουν σε ήπιες πλαγιές και να κατακλύζουν απομακρυσμένες περιοχές από την προέλευσή τους. Κατά συνέπεια, είναι ζωτικής σημασίας να αυξηθεί η ευαισθητοποίηση των ανθρώπων που κατοικούν σε απομακρυσμένες περιοχές σχετικά με την πιθανή απειλή και την καταστροφική ικανότητα των λαχάρ.(James W. Vallance, 2000)

Τα **Πυροκλαστικά** ρεύματα πυκνότητας, επίσης γνωστά ως PDC, είναι ένας δευτερογενής γεωκίνδυνος που εκδηλώνει περίπλοκες και επικίνδυνες διεργασίες κατά τη διάρκεια ηφαιστειακών εκρήξεων. Αυτά τα ρεύματα αποτελούνται από ένα μείγμα πυροκλαστικών υλικών και αερίων που κινούνται στο έδαφος λόγω της έλξης της βαρύτητας. Παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά των πυκνών, πολυφασικών ρευμάτων βαρύτητας, πράγμα που σημαίνει ότι είναι ένα μείγμα ρεόντων πυροκλαστικών σωματιδίων και αερίου βυθισμένων σε μια λιγότερο πυκνή ατμόσφαιρα. Τα PDC αποτελούνται από δύο κύρια συστατικά, τα στερεά(Solid phase) και τα ρευστά(Fluid phase) , και οι ποικίλες ποσότητες αυτών των συστατικών δημιουργούν ένα φάσμα πυροκλαστικών ροών που κυμαίνεται από αραιές (όπου κυριαρχεί το ρευστό) έως συμπακνωμένες (όπου κυριαρχεί το στερεό). (Sulpizio R. et al. / Journal of Volcanology and Geothermal Research 283 (2014))



Εικόνα 1.3.5 - Μια χαλαρή χιονοστιβάδα που ξεκινά από ένα σημείο κάτω από τους βράχους στην κορυφή της πλαγιάς. (Encyclopedia of Natural Hazards)

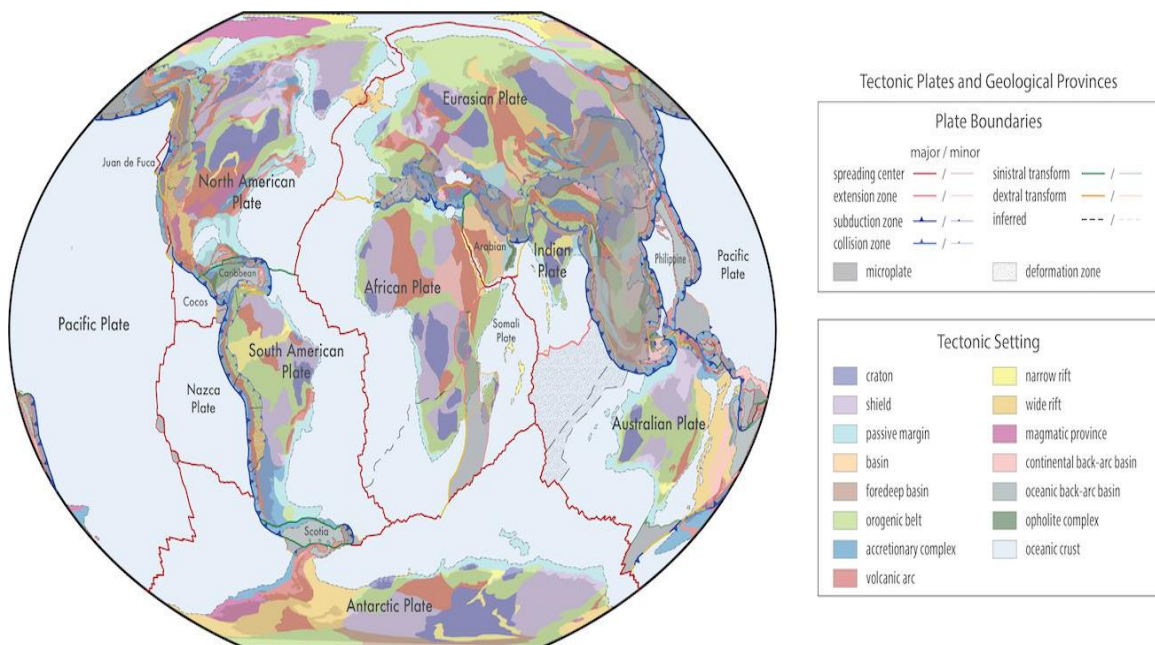


Εικόνα 1.3.6 Το κομμάτι θραύσης μιας ξηρής χιονοστιβάδας πλάκας σε μια απότομη πλαγιά(Encyclopedia of Natural Hazards)

Η **Χιονοστιβάδα** είναι ένας γεωφυσικός κίνδυνος που περιλαμβάνει την ολίσθηση μιας μεγάλης μάζας χιονιού από την πλαγιά ενός βουνού, προκαλείται όταν μια συγκεντρωμένη μάζα χιονιού απελευθερώνεται σε μία πλαγιά (Seligman, 1936) και είναι ένας από τους σημαντικότερους κινδύνους στα βουνά κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Σύμφωνα με τους McClung και Schaerer (2006), οι χιονοστιβάδες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριους τύπους: χαλαρές χιονοστιβάδες και χιονοστιβάδες πλάκων. Οι χιονοστιβάδες χαλαρού χιονιού προέρχονται από ένα μόνο σημείο και εξαπλώνονται προς τα κάτω, ενώ οι χιονοστιβάδες πλάκων έχουν μια αξιοσημείωτη γραμμή θραύσης ή στέψη στην κορυφή τους. Οι ξηρές χιονοστιβάδες πλάκας συμβαίνουν όταν ένα ασθενές στρώμα κάτω από μια συνεκτική πλάκα υφίσταται ταχεία διατμητική θραύση, η οποία διαδίδεται μέσα στο χιονοστρώμα. Καθώς το έδαφος και η παροχή χιονιού ποικίλλουν, το μέγεθος της χιονοστιβάδας ποικίλλει επίσης, με τις χιονοστιβάδες πλάκας να είναι γενικά μεγαλύτερες και πιο επικίνδυνες από τις χαλαρές χιονοστιβάδες.

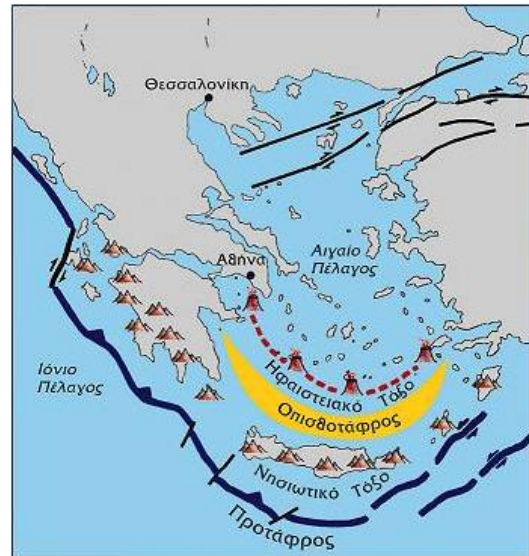
1.4 Τεκτονικά Χαρακτηριστικά στον Ελληνικό Χώρο

Η Ελλάδα βρίσκεται στο οριακό σημείο επαφής και σύγκλισης της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας (βλ. Εικόνα 14). Μελέτες έχουν δείξει πως η Ελλάδα βρίσκεται πρώτη σε επίπεδο σεισμικότητας στην Ευρώπη, και έχει την έκτη θέση παγκοσμίως (μετά την Ιαπωνία, Νέες Εβρίδες, Περού, νησιά Σολομώντα και Χιλή). Παρά τον έντονο σεισμικό της χαρακτήρα, έχει βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό το επίπεδο των υποδομών της καταφέροντας έτσι να μην προκαλούνται σημαντικά προβλήματα από τους περισσότερους σεισμούς.



Εικόνα 1.4.1 Χάρτης τεκτονικών πλακών (Derrick Hasterok et al. 2022)

Το Ελληνικό τόξο είναι ένα βασικό γεωλογικό χαρακτηριστικό του Ελληνικού χώρου. Αποτελεί το όριο επαφής της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας και αυτή η σύγκλιση των δύο πλακών έχει ως αποτέλεσμα την καταβύθιση της ωκεάνιας πλάκας της Ανατολικής Μεσογείου κάτω από την ηπειρωτική πλάκα του Αιγαίου. Το τόξο συντελούν η ελληνική τάφρος, το νησιωτικό τόξο, η οπισθοτάφρος και το ηφαιστειακό τόξο. Η τάφρος είναι ένα σύστημα τάφρων που δημιουργείται κατά μήκος της επαφής των δύο πλακών, ενώ το νησιωτικό τόξο αποτελείται από μία σειρά διαδοχικών νησιών που τοποθετούνται παράλληλα με την τάφρο και σε μικρή απόσταση από αυτήν. Αυτό το γεωλογικό χαρακτηριστικό δημιουργείται από την παραμόρφωση και ανύψωση πετρωμάτων όπως ιζήματα και λάσπες, και έχει σημαντική συμβολή στη γεωλογική ιστορία της περιοχής.



Εικόνα 1.4.2 Σχηματισμός του Ελληνικού τόξου
(Πηγή: www.oasp.gr)

Η οπισθοτάφρος είναι μια λεκάνη στον βυθό της θάλασσας, που βρίσκεται στο Κρητικό πέλαγος και είναι μικρότερου βάθους από την τάφρο. Το βαθύτερο σημείο της είναι κοντά στα 2 χιλιόμετρα και εντοπίζεται στην περιοχή του νησιώτικου τόξου και επάνω στην Ευρασιατική πλάκα.



Εικόνα 1.4.3 Υποθαλάσσιοι σχηματισμοί του Αιγαίου (Πηγή: www.oasp.gr)

Το ηφαιστειακό τόξο αποτελούν τα ηφαίστεια των Λιχάδων, του Σουσακίου, των Μεθάνων, της Μήλου, της Σαντορίνης και της Νισύρου που δημιουργήθηκαν από την ανάτξη του υλικού της υποβυθιζόμενης Αφρικανικής πλάκας, και διαπερνώντας την Ευρασιατική πλάκα κατά την άνοδο του, τα σχημάτισε.



Όσον αφορά τις ηφαιστειακές εκρήξεις, ο ηφαιστειακός κίνδυνος στον Ελλαδικό χώρο περιορίζεται στα ενεργά ηφαίστεια της Σαντορίνης και της Νισύρου και σε ακτίνα μερικών δεκάδων χιλιομέτρων από αυτά. (Υπουργείο κλιματικής Κρίσης και Πολιτικής Προστασίας) Το τελευταίο ηφαιστειακό γεγονός στη Σαντορίνη σημειώθηκε το 1950, ενώ στη Νίσυρο το αντίστοιχο γεγονός συνέβη το 1888.

Καταλήγοντας, με την σεισμικότητα της Ελλάδας να είναι έτσι, συνεπάγεται πως κινδυνεύει από τους Γεωκινδύνους που προκαλούνται από σεισμούς αλλά και από τους ίδιους τους σεισμούς, πράγμα που έχει παρατηρηθεί και από διάφορα περιστατικά στο παρελθόν, όπως σημαντικοί σεισμοί, κατολισθήσεις αλλά και τσουνάμι.

Κεφάλαιο II

Ενεργειακά Δίκτυα

2.1 Εισαγωγή

Όταν ακούμε την λέξη ‘Δίκτυο’ αντιλαμβανόμαστε πως πρόκειται για ένα σύστημα διασυνδεδεμένων εξαρτημάτων που συνεργάζονται για να πετύχουν έναν σκοπό. Η λέξη δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλούς τομείς αλλά πάντα έχει το ίδιο νόημα. Στην τεχνολογία, για παράδειγμα, υπάρχουν τα δίκτυα υπολογιστών τα οποία αποτελούνται από υπολογιστές ή άλλες συσκευές και συστήματα και λειτουργούν συνεργατικά προκειμένου να διασφαλίσουν κάποια επικοινωνία ή την μεταφορά δεδομένων και πληροφοριών αλλά και άλλες πολλές διαδικασίες.

Έτσι και στον τομέα της ενέργειας, έχουν εδραιωθεί ανά τα χρόνια τεράστια δίκτυα αγωγών που διασχίζουν ολόκληρες ηπείρους με σκοπό την μεταφορά των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την μετατροπή τους από καύσιμο σε χρήσιμες μορφές ενέργειας, όπως είναι για παράδειγμα η θέρμανση. Τα δίκτυα αυτά καθιστούν πολύ οικονομικότερη αλλά και πιο αποτελεσματική την μεταφορά των ορυκτών καυσίμων συγκριτικά με την μεταφορά τους από φορτηγά, σιδηρόδρομους και πλοία.

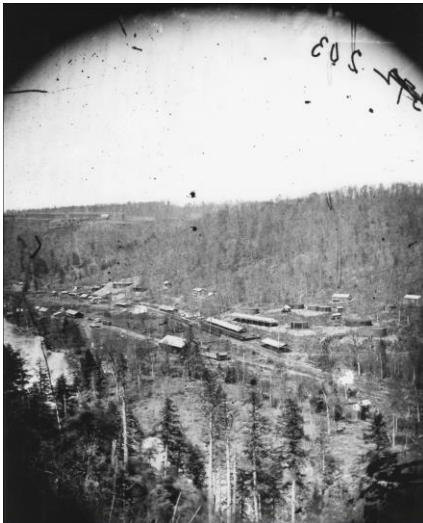


Εικόνα 2.1.1 Αγωγός υπό κατασκευή (Πηγή: www.ifsolutions.com)

2.2 Ιστορική εξέλιξη

Στις μέρες μας οι αγωγοί είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι για τη διαχείριση της ενέργειας σε όλο τον κόσμο. Ωστόσο, χρησιμοποιούνταν ήδη χιλιάδες χρόνια πριν από διάφορους αρχαίους πολιτισμούς για την προμήθεια των πόλεων τους με νερό αλλά και τη μεταφορά του σε καλλιεργήσιμες περιοχές. Έχουν βρεθεί από αρχαιολογικές έρευνες μοντέλα αυτών των αγωγών που χρονολογούνται χιλιάδες χρόνια πίσω. Χάλκινοι αγωγοί χρησιμοποιούνταν στην Αίγυπτο, αγωγοί από μπαμπού στην Κίνα, αλλά και πήλινοι αγωγοί στην Αρχαία Ελλάδα. Ένα τρανταχτό παράδειγμα είναι και αυτό του Ρωμαϊκού υδραγωγείου, το οποίο έχει επιβιώσει μέχρι και σήμερα και αποτελεί ένα αξιοθαύμαστο έργο.

Όσον αφορά τα ενεργειακά δίκτυα, υπάρχουν αναφορές πως περίπου το 500 π.Χ, ο κινέζικος πολιτισμός ήταν ο πρώτος που αξιοποίησε το φυσικό αέριο. Αφού ανακάλυψαν πως μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τα μπαμπού σαν αγωγούς, μετέφεραν φυσικό αέριο που αντλούσαν από υδρογονάνθρακες για μεγάλες αποστάσεις στους οικισμούς τους και το χρησιμοποιούσαν σαν καύσιμο για αφάλατωση θαλασσινού νερού (Kimberly K. Smith; Paul Robins et. Al). Υπάρχουν επίσης αναφορές κατά τις οποίες με την ίδια μηχανική τροφοδοτούσαν λάμπες που ήταν τοποθετημένες στους δρόμους κατά την ίδια περίοδο (www.Beltps.com , 2021).



Εικόνα 2.2.1 τερματικό σημείο του αγωγού του Van Syckel στην φάσμα Miller το 1868. Φωτογραφία από το μουσείο Drake Well.



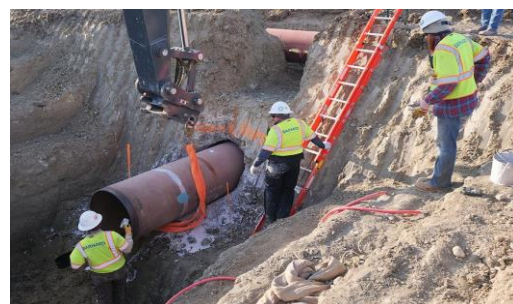
Εικόνα 2.2.2 Αγωγοί από μπαμπού που λειτουργούν με την βαρύτητα (Πηγή : www.kickassfacts.com)

Στα μέσα του 19^{ου} αιώνα όπου ξεκίνησε να δουλεύει και η βιομηχανία του πετρελαίου, άρχισε να γίνεται και πιο τακτική η χρήση των αγωγών. Το 1865 στην Pennsylvania των Ηνωμένων πολιτειών κατασκευάστηκε και ο πρώτος αγωγός για την μεταφορά πετρελαίου από τον Samouel Van Syckel. Ο αγωγός είχε διάμετρο 152 χιλιοστά, μήκος περίπου 9 χιλιόμετρα και ήταν κατασκευασμένος από κατεργασμένο σίδηρο (Paul Robins, et. Al). Ύστερα από αυτόν ακολούθησε ο αγωγός 10 χιλιομέτρων από τους αδερφούς Nobel στο Baku το 1878 όπου είχε διάμετρο 77 χιλιοστά. Στις αρχές πλέον του 20^{ου} αιώνα η αγορά άρχισε να ανθίζει και ξεκίνησαν να κατασκευάζονται αγωγοί πολύ μεγάλων αποστάσεων με τον πρώτο να συνδέει το Texas με την Oklahoma με συνολικό μήκος 755 χιλιομέτρων και ταυτόχρονα κατασκευάζονταν τέτοιο αγωγοί πέρα από τις ΗΠΑ, και στον Καναδά και στην Κίνα. Το ερέθισμα για αυτές τις κατασκευές ήταν η διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση για πετρέλαιο λόγω της αυτοκινητοβιομηχανίας. Η συνεχής ζήτηση και οι ανάγκες για το πετρέλαιο και τα προϊόντα του είχαν ως αποτέλεσμα την διαρκή επέκταση των κατασκευών δικτύων αγωγών (www.Beltps.com, 2021).

Σήμερα, σύμφωνα με την μη κυβερνητική οργάνωση Global Energy Monitor του Ted Nace το 2020 υπήρχαν και λειτουργούν τουλάχιστον 2,381 αγωγοί πετρελαίου και φυσικού αερίου καταμετρημένοι κατά μήκος 162 χωρών. Συνολικά αυτοί οι αγωγοί έχουν μήκος 1.18 εκατομμύρια χιλιόμετρα. Μέσα από την ιστορία τους βλέπουμε πως τα ενεργειακά δίκτυα σαν έργα είναι απαραίτητα πλέον για τον άνθρωπο. Όπως έχει αναφέρει και η CEPA (Canadian Energy Pipeline Association) από τη στιγμή που ξυπνάμε μέχρι και τη στιγμή που κοιμόμαστε δεν υπάρχει σχεδόν καμία στιγμή που δεν έχουμε χρησιμοποιήσει την ενέργεια που προσφέρεται από τα δίκτυα. Επακολούθως τα ενεργειακά δίκτυα αγωγών έχουν αποδειχτεί πως είναι ο πιο φιλικός προς το περιβάλλον και ταυτόχρονα ο πιο ασφαλής τρόπος μεταφοράς αργών καυσίμων και των προϊόντων τους συγκριτικά με άλλες μεθόδους (www.tcenergy.com).



Εικόνα 2.2.3 Κατασκευή του αγωγού TransCanada, 1957 (Πηγή : Library and Archives Canada)



Εικόνα 2.2.4 Κατασκευή του αγωγού Keystone XL (Πηγή: www.enr.com)



2.3 Αγωγοί Μεταφοράς

Όπως αναφέρεται στο λεξικό της Νέας Ελληνικής Γλώσσας που υλοποιείται από το Κέντρο Ελληνικής Γλώσσας, η ερμηνεία του όρου ‘Αγωγός’ δίνεται ως εξής:

“αγωγός ο [αγωγός] O17 : 1α. επιμήκης κατασκευή, συνήθ. σωλήνας, μέσα στην οποία διοχετεύεται κάτι, συνήθ. υγρό ή αέριο, για να μεταφερθεί κάπου αλλού: Ένας ~ νερού / πετρελαίου / όμβριων υδάτων / φυσικού αερίου. Αρδευτικός / αποχετευτικός ~. Υπόγειος ~. Διακοπή της υδροδότησης λόγω βλάβης σε κεντρικό αγωγό. β. (φυσ.) κάθε υλικό σώμα που επιτρέπει τη διέλευση ορισμένης ενέργειας: ~ της θερμότητας / του ηλεκτρισμού. Καλός / κακός ~. || (ηλεκτρολ.): Θετικός / αρνητικός / ουδέτερος ~. Το φορτίο / δυναμικό ενός αγωγού. Ένας ~ υψηλής τάσεως. 2. (μτφ.) ό,τι διαδίδει, μεταδίδει κτ.: ~ ειδήσεων / πληροφοριών.”

Είναι, δηλαδή, ένα μέσο κατά το οποίο μεταφέρονται υλικά που κατά κύριο λόγο είναι υγρά ή αέρια από ένα σημείο σε ένα άλλο. Όταν υπάρχει δυνατότητα καθίδρυσης ενός δικτύου αγωγών, τότε οποιαδήποτε σταθερή χημική ουσία μπορεί να μεταφερθεί μέσα από αυτό. Όπως προ αναφέρθηκε στην εισαγωγή του κεφαλαίου και στην ιστορική εξέλιξη των ενεργειακών δικτύων υπάρχουν αγωγοί που μεταφέρουν φυσικό αέριο και αργό πετρέλαιο, αλλά υπάρχουν και αγωγοί που μεταφέρουν τα διυλισμένα προϊόντα του αργού πετρελαίου και άλλα ρευστά όπως νερό, μπίρα και απόβλητα.

2.3.1 Κλειστοί Αγωγοί

Η σύγκλιση του τύπου ροής σε κλειστούς αγωγούς με τον τύπο ροής σε ανοιχτούς αγωγούς, δηλαδή η ροή να είναι υποκινούμενη από τη βαρύτητα, είναι ενδεχόμενη. Ωστόσο στους κλειστούς αγωγούς η ροή μπορεί να γίνεται και υπό πίεση. Αυτή η μορφή ροής συμβαίνει όταν ο αγωγός είναι πλήρης και δεν είναι εκτεθειμένη η επιφάνεια του ρευστού στην ατμόσφαιρα (Οδηγία Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) 12). Στα ενεργειακά δίκτυα η μεταφορά των υλικών είναι αδιάκοπη και προφανώς η ροή είναι υπό πίεση που ρυθμίζεται τακτικά (PST, 2019). Οι κλειστοί αγωγοί στα ενεργειακά δίκτυα μεταφέρουν κυρίως φυσικό αέριο, αργό πετρέλαιο και τα παράγωγα προϊόντα αυτού και χωρίζονται σε υποκατηγορίες.

Αρχικά υπάρχουν τα συστήματα αγωγών στην γραμμή παραγωγής, ονομάζονται αγωγοί συλλογής (Gathering Pipelines) και βρίσκονται κοντά στον σταθμό εξόρυξης και χρησιμοποιούνται για να προετοιμάσουν τα υλικά και τη μεταφορά. Στην συνέχεια έχουμε τους αγωγούς μεταφοράς (Transmission Pipelines) όπου είναι μεγάλης κλίμακας γραμμές συνήθως μεταξύ 15 και 120 εκατοστών που μεταφέρουν τα υλικά σε τεράστιες αποστάσεις εσωτερικά αλλά και εξωτερικά της εκάστοτε χώρας. Η μεταφορά αυτή γίνεται συνήθως κάτω από μεγάλες πιέσεις της τάξης 200 με 1500 psi. Τέλος, οι αγωγοί διανομής



(Distribution Pipelines) είναι ένα σύστημα αγωγών που διανέμουν, τουλάχιστον στις ΗΠΑ, το φυσικό αέριο στις κατοικίες και στις επιχειρήσεις και τα υπόλοιπα υλικά στους κατάλληλους προορισμούς. Τα Ενεργειακά δίκτυα κλειστών αγωγών λειτουργούν με την ίδια φιλοσοφία και για το πετρέλαιο και για το φυσικό αέριο (PST 2019).

2.4 Ο Τρόπος λειτουργίας ενός Ενεργειακού Δικτύου Αγωγών Μεταφοράς

Τα ενεργειακά δίκτυα, που αποτελούνται από πολλά συστήματα αγωγών και πολλά χιλιόμετρα σωληνώσεων δεν βασίζονται μόνο στους αγωγούς για να μεταφέρουν τα υλικά. Γίνεται χρήση ενός αριθμού εγκαταστάσεων “εργαλείων” που ρυθμίζουν και συνεισφέρουν στην μεταφορά των αγαθών. Τα βασικά εξαρτήματα που συναντάμε σε κάθε δίκτυο μεταφορών είναι τα εξής:

I.	Σταθμός έγχυσης ή τροφοδοσίας των υλικών
II.	Σταθμός συμπίεσης και άντλησης
III.	Ενδιάμεσοι σταθμοί παράδοσης
IV.	Βαλβίδες
V.	Σταθμός ελέγχου πίεσης
VI.	Σταθμός ελέγχου μεταδεδομένων/ Συστήματα SCADA
VII.	Τερματικός Σταθμός παράδοσης

Πίνακας 2.1 Σταθμοί ρύθμισης λειτουργίας και ασφάλειας Ενεργειακού Δικτύου

Αναλυτικότερα:

I. Σταθμός έγχυσης ή τροφοδοσίας των υλικών

Φέρει και την ονομασία σταθμός εισόδου και είναι το πρώτο ουσιαστικά βήμα στην μεταφορά υλικών ενός Ενεργειακού δικτύου διότι σε αυτόν τον σταθμό εισέρχονται τα υλικά στους αγωγούς.

II. Σταθμός συμπίεσης και άντλησης

Επειδή το φυσικό αέριο και το αργό πετρέλαιο ταξιδεύουν μέσα στους αγωγούς υπό μεγάλη πίεση, προκειμένου να διατηρείται αυτή στο επιθυμητό επίπεδο, τα υλικά περνάνε από τους σταθμούς συμπίεσης για τα αέρια και άντλησης για τα υγρά όπου κάνουν ακριβώς αυτό. Συμπιέζουν το υλικό ώστε να έχει την κατάλληλη πίεση στο εσωτερικό των αγωγών.



Οι σταθμοί αυτοί είναι τοποθετημένοι σε στρατηγικές θέσεις κατά μήκος των δικτύων ώστε να είναι σωστά ρυθμισμένη η πίεση.

III. Σταθμός ελέγχου πίεσης

Πέρα από τους σταθμούς συμπίεσης και άντλησης, οι σταθμοί ελέγχου πίεσης τοποθετούνται ανά διαστήματα με την ίδια λογική προκειμένου να παρακολουθούν τα υλικά που διασχίζουν τους αγωγούς.

IV. Ενδιάμεσοι σταθμοί παράδοσης

Σε αυτούς τους σταθμούς ουσιαστικά επιτρέπουν την διανομή μέρους των προϊόντων πριν από τον τερματικό σταθμό παράδοσης. Επίσης σε αυτούς τους σταθμούς πραγματοποιείται και αποσυμπίεση του προς διανομή προϊόντος.

V. Βαλβίδες

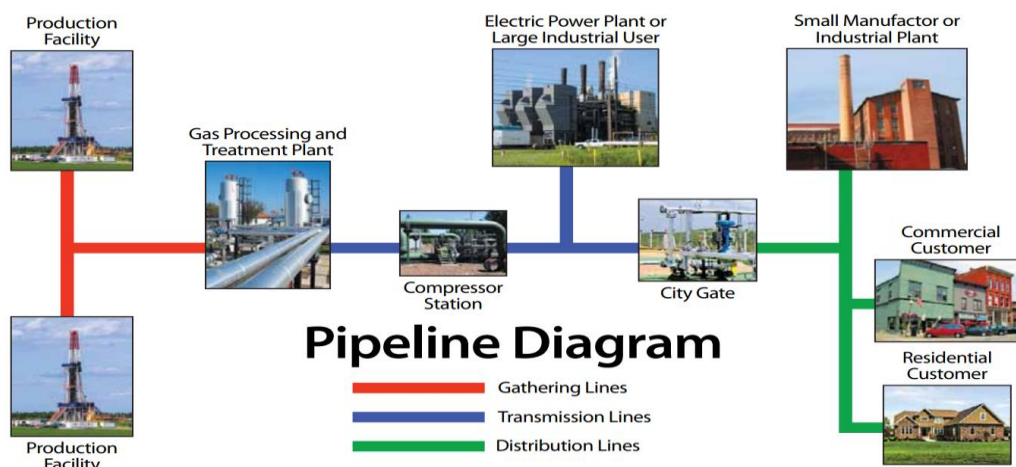
Οι αγωγοί που διασχίζουν ολόκληρες πολιτείες(για τις ΗΠΑ) ή χώρες διαθέτουν έναν σημαντικό αριθμό βαλβίδων σε όλο το μήκος τους. Αυτές οι βαλβίδες λειτουργούν σαν δίοδοι, και παραμένουν ανοιχτές, κλείνοντας μόνο όταν υπάρχει απόλυτη ανάγκη όπως για παράδειγμα όταν ένας αγωγός χρήζει συντήρησης, έτσι ώστε να διασφαλίσει την ευελιξία στους μηχανικούς να δουλέψουν με ασφάλεια. Είναι τοποθετημένες κάθε 8 με 30 χλμ. και υπόκεινται σε κανονισμούς ασφάλειας. Κάποιες βαλβίδες λειτουργούν χειροκίνητα, κάποιες μπορούν να ελεγχθούν από απόσταση αλλά υπάρχουν και βαλβίδες που είναι προγραμματισμένες να λειτουργούν αυτόματα με βάση τις συνθήκες μέσα στον αγωγό.

VI. Σταθμός ελέγχου μεταδεδομένων

Σε αυτούς τους σταθμούς συλλέγονται τα δεδομένα που έχουν ληφθεί από τα περίπλοκα συστήματα που παρακολουθούν τα προϊόντα στο εσωτερικό των αγωγών στους σταθμούς συμπίεσης και ελέγχου πίεσης και διατίθενται στα συστήματα SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition). Αυτά τα συστήματα επεξεργάζονται όλα τα συλλεγμένα δεδομένα και ελέγχουν την ποιότητα και την κατάσταση στο εσωτερικό των αγωγών.

VII. Τερματικός Σταθμός παράδοσης

Αυτός ο σταθμός είναι και το τελευταίο κομμάτι του αγωγού όπου από εκεί ξεκινάει και η διανομή των υλικών στον καταναλωτή.(NaturalGas.org, 2013)



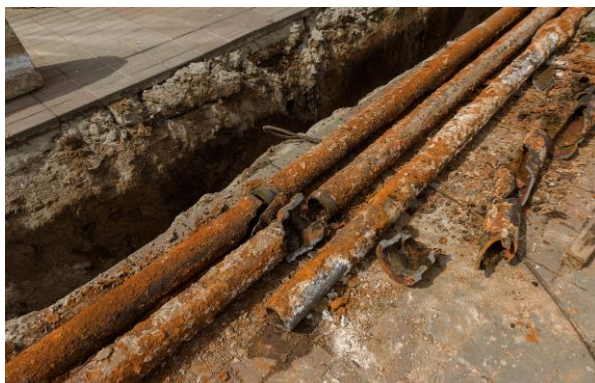
Εικόνα 2.4.1 Σύστημα αγωγών μεταφοράς από την παραγωγή στην κατανάλωση
(Πηγή: <https://pstrust.org/wp-content/uploads/2019/03/2019-PST-Briefing-Paper-02-NatGasBasics.pdf>)

2.5 Κατασκευή Αγωγών

Η διαδικασία της κατασκευής των αγωγών είναι μια καίρια και κρίσιμη διαδικασία μέσα από την οποία μαζί με την παράδοση ενός αγωγού θα πρέπει να διασφαλίζεται και η αξιοπιστία του και αντοχή του.

2.5.1 Υλικά

Η πλειονότητα των αγωγών συλλογής και μεταφοράς είναι πλέον κατασκευασμένη από υψηλής ποιότητας ανθρακόνημα. Οι σωλήνες κατασκευάζονται σε κομμάτια σε χαλβουργεία και η ποιότητάς τους ελέγχεται και ακολουθεί συγκεκριμένους κανονισμούς ασφαλείας. Κάθε κομμάτι κυμαίνεται μεταξύ 10 και 20 μέτρα σε μήκος και κατασκευάζεται ειδικά προσαρμοσμένο για την περιοχή στην οποία θα τοποθετηθεί ο αγωγός. Το μέγεθος η αντοχή και το πάχος του καθορίζεται από διάφορους παράγοντες όπως η γεωγραφική θέση, ο πληθυσμός και η σύσταση του εδάφους στην εκάστοτε περιοχή. Όσον αφορά τους αγωγούς διανομής, υπάρχουν περιπτώσεις που και αυτοί κατασκευάζονται από ατσάλι ωστόσο επικρατέστερο υλικό στις μέρες μας είναι υψηλής αντοχής πλαστικό και φέρουν την ονομασία «Aldyl-A». Παλιότερα χρησιμοποιούνταν σωλήνες κατασκευασμένοι από χυτοσίδηρο ή αλλιώς μαντέμι υλικό όμως που φθείρεται με τα χρόνια και είναι ευάλωτο στις μεταβλητές συνθήκες που επικρατούν στο έδαφος όπου τοποθετούνται οι αγωγοί. (PST, 2019)



Εικόνα 2.5.1 Αγωγός διανομής από Χυτοσίδηρο
(Πηγή: <https://metrometaldetectors.com/blogs/blog/how-to-find-underground-cast-iron-pipes-with-a-metal-detector>)



Εικόνα 2.5.2 Αγωγός διανομής Aldyl-A
(Πηγή: <https://njbiz.com/south-jersey-gas-touts-200m-infrastructure-program-slideshow/>)

2.5.2 Προστασία

Γενικά, παρόλο που οι αγωγοί είναι κατασκευασμένοι από ανθεκτικά υλικά, όταν είναι τοποθετημένοι βρίσκονται και εκτεθειμένοι στις αλλαγές του καιρού είτε αυτό είναι χαμηλές θερμοκρασίες είτε βροχή είτε υγρασία, αλλά και στον άνθρωπο όταν είναι εγκατεστημένοι υπέργεια. Αυτό σημαίνει ότι με τον καιρό διαβρώνονται και μπορεί να προκληθούν βλάβες ή και διαρροές. Προκειμένου λοιπόν προληφθούν και να αποφευχθούν αυτές οι βλάβες μέχρι ένα σημείο οι αγωγοί επικαλύπτονται εξωτερικά με συντηγμένο εποξειδικό υλικό ή με θερμοσυρρικνούμενα πολυαιθυλένια καλύμματα. Πλέον τα καλύμματα αυτά εγκαθίστανται κατά την κατασκευή των αγωγών αλλά υπάρχουν και αγωγοί που δεν έχουν θωρακιστεί οπότε πραγματοποιείται επικάλυψη αυτών στο πεδίο. Πριν από την εγκατάσταση αυτών είναι αναγκαίο να καθαριστούν οι αγωγοί από χώματα, άλατα και λοιπά υπολείμματα. (PST, 2019)

2.5.3 Εγκατάσταση

Οι αγωγοί στα ενεργειακά δίκτυα συναντώνται και υπόγεια και υπέργεια. Για την εγκατάσταση του των αγωγών συλλογής και μεταφοράς η μέθοδος που ακολουθούσαν οι μηχανικοί ήταν με το σκάψιμο τάφρων. Αυτή η μέθοδος ακολουθείται και σήμερα για το μεγαλύτερο μέρος των αγωγών μεταφοράς και συλλογής. Γίνεται εκσκαφή δηλαδή στα σημεία που πρόκειται να γίνει η εγκατάσταση και τοποθετούνται οι σωλήνες. Για την υπόγεια εγκατάσταση ωστόσο υπάρχει και η μέθοδος της διάτρησης και της οριζόντιας κατευθυνόμενης γεώτρησης (HDD). Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται κυρίως για να αποφευχθούν περιβαλλοντικές διαστρεβλώσεις όπως για παράδειγμα όταν χρειάζεται ο αγωγός να περάσει από ένα ποτάμι. Σε αυτή την περίπτωση η κατευθυνόμενη γεώτρηση επιτρέπει την διέλευση του αγωγού σε αρκετά μεγάλο βάθος χωρίς να επηρεαστεί το περιβάλλον στην επιφάνεια. (PST, 2019)

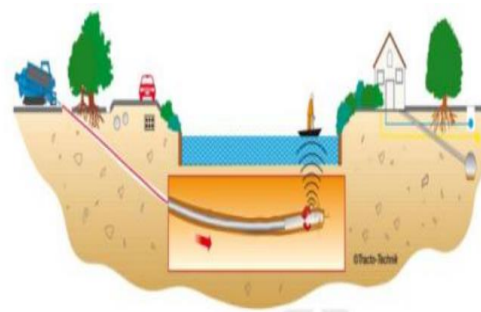
2.5.3.1 Οριζόντια Κατευθυνόμενη Διάτρηση (HDD)

Η οριζόντια κατευθυνόμενη διάτρηση είναι μια διαδικασία διάτρησης που υπάγεται στις μεθόδους υπόγειας διάνοιξης δίχως σκάψιμο στην επιφάνεια (Trenchless) και η χρήση της ξεκίνησε στα τέλη του 1960 ενσωματώνοντας τεχνικές υδρογεωτρήσεων. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε τρία διαδοχικά βήματα χρησιμοποιώντας το κατάλληλο μηχάνημα (Μηχάνημα οριζόντιας κατευθυνόμενης διάτρησης). Το πρώτο βήμα είναι να γίνει διάτρηση της πιλοτικής οπής κατά μήκος της προ σχεδιασμένης διαδρομής. Το τρυπάνι καθοδηγείται με τη μέθοδο “Walkover” κατά την οποία το τρυπάνι εκπέμπει ραδιοκύματα και ένας δέκτης αυτών κινείται στην επιφάνεια επάνω στην προκαθορισμένη διαδρομή. Στην συνέχεια εφόσον έχει ολοκληρωθεί η πιλοτική οπή πραγματοποιείται διάνοιξη της διάτρησης στο επιθυμητό μέγεθος και στο τρίτο στάδιο ακολουθεί η τοποθέτηση των αγωγών.

Εκτεταμένη χρήση της κατευθυνόμενης γεώτρησης γίνεται σε αγωγούς διανομής διότι μεγάλο μέρος τους μπορεί να περνάει από αστικές περιοχές και υπάρχουν αρκετά εμπόδια που πρέπει να αποφευχθούν. Αυτό βέβαια είναι αρκετά ριψοκίνδυνο διότι στις αστικές πόλεις υπάρχουν υφιστάμενα δίκτυα σωληνώσεων όπως της διανομής νερού ή του αποχετευτικού συστήματος που θα πρέπει να εντοπιστούν. (ASTT)



Εικόνα 2.5.3 Μηχάνημα οριζόντιας κατευθυνόμενης διάτρησης (Πηγή : <https://www.directionaltech.com/directional-drilling/installation/>)



Εικόνα 2.5.4 Απεικόνιση διάτρησης με τη μέθοδο HDD και η καθοδήγηση αυτής (Πηγή : https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/6925/razosi_pipejacking.pdf?sequence=2)



2.5.4 Πίεση κατά τη λειτουργία

Η μεταφορά των υλικών μέσα από το δίκτυο των αγωγών είναι αδιάκοπη και γίνεται όπως έχουμε αναφέρει υπό πίεση η οποία ρυθμίζεται κατά μήκος του συστήματος. Η πίεση αυτή πρόκειται για την μέγιστη ανεκτή πίεση που μπορεί να δεχτεί ο αγωγός. Η Αγγλική ορολογία είναι Maximum allowable operating pressure(MAOP), η MAOP διαφέρει από τμήμα αγωγού σε ένα άλλο και καθορίζεται από διάφορους παράγοντες όπως η τοποθεσία που βρίσκεται το εκάστοτε τμήμα, το πάχος των τοιχωμάτων του αγωγού και από τα εξαρτήματα που μπορεί να είναι τοποθετημένα σε εκείνο το τμήμα. Σε περίπτωση που υπάρχει κάποια βλάβη του αγωγού η έκταση που θα επηρεαστεί από αυτή την βλάβη καθορίζεται από την MAOP και την διάμετρο του τμήματος του αγωγού. (PST, 2019)

2.5.5 Κανονισμοί Ασφάλειας

2.5.5.1 Κατασκευαστικός έλεγχος

Όλοι οι αγωγοί που χρησιμοποιούνται στα Ενεργειακά δίκτυα πρέπει να είναι ανθεκτικοί και να μπορούν να αντέξουν την πίεση των υλικών που μεταφέρουν. Γενικά από το 1970 και μετά όλοι οι αγωγοί πλην κάποιων εξαιρέσεων ελέγχονταν προτού τοποθετηθούν. Στόχος των ελέγχων πίεσης ήταν να εξαλείψουν κάθε σφάλμα που μπορούσε να αλλοιώσει τον αγωγό και να μην μπορεί να αντέξει την MAOP. Κατά τον έλεγχο εάν υπήρχε κάποιο σφάλμα τότε δεν περνάει από τον έλεγχο, και σε αυτή την περίπτωση γίνεται ταυτοποίηση του προβλήματος και είτε διορθώνεται ή γίνεται αντικατάσταση του συγκεκριμένου τμήματος του αγωγού.

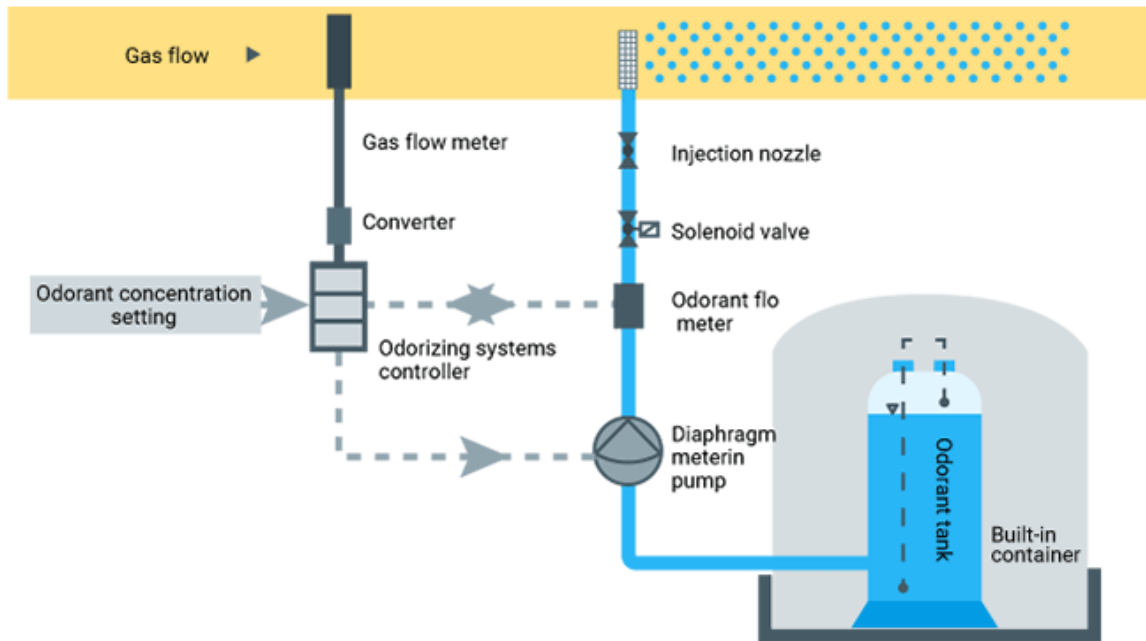
Ο έλεγχος με υδροστατική πίεση εμπεριέχει το γέμισμα του αγωγού με νερό, και αύξηση της εσωτερικής πίεσης σταδιακά μέχρι ένα προκαθορισμένο επίπεδο μεγαλύτερο της επιθυμητής μέγιστης ανεκτής λειτουργικής πίεσης, και είναι ο βασικός έλεγχος που πραγματοποιείται στους αγωγούς μεταφοράς. Οι αγωγοί διανομής ελέγχονται με πίεση αέρα.

2.5.5.2 Ασφάλεια κατά την λειτουργία

Σύμφωνα με τους κανονισμούς ασφάλειας, είναι απαραίτητο να πραγματοποιούνται περιπολίες στα κατά μήκος των δικτύων έτσι ώστε αν υπάρχουν ενδείξεις υφιστάμενης διαρροής να γίνουν οι κατάλληλες ενέργειες. Επιπλέον πρέπει να πραγματοποιείται αυτός ο έλεγχος για τυχόν εκσκαφές που δεν πρέπει να συμβαίνουν για να μην προκαλέσουν κάποιο πρόβλημα στην ασφαλή λειτουργία του αγωγού. Δεν έχει καθοριστεί συγκεκριμένος τρόπος που πρέπει να γίνονται αυτές οι περιπολίες και κατά κύριο λόγο πραγματοποιούνται εναέρια.

Όσον αφορά τους ελέγχους διαρροής, πραγματοποιούνται τακτικά από προσωπικό με ειδικά εξαρτήματα έτσι ώστε να διαπιστώσουν εάν υπάρχει κάποια διαρροή και να ποσοτικοποιήσουν το μέγεθος και την επικινδυνότητα της διαρροής. Όταν πρόκειται για αγωγούς φυσικού αερίου πολύ μικρές διαρροές είναι φυσιολογικές και δεν είναι επικίνδυνες.

Τέλος, επειδή το επεξεργασμένο φυσικό αέριο είναι άοσμο, στους αγωγούς φυσικού αερίου που είναι κοντά σε αστικές περιοχές είναι απαραίτητο να προσδίδεται στο αέριο κάποιο είδος τεχνητής οσμής έτσι ώστε να μπορεί να εντοπιστεί έναν απλό άνθρωπο. Αυτό γίνεται σε ειδικούς σταθμούς που υπάρχουν δεξαμενές με αρωματικά τα οποία εγχέονται στο εσωτερικό των αγωγών.



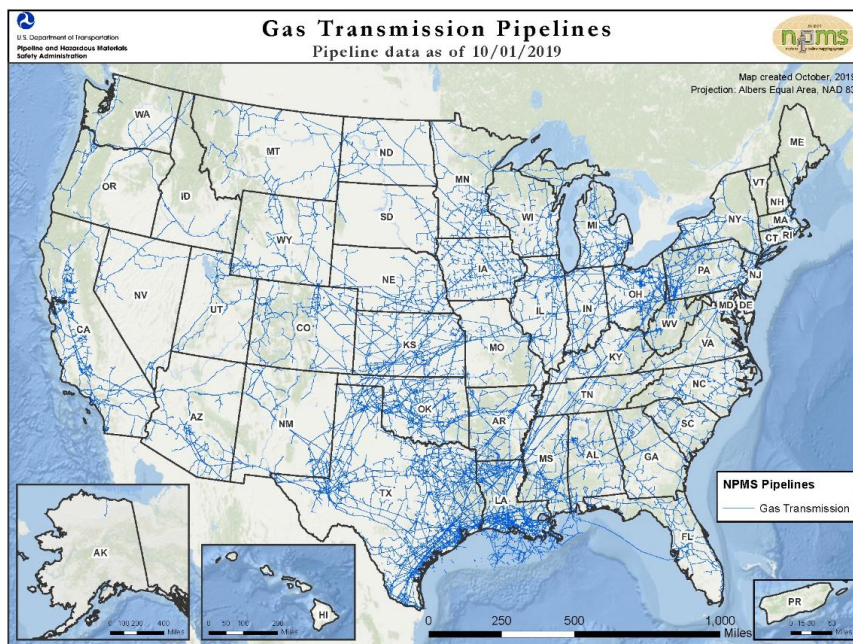
Εικόνα 2.5.6 Σύστημα οσμοποίησης (Πηγή: <https://www.nikkiso.com/products/pump/odorant.html>)

2.6 Παγκόσμια ανάπτυξη Ενεργειακών Δικτύων

Οι σημαντικότερες μορφές ενεργειακών δικτύων σε όλο τον κόσμο είναι τα δίκτυα που μεταφέρουν πετρέλαιο και τα δίκτυα που μεταφέρουν φυσικό αέριο. Όταν αναφερόμαστε στο πετρέλαιο μιλάμε για ένα κράμα από στερεούς, ρευστούς και αέριους υδρογονάνθρακες που εντοπίζονται στο υπέδαφος. Η εμπορική σημασία του πετρελαίου ή αργού πετρελαίου συγκαταλέγει μόνο τις ρευστές μορφές του. Αναφέραμε και στην ιστορική εξέλιξη πως οι πρώτες μεταφορές πετρελαίου με αγωγό ξεκίνησαν το 1865 στην Pennsylvania των ΗΠΑ, έκτοτε η χρήση των αγωγών είχε μόνο εξελικτική πορεία, καθώς η ανάγκη για ενέργεια ολοένα και αυξανόταν.

2.6.1 Ηνωμένες πολιτείες

Αυτή τη στιγμή στις **Ηνωμένες πολιτείες** είναι εγκατεστημένοι 352,398 χιλιόμετρα αγωγών πετρελαίου και υδροποιημένου φυσικού αερίου. Σε αυτόν τον αριθμό συγκαταλέγονται 128,747 χιλιόμετρα αγωγών αργού πετρελαίου, 112,654 χιλιόμετρα υδροποιημένου φυσικού αερίου και 99,779 διυλισμένων προϊόντων πετρελαίου. Όσον αφορά το φυσικό αέριο υπάρχουν 482,803 χιλιόμετρα αγωγών μεταφοράς και 3,5405,56 χιλιόμετρα αγωγών διανομής. Το δίκτυο εκτείνεται σχεδόν σε όλη την έκταση της χώρας. Οι αγωγοί μεταφοράς μεταφέρουν τα υλικά προς επεξεργασία και προς αποθήκευση και οι αγωγοί διανομής το μεταφέρουν στους καταναλωτές. (Pipeline101, 2019)



Εικόνα 2.6.1 Δίκτυο Αγωγών Φυσικού Αερίου στις ΗΠΑ (Πηγή: <https://pipeline101.org/topic/where-are-gas-pipelines-located/>)

2.6.2 Ασία

Στην **Ασία** σύμφωνα με την GlobalData στις αρχές του 2023 το συνολικό μήκος του δικτύου αγωγών πετρελαίου και φυσικού αερίου ήταν 205,149 χιλιόμετρα. Από αυτά η Κίνα διατηρεί σε λειτουργία το μεγαλύτερο κομμάτι με συνολικά 89,085 χιλιόμετρα. Ακολουθεί η Ινδία με 52,014 χιλιόμετρα και το Πακιστάν με 17,334 χιλιόμετρα. Για την περίοδο 2023- 2026 έχουν ανακοινωθεί προς κατασκευή 60,688 χιλιόμετρα με τα 3,264 να είναι σε πολύ αρχικό στάδιο που βρίσκονται υπό μελέτη και τα υπολοιπούμενα να έχουν ολοκληρωμένες μελέτες.(GlobalData, 2023)

Το πρώτο δίκτυο αγωγών της Ασίας στεγάζεται στην Κεντρική Ασία και αφορά τον το δίκτυο αγωγών αερίου το οποίο μεταφέρει φυσικό αέριο και ξεκινάει από το Τουρκμενιστάν και διασχίζει το Ουζμπεκιστάν το Καζακιστάν και τη Ρωσία. Χωρίζεται σε δύο μέρη, το δυτικό και το ανατολικό. Το ανατολικό κομμάτι εμπεριέχει τους αγωγούς CAC 1,2,4 και 5 με αφετηρία τα νοτιοανατολικά σημεία εξόρυξης φυσικού αερίου του Τουρκμενιστάν. Το δυτικό κομμάτι του δικτύου εμπεριέχει τον αγωγό CAC 3 και ξεκινάει από την ακτή της Κασπίας θάλασσας του Τουρκμενιστάν και κατευθύνεται προς τα βόρεια. Τα δύο μέρη συνδέονται στο Καζακιστάν και κατευθύνονται βόρεια όπου ενώνονται με το δίκτυο φυσικού αερίου της Ρωσίας. Το δίκτυο της Κεντρικής Ασίας ξεκίνησε να κατασκευάζεται το 1969 όπου και κατασκευάστηκαν οι αγωγοί 1 και 2 του συστήματος. Ακολούθησε το 1973 ο αγωγός 3 και 4 και τελείωσε το 1985 με την κατασκευή του αγωγού 5. Το σύστημα ολοκληρωμένο έχει μήκος 4,405 χιλιόμετρα.(GlobalEnergyMonitor, 2021)



Εικόνα 2.6.2 Αποθέματα Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου Κεντρικής Ασίας σύμφωνα με εκτιμήσεις του 2014 (Πηγή : U.S Energy information Administration)

Το 2007 ξεκίνησε και η κατασκευή του αγωγού Central Asia – China όπου συνδέει το δίκτυο αγωγών της κεντρικής Ασίας και συνδέεται με τον αγωγό West-East της Κίνας και διασχίζει το Ουζμπεκιστάν το Καζακιστάν και φτάνει στο Χόργο. Το έργο ολοκληρώθηκε το 2009 και ο αγωγός αυτός έχε μήκος 1,833 χιλιόμετρα. Από το 2009



μέχρι το τέλος του 2022 έχει μεταφέρει 423.2 δισεκατομμύρια κυβικά μετρά φυσικού αερίου από το Τουρκμενιστάν προς την Κίνα. (EnterData, 2023)

2.6.2.1 Οι δέκα μεγαλύτεροι αγωγοί σε λειτουργία της Ασίας

1. Αγωγός μεταφοράς *Sui Northern Gas*

Με μήκος 9,052 χιλιόμετρα είναι ο μεγαλύτερος αγωγός της Ασίας και βρίσκεται στο Πακιστάν. Ανήκει και διαχειρίζεται από την Sui Northern Gas Pipelines. Κατασκευάστηκε και λειτουργεί από το 1964 και έχει διάμετρο 40 με 48 ίντσες.

2. Αγωγός *West -East III*

Ο West-East III έχει μήκος 6,840 χιλιόμετρα. Ο αγωγός αυτός ανήκει στο δίκτυο πετρελαίου και φυσικού αερίου της Κίνας και ξεκίνησε να λειτουργεί το 2016. Ο αγωγός έχει διάμετρο 40 με 48 ίντσες και έχει σχεδιαστεί να φιλοξενεί 82090,54 m³/d προϊόντος (Κυβικά μέτρα ανά ημέρα).

3. Δίκτυο *Kogas System*

Το δίκτυο αυτό βρίσκεται στην Βόρεια Κορέα και έχει μήκος 4,945 χιλιόμετρα. Ανήκει και διαχειρίζεται από την Korea Gas και ξεκίνησε να λειτουργεί το 1985. Έχει διάμετρο 30 ίντσες και χωρητικότητα 162312,16 m³/d προϊόντος.

4. Ανατολικό κομμάτι του αγωγού *West-East II*

Ο αγωγός αυτός έχει μήκος 4,485 χιλιόμετρα. Ανήκει στις China National Petroleum(29.90%), China Petrochemical(14%), China National Offshore Oil(2.90%) και σε άλλες(53.20%) και διαχειρίζεται από το δίκτυο πετρελαίου και φυσικού αερίου της Κίνας. Ξεκίνησε να λειτουργεί το 2011 και έχει διάμετρο 48 ίντσες με χωρητικότητα 82118,86 m³/d προϊόντος.

5. Αγωγός *West-East I*

Ο αγωγός West-East I βρίσκεται στην Κίνα και έχει μήκος 4,380 χιλιόμετρα. Είναι μέρος του συστήματος αγωγών West-East οπότε ανήκει και διαχειρίζεται από τις εταιρείες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ξεκίνησε να λειτουργεί το 2004 και έχει χωρητικότητα 46524,58 m³/d προϊόντος.

6. Αγωγός μεταφοράς *Sui Southern Gas*

Με μήκος 3,889 χιλιόμετρα, κατασκευάστηκε το 1954 και η διάμετρος του κυμαίνεται από 12 μέχρι 24 ίντσες. Η χωρητικότητά του είναι 39615,27 m³/d προϊόντος.



7. Αγωγός *Hazira-Vijaypur-Jagdishpur*

Το σύστημα αυτό βρίσκεται στην Ινδία και έχει μήκος 2,887 χιλιόμετρα. Ανήκει και διαχειρίζεται από την GAIL(Ινδία) και ξεκίνησε να λειτουργεί το 1987. Η διάμετρος του κυμαίνεται από 4 έως 36 ίντσες και έχει χωρητικότητα 33357,25 m³/d προϊόντος.

8. Αγωγός φυσικού αερίου *Myanmar-China*

Ιδιοκτησία των China National Petroleum(50.90%), Posco International(25.04%), Oil and Natural Gas(8.35%), Myanmar Oil and Gas Enterprise(7.37%), Gail(Ινδία)(4.17%) και της Korea Gas(4.17%), ο αγωγός έχει μήκος 2,520 χιλιόμετρα και ξεκίνησε να λειτουργεί το 2013. Έχει διάμετρο 40 ίντσες και χωρητικότητα 32819,23 m³/d προϊόντος.

9. Δυτικό κομμάτι του αγωγού *West-East II*

Το δυτικό κομμάτι του West-East II έχει μήκος 2,235 χιλιόμετρα και η λειτουργία του ξεκίνησε το 2010. Με διάμετρο 48 ίντσες φέρει χωρητικότητα 82090,54 m³/d προϊόντος.

10. Αγωγός *Salaya-Mathura*

Τέλος ο αγωγός Salaya-Manthura βρίσκεται στην Ινδία και έχει μήκος 2,314 χιλιόμετρα και είναι ιδιοκτησία της Indian Oil. Αρχισε να λειτουργεί 1978 και η διάμετρος του κυμαίνεται από 24 έως 42 ίντσες. Έχει χωρητικότητα 492.823 βαρελιών ανά ημέρα.(GlobalData, 2023)



Εικόνα 2.6.3 Υφιστάμενο Δίκτυο Αγωγών Ασίας (Πηγή: www.globalenergymonitor.org)



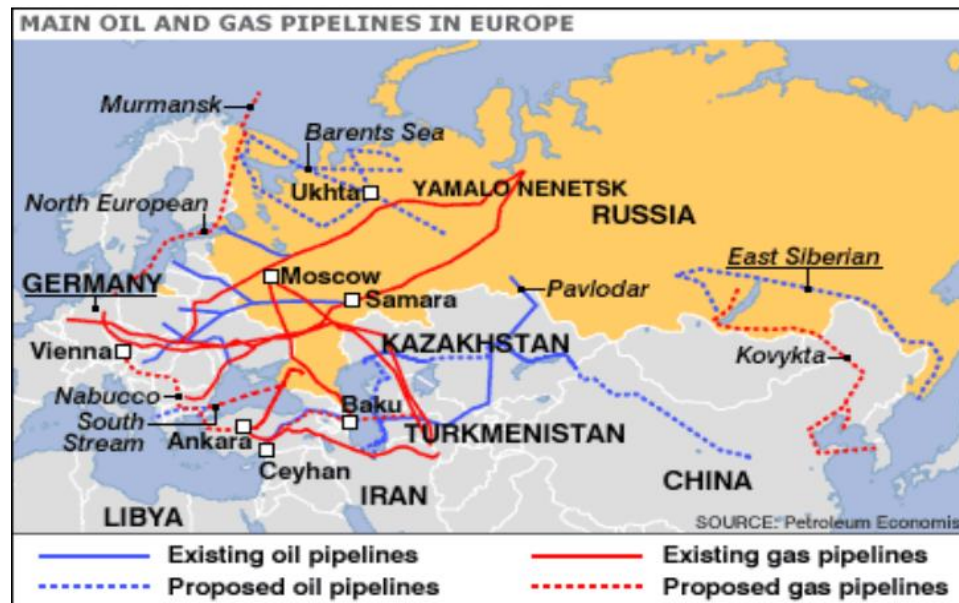
2.6.3 Ευρώπη

Όσον αφορά την Ευρώπη, την μεταφορά φυσικού αερίου διαχειρίζεται το Ευρωπαϊκό δίκτυο διαχειριστών συστημάτων μεταφοράς φυσικού αερίου (ENTSOG) από τον Δεκέμβριο του 2009. Σκοπός του ENTSOG είναι να δυναμώσει και κάνει πιο εύκολη την συνεργασία μεταξύ των διαχειριστών του κάθε εθνικού συστήματος σε όλη την Ευρώπη. Ο ENTSOG συνεισφέρει έτσι στην δημιουργία ενός πανευρωπαϊκού συστήματος που μεταφέρει φυσικό αέριο προκειμένου να επιτευχθούν οι ενεργειακοί σκοποί της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Σαραντοπούλου Κ., 2013).

Σύμφωνα με τα στατιστικά από την GlobalData στις αρχές του 2023, οι εν λειτουργία αγωγοί πετρελαίου και φυσικού αερίου στην Ευρώπη έφταναν τα 202,685 χιλιόμετρα. Από αυτά στην Γερμανία εντοπίζονται 33,853 χιλιόμετρα αγωγού, στην Γαλλία 21,300 χιλιόμετρα και στο Ηνωμένο Βασίλειο 20,391 χιλιόμετρα. Επιπλέον, έχουν σχεδιαστεί πλήρως ακόμη 4,472 χιλιόμετρα αγωγών και έχουν ανακοινωθεί ακόμη 3,991 χιλιόμετρα. Η Global Energy Monitor αναφέρει πως η Ευρώπη αποτελεί τον νούμερο ένα εισαγωγέα φυσικού αερίου σε όλο τον κόσμο, καλύπτοντας το 80% των αναγκών της σε φυσικό αέριο από εξωτερικές πηγές.

Παρά το γεγονός πως δεν σταμάτησε η παροχή φυσικού αερίου από την Ρωσία λόγω του πολέμου Ρωσίας-Ουκρανίας, και ας ήταν αναμενόμενες τεράστιες διαταραχές, η Ευρώπη φιλοδοξεί να χτίσει ένα αρκετά ακριβό δίκτυο που θα αυξήσει τις εισαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου κατά 136% , έχοντας όμως συνέπειες στο μακροπρόθεσμο πλάνο για την επίτευξη κλιματικών στόχων που έχουν τεθεί (European climate law που ψηφίστηκε το 2021). Τα στατιστικά δείχνουν πως 227.2 δισεκατομμύρια κυβικών μέτρων τον χρόνο μπορούν να εισαχθούν με κόστος 22.1 δισεκατομμύρια ευρώ. (Baird Langerbrunner, et al. 2023)

Παράλληλα στην Ευρώπη υπάρχει και λειτουργεί το Δίκτυο Αγωγών NATO (Nato Pipeline System), το οποίο φτιάχτηκε κατά την περίοδο του ψυχρού πολέμου προκειμένου να τροφοδοτεί τις δυνάμεις του NATO με καύσιμα, και λειτουργεί ακόμη και σήμερα. Αποτελείται από 10 σταθμούς αποθήκευσης και 10 δίκτυα διανομής. Στο σύνολό του πλησιάζει κοντά στα 10,000 χιλιόμετρα και διασχίζει 12 χώρες του NATO και έχει χωρητικότητα 4.1 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Διασυνδέει στρατιωτικά αεροδρόμια, πολιτικά αεροδρόμια, σταθμούς συμπίεσης, τοποθεσίες φόρτωσης βυτιοφόρων και σιδηρόδρομων και διωλιστήρια σε όλο το Ευρωπαϊκό δίκτυο.



Εικόνα 2.6.4 Οι κύριοι αγωγοί πετρελαίου και φυσικού αερίου στην Ευρώπη (Πηγή : http://www.allrussias.com/rf/maps_rf_2.asp)

2.6.3.1 Οι δέκα μεγαλύτεροι αγωγοί σε λειτουργία της Ευρώπης

1. Αγωγός μεταφοράς Ρουμανίας

Έχει μήκος 13,307 χιλιόμετρα και ανήκει στην Scietatea Nationala de Transport Gaze Naturale TRANSGAZ και διαχειρίζεται από την ίδια. Λειτουργεί από το 1947 και η διάμετρος του κυμαίνεται από 2 έως 48 ίντσες. Η χωρητικότητα του είναι 82090538 m³/d προϊόντος.

2. Δίκτυο Open Grid Gas System

Το δίκτυο αυτό έχει μήκος 12,000 χιλιόμετρα ανήκει στην Vier Gas Transport GmbH και βρίσκεται στην Ευρώπη.

3. Σύστημα αερίου Πολωνίας

Ο αγωγός αυτός φτάνει τα 11,056 χιλιόμετρα και λειτουργεί από το 2004. Είναι ιδιοκτησία της Gaz-System και έχει χωρητικότητα 44599,03 m³/d προϊόντος.

4. Δίκτυο μεταφοράς αερίου Γαλλίας

Έχει μήκος 7,874 χιλιόμετρα και ανήκει στις Engie(75%) και σε άλλες εταιρείες(25%), και διαχειρίζεται από την GRTgaz. Έχει διάμετρο από 15.7 μέχρι 47.24 ίντσες και χωρητικότητα 223165,07 m³/d προϊόντος.

5. Δίκτυο National Grid Gas System

Το δίκτυο του Ηνωμένου Βασιλείου και έχει μήκος 7,660 χιλιόμετρα. Ανήκει ολοκληρωτικά στην National Grid και έχει διάμετρο 24 έως 48 ίντσες



6. Αγωγός ONTRAS

Ο αγωγός ONTRAS έχει συνολικό μήκος 7000 χιλιόμετρα και ανήκει στις Neckparpri(34.69%), Zweckverband Oberschwabische Elektrizitätswerke(34.69%) και σε άλλες(30.62%) και διαχειρίζεται από την ONTRAS Gastransport.

7. FGSZ Δίκτυο μεταφοράς αερίου «Ουγγαρία»

Το δίκτυο αυτό έχει μήκος 5,782 χιλιόμετρα ανήκει στην MOL Hungarian και λειτουργεί από το 1942. Η διάμετρος του κυμαίνεται από 4 έως 55 ίντσες και έχει χωρητικότητα 68951,52 m³/d προϊόντος.

8. TEREGA Δίκτυο μεταφοράς αερίου «Γαλλία»

Βρίσκεται στην Γαλλία και έχει μήκος 5,127 χιλιόμετρα. Είναι ιδιοκτησία των Snam(45%), Electricite de France(20%) και άλλων(35%) και διαχειρίζεται από την Terega με λειτουργία από το 1945.

9. Δίκτυο Thyssengas

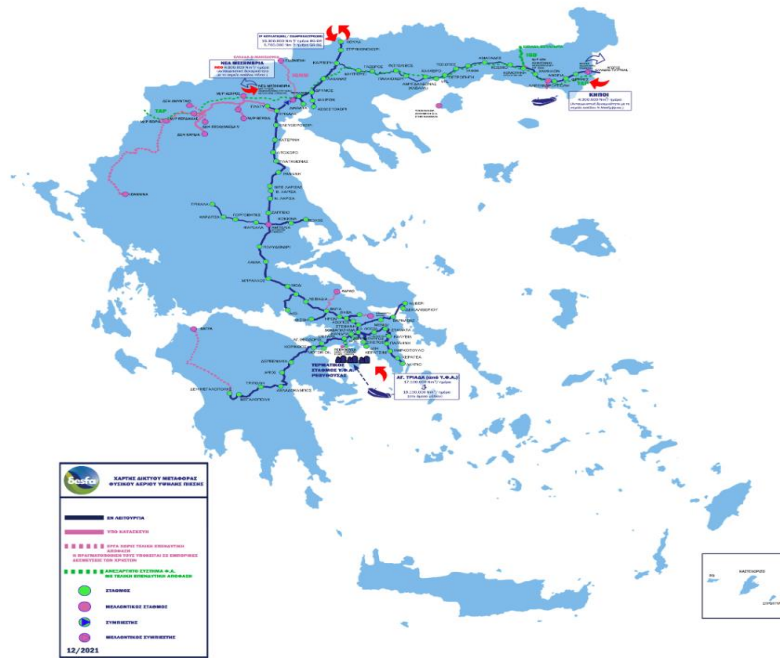
Ανέρχεται στα 4,409 χιλιόμετρα μήκους, ανήκει στην Thyssengas και βρίσκεται στην Γερμανία. Η διάμετρος του είναι από 4.5 μέχρι 40 ίντσες.

10. Αγωγός μεταφοράς αερίου Βουλγαρίας

Ο αγωγός της Βουλγαρίας είναι συνολικά 3,276 χιλιόμετρα και ανήκει στην Bulgarian Energy Holding αλλά διαχειρίζεται από την Bulgartransgaz. Ξεκίνησε να λειτουργεί το 1974 και έχει διάμετρο 40 ίντσες με χωρητικότητα 68951,52 m³/d προϊόντος.(GlobalData, 2023)

2.7 Στην Ελλάδα

Το ενεργειακό δίκτυο της Ελλάδας σήμερα αφορά μόνο τη μεταφορά φυσικού αερίου. Οι εισαγωγές φυσικού αερίου στην Ελλάδα ξεκίνησαν το 1997 μέσα από ένα δίκτυο αγωγών όσον αφορά το συμπιεσμένο φυσικό αέριο και με ειδικά δεξαμενόπλοια όταν πρόκειται για υγροποιημένο φυσικό αέριο.



Εικόνα 2.7.1 Χάρτης δικτύου μεταφοράς Φ.Α Ελλάδας (πηγή: <https://www.desfa.gr/national-natural-gas-system/transmission>)

Ο κεντρικός αγωγός που μεταφέρει το φυσικό αέριο ανέρχεται στα 512 χιλιόμετρα και έχει πίεση 70 barg. Ξεκινάει από τα ελληνοβουλγαρικά σύνορα στον Προμαχώνα και καταλήγει στην Αττική. Παράλληλα πάνω στον κεντρικό αγωγό έχουν ενσωματωθεί κλάδοι μεταφοράς που αγγίζουν τα 953.2 χιλιόμετρα ώστε να καλύψουν την τροφοδοσία της ανατολικής Μακεδονίας, της Θράκης, της Θεσσαλονίκης, του Πλατέος, του Βόλου, των Τρικάλων, των Οινόφυτων, των Αντικύρων, του Αλιβερίου, της Κορίνθου, της Μεγαλόπολης, της Θίβης και της Αττικής (ΔΕΣΦΑ, 2022).



2.7.1 Αγωγός Τουρκίας - Ελλάδα - Ιταλίας

Ο Αγωγός αυτός συνδέει το Τουρκικό ενεργειακό δίκτυο με το δίκτυο της Ελλάδας και έχει μήκος 296 χιλιόμετρα. Έχει αφετηρία το Καρατζάμπεϊ και κατάληξη στην Κομοτηνή. Ο αγωγός έχει διάμετρο 35.8 ίντσες και μεταφέρει 7 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα προϊόντος ετησίως.

2.7.2 Διασυνδετήριος Αγωγός Ελλάδας – Βουλγαρίας (IGB)

Ο Αγωγός IGB συνδέει το Ενεργειακό δίκτυο της Ελλάδας με την Βουλγαρία. Πρόκειται για έναν αγωγό περίπου 182 χιλιομέτρων εκ των οποίων τα 31 χιλιόμετρα βρίσκονται εντός της ελληνικής επικράτειας. Είναι πλήρως λειτουργικός από τον Οκτώβριο του 2022. Ο αγωγός θα μεταφέρει 3 με 5 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου τον χρόνο και έχει την ικανότητα αντίστροφης ροής με διάμετρο 32 ίντσες.

2.7.3 Αδριατικός Αγωγός Φυσικού Αερίου (Trans Adriatic Pipeline, TAP)

Ο TAP ξεκινάει από τα σύνορα Ελλάδας – Τουρκίας στους κήπους του Έβρου και διασχίζει την Ελλάδα, την Αλβανία και την Αδριατική θάλασσα. Βρίσκεται σε λειτουργία από το 2020 και συνδέεται και με τον IGB. Έχει συνολικό μήκος 867 χιλιόμετρα εκ των οποίων τα 547 βρίσκονται στην Ελλάδα. Η δυναμικότητά του φτάνει στα 10 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα τον χρόνο και έχει διάμετρο 35.8 ίντσες.

Αυτοί είναι οι κύριοι υφιστάμενοι αγωγοί στην Ελλάδα σήμερα, ωστόσο μέλει να κατασκευαστεί και ο αγωγός Ανατολικής Μεσογείου ή EastMed, ο οποίος θα είναι ένας υποθαλάσσιος και χερσαίος αγωγός φυσικού αερίου που θα συνδέει τις πηγές ενέργειας της Ανατολικής Μεσογείου με την ηπειρωτική Ελλάδα μέσω της Κύπρου και της Κρήτης. Επίσης έχει προταθεί και η κατασκευή του Αγωγού Ελλάδας – Ιταλίας, όπου θα είναι η ολοκλήρωση του αγωγού Τουρκίας – Ελλάδας – Ιταλίας με όνομα ΠΟΣΕΙΔΩΝ και θα έχει μήκος 807 χιλιόμετρα και δυνατότητα μεταφοράς 8 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου ετησίως.



Κεφάλαιο III

Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφορικής (GIS)

3.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη των συστημάτων γεωπληροφορικής ξεκίνησε την δεκαετία του 60' με το έργο του Roger Tomlinson στον Καναδά. Το σύστημα του Tomlinson ήταν μονού επιπέδου και σχεδιάστηκε κυρίως για την αποθήκευση χρήσεων γης και άλλων παρόμοιων στοιχείων. Τα πρώτα χρόνια τα συστήματα αυτά απαιτούσαν σοβαρή οικονομική υποστήριξη και βασίζονταν ιδιαίτερα στις ικανότητες του προγραμματιστή, καθώς απαιτούσαν τη δημιουργία ψηφιοποιημένης μορφής χαρτών από το μηδέν. Ακριβώς επειδή απαιτούσαν πολύ σημαντική οικονομική υποστήριξη από τα εκάστοτε κράτη και από μεγάλες επιχειρήσεις κατασκευάζονταν για πολύ συγκεκριμένους σκοπούς και όχι για γενική χρήση.

Στα τέλη της δεκαετίας του 70' και αρχές της δεκαετίας του 80' ξεκίνησε να γίνεται και η εμπορική χρήση των GIS με αξιοσημείωτη την κυκλοφορία του ARC/INFO από την Environmental Systems Research Institute (ESRI) το 1981. Την δεκαετία του 90' τα GIS έγιναν διαθέσιμα και για τους προσωπικούς υπολογιστές.

Ο ορισμός της έννοιας Σύστημα Γεωπληροφορικής έχει, ανά τα χρόνια, πάρει διαφορετικές μορφές λόγω του ευρύ φάσματος χρήσεων για τις οποίες χρησιμοποιούνται και αυτό έχει να κάνει και με το γεγονός πως η ανάπτυξη αυτών γινόταν παράλληλα και με την τεχνολογική ανάπτυξη των πληροφοριακών συστημάτων, των λογισμικών και των αλγόριθμων ανάλυσης γενικότερα. Στις μέρες μας τα Συστήματα Γεωπληροφορικής αφορούν εργαλεία που λειτουργούν σε υπολογιστές και χρησιμοποιούνται για την χαρτογράφηση και την ανάλυση γεγονότων και δεδομένων που αφορούν την γη γενικότερα. Οι τεχνολογίες της Γεωπληροφορικής ενσωματώνουν τις λειτουργίες βάσεων δεδομένων, δηλαδή ερωτήματα και στατιστική ανάλυση, με τα πλεονεκτήματα της γεωγραφικής ανάλυσης και της οπτικοποίησης δεδομένων που προσφέρουν οι χάρτες. Αυτός ο συνδυασμός είναι που ξεχωρίζει τα συστήματα γεωπληροφορικής από άλλα πληροφοριακά συστήματα και που τους δίνει αξία καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθούν από πολλούς φορείς για να εξηγήσουν γεγονότα, να προβλέψουν αποτελέσματα αλλά και να σχεδιάσουν επιθυμητές διεργασίες.



3.2 Τα GIS αποδομημένα

Οι παράγοντες που συνεισφέρουν ώστε να είναι λειτουργικό ένα σύστημα γεωπληροφορικής είναι πέντε και είναι οι εξής:

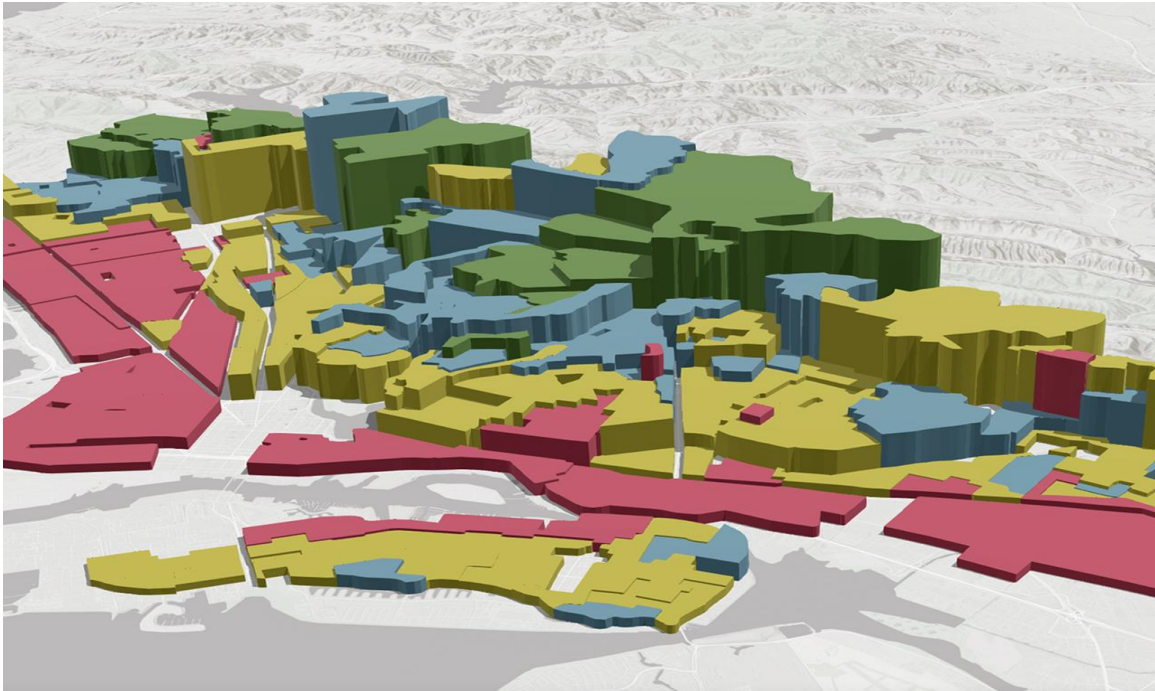
Πρώτα από όλα, δεν μπορεί να υπάρξει GIS χωρίς έναν **υπολογιστή** καθώς πρόκειται για ένα λογισμικό. Πλέον τα λογισμικά GIS είναι διαθέσιμα για ένα ευρύ φάσμα συστημάτων, από τον υπολογιστή ενός απλού χρήστη έως έναν κεντρικό υπολογιστή (Server).

Το λογισμικό GIS. Διάφορα λογισμικά σήμερα χρησιμοποιούνται στην Γεωπληροφορική και έχουν τις κατάλληλες λειτουργίες και εργαλεία που χρειάζονται για τις διάφορες αναλύσεις αλλά και την προβολή γεωχωρικής πληροφορίας. Τα βασικά εργαλεία που απαρτίζουν ένα τέτοιο λογισμικό είναι εργαλεία εισαγωγής και διαχείρισης της πληροφορίας. Μια γεωβάση για την αποθήκευση και την εκμετάλλευση των δεδομένων. Σύστημα οπτικοποίησης χαρτών για την ανάλυση των δεδομένων, και ένα γραφικό περιβάλλον χρήστη για την εύκολη πρόσβαση του χρήστη σε όλα τα εργαλεία.

Προφανώς, δεν μπορεί να υπάρξει πληροφοριακό σύστημα χωρίς τις πληροφορίες, δηλαδή χωρίς **δεδομένα**. Βασικό χαρακτηριστικό ενός Συστήματος Γεωπληροφορικής είναι τα δεδομένα, γεωχωρικά δεδομένα, στατιστικά δεδομένα σχετικά με τις γεωγραφικές πληροφορίες κ.λπ. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να συλλεχθούν από τον εκάστοτε χρήστη ή φορέα ή από το διαδίκτυο καθώς πλέον υπάρχει πληθώρα πληροφορίας, αλλά και να αγοραστούν από κάποιον που τα έχει συλλέξει. Ένα λογισμικό γεωπληροφορικής έχει την ικανότητα να συνδυάσει την γεωχωρική πληροφορία με άλλα δεδομένα αλλά και να τα αποθηκεύσει σε μια γεωβάση.

Τα συστήματα γεωπληροφορικής δεν μπορούν να δουλέψουν από μόνα τους. **Ο Άνθρωπος** είναι αυτός που τα διαχειρίζεται και αναπτύσσει σχέδια και τα εφαρμόζει στον πραγματικό κόσμο προκειμένου να λύσει υφιστάμενα προβλήματα ή να υλοποιήσει έργα. Οι χρήστες των GIS μπορεί να είναι ειδικοί που μπορεί να σχεδιάζουν και να το συντηρούν αλλά απλοί χρήστες που το χρησιμοποιούν για να φέρουν εις πέρας προσωπικά Project.

Ένα project σε σύστημα γεωπληροφορικής για να λειτουργήσει αποτελεσματικά θα πρέπει να είναι καλά σχεδιασμένο και να ακολουθεί ένα μοντέλο λειτουργίας δηλαδή μια **μεθοδολογία**.



Εικόνα 3.2.1 Πηγή : <https://www.esri.com>

3.3 Γεωχωρικά Δεδομένα

Η γεωγραφία έχει ιδιαίτερη βαρύτητα στην ζωή μας καθώς οποιαδήποτε διεργασία ή απόφαση εμπεριέχουν τον γεωγραφικό παράγοντα. Τα γεωγραφικά δεδομένα έχουν χωρική σημασία που έχει να κάνει με την γη, και σε αυτό συμπεριλαμβάνεται η πληροφορία που είναι απαραίτητη για την δημιουργία και την αξιοποίηση της ψηφιακής αναπαράστασης της για καθώς και χαρακτηριστικών των περιοχών αυτής. Για αυτό τον λόγο τα δεδομένα αυτά ονομάζονται και γεωχωρικά, και διαφέρουν από άλλες μορφές δεδομένων.

Τα γεωχωρικά δεδομένα είναι πολυδιάστατα. Κάθε τοποθεσία συνδέεται με κάποιες μορφές χωρική αναφορά όπως οι συντεταγμένες ή η αναφορά στο γεωγραφικό μήκος και πλάτος καθώς και με κάποια ερμηνευτικό παράγοντα ή χαρακτηριστικό που περιγράφει την τοποθεσία αυτή όπως για παράδειγμα ένα κτίριο ενδιαφέροντος ή το υψόμετρο σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο.

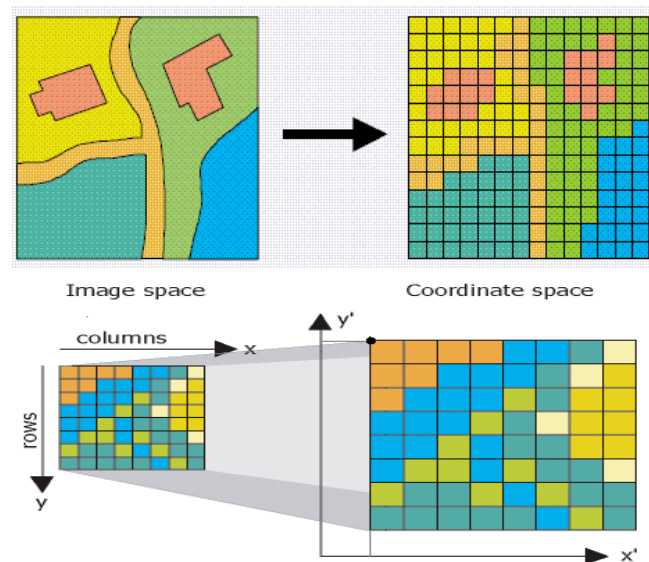
Οι επικρατέστερες μορφές αποθήκευσης και επεξεργασίας γεωχωρικών δεδομένων είναι δύο η ψηφιδωτή(Raster) και η διανυσματική(Vector).

Τα **ψηφιδωτά** δεδομένα είναι συχνά εικόνες που αποτελούνται από Pixel σε ένα σύστημα Γραμμών Σειρών και το μέγεθος τους ποικίλλει ανάλογα τον αριθμό των pixel που τα σχηματίζουν. Αν δηλαδή πρόκειται για μια εικόνα υψηλής ανάλυσης τότε και το μέγεθος του ψηφιδωτού αρχείου θα είναι σαφώς μεγαλύτερο από μια εικόνα χαμηλότερης ανάλυσης. Τα ψηφιδωτά δεδομένα είναι αρκετά αποτελεσματικά όταν πρόκειται για την για αδιάκοπη πληροφορία, όπως για παράδειγμα τον τύπου του εδάφους. Τα **διανυσματικά** δεδομένα αφορούν την ακριβή τοποθεσία των γεωγραφικών στοιχείων που αναπαριστούν(Γραμμές, Πολύγωνα, Σημεία), δηλαδή όλη η πληροφορία είναι αφορά γεωγραφικές συντεταγμένες και είναι ενσωματωμένη σε αυτά. Για παράδειγμα γραμμικά δεδομένα όπως είναι ένα δίκτυο δρόμων μπορεί να αποθηκευτεί σαν ένα σύνολο συντεταγμένων σημείων. Τα δεδομένα αυτά είναι πολύ χρήσιμα για διακριτές πληροφορίες όπως για παράδειγμα το περίγραμμα της κάτοψης ενός κτιρίου.

Και οι δύο μορφές έχουν τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα. Κάθε τύπος από τους αυτούς μπορεί να προτιμηθεί σε διαφορετικές διεργασίες αλλά κάποιες διεργασίες μπορεί να υλοποιηθούν και με τις δύο μορφές. Επίσης συναντώνται σε όλα τα σύγχρονα λογισμικά γεωπληροφορικής.



Εικόνα 3.3.1 Παράδειγμα ενός Vector Dataset
(Πηγή: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/geodatabases/feature-class-basics.htm>)



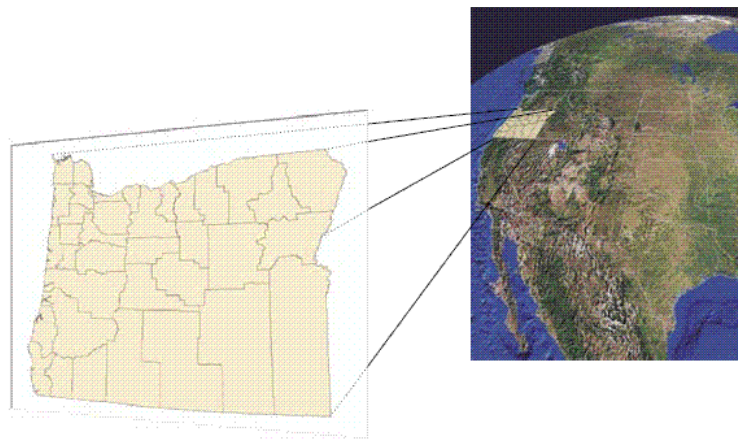
Εικόνα 3.3.2 Παράδειγμα ενός Raster Dataset
(Πηγή: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/geodatabases/raster-basics.htm>)

3.4 Κλίμακα

Τα γεωχωρικά δεδομένα κατά κύριο λόγο απεικονίζονται υπό κλίμακα. Η κλίμακα είναι η σχέση μεταξύ του πραγματικού μεγέθους του αντικειμένου των δεδομένων και του προβαλλόμενου μεγέθους σε έναν ψηφιακό χάρτη. Η κλίμακα ενός χάρτη συνήθως προστίθεται στον χάρτη σαν μια μπάρα ή σαν το κλάσμα που δείχνει την αναλογία μεταξύ της πραγματικότητας και της απεικόνισης. Για παράδειγμα ένα κλάσμα 1:10,000 δείχνει πως 1 μέτρο στον χάρτη είναι 10 χιλιόμετρα στην πραγματικότητα. Με την κλίμακα ερμηνεύεται το επίπεδο της ανάλυσης των δεδομένων. Όταν μιλάμε για μικρή κλίμακα της τάξεως 1:1000 πρόκειται για έναν χάρτη υψηλής ανάλυσης και επομένως μεγάλης ακρίβειας των δεδομένων. Αντιθέτως, μια μεγάλης κλίμακα της τάξεως 1:100,000 παρουσιάζει μια πιο γενική εικόνα του αντικειμένου μελέτης, άρα και δεδομένα μικρότερης ακρίβειας. Η κλίμακα είναι ρητά συνδεδεμένη με την γεωδαιτική ακρίβεια, κάποιες εφαρμογές χρειάζονται μικρή ακρίβεια μελέτης και κάποιες άλλες χρειάζονται υψηλή ακρίβεια. Παραδείγματος χάρη, η τοποθέτηση υπόγειων ηλεκτρικών καλωδίων κατά πάσα πιθανότητα χρειάζεται μεγάλης ακρίβειας αποτύπωση και επομένως μεγάλης ακρίβειας επεξεργασία σε ένα λογισμικό GIS. Είναι σημαντικό ο χρήστης να προσέχει την κλίμακα στα δεδομένα που δουλεύει ειδικά όταν έχει να κάνει και με δεδομένα διαφορετικής κλίμακας.

3.5 Γεωαναφορά

Η γεωαναφορά ή αλλιώς γεωκωδικοποίηση είναι η διαδικασία κατά την οποία δίνεται στα προς επεξεργασία δεδομένα η ακριβής γεωγραφική τοποθεσία. Είναι δηλαδή η σύνδεση οποιασδήποτε οντότητας με τις συντεταγμένες του μέσα σε περιβάλλον γεωπληροφορικής.



Εικόνα 3.5.1 Γεωαναφορά (Πηγή: <https://gisresources.com/georeferencing-2/>)



3.6 Λογισμικό Γεωπληροφορικής ArcGIS

Το ArcGIS αποτελεί μια οικογένεια εφαρμογών από εφαρμογή διακομιστή(Server) έως και διαδικτυακό σύστημα γεωπληροφορικής το οποίο αναπτύχθηκε και διατηρείται από την ESRI. Έχει δημιουργηθεί και λειτουργεί από το 1999.

Το λογισμικό αυτό δίνει τη δυνατότητα στους χρήστε να δημιουργήσουν, να αναλύσουν και να επεξεργαστούν γεωχωρικά δεδομένα. Είναι από τα πιο διαδεδομένα λογισμικά στην αγορά και χρησιμοποιείται από πολλούς επαγγελματίες σε διαφορετικούς τομείς όπως αστικός σχεδιασμός, περιβαλλοντική διαχείριση, δημόσια υγεία ή και διαχείριση φυσικών πόρων. Διαθέτει ένα ευρύ φάσμα εργαλείων για χωρική ανάλυση, οπτικοποίησης δεδομένων αλλά και χαρτογράφηση, επίσης δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να συνδυάσουν διαφορετικά δεδομένα όπως δημογραφικές πληροφορίες, δορυφορικές εικόνες, τοπογραφικά δεδομένα έτσι ώστε να δημιουργήσουν χάρτες και μοντέλα. Εμπεριέχει επίσης πολλά εξειδικευμένα αναλυτικά εργαλεία για την ανάλυση χωρικών στατιστικών, την ανάλυση δικτύων ή και την δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων.

Όπως αναφέραμε οι δύο τύποι δεδομένων που συναντάμε στα συστήματα γεωπληροφορικής είναι τα διανυσματικά δεδομένα, και τα ψηφιδωτά. Ο πιο διαδεδομένος τύπος αρχείου για την αποθήκευση διανυσματικών δεδομένων είναι το shapefile. Το shapefile είναι μια απλή μη τοπολογική μορφή αρχείου για την αποθήκευση γεωγραφικών χαρακτηριστικών σε διανυσματική μορφή, και μπορεί να περιγράψει αυτή την πληροφορία με σημεία, γραμμές και πολύγωνα. Η επεξεργασία των shapefile γίνεται στην επιφάνεια εργασίας του ArcGIS, τοποθετώντας το στο πρόγραμμα με τη μορφή ενός επιπέδου(layer). Όταν ο χρήστης έχει να μελετήσει πληροφορίες από διαφορετικά shapefile συνδυαστικά ακολουθείται η διαδικασία της υπέρθεσης κατά την οποία τοποθετούνται τα επίπεδα ουσιαστικά το ένα επάνω στο άλλο και έτσι δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να έχει τη συνολική εικόνα από όλες τα δεδομένα μαζί και επομένως να διεξάγει πιο αποτελεσματικά και ποιοτικά την μελέτη του. Για να γίνει κατανοητό, ένα γραμμικό shapefile μπορεί να φιλοξενήσει διαφορετικές γραμμικές πληροφορίες(π.χ. οδικό δίκτυο και υδρογραφικό δίκτυο) ωστόσο επιλέγεται για την διευκόλυνση του χρήστη και της αναμετάδοση των δεδομένων οι δύο πληροφορίες να αποθηκεύονται σε διαφορετικά shapefile. Η μορφή αποθήκευσης του shapefile είναι με την κατάληξη (.shp).

Η πιο διαδεδομένη μορφή για την αποθήκευση ψηφιδωτών δεδομένων για το ArcGIS, είναι τα αρχεία TIFF(Tag Image File Format) και PNG(Portable Network Graphics). Και οι δύο τύποι αρχείων αφορούν την αποθήκευση αρχείων με pixel δηλαδή εικόνες και επομένως την αποθήκευση ψηφιδωτών δεδομένων.



3.6.1 Εφαρμογές του ArcGIS

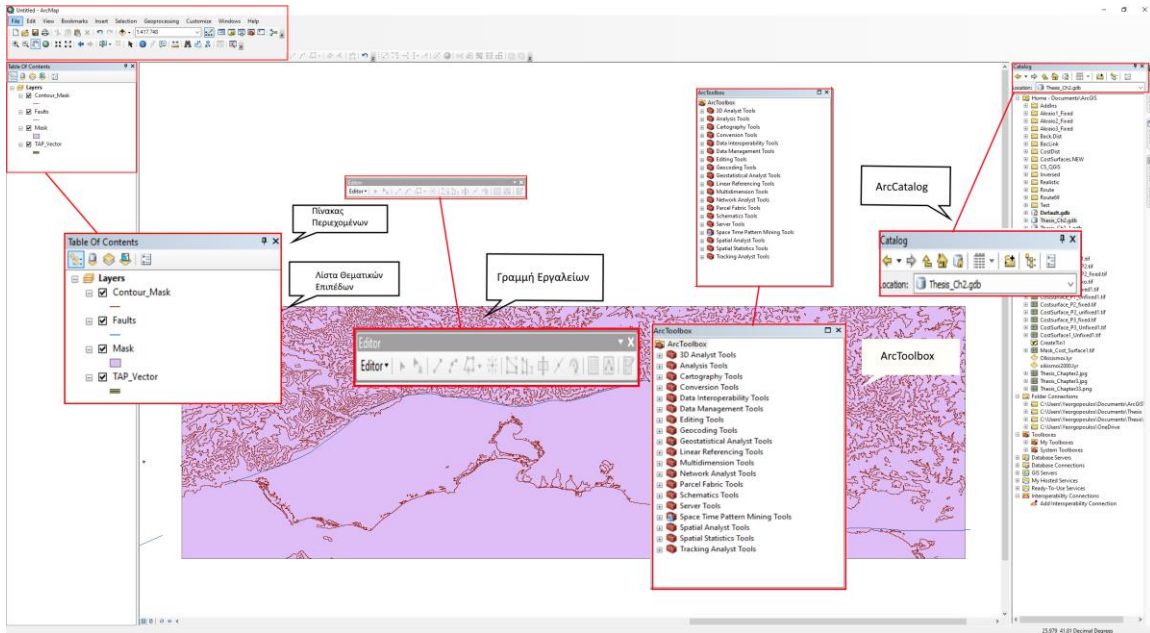
3.6.1.1 ArcMap

Την βασική εφαρμογή του ArcGIS αποτελεί το ArcMap στο οποίο εισάγονται όλα τα αρχεία που πρόκειται να επεξεργαστούν και η από αποτελεί και κόμβο για την επικοινωνία και την συλλειτουργία με τις άλλες εφαρμογές του ArcGIS όπως είναι το ArcCatalog. Στο ArcMap εισάγονται όλα τα αρχεία με τη μορφή θεματικών επιπέδων και προβάλλονται σε έναν χάρτη όπως προ αναφέραμε τα οποία ύστερα μπορεί ο χρήστης να εξατομικεύσει (Όταν αυτά είναι μορφής Vector). Ύστερα μέσα από μια πληθώρα εργαλείων που διατίθενται από το λογισμικό μπορεί να διεξάγει τις αναλύσεις του και να μελετήσει τα αποτελέσματα του.

Κατά την είσοδο σε αυτή την εφαρμογή, το πρώτο πράγμα που βλέπει ο χρήστης είναι το πλαίσιο δεδομένων, έναν χώρο στον οποίο προβάλλονται όλα τα δεδομένα αφού εισαχθούν στην εφαρμογή. Υπάρχουν δύο προβολές για το πλαίσιο δεδομένων. Υπάρχει το Data View στο οποίο απεικονίζονται όλα τα αρχεία που εισάγει ο χρήστης και στο οποίο μπορεί να τα διαχειριστεί και να τρέξει τις αναλύσεις του. Υπάρχει και το Layout View το οποίο χρησιμοποιείται για την μορφοποίηση του χάρτη που έχει σκοπό να δημιουργήσει ο εκάστοτε χρήστης, το οποίο προβάλλει το πλαίσιο δεδομένων και δίνεται η δυνατότητα να προστεθούν αντικείμενα όπως μπάρα κλίμακας, υπόμνημα κ.λπ.

Γενικότερα η από “κατασκευής” διάταξη που υπάρχει κατά την έναρξη του προγράμματος είναι να βρίσκεται στο κέντρο το πλαίσιο δεδομένων, στα αριστερά ο πίνακας περιεχομένων στον οποίο εντοπίζονται τα θεματικά επίπεδα σε μια λίστα και το όνομα του πλαισίου δεδομένων. Στο πάνω μέρος βρίσκεται η γραμμή εργασιών όπου μπορούμε από αυτή να τρέξουμε βασικές διεργασίες του προγράμματος όπως η εισαγωγή αρχείων ή προσθήκη άλλων εφαρμογών στην επιφάνεια εργασίας του λογισμικού. Σε αυτό το σημείο βρίσκεται και η γραμμή εργαλείων με τα οποία μπορούμε να επεξεργαστούμε τα δεδομένα. Και τέλος στα δεξιά συνήθως τοποθετούνται διάφορες εφαρμογές από τον χρήστη με την μορφή παραθύρων για την διευκόλυνση του, αλλά από προεπιλογή εντοπίζεται η εφαρμογή του ArcGIS το ArcCatalog.

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα η διάταξη που περιεγράφηκε φαίνεται ως εξής.



Εικόνα 3.6.1 Περιβάλλον Χρήστη ArcMap

3.6.1.2 ArcGlobe

Η εφαρμογή ArcGlobe αποτελεί κομμάτι της προέκτασης 3D Analyst του ArcGIS, μιας εφαρμογής με εργαλεία κατάλληλα για την επεξεργασία την οπτικοποίηση και την ανάλυση τρισδιάστατων δεδομένων. Η προέκταση αυτή είναι σχεδιασμένη για να χρησιμοποιείται για πολύ μεγάλα σετ παγκόσμιων δεδομένων τα οποία προβάλλονται σε σφαιρική διάταξη. Τα δεδομένα σε αυτή την εφαρμογή είναι συνδεδεμένα σε μορφή πολύ επίπεδου παζλ δηλαδή χωρίζονται σε κομμάτια(tiles). Η πολύ επίπεδη αυτή μορφή ακολουθεί την λογική των δισδιάστατων πεδίων μελέτης. Σε αυτή την εφαρμογή επεξεργάζονται δεδομένα σε μορφή raster, επομένως εάν τα δεδομένα μας είναι διανυσματικά θα πρέπει να μετατραπούν με το κατάλληλο εργαλείο σε ψηφιδωτά.

3.6.1.3 ArcScene

Το ArcScene είναι μια εφαρμογή που χρησιμοποιείται για να προβάλλεται η γεωγραφική πληροφορία σε τρισδιάστατη μορφή, δίνοντας τη δυνατότητα στον χρήστη να πλοηγηθεί και να αλληλεπιδρά με αυτή. Είναι βασισμένη στο λογισμικό OpenGL και υποστηρίζει πολύπλοκες τρισδιάστατες διαγραμματίσεις, καθώς και την δημιουργία επιφανειών αλλά και την οπτικοποίηση τριγωνικών μη-γραμμικών μοντέλων. Υποστηρίζονται και τα διανυσματικά και τα ψηφιδωτά δεδομένα.

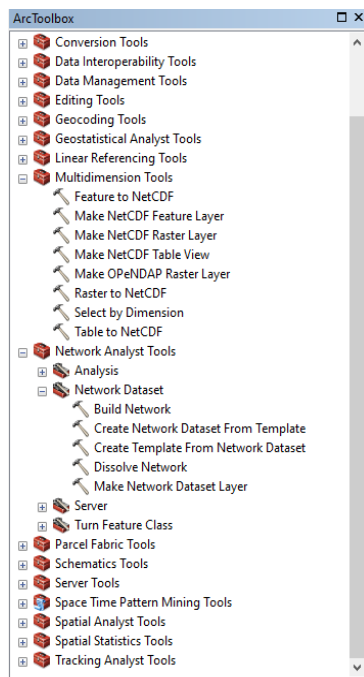
3.6.1.4 ArcCatalog

Οι παραπάνω εφαρμογές που αναφέρθηκαν, περιέχουν ένα παράθυρο ενός καταλόγου. Ο κατάλογος αυτός ονομάζεται ArcCatalog ή The Catalog. Πρόκειται για μια ενσωματωμένη εφαρμογή του ArcGIS με τη μορφή δενδροειδή καταλόγου, που βοηθάει τον χρήστη να διαχειριστεί και να οργανώσει τα δεδομένα και τα έγγραφα που του είναι απαραίτητα για την μελέτη του αλλά παρέχει και πρόσβαση σε όλες τις διεργασίες και τα εργαλεία του ArcGIS μέσα από μια μπάρα αναζήτησης.

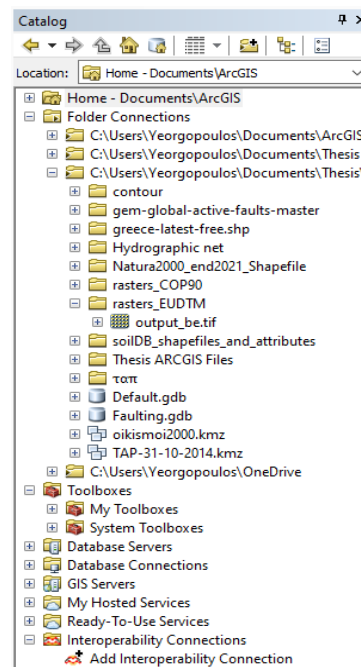
Μέσα από το ArcCatalog ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει τις γεωβάσεις του, δηλαδή τις βάσεις δεδομένων που περιέχουν τις πληροφορίες της μελέτης του, να δημιουργήσει καινούρια αρχεία(π.χ. shapfile) αλλά και να έχει πρόσβαση σε άλλους φακέλους του υπολογιστή του για να αντλήσει τα δεδομένα του.

3.6.1.5 ArcToolbox

Το ArcToolbox είναι μια ακόμη ενσωματωμένη εφαρμογή του ArcGIS, και αποτελεί ουσιαστικά την εργαλειοθήκη του λογισμικού. Μέσα από το ArcToolbox ο χρήστης μπορεί να βρει οποιοδήποτε εργαλείο χρειάζεται ανάλογα με την φύση της εκάστοτε εργασίας του ώστε να την υλοποιήσει. Το ArcToolbox έχει όπως και το ArcCatalog δενδροειδή μορφή.



Εικόνα 3.6.2 ArcToolbox



Εικόνα 3.6.3 ArcCatalog



Κεφάλαιο IV

Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία

4.1 Εισαγωγή

Ο άνθρωπος καθημερινά παίρνει μια σειρά από αποφάσεις προκειμένου να λύσει τα προβλήματα με τα οποία έρχεται αντιμέτωπος, είτε αυτά είναι απλά είτε αυτά είναι περίπλοκα. Είναι προφανές πως δεν υπάρχει μόνο μια απόφαση που μπορεί να παρθεί για να οδηγήσει προς την επίλυση των προβλημάτων, αλλά ένας αριθμός από εναλλακτικές αποφάσεις από τις οποίες θα πρέπει να επιλεγεί η βέλτιστη από αυτές. Η βέλτιστη απόφαση έχει να κάνει με το άτομο που έχει κληθεί να αποφασίσει καθώς θα αποφασίσει με βάσει τις δικές του προτιμήσεις, δηλαδή η βέλτιστη απόφαση είναι μεταβλητή. Αυτό που δεν αλλάζει, είναι τα κριτήρια τα οποία ορίζουν το πρόβλημα. Κάποιες φορές υπάρχει μόνο ένα κριτήριο που θα πρέπει να έχουμε υπόψιν για να πάρουμε μια απόφαση, πολλές φορές όμως βρισκόμαστε αντιμέτωποι με πολυκριτήρια προβλήματα τα οποία είναι αρκετά πιο σύνθετα και επομένως απαιτούν και πιο σύνθετες διαδικασίες στην λήψη μιας απόφασης.

Από την δεκαετία του 70' άρχισε να αναπτύσσεται η πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων (Multicriteria decision making, MCDM ή Multicriteria decision aid, MCDA). Η πολυκριτήρια ανάλυση αποφάσεων είναι ένα εξελιγμένο κομμάτι της επιχειρησιακής έρευνας και αναπτύχθηκε για ακριβώς τον λόγο που αναφέρθηκε νωρίτερα, διότι δεν μπορεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα λήψης απόφασης να πραγματοποιείται από μια μονοδιάστατη ανάλυση. Το κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι η σύνθεση όλων των κριτηρίων για να επιτευχθεί ορθολογική λήψη αποφάσεων κάτω από την ομπρέλα του συστήματος αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζων. Έχει αναπτυχθεί πλήθος μεθοδολογιών και εφαρμογών με γνώμονα την πολυκριτηριακή ανάλυση από τότε, που καλύπτουν μια μεγάλη δεξαμενή προβλημάτων αποφάσεων σε διάφορους τομείς όπως είναι η τεχνολογία, η οικονομία και η διοίκηση.



4.2 Η μέθοδος

Η αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (ΑΗΡ) αποτελεί ένα από τα πιο χρησιμοποιημένα εργαλεία της πολυκριτηριακής ανάλυσης με αξιότιμες εφαρμογές σε διαφορετικά πεδία. Πρόκειται για μια μετρητική θεωρία για προβλήματα που έχουν να κάνουν με ποσοτικοποιήσιμα και μη κριτήρια. Βασίζεται στην αρχή πως στην λήψη μιας απόφασης, η εμπειρία και η γνώση που φέρει ο αποφασίζων είναι όσο χρήσιμη όσο και τα δεδομένα που έχει στη διάθεση του.

Οι εφαρμογές της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασία διεξάγονται σε δύο φάσεις. Στην δόμηση και τον σχεδιασμό μιας ιεραρχίας και στην αξιολόγηση. Ο σχεδιασμός της εκάστοτε ιεραρχίας απαιτεί εμπειρία και γνώση του αντικειμένου που εξετάζεται. Κατά πάσα πιθανότητα δύο άνθρωποι που εξετάζουν ένα πρόβλημα θα σχεδιάσουν δύο διαφορετικές ιεραρχίες για το ίδιο πρόβλημα, επομένως η ιεραρχία δεν είναι απόλυτη, ωστόσο, τα εν δυνάμει αποτελέσματα μπορεί να είναι και διαφορετικά. Αυτό όμως δεν αναιρεί το γεγονός πως ένα σύνολο ανθρώπων μπορούν να δουλέψουν συνεργατικά ώστε να καταλήξουν σε μία κοινά αποδεκτή ιεραρχία.

Η φάση της αξιολόγησης είναι βασισμένη στην ιδέα των συγκρίσεων ανά ζεύγη. Τα στοιχεία σε κάθε επίπεδο της ιεραρχίας συγκρίνονται μεταξύ τους ως προς την σημαντικότητά τους ή την συνεισφορά τους σε κάποιο στοιχείο στο ακριβώς από πάνω επίπεδο. Δημιουργείται έτσι μια σχετική κλίμακα μετρήσεων της βαρύτητας των στοιχείων. Έτσι, η κλίμακα αυτή μετράει την σχετική θέση του κάθε στοιχείου σε σχέση με κάθε άλλο στοιχείο. Οι συγκρίσεις πραγματοποιούνται για τα στοιχεία σε κάθε επίπεδο και σε σχέση με τα στοιχεία του επόμενου επιπέδου της ιεραρχίας.

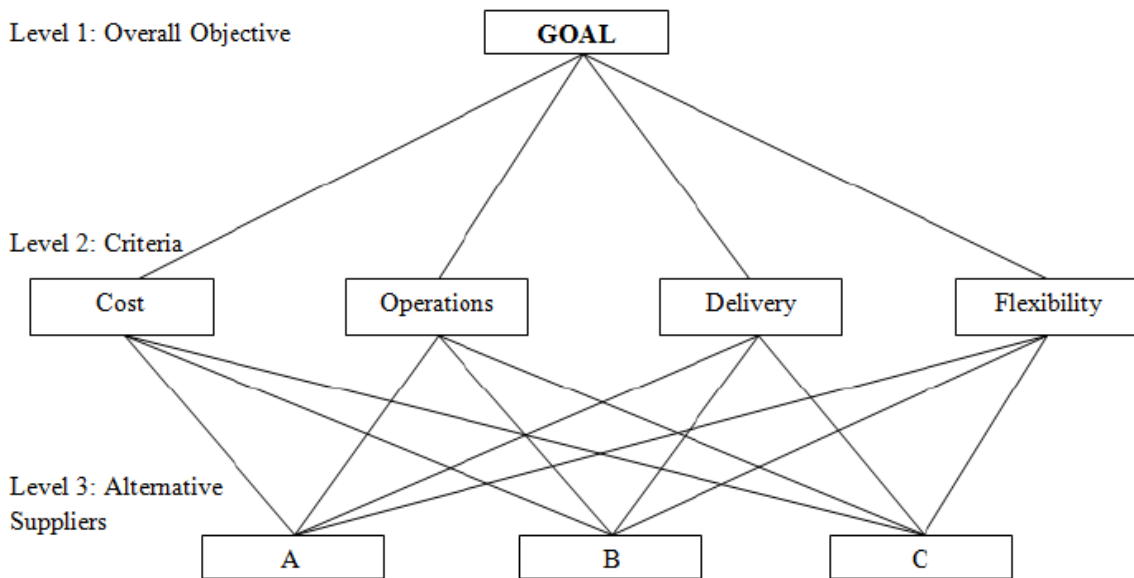
Σύμφωνα με τους Saaty 1980, Adhikari et al. 2006 και Cheng et al. 2007, οι τρεις αρχές της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας αποτελούν την δόμηση μιας ιεραρχίας, καθορισμός προτεραιότητας – σημαντικότητας των κριτηρίων και τον έλεγχο συνεκτικότητας της μελέτης.

4.3 Τα βήματα της AHP

Το πρώτο βήμα της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας είναι να οριστεί το πρόβλημα προς επίλυση, το οποίο στην συνέχεια θα αποδομηθεί ώστε να προκύψουν τα κριτήρια αξιολόγησης δηλαδή οι παράγοντες που επηρεάζουν την επίλυση του προβλήματος.

Το δεύτερο βήμα είναι η κατασκευή της ιεραρχικής δομής. Ο Saaty το 1980 υποστήριξε πως κάθε πρόβλημα αποτελείται από υπό-προβλήματα. Ακολουθώντας το σκεπτικό του, αφού καθορίσουμε το πρόβλημα – στόχο προσδιορίζουμε τα υπό-προβλήματα, δηλαδή τα στοιχεία του που το ορίζουν και τα οποία στοιχεία στη συνέχεια χωρίζονται και αυτά σε άλλα υπό-στοιχεία. Επομένως δημιουργείται μια ιεραρχία την οποία την χωρίζουμε σε διαφορετικά επίπεδα ξεκινώντας πάντα έχοντας στο πρώτο επίπεδο τον στόχο.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα μιας ενδεικτικής ιεραρχίας ενός προβλήματος AHP.



Εικόνα 4.3.1 Δομή μιας ιεραρχίας AHP

(Πηγή: https://www.researchgate.net/publication/264436283_Supplier_Selection_in_Dynamic_Environment_using_Analytic_Hierarchy_Process)



Αναλυτικότερα, στο πρώτο επίπεδο θα βρίσκεται ο στόχος, στο δεύτερο επίπεδο τοποθετούνται τα κριτήρια(υπό – προβλήματα), στα επόμενα επίπεδα μπορούν να τοποθετηθούν υπό-κριτήρια, εάν όμως δεν υπάρχουν τοποθετούνται στο τελευταίο επίπεδο οι εναλλακτικές.

Το τρίτο βήμα στην διεξαγωγή μιας μελέτης χρησιμοποιώντας την ΑΗΡ, είναι να συσταθούν οι πίνακες συγκρίσεων ανά ζεύγη. Οι συγκρίσεις ανά ζεύγη γίνονται με βάση την σχετική κλίμακα που αναφέραμε στην σελίδα 53. Οι κλίμακες αυτές δεν είναι μοναδικές, ωστόσο η πιο διαδεδομένη και αυτή που χρησιμοποιήθηκε όπως θα δείτε αργότερα για τη δική μας μελέτη είναι η 1-9. Μια κλίμακα κατά την οποία συγκρίνουμε το κάθε στοιχείο με κάθε άλλο με έναν αριθμό από το 1 έως το 9 με βάση την σημαντικότητα τους ως προς αυτό. Το τι εκφράζει ο κάθε αριθμός φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Βαθμός Σχετικής Σημαντικότητας	Προσδιορισμός	Επεξήγηση
1	Ισότητα	Συμμετέχουν το ίδιο στην επίτευξη του στόχου
3	Μικρή υπεροχή	Μικρή υπεροχή της x1 ως προς τη x2
5	Ισχυρή υπεροχή	Ισχυρή υπεροχή της x1 ως προς τη x2
7	Πολύ ισχυρή υπεροχή	Πολύ ισχυρή υπεροχή της x1 ως προς τη x2
9	Πάρα πολύ ισχυρή υπεροχή	Πάρα πολύ ισχυρή υπεροχή της x1 ως προς τη x2
2,4,6,8	Ενδιάμεσα των βαθμών 1,3,5,7,9	Ενδιάμεσοι βαθμοί
$\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{7}, \frac{1}{8}, \frac{1}{9}$		Όταν έχουμε υπεροχή της x2 επί της x1

Πίνακας 4.1 Σχετική κλίμακα μετρήσεων βαρύτητας
(Πηγή: <http://eclass.teipir.gr/openeclass/modules/document/file.php/BUSI108/VI.1%20Αναλυτική%20Ιεραρχική%20Διαδικασία.pdf>)



Οι συγκρίσεις των κριτηρίων γίνονται όπως αναφέραμε δυαδικά, δομημένα σε έναν τετραγωνικό πίνακα. Τα στοιχεία της διαγωνίου του πίνακα έχουν τιμή 1, και τα συμμετρικά ως προς την κύρια διαγώνιο του είναι αντίστροφα.

Κριτήρια Επιλογής	C	O	D	F
Κόστος (C)	1	$\frac{1}{3}$	5	1
Λειτουργίες (O)	3	1	4	1
Ντελίβερι (D)	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{4}$
Ευελιξία (F)	1	1	4	1

Πίνακας 4.2 Ενδεικτικός πίνακας συγκρίσεων

(Πηγή: https://www.researchgate.net/publication/264436283_Supplier_Selection_in_Dynamic_Environment_using_Analytic_Hierarchy_Process/figures?lo=1)

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται ενδεικτικά η δομή ενός πίνακα σύγκρισης ακολουθώντας την ιεραρχία της εικόνας 43. Κάθε σύγκριση έχει ως γνώμονα το στοιχείο της κάθε γραμμής σε σχέση με το στοιχείο της στήλης, για παράδειγμα βάσει της παραπάνω εικόνας το στοιχείο C έχει ισχυρή υπεροχή (τιμή 5) ως προς το στοιχείο D.

Στο επόμενο βήμα εφόσον έχουμε συνθέσει τους πίνακες σύγκρισης πραγματοποιείται κανονικοποίηση του πίνακα αυτού και εξάγουμε τα βάρη, το μαθηματικό μοντέλο που ακολουθείται για τον υπολογισμό των αντικειμενικών βαρυτήτων των στοιχείων περιγράφεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Στην συνέχεια ελέγχεται η συνεκτικότητα των αποτελεσμάτων, μια διαδικασία ελέγχου δηλαδή της αρτιότητας της δομής του κάθε συγκριτικού πίνακα που χρειάστηκε για την διεξαγωγή της μελέτης. Θα πρέπει δηλαδή οι τιμές της σχετικής κλίμακας που επιλέχθηκαν με βάση τις προτιμήσεις του αποφασίζων να βγάζουν νόημα για όλα τα στοιχεία. Έχοντας ως δείκτη την εικόνα 45 για παράδειγμα, το στοιχείο O έχει μικρή υπεροχή ως προς το στοιχείο C, και το στοιχείο C ισχυρή υπεροχή ως προς το στοιχείο D. Έτσι, δεν θα μπορούσε το στοιχείο D να έχει ισχυρή υπεροχή ως προς το στοιχείο O, καθώς $O > C > D$. Στο έλεγχο συνεκτικότητας θα πρέπει για να είναι συνεκτικός ένας πίνακας, η τιμή που θα λάβουμε να είναι μικρότερη του 0.1 (< 0.1).

Και τέλος, επιλέγεται η κατάλληλη εναλλακτική.



Κεφάλαιο V

Μελέτη Περίπτωσης : Διερεύνηση σεναρίων για την χάραξη αγωγού στην βόρεια Ελλάδα σε περιβάλλον Γεωπληροφορικής

5.1 Εισαγωγή

Τα ενεργειακά δίκτυα, δηλαδή τα δίκτυα αγωγών και καλωδίων δεν είναι έργα τα οποία μελετώνται και στήνονται ολοκληρωμένα. Αντιθέτως, ένα ενεργειακό δίκτυο αναπτύσσεται στον χρόνο και αποτελείται από πολλούς αγωγούς που συνδέονται μεταξύ τους, εγχώριους ή διακρατικούς και για τους οποίους πραγματοποιούνται μεμονωμένες μελέτες.

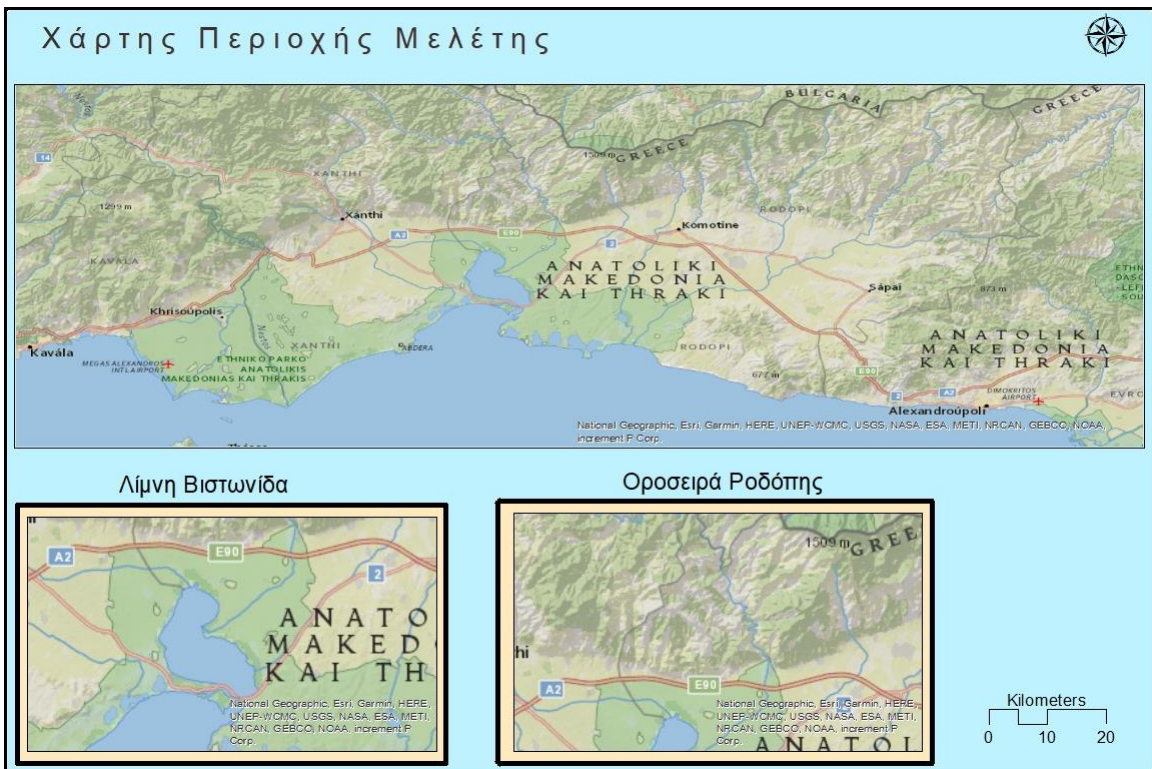
Η τοποθέτηση ενός αγωγού, μέρος ενεργειακού δικτύου, αποτελεί ένα πολύπλοκο έργο από την αρχή μέχρι το τέλος του και περνάει από πολλά στάδια. Τα στάδια αυτά είναι η χάραξη του αγωγού, οι ρυθμιστικές-νομοθετικές διαδικασίες, ο σχεδιασμός του προσαρμοσμένου βάσει της χάραξης, η κατασκευή, η προετοιμασία του πεδίου, η τοποθέτηση των κομματιών του αγωγού στο πεδίο, η διάνοιξη των απαραίτητων τάφρων, η ρύθμιση της απαραίτητης κλίσης του κάθε κομματιού του αγωγού, η συγκόλληση και η επιθεώρηση της συγκόλλησης, η ενίσχυση των αγωγών στα σημεία που πραγματοποιείται η συγκόλληση, η τοποθέτηση του αγωγού στις τάφρους, οι έλεγχοι της πίεσης του αγωγού και τέλος η αποκατάσταση τους εδάφους όσο το δυνατό πιο κοντά στην αρχική του κατάσταση (PHMSA, 2022).

Αυτή η Περίπτωση Μελέτης αφορά το πρώτο στάδιο που αναφέρθηκε παραπάνω δηλαδή την χάραξη του αγωγού. Σε ένα τέτοιο Project, μια ομάδα ειδικών επιλέγει μια προτεινόμενη χάραξη και ζυγίζει τα θετικά και τα αρνητικά της, συστήνει διορθώσεις ή το ενδεχόμενο επανεπιλογής της χάραξης. Σκοπός της Διπλωματικής αυτής είναι να μελετήσει διαφορετικά σενάρια και να προσδιορίσει εναλλακτικές και τέλος να καταλήξει στην επιλογή της βέλτιστης χάραξης.....



5.2 Η περιοχή μελέτης

Ως περιοχή μελέτης τέθηκε η ευρύτερη περιοχή μεταξύ των πόλεων της Ξάνθης και της Κομοτηνής. Κατά τον σχεδιασμό μιας χάραξης, οι δύο σημαντικότεροι παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν είναι η γεωγραφία της περιοχής και το περιβάλλον. Η συγκεκριμένη περιοχή επιλέχθηκε λόγω της ιδιόμορφης μορφολογίας του εδάφους της. Είναι ένα σημείο του χάρτη που έχει αρκετά χαρακτηριστικά που αποτελούν πρόκληση για την κατασκευή ενός αγωγού και επομένως αποτελούν πρόκληση και για την μελέτη αυτή καθαυτή.



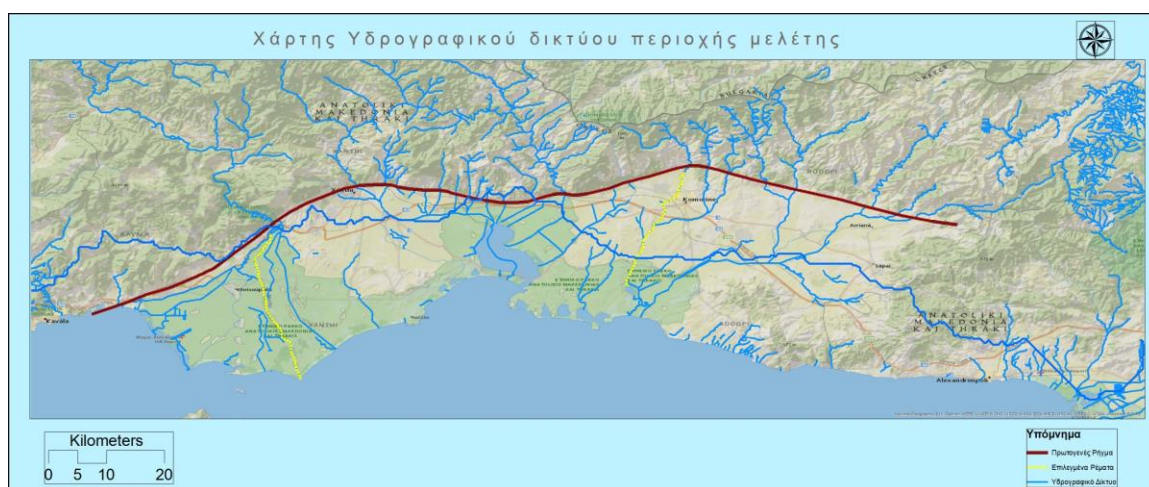
Χάρτης 5.1 Περιοχή Μελέτης

Η μελέτη περίπτωσης στήθηκε με γνώμονα τους γεωλογικούς κινδύνους, στην περιοχή που επιλέχθηκε υπάρχουν γεωκίνδυνοι, αλλά λόγω έλλειψης πόρων έγιναν και κάποιες υποθέσεις για τους σκοπούς της εργασίας. Βόρεια της περιοχής μελέτης υπάρχει η οροσειρά της Ροδόπης, γεγονός που κατευθείαν προσθέτει τον παράγοντα του γεωκίνδυνου λόγω των εναλλαγών των κλίσεων του εδάφους. Οι απότομες κλίσεις των πρανών καθιστούν ευάλωτη την περιοχή για πιθανές κατολισθήσεις κάτι που αμέσως δυσχεραίνει την τοποθέτηση ενός αγωγού στην περιοχή.

Κεντρικά της περιοχής εντοπίζεται η λίμνη της Βιστωνίδας, μια μεγάλη σε μέγεθος λίμνη και για την οποία τέθηκε η πρώτη υπόθεση γεωλογικού κινδύνου. Για τους σκοπούς της εργασίας θεωρήσαμε πως λόγω της λίμνης υπάρχει πιθανότητα ρευστοποίησης του εδάφους στην περιοχή περιμετρικά της λίμνης. Ενδεχομένως να ισχύει αυτή η υπόθεση, ωστόσο δεν βρέθηκε κάποια βιβλιογραφική έρευνα να το επιβεβαιώνει.

Επιπροσθέτως, την περιοχή διανύει ένα μεγάλο ενεργό ρήγμα συνολικού μήκους 123 χιλιομέτρων. Προφανώς και ένα ρήγμα αποτελεί γεωλογικό κίνδυνο και απευθείας μπορεί, σε περίπτωση που ενεργοποιηθεί, να είναι καταστροφικό για τις κατασκευές στην επιφάνεια του εδάφους σε εκείνη την περιοχή. Η δεύτερη υπόθεση που πραγματοποιήθηκε αφορά τα δευτερογενή ρήγματα. Και σε αυτή την περίπτωση, καθώς δεν βρέθηκαν δεδομένα για τη δευτερογενή ζώνη ρηγμάτων αυτού του ρήματος, και επειδή σε μια τέτοια μελέτη τα δευτερογενή ρήγματα μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές εάν ενεργοποιηθούν χρησιμοποιήθηκαν ρέματα κάθετα στο πρωτεύων ρήγμα.

Μελετήσαμε, λοιπόν το υδρογραφικό δίκτυο, και με δεδομένο ότι τα ρέματα είναι αντικείμενο μελέτης ως προς τον σχηματισμό τους από ρήγματα (Yifei Li et al. 2021), επιλέξαμε κάποια ώστε χρησιμοποιηθούν σαν δευτερογενή ρήματα στην μελέτη μας.



Χάρτης 5.2 Υδρογραφικό Δίκτυο & Επιλεγμένα ρέματα ως δευτερογενή ρήματα

Στον Χάρτη 2, βλέπουμε το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής (Μπλε χρώμα) και τα ρέματα που επιλέχθηκαν (Κίτρινο χρώμα) για να χρησιμοποιηθούν ως δευτερογενή στην μελέτη που πραγματοποιήσαμε.

5.3 Συλλογή Δεδομένων

Η μελέτη διεξήχθη χρησιμοποιώντας τα λογισμικά ArcGIS και Microsoft Excel. Όπως έχουμε αναφέρει το ArcGIS είναι ένα περιβάλλον γεωπληροφορικής για το οποίο έπρεπε να συλλέξουμε τα απαραίτητα δεδομένα ώστε να τα επεξεργαστούμε.

Οι παράγοντες που πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας για την μελέτη ήταν πρωτίστως οι γεωλογικοί κίνδυνοι, ωστόσο σε μια τέτοια μελέτη δεν μπορεί να λείπουν και άλλα σημαντικά δεδομένα που την επηρεάζουν, τα οποία είναι μεταβλητά και αλλάζουν από περιοχή σε περιοχή.

Όσον αφορά τους γεωκινδύνους περιγράφοντας την περιοχή μελέτης είδαμε πως είναι οι κλίσεις των πρανών, η περιοχή ρευστοποίησης που εμείς οριοθετήσαμε, και τα ρήγματα. Οι υπόλοιποι παράγοντες που επηρεάζουν την μελέτη μας, και υφίστανται στην περιοχή είναι το οδικό δίκτυο, τα όρια των οικισμών, και οι προστατευόμενες περιοχές Natura. Η πλειοψηφία των δεδομένων συλλέχθηκε από το διαδίκτυο, και άλλα τα παρήγαμε εμείς ολοκληρωτικά ή και από επεξεργασία μερικών που βρέθηκαν στο διαδίκτυο.

5.3.1 Ρήγματα

Για τα ρήγματα, από το διαδίκτυο συλλέξαμε την πληροφορία για το πρωτογενές ρήγμα, και στην συνέχεια όπως περιεγράφηκε με τα διανυσματικά δεδομένα του υδρογραφικού δικτύου, που και αυτά συλλέχθηκαν από το διαδίκτυο σχηματίσαμε το θεματικό επίπεδο των ρηγμάτων. Στον Χάρτη 3 φαίνεται τελικά πως σχηματίστηκαν τα ρήγματα για να χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια.



Χάρτης 5.3 Ρήγματα

5.3.2 Περιοχή Ρευστοποίησης

Η περιοχή ρευστοποίησης είναι ένα από τα δεδομένα που δημιουργήσαμε εμείς με τη βοήθεια των σχεδιαστικών εργαλείων του ArcGIS, δημιουργώντας ένα shapefile με γραμμική διανυσματική πληροφορία(line) και οριοθετώντας την περιοχή γύρω από την λίμνη. Στην συνέχεια με το εργαλείο Line to Polygon μετατρέψαμε την γραμμική μορφή του αρχείου σε πολύγωνο. Στον παρακάτω Χάρτη προβάλλεται το συγκεκριμένο θεματικό επίπεδο.



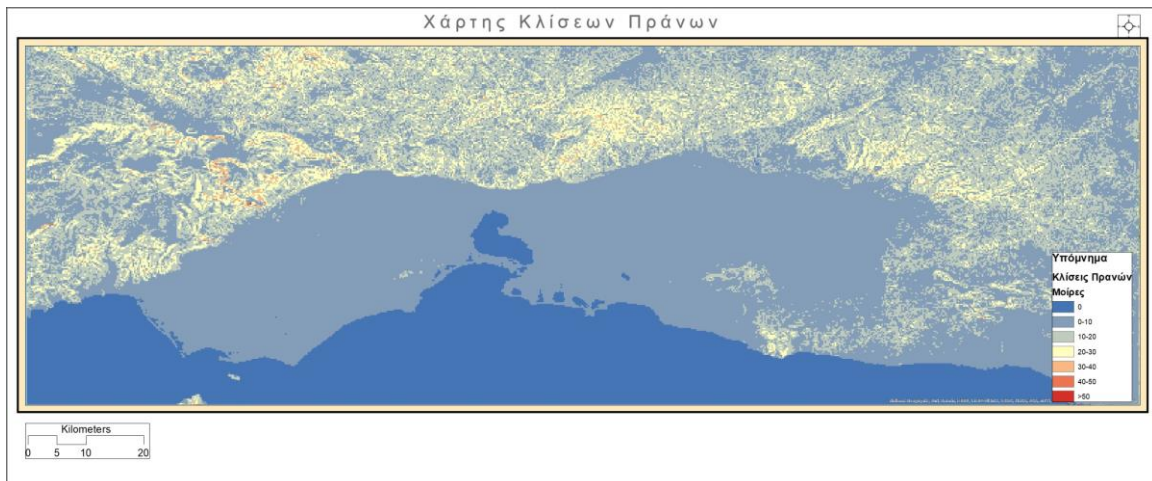
Χάρτης 5.4 Περιοχή Ρευστοποίησης

5.3.3 Κλίσεις Πρανών

Για τις κλίσεις των πρανών, προμηθευτήκαμε από το opentopoography.org ένα μοντέλο ψηφιακής ανύψωσης(DEM). Τα DEM είναι ψηφιδωτά δεδομένα, συνήθως σε μορφή αρχείου GeoTiff, και τα οποία περιέχουν όλη την υψομετρική πληροφορία του εδάφους που απεικονίζουν. Κάθε εικονοστοιχείο σε αυτό το raster περιέχει το υψόμετρο του σημείου που αντικατοπτρίζει. Έχοντας λοιπόν στην διάθεση μας αυτό, χρησιμοποιήσαμε το εργαλείο Slope της εργαλειοθήκης ArcToolbox και πήραμε ένα Raster αρχείο με τις κλίσεις των πρανών τις οποίες στην συνέχεια ταξινομήσαμε σε ομάδες. Στον χάρτη 5 και 6 θα δείτε τα θεματικά επίπεδα των DEM προ επεξεργασίας και των κλίσεων του εδάφους.



Χάρτης 5.6 Ψηφιακό Μοντέλο Ανύψωσης



Χάρτης 5.7 Κλίσεις Εδάφους σε μοίρες

5.3.4 Προστατευόμενες Περιοχές Natura

Τις Προστατευόμενες περιοχές τις λάβαμε από το geodata.gov.gr σε μορφή shapefile, και ήταν οριοθετημένες σε πολύγωνα. Το μόνο που χρειάστηκε να κάνουμε είναι να χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο Clip του ArcGIS ώστε να λάβουμε μόνο την πληροφορία που αφορά την περιοχή μελέτης μας για να διευκολύνουμε τον όγκο των δεδομένων προς επεξεργασία. Στον χάρτη 7 προβάλλονται οι περιοχές Natura στην περιοχή μελέτης μας, δεν έχουν ταξινομηθεί ανά είδος διότι θεωρήθηκε πως έχουν όλες την ίδια βαρύτητα για την μελέτη μας.



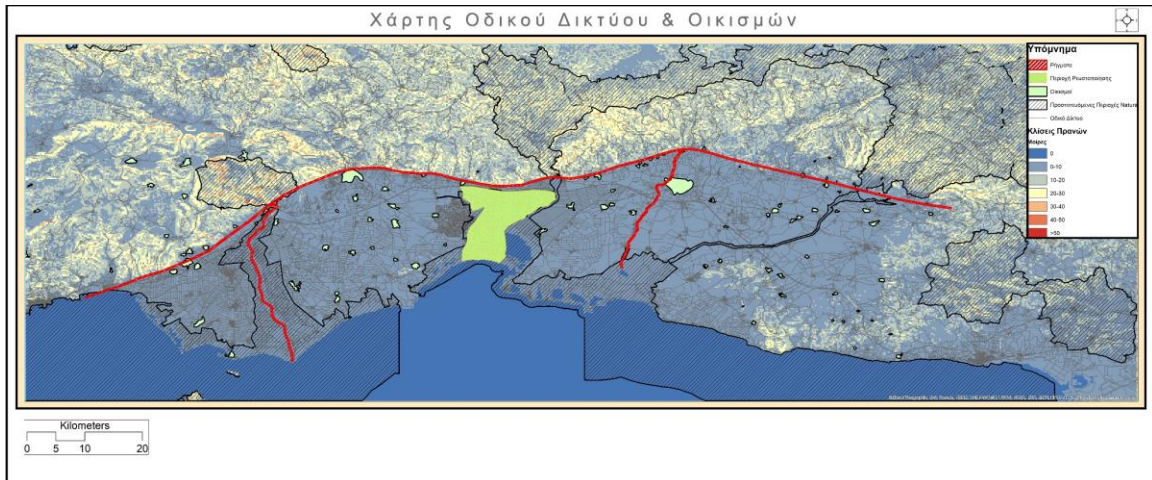
Χάρτης 5.8 Προστατευόμενες Περιοχές Natura

5.3.5 Οδικό Δίκτυο & Οικισμοί

Τα ψηφιακά δεδομένα του οδικού δικτύου και των οικισμών λήφθηκαν και τα δύο σε μορφή shapefile από την www.geofabrik.de. Ωστόσο από το αρχείο των οικισμών έλειπαν πληροφορίες για τα περιγράμματα των πόλεων της Ξάνθης και της Κομοτηνής. Λόγω έλλειψης της πληροφορίας αυτής γενικότερα από το διαδίκτυο, κατασκευάστηκαν από εμάς, χρησιμοποιώντας την ίδια μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και για την περιοχή της ρευστοποίησης οριοθετήθηκαν οι δύο πόλεις βάσει του περιγράμματος που υποδεικνύεται και στο υπόβαθρο που χρησιμοποιείται στους χάρτες μας. Το οδικό δίκτυο είχε όλη την απαραίτητη πληροφορία που χρειαζόμασταν. Στον Χάρτη 8 αποτυπώνονται τα θεματικά επίπεδα των οικισμών και του οδικού δικτύου, και στον Χάρτη 9 τα θεματικά επίπεδα από όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν.



Χάρτης 5.9 Οδικό δίκτυο & Οικισμοί



Χάρτης 5.10 Θεματικά Επίπεδα Δεδομένων

5.4 Εφαρμογή της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας

Αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο πως για τη μελέτη χρησιμοποιήσαμε την αναλυτική ιεραρχική διαδικασία. Η προσέγγιση που ακολουθήσαμε ωστόσο στην πράξη αφορά μόνο το πρώτο στάδιο της ΑΗΡ, δηλαδή το στάδιο που αναγνωρίζουμε τον προς επίτευξη στόχο, ορίζουμε τα κριτήρια που τον επηρεάζουν και υπολογίζουμε τις βαρύτητες των κριτηρίων αυτών. Κάνοντας μόνο αυτό το κομμάτι τις διαδικασίες υπολογίζουμε τις βαρύτητες των κριτηρίων σε 5 διαφορετικά σενάρια έτσι ώστε να μπορούμε στη συνέχεια έχοντας αυτές να τις χρησιμοποιήσουμε στο λογισμικό του ArcGIS ώστε να προσδιορίσουμε τις χαράξεις του αγωγού σε κάθε περίπτωση. Εφαρμόζουμε δηλαδή πέντε φορές την αναλυτική διαδικασία ώστε να καταλήξουμε σε μια χάραξη την κάθε φορά, χωρίς τον παράγοντα των εναλλακτικών επιλογών. Τα αποτελέσματα αυτά θα μπορούσαν να τεθούν ως οι εναλλακτικές και να επιλεγεί από αυτές μια ως βέλτιστη εναλλακτική, ωστόσο, αυτό δεν αφορά την παρούσα μελέτη.

Πρόκειται δηλαδή για μια εναλλακτική χρήση του μοντέλου της ΑΗΡ (Jianhua Wan et al.). Ως «στόχος» στην προκειμένη περίπτωση θεωρήσαμε την χάραξη του αγωγού. Τα κριτήρια μας ή αλλιώς τα στοιχεία της ιεραρχίας μας, δηλαδή τα στοιχεία για τα οποία θέλουμε να υπολογίσουμε την βαρύτητα τους στην εξίσωση της χάραξης ενός αγωγού, είναι τα δεδομένα για τα οποία μιλήσαμε στο κεφάλαιο 5.3. Αυτά είναι τα ρήγματα της περιοχής, η περιοχή ρευστοποίησης, οι κλίσεις των πρανών, το οδικό δίκτυο, οι οικισμοί και οι περιοχές Natura που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης.

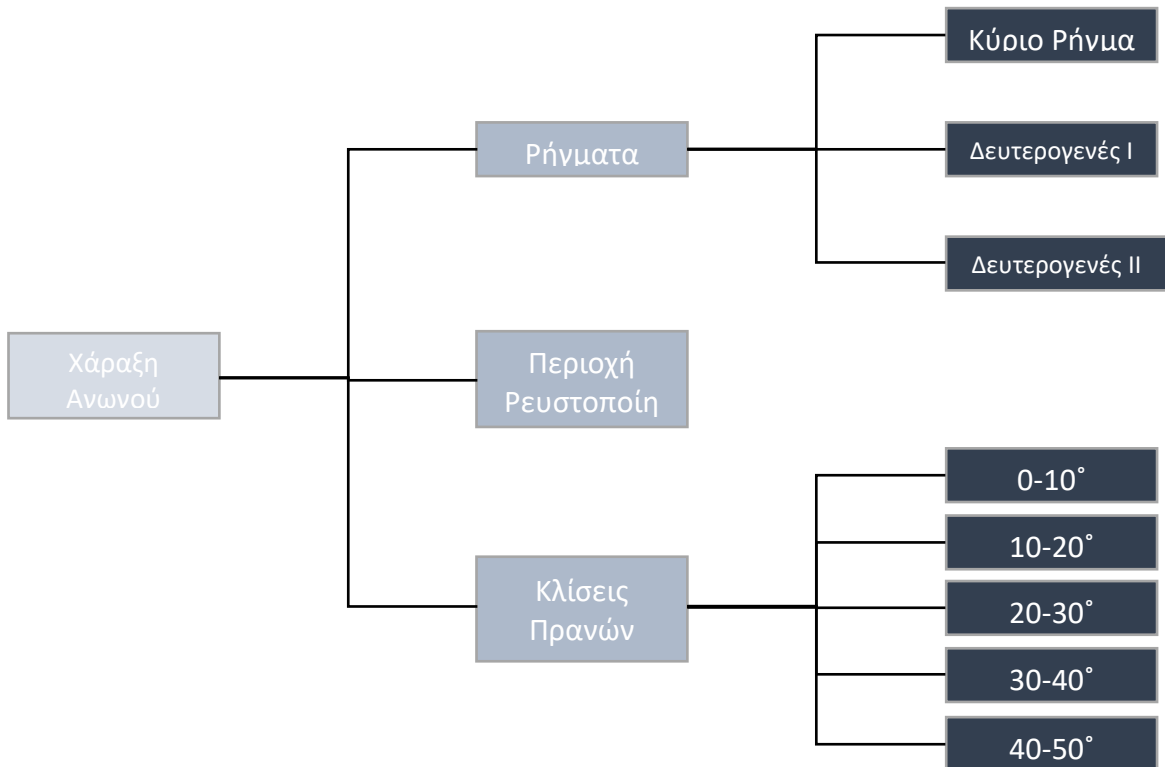


Για να γίνει κατανοητό, σκοπός είναι ο αγωγός να πάει από ένα σημείο έναρξης Α, σε ένα σημείο τερματισμού Β, και τα κριτήρια που αναφέραμε είναι οντότητες που θέλουμε όσο το δυνατόν να αποφευχθούν ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος ζημίας για τον αγωγό, αλλά και για να μην χρειαστεί να γίνουν σημαντικές αλλαγές στο περιβάλλον κατά την τοποθέτηση του.

5.4.1 Σενάρια

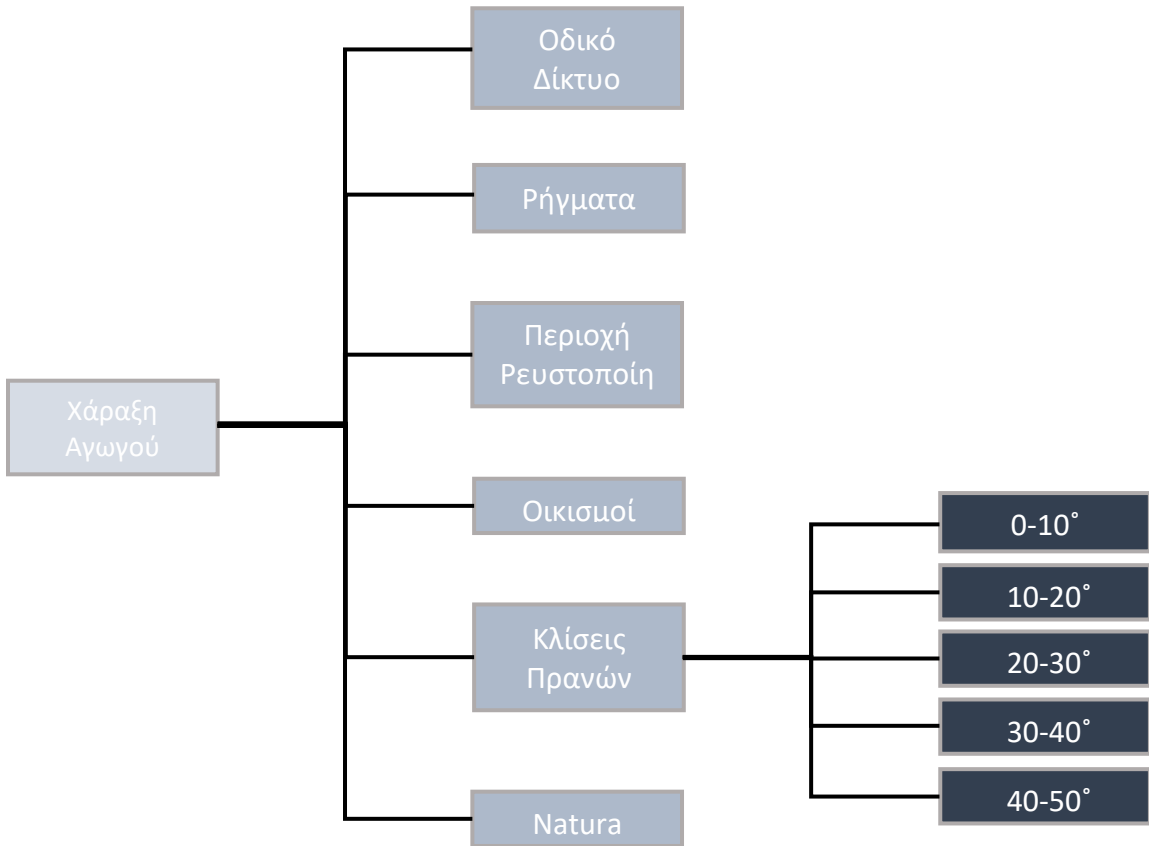
Συνολικά η προσέγγιση που ακολουθήσαμε αφορά 5 σενάρια χάραξης. Τα τέσσερα από αυτά αφορούν αποκλειστικά τους γεωκινδύνους που υπάρχουν στην περιοχή. Μελετήσαμε τρεις ακραίες περιπτώσεις εναλλάσσοντας τις βαρύτητες των γεωκινδύνων και μία ενδιάμεση περίπτωση κατά την οποία οι βαρύτητες αυτές εξισώθηκαν. Το πέμπτο σενάριο αφορά μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση που θεωρήσαμε πως ακολουθεί τα δεδομένα μιας πραγματικής μελέτης εκτός ερευνητικού υποβάθρου, και ενσωματώνει και τα έξι κριτήρια. Σκοπός των σεναρίων αυτών είναι να δούμε και να αξιολογήσουμε τις χαράξεις που προκύπτουν από τις διεργασίες στο περιβάλλον γεωπληροφορικής

Τα πρώτα τέσσερα σενάρια δομήθηκαν ιεραρχικά ως εξής:



Διάγραμμα 1 Δομή ιεραρχίας σεναρίων 1-4

Η Ιεραρχία του πέμπτου σεναρίου ήταν η εξής:



Διάγραμμα 2 Ιεραρχία σεναρίου 5

5.4.2 Υπολογισμός Βαρυτήτων Σεναρίων 1-4

5.4.2.1 Βαρύτητες 2^{ου} επιπέδου

Αφού δημιουργήσαμε τις ιεραρχίες που αντιπροσωπεύουν κάθε σενάριο, επόμενο βήμα είναι να κάνουμε τις μετρήσεις στη σχετική κλίμακα με βάσει τις οποίες θα χρησιμοποιήσουμε αργότερα στο μαθηματικό μοντέλο προκειμένου να προκύψουν οι βαρύτητες ή οι «προτιμήσεις» ώστε να προσδιορίσουμε τις χαράξεις για το κάθε σενάριο. Όπως αναφέραμε οι μετρήσεις αυτές γίνονται με βάση την σημαντικότητα του κάθε στοιχείου ως προς κάθε άλλο, και η κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε είναι η 1-9 όπως φαίνεται και στην Εικόνα 44.

Τα τρία πρώτα σενάρια αφορούν ακραίες περιπτώσεις στις οποίες θέλουμε κάθε φορά να κάνουμε τις χαράξεις δίνοντας τη μέγιστη βαρύτητα σε ένα γεωκίνδυνο ως προς τους άλλους δύο. **Στο πρώτο σενάριο θα δώσουμε τη μέγιστη βαρύτητα στα Ρήγματα, στο Δεύτερο σενάριο στη περιοχή ρευστοποίησης και στο τρίτο σενάριο στις κλίσεις των πρανών.** Οι μετρήσεις στη σχετική κλίμακα γίνονται μέσα από τους πίνακες σύγκρισης



και δυαδικά (βλ. 4.3). Οι πίνακες των τριών πρώτων σεναρίων φαίνονται στην επόμενη σελίδα.

Πίνακας Σύγκρισης Σενάριο 1 ^ο	Ρήγμα	Περιοχή Ρευστοποίησης	Κλίσεις Πρανών
Ρήγματα	1	9	9
Περιοχή Ρευστοποίησης	0.111	1	1
Κλίσεις Πρανών	0.111	1	1

Πίνακας 5.1 Συγκρίσεις 1ου Σεναρίου

Πίνακας Σύγκρισης Σενάριο 2 ^ο	Ρήγμα	Περιοχή Ρευστοποίησης	Κλίσεις Πρανών
Ρήγματα	1	0.111	1
Περιοχή Ρευστοποίησης	9	1	9
Κλίσεις Πρανών	1	0.111	1

Πίνακας 5.2 Συγκρίσεις 2ου Σεναρίου

Πίνακας Σύγκρισης Σενάριο 3 ^ο	Ρήγμα	Περιοχή Ρευστοποίησης	Κλίσεις Πρανών
Ρήγματα	1	1	0.111
Περιοχή Ρευστοποίησης	1	1	0.111
Κλίσεις Πρανών	9	9	1

Πίνακας 5.3 Συγκρίσεις 3ου Σεναρίου

Πίνακας Σύγκρισης Σενάριο 4 ^ο	Ρήγμα	Περιοχή Ρευστοποίησης	Κλίσεις Πρανών
Ρήγματα	1	1	1
Περιοχή Ρευστοποίησης	1	1	1
Κλίσεις Πρανών	1	1	1

Πίνακας 5.4 Συγκρίσεις 4ου Σεναρίου



Όπως εξηγήσαμε και 4.3, στους πίνακες σύγκρισης οι τιμές στα κελιά δηλώνουν την τιμή που δίνουμε στο στοιχείο της γραμμής, ως προς το στοιχείο της στήλης. Στον πίνακα του πρώτου σεναρίου, στο οποίο θέλουμε τα ρήγματα να λάβουν τη μεγαλύτερη βαρύτητα, δηλώνουμε πως τα ρήγματα έχουν πάρα πολύ ισχυρή υπεροχή ως προς τα άλλα δύο στοιχεία.

Ο πίνακας σύγκρισης του τέταρτου σεναρίου που είναι και το ενδιαμέσο και θέλουμε εξισωμένες τις βαρύτητες των στοιχείων, είναι μοναδιαίος και είναι ο παρακάτω:

Έχοντας λοιπόν στα χέρια μας του τετραγωνικούς πίνακες συγκρίσεων, θέλουμε να προσδιορίσουμε τις βαρύτητες που αντιστοιχούν στο κάθε κριτήριο. Οι υπολογισμοί έγιναν στο περιβάλλον του Microsoft Excel.

Πρώτα γίνεται κανονικοποίηση των τετραγωνικών πινάκων. Για να επιτευχθεί αυτό, αρχικά, σε κάθε πίνακα χρησιμοποιήσαμε την συνάρτηση sum() του excel ώστε να υπολογίσουμε το άθροισμα της κάθε στήλης. Στην συνέχεια διαιρέσαμε το κάθε κελί του τετραγωνικού πίνακα με το άθροισμα της στήλης στην οποία ανήκει και το αποτέλεσμα τοποθετείται στο αντίστοιχο κελί στον κανονικοποιημένο πίνακα. Για να επαληθεύσουμε την διαδικασία αυτή ξανά χρησιμοποιήσαμε την συνάρτηση sum() στις στήλες των καινούριων πινάκων και αν τα αποτελέσματα ήταν ίσα με την μονάδα επομένως είναι και σωστά.

Οι κανονικοποιημένοι πίνακες των τεσσάρων πρώτων σεναρίων φαίνονται παρακάτω:

Κανονικοποιημένος Πίνακας Σενάριο 2 ^ο	Ρήγμ α	Περιοχή Ρευστοποίησης	Κλίσεις Πρανών	Άθροισμ α
Ρήγματα	0.091	0.091	0.091	0.273
Περιοχή Ρευστοποίησης	0.818	0.818	0.818	2.455
Κλίσεις Πρανών	0.091	0.091	0.091	0.273
Άθροισμα	1.000	1.000	1.000	

Πίνακας 5.5 Κανονικοποιημένος Πίνακας 1^ο Σεναρίου

Κανονικοποιημένος Πίνακας Σενάριο 1 ^ο	Ρήγμ α	Περιοχή Ρευστοποίησης	Κλίσεις Πρανών	Άθροισμ α
Ρήγματα	0.818	0.818	0.818	2.455
Περιοχή Ρευστοποίησης	0.091	0.091	0.091	0.273
Κλίσεις Πρανών	0.091	0.091	0.091	0.273
Άθροισμα	1.000	1.000	1.000	

Πίνακας 5.6 Κανονικοποιημένος Πίνακας 2^ο Σεναρίου



Κανονικοποιημένος Πίνακας Σενάριο 3 ^ο	Ρήγμα α	Περιοχή Ρευστοποίησης	Κλίσεις Πρανών	Άθροισμα α
Ρήγματα	0.091	0.091	0.091	0.273
Περιοχή Ρευστοποίησης	0.091	0.091	0.091	0.273
Κλίσεις Πρανών	0.818	0.818	0.818	2.455
Άθροισμα	1.000	1.000	1.000	

Πίνακας 5.7 Κανονικοποιημένος Πίνακας 3^ο Σεναρίου

Κανονικοποιημένος Πίνακας Σενάριο 4 ^ο	Ρήγμα α	Περιοχή Ρευστοποίησης	Κλίσεις Πρανών	Άθροισμα α
Ρήγματα	0.333	0.333	0.333	1.000
Περιοχή Ρευστοποίησης	0.333	0.333	0.333	1.000
Κλίσεις Πρανών	0.333	0.333	0.333	1.000
Άθροισμα	1.000	1.000	1.000	

Πίνακας 5.8 Κανονικοποιημένος Πίνακας 4^ο Σεναρίου

Ταυτόχρονα υπολογίσαμε το άθροισμα των γραμμών των κανονικοποιημένων πινάκων ώστε να προσδιορίσουμε τις βαρύτητες των στοιχείων. Ο μέσος όρος της κάθε γραμμής του κανονικοποιημένου πίνακα ορίζει και την βαρύτητα του στοιχείου της γραμμής αυτής. Επομένως χρησιμοποιώντας την συνάρτηση Average() του Excel και έχοντας το άθροισμα της κάθε γραμμής προσδιορίσαμε την βαρύτητα του κάθε στοιχείου. Διαιρέσαμε δηλαδή το άθροισμα με τον αριθμό των στοιχείων(3). Οι Βαρύτητες που υπολογίστηκαν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

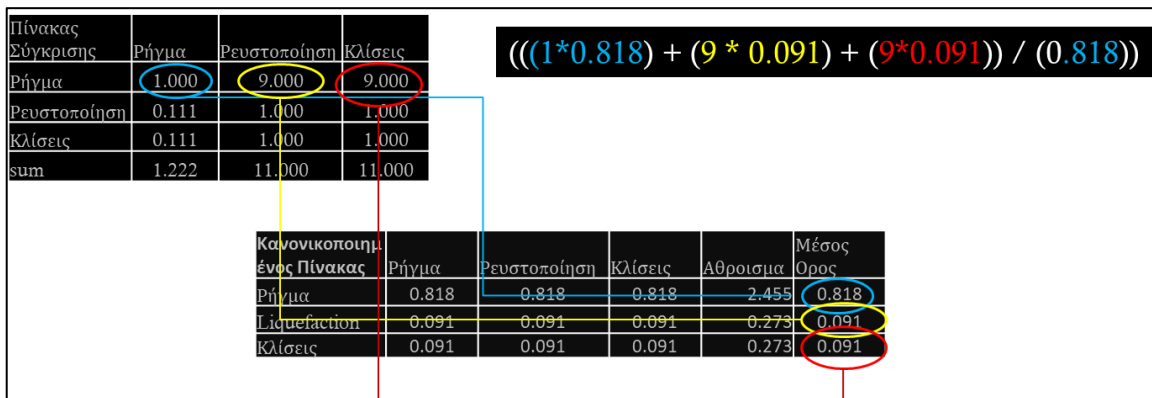
Βαρύτητες	Ρήγματα	Περιοχή Ρευστοποίησης	Κλίσεις Πρανών
Σενάριο 1 ^ο	81.8%	9.2%	9.2%
Σενάριο 2 ^ο	9.2%	81.8%	9.2%
Σενάριο 3 ^ο	9.2%	9.2%	81.8%
Σενάριο 4 ^ο	33.3%	33.3%	33.3%

Πίνακας 5.9 Υπολογισμένες Βαρύτητες Στοιχείων



Στην συνέχεια για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε αυτές τις βαρύτητες, θα πρέπει να επιβεβαιώσουμε ότι οι πίνακες μας ήταν συνεκτικοί(βλ. 4.3).

Για την επαλήθευση αυτή θα πρέπει να πολλαπλασιάσουμε την κάθε γραμμή των πινάκων σύγκρισης με την στήλη των μέσων όρων δηλαδή με τη στήλη των βαρυτήτων και στη συνέχεια να διαιρέσουμε το αποτέλεσμα με τη βαρύτητα του στοιχείου της κάθε γραμμής. Επειδή πρόκειται για πολλαπλασιασμό πινάκων την διεργασία αυτή την εκτελέσαμε με τη βοήθεια της συνάρτησης MMULT() του Excel.



Εικόνα 5.11 Υπολογισμός τιμών μέτρησης συνοχής

Επαναλαμβάνουμε αυτή τη διαδικασία για κάθε γραμμή, και έτσι υπολογίζουμε τις τιμές μέτρησης συνοχής των πινάκων σύγκρισης, ο μέσος όρος των οποίων μας δίνει την τιμή λmax.

Έπειτα υπολογίζουμε τον δείκτη συνοχής (CI) όπου προκύπτει από την εξίσωση:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Όπου λmax, ο μέσος όρος των τιμών μέτρησης συνοχής και n ο αριθμός των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στην αναλυτική διαδικασία(εδώ 3).

Αφού υπολογίσαμε τον δείκτη συνοχής, διαιρώντας τον με τον τυχαίο δείκτη(RI) προκύπτει ο λόγος συνοχής(Consistency Ratio):

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Όπου και θέλουμε να έχει τιμή <0.1 ώστε να θεωρείται ο πίνακας μας συνεκτικός.



Η τιμή του τυχαίου δείκτη είναι προκαθορισμένη με βάση τον αριθμό των στοιχείων είχε η αναλυτική διαδικασία και την παίρνουμε από τον παρακάτω πίνακα

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.46	1.49

Πίνακας 5.10 Τυχαίοι δείκτες

Σε περίπτωση απόλυτης συνεκτικότητας, οι τιμές μέτρησης συνοχής θα είναι ίσες με το n με αποτέλεσμα ο δείκτης συνοχής να είναι 0 και συνεπώς και ο λόγος συνοχής. Στα τέσσερα αυτά σενάρια επειδή τα κριτήρια ήταν τρία, και οι μετρήσεις με τη σχετική κλίμακα δεν ήταν περίπλοκες πετύχαμε αυτό ακριβώς το αποτέλεσμα, που είναι και αποδεκτό. Παρακάτω φαίνονται ολοκληρωμένοι οι πίνακες των τεσσάρων σεναρίων έτσι όπως επεξεργάστηκαν στο περιβάλλον του Excel.

Normalized	Ρήγμα	Ρευστοποίηση	Κλίσεις	SUM	M.O	Μέτρηση Συνοχής
Ρήγμα	0.818	0.818	0.818	2.455	0.818	3.000
Ρευστοποίηση	0.091	0.091	0.091	0.273	0.091	3.000
Κλίσεις	0.091	0.091	0.091	0.273	0.091	3.000
sum	1.000	1.000	1.000		λmax	3.000
				C.I	0.000	
				C.R	0.000	

Πίνακας 5.11 Συνεκτικότητα Πρώτου Σεναρίου

Normalized	Ρήγμα	Ρευστοποίηση	Κλίσεις	SUM	M.O	Μέτρηση Συνοχής
Ρήγμα	0.091	0.091	0.091	0.273	0.091	3.000
Ρευστοποίηση	0.818	0.818	0.818	2.455	0.818	3.000
Κλίσεις	0.091	0.091	0.091	0.273	0.091	3.000
sum	1.000	1.000	1.000		λmax	3.000
				C.I	0.000	
				C.R	0.000	

Πίνακας 5.12 Συνεκτικότητα Δεύτερου Σεναρίου



Normalized	Ρήγμα	Ρευστοποίηση	Κλίσεις	SUM	M.O	Μέτρηση Συνοχής
Ρήγμα	0.091	0.091	0.091	0.273	0.091	3.000
Ρευστοποίηση	0.091	0.091	0.091	0.273	0.091	3.000
Κλίσεις	0.818	0.818	0.818	2.455	0.818	3.000
sum	1.000	1.000	1.000		λmax	3.000
				C.I	0.000	
				C.R	0.000	

Πίνακας 5.13 Συνεκτικότητα Τρίτου Σεναρίου

Normalized	Ρήγμα	Ρευστοποίηση	Κλίσεις	SUM	M.O	Μέτρηση Συνοχής
Ρήγμα	0.333	0.333	0.333	1.000	0.333	3.000
Ρευστοποίηση	0.333	0.333	0.333	1.000	0.333	3.000
Κλίσεις	0.333	0.333	0.333	1.000	0.333	3.000
sum	1.000	1.000	1.000		λmax	3.000
				C.I	0.000	
				C.R	0.000	

Πίνακας 5.14 Συνεκτικότητα Τέταρτου Σεναρίου

5.4.2.2 Βαρύτητες 3^{ου} Επιπέδου

Στο τρίτο επίπεδο τα κριτήρια που υπάρχουν είναι τα τρία διαφορετικά ρήγματα, και οι πέντε διαφορετικές κατηγορίες κλίσεων του εδάφους. Σε αυτό το επίπεδο οι βαρύτητες υπολογίζονται με ακριβώς τον ίδιο τρόπο, με τη μόνη διαφορά πως οι υπολογισμοί γίνονται με γνώμονα τις βαρύτητες του 2^{ου} επιπέδου, επομένως στο τέλος θα πρέπει να γίνει αναγωγή των τιμών που θα λάβουμε έτσι ώστε να πάρουμε τα αποτελέσματα που θα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να φτιάξουμε τις χαράξεις.

Για το κριτήριο των ρηγμάτων στις μετρήσεις της σχετικής κλίμακας, ακολουθήσαμε το σκεπτικό των ακραίων σεναρίων και ορίσαμε τρεις μετρήσεις, στις οποίες δίνουμε πολύ ισχυρή υπεροχή σε κάθε ένα ρήγμα ως προς τα άλλα δύο εναλλακτικά.



Όσον αφορά το κριτήριο των κλίσεων, μελετήσαμε μία περίπτωση κατά την οποία θεωρούμε πως οι κατηγορίες 10-20°, 20-30°, 30-40°, 40-50° έχουν πάρα πολύ ισχυρή υπεροχή ως προς την κατηγορία 0-10°. Αυτό έγινε διότι θέλαμε να δούμε πως θα κινηθεί ο αλγόριθμος χάραξης για να αποφύγει τις κλίσεις μεγαλύτερες των 10°.

Παρακάτω φαίνονται οι πίνακες σύγκρισης και οι κανονικοποιημένοι πίνακες, με τις υπολογισμένες βαρύτητες όπως προέκυψαν ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με τις προηγούμενες σελίδες.

Ρήγμα	Κύριο	Δευτερεύον Ι	Δευτερεύον ΙΙ
Κύριο	1	9	9
Δευτερεύον 1	0.111	1	1
Δευτερεύον 2	0.111	1	1
sum	1.222	11	11

Πίνακας(Σύγκρισης) 5.15 Ισχυρή υπεροχή πρωτεύοντος ρήγματος

Ρήγμα	Κύριο	Δευτερεύον Ι	Δευτερεύον ΙΙ
Κύριο	1	0.111	1
Δευτερεύον Ι	9	1	9
Δευτερεύον ΙΙ	1	0.111	1
sum	11	1.222	11

Πίνακας(Σύγκρισης) 5.16 Ισχυρή υπεροχή Δευτερέοντος Ι

Ρήγμα	Κύριο	Δευτερεύον ΙΙ	Δευτερεύον ΙΙ
Κύριο	1	1	0.111
Δευτερεύον Ι	1	1	0.111
Δευτερεύον ΙΙ	9	9	1
sum	11	11	1.222

Πίνακας(Σύγκρισης) 5.17 Ισχυρή υπεροχή Δευτερέοντος ΙΙ



Normalized	Κύριο	Δευτερεύο ν I	Δευτερεύο ν II	Άθροισμα	M.O	Τιμές Μέτρησης Συνοχής
Κύριο	0.818	0.818	0.818	2.455	0.818	3.000
Δευτερεύο ν I	0.091	0.091	0.091	0.273	0.091	3.000
Δευτερεύο ν II	0.091	0.091	0.091	0.273	0.091	3.000
Άθροισμα	1.000	1.000	1.000		λmax	3.000
				C.I	0.000	
				C.R	0.000	

Πίνακας(Κανονικοποιημένος)5.18 Βαρύτητες Και Συνεκτικότητα 1^{ης} Περίπτωσης

Normalized	Κύριο	Δευτερεύο ν I	Δευτερεύο ν II	Άθροισμα	M.O	Τιμές Μέτρησης Συνοχής
Κύριο	0.091	0.091	0.091	0.273	0.091	3.000
Δευτερεύο ν I	0.818	0.818	0.818	2.455	0.818	3.000
Δευτερεύο ν II	0.091	0.091	0.091	0.273	0.091	3.000
Άθροισμα	1.000	1.000	1.000		λmax	3.000
				C.I	0.000	
				C.R	0.000	

Πίνακας(Κανονικοποιημένος)5.19 Βαρύτητες Και Συνεκτικότητα 2^{ης} Περίπτωσης

Normalized	Κύριο	Δευτερεύο ν I	Δευτερεύο ν II	Άθροισμα	M.O	Τιμές Μέτρησης Συνοχής
Κύριο	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	3.000
Δευτερεύο ν I	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	3.000
Δευτερεύο ν II	0.818	0.818	0.818	0.818	0.818	3.000
Άθροισμα	1.000	1.000	1.000		λmax	3.000
				C.I	0.000	
				C.R	0.000	

Πίνακας(Κανονικοποιημένος)5.20 Βαρύτητες Και Συνεκτικότητα 3^{ης} Περίπτωσης



Βαρύτητες	Κύριο	Δευτερεύον Ι	Δευτερεύον ΙΙ
Περίπτωση 1 ^ο	81.8%	9.2%	9.2%
Περίπτωση 2 ^ο	9.2%	81.8%	9.2%
Περίπτωση 3 ^ο	9.2%	9.2%	81.8%

Πίνακας 5.21 Βαρύτητες Ρηγμάτων

Κλίσεις	0-10 °	10-20 °	20-30 °	30-40 °	40-50 °
0-10 °	1	0.11	0.11	0.11	0.11
10-20 °	9	1	1.00	1.00	1.00
20-30 °	9	1	1	1.00	1.00
30-40 °	9	1	1	1	1.00
40-50 °	9	1	1	1	1
sum	37	4.111111111	4.111111111	4.111111111	4.111111111

Πίνακας 5.22 Συγκρίσεις Κλίσεων

Normalized	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	SUM	AVERAGE	CONMEAS
0-10	0.027027	0.03	0.03	0.03	0.03	0.135135	0.0270	5
10-20	0.243243	0.24	0.24	0.24	0.24	1.216216	0.2432	5
20-30	0.243243	0.24	0.24	0.24	0.24	1.216216	0.2432	5
30-40	0.243243	0.24	0.24	0.24	0.24	1.216216	0.2432	5
40-50	0.243243	0.24	0.24	0.24	0.24	1.216216	0.2432	5
sum	1	1	1	1	1		λmax	5.000
						C.I	0.000	
						C.R	0.000	

Πίνακας 5.23 Υπολογισμοί Βαρυτήτων και Έλεγχος Συνεκτικότητας

Κατηγορίες	0-10 °	10-20 °	20-30 °	30-40 °	40-50 °
Βαρύτητες	2.72%	24.32%	24.32%	24.32%	24.32%

Πίνακας 5.24 Βαρύτητες Κατηγοριών Κλίσεων



Επόμενο βήμα σε αυτή τη διαδικασία, το οποίο διαφέρει από τον υπολογισμό των βαρυτήτων του 2^{ου} επιπέδου, είναι αυτό της αναγωγής των βαρυτήτων. Αυτό πρέπει να γίνει διότι υπολογίσαμε τα βάρη των κριτηρίων του 3^{ου} επιπέδου, με γνώμονα την επιρροή του στοιχείου που τα εκφράζει από το ακριβώς προηγούμενο επίπεδο. Δηλαδή, στο 1^ο σενάριο, το κριτήριο των ρηγμάτων έχει λάβει βαρύτητα περίπου 80%, και αυτό το ποσοστό μοιράζεται ουσιαστικά στα τρία ρήγματα του 3^{ου} επιπέδου. Η αναγωγή γίνεται πολλαπλασιάζοντας την βαρύτητα του κάθε στοιχείου που υπολογίσαμε για το 3^ο επίπεδο με το ποσοστό του αντίστοιχου στοιχείου στο ακριβώς από πάνω πεδίο, σε κάθε περίπτωση.

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται τα αποτελέσματα αναγωγής για κάθε ένα από τα 4 πρώτα σενάρια.

	Ρήγματα	Κλίσεις	Ρευστοποίηση	Ανηγμένες Βαρύτητες
	0.818	0.091	0.091	
Κύριο	0.818			0.6694
Δευτερεύον Ι	0.091			0.0744
Δευτερεύον ΙΙ	0.091			0.0744
0-10°		0.0270		0.0025
10-20°		0.2432		0.0221
20-30°		0.2432		0.0221
30-40°		0.2432		0.0221
40-50°		0.2432		0.0221

Πίνακας 5.25 Αναγωγή Βαρυτήτων Σεναρίου 1 Περίπτωσης 1

	Ρήγματα	Κλίσεις	Ρευστοποίηση	Ανηγμένες Βαρύτητες
	0.818	0.091	0.091	
Κύριο	0.091			0.0025
Δευτερεύον Ι	0.818			0.0221
Δευτερεύον ΙΙ	0.091			0.0025
0-10°		0.0270		0.0025
10-20°		0.2432		0.0221
20-30°		0.2432		0.0221
30-40°		0.2432		0.0221
40-50°		0.2432		0.0221

Πίνακας 5.26 Αναγωγή Βαρυτήτων Σεναρίου 1 Περίπτωσης 2



	Ρήγματα	Κλίσεις	Ρευστοποίηση	Ανηγμένες Βαρύτητες
	0.818	0.091	0.091	
Κύριο	0.091			0.0025
Δευτερεύον Ι	0.091			0.0025
Δευτερεύον ΙΙ	0.818			0.0221
0-10°		0.0270		0.0025
10-20°		0.2432		0.0221
20-30°		0.2432		0.0221
30-40°		0.2432		0.0221
40-50°		0.2432		0.0221

Πίνακας 5.27 Αναγωγή Βαρυτήτων Σεναρίου 1 Περίπτωσης 3

	Ρήγματα	Κλίσεις	Ρευστοποίηση	Ανηγμένες Βαρύτητες
	0.091	0.818/0.091	0.091/0.818	
Κύριο	0.818			0.0744
Δευτερεύον Ι	0.091			0.0083
Δευτερεύον ΙΙ	0.091			0.0083
0-10°		0.0270		0.0221
10-20°		0.2432		0.1990
20-30°		0.2432		0.1990
30-40°		0.2432		0.1990
40-50°		0.2432		0.1990

Πίνακας 5.28 Αναγωγή Βαρυτήτων Σεναρίου 2&3 Περίπτωσης 1

	Ρήγματα	Κλίσεις	Ρευστοποίηση	Ανηγμένες Βαρύτητες
	0.091	0.818/0.091	0.091/0.818	
Κύριο	0.091			0.0083
Δευτερεύον Ι	0.818			0.0744
Δευτερεύον ΙΙ	0.091			0.0083
0-10°		0.0270		0.0221
10-20°		0.2432		0.1990
20-30°		0.2432		0.1990
30-40°		0.2432		0.1990
40-50°		0.2432		0.1990

Πίνακας 5.29 Αναγωγή Βαρυτήτων Σεναρίου 2&3 Περίπτωσης 2



	Ρήγματα	Κλίσεις	Ρευστοποίηση	Ανηγμένες Βαρύτητες
	0.091	0.818/0.091	0.091/0.818	
Κύριο	0.091			0.0083
Δευτερεύον Ι	0.091			0.0083
Δευτερεύον ΙΙ	0.818			0.0744
0-10°		0.0270		0.0221
10-20°		0.2432		0.1990
20-30°		0.2432		0.1990
30-40°		0.2432		0.1990
40-50°		0.2432		0.1990

Πίνακας 5.30 Αναγωγή Βαρυτήτων Σεναρίου 2&3 Περίπτωσης 3

	Ρήγματα	Κλίσεις	Ρευστοποίηση	Ανηγμένες Βαρύτητες
	0.333	0.333	0.333	
Κύριο	0.818			0.2727
Δευτερεύον Ι	0.091			0.0303
Δευτερεύον ΙΙ	0.091			0.0303
0-10°		0.0270		0.0090
10-20°		0.2432		0.0811
20-30°		0.2432		0.0811
30-40°		0.2432		0.0811
40-50°		0.2432		0.0811

Πίνακας 5.31 Αναγωγή Βαρυτήτων Σεναρίου 4 Περίπτωσης 1

	Ρήγματα	Κλίσεις	Ρευστοποίηση	Ανηγμένες Βαρύτητες
	0.333	0.333	0.333	
Κύριο	0.091			0.0303
Δευτερεύον Ι	0.818			0.0221
Δευτερεύον ΙΙ	0.091			0.0025
0-10°		0.0270		0.0090
10-20°		0.2432		0.0221
20-30°		0.2432		0.0221
30-40°		0.2432		0.0221
40-50°		0.2432		0.0221

Πίνακας 5.32 Αναγωγή Βαρυτήτων Σεναρίου 4 Περίπτωσης 2



	Ρήγματα	Κλίσεις	Ρευστοποίηση	Ανηγμένες Βαρύτητες
	0.333	0.333	0.333	
Κύριο	0.091			0.0303
Δευτερεύον Ι	0.091			0.0303
Δευτερεύον ΙΙ	0.818			0.2727
0-10°		0.0270		0.0090
10-20°		0.2432		0.0221
20-30°		0.2432		0.0221
30-40°		0.2432		0.0221
40-50°		0.2432		0.0221

Πίνακας 5.33 Αναγωγή Βαρυτήτων Σεναρίου 4 Περίπτωσης 3

Επομένως οι βαρύτητες των κριτηρίων του 3^{ου} επιπέδου που θα χρησιμοποιηθούν για τα τέσσερα πρώτα σενάρια είναι αυτές που αναγράφονται στους παραπάνω πίνακες. Έχοντας λοιπόν ορίσει τρεις διαφορετικές περιπτώσεις για το κριτήριο των ρηγμάτων, όπου μελετάται δηλαδή κάθε φορά η ισχυρή υπεροχή ενός από τα τρία ρήγματα, το αποτέλεσμα θα είναι να έχουμε τρεις χαράξεις για κάθε σενάριο. Για να γίνει πιο κατανοητό, στο 1^ο σενάριο όπου το κριτήριο των ρηγμάτων έχει την πιο ισχυρή υπεροχή ως προς τα άλλα κριτήρια, θα έχει τρεις χαράξεις κατά της οποίες μελετάται κάθε φορά η εναλλαγή της υπεροχής του κάθε ρήματος ξεχωριστά. Το ίδιο θα εφαρμοστεί και για τα τρία άλλα σενάρια.

5.4.3 Υπολογισμός Βαρυτήτων 5^{ου} Σεναρίου

Στο πέμπτο σενάριο ακολουθήσαμε ακριβώς την ίδια διαδικασία όπως και για τα άλλα τέσσερα, με τη μόνη διαφορά πως ενσωματώθηκαν και τα άλλα τρία κριτήρια που έχουμε αναφέρει εφόσον πρόκειται για μια ρεαλιστική προσέγγιση του προβλήματος. Σε αυτό το σενάριο να σημειωθεί πως το κριτήριο των ρηγμάτων αντιμετωπίστηκε σαν μία οντότητα και δεν το μελετήσαμε σε διαφορετικές περιπτώσεις όπως στα προηγούμενα σενάρια διότι θεωρήσαμε πως θα ήταν επιζήμιο για έναν εν δυνάμει αγωγό να μην δοθεί η κατάλληλη βαρύτητα σε κάποιο κομμάτι του ρήματος. Επειδή τα έξι κριτήρια είναι αρκετά και πρέπει να συγκριθούν μεταξύ τους με βάση τη σχετική μετρητική κλίμακα 1-9, συντάξαμε ένα σχεδιάγραμμα όπου γίνονται αρκετά ξεκάθαρα και κατανοητά οι μετρήσεις μεταξύ των στοιχείων ένα προς ένα. Αυτό έγινε προκειμένου να υπάρχει ένα «πλάνο» σύγκρισης ώστε να πετύχουμε εξ αρχής την συνεκτικότητα του πίνακα σύγκρισης χωρίς να κάνουμε λάθη στις σχέσεις υπεροχής των στοιχείων του σεναρίου.

Το σχεδιάγραμμα βρίσκεται με τη μορφή πίνακα στην επόμενη σελίδα.



Κριτήρια	Μεγέθη της Σχετικής Κλίμακας															Κριτήρια		
Ρήγματα	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Οδικό Δίκτυο
Ρήγματα	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Οικισμοί
Ρήγματα	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Κλίσεις
Ρήγματα	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Natura
Ρήγματα	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ρευστοποίηση
Οδικό Δίκτυο	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Οικισμοί
Οδικό Δίκτυο	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Κλίσεις
Οδικό Δίκτυο	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Natura
Οδικό Δίκτυο	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ρευστοποίηση
Οικισμοί	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Κλίσεις
Οικισμοί	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Natura
Οικισμοί	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ρευστοποίηση
Κλίσεις	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Natura
Κλίσεις	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ρευστοποίηση
Natura	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ρευστοποίηση

**Αριστερά από το 1 βάζουμε τον αριθμό όπως είναι στον πίνακα σύγκρισεων, και δεξιά από το 1 βάζουμε τον αντίστροφο του.*

Πίνακας 5.34 Μετρήσεις Σχετικής Κλίμακας 5ου Σεναρίου

Στο σχεδιάγραμμα, με κίτρινο χρώμα βλέπουμε τον αριθμό που δείχνει την υπεροχή που έχει το κριτήριο της αριστερά στήλης προς τα στοιχεία της δεξιά στήλης. Όπως αναγράφεται και στο κάτω μέρος του πίνακα εάν ο αριθμός που έχει επιλεχθεί είναι αριστερά από το 1, τότε αυτός τοποθετείται στον πίνακα σύγκρισης αυτούσιος, ενώ εάν έχει επιλεχθεί ο αριθμός που βρίσκεται δεξιά από το 1, τότε τοποθετείται στον πίνακα σύγκρισης ο αντίστροφος του. Οι επιλογές που κάναμε ως προς την υπεροχή του κάθε στοιχείου είναι οι παραπάνω και ο πίνακας ήταν συνεκτικός με λόγο συνοχής $CR = 0.021$.

Οι βαρύτητες των στοιχείων που θα χρησιμοποιήσουμε για την χάραξη του σεναρίου και που λάβαμε από το μαθηματικό μοντέλο που εξηγήσαμε παραπάνω εντοπίζονται στους επόμενους πίνακες:

Κριτήρια	Ρήγματα	Οδικό Δίκτυο	Κλίσεις Πρανών	Περιοχή Ρευστοποίησης	Οικισμοί	Περιοχές Natura
Βαρύτητες	35.9%	3.5%	22.1%	22.1%	3.5%	12.9%

Πίνακας 5.35 Βαρύτητες στοιχείων 2ου Επιπέδου



Κατηγορίες	0-10°	10-20°	20-30°	30-40°	40-50°
Βαρύτητες	0.6%	5.38%	5.38%	5.38%	3.5%

Πίνακας 5.36 Βαρύτητες στοιχείων 3ου Επιπέδου

5.5 Διαδικασία Χάραξης Στο ArcGIS

Αφού υπολογίσαμε τις βαρύτητες για κάθε σενάριο και κάθε περίπτωση σε αυτά, επόμενο βήμα είναι να εισάγουμε την πληροφορία αυτή στο GIS ώστε να προσδιορίσουμε τις χαράξεις.

Για να γίνει αυτό χρησιμοποιήσαμε μια σειρά από εργαλεία που προσφέρει το ArcGIS. Η χάραξη έγινε με το εργαλείο Cost Path as polyline, προκειμένου όμως να χρησιμοποιηθεί αυτό το εργαλείο έπρεπε να προσαρμόσουμε τα δεδομένα μας στην κατάλληλη μορφή και να τους ενσωματώσουμε τις πληροφορίες(βαρύτητες) που χρειαζόντουσαν για να εξάγουμε το αποτέλεσμα.

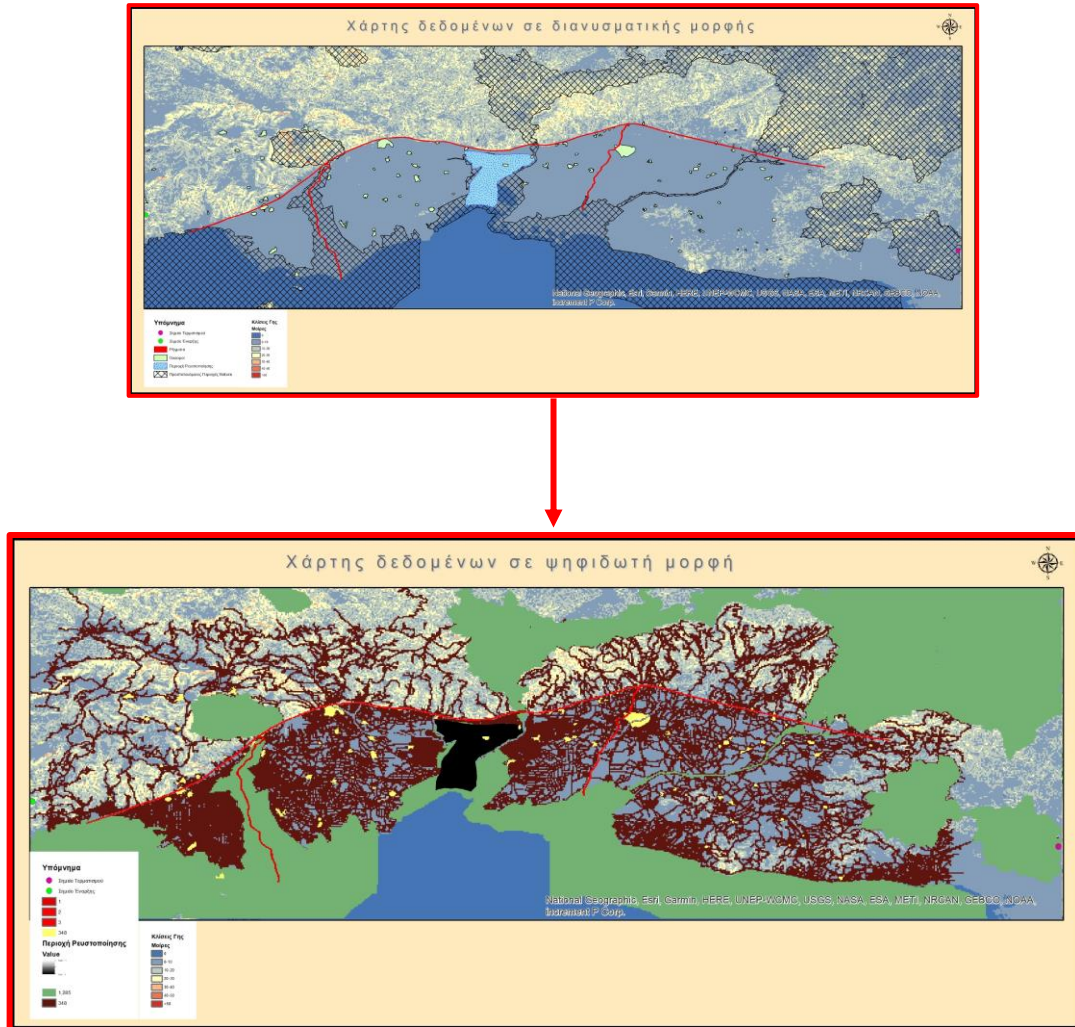
Το Cost Path as polyline είναι ένα εργαλείο απόστασης κόστους, προσδιορίζει δηλαδή την πιο «οικονομική» διαδρομή από μια πηγή προς μία τελική κατεύθυνση. Χρησιμοποιήθηκαν εισαγωγικά για τον όρο οικονομική, διότι δεν πρόκειται για χρηματικό κόστος αλλά για συσσωρευτική διαδρομή χαμηλών τιμών των εικονοστοιχείων των ψηφιδωτών αρχείων που χρησιμοποιήθηκαν. Οι τιμές αυτές αφορούν τις βαρύτητες που υπολογίσαμε στο 5.4, και οι υπολογισμοί έγιναν με τέτοιο τρόπο ώστε το μέγεθος τη βαρύτητας να αντικατοπτρίζει και το κόστος για τις διεργασίες στο GIS. Ισχύει, δηλαδή, πως μεγαλύτερη βαρύτητα ισοδυναμεί και με μεγαλύτερο κόστος.

Για να μπορέσουμε να φτάσουμε στο σημείο να αξιοποιήσουμε όμως το εργαλείο Cost Path as polyline, πρέπει να κάνουμε μια προεργασία.

Βήμα 1°

Πρώτα από όλα, τοποθετήσαμε όλα τα αρχεία των δεδομένων που συλλέξαμε σε προηγούμενο χρόνο στο περιβάλλον του ArcMap. Όλα τα δεδομένα εκτός από τις κλίσεις των πρηνών ήταν σε μορφή shapefile, ενώ οι κλίσεις των πρηνών σε μορφή Tiff. Για να μπορέσουμε να αξιοποιήσουμε το εργαλείο που αναφέραμε θα πρέπει να μετατρέψουμε όλα τα διανυσματικά δεδομένα σε ψηφιδωτά. Τα γραμμικά δεδομένα, δεν μπορούν να μετατραπούν απευθείας σε ψηφιδωτή μορφή, και θα πρέπει πρώτα να πάρουν την μορφή πολυγώνου, επομένως για το οδικό δίκτυο και για τα ρήγματα κάναμε ένα Buffer μια ενίσχυση δηλαδή του πλάτους των γραμμών ώστε να μετατραπούν σε πολύγωνα. Για τα ρήγματα πραγματοποιήσαμε buffer της τάξης των 130 μέτρων, ενώ για το οδικό δίκτυο buffer της τάξης των 6 μέτρων. Εφόσον ολοκληρώθηκε και η διαδικασία με τα buffer,

χρησιμοποιώντας το εργαλείο Polygon to Raster μετατρέψαμε όλα τα διανυσματικά μας δεδομένα σε ψηφιδωτά.

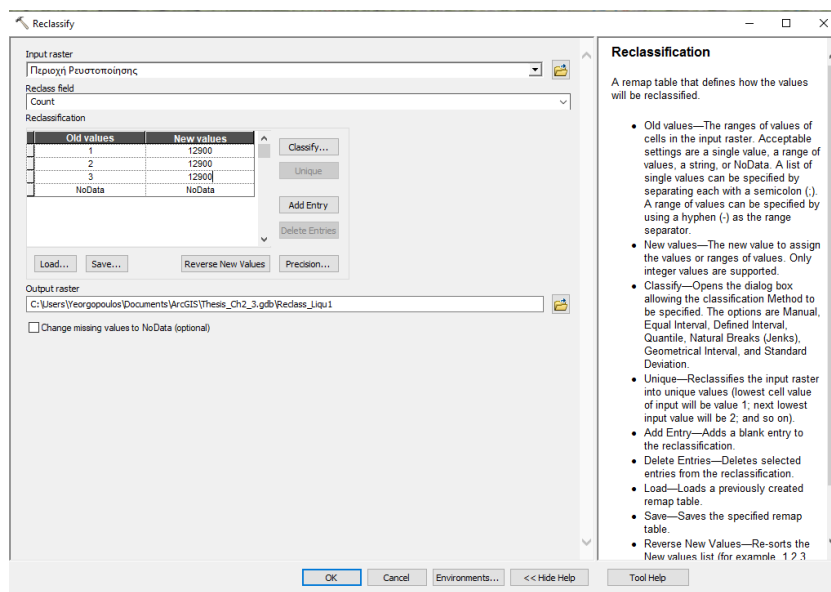


Εικόνα 5.12 Χάρτες Διανυσματικών Και ψηφιδωτών Αρχείων

Να σημειωθεί πως ορίσαμε και τα σημεία έναρξης και λήξης των χαράξεων, τα οποία τοποθετήθηκαν βάσει τα σημεία όπου τέμνεται ο αγωγός TAP με τα όρια της περιοχής μελέτης, και επιλέχθηκαν αυτά για να υπάρχει αργότερα ένα μέτρο σύγκρισης των δικών μας χαράξεων με αυτή του TAP. Τα σημεία δημιουργήθηκαν φτιάχνοντας ένα σημειακό feature class και τοποθετώντας δύο σημείο ένα στη τομή στο αριστερό όριο της περιοχής μελέτης και ένα σημείο στη τομή στο δεξιό όριο της.

Βήμα 2^ο

Έχοντας λοιπόν, στα χέρια μας όλα τα δεδομένα σε ψηφιδωτή μορφή, πρέπει να ενσωματώσουμε σε αυτά τα την βαρομετρική πληροφορία, για κάθε σενάριο και για κάθε περίπτωση όπως την υπολογίσαμε. Τα ψηφιδωτά αρχεία αποτελούνται από εικονοστοιχεία ή αλλιώς *pixel*. Ο τρόπος με τον οποίο θα εισάγουμε την πληροφορία αυτή στα ψηφιδωτά δεδομένα είναι μέσα από το εργαλείο του ArcGIS το *reclassify*. Το *Reclassify* είναι ένα εργαλείο αναταξινόμησης που μας επιτρέπει να αλλάξουμε τις ήδη υπάρχοντες τιμές στα κελιά των raster με αυτές που θέλουμε εμείς. Έτσι δημιουργείται ένα νέο ψηφιδωτό αρχείο το οποίο έχει καθόλη την επιφάνεια του, δηλαδή σε κάθε εικονοστοιχείο του την τιμή της βαρύτητας για την εκάστοτε περίπτωση.



Εικόνα 5.13 Εργαλείο αναταξινόμησης *Reclassify*

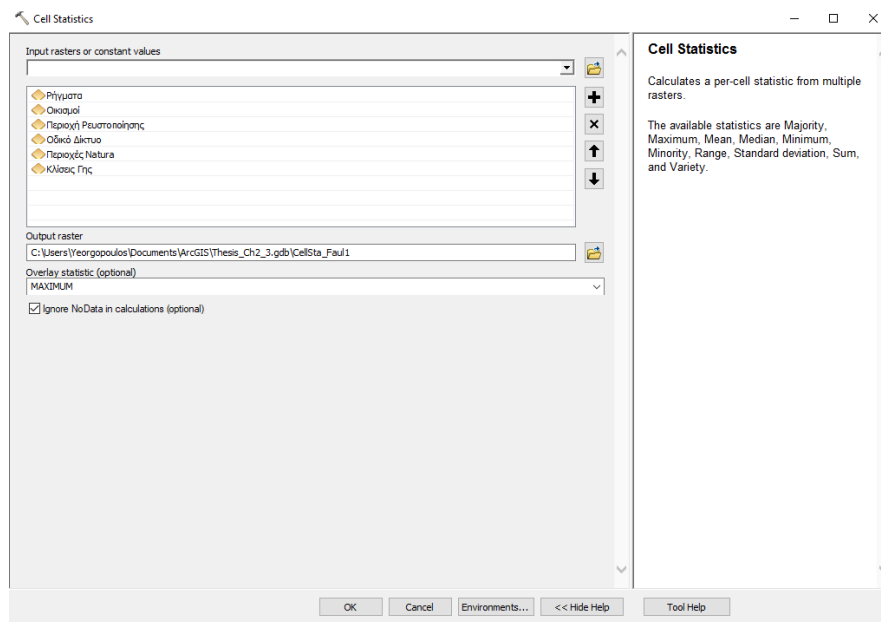
Επειδή οι βαρύτητες ήταν δεκαδικές τιμές, και το εργαλείο της αναταξινόμησης δέχεται μόνο ακέραιους αριθμούς, για να γίνει η αναταξινόμηση όλες οι βαρύτητες πολλαπλασιάστηκαν με το 10,000 ώστε να διατηρηθεί η βαρομετρική σχέση μεταξύ των δεδομένων αλλά και να μετατραπούν σε ακέραιους αριθμούς.

Η διαδικασία της αναταξινόμησης πραγματοποιήθηκε συνολικά για όλα τα σενάρια και τις περιπτώσεις που θέλουμε να χαράξουμε ώστε να μην επαναλαμβάνεται η διαδικασία από την αρχή για κάθε σενάριο.

Βήμα 3^ο

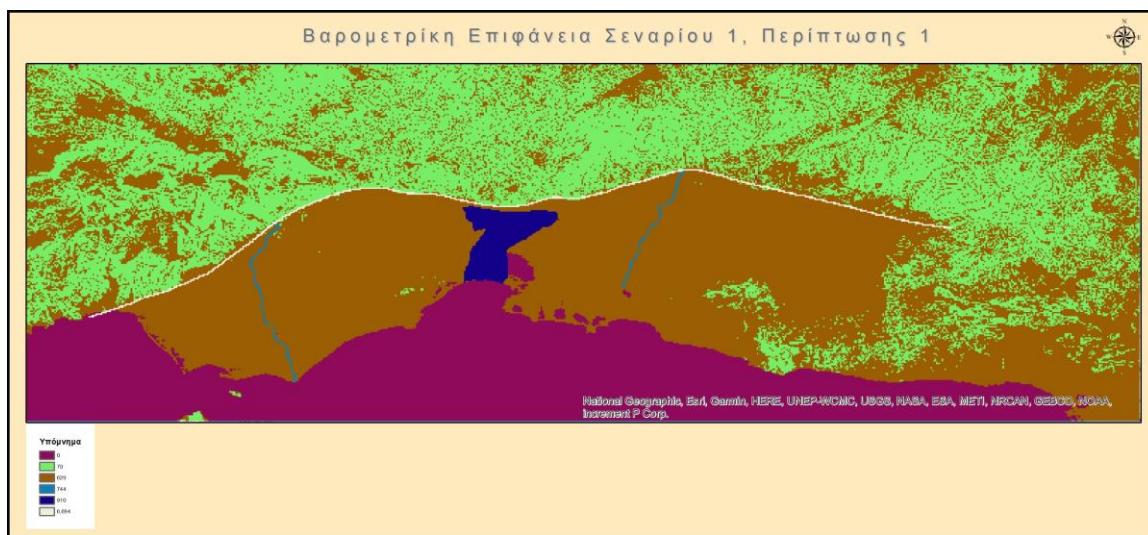
Το τρίτο βήμα, αφορά την δημιουργία βαρομετρικών επιφανειών(Cost Surfaces), την συσσώρευση δηλαδή όλων των ψηφιδωτών δεδομένων με την πληροφορία των βαρυτήτων σε ένα αρχείο για κάθε σενάριο και για κάθε περίπτωση. Οι βαρομετρικές επιφάνειες είναι απαραίτητη προϋπόθεση για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τα εργαλεία για την κάθε χάραξη.

Τις βαρομετρικές επιφάνειες τις δημιουργήσαμε με το εργαλείο Cell Statistics, ένα εργαλείο που μας δίνει την επιλογή να φτιάξουμε ένα ψηφιδωτό αρχείο χρησιμοποιώντας περισσότερα από ένα raster. Μέσα από αυτό το εργαλείο διαλέγουμε μια συνθήκη ή μια πράξη που θα ισχύσει για το κάθε κελί. Για παράδειγμα αν ή σχέση αυτή είναι να αθροιστούν τα κελιά, όταν τρέξουμε το εργαλείο με τα δεδομένα που έχουμε επιλέξει, τότε αυτό θα προσθέσει τιμές των κελιών όπου αυτά επικαλύπτονται. Η σχέση που επιλέξαμε εμείς είναι σε κάθε κελί να υπερισχύσει η μεγαλύτερη τιμή. Αυτό σημαίνει πως στα σημεία που επικαλύπτεται το θεματικό επίπεδο του οδικού δικτύου με το θεματικό επίπεδο του ρήγματος, στην βαρομετρική επιφάνεια η τιμή που θα έχουν τα pixel σε αυτά τα σημεία θα είναι η τιμή της βαρύτητας του ρήγματος καθώς αυτό έχει την μεγαλύτερη βαρύτητα.



Εικόνα 5.14 Εργαλείο Cell Statistics

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα παράδειγμα από τις βαρομετρικές επιφάνειες που δημιουργήσαμε.



Χάρτης 5.11 Παράδειγμα Βαρομετρικής Επιφάνειας

Βήμα 4^ο

Επόμενο βήμα είναι ο αποκλεισμός της θαλάσσιας περιοχής. Επειδή η μελέτη μας αφορά μόνο την χερσαία επιφάνεια της περιοχής μελέτης και δεν υπήρξε λόγος να γίνει χάραξη σε αυτό το σημείο που να περνάει από την θαλάσσια περιοχή, θα πρέπει να αποκλείσουμε με κάποιο τρόπο αυτή την έκταση. Υπάρχουν πολύ τρόποι για να γίνει αυτό, αυτός που επιλέξαμε εμείς ήταν να μην δώσουμε καμία τιμή(NoData) στα εικονοστοιχεία της θάλασσας.

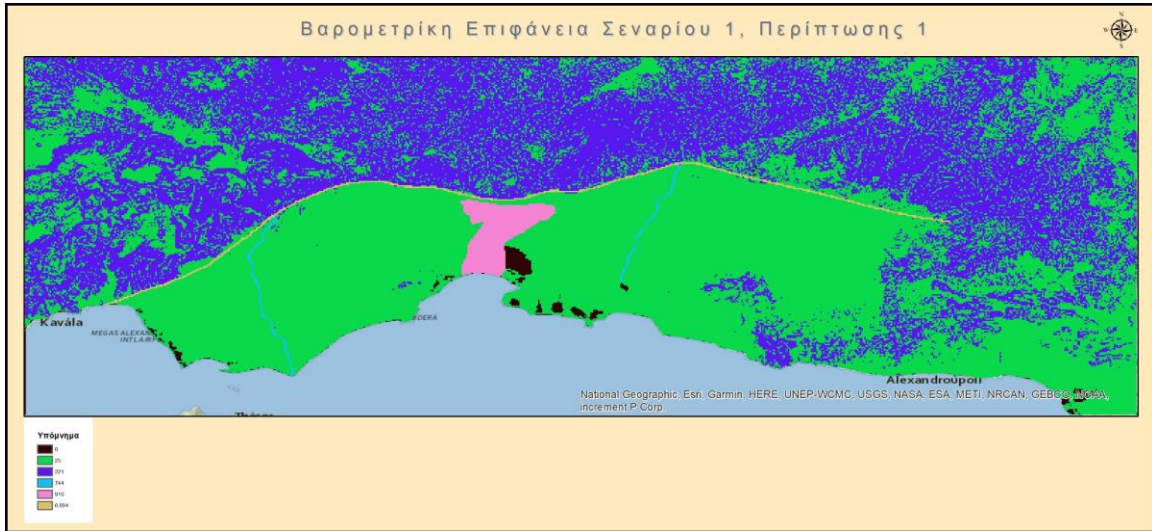
Αρχικά δημιουργήσαμε ένα Vector αρχείο με τη μορφή πολυγώνου και οριοθετήσαμε την θαλάσσια περιοχή.



Εικόνα 5.15 Οριοθέτηση της θαλάσσιας έκτασης στην περιοχή μελέτης

Και στην συνέχεια χρησιμοποιώντας το Image Analysis, επιλέγοντας κάθε φορά από ένα raster βαρομετρικής επιφάνειας και την έκταση της θάλασσας που οριοθετήσαμε σαν μάσκα, φτιάχναμε καινούρια raster αρχεία στα οποία είχε πλέον διαγραφεί αυτή η πληροφορία.

Παρακάτω, παρατίθεται ένα παράδειγμα βαρομετρικής επιφάνειας χωρίς την θαλάσσια έκταση.



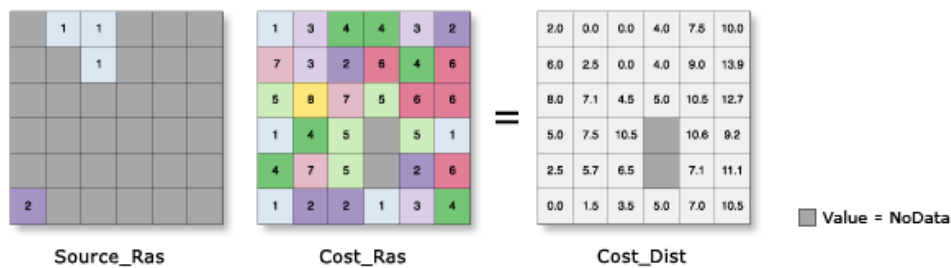
Χάρτης 5.12 Παράδειγμα βαρομετρικής επιφάνειας χωρίς πληροφορία για την θαλάσσια έκταση

Βήμα 5^ο

Το 4^ο βήμα, επαναλήφθηκε για όλες τις βαρομετρικές επιφάνειες που δημιουργήθηκαν στο 3^ο βήμα. Έτσι, το μόνο που μένει είναι να προσδιορίσουμε τις χαράξεις για κάθε περίπτωση.

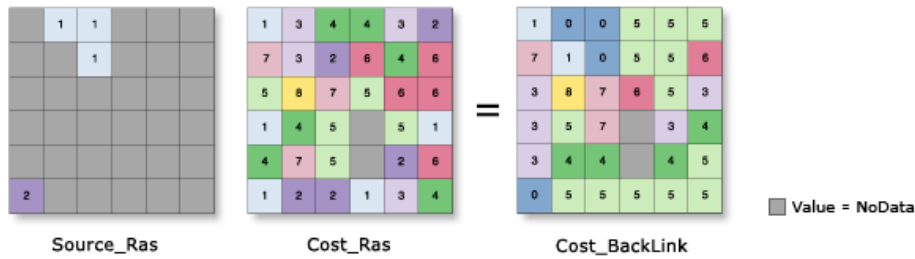
Προκειμένου να χρησιμοποιήσουμε το Cost Path as Polyline, για να κάνουμε τις χαράξεις, πρέπει πρώτα να χρησιμοποιήσουμε το Cost Distance και το Cost Back Link.

Το εργαλείο Cost Distance, υπολογίζει την συσσωρευτικά μικρότερη απόσταση κόστους για κάθε κελί από μια πηγή (Το σημείο έναρξης της χάραξης) κατά μήκος μιας επιφάνειας κόστους (Βαρομετρική επιφάνεια).



Εικόνα 5.17 Αναπαράσταση της λογικής του Cost Distance

Το Cost Backlink έρχεται πρώτο στη διαδικασία διότι για να χρησιμοποιήσουμε το Cost Distance πρέπει πρώτα να έχουμε αποτέλεσμα από το Cost Backlink. Το Raster του Cost Back Link περιέχει τιμές 0 έως 8, οι οποίες καθορίζουν την κατεύθυνση ή προσδιορίζουν το επόμενο γειτονικό κελί κατά μήκος της διαδρομής με το μικρότερο συσσωρευτικό κόστος από ένα κύτταρο για να φτάσει στην πηγή.

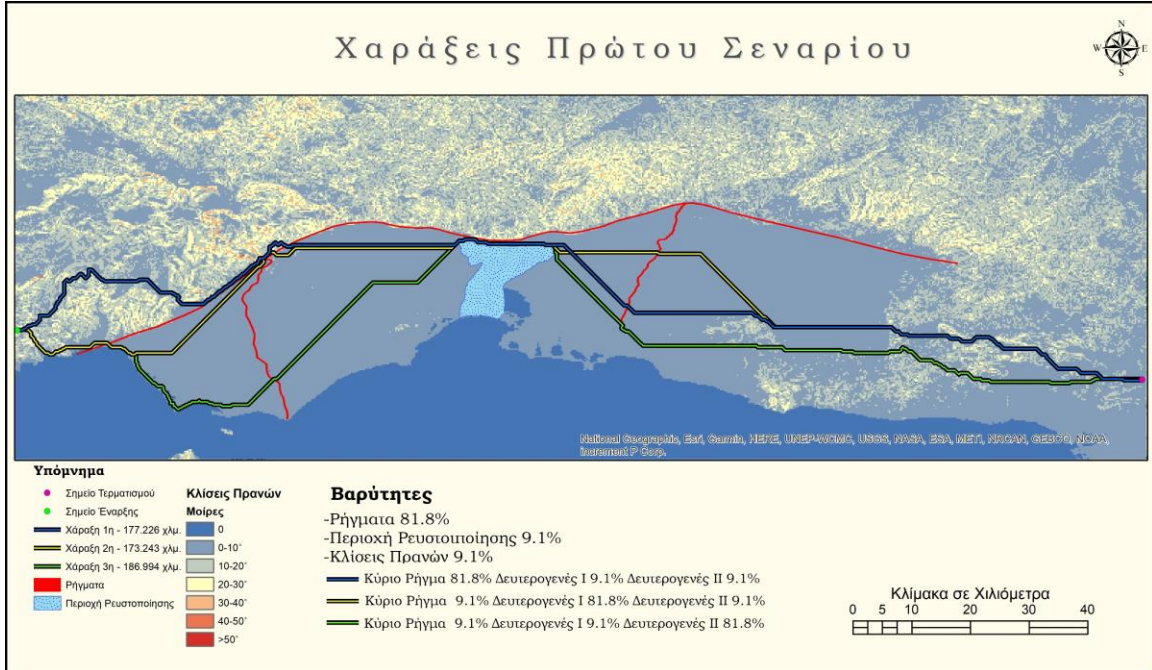


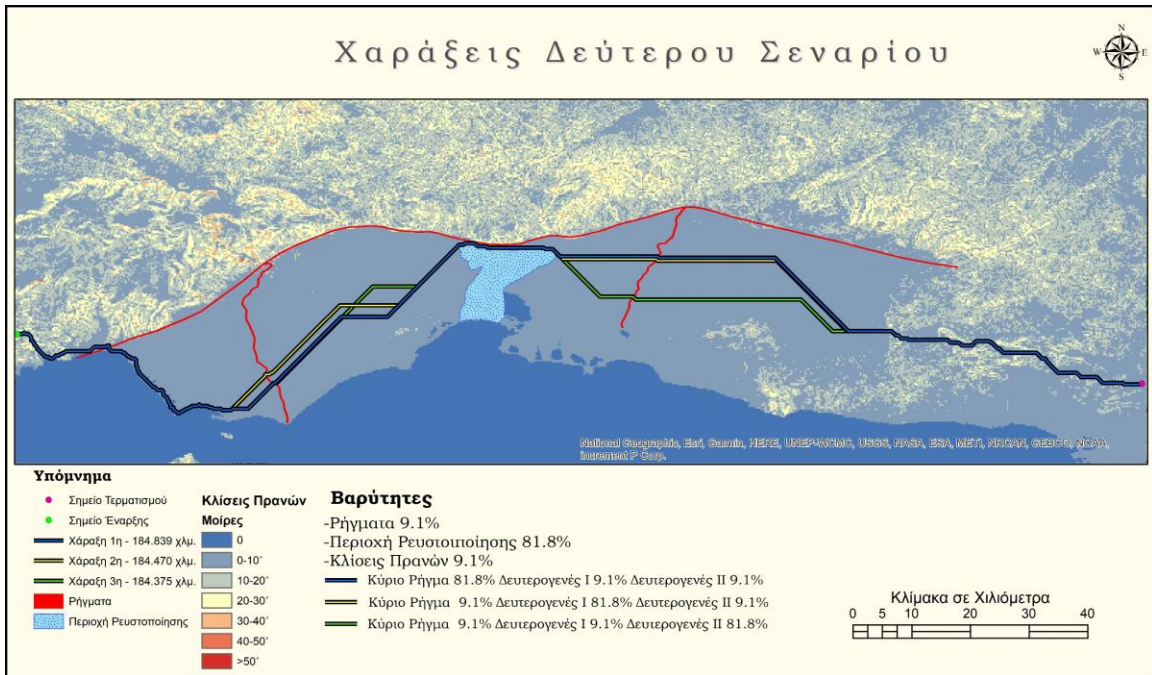
Εικόνα 5.16 Αναπαράσταση της λογικής του Cost Back Link

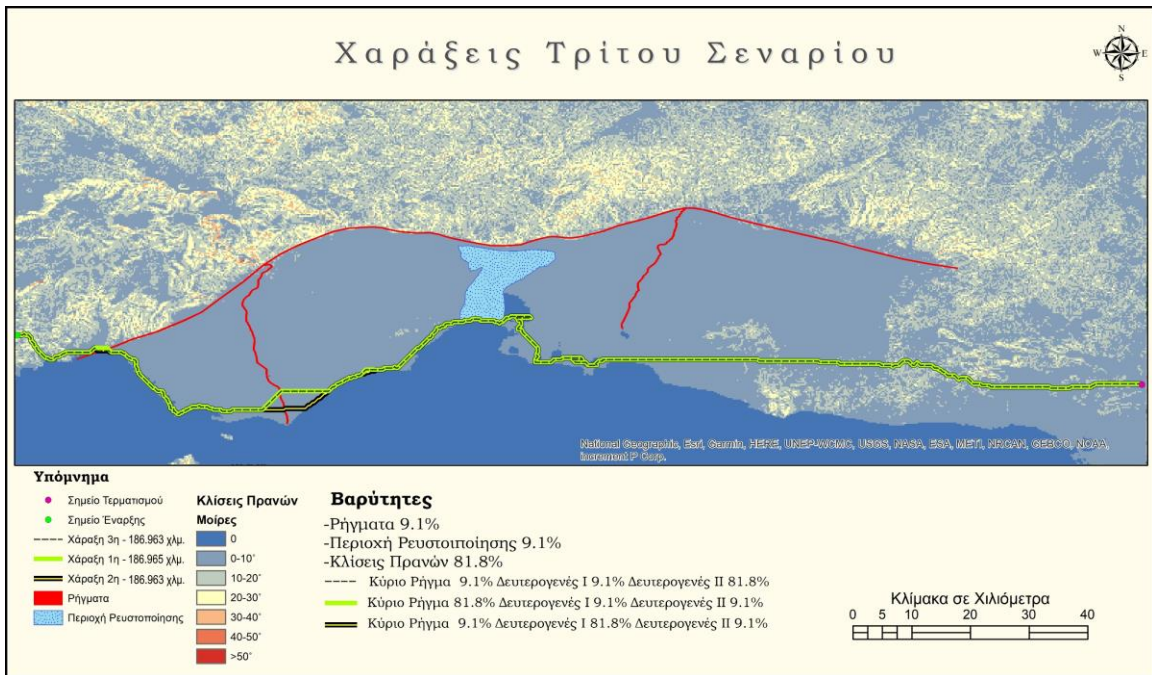
Αφού κάνουμε αυτή τη διαδικασία για όλες τις βαρομετρικές μας επιφάνειες, εισαγάγαμε τα raster του Distance και του Back Link στον αλγόριθμο του Cost Path as polyline και παίρνουμε τις χαράξεις μας οι οποίες είναι και σε διανυσματική μορφή.

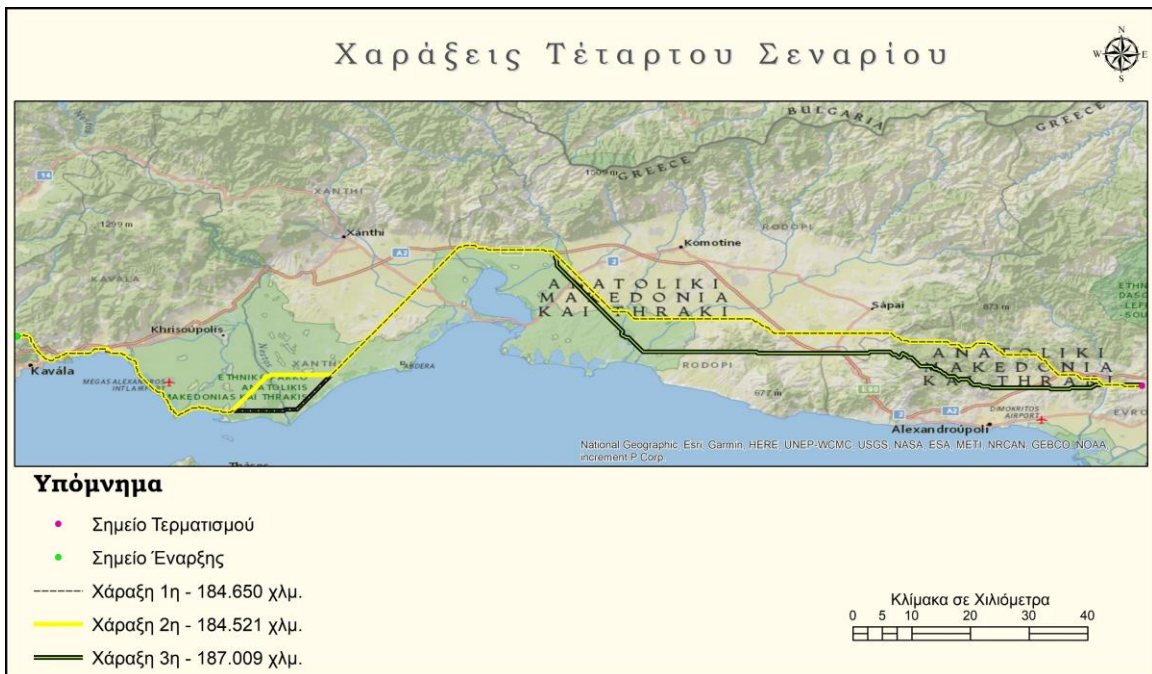
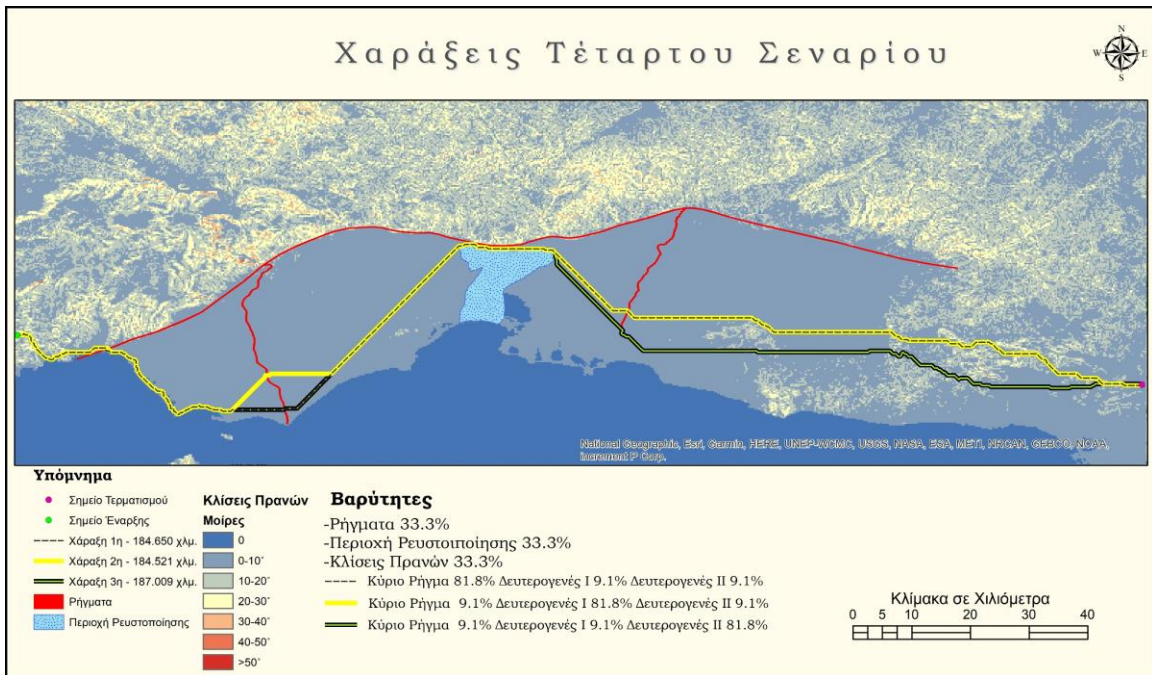


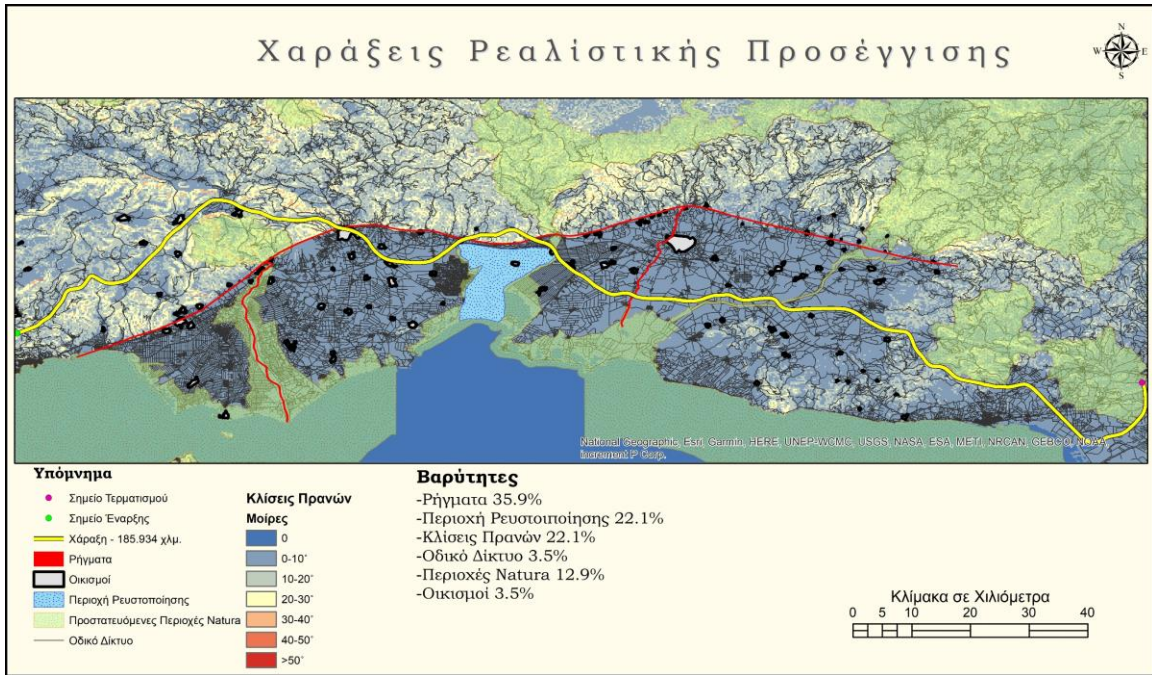
5.6 Χαράξεις















5.7 Αξιολόγηση

Αφού προσδιορίσαμε τις χαράξεις για κάθε σενάριο, παρατηρήσαμε πως αυτές κινήθηκαν σωστά βάσει των προσδοκιών μας συνολικά για κάθε σενάριο με εξαίρεση αυτό της ενδιάμεσης κατάστασης. Αξιολογώντας τα πρώτα τρία σενάρια, που αποτελούν και ακραίες προσεγγίσεις λογικής, βλέπουμε πως η χάραξη ακολούθησε μια πορεία που κάθε φορά όσο ήταν δυνατό απέφυγε τον εκάστοτε «ισχυρό» γεωκίνδυνο. Επειδή η λογική βασίζεται στην συσσωρευτικά πιο «οικονομική» επιλογή χάραξης κάθε φορά, θα μπορούσαμε να περιμένουμε στο στην πρώτη περίπτωση του πρώτου σεναρίου η χάραξη να μην διασχίζει το πρωτεύον ρήγμα, ωστόσο λόγω των μεγάλων κλίσεων βόρεια του ρήγματος μια τέτοια χάραξη θα είχε μεγαλύτερο συλλογικό κόστος.

Αυτό που μας έκανε εντύπωση, αλλά εξηγείται στατιστικά, είναι η χάραξη του τέταρτου σεναρίου. Η χάραξη αυτού του σεναρίου δηλαδή της ενδιάμεσης βαρομετρικής κατάστασης, περιμέναμε να ακολουθεί μια πιο ευθυγραμμισμένη διαδρομή και να διασχίζει την περιοχή ρευστοποίησης. Αυτό εξηγείται από το γεγονός πως η βαρύτητα του κριτηρίου της ρευστοποίησης δεν διανέμεται σε κατώτερο επίπεδο όπως γίνεται με τα κριτήρια των ρηγμάτων και των κλίσεων των πρανών, με αποτέλεσμα να λαμβάνει στην τελική ανάλυση αριθμητικά μεγαλύτερη βαρύτητα από τα άλλα κριτήρια.

Η χάραξη της ρεαλιστικής προσέγγισης είναι ακριβής βάσει των βαρυτήτων που λάβαμε και συγκρίνοντας την με τον υφιστάμενο αγωγό της περιοχής, τον αγωγό ΤΑΡ, παρατηρήσαμε ήμασταν αρκετά κοντά με απόκλιση κάποιες αποκλίσεις που οφείλονται προφανώς στις ποσοτικές μετρήσεις των κριτηρίων στη σχετική κλίμακα, αλλά και σε ποιοτικά χαρακτηριστικά της μελέτης. Να σημειωθεί πως μια τέτοια μελέτη ακολουθείται από αξιολόγηση από ειδικές ομάδες στο πεδίο, που σημαίνει ότι μπορεί να υπάρξουν σημαντικές τροποποιήσεις από την μελετημένη χάραξη μέχρι το τελικό σχέδιο κατασκευής.

Τέλος συγκρίνοντας όλα τα δεδομένα συνολικά, αποφασίσαμε να επιλεγεί η βέλτιστη χάραξη καθαρά από το χιλιομετρικό κριτήριο, και επομένως αυτή είναι η 2^η περίπτωση του 1^{ου} Σεναρίου, που ανέρχεται στα 173 km.

Στην επόμενη σελίδα πραγματοποιήθηκε και μια μελέτη προσομοίωσης της χάραξης του αγωγού ΤΑΡ, προκειμένου να επαληθευτεί η μέθοδος που ακολουθήσαμε.



5.8 Προσομοίωση Υφιστάμενου Αγωγού ΤΑΡ – Επαλήθευση μεθοδολογίας

Για την επαλήθευση της μεθοδολογίας μας, προσπαθήσαμε να προσομοιώσουμε την χάραξη του αγωγού ΤΑΡ, παρατηρώντας πως έχει κινηθεί με βάση τα κριτήρια που έχουμε θέσει, χωρίς όμως να κάνουμε μια χάραξη κατευθυνόμενη βεβιασμένα. Προσπαθήσαμε ουσιαστικά να ακολουθήσουμε μια τακτική αντίστροφης μηχανικής για να εξακριβώσουμε την προσέγγιση του.

Καταρχάς η διαδικασία που ακολουθήσαμε είναι ακριβώς η ίδια μετρώντας τα κριτήρια στη σχετική κλίμακα και ακολουθώντας το μαθηματικό μοντέλο και τις διεργασίες στο ArcGIS. Αφού παρατηρήσαμε την υφιστάμενη χάραξη, είδαμε πως φαίνεται να έχει δοθεί ιδιαίτερη σημασία στις κλίσεις του εδάφους και στην περιοχή ρευστοποίησης, αλλά και στους οικισμούς τις περιοχής. Τα ρήγματα, οι περιοχές Natura και το οδικό δίκτυο φαίνεται να έχουν χαμηλότερη βαρύτητα σε αυτή την κατασκευή. Έτσι δώσαμε τις μετρήσεις στη σχετική κλίμακα, με βάση το δικό μας κριτήριο όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα, και το αποτέλεσμα φαίνεται στην επόμενη σελίδα.

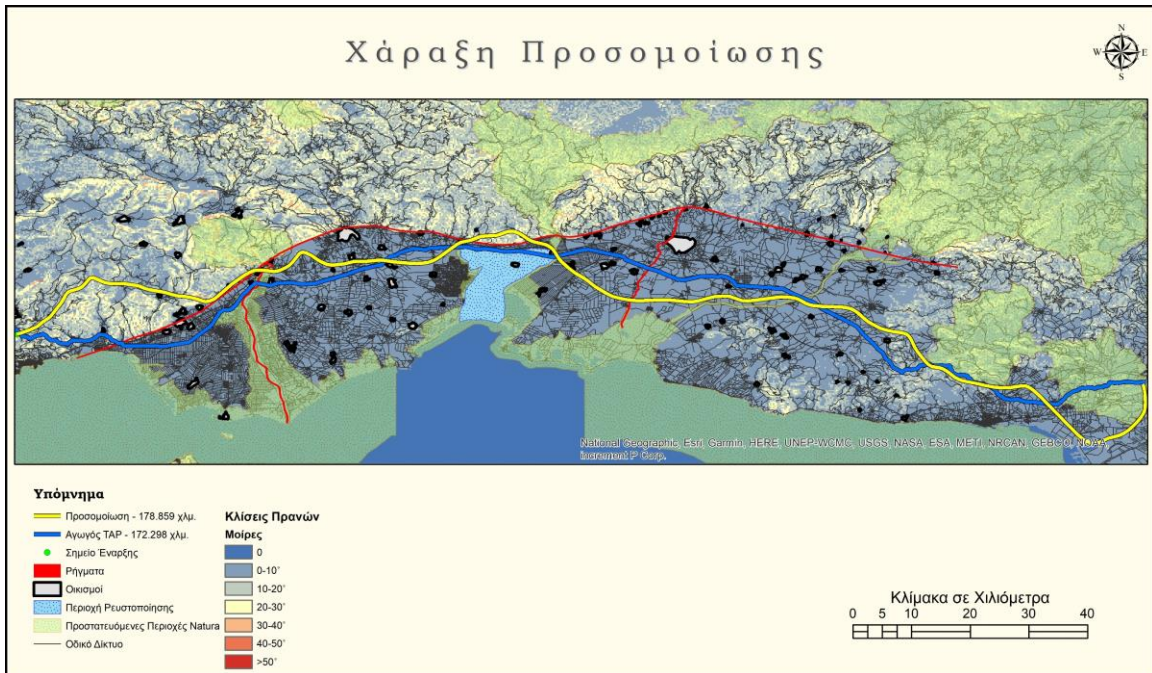
Κριτήρια				Μεγέθη της Σχετικής Κλίμακας															Κριτήρια
Ρήγματα	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Οδικό Δίκτυο	
Ρήγματα	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Οικισμοί	
Ρήγματα	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Κλίσεις	
Ρήγματα	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Natura	
Ρήγματα	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ρευστοποίηση	
Οδικό Δίκτυο	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Οικισμοί	
Οδικό Δίκτυο	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Κλίσεις	
Οδικό Δίκτυο	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Natura	
Οδικό Δίκτυο	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ρευστοποίηση	
Οικισμοί	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Κλίσεις	
Οικισμοί	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Natura	
Οικισμοί	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ρευστοποίηση	
Κλίσεις	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Natura	
Κλίσεις	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ρευστοποίηση	
Natura	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ρευστοποίηση	

**Αριστερά από το 1 βάζουμε τον αριθμό όπως είναι στον πίνακα συγκρίσεων, και δεξιά από το 1 βάζουμε τον αντίστροφο του.*

CR=0.081<0.1



Έτσι πετύχαμε το παραπάνω αποτέλεσμα το οποίο έχει μεγάλη απόκλιση από τον αγωγό TAP. Ωστόσο παρατηρήσαμε πως η χάραξη έχει πάρα πολλές γωνίες που είναι απότομες και προσθέτουν στο τελικό μήκος, κατά την υλοποίησή του, όμως, ένας αγωγός δεν μπορεί να έχει τόσες απότομες αλλαγές και οι αλλαγές στην κατεύθυνση της πορείας του γίνονται σταδιακά. Επομένως επιλέξαμε να ομαλοποιήσουμε την χάραξη ώστε να πλησιάσει τις πραγματικές συνθήκες, και με το εργαλείο Smooth Line ομαλοποιήσαμε την χάραξη με βαθμό ελευθερίας 5 χιλιομέτρων και πετύχαμε το παρακάτω αποτέλεσμα που είναι πάρα πολύ κοντά με τον αγωγό TAP και που επιβεβαιώνει τη διαδικασία μας.





Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις

Εν κατακλείδι η μέθοδος που επιλέχθηκε για τη χάραξη του ενεργειακού δικτύου στην περιοχή μελέτης, χρήζει μία ευέλικτη μέθοδο που δύναται να εφαρμοστεί σε μελέτες πολυκριτηριακής ανάλυσης. Μέσω της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας καταφέραμε να δώσουμε συντελεστές βαρύτητας στις προτιμήσεις μας ως προς τους παράγοντες που επηρεάζουν τα ενεργειακά δίκτυα και να χαράξουμε εναλλακτικές διαδρομές για τον αγωγό..

Όσον αφορά την παρούσα μελέτη, οι χαράξεις που διεξήχθησαν δεν αποτελούν σε καμία περίπτωση τα τελικά σχέδια για την τοποθέτηση ενός αγωγού, καθώς σε τέτοιες περιπτώσεις οι φορείς που καλούνται να τοποθετήσουν έναν αγωγό λαμβάνουν υπόψη και άλλα σημαντικά κριτήρια. Κριτήρια όπως είναι για παράδειγμα το κόστος κατασκευής, το οποίο δεν μπορεί να παραληφθεί.

Τα αποτελέσματα που εξαγάγαμε από αυτή τη μελέτη, θα μπορούσαν να θεωρηθούν εναλλακτικές επιλογές σε μια άλλη πολυκριτηριακή ανάλυση με στόχο την επιλογή της βέλτιστης χάραξης, στην οποία το κόστος κατασκευής που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο να αποτελεί ένα από τα κριτήρια.

Επιπροσθέτως, πρέπει να σημειωθεί πως τα συστήματα γεωπληροφορικής αποτελούν ένα μείζονος σημασίας εργαλείο για τέτοιου είδους μελέτες, προσφέροντας αρκετές δυνατότητες στους κατασκευαστές. Οι διεργασίες που πραγματοποιήθηκαν, αποτελούν ένα παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο μπορούν αυτά τα συστήματα να προσεγγίσουν μια τέτοια μελέτη.

Καταληκτικά, δεν πρέπει να παραληφθεί ότι η χάραξη ενός αγωγού μέσω της πολυκριτηριακής ανάλυσης σε συνδυασμό με τα συστήματα γεωπληροφορικής, αποτελεί ένα αρκετά πρώιμο στάδιο κατασκευής. Οι χαράξεις σε μεταγενέστερο στάδιο, αξιολογούνται από ειδικές ομάδες οι οποίες με τη σειρά τους, μελετούν δια ζώσης την ικανότητα του εδάφους και των συνθηκών του περιβάλλοντος, ώστε τελικά, να ελεγχθεί η δυνατότητα κατασκευής ενός αγωγού στην περιοχή.



Βιβλιογραφία

- Bobrowsky, P. T. (2013).** *Encyclopedia of natural hazards*. Dordrecht ; New York: Springer.
- Bobrowsky, P. T., & Marker, B. (2018).** *Encyclopedia of engineering geology*. Cham, Switzerland Springer.
- C, J. (2009).** Australasian society for trenchless Technology Guidelines for Horizontal Directional Drilling, Pipe Bursting, Micro Tunneling and Pipe Jacking
- Gaskell, T. F. (1963).** Volcanoes, in History, in Theory, in Eruption Fred M. Bullard (Thomas Nelson and Sons Ltd., 1962 pp.441. 45s.). *Geophysical Journal International*
- Hargitai, H., & Kereszturi, Á. (Eds.). (2015).** *Encyclopedia of Planetary Landforms*. New York : Springer.
- Langenbrunner, B., et al. (2023).** Europe Gas Tracker 2023. *Globalenergymonitor.org*.
- Muzeau, J.-P., et al. (2010, October).** Actions due to volcanic eruptions
- R., S., P., D., D.M., D., & D., S. (2014).** Pyroclastic Density currents: State of the Art and Perspectives. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 283, 36–65. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.06.014>
- Steven Lawrence Kramer. (1996).** *Geotechnical earthquake engineering*. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
- Trust, P. S. (2019).** Pipeline Basics & Specifics About Natural Gas Pipeline. *Pipeline Briefing Paper*, 2.
- Vallance, J. W. (2000).** Lahars. *Encyclopedia of Volcanoes*.
- Wan, J., et al. (2011).** *The Application of AHP in Oil and Gas Pipeline Route Selection*.
- Λαμασκηνίδου - Γεωργιαλού, Α. (2010).** *Σημειώσεις Υδραυλικής Ανοικτών Αγωγών* (Ε. Σιδηρόπουλος, Ed.).
Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Εκδόσεων. (Original work published 1996)
- Παγούνη, Χ. (2015).** *Συστήματα Μεταφορών με Αγωγούς*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Ρούσης, Μ. (2009).** *Θεωρητική Μελέτη Πολυκριτηριακών Μεθόδων Λήψης Αποφάσεων*. Θεσσαλονίκη.
- Σαραντοπούλου, Κ. (2013).** *Ανάλυση του Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς Φυσικού Αερίου*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.



Ιστοσελίδες

- <https://www.britannica.com/>
- <https://www.watershedcouncil.org/>
- <https://beltps.com/>
- <https://www.kickassfacts.com/>
- <http://naturalgas.org/>
- https://www.gem.wiki/Main_Page
- <https://www.wikipedia.org/>
- <https://equatorstudios.com/>
- <https://www.sciencedirect.com/>
- <https://www.arcgis.com/>
- <https://www.offshore-technology.com/>
- <https://researchgate.net/>
- <https://scholar.google.com/>
- <https://www.iitk.ac.in/>
- <https://books.google.gr/>
- <https://pstrust.org/>
- <https://portal.opentopography.org/>
- <https://www.globaldata.com/>
- <https://www.who.int/>
- <http://www.oasp.gr>
- <http://www.tcenergy.com>
- <https://www.phmsa.dot.gov>