



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ
ΓΙΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ
ΧΑΡΤΩΝ ΜΕΣΑΙΩΝ ΚΛΙΜΑΚΩΝ
ΕΝΟΣ ΦΟΡΕΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΑΡΤΩΝ

Εκπόνηση:
ΓΕΡΟΥΣΗ ΕΙΡΗΝΗ

Αθήνα, 2019



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
DEPARTMENT OF TOPOGRAPHY

Thesis:

CARTOGRAPHIC GENERALIZATION TO CREATE MEDIUM-SCALE MAPS BY A MAP MAKER AGENCY

Preparation:
GEROUSI EIRINI

Athens, 2019

Copyright © Γερούση Ειρήνη, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. *All rights reserved.* Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Copyright © Gerousi Eirini, 2019

All Rights Reserved. It is forbidden to copy, store and distribute this work, in whole or in part, for commercial purposes. Reproduction, storage and distribution are permitted for non-profit, educational or research purposes, provided the source is indicated and this message is retained. Questions concerning the use of this study for profit-making purposes should be addressed to the author.

ΚΕΝΗ ΣΕΛΙΔΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ΓΥΣ: Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού

ΕΧΟ: Εθνικός Χαρτογραφικός Οργανισμός

Ο.Τ.: Οικοδομικό Τετράγωνο

ΣΓΠ: Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών

Φ.Χ.: Φύλλο Χάρτη

ΨΜΕ: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

ICA: International Cartographic Association

NMA: National Mapping Agency

NMCA: National Mapping and Cadastral Agencies

ΡΑΕΚ: Polynomial Approximation with Exponential Kernel

Shp: Shapefile

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία έχει στόχο να εστιάσει στην εφαρμογή της διαδικασίας της χαρτογραφικής γενίκευσης για την παραγωγή χαρτών μικρότερης κλίμακας από χάρτες μεγαλύτερης κλίμακας. Αφορμή για την ενασχόλησή μου με το συγκεκριμένο θέμα υπήρξε η γνωστική επαφή μου με το αντικείμενο της γενίκευσης στα πλαίσια του μαθήματος «Ψηφιακή Χαρτογραφία» του 7^{ου} εξαμήνου φοίτησής μου στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ, καθώς και η επαγγελματική μου ιδιότητα ως αξιωματικού της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ).

Οι γνώσεις που αποκόμισα μέσα στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών της Σχολής καθώς και η εκτενής έρευνα και μελέτη της συναφούς με το θέμα βιβλιογραφίας, οδήγησαν στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, το θέμα της οποίας τέθηκε μετά από συζήτηση και κοινή απόφαση μεταξύ εμού και του επιβλέποντος καθηγητή.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα τελευταία κεφάλαια της παρούσας εργασίας είτε με τη μορφή σχημάτων και εικόνων είτε περιγραφικά, επιλέχθηκαν ώστε να δίνουν στον αναγνώστη να κατανοήσει άμεσα τον τρόπο δόμησης και λειτουργίας των μοντέλων γενίκευσης που δημιουργήθηκαν, με σκοπό την προσπάθεια αυτοματοποίησης της διαδικασίας γενίκευσης ενός τοπογραφικού χάρτη.

Αθήνα, 2019

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Επιθυμώ και θεωρώ σημαντικότερη υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Νάκο Βύρωνα καθώς και την κ. Σκοπελίτη Ανδριανή, τόσο για την καθοδήγησή τους, τις πολύτιμες υποδείξεις και συμβουλές τους ως προς τον τρόπο εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για τις παρατηρήσεις και διορθώσεις τους, για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσαν σε όλη τη διάρκεια αυτής, όσο και για το ειλικρινές ενδιαφέρον και τη γενικότερη συμβολή τους στη διεξαγωγή της εργασίας.

Για την πραγματική διάθεση εξυπηρέτησης, τη χορήγηση των γεωγραφικών δεδομένων και την πολύτιμη βοήθεια στην κατανόηση της φύσης και των ιδιοτήτων των δεδομένων αυτών, θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Διευθυντή της Υποδιεύθυνσης Χαρτογραφίας της ΓΥΣ Τχη (Γ) Χουσιάφη Χρήστο.

Τέλος, ευχαριστώ τους φίλους μου για την αμέριστη ηθική συμπαράσταση που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια φοίτησής μου στη συγκεκριμένο τμήμα.

Η διπλωματική αυτή εργασία είναι αφιερωμένη στον σύζυγο και τους γονείς μου, καθώς τους οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ για τη μέχρι σήμερα αμέριστη συμπαράστασή τους σε όλα τα επίπεδα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να αναδείξει τον πολύ σημαντικό ρόλο που διαδραματίζει η γενίκευση στη γενική διαδικασία δημιουργίας ενός χάρτη (εν προκειμένω τοπογραφικού). Στη χαρτογραφία, η διεργασία με την οποία ένας χάρτης μετατρέπεται σε έναν παράγωγο με μικρότερη κλίμακα από αυτήν του αρχικού, ονομάζεται χαρτογραφική γενίκευση. Η γενίκευση περιγράφει τη μείωση της πολυπλοκότητας σε ένα χάρτη, αποδίδει με έμφαση τα ουσιαστικά χαρακτηριστικά του χώρου, ενώ από την άλλη εξαφανίζει όσα από αυτά δεν είναι σημαντικά, διατηρεί τις λογικές και κατηγορηματικές σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων του χάρτη και, τέλος, διατηρεί την αισθητική του ποιότητα. Η γενίκευση στοχεύει στη δημιουργία χαρτών με τρόπο που η εικόνα του χάρτη να είναι εύκολα αντιληπτή από τον χρήστη και η πληροφορία που μεταφέρει ο χάρτης να καθίσταται κατανοητή.

Είναι γενικά αποδεκτή η διαπίστωση ότι η γενίκευση αποτελεί μια πολύπλοκη χαρτογραφική διεργασία με στόχους που ακόμη και σήμερα δεν έχουν οριστεί με ολοκληρωμένο και κατηγορηματικό τρόπο, λόγω των υποκειμενικών παραγόντων που την καθορίζουν. Τα τελευταία χρόνια, η ανάγκη για μείωση του κόστους παραγωγής δεδομένων και βελτίωση της συντήρησης δεδομένων οδήγησε τους Εθνικούς Οργανισμούς Χαρτογράφησης (National Mapping Agencies - NMAs) στην αναζήτηση και ανάπτυξη αυτοματοποιημένων διαδικασιών γενίκευσης. Σε αυτό το πλαίσιο, η αυτοματοποιημένη γενίκευση είναι ένας σημαντικός στόχος για τους NMAs για να αυξήσουν την αποδοτικότητα της παραγωγής δεδομένων σε πολλαπλές κλίμακες. Ωστόσο, η αυτοματοποιημένη γενίκευση εξακολουθεί να αποτελεί κυρίως αντικείμενο για έρευνα, κατά βάση λόγω των περιορισμών που υφίστανται σε σχέση με την αυτοματοποιημένη γενίκευση.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται η δημιουργία ορισμένων μοντέλων-εργαλείων, τα οποία αυτοματοποιούν σε κάποιον βαθμό τη ροή εργασιών που απαιτείται για τη γενίκευση των βασικότερων θεματικών επι-

πέδων ενός τοπογραφικού χάρτη κλίμακας 1:50.000. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού, είναι αναγκαία και η προσαρμογή των δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Πολλές φορές, τα δεδομένα που έχουμε στη διάθεσή μας είναι ελλιπή και απαιτείται ο εμπλουτισμός τους, η προσθήκη δηλαδή πολύτιμων πληροφοριών στα χαρακτηριστικά τους. Τέτοιο παράδειγμα, το οποίο αναλύεται και στην πορεία της παρούσας εργασίας, μπορεί να αποτελεί ο προσδιορισμός της τάξης των ρεμάτων σε μια περιοχή.

Η εργασία οργανώνεται σε τέσσερα κεφάλαια, απαραίτητα για την ολοκληρωμένη και τεκμηριωμένη ανάπτυξη του θέματος, στα οποία αναπτύσσεται όσο το δυνατόν αναλυτικότερα το αντικείμενο του θέματος. Πιο συγκεκριμένα, η διάρθρωση των κεφαλαίων που συνθέτουν το τεύχος της παρούσας εργασίας είναι η εξής:

§ 1^ο Κεφάλαιο - Χαρτογραφική γενίκευση

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στους ορισμούς που έχουν δοθεί κατά καιρούς από διάφορους επιστήμονες για τη γενίκευση, στα βασικά στοιχεία και τους τελεστές της, καθώς επίσης γίνεται μια σύντομη αναδρομή στην ιστορία της γενίκευσης, παρουσιάζονται οι σύγχρονες τεχνικές της και αναλύονται οι περιορισμοί που την διέπουν.

§ 2^ο Κεφάλαιο - Περιγραφή και αρχική επεξεργασία δεδομένων

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας καθώς και η αρχική επεξεργασία την οποία υπέστησαν.

§ 3^ο Κεφάλαιο - Αυτοματισμός της διαδικασίας γενίκευσης

Στο τρίτο κεφάλαιο εφαρμόζονται οι αλγόριθμοι της γενίκευσης, σε μία προσπάθεια αυτοματοποίησής της και αναλύεται η διαδικασία δημιουργίας των μοντέλων/εργαλείων στο ArcGIS ModelBuilder ανά θεματικό επίπεδο.

§ 4^ο Κεφάλαιο - Αξιολόγηση αποτελέσματος-Συμπεράσματα

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας αναφέρονται βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν ύστερα από την έρευνα στη διεθνή βιβλιογραφία και την εφαρμογή στην πράξη. Εξάγονται συμπεράσματα ως προς τα μοντέλα γενίκευσης που δημιουργήθηκαν, αξιολογείται η αποτελεσματικότητά τους και καταγράφονται προβλήματα που δεν επιλυθήκαν ή προέκυψαν από τη χρήση των μοντέλων.

ABSTRACT

The present thesis aims at showing the very important role of generalization in the basic process of creating a map (in that case topographic). In cartography, the processing, through which a map is converted into a derivative with lower scale than that of the original, is called “cartographic generalization”. The generalization describes the decrease of the complication in a map, it shows elaborately the essential characteristics of space, while – on the other hand – exterminates all of which are not important, preserves the sensible and explicit relationships among the objects of the map and finally maintains its sensitive quality. The generalization points at creating maps in a way that the image of the map to be easily conceivable by the user and the information the map carries to be comprehended.

It is widely accepted the confirmation that generalization consists a complicated cartographical process with goals that have not – until nowadays – been defined with a complete and upright way, because of the subjective factors that determine it. The last few years, the need of reducing data production costs and improving data maintenance, necessitated the development of automated generalization procedures by the National Mapping Agencies (NMAs). Within this context, automated generalization is an important goal for NMAs to increase efficiency of data production at multiple scales. However, automated generalization is still mostly subject to research, mainly due to limitations that NMAs encounter with respect to automated generalization.

In the present thesis, it is attempted to create some models-tools which automate (to some extent) the workflow needed to generalize the most important layers of a topographic map at scale 1:50.000. The adjustment of the available data is needed in order to achieve this goal. Data enrichment is a procedure that is usually used to add valuable information to data features.

One example, which is analyzed in the main body of this thesis, is in determining the order that streams flow through a landscape.

This study is organized in four (4) chapters, necessary for the complete and indicated development of the subject, in which the theme is as better as possible analyzed. More specifically, the chapter structure of this study is the following:

§ Chapter 1 - Cartographic generalization

This chapter mentions the definitions given until now from various scientists for generalization in digital cartography, it reports the basic elements and operators of the generalization, as well as it includes a brief historical recursion and it analyses the restrictions about generalization.

§ Chapter 2 - Description and initial data processing

This chapter describes the data used for this thesis, as well as the initial process they submitted.

§ Chapter 3 - Automation of the cartographic generalization

In the third chapter, generalization algorithms are applied in an effort to automate the generalization workflow. Furthermore, this chapter analyses the creation process of the models/tools in ArcGIS ModelBuilder per layer.

§ Chapter 4 - Outcome evaluation-Conclusions

At the last part of the study there are totally mentioned the basic conclusions that came up after research in the international bibliography. There are reported conclusions concerning to the generalization tools that were developed, to if they are satisfactory relatively to their result and to problems resulting from these automation.

Πίνακας Περιεχομένων

1. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ.....	18
1.1 Τοπογραφικός Χάρτης και Χαρτογραφική Γενίκευση	18
1.2 Βασικά Στοιχεία της Γενίκευσης.....	19
1.3 Σύντομη Αναδρομή στην Ιστορία της Γενίκευσης.....	22
1.4 Χωρικοί Μετασχηματισμοί (Τελεστές) Γενίκευσης.....	26
1.5 Σύγχρονες Προσεγγίσεις για την Επίλυση της Γενίκευσης	29
1.6 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας.....	34
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	35
2.1 Εισαγωγή	35
2.2 Χάρτες της ΓΥΣ για την Περιοχή Μελέτης.....	36
2.3 Χαρτογραφικά Δεδομένα σε Διανυσματική Μορφή κλίμακας 1:50.000.....	38
2.4 Σημειακές Χαρτογραφικές Οντότητες	39
2.5 Γραμμικές Χαρτογραφικές Οντότητες.....	40
2.6 Επιφανειακές Χαρτογραφικές Οντότητες.....	42
3. ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ.....	44
3.1 Εισαγωγή	44
3.2 Γενίκευση Ισοϋψών Καμπυλών	45
3.3 Γενίκευση Υδρολογικού Δικτύου.....	49
3.3.1 Υδρολογικό Δίκτυο Γραμμικής Γεωμετρίας.....	49
3.3.2 Υδρολογικό Δίκτυο Πολυγωνικής Γεωμετρίας.....	58
3.4 Γενίκευση Οδικού Δικτύου.....	59
3.4.1 Γενίκευση Οδικού Δικτύου εντός Οικισμών	60
3.4.2 Γενίκευση Οδικού Δικτύου εκτός Οικισμών	65
3.5 Γενίκευση Οικισμών (σημειακά σύμβολα).....	74
3.6 Γενίκευση Καλλιτεργειών.....	76
4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	82
4.1 Αξιολόγηση Αποτελέσματος	82
4.2 Συμπεράσματα.....	89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	91
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	94

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Η ικανότητα μεταβολής ενός χάρτη δύναται να αναπαρασταθεί με ένα τρίγωνο (αριστερά). Δεξιά, ένα παράδειγμα του πρώτου σημείου γενίκευσης. Κοντά στο όριο ικανότητας, τα ενιαία απλά σπίτια πρέπει να αντικατασταθούν από ολόκληρο τον οικισμό (Πηγή: Jabeur, 2006).....	24
Εικόνα 2: Απόσπασμα χορηγηθέντος Φύλλου Χάρτη ΤΡΙΚΑΛΑ κλίμακας 1:100.000 ΓΥΣ.....	37
Εικόνα 3: Απόσπασμα χορηγηθέντος Φ.Χ.ΤΡΙΚΑΛΑ κλίμακας 1:50.000 ΓΥΣ.....	37
Εικόνα 4: Δημιουργία πολυγώνων των οικισμών από τα επιμέρους κτίρια	40
Εικόνα 5: Επιλογή των επιθυμητών ισοϋψών με Select by Attributes	45
Εικόνα 6: Επιλογή αλγορίθμου απλοποίησης γραμμών και τιμής ανοχής.....	46
Εικόνα 7: Απλοποίηση γραμμών με τον αλγόριθμο Bend Simplify (με μπλε οι απλοποιημένες ισοϋψείς).....	47
Εικόνα 8: Επιλογή αλγορίθμου «σμιλεύματος» αιχμηρών άκρων και τιμής ανοχής	47
Εικόνα 9: Εφαρμογή αλγορίθμου ΡΑΕΚ στις απλοποιημένες ισοϋψείς (με κόκκινο οι νέες ισοϋψείς)	48
Εικόνα 10: Μοντέλο αυτόματης γενίκευσης ισοϋψών καμπυλών	48
Εικόνα 11: Απόσπασμα αποτελέσματος μοντέλου γενίκευσης ισοϋψών (πριν: αριστερά, μετά: δεξιά)	49
Εικόνα 12: Ρύθμιση παραμέτρων στο εργαλείο Topo to Raster	51
Εικόνα 13: Δημιουργία του κανάβου διεύθυνσης απορροής από το ΨΜΕ.....	51
Εικόνα 14: Δημιουργία του κανάβου συγκεντρωτικής ροής από τον κানাβο διεύθυνσης απορροής	52
Εικόνα 15: Ρύθμιση παραμέτρων του εργαλείου Reclassify	53
Εικόνα 16: Δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου σε κανονικοποιημένη δομή, από τον κানাβο συγκεντρωτικής ροής.....	53
Εικόνα 17: Δημιουργία ιεραρχημένου υδρογραφικού δικτύου σε κανονικοποιημένη δομή, από το κανονικοποιημένο αρχείο του υδρογραφικού δικτύου.....	54
Εικόνα 18: Ρύθμιση παραμέτρων στο εργαλείο Spatial Join.....	55
Εικόνα 19: Επιλογή οντοτήτων με πληροφορία ιεράρχησης.....	55
Εικόνα 20: Επιλογή οντοτήτων με grid_code=1 ή 2 ή 3.....	55
Εικόνα 21: Το δοθέν και το γενικευμένο υδρολογικό δίκτυο με πληροφορία ιεράρχησης.....	56
Εικόνα 22: Μοντέλο αυτόματης γενίκευσης γραμμικού υδρολογικού δικτύου	57
Εικόνα 23: Ρύθμιση παραμέτρων στο εργαλείο Collapse Dual Lines to Centerline... ..	58
Εικόνα 24: Δημιουργία μιας κεντρικής γραμμής από τις δύο γραμμές/όχθες του ποταμού με χρήση του εργαλείου Collapse Dual Lines to Centerline.....	58
Εικόνα 25: Ρύθμιση παραμέτρων στο εργαλείο Simplify Line	59
Εικόνα 26: Εφαρμογή αλγορίθμου Bend Simplify σε τμήμα του ποταμού	59
Εικόνα 27: Μοντέλο αυτόματης γενίκευσης υδρολογικού δικτύου (επιφανειακές οντότητες).....	59
Εικόνα 28: Δημιουργία ζώνης επιρροής 50 μέτρων γύρω από τους οικισμούς.....	60
Εικόνα 29: Αποκοπή του οδικού δικτύου στο περίγραμμα των οικισμών	60
Εικόνα 30: Ρύθμιση παραμέτρων στο εργαλείο Thin Road Network.....	62
Εικόνα 31: Επιλογή των δρόμων που διατηρούνται στη νέα κλίμακα	62

Εικόνα 32: Απόσπασμα του απλοποιημένου οδικού δικτύου μετά την εκτέλεση του εργαλείου Thin Road Network.....	63
Εικόνα 33: Απόσπασμα του απλοποιημένου οδικού δικτύου μετά την εκτέλεση του εργαλείου Simplify Line (με κόκκινο διακρίνονται οι απλοποιημένοι δρόμοι)	63
Εικόνα 34: Μοντέλο αυτόματης γενίκευσης οδικού δικτύου εντός οικισμών	64
Εικόνα 35: Η νέα χωρική κλάση του οδικού δικτύου εκτός οικισμών.....	65
Εικόνα 36: Επιλογή τμημάτων του οδικού δικτύου με μήκος μεγαλύτερο ή ίσο των 500μ.....	66
Εικόνα 37: Ρύθμιση παραμέτρων στο εργαλείο Simplify Line	66
Εικόνα 38: Γενικευμένο οδικό δίκτυο εκτός οικισμών (με ροζ τα τμήματα που διαγράφονται)	67
Εικόνα 39: Μοντέλο αυτόματης γενίκευσης οδικού δικτύου εκτός οικισμών	67
Εικόνα 40: Ρύθμιση παραμέτρων στο εργαλείο Thin Road Network.....	69
Εικόνα 41: Επιλογή των δρόμων που διατηρούνται στη νέα κλίμακα	70
Εικόνα 42: Απλοποιημένο οδικό δίκτυο μετά την εκτέλεση του εργαλείου Thin Road Network (με κόκκινο οι δρόμοι που διαγράφονται)	70
Εικόνα 43: Απόσπασμα του απλοποιημένου οδικού δικτύου μετά την εκτέλεση του εργαλείου Simplify Line (με κόκκινο διακρίνονται οι απλοποιημένοι δρόμοι)	71
Εικόνα 44: Σύγκριση των δύο εργαλείων για τη γενίκευση του οδικού δικτύου εκτός οικισμών.....	72
Εικόνα 45: Μοντέλο αυτόματης γενίκευσης οδικού δικτύου εκτός οικισμών με το εργαλείο Thin Road Network.....	73
Εικόνα 46: Αποκοπή (clip) των κτιρίων στα όρια οικισμού	74
Εικόνα 47: Επιλογή παραμέτρων στο εργαλείο Delete Identical του ArcToolbox	75
Εικόνα 48: Γενικευμένα σημειακά κτίρια σε έναν οικισμό της περιοχής μελέτης (με μαύρο σύμβολο αυτά που διατηρούνται στη νέα κλίμακα).....	75
Εικόνα 49: Μοντέλο αυτόματης γενίκευσης κτιρίων	76
Εικόνα 50: Πίνακας περιγραφικών χαρακτηριστικών της δοθείσης feature class για τις καλλιέργειες.....	76
Εικόνα 51: Καθορισμός τιμών παραμέτρων στο εργαλείο Aggregate Polygons	77
Εικόνα 52: Εφαρμογή του εργαλείου Aggregate Polygons σε τμήμα της περιοχής μελέτης.....	77
Εικόνα 53: Καθορισμός τιμών παραμέτρων στο εργαλείο Simplify Polygon	78
Εικόνα 54: Εφαρμογή του εργαλείου Simplify Polygons σε τμήμα της περιοχής μελέτης (με μοβ χρώμα τα νέα πολύγωνα).....	78
Εικόνα 55: Καθορισμός τιμών παραμέτρων στο εργαλείο Smooth Polygon.....	78
Εικόνα 56: Εφαρμογή του εργαλείου Smooth Polygons σε τμήμα της περιοχής μελέτης (με λαχανί χρώμα τα νέα πολύγωνα)	79
Εικόνα 57: Προσθήκη νέου πεδίου στη χωρική κλάση των εξομαλυμένων καλλιεργειών	79
Εικόνα 58: Καταχώρηση της τιμής 1 σε όλες τις οντότητες του πεδίου new_classification	80
Εικόνα 59: Εντοπισμός των τρυπών εντός καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης	80
Εικόνα 60: Απόσπασμα της περιοχής μελέτης όπου διακρίνονται (με κίτρινο χρώμα) οι «τρύπες» εντός των καλλιεργειών.....	80
Εικόνα 61: Μοντέλο αυτόματης γενίκευσης καλλιεργειών	81
Εικόνα 62: Η εργαλειοθήκη EST (Eirini's Suggested Toolbox)	82

Εικόνα 63: Οι παράγωγες ισοΰψεις (αριστερά) σε σύγκριση με τις ισοΰψεις του δοθέντος Φύλλου Χάρτη κλίμακας 1:100.000 (δεξιά).....	83
Εικόνα 64: Δυσλειτουργίες του μοντέλου αυτόματης γενίκευσης του γραμμικού υδρολογικού δικτύου.....	84
Εικόνα 65: Οπτική σύγκριση γενικευμένου γραμμικού υδρολογικού δικτύου (αριστερά) με το δοθέν Φ.Χ. κλίμακας 1:100.000 ΓΥΣ (δεξιά)	85
Εικόνα 66: Οπτική σύγκριση γενικευμένου υδρολογικού δικτύου πολυγωνικής γεωμετρίας (πάνω) με το δοθέν Φ.Χ. κλίμακας 1:100.000 ΓΥΣ (κάτω).....	85
Εικόνα 67: Οπτική σύγκριση γενικευμένου οδικού δικτύου εντός οικισμών (αριστερά) με το δοθέν Φ.Χ. κλίμακας 1:100.000 ΓΥΣ (δεξιά)	86
Εικόνα 68: Οπτική σύγκριση γενικευμένου οδικού δικτύου εκτός οικισμών (αριστερά) με το δοθέν Φ.Χ. κλίμακας 1:100.000 ΓΥΣ (δεξιά)	87
Εικόνα 69: Παράδειγμα ασυνέχειας γενικευμένου οδικού δικτύου στην είσοδο οικισμού.....	87
Εικόνα 70: Παράδειγμα ασυνέχειας γενικευμένου οδικού δικτύου στην είσοδο οικισμού.....	88
Εικόνα 71: Παραδείγματα bottle necks στην περιοχή μελέτης	88

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1: Συνοπτική παρουσίαση του εννοιολογικού μοντέλου ψηφιακής γενίκευσης των McMaster and Shea	25
Σχήμα 2: Παράδειγμα απλοποίησης γραμμών με απαλοιφή κορυφών.....	94
Σχήμα 3: Κριτήρια ανίχνευσης κρίσιμων κορυφών	95
Σχήμα 4: Η γραμμή αναφοράς για την παρουσίαση αλγορίθμων απλοποίησης.....	95
Σχήμα 5: Ο αλγόριθμος ν-οστού σημείου και τυχαίας επιλογής σημείων	97
Σχήμα 6: Ο αλγόριθμος της απόστασης μεταξύ σημείων και ο αλγόριθμος της κάθετης απόστασης	98
Σχήμα 7: Ο αλγόριθμος της γωνιακής μεταβολής κάθε κορυφής.....	98
Σχήμα 8: Ο αλγόριθμος της απαλοιφής σημείων με επιλογή της απόστασης	99
Σχήμα 9: Ο αλγόριθμος Reumann-Witkam.....	100
Σχήμα 10: Ο αλγόριθμος απλοποίησης Orheim.....	101
Σχήμα 11: Ο αλγόριθμος απλοποίησης Lang	102
Σχήμα 12: Ο αλγόριθμος απλοποίησης Douglas-Peucker.....	103
Σχήμα 13: Ο αλγόριθμος Visvalingam-Whyatt	104

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Τελεστές γενίκευσης ανά είδος γεωμετρίας των χωρικών οντοτήτων.....	27
Πίνακας 2: Χωρικοί μετασχηματισμοί – Τελεστές γενίκευσης.....	28
Πίνακας 3: Χάρτες της ΓΥΣ για την περιοχή μελέτης (raster αρχεία)	37
Πίνακας 4: Βασικές χαρτογραφικές οντότητες στις δύο κλίμακες.....	38
Πίνακας 5: Θεματικά επίπεδα αρχικής βάσης δεδομένων-βοηθητική πληροφορία..	39
Πίνακας 6: Χορηγηθέντα δεδομένα	43
Πίνακας 7: Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα της απλοποίησης για διαφορετικούς αλγορίθμους απλοποίησης γραμμών.....	104

1. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ

1.1 Τοπογραφικός Χάρτης και Χαρτογραφική Γενίκευση

Αν οι χάρτες χρησιμεύουν για να διευκρινίσουν το ρόλο του χώρου και του τόπου στο ανθρώπινο ταξίδι, οι χάρτες που δημιουργήθηκαν για την παρατήρηση της τοπογραφίας - του σχήματος και του χαρακτήρα της γήινης επιφάνειας - ήταν μεταξύ των πρώτων που έγιναν. Συμβολίζανε τοπία πολύ πριν από την εισαγωγή επιστημονικών μεθόδων στη χαρτογραφία, όταν η ιδέα της σχεδίασης σε μια καθορισμένη κλίμακα έφερε επανάσταση στην τοπογραφική χαρτογράφηση τον δέκατο έκτο αιώνα. Οι τοπογραφικοί χάρτες στη συνέχεια έγιναν όλο και πιο χρήσιμα εργαλεία για την εξερεύνηση, την κατανόηση και τον έλεγχο του περιβάλλοντος, όπως για παράδειγμα η συστηματική *Carte Géométrique de la France* που εκπονήθηκε από διάφορες γενιές της οικογένειας Cassini σε κλίμακα 1:86.400 από το 1750 έως το 1815, χρησιμεύοντας ως πρότυπο και έμπνευση για άλλα ευρωπαϊκά κράτη. Η συνάφεια των τοπογραφικών πληροφοριών παρείχε το κίνητρο για πολλές πρωτοβουλίες στη χάραξη κρατικών χαρτών, ιδιαίτερα για στρατιωτικούς και κτηματολογικούς σκοπούς. Σταδιακά, αναπτύχθηκαν ερευνητικές μέθοδοι για την ενσωμάτωση της φωτογραμμετρίας και της χαρτογραφικής παραγωγής που βελτιώθηκαν με την έγχρωμη λιθογραφική εκτύπωση, ώστε να θεωρηθούν οι τοπογραφικοί χάρτες ως το «υπέρτατο επίτευγμα της σύγχρονης εποχής της χαρτογραφίας» (Jervis, 1936).

Σήμερα, οι τοπογραφικοί χάρτες διατηρούν τη μοναδική τους «ηγετική» θέση μεταξύ των χαρτογραφικών προϊόντων. Αυτή η αρχή, βέβαια, προέρχεται εν μέρει από την προφανή επιστημονική ακρίβεια με την οποία τα σύμβολα στο χάρτη αντιστοιχούν στα χαρακτηριστικά του πραγματικού κόσμου. Οργανώσεις, όπως στρατιωτικοί ή/και εθνικοί φορείς χαρτογράφησης και κτηματογράφησης (National Mapping and Cadastral Agencies - NMCA), είναι συνήθως υπεύθυνες για τη διατήρηση της πλήρους και λεπτομερούς τοπογραφικής χαρτογράφησης της επικράτειας μια χώρας. Αυτό περιλαμβάνει την εξασφάλιση της τήρησης των προτύπων χαρτογραφικής ακρίβειας στην απεικόνιση φυσικών και πολιτιστικών χαρακτηριστικών, όπως νερό, βλάστηση, μεταφορές, αστικές περιοχές και τοπωνύμια. Η σειρά τοπογραφικών χαρτών σε μια χώρα προσφέρει τοπογραφικές πληροφορίες από μεγάλες σε μικρές κλίμακες και παρέχει ένα χωρικό πλαίσιο αναφοράς για άλλα δεδομένα σχετικά με τη γη και τους πόρους της. Εξυπηρετούν πολλούς σκοπούς, όπως σχεδιασμό και διαχείριση υποδομών, διαχείριση πόρων, δημογραφική ανάλυση, ψυχαγωγικές δραστηριότητες και

στρατιωτικό σχεδιασμό. Οι σειρές τοπογραφικών χαρτών έχουν ένα εθνικά σταθερό εύρος κλιμάκων, πληροφοριών γεωδαιτικής βάσης (π.χ. ελλειψοειδές), προβολής, συμβολισμού και περιεχομένου. Λόγω της περιεκτικής περιγραφής του τοπίου και του ευρέος φάσματος χρήσεων και χρηστών, οι τοπογραφικοί χάρτες είναι εξαιρετικά πολύπλοκοι χάρτες με πολυάριθμα χαρακτηριστικά γνωρίσματα.

Όπως προαναφέρθηκε, ένας χάρτης απεικονίζει μια γεωγραφική πραγματικότητα υπό ορισμένη κλίμακα και για κάποιον συγκεκριμένο σκοπό. Η πραγματικότητα αυτή δεν μπορεί να αντιπροσωπευθεί επακριβώς όταν μειώνεται η κλίμακα του χάρτη. Πράγματι, επειδή οι χάρτες έχουν μικρότερη κλίμακα από τα φαινόμενα που αναπαριστούν, οι πληροφορίες τους περιορίζονται στο τι δύναται να απεικονιστεί γραφικά στην κλίμακά τους. Η μείωση της κλίμακας όμως, συχνά, συνεπάγεται και λιγότερες πιθανότητες για έναν ευανάγνωστο χάρτη, γεγονός που καθιστά έπειτα αναγκαίες κάποιες τροποποιήσεις/επεμβάσεις προκειμένου να βελτιωθεί. Η διαδικασία κατά την οποία εφαρμόζονται αυτές οι μεταβολές και προσαρμόζεται η πληροφορία στην κλίμακα του χάρτη είναι γνωστή ως *χαρτογραφική γενίκευση* (cartographic generalization) όταν προορίζεται να παράγει δεδομένα για χαρτογραφική απεικόνιση (Bader, 2001). Είναι πάντως γενικά αποδεκτή η διαπίστωση πως πρόκειται για μια πολύπλοκη χαρτογραφική διεργασία με στόχους οι οποίοι δεν είναι ολοκληρωτικά και κατηγορηματικά ορισμένοι, λόγω της υποκειμενικότητας που την διέπει. Ο Keates (1989) αναφέρει ότι «η γενίκευση αποτελεί θεμελιώδες χαρτογραφικό πρόβλημα αλλά και δυνατό εργαλείο για τη μετάβαση σε χάρτες μικρότερης κλίμακας...».

1.2 Βασικά Στοιχεία της Γενίκευσης

Ορισμοί της Γενίκευσης

Στο Multilingual Dictionary του Διεθνούς Χαρτογραφικού Οργανισμού (International Cartographic Association – ICA, 1973) αναφέρεται ο ακόλουθος σύντομος ορισμός για τη γενίκευση:

«η επιλογή και η απλοποιημένη απόδοση των λεπτομερειών σύμφωνα με την κλίμακα ή/και το σκοπό του χάρτη».

Από την άλλη, οι McMaster and Sea (1992) δίνουν έναν άλλο γενικό ορισμό της γενίκευσης:

«Ως ψηφιακή γενίκευση μπορεί να οριστεί η διαδικασία δημιουργίας, από ένα σύνολο αρχικών δεδομένων, ενός παράγωγου συνόλου χαρτογραφικών δεδομένων κωδικοποιημένων με

συμβολικό ή ψηφιακό τρόπο, με εφαρμογή χωρικών μετασχηματισμών ή μετασχηματισμών των ιδιοτήτων τους».

Στο σχετικό ορισμό που δόθηκε από τον Hettner (1962) αναφέρεται ότι «η χαρτογραφική γενίκευση είναι διαφορετική από την έννοια της γενίκευσης στη φιλοσοφία. Η γενίκευση αρχικά θέτει ερωτήματα ως προς την επιλογή των πληροφοριών. Η επιλογή αυτή υλοποιείται μερικώς με την απλοποίηση των χαρτογραφικών στοιχείων και μερικώς με την αφαίρεση των στοιχείων που έχουν μικρές διαστάσεις και των στοιχείων που αποτελούν λιγότερο σημαντική πληροφορία». Στην άποψη αυτή δεν διευκρινίζεται η σημασία των εκφράσεων «στοιχεία μικρών διαστάσεων» και «λιγότερο σημαντική πληροφορία». Ο Tobler (1964) υποστηρίζει την ανάγκη «...σύλληψης των σημαντικών χαρακτηριστικών της κατηγορίας των αντικειμένων...». Ο Lundqvist (1958) όσο και ο Robinson (1952) αναφέρονται στη σημασία των «χαρακτηριστικών» ως βασική έννοια της γενίκευσης.

Αναλύοντας τους ορισμούς που αναφέρονται στη βιβλιογραφία σχετικά με τη γενίκευση, αναδεικνύονται τέσσερις βασικές παράμετροι που καθορίζουν τη χαρτογραφική γενίκευση, τις οποίες αναφέρει ο Keates (1989): η κλίμακα του χάρτη και οι γραφικές απαιτήσεις (που αφορούν καθαρά μετρήσιμα μεγέθη) και ο χαρακτήρας και η σπουδαιότητα των χωρικών στοιχείων (είναι κυρίως υποκειμενικές αποφάσεις του εκάστοτε χαρτογράφου).

- Η χαρτογραφική κλίμακα (αντικειμενική παράμετρος): η κλίμακα του τελικού/παράγωγου χάρτη επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη γενίκευση που θα εφαρμοστεί. Είναι προφανές ότι όσο μικρότερη είναι η κλίμακα του τελικού χάρτη τόσο περισσότερη και η απαιτούμενη γενίκευση. Τα αποτελέσματα της γενίκευσης είναι περισσότερο εμφανή στους χάρτες μικρής κλίμακας.
- Οι γραφικές προδιαγραφές των χαρτογραφικών συμβόλων (αντικειμενική παράμετρος): η μείωση της κλίμακας συνεπάγεται την ελάττωση της χαρτογραφικής επιφάνειας. Προκειμένου όμως ο χάρτης να είναι ευανάγνωστος, τα μεγέθη των συμβόλων δεν μειώνονται με ανάλογο τρόπο. Βέβαια, η μείωση του μεγέθους των συμβόλων επιδρά αρνητικά στην ευκρινειά τους, η οποία εξαρτάται από τις οπτικές μεταβλητές του μεγέθους, του χρώματος και του σχήματος, χαρακτηριστικά τα οποία, με τη σειρά τους, καθορίζουν την αντίθεσή τους με το υπόβαθρο του χάρτη. Οι διαστάσεις των συμβόλων αποτελούν μεν σημαντική οπτική μεταβλητή και κατά συνέπεια αξιοποιούνται για τη διαφοροποίηση των συμβόλων, όμως ο σκοπός του χάρτη επίσης επηρεάζει

τη γραφική έμφαση. Για παράδειγμα, στους τοπογραφικούς χάρτες στους οποίους δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο οδικό δίκτυο και την ταξινόμησή του (με δεδομένο ότι η πληροφορία αυτή είναι χρήσιμη σε οποιονδήποτε αναγνώστη), είναι εβλογη η επιλογή συμβόλων υψηλής αντίθεσης, περισσότερο από κάθε άλλη κατηγορία χαρτών στους οποίους δεν ισχύει το δεδομένο αυτό. Είναι κατανοητό πως οι γραφικές απαιτήσεις επηρεάζονται από τη θεώρηση της σπουδαιότητας των στοιχείων και την ιδιαίτερη χρήση και κατηγορία του χάρτη.

- Ο γεωμετρικός «χαρακτήρας» των χαρτογραφικών στοιχείων (υποκειμενική παράμετρος): τα χαρτογραφικά στοιχεία έχουν έναν εγγενή γεωμετρικό χαρακτήρα. Σε αυτόν περιλαμβάνεται, μεταξύ άλλων, η κατανομή, η συχνότητά τους και οι ιδιότητές τους, στοιχεία που πιθανώς να οδηγήσουν σε μεγέθυνση ή μετάθεσή τους στον παράγωγο χάρτη. Για παράδειγμα, ο γεωμετρικός χαρακτήρας μιας αστικής περιοχής αφορά στη ρυμοτομία της και την πυκνότητα των κτιρίων, ο χαρακτήρας της γραμμής που αναπαριστά την ακτογραμμή διαφέρει από έναν δρόμο του επαρχιακού δικτύου ή μια σιδηροδρομική γραμμή, τα περιγράμματα των κτιρίων έχουν μια ιδιαίτερη «γεωμετρία». Είναι σημαντικό να διατηρείται αυτός ο γεωμετρικός «χαρακτήρας» των στοιχείων σε όλες τις κλίμακες και να είναι βέβαια μέσα στα όρια οπτικής αντίληψης του αναγνώστη, διότι, κατ' αυτόν τον τρόπο, διευκολύνεται και η διαδικασία ερμηνείας του χάρτη.
- Η σπουδαιότητα των χαρτογραφικών στοιχείων (υποκειμενική παράμετρος): ο βαθμός σπουδαιότητας ενός στοιχείου επηρεάζει τόσο την επιλογή του (χαρτογραφική γενίκευση) όσο και τη γραφική του έμφαση (συμβολισμός). Η σπουδαιότητα λειτουργεί σε δύο επίπεδα: (1) στην εκτίμηση της σχετικής σπουδαιότητας των στοιχείων της ίδιας κατηγορίας και (2) στην εκτίμηση της σχετικής σπουδαιότητας μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών. Συνεπώς, ένα μικρό χωριό πιθανόν μπορεί να παραλειφθεί σε μια πυκνοκατοικημένη περιοχή όπου υπάρχουν πολλά χωριά, όμως ενδεχομένως να πρέπει να διατηρηθεί αν συμπίπτει με το τέλος ενός δρόμου σε μια αγροτική περιοχή. Με άλλα λόγια, η σπουδαιότητα των χαρτογραφικών στοιχείων καθορίζεται από τη θέση τους και την τυχόν αλληλεπίδρασή τους με άλλα στοιχεία (π.χ. μεμονωμένα κτίρια, κτίρια σε οικισμό), αλλά και από τα περιγραφικά τους χαρακτηριστικά (π.χ. πληθυσμός για τους οικισμούς).

Στοιχεία της Γενίκευσης

Πριν από οποιαδήποτε παρέμβαση του χαρτογράφου στα χαρτογραφικά στοιχεία του πρωτογενούς/βασικού χάρτη, θα πρέπει να προηγηθεί μια επιλογή των στοιχείων εκείνων που κρίνονται απαραίτητα για τον τελικό χάρτη, ανάλογα πάντα με την κλίμακα και τον σκοπό του τελευταίου. Συνεπώς, θα μπορούσαμε να πούμε πως η διαδικασία της γενίκευσης περιλαμβάνει δύο φάσεις: την *επιλογή των πληροφοριών* που θα αποδοθούν (*σημσιολογική γενίκευση*) και τη (*γεωμετρική*) *γενίκευση* των στοιχείων που επελέγησαν. Σύμφωνα με τον Robinson (*Elements of Cartography*, 1978), η φάση της γεωμετρικής γενίκευσης υλοποιείται σε πέντε επιμέρους στάδια, που αποτελούν και τα στοιχεία της γενίκευσης:

- **Ταξινόμηση** ή αλλιώς ιεράρχηση, μέσω της οποίας τα χωρικά στοιχεία κατατάσσονται, διαβαθμίζονται και ομαδοποιούνται σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά τους ή τις τιμές των χαρακτηριστικών τους.
- **Απλοποίηση**, με την οποία επιτυγχάνεται ο καθορισμός των σημαντικότερων χαρακτηριστικών των χωρικών στοιχείων και η απαλοιφή της ανεπιθύμητης πληροφορίας.
- **Υπερβολή**, με την οποία ενισχύονται και τονίζονται τα σημαντικά χαρακτηριστικά των χωρικών στοιχείων.
- **Συμβολισμός**, δηλαδή η γραφική κωδικοποίηση της πληροφορίας και η τοποθέτησή της στην επιφάνεια του χάρτη.
- **Επαγωγή**, που αφορά στην εξαγωγή λογικών συμπερασμάτων έπειτα από ανάλυση της πληροφορίας του χάρτη. Αποτελεί το πιο αφηρημένο στοιχείο και με αυτήν επεκτείνεται το περιεχόμενο ενός χάρτη και πέρα από όσα έχουν συνειδητά αποδοθεί από τον χαρτογράφο στα όριά του.

1.3 Σύντομη Αναδρομή στην Ιστορία της Γενίκευσης

Η πρώτη μελέτη σχετικά με τη χαρτογραφική γενίκευση δημοσιεύθηκε το 1921 από τον Γερμανό χαρτογράφο Eckert και αναφέρει πως η γενίκευση γεφυρώνει την επιστημονική με την καλλιτεχνική πλευρά της χαρτογραφίας, δεδομένου ότι εμπεριέχει και την υποκειμενική άποψη του χαρτογράφου. Το 1942 ο Αμερικανός γεωγράφος Wright περιγράφει τη γενίκευση ως μια διαδικασία που επηρεάζει άμεσα την επιστημονική ακεραιότητα των χαρτών και αποτελείται από δύο στοιχεία: την απλοποίηση και την ενίσχυση. Ουσιαστικά, πρόκειται για την πρώτη προσπάθεια να καθοριστούν οι μετασχηματιστές (οι λεγόμενοι τελεστές) της γενίκευσης. Είκοσι χρόνια μετά, ο καθη-

γητής Raisz υποστηρίζει ότι οι επιμέρους λειτουργίες της γενίκευσης είναι τρεις (απλοποίηση, απλοποίηση, συνδυασμός), αλλά ταυτόχρονα δεν διέπεται από κανόνες.

Σημείο αναφοράς στην ιστορία της χαρτογραφίας αποτελούν οι μελέτες του καθηγητή γεωγραφίας Arthur Robinson, ο οποίος μελέτησε επί σειρά ετών τα θέματα της γενίκευσης (1953-1995), εκδίδοντας το σημαντικό βιβλίο *Elements of Cartography*. Στις μελέτες του Robinson στηρίχθηκαν και οι σπουδαστές χαρτογράφοι McMaster and Sea.

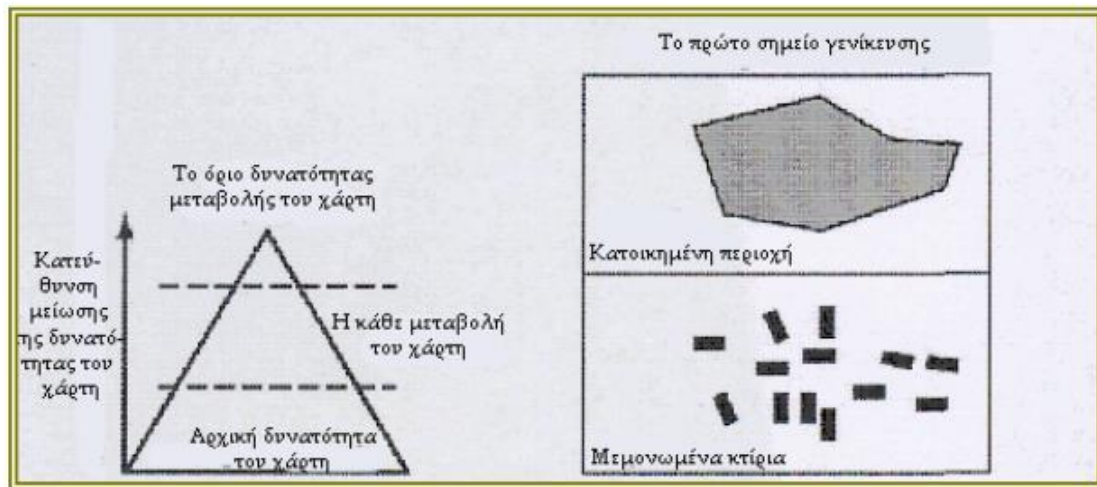
Το 1989 ο Βρετανός χαρτογράφος Keates αναφέρει στο βιβλίο του “*Cartographic Design and Production*” πέντε τελεστές της γενίκευσης: την επιλογή, την απλοποίηση, τον συνδυασμό, τη μεγέθυνση και τη μετάθεση. Όπως και ο Robinson, ο Keates κάνει αναφορά στις παραμέτρους που επηρεάζουν τη διαδικασία της γενίκευσης (κλίμακα, γραφικές απαιτήσεις, χαρακτήρας, σπουδαιότητα) και είναι αυτός που πρότεινε τις δύο εναλλακτικές προσεγγίσεις για την εφαρμογή της γενίκευσης, οι οποίες αναφέρθηκαν στην παράγραφο 1.2.

Η εξέλιξη όμως της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών τη δεκαετία του 1970 άρχισε να επηρεάζει και το πεδίο της χαρτογραφίας, με τους χαρτογράφους να προσπαθούν να σκεφτούν τρόπους για την αυτοματοποίησή της. Σύμφωνα με τον Cecconi (2003), οι πρώτες προσπάθειες για αυτοματοποιημένη γενίκευση στόχευαν στην επίλυση περιορισμένων, ειδικών προβλημάτων, κυρίως για τα γραμμικά ή σημειακά και επιφανειακά χαρακτηριστικά. Από την άλλη, ορισμένοι χαρτογράφοι πρότειναν κάποια εννοιολογικά μοντέλα για την καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας γενίκευσης. Ένα τέτοιο μοντέλο πρότεινε το 1967 ο Ratajski, προσδιορίζοντας δύο βασικά είδη γενίκευσης:

1. Την ποσοτική γενίκευση, κατά την οποία μειώνεται σταδιακά το περιεχόμενο του χάρτη, ανάλογα με την αλλαγή της κλίμακας, και
2. Την ποιοτική γενίκευση, που αφορά στον μετασχηματισμό του συμβολισμού σε πιο αφαιρετική μορφή.

Στη μελέτη του ο Ratajski υποστηρίζει πως η ικανότητα μεταβολής/αλλαγής ενός χάρτη μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα τρίγωνο, η βάση του οποίου αντιπροσωπεύει την μέγιστη ικανότητα και η κορυφή του τα όρια της ικανότητας των χαρτών. Η [Εικόνα 1](#) επεξηγεί το μοντέλο γενίκευσης που πρότεινε ο Ratajski: όταν η ικανότητα του χάρτη είναι κοντά στο όριο (δηλαδή στην κορυφή του τριγώνου), τότε πρέπει να

εφαρμοστεί μια νέα χαρτογραφική μέθοδος, προκειμένου να αρχίσει ένας νέος κύκλος γενίκευσης.



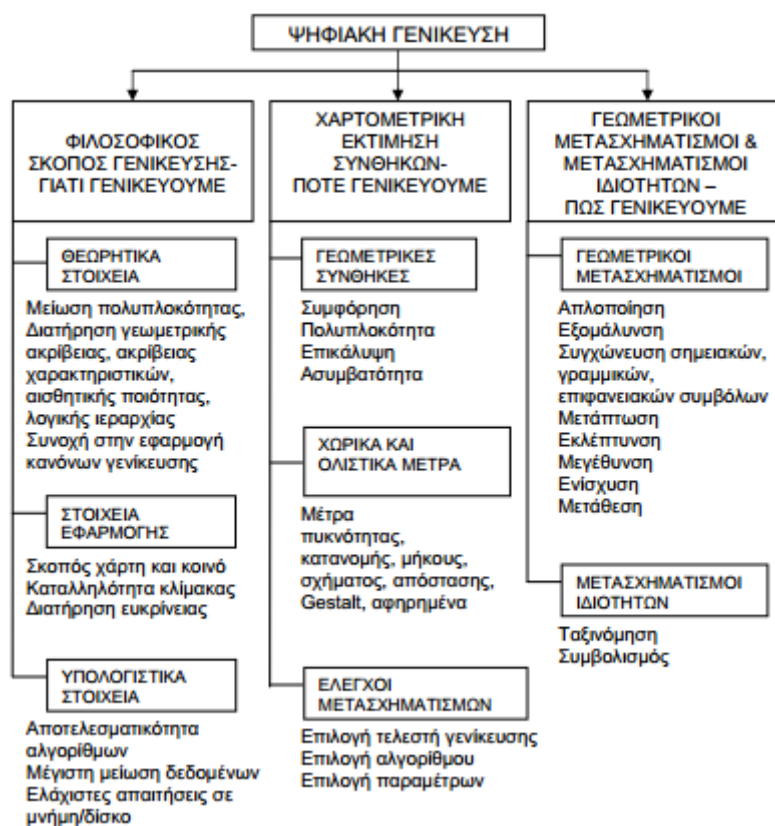
Εικόνα 1: Η ικανότητα μεταβολής ενός χάρτη δύναται να αναπαρασταθεί με ένα τρίγωνο (αριστερά). Δεξιά, ένα παράδειγμα του πρώτου σημείου γενίκευσης. Κοντά στο όριο ικανότητας, τα ενιαία απλά σπίτια πρέπει να αντικατασταθούν από ολόκληρο τον οικισμό (Πηγή: Jabeur, 2006)

Ορισμένοι συγγραφείς πρότειναν διάφορα μοντέλα για τη διαδικασία της γενίκευσης σε ψηφιακό περιβάλλον, τα οποία προσφέρουν τη βάση για καλύτερη κατανόηση της σύνθετης και περιεκτικής διαδικασίας της γενίκευσης.

Οι Brassel and Weibel (1988) ανέπτυξαν ένα από τα πιο λεπτομερή εννοιολογικά μοντέλα γενίκευσης χαρτών. Αρχικά, πρέπει να γίνει καλύτερα κατανοητή η διαδικασία αναγνώρισης βασικών χαρακτηριστικών. Η κατανόηση της γενίκευσης σημαίνει, αφενός την εξαγωγή των χαρακτηριστικών δομών των χωρικών οντοτήτων για να προσδιοριστεί η διαδικασία τροποποίησης αυτών των δομών και αφετέρου, να τυποποιηθεί αυτή η διαδικασία της τροποποίησης σε διάφορα βήματα λειτουργιών. Το εννοιολογικό πλαίσιο εργασίας πρότεινε πέντε χωριστές διαδικασίες γενίκευσης: (α) την αναγνώριση της δομής, (β) την αναγνώριση της διαδικασίας, (γ) την μοντελοποίηση της διαδικασίας, (δ) την εκτέλεση της διαδικασίας και (ε) την απεικόνιση των δεδομένων.

Μια πρώτη προσπάθεια για την αυτοματοποίηση της χαρτογραφικής γενίκευσης αποτέλεσε το εννοιολογικό μοντέλο γενίκευσης των McMaster and Shea (1992). Σύμφωνα με αυτούς, το συγκεκριμένο μοντέλο αποτελείται από τρεις συνιστώσες: 1) τον αντικειμενικό σκοπό της γενίκευσης (μια εκτίμηση του *γιατί* πρέπει να γενικεύουμε), 2) τις αντικειμενικές συνθήκες κατά την γενίκευση (το *πότε* να γενικεύουμε) και 3) την διαδικασία της γενίκευσης (το *πώς* να γενικεύουμε).

Ειδικότερο αντικείμενο ανάλυσης στην παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί η τρίτη συνιστώσα, η οποία θα αναλυθεί λεπτομερώς σε επόμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 1: Συνοπτική παρουσίαση του εννοιολογικού μοντέλου ψηφιακής γενίκευσης των McMaster and Shea (Πηγή: McMaster and Shea, 1992)

Σήμερα, η αυτοματοποίηση της διαδικασίας γενίκευσης είναι ένα σημαντικό ζήτημα για τους Εθνικούς Χαρτογραφικούς Οργανισμούς (ΕΧΟ), που αποσκοπεί τόσο στη μείωση του κόστους παραγωγής τοπογραφικών δεδομένων όσο και στη βελτίωση της διατήρησής τους. Σε αυτό το πλαίσιο, η όποια προσπάθεια αυτοματοποίησης της γενίκευσης δίνει στους ΕΧΟ τη δυνατότητα να αυξήσουν την αποδοτικότητα της παραγωγής δεδομένων σε πολλαπλές κλίμακες. Ωστόσο, η αυτοματοποιημένη γενίκευση εξακολουθεί να αποτελεί κυρίως αντικείμενο για έρευνα και μόνο συγκεκριμένα ερευνητικά αποτελέσματα έχουν εφαρμοστεί στην πράξη. Σε αρκετούς χαρτογραφικούς οργανισμούς, έχουν αυτοματοποιηθεί συγκεκριμένες λειτουργίες γενίκευσης, χωρίς όμως να υπάρχουν πλήρως αυτοματοποιημένες διαδικασίες γενίκευσης. Οι ΕΧΟ της Καταλονίας, της Δανίας, της Γερμανίας, της Γαλλίας και της Μεγάλης Βρετανίας έχουν κάνει σημαντικά βήματα προς την αυτοματοποιημένη γενίκευση, με την προσαρμογή του διαθέσιμου λογισμικού τους ή την ανάπτυξη των δικών τους αλγορίθμων. Στη Μεγάλη Βρετανία τα αποτελέσματα υλοποιήθηκαν μόνο σε ερευνητικό περιβάλλον.

Ένα σημαντικό συμπέρασμα όλων των ΕΧΟ είναι ότι θα απαιτείται πάντοτε η ανθρώπινη αλληλεπίδραση για τη βελτίωση των αυτοματοποιημένων αποτελεσμάτων. Αξίζει να αναφερθούν τα επιτεύγματα της Δανίας για αυτόματη γενίκευση των δεδομένων κλίμακας 1:50.000 από δεδομένα κλίμακας 1:10.000 με ελάχιστη ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Μπορούν να παράγουν μια πλήρη νέα σειρά φύλλων χάρτη 1:50.000 σε λιγότερο από 18 μήνες. Η Δανία προετοιμάζει επίσης νέα δεδομένα κλίμακας 1:100.000 γενικευμένα από τα δεδομένα κλίμακας 1:50.000.

Σύμφωνα με τους Foerster et. (2010), τρεις είναι οι λόγοι για τη δυσκολία εφαρμογής των αποτελεσμάτων της έρευνας στην πράξη, όσον αφορά στην αυτοματοποίηση της γενίκευσης:

- Πρώτον, τα ερευνητικά αποτελέσματα πρέπει να εφαρμοστούν σε εμπορικό λογισμικό ώστε να διατίθενται στους χαρτογραφικούς οργανισμούς, αλλά οι απαιτήσεις γενίκευσης είναι πολύ διαφορετικές και συγκεκριμένες για κάθε χαρτογραφικό οργανισμό, ανάλογα με τα μοντέλα δεδομένων, το λογισμικό, τις αρχικές και τελικές κλίμακες κλπ. Είναι δύσκολο για τους πωλητές λογισμικού να παρέχουν μια γενική λύση, ενώ λαμβάνουν υπόψη τις μεμονωμένες απαιτήσεις κάθε οργανισμού. Αυτό σημαίνει επίσης ότι οι ΕΧΟ πρέπει να επενδύσουν στην οικοδόμηση εξειδίκευσης και δεξιοτήτων για να προσαρμόσουν το λογισμικό της γενίκευσης.
- Η έρευνα πάνω στη γενίκευση περιορίζεται συχνά σε συγκεκριμένα θέματα ή επιλογές από σύνολα δεδομένων. Στην πράξη, η γενίκευση εφαρμόζεται σε υπάρχοντα χωρικά δεδομένα (datasets) που ενδέχεται να περιέχουν σφάλματα ή να έχουν περιορισμούς σε σχέση με τη γενίκευση (π.χ. έλλειψη προσανατολισμού των αντικειμένων, έλλειψη σημασιολογικών, γεωμετρικών και τοπολογικών σχέσεων μεταξύ αντικειμένων κλπ.).
- Ο τελευταίος λόγος για την δύσκολη εισαγωγή των αποτελεσμάτων της έρευνας στην πράξη είναι η υποκειμενικότητα της γενίκευσης. Όταν δύο χαρτογράφοι έχουν τους ίδιους κανόνες γενίκευσης για την ίδια περιοχή, είναι βέβαιο ότι θα έχουν διαφορετικά αποτελέσματα γενίκευσης.

1.4 Χωρικοί Μετασχηματισμοί (Τελεστές) Γενίκευσης

Η χαρτογραφική γενίκευση υλοποιείται μέσω των τελεστών, δηλαδή τεχνικών - μετασχηματισμών που μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα ενιαίο χωρικό αντικείμενο ή σε μια ομάδα χωρικών αντικειμένων και να τροποποιήσουν τη γεωμετρία τους

(Cecconi, 2003). Σημαντικές διαφορές μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία τόσο όσον αφορά στον αριθμό των τελεστών γενίκευσης, όσο και στην ορολογία που χρησιμοποιείται για να τους περιγράψει. Οι επικρατέστεροι τελεστές με χωρικό χαρακτήρα είναι οι εξής δέκα, σύμφωνα με τους McMaster and Shea:


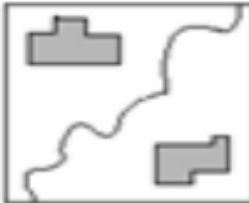
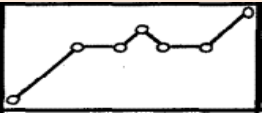
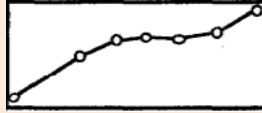





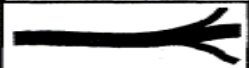
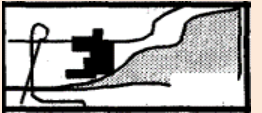

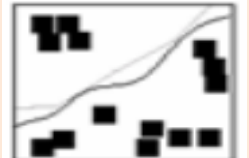
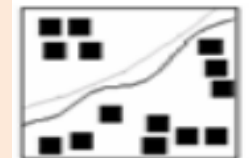

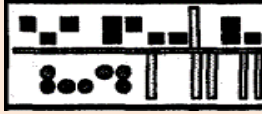
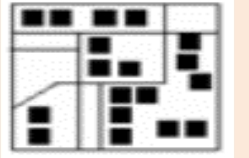
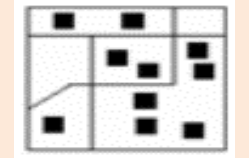
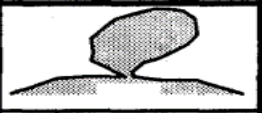
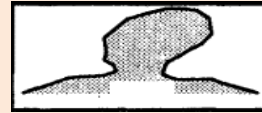
- απλοποίηση,
- εξομάλυνση,
- συγχώνευση σημειακών συμβόλων,
- συγχώνευση γραμμικών συμβόλων,
- συγχώνευση επιφανειακών συμβόλων,
- μετάπτωση διαστάσεων,
- βελτίωση,
- τυποποίηση,
- ενίσχυση γεωμετρίας και
- μετάθεση

Ανάλογα με τη γεωμετρία των χωρικών οντοτήτων, οι τελεστές που εφαρμόζονται σε κάθε μία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

Σημειακές Οντότητες	Γραμμικές Οντότητες	Επιφανειακές Οντότητες
Συνένωση	Απλοποίηση	Απλοποίηση
Μετάθεση	Εξομάλυνση	Εξομάλυνση
Μετάθεση	Συνένωση	Συνένωση
	Μετάθεση	Μετάθεση
	Τυποποίηση	Τυποποίηση
	Ενίσχυση γεωμετρίας	Ενίσχυση γεωμετρίας
		Μετάπτωση διαστάσεων

Πίνακας 1: Τελεστές γενίκευσης ανά είδος γεωμετρίας των χωρικών οντοτήτων

Η έρευνα για την αυτοματοποίηση της χαρτογραφικής γενίκευσης οδήγησε στην ανάπτυξη ενός μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων αλγορίθμων γενίκευσης που υλοποιούν τους παραπάνω τελεστές.

Τελεστής	Περιγραφή	Απόδοση στην αρχική κλίμακα	Απόδοση στην τελική κλίμακα
Απλοποίηση	Αποβολή των περιττών λεπτομερειών της γεωμετρίας ενός χωρικού αντικειμένου, χωρίς παραμόρφωση της αρχικής του μορφής		
Εξομάλυνση	Εφαρμογή σε γραμμικά και επιφανειακά σύμβολα με σκοπό να απομακρυνθούν μικρές διαταραχές των γραμμών. Τα σημεία που τις αποτελούν μετατίθενται, ώστε η γενικευμένη γραμμή να έχει καλύτερη αισθητική εμφάνιση		
Συνένωση σημειακών οντοτήτων	Συνένωση κοντικών και παρακείμενων αντικειμένων ίδιας φύσεως, σε ένα νέο, ενιαίο αντικείμενο, όταν ο αριθμός ή η ποικνότητά τους δεν επιτρέπει τον συμβολισμό καθενός χωριστά στον γενικευμένο χάρτη		
Συνένωση γραμμικών οντοτήτων			
Συνένωση επιφανειακών οντοτήτων			
Μετάπτωση διαστάσεων	Αποσύνθεση χαρακτηριστικών n διαστάσεων σε n-1 ή ακόμη και σε n-2 διαστάσεις		
Μετάθεση	Μετακίνηση αντικειμένων για την επίλυση συγκρούσεων / επικαλύψεων μεταξύ αντικειμένων που είναι πολύ κοντά ή για να διατηρηθεί η γειτνίαση και η τοπολογία		
Βελτίωση	Αλλαγή και προσαρμογή της γεωμετρίας ή της εμφάνισης ενός στοιχείου με σκοπό τη βελτίωση της αισθητικής του εντύπωσης και την εξασφάλιση της συμφωνίας του με την πραγματικότητα. Παραδείγματα αποτελούν η εξομάλυνση μιας γραμμής, η αλλαγή του προσανατολισμού και της διάταξης ενός σημειακού συμβόλου, η διόρθωση των γωνιών τομής μιας ισόψυδος και ενός ποταμού κ.ο.κ.		
Τυποποίηση (Typification)	Μείωση της ποικνότητας των χωρικών αντικειμένων, καθώς και των επιπέδων λεπτομερείας τους, διατηρώντας την αντιπροσωπευτική μορφή διανομής τους		
Ενίσχυση γεωμετρίας	Ενίσχυση μιας συγκεκριμένης γεωμετρίας μιας οντότητας, η οποία κρίνεται σκόπιμο να αναπαρασταθεί στον παράγωγο χάρτη		

Πίνακας 2: Χωρικοί μετασχηματισμοί – Τελεστές γενίκευσης (Πηγή: Σκοπελίτη 2017, Κουκουσέλα 2007)

1.5 Σύγχρονες Προσεγγίσεις για την Επίλυση της Γενίκευσης

Αυτή η υποενότητα αναφέρεται στις ερευνητικές προσπάθειες, προκειμένου να σχηματιστεί μια ολοκληρωμένη διαδικασία γενίκευσης. Σημαντικά ερωτήματα αποτελούν: πότε χρησιμοποιούνται οι αλγόριθμοι γενίκευσης και πώς τους ενεργοποιούμε και τους ελέγχουμε.

Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά τρεις προσεγγίσεις αντιμετώπισης της συνολικής διαδικασίας γενίκευσης:

- ✓ Συνθήκη-δράση (condition-action modelling): μια διαδικασία condition-action αποτελείται από δύο φάσεις: τη δομική αναγνώριση (κατάσταση) και την εκτέλεση (δράση). Στη φάση της δομικής αναγνώρισης πραγματοποιείται η ταυτοποίηση αντικειμένων και σχέσεων μεταξύ των αντικειμένων. Με βάση τις προσδιορισμένες συνθήκες, ενεργοποιούνται αλγόριθμοι γενίκευσης στη φάση της εκτέλεσης.
- ✓ Ανθρώπινη αλληλεπίδραση (human interaction modelling): η μοντελοποίηση ανθρώπινης αλληλεπίδρασης βασίζεται στην αρχή ότι ο γνωστικός φόρτος εργασίας μπορεί να μοιραστεί μεταξύ υπολογιστή και ανθρώπου. Ο υπολογιστής συνήθως εκτελεί τις εργασίες που μπορούν να είναι επαρκώς τυποποιημένες για να μεταφερθούν σε αλγόριθμους, ενώ ο άνθρωπος αναλαμβάνει την ευθύνη για την καθοδήγηση και τον έλεγχο του λογισμικού.
- ✓ Περιορισμοί (constraint based modelling): σε έναν γενικευμένο χάρτη πρέπει να πληρούνται αρκετές απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις αυτές μπορούν να λειτουργήσουν ως περιορισμοί στη διαδικασία γενίκευσης. Μια προσέγγιση βασισμένη σε περιορισμούς επιδιώκει μια λύση γενίκευσης που να ικανοποιεί όσο το δυνατόν περισσότερους από τους περιορισμούς.

Μεταξύ των προαναφερθέντων μεθόδων μοντελοποίησης και των προκατόχων τους υπάρχει μια ιστορική εξέλιξη. Η προσέγγιση συνθήκη-δράση ήταν μια βελτίωση σε σχέση με την προγενέστερη προσέγγιση με μια προκαθορισμένη σειρά διεργασιών (batch process modelling). Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση παρουσιάζει ένα σοβαρό μειονέκτημα: τη δυσκολία απόκτησης γνώσης (ειδικά όσον αφορά στη διαδικαστική γνώση). Αυτός ήταν ο κύριος λόγος για την εξέλιξη της προσέγγισης της ανθρώπινης αλληλεπίδρασης. Σε αυτό το μοντέλο, ο άνθρωπος είναι ο κύριος συντελεστής της διαδικαστικής γνώσης. Ωστόσο, αποδείχθηκε ότι η προσέγγιση της ανθρώπινης αλληλεπίδρασης δε βελτίωσε σημαντικά την παραγωγικότητα (δεδομένου του υψηλού

βαθμού ανθρώπινης αλληλεπίδρασης), επισημαίνοντας την ανάγκη για μια νέα μέθοδο μοντελοποίησης της διαδικασίας γενίκευσης. Επί του παρόντος, ο κύριος στόχος της έρευνας γύρω από την αυτοματοποιημένη γενίκευση είναι η προσέγγιση βασισμένη σε περιορισμούς. Οι δυνατότητες αυτής της μεθόδου μοντελοποίησης σε περιβάλλον παραγωγής έχουν εν μέρει αποδειχθεί, αλλά πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω.

Αυτοματοποίηση της γενίκευσης με βάση περιορισμούς

Ένας γενικευμένος χάρτης πρέπει να ικανοποιεί αρκετούς περιορισμούς. Η βασική φιλοσοφία πίσω από τη μοντελοποίηση που βασίζεται σε περιορισμούς είναι να αφήσουμε αυτές τις συνθήκες να λειτουργήσουν ως περιορισμοί στη διαδικασία γενίκευσης. Για παράδειγμα, ένας γενικευμένος χάρτης θα μπορούσε να ικανοποιεί περιορισμούς όπως:

- Οι κύριοι δρόμοι του οδικού δικτύου πρέπει να έχουν επίπεδο λεπτομέρειας περίπου 10 μέτρων.
- Οι τοπικές οδοί (δρόμοι γειτονιάς) δεν πρέπει να εκπροσωπούνται στο χάρτη.
- Τα κτίρια με επιφάνεια μικρότερη των 80 τετραγωνικών μέτρων δεν θα πρέπει να αναπαρίστανται στο χάρτη.
- Η πλησιέστερη απόσταση μεταξύ ενός κτιρίου και οποιουδήποτε άλλου αντικείμενου πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 μέτρα.

Οι παραπάνω περιορισμοί είναι παρόμοιοι με τους κανόνες που αναφέρονται στη προσέγγιση συνθήκη-δράση. Γενικά, η διάκριση μεταξύ κανόνων και περιορισμών είναι: οι κανόνες ορίζουν τι πρέπει να γίνει σε μια διαδικασία, ενώ οι περιορισμοί τονίζουν τι αποτελέσματα πρέπει να επιτευχθούν. Ωστόσο, αυτή η διάκριση δεν είναι πάντα τόσο ξεκάθαρη. Η κύρια διαφορά μεταξύ της κατάστασης-δράσης και της μοντελοποίησης που βασίζεται σε περιορισμούς έγκειται στον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούνται οι κανόνες/περιορισμοί για την πραγματοποίηση της γενίκευσης. Στη μοντελοποίηση της κατάστασης-δράσης κάθε συνθήκη συνδέεται με μια συγκεκριμένη ενέργεια, ενώ στη μοντελοποίηση βασιζόμενη σε περιορισμούς η γενίκευση καθορίζεται από μια σύνθεση συνθηκών (Ruas και Plazanet, 1996) αφήνοντας περισσότερη ευελιξία στον ορισμό της μεθόδου με την οποία ικανοποιούνται αυτές οι συνθήκες (περιορισμοί).

Υπάρχουν δύο βασικές απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί ένας γενικευμένος χάρτης. Πρώτον, θα πρέπει να αποτελεί μια σωστή, αν και αφηρημένη, αναπαράσταση μιας φυσικής πραγματικότητας. Δεύτερον, ο χάρτης θα πρέπει να είναι αναγνώσιμος από το χρήστη. Εάν δεν λαμβάνονται υπόψη και οι δύο αυτές απαιτήσεις, ο χάρτης δεν θα είναι υψηλής ποιότητας. Κατά συνέπεια, απαιτούνται τόσο περιορισμοί αναπαράστασης-απόδοσης όσο και περιορισμοί αναγνωσιμότητας του χάρτη.

Η όλη διαδικασία μοντελοποίησης της γενίκευσης με βάση τους περιορισμούς αυτούς μπορεί να θεωρηθεί ως εξής: ο αρχικός χάρτης θεωρείται ότι είναι σωστός, πράγμα που συνεπάγεται ότι πληρούνται οι περιορισμοί σχετικά με την απόδοση της πραγματικότητας που αναπαριστά. Αλλά ο χάρτης αυτός είναι υπερβολικά λεπτομερής και πρέπει να γενικευθεί. Δηλαδή, οι περιορισμοί της αναγνωσιμότητας του χάρτη παραβιάζονται σοβαρά. Στη διαδικασία της γενίκευσης, ο χάρτης μετασχηματίζεται προκειμένου να μειωθούν οι παραβιάσεις του χάρτη που αφορούν σε περιορισμούς αναγνωσιμότητας. Αυτή η μετατροπή οδηγεί με τη σειρά της σε μικρές παραβιάσεις των περιορισμών αναπαράστασης. Έτσι, ο γενικευμένος χάρτης αποτελεί τελικά έναν συμβιβασμό μεταξύ καλής αναγνωσιμότητας και καλής αναπαράστασης.

Ένας αριθμός ερευνητών συνέβαλλαν στην ανάπτυξη μοντέλων γενίκευσης με βάση τους περιορισμούς. Η Beard (1991) εισήγαγε την έννοια των **περιορισμών**. Σύμφωνα με αυτήν, η διάκριση μεταξύ κανόνων και περιορισμών είναι ότι «ένας περιορισμός δεν είναι συνδεδεμένος σε μία συγκεκριμένη ενέργεια. Ο γενικός κανόνας είναι ότι όλοι οι περιορισμοί πρέπει να ικανοποιούνται ή να επιλύονται, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί και οποιοσδήποτε αριθμός ενεργειών για να τους επιλύσει».

Αυτοί οι περιορισμοί είναι μεταφράσεις των απαραίτητων όρων οι οποίοι πρέπει να λαμβάνουν υπόψη όχι μόνο τα αντικείμενα αλλά και τον σκοπό και την τελική κλίμακα ενός χάρτη. Διάφοροι συγγραφείς έχουν κατηγοριοποιήσει τους τύπους των περιορισμών. Η Beard (1991) οργάνωσε τους περιορισμούς σε *τέσσερις* κατηγορίες:

- *περιορισμοί γραφικών,*
- *περιορισμοί εφαρμογής,*
- *δομικοί περιορισμοί και*
- *διαδικαστικοί περιορισμοί.*

Οι Ruas and Plazanet (1996) επικεντρώθηκαν μόνο στους περιορισμούς τους σχετικούς με τα αντικείμενα και προσπάθησαν να κατανοήσουν την οντολογία των περιορισμών

αυτών σε συνδυασμό με τη διαδικασία γενίκευσης. Διέκριναν *τέσσερα* είδη περιορισμών:

- ο την δυνατότητα για *ευανάγνωστο χάρτη* (καθορίζουν το κατώτατο όριο δυνατότητας αντίληψης των αντικειμένων του χάρτη από τον χρήστη),
- ο τη *μορφή/το σχήμα* (ορίζουν τις σημαντικές πληροφορίες της μορφής που πρέπει να διατηρηθούν),
- ο τους *χωρικούς περιορισμούς* (καθορίζουν τη θέση ενός ή πολλών αντικειμένων σε σχέση με ένα άλλο) και
- ο τους *σημασιολογικούς περιορισμούς*.

Οι Weibel and Dutton (1998) αντιλήφθηκαν έναν περιορισμό ως μια προδιαγραφή σχεδίασης και τον όρισαν ως «έναν περιορισμό που μειώνει τον αριθμό αποδεκτών λύσεων σε ένα πρόβλημα». Οι προδιαγραφές αυτές είναι περιορισμοί (Weibel and Dutton 1998) που οι χαρτογράφοι πρέπει να εξετάσουν. Οι περιορισμοί είναι σχετικοί με την ακρίβεια, την κλίμακα και τον σκοπό του παραγόμενου χάρτη, καθώς επίσης και με το μέσο απεικόνισής του. Για παράδειγμα, όταν παράγεται ένας χάρτης για τουριστική χρήση, προτεραιότητα δίνεται στο εννοιολογικό περιεχόμενο (στη σημασία δηλαδή του περιεχομένου) του χάρτη. Αυτός ο τύπος περιεχομένου δεν απαιτεί την εφαρμογή σύνθετων τελεστών/τεχνικών οι οποίοι προσφέρουν υψηλή γεωμετρική ακρίβεια. Αφετέρου, τέτοιοι τελεστές μπορεί να απαιτηθούν όταν παράγεται ένας χάρτης για στρατιωτική ή κτηματολογική χρήση. Επιπλέον, οι περιορισμοί είναι σχετικοί με τη μεταχείριση του ευανάγνωστου των χωρικών αντικειμένων (αντιληπτό το κατώτατο όριο των αντικειμένων), τα σχήματα, τις χωρικές σχέσεις και τη σημασιολογία.

Οι Weibel and Dutton (1998) κατέταξαν τους περιορισμούς σε *τέσσερις* κατηγορίες:

- ο *γραφικοί*: καθορίζουν το ελάχιστο μέγεθος και πλάτος και κατευθύνονται από τα γραφικά όρια,
- ο *τοπολογικοί*: εξασφαλίζουν ότι διατηρείται η υπάρχουσα τοπολογική σχέση μεταξύ των αντικειμένων,
- ο *δομικοί*: ορίζουν κριτήρια περιγράφοντας τη χωρική και σημασιολογική δομή, και
- ο *περιορισμοί κατά την διαδικασία*: κυρίως δείχνουν πώς επιλέγονται οι τελεστές και τοποθετούνται διαδοχικά.

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι είναι δύσκολο, ακόμα και αδύνατο, να ικανοποιηθούν όλοι οι περιορισμοί κατά τη διάρκεια της χαρτογραφικής γενίκευσης, είναι σημαντικό να προσδιοριστούν εκείνοι που αποτελούν προτεραιότητα όσον αφορά στο σκοπό και την κλίμακα του χάρτη. Συνεπώς, είναι πασιφανές πως δεν υπάρχει ακόμη τέλεια λύση για τη μοντελοποίηση της συνολικής διαδικασίας γενίκευσης. Είναι πιθανό να εξελιχθεί μια νέα μέθοδος μοντελοποίησης που μπορεί να αντικαταστήσει ή να συμπληρώσει το πρότυπο μοντελοποίησης βάσει περιορισμών. Ωστόσο, υπάρχουν ακόμη αρκετές βελτιώσεις που θα μπορούσαν να γίνουν για να αυξηθεί η χρησιμότητα και η απόδοση της μοντελοποίησης που βασίζεται σε περιορισμούς. Οι παρακάτω είναι μερικοί από τους τομείς που θεωρείται από την επιστημονική κοινότητα ότι απαιτούν περαιτέρω έρευνες για την επέκταση της προσέγγισης:

Βελτιώσεις των περιορισμών

Μέχρι σήμερα ο κύριος περιορισμός των τεχνικών που βασίζονται σε περιορισμούς είναι οι περιορισμοί των ίδιων των περιορισμών. Σημαντικοί χαρτογραφικοί περιορισμοί πρέπει ακόμη να οριστούν, άλλοι είναι κακώς καθορισμένοι. Απαιτείται περισσότερη εργασία για τη διατύπωση περιορισμών για ομάδες αντικειμένων. Οι εργασίες σχετικά με την αναγνώριση προτύπων και τους περιορισμούς για τη διατήρηση των χαρτογραφικών προτύπων θα είναι ιδιαίτερα σημαντικές στο πλαίσιο αυτό.

Εμπλουτισμός Βάσεων Δεδομένων

Αρκετοί ΕΧΟ εργάζονται επί του παρόντος για τη δημιουργία δεσμών μεταξύ των βασικών χαρτογραφικών τους συνόλων δεδομένων και εξωτερικών συνόλων δεδομένων, όπως κτίρια, τα κτηματολογικά μητρώα και βάσεις δεδομένων για τις οδικές μεταφορές. Αυτή η εξέλιξη θα παράσχει περισσότερες σημασιολογικές πληροφορίες που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία γενίκευσης. Επιπλέον, τα χαρτογραφικά σύνολα δεδομένων θα μπορούσαν να εμπλουτιστούν περαιτέρω με την ενσωμάτωση πληροφοριών που μπορούν να εξαχθούν σε διαδικασίες αναγνώρισης σχεδίων και δομών.

Υπολογιστική αποδοτικότητα

Πολλές μελλοντικές εφαρμογές, όπως η χαρτογράφηση ιστού ή οι υπηρεσίες βασισμένες σε τοποθεσίες, απαιτούν λύσεις γενίκευσης σε πραγματικό χρόνο. Οι τεχνικές γενίκευσης σε πραγματικό χρόνο σήμερα εξετάζουν μόνο απλά θέματα γενίκευσης. Θα πρέπει να διεξαχθούν μελέτες για τη χρήση ισχυρότερων τεχνικών περιορισμού για

εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο (Harrie, 2005). Επιπρόσθετα, μελέτες για τη βελτίωση της υπολογιστικής αποτελεσματικότητας αυτών των τεχνικών είναι απαραίτητες.

1.6 Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας

Η ΓΥΣ, ως ο εθνικός γεωγραφικός φορέας, διαθέτει, εκτός των άλλων, σειρές τοπογραφικών χαρτών γενικής χρήσης σε αναλογική μορφή διαφόρων χρονολογιών και κλιμάκων (1:25.000, 1:50.000, 1:100.000, 1:250.000, 1:500.000, 1:1.000.000). Επιπλέον, διαθέτει διανυσματικά δεδομένα χαρτών κλίμακας 1:50.000 από ψηφιοποιήσεις σαρωμένων χαρτών ή από πρωτογενή δεδομένα. Η κάλυψη αφορά όλη τη χώρα ενώ για τις κλίμακες 1:50.000 και 1:100.000 υπάρχουν και διαβαθμισμένα Φ.Χ., τα οποία χορηγούνται στο κοινό κατόπιν ειδικής άδειας.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, θα μελετηθεί η αυτοματοποίηση της παραγωγής της σειράς 1:100.000 από την σειρά 1:50.000. Αρχικός σκοπός είναι η καταγραφή της διαδικαστικής γνώσης του συγκεκριμένου ΕΧΟ για την χαρτογραφική γενίκευση από την 1:50.000 στην 1:100.000, όπως καταγράφεται από τα υπάρχοντα Φ.Χ. Η εργασία βασίζεται στην συγκριτική μελέτη χαρτών των δύο κλιμάκων για την ίδια περιοχή, ώστε να καταγραφούν οι χαρτογραφικές οντότητες όπως εμφανίζονται στις δύο κλίμακες, όσον αφορά στη γεωμετρία, τις περιγραφικές ιδιότητες αλλά και το συμβολισμό. Στη συνέχεια, θα καταγραφούν οι αλλαγές και θα γίνει εκτίμηση των τελεστών γενίκευσης που θα πρέπει να εφαρμοστούν. Πρόκειται δηλαδή, όπως προαναφέρθηκε, για τη δημιουργία διαδικαστικής γνώσης. Έπειτα, θα μελετηθεί η δημιουργία εργαλείων στα πλαίσια ενός ΣΓΠ που υποστηρίζουν τις επιθυμητές διαδικασίες γενίκευσης. Τα εργαλεία θα εφαρμοστούν στα δεδομένα της περιοχής μελέτης και θα ελεγχθούν. Σε ορισμένες περιπτώσεις για την εφαρμογή της γενίκευσης απαιτείται ο εμπλουτισμός των δεδομένων με επιπλέον πληροφορίες που δεν υπάρχουν στη βάση χαρτογραφικών δεδομένων. Προς αυτή την κατεύθυνση θα γίνουν προσπάθειες εμπλουτισμού των δεδομένων σε επίπεδο δομικής γνώσης. Τέλος, για την αξιολόγηση του αποτελέσματος, τα χωρικά δεδομένα που θα προκύψουν ως αποτελέσματα των εργαλείων γενίκευσης θα συγκριθούν, με εφαρμογή του προδιαγεγραμμένου συμβολισμού, με τον αρχικό χάρτη.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Η ποιότητα και η ποσότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση ενός χάρτη, καθώς και μια σειρά άλλων παραγόντων όπως ο σκοπός, η κλίμακα του χάρτη και τα γραφικά όρια, αποτελούν μια σειρά εξωτερικών δυνάμεων οι οποίες επιδρούν στη διαδικασία της γενίκευσης.

Βασική προϋπόθεση είναι τα χαρτογραφικά δεδομένα του «χάρτη-πηγή» (κλίμακας 1:50.000) από τον οποίο θα προσπαθήσουμε να εξαγάγουμε τον παράγωγο χάρτη (κλίμακας 1:100.000), να είναι αξιόπιστα και ακριβή, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ορθότητα της πληροφορίας. Εκτός από την ποιότητα όμως, η διεργασία της γενίκευσης επηρεάζεται και από την ποσότητα των διαθέσιμων πληροφοριών. Αν οι διαθέσιμες πληροφορίες είναι ανεπαρκείς, τότε οδηγούμαστε στη δημιουργία «φτωχών» χαρτών με λίγες πληροφορίες προς τον αναγνώστη.

Για τους παραπάνω λόγους, στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια παρουσίαση - με κριτική ματιά - των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και περιγράφονται κάποια στάδια επεξεργασίας που κρίθηκαν απαραίτητα, προκειμένου να έρθουν τα δεδομένα σε μορφή τέτοια ώστε να διευκολυνθεί η μετέπειτα προσπάθεια αυτοματοποίησης της διαδικασίας γενίκευσης.

Το σύνολο των γεωγραφικών δεδομένων χορηγήθηκε από την Υποδιεύθυνση Χαρτογραφίας της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ), η οποία αποτελεί τον αρχαιότερο και πλέον αξιόπιστο Χαρτογραφικό Οργανισμό της χώρας. Τα επιμέρους στάδια της όλης εργασίας πραγματοποιήθηκαν μέσα από το περιβάλλον του ArcGIS, για την εισαγωγή, την σύνθεση, την επεξεργασία, την ανάλυση και την παρουσίαση των δεδομένων, με τη βοήθεια των κατάλληλων εργαλείων (ArcMap 10.5 - ArcCatalog 10.5).

Ως περιοχή μελέτης ορίστηκε η ευρύτερη περιοχή των Τρικάλων, λόγω της διαθεσιμότητας και της πληρότητας των δεδομένων από την πλευρά της ΓΥΣ. Πρόκειται για μία αρκετά αντιπροσωπευτική περιοχή, με τόσο πεδινά τμήματα στην έκτασή της, όσο και με έντονο ανάγλυφο στο βορειοανατολικό τμήμα της, πλούσιο οδικό και υδρολογικό δίκτυο και αρκετές κατηγορίες χρήσεων γης. Το γεγονός ότι στερείται ακτογραμμής, έγινε προσπάθεια να ισοσταθμιστεί με τη μελέτη ενός αρκετά μεγάλου μήκους

τμήματος του Πηνειού ποταμού που διασχίζει την περιοχή μελέτης στο νότιο τμήμα της.

2.2 Χάρτες της ΓΥΣ για την Περιοχή Μελέτης

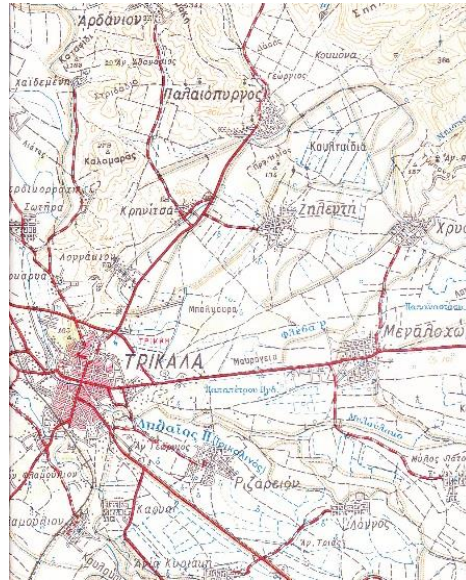
Από τη ΓΥΣ χορηγήθηκαν δύο χάρτες των ΤΡΙΚΑΛΩΝ κλίμακας 1:50.000 (ένας του 1974 και ένας του 2016) και ένας κλίμακας 1:100.000 του 1972, ο οποίος όμως δεν προέκυψε από γενίκευση του αντίστοιχου χάρτη 1:50.000, αλλά με τη χρήση άλλων ανεξάρτητων δεδομένων. Ως εκ τούτου, η εξαγωγή συμπερασμάτων για τις διαδικασίες γενίκευσης που πιθανόν λαμβάνουν χώρα κατά τη μετάβαση από τη μία κλίμακα στην άλλη, στηρίζονται αποκλειστικά και μόνο στην οπτική ανάγνωση των δύο χαρτών και στην προσωπική μου εκτίμηση.

Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί πως, σύμφωνα με τις οδηγίες της ΓΥΣ, χαρτογραφικά στοιχεία που εμφανίζονται στους χάρτες της ενδεχομένως να μην αναφέρονται στο υπόμνημα (το οποίο είναι κοινό και για τις δύο κλίμακες) και, αντίστροφα, ενδέχεται στοιχεία του υπομνήματος ενός από τους δοθέντες χάρτες, να μην εμφανίζονται στο υπόμνημα, καθώς το υπόμνημα αφορά όλη τη σειρά χαρτών κάθε κλίμακας.

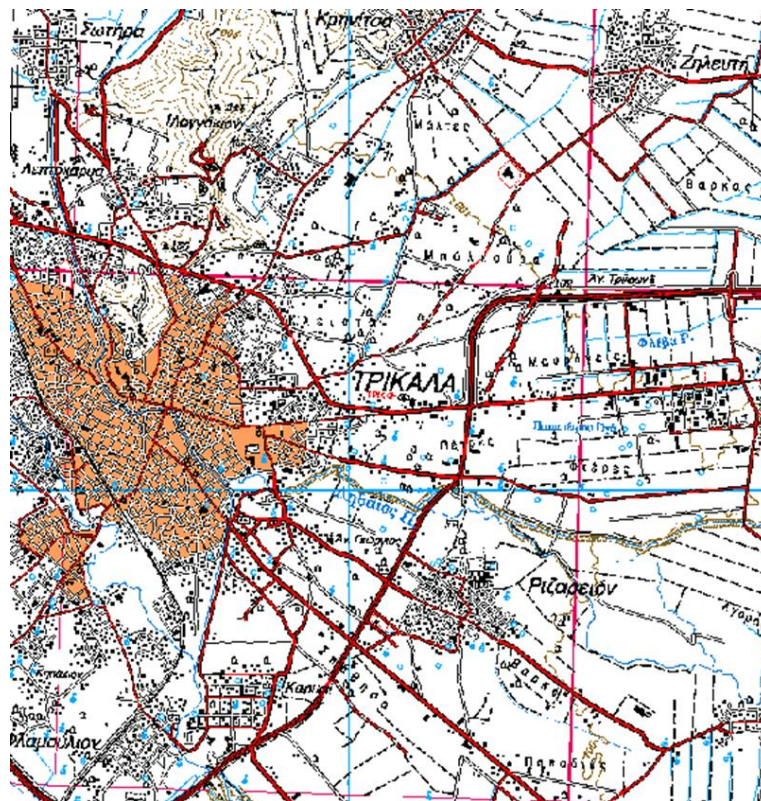
A/A	Όνομα Αρχείου	Περιγραφή	Παρατηρήσεις
1	trikala.tif	Φ.Χ. ΤΡΙΚΑΛΑ 1:100.000 (1972, γενικής χρήσης, Εικόνα 2)	Δόθηκε σε σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87 και με βάση το shp Plaisio_clip κόπηκε στα όρια της περιοχής μελέτης
2	360n.tif	Φ.Χ. ΤΡΙΚΑΛΑ 1:50.000 (1974, γενικής χρήσης)	Δόθηκε σε σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87 και με βάση το shp Plaisio_clip κόπηκε στα όρια της περιοχής μελέτης
3	trikalgen201905507.pdf	Φ.Χ. ΤΡΙΚΑΛΑ 1:50.000 (2016, γενικής χρήσης, Εικόνα 3)	Δόθηκε από τη ΓΥΣ σε μορφή PDF. Με τη βοήθεια του AcrCatalog έγινε μετατροπή σε tif, στη συνέχεια έγινε γεωαναφορά χρησιμοποιώντας ως GCPs 4 σημεία του κανάβου. Σύστημα αναφοράς: ΕΓΣΑ '87 Με clip (βάσει του shp Plaisio_clip)

			κόπηκε στα όρια της περιοχής μελέτης.
--	--	--	---------------------------------------

Πίνακας 3: Χάρτες της ΓΥΣ για την περιοχή μελέτης (raster αρχεία)



Εικόνα 2: Απόσπασμα χορηγηθέντος Φύλλου Χάρτη ΤΡΙΚΑΛΑ κλίμακας 1:100.000 ΓΥΣ



Εικόνα 3: Απόσπασμα χορηγηθέντος Φύλλου Χάρτη ΤΡΙΚΑΛΑ κλίμακας 1:50.000 ΓΥΣ

Στον Πίνακα 4 παρατίθεται μια καταγραφή των βασικών χαρτογραφικών οντοτήτων που εμφανίζονται στις δύο κλίμακες, ως προς τη γεωμετρία και τις ιδιότητές τους, με βάση αφενός την μελέτη των ψηφιακών δεδομένων (για την κλίμακα 1:50.000) και αφετέρου το υπόμνημα και την οπτική ανάγνωση του δοθέντος ΦΧ (για την κλίμακα 1:100.000).

Θεματικό Επίπεδο	Κλίμακα 1:50.000	Κλίμακα 1:100.000
Οικισμοί	<u>Γεωμετρία</u> : σημειακή <u>Επιμέρους κτίρια</u>	<u>Γεωμετρία</u> : σημειακή <u>Επιμέρους κτίρια</u>
Οδικό Δίκτυο	<u>Γεωμετρία</u> : γραμμική <u>Κατηγορίες</u> : 5 (βάσει δεδομένων), 12 (βάσει υπομνήματος)	<u>Γεωμετρία</u> : γραμμική <u>Κατηγορίες</u> : 12 (βάσει υπομνήματος)
Υδρολογικό Δίκτυο	<u>Γεωμετρία</u> : γραμμική <u>Κατηγορίες</u> : 2 ως προς το είδος και 3 ως προς την εποχικότητα της ροής	<u>Γεωμετρία</u> : γραμμική <u>Κατηγορίες</u> : 2 (βάσει υπομνήματος)
Ισοϋψείς Καμπόλες	<u>Γεωμετρία</u> : γραμμική <u>Κατηγορίες</u> : 2	<u>Γεωμετρία</u> : γραμμική <u>Κατηγορίες</u> : 2
Ποτάμι	<u>Γεωμετρία</u> : επιφανειακή	<u>Γεωμετρία</u> : γραμμική
Καλλιέργειες	<u>Γεωμετρία</u> : επιφανειακή <u>Κατηγορίες</u> : 1 (στην περιοχή μελέτης)	<u>Γεωμετρία</u> : επιφανειακή <u>Κατηγορίες</u> : 1 (στην περιοχή μελέτης)

Πίνακας 4: Βασικές χαρτογραφικές οντότητες στις δύο κλίμακες

Η γεωμετρία και οι ιδιότητες των χαρτογραφικών οντοτήτων στην κλίμακα 1:100.000 αποτελούν μια εκτίμηση με βάση το υπόμνημα του δοθέντος χάρτη και την ανάγνωση του χάρτη. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο τρόπος παραγωγής των τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:100.000 που ακολουθείται από τη ΓΥΣ, δηλαδή από πρωτογενή δεδομένα που συλλέγονται αποκλειστικά για αυτή την κλίμακα και όχι ιδανικά με γενίκευση των αντίστοιχων χαρτών κλίμακας 1:50.000, καθώς και η μεγάλη χρονολογική απόκλιση που υπάρχει μεταξύ των δύο δοθέντων Φ.Χ. (1972 για το 1:100.000 και 2016 για το 1:50.000), αποτέλεσαν τους δύο κύριους λόγους για κάποιες παραδοχές και εκτιμήσεις που έγιναν κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

2.3 Χαρτογραφικά Δεδομένα σε Διανυσματική Μορφή κλίμακας 1:50.000

Το σύνολο δεδομένων προς μελέτη που διατέθηκε είναι αυτό που χρησιμοποιεί η ΓΥΣ για τη δημιουργία του Φ.Χ. 1:50.000 και είναι αποτέλεσμα συλλογής δεδομένων του έτους 2016. Η βάση δεδομένων σε μορφότυπο γεωβάσης του ArcGIS (feature dataset "Trikala_wgs84") χορηγήθηκε από την ΓΥΣ σε σύστημα αναφοράς WGS '84 και εξ' αρχής μετασχηματίστηκε ώστε ως σύστημα αναφοράς να οριστεί το ΕΓΣΑ '87.

Ακολουθεί η λεπτομερής περιγραφή των θεματικών επιπέδων που περιέχει η αρχική βάση δεδομένων. Η έλλειψη ενός συγκεκριμένου σχήματος στη βάση χαρτογραφικών δεδομένων κλίμακας 1:50.000 που να συσχετίζεται άμεσα με την χαρτογραφική απόδοση στον χάρτη της ΓΥΣ της αντίστοιχης κλίμακας καθώς και η ανυπαρξία συσχέτισης με τη νέα κλίμακα 1:100.000 με συγκεκριμένους κανόνες, απαιτούσε τη μελέτη των αρχικών δεδομένων και τη δημιουργία βοηθητικών δεδομένων ή/και την εφαρμογή νέων ταξινομήσεων ως προς τις περιγραφικές ιδιότητες, ώστε να υποστηρίζεται η απόδοση ακόμα και στον χάρτη της αρχικής κλίμακας.

Θεματικό Επίπεδο	Τελεστές Γενίκευσης	Βοηθητική Πληροφορία
Οδικό δίκτυο	Επιλογή Απλοποίηση Εξομάλυνση	Ιεράρχηση οδικού δικτύου (διαθέσιμη) Διαχωρισμός εντός / εκτός οικισμών (νέα)
Οικισμοί (κτίρια)	Επιλογή Απαλοιφή	Απόσταση ανάμεσα στα σημεία ώστε να είναι διακριτά (νέα)
Υδρολογικό δίκτυο	Επιλογή Απλοποίηση Εξομάλυνση	Ιεράρχηση οδικού δικτύου (μη διαθέσιμη)
Ισοϋψείς καμπύλες	Επιλογή Απλοποίηση Εξομάλυνση	Υψόμετρο (διαθέσιμη)
Καλλιέργειες	Επιλογή Απαλοιφή Συνένωση	Ελάχιστο μέγεθος πολυγώνου Απόσταση ανάμεσα στα πολύγωνα ώστε να είναι διακριτά
Ποτάμι	Μετάπτωση Απλοποίηση Εξομάλυνση	

Πίνακας 5: Θεματικά επίπεδα αρχικής βάσης δεδομένων και βοηθητική πληροφορία

Στη συνέχεια, ακολουθεί η ανάλυση των δεδομένων κλίμακας 1:50.000 και αναλύεται η προεπεξεργασία που προηγήθηκε σε ορισμένες περιπτώσεις ώστε να υποστηριχθεί η γενίκευση.

2.4 Σημειακές Χαρτογραφικές Οντότητες

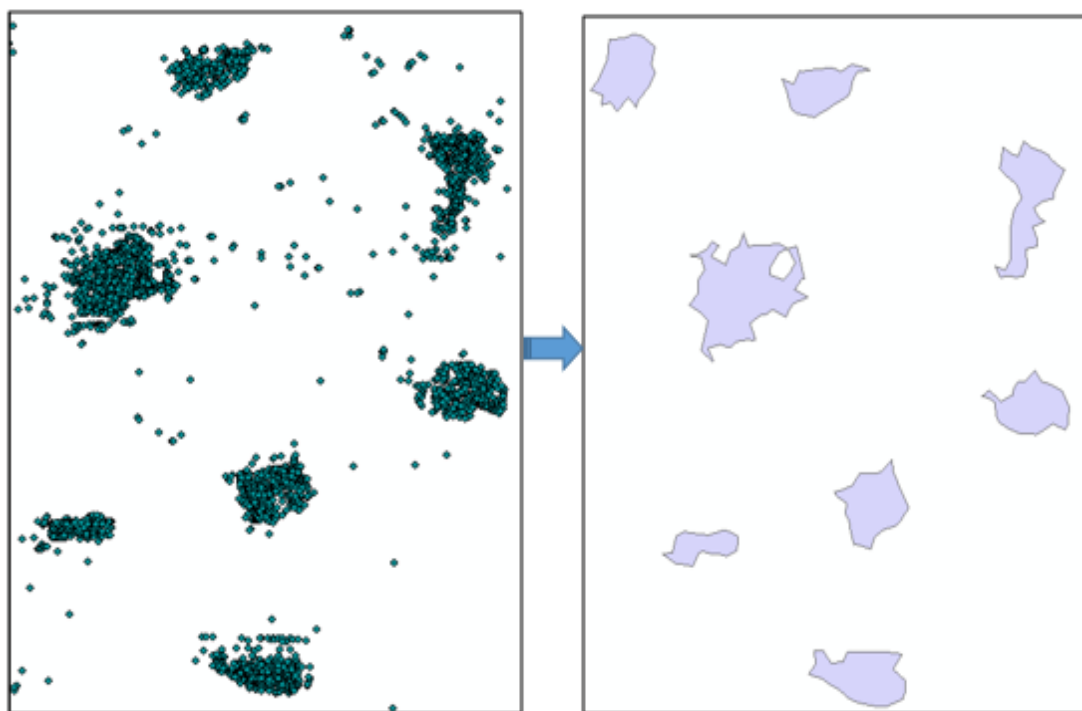
ΟΙΚΙΣΜΟΙ (BuildP - Σημειακά Κτίρια)

Στην κλίμακα 1:50.000, οι οικισμοί καταγράφονται από τα κτίρια με σημειακή γεωμετρία. Συναντώνται δύο μοτίβα κατανομής των κτιρίων:

- ✚ Μεμονωμένα κτίρια σε όλους τους οικισμούς της περιοχής μελέτης, τα οποία έμμεσα οριοθετούν και την περιοχή κάλυψης (πολύγωνα) των οικισμών.

✚ Η πόλη των Τρικάλων, εντός της οποίας δεν υπάρχουν σημειακά κτίρια.

Στο σημείο αυτό αξίζει να παρατηρήσει κανείς ότι και στο δοθέν Φ.Χ. 1:100.000, οι οικισμοί εξακολουθούν να παρουσιάζονται με τη βοήθεια του οδικού δικτύου που σχηματίζει έμμεσα τα οικοδομικά τετράγωνα (όπως και στο αντίστοιχο Φ.Χ. 1:50.000) και όχι ως πολυγωνικές οντότητες. Κρίθηκε όμως απαραίτητη για την μετέπειτα ροή των εργασιών η δημιουργία των πολυγώνων που οριοθετούν τους οικισμούς. Ως εκ τούτου, από τα δοθέντα χωρικά στοιχεία των σημειακών κτιρίων, με χρήση του εργαλείου *aggregate points* και *aggregation distance 250* μέτρα, δημιουργήθηκε η feature class *oikismoι_aggregate_250*, όπου στην ουσία ομαδοποιώντας σημειακά κτίρια σε συστάδες βάσει της εγγύτητάς τους, διαμορφώθηκαν τα πολύγωνα των οικισμών που οριοθετούν την κάλυψη τους ([Εικόνα 4](#)).



[Εικόνα 4](#): Δημιουργία πολυγώνων των οικισμών από τα επιμέρους κτίρια

2.5 Γραμμικές Χαρτογραφικές Οντότητες

ΙΣΟΨΕΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ(ContourL)

Στα χαρτογραφικά δεδομένα 1:5.000, οι ισοΨείς διακρίνονται σε κύριες και βοηθητικές (με τη μισή ισοδιάσταση). Σύμφωνα με τους χάρτες, για την κλίμακα 1:50.000 η ισοδιάσταση είναι 20 μέτρα, ενώ για την 1:100.000 40 μέτρα. Οι τιμές

υψομέτρου στο αντίστοιχο πεδίο του πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών κυμαίνονται από 100 έως 760 μέτρα.

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (WatcrsL)

Για το υδρολογικό δίκτυο καταγράφονται οι ακόλουθες περιγραφικές ιδιότητες:

- Τύπος (Subtype): αυλάκι, χείμαρρος
- Υδρολογική Κατηγορία (Hydrological category): ξηρό, μόνιμης ροής, περιοδικής ροής
- Όνομα (Name)
- Μήκος (SHAPE_Length)

Για τη βέλτιστη διαχείριση ως προς τη γενίκευση δημιουργήθηκε μια νέα ταξινόμηση. Στον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών του υδρολογικού δικτύου δημιουργήθηκε ένα νέο πεδίο, το code_1, όπου ενώθηκαν δύο πεδία: το Subtype (με την παραδοχή ότι 100=αυλάκι, 200=χείμαρρος) και το hydrological category (έστω ότι 10=ξηρό, 20=περιοδικό, 30=μόνιμη ροή), με νέες τιμές 110, 120, 130, 210, 220, 230, όπου:

- (1) 110=αυλάκι ξηρό
- (2) 120=αυλάκι περιοδικής ροής
- (3) 130=αυλάκι μόνιμης ροής
- (4) 210=χείμαρρος ξηρός
- (5) 220=χείμαρρος περιοδικής ροής
- (6) 230=χείμαρρος μόνιμης ροής

ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (RoadL, TrackL, TrailL)

Το θεματικό επίπεδο του οδικού δικτύου καταγράφεται με περισσότερες από μια χαρτογραφικές οντότητες.

RoadL: περιλαμβάνει δρόμους με περιγραφικά χαρακτηριστικά τον αριθμό των λωρίδων (1 ή 2 λωρίδες) και το είδος το οδοστρώματος (ασφαλτόστρωτος, σκυρόστρωτος, μη σκληρής επιφανείας).

TrackL: περιλαμβάνει αγροτικούς (χωματόδρομους) δρόμους (η αναφερόμενη ως «Καροποίητη οδός» στο υπόμνημα) αλλά και τμήματα της «Αμαξιτής οδού μη σκληράς επιφανείας βατής με καλό καιρό» του υπομνήματος. Επιπρόσθετα, η

κατηγορία “Loose/Light” του πεδίου ROAD_SURFACE TYPE στον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών είναι οι κατηγορίες «Αμαξιτή οδός σκυρόστρωτη» και «Αμαξιτή οδός μη σκληράς επιφανείας βατή με καλό καιρό» που υπάρχουν στο υπόμνημα των δοθέντων Φ.Χ.

Λόγω των προαναφερθέντων «συγκρούσεων» και αναντιστοιχιών που παρατηρήθηκαν μεταξύ των δεδομένων και των τελικών Φ.Χ., αποφασίστηκε, μετά από λεπτομερή μεταξύ τους σύγκριση, οι τρεις κατηγορίες του πεδίου ROAD_SURFACE TYPE της χωρικής κλάσης των δρόμων, να συγχωνευθούν στις εξής δύο:

- Αμαξιτή οδός ασφαλτόστρωτη (hard/paved)
- Αμαξιτή οδός σκυρόστρωτη (loose/light)

Τέλος, στον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών προστέθηκε ένα νέο πεδίο, το new_classification, στο οποίο έγινε η εξής τελική ιεράρχηση-κωδικοποίηση:

- ο 110 = ασφαλτόστρωτη (hard/paved) με 1 λωρίδα κυκλοφορίας
- ο 120 = ασφαλτόστρωτη (hard/paved) με 2 λωρίδες κυκλοφορίας
- ο 210 = σκυρόστρωτη (loose/light) με 1 λωρίδα κυκλοφορίας
- ο 220 = σκυρόστρωτη (loose/light) με 2 λωρίδες κυκλοφορίας

TrailL: περιλαμβάνει κάποια μονοπάτια που βρίσκονται σε ορεινές περιοχές. Είναι η κατηγορία «Ημιονική Οδός» του υπομνήματος.

2.6 Επιφανειακές Χαρτογραφικές Οντότητες

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (WatcrsA)

Περιλαμβάνει ένα μοναδικό στοιχείο πολυγωνικής γεωμετρίας στα νότια της περιοχής μελέτης και πρόκειται για ένα τμήμα μήκους 35 περίπου χιλιομέτρων του Πηνειού ποταμού.

ΟΡΥΖΩΝΕΣ-ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ (CropA)

Πρόκειται για ένα θεματικό επίπεδο που περιλαμβάνει τις καλλιέργειες στην περιοχή (ορυζώνες δεν υφίστανται στην περιοχή μελέτης), χωρίς όμως να υπάρχει σαν πληροφορία στον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών το είδος της καλλιέργειας σε κάθε πολύγωνο.

Εκτός από τις προαναφερθείσες χαρτογραφικές οντότητες που περιεγράφηκαν λεπτομερώς παραπάνω, δόθηκαν και άλλες, δευτερεύουσας ίσως σημασίας για την παρούσα διπλωματική μελέτη, σημειακής ως επί το πλείστον γεωμετρίας, που η διαδικασία γενίκευσής τους είτε είναι παρόμοια με άλλων σημειακών οντοτήτων που θα αναλυθούν στην πορεία, είτε δεν θα αποτελέσει αντικείμενο μελέτης στα πλαίσια της εργασίας αυτής. Τα δεδομένα αυτά φαίνονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα:

Όνομα Αρχείου	Περιγραφή	Γεωμετρία
AgristrP	Μεγάλες (αγροτικές) Αποθήκες	Σημειακή
ExtractP1	Ορυχεία-Λατομεία	Σημειακή
LandmrkP1	Νεκροταφεία-Μνημεία	Σημειακή
MispopP1	Καλύβες	Σημειακή
ProcessP1	Σημειακά Εργοστάσια	Σημειακή
RuinsP1	Ερείπια	Σημειακή
TlmpopP1	Σημειακά Γήπεδα-Στάδια	Σημειακή
WellsprP1	Πηγάδια-Πηγές-Βρύσες	Σημειακή
BridgeL1	Γέφυρες γραμμικές	Γραμμική
RailrdL1	Σιδηροδρομικό Δίκτυο	Γραμμική
ExtractA1	Λατομεία-Ορυχεία	Πολυγωνική
GrassA1	Χέρσα-Θάμνοι	Πολυγωνική
ProcessA1	Επιφανειακά Εργοστάσια	Πολυγωνική
SportA1	Επιφανειακά Γήπεδα-Στάδια	Πολυγωνική
TreesA1	Δάση	Πολυγωνική

Πίνακας 6: Χορηγηθέντα δεδομένα

3. ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Η ενότητα αυτή περιγράφει τη διαδικασία της γενίκευσης στην πράξη, καθώς και την προσπάθεια αυτοματοποίησής της μέχρι κάποιο βαθμό, με σκοπό την όσο το δυνατό λιγότερη ανθρώπινη παρέμβαση.

Στη συνέχεια, αναλύονται ένα προς ένα όλα τα βήματα και οι τεχνικές που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων ανά θεματικό επίπεδο, τον εμπλουτισμούς (όπου απαιτήθηκε) και παρουσιάζονται οι αντίστοιχες ρουτίνες (tools) που δημιουργήθηκαν για τη γενίκευση των σημαντικότερων γεωγραφικών οντοτήτων.

Στη διαδικασία της γενίκευσης θα συμμετέχουν όλα τα δεδομένα που περιεγράφηκαν αναλυτικά σε προηγούμενη ενότητα και συγκεκριμένα:

- Οι ισοΰψεις καμπύλες
- Το υδρολογικό δίκτυο (γραμμικό)
- Το υδρολογικό δίκτυο (πολυγωνικό)
- Το οδικό δίκτυο
- Οι οικισμοί (σημειακό)
- Οι καλλιέργειες

Για λόγους αποφυγής απώλειας δεδομένων κατά την εκτέλεση των δοκιμών, δημιουργήθηκε ένα αντίγραφο της βάσης χαρτογραφικών δεδομένων.

Σημαντική είναι επίσης η σειρά με την οποία γενικεύονται τα θεματικά επίπεδα, καθώς η γενίκευση του ενός επηρεάζει τη γενίκευση του άλλου. Συνήθως, η πληροφορία του αναγλύφου (ακτογραμμή, ισοΰψεις, υδρολογικό δίκτυο) γενικεύεται πρώτη και στη συνέχεια ακολουθεί η γενίκευση των υπολοίπων οντοτήτων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, δεδομένου ότι στην περιοχή μελέτης δεν συναντάται ακτογραμμή, η διαδικασία της γενίκευσης ξεκινάει από τις ισοΰψεις καμπύλες.

Από τη μελέτη των χαρτών και τη σύγκρισή τους, καθώς και την ανάλυση των χαρτογραφικών οντοτήτων και θεματικών επιπέδων (Πίνακας 4) μπορεί να γίνει μια πρόβλεψη των τελεστών της χαρτογραφικής γενίκευσης που εφαρμόζονται (Πίνακας 5). Φυσικά, κατά την υλοποίηση της γενίκευσης απαιτείται η εφαρμογή επιπλέον διαδικασιών επεξεργασίας της γεωμετρίας και των περιγραφικών οντοτήτων, καθώς και

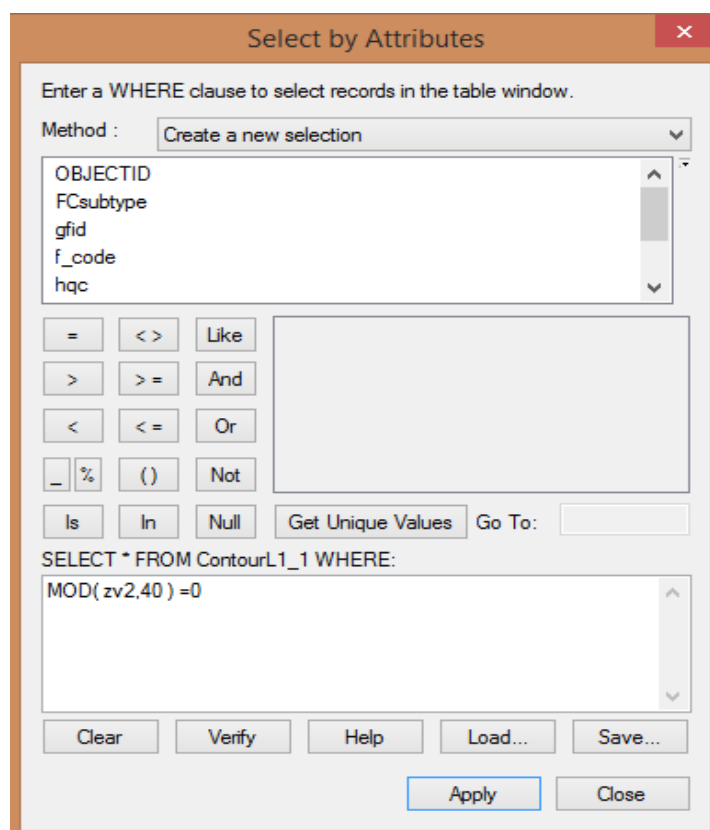
η δημιουργία βοηθητικών δεδομένων και ο εμπλουτισμός τους με άλλα στοιχεία που υποστηρίζουν την υλοποίηση της γενίκευσης.

3.2 Γενίκευση Ισοϋψών Καμπυλών

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, κατά τη μετάβαση από την κλίμακα 1:50.000 στην 1:100.000 της σειράς χαρτών γενικής χρήσης της ΓΥΣ, η ισοδιάσταση διπλασιάζεται και από 20 μέτρα γίνεται στην παράγωγη κλίμακα 40. Συνεπώς, η γενίκευση των ισοϋψών καμπυλών μπορεί εύκολα να προκύψει μέσα από κάποιες διαδικασίες σημασιολογικής γενίκευσης αρχικά και απλοποίησής τους στην πορεία.

Συγκεκριμένα, τα στάδια της διαδικασίας που ακολουθήθηκε έχουν ως εξής:

1. Από τον χωρικό πίνακα των ισοϋψών, με την εντολή **Select by Attributes**, επιλέγονται εκείνες οι χαρτογραφικές οντότητες των οποίων το υπόλοιπο της διαίρεσης της τιμής τους με το 40 (που αποτελεί τη νέα ισοδιάσταση του παράγωγου χάρτη) είναι μηδέν ([Εικόνα 5](#)). Αποθηκεύονται σε νέο χωρικό πίνακα, τον *contours_100K_me_40*.



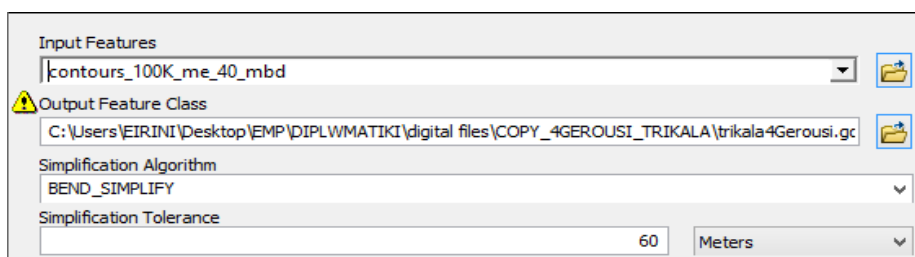
[Εικόνα 5](#): Επιλογή των επιθυμητών ισοϋψών με *Select by Attributes*

Στη νέα κλίμακα, οι κύριες καμπόλες (όπου $hc=1=Index$ στον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών) είναι αυτές με τιμές υψομέτρου 200, 400 και 600, ενώ οι υπόλοιπες (όπου $hc=2=Intermediate$) είναι οι δευτερεύουσες. Η πληροφορία αυτή μεταφέρθηκε αυτόματα από τη μία χωρική κλάση στην άλλη κατά την επιλογή των επιθυμητών καμπυλών.

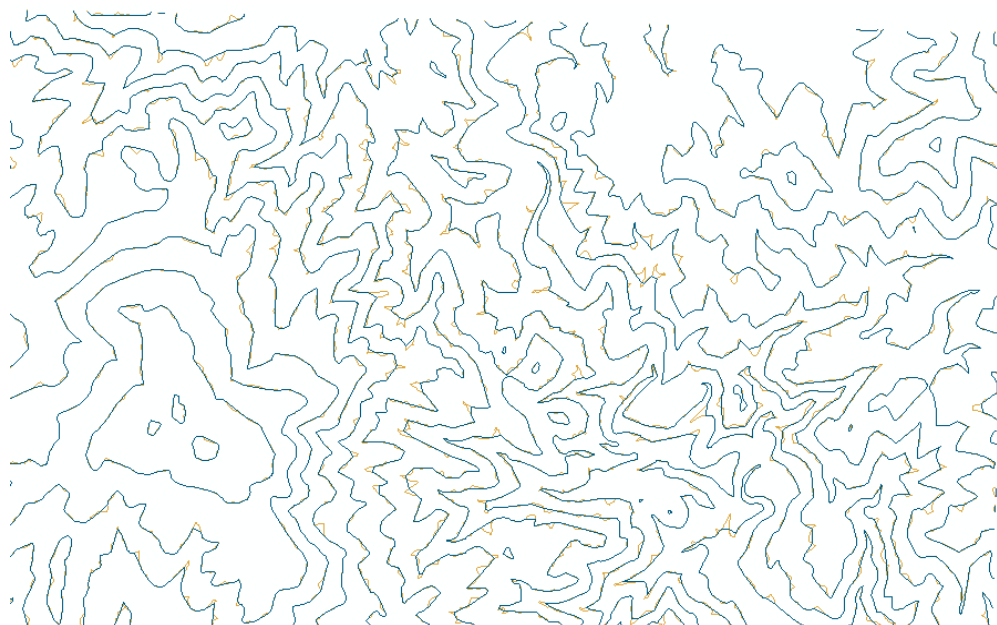
- ✎ Εν συνέχεια, στο περιβάλλον του ArcToolbox με τις εντολές **Data Management Tools/Generalization/Simplify Line**, εφαρμόστηκε η διαδικασία της απλοποίησης των γραμμών. Σκοπός είναι να παραχθούν απλοποιημένες σε εμφάνιση, αλλά ωστόσο ορθές ως προς τη μορφή και την οριζοντιογραφική θέση γραμμές, οι οποίες να καλύπτουν την απαραίτητη πληροφορία που πρέπει να αποδοθεί στην τελική κλίμακα.

Η απλοποίηση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των αλγόριθμων Point Remove (Douglas & Peucker) και Bend Simplify, οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι στο λογισμικό. Οι αλγόριθμοι αυτοί (βλ. Παράρτημα) εξετάζουν την γραμμή ως σύνολο και προκαλούν την οριζοντιογραφική μετατόπιση της και την αλλαγή της μορφής. Για την εφαρμογή των παραπάνω αλγορίθμων απαιτείται ο καθορισμός ενός βαθμού ανοχής, ως κριτήριο για την απλοποίηση των γραμμών. Για την εύρεση του βέλτιστου βαθμού ανοχής, εφαρμόστηκαν διαδοχικές δοκιμές μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα στην τελική κλίμακα του χάρτη. Ως αρχική τιμή για την εφαρμογή των δοκιμών λήφθηκε η τιμή που αντιστοιχεί στην διαχωριστική ικανότητα του ανθρώπινου οφθαλμού, ανηγμένη στην κλίμακα του τελικού χάρτη, δηλαδή τιμή 25m για τον χάρτη 1:100.000.

Τελικά, έπειτα από σειρά δοκιμών με διάφορες τιμές ανοχής και για τους δύο αλγορίθμους, επιλέχθηκε η γενικευμένη ακτογραμμή με τον αλγόριθμο Bend Simplify και με τιμή ανοχής τα 60m, που κρίθηκε ως ένα γενικά καλό και αισθητικά σωστό αποτέλεσμα.

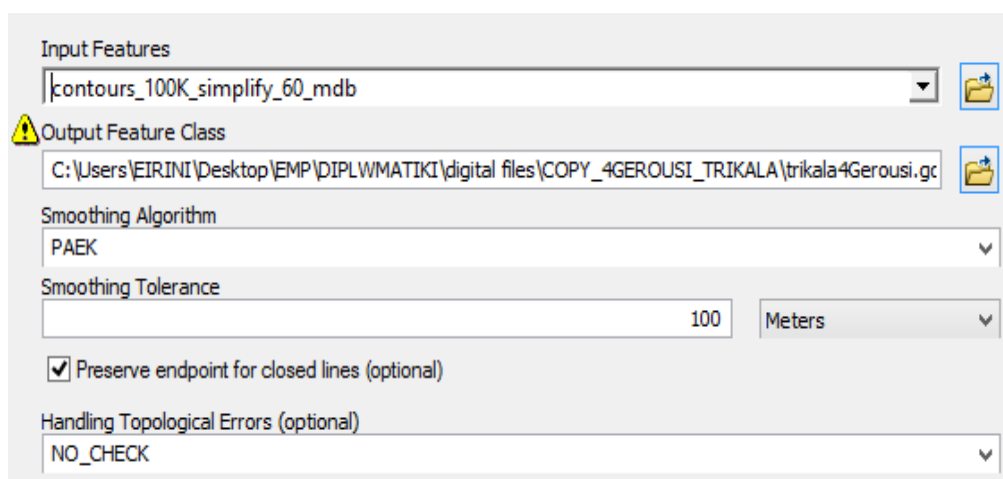


Εικόνα 6: Επιλογή αλγορίθμου απλοποίησης γραμμών και τιμής ανοχής



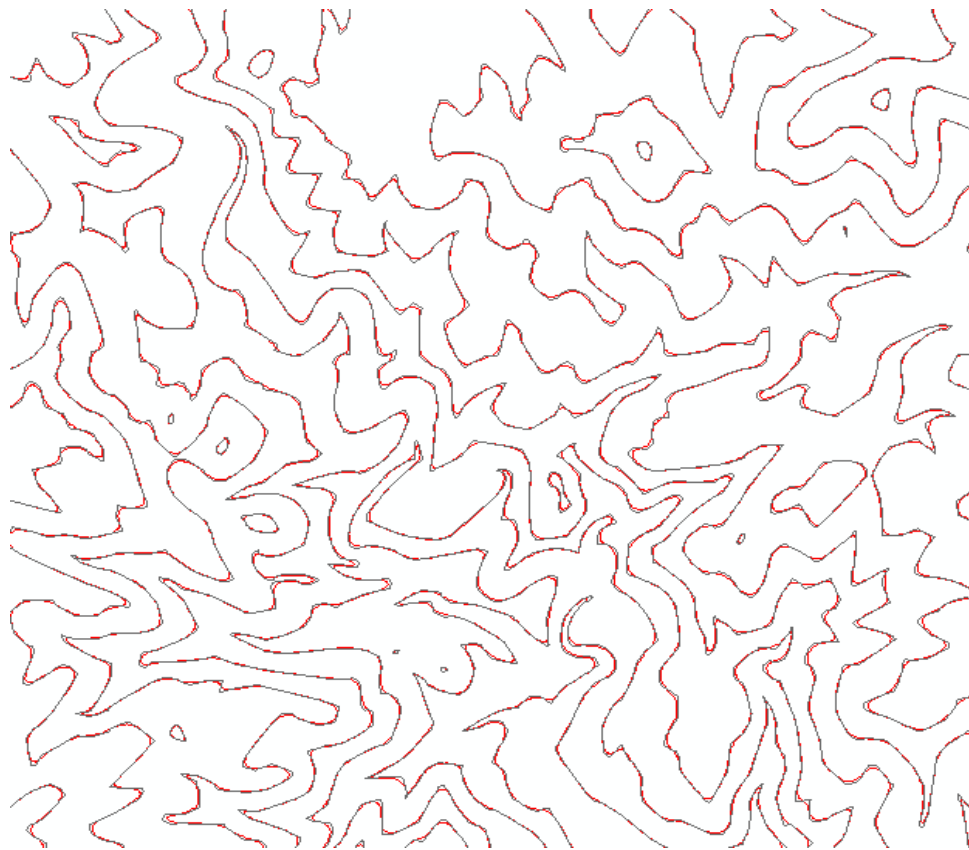
Εικόνα 7: Απλοποίηση γραμμών με τον αλγόριθμο Bend Simplify (με μπλε οι απλοποιημένες ισοϋψείς)

- Τέλος, στο περιβάλλον του ArcToolbox με τις εντολές **Cartography Tools/Generalization/Smooth Line**, εφαρμόστηκε η διαδικασία της εξομάλυνσης των αιχμηρών ακρών στις απλοποιημένες πλέον ισοϋψείς, για τη βελτίωση τόσο της αισθητικής όσο και της χαρτογραφικής ποιότητας. Ο αλγόριθμος που επιλέχθηκε είναι αυτός της πολωνυμικής προσέγγισης με εκθετικό πυρήνα (Polynomial Approximation with Exponential Kernel - PAEK) και η τιμή ανοχής τα 100 μέτρα.

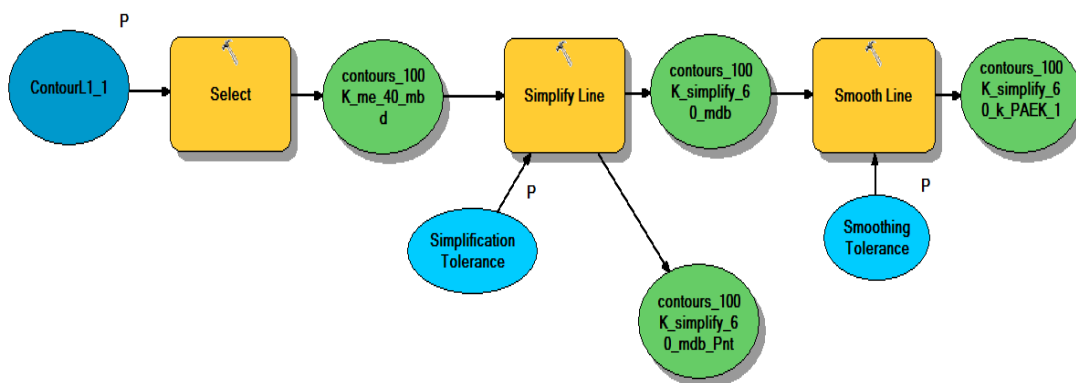


Εικόνα 8: Επιλογή αλγορίθμου «σμιλεμάτος» των αιχμηρών άκρων και τιμής ανοχής

Όλα τα προαναφερθέντα στάδια της διαδικασίας αυτοματοποιούνται σε ένα μοντέλο (*Contours_Generalization*) με τη βοήθεια του περιβάλλοντος ModelBuilder του ArcGIS, που παρουσιάζεται στην [Εικόνα 10](#).



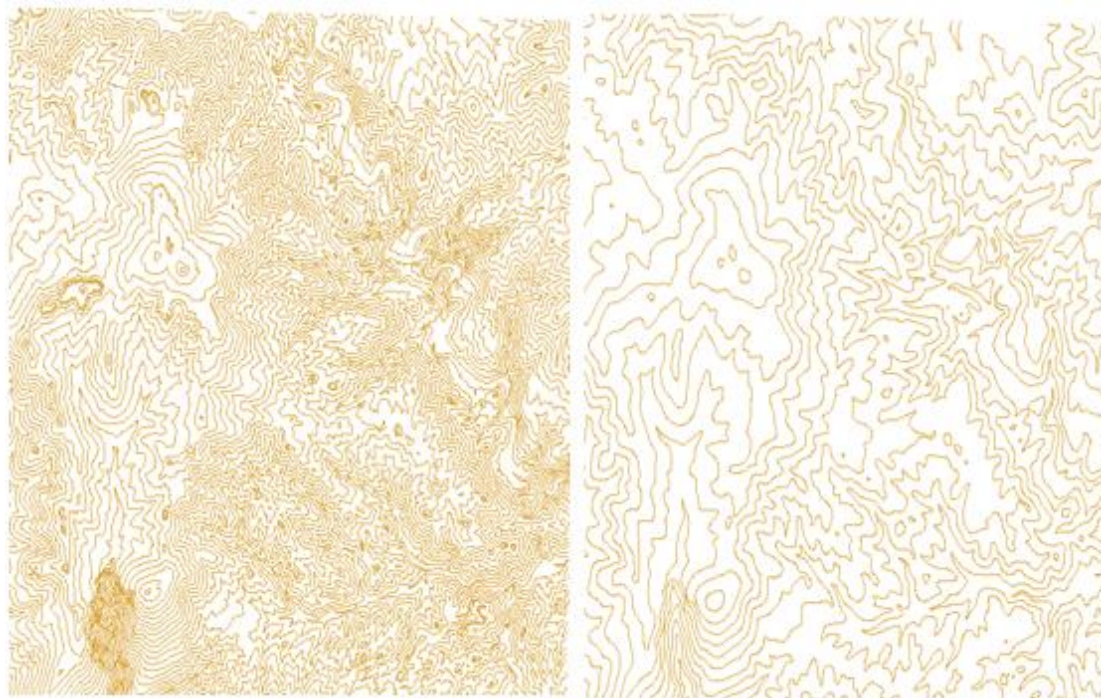
Εικόνα 9: Εφαρμογή αλγορίθμου ΡΑΕΚ στις απλοποιημένες ισοϋψείς (με κόκκινο οι νέες ισοϋψείς)



Εικόνα 10: Μοντέλο αυτόματης γενίκευσης ισοϋψών καμπυλών

Τα δεδομένα που εισάγονται αρχικά στο μοντέλο (ContourL1_1) καθώς και οι τιμές της ανοχής στα εργαλεία Simplify Line και Smooth Line ορίστηκαν ως παράμετροι στο μοντέλο, προκειμένου να επιλέγονται από τον χρήστη.

Το αποτέλεσμα της όλης διαδικασίας παρουσιάζεται οπτικά ως εξής (Εικόνα 11):



Εικόνα 11: Απόσπασμα αποτελέσματος μοντέλου γενίκευσης ισοϋψών (πριν: αριστερά, μετά: δεξιά)

3.3 Γενίκευση Υδρολογικού Δικτύου

Για τους σκοπούς της γενίκευσης του υδρολογικού δικτύου σχεδιάστηκε και παρουσιάζεται παρακάτω μια σειρά από στάδια γενίκευσης, σε μία προσπάθεια αυτοματοποίησης της διαδικασίας. Λόγω της πολυπλοκότητας της γενίκευσης των συγκεκριμένων οντοτήτων, η διαδικασία χωρίστηκε σε δύο υπο-διαδικασίες, ανάλογα με το είδος της γεωμετρίας των γεωγραφικών οντοτήτων.

3.3.1 Υδρολογικό Δίκτυο Γραμμικής Γεωμετρίας

Το δοθέν υδρολογικό δίκτυο είναι πολύ πυκνό και με μικρές σε μήκος γραμμές ώστε να αποδοθεί ως έχει στη νέα κλίμακα. Απαιτείται, συνεπώς, επιλογή με βάση τις περιγραφικές ιδιότητες αρχικά, αλλά και σε συνδυασμό με την ιεραρχική τάξη του δικτύου σε δεύτερο βαθμό.

Με δεδομένο ότι στον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών που συνοδεύει τη συγκεκριμένη χωρική κλάση δεν υπάρχει διαθέσιμη πληροφορία σχετικά τόσο με την κατεύθυνση ροής όσο και με την τάξη κάθε κλάδου υδατορέματος, πραγματοποιήθηκε σε αρχικό στάδιο μία επεξεργασία των δεδομένων και συγκεκριμένα μια υδρολογική ανάλυση στο ArcGIS. Πρόκειται για μια διαδικασία εμπλουτισμού των αρχικών δεδομένων (data enrichment), ώστε να υποστηριχθεί η διαδικασία της γενίκευσης που

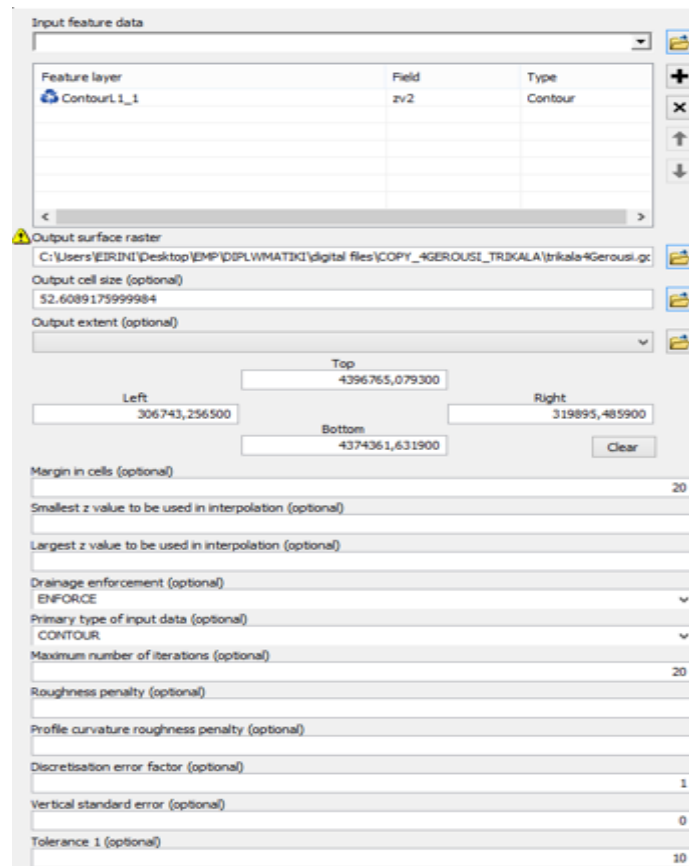
εφαρμόζεται συχνά για την επίλυση πολύπλοκων περιπτώσεων που δεν υποστηρίζονται από την πληροφορία που διατίθεται άμεσα από τα χωρικά δεδομένα.

Ως βασική πηγή δεδομένων για μία τέτοιου είδους υποστηρικτική ανάλυση του υδρολογικού δικτύου απαιτείται ένα υδρολογικά ορθό Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ). Με βάση την υδρολογική ανάλυση του ΨΜΕ θα προσδιορισθεί το υδρολογικό δίκτυο και η ιεράρχησή του (Τσούλος κ.ά., 2016) και στη συνέχεια η πληροφορία αυτή θα χρησιμοποιηθεί για να εμπλουτιστούν οι περιγραφικές ιδιότητες του υδρολογικού δικτύου του χάρτη κλίμακας 1:50 000, ώστε να υποστηριχτεί η επιλογή που απαιτείται για τη γενίκευση στη μικρότερη κλίμακα.

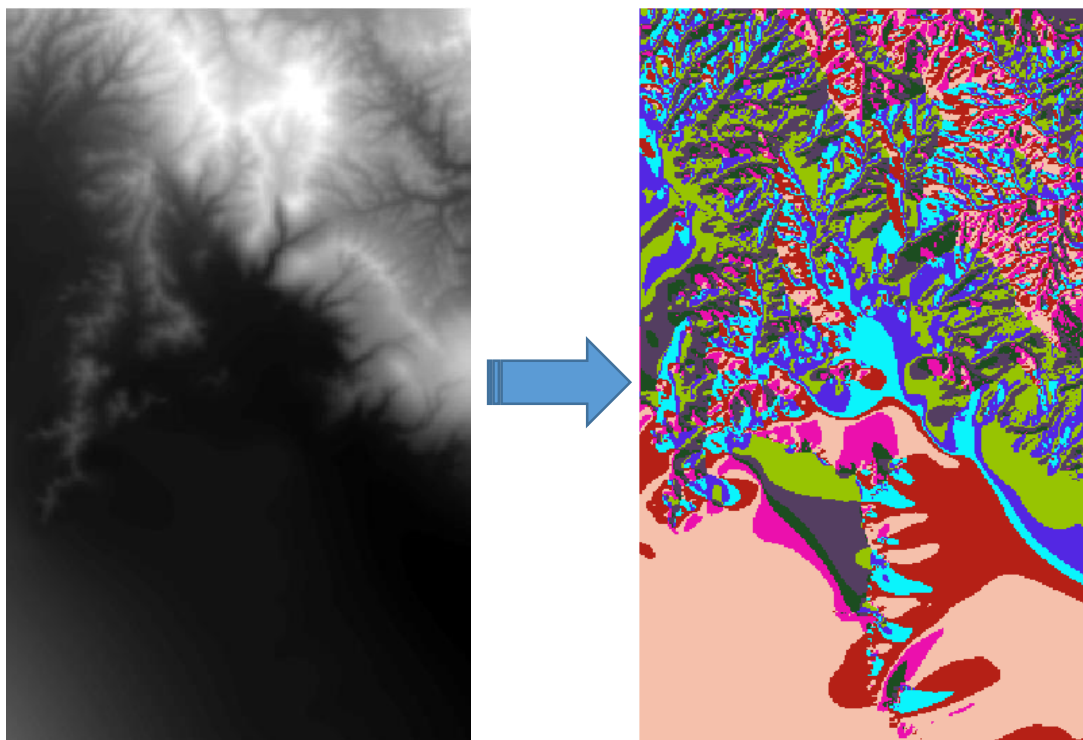
Το ΨΜΕ προέκυψε με χρήση της μεθόδου παρεμβολής *Topo to Raster*, η οποία χρησιμοποιεί τις ισοΰψεις, το υδρολογικό δίκτυο και τα μεμονωμένα υψομετρικά σημεία αξιοποιώντας τη φύση τους. Το εργαλείο *Topo To Raster* υλοποιεί τη μέθοδο παρεμβολής *ANUDEM* που βασίζεται σε μια μορφολογική προσέγγιση και δημιουργεί ένα υδρολογικά ορθό ΨΜΕ σε δομή κανάβου.

Από την εργαλειοθήκη *ArcToolbox* επιλέγεται **3D Analyst Tools/Raster Interpolation/Topo to Raster** και ορίζονται τα θεματικά επίπεδα, το πεδίο αποθήκευσης του υψομέτρου και το είδος των δεδομένων ([Εικόνα 12](#)). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ορίζονται οι ισοΰψεις ως *Contour*. Επιπλέον, ορίζονται το όνομα του ΨΜΕ που θα δημιουργηθεί ως *Output surface raster*, το μέγεθος του φατνίου ως *Output cell size*, ενεργοποιείται η επιλογή *Drainage enforcement - Enforce*, το είδος της πλειοψηφίας των δεδομένων *Primary type of data* ως ισοΰψεις (*contour*) και η παράμετρος *Tolerance 1*, που για τις ισοΰψεις καμπύλες τίθεται ίση με το μισό της ισοδιάστασης (εν προκειμένω 10 μέτρα).

Μετά τη δημιουργία του υδρολογικά ορθού ΨΜΕ, δημιουργείται το αρχείο του κανάβου διεύθυνσης απορροής ([Εικόνα 13](#)), με το εργαλείο **Arc Toolbox/Spatial Analyst Tools/Hydrology/Flow Direction**.

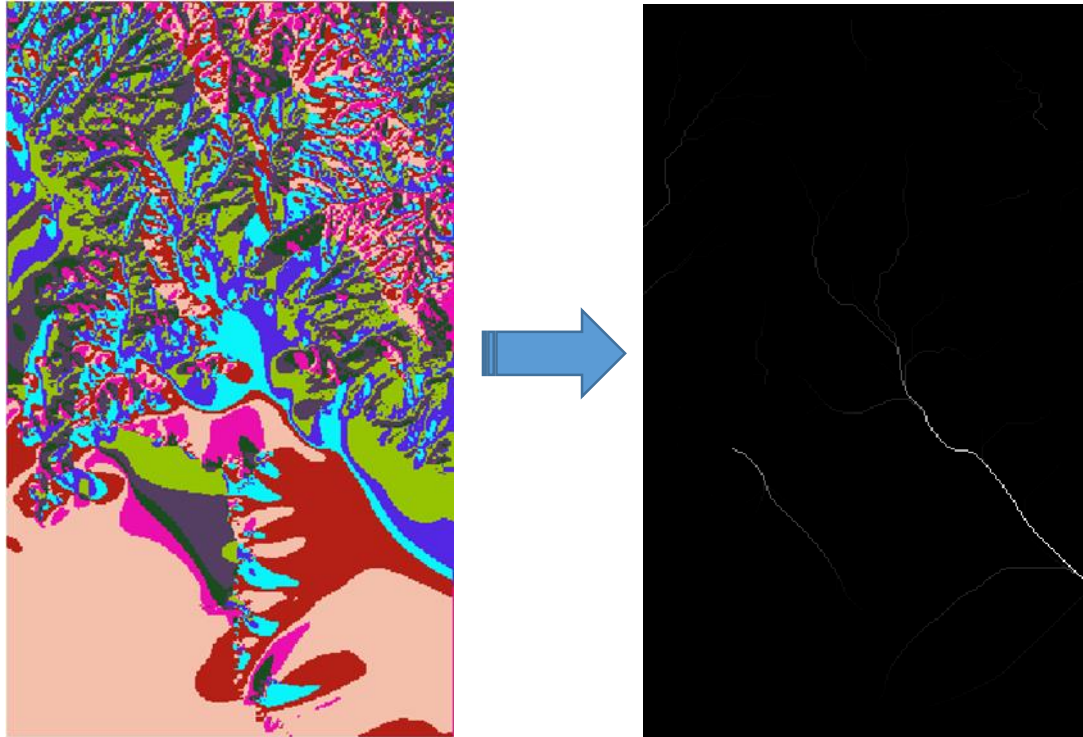


Εικόνα 12: Ρύθμιση παραμέτρων στο εργαλείο Topo to Raster



Εικόνα 13: Δημιουργία του κανάβου διεθθνσης απορροής από το ΨΜΕ

Επόμενο βήμα αποτελεί η δημιουργία του κανάβου συγκεντρωτικής ροής από τον κανάβο διεύθυνσης απορροής ([Εικόνα 14](#)). Αυτό γίνεται με το εργαλείο **Arc Toolbox/Spatial Analyst Tools/Hydrology/Flow Accumulation**.

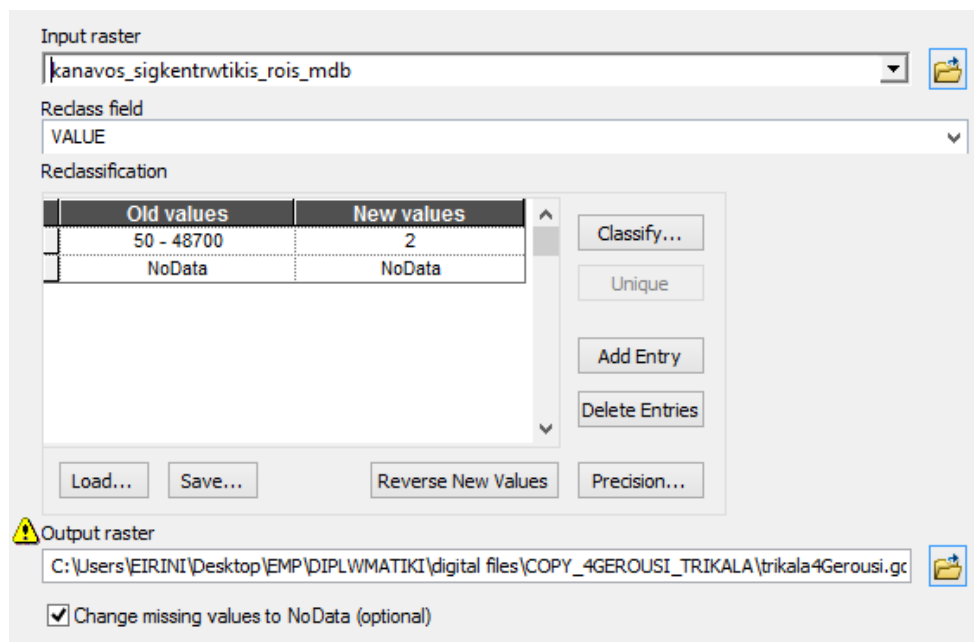


[Εικόνα 14](#): Δημιουργία του κανάβου συγκεντρωτικής ροής από τον κανάβο διεύθυνσης απορροής

Εν συνεχεία, εξάγεται το υδρογραφικό δίκτυο σε κανονικοποιημένη (raster) δομή από τον κανάβο συγκεντρωτικής ροής ([Εικόνα 16](#)) με χρήση του εργαλείου **Arc Toolbox/Spatial Analyst/Reclass/Reclassify**. Στο παράθυρο του εργαλείου αυτού συμπληρώνονται:

- Στο πεδίο Input Raster: το κανονικοποιημένο αρχείο όπου αποθηκεύτηκε ο κανάβος της συγκεντρωτικής ροής.
- Στο πεδίο Reclass field: Value.
- Από το πλήκτρο Classify ορίζονται Classification Method: Natural Breaks (Jenks), Classification Classes: 2, Break Values: έγινε αλλαγή της μικρότερης τιμής με το όριο επιλογής φατνίων του υδρολογικού δικτύου. Διευκρινίζεται ότι ο προσδιορισμός του ορίου επιλογής φατνίων πραγματοποιήθηκε με διαδοχικές προσεγγίσεις και τελικά επιλέχθηκε ίσο με 50.
- Στον πίνακα Reclassification, επιλέγεται και διαγράφεται η ομάδα με τιμές φατνίων μικρότερες από το όριο.
- Στο πεδίο Output data: το κανονικοποιημένο αρχείο όπου θα αποθηκευτούν τα φατνία του υδρολογικού δικτύου.

- Ενεργοποιείται η επιλογή Change missing values to No Data.



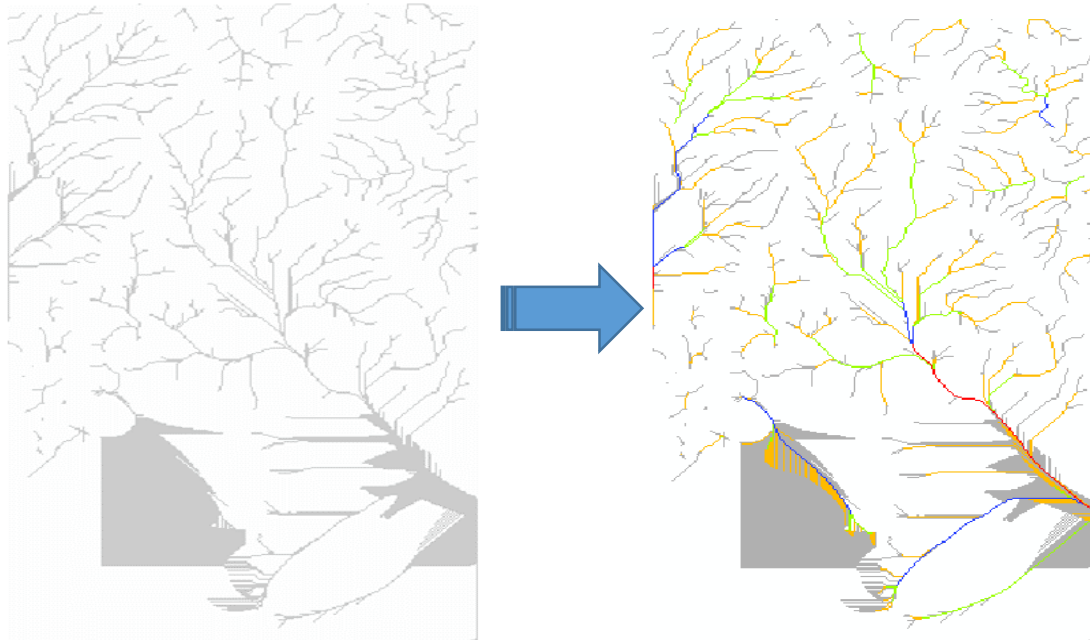
Εικόνα 15: Ρύθμιση παραμέτρων του εργαλείου Reclassify



Εικόνα 16: Δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου σε κανονικοποιημένη δομή, από τον κάναβο συγκεντρωτικής ροής

Παρατηρείται ότι το υδρογραφικό δίκτυο σε κανονικοποιημένη δομή που προέκυψε δεν είναι καλής ποιότητας στα πεδινά τμήματα της περιοχής μελέτης, γεγονός αναμενόμενο καθώς για τις περιοχές αυτές δεν υπήρχαν ισούψεις καμπόλες κατά την αρχική δημιουργία του ΨΜΕ.

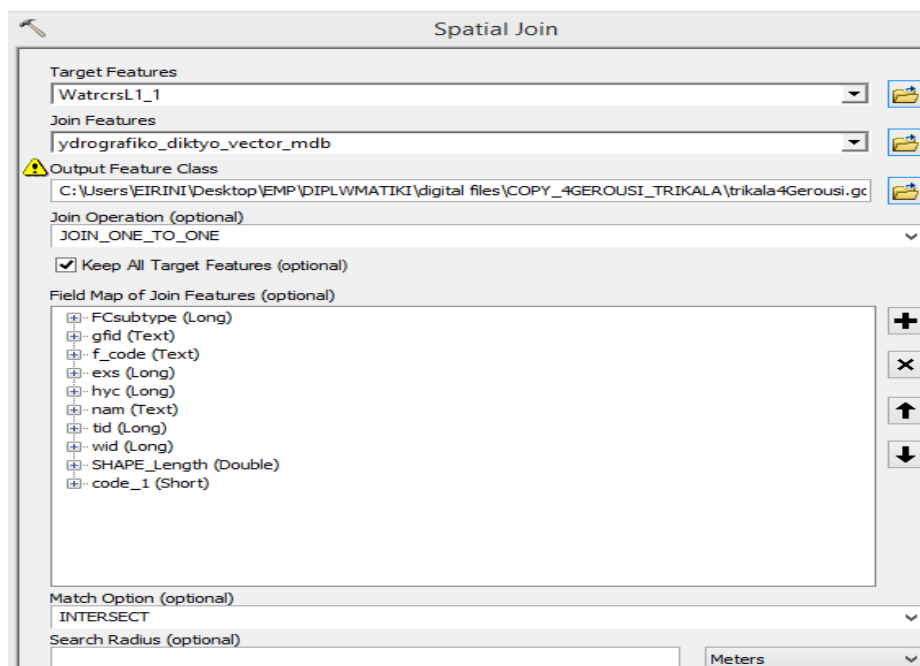
Επόμενο στάδιο αποτελεί η ιεράρχηση του υδρογραφικού δικτύου, που υλοποιείται με το εργαλείο **Arc Toolbox/Spatial Analyst Tools/Hydrology/Stream Order** ([Εικόνα 17](#)).



[Εικόνα 17](#): Δημιουργία ιεραρχημένου υδρογραφικού δικτύου σε κανονικοποιημένη δομή, από το κανονικοποιημένο αρχείο του υδρογραφικού δικτύου

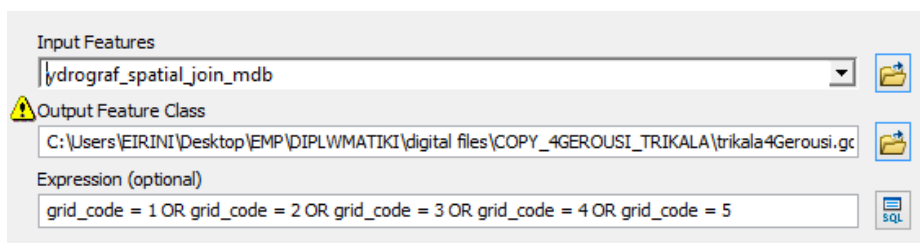
Η υδρολογική ανάλυση ολοκληρώνεται με την εξαγωγή (μετατροπή) του υδρογραφικού δικτύου σε διανυσματική δομή, με χρήση του εργαλείου **Arc Toolbox/Spatial Analyst Tools/Hydrology/Stream to Feature** και τη δημιουργία της feature class *ydrografiko_diktyo_vector*, η οποία τελικά εμπεριέχει και τη ζητούμενη πληροφορία ιεράρχησης του δικτύου.

Η πληροφορία αυτή πρέπει ακολούθως να ενσωματωθεί στη δεδομένη χωρική κλάση του υδρολογικού δικτύου των αρχικών δεδομένων. Συνεπώς, με χωρική ένωση (*Spatial Join*) των δύο κλάσεων (της δοθείσης από τη ΓΥΣ με το γραμμικό υδρολογικό δίκτυο και αυτής που προέκυψε από την υδρολογική ανάλυση παραπάνω) πραγματοποιήθηκε η μεταφορά της επιθυμητής πληροφορίας και δημιουργήθηκε η νέα feature class *ydrograf_spatial_join*. Η πράξη που ορίστηκε εντός του εργαλείου στο πεδίο *Join Operation* είναι το **Intersect**, χωρίς να καθοριστεί συγκεκριμένη απόσταση ([Εικόνα 18](#)).



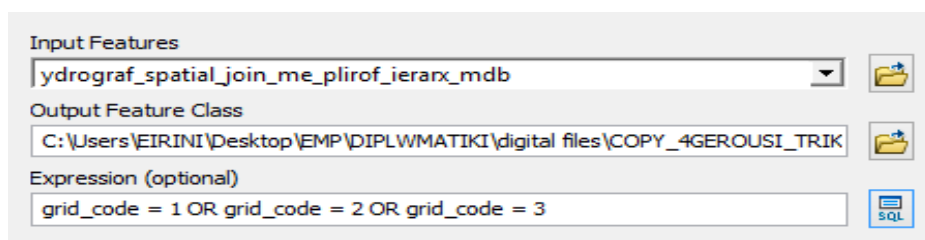
Εικόνα 18: Ρύθμιση παραμέτρων στο εργαλείο Spatial Join

Στη συνέχεια, λόγω της ύπαρξης κάποιων οντοτήτων της προαναφερθείσας feature class χωρίς πληροφορία ιεράρχησης (στην ουσία πρόκειται για αυτά που στο Spatial Join δεν τέμνονταν με κάποιο άλλο και για τα οποία το πεδίο grid_code προέκυψε Null), επιλέχθηκαν με **Select by Attribute** όσες οντότητες είχαν πληροφορία ιεράρχησης (grid_code=1,2,3,4,5).



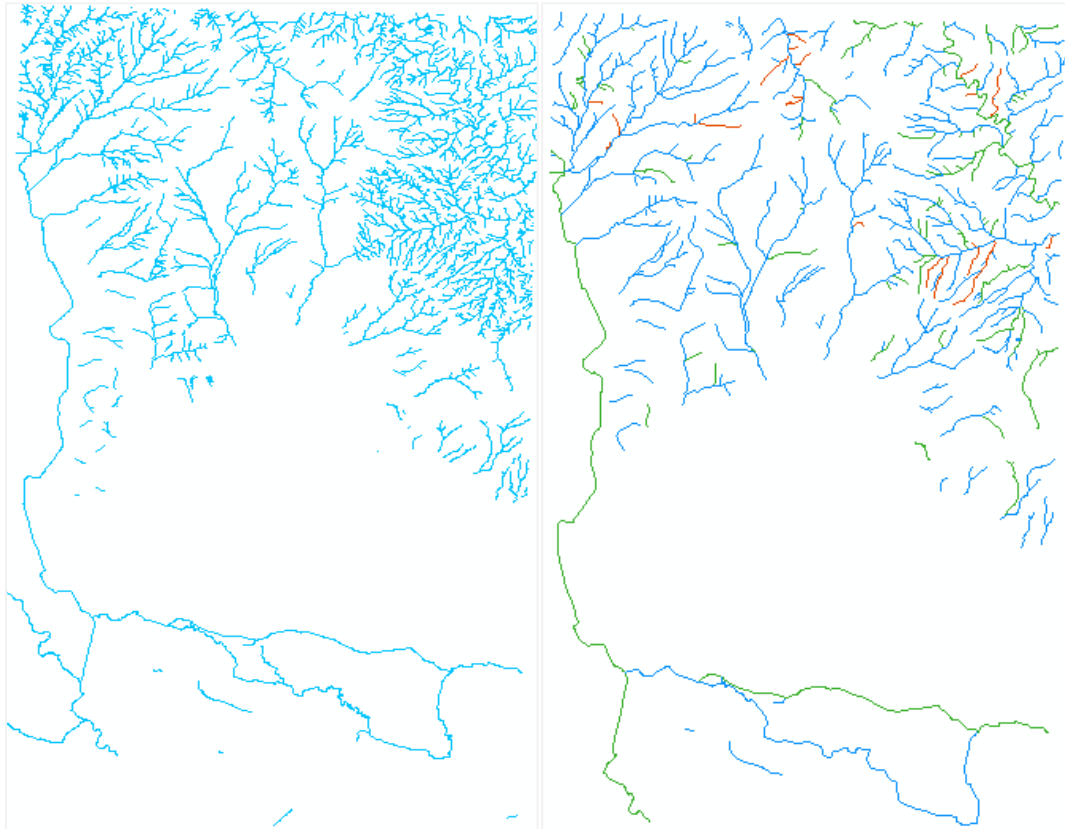
Εικόνα 19: Επιλογή οντοτήτων με πληροφορία ιεράρχησης

Ακολούθησε μια τελευταία επιλογή των οντοτήτων με τάξη υδατορέματος 1,2 και 3 (για όσες δηλαδή grid_code=1,2,3), που είναι και αυτά που θα διατηρηθούν στην παράγωγη κλίμακα.



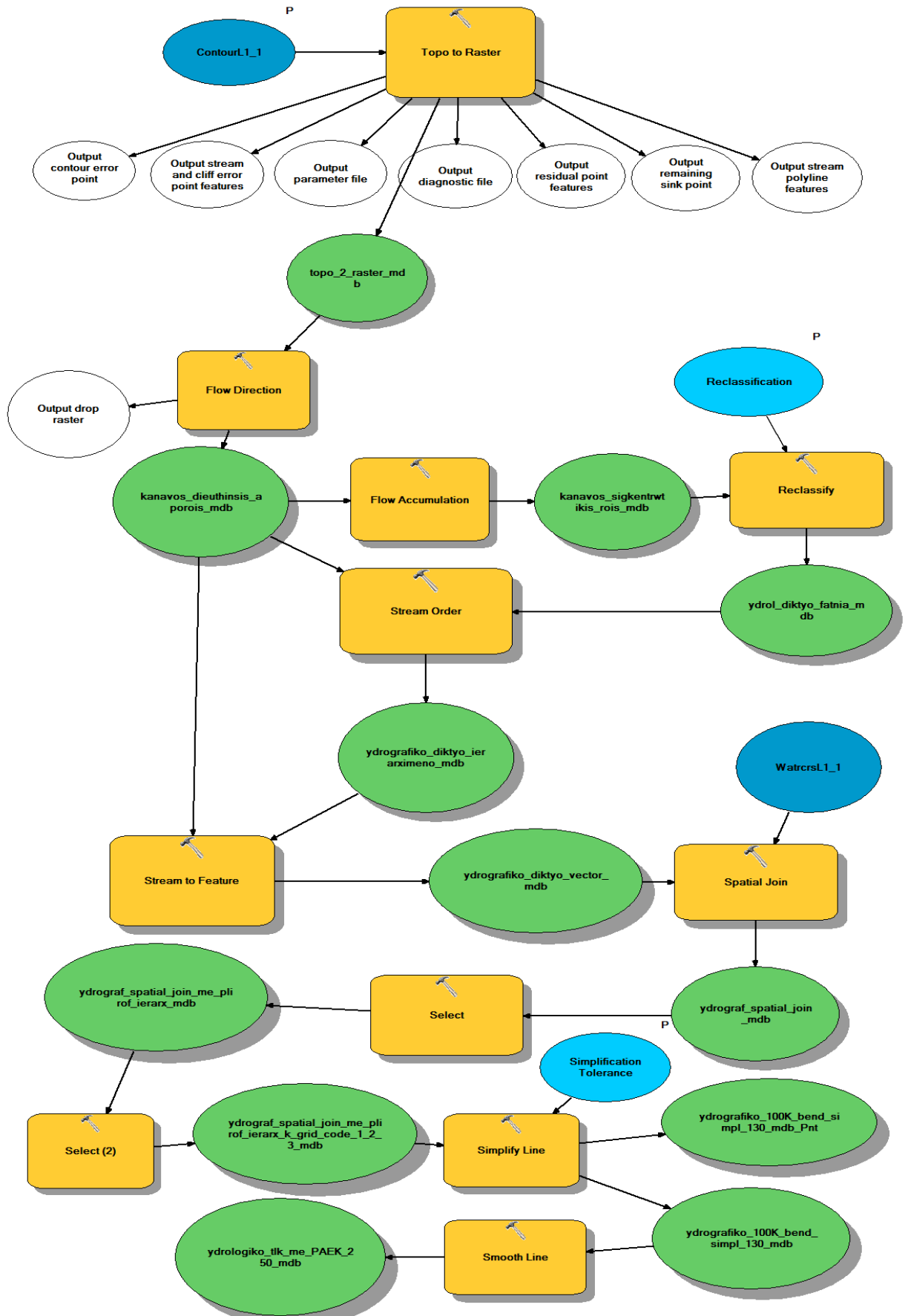
Εικόνα 20: Επιλογή οντοτήτων με grid_code=1 ή 2 ή 3

Τέλος, η γενίκευση του υδρολογικού δικτύου ολοκληρώθηκε με απλοποίηση και εξομάλυνσή του με τους αλγορίθμους Bend Simplify και ΡΑΕΚ και τιμές ανοχής 130 και 250 μέτρα αντίστοιχα.



Εικόνα 21: Το δοθέν και το γενικευμένο υδρολογικό δίκτυο με πληροφορία ιεράρχησης

Όλα τα προαναφερθέντα στάδια της διαδικασίας αυτοματοποιούνται σε ένα μοντέλο (**Hydrology_Generalization**) σε περιβάλλον Model Builder του ArcGIS, το οποίο φαίνεται στην [Εικόνα 22](#). Και σε αυτήν την περίπτωση, ορισμένα στοιχεία όπως τα δεδομένα και οι τιμές της ανοχής ορίστηκαν ως παράμετροι του μοντέλου.

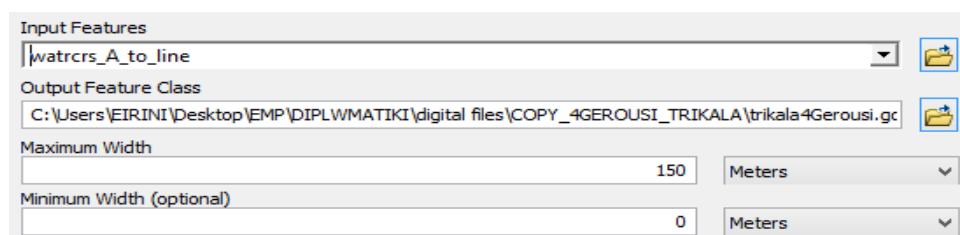


Εικόνα 22: Μοντέλο αυτόματης γενίκευσης γραμμικού υδρολογικού δικτύου

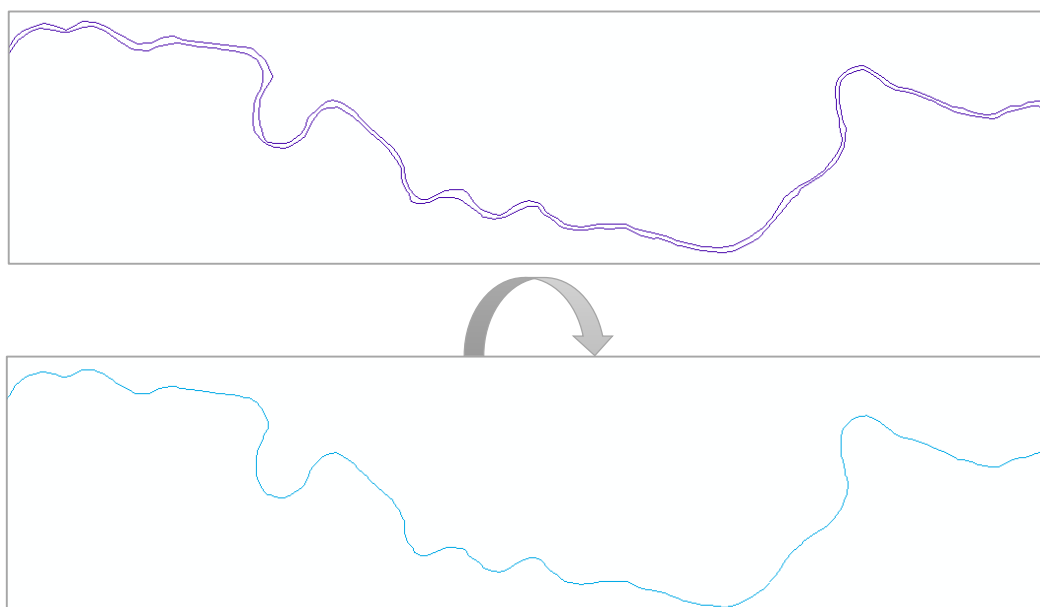
3.3.2 Υδρολογικό Δίκτυο Πολυγωνικής Γεωμετρίας

Για τη γενίκευση του δικτύου με πολυγωνική γεωμετρία δεν κατέστη δυνατό να αναπτυχθεί μία λεπτομερής ρουτίνα, που να εξετάζει σε βάθος το πρόβλημα, λόγω της ύπαρξης μίας και μοναδικής οντότητας αυτής της κατηγορίας στην περιοχή μελέτης.

Έτσι, αρχικά έγινε μετατροπή της πολυγωνικής οντότητας σε γραμμική (μετάπτωση γεωμετρίας) και επιλέχθηκαν οι δύο όχθες του ποταμού. Μετέπειτα, δημιουργήθηκε ένα απλό μοντέλο με τη βοήθεια του ArcGIS ModelBuilder (**Hydrology_Area_Generalization**), που σε πρώτη φάση αντικαθιστά τις δύο όχθες-γραμμές του ποταμού με μία κεντρική γραμμή. Αυτό επιτυγχάνεται με το εργαλείο **ArcToolbox/ Cartography Tools/Generalization/Collapse Dual Lines to Centerline**, όπου ορίστηκαν σαν μέγιστη απόσταση (τέθηκε και ως παράμετρος στο μοντέλο) μεταξύ των δύο γραμμών τα 150 μέτρα (απόσταση αρκετά μεγάλη, ώστε οι δύο γραμμές να αντικατασταθούν από μία κεντρική με όλο το μήκος του εξεταζόμενου τμήματος του ποταμού).



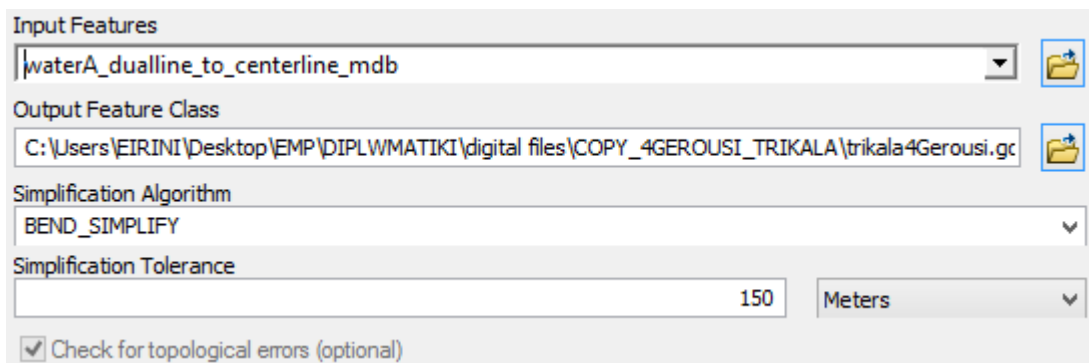
Εικόνα 23: Ρύθμιση παραμέτρων στο εργαλείο *Collapse Dual Lines to Centerline*



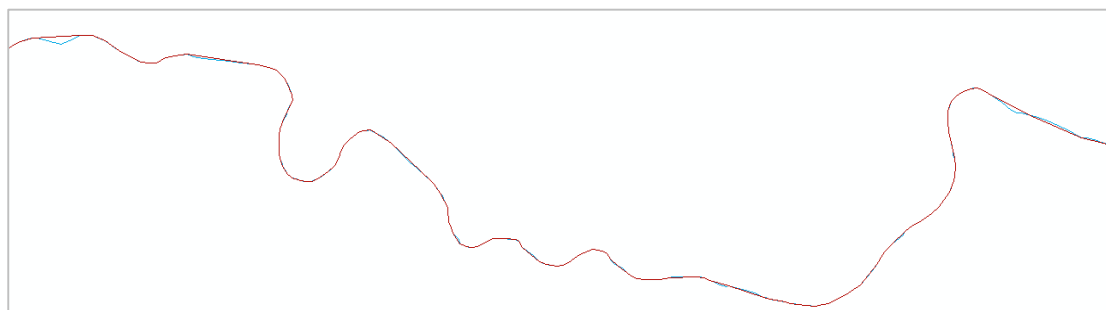
Εικόνα 24: Δημιουργία μιας κεντρικής γραμμής από τις δύο γραμμές/όχθες του ποταμού με χρήση του εργαλείου *Collapse Dual Lines to Centerline*

Τέλος, με τα εργαλεία **Simplify Line** και **Smooth Line** και με επιλογή των αλγορίθμων Bend Simplify και PAEK, με τιμές ανοχής 150 και 250 μέτρα αντίστοιχα, ολοκληρώθη-

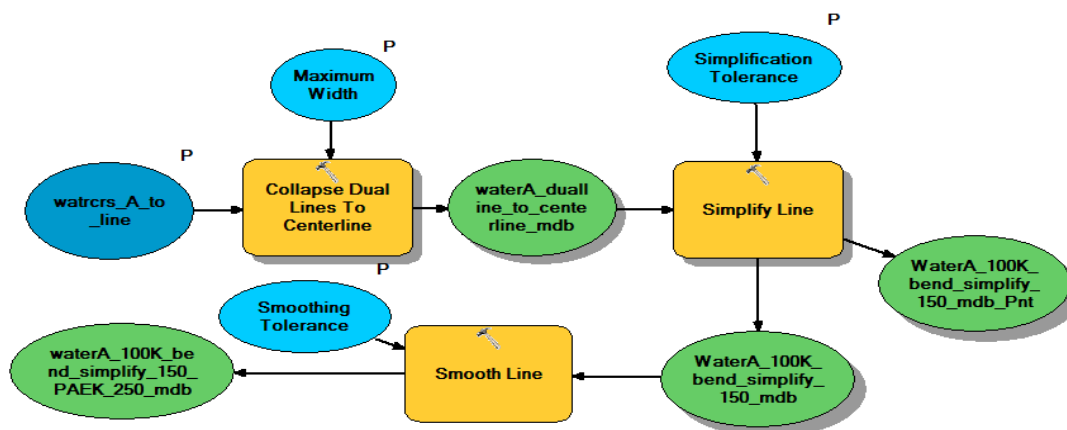
και η γενίκευση με την απλοποίηση και εξομάλυνση του γραμμικού στοιχείου, δημιουργώντας τη νέα feature class *WaterA_100K_bend_simplify_150_PAEK_250*.



Εικόνα 25: Ρύθμιση παραμέτρων στο εργαλείο *Simplify Line*



Εικόνα 26: Εφαρμογή αλγορίθμου απλοποίησης *Bend Simplify* σε τμήμα του ποταμού



Εικόνα 27: Μοντέλο αυτόματης γενίκευσης υδρολογικού δικτύου (επιφανειακές οντότητες)

3.4 Γενίκευση Οδικού Δικτύου

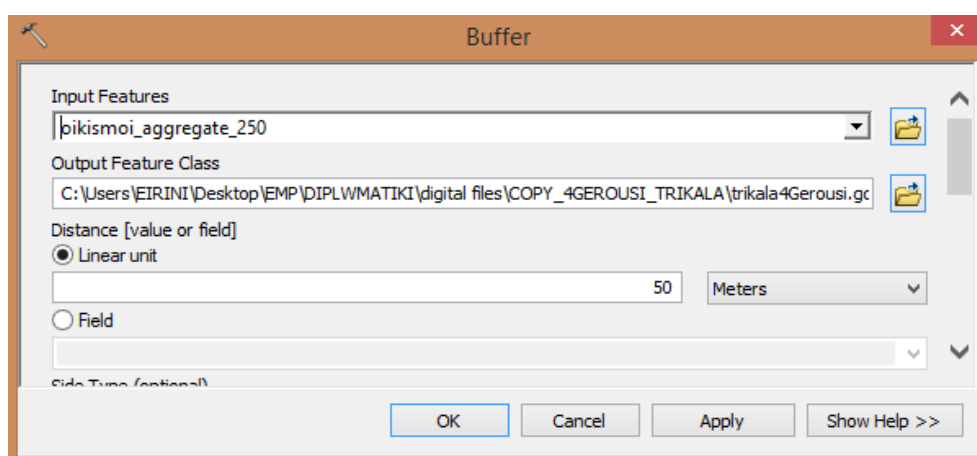
Λόγω της μείωσης της κλίμακας και του διαθέσιμου χώρου, είναι αναγκαίο να απαλειφθούν κάποιες κατηγορίες του οδικού δικτύου. Επιπρόσθετα, λόγω της μεγάλης ποσότητας των προς επεξεργασία δεδομένων αλλά και της διαφορετικής χρήσης κάθε τμήματος του οδικού δικτύου, κρίθηκε απαραίτητο να διαιρεθεί η λειτουργία των

μοντέλων γενίκευσης για το συγκεκριμένο θεματικό επίπεδο σε δύο επιμέρους μοντέλα: γενίκευση του οδικού δικτύου εντός οικισμών και γενίκευσή του εκτός οικισμών.

3.4.1 Γενίκευση Οδικού Δικτύου εντός Οικισμών

Τα στάδια της γενίκευσης που ακολουθήθηκαν για τη γενίκευση του οδικού δικτύου εντός κατοικημένων περιοχών μοντελοποιήθηκαν στο ArcGIS ModelBuilder στο tool **Odiko_Entos_Oikismou_Generalization**. Αναλυτικότερα:

- Σε πρώτη φάση δημιουργήθηκε μια ζώνη επιρροής (Buffer) 50 μέτρων γύρω από τα πολύγωνα των οικισμών, για καλύτερη αισθητικά τοπολογική σχέση μεταξύ δρόμων και πολυγώνων.



Εικόνα 28: Δημιουργία ζώνης επιρροής 50 μέτρων γύρω από τους οικισμούς

- Ακολούθησε αποκοπή (clip) του οδικού δικτύου στα περιγράμματα των οικισμών και δημιουργία της νέας χωρικής κλάσης *road_clip_stous_oikismous*.

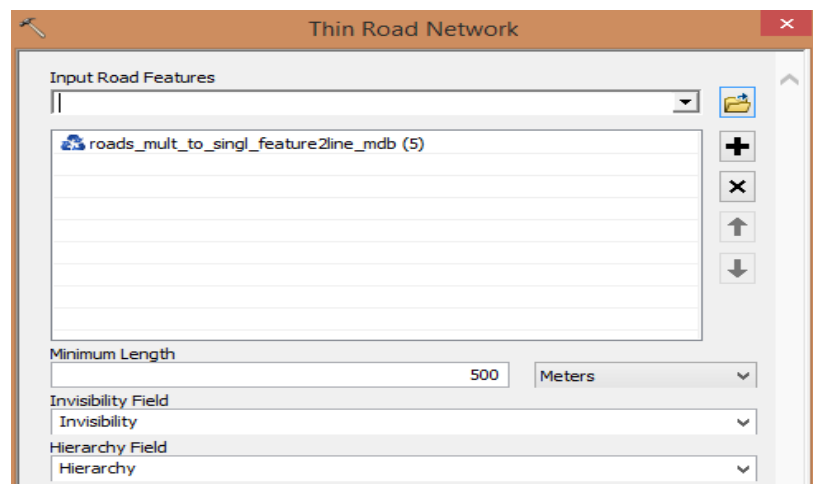


Εικόνα 29: Αποκοπή του οδικού δικτύου στο περίγραμμα των οικισμών

- ✎ Με χρήση του εργαλείου **ArcToolbox/Data Management Tools/Features/Multipart to Singlepart** δημιουργήθηκε νέα feature class (*roads_multipart_to_singlepart*) που περιέχει οντότητες ενός ενιαίου τμήματος από τις δοθείσες πολλαπλών τμημάτων. Το βήμα αυτό είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την σωστή εκτέλεση του εργαλείου γενίκευσης οδικού δικτύου του ArcToolbox *Thin Road Network* που χρησιμοποιείται παρακάτω.
- ✎ Στη συνέχεια, κάθε γραμμή του οδικού δικτύου διαιρέθηκε σε επιμέρους οντότητες στα σημεία τομής της, με το εργαλείο **ArcToolbox/Data Management Tools/Features/Feature to Line** και προέκυψε η χωρική κλάση *roads_mult_to_singl_feature2line*.
- ✎ Αναγκαία είναι επίσης η δημιουργία δύο νέων πεδίων (fields) στον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών της χωρικής κλάσης *roads_mult_to_singl_feature2line* με την εντολή **Add Field**:
 - **Hierarchy Field**: που αναγνωρίζει τη σχετική σπουδαιότητα μεταξύ των δρόμων και στο οποίο αποθηκεύεται η πληροφορία που αφορά στην ιεράρχηση του δικτύου. Επειδή όμως, σύμφωνα με τα δεδομένα, όλοι οι δρόμοι εντός των οικισμών είναι της ίδιας κατηγορίας, προκειμένου να δουλέψει σωστά στο εργαλείο, δόθηκε με την εντολή **Calculate Field** σε όλες τις οντότητες η τιμή 2 στο πεδίο αυτό, με εξαίρεση κάποιες για τις οποίες *Transportation Use Category=Through*, στις οποίες δόθηκε τιμή 1, καθώς θεωρήθηκαν περισσότερο σημαντικές και αναγκαίες να διατηρηθούν, εφόσον πρόκειται για τμήματα που αποτελούν τη συνέχεια του οδικού δικτύου που ενώνει οικισμούς μεταξύ τους. Αυτό έγινε με επιλογή (**Select**) των συγκεκριμένων οντοτήτων, αποθήκευσή τους στη νέα χωρική κλάση *select_through_route* και ένωσή της στη συνέχεια με την κλάση *roads_mult_to_singl_feature2line*, με τη βοήθεια του εργαλείου **Append**.
 - **Invisibility Field**: είναι το πεδίο στο οποίο θα αποθηκευτεί η πληροφορία σχετικά με το ποιοι δρόμοι θα είναι ορατοί μετά την εκτέλεση της εντολής (αυτοί που διατηρούνται στη νέα κλίμακα, με τιμή 0) και ποιοι όχι (με τιμή 1). Ως αρχική τιμή, τίθεται σε όλες τις οντότητες το -1, σύμφωνα με τις οδηγίες στη βοήθεια του εργαλείου.

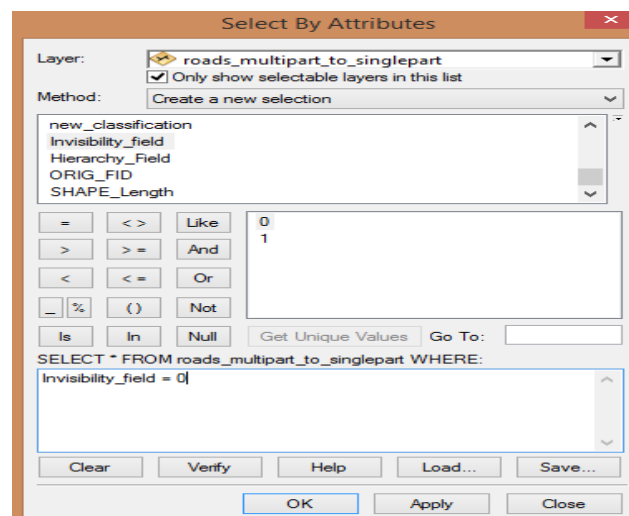
⌘ Χρησιμοποιείται το εργαλείο **ArcToolbox/Cartography Tools/Generalization/Thin Road Network** με τις εξής παραμέτρους:

- Input road features: η χωρική κλάση *roads_multipart_to_singlepart*
- Minimum length: ορίστηκε ως ελάχιστο μήκος τμήματος οδικού δικτύου τα 500 μέτρα.
- Invisibility length: το νέο πεδίο Invisibility που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο στάδιο.
- Hierarchy field: το νέο πεδίο Hierarchy που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο στάδιο.

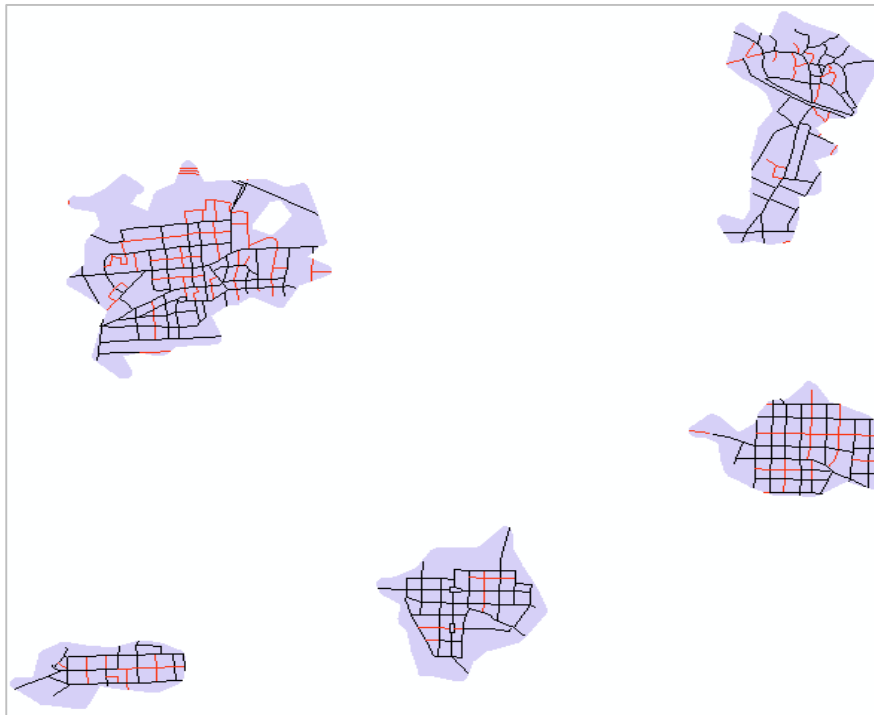


Εικόνα 30: Ρύθμιση παραμέτρων στο εργαλείο Thin Road Network

⌘ Ακολούθως, προκειμένου να γίνουν εμφανή τα τμήματα του οδικού δικτύου που διατηρήθηκαν, επιλέχθηκαν από τον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών όσα είχαν τιμή 0 στο πεδίο Invisibility και αποθηκεύτηκαν στη χωρική κλάση *roads_thin_network_500*.

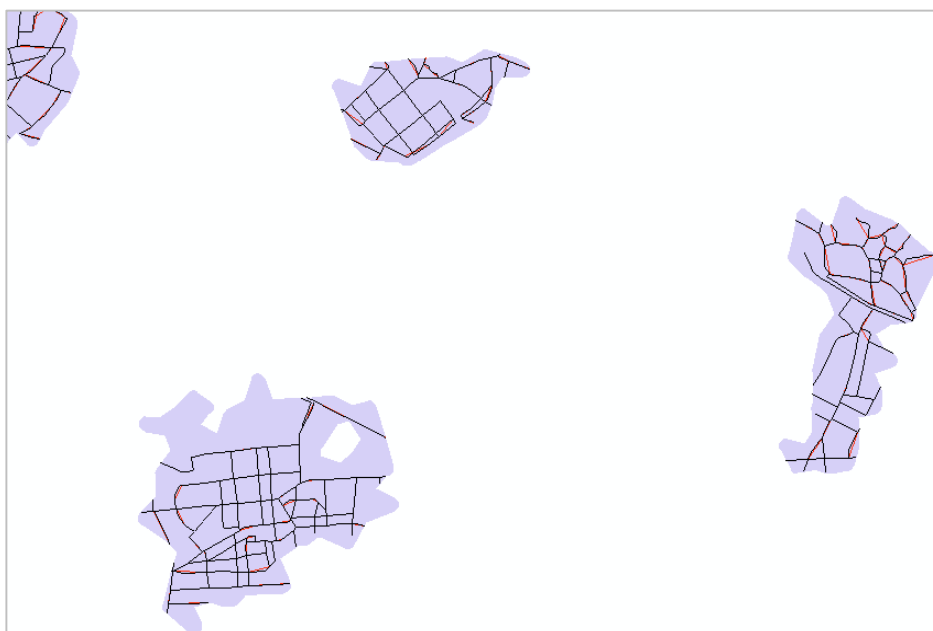


Εικόνα 31: Επιλογή των δρόμων που διατηρούνται στη νέα κλίμακα

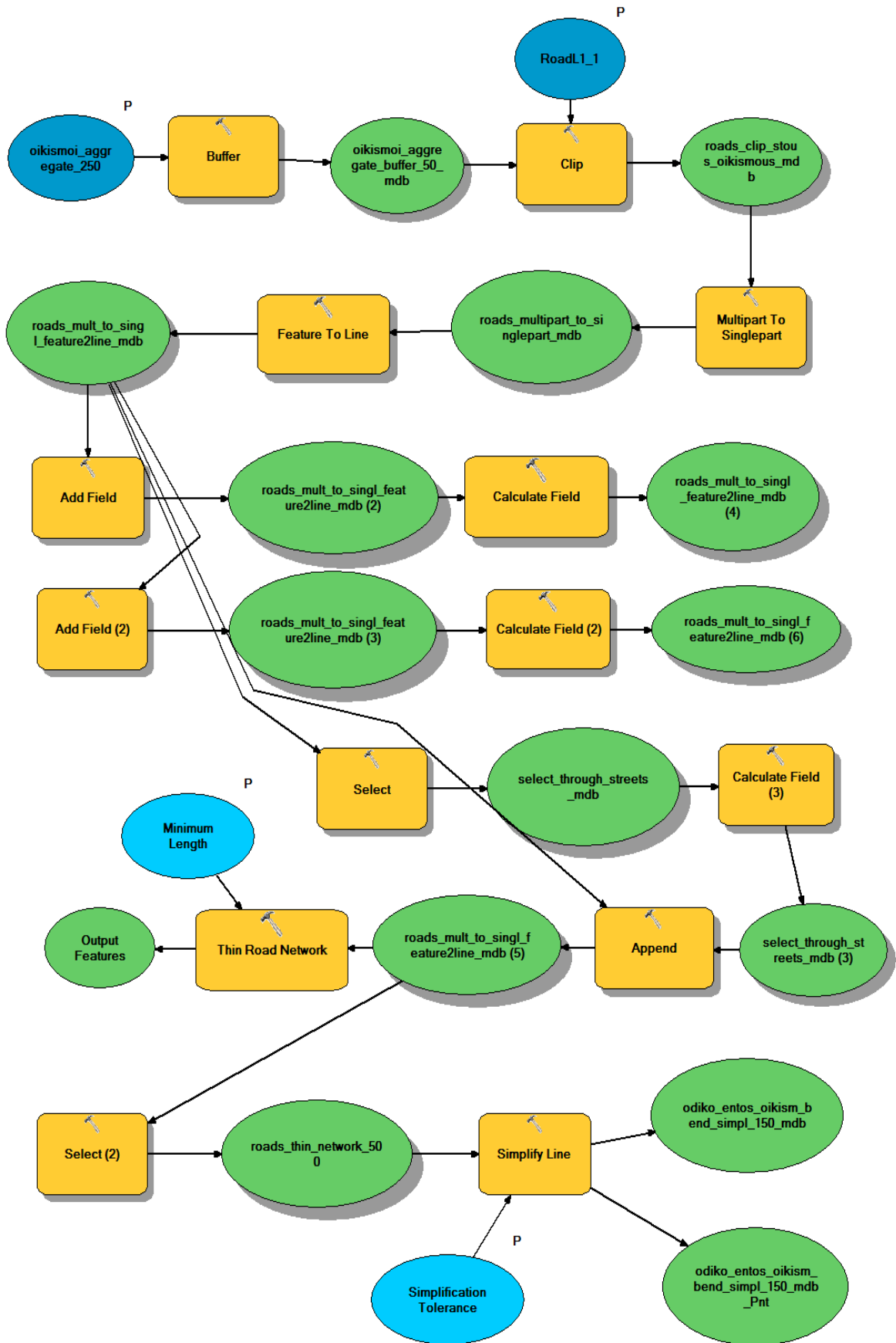


Εικόνα 32: Απόσπασμα του απλοποιημένου οδικού δικτύου μετά την εκτέλεση του εργαλείου *Thin Road Network* (με κόκκινο φαίνονται οι δρόμοι που διαγράφονται)

- ⌘ Τέλος, για καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα, έγινε απλοποίηση των γραμμών με το εργαλείο **ArcToolbox/Cartography Tools/Generalization/Simplify Line** και με επιλογή του αλγορίθμου *Bend Simplify*. Ως τιμή ανοχής ορίστηκαν τα 150 μέτρα και προέκυψε η τελική χωρική κλάση *odiko_entos_oikismwn_bend_simplify_150*.



Εικόνα 33: Απόσπασμα του απλοποιημένου οδικού δικτύου μετά την εκτέλεση του εργαλείου *Simplify Line* (με κόκκινο διακρίνονται οι απλοποιημένοι δρόμοι)

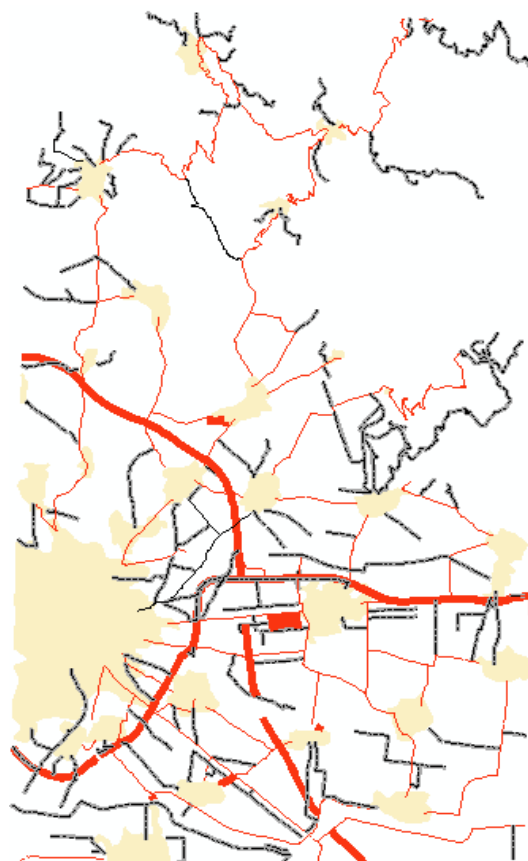


Εικόνα 34: Μοντέλο αυτόματης γενίκευσης οδικού δικτύου εντός οικισμών

Τα δεδομένα του μοντέλου, η τιμή του ελάχιστου μήκους στο εργαλείο Thin Road Network καθώς και η τιμή της ανοχής στο εργαλείο απλοποίησης γραμμής ορίστηκαν ως παράμετροι, ώστε να δίνεται η δυνατότητα καθορισμού τους στον εκάστοτε χρήστη.

3.4.2 Γενίκευση Οδικού Δικτύου εκτός Οικισμών

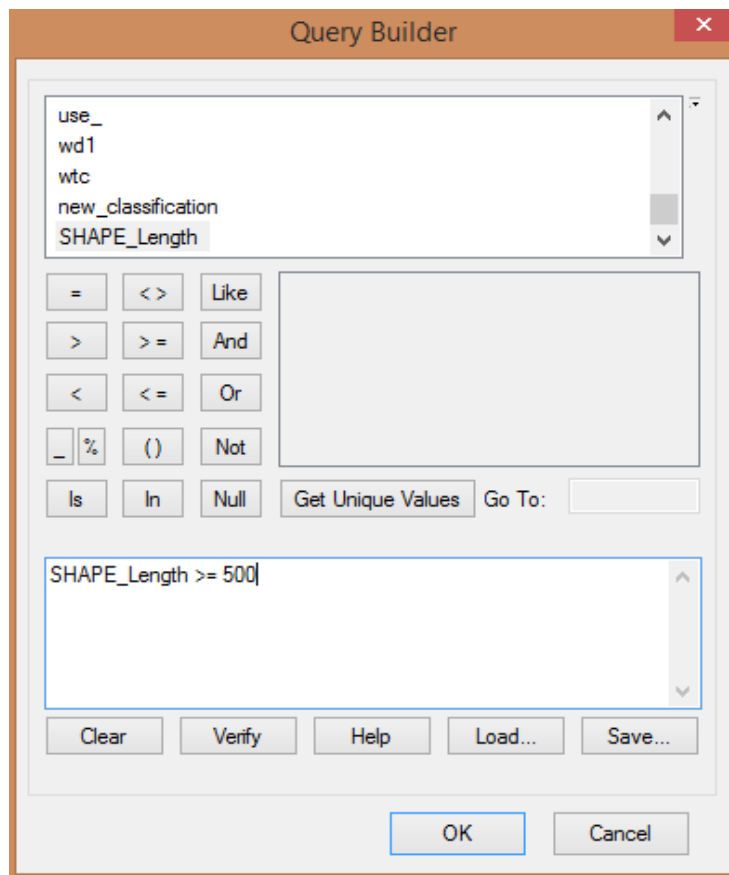
Για τη γενίκευση του οδικού δικτύου εκτός των οικισμών, το πρώτο βήμα είναι η απομόνωση των οντοτήτων που βρίσκονται εκτός των πολυγώνων των οικισμών σε ένα νέο θεματικό επίπεδο. Λόγω του τρόπου συλλογής των δεδομένων όμως από τη ΓΥΣ, η εφαρμογή της εντολής **Select by Location** του λογισμικού δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, καθώς αφήνει εκτός επιλογής μεγάλα τμήματα του οδικού δικτύου που σε κάποιο σημείο τους τέμνονται με πολύγωνο οικισμού. Για το λόγο αυτό, κρίθηκε απαραίτητη η χειροκίνητη επιλογή των στοιχείων του οδικού δικτύου που βρίσκονται εκτός κατοικημένης περιοχής και η αποθήκευσή τους στη χωρική κλάση *roads_ektos_oikismwn*.



Εικόνα 35: Η νέα χωρική κλάση του οδικού δικτύου εκτός οικισμών

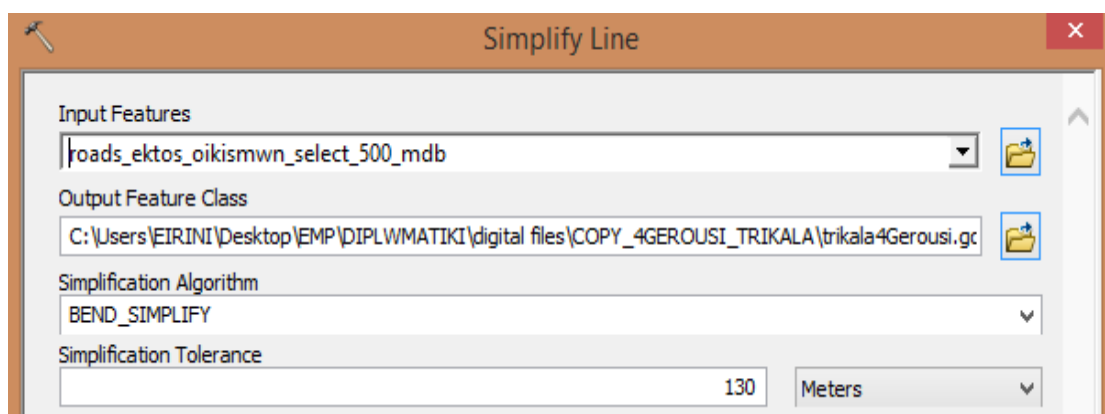
Στη συνέχεια, ως κριτήριο για την επιλογή των στοιχείων που θα εμφανίζονται στη νέα κλίμακα επιλέχθηκε το μήκος των 500 μέτρων και συνεπώς τμήματα του οδικού δικτύου όλων των κατηγοριών με μήκος μικρότερο ή και ίσο των 500 μέτρων

διαγράφονται. Με τον τρόπο αυτό, προκύπτει η νέα feature class *roads_ektos_oikismwn_select_500*.

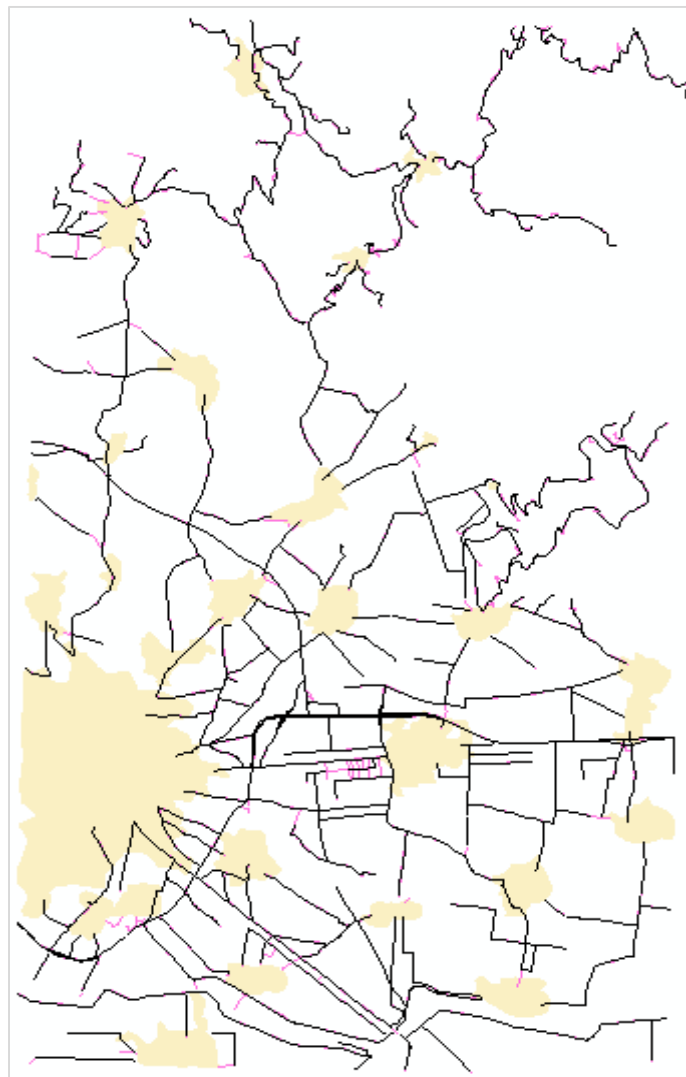


Εικόνα 36: Επιλογή τμημάτων του οδικού δικτύου με μήκος μεγαλύτερο ή ίσο των 500μ.

Η διαδικασία ολοκληρώνεται με απλοποίηση και εξομάλυνση των γραμμικών στοιχείων με χρήση των εργαλείων **Simplify Line** και **Smooth Line** και με επιλογή των αλγορίθμων Bend Simplify και PAEK. Ως τιμή ανοχής ορίστηκαν τα 130 και 200 μέτρα αντίστοιχα και προέκυψε η τελική χωρική κλάση *odiko_ektos_oikismwn_select_500_bs_130_PAEK_200*.

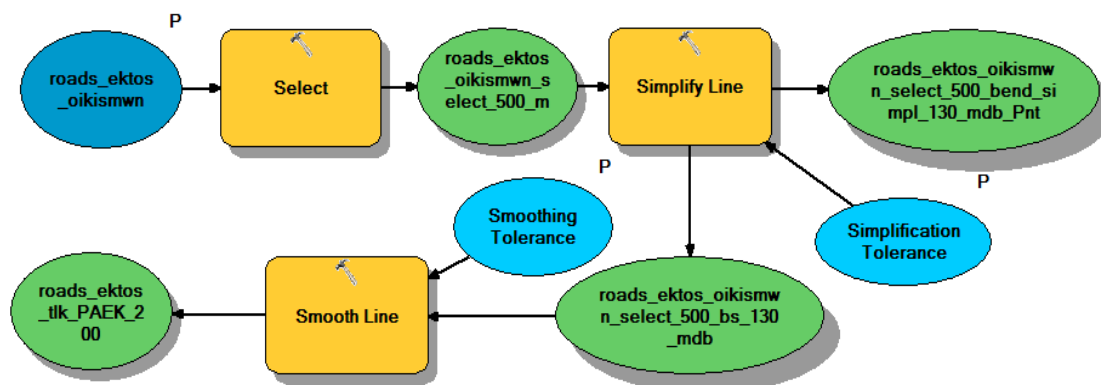


Εικόνα 37: Ρύθμιση παραμέτρων στο εργαλείο Simplify Line



Εικόνα 38: Γενικευμένο οδικό δίκτυο εκτός οικισμών (με ροζ τα τμήματα που διαγράφονται)

Η όλη διαδικασία αυτοματοποιήθηκε με τη βοήθεια του ArcGIS ModelBuilder στο εργαλείο **Odiko_Ektos_Oikismou_Generalization_A**, η ροή εργασιών του οποίου φαίνεται στην ακόλουθη [εικόνα](#):



Εικόνα 39: Μοντέλο αυτόματης γενίκευσης οδικού δικτύου εκτός οικισμών

Μία εναλλακτική λύση για τη γενίκευση αυτής της χωρικής κλάσης θα ήταν η χρήση του εργαλείου *Thin Road Network* του ArcToolbox, το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στη γενίκευση του οδικού δικτύου εντός οικισμών. Μάλιστα, στην περίπτωση αυτή το εργαλείο αναμένεται να δώσει καλύτερα αποτελέσματα, καθώς υπάρχει εξ' αρχής πρωτογενής πληροφορία για την ιεράρχηση του οδικού δικτύου και επιπλέον η χωρική κλάση εμπεριέχει δρόμους και των τεσσάρων κατηγοριών.

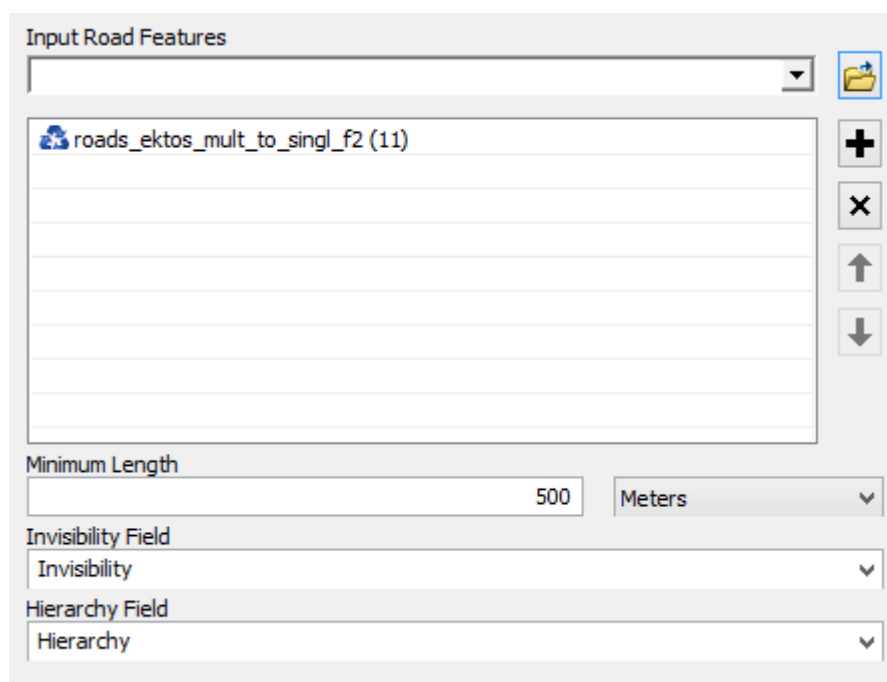
Συνοπτικά, τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα κάτωθι:

- ✂ Δημιουργία νέας feature class (*roads_ektos_multipart_to_singlepart*) που περιέχει οντότητες ενός ενιαίου τμήματος από τις δοθείσες πολλαπλών τμημάτων.
- ✂ Διάρθρωση των γραμμικών οντοτήτων της κλάσης σε επιμέρους οντότητες στα σημεία τομής τους, με το εργαλείο **ArcToolbox/Data Management Tools/Features/Feature to Line** και δημιουργία της χωρικής κλάσης *roads_ektos_mult_to_singl_f2l*.
- ✂ Προσθήκη δύο νέων πεδίων στον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών της χωρικής κλάσης *roads_ektos_mult_to_singl_f2l* με την εντολή **Add Field**:
 - Invisibility: με αρχική τιμή για όλες τις οντότητες το -1, σύμφωνα με τις οδηγίες στη βοήθεια του εργαλείου.
 - Hierarchy: στο οποίο αποθηκεύεται η πληροφορία που αφορά στην ιεράρχηση του δικτύου.
- ✂ Αφού δημιουργήθηκε ένα αντίγραφο της χωρικής κλάσης *roads_ektos_mult_to_singl_f2l*, έγινε μετατροπή της σε layer με την εντολή **ArcToolbox/Data Management Tools/Layers & Table Views/Make Feature Layer**, προκειμένου να είναι εφικτή στη συνέχεια η απόδοση τιμών σε επιλεγμένες μόνο οντότητες.
- ✂ Με χρήση της εντολής **ArcToolbox/Data Management Tools/Layers & Table Views/Select Layer By Attribute**, επιλέγονται οι οντότητες βάσει του πεδίου *new_classification* και με **ArcToolbox/Data Management Tools/Fields/Calculate Fields** αποδίδονται οι εξής τιμές:
 - 1 για τα τμήματα του οδικού δικτύου με *new_classification=220* (ορίζεται δηλαδή σαν σημαντικότερη κατηγορία η *Ασφαλτόστρωτη οδός με δύο λωρίδες*).
 - 2 για τα τμήματα του οδικού δικτύου με *new_classification=210* (ακολουθεί η κατηγορία *Ασφαλτόστρωτη οδός με μία λωρίδα*).

- 3 για τα τμήματα του οδικού δικτύου με `new_classification=120` (Σκυρόστρωτη οδός με δύο λωρίδες).
- 4 για τα τμήματα του οδικού δικτύου με `new_classification=110` (Σκυρόστρωτη οδός με μία λωρίδα).

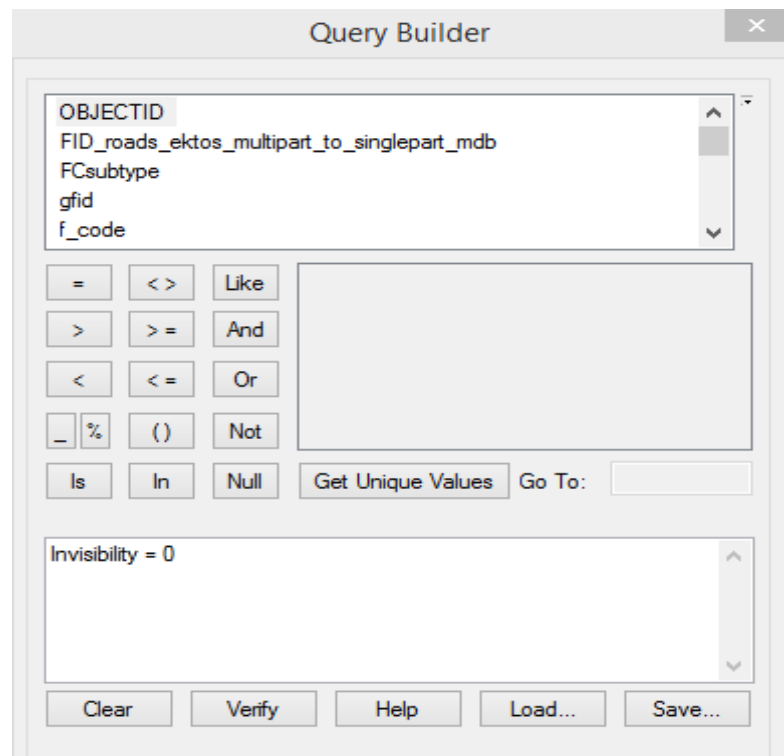
⌘ Εφαρμόζεται το εργαλείο **ArcToolbox/Cartography Tools/Generalization/Thin Road Network** με τις εξής παραμέτρους:

- Input road features: η χωρική κλάση `roads_ektos_mult_to_singl_f2l`
- Minimum length: ορίστηκε ως ελάχιστο μήκος τμήματος οδικού δικτύου τα 500 μέτρα.
- Invisibility length: το νέο πεδίο Invisibility που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο στάδιο.
- Hierarchy field: το νέο πεδίο Hierarchy που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο στάδιο.

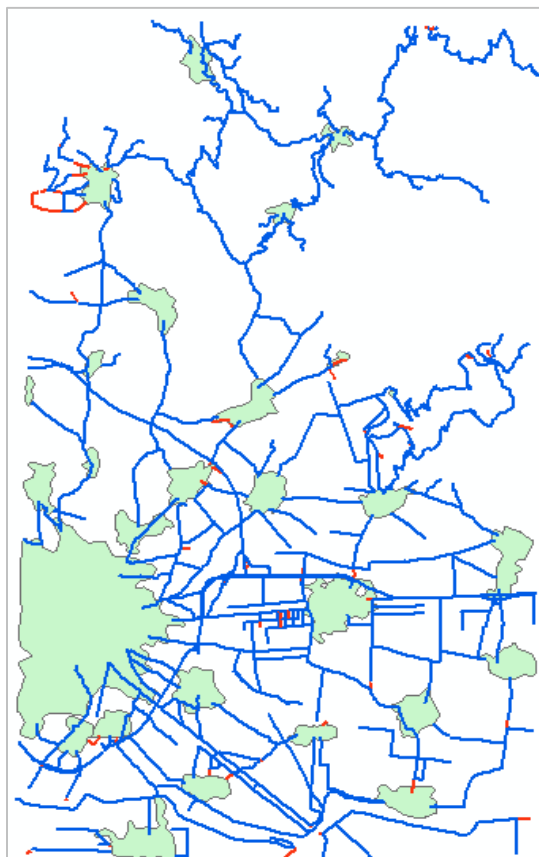


Εικόνα 40: Ρύθμιση παραμέτρων στο εργαλείο Thin Road Network

⌘ Ακολούθως, προκειμένου να γίνουν εμφανή τα τμήματα του οδικού δικτύου που διατηρήθηκαν, επιλέχθηκαν από τον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών όσα είχαν τιμή 0 στο πεδίο Invisibility και αποθηκεύτηκαν στη χωρική κλάση `roads_ektos_thin_network_500`.

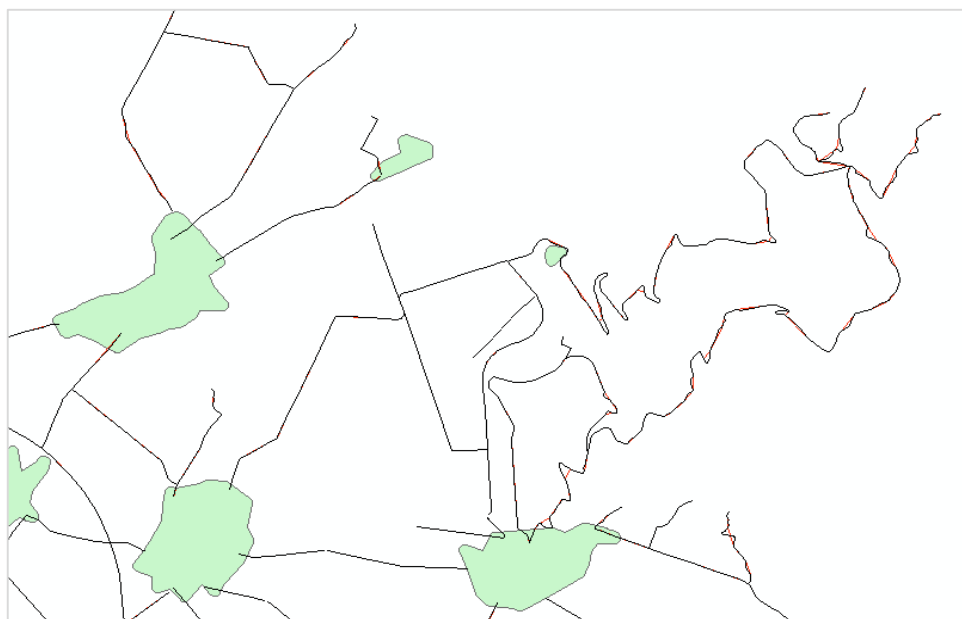


Εικόνα 41: Επιλογή των δρόμων που διατηρούνται στη νέα κλίμακα



Εικόνα 42: Απλοποιημένο οδικό δίκτυο μετά την εκτέλεση του εργαλείου Thin Road Network (με κόκκινο οι δρόμοι που διαγράφονται)

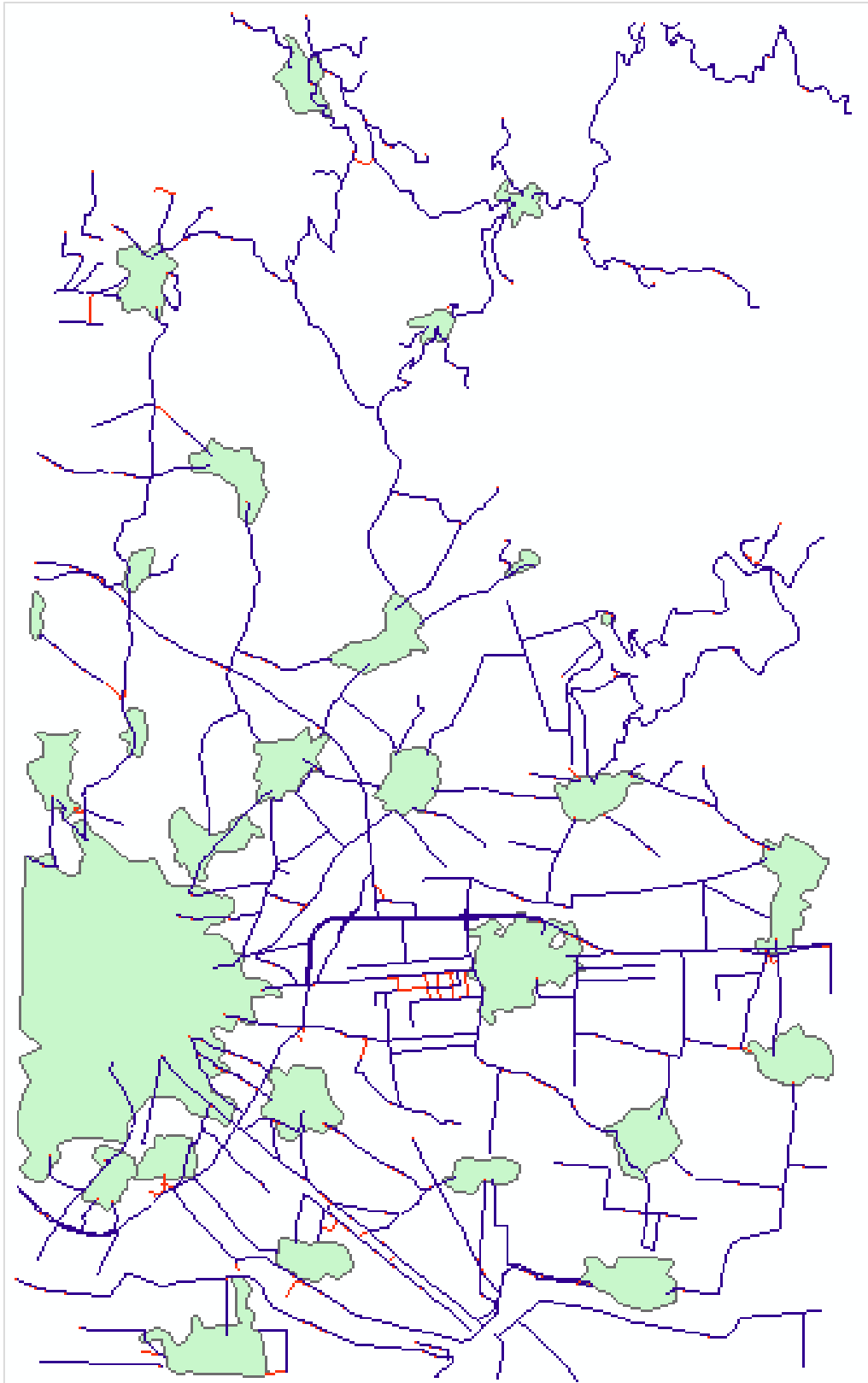
- λ Απλοποίηση των γραμμών με το εργαλείο **ArcToolbox/Cartography Tools/Generalization/Simplify Line** και με επιλογή του αλγορίθμου Bend Simplify. Ως τιμή ανοχής ορίστηκαν τα 130 μέτρα
- λ Εξομάλυνση των γραμμών με το εργαλείο **ArcToolbox/Cartography Tools/Generalization/Smooth Line** και με επιλογή του αλγορίθμου ΡΑΕΚ. Ως τιμή ανοχής ορίστηκαν τα 200 μέτρα και προέκυψε η τελική χωρική κλάση *roads_ektos_bs_130_PAEK_200*.



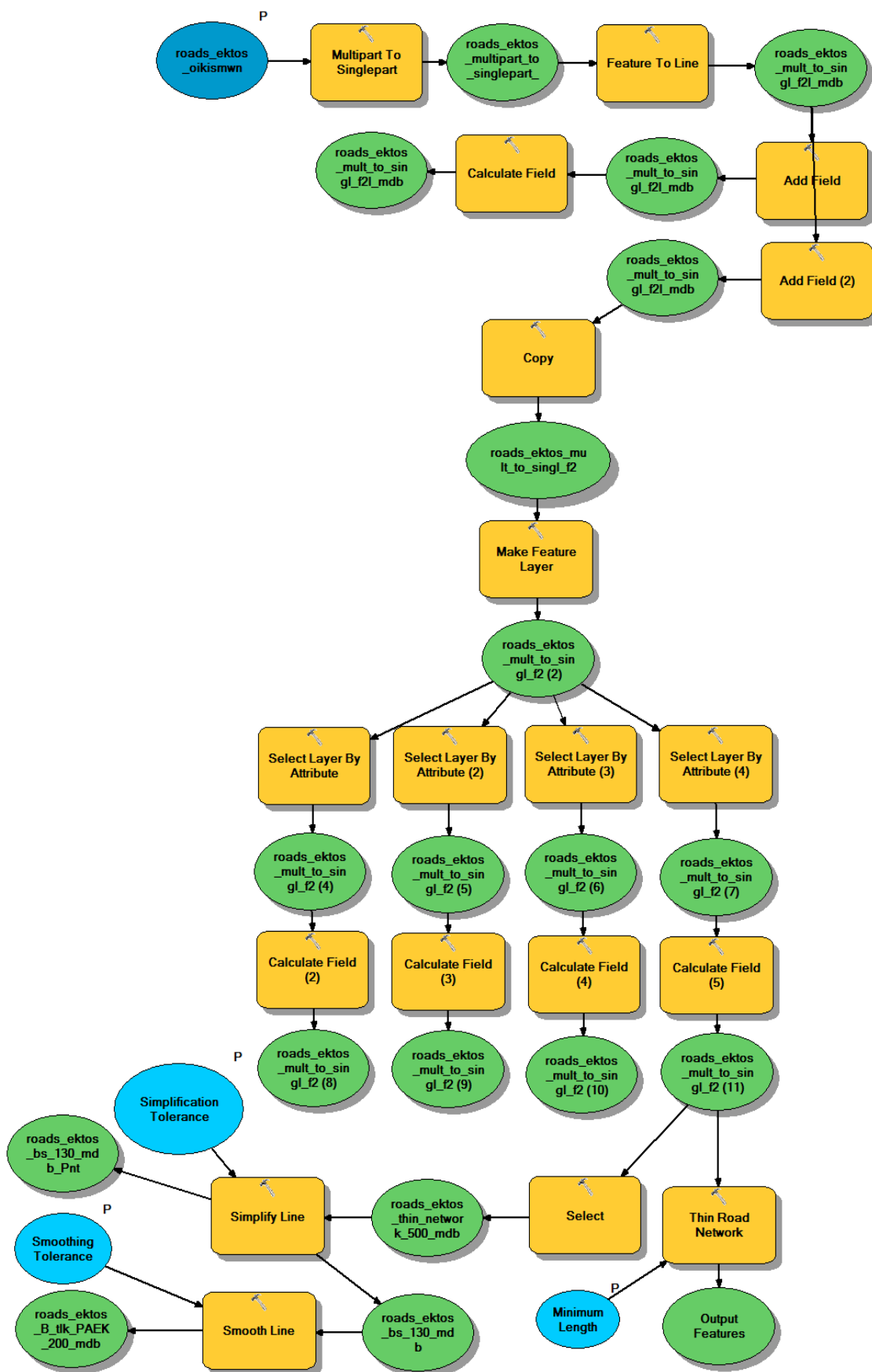
Εικόνα 43: Απόσπασμα του απλοποιημένου οδικού δικτύου μετά την εκτέλεση του εργαλείου Simplify Line (με κόκκινο διακρίνονται οι απλοποιημένοι δρόμοι)

Η όλη διαδικασία αυτοματοποιήθηκε με τη βοήθεια του ArcGIS ModelBuilder στο εργαλείο **Odiko_Ektos_Oikismou_Generalization_B**, η ροή εργασιών του οποίου φαίνεται στην [Εικόνα 45](#).

Συγκρίνοντας τις δύο προσεγγίσεις για τη γενίκευση του οδικού δικτύου εκτός οικισμών που αναλύθηκαν παραπάνω, προκύπτει το συμπέρασμα πως τα αποτελέσματα της μιας δεν αποκλίνουν πολύ από τα αποτελέσματα της άλλης. Δίνοντας μάλιστα την ίδια στην παράμετρο ανοχής του ελάχιστου μήκους (500 μέτρα), η μορφή του δικτύου που δημιουργούν τα δύο εργαλεία είναι παρεμφερής, με τη μέθοδο Thin Road Network να διατηρεί ορισμένες επιπλέον γραμμικές οντότητες μικρού μήκους, οι οποίες απαλείφονται με την πρώτη μέθοδο. Στην [εικόνα](#) που ακολουθεί, φαίνεται με μπλε χρώμα το αποτέλεσμα της πρώτης μεθόδου κατά την οποία επιλέχθηκαν και διαγράφηκαν οντότητες με μήκος μικρότερο των 500 μέτρων, ενώ με κόκκινο το γενικευμένο οδικό δίκτυο, όπως προκύπτει με χρήση του εργαλείου *Thin Road Network*.



Εικόνα 44: Σύγκριση των δύο εργαλείων για τη γενίκευση του οδικού δικτύου εκτός οικισμών

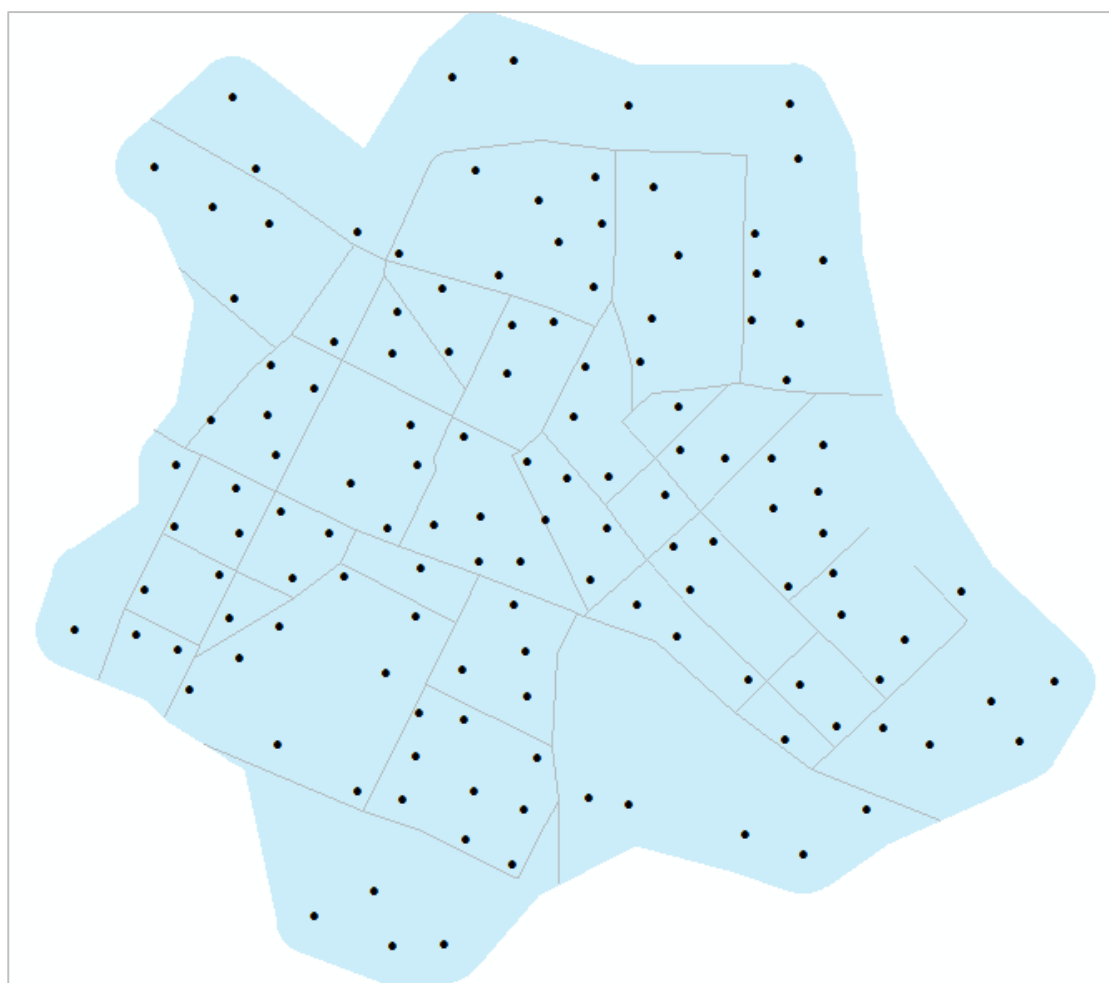


Εικόνα 45: Μοντέλο αυτόματης γενίκευσης οδικού δικτύου εκτός οικισμών με το εργαλείο Thin Road Network

3.5 Γενίκευση Οικισμών (σημειακά σύμβολα)

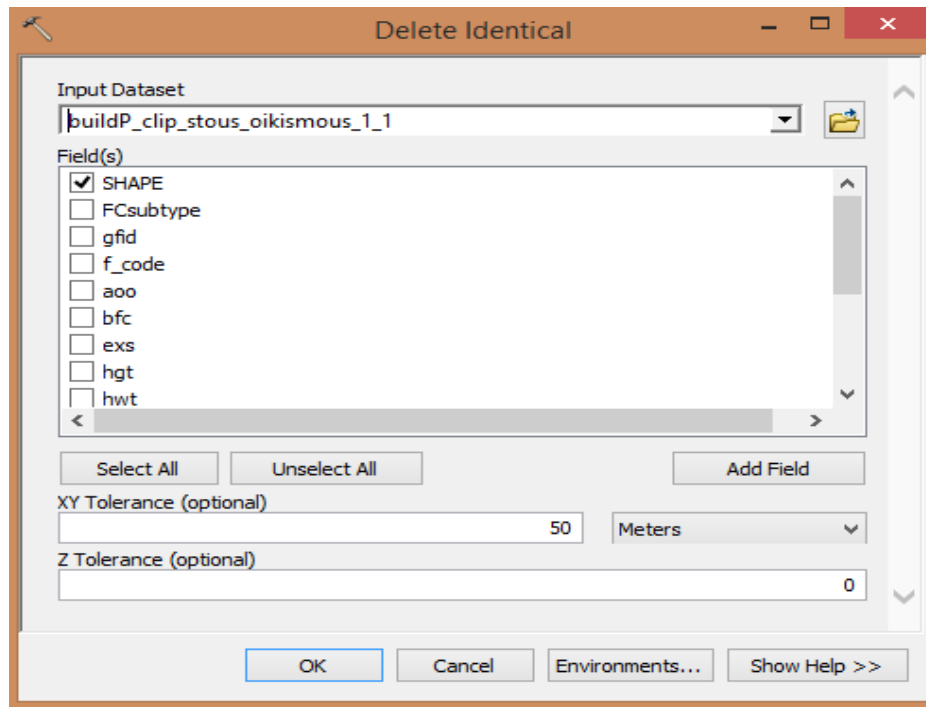
Όσον αφορά στη γενίκευση των σημειακών οντοτήτων των κτιρίων που συνθέτουν τους οικισμούς της περιοχής μελέτης, έγινε χρήση ενός εργαλείου του λογισμικού και συγκεκριμένα του **ArcToolbox/Data Management Tools/General/Delete Identical**.

Αρχικά, θα πρέπει να σημειωθεί πως, μελετώντας τον δοθέντα χάρτη κλίμακας 1:100.000 της ΓΥΣ, διαπιστώθηκε ότι στην κλίμακα αυτή συναντώνται κτίρια μόνο εντός των ορίων των κατοικημένων περιοχών, σε αντίθεση με το Φ.Χ. 1:50.000. Συνεπώς, με χρήση της εντολής **ArcToolbox/Analysis Tools/Extract/Clip**, έγινε αποκοπή των κτιρίων στα όρια των οικισμών.



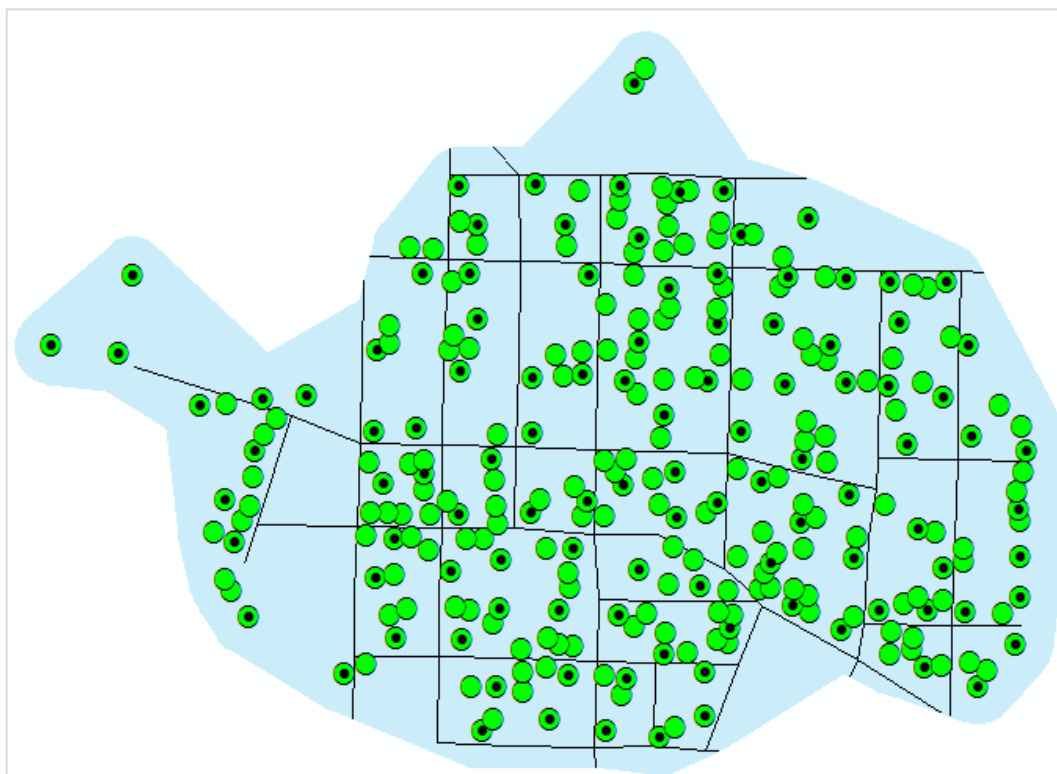
Εικόνα 46: Αποκοπή (clip) των κτιρίων στα όρια οικισμού

Επειτα, θέτοντας στο εργαλείο **ArcToolbox/Data Management Tools/General/Delete Identical** ως είσοδο τη νέα χωρική κλάση που προέκυψε από το προηγούμενο βήμα και επιλέγοντας το πεδίο Shape και τιμή ανοχής κατά ΧΥ τα 50 μέτρα, διαγράφονται από την ορισθείσα feature class εγγραφές που έχουν ταυτόσημες σχεδόν τιμές στη γεωμετρία τους.



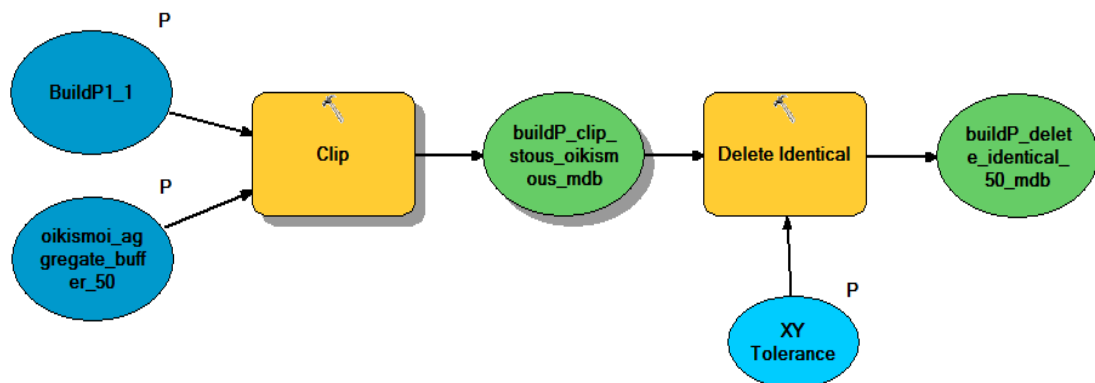
Εικόνα 47: Επιλογή παραμέτρων στο εργαλείο Delete Identical του ArcToolbox

Το αποτέλεσμα είναι να προκύψει η ζητούμενη γενικευμένη χωρική κλάση, η οποία μετονομάστηκε σε *buildP_delete_identical_50*.



Εικόνα 48: Γενικευμένα σημειακά κτίρια σε έναν οικισμό της περιοχής μελέτης (με μαύρο σύμβολο αυτά που διατηρούνται στη νέα κλίμακα)

Τα παραπάνω συνοψίζονται στο μοντέλο **BuildP_Generalization**, το διάγραμμα ροής του οποίου φαίνεται στην [Εικόνα 49](#).



Εικόνα 49: Μοντέλο αυτόματης γενίκευσης κτιρίων

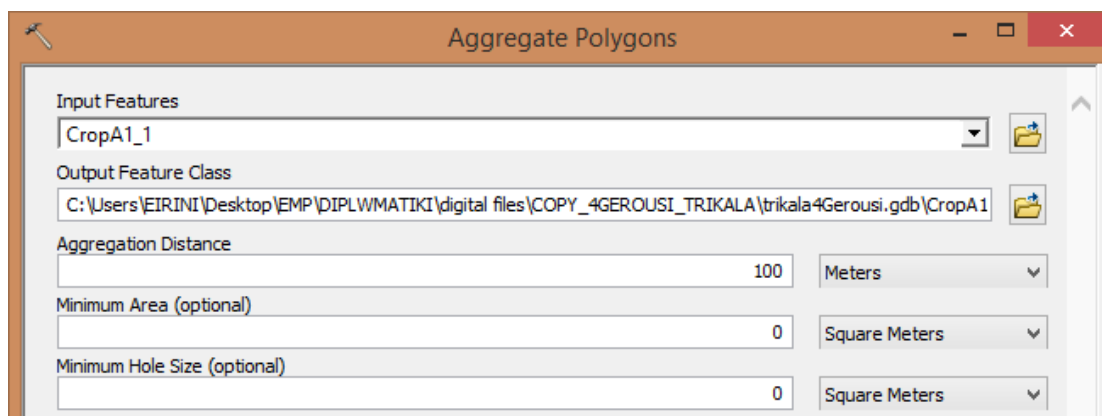
3.6 Γενίκευση Καλλιεργειών

Στην περίπτωση των καλλιεργειών, η περιοχή μελέτης καλύπτεται από έντεκα πολύγωνα, εκ των οποίων τα δέκα είναι περίπου του ίδιου μεγέθους (και αρκετά μεγάλα ώστε να μπορούν να αποδίδονται στη νέα κλίμακα) και ένα κατά πολύ μεγαλύτερο σε επιφάνεια από τα υπόλοιπα. Ως εκ τούτου, κρίθηκε σωστότερο η επιλογή των οντοτήτων που θα διατηρηθούν στην τελική κλίμακα να μην γίνει με βασικό κριτήριο το εμβαδόν που καταλαμβάνουν.

ObjectID *	SHAPE *	FC-Subtype	gfid	F-Code	Farming Type Category	Vegetation Characteristics	SHAPE_Length	SHAPE_Area
3	Polygon ZM	CroplandArea	FEC23575-5CB6-445A-BE9B-8412AAB9C5EC	EA010	Unknown	Unknown	1468.17023	60745.63536
4	Polygon ZM	CroplandArea	10D11DE8-EB62-4462-9F9F-996E82A59926	EA010	Unknown	Unknown	3677.163785	163381.902286
6	Polygon ZM	CroplandArea	68272881-E7A0-43C4-993E-FE149CDB524A	EA010	Unknown	Unknown	2559.670391	167363.996664
10	Polygon ZM	CroplandArea	B2E55310-7284-4095-AE88-E70F1E38F5E5	EA010	Unknown	Unknown	2358.83712	199333.400482
5	Polygon ZM	CroplandArea	957C7672-9CC5-492F-8BAF-67608B0E74BB	EA010	Unknown	Unknown	2761.193823	201582.770551
2	Polygon ZM	CroplandArea	19DD5F55-34A2-46F4-A897-DE4B7156CD3D	EA010	Unknown	Unknown	4795.591771	240218.264732
1	Polygon ZM	CroplandArea	2822D64D-03D3-4AAF-B9AB-94396F0A331B	EA010	Unknown	Unknown	4365.635637	275415.26802
9	Polygon ZM	CroplandArea	3686B0C62-2CAE-4CE2-AD0E-C2FBEE0A2473	EA010	Unknown	Unknown	2665.448226	291472.996782
7	Polygon ZM	CroplandArea	666002E3-187A-4FA4-88E0-9BD52E88765E	EA010	Unknown	Unknown	9818.303026	829346.708244
8	Polygon ZM	CroplandArea	4E521B20-D34C-4524-91AF-44C9BE463E3E	EA010	Unknown	Unknown	17506.850338	1176935.257964
11	Polygon ZM	CroplandArea	E1C948AE-20ED-4A24-9AF4-6B8964238896	EA010	Unknown	Unknown	245850.804169	135659176.687753

Εικόνα 50: Πίνακας περιγραφικών χαρακτηριστικών της δοθείσης feature class για τις καλλιέργειες

Αντ' αυτού, χρησιμοποιήθηκε η σύνδεση γειτονικών πολύγωνων με το εργαλείο **ArcToolbox/Cartography Tools/Generalization/Aggregate Polygons**, το οποίο συνδυάζει/συνενώνει γειτονικά πολύγωνα που βρίσκονται εντός μιας συγκεκριμένης απόστασης σε νέα πολύγωνα. Ως μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο οντοτήτων, ορίστηκαν τα 100 μέτρα, βάσει και της κλίμακας του χάρτη.

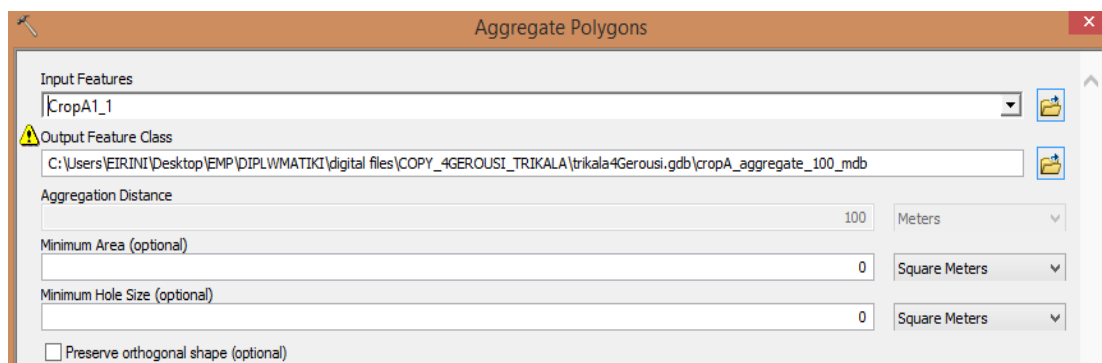


Εικόνα 51: Καθορισμός τιμών παραμέτρων στο εργαλείο Aggregate Polygons

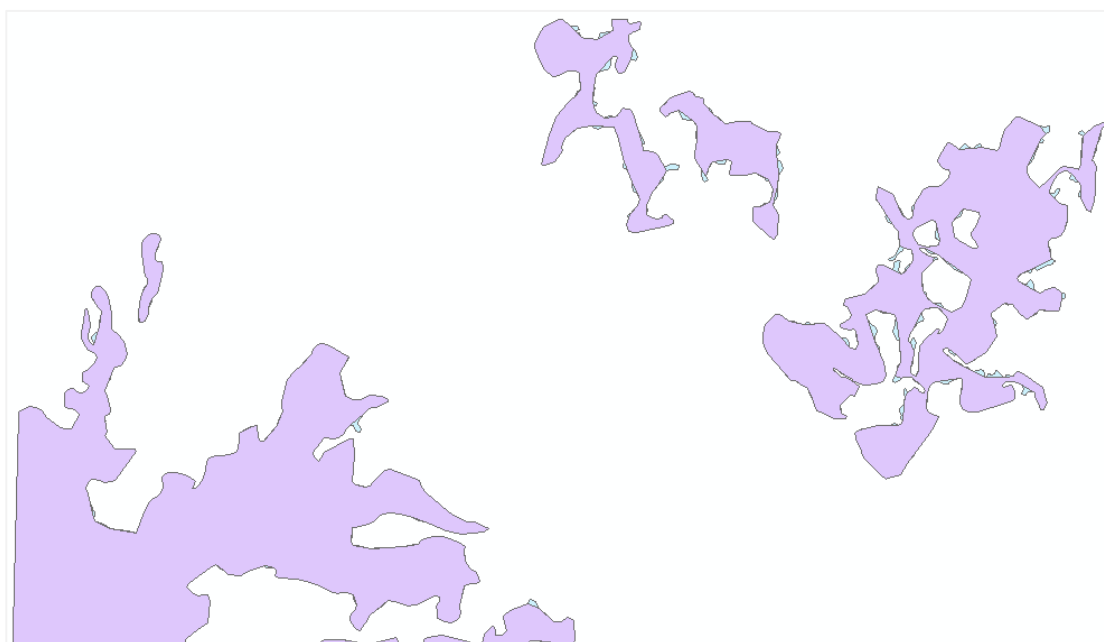


Εικόνα 52: Εφαρμογή του εργαλείου Aggregate Polygons σε τμήμα της περιοχής μελέτης

Προκύπτει έτσι η νέα χωρική κλάση *cropA_aggregate_100*, στην οποία ακολούθως εφαρμόζεται απλοποίηση με χρήση του εργαλείου **ArcToolbox/Cartography Tools/Generalization/Simplify Polygon**. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε είναι ο Bend Simplify με τιμή ανοχής 100 μέτρα.



Εικόνα 53: Καθορισμός τιμών παραμέτρων στο εργαλείο Simplify Polygon

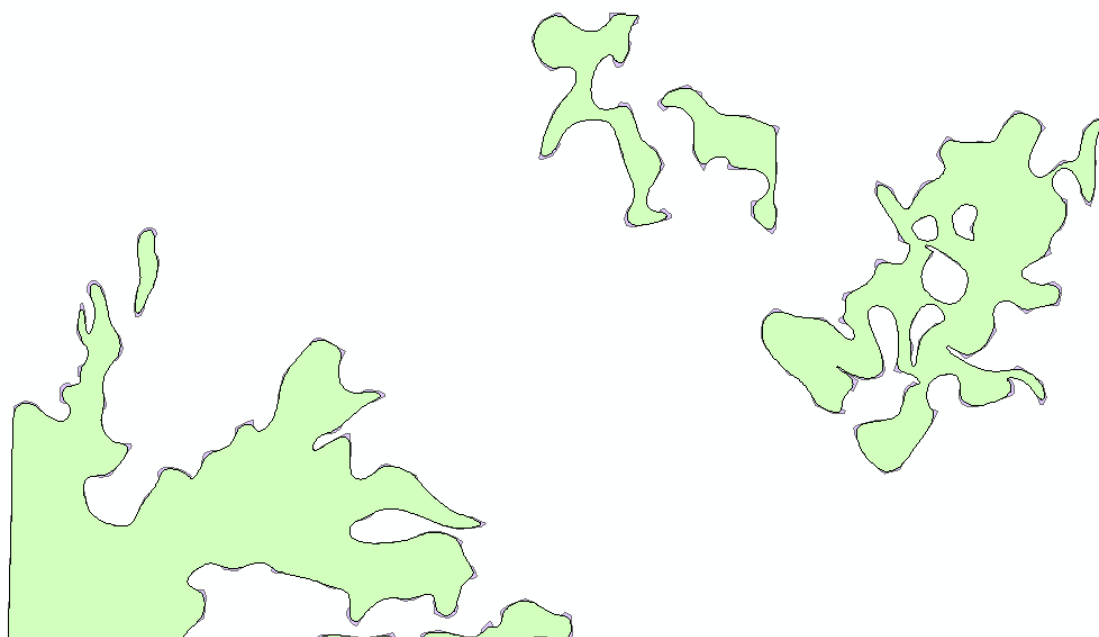


Εικόνα 54: Εφαρμογή του εργαλείου Simplify Polygons σε τμήμα της περιοχής μελέτης (με μοβ χρώμα τα νέα πολύγωνα)

Στο τελευταίο στάδιο, τα πολύγωνα που προέκυψαν παραπάνω υφίστανται μια εξομάλυνση με εφαρμογή του εργαλείου **ArcToolbox/Cartography Tools/ Generalization/Smooth Polygon** και επιλογή του αλγορίθμου PAEK με τιμή ανοχής 220 μέτρα.

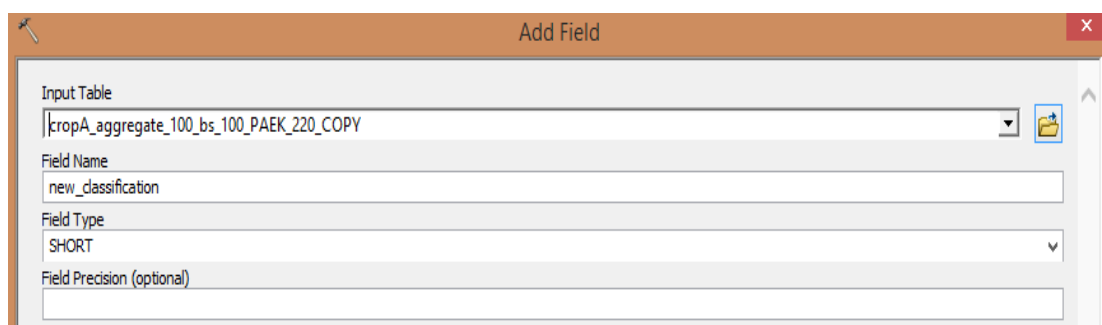


Εικόνα 55: Καθορισμός τιμών παραμέτρων στο εργαλείο Smooth Polygon



Εικόνα 56: Εφαρμογή του εργαλείου Smooth Polygons σε τμήμα της περιοχής μελέτης (με λαχανί χρώμα τα νέα πολύγωνα)

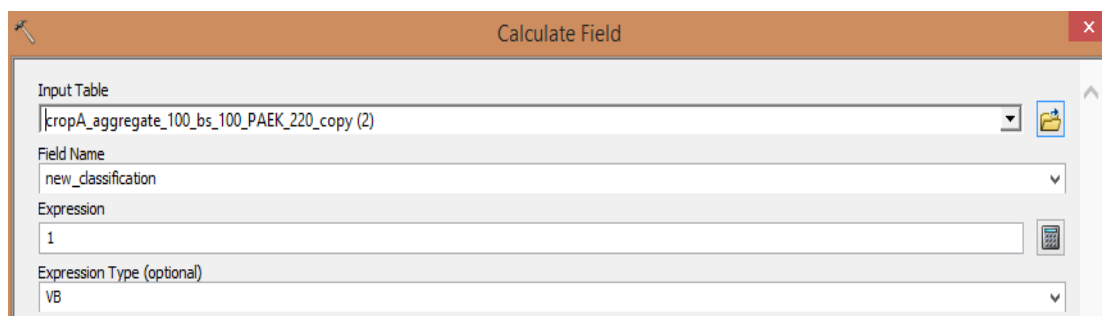
Δεδομένου ότι εντός των πολυγώνων των καλλιεργειών υπάρχουν «τρύπες», προστέθηκαν ορισμένες ακόμη διαδικασίες εντοπισμού και απομάκρυνσης των οντοτήτων αυτών με μικρό εμβαδόν. Αρχικά, δημιουργήθηκε ένα αντίγραφο της εξομαλυμένης χωρικής κλάσης, στο οποίο προστέθηκε με την εντολή **Add Field** ένα νέο πεδίο, το «new_classification» (Εικόνα 57), προκειμένου να αποθηκευτεί στη συνέχεια η πληροφορία για τον χαρακτηρισμό κάθε πολυγώνου ως τρύπας ή καλλιέργειας.



Εικόνα 57: Προσθήκη νέου πεδίου στη χωρική κλάση των εξομαλυμένων καλλιεργειών

Στο πεδίο αυτό, με την εντολή **Calculate Field** καταχωρήθηκε η τιμή 1 για όλες τις οντότητες των καλλιεργειών (Εικόνα 58).

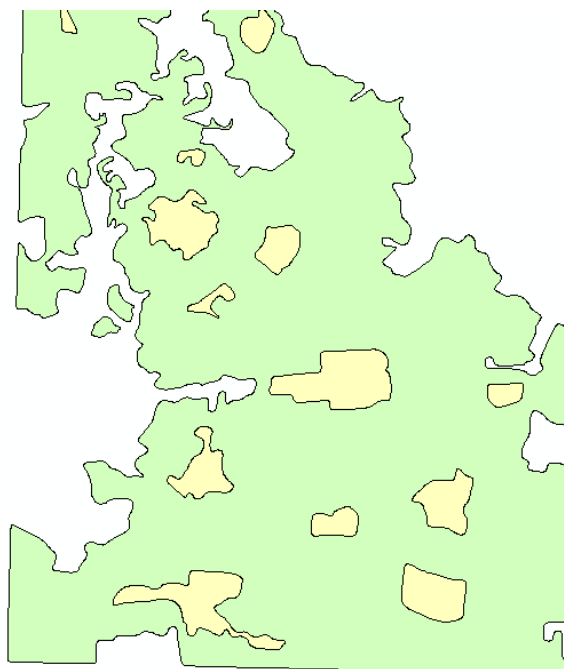
Για τον σχηματισμό των τρυπών, έγινε χρήση του εργαλείου **ArcToolbox/Analysis Tools/Overlay/Union**. Εντοπίστηκαν έτσι 18 πολύγωνα τρυπών στην περιοχή μελέτης, τα οποία συμβολίζονται στην Εικόνα 60 με κίτρινο χρώμα.



Εικόνα 58: Καταχώρηση της τιμής 1 σε όλες τις οντότητες του πεδίου new_classification

ObjectID *	SHAPE *	FID_cropA_aggregate_100_bs_100_P	InPoly_FID	SimPgnFlag	MaxSimpTol	MinSimpTol	new_classification	SHAPE_Length	SHAPE_Area
1	Polygon ZM	1	1	0	100	100	1	3239.362178	279241.294419
2	Polygon ZM	2	2	0	100	100	1	5653.732302	457620.629155
3	Polygon ZM	3	3	0	100	100	1	18556.823138	2059664.668035
4	Polygon ZM	4	4	0	100	100	1	1785.852066	193910.301927
5	Polygon ZM	5	5	0	100	100	1	222880.562499	135929538.254548
6	Polygon ZM	6	6	0	100	100	1	1265.716049	56580.060025
7	Polygon ZM	7	7	0	100	100	1	2331.414927	290122.74937
8	Polygon ZM	8	8	0	100	100	1	1802.578597	191240.817011
9	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	11663.118505	2321618.163563
10	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	4709.842601	1440946.251291
11	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	3150.613768	585416.706801
12	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	4879.217214	1250175.172689
13	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	5848.725224	1126834.624382
14	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	2358.4155	372352.78644
15	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	7646.542873	2661202.741996
16	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	3345.582843	300414.181395
17	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	3426.097622	789169.448837
18	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	6715.465254	1672464.328682
19	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	1893.782669	165892.092844
20	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	2858.241323	545873.653702
21	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	2729.0019	201086.16494
22	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	2212.767485	193306.39362
23	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	1079.216162	46840.368634
24	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	1219.51196	94220.675886
25	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	557.76058	24110.095373
26	Polygon ZM	-1	0	0	0	0	0	718.815786	33829.187673

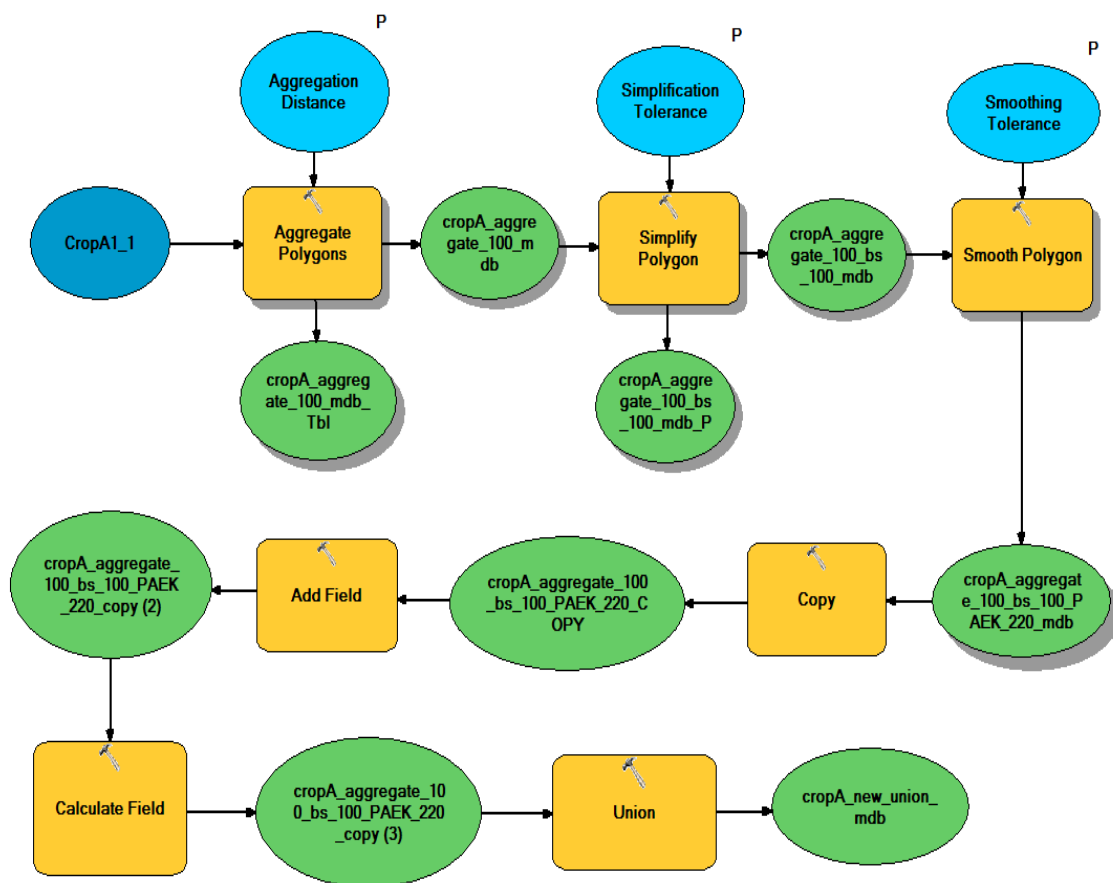
Εικόνα 59: Εντοπισμός των τρυπών εντός των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης



Εικόνα 60: Απόσπασμα της περιοχής μελέτης όπου διακρίνονται (με κίτρινο χρώμα) οι «τρύπες» εντός των καλλιεργειών

Ένα κοινό χαρακτηριστικό των πολυγώνων των τρυπών είναι η ύπαρξη της τιμής 0 στο πεδίο *new_classification*. Συνεπώς, επιλέγοντας ο χειριστής στη συνέχεια κάποιες από τις οντότητες αυτές με κριτήριο είτε ένα ελάχιστο εμβαδόν (π.χ. 90.000 τ.μ.) είτε ένα ιδιόμορφο (π.χ. μακρόστενο) σχήμα, είναι εύκολο να διαγραφούν από την γενικευμένη χωρική κλάση. Το τελευταίο αυτό στάδιο της διαδικασίας που αφορά στην απομάκρυνση των τρυπών, κρίθηκε προτιμότερο να μην αυτοματοποιηθεί στο Model Builder, καθότι κάτι τέτοιο επιφέρει δυσλειτουργίες, που δεν αποτελούν αντικείμενο στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

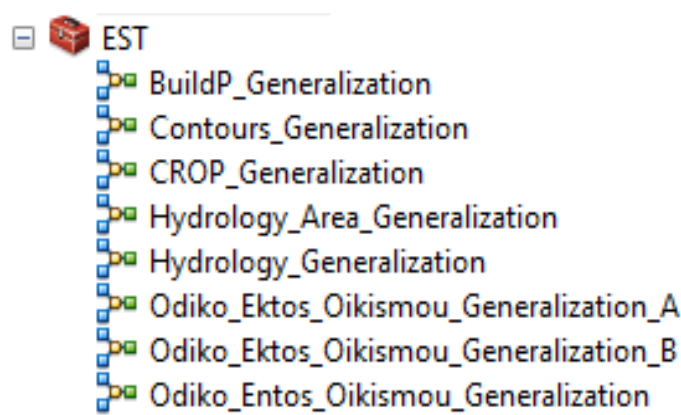
Τα παραπάνω συνοψίζονται στο εργαλείο **Crop_Generalization**, το διάγραμμα ροής του οποίου φαίνεται στη συνέχεια.



Εικόνα 61: Μοντέλο αυτόματης γενίκευσης καλλιεργειών

4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα προηγούμενα κεφάλαια έγινε λόγος για τη χαρτογραφική γενίκευση, δόθηκαν διάφοροι ορισμοί της, παρουσιάστηκαν οι τελεστές και τα βασικά στοιχεία της, όπως επίσης και οι σύγχρονες τεχνικές προσέγγισής της από τους σημαντικότερους χαρτογραφικούς οργανισμούς. Στα πλαίσια της παγκόσμιας τάσης για αυτοματοποίηση της διαδικασίας παραγωγής ενός χάρτη μικρότερης κλίμακας από έναν χάρτη μεγαλύτερης κλίμακας, αναπτύχθηκαν κάποιες ρουτίνες για τη γενίκευση των βασικότερων θεματικών επιπέδων ενός τοπογραφικού χάρτη κλίμακας 1:50.000, οι οποίες ενσωματώθηκαν στην εργαλειοθήκη EST (Eirini's Suggested Toolbox - [Εικόνα 62](#)).



Εικόνα 62: Η εργαλειοθήκη EST (Eirini's Suggested Toolbox)

4.1 Αξιολόγηση Αποτελέσματος

Ένας τρόπος αξιολόγησης της γενίκευσης, ο οποίος εφαρμόστηκε και στην παρούσα διπλωματική εργασία, είναι η σύγκριση με υπάρχουσα σειρά χαρτών. Συνεπώς, δοθέντος του χάρτη κλίμακας 1:100.000 της ΓΥΣ, επιχειρήθηκε η σύγκρισή του με τις γενικευμένες γεωγραφικές οντότητες που προέκυψαν μετά την εφαρμογή των μοντέλων.

Αρχικά, θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα γενικευμένα χαρτογραφικά δεδομένα δεν παρουσιάζουν προβλήματα συνέπειας, καθώς έγιναν όλοι οι βασικοί τοπολογικοί έλεγχοι σε κάθε θεματικό επίπεδο αλλά και μεταξύ των διαφορετικών θεματικών επιπέδων. Συγκεκριμένα, διαμορφώθηκαν οι κάτωθι τοπολογικοί κανόνες:

Σημειακά κτίρια

→ Πρέπει να βρίσκονται εντός του πολυγώνου του οικισμού

Υδρολογικό και οδικό δίκτυο

- Η ελάχιστη απόσταση (cluster tolerance) ανάμεσα στις κορυφές των γραμμών των δρόμων ή των ρεμάτων καθορίζεται σε 0,001 mm (default επιλογή). Τυχόν κορυφές οι οποίες απέχουν λιγότερο από την προκαθορισμένη αυτή ανοχή, θεωρούνται ταυτόσημες και συνενώνονται.
- Μια γραμμή δεν πρέπει να επικαλύπτεται ή να τέμνεται από κάποιο τμήμα του εαυτού της. Οι κόμβοι της μπορούν να εφάπτονται σε αυτήν.
- Μια γραμμή δεν πρέπει να επικαλύπτεται από τον εαυτό της. Οι γραμμές μπορούν να εφάπτονται σε μία κορυφή ή να τέμνονται.
- Μια γραμμή δεν πρέπει να επικαλύπτεται από κάποιο τμήμα μιας άλλης γραμμής. Οι γραμμές μπορούν να εφάπτονται σε επίπεδο κόμβου.

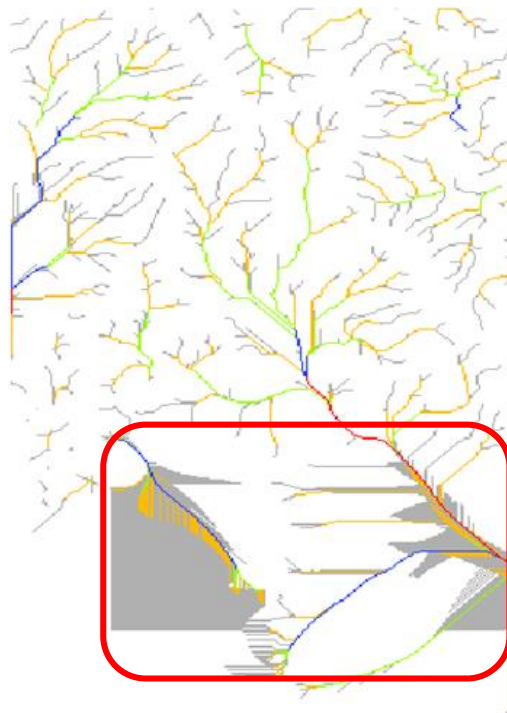
Το πρώτο θεματικό επίπεδο που γενικεύτηκε, οι ισοϋψείς καμπύλες, παρουσιάζει ελάχιστες διαφοροποιήσεις με την εικόνα των ισοϋψών καμπυλών που αποτυπώνονται στον δοθέντα χάρτη κλίμακας 1:100.000 της ΓΥΣ ([Εικόνα 63](#)). Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο ότι η ισοδιάσταση του ενός χάρτη είναι το μισό της ισοδιάστασης του άλλου, γεγονός που οδηγεί στην επιλογή ορισμένων από τις δοθείσες καμπύλες και, εν συνεχεία, στην απλοποίηση και εξομάλυνσή τους. Συνεπώς, το μοντέλο γενίκευσης των ισοϋψών αποτελεί ίσως το εργαλείο με τα περισσότερα ικανοποιητικά αποτελέσματα και με ελάχιστες απαιτήσεις για ανθρώπινες παρεμβάσεις.



[Εικόνα 63](#): Οι παράγωγες ισοϋψείς (αριστερά) σε σύγκριση με τις ισοϋψείς του δοθέντος Φύλλον Χάρτη κλίμακας 1:100.000 (δεξιά)

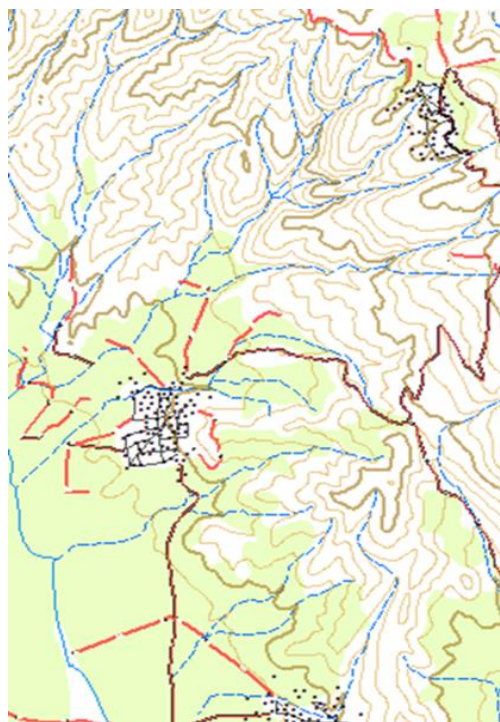
Όσον αφορά στο γραμμικό υδρολογικό δίκτυο, τα αποτελέσματα της προσπάθειας αυτοματοποίησης της διαδικασίας γενίκευσής του κρίνονται αρκετά ικανοποιητικά, έως έναν βαθμό, λαμβάνοντας υπόψη και την έλλειψη περιγραφικών ιδιοτήτων των

χωρικών δεδομένων σχετικά με την ιεράρχησή τους. Το γεγονός αυτό οδήγησε στη λύση μιας υποστηρικτικής (υδρολογικής) ανάλυσης, έτσι ώστε, από το ΨΜΕ, να προκύψει η πληροφορία ιεράρχησης, αναγκαία για την εκτέλεση της γενίκευσης. Μία δυσλειτουργία του μοντέλου που δημιουργήθηκε παρατηρείται σε περιοχές χωρίς υψομετρική πληροφορία, όπου από την υδρολογική ανάλυση προέκυψαν οντότητες λανθασμένης γεωμετρίας και τοπολογίας και με μη αξιόπιστα περιγραφικά χαρακτηριστικά (Εικόνα 64). Ωστόσο, στο επόμενο στάδιο, αυτό της χωρικής ένωσης των δύο κλάσεων (της δοθείσης και αυτής που προέκυψε από την υδρολογική ανάλυση), οι προαναφερθείσες οντότητες δεν αντιστοιχήθηκαν με οντότητες της δοθείσης χωρικής κλάσης (καθώς τα τεχνητά αυλάκια που υπήρχαν στην περιοχή εξαιρέθηκαν από την χωρική ένωση) και συνεπώς δεν επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 64: Δυσλειτουργίες του μοντέλου αυτόματης γενίκευσης του γραμμικού υδρολογικού δικτύου

Από την άλλη, στα υπόλοιπα τμήματα της περιοχής μελέτης, με κατάλληλη επιλογή των απαιτούμενων από τους αλγορίθμους παραμέτρων, το μοντέλο που δημιουργήθηκε δίνει αποτελέσματα αρκετά ρεαλιστικά σε σύγκριση με τον δοθέντα χάρτη κλίμακας 1:100.000 της ΓΥΣ, λαμβάνοντας υπόψην πάντοτε και τη χρονολογική διαφορά των δύο χαρτών.



Εικόνα 65: Οπτική σύγκριση γενικευμένου γραμμικού υδρολογικού δικτύου (αριστερά) με το δοθέν Φ.Χ. κλίμακας 1:100.000 ΓΥΣ (δεξιά)

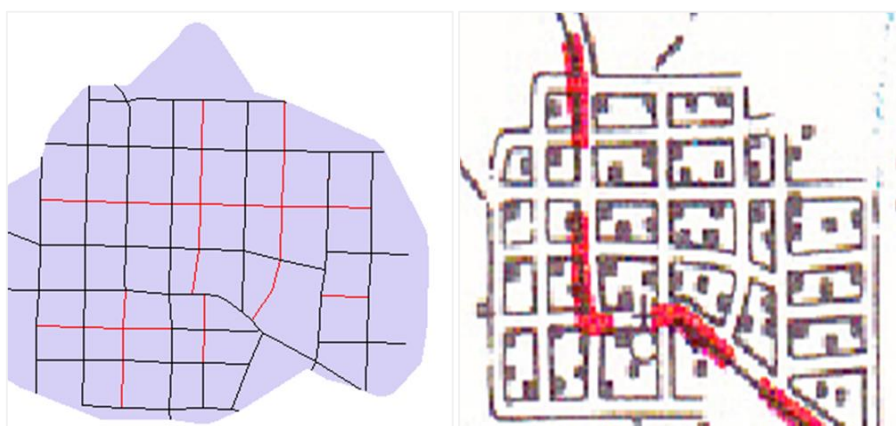
Για το υδρολογικό δίκτυο πολυγωνικής γεωμετρίας, όπως έχει ήδη αναφερθεί, δεν κατέστη δυνατή μια ενδελεχής εμβάθυνση στη διαδικασία γενίκευσης, λόγω της έλλειψης ενός ικανοποιητικού αριθμού επιφανειακών οντοτήτων νερού στην περιοχή μελέτης. Παρόλα αυτά, το αποτέλεσμα της γενίκευσης στη συγκεκριμένη περίπτωση κρίνεται αρκετά αξιόλογο, συγκρινόμενο με το αντίστοιχο Φ.Χ. της ΓΥΣ. Σε αντίθετη περίπτωση, θα μπορούσε, αντί για την προτεινόμενη ρουτίνα, να υπολογίζεται για κάθε χωρική οντότητα μία μέση απόσταση d μεταξύ των δύο οχθών, ίση με τον λόγο του εμβαδού του αρχικού πολυγώνου προς το συνολικό μήκος της όχθης και με το μέγεθος αυτό ως δείκτη να αποφασίζεται σε κάθε περίπτωση αν είναι απαραίτητη η μετάπτωση διαστάσεων από πολύγωνο σε γραμμή (θέτοντας μία τιμή ανοχής).



Εικόνα 66: Οπτική σύγκριση γενικευμένου υδρολογικού δικτύου πολυγωνικής γεωμετρίας (πάνω) με το δοθέν Φ.Χ. κλίμακας 1:100.000 ΓΥΣ (κάτω)



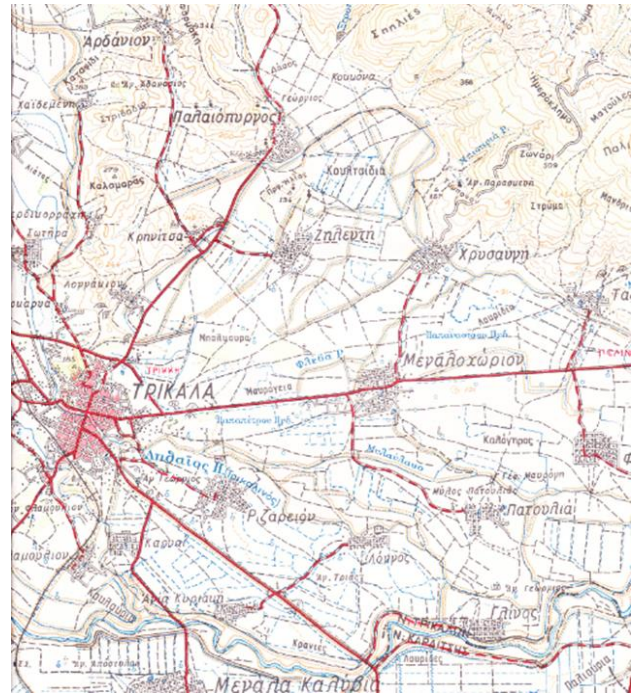
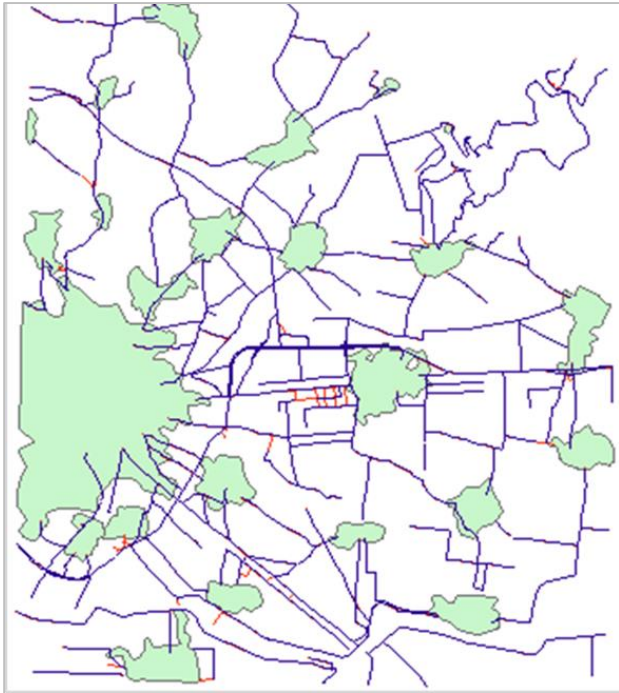
Αναφορικά με το μοντέλο για τη γενίκευση του οδικού δικτύου εντός των οικισμών, ένα σημείο στο οποίο μειονεκτεί κατά κάποιον τρόπο αποτελεί το γεγονός πως το σύνολο των οντοτήτων ανήκει στην ίδια κατηγορία οδικού δικτύου, βάσει των περιγραφικών ιδιοτήτων που συνόδευαν τα δεδομένα. Ως εκ τούτου, προκειμένου να καταστεί δυνατή η χρήση του αλγορίθμου *Thin Road Network* του ArcGIS - και κατ' επέκταση η υλοποίηση της γενίκευσης - τα τμήματα του οδικού δικτύου που ενώνουν οικισμούς μεταξύ τους (δηλαδή οι οντότητες με τιμή «Through» στο πεδίο «Transportation Use Category») θεωρήθηκαν πιο σημαντικά ιεραρχικά σε σχέση με τα υπόλοιπα. Η παραδοχή αυτή σαφώς και ενέχει μεγάλο βαθμό υποκειμενικότητας.



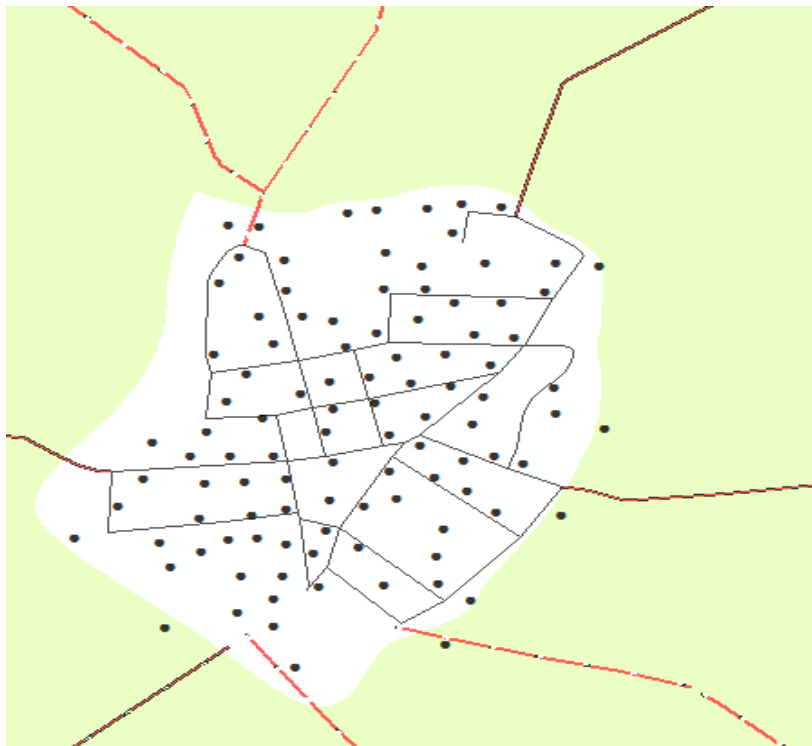
Εικόνα 67: Οπτική σύγκριση γενικευμένου οδικού δικτύου εντός οικισμών (αριστερά) με το δοθέν Φ.Χ. κλίμακας 1:100.000 ΓΥΣ (δεξιά)

Η ίδια λογική ακολουθήθηκε και στο μοντέλο για τη γενίκευση του οδικού δικτύου εκτός οικισμών. Στην περίπτωση αυτή, το προαναφερθέν μειονέκτημα του προηγούμενου μοντέλου δεν υφίσταται, καθώς υπάρχει εξ' αρχής πρωτογενής πληροφορία για την ιεράρχηση του δικτύου και επιπλέον η χωρική κλάση εμπεριέχει δρόμους και των τεσσάρων κατηγοριών.

Το γεγονός όμως ότι το πρόβλημα της γενίκευσης του οδικού δικτύου στο σύνολό του προσεγγίστηκε με δύο επιμέρους υπο-διαδικασίες οδήγησε σε μία βασική αποτυχία: τα δύο γενικευμένα οδικά δίκτυα που προκύπτουν με εφαρμογή των προτεινόμενων μοντέλων παρουσιάζουν ασυνέχειες περιμετρικά των οικισμών (*Εικόνα 69*), γεγονός που καθιστά απαραίτητη την επέμβαση του χειριστή για μετέπειτα επεξεργασία.



Εικόνα 68: Οπτική σύγκριση γενικευμένου οδικού δικτύου εκτός οικισμών (αριστερά) με το δοθέν Φ.Χ. κλίμακα 1:100.000 ΓΥΣ (δεξιά)



Εικόνα 69: Παράδειγμα ασυνέχειας γενικευμένου οδικού δικτύου στην είσοδο οικισμού

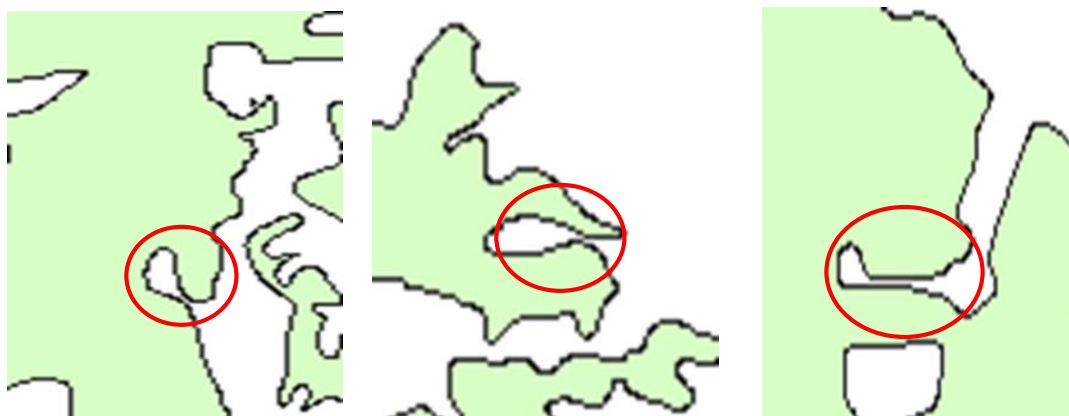
Από την άλλη, εξαιρετικά ικανοποιητικό ως την επιλογή και την χωρική κατανομή των οντοτήτων είναι το αποτέλεσμα που προκύπτει από τη ρουτίνα γενίκευσης των σημειακών οντοτήτων που συνθέτουν τους οικισμούς. Με κατάλληλη επιλογή της παραμέτρου ανοχής κατά ΧΥ, το ήδη υπάρχον αυτό εργαλείο του λογισμικού θα μπορούσε να αποτελεί βασική επιλογή για μοντέλα γενίκευσης σημειακών οντοτήτων

γενικότερα. Το γεγονός όμως της μεσολάβησης τόσο μεγάλου χρονικού διαστήματος μεταξύ της χρονολογίας σύνθεσης του χάρτη 1:100.000 της ΓΥΣ και του γενικευμένου που δημιουργήθηκε με δεδομένα πολύ μεταγενέστερα (πλέον των 45 ετών), καθιστά μάταιη κάθε προσπάθεια σύγκρισης των οικισμών του ενός με του άλλου, ως τρόπου αξιολόγησης της γενίκευσης.

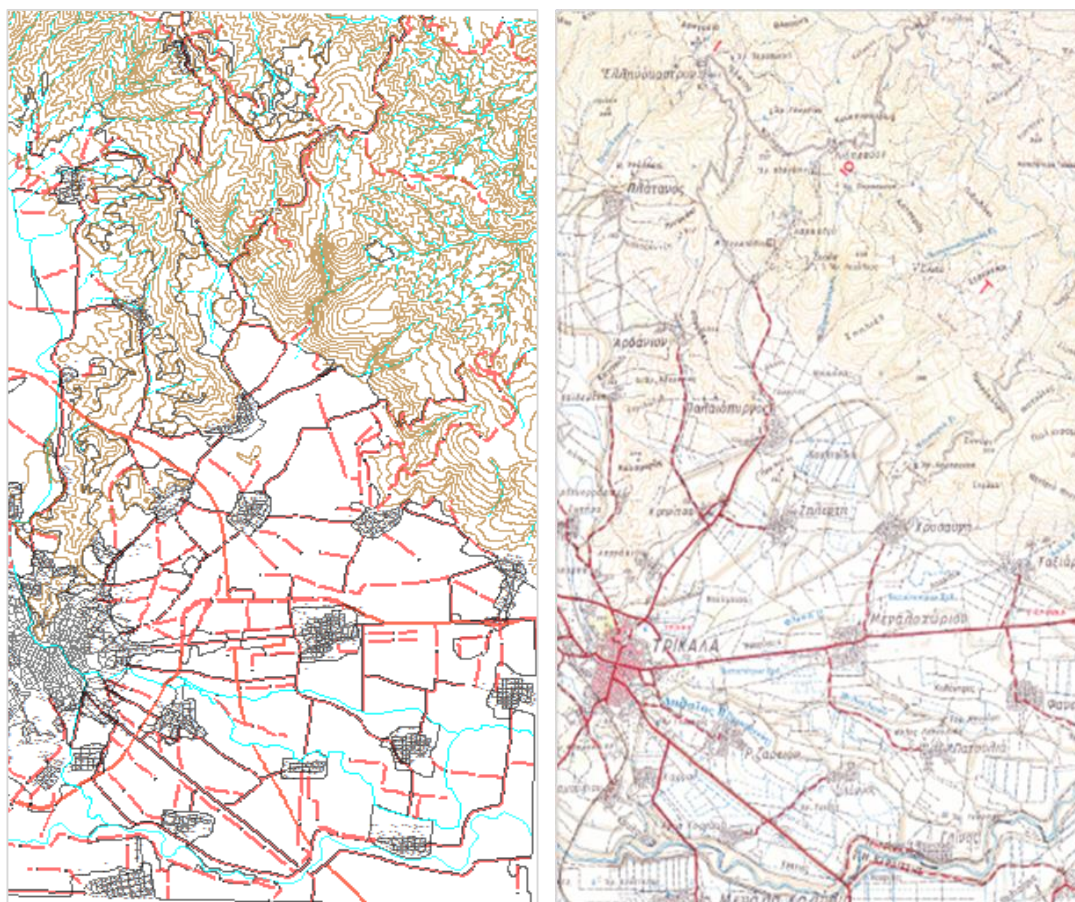


Εικόνα 70: Παράδειγμα ασυνέχειας γενικευμένου οδικού δικτύου στην είσοδο οικισμού

Τέλος, όσον αφορά στην αξιολόγηση του μοντέλου αυτόματης γενίκευσης των καλλιεργειών, τα αποτελέσματα κρίνονται ως μέτρια, ίσως και αβέβαια, κυρίως λόγω της δυσκολίας στη σύγκριση των παράγωγων χωρικών δεδομένων με το δοθέν Φ.Χ., εξαιτίας της θέσης του θεματικού επιπέδου στην οπτική ιεραρχία του χάρτη. Μειονέκτημα του μοντέλου αποτελεί το γεγονός της μη αυτοματοποίησης της διαδικασίας εντοπισμού και απομάκρυνσης των περιττών «τρυπών». Απαιτείται η παρέμβαση του χειριστή για την επίλυση αυτού του προβλήματος, που μέσω της εφαρμογής κατάλληλου πάχους ζώνης επιρροής γύρω από τα πολύγωνα των καλλιεργειών, θα μπορέσει να εντοπίσει τα *bottle necks* (μέσω της δημιουργίας πλεονάζοντων πολυγώνων στη χωρική κλάση) και να προβεί σε ενίσχυση γεωμετρίας των συγκεκριμένων οντοτήτων.



Εικόνα 71: Παραδείγματα bottle necks στην περιοχή μελέτης



Εικόνα 72: Σύγκριση χαρτών κλίμακας 1:100.000: προϊόν γενίκευσης (αριστερά)-δοθέν Φ.Χ. ΓΥΣ (δεξιά)

4.2 Συμπεράσματα

Οι εξελίξεις στη γενίκευση είναι επί του παρόντος ιδιαίτερα δραστήριες σε αρκετούς ΝΜAs, ως επακόλουθο του μεταβαλλόμενου πλαισίου στον κόσμο της γεωπληροφορίας. Η χαρτογραφική γενίκευση, παρά το γεγονός ότι αποτελεί ακόμα και τώρα εν μέρει υποκειμενική διαδικασία, έχει κατά ένα μεγάλο τμήμα της αυτοματοποιηθεί με την υλοποίηση των προγραμματιστικών αλγορίθμων των διάφορων μεθόδων. Όπως έχει αναφερθεί, οι περισσότεροι χαρτογραφικοί οργανισμοί έχουν αναπτύξει ρουτίνες αυτόματης ή έστω ημι-αυτόματης γενίκευσης, στις οποίες η συμμετοχή του χαρτογράφου ολοένα και μειώνεται.

Τα προτεινόμενα μοντέλα που προέκυψαν από την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας δίνουν, αποδεδειγμένα, ορθά και ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Αποτελούν σίγουρα μία πρόωμη και κατά βάση θεωρητική κατάσκευη και ως θεωρία παραμένει μία υπόθεση, η οποία πρέπει να ελεγχθεί περαιτέρω στην πράξη, με δοκιμές και σε άλλα σύνολα δεδομένων για την αξιολόγησή τους στην αντιμετώπιση περιπτώσεων ειδικού χειρισμού. Δεδομένου ότι κάποια στοιχεία, όπως για παράδειγμα η ακτογραμμή, δεν εξετάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα ήταν

σκόπιμη η διαχείριση κι άλλων θεματικών επιπέδων στο μέλλον και η δημιουργία πρόσθετων εργαλείων. Επιπλέον, υπάρχουν πιο πολύπλοκες σχέσεις, πέρα από τις τοπολογικές, ανάμεσα στα θεματικά επίπεδα που θα πρέπει να ελεγχθούν (π.χ. ρέματα με μισγάγγειες). Εν τούτοις, η προτεινόμενη εργαλειοθήκη θα μπορούσε να αποτελέσει ένα πρώιμο βήμα για την ανάπτυξη κάποιων αυτοματοποιημένων λύσεων γενίκευσης από τους τοπικούς χαρτογραφικούς οργανισμούς.

Συμπερασματικά, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι πιθανότερα να απαιτείται πάντα η ανθρώπινη αλληλεπίδραση για τη βελτίωση των αυτοματοποιημένων αποτελεσμάτων γενίκευσης. Ενδέχεται, εξαιτίας του χαρακτήρα της γενίκευσης, να μην καταλήξουμε ποτέ σε ένα πλήρως αυτοματοποιημένο μοντέλο για να την περιγράψουμε, είναι όμως σημαντικό να εργαστούμε προς την κατεύθυνση αυτήν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bader M., (2001). **“Energy minimizing Methods for Feature Displacement in Map Generalization”**. PhD thesis, Department of Geography, University of Zurich, Zurich.
- Brassel K. and Weibel R., (1988). **“A Review and Conceptual Framework of Automated Map Generalization”**. International Journal of Geographic Information Systems, Vol 2, p. 229-244.
- Cecconi A., (2003). **“Integration of Cartographic Generalization and Multi-Scale Databases for Enhanced Web Mapping”**. Phd Thesis, University of Zurich 2003.
- Douglas D. and Peucker T., (1973). **“Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature”**. Canadian Cartographer, Vol. 10, p. 112-122.
- Foerster T. et, (2010). **“Challenges for Automated Generalisation at European Mapping Agencies - A Qualitative and Quantitative Analysis”**. International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation, Enschede, the Netherlands, p. 1-25.
- Hershberger J. and Snoeyink J., (1992). **“Speeding up the Douglas-Peucker line simplification algorithm”**. In Proceedings of the Fifth International Symposium on Spatial Data Handling, Vol. 1, p. 134-143.
- Hettner A., (1962). **“Die Eigenschaften und Methoden der kartographischen Darstellung”**. Geographische Zeitschrift 1920 (Leipzig), Vol. II.
- Ηλία Γ., (2004). **“Μια Χαρτομετρική Προσέγγιση Εντοπισμού και Αντιμετώπισης των Προβλημάτων της Γενίκευσης”**. Διπλωματική Εργασία, Αθήνα, 2004. Σελ. 53-80.
- Jabeur N., (2006). **“A multi-agent system for on-the-fly web map generation and spatial conflict resolution”**. PhD, Univerite Laval.
- Keates J.S., (1989). **“Cartographic design and production”**, 2nd Edition, Longman Group U.K. Limited.

- Κουκουσέλα Σ., (2007). *“Η Χρήση των Αυξομειώσιμων Διανυσματικών Γραφικών (SVG) στη Χαρτογραφική Γενίκευση”*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Θεσσαλονίκη, 2007. Σελ. 2-5, 8-11, 13-21.
- Lang T., (1969). *“Rules for robot draughtsmen”*. Geographical Magazine, Vol. 42, p.50-51.
- Lundqvist G., (1958). *“Generalisering - några synpunkter i en betydelsefull fraga”*. Globen, 3.
- Mackness W., Ruas A., Sarjakoski T., (2007). *“Modelling the Overall Process of Generalisation”*. Elsevier. Chapter 4.
- McMaster R. B. And Shea K. S., (1992). *“Generalization in Digital Cartography”*. Association of American Geographers”, Washington, 1992, p.134.
- Νάκος Β., (2000), *“Αναλυτική Χαρτογραφία”*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Τοπογραφίας, Αθήνα 2000.
- Orheim H., (1981). *“Smoothing a digitized curve by data reduction Methods”*. In Eurographics '81, ed. By Encarnacao J. L., p. 127-135, North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
- Orheim H., (1982). *“Fast data reduction of a digitized curve”*. Geo-Processing, Vol. 2, p. 33-40.
- Παπαδοπούλου Μ., (2005). *“Ψηφιακή Χαρτογραφία και Εισαγωγή Χωρικών Πληροφοριών”*, Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Προγράμματος, Θεσσαλονίκη, 2005.
- Παρασχάκης Ι., Παπαδοπούλου Μ., Πατιάς Π. (1998). *“Αυτοματοποιημένη Χαρτογραφία”*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1998.
- Ratajski L., (1967), *“Phenomene des points de generalisation”*. In: K. Kirschbaum and K.H. Meine (editors). International Yearbook of Cartography, Vol 7, p.143-162. Kirschbaum, Bonn-Bad Godesberg.
- Shea K. S. and McMaster R. B., (1989). *“Cartographic Generalization in a Digital Environment: When and How to Generalize”*. Proceedings of AUTOCARTO 9, Baltimore, Maryland, 1989, p. 56-67.

- Σκοπελίτη Α., (2017). *“Ψηφιακή Χαρτογραφία - Διαλέξεις, μάθημα 9^ο: Χαρτογραφική Γενίκευση”*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Τοπογραφίας, Αθήνα 2017.
- Tobler W.R., (1964). *“An experiment in the computer generalization of maps”*. Technical Report 1, University of Michigan.
- Τριανταφυλλίδου Ν., (2009). *“Ένα Εννοιολογικό Μοντέλο Γεωμετρικών Τελεστών Γενίκευσης για Τρισδιάστατους Χάρτες”*. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Τοπογραφίας, Αθήνα 2009, σελ. 5-25.
- Visvalingam M. and Whyatt J. D., (1993). *“Line generalization by repeated elimination of points”*. The Cartographic Journal, Vol. 30, p.46-51.
- Weibel R. and Dutton G., (1998). *“Constrained-based Automated Map Generalization”*. In Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Data Handling, Vancouver, 1998, p. 214-224.
- Wenzhong S. and ChuiKwan C., (2006). *“Performance Evaluation of Line Simplification Algorithms”*. The British Cartographic Society 2006. The Cartographic Journal, Vol. 43, No. 1, p. 27-44.

Πηγές από το Διαδίκτυο

www.gys.gr

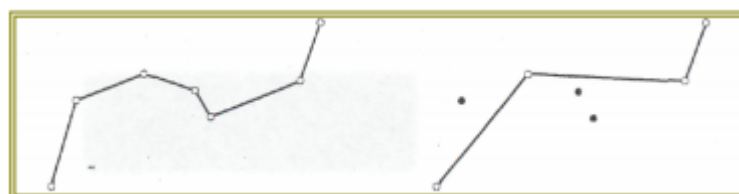
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αλγόριθμοι Γενίκευσης

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, από τα μέσα της δεκαετίας του '60 άρχισαν οι σκέψεις για αυτοματοποίηση της διαδικασίας γενίκευσης, με τη βοήθεια της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ορισμένοι συγγραφείς ασχολήθηκαν με την ψηφιακή γενίκευση και κυρίως με τη γενίκευση γραμμικών ψηφιακών δεδομένων (τα οποία σημειώνεται ότι αποτελούν το 80% της πληροφορίας ενός χάρτη), όπως για παράδειγμα οι Jenks, Lang, Douglas & Peucker κ.ά. Η έρευνά τους είχε ως αποτέλεσμα την κατασκευή αλγορίθμων απλοποίησης γραμμών, ενώ άλλοι ασχολήθηκαν με την απλοποίηση σημειακών και επιφανειακών συμβόλων, όπως οι Monmonier, Törfer & Pillewizer κ.ά.

Για μια μεγάλη περίοδο, η έρευνα εστιάστηκε αρχικά στην ανάπτυξη και στη σύγκριση αλγορίθμων για τον τελεστή *απλοποίησης* παρά σε άλλες πτυχές της διαδικασίας γενίκευσης. Από τα μέσα της δεκαετίας του '60 έως και σήμερα έχει αναπτυχθεί ένα μεγάλο πλήθος τεχνικών για το «φιλτράρισμα» των πλεοναζόντων κορυφών των γραμμικών στοιχείων και των περιγραμμάτων των επιφανειακών στοιχείων. Ενώ κάποιες τεχνικές είναι σύνθετες τόσο από γεωμετρικής όσο και από υπολογιστικής άποψης, άλλες μέθοδοι είναι σχετικά απλές.

Οι πιο συνηθισμένοι αλγόριθμοι απλοποίησης μετατρέπουν μια γραμμή σε μια άλλη με λιγότερες κορυφές, την απλοποιημένη, με τα ίδια ακριβώς άκρα. Σημειώνεται ότι, με εφαρμογή των αλγορίθμων απλοποίησης, δεν παράγονται νέες κορυφές ούτε μετατίθενται οι υπάρχουσες κορυφές των γραμμών (σχήμα 1). Τα κλασικά κριτήρια με τα οποία γίνεται η απαλοιφή των κορυφών είναι τα ακόλουθα:



Σχήμα 2: Παράδειγμα απλοποίησης γραμμών με απαλοιφή κορυφών (Πηγή: Νάκος 2000)

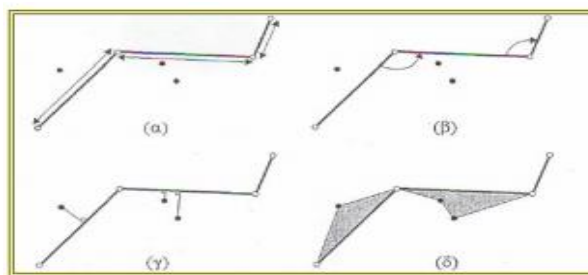
1. Η ελαχιστοποίηση της παραμόρφωσης της γραμμής.
2. Η ελαχιστοποίηση του αριθμού των κορυφών της παράγωγης γραμμής.

3. Η ελαχιστοποίηση της πολυπλοκότητας των υπολογισμών.

Με κριτήριο τις γεωμετρικές αρχές που τους διέπουν, οι αλγόριθμοι απλοποίησης μπορούν να διακριθούν στις κάτωθι κατηγορίες:

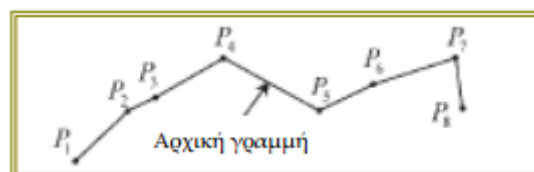
1. Αλγόριθμοι ανεξάρτητων σημείων.
2. Αλγόριθμοι τοπικής επεξεργασίας.
3. Αλγόριθμοι που εξετάζουν εκτεταμένα τμήματα με δεσμεύσεις.
4. Αλγόριθμοι που εξετάζουν εκτεταμένα τμήματα χωρίς δεσμεύσεις.
5. Καθολικοί αλγόριθμοι.

Οι αλγόριθμοι απλοποίησης μπορούν να διακριθούν, εναλλακτικά, εξετάζοντας το γεωμετρικό κριτήριο με το οποίο επιλέγονται οι σημαντικές/ κρίσιμες κορυφές των γραμμών. Στο σχήμα 2 φαίνονται τέσσερα χαρακτηριστικά γεωμετρικά κριτήρια που αναφέρονται: (α) στο μήκος της γραμμής μεταξύ δύο σημείων, (β) στη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ των διαδοχικών ευθυγράμμων τμημάτων, (γ) στην κάθετο απόσταση που ορίζεται από το κρίσιμο σημείο προς το ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει δύο διαδοχικές κορυφές και (δ) στην επιφανειακή μετάθεση, με τη βοήθεια τη βοήθεια των οποίων μπορούν να επιλεγούν οι κρίσιμες κορυφές μιας γραμμής. Στη συνέχεια της υποπαραγράφου αυτής περιγράφονται οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι για την απλοποίηση γραμμών.



Σχήμα 3: Κριτήρια ανίχνευσης κρίσιμων κορυφών (Πηγή: Νάκος 2000)

Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται το παράδειγμα μιας γραμμής στην οποία εφαρμόζονται οι περιγραφόμενοι αλγόριθμοι στις ενότητες που ακολουθούν, ώστε να είναι δυνατή η μεταξύ τους σύγκριση.



Σχήμα 4: Η γραμμή αναφοράς για την παρουσίαση των αλγορίθμων απλοποίησης (Πηγή: Wenzhong and ChuiKwan 2006)

Οι αλγόριθμοι απλοποίησης γραμμών¹

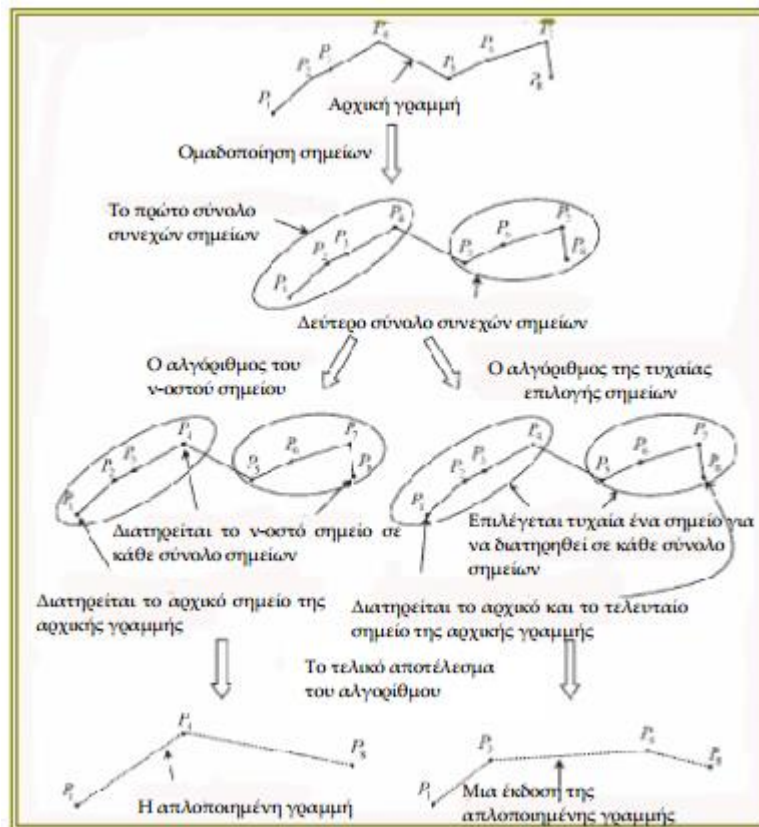
Από την έρευνα στη διανυσματική γενίκευση, η περισσότερη εργασία επικεντρώθηκε στη γενίκευση γραμμών. Ένας λόγος είναι ότι η αυτοματοποιημένη γενίκευση των γραμμικών οντοτήτων είναι λιγότερο περίπλοκη, έναντι των υπολοίπων. Ένας δεύτερος λόγος είναι πως τα περισσότερα χαρακτηριστικά που βρίσκονται σε έναν τυπικό, μεσαιás κλίμακας τοπογραφικό χάρτη είναι γραμμές.

Οι αλγόριθμοι απλοποίησης γραμμών που αναλύονται στη συνέχεια είναι ο αλγόριθμος του *n*-οστού σημείου, ο αλγόριθμος της κάθετης απόστασης (αλγόριθμος του Jenks), ο αλγόριθμος απαλοιφής σημείων με επιλογή της γωνίας, ο αλγόριθμος της μέσης απόστασης, ο αλγόριθμος των Reumann-Witkam, ο αλγόριθμος απλοποίησης του Orheim, ο αλγόριθμος απλοποίησης Lang, ο αλγόριθμος απλοποίησης των Douglas-Peucker και ο αλγόριθμος των Visvalingam-Whyatt (Wenzhong and ChuiKwan, 2006).

→ Αλγόριθμοι ανεξάρτητων σημείων (Independent Point Algorithms)

Οι αλγόριθμοι του ανεξάρτητου σημείου είναι πολύ απλοί και καθορίζουν γρήγορα ποια σημεία μιας γραμμής πρέπει να διατηρηθούν και ποια όχι. Δεν έχουν κανέναν περιορισμό μαθηματικής σχέσης με τα γειτονικά σημεία της γραμμής. Επιπρόσθετα, δεν βασίζονται σε γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ των γειτονικών κορυφών της γραμμής και επιδρούν με τρόπο που δεν εξετάζει τις τοπολογικές ιδιότητες των γραμμών. Δύο παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι ο αλγόριθμος του *n*-οστού σημείου και ο αλγόριθμος της τυχαίας επιλογής των σημείων. Σε αυτούς τους δύο αλγορίθμους, για κάθε σταθερό αριθμό διαδοχικών σημείων κατά μήκος της γραμμής, διατηρούνται το *n*-οστό σημείο (ενώ όλα τα υπόλοιπα απαλείφονται) και ένα τυχαίο σημείο μεταξύ ενός συνόλου αυτών των διαδοχικών σημείων, αντίστοιχα (σχήμα 4).

¹ Πηγή: Κουκουσέλα Σ., (2007). "Η Χρήση των Αυξομειώσιμων Διανυσματικών Γραφικών (SVG) στη Χαρτογραφική Γενίκευση". Μεταπτυχιακή Διατριβή, Θεσσαλονίκη, 2007. Σελ. 13-21

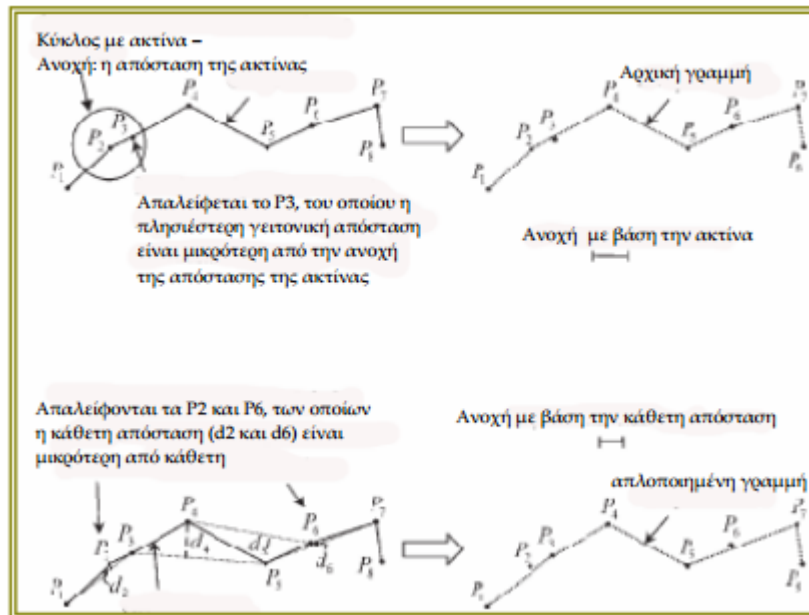


Σχήμα 5: Ο αλγόριθμος n -οστού σημείου και ο αλγόριθμος τυχαίας επιλογής σημείων (Πηγή: Wenzhong and ChuiKwan, 2006)

→ Αλγόριθμοι τοπικής επεξεργασίας (Local Processing Routines)

Αυτή η κατηγορία αλγορίθμων θεωρεί μια σχέση μεταξύ κάθε δύο ή τριών διαδοχικών αρχικών σημείων. Παραδείγματα αυτής της σχέσης είναι η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ διαδοχικών κορυφών, η κάθετη απόσταση ως προς τη βασική γραμμή που συνδέει τις εκατέρωθεν γειτονικές κορυφές της υπό εξέτασης κορυφής, όπως επίσης και η γωνιακή μεταβολή κάθε κορυφής.

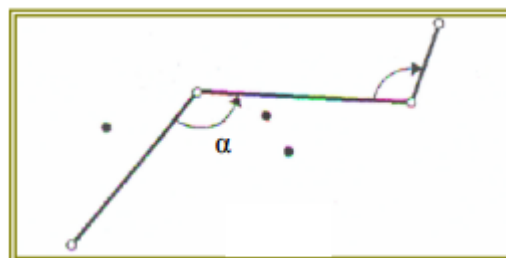
Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος του Jenks επεξεργάζεται τα σημεία της προς γενίκευση γραμμής σε τριάδες. Η κάθε τριάδα αποτελεί ένα τρίγωνο στο οποίο υπολογίζεται η κάθετη απόσταση (d) από τη μεσαία κορυφή του τριγώνου προς την απέναντι πλευρά του. Η απόσταση αυτή συγκρίνεται με ένα μήκος ανοχής (D), όπως ονομάζεται, το οποίο το ορίζει ο χειριστής. Εφόσον η κάθετη απόσταση είναι μικρότερη από το μήκος ανοχής ($d < D$), τότε η κορυφή απορρίπτεται, ενώ, σε αντίθετη περίπτωση, το σημείο επιλέγεται να είναι σημείο της γενικευμένης μορφής της γραμμής. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται και στην επόμενη τριάδα σημείων → επόμενο τρίγωνο → επόμενη κάθετη απόσταση κ.ο.κ. (σχήμα 5).



Σχήμα 6: Ο αλγόριθμος της απόστασης μεταξύ σημείων και ο αλγόριθμος της κάθετης απόστασης (Πηγή: Wenzhong and ChuiKwan, 2006)

Ο αλγόριθμος της απαλοιφής σημείων με μεταβολή της γωνίας είναι ένας αλγόριθμος τοπικής επεξεργασίας και η διαδικασία που ακολουθείται κατά τη γενίκευση με τη μέθοδο απαλοιφής των σημείων με κριτήριο τη γωνία που σχηματίζουν τα διαδοχικά τμήματα της γραμμής είναι η εξής:

- ⌘ Υπολογίζεται το σύνολο των γωνιών που σχηματίζουν τα διαδοχικά τμήματα της γραμμής.
- ⌘ Ο χρήστης ορίζει τη γωνία αναφοράς α' .
- ⌘ Αν η γωνία που σχηματίζουν δύο διαδοχικά τμήματα της γραμμής είναι μικρότερη της γωνίας αναφοράς ($\alpha < \alpha'$), τότε η κορυφή της γωνίας διατηρείται. Σε αντίθετη περίπτωση, η κορυφή της γωνίας παραλείπεται (σχήμα 6) (Παρασχάκης, 1998).



Σχήμα 7: Ο αλγόριθμος της γωνιακής μεταβολής κάθε κορυφής (Πηγή: Wenzhong and ChuiKwan, 2006)

Ο αλγόριθμος της απαλοιφής σημείων με επιλογή της απόστασης διατηρεί τα σημεία ανάλογα με την απόσταση μεταξύ τους. Θεωρώντας ότι S είναι η μέση απόσταση των

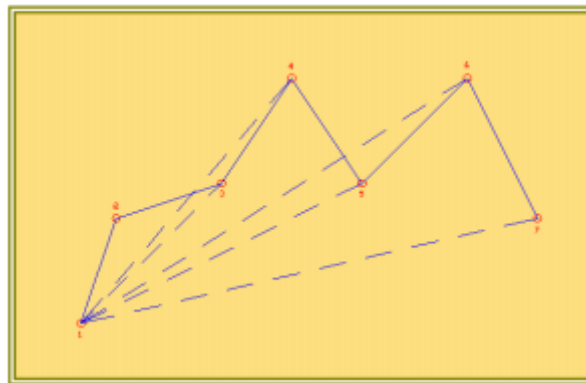
σημείων στην κλίμακα 1:M, η καινούρια απόστασή τους s στην κλίμακα 1:m θα είναι $s=(m/M)*S$.

Κάθε σημείο (x'_i, y'_i) , θα ορίζεται έτσι ώστε να απέχει από κάποιο προηγούμενο σημείο (x'_{i-1}, y'_{i-1}) απόσταση κοντά στο s. Έτσι, για το πρώτο σημείο θα έχουμε: $x'_1=x_1, y'_1=y_1$,

Όπου x_1 και y_1 είναι οι αρχικές συντεταγμένες. Το επόμενο σημείο της γενικευμένης γραμμής (x'_2, y'_2) , θα απέχει από το (x'_1, y'_1) απόσταση:

$$s \approx \{(x'_{i+1}-x'_i)^2 + (y'_{i+1}-y'_i)^2\}^{1/2} = \{(x'_2-x'_1)^2 + (y'_2-y'_1)^2\}^{1/2}$$

Αυτό σημαίνει ότι το επόμενο σημείο (x'_{i+1}, y'_{i+1}) από το (x'_i, y'_i) θα είναι αυτό που θα διαφέρει κατά απόσταση περίπου ίση με s από το προηγούμενό του, ενώ συγχρόνως δεν θα την ξεπερνάει (σχήμα 7) (Παπαδοπούλου Μ., 2005).

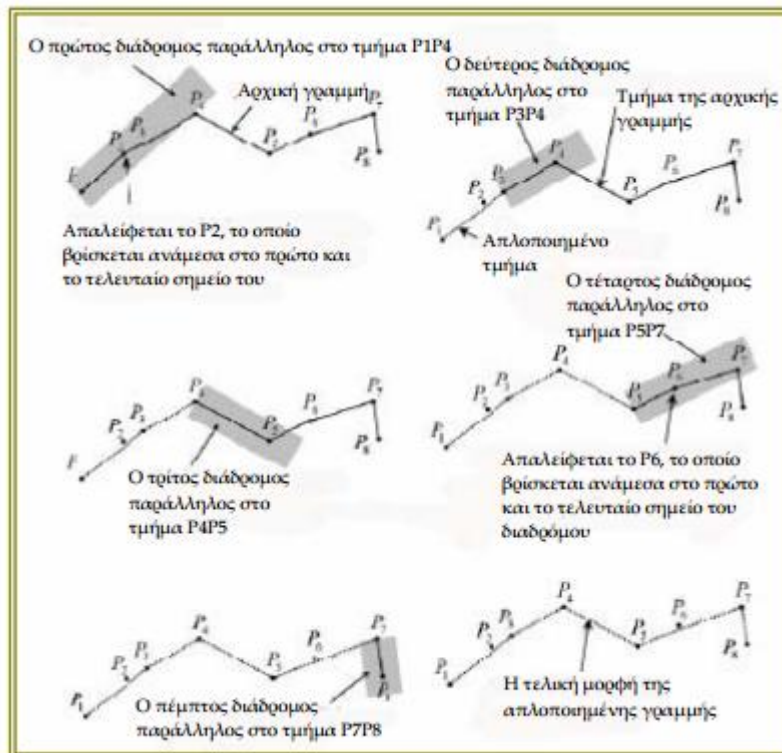


Σχήμα 8: Ο αλγόριθμος της απαλοιφής σημείων με επιλογή της απόστασης (Πηγή: Wenzhong and ChuiKwan, 2006)

→ Αλγόριθμοι τοπικής επεξεργασίας χωρίς δεσμεύσεις (Unconstrained Extended Local Processing)

Η Τρίτη κατηγορία είναι οι αλγόριθμοι τοπικής επεξεργασίας χωρίς δεσμεύσεις που αξιολογούν τις σχέσεις πάνω σε τμήματα της γραμμής. Ένα παράδειγμα αυτής της κατηγορίας αποτελεί ο αλγόριθμος των Reumann-Witkam (σχήμα 8). Σε αυτόν τον αλγόριθμο, η γραμμή διαιρείται σε τμήματα χρησιμοποιώντας έναν διάδρομο. Ο διάδρομος μετατοπίζεται πέρα από τη γραμμή στην κατεύθυνση της αρχικής εφαιπόμενης της, έως ότου ο διάδρομος αγγίξει τη γραμμή. Τα σημεία μέσα σε αυτόν τον διάδρομο συνθέτουν ένα τμήμα της γραμμής. Το τελευταίο σημείο μέσα στον διάδρομο είναι το αρχικό σημείο του υπόλοιπου μέρους της γραμμής. Ο διάδρομος έχει τότε την ίδια κατεύθυνση με αυτή της αρχικής εφαιπόμενης αυτού του υπόλοιπου μέρους. Ολόκληρη η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου ο διάδρομος να περιέχει το τελικό σημείο της γραμμής. Το αρχικό σημείο κάθε τμήματος της γραμμής και το

τελευταίο σημείο της γραμμής διατηρούνται, ενώ ορισμένα σημεία μεταξύ αυτών αφαιρούνται.



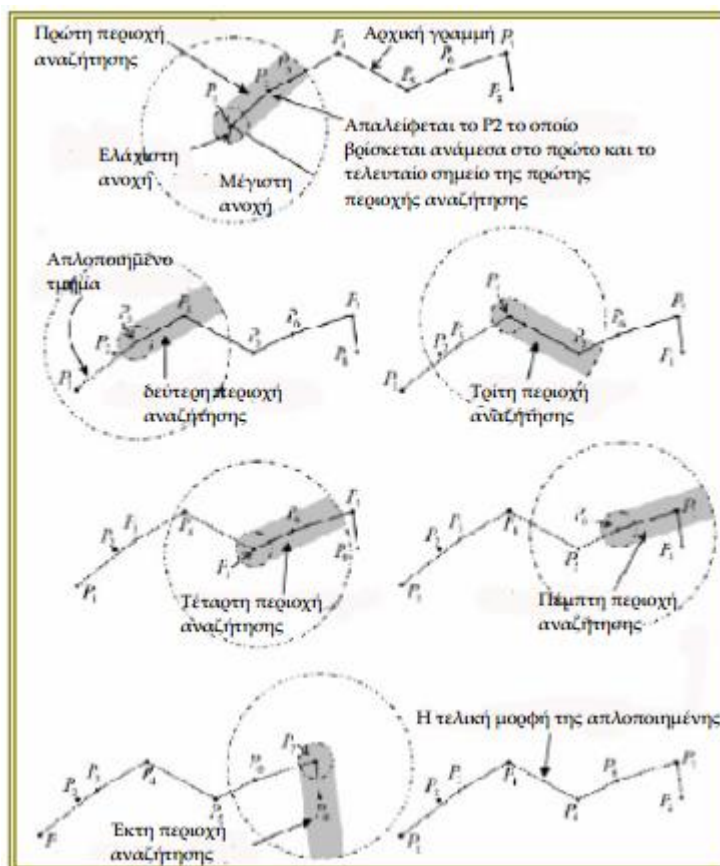
Σχήμα 9: Ο αλγόριθμος Reumann-Witkam (Πηγή: Wenzhong and ChuiKwan, 2006)

→ **Αλγόριθμοι τοπικής επεξεργασίας με δεσμεύσεις (Constrained Extended Local Processing)**

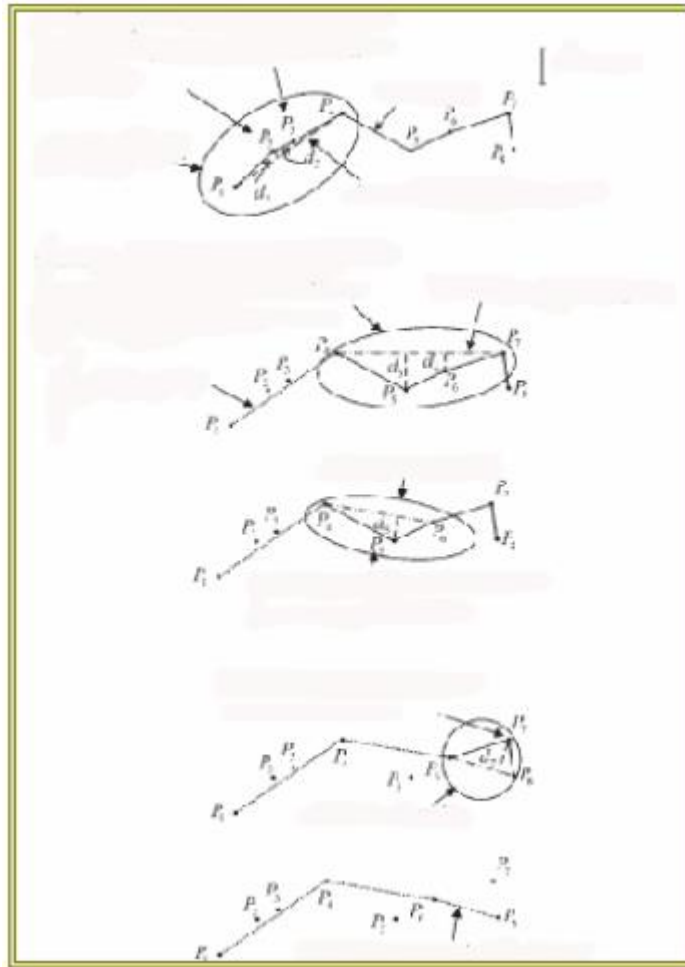
Οι αλγόριθμοι τοπικής επεξεργασίας με δεσμεύσεις χρησιμοποιούν τα κριτήρια των αλγορίθμων τοπικής επεξεργασίας χωρίς δεσμεύσεις και πρόσθετες δεσμεύσεις για να καθορίσουν μια περιοχή αναζήτησης για την αρχική γραμμή. Μια τέτοια περιοχή αναζήτησης χρησιμοποιείται για να διαιρέσει την αρχική γραμμή σε τμήματα. Οι αλγόριθμοι αυτής της κατηγορίας εξετάζουν τις κορυφές πέραν των άμεσων γειτονικών κορυφών της γραμμής, Το εύρος του ελέγχου εξαρτάται από διάφορα κριτήρια που καθορίζονται είτε από την απόσταση, είτε από τη γωνιακή μεταβολή, είτε τέλος από τον αριθμό των κορυφών. Ένα παράδειγμα τοπικής επεξεργασίας με δεσμεύσεις αναπτύχθηκε από τον Orheim (1981-1982). Ο αλγόριθμος απλοποίησης Orheim καθορίζει την περιοχή αναζήτησης με παρόμοιο τρόπο όπως ο διάδρομος των Reumann-Witkam και με έναν περιορισμό ελάχιστης και μέγιστης απόστασης. Η αρχική περιοχή αναζήτησης φαίνεται στο σχήμα 9. Τα αρχικά σημεία μέσα στην ελάχιστη ανοχή αποβάλλονται όπως και τα σημεία μέσα στην περιοχή αναζήτησης που είναι οριακή από τη μέγιστη ανοχή. Το τελευταίο αρχικό σημείο μέσα στην

περιοχή αναζήτησης διατηρείται. Έπειτα, αυτό χρησιμεύει ως αφετηρία μιας νέας περιοχής αναζήτησης. Η περιοχή αναζήτησης μετατοπίζεται πάνω στην αρχική γραμμή (σχήμα 9).

Ένας άλλος αλγόριθμος αναπτύχθηκε από τον Lang (1969). Η περιοχή αναζήτησης του αλγορίθμου απλοποίησης Lang βασίζεται στην κάθετη απόσταση από ένα τμήμα που συνδέει δύο σημεία μεταξύ των οποίων υπάρχουν ορισμένα σημεία. Κάθε περιοχή αναζήτησης αρχικά θεωρείται ως μια περιοχή που περιέχει έναν σταθερό αριθμό διαδοχικών σημείων. Το σχήμα 10 (επάνω μέρος), για παράδειγμα, παρουσιάζει την αρχική περιοχή αναζήτησης τεσσάρων αρχικών σημείων. Εάν η απόσταση από το τμήμα, το οποίο συνδέει το πρώτο και τελευταίο σημείο μέσα στην περιοχή αναζήτησης είναι μικρότερη από την ανοχή, τότε προκύπτει μια νέα περιοχή αναζήτησης θέτοντας το τελευταίο σημείο ως αφετηρία (σχήμα 10, μέση). Διαφορετικά, η περιοχή αναζήτησης θα ενημερώνεται αποκλείοντας το τελευταίο σημείο (σχήμα 10, κάτω). Η περιοχή αναζήτησης μετατοπίζεται πάνω στην αρχική γραμμή.



Σχήμα 10: Ο αλγόριθμος απλοποίησης Orheim (Πηγή: Wenzhong and ChuiKwan, 2006)

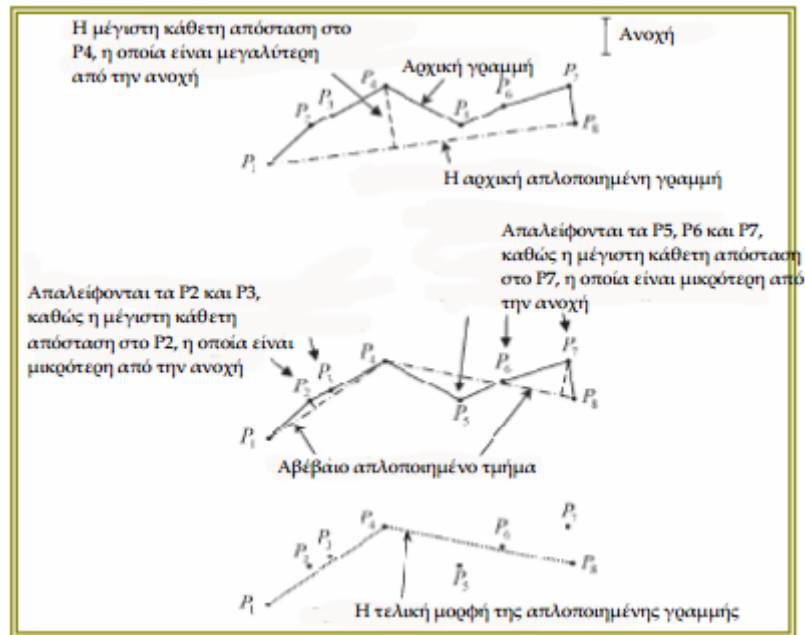


Σχήμα 11: Ο αλγόριθμος απλοποίησης Lang (Πηγή: Wenzhong and ChuiKwan, 2006)

→ Καθολικοί αλγόριθμοι (Global Routines)

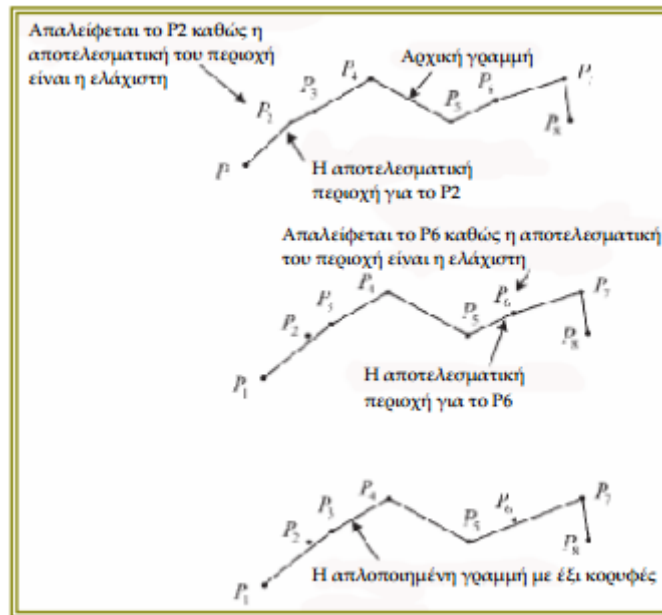
Ένας καθολικός αλγόριθμος εξετάζει μια γραμμή εξ ολοκλήρου και επεξεργάζεται τη γραμμή από την αρχή ως το τέλος. Ο αλγόριθμος Douglas-Peucker (σχήμα 11), που αναπτύχθηκε αρχικά από τους Douglas και Peucker (1973) και τροποποιήθηκε αργότερα από τους Hershberger και Snoeyink (1992), είναι ο συνηθέστερα χρησιμοποιούμενος καθολικός αλγόριθμος απλοποίησης στη χαρτογραφία και στα GIS. Στον κλασικό αλγόριθμο DP, στη διαδικασία απλοποίησης εισάγονται μόνο οι κορυφές της πολυγραμμής. Ο κλασικός αλγόριθμος επιλέγει την κορυφή από την αρχική πολυγραμμή συγκρίνοντας την μεγαλύτερη (farthest) απόσταση και το κατώτατο όριο που δίνεται. Είναι όμως δύσκολο να αποκτηθεί ένα κατώτατο όριο αυτόματα. Επομένως, προτείνεται ένας τροποποιημένος αλγόριθμος απλοποίησης DP με τον οποίο από τον νόμο του Tofer, παρουσιάζεται το κατώτατο όριο προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα των κατώτατων ορίων.

Ένα άλλο παράδειγμα καθολικού αλγορίθμου είναι η γενίκευση γραμμών βασισμένη στην επιφάνεια/περιοχή που προτείνεται από τους Visvalingam και Whyatt (1993).



Σχήμα 12: Ο αλγόριθμος απλοποίησης Douglas-Peucker (Πηγή: Wenzhong and ChuiKwan, 2006)

Σύμφωνα με τους Visvalingam και Williamson (1995), ο αλγόριθμος Douglas-Peucker αποδίδει καλύτερα για ελάχιστη απλοποίηση και ο αλγόριθμος Visvalingam-Whyatt (σχήμα 12) αποδίδει καλύτερα για την αποβολή ολόκληρων μορφών (Weibel, 1997). Η παραλλαγή της απλουστευμένης γραμμής υπόκειται σε δύο κύριους παράγοντες: την πυκνότητα των αρχικών σημείων και την πολυπλοκότητα της γραμμής, όπου η πυκνότητα των αρχικών σημείων αναφέρεται στον αριθμό των σημείων κατά μήκος της αρχικής γραμμής ανά μονάδα μήκους και η πολυπλοκότητα γραμμών αφορά τη μορφή/το σχήμα της αρχικής γραμμής το οποίο μπορεί να ποσοτικοποιηθεί π.χ. μέσω της κυρτότητας ή της καμπυλότητας. Μεταξύ των παρουσιασμένων αλγορίθμων, οι δύο αλγόριθμοι ανεξάρτητου σημείου (συμπεριλαμβανομένων της ρουτίνας του n -οστού σημείου και της ρουτίνας της τυχαίας επιλογής σημείων) και η ρουτίνα της απόστασης μεταξύ σημείων επηρεάζονται κυρίως από την πυκνότητα των αρχικών σημείων. Ο αλγόριθμος Orheim και ο αλγόριθμος Visvalingam-Whyatt επηρεάζονται και από την πυκνότητα των αρχικών σημείων και από την πολυπλοκότητα της γραμμής. Οι υπόλοιποι αλγόριθμοι συνδέονται με την πολυπλοκότητα των γραμμών, επειδή λαμβάνουν υπόψη είτε τη γωνιακή αλλαγή είτε την απόσταση από ένα σημείο στην απλουστευμένη γραμμή. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα της απλοποίησης για τους επιλεγμένους αλγορίθμους απλοποίησης γραμμών συνοψίζονται στον Πίνακα 7.



Σχήμα 13: Ο αλγόριθμος Visvalingam-Whyatt (Πηγή: Wenzhong and ChuiKwan, 2006)

Αλγόριθμος απλοποίησης γραμμής	Πυκνότητα αρχικών σημείων (κορυφών)	Πολυπλοκότητα γραμμής
Αλγόριθμος n-οστού σημείου	√	
Αλγόριθμος Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ των σημείων	√	
Αλγόριθμος της κάθετης απόστασης		√
Αλγόριθμος των Reumann-Witkam		√
Αλγόριθμος του Orheim	√	√
Αλγόριθμος του Lang		√
Αλγόριθμος των Douglas-Peucker		√
Αλγόριθμος των Visvalingam-Whyatt	√	√

Πίνακας 7: Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα της απλοποίησης για διαφορετικούς αλγορίθμους απλοποίησης γραμμών (Πηγή: Wenzhong and ChuiKwan, 2006)