

Η Αβεβαιότητα στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Είναι Αξιόπιστες οι Απαντήσεις τους;

Μαρία Παπαδοπούλου

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Εργαστήριο Κτηματολογίου και Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, ΤΑΤΜ, ΑΠΘ

Περίληψη: Η εργασία αναφέρεται στη συμπεριφορά της αβεβαιότητας των δεδομένων ενός GIS και στην επίδρασή της στα τελικά αποτελέσματα της χωρικής ανάλυσης, από τα οποία και εξαρτάται η απόφαση του χρήστη του συστήματος σε μια μελέτη. Αναφέρονται στοιχεία σχετικά με την επιστημονική έρευνα που γίνεται από τα μέλη της κοινότητας των GIS τα τελευταία τριάντα χρόνια, δίνονται οι ορισμοί της αβεβαιότητας, οι πηγές προέλευσής της, οι τρόποι διαχείρισής της και περιγράφονται σχετικά λογισμικά. Τέλος, γίνεται αναφορά στη νέα μορφή αβεβαιότητας, η οποία τα τελευταία χρόνια εισέρχεται στον κόσμο των GIS, με τη χρήση δεδομένων που προέρχονται μαζικά μέσω του διαδικτύου, από μη ειδικούς εθελοντές.

1. Εισαγωγή

Η γεωγραφική πραγματικότητα ποτέ δεν μπορεί να περιγραφεί με κάθε λεπτομέρεια. Είναι ευνόητο ότι δεν υπάρχουν τέλει καταγραφές πληροφορίας για κάθε σημείο του χώρου που μελετάται, λόγω περιορισμού στις δυνατότητες των οργάνων, στους οικονομικούς προϋπολογισμούς και στο ανθρώπινο δυναμικό. Εκτός αυτών, ο χώρος μεταβάλλεται συνεχώς με την πάροδο του χρόνου. Έτσι, τα γεωγραφικά δεδομένα, είναι απλώς προσεγγίσεις της πραγματικότητας για την οποία τελικά υπάρχει άγνοια. Αυτή η άγνοια περιγράφεται από την αβεβαιότητα, η οποία είναι ένας πολύ βασικός παράγοντας σε όλα τα στάδια μιας χωρικής μελέτης μέσω των GIS και κυρίως στα αποτελέσματά της. Γενικά, αν εισαχθούν και χρησιμοποιηθούν στο GIS αβέβαια δεδομένα, τέτοιο θα είναι και το αποτέλεσμα της ανάλυσης. Στη διεθνή βιβλιογραφία αυτό περιγράφεται από τον όρο GIGO (Garbage In Garbage Out). Βασική επομένως είναι η κατανόηση εκ μέρους των χρηστών, της φύσης της αβεβαιότητας στις διαφορετικές της μορφές, καθώς και τα προβλήματα που προκαλεί στην χωρική ανάλυση η ύπαρξή της.

Οι Τοπογράφοι Μηχανικοί από την αρχή των σπουδών τους κατανοούν το γεγονός που προαναφέρθηκε, ότι δηλαδή καμιά πρωτογενής γεωμετρική ή/και περιγραφική πληροφορία που προέρχεται από μέτρηση ή άλλου είδους καταγραφή της πραγματικότητας και πολύ περισσότερο καμιά παράγωγη πληροφορία δεν είναι απόλυτα σωστή. Στη δεκαετία του '80 στην Ελλάδα, όταν μπήκαν στην επιστημονική και

επαγγελματική ζωή του Τοπογράφου Μηχανικού τα GIS, άρχισαν να χρησιμοποιούνται οι βάσεις τους, που εν γνώσει των μηχανικών περιείχαν αβέβαιη πληροφορία. Το θέμα όμως «αβεβαιότητα» ξεχάστηκε μπροστά στα «θαυμαστά» επιτεύγματα του λογισμικού των GIS, που μπορούσε να απαντά σε ερωτήσεις των χρηστών σχετικές με το χώρο και να συμβάλλει στη λήψη αποφάσεων. Παράλληλα, ήταν εξίσου σημαντικό, το ότι το λογισμικό των GIS έδινε υψηλής αισθητικής εξόδους γραφικών, που στις περισσότερες των περιπτώσεων δεν αναλογούσαν στην ποιότητα των δεδομένων και των αποτελεσμάτων. Το χειρότερο στην όλη υπόθεση, είναι το ότι ξεχάστηκε το γεγονός, πως η μεγάλη δύναμη των GIS προέρχεται από τη δυνατότητα του συνδυασμού πολλών επιπέδων πληροφορίας, που το καθένα από αυτά έχει την αβεβαιότητά του και την οποία κληροδοτεί στο παράγωγο αποτέλεσμα της χωρικής ανάλυσης, ενώ ταυτόχρονα η εισαγωγή κάθε νέου επιπέδου φέρνει καινούργια αβεβαιότητα.

Με παρόμοια λογική, πολύ νωρίτερα βέβαια απ' ότι στην Ελλάδα, δούλεψε για αρκετά χρόνια και η παγκόσμια κοινότητα των GIS σε σχετικά θέματα, αποφεύγοντας να αναδείξει τη σημασία της ύπαρξης λαθών. Αν και τα GIS επινοήθηκαν στα μέσα της δεκαετίας του '60, πέρασαν είκοσι χρόνια για να μιλήσουν οι επιστήμονες για την αβεβαιότητα (βλ. πχ. Chrisman, 1982, Blakemore, 1984, Burrough, 1986, Beard, 1989). Στην αρχή (δεκαετίες '60 και '70), η επιστημονική κοινότητα ασχολήθηκε εντατικά με την επίλυση τεχνικών προβλημάτων, όπως το στήσιμο ενός GIS, ο σχεδιασμός των βάσεων δεδομένων και των δομών των δεδομένων, ο σχεδιασμός αλγορίθμων για την εκτέλεση εργασιών όπως πχ. οι τοπολογικές επικαλύψεις ή οι γεωμετρικοί υπολογισμοί κλπ. (Goodchild, 2010). Από τα μέσα της δεκαετίας του '80 όμως, πολλοί ερευνητές άρχισαν να ασχολούνται με τη μοντελοποίηση, την ποσοτικοποίηση, τους τρόπους μετάδοσης αλλά και της απεικόνισης της αβεβαιότητας δεδομένων και αποτελεσμάτων. Στον **Πίνακα 1**, παρουσιάζονται ενδεικτικά μερικές αντιπροσωπευτικές σχετικές εργασίες, που περιλαμβάνονται στη διεθνή βιβλιογραφία.

Παράλληλα με την ακαδημαϊκή έρευνα, έγιναν κινήσεις από οργανισμούς και επιτροπές για δημιουργία προτύπων που αφορούσαν στην αβεβαιότητα των χωρικών δεδομένων. Το 1980 από ομάδα ερευνητών έγινε πρόταση για τον καθορισμό διεθνώς αποδεκτής έκφρασης της αβεβαιότητας των μετρήσεων. Η πρόταση γνωστή ως ISO GUM¹ (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) αποτέλεσε οδηγό για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας στα επόμενα πρότυπα ISO. Το 1982 στις ΗΠΑ, θεσπίστηκε από την ACSM² (American Congress of Surveying and Mapping) η εθνική επιτροπή των ψηφιακών προτύπων χαρτογραφικών δεδομένων (National Committee on Digital Cartographic Data Standards). Το 1988 το

¹ βλ. JCGM 100:2008, Evaluation of measurement. data — Guide to the expression of uncertainty in measurement, JCGM

² βλ. <http://www.acsm.net/>

Πίνακας 1. Δίνεται έτος δημοσίευσής της εργασίας, ονόματα των ερευνητών και το περιεχόμενό της

Ερευνητές και έτος δημοσίευσης	Αντικείμενο εργασίας
Christman 1982, Blakemore 1984 και Dutton 1992	μοντελοποίησαν την αβεβαιότητα των γραμμών (e-band model)
Burrough 1989	μελέτησε την αβεβαιότητα μέσω ασαφών συνόλων (Fuzzy Sets ³)
Shi and Tempfli 1994	εξέλιξαν περισσότερο το e-band model
Shi 1997	Δημιούργησε ένα γενικευμένο μοντέλο αβεβαιότητας στις 3-D
Hunter and Goodchild 1997	Μοντελοποίησαν την αβεβαιότητα raster δεδομένων
Navratil 2003	ανάπτυξε μέθοδο εκτίμησης της ακρίβειας του υπολογισμού επιφανειών
Cheung and Shi 2004	μελέτησαν την αβεβαιότητα της θέσης μιας γραμμής σε σχέση με διαδικασίες απλοποίησής της
Shi et al 2004 και Shi 2005	μελέτησαν τη μετάδοση της αβεβαιότητας κατά τον συνδυασμό πολλών επιπέδων πληροφορίας
Leung et al. 2004	μελέτησαν τη συμπεριφορά του σφάλματος μέτρησης σε GIS με δεδομένα που προέρχονται από μετρήσεις (measurement based GIS, MBGIS)
Tong and Shi 2010	μελέτησαν το σφάλμα θέσης σε κυκλικά διανυσματικά χαρακτηριστικά
Wang 2010	δημιούργησε ένα μοντέλο βοήθειας προς το GIS για την κατανόηση ασαφών (vague βλ. §3) χωρικών εννοιών
Foy et al 2014	μελέτησαν εκ νέου το error-band model και εξέτασαν πειραματικά, το πως οι χρήστες μπορούν να το χρησιμοποιήσουν για να ταξινομήσουν την αβεβαιότητα
Xue et al, 2015	με ανώτερης τάξης σειρές Taylor επέκτειναν τη μελέτη μετάδοσης του σφάλματος

NCGIA (National Center for Geographic Information and Analysis) διεξήγαγε έρευνα για τη βελτίωση της ακρίβειας των χωρικών βάσεων δεδομένων, αναγνωρίζοντας την αβεβαιότητα ως σημαντικό εμπόδιο για την υλοποίηση και εφαρμογή ενός έργου μέσω GIS. Παράλληλα, με τη μελέτη της αβεβαιότητας ασχολήθηκαν και ασχολούνται και άλλοι οργανισμοί όπως πχ.. ο ISARA (International Spatial Accuracy Research Association) από το 1994 και το UCGIS (University Consortium for Geographic Information Science) από το 1995 (Τζαρμάδου, 2007).

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1990, επήλθε μια θεμελιώδης αλλαγή στον επιστημονικό τομέα καθώς οι ερευνητές άρχισαν πλέον να συνειδητοποιούν την αναγκαιότητα της συστηματικής μελέτης της αβεβαιότητας και της συμπεριφοράς της. Σήμερα, η διεθνής επιστημονική κοινότητα ασχολείται σοβαρά με την αβεβαιότητα

³ βλ. Zimmermann, H.-J., 2001, Fuzzy Set Theory and Its Applications, Sprieger

τα, η οποία μελετάται και αναλύεται σε πολλά σχετικά βιβλία (βλ. πχ. Malczewski and Rinner, 2015, Shi, 2010), ενώ ανάλογα μαθήματα περιλαμβάνονται στην ύλη διδασκαλίας των GIS στα πανεπιστήμια.

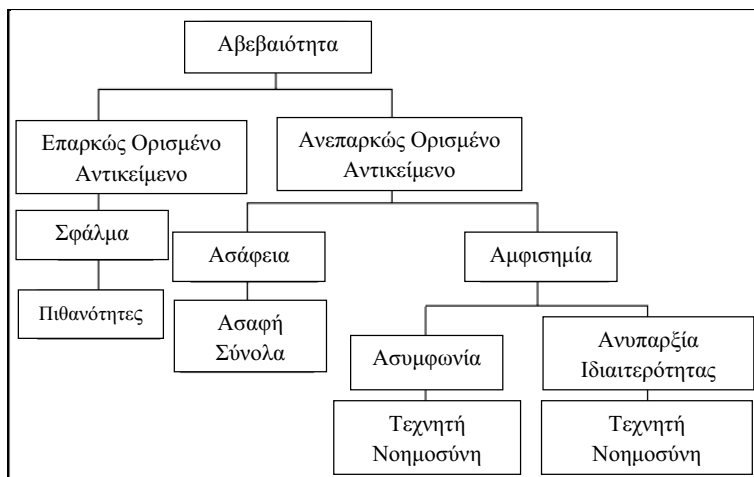
2. Ορισμοί της αβεβαιότητας

Σύμφωνα με τους Fisher (1999) και Fisher et al. (2006), η αβεβαιότητα των χωρικών δεδομένων έχει διαφορετικούς τύπους και τάσεις, που εξαρτώνται από τη φύση του αντικειμένου που μελετάται. Οι παραπάνω ερευνητές καθορίζουν δύο τύπους χωρικών αντικειμένων: τα επαρκώς καθορισμένα αντικείμενα (well defined objects) και τα ανεπαρκώς καθορισμένα αντικείμενα (poorly defined objects). Ένα παράδειγμα επαρκώς καθορισμένου γεωγραφικού φαινομένου είναι η ιδιοκτησία γης. Το όριο μεταξύ των αγροτεμαχίων συνήθως σημειώνεται στο έδαφος και σηματοδοτεί μια άμεση και συνολική αλλαγή στο ιδιοκτησιακό καθεστώς. Ακόμη και σε περιπτώσεις συλλογικής ιδιοκτησίας, στην οποία δύο ομάδες μπορεί να κατέχουν δύο παρακείμενα αγροτεμάχια και ένα άτομο ανήκει και στις δύο ομάδες, το ζήτημα κυριότητας καθορίζεται από το νόμο (Fisher, 1999). Ανεπαρκώς καθορισμένα είναι συνήθως τα φαινόμενα που έχουν σχέση με το περιβάλλον. Ένα κλασικό παράδειγμα ενός τέτοιου φαινομένου είναι ο υδροφόρος ορίζοντας μιας περιοχής, επειδή συνήθως η πληροφορία είναι ελλιπής και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά του διαφοροποιούνται στο σύνολο της έκτασής του⁴, ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν ποικίλοι επιστημονικοί ορισμοί του φαινομένου (Kahnig, 2012).

Ακολουθώντας τους παραπάνω ορισμούς των γεωγραφικών αντικειμένων, η φύση της αβεβαιότητας περιγράφεται όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1**. Στα επαρκώς ορισμένα αντικείμενα, η αβεβαιότητα οφείλεται σε **σφάλματα** (errors), που διέπονται από το νόμο των πιθανοτήτων. Το σφάλμα είναι η διαφορά ανάμεσα σε μια υπολογιζόμενη, παρατηρούμενη ή μετρούμενη τιμή ή κατάσταση και εκείνης που έχει καθοριστεί θεωρητικά ως η σωστή τιμή ή κατάσταση. Το μέγεθος των σφαλμάτων χαρακτηρίζει και την ακρίβεια των χωρικών δεδομένων. Η ακρίβεια είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερα είναι τα σφάλματα και διακρίνεται σε εσωτερική και εξωτερική. Η **εσωτερική ακρίβεια** (precision) σχετίζεται με το πόσο συγκεντρωμένες είναι μεταξύ τους οι παρατηρούμενες τιμές ενός φαινομένου ανεξάρτητα από το αν είναι συγκεντρωμένες γύρω από την πραγματική τιμή ή όχι, ενώ η **εξωτερική ακρίβεια** ή **αξιοπιστία** (reliability) σχετίζεται με το πόσο κοντά στην πραγματική τιμή βρίσκονται οι εκτιμήσεις. Ένας άλλος όρος, που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το πόσο καλά τα χωρικά δεδομένα προσεγγίζουν την πραγματικότητα, είναι η **ποιότητά** τους (accuracy). Η ποιότητα των δεδομένων εμπεριέχει τον όρο «ακρίβεια» και τον όρο «αξιοπιστία», αποτελώντας μια πιο σαφή και πλήρη έννοια από τις δύο προηγούμενες (Δερμάνης κά., 1994, Foote and Huebner, 1995).

⁴ Από παράγοντες όπως η ανθρώπινη δραστηριότητα και οι κλιματικές συνθήκες

Στην περίπτωση μη επαρκώς καθορισμένων αντικειμένων οι τύποι της αβεβαιότητας είναι η **ασάφεια** (vagueness) και η **αμφισημία** (ambiguity)⁵. Στα GIS, η ασάφεια του ορισμού ενός αντικειμένου δημιουργεί αμφιβολία σχετικά με το αν μια θέση που ενδιαφέρει, ανήκει σε μια τάξη ή σε αρκετές τάξεις. Αυτός ο τύπος αβεβαιότητας μελετάται μέσω της θεωρίας των ασαφών συνόλων. Η αμφισημία υπάρχει όταν η αβεβαιότητα οφείλεται στην αμφιβολία σχετικά με το πώς ένα φαινόμενο θα πρέπει να ταξινομηθεί λόγω της ύπαρξης διαφορετικών αντιλήψεων για την περιγραφή του. Είναι το πρόβλημα της επιλογής ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες εναλλακτικές τάξεις. Η αμφισημία διακρίνεται στην **ασυμφωνία** (discord) και στην **ανυπαρξία ιδιαιτερότητας** (non-specificity). Η ασυμφωνία υπάρχει όταν κάποιο φαινόμενο ταξινομείται σε διαφορετικές τάξεις εάν χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τρόποι ταξινόμησης. Για παράδειγμα, σε πολλές χώρες ισχύει διαφορετικός ορισμός του τι είναι «έδαφος» και διαφορετικά σχήματα ταξινόμησης του εδάφους. Έτσι, το φαινόμενο κατατάσσεται σε διαφορετικές κατηγορίες στα επί μέρους εθνικά συστήματα ταξινόμησης. Η ασυμφωνία μελετάται με μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης (Fisher et al., 2006). Η ανυπαρξία ιδιαιτερότητας υφίσταται όταν η ταξινόμηση ενός αντικειμένου σε μια κατηγορία εναπόκειται στην υποκειμενική άποψη του χρήστη. Για παράδειγμα, η έκφραση «το Α βρίσκεται βόρεια του Β» ανήκει σ' αυτήν την κατηγορία αμφισημίας, γιατί η έκφραση «βρίσκεται βόρεια» μπορεί να έχει πολλές ερμηνείες πχ. ΒΑ, ΒΔ, «ακριβώς πάνω από» κλπ. Η κατηγορία αυτή μελετάται επίσης με μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης⁶ (Fisher et al., 2006).



Σχήμα 1. Οι τύποι της αβεβαιότητας και οι τρόποι αντιμετώπισής τους σύμφωνα με τον ορισμό των γεωγραφικών αντικειμένων (προσαρμογή από τους Fisher et al., 2006)

⁵ Η μετάφραση των όρων είναι από το Longley, P., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., Rhind, D.W., 2005, Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), επιμέλεια: Θεοδωρίδης Γ., Κλειδάριθμος

⁶ βλ. Openshaw S., Openshaw C., 1997, Artificial Intelligence in Geography, Wiley

3. Πηγές αβεβαιότητας

Υπάρχουν πολλές πηγές αβεβαιότητας, που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα ενός συνόλου δεδομένων σ' ένα GIS και κατ' επέκταση τα προϊόντα της ανάλυσης μέσω αυτού. Μερικές είναι αρκετά προφανείς, αλλά άλλες γίνονται πιο δύσκολα αντιληπτές. Ο Burrough (1986) χωρίζει τις πηγές της αβεβαιότητας σε τρεις κατηγορίες: α) εμφανείς πηγές αβεβαιότητας, β) αβεβαιότητα που οφείλεται σε φυσικές διακυμάνσεις ή στις αρχικές μετρήσεις και γ) αβεβαιότητα που προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων και τις διαδικασίες της χωρικής ανάλυσης. Οι πηγές από τις οποίες προέρχεται η αβεβαιότητα των δεδομένων γίνονται γνωστές μέσω των μεταδεδομένων (metadata) (βλ. πχ. Comber et al., 2006, Σαραφίδης, 2009), που απαραίτητα συνοδεύουν την αρχική πληροφορία.

3.1 Εμφανείς πηγές αβεβαιότητας

Κατά τους Foote and Huebner (1995), οι εμφανείς πηγές αβεβαιότητας είναι:

Η ηλικία των δεδομένων: Είναι προφανές ότι παλιά και μη ενημερωμένα δεδομένα εισάγουν αβεβαιότητα, που οφείλεται σε χαμηλότερης ακρίβειας παλαιότερες μετρήσεις ή περιγράφουν μια μορφή του χώρου η οποία δεν υπάρχει πλέον.

Η μερική ή ατελής κάλυψη του χώρου με καταγραφές: Τα δεδομένα σε ένα τμήμα της περιοχής μελέτης μπορεί να μην υπάρχουν καθόλου (πχ. μια περιοχή μιας δορυφορικής εικόνας που καλύπτεται από σύννεφα), ή η πληροφορία μπορεί να είναι εν μέρει διαθέσιμη (πχ. πληροφορία για το ανάγλυφο που μπορεί να είναι ατελής σε περιοχές κοντά στα σύνορα μιας χώρας)

Η κλίμακα μελέτης και η πυκνότητα παρατηρήσεων: Είναι γνωστό ότι η κλίμακα μελέτης καθορίζει το είδος, την ποσότητα και την ποιότητα των δεδομένων (Παπαδοπούλου, 2004). Από την κλίμακα εξαρτάται η απαιτούμενη λεπτομέρεια της πληροφορίας και επομένως η πυκνότητα και ο αριθμός των παρατηρήσεων για την περιγραφή των προς μελέτη φαινομένων. Ο ανεπαρκής αριθμός των παρατηρήσεων και η μη ικανοποιητική πυκνότητά τους, μπορεί να μην παρέχουν τη λεπτομέρεια που απαιτείται για την κατάλληλη εκτέλεση της χωρικής ανάλυσης, γεγονός που εισάγει αβεβαιότητα.

Η χρήση υποκατάστατου πληροφορίας: Εάν τα επιθυμητά δεδομένα δεν υπάρχουν, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν «υποκατάστατα» αυτών που λείπουν, αρκεί να σχετίζονται απόλυτα. Έτσι, η εδαφική κάλυψη μπορεί να αποτελέσει υποκατάστατο για τη συλλογή δεδομένων σχετικών με τη χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής μελέτης. Όμως ακόμα και αν είναι σαφής η σχέση ανάμεσα στο φαινόμενο και το υποκατάστατο, υπάρχει αβεβαιότητα, που οφείλεται στο γεγονός ότι δεν καταγράφεται απ' ευθείας το φαινόμενο που ενδιαφέρει .

Εκτός από τις παραπάνω περιπτώσεις που αναφέρουν οι Foote and Huebner (1995), στην κατηγορία των εμφανών πηγών ανήκουν και:

Η δομή, το format των δεδομένων και η διαλειτουργικότητα (interoperability): Οι μέθοδοι μορφοποίησης των ψηφιακών πληροφοριών για τη μεταφορά, την αποθήκευση και την επεξεργασία τους, μπορεί να εισάγει αβεβαιότητα στα δεδομένα. Η μετατροπή της κλίμακας, της προβολής, η αλλαγή της δομής των δεδομένων από raster σε vector ή το αντίθετο, η αλλαγή της διακριτικής ικανότητας (resolution) μιας εικόνας, είναι παραδείγματα περιπτώσεων που η αλλαγή της μορφής εισάγει αβεβαιότητα. Επίσης για τη διάδοση και τη χρήση δεδομένων και αποτελεσμάτων μιας χωρικής διαδικασίας από πολλούς χρήστες GIS ή για τη μείξη δεδομένων από διαφορετικές πηγές, είναι απαραίτητη η ύπαρξη διαλειτουργικότητας (interoperability) μεταξύ των συστημάτων. Η μετατροπή όμως του format από το ένα σύστημα στο άλλο (import-export), εισάγει αβεβαιότητα στα μετασχηματισμένα δεδομένα.

3.2 Αβεβαιότητες που οφείλονται σε φυσικές διακυμάνσεις ή στις πρωτογενείς μετρήσεις.

Υπάρχει αβεβαιότητα που δεν είναι τόσο εμφανής και πολλές φορές παραβλέπεται. Η αβεβαιότητα αυτή είναι σφάλμα (error) ως προς την κατηγοροποίηση της παραγράφου 3 και μπορεί να είναι: (Lembo, 2006):

Σφάλμα θέσης (positional errors): Οφείλεται σε κακές μετρήσεις στο πεδίο ή στην περίπτωση ψηφιοποίησης των δεδομένων, στην ύπαρξη κάποιου ζαρώματος από υγρασία του αρχικού αναλογικού χάρτη, το οποίο καταστρέφει τη γεωμετρία.

Σφάλμα λόγω διακύμανσης (variation): Οφείλεται σε όργανα που δεν μετρούν σωστά ή παρουσιάζουν μικρές διακυμάνσεις από μέτρηση σε μέτρηση στην ίδια θέση. Οι διακυμάνσεις αυτές συνήθως αντιστοιχούν σε καταγραφές περιγραφικών δεδομένων. Για παράδειγμα, κακής ποιότητας μετρήσεις στο pH ή στη θερμοκρασία σε μία θέση λόγω κακού εξοπλισμού, δημιουργούν λάθος ιδιότητες για την θέση αυτή.

3.3 Αβεβαιότητα που προκύπτει κατά τις χωρικές διαδικασίες

Η αβεβαιότητα που προκύπτει κατά τη διάρκεια μιας επεξεργασίας ανιχνεύεται δύσκολα από τους χρήστες των GIS και απαιτείται από αυτούς η καλή γνώση της πληροφορίας και των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την συγκεκριμένη ανάλυση. Στην ανίχνευση και τον περιορισμό αυτής της αβεβαιότητας επικεντρώνονται σε μεγάλο ποσοστό οι ερευνητικές εργασίες μέχρι σήμερα. Οι διαδικασίες που εισάγουν αβεβαιότητα είναι: (Foote and Huebner, 1995)

Το «κτίσιμο» της τοπολογίας: Η υπέρθεση πολλαπλών επιπέδων πληροφορίας αλλά και η ψηφιοποίηση αναλογικών χαρτών, μπορούν να οδηγήσουν σε δημιουργία εικονικών αντικειμένων, όπως πχ. slivers, dangles, overshoots κλπ. (βλ. πχ. Αρβανίτης κ., 2003) ή σε λάθος σχετική θέση αντικειμένων δύο ή περισσότερων επιπέδων πληροφορίας.

Η ταξινόμηση: Το αποτέλεσμα μιας ταξινόμησης, που είναι μια μορφή γενίκευσης της πληροφορίας, εξαρτάται από τις μεθόδους δημιουργίας των ορίων των τάξεων και εισάγει ανάλογα μεγαλύτερη ή μικρότερη αβεβαιότητα.

Η αφαιρετική μοντελοποίηση της πραγματικότητας: Στα GIS, ο σκοπός της μοντελοποίησης, είναι η παρουσίαση με αφαιρετικό τρόπο θεμάτων του φυσικού κόσμου. Επομένως είναι αναμενόμενο, η ίδια η διαδικασία μοντελοποίησης να δημιουργεί αβεβαιότητα.

Η παρεμβολή (interpolation) δεδομένων: Η δημιουργία νέων δεδομένων μέσω παρεμβολής σε υπάρχοντα σημειακά δεδομένα, δημιουργεί αβεβαιότητα στις παράγωγες θέσεις, η οποία οφείλεται τόσο στην αβεβαιότητα των αρχικών δεδομένων όσο και στην αβεβαιότητα που δημιουργεί η μέθοδος παρεμβολής που χρησιμοποιείται.

Εκτός από τις παραπάνω περιπτώσεις που αναφέρουν οι Foote and Huebner (1995), η αβεβαιότητα μπορεί να οφείλεται:

Στην ποιότητα των αλγόριθμων που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση μιας διαδικασίας όπως είναι, η επικάλυψη αντικειμένων, η γενίκευση, ο ορισμός της τοπολογίας, η σχεδίαση κλπ. Ο βαθμός της αβεβαιότητας εξαρτάται από το πόσο «ευέλκτοι» είναι οι αλγόριθμοι και πόσο σωστά «αντιλαμβάνονται» και διαχειρίζονται το χώρο και επομένως από τις απαντήσεις που δίνουν στις επιμέρους ειδικές περιπτώσεις τις οποίες αναλύουν.

Η μετάδοση του σφάλματος (βλ. §4) που συμβαίνει κατά τις χωρικές διαδικασίες και η οποία είναι μια από τις σημαντικότερες πηγές αυτής της κατηγορίας.

4. Η μετάδοση του σφάλματος στη χωρική ανάλυση

Ως μετάδοση του σφάλματος ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία το σφάλμα (error) περνά από τα αρχικά δεδομένα στα αποτελέσματα μιας χωρικής ανάλυσης. Σύμφωνα με τους Foote and Huebner (1996) και Shi (2010), τα σφάλματα που δημιουργούνται από τις πράξεις της χωρικής ανάλυσης επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα της παράγωγης πληροφορίας. Γι' αυτόν τον λόγο, η επιστημονική έρευνα στοχεύει στο να αναπτύξει μεθόδους ποσοτικοποίησης του σφάλματος που μεταδίδεται μέσω των χωρικών διαδικασιών αλλά και στο να παρακολουθήσει την «πορεία» της μετάδοσης. Το σφάλμα που μεταδίδεται, εξαρτάται από λάθη στα αρχικά δεδομένα, λάθη στις πράξεις της χωρικής ανάλυσης αλλά και λάθη ακόμη και στη μέθοδο παρουσίασης του προϊόντος που προκύπτει από τη χωρική διαδικασία. Τόσο για τα raster όσο και για τα vector δεδομένα, οι δύο βασικές προσεγγίσεις της μοντελοποίησης της μετάδοσης του σφάλματος είναι: η **αναλυτική** προσέγγιση (όπως αυτή που βασίζεται στο νόμο μετάδοσης σφάλματος, βλ. Δερμάνης, 1986) και η προσέγγιση **προσομοίωσης** (όπως πχ. η προσομοίωση Monte Carlo, βλ. Heuvelink, 1999).

Με τη μετάδοση, το ένα σφάλμα φέρνει το άλλο. Για παράδειγμα, αν ένα σημείο

που προέρχεται από χάρτη, έχει ψηφιοποιηθεί απρόσεκτα σε ένα επίπεδο πληροφορίας και στη συνέχεια χρησιμοποιηθεί για την γεωαναφορά ενός δευτέρου επιπέδου, το πρώτο σφάλμα θα μεταδοθεί στο νέο επίπεδο. Μ' αυτόν τον τρόπο, ένα απλό σφάλμα μπορεί να οδηγήσει σε άλλα και επεκτείνεται μέχρι να «καταστρέψει» όλα τα ενδιάμεσα δεδομένα και φυσικά το αποτέλεσμα (cascading). Ιδιαίτερα τα αποτελέσματα της επικάλυψης είναι δύσκολο να προβλεφθούν. Τα σφάλματα μπορούν να προστίθενται ή να πολλαπλασιάζονται και το τελικό σφάλμα ποικίλει ανάλογα με το πώς συνδυάζονται τα επίπεδα. Επομένως, πρέπει να απαντηθούν σχετικά ερωτήματα όπως: «τα σφάλματα του κάθε επιπέδου γίνονται χειρότερα με τις διαδοχικές επικαλύψεις ή μήπως αναιρούν το ένα το άλλο; είναι ανεξάρτητα ή συσχετιζόμενα;» (Foote and Huebner, 1996).

Άλλες πάλι χωρικές διαδικασίες γίνονται εν σειρά, για να υπολογιστεί μια ιδιότητα, η οποία είναι το αποτέλεσμα ενός μαθηματικού μοντέλου. Για παράδειγμα, η ροή στην εκβολή μιας λεκάνης απορροής υπολογίζεται αφού οι υδρολογικές διαδικασίες έχουν μετατραπεί σε μαθηματικές εξισώσεις και η πραγματικότητα έχει προσεγγισθεί από ένα κατάλληλο μοντέλο. Στην περίπτωση αυτή, γίνεται μετάδοση του σφάλματος τόσο των δεδομένων όσο και του μοντέλου (Heuvelink, 1999).

5. Η διαχείριση της αβεβαιότητας στα GIS

Η σωστή διαχείριση της αβεβαιότητας, που συνεπάγεται και μικρότερη επίδρασή της στην ανάλυση και τα αποτελέσματα, αφορά στα παρακάτω: (Foote and Huebner, 1996, Hunter, 1998)

Ορισμός προδιαγραφών για διαδικασίες και προϊόντα: Ανάλογα με το πόσο ακριβής και βέβαιη θέλουμε να είναι η λύση που δίνει το GIS, ο σχεδιαστής μιας μελέτης πρέπει να ορίσει τις κατάλληλες προδιαγραφές για τη συλλογή των αρχικών δεδομένων. Το να οριστεί κάποια προδιαγραφή πολύ υψηλής ακρίβειας και πληρότητας με σκοπό ένα καλό αποτέλεσμα, αφενός προσθέτει χρόνο και κόστος στη μελέτη και αφετέρου δεν εγγυάται ένα αποδεκτό αποτέλεσμα, λόγω της ύπαρξης της μετάδοσης του σφάλματος. Οι προδιαγραφές πρέπει να ακολουθούν το σκοπό και την κλίμακα της μελέτης.

Έλεγχος των προϊόντων: Τα δεδομένα των GIS πρέπει να ελέγχονται τακτικά σε σχέση με την πραγματικότητα. Τόσο για τα χωρικά όσο και για τα περιγραφικά δεδομένα κάτι τέτοιο σημαίνει έλεγχο χαρτών και θέσεων στο πεδίο ή σε σχέση με πηγές γνωστής υψηλής ποιότητας.

Βαθμονόμηση ενός συνόλου δεδομένων προκειμένου να εξακριβωθεί με ποιο τρόπο το σφάλμα επηρεάζει τις λύσεις: Ο καλύτερος τρόπος για να γίνει αυτό, είναι ο έλεγχος των αποτελεσμάτων μιας ανάλυσης έναντι των διαπιστώσεων που παράγονται από εντελώς ανεξάρτητους υπολογισμούς. Εάν οι δύο διαδικασίες συμφωνούν, τότε ο χρήστης μπορεί να θεωρήσει ότι η διαδικασία και η μοντελοποίηση

των δεδομένων είναι έγκυρες. Αυτή η διαδικασία ελέγχου και βαθμονόμησης μιας λύσης είναι γνωστή ως ανάλυση ευαισθησίας (sensitivity analysis⁷). Η ανάλυση ευαισθησίας επιτρέπει στο χρήστη να διαπιστώσει με ποιο τρόπο μεταβολές στα δεδομένα και τη διαδικασία μοντελοποίησης επηρεάζουν μια λύση.

Η στρατηγική για τη διαχείριση της αβεβαιότητας

Μια γενική στρατηγική που πρέπει να ακολουθείται είναι: Να υπάρχει μια ατζέντα έρευνας που θα περιλαμβάνει α) τη δημιουργία επίσημων και αυστηρών μοντέλων της αβεβαιότητας και θα ασχολείται με την κατανόηση του τρόπου μετάδοσής της μέσα από τη χωρική διαδικασία μέχρι τη λήψη απόφασης και β) το σχεδιασμό τεχνικών για την εκτίμηση της καταλληλότητας της γεωγραφικής πληροφορίας και για τη μείωση της αβεβαιότητας σε διαχειρίσιμα επίπεδα για κάθε εφαρμογή. Επιπλέον, οι χρήστες πρέπει να κατανοήσουν την αβεβαιότητα και να εκπαιδευτούν στο να λαμβάνουν αποφάσεις με δεδομένη την ύπαρξή της. Επίσης πρέπει να γνωρίζουν το είδος της εφαρμογής και τη φύση της απόφασης που πρέπει να ληφθεί με βάση τις απαντήσεις του GIS. Αν δηλ. η απόφαση είναι υψηλού ή χαμηλού ρίσκου, συζητήσιμη ή μη, πολιτική απόφαση ή μη κλπ.

6. Λογισμικά που διαχειρίζονται την αβεβαιότητα

Στα εμπορικά λογισμικά GIS, δεν υπάρχουν αλγόριθμοι ελέγχου και ποσοτικοποίησης της αβεβαιότητας και της μετάδοσής της στις διάφορες φάσεις των χωρικών διαδικασιών, εκτός αν πρόκειται για γεωστατιστικές παρεμβολές, στις οποίες τα αποτελέσματα ακολουθούνται ούτως ή άλλως από την αβεβαιότητά τους. Στην παράγραφο αυτή, παρουσιάζονται με χρονολογική σειρά, παραδείγματα δημιουργίας σχετικού λογισμικού, που είτε είναι ανεξάρτητο από εμπορικά πακέτα είτε τρέχει κάτω από πλατφόρμες γνωστών GIS, καλύπτοντας τις ελλείψεις του βασικού λογισμικού τους στο θέμα της αβεβαιότητας.

Το λογισμικό των Forier and Canters, 1996: Είναι ένα ανεξάρτητο λογισμικό που έγινε για τη μοντελοποίηση και τη μετάδοση των σφαλμάτων σε raster περιγραφικά επίπεδα πληροφορίας. Το εργαλείο είχε ως στόχο τη βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων μέχρι εκείνη την εποχή μεθόδων για την μετάδοση των σφαλμάτων και της μοντελοποίησής τους. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην παραμετροποίηση των μοντέλων, ώστε ο χρήστης να μπορεί να κάνει την καλύτερη δυνατή χρήση των υπαρχουσών πληροφοριών σχετικά με το σφάλμα στα αρχικά δεδομένα. Ο κώδικας γράφτηκε σε γλώσσα C για το λειτουργικό UNIX και συνδέθηκε με το GRASS, επειδή αυτό είναι ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα (open source).

Το λογισμικό του Hunter, 1999: Ο Hunter (1999), σε μια προσπάθεια να περάσει ο επιστημονικός κόσμος από τη θεωρία σε πρακτικά εργαλεία σχετικά με την αβε-

⁷ βλ. Saltelli A., Tarantola S., Campolongo F. and Ratto M., 2004, Sensitivity analysis in practice. A guide to assessing scientific models, Wiley

βαιότητα, δημιούργησε λογισμικό με το οποίο ήταν δυνατή: 1) η παρακολούθηση των διορθώσεων (editing) των χαρακτηριστικών του αντικειμένου (τοπολογικές διορθώσεις, στροφές, γενικεύσεις, μετατοπίσεις κ.α.), 2) ο έλεγχος της ακρίβειας θέσης γραμμικών χαρακτηριστικών αγνώστου προέλευσης και η σχετική πληροφόρηση του χρήστη, 3) η προσομοίωση της αβεβαιότητας σε προϊόντα που προέρχονται από Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους, 4) η ενσωμάτωση της μοντελοποίησης της αβεβαιότητας σε σημείο, γραμμή και πολύγωνο και 5) η παραγωγή πληροφοριών που αφορούν στην ποιότητα των δεδομένων στα επίπεδα της γεωχωρικής βάσης. Το λογισμικό γράφτηκε στις γλώσσες AML (Arc Macro Language) και Visual Basic και έτρεχε κάτω από το Arcview της ESRI.

Το λογισμικό DUE: Το DUE (Data Uncertainty Engine) δημιουργήθηκε από τους Brown and Heuvelink (2007), για να βοηθήσει το λογισμικό ενός GIS στο να «αντιλαμβάνεται» την αβεβαιότητα. Το εργαλείο εκτιμά τις αβεβαιότητες περιβαλλοντικών δεδομένων και δημιουργεί με προσομοίωση αβέβαια δεδομένα για χρήση στην ανάλυση της μετάδοσης της αβεβαιότητας. Τα αντικείμενα που υποστηρίζει είναι vectors, rasters, χρονοσειρές χωρικών δεδομένων και απλές χρονοσειρές. Οι περιγραφικές ιδιότητες αναφέρονται σε συνεχή φαινόμενα, σε διακριτά και σε ονομαστική πληροφορία. Γενικά το DUE δίνει ένα πλαίσιο για την ανάλυση της αβεβαιότητας, επιτρέποντας σε χρήστες χωρίς ιδιαίτερη εμπειρία στις σχετικές μεθοδολογίες, να αναπτύσσουν ρεαλιστικά μοντέλα αβεβαιότητας για τα δεδομένα τους. Το λογισμικό είναι ελεύθερο, γράφτηκε σε γλώσσα Java και τα αποτελέσματά του μπορούν να εξαχθούν σε διάφορα format.

Το λογισμικό REPTool: Το REPTool (Raster Error Propagation Tool) δημιουργήθηκε από τους Gurdak et al. (2009) για το USGS (United States Geological Survey). Είναι γραμμένο σε γλώσσα Python για συνδυασμένη χρήση με το ArcGIS Desktop της ESRI. Με το REPTool γίνεται εκτίμηση της μετάδοσης σφάλματος και προβλέπεται η αβεβαιότητα σε μεθοδολογίες που εφαρμόζονται σε raster δεδομένα. Το λογισμικό χρησιμοποιεί τη μέθοδο δειγματοληψίας των Λατινικών Υπερκύβων (Latin Hypercube Sampling, LHS⁸) για την παρακολούθηση της μετάδοσης των σφαλμάτων και την ποσοτική εκτίμηση της αβεβαιότητας του αποτελέσματος.

7. Αβεβαιότητα στα χωρικά δεδομένα και Νεογεωγραφία

Οι τεχνολογίες χαρτογράφησης στο διαδίκτυο έχουν αλλάξει δραματικά από το 2005 και μετά. Η εποχή του Web Mapping 2.0, όπως αυτή αποκαλείται από την κοινότητα των σχετικών επιστημόνων, φέρνει νέες τεχνικές και όρους όπως: mash-ups, crowdsourcing, neogeography και geostack. Οι νέες αυτές εφαρμογές αποτε-

⁸ βλ. Iman R. L, 2008, Latin Hypercube Sampling, Wiley

λούν ένα καθοριστικό βήμα στην εξέλιξη των γεωγραφικών εφαρμογών στο διαδίκτυο (που ορισμένοι έχουν αποκαλέσει Geoweb) (Haklay, 2008).

Η **Νεογεωγραφία**, που ως όρος ουσιαστικά καλύπτει όλα τα παραπάνω, σηματοδοτεί την κατάργηση των παραδοσιακών ορίων μεταξύ των επιστημόνων και των μη ειδικών σε θέματα συλλογής δεδομένων και έχει ήδη οδηγήσει σε μια ευρύτερη εναισθητοποίηση των πολιτών όσον αφορά στη δύναμη των GIS. Σήμερα, οι χρήστες χωρικών δεδομένων δεν είναι παθητικοί, αλλά ακόμη και οι απαίδευτοι σχετικά με τα δεδομένα αυτά, παίζουν έναν ενεργό ρόλο στη δημιουργία και τη διάδοσή τους σε κοινή χρήση (βλ. πχ. Sarafidis et al., 2014). Οι γεωγραφικές αυτές πληροφορίες, είναι γνωστές ως εθελοντικά συλλεγόμενες γεωγραφικές πληροφορίες (Volunteered Geographic Information, **VGI**), ή πληροφορίες συλλεγόμενες από το πλήθος των πολιτών (crowdsourced information). Η συλλογή όμως δεδομένων από ερασιτέχνες και ο χαλαρός συντονισμός όσον αφορά στις προδιαγραφές συλλογής, θέτουν ένα βασικό ερωτήμα σχετικά με τα VGI : *«ποιοί παράγοντες καθορίζουν την ποιότητα των VGI και ποιοί μηχανισμοί και πρωτόκολλα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση και διασφάλιση της ποιότητας;»* (Grira, 2009, Goodchild, 2010). Το ερώτημα απασχολεί τους ερευνητές και αποτελεί σήμερα σημαντικό θέμα μελέτης στην επιστημονική κοινότητα των GIS. Στην §7.1 αναφέρονται μερικές χαρακτηριστικές σχετικές εργασίες των τελευταίων ετών.

7.1 Η μελέτη της αβεβαιότητας στα VGI

Οι Grira et al. (2009), χρησιμοποίησαν τον όρο αβεβαιότητα ως ομπρέλα για την περιγραφή των προβλημάτων που δημιουργούνται λόγω των ατελειών των VGI και της αντίστοιχης μείωσης της ποιότητας. Στη περίπτωση των εθελοντών παρόχων, οι πηγές της αβεβαιότητας δεν είναι σαφώς καθορισμένες, δεδομένου του τεράστιου αριθμού και της ποικιλίας των εθελοντών. Μέσω ανάλυσης της γνώμης των χρηστών για το πόσο το τελικό προϊόν ικανοποιεί τις απαιτήσεις τους (quality perception analysis⁹) καθορίστηκαν κριτήρια βάσει των οποίων γίνεται η κατηγοροποίηση των χρήσεων των VGI. Χρησιμοποιώντας την άποψη των εθελοντών χρηστών οι Grira et al. (2009) παρατήρησαν ότι βελτιώνεται η ποιότητα του αποτελέσματος, χωρίς όμως η ίδια ποιότητα να ικανοποιεί τους σκοπούς όλων των κατηγοριών των χρηστών. Ο Haklay (2010), σύγκρινε το OpenStreetMap¹⁰ (OSM) με προϊόντα της Ordnance Survey¹¹. Η πληροφορία του OSM χαρακτηρίστηκε αρκούντως ακριβής. Η ανάλυση έδειξε ότι σε περιοχές όπου ο συμμετέχοντες ήταν επιμελείς, η ποιότητα των πληροφοριών ήταν πολύ καλή. Οι Zhou et al. (2013), χρησιμοποίησαν δεδομένα από την κοινωνική δικτύωση και πρότειναν ένα μοντέ-

⁹ βλ. Wankhade L., Dabade, B., 2010, Quality Uncertainty and Perception. Information Asymmetry and Management of Quality Uncertainty and Quality Perception, Sprieger

¹⁰ βλ. <https://www.openstreetmap.org>

¹¹ βλ. <https://www.ordnancesurvey.co.uk/>

λο αβεβαιότητας στηριζόμενοι στη θεωρία αβεβαιότητας που εφαρμόζεται και στα κλασικά δεδομένα των GIS. Επίσης οι Foody et al. (2013), εκτίμησαν την ακρίβεια VGI σχετικών με χρήσεις γης. Η ποιότητα των δεδομένων εκτιμήθηκε με εφαρμογή της ανάλυσης λανθάνουσας κλάσης (Latent Class Analysis, LCA¹²) και βρέθηκε ότι η σχετική και όχι η απόλυτη ποιότητα των δεδομένων θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ακριβής.

8. Συμπεράσματα-συζήτηση

Τα GIS ονομάζονται και εργαλεία απόφασης, καθώς οι χωρικές αναλύσεις που γίνονται μέσω αυτών, δίνουν στο χρήστη λύσεις και απαντήσεις στα ερωτήματα που θέτει σε σχέση με το χώρο. Όμως η λήψη απόφασης, είναι μια ιδιαίτερα σημαντική ενέργεια, ειδικά αν πρόκειται για μια απόφαση υψηλού ρίσκου για το χώρο που μελετάται. Είναι επομένως ευνόητο, ότι οι χρήστες δεν πρέπει να παραβλέπουν -αν και στο μεγαλύτερο ποσοστό τους το κάνουν- κατά το στάδιο της μελέτης τους τον παράγοντα «αβεβαιότητα», που ενδημεί στα αρχικά τους δεδομένα και μεταδίδεται και ίσως πολλές φορές αυξάνεται κατά την εν σειρά εκτέλεση χωρικών διαδικασιών. Οι χρήστες πρέπει κατ' αρχήν να αντιλαμβάνονται πολύ καλά τη φύση των δεδομένων τους και το πόσο κοντά είναι αυτά στην πραγματικότητα. Την πληροφορία αυτή, από την οποία μπορούν να ξεκινήσουν για την περαιτέρω μελέτη της αβεβαιότητας, τους προσφέρει η ύπαρξη μεταδεδομένων. Είναι ευνόητο επίσης, ότι οι χρήστες πρέπει να αντιλαμβάνονται την αβεβαιότητα σε όλους τους τύπους της, όπως αυτοί αναφέρθηκαν στην §3, οπότε και είναι απαραίτητο ένα ευρύτερο πλαίσιο προδιαγραφών και μεθόδων μελέτης της.

Η έρευνα στον τομέα της ποσοτικοποίησης και της μελέτης της επίδρασης της αβεβαιότητας στην επί μέρους πληροφορία βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο, κυρίως όταν η αβεβαιότητα ορίζεται ως σφάλμα. Ωστόσο, στα διαδεδομένα εμπορικά GIS, αντίστοιχο εργαλείο που να μπορεί να χρησιμοποιεί και ένας χρήστης χωρίς μεγάλη εμπειρία στη μοντελοποίηση της αβεβαιότητας, δεν υπάρχει. Αν οι χρήστες είχαν τη δυνατότητα μέσα από το GIS λογισμικό τους να παρακολουθήσουν την αβεβαιότητα των δεδομένων και αποτελεσμάτων σε κάθε στάδιο της χωρικής ανάλυσης και να γνωρίζουν την αξιοπιστία των απαντήσεων στις χωρικές ερωτήσεις τους, τα πράγματα θα ήταν διαφορετικά. Η ύπαρξη και μόνον ενός τέτοιου εργαλείου, θα τους παρακινούσε να συνειδητοποιήσουν την αναγκαιότητα της ένταξης της αβεβαιότητας στη μελέτη τους.

Η αβεβαιότητα ωστόσο, μπορεί να μετριάσει και να ελεγχθεί, με δεδομένα καλών προδιαγραφών ανάλογων με την κλίμακα της μελέτης, με συνεχή έλεγχο της πλη-

¹² βλ. Hagenaars J. A., McCutcheon A. L. (eds), 2009, Applied Latent Class Analysis, Cambridge University Press

ροφορίας σε σχέση με την πραγματικότητα και στην περίπτωση χρήσης μοντέλων με εφαρμογή της ανάλυσης ευαισθησίας, μέσω της οποίας είναι δυνατόν να εντοπιστούν οι παράμετροι που είναι περισσότερο σημαντικές. Έτσι, ο χρήστης μπορεί να είναι αρκετά σίγουρος για το αποτέλεσμα της ανάλυσής του, χωρίς όμως να ξέρει ακριβώς το πόσο αβέβαιο είναι.

Σήμερα, η έρευνα για την παρακολούθηση, την ποσοτικοποίηση, την κατανόηση του τύπου της αβεβαιότητας συνεχίζεται από την κοινότητα των GIS και προκειμένου να μελετηθεί η αβεβαιότητα των ανεπαρκώς ορισμένων αντικειμένων, οι επιστήμονες έχουν εισέλθει σε επιστημονικούς χώρους, όπως η θεωρία των ασαφών συνόλων και η τεχνητή νοημοσύνη.

Τα τελευταία όμως δέκα περίπου χρόνια, στα ήδη υπάρχοντα ερευνητικά προβλήματα προστέθηκαν και άλλα, που οφείλονται σε νέες μορφές αβεβαιότητας. Η αβεβαιότητα αυτή, συνοδεύει γεωχωρικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται στα GIS, και τα οποία μέσω του διαδικτύου συγκεντρώνουν σε ανάλογους ιστοχώρους, μη ειδικοί εθελοντές πολίτες. Ο μεγάλος αριθμός, η διαφορετική προέλευση, ο ενθουσιασμός αυτών των εθελοντών και η «χαλαρότητα» με την οποία συλλέγουν τα χωρικά δεδομένα δημιουργούν αβεβαιότητες που δύσκολα μπορούν να μελετηθούν. Έτσι, έχει ανοίξει μια νέα επιστημονική ατζέντα με σκοπό την οργάνωση και την «καθοδήγηση» αυτού του τρόπου συλλογής των δεδομένων.

Η έρευνα για την αβεβαιότητα θα επεκτείνεται όλο και περισσότερο ακολουθώντας τα ρεύματα που φέρνει η χρήση νέων κάθε φορά τεχνολογιών. Το σημαντικό όμως είναι, οι χρήστες των GIS να συνειδητοποιήσουν την «βέβαιη» ύπαρξή της και να λάβουν υπόψη την επίδρασή της σε όλα τα στάδια της γεωχωρικής διαδικασίας, ώστε να είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται το βαθμό αξιοπιστίας των απαντήσεων του συστήματος.

9. Βιβλιογραφία

- Αρβανίτης, Α., Κουσουλάκου, Α. και Παπαδοπούλου, Μ., 2003. *Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών*. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, ΤΑΤΜ, ΑΠΘ, http://e-topo.web.auth.gr/index_gr.html?reload (τελευταία πρόσβαση 15-5-2015)
- Beard, M. K., 1989. *Designing GIS to control misuse of spatial information*. Proc. URISA 89 Conference, Boston 4: 245–255
- Blakemore, M., 1984. *Generalization and Error in Spatial Data Bases*. Cartographica, 21 (2-3):131-139
- Burrough, P. A., 1986. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources assessment*. Wiley
- Burrough, P. A., 1989. *Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation*. Journal of Soil Science, vol.40, no.3, pp. 477–694
- Brown, J. D. and Heuvelink, G. B. M., 2007. *The Data Uncertainty Engine (DUE): A soft-*

- ware tool for assessing and simulating uncertain environmental variables. *J Comput. Geosci.*, pp.172-190
- Cheung, C-K. and Shi, W., 2004. *Estimation of the positional uncertainty in line simplification in GIS*. *Cartographic Journal*, 41:37–45.
- Chrisman, N. R., 1982. *Methods of spatial analysis based on error in categorical maps*. Ph.D. Thesis, University of Bristol
- Comber, A. J., Fisher, P. F., Harvey, F., Gahegan, M. Wadsworth, R. A., 2006. *Using metadata to link uncertainty and data quality assessments*. In: *Progress in spatial data handling: Proc. of the 12th international symposium on spatial data handling*, University of Vienna, Austria, 12-14th July, pp. 279-292
- Δερμάνης, Α., 1986. *Συνορθώσεις Παρατηρήσεων και θεωρία Εκτίμησης*. Α΄ Τόμος. Ζήτη, Δερμάνης, Α., Ρωσσικόπουλος, Δ., και Φωτίου, Α., 1994, *Τοπογραφικοί Υπολογισμοί και Συνορθώσεις Δικτύων*. Ζήτη
- Dutton, G., 1992. *Handling positional uncertainty in spatial databases*. *Proc. Spatial Data Handling Symposium*. 5. Charleston, SC, v2, pp. 460-469
- Fisher, P. F., 1999. *Models of Uncertainty in Spatial Data*. In: Longley, P., Goodchild, M. F., Maguire, D. Rhind, D. (eds), *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*. vol 1, New York, John Wiley & Sons.
- Fisher, P. F., Comber, A., Wadsworth, R., 2006. *Approaches to Uncertainty in Spatial Data*. In: Devillers, R. and Jeansoulir, R., (eds), *Fundamentals of Spatial Data Quality*. ISTE, pp. 43-59
- Foody, G. M., See, L., Fritz, S., van der Velde, M., Perger, C., Schill, C., Boyd D. S., 2013. *Assessing the Accuracy of Volunteered Geographic Information arising from Multiple Contributors to an Internet Based Collaborative Project*. *Transactions in GIS*, 17(6): 847–860
- Foote, E. and Huebner, D., 1995. *Error Accuracy and Precision*. http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/error/error_f.html, (last accessed 16-5-15)
- Foote, E. and Huebner, D., 1996. *Managing Error*, http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/manerror/manerror_f.html (last accessed 16-5-15)
- Forier, F. and Canters, F., 1996. *A user-friendly tool for error modeling and error propagation in a GIS environment*. In: Mowrer, H. T., Czaplowski, R. L., Hamre, R. H. (eds), *Spatial accuracy assessment in natural resources and environmental sciences*. Fort Collins, USDA Forest Service General Technical Report RM-GTR-277: 225–34
- Foy, A. S., Carstensen, L. W., Prisley, S. P., Campbell, J. B., Dymond, R. L., 2014. *A Review and Evaluation of Uncertainty Classification and the Error-Band Geometry Model*, *Transactions in GIS*, ••(••): ••–••
- Goodchild, M. F., 2010. *Twenty years of progress: GIScience in 2010*. *Journal of Spatial Information Science*, no 1, pp. 3–20
- Gurdak, J. J., Qi, S. L., Geisler, M. L., 2009. *Estimating Prediction Uncertainty from Geographical Information System Raster Processing: A User's Manual for the Raster Error Propagation Tool (REPTool)*, USGS

- Girra, J., Bedard, Y., Roche, S., 2009. *Spatial data Uncertainty in the VGI World: Going from Consumer to Producer*. *Geomatica*, vol. 64, no 1, pp. 61-71
- Haklay, M., Singleton A., Parke C., 2008. *Web Mapping 2.0: The Neogeography of the GeoWeb*. Journal Compilation, Blackwell Publishing Ltd *Geography Compass* 2/6 (2008): 2011–2039
- Haklay, M., 2010. *How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets*, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 37, pp. 682- 703
- Heuvelink, G. B. M., 1999. *Propagation of error in spatial modeling with GIS*. In: Longley P., Goodchild, M. Maguire, D., Rhind, D. (eds), *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*, vol 1, New York, John Wiley & Sons
- Hunter, G .J., 1998. *Managing Uncertainty*. NCGIA Core Curriculum in Geographic Information Science, http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u187/u187_f.html (last accessed 15-5-15)
- Hunter, G. J., 1999. *New Tools For Handling Spatial data quality: Moving From Academic Concepts to Practical reality*, *URISA Journal*, vol. 11, no. 2 , pp. 25-34
- Hunter, G. J. and Goodchild, M. F., 1997. *Modeling the Uncertainty of Slope and Aspect Estimates Derived From Spatial Databases*, *Geographical Analysis*, vol.29, no.1, pp.35-49.
- Kachnic, M., 2012. *Probabilistic evaluation of the extent of the aquifer - Case study*, <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/40533.pdf> (last accessed 15-5-2015)
- Lembo, A., 2006. *Data quality and Error*, Lectures, http://www.geo.upm.es/.../cssCornell420_lect19 (last accessed 15-5-2015)
- Leung, Y., Ma, J.-H., Goodchild M.F., 2003. *A general framework for error analysis in measurement-based GIS: A summary*. In Shi, W., Goodchild, M. F., Fisher, P.F. (eds), *Proc. of the 2nd International Symposium on Spatial Data Quality*. Hong Kong: Hong Kong Polytechnic University, pp. 23–33
- Malczewski, J. and Rinner, C., 2015. *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science, Advances in Geographic Information Science*. Springer
- Navratil, G., 2003. *Precision of area computation*. ESRI, European User Conference
- Σαραφίδης, Δ., 2008. *Δημιουργία και εφαρμογή ενός προτύπου μεταδεδομένων για την τεκμηρίωση των ψηφιακών χωρικών δεδομένων του Εθνικού Κτηματολογίου*, Διδακτορική Διατριβή, ΤΑΤΜ, ΑΠΘ
- Παπαδοπούλου, Μ., 2004. *Εισαγωγή στη Χαρτογραφία*, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, ΤΑΤΜ, ΑΠΘ, http://e-topo.web.auth.gr/index_gr.html?reload, (τελευταία πρόσβαση 15-5-2015)
- Sarafidis, D., Koukoulis, G., Dinakis, L., Paraschakis, I., Arvanitis, A., Lafazani, P., Papadopoulou, M., Vartholomaios, A., 2014. *Creation of an online Municipal Information System for mapping and managing crisis related data*. Proc. of 10th International Congress of the Hellenic Geographical Society, October 22nd -24th , Thessaloniki

- Shi, W. and Tempfli, K., 1994. *Positional uncertainty of line features in GIS*. Proc. of ASPRS/ACSM'94. Reno NV, pp. 696-705
- Shi, W., 1997. *Statistical modeling uncertainties of three-dimensional GIS features*. Cartography and Geographic Information Systems, 24(1), 21-26
- Shi W., Cheung C-K., Tong X., 2004, Modeling error propagation in vector-based overlay analysis, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 59 (2004) 47– 59
- Shi W., 2005, Towards uncertainty-based geographic information science (part b) – theories of modeling uncertainties in spatial analyses ISSTM 2005, August, 27-29, 2005, Beijing, China
- Shi, W., 2010. *Principles of modeling uncertainties in spatial data and spatial analysis*. CRC Press
- Tong, X. and Shi, W., 2010. *Measuring positional error of circular curve features in Geographic information systems (GIS)*. Computers & Geosciences 36(2010) 861–870
- Τζαρμάδου, Α., 2007. *Η αβεβαιότητα θέσης της αρχικής και της παράγωγης πληροφορίας στα ΣΓΠ*. Μεταπτυχιακή Διατριβή, ΠΜΣ: Τεχνικές και μέθοδοι στην ανάλυση, σχεδιασμό και διαχείριση του χώρου, ΤΑΤΜ, ΑΠΘ.
- Wang, H., 2010. *PlanGraph: An Agent-Based Computational Model for Handling Vagueness in Human-GIS Communication of Spatial Concepts*. In: Sobh, T., Elleithy, T., K. (eds.), Innovations in Computing Sciences and Software Engineering, Springer
- Xue, J., Leung, Y., Ma, J-H., 2015. *High-order Taylor series expansion methods for error propagation in geographic information systems*, J Geogr Syst (2015) 17:187–206
- Zhou, M., Hu, Q. and Wang, M., 2013. *A quality analysis and uncertainty modeling approach for crowd-sourcing location check-in data*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XL-2/W1, 2013, 8th International Symposium on Spatial Data Quality, 30 May - 1 June, Hong Kong