

**«ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ :  
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ KRIGING  
ΣΤΟ ΓΗΙΝΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟ»<sup>1</sup>**

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΧΙΛΛΕΩΣ<sup>2</sup>**

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην εργασία αυτή αναπτύσσεται η μέθοδος Γεωστατιστικής Kriging και διερευνάται η συμπεριφορά της, στην περιγραφή μιας περιφερειοποιημένης μεταβλητής. Γίνεται εφαρμογή της στο γήινο ανάγλυφο, ως μια μεταβλητή αυτού του είδους και εξετάζεται η συγκριτική συμπεριφορά της μεθόδου Kriging έναντι άλλων μεθόδων παρεμβολής καθώς επίσης και η μεταβολή της ακρίβειας της εκτίμησης των τιμών που δίνει, συναρτήσει της μεταβολής των παραμέτρων της απόστασης των θέσεων που γίνεται εκτίμηση τιμής και της κατανομής των δεδομένων που χρησιμοποιούνται.

**ABSTRACT**

The Geostatistical Kriging method is presented in this article, in order to examine its attitude on the description of a regionalized variable. The research focuses on the application of this method on the earth's landscape and the Kriging method is examined in comparison with other interpolation methods, as well as the way it behaves due to variations on its parameters, such as the distance of data acceptance and the distribution of data in this distance. The basic element that matters in this research is the accuracy of the estimation of the variable's values.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Γεωστατιστική, Περιφερειοποιημένη Μεταβλητή, Παρεμβολή, Μέθοδος Kriging, Ακρίβεια, Ποιότητα, Βαριόγραμμα, Γήινο Ανάγλυφο

**KEYWORDS:** Geostatistics, Regionalized Variable, Interpolation, Kriging Method, Accuracy, Quality, Variogram, Landscape

**3.1. 1. ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ, ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ**

Γεωστατιστική είναι το φάσμα της επιστήμης που στοχεύει στην παροχή ποσοτικών περιγραφών φυσικών μεταβλητών, οι οποίες είναι κατανομημένες στο χώρο ή στο χρόνο και στο χώρο [Chiles J. P. Et. Al. 1990]. Παρέχει την μεθοδολογία για την ποσοτικοποίηση της χωρικής αβεβαιότητας και του χωρικού σφάλματος στις εκτιμήσεις στοιχείων των μεταβλητών αυτών. Η ορολογία «γεώ-» υποδηλώνει τη χωρική διάσταση του προβλήματος. Η Γεωστατιστική είναι η εφαρμογή πιθανολογικών μεθόδων στις περιπτώσεις περιφερειοποιημένων μεταβλητών [Chiles J. P. Et. Al. 1990].

Μία μεταβλητή θεωρείται "περιφερειοποιημένη" (regionalized), όταν μεταβάλλεται από θέση σε θέση στο χώρο, με φαινομενική συνέχεια, αλλά δεν είναι δυνατή η περιγραφή της από μια κανονική, εφαρμόσιμη συνάρτηση. Μια μεταβλητή αυτής της κατηγορίας, είναι το φυσικό γήινο ανάγλυφο και η περιγραφή της επιτυγχάνεται με εφαρμογή κάποιου μοντέλου παρεμβολής.

Είναι γνωστό ότι η παρεμβολή είναι η παραγωγή πληροφορίας σε κενές δομημένες θέσεις επί μίας επιφάνειας, η οποία περιγράφει κάποιο συνεχές φαινόμενο (περιφερειοποιημένη μεταβλητή - regionalized variable). Η παραγωγή αυτή γίνεται με βάση την πληροφορία που υπάρχει σε κατειλημμένες, γνωστές θέσεις της επιφάνειας αυτής και στηρίζεται πάντα σε κάποιο μοντέλο το οποίο διέπεται από συνθήκες και παραδοχές [Burrough P. A. 1986, McCullagh M. J. 1988].

Η ακρίβεια η οποία μπορεί να επιτευχθεί από μια διαδικασία παρεμβολής με αποτέλεσμα ένα Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας (Ψ.Μ.Ε.), είναι συνισταμένη της πυκνότητας και της κατανομής των δεδομένων αναφοράς καθώς επίσης και της επιλογής της μεθόδου παρεμβολής που χρησιμοποιείται [Schut G. H. 1976].

---

1: "GEOSTATISTICS AND REGIONALIZED VARIABLES: ESTIMATION OF THE RESULT'S QUALITY OF THE APPLICATION OF THE KRIGING METHOD ON LANDSCAPE",

2: Υπ. Διδάκτορας Ε.Μ.Π., Κίτσου 2, Αθήνα 11522, ageorgea@central.ntua.gr

## 2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ KRIGING

Η μέθοδος Kriging στηρίζεται στη θεωρία της "περιφερειοποιημένης μεταβλητής" [Burrough P. A. 1986, Davis J. C. 1973]. Το πρόβλημα που επιχειρεί να αντιμετωπίσει η εφαρμογή της μεθόδου αυτής, είναι η εύρεση της αναμενόμενης τιμής της χωρικής στοχαστικής διαδικασίας με βάση το σύνολο των τιμών σε διαφορετικές θέσεις στο χώρο.

Η θεωρία της "περιφερειοποιημένης μεταβλητής", ορίζει ότι η τιμή μιας συνεχούς χωρικής μεταβλητής δίνεται από το άθροισμα τριών κύριων στοιχείων (2.1.): (i) ενός δομικού στοιχείου που σχετίζεται με μια σταθερή τιμή ή μια σταθερή τάση, (ii) ενός τυχαίου, χωρικά συσχετισμένου στοιχείου, (iii) ενός τυχαίου στοιχείου "θορύβου" ή υπόλοιπο σφάλματος [Burrough P. A. 1986].

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon'(x) + \varepsilon'' \quad (2.1.)$$

## 3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ KRIGING ΣΤΟ ΓΗΙΝΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟ

Είναι σημαντικό να γνωρίζει κανείς την ποιότητα του αποτελέσματος μιας μεθόδου παρεμβολής για τον συνδυασμό των διαφόρων παραμέτρων που λαμβάνουν μέρος σε αυτές και διαφοροποιούνται κατά περίπτωση [Burrough P. A. 1986, Corte B. et al. 1990, Ostman A. 1987, Tempfli K. 1980]. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, επειδή όλη η διαδικασία είναι ελεγχόμενη δίνεται η δυνατότητα διερεύνησης των υψομετρικών σφαλμάτων των Ψ.Μ.Υ. σε σχέση με τις παραμέτρους που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία της παρεμβολής.

### 3.1. ΣΥΓΚΡΙΣΗ Ψ.Μ.Υ. ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΙΣΟΥΨΕΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ

Στη συγκεκριμένη έρευνα, γίνεται εκμετάλλευση του γεγονότος ύπαρξης σε ψηφιακή μορφή των πραγματικών ισοψών καμπυλών και των αντίστοιχων ψηφιοποιημένων. Εφαρμόζονται οι οκτώ μέθοδοι παρεμβολής στο ζεύγος αυτό των δεδομένων, οπότε δημιουργούνται οκτώ ζεύγη Ψ.Μ.Υ. ("Πραγματικό"- "Ψηφιοποιημένο"). Τα ζεύγη αυτά συγκρίνονται υψομετρικά, με αποτέλεσμα να υπολογίζονται για κάθε μια μέθοδο, τα υψομετρικά σφάλματα που οφείλονται μόνο στη μέθοδο παρεμβολής.

Στον Πίνακα 3.1., παρουσιάζονται τα στατιστικά μεγέθη των αποτελεσμάτων αυτών, ανά μέθοδο, καθώς επίσης παρουσιάζονται τα αντίστοιχα στατιστικά μεγέθη για τις απόλυτες τιμές των υψομετρικών σφαλμάτων (Πίνακας 3.1.). Από τα στοιχεία που παρατείνονται, γίνεται φανερό ότι οι μέθοδοι του αντίστροφου της απόστασης σε δύναμη (1), η Kriging (2), της ακτινικής βασικής συνάρτησης (4) και του δικτύου μη κανονικών τριγώνων (8), δίνουν τα πιο καλά αποτελέσματα όσον αφορά την ακρίβεια των Ψ.Μ.Υ.

### 3.2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ "ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ" Ψ.Μ.Υ. (ΜΕΘΟΔΟΣ TIN) ΜΕ ΤΑ Ψ.Μ.Υ. ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΙΣΟΥΨΕΙΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Γενικά είναι αποδεκτό από την εμπειρία, ότι η μέθοδος παρεμβολής των μη κανονικών τριγώνων (TIN), έχει την ικανότητα να προσεγγίζει το γήινο ανάγλυφο με πιστότητα.

Με την παραδοχή ότι το πραγματικό ψηφιακό γήινο ανάγλυφο είναι το Ψ.Μ.Υ. που προέρχεται από τις πραγματικές ισοψείς καμπύλες εφαρμόζοντας τη μέθοδο παρεμβολής TIN, γίνεται σύγκριση αυτού του Ψ.Μ.Υ. και των Ψ.Μ.Υ. που προέρχονται παρεμβολή στις ψηφιοποιημένες ισοψείς καμπύλες, κάνοντας χρήση των υπολοίπων από τις οκτώ μεθόδους.

Τα ζεύγη των Ψ.Μ.Υ. που δημιουργούνται είναι επτά και η υψομετρική τους σύγκριση δίνει σφάλματα τα οποία είναι αποτέλεσμα της εφαρμογής της διαδικασίας της ψηφιοποίησης και της διαδικασίας της παρεμβολής.

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτής (στατιστικά μεγέθη) και ανά μέθοδο παρεμβολής πλην της τελευταίας μεθόδου των μη κανονικών τριγώνων, παρατείνονται στον Πίνακα 3.2. (πραγματικές τιμές σφαλμάτων και απόλυτες τιμές) (Πίνακας 3.2.).

ΜΕΘΟΔΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ				ΑΠΟΛΥΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ			
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ
1	0.1866	0.6521	-2.5692	2.6649	0.4334	0.5116	0.0000	2.6649
2	0.1982	0.5727	-1.8675	3.2034	0.4100	0.4302	0.0000	3.2034
3	0.2134	0.7211	-2.7339	3.0708	0.5004	0.5482	0.0011	3.0708
4	0.1808	0.8017	-2.1709	4.7395	0.5727	0.5747	0.0000	4.7395
5	0.0000	0.1002	-4.0000	4.0000	0.0000	0.1002	0.0000	4.0000
6	0.2664	0.9066	-7.1567	1.4649	0.7417	0.5842	0.0032	7.1567
7	0.2014	0.5574	-1.6742	3.2476	0.4075	0.4187	0.0000	3.2476
8	0.1891	0.5702	-1.5584	2.7480	0.3923	0.4371	0.0000	2.7480

Πίνακας 3.1.- Στατιστικά Μεγέθη Υψομετρικών Σφαλμάτων και Απόλυτων Υψομετρικών Σφαλμάτων των Οκτώ Μεθόδων

Table 3.1.- Statistical Values of the Elevation Errors and the Absolute Elevation Errors

ΜΕΘΟΔΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ				ΑΠΟΛΥΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ			
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ
1	0.1937	0.7304	-2.1412	2.9231	0.5237	0.5215	0.0000	2.9231
2	0.2195	0.6140	-1.6572	3.1212	0.4787	0.4690	0.0000	3.1212
3	0.2303	0.9721	-2.7596	3.7720	0.7667	0.7189	0.0016	3.7720
4	0.1778	0.7603	-3.7695	16.4231	0.6302	0.6662	0.0000	16.4231
5	0.1371	1.2381	-2.8435	3.2708	0.9547	0.8245	0.0000	3.2708
6	-0.3050	1.8464	-15.3490	33.9848	2.7895	1.4506	0.0369	33.9848
7	0.2210	0.6054	-1.4510	3.0789	0.4727	0.4626	0.0000	3.0789

Πίνακας 3.2.- Στατιστικά Μεγέθη Υψομετρικών Σφαλμάτων και Απόλυτων Υψομετρικών Σφαλμάτων των Επτά Μεθόδων

Table 3.2.- Statistical Values of the Elevation Errors and the Absolute Elevation Errors of the Seven Methods

Από τον Πίνακα αυτό (Πίνακας 3.2.), γίνεται αντιληπτό ότι τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την ακρίβεια των Ψ.Μ.Υ., δίνονται από τις μεθόδους του αντιστρόφου της απόστασης σε δύναμη, της Kriging και της ακτινικής βασικής συνάρτησης (η μέθοδος των μη κανονικών τριγώνων στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν υφίσταται, αφού θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα).

### 3.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΣΕ ΠΟΣΟΣΤΑ

Στη συνέχεια γίνεται προσπάθεια να αναλυθεί το υψομετρικό σφάλμα που παρουσιάζεται στα Ψ.Μ.Υ. σε δύο ποσοστά. Το ένα ποσοστό (p1%) είναι το ποσοστό του υψομετρικού σφάλματος το οποίο προκαλείται λόγω εφαρμογής της διαδικασίας της ψηφιοποίησης. Το άλλο ποσοστό (p2%, συμπλήρωμα του p1% έως το 100%) είναι το ποσοστό του υψομετρικού σφάλματος το οποίο προκαλείται λόγω εφαρμογής της διαδικασίας της παρεμβολής.

Έχουν υπολογιστεί σε κάθε θέση του καννάβου των Ψ.Μ.Υ. δυο υψομετρικά σφάλματα. Το ένα υψομετρικό σφάλμα οφείλεται μόνο στη διαδικασία εφαρμογής μιας μεθόδου παρεμβολής. Το άλλο υψομετρικό σφάλμα οφείλεται στην εφαρμογή της διαδικασίας της ψηφιοποίησης και στη διαδικασία εφαρμογής μιας μεθόδου παρεμβολής. Το ποσοστό στο υψομετρικό σφάλμα στα Ψ.Μ.Υ., που οφείλεται στη ψηφιοποίηση και μόνο, υπολογίζεται ως το ποσοστό επί του συνολικού σφάλματος υψομέτρου σε ένα Ψ.Μ.Υ., δηλαδή του σφάλματος που οφείλεται στη ψηφιοποίηση και στη παρεμβολή.

	1	2	3	4	5	6	7
p1 %	57	70	56	66	3	21	71
p2 %	43	30	44	34	97	79	29
mean	57.328	69.928	55.780	66.471	3.293	20.548	70.974
sd	33.991	31.022	33.691	32.694	11.548	24.670	30.210
min	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
max	100.000	100.000	100.000	100.000	84.274	100.000	100.000

p1: Μέσο Ποσοστό Υψομετρικού Σφάλματος που οφείλεται στη Ψηφιοποίηση  
p2: Μέσο Ποσοστό Υψομετρικού Σφάλματος που οφείλεται στη Παρεμβολή

Πίνακας 3.3.- Ποσοστά επί του Σφάλματος Υψομέτρου (λόγω Ψηφιοποίησης και λόγω Παρεμβολής) και Στατιστικά Μεγέθη

Table 3.3.- Percentages on the Elevation Error (due to Digitizing and due to Interpolation) and Statistical Values

Στο Πίνακα 3.3. παρατηρούνται σχετικά αυξημένα ποσοστά υψομετρικού σφάλματος που οφείλονται στη ψηφιοποίηση (Μέθοδοι Kriging και Radial Basic Function) και αρκετά μειωμένα τα ποσοστά αυτά για τις μεθόδους Nearest Neighbour και Polynomial. Ειδικά για την περίπτωση της μεθόδου του Nearest Neighbour, η τιμή 3.293% δεν αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα. Η μέθοδος αυτή, έτσι κι' αλλιώς δημιουργεί μεγάλα σφάλματα κατά τη διαδικασία χρησιμοποίησης της στην παρεμβολή, οπότε είναι λογικό το ποσοστό επί του συνολικού σφάλματος υψομέτρου που θα οφείλεται μόνο στη ψηφιοποίηση, να είναι πολύ μικρό για τη μέθοδο αυτή. Το 3.293% κρίνεται ως υπερβολή.

### 3.4. Η ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ KRIGING

Στο υποκεφάλαιο αυτό επιχειρείται η διερεύνηση αυτής καθ' αυτής της μεθόδου και η εξαγωγή συμπερασμάτων. Διερευνούνται δύο παράμετροι της μεθόδου αυτής: η παράμετρος του μεγέθους της ψηφίδας που χρησιμοποιείται (ανάλυση του Ψ.Μ.Υ.) και η παράμετρος της κατανομής των σημείων που χρησιμοποιούνται στην παρεμβολή γύρω από το σημείο που παρεμβάλλεται (αριθμός τομέων αναζήτησης σημείων).

#### 3.4.1. Παράμετρος του Μεγέθους της Ψηφίδας

Σε πρώτο στάδιο, διερευνάται η μεταβολή που επιδέχεται η ποιότητα του Ψ.Μ.Υ. (μεταβολή υψομετρικών σφαλμάτων) όσον αφορά τη θεωρητική προσέγγιση. Στη περίπτωση αυτή εξετάζονται οι εκτιμήσεις υψομετρικού σφάλματος, υπό μορφή τυπικής απόκλισης, όπως αυτές δίνονται από την εφαρμογή της μεθόδου παρεμβολής Kriging στα δεδομένα χωρίς την επίδραση της διαδικασίας της ψηφιοποίησης.

Στο Πίνακα 3.4. παρουσιάζονται οι στατιστικές τιμές των εκτιμήσεων αυτών συναρτήσει του μεγέθους της ψηφίδας που χρησιμοποιείται, για τιμές 10m, 50m, 100m και 200m και οι αντίστοιχες τιμές για την περίπτωση των υψομετρικών σφαλμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου Kriging, στα δεδομένα με την επίδραση της διαδικασίας της ψηφιοποίησης (Πίνακας 3.4.).

Γίνεται φανερό από τον Πίνακα 3.4., ότι όσο αυξάνει το μέγεθος της ψηφίδας, τόσο αυξάνει και η εκτίμηση για τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των υψομετρικών σφαλμάτων των Ψ.Μ.Υ. (Πίνακας 3.4.). Η σχέση των μεγεθών αυτών είναι γραμμική αλλά όχι αρκετά ισχυρή.

Στη συνέχεια γίνεται διερεύνηση των πειραματικών υψομετρικών σφαλμάτων, όπως αυτά προκύπτουν στη πράξη. Τα στατιστικά τους μεγέθη παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5. σε συνάρτηση με το μέγεθος της ψηφίδας που χρησιμοποιείται (Πίνακας 3.5.).

ΜΕΓΕΘΟΣ ΨΗΦΙΔΑΣ	ΧΩΡΙΣ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ				ΜΕ ΤΗ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ			
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ
200	2.945	1.340	1.413	7.494	2.957	1.445	0.746	7.923
100	2.996	1.400	0.783	8.733	3.105	1.436	0.000	10.144
50	2.891	1.322	0.260	9.072	3.009	1.315	0.000	10.144
10	2.817	1.266	0.081	9.411	2.962	1.224	0.000	10.460

Πίνακας 3.4.- Στατιστικές Τιμές Εκτιμήσεων Θεωρητικού Υψομετρικού Σφάλματος συναρτήσει του Μεγέθους της Ψηφίδας των Ψ.Μ.Υ., στα Δεδομένα της Έρευνας χωρίς την Επίδραση της Ψηφιοποίησης και με την Επίδραση της Ψηφιοποίησης

Table 3.4.- Statistical Values of the Theoretical Elevation Error Estimation according to the D.E.M. Pixel Size, without and with the influence of the Digitizing Procedure

ΜΕΓΕΘΟΣ ΨΗΦΙΔΑΣ	ΧΩΡΙΣ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ		ΜΕ ΤΗ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ		ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΣΟΣΤΩΝ	
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ
200	0.169	0.259	0.494	0.521	63.41	31.79
100	0.238	0.334	0.510	0.579	62.01	32.82
50	0.208	0.285	0.495	0.545	63.30	32.00
10	0.185	0.221	0.492	0.538	64.41	31.33

Πίνακας 3.5.- Στατιστικές Τιμές Εκτιμήσεων Πειραματικού Υψομετρικού Σφάλματος συναρτήσει του Μεγέθους της Ψηφίδας των Ψ.Μ.Υ., στα Δεδομένα της Έρευνας χωρίς την Επίδραση της Ψηφιοποίησης, με την Επίδραση της Ψηφιοποίησης και Ανάλυση Ποσοστών

Table 3.5. - Statistical Values of the Experimental Elevation Error Estimation according to the D.E.M. Pixel Size, without and with the influence of the Digitizing Procedure, and Percentage Analysis

Παρατηρείται ότι, όσον αφορά τα υψομετρικά σφάλματα που οφείλονται μόνο στη επίδραση της διαδικασίας της παρεμβολής, αυτά παρουσιάζουν την τάση να αυξάνουν ως μέση τιμή σε συνάρτηση με την αύξηση του μεγέθους της ψηφίδας. Αντίθετα, όσον αφορά τα υψομετρικά σφάλματα που οφείλονται στις διαδικασίες της ψηφιοποίησης και της παρεμβολής, αυτά έχουν την τάση να μειώνεται ως μέση τιμή σε συνάρτηση με την αύξηση του μεγέθους της ψηφίδας (Πίνακας 3.5.).

Εν συνεχεία, επιχειρείται η διάκριση μεταξύ του ποσοστού των υψομετρικών σφαλμάτων που οφείλεται στη διαδικασία της ψηφιοποίησης και του ποσοστού τους που οφείλεται στη διαδικασία της παρεμβολής με τη μέθοδο Kriging.

Μια σημαντική παρατήρηση είναι ότι το ποσοστό που παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.5. δεν μεταβάλλεται σημαντικά συναρτήσει της μεταβολής του μεγέθους της ψηφίδας του Ψ.Μ.Υ. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το ποσοστό αυτό δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη μεταβολή του μεγέθους της ψηφίδας του Ψ.Μ.Υ. και οφείλει τη μεταβολή του σε άλλους παράγοντες (π.χ. μεταβολή μοντέλου βαριογράμματος, κ.λ.π.).

Παρουσιάζεται η τάση, το ποσοστό του Πίνακα 3.5. να ελαττώνεται όσο αυξάνει το μέγεθος της ψηφίδας. Όσο ελαττώνεται δηλαδή η ανάλυση του Ψ.Μ.Υ. που δημιουργείται, τόσο ελαττώνεται η συνεισφορά της διαδικασίας της ψηφιοποίησης στο συνολικό υψομετρικό σφάλμα και αυξάνει η συνεισφορά της διαδικασίας της παρεμβολής.

### 3.4.2. Παράμετρος Κατανομής Σημείων

Μια άλλη παράμετρος που εξετάζεται στη συγκεκριμένη διερεύνηση και που επηρεάζει το αποτέλεσμα της διαδικασίας της παρεμβολής είναι η κατανομή των σημείων που χρησιμοποιούνται ως δεδομένα για να διεξαχθεί η διαδικασία αυτή.

Η κατανομή αυτή, μέσα στη διαδικασία της παρεμβολής, καθορίζεται ως ο αριθμός των τομέων που θα χρησιμοποιηθούν και ο αριθμός των σημείων ανά τομέα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, χρησιμοποιούνται οι τιμές 1, 4 και 8 για το μέγεθος του αριθμού των τομέων χρήσης.

Όπως και στη διερεύνηση των προηγούμενων παραμέτρων, εξετάζεται αρχικά η περίπτωση της θεωρητικής προσέγγισης του υψομετρικού σφάλματος, μέσω της διαδικασίας εκτίμησης της τυπικής απόκλισης του υψομέτρου σε κάθε παρεμβαλλόμενο σημείο, μέσα από την εφαρμογή της μεθόδου παρεμβολής Kriging.

Στον Πίνακα 3.6. παρουσιάζονται οι στατιστικές τιμές των μεγεθών αυτών των εκτιμήσεων για την περίπτωση της επίδρασης στο συνολικό υψομετρικό σφάλμα μόνο της διαδικασίας της παρεμβολής και της επίδρασης στο υψομετρικό σφάλμα της διαδικασίας της ψηφιοποίησης και της διαδικασίας της παρεμβολής, αντίστοιχα (Πίνακας 3.6.).

ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΟΜΕΩΝ	ΧΩΡΙΣ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ		ΜΕ ΤΗ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ	
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
1	3.001	1.429	3.092	1.391
4	2.996	1.400	3.105	1.436
8	2.964	1.400	3.103	1.407

Πίνακας 3.6.- Στατιστικές Τιμές Εκτιμήσεων Θεωρητικού Υψομετρικού Σφάλματος συναρτήσει της Κατανομής των Δεδομένων της Παρεμβολής, χωρίς την Επίδραση της Ψηφιοποίησης και με την Επίδραση της Ψηφιοποίησης

Table 3.6.- Statistical Values of the Theoretical Elevation Error Estimation according to the Distribution of the Data for Interpolation, without and with the influence of the Digitizing Procedure

Στο Πίνακα αυτό, στη περίπτωση όπου δεν υπάρχει η επίδραση της διαδικασίας της ψηφιοποίησης στα δεδομένα της παρεμβολής, παρατηρείται η μείωση της μέσης τιμής του εκτιμηθέντος υψομετρικού σφάλματος, όσο αυξάνει ο αριθμός των τομέων που χρησιμοποιούνται. Η συσχέτιση της μέσης τιμής με τον αριθμό των τομέων που χρησιμοποιούνται, είναι της τάξεως του  $-0.951$ . Στο Πίνακα αυτό, παρατηρείται επίσης ακριβώς το ανάποδο φαινόμενο, όπου δηλαδή αυξάνει ο αριθμός των τομέων που χρησιμοποιούνται και παράλληλα αυξάνει η μέση τιμή του εκτιμηθέντος υψομετρικού σφάλματος στη περίπτωση με την επίδραση της ψηφιοποίησης. Το επίπεδο της συσχέτισης τους είναι της τάξεως του  $+0.704$ , μικρότερο από την πρώτη περίπτωση.

Στη συνέχεια, διερευνάται το υψομετρικό σφάλμα σε πειραματικό επίπεδο, μέσω της σύγκρισης των Ψ.Μ.Υ. που δημιουργούνται. Τα στατιστικά στοιχεία των αποτελεσμάτων που προκύπτουν, παρατείθονται στον Πίνακα 3.7. (Πίνακας 3.7.).

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνει ο αριθμός των τομέων που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία της παρεμβολής, τόσο μειώνεται η μέση τιμή του υψομετρικού σφάλματος που προκύπτει (αυξάνει η ποιότητα του αποτελέσματος). Αυτό συμβαίνει και στις δύο περιπτώσεις, δηλαδή στη περίπτωση που δεν υπάρχει η επίδραση της διαδικασίας της ψηφιοποίησης και στη περίπτωση που υπάρχει η επίδραση αυτή. Η συσχέτιση της μέσης τιμής με τον αριθμό των τομέων που χρησιμοποιούνται στις δυο αυτές περιπτώσεις είναι της τάξεως του  $-0.713$  και  $-0.824$  αντίστοιχα.

Παρατηρείται επίσης (Πίνακας 3.7.) ότι η μεταβολή της μέσης τιμής στις δυο περιπτώσεις συναρτήσει του αριθμού των τομέων που χρησιμοποιούνται, είναι ανάλογη των προηγούμενων συσχετίσεων και παρουσιάζει συσχέτιση της τάξεως του  $0.985$ .

ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΟΜΕΩΝ	ΧΩΡΙΣ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ		ΜΕ ΤΗ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ		ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΟΣΟΣΤΩΝ	
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΠΟΣΟΣΤΟΥ
1	0.309	0.504	0.586	0.704	63.38	33.21
4	0.280	0.506	0.556	0.690	65.51	32.40
8	0.285	0.513	0.556	0.695	60.31	33.41

Πίνακας 3.7.- Στατιστικές Τιμές Εκτιμήσεων Πειραματικού Υψομετρικού Σφάλματος συναρτήσει της Κατανομής των Δεδομένων της Παρεμβολής, χωρίς την Επίδραση της Ψηφιοποίησης, με την Επίδραση της Ψηφιοποίησης και Ανάλυση Ποσοστών

Table 3.7.- Statistical Values of the Experimental Elevation Error Estimation according to the Distribution of the Data for Interpolation, without and with the influence of the Digitizing Procedure and Percentage Analysis

Τέλος, όπως και στις περιπτώσεις των δύο προηγούμενων παραμέτρων, εξετάζεται το θέμα του ποσοστού συνεισφοράς της διαδικασίας της ψηφιοποίησης στο συνολικό υψομετρικό σφάλμα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται υπό μορφή στατιστικών μεγεθών, επίσης στο Πίνακα 3.7. και συναρτήσει του αριθμού των τομέων που χρησιμοποιούνται στη παρεμβολή (κατανομή των σημείων-δεδομένων) (Πίνακας 3.7.).

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.7., η αύξηση του αριθμού των τομέων που χρησιμοποιούνται στη παρεμβολή, επιφέρει μείωση του ποσοστού συμβολής της διαδικασίας της ψηφιοποίησης στο συνολικό υψομετρικό σφάλμα. Η συσχέτιση της μέσης τιμής του ποσοστού αυτού με τον αριθμό των τομέων που χρησιμοποιούνται είναι της τάξεως του  $-0.652$ .

#### 4. ΣΧΟΛΙΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Συνοψίζοντας τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα που εξάγονται από την έρευνα αυτή, έχουμε:

- Η μέθοδος Kriging παρέχει τα καλύτερα αποτελέσματα, όσον αφορά την ποιότητα των εκτιμήσεων των υψομέτρων. Η συμβολή της μεθόδου αυτής, ως μέθοδος παρεμβολής, στη διαδικασία δημιουργίας Ψ.Μ.Υ. είναι της τάξεως του 30% όσον αφορά τα υψομετρικά σφάλματα που εκτιμάται ότι υπάρχουν.
- Στη θεωρητική διερεύνηση των υψομετρικών σφαλμάτων που παράγονται από τη διαδικασία δημιουργίας Ψ.Μ.Υ. παρατηρείται ότι όσο ελαττώνεται η ποιότητα του Ψ.Μ.Υ. (αύξηση μεγέθους ψηφίδας), τόσο αυξάνεται η αβεβαιότητα και η χαμηλή ποιότητα που παρέχεται από αυτά τα Ψ.Μ.Υ.
- Στη πειραματική διερεύνηση των υψομετρικών σφαλμάτων που παράγονται από τη διαδικασία δημιουργίας Ψ.Μ.Υ. παρατηρείται ότι όσο ελαττώνεται η ποιότητα του Ψ.Μ.Υ. (αύξηση μεγέθους ψηφίδας), τόσο αυξάνεται η αβεβαιότητα και η χαμηλή ποιότητα που παρέχεται από αυτά τα Ψ.Μ.Υ., στα οποία δεν υπάρχει η συμβολή της διαδικασίας της ψηφιοποίησης. Η ύπαρξη της συμβολής της διαδικασίας της ψηφιοποίησης στη δημιουργία των Ψ.Μ.Υ., προκαλεί το αντίθετο φαινόμενο. Από την ανάλυση ποσοστών, παρατηρείται ότι η αύξηση του μεγέθους της ψηφίδας, επιφέρει μείωση της συμβολής της ψηφιοποίησης στη ποιότητα του αποτελέσματος και αύξηση της συμβολής της παρεμβολής.
- Στη θεωρητική διερεύνηση των υψομετρικών σφαλμάτων που παράγονται από την διαδικασία δημιουργίας Ψ.Μ.Υ. παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των τομέων που χρησιμοποιούνται για την επιλογή των σημείων - δεδομένων της παρεμβολής, τόσο ελαττώνεται το μέσο υψομετρικό σφάλμα χωρίς την επίδραση της παρεμβολής και αντίθετα, τόσο αυξάνει το μέσο υψομετρικό σφάλμα με την ύπαρξη επίδρασης της παρεμβολής.
- Στη πειραματική διερεύνηση των υψομετρικών σφαλμάτων που παράγονται από τη διαδικασία δημιουργίας Ψ.Μ.Υ. παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των τομέων που χρησιμοποιούνται για την επιλογή των σημείων - δεδομένων της παρεμβολής, τόσο ελαττώνεται το μέσο υψομετρικό σφάλμα χωρίς την επίδραση της παρεμβολής και επίσης, ελαττώνεται το μέσο υψομετρικό σφάλμα με την ύπαρξη

επίδρασης της παρεμβολής. Η αύξηση δηλαδή του αριθμού των τομέων οδηγεί στη μείωση του ποσοστού συμμετοχής της ψηφιοποίησης στην ποιότητα του τελικού αποτελέσματος.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Νάκος Β., Ψηφιακή Απεικόνιση Χαρτογραφικών Φαινομένων βασισμένη στην Θεωρία της Κλασματικής Γεωμετρίας. Εφαρμογή στο Τοπογραφικό Ανάγλυφο με Ψηφιακά Μοντέλα., Διδακτορική Διατριβή, ΤΑΤΜ, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1990.
- [2] Burrough P.A., Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford University Press, 1986, Great Britain.
- [3] Chiles J. R., Pierre D., Geostatistics: Modelling Spatial Uncertainty, John Wiley & Sons, Inc., U.S.A. 1999
- [4] Clerici E., Kubik K., "The Theoretical Accuracy of Point Interpolation on Topographic Surfaces", DGK, B, 214, 1975.
- [5] Corte B., Koolhoven W., "Interpolation between Isolines based on the Borgefors Distance Transform", ITC Journal, 1990-3.
- [6] Cressie N. A. C., Statistics for Spatial Data, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1991.
- [7] Davis J. C., Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1973.
- [8] Frederiksen P., "Terrain Analysis and Accuracy by Means of the Fourier Transformation", 14th Congress of the International Society of Photogrammetry, Hanburg, 1980, Commission IV.
- [9] Gold C. M., "Surface Interpolation, Spatial Adjacency and GIS.", Three Dimensional Applications in Geographical Information Systems (editor: Raper J.), Taylor & Francis, London, 1989, Chapter 3, pp. 21-35.
- [10] MacCullagh M. J., "Terrain and Surface Modelling Systems: Theory and Practice", Photogrammetric Record, 12(72): 747-779 (October 1988).
- [11] Ostman A., "Accuracy Estimation of Digital Elevation Data Banks", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 53, No. 4, April 1987, pp. 425-430.
- [12] Oswald H., Raetzsch H., "A System for Creation and Display of Digital Elevation Models", Geo-Processing, 2 (1984), 197-218, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, 1984.
- [13] Robinson G. J., "The Accuracy of Digital Elevation Models Derived from Digitised Contour Data", Photogrammetric Record, 14(83), April 1994, pp. 805-814.
- [14] Schut G. H. "Review of Interpolation Methods for Digital Terrain Modelling", XIIIth Congress of International Society for Photogrammetry, Helsinki, 1976, Commission III.
- [15] Tempfli K., Makarovic B., "Transfer Functions of Interpolation Methods", ITC Journal 1978-1.
- [16] Tempfli K., "Spectral Analysis of Terrain Relief for Accuracy Estimation of Digital Terrain Models", XIVth ISP Congress, Hanburg, 1980, Commission II: Presented Paper.
- [17] Willmott C. J., Clinton M. R., William D. Ph., "Small-scale Climate Maps: A Sensitivity Analysis of Some Common Assuptions Associated with Grid-Point Interpolation and Contouring", The American Cartographer, Vol. 12, No. 1, 1985, pp. 5-16.