

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Εκτίμηση γεωλογικών και μεταλλευτικών αποθεμάτων
λιγνιτικού κοιτάσματος και σχεδιασμός εκμετάλλευσης

Διπλωματική εργασία

Βασίλειος Ν. Σολομίδης

Εξεταστική Επιτροπή:

Καθηγητής Γ. Εξαδάκτυλος (επιβλέπων)

Καθηγητής Μ. Γαλετάκης

Δρ. Γ. Σαράτσης

Χανιά

Δεκέμβριος, 2018

Περιεχόμενα

Εκτίμηση γεωλογικών και μεταλλευτικών αποθεμάτων λιγνιτικού κοιτάσματος και σχεδιασμός εκμετάλλευσης.....	1
Περίληψη	5
Πρόλογος	6
1 Επιστήμη της Γεωστατιστικής	7
1.1 Θεωρία Τυχαίων Πεδίων.....	7
1.2 Βασικές συναρτήσεις τυχαίων πεδίων	8
1.3 Επιλογή των δεδομένων.....	9
1.4 Θεωρία του Ημι – βαριογράμματος	9
1.4.1 Στατιστική Ομοιογένεια Πεδίου και Ανισοτροπίας	10
1.4.2 Παράμετροι του Ημι – βαριογράμματος.....	10
1.4.3 Πρότυπα μοντέλα βαριογράμματος	12
1.5 Εκτίμηση Τυχαίων Πεδίων	13
1.5.1 Μέθοδος Kriging.....	13
1.5.2 Προϋποθέσεις εφαρμογής Kriging.....	14
1.5.3 Εφαρμογή της μεθόδου Κανονικού Kriging	14
2 Γεωστατιστική ανάλυση στα δεδομένα της λίμνης Walker	17
2.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	17
2.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων	28
3 Γεωστατιστική ανάλυση δεδομένων πεδίου (του λιγνιτικού κοιτάσματος).....	31
3.1 Παρουσίαση και επιλογή δεδομένων	31
3.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	34
3.2.1 Εκτίμηση του SR.....	34
3.2.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων	39
3.2.3 Εκτίμηση του πάχους του λιγνίτη	41
3.2.4 Εκτίμηση του υψομέτρου της τοπογραφίας.....	46
4 Μοντελοποίηση κοιτάσματος και σχεδιασμός της εκμετάλλευσης...49	49
Συμπεράσματα-Προτάσεις	61
Βιβλιογραφία	63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	64
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	75

Εικόνα 1 Παράμετροι του Ημιβαριογράμματος (Bohling, 2005)	11
Εικόνα 2 Θεωρητικά μοντέλα ημιβαριογράμματος (Bohling, 2005).....	13
Εικόνα 3 Φύλλο επεξεργασίας "walker"	17
Εικόνα 4: Θέσεις δειγματοληψίας.....	18
Εικόνα 5 Διάγραμμα x-V (Easting-Concentration).....	18
Εικόνα 6 Διάγραμμα y-V (Northing-Concentration)	19
Εικόνα 7 Φύλλο επεξεργασίας "Ιστόγραμμα"	20
Εικόνα 8 Ιστόγραμμα συχνοτήτων.....	20
Εικόνα 9 Φύλλο επεξεργασίας "Αποστάσεις x-y"	21
Εικόνα 10 Φύλλο επεξεργασίας " Αποστάσεις V".....	21
Εικόνα 11 Φύλλο επεξεργασίας "semivariogram".....	22
Εικόνα 12 Ημι – βαριόγραμμα.....	22
Εικόνα 13 Πλήθος ζευγών ανά τάξη ημι – βαριογράμματος	23
Εικόνα 14 Φύλλο επεξεργασίας "krigging"	24
Εικόνα 15 Φύλλο επεξεργασίας "helpV"	25
Εικόνα 16 Φύλλο επεξεργασίας "krig"	26
Εικόνα 17 Φύλλο επεξεργασίας "results"	26
Εικόνα 18 Κάνναβος με τα σημεία προβλέψεων	27
Εικόνα 19 Διάγραμμα των προβλέψεων συναρτήσει της θέσης τους.....	27
Εικόνα 20 Ημιβαριόγραμμα (lag=5m) (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989).....	29
Εικόνα 21 Ημιβαριόγραμμα (lag=5m) από τον κώδικα "semivariogram"	29
Εικόνα 22 Ημιβαριόγραμμα (lag=10m) (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989).....	30
Εικόνα 23 Ημιβαριόγραμμα (lag=10m) από τον κώδικα "semivariogram"	30
Εικόνα 24 Φύλλο επεξεργασίας "DR_data_v1"	32
Εικόνα 25 Φύλλο επεξεργασίας "data"	32
Εικόνα 26 Απεικόνιση γεωτρήσεων δειγματοληψίας.....	33
Εικόνα 27 Απεικόνιση γεωτρήσεων δειγματοληψίας που θα χρησιμοποιηθούν για τις τελικές προβλέψεις.....	33
Εικόνα 28 Ιστόγραμμα συχνοτήτων για το SR	35
Εικόνα 29 Ημιβαριόγραμμα SR (lag=50 m)	36
Εικόνα 30 Σημεία πρόβλεψης SR (σχέσης αποκάλυψης).....	37
Εικόνα 31 Χάρτης κατανομής του SR στην περιοχή μελέτης	38
Εικόνα 32 Ιστόγραμμα απόλυτων σφαλμάτων μεταξύ των προβλέψεων.....	40
Εικόνα 33 Ιστόγραμμα συχνοτήτων για το πάχος.....	41
Εικόνα 34 Ημιβαριόγραμμα d (lag=50 m).....	42
Εικόνα 35 Σημεία πρόβλεψης του πάχους (d) του λιγνίτη.....	43
Εικόνα 36 Χάρτης κατανομής του πάχους στην περιοχή μελέτης	45
Εικόνα 37 Ιστόγραμμα συχνοτήτων υψομέτρων z	47
Εικόνα 38 Ημιβαριόγραμμα υψομέτρων (lag:50 m).....	47
Εικόνα 39 Σημεία πρόβλεψης υψομέτρων (z)	48
Εικόνα 40 Μορφή και αποστάσεις των πετρωμάτων μέσα στην γεώτρηση.....	50
Εικόνα 41 Κάτοψη κοιτάσματος με διεύθυνση Βορρά-Νότου	51
Εικόνα 42 Τομές κοιτάσματος.....	52
Εικόνα 43 Όρια εκμετάλλευσης.....	53
Εικόνα 44 Τομές εκμετάλλευσης.....	55
Εικόνα 45 Κλίσεις πρανών Τομής AA'	57
Εικόνα 46 Διαστάσεις βαθμίδων της τομής AA'	57
Εικόνα 47 Κλίση πρανούς τομής BB'	57
Εικόνα 48 Κλίσεις βαθμίδων	58
Εικόνα 49 Πλάτος δρόμων της τομής BB'	58
Εικόνα 50 Ύψος βαθμίδων της τομής BB'.....	59
Εικόνα 51 Άνοιγμα της καρτέλας «Επιλογές του Excel»	75
Εικόνα 52 Ενεργοποίηση της VBA	76
Εικόνα 53 Εμφάνιση της καρτέλας "Προγραμματιστής".....	77
Εικόνα 54 Περιβάλλον εργασίας της VBA.....	78

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά Walker Lake Data Set	19
Πίνακας 2 Κύρια χαρακτηριστικά του τυχαίου πεδίου SR	34
Πίνακας 3 Χρωματική κλίμακα του SR	38
Πίνακας 4 Κύρια στατιστικά χαρακτηριστικά των απόλυτων σφαλμάτων	39
Πίνακας 5 Κύρια χαρακτηριστικά τυχαίου πεδίου του πάχους	41
Πίνακας 6 Χρωματική κλίμακα του πάχους	45
Πίνακας 7 Κύρια χαρακτηριστικά πεδίου υψομέτρων z	46
Πίνακας 8 Γενικές θεωρήσεις εργοταξίου	54
Πίνακας 9 Πίνακας συχνοτήτων Walker Lake Data Set	64
Πίνακας 10 Προβλέψεις των δεδομένων της λίμνης Walker	65
Πίνακας 11 Τιμές βαριογράμματος (lag=5m) (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989)	66
Πίνακας 12 Τιμές ημιβαριογράμματος (lag=5m) από τον κώδικα	67
Πίνακας 13 Τιμές βαριογράμματος (lag=10m) (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989)	68
Πίνακας 14 Τιμές ημιβαριογράμματος (lag=10m) από τον κώδικα "semivariogram"	68
Πίνακας 15 Πίνακας συχνοτήτων του SR	69
Πίνακας 16 Τιμές ημιβαριογράμματος SR	69
Πίνακας 17 Πίνακας συχνοτήτων του πάχους	70
Πίνακας 18 Τιμές ημιβαριογράμματος d	71
Πίνακας 19 Πίνακας συχνοτήτων των υψομέτρων z	72
Πίνακας 20 Τιμές ημιβαριογράμματος υψομέτρων z	73

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στη Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης και σκοπός αυτής είναι ο προσδιορισμός των γεωλογικών αποθεμάτων σε ένα κοίτασμα λιγνίτη στο οποίο έχουν προηγηθεί δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και έχει προσδιορισθεί ο συντελεστής SR (Stripping Ratio). Για τον προσδιορισμό των αποθεμάτων χρησιμοποιήθηκαν βασικές μέθοδοι της επιστήμης της Γεωστατιστικής οι οποίες εφαρμόστηκαν με τη χρήση της γλώσσας Αντικειμενοστραφούς Προγραμματισμού Visual Basic for Applications (VBA) μέσα από την εφαρμογή του Microsoft Office Excel 2007.

Το δεύτερο τμήμα της εργασίας αποτελείται από τον σχεδιασμό της εκμετάλλευσης του λιγνιτικού κοιτάσματος. Το κοίτασμα και η τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής μοντελοποιήθηκαν με τη χρήση του προγράμματος AutoCAD Civil 3D Metric καθώς επίσης και ο σχεδιασμός της εκμετάλλευσης για τα πρώτα έξι έτη.

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γ. Εξαδάκτυλο για την επιλογή του θέματος, την άψογη συνεργασία καθώς και για τις γνώσεις και την εμπειρία που μου μετέφερε μέσω της διδασκαλίας του.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον κ. Μ. Γαλετάκη για τις επισημάνσεις και διορθώσεις καθώς και για την τιμή που μου έκανε ως μέλος της εξεταστικής επιτροπής.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Γ. Σαράτση για την βοήθεια, τη καθοδήγηση και την άψογη συνεργασία κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θερμές ευχαριστίες πρέπει να δοθούν στους φίλους και στην οικογένεια μου που με στήριξαν με κάθε τρόπο όλα αυτά τα χρόνια.

Πρόλογος

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της διπλωματικής εργασίας και των προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων. Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο του ημιβαριογράμματος και του Kriging. Στο τρίτο κεφάλαιο συγκρίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον κώδικα που αναπτύχθηκε στο περιβάλλον της VBA σε σχέση με τα αποτελέσματα του βιβλίου “An Introduction to Applied Geostatistics” των Edward H. Isaaks και R.Mohan Srivastava. Τα δεδομένα, τα οποία επεξεργάζονται οι συγγραφείς και εφαρμόζουν διάφορες γεωστατιστικές μεθόδους, είναι οι συγκεντρώσεις της λίμνης Walker στη Νεβάδα των ΗΠΑ. Έπειτα εφαρμόζεται ο προηγούμενος κώδικας σε ένα λιγνιτικό κοίτασμα με σκοπό τον υπολογισμό των μεταλλευτικών και γεωλογικών αποθεμάτων. Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μορφή του ορυχείου μετά τα 6 πρώτα χρόνια της εκμετάλλευσης και στα παραρτήματα δίνονται όλοι οι κώδικες που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή των γεωστατιστικών μεθόδων και τον υπολογισμό των αποθεμάτων.

1 Επιστήμη της Γεωστατιστικής

Η επιστήμη της Γεωστατιστικής προέκυψε στις αρχές του 1960 στην Νότια Αφρική προκειμένου να βρεθεί λύση σε διάφορα προβλήματα που σχετίζονταν με τη γεωλογία και τη μεταλλευτική έρευνα. Το κύριο αντικείμενο της Γεωστατιστικής είναι η εκτίμηση των υπό μελέτη παραμέτρων σε σημεία όπου δεν έχουμε πληροφορίες με βάση τη χωρική συνέχεια του υπάρχοντος δείγματος. Η Επιστήμη της Γεωστατιστικής δεν περιορίζεται μόνο σε προβλήματα που αφορούν τη μεταλλευτική έρευνα και τη γεωλογία αλλά και σε προβλήματα άλλων επιστημονικών κλάδων όπως την ανάλυση των ρύπων στην ατμόσφαιρα, στην επιφάνεια και στην θάλασσα, στη μελέτη των κλιματολογικών παραμέτρων, στην ανάλυση των επιδημιών σε μια περιοχή, στις δορυφορικές εικόνες κ.ά. Ο όρος **Ανάλυση Χωρικής Συνέχειας** είναι ισοδύναμος με τον όρο της Γεωστατιστικής ο οποίος όμως παραπέμπει σε εφαρμογές που σχετίζονται μόνο με γεωεπιστήμες. Σύμφωνα με τον κ. Χριστόπουλο (2014) η ανάλυση χωρικής συνέχειας κρίνεται αναγκαία για τους εξής λόγους :

- Η **εγγενής ανομοιογένεια**, εξαιτίας της οποίας μεταβάλλονται οι υπό μελέτη ιδιότητες στον χώρο και στον χρόνο
- Η **αβεβαιότητα** η οποία οφείλεται σε δείγμα μικρού μεγέθους
- Η **εξάρτηση κλίμακας** η οποία εκφράζει την επιρροή στο μετρούμενο μέγεθος από την κλίμακα των δεδομένων.

1.1 Θεωρία Τυχαίων Πεδίων

Ένα Τυχαίο Πεδίο μπορεί να οριστεί ως ένα πεδίο στο οποίο υπάρχει ένα σύνολο τυχαίων μεταβλητών. Το τυχαίο πεδίο εξαρτάται κατά κύριο λόγο από δύο παραμέτρους την **τυχειότητα** και την **χωρική συνέχεια** των διάφορων σημείων στο χώρο. Ως τυχειότητα ορίζεται η αδυναμία πρόβλεψης μίας κατάστασης ή της τιμής μιας μεταβλητής σε κάποιο σημείο. Αυτό μπορεί να οφείλεται στη χωροχρονική μεταβολή του φαινομένου, στις διακυμάνσεις περιβαλλοντικών παραγόντων ή να είναι αποτέλεσμα της πειραματικής διαδικασίας. Συνεπώς το αποτέλεσμα για κάθε σημείο που προκύπτει θα είναι ένα σύνολο πιθανοτήτων για κάθε πιθανή τιμή που θα μπορούσε να προκύψει στο σημείο αυτό. Οι πιθανότητες για κάθε σημείο

προσδιορίζονται από μια συνάρτηση κατανομής πιθανότητας η οποία μπορεί να παραμένει σταθερή για όλα τα σημεία ή να μεταβάλλεται σε διαφορετικά σημεία. Αυτό μας επιτρέπει να προβλέψουμε την πιθανότητα της τιμής ενός κεντρικού σημείου που μας ενδιαφέρει με βάση της πιθανότητες των υπόλοιπων σημείων που βρίσκονται σε μια συγκεκριμένη γειτονιά στο χώρο. Η συσχέτιση (**χωρική συνέχεια**) ενός σημείου με τα γειτονικά του είναι χαρακτηριστικό των τυχαίων πεδίων κάτι που δεν συναντάται με τις απόλυτα τυχαίες διαδικασίες όπως είναι ο αριθμός στη ρίψη ενός ζαριού (ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, 2014).

1.2 Βασικές συναρτήσεις τυχαίων πεδίων

Οι βασικές συναρτήσεις (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989) οι οποίες μπορούν να χαρακτηρίσουν ένα τυχαίο πεδίο είναι:

- **Μέση τιμή $m_x(S)$**

Ορίζεται ως το άθροισμα των τιμών του πεδίου προς το σύνολο των τιμών.

$$m_x(S) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.1)$$

- **Διασπορά $\sigma_x^2(S)$**

Ορίζεται ως η μέση τιμή του τετραγώνου της διαφοράς των τιμών του πεδίου από τη μέση τιμή αυτού.

$$\sigma_x^2(S) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x(S))^2}{n} \quad (2.2)$$

- **Τυπική απόκλιση $\sigma(S)$**

Ορίζεται ως η τετραγωνική ρίζα της διασποράς.

$$\sigma(S) = \sqrt{\sigma_x^2(S)} \quad (2.3)$$

1.3 Επιλογή των δεδομένων

Πριν αρχίσει οποιαδήποτε γεωστατιστική ανάλυση είναι απαραίτητο να γίνει διαχωρισμός των δεδομένων και να απορριφθούν οι τιμές που πιθανώς να προκαλέσουν λανθασμένα αποτελέσματα. Πρόκειται για μια χρονοβόρα διαδικασία αλλά ιδιαίτερα σημαντική καθώς αποτρέπει μεγάλα σφάλματα. Οι τιμές οι οποίες θα απορριφθούν απέχουν αρκετά από τη μέση τιμή του πληθυσμού. Ένας λόγος που οδηγεί συχνά στη δημιουργία λανθασμένων τιμών είναι πως η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε από διαφορετικά άτομα τα οποία χρησιμοποίησαν διαφορετική μεθοδολογία ο καθένας κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Ένας ακόμη εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι ο λανθασμένος ορισμός των τοπογραφικών συντεταγμένων.

1.4 Θεωρία του Ημι – βαριογράμματος

Ο κυριότερος τρόπος υπολογισμού της χωρικής συνέχειας μεταξύ των σημείων ενός δείγματος είναι το **ημιβαριόγραμμα** το οποίο απεικονίζει την εξάρτηση μεταξύ των σημείων στο χώρο. Από το ημι – βαριόγραμμα παίρνουμε τις πληροφορίες που απαιτούνται για την εφαρμογή της μεθόδου Kriging προκειμένου να υπολογιστούν τα γραμμικά βάρη που καθορίζουν την επιρροή του κάθε σημείου στην πρόβλεψη της νέας τιμής στα σημεία όπου δεν υπάρχουν πληροφορίες από τα αρχικά δεδομένα. Η τιμή για κάθε σημείο του ημιβαριογράμματος εξαρτάται από τη μέση τιμή των αποστάσεων των σημείων μιας συγκεκριμένης γειτονιάς της συνολικής περιοχής ανά ζεύγη σημείων. Η μέση τιμή που προκύπτει περιγράφει την κάθε γειτονιά και από το σύνολο αυτών προκύπτει το πειραματικό ημιβαριόγραμμα $\gamma(h)$ που υπολογίζεται από την σχέση (CLARK, 1979):

$$\gamma(x) = \frac{1}{2 \cdot n} \sum [g(x) - g(x+h)]^2 \quad (2.4)$$

όπου:

x: το κεντρικό σημείο της γειτονιάς

n: ο αριθμός των σημείων που βρίσκονται στην υπό μελέτη γειτονιά

h: βήμα απόστασης

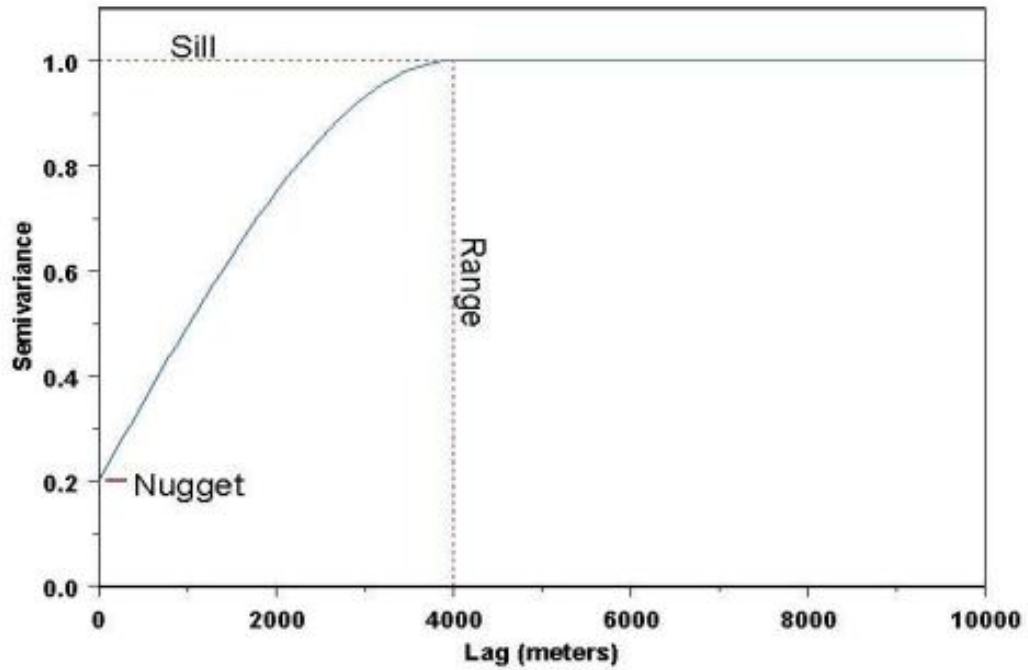
1.4.1 Στατιστική Ομοιογένεια Πεδίου και Ανισοτροπίας

Ένα πεδίο χαρακτηρίζεται στατιστικά ομοιογενές όταν η μέση τιμή του πεδίου είναι σταθερή και όταν η συνδιασπορά μεταξύ δύο σημείων εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από τη μεταξύ τους απόσταση. Η στατιστική ομοιογένεια είναι απαραίτητη προϋπόθεση προκειμένου το πεδίο να είναι στατιστικά ισοτροπικό. Αντίθετα όταν η εξάρτηση των σημείων επηρεάζεται τόσο από την απόσταση μεταξύ των σημείων όσο και από τις διάφορες κατευθύνσεις στο χώρο, το πεδίο χαρακτηρίζεται από ανισοτροπία. Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται η θεώρηση πως τα πεδία είναι στατιστικά ομοιογενές και δεν θα γίνει αναζήτηση διευθύνσεων ανισοτροπίας.

1.4.2 Παράμετροι του Ημι – βαριογράμματος

Για τον προσδιορισμό του ημιβαριογράμματος και κατά συνέπεια της χωρικής εξάρτησης των τιμών του πεδίου θα πρέπει να υπολογιστούν οι παράμετροι που το χαρακτηρίζουν. Οι παράμετροι αυτές είναι (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989), (Kitanidis, 1997) :

- **Άνω φράγμα-Sill:** Για μεγάλες αποστάσεις h η τιμή του βαριογράμματος τείνει να σταθεροποιείται σε μία μέγιστη τιμή η οποία είναι το άνω φράγμα και ισούται με τη διασπορά σ_x^2 του πεδίου.
- **Μήκος συσχέτισης-Range:** Το μήκος συσχέτισης ισούται με την απόσταση στην οποία το βαριόγραμμα φτάνει στο άνω φράγμα. Πρακτικά εκφράζει τη μέγιστη απόσταση όπου ένα σημείο επηρεάζει την τιμή ενός άλλου.
- **Nugget:** Η τιμή του βαριογράμματος θα πρέπει να ισούται με $\gamma(h) = 0$ για $h=0$. Στην πραγματικότητα όμως η τιμή του βαριογράμματος διαφέρει από το μηδέν για αποστάσεις σχεδόν μηδενικές. Η διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής του βαριογράμματος και του μηδέν ονομάζεται nugget και οφείλεται στη μεταβλητότητα σε μικρές αποστάσεις ή και σε λάθη κατά την συλλογή των μετρήσεων.



Εικόνα 1 Παράμετροι του Ημιβαριογράμματος (Bohling, 2005)

Στο πειραματικό ημιβαριόγραμμα, το οποίο είναι μια διακριτή συνάρτηση, προσαρμόζονται διάφορες εξισώσεις οι οποίες αντιστοιχούν σε βασικά μοντέλα βαριογράμματος. Τα μοντέλα αυτά είναι θετικά ορισμένα ικανοποιώντας έτσι μια απαραίτητη προϋπόθεση ώστε να προκύψει μια μοναδική και σταθερή λύση από την εφαρμογή των εξισώσεων του κανονικού (ordinary) Kriging.

Έστω ο πίνακας συμμεταβλητοτήτων A :

$$A = \underbrace{\begin{bmatrix} \tilde{C}_{1,1} & \tilde{C}_{1,2} & \cdots & \tilde{C}_{1,n} \\ \tilde{C}_{2,1} & \tilde{C}_{2,2} & \cdots & \tilde{C}_{n,2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{C}_{n,1} & \tilde{C}_{n,2} & \cdots & \tilde{C}_{n,n} \end{bmatrix}}_{n \times n}$$

Ο πίνακας A είναι **θετικά ορισμένος** (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989) όταν $x^T A x > 0$, όπου $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ και τα x_i δεν είναι όλα μηδενικά στοιχεία. Επίσης όταν ο πίνακας A είναι θετικά ορισμένος όλες οι ιδιοτιμές του πίνακα είναι μεγαλύτερες του 0 και όλοι οι υποπίνακες που προκύπτουν από τον πίνακα A έχουν θετικές ορίζουσες.

1.4.3 Πρότυπα μοντέλα βαριογράμματος

Τα πιο διαδεδομένα μοντέλα βαριογράμματος τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως είναι το **σφαιρικό** (Εξ.2.5), το **εκθετικό** (Εξ. 2.6) και το **γκουσσσιανό** (Εξ.2.7). Στην εικόνα 2, η οποία αποτυπώνει τη γραφική απεικόνιση των τριών αυτών θεωρητικών μοντέλων, γίνεται αντιληπτό πως το σφαιρικό μοντέλο προσεγγίζει το άνω φράγμα στην ακτίνα συσχέτισης ενώ αντίθετα η τιμή των ημιδιακυμάνσεων, για τα δύο μοντέλα, σε απόσταση ίση με την ακτίνα συσχέτισης ισούται με το 95% του άνω φράγματος (Bohling, 2005).

- **Το Σφαιρικό Μοντέλο (Spherical Model)**

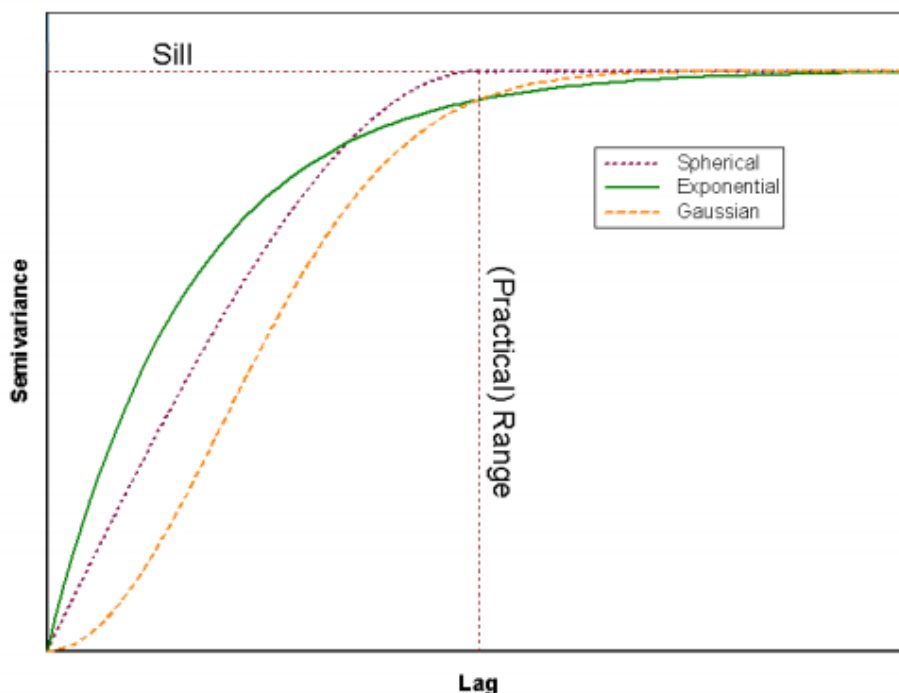
$$\gamma(h) = \begin{cases} 1.5 \cdot \frac{h}{a} - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3, & h \leq a \\ 1, & h > a \end{cases} \quad (2.5)$$

- **Το Εκθετικό Μοντέλο (Exponential Model)**

$$\gamma(h) = 1 - e^{\left(-\frac{3h}{a} \right)} \quad (2.6)$$

- **Το Γκουσσσιανό Μοντέλο (Gaussian Model)**

$$\gamma(h) = 1 - e^{\left(-\frac{3h^2}{a^2} \right)} \quad (2.7)$$



Εικόνα 2 Θεωρητικά μοντέλα ημιβαριογράμματος (Bohling, 2005)

1.5 Εκτίμηση Τυχαίων Πεδίων

1.5.1 Μέθοδος Kriging

Με τον όρο εκτίμηση ενός τυχαίου πεδίου εννοούνται όλες οι μαθηματικές διαδικασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν προκειμένου να προσδιοριστεί η τιμή της ιδιότητας που εξετάζεται σε σημεία στα οποία δεν υπάρχουν μετρήσεις. Η εκτίμηση διακρίνεται σε **σημειακή** όταν αυτή αναφέρεται σε ένα σημείο του πεδίου κάθε φορά ή **γενική** όταν εκτιμάται η τιμή μιας ολόκληρης περιοχής με μία μόνο προσπάθεια. Βγαίνει λοιπόν το συμπέρασμα πως η σημειακή εκτίμηση οδηγεί σε γενική όταν προσδιοριστούν οι τιμές όλων των σημείων της περιοχής. Οι τιμές στα σημεία όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις επηρεάζονται από τα σημεία της ευρύτερης γειτονιάς.

Σύμφωνα με τον κ. Χριστόπουλο (2014) η μέθοδος Kriging αποτελεί τη **Βέλτιστη Γραμμική Αμερόληπτη Εκτίμηση** (Best Linear Unbiased Estimation) και βρίσκει πολλές εφαρμογές στη μεταλλευτική έρευνα, τη γεωλογία, την υδρογεωλογία και σε άλλες επιστήμες. Είναι από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους προσδιορισμού των συντελεστών και βασίζεται σε γραμμική παρεμβολή σε συνδυασμό με ελαχιστοποίηση του τετραγωνικού σφάλματος της εκτίμησης. Τα **γραμμικά βάρη**, με βάση τα οποία γίνεται η τελική εκτίμηση της τιμής για κάθε σημείο, προκύπτουν από την επίλυση

γραμμικών εξισώσεων, οι συντελεστές των οποίων εξαρτώνται μόνο από το ημιβαριόγραμμα.

1.5.2 Προϋποθέσεις εφαρμογής Kriging

Σύμφωνα με τον Χριστόπουλο (2014), η εφαρμογή των μεθόδων Kriging απαιτεί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Το τυχαίο πεδίο να μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες. Η πρώτη περιγράφει την τάση, ή αλλιώς τη βραδεία μεταβολή της μέσης τιμής, ενώ η δεύτερη συνιστώσα την διακύμανση του πεδίου.
- Η εκτίμηση που βασίζεται στην ελαχιστοποίηση της διασποράς του σφάλματος είναι ακριβής όταν η συνάρτησης της κατανομής πιθανότητας πεδίου είναι συμμετρική και τέλος
- Στην περίπτωση της μεθόδου του καθολικού Kriging δεν είναι απαραίτητη η συνθήκη της ομοιογένειας και εξαρτάται μόνο από το βαριόγραμμα.

Η μέθοδος Kriging έχει διάφορες παραλλαγές και η επιλογή της κατάλληλης γίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά τα οποία έχει το πεδίο που εφαρμόζεται η μέθοδος. Οι πέντε συνηθέστερες παραλλαγές είναι το **Απλό Kriging** (Simple Kriging), το **Κανονικό Kriging** (Ordinary Kriging), το **Καθολικό Kriging με πρότυπο τοπικής τάσης** (Universal Kriging), το **συνδυαστικό Kriging** (co-Kriging) και τέλος το **Kriging σε πεδίο δεικτών** (Indicator Kriging).

Στην παρούσα εργασία έγινε εφαρμογή του κανονικού Kriging. Σε αυτή την περίπτωση η μέση τιμή κάθε γειτονιάς στην οποία γίνεται εκτίμηση είναι σταθερή μέσα σ' αυτήν ενώ μπορεί να διαφέρει από γειτονιά σε γειτονιά. Σε αντίθεση με το απλό Kriging, όπου η μέση τιμή είναι σταθερή και γνωστή, στο κανονικό Kriging δεν κρίνεται απαραίτητη η γνώση αυτής.

1.5.3 Εφαρμογή της μεθόδου Κανονικού Kriging

Πριν ξεκινήσει η εφαρμογή της μεθόδου του κανονικού Kriging θα πρέπει να επιλεγθεί η ακτίνα της κάθε γειτονιάς. Η ακτίνα αυτή δεν πρέπει να ξεπερνάει την ακτίνα

συσχέτισης (range), η οποία έχει οριστεί από το ημι – βαριόγραμμα, καθώς οι τελικώς εκτιμώμενες τιμές θα έχουν πιθανώς μεγάλες αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές.

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (ενότητα 1.4.1) έχουν αγνοηθεί πιθανές διευθύνσεις ανισοτροπίας συνεπώς η συνδιακύμανση μεταξύ των τιμών εξαρτάται μόνο από την απόσταση και όχι από τη διεύθυνση των σημείων.

Πρώτο βήμα είναι η κατασκευή ενός πίνακα M ($n \times n$) στον οποίο θα υπάρχουν οι ευκλείδειες αποστάσεις μεταξύ των σημείων που βρίσκονται στην γειτονιά συσχέτισης.

$$M = \begin{bmatrix} d_{1,1} & d_{2,1} & \cdots & d_{n,1} \\ d_{1,2} & d_{2,2} & \cdots & d_{n,2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{1,n} & d_{2,n} & \cdots & d_{n,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & d_{2,1} & \cdots & d_{n,1} \\ d_{1,2} & 0 & \cdots & d_{n,2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{1,n} & d_{2,n} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

όπου

$$d_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (2.8)$$

Στο δεύτερο βήμα και εφόσον έχουν προσδιορισθεί οι απαραίτητες παράμετροι από το ημιβαριόγραμμα δημιουργείται ο πίνακας B ($n \times n$) ο οποίος αποτελείται από τις ημιδιακυμάνσεις μεταξύ των σημείων που βρίσκονται εντός της ακτίνας συσχέτισης.

$$B = \begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & \cdots & C_{1,n} & 1 \\ C_{2,1} & C_{2,2} & \cdots & C_{2,n} & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C_{n,1} & C_{n,2} & \cdots & C_{n,n} & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

όπου

$$C_{i,j} = nugget + sill \cdot \left(1 - e^{(-d_{i,j}/range)}\right) \quad (2.9)$$

Η σχέση 2.9 εκφράζει το ισοτροπικό εκθετικό πρότυπο. (ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, 2014)

Έπειτα κατασκευάζεται το διάνυσμα ημιδιακύμανσης μεταξύ των σημείων που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη της ακτίνας συσχέτισης και του σημείου $E(x_E, y_E)$ για το οποίο θα γίνει η εκτίμηση με βάση την προηγούμενη σχέση. Προκύπτει λοιπόν ο πίνακας D ($n \times 1$)

$$D = \begin{bmatrix} C_{1,E} \\ C_{2,E} \\ \vdots \\ C_{n,E} \end{bmatrix}$$

Τα γραμμικά βάρη προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό του αντίστροφου πίνακα B με τον πίνακα D .

$$w = B^{-1} \cdot D = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \\ \mu \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

όπου μ : ο συντελεστής Lagrange

Το άθροισμα των γραμμικών βαρών πρέπει να ισούται με τη μονάδα έτσι ώστε να εκφράζεται η συνθήκη της αμεροληψίας.

Η εξίσωση με την οποία γίνεται η εκτίμηση είναι:

$$\hat{z} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot v_i \quad (2.11)$$

όπου v_i είναι η τιμή της ιδιότητας σε κάθε γνωστό σημείο που βρίσκεται μέσα στην γειτονιά συσχέτισης.

Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα εκτίμησης υπολογίζεται με την σχέση

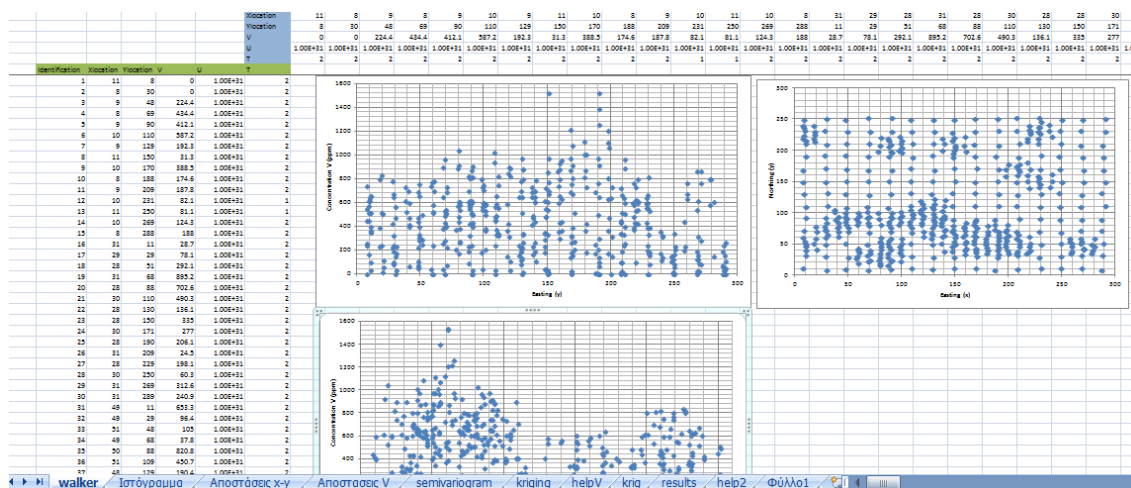
$$\sigma_E^2 = \sigma_x^2 - \sum_{i=1}^n w_i \cdot C_{i,E} + \mu \quad (2.12)$$

2 Γεωστατιστική ανάλυση στα δεδομένα της λίμνης Walker

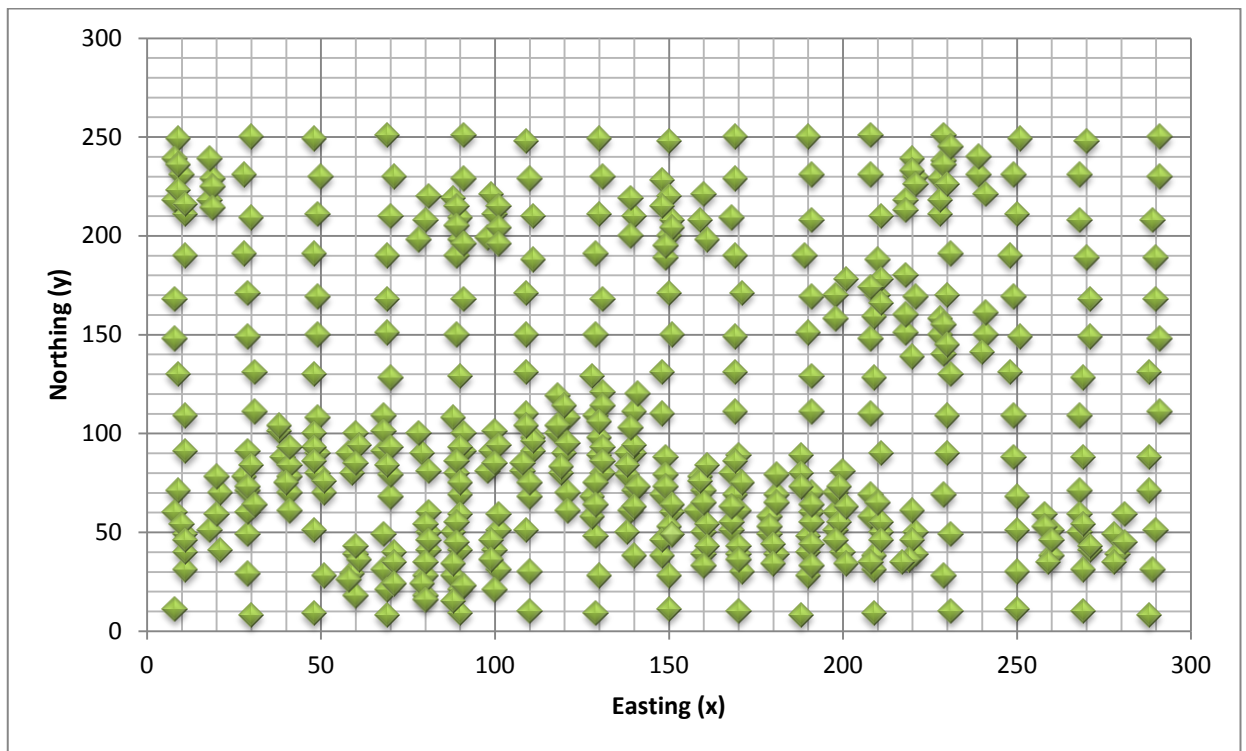
2.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Στην εφαρμογή Microsoft Office Excel 2007 και μέσω της γλώσσας προγραμματισμού της Visual Basic for Applications (VBA) αναπτύχθηκε κώδικας για τη δημιουργία του πειραματικού ημιβαριογράμματος και την εφαρμογή του κανονικού Kriging. Τα δεδομένα αποτελούνται από 470 σημεία της λίμνης Walker (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989) στη Νεβάδα των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής στο καθένα από το οποία αντιστοιχούν 3 μεταβλητές. Οι πρώτες δύο μεταβλητές (V,U) εκφράζουν την συγκέντρωση (ppm) ενός υλικού, το οποίο οι συγγραφείς δεν προσδιορίζουν, στο έδαφος ενώ η τρίτη μεταβλητή T αποτελεί ένα δείκτη και παίρνει τις τιμές 1 και 2.

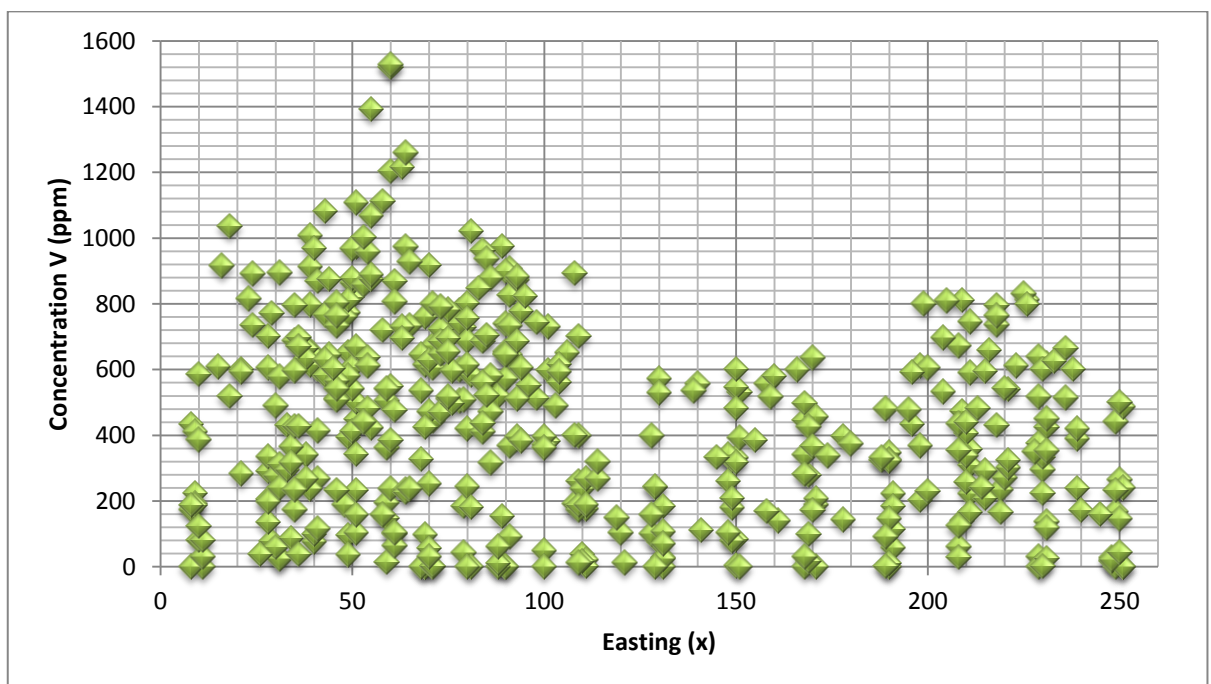
Στο πρώτο φύλλο (walker) (Εικ.3) του Excel με το όνομα Variogram_and_Kriging_VBA_on_walker_DataSet_Solomidis υπάρχουν τα αρχικά δεδομένα και γίνονται τα διαγράμματα x-y, x-V και y-V τα οποία και παραθέτονται. Στο διάγραμμα x-y (Εικ.4) παρουσιάζονται οι θέσεις δειγματοληψίας ενώ τα διαγράμματα x-V (Εικ.5) και y-V (Εικ.6) παρουσιάζουν τις τιμές της συγκέντρωσης V συναρτήσει της οριζόντιας (x) και κάθετης (y) συντεταγμένης αντίστοιχα τα οποία παρουσιάζουν αύξηση της τιμής V στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης.



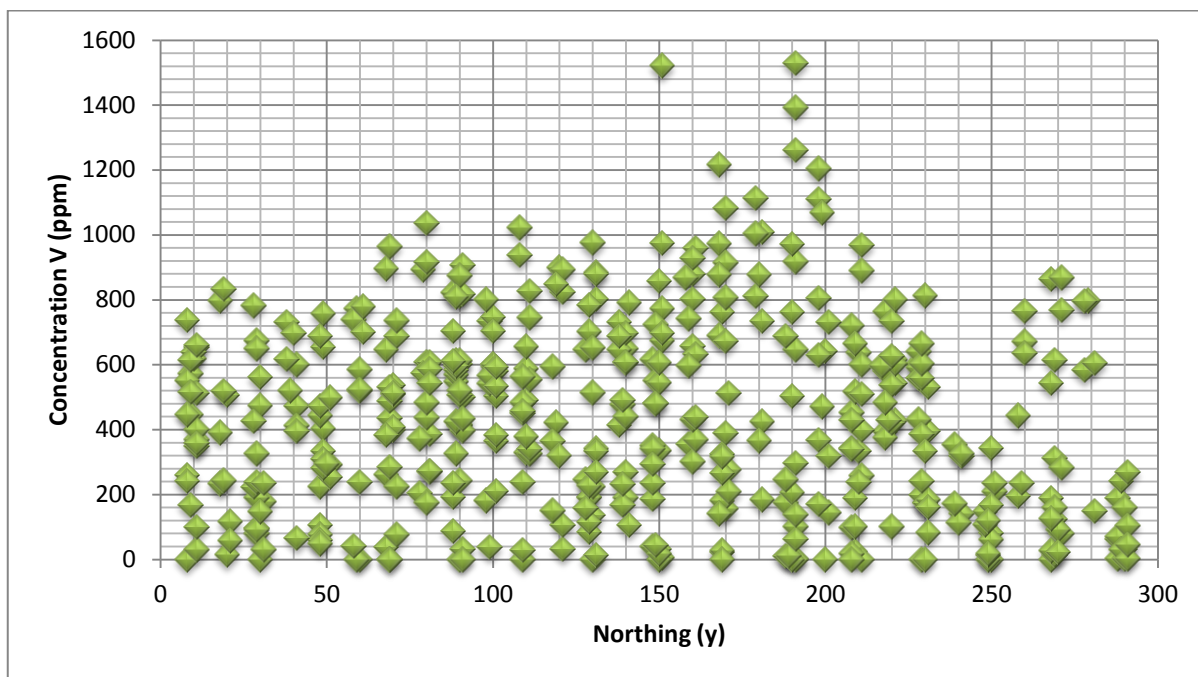
Εικόνα 3 Φύλλο επεξεργασίας "walker"



Εικόνα 4: Θέσεις δειγματοληψίας



Εικόνα 5 Διάγραμμα x-V (Easting-Concentration)

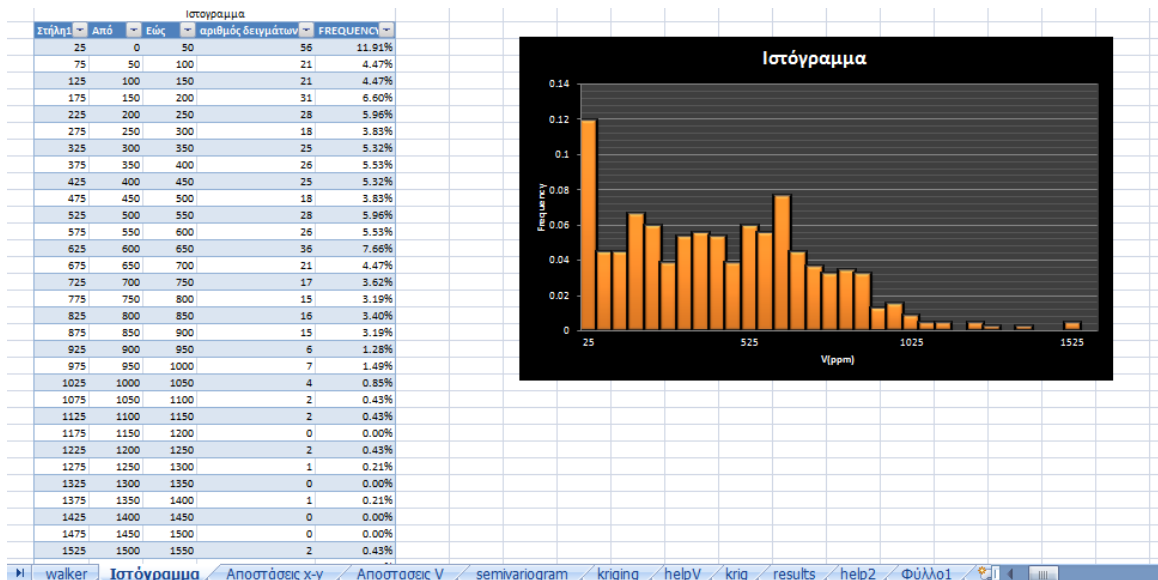


Εικόνα 6 Διάγραμμα y-V (Northing-Concentration)

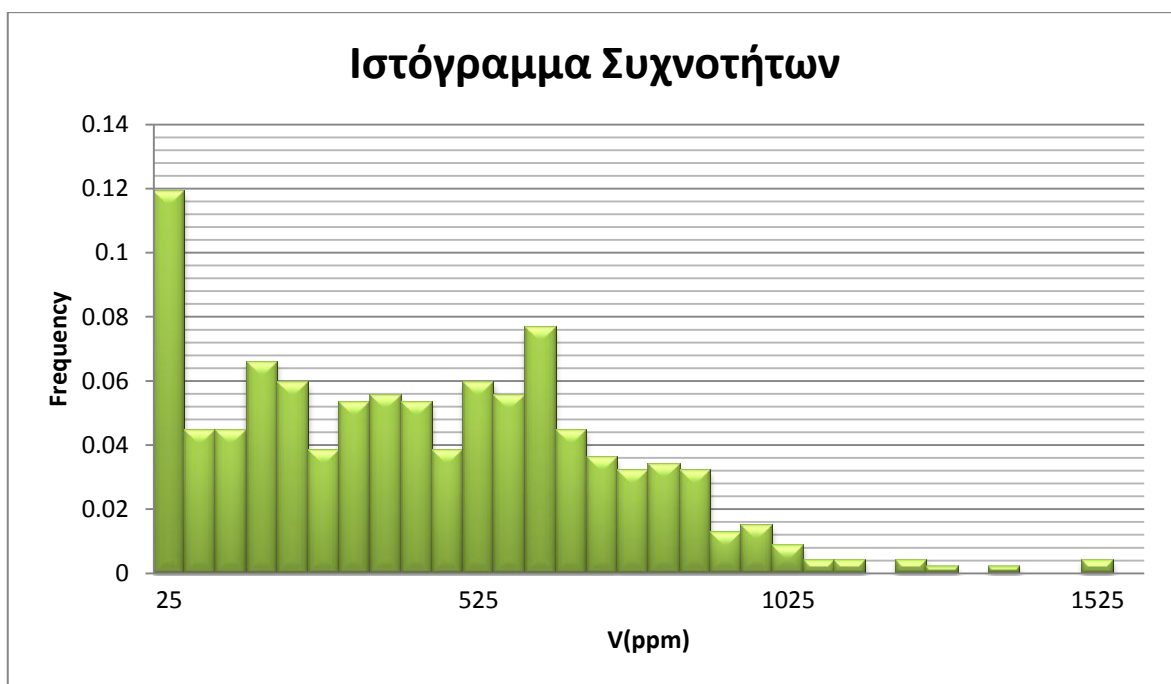
Στο φύλλο “Ιστόγραμμα” (Εικ. 7) υπολογίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του τυχαίου πεδίου (Πίν. 1), κατασκευάστηκε ο πίνακας συχνοτήτων (Πίν. 9) και το ιστόγραμμα συχνοτήτων (Εικ. 8).

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά Walker Lake Data Set

Πλήθος δειγμάτων	470
Μέση τιμή	435.30
Τυπική απόκλιση	299.88
Διακύμανση	89929.40
Μέγιστη τιμή	1528.10
Ελάχιστη τιμή	0



Εικόνα 7 Φύλλο επεξεργασίας "Ιστόγραμμα"



Εικόνα 8 Ιστόγραμμα συχνοτήτων

Στο φύλλο “ Αποστάσεις x-y” (Εικ.9) δημιουργήθηκε ένας τετραγωνικός πίνακας (470x470) και αποτελείται από τις ευκλείδειες αποστάσεις μεταξύ των σημείων. Αντίστοιχα στο φύλλο “Αποστάσεις V” (Εικ.10) δημιουργήθηκε πίνακας με τα

τετράγωνα της διαφοράς των τιμών V για κάθε σημείο τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του πειραματικού ημιβαριογράμματος.

no	x	y	V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	11	8	0	22.2036	40.04997	61.07373	82.02439	102.0049	121.0165	142	162.0031	180.025	201.00995	223
2	8	30	0	22.2036	0	18.02776	39	60.00833	80.025	99.00505	120.0375	140.0143	158	179.00279
3	9	48	224.4	22.2036	0	18.02776	39	60.00833	80.025	99.00505	120.0375	140.0143	158	179.00279
4	8	69	434.4	40.04997	18.02776	0	21.0238	42	62.00806	81	102.0196	122.0041	140.00357	161
5	9	90	412.1	61.07373	39	21.0238	0	21.0238	42	62.00806	81	102.0196	122.0041	140.00357
6	10	110	587.2	82.02439	60.00833	42	21.0238	0	21.0238	42	62.00806	81	102.0196	122.0041
7	9	129	192.3	102.0049	80.025	62.00806	41.04875	20.02498	0	21.0238	42	62.00806	81	102.0196
8	11	150	31.3	121.0165	99.00505	81	60.00833	39	18	Ευκλείδειες Αποστάσεις x-y	119	59.008474	80	102.0196
9	10	170	388.5	142	120.0375	102.0196	81.05554	60.03332	42	62.00806	81	102.0196	122.0041	140.00357
10	8	188	174.6	162.0031	140.0143	122.0041	101.0198	80.00625	0	21.0238	42	62.00806	81	102.0196
11	9	209	187.8	180.025	158	140.0036	119	98.0051	78.02564	59.00847	38.11824	18.11077	0	21.023796
12	10	231	82.1	201.01	179.0028	161	140.0036	119	99.00505	80	59.03389	39.01282	21.023796	0
13	11	250	81.1	223.0022	201.01	183.0027	162.0123	141.0035	121	102.0049	81.00617	61	43.046487	22.022716
14	10	269	124.3	242	220.0205	202.0099	181.0249	160.0125	140.0036	121.0165	100	80.00625	62.072538	41.048752
15	8	288	188	261.0019	239.0084	221.0023	200.01	179.0028	159	140.0036	119.0042	99	81.024688	60.008333
16	31	11	28.7	280.0161	258	240.0021	219	198.0025	178.0112	159.0031	138.0326	118.0169	100	79.006329
17	29	29	78.1	20.22375	29.83287	43.04649	62.39391	82.0061	101.2028	120.0333	140.4315	160.3808	178.48809	199.21847
18	28	51	292.1	27.65863	21.0238	27.58623	45.17743	64.19502	83.19856	101.9804	122.3315	142.2744	160.3808	181.1077
19	31	68	895.2	46.23851	29	19.23538	26.90725	43.38202	61.68468	80.28076	100.449	120.3536	138.45216	159.1383
20	28	88	702.6	63.24555	44.41846	29.73214	23.02173	31.1127	46.95743	64.84597	84.40379	104.1393	122.18429	142.70599
21	30	110	490.3	81.78631	61.35145	44.28318	27.58623	19.10497	28.42534	45.18849	64.28841	83.95237	101.98039	122.48265
22	28	130	136.1	103.7545	82.96987	65.45991	46.52956	29	20	28.3196	44.28318	63.24555	81.043198	101.20277
23	28	150	335	123.1787	101.9804	84.17244	64.19502	44.28318	26.90725	19.0263	26.24881	43.86342	61.351447	81.252692

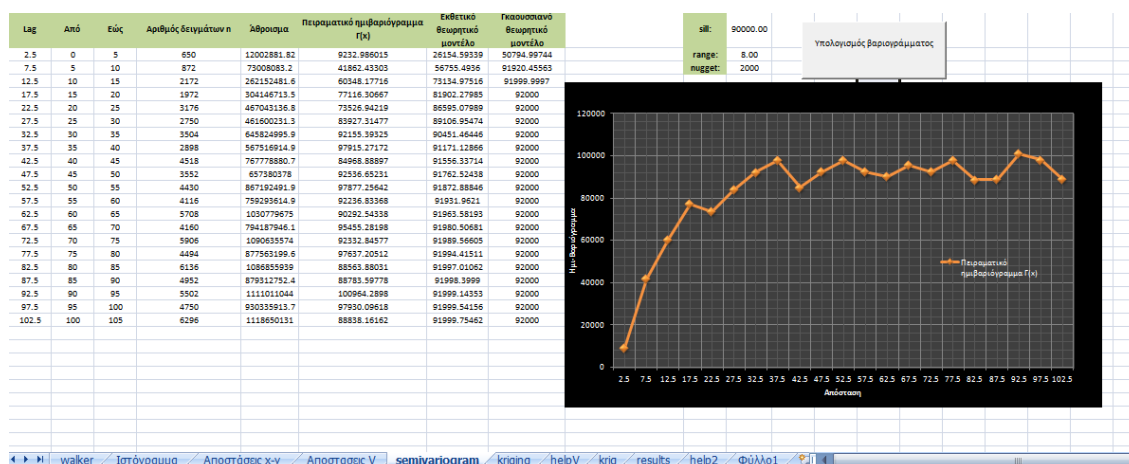
Εικόνα 9 Φύλλο επεξεργασίας "Αποστάσεις x-y"

no	x	y	V	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9
1.00	11.00	8.00	0.00	0.00	0.00	50355.36	188703.36	169826.41	344803.84	36979.29	979.69	150932
2.00	8.00	30.00	0.00	0.00	0.00	50355.36	188703.36	169826.41	344803.84	36979.29	979.69	150932
3.00	9.00	48.00	224.40	50355.36	50355.36	0.00	44100.00	35231.29	131623.84	1030.41	37287.61	26928
4.00	8.00	69.00	434.40	188703.36	188703.36	44100.00	0.00	497.29	23347.84	58612.41	#####	2106
5.00	9.00	90.00	412.10	169826.41	169826.41	35231.29	497.29	0.00	30660.01	48312.04	#####	556
6.00	10.00	110.00	587.20	344803.84	344803.84	131623.84	23347.84	30660.01	0.00	#####	#####	39481
7.00	9.00	129.00	192.30	36979.29	36979.29	1030.41	58612.41	48312.04	155946.01	0.00	25921.00	38494
8.00	11.00	150.00	31.30	979.69	979.69	37287.61	163489.61	145008.64	309024.81	25921.00	0.00	127591
9.00	10.00	170.00	388.50	150932.2	150932.2	2106.81	2106.81	556.96	39481.69	38494.44	#####	0
10.00	8.00	188.00	174.60	30485.16	30485.16	7496.04	7496.04	56406.25	170238.76	313.29	20534.89	45753
11.00	9.00	209.00	187.80	35268.8	35268.8	9811.56	9811.56	50310.49	159520.36	20.25	24492.25	40280
12.00	10.00	231.00	82.10	6740.41	6740.41	1115.29	1115.29	108900.00	255126.01	12144.04	2580.64	93880
13.00	11.00	250.00	81.10	6577.21	6577.21	20534.89	124820.89	109561.00	256137.21	12365.44	2480.04	94494
14.00	10.00	269.00	124.30	15450.49	15450.49	10020.01	96162.01	82828.84	214276.41	4624.00	8649.00	69801
15.00	8.00	288.00	188.00	35344.00	35344.00	1324.96	60712.96	50220.81	159360.64	18.49	24554.89	40200
16.00	31.00	11.00	28.70	823.69	823.69	38298.49	164592.49	146995.56	311922.25	26764.96	6.76	129456
17.00	29.00	29.00	78.10	6099.61	6099.61	21403.69	126949.69	111556.00	259182.81	13041.64	2190.24	96348
18.00	28.00	51.00	292.10	85322.41	85322.41	4583.29	20249.29	14400.00	87084.01	9960.04	68016.64	9292
19.00	31.00	68.00	895.20	801383.04	801383.04	449972.64	212336.64	233385.61	94864.00	#####	#####	256744
20.00	28.00	88.00	702.60	493646.76	493646.76	228675.24	71931.24	84390.25	13317.16	#####	#####	98658
21.00	30.00	110.00	490.30	240394.09	240394.09	70702.81	3124.81	6115.24	9389.61	88804.00	#####	10363
22.00	28.00	130.00	136.10	18523.21	18523.21	7796.89	88982.89	76176.00	203491.21	3158.44	10983.04	63705
23.00	28.00	150.00	335.00	112225.00	112225.00	12232.36	9880.36	5944.41	63604.84	20363.29	92233.69	2862
24.00	30.00	170.00	277.00	76729.00	76729.00	2766.76	24774.76	18252.01	96224.04	7174.09	60368.49	12432
25.00	28.00	190.00	206.10	42477.21	42477.21	334.89	52120.89	42436.00	145237.21	190.44	30555.04	33269

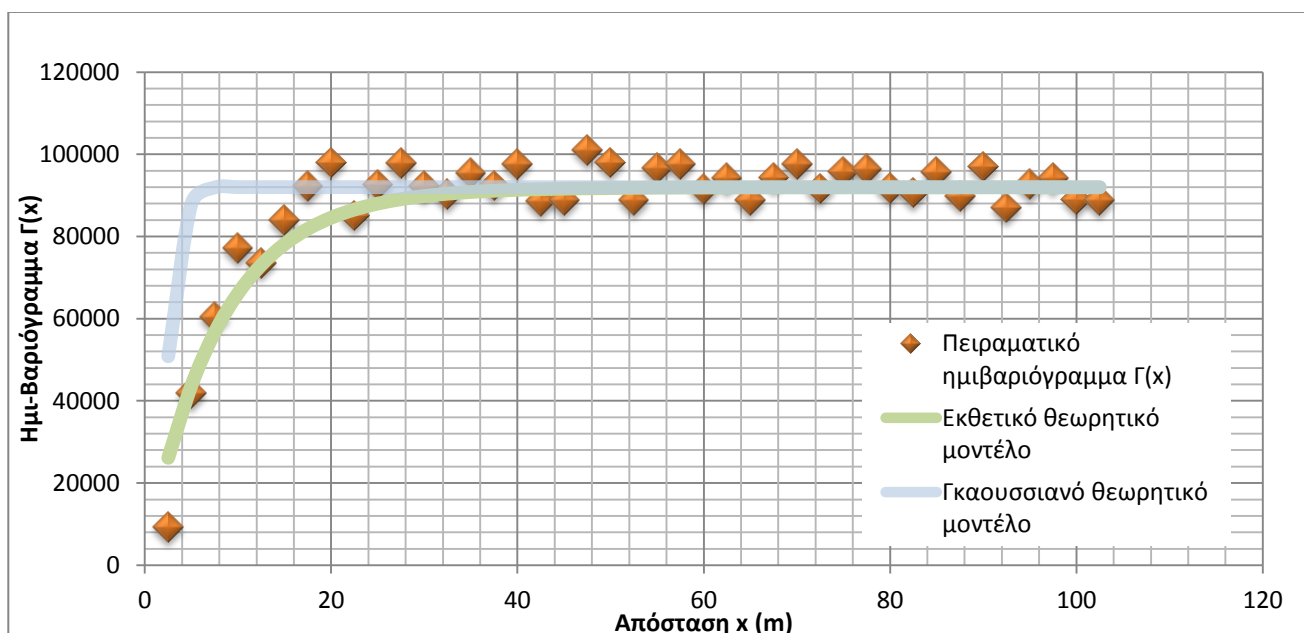
Εικόνα 10 Φύλλο επεξεργασίας "Αποστάσεις V"

Στο φύλλο “ semivariogram” (Εικ.11) παρουσιάζεται το πειραματικό Ημι-Βαριόγραμμα στο οποίο προσαρμόστηκαν το εκθετικό και γκαουσιανό μοντέλο (Εικ. 12) καθώς και το πλήθος ζευγών για κάθε τάξη του ημι – βαριογράμματος (Εικ.13) . Κατά την εκτέλεση του κώδικα ζητείται από τον χρήστη να ορίσει τις αποστάσεις των σημείων

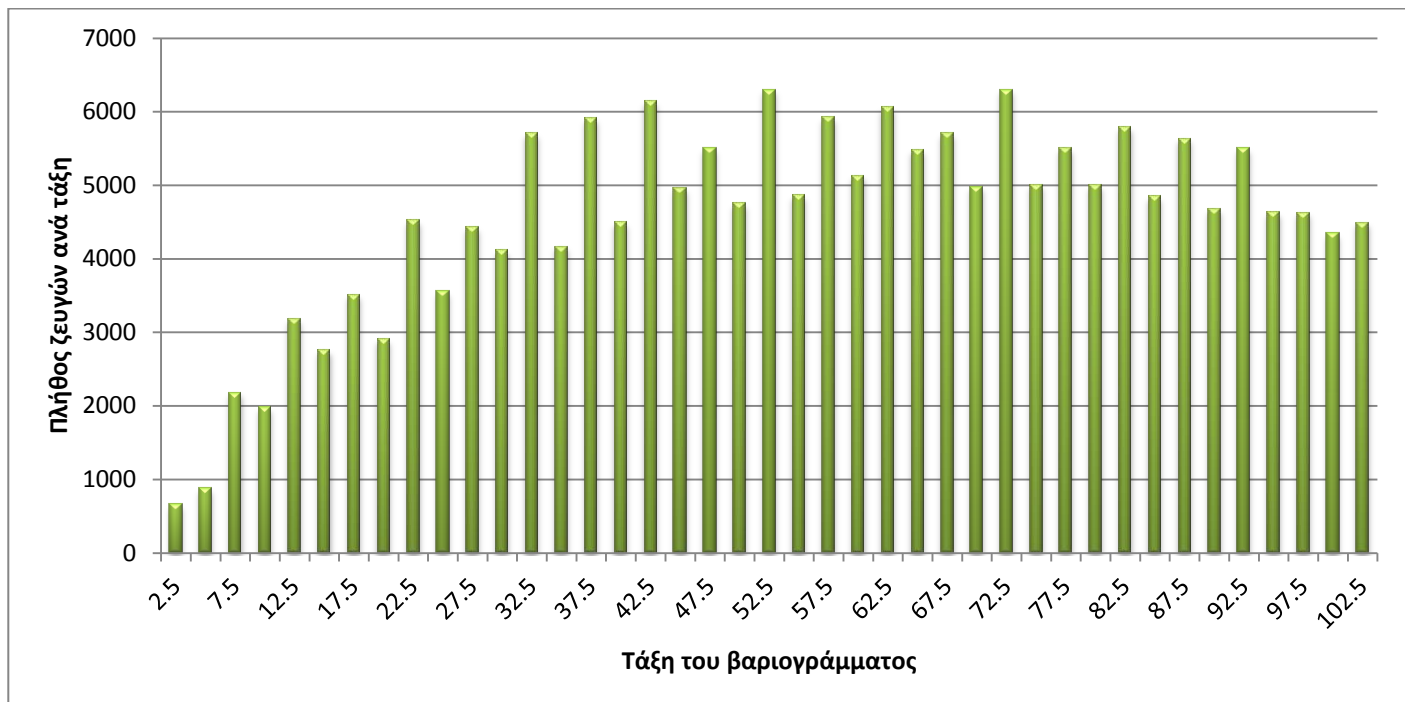
(φύλλο “Αποστάσεις x-y”) και τα τετράγωνα της διαφοράς των τιμών V (φύλλο “Αποστάσεις V ”) καθώς και να ορίσει το μήκος συσχέτισης του ημιβαριογράμματος. Με βάση το μήκος συσχέτισης που εισάγει ο χρήστης ελέγχονται όλες οι ευκλείδειες αποστάσεις των σημείων εάν βρίσκονται στο συγκεκριμένο εύρος που μελετάμε. Για κάθε ζευγάρι σημείων που ικανοποιούν τον συγκεκριμένο έλεγχο, επιλέγονται οι αντίστοιχες τιμές αυτού από το φύλλο Αποστάσεις V .



Εικόνα 11 Φύλλο επεξεργασίας "semivariogram"



Εικόνα 12 Ημι – βαριόγραμμα



Εικόνα 13 Πλήθος ζευγών ανά τάξη ημι – βαριογράμματος

Οι παράμετροι που προσαρμόζουν το εκθετικό θεωρητικό μοντέλο στο πειραματικό ημιβαριόγραμμα, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για το Kriging, είναι

- nugget=2.000
- sill=90.000
- range=8

Με βάση τις παραπάνω παραμέτρους παρουσιάζεται στο φύλλο «Kriging» (Εικ.14) ο τετραγωνικός πίνακας (470x470) που περιέχει τις ημιδιακυμάνσεις μεταξύ των αρχικών σημείων με βάση το ισοτροπικό εκθετικό μοντέλο. Η εξίσωση που παράγει τις ημιδιακυμάνσεις είναι η εξής:

$$B = 2.000 + 90.000 \cdot \left(1 - e^{(-distance/8)}\right) \quad (3.1)$$

B3 =IF('Αποστάσεις x-y'!E6=0;semivariogram!\$K\$3;semivariogram!\$K\$3+semivariogram!\$K\$1*(1-EXP(-'Αποστάσεις x-y'!E6/semivariogram!\$K\$2)))																		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	semivariances between sample points																	
2		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3	1	86391.07	2000	82546.92	91312.84	91950.27	91995.93	91999.62	91999.97	92000	92000	92000	92000	92000	92000	92000	84816.11	89163.76
4	2	86391.07	2000	82546.92	91312.84	91950.27	91995.93	91999.62	91999.97	92000	92000	92000	92000	92000	92000	92000	89838.72	85499.79
5	3	91397.36	82546.92	2000	85499.79	91527.72	91961.27	91996.39	91999.74	91999.98	92000	92000	92000	92000	92000	92000	91585.63	89137.97
6	4	91956.47	91312.84	85499.79	2000	85499.79	91468.09	91950.27	91996.4	$B = nugget + sill(1 - e^{-(dis\ tan\ ce / range)})$						92000	91963.1	91682.53
7	5	91996.83	91950.27	91527.72	85499.79	2000	84635.39	91312.84	91950.27	91999.98	92000	92000	92000	92000	92000	92000	91996.82	91970.54
8	6	91999.74	91995.93	91961.27	91468.09	84635.39	2000	83656.17	91394.53	91950.22	91994.77	91999.62	91999.98	92000	92000	92000	91999.71	91997.26
9	7	91999.98	91999.62	91996.39	91950.27	91312.84	83656.17	2000	85557.4	91465.66	91943.65	91995.91	91999.74	91999.98	92000	92000	91999.97	91999.74
10	8	92000	91999.97	91999.74	91996.42	91950.43	91394.53	85557.4	2000	84635.39	91232.77	91943.83	91996.4	91999.66	91999.97	92000	92000	91999.98
11	9	92000	92000	91999.98	91999.7	91995.92	91950.22	91465.66	84635.39	2000	82644.51	91313.94	91956.07	91995.92	91999.62	91999.96	92000	92000
12	10	92000	92000	92000	91999.97	91999.57	91994.77	91943.65	91232.77	82644.51	2000	85499.79	91585.63	91961.58	91996.41	91999.66	92000	92000
13	11	92000	92000	92000	92000	91999.97	91999.62	91995.91	91943.83	91313.94	85499.79	2000	86262.81	91468.09	91950.27	91995.37	92000	92000
14	12	92000	92000	92000	92000	92000	91999.98	91999.74	91996.4	91956.07	91585.63	86262.81	2000	83656.17	91221.35	91927.89	92000	92000
15	13	92000	92000	92000	92000	92000	92000	91999.98	91999.66	91995.92	91961.58	91468.09	83656.17	2000	83656.17	91232.77	92000	92000
16	14	92000	92000	92000	92000	92000	92000	92000	91999.97	91999.62	91996.41	91950.27	91221.35	83656.17	2000	83737.82	92000	92000
17	15	92000	92000	92000	92000	92000	92000	92000	92000	91999.96	91999.66	91995.37	91927.89	91232.77	83737.82	2000	92000	92000
18	16	84816.11	89838.72	91585.63	91963.1	91996.82	91999.71	91999.97	92000	92000	92000	92000	92000	92000	92000	92000	2000	82644.51
19	17	89163.76	85499.79	89137.97	91682.53	91970.54	91997.26	91999.74	91999.98	92000	92000	92000	92000	92000	92000	92000	82644.51	2000
20	18	91721.96	89601.58	83871.42	88884.46	91602.65	91959.67	91996.05	91999.68	91999.97	92000	92000	92000	92000	92000	92000	91402.04	86262.81
21	19	91966.82	91650.94	89811.33	86936.32	90158.24	91745.86	91972.84	91997.64	91999.8	91999.98	92000	92000	92000	92000	92000	91927.57	91317.23
22	20	91996.73	91957.96	91644.98	89137.97	83737.82	89422.96	91682.97	91970.88	91997.51	91999.74	91999.98	92000	92000	92000	92000	91994.1	91943.65
23	21	91999.79	91997.18	91974.84	91731.9	89601.58	84612.35	89388.67	91644.98	91966.82	91996.41	91999.71	91999.98	92000	92000	92000	91999.62	91996.4
H	walker Ιστορύγιμα Αποστάσεις x-y Αποστάσεις V semivariogram kriging heloV krig results helo2 Φύλλα1 9/1/2011																	

Εικόνα 14 Φύλλο επεξεργασίας "kriging"

Το επόμενο φύλλο (helpV) (Εικ.15), το οποίο δεν παρουσιάζει κάποιο αποτέλεσμα, είναι βοηθητικό για την παραγωγή των γραμμικών βαρών. Πιο συγκεκριμένα συγκεντρώνει τα δείγματα και τα τοποθετεί στην κατάλληλη γειτονιά. Αρχικά εμφανίζει με έντονα (Bold) γράμματα τις συντεταγμένες του κάθε σημείου που θέλουμε να εκτιμήσουμε. Δύο γραμμές πιο κάτω εμφανίζονται οι αριθμοί που αντιστοιχούν στην γραμμή που βρίσκεται το κάθε δείγμα στο φύλλο «Αποστάσεις V». Οι ίδιοι αριθμοί τυπώνονται και στην πρώτη στήλη στην αντίστοιχη γραμμή. Στην επόμενη γραμμή υπάρχει ένας πίνακας ο οποίος έχει τις τιμές των δειγμάτων που επηρεάζουν το σημείο πρόβλεψης από το φύλλο «Kriging». Όλα τα στοιχεία της τελευταίας στήλης και της τελευταίας γραμμής παίρνουν τιμή ίση με την μονάδα, πλην του στοιχείου που βρίσκεται στην κύρια διαγώνιο το οποίο και ορίζεται ως μηδέν. Τέλος δίπλα από την τελευταία στήλη του πίνακα δημιουργείται ένα διάλυσμα στήλης το οποίο περιέχει τις τιμές V του κάθε δείγματος.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	Centre of the box:	x:10	y:90							
3										
4		9	408							
5	9	2000	51177.2	1	412.1					
6	408	51177.2	2000	1	610					
7		1	1	0	0					
8										
9	Centre of the box:	x:30	y:70							
10										
11		23	350	351						
12	23	2000	43826.5	57261.9	1	895.2				
13	350	43826.5	2000	69244.4	1	687.8				
14	351	57261.9	69244.4	2000	1	735.8				
15		1	1	1	0	0				
16										
17	Centre of the box:	x:30	y:90							
18										
19		24	352	353						
20	24	2000	49487	48579.1	1	702.6				
21	352	49487	2000	70359	1	86.9				
22	353	48579.1	70359	2000	1	817				
23		1	1	1	0	0				
24										
25	Centre of the box:	x:30	y:170							
26										
27		28	417							
28	28	2000	49924.6	1	277					
29	417	49924.6	2000	1	672.3					
walker Ιστόγραμμα Αποστάσεις x-y Αποστάσεις V semivariogram kriging helpV krig										

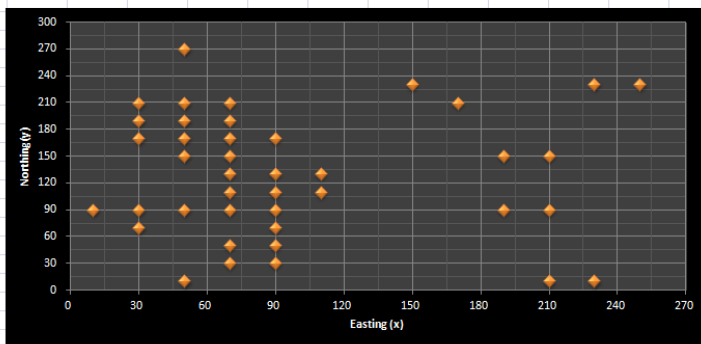
Εικόνα 15 Φύλλο επεξεργασίας "helpV"

Στις δύο πρώτες στήλες του φύλλου «krig» (Εικ.16) εμφανίζεται το κέντρο της κάθε γειτονιάς για το οποίο θα προσδιορισθεί την τιμή της συγκέντρωσης. Η τρίτη στήλη εμφανίζει την απόσταση του κέντρου της γειτονιάς με κάθε σημείο των αρχικών δεδομένων που βρίσκεται μέσα στην ακτίνα συσχέτισης ενώ η τέταρτη εμφανίζει τις ημιδιακυμάνσεις μεταξύ των παραπάνω σημείων. Τέλος, στην πέμπτη στήλη εμφανίζονται τα γραμμικά βάρη με βάση τα οποία θα γίνει η εκτίμηση της τιμής της συγκέντρωσης. Στο φύλλο «results» (Εικ.17) παρουσιάζονται οι συντεταγμένες των σημείων που έγινε εκτίμηση, η τιμή που προκύπτει για το σημείο αυτό και το σφάλμα της εκτίμησης. Στο κελί H1 εμφανίζεται η διάσταση του τετραγωνικού πλέγματος με το οποίο έγινε η διακριτοποίηση του κανάβου. Οι τελικές προβλέψεις που προέκυψαν παρουσιάζονται στον πίνακα 10 ενώ στην εικόνα 18 αποτυπώνεται κάνναβος αποτελούμενος από τα σημεία στα οποία έγινε πρόβλεψη. Στην εικόνα 19 παρουσιάζεται τρισδιάστατο γράφημα που αποτελείται από της συντεταγμένες της περιοχής (άξονες στο οριζόντιο επίπεδο) στην οποία έγινε γεωστατιστική ανάλυση και η τιμή της συγκέντρωσης V (ppm) (κατακόρυφος άξονας) που εκτιμήθηκε στα σημεία της εικόνας 18. Παρατηρούνται πολλά στα οποία η τιμή της συγκέντρωσης είναι μηδενική και αυτό οφείλεται στο γεγονός πως δεν υπάρχει πρόβλεψη στο συγκεκριμένο σημείο.

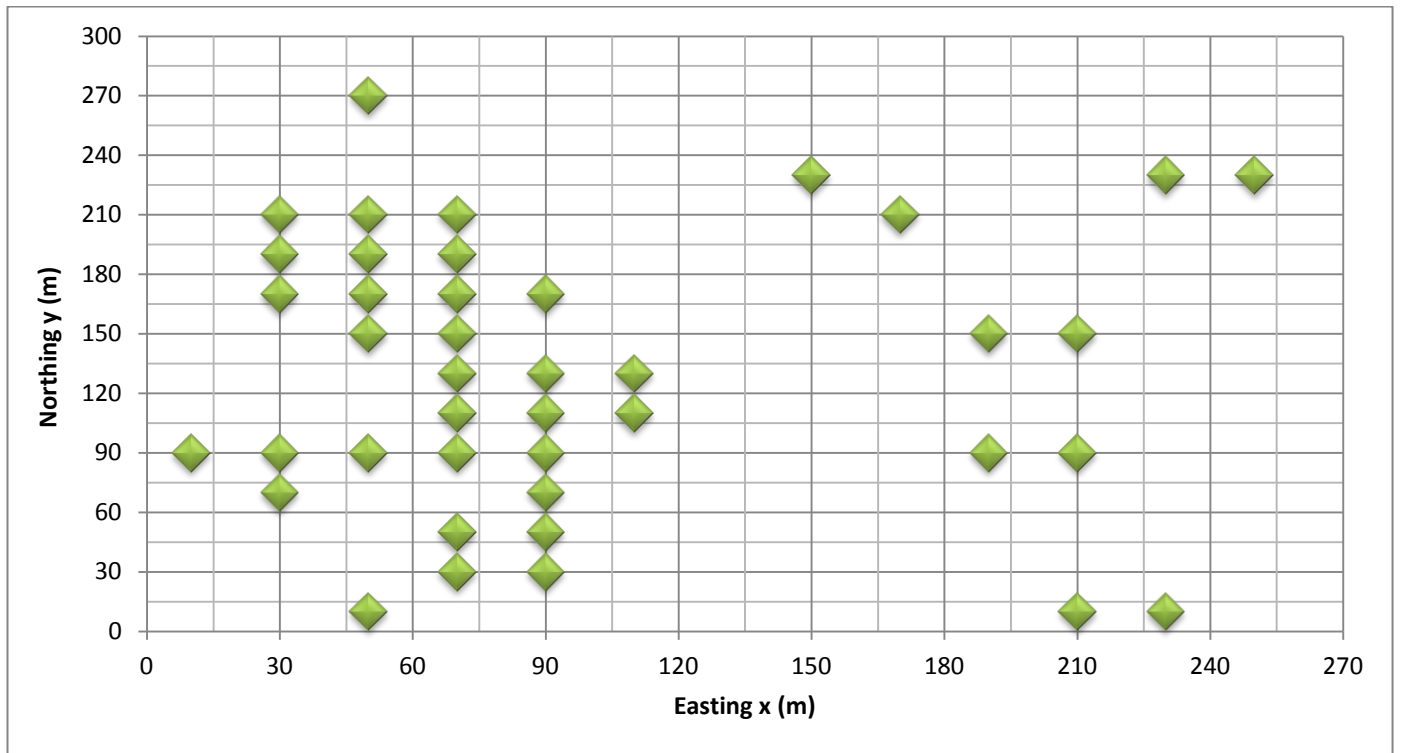
	A	B	C	D	E	F	G
	X	Y	Distance(prediction and sample point)	Semivar.(prediction and sample point)	Weights		
	10.00	90.00	1.00	12575.28	0.8408		
	10.00	90.00	5.39	46091.07	0.1592		
				1.00	2744.5639		
	30.00	70.00	2.24	23946.30	0.6052		
	30.00	70.00	5.10	44418.95	0.1779		
	30.00	70.00	6.08	49924.75	0.2169		
				1.00	2518.8473		
	30.00	90.00	2.83	28802.82	0.5314		
	30.00	90.00	4.47	40540.39	0.3422		
	30.00	90.00	7.07	54814.38	0.1263		
				1.00	4666.9986		
	30.00	170.00	1.00	12575.28	0.8851		
	30.00	170.00	6.00	49487.01	0.1149		
				1.00	5068.8678		
	30.00	190.00	2.00	21907.93	0.6117		
	30.00	190.00	3.16	31386.23	0.3883		
				1.00	3437.5468		
	30.00	210.00	1.41	16582.85	0.9071		
	30.00	210.00	5.39	46091.07	0.0929		
				1.00	11214.0517		
	50.00	10.00	1.41	16582.85	0.6979		

Εικόνα 16 Φύλλο επεξεργασίας "krig"

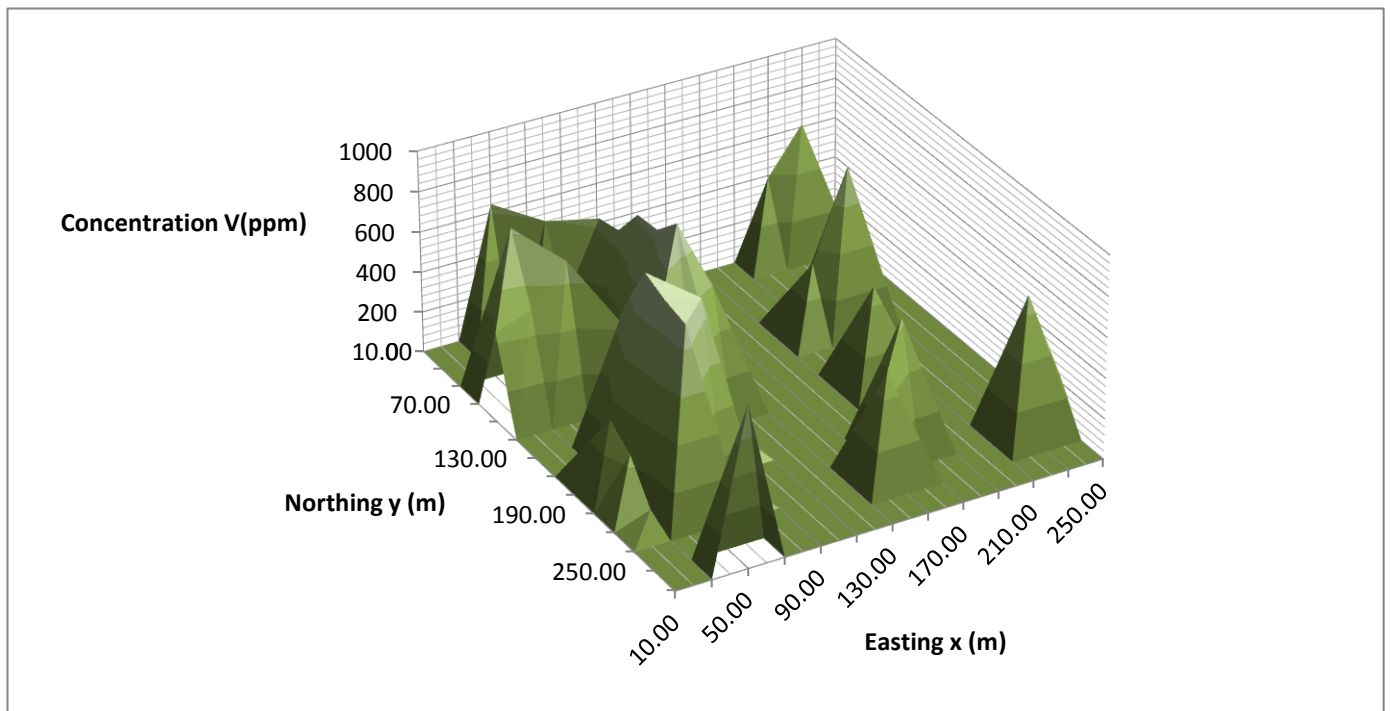
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	x	y	predicted value	prediction error			grid:	20.00								
1	10.00	90.00	443.61	143.72												
2	30.00	70.00	823.73	189.06												
3	30.00	90.00	506.35	201.92												
4	30.00	170.00	322.42	147.94												
5	30.00	190.00	241.20	170.37												
6	30.00	210.00	62.09	174.76												
7	50.00	10.00	641.54	159.68												
8	50.00	90.00	698.36	185.20												
9	50.00	150.00	742.82	152.84												
10	50.00	170.00	984.16	196.22												
11	50.00	190.00	936.07	181.84												
12	50.00	210.00	907.85	145.14												
13	50.00	270.00	792.82	184.14												
14	70.00	30.00	591.96	164.56												
15	70.00	50.00	278.87	148.55												
16	70.00	90.00	88.71	142.74												
17	70.00	110.00	424.08	181.43												
18	70.00	130.00	645.42	204.18												
19	70.00	150.00	704.33	180.96												
20	70.00	170.00	725.04	162.58												
21	70.00	190.00	897.77	140.58												
22	70.00	210.00	131.58	203.41												
23	90.00	30.00	180.27	165.57												
24	90.00	50.00	640.61	146.99												
25	90.00	70.00	666.60	184.58												
26	90.00	90.00	826.45	157.67												



Εικόνα 17 Φύλλο επεξεργασίας "results"



Εικόνα 18 Κάνναβος με τα σημεία προβλέψεων



Εικόνα 19 Διάγραμμα των προβλέψεων συναρτήσει της θέσης τους

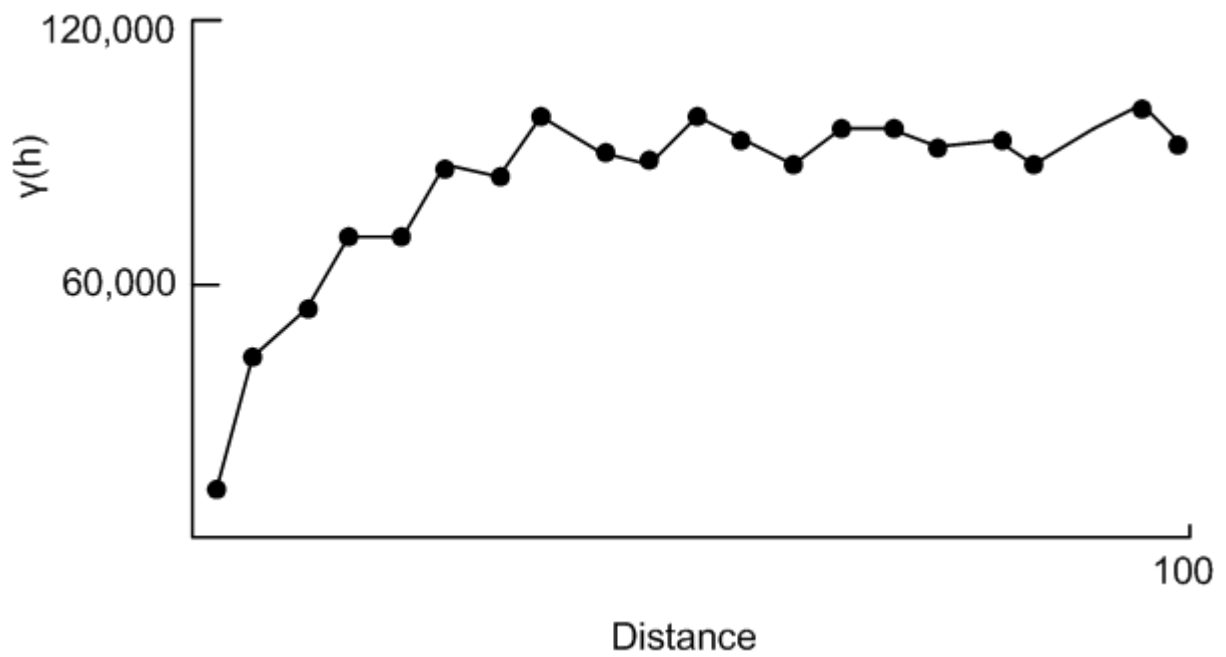
2.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Στην συγκεκριμένη ενότητα γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν για τον υπολογισμό των ισοτροπικών πειραματικών ημιβαριογραμμάτων, από την εκτέλεση του κώδικα *semivariogram* στο περιβάλλον της VBA, με τα αντίστοιχα που παρουσιάζονται στο βιβλίο *An Introduction to Applied Geostatistics* για δυο διαφορετικά μήκη συσχέτισης (*lag*). Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η επιβεβαίωση της ορθότητας του κώδικα με βάση τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου βιβλίου.

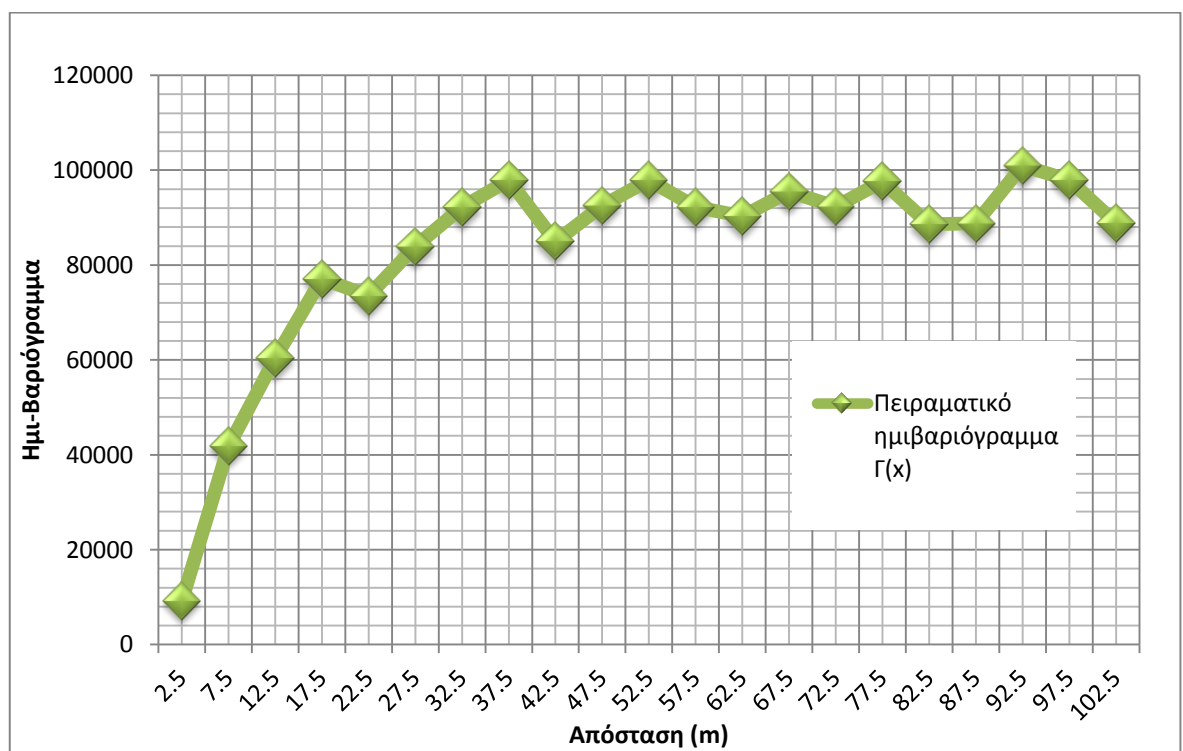
Για το πρώτο μήκος συσχέτισης το οποίο ισούται με 5 m, φαίνεται πως οι τιμές που υπολογίστηκαν από τον κώδικα *semivariogram* (Πίν.12) είναι πολύ κοντά στις τιμές που υπολόγισαν οι συγγραφείς του βιβλίου (Πίν. 11) για κοντινές αποστάσεις, καθώς οι συγγραφείς δεν χρησιμοποιούν σταθερό βήμα αποστάσεων για τον υπολογισμό του πειραματικού ημιβαριογράμματος, σε αντίθεση με τον συγκεκριμένο κώδικα που υπολογίζει το ημι-βαριόγραμμα με σταθερές αποστάσεις (*lag*). Στις εικόνες 20 και 21 απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις των δεδομένων των παραπάνω πινάκων οι οποίες επιβεβαιώνουν πως οι αποκλίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων είναι πολύ μικρές.

Ομοίως και για το δεύτερο μήκος συσχέτισης (*lag*=10 m) οι τιμές είναι πάρα πολύ κοντά. Από τους πίνακες 13 και 14 παρατηρείται πως για τις δύο πρώτες αποστάσεις υπάρχουν διαφορετικό πλήθος δειγμάτων με μεγάλη διαφορά στους δύο αριθμούς. Αντίθετα για τις ίδιες αποστάσεις οι τιμές των πειραματικών ημιβαριογραμμάτων (Εικ.22, Εικ.23) είναι πολύ κοντά μεταξύ τους. Για τις υπόλοιπες αποστάσεις οι τιμές αποκλίνουν ελάχιστα και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα για το πρώτο μήκος συσχέτισης καθιστά σωστό τον κώδικα.

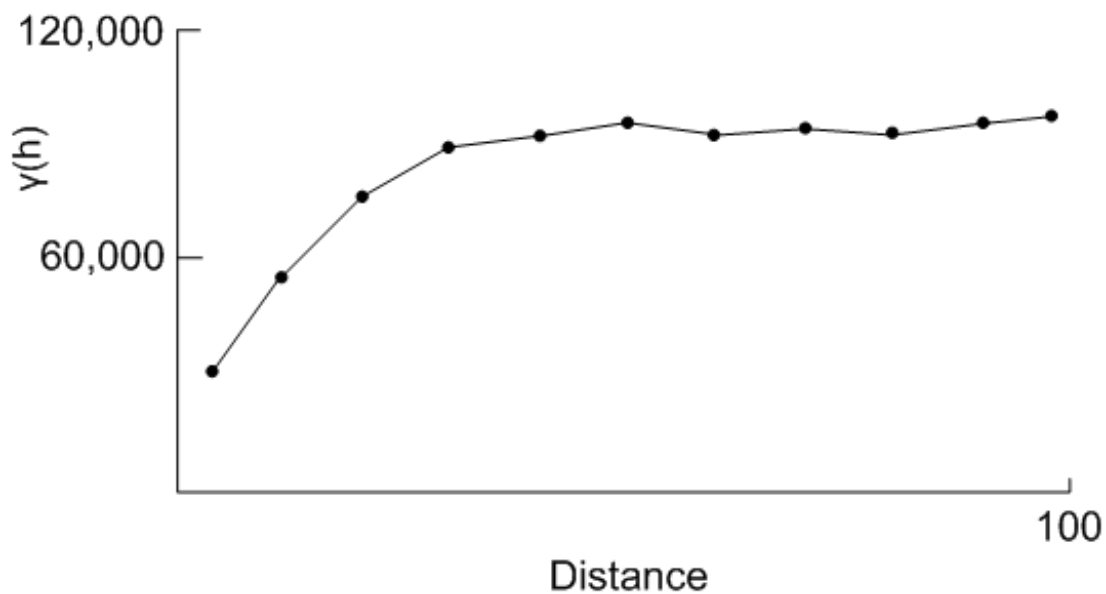
Οι συγγραφείς του βιβλίου *Applied Geostatistics* , με βάση το οποίο έγινε έλεγχος των πειραματικών ημιβαριογραμμάτων, κάνουν εφαρμογή του κανονικού Kriging χωρίς να λάβουν υπόψη την πιθανότητα ανισοτροπίας μόνο για ένα σημείο προκειμένου να παρουσιάσουν τον τρόπο λειτουργίας αυτού. Το γεγονός αυτό καθιστά αναξιόπιστη οποιαδήποτε σύγκριση με τα αποτελέσματα του κώδικα “prediction” και η επιβεβαίωση της ορθότητας του κώδικα γίνεται στο επόμενο κεφάλαιο με την σύγκριση των αποτελεσμάτων του κώδικα και του εμπορικού πακέτου Surpac.



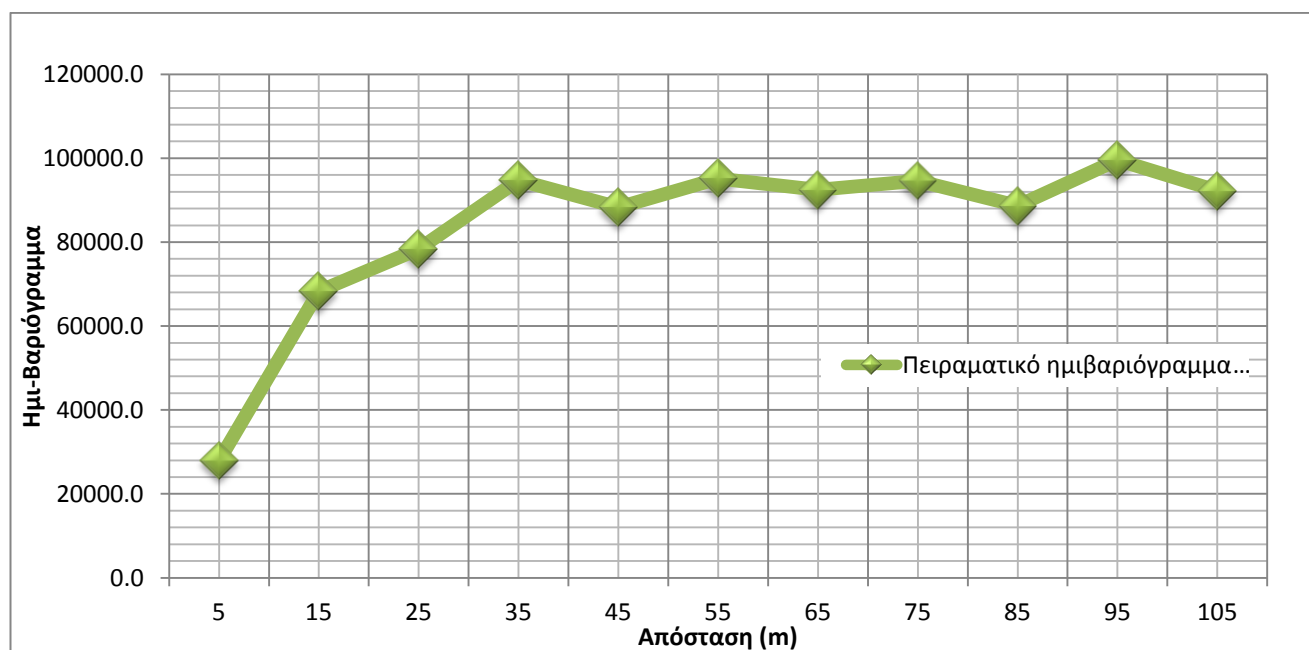
Εικόνα 20 Ημιβαριόγραμμα (lag=5m) (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989)



Εικόνα 21 Ημιβαριόγραμμα (lag=5m) από τον κώδικα "semivariogram"



Εικόνα 22 Ημιβαριόγραμμα (lag=10m) (ISAKS & SRIVASTAVA, 1989)



Εικόνα 23 Ημιβαριόγραμμα (lag=10m) από τον κώδικα "semivariogram"

3 Γεωστατιστική ανάλυση δεδομένων πεδίου (του λιγνιτικού κοιτάσματος)

Σκοπός του συγκεκριμένου κεφαλαίου της εργασίας είναι ο προσδιορισμός του πάχους του κοιτάσματος, του συντελεστή SR καθώς και τα υψόμετρα της ανώτερης τοπογραφίας με βάση τα δεδομένα από 83 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που έγιναν. Η τρέχουσα σχέση αποκάλυψης SR (Γαλετάκης, 2017) ορίζεται ως ο λόγος του πάχους των υπερκείμενων πετρωμάτων προς το πάχος του κοιτάσματος.

$$SR = \frac{\text{Πάχος υπερκείμενων πετρωμάτων (m)}}{1,2 \cdot \text{πάχος λιγνίτη (m)}} \quad (4.1)$$

3.1 Παρουσίαση και επιλογή δεδομένων

Τα αρχικά δεδομένα εμφανίζονται στο φύλλο DR_data_v1 (Εικ.24) του αρχείου Excel με όνομα Drillhole_data_2018_SR_final και αποτελούνται από τον αριθμό (Hole ID) και τις τρεις συντεταγμένες (X,Y,Z) της κάθε γεώτρησης, το συνολικό βάθος της γεώτρησης (M-Depth), το πάχος των υπερκείμενων πετρωμάτων (στην πρώτη γραμμή της στήλης d για κάθε γεώτρηση), το πάχος του λιγνίτη (στη δεύτερη γραμμή της στήλης d) και ο συντελεστής SR. Στο φύλλο “data” (Εικ.25) τα δεδομένα απλοποιήθηκαν με την χρήση του κώδικα “simplify_data”, ο οποίος αντιστοιχεί στη φόρμα Simplify Data.

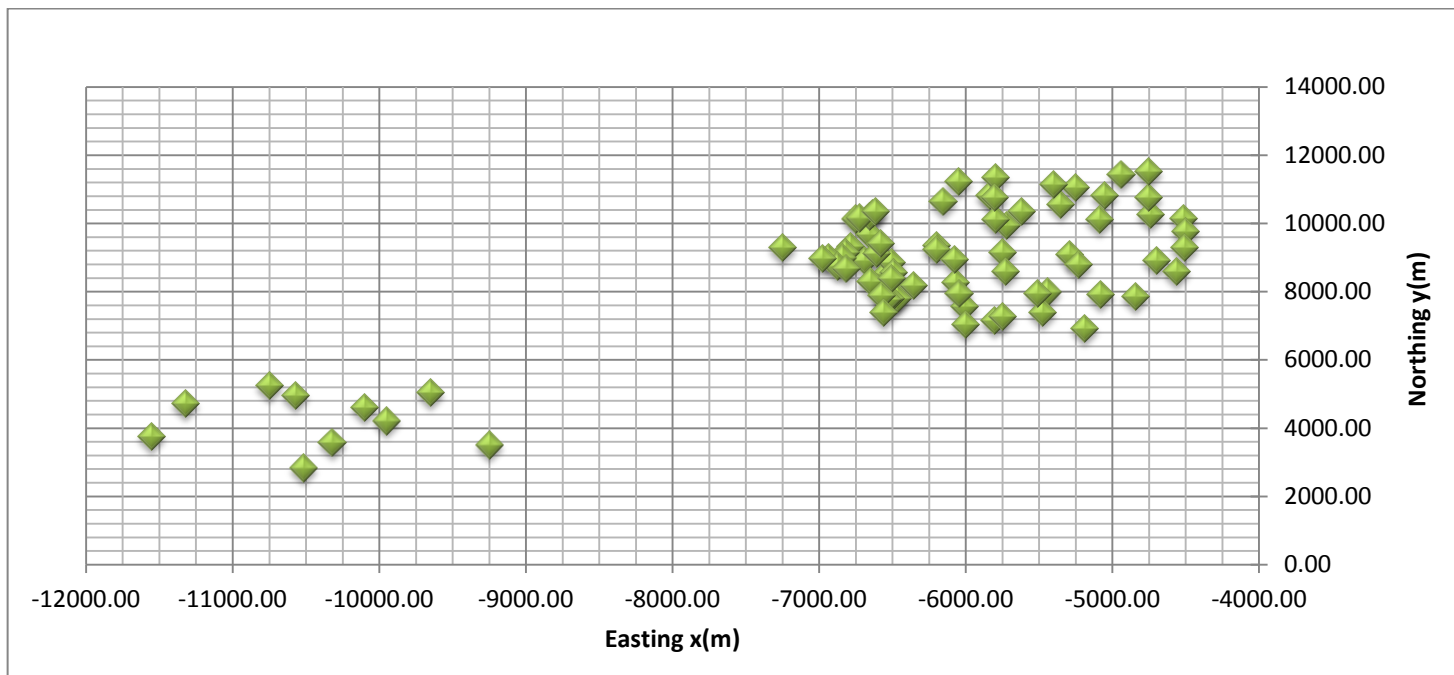
Από τα αρχικά δεδομένα απορρίφθηκαν οι τιμές από δέκα δειγματοληπτικές γεωτρήσεις καθώς βρίσκονται μακριά από τις υπόλοιπες και αποτελούν έναν δεύτερο πληθυσμό όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό και στην εικόνα 26. Οι τιμές από αυτές τις γεωτρήσεις απορρίφθηκαν καθώς βρίσκονται εκτός της περιοχής εκμετάλλευσης και σε αρκετά μεγάλη απόσταση, (4 φορές μεγαλύτερη από την ακτίνα συσχέτισης του βαριογράμματος) ώστε να επηρεάσουν τις τελικές προβλέψεις (Εικ. 27).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Hole ID	X	Y	Z	M-Depth	From	To	d	SR	SR	
2	525	-5750	9150	59.5	69	0	50.6	50.6	4.583333	4.583333	
3	525	-5750	9150	59.5	69	50.6	59.8	9.2	0	0	
4	530	-6657.8	9675.8	71.2	147	0	119	119	7.083333	7.083333	
5	530	-6657.8	9675.8	71.2	147	119	133	14	0	0	
6	1348	-6632.62	10282.22	60.86	53	0	45	45	9.375	9.375	
7	1348	-6632.62	10282.22	60.86	53	45	49	4	0	0	
8	1349	-6654.99	10208.84	56.06	50	0	38	38	5.277778	5.277778	
9	1349	-6654.99	10208.84	56.06	50	38	44	6	0	0	
10	1350	-6749.89	10120.7	69.99	57	0	39	39	3.611111	3.611111	
11	1350	-6749.89	10120.7	69.99	57	39	48	9	0	0	
12	1351	-6724.71	10151.02	63.44	55	0	45	45	7.5	7.5	
13	1351	-6724.71	10151.02	63.44	55	45	50	5	0	0	
14	529	-5840	10806	114.9	122	0	90	90	4.6875	4.6875	
15	529	-5840	10806	114.9	122	90	106	16	0	0	
16	536	-5719	9932	61.4	72.5	0	57.5	57.5	6.388889	6.388889	
17	536	-5719	9932	61.4	72.5	57.5	65	7.5	0	0	
18	1260	-5730.4	8590	62.71	48.1	0	30.5	30.5	2.888258	2.888258	
19	1260	-5730.4	8590	62.71	48.1	30.5	39.3	8.8	0	0	
20	1301	-6065.6	8255.8	81.98	61.4	0	42	42	3.608247	3.608247	
21	1301	-6065.6	8255.8	81.98	61.4	42	51.7	9.7	0	0	
22	1344	-5794.53	10113.87	75.24	27	0	13	13	1.547619	1.547619	
23	1344	-5794.53	10113.87	75.24	27	13	20	7	0	0	
24	1346	-6616.8	10344.8	59.88	89	0	67	67	5.075758	5.075758	
25	1346	-6616.8	10344.8	59.88	89	67	78	11	0	0	
26	1347	-5085.3	10116.3	65.57	87	0	65	65	4.924242	4.924242	
27	1347	-5085.3	10116.3	65.57	87	65	76	11	0	0	
28	1370	-6153	10626.45	50.95	72	0	60	60	8.333333	8.333333	
29	1370	-6153	10626.45	50.95	72	60	66	6	0	0	
30	1373	-5616.1	10341.15	60	97	0	53	53	2.007576	2.007576	
	DR_data_v1	data	Ιστόγραμμα	Αποστάσεις x-y	Αποστάσεις SR	semivariogram SR	kriging SR	krig SR	help2		

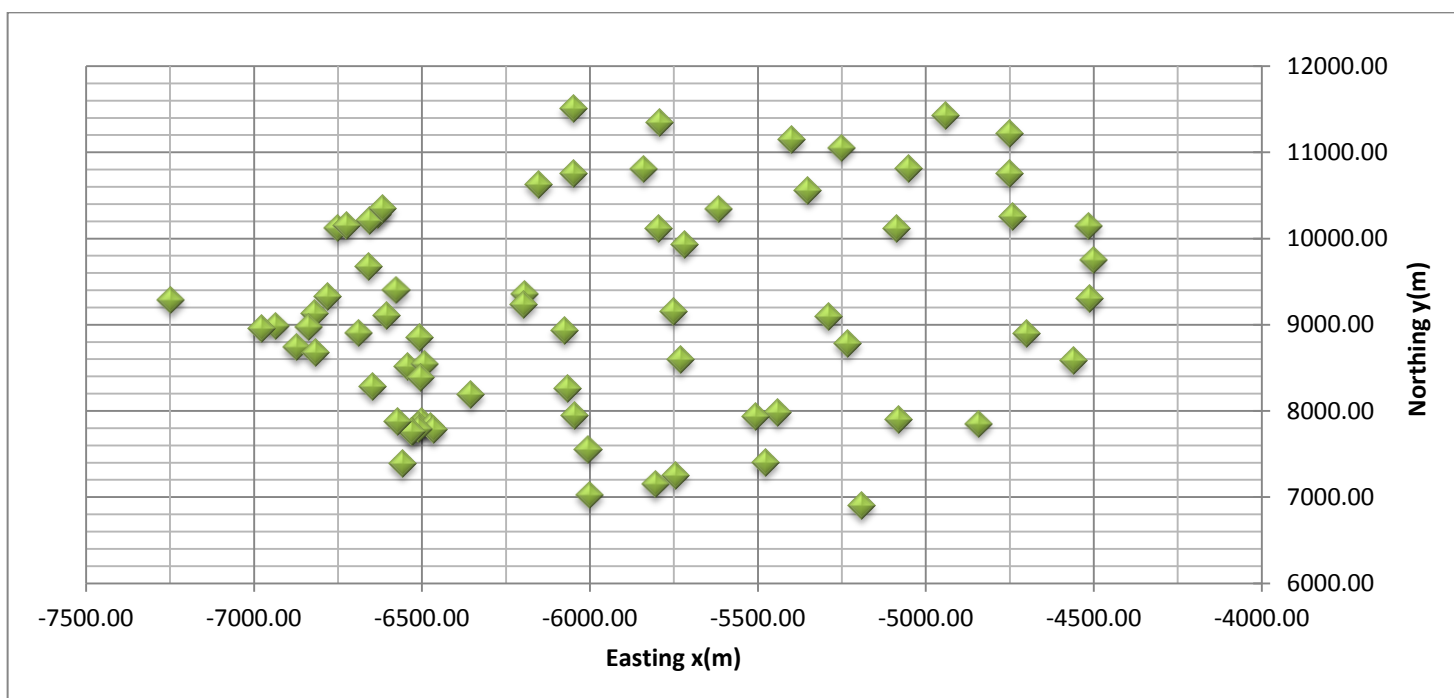
Εικόνα 24 Φύλλο επεξεργασίας "DR_data_v1"

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Hole ID	x	y	z	Ανώτερο σημείο λιγνίτη	Z άνω λιγνίτη	Κατώτερο σημείο λιγνίτη	Πάχος λιγνίτη d	SR	Κατώτερο σημείο γεώτρησης		
2	525.00	-5750.00	9150.00	59.50	50.60	8.90	59.80	9.20	4.58	69.00		
3	530.00	-6657.80	9675.80	71.20	119.00	-47.80	133.00	14.00	7.08	147.00		
4	1348.00	-6632.62	10282.22	60.86	45.00	15.86	49.00	4.00	9.38	53.00		
5	1349.00	-6654.99	10208.84	56.06	38.00	18.06	44.00	6.00	5.28	50.00		
6	1350.00	-6749.89	10120.70	69.99	39.00	30.99	48.00	9.00	3.61	57.00		
7	1351.00	-6724.71	10151.02	63.44	45.00	18.44	50.00	5.00	7.50	55.00		
8	529.00	-5840.00	10806.00	114.90	90.00	24.90	106.00	16.00	4.69	122.00		
9	536.00	-5719.00	9932.00	61.40	57.50	3.90	65.00	7.50	6.39	72.50		
10	1260.00	-5730.40	8590.00	62.71	30.50	32.21	39.30	8.80	2.89	48.10		
11	1301.00	-6065.60	8255.80	81.98	42.00	39.98	51.70	9.70	3.61	61.40		
12	1344.00	-5794.53	10113.87	75.24	13.00	62.24	20.00	7.00	1.55	27.00		
13	1346.00	-6616.80	10344.80	59.88	67.00	-7.12	78.00	11.00	5.08	89.00		
14	1347.00	-5085.30	10116.30	65.57	65.00	0.57	76.00	11.00	4.92	87.00		
15	1370.00	-6153.00	10626.45	50.95	60.00	-9.05	66.00	6.00	8.33	72.00		
16	1373.00	-5616.10	10341.15	60.00	53.00	7.00	75.00	22.00	2.01	97.00		
17	1377.00	-5288.17	9093.33	78.61	12.00	66.61	21.00	9.00	1.11	30.00		
18	1430.00	-5350.00	10550.00	24.50	107.00	-82.50	120.10	13.10	6.81	133.20		
19	506.00	-6499.38	7872.86	88.81	8.00	80.81	18.00	10.00	0.67	28.00		
20	511.00	-6510.00	7832.00	88.00	2.50	85.50	12.50	10.00	0.21	22.50		
21	513.00	-6781.10	9327.10	89.40	80.25	9.15	91.70	11.45	5.84	103.15		
22	653.00	-6687.00	8904.00	68.31	43.00	25.31	50.50	7.50	4.78	58.00		
23	654.00	-6820.00	9126.00	77.92	46.60	31.32	57.70	11.10	3.50	68.80		
24	655.00	-6836.00	8975.00	80.48	29.60	50.88	40.10	10.50	2.35	50.60		
25	656.00	-6934.00	8985.00	92.45	27.50	64.95	36.90	9.40	2.44	46.30		
26	658.00	-6874.00	8740.00	72.69	3.00	69.69	9.80	6.80	0.37	16.60		
27	489.00	-6473.90	7817.40	91.70	25.30	66.40	31.40	6.10	3.46	37.50		
28	500.00	-6465.80	7785.20	92.10	28.00	64.10	36.00	8.00	2.92	44.00		
	DR_data_v1	data	Ιστόγραμμα	Αποστάσεις x-y	Αποστάσεις SR	semivariogram SR	kriging SR	krig SR	help2			

Εικόνα 25 Φύλλο επεξεργασίας "data"



Εικόνα 26 Απεικόνιση γεωτρήσεων δειγματοληψίας



Εικόνα 27 Απεικόνιση γεωτρήσεων δειγματοληψίας που θα χρησιμοποιηθούν για τις τελικές προβλέψεις

3.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

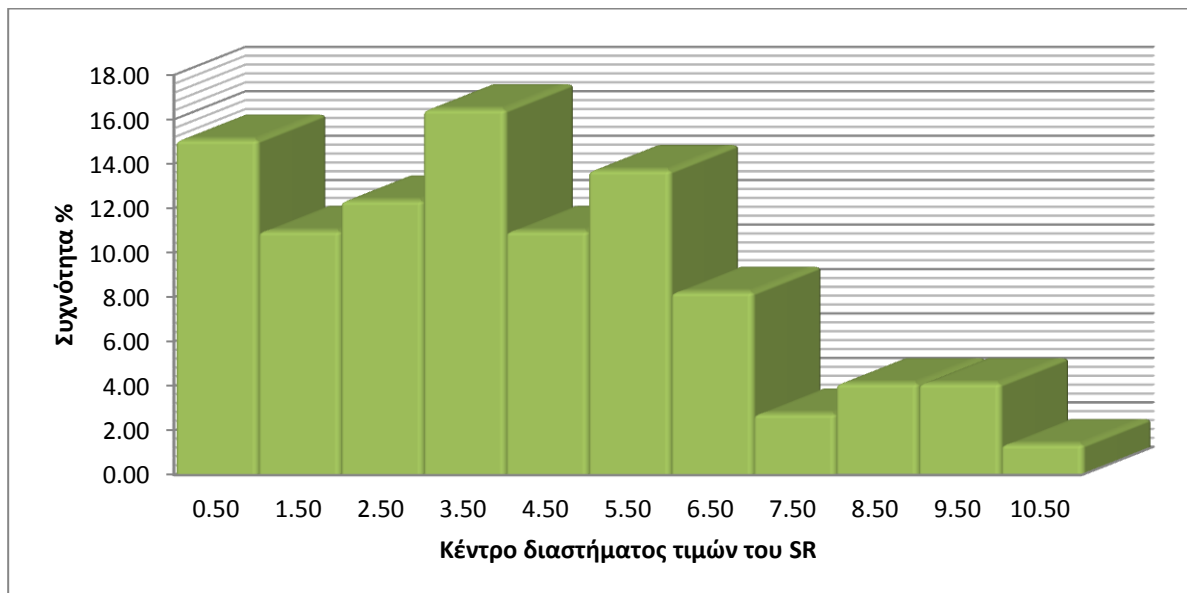
3.2.1 Εκτίμηση του SR

Αρχικά παρουσιάζονται τα κύρια στατιστικά μεγέθη (Πίν. 2) που χαρακτηρίζουν το τυχαίο πεδίο της σχέσης αποκάλυψης SR (Stripping Ratio). και ο πίνακας συχνοτήτων του πεδίου (Πίν. 15). Από το ιστόγραμμα συχνοτήτων (Εικ. 28) παρατηρείται πως το πεδίο δεν ακολουθεί κανονική κατανομή αλλά τείνει να προσεγγίζει μία λογαριθμική κανονική κατανομή και θα γίνει εκτίμηση των τιμών με Kriging με βάση την συγκεκριμένη κατανομή. Τα μεγέθη αυτά παράγονται με την χρήση της φόρμας με όνομα “Πίνακας Συχνοτήτων SR” η οποία βρίσκεται στο φύλλο «Ιστόγραμμα» και αντιστοιχεί στον κώδικα με όνομα `suxnohtes_SR`¹.

Πίνακας 2 Κύρια χαρακτηριστικά του τυχαίου πεδίου SR

Πλήθος δειγμάτων	73
Μέγιστη τιμή SR	10.167
Ελάχιστη τιμή SR	0.000
Μέση τιμή	3.997
Τυπική απόκλιση	2.576
Διασπορά	6.637

¹ Ο κώδικας `suxnohtes_SR` βρίσκεται στο Παράρτημα Β



Εικόνα 28 Ιστόγραμμα συχνοτήτων για το SR

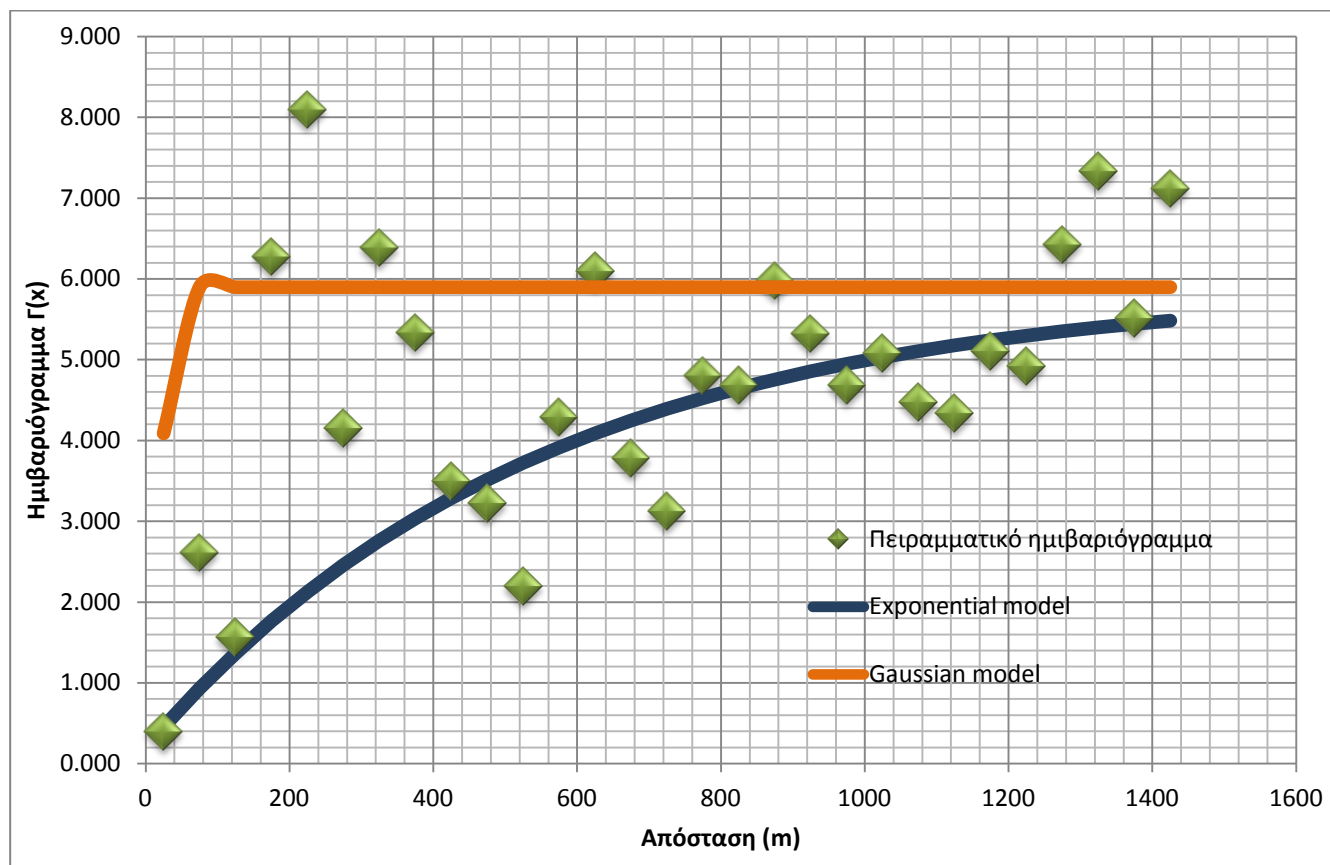
Στα επόμενα δύο φύλλα (Αποστάσεις x-y, Αποστάσεις SR) υπολογίζονται οι ευκλείδειες αποστάσεις μεταξύ των σημείων και τα τετράγωνα της διαφοράς των τιμών SR ομοίως με το βιβλίο επεξεργασίας με τη γεωστατιστική ανάλυση των δεδομένων για τη λίμνη Walker.

Στο επόμενο φύλλο (semivariogram SR) υπολογίζεται το πειραματικό ημιβαριόγραμμα καθώς και το εκθετικό και γκαουσιανό θεωρητικό μοντέλο προσαρμοσμένα στο πρώτο (Πίνακας 16, Είκ. 29). Ο υπολογισμός των τιμών για το πειραματικό ημιβαριόγραμμα γίνεται με την εκτέλεση του κώδικα `semivariogram_sr2` ο οποίος αντιστοιχεί στο κουμπί (`semivariogram3 for SR`) που βρίσκεται στο συγκεκριμένο φύλλο.

Ο κώδικας υπολογίζει 210 τιμές για το πειραματικό ημιβαριόγραμμα ($\text{lag}=50 \text{ m}$). Ο πίνακας 16 εμφανίζει τις πρώτες 29 τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος καθώς και των θεωρητικών μοντέλων για τις αντίστοιχες αποστάσεις.

² Ο κώδικας `semivariogram_sr` βρίσκεται στο Παράρτημα Β

³ Ο κώδικας υπολογίζει μόνο το πειραματικό ημι-βαριόγραμμα και όχι τα θεωρητικά μοντέλα



Εικόνα 29 Ημιβαριόγραμμα SR (lag=50 m)

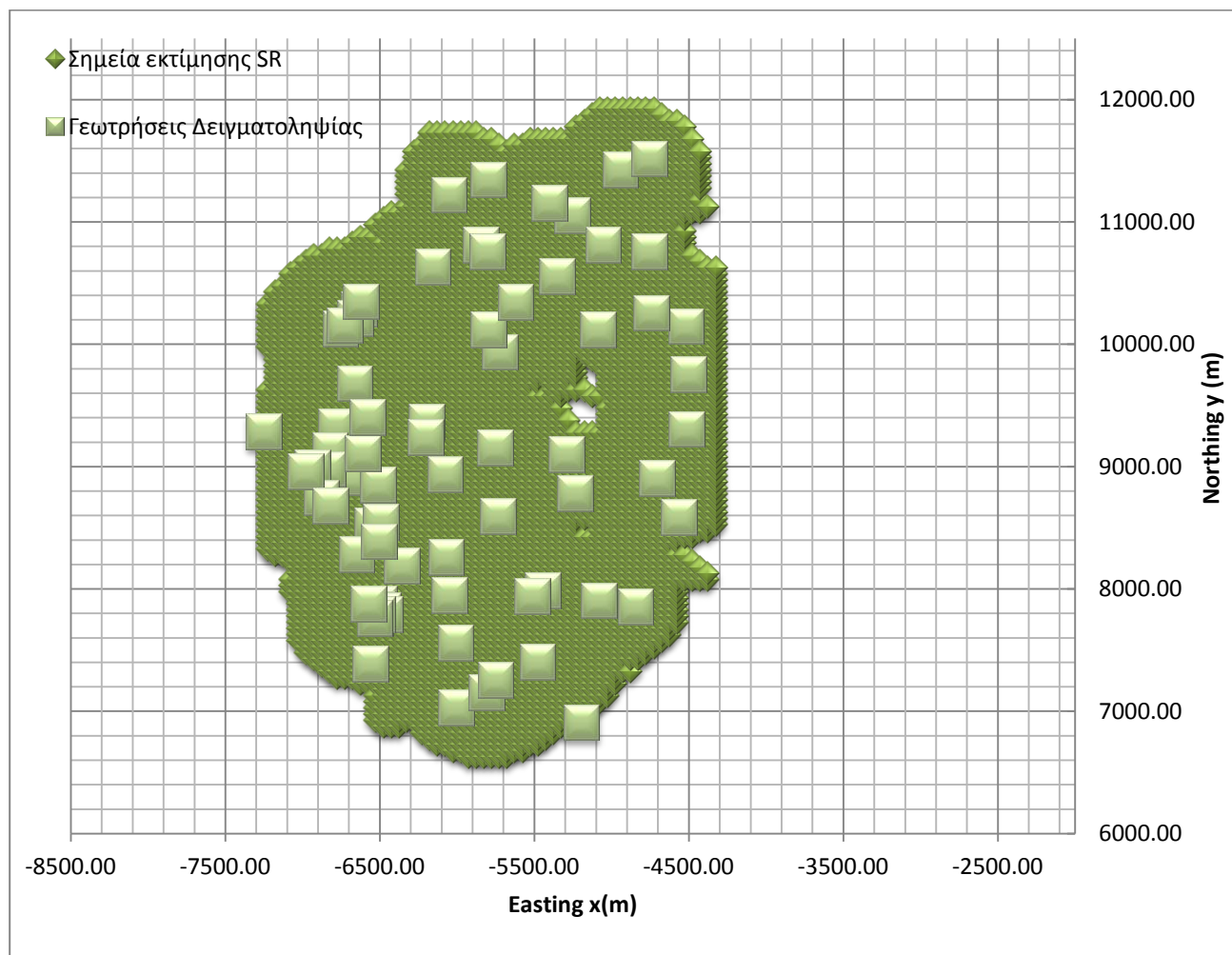
Από το εκθετικό μοντέλο ημιβαριογράμματος προκύπτουν οι παράμετροι με βάση τις οποίες υπολογίζονται οι ημιδιακυμάνσεις μεταξύ των δειγμάτων με τη χρήση της φόρμας “Semivariances between sample points” στο φύλλο “kriging SR”:

- Nugget=0.2
- Sill=5.7
- Range=545

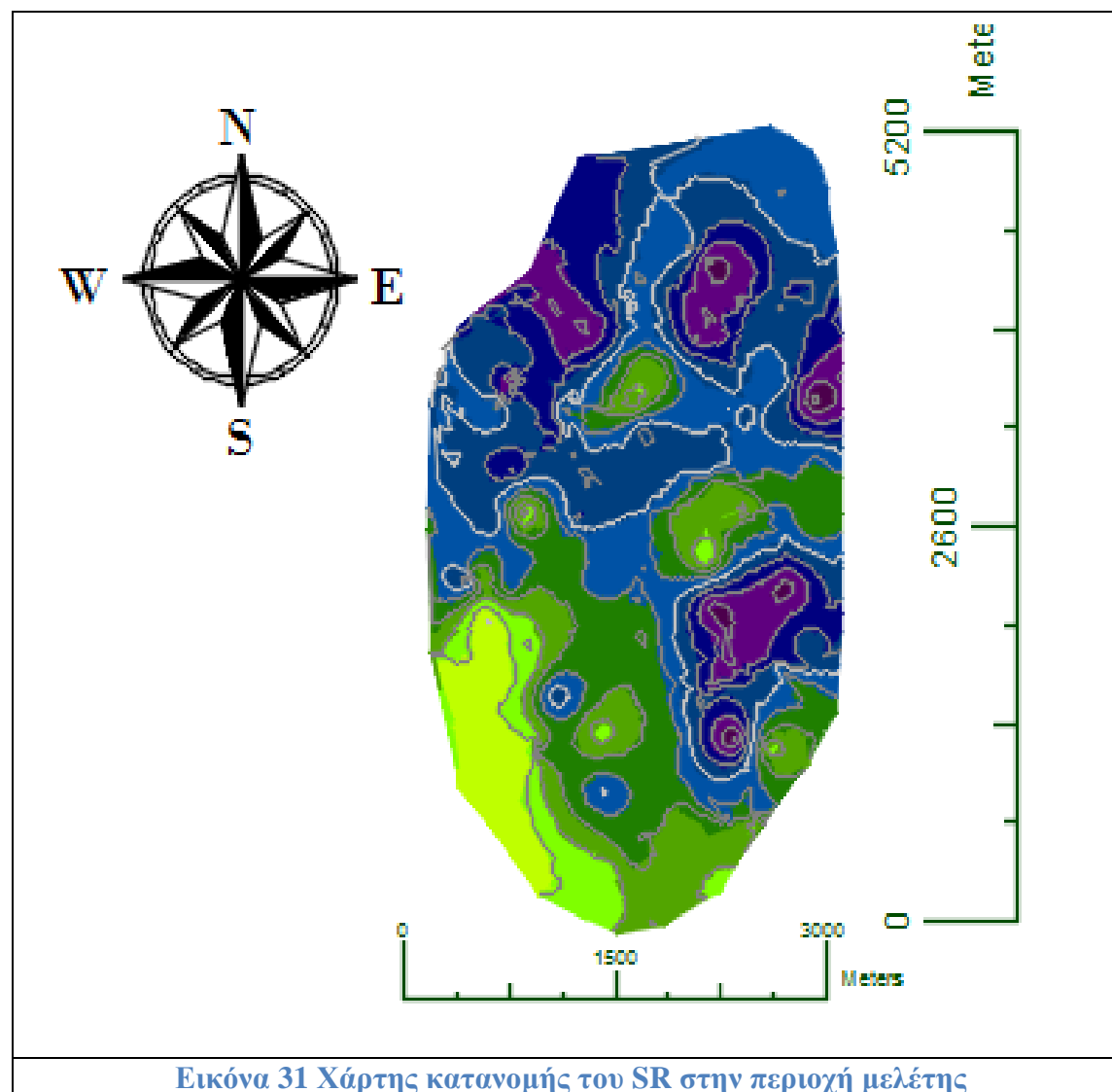
Τα σημεία στα οποία έγινε εκτίμηση της ιδιότητας SR, με βάση δύο σημεία υποστήριξης για κάθε ένα, είναι συνολικά 4.916 σημεία. Στην εικόνα 30 παρατηρούνται πως υπάρχουν κάποια σημεία για τα οποία δεν έχουμε πρόβλεψη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως τα κεντρικά σημεία των συγκεκριμένων blocks έχουν λιγότερα από δύο σημεία υποστήριξης σε απόσταση μικρότερη ή και ίση από την ακτίνα συσχέτισης. Ο χάρτης⁴ της εικόνας 31 δείχνει τις τιμές του SR σε όλη την έκταση του κοιτάσματος με βάση τη χρωματική κλίμακα του πίνακα 3. Παρατηρείται πως οι τιμές του SR είναι χαμηλές στο νοτιοανατολικό τμήμα του κοιτάσματος



⁴ Τα βήματα για τον σχεδιασμό των ισοπαχών χαρτών με χρωματική κλίμακα παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα Α

και αυξάνονται προς τον Βορρά το οποίο σημαίνει πως το κοίτασμα του λιγνίτη τείνει να βυθίζεται από το Νότο προς τον Βορρά ή πως το τοπογραφικό ανάγλυφο αλλάζει.



Εικόνα 30 Σημεία πρόβλεψης SR (σχέσης αποκάλυψης)



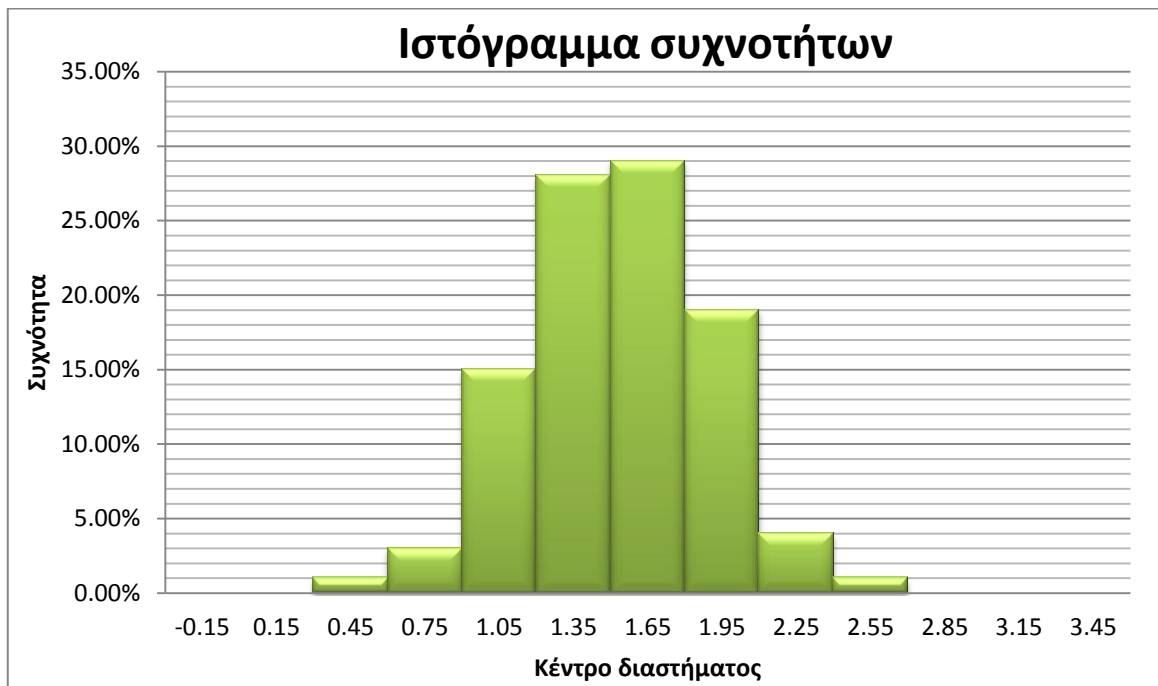
SR Table				
Num.	From	To	Area	Color
1	0.000	1.000	747204.200	
2	1.000	2.000	599077.850	
3	2.000	3.000	1387025.950	
4	3.000	4.000	2060851.090	
5	4.000	5.000	2759115.350	
6	5.000	6.000	2662422.300	
7	6.000	7.000	1471932.720	
8	7.000	8.000	611671.470	
9	8.000	9.000	117913.640	
10	9.000	10.000	2199.030	
11	10.000	11.000	16.300	

3.2.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Όπως αναφέρεται στο προηγούμενο κεφάλαιο η επαλήθευση της σωστής λειτουργίας του κώδικα “prediction” , ο οποίος οδηγεί στην εκτίμηση των τιμών, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του εμπορικού προγράμματος Geovia Surpac. Πρόκειται για ένα από τα πιο διαδεδομένα λογισμικά για μεταλλευτικές και γεωλογικές εφαρμογές παρέχοντας πολλές δυνατότητες στους χρήστες.

Για την σύγκριση των αποτελεσμάτων του κώδικα που αναπτύχθηκε στη Visual Basic υπολογίστηκε το απόλυτο σφάλμα για κάθε σημείο στο οποίο έγινε πρόβλεψη της τιμής SR. Έπειτα υπολογίστηκαν τα κύρια στατιστικά χαρακτηριστικά (Πίν.4) και κατασκευάστηκε το ιστόγραμμα συχνοτήτων των απόλυτων σφαλμάτων (Εικ.32). Το ιστόγραμμα που προκύπτει ακολουθεί κανονική κατανομή και βγαίνει το συμπέρασμα πως περίπου το 80% των τιμών που προκύπτουν από τον κώδικα “prediction” απέχουν από 1.2 έως 2.1 με αυτές από το λογισμικό Surpac. Αν και η ιδανική τιμή αυτής της απόκλισης θα ήταν η μηδενική, τα αποτελέσματα του κώδικα κρίνονται ικανοποιητικά.

Πίνακας 4 Κύρια στατιστικά χαρακτηριστικά των απόλυτων σφαλμάτων	
Ελάχιστη τιμή	-0.300
Μέγιστη τιμή	3.480
Μέση τιμή	1.515
Τυπική απόκλιση	0.379
Διασπορά	0.144



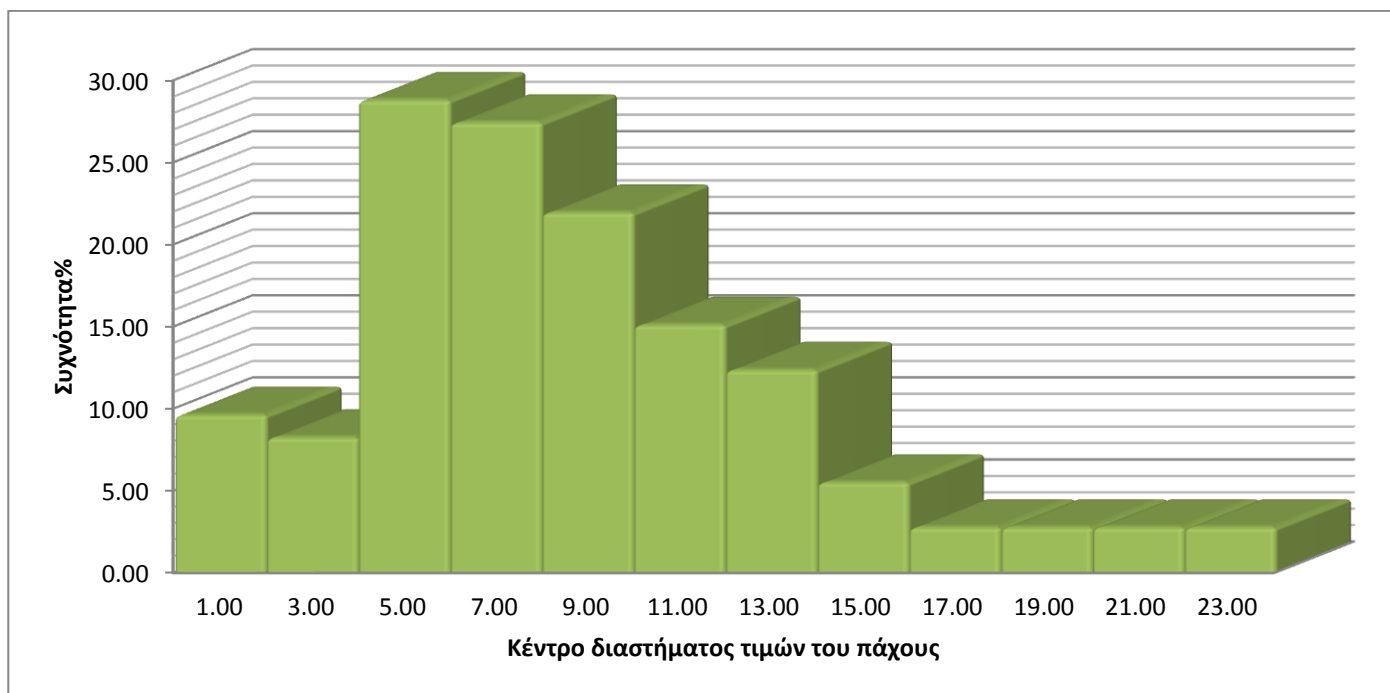
Εικόνα 32 Ιστόγραμμα απόλυτων σφαλμάτων μεταξύ των προβλέψεων

3.2.3 Εκτίμηση του πάχους του λιγνίτη

Ομοίως με την ιδιότητα SR, υπολογίστηκε το πάχος του λιγνίτη χρησιμοποιώντας τους ίδιους κώδικες που χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη των τιμών του SR. Τα κύρια χαρακτηριστικά του τυχαίου πεδίου αποτελούνται από το πλήθος των δειγμάτων, την τυπική απόκλιση τη διασπορά, τη μέγιστη, ελάχιστη και μέση τιμή του πεδίου (Πίν.5). Το ιστόγραμμα συχνοτήτων (Πίν.17) των αρχικών δεδομένων παρουσιάζεται στην εικόνα 33.

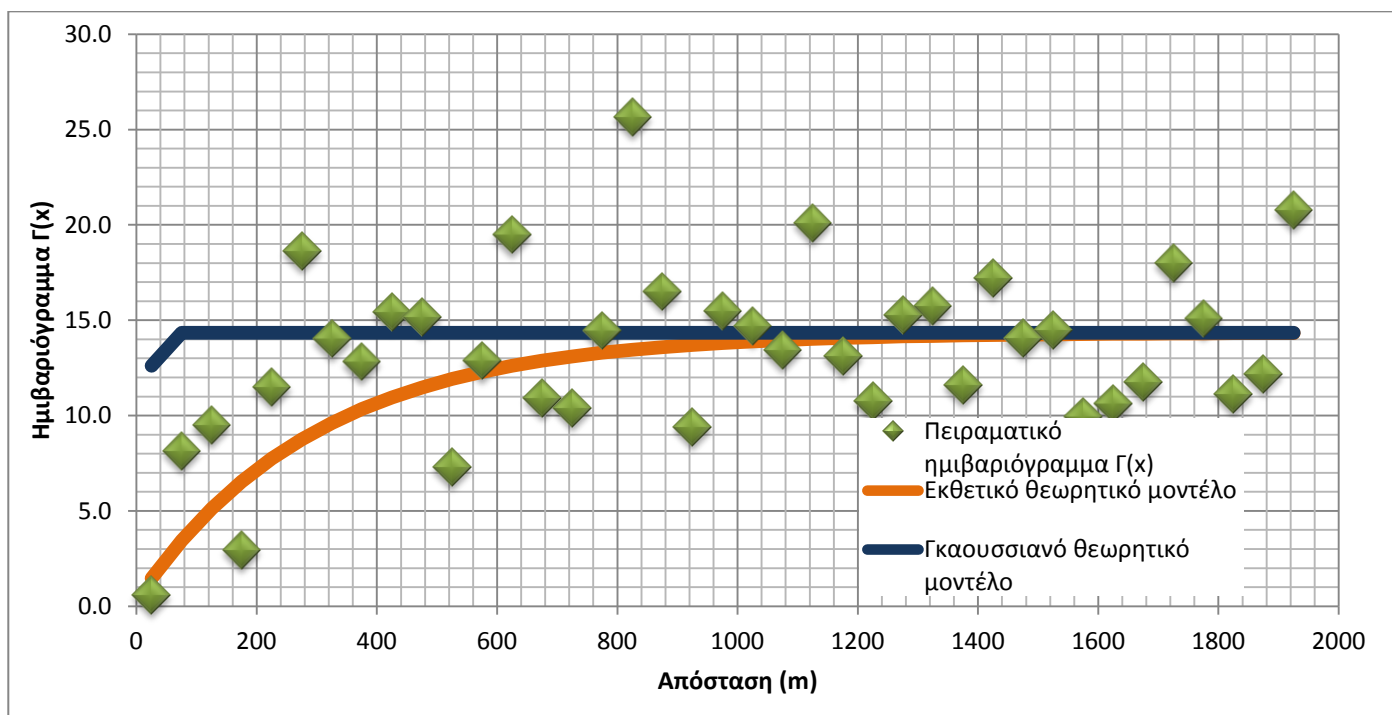
Πίνακας 5 Κύρια χαρακτηριστικά τυχαίου πεδίου του πάχους

Πλήθος δειγμάτων	73
Μέγιστη τιμή πάχους d	22.00
Ελάχιστη τιμή πάχους d	0.000
Μέση τιμή	8.564
Τυπική απόκλιση	4.018
Διασπορά	16.141



Εικόνα 33 Ιστόγραμμα συχνοτήτων για το πάχος

Τα δεδομένα που προέκυψαν από τον κώδικα `seminariogramma_d` για το πειραματικό ημι – βαριόγραμμα δίνονται στον πίνακα 18 ο οποίος περιέχει και τις τιμές των θεωρητικών μοντέλων (εκθετικό και γκαουσιανό) οι οποίες δεν υπολογίστηκαν με την χρήση του παραπάνω κώδικα αλλά με την εισαγωγή της κατάλληλης εξίσωσης ως συνάρτηση στο Excel. Το πειραματικό ημιβαριόγραμμα με τα προσαρμοσμένα σε αυτό θεωρητικά μοντέλα δίνονται στην εικόνα 34.



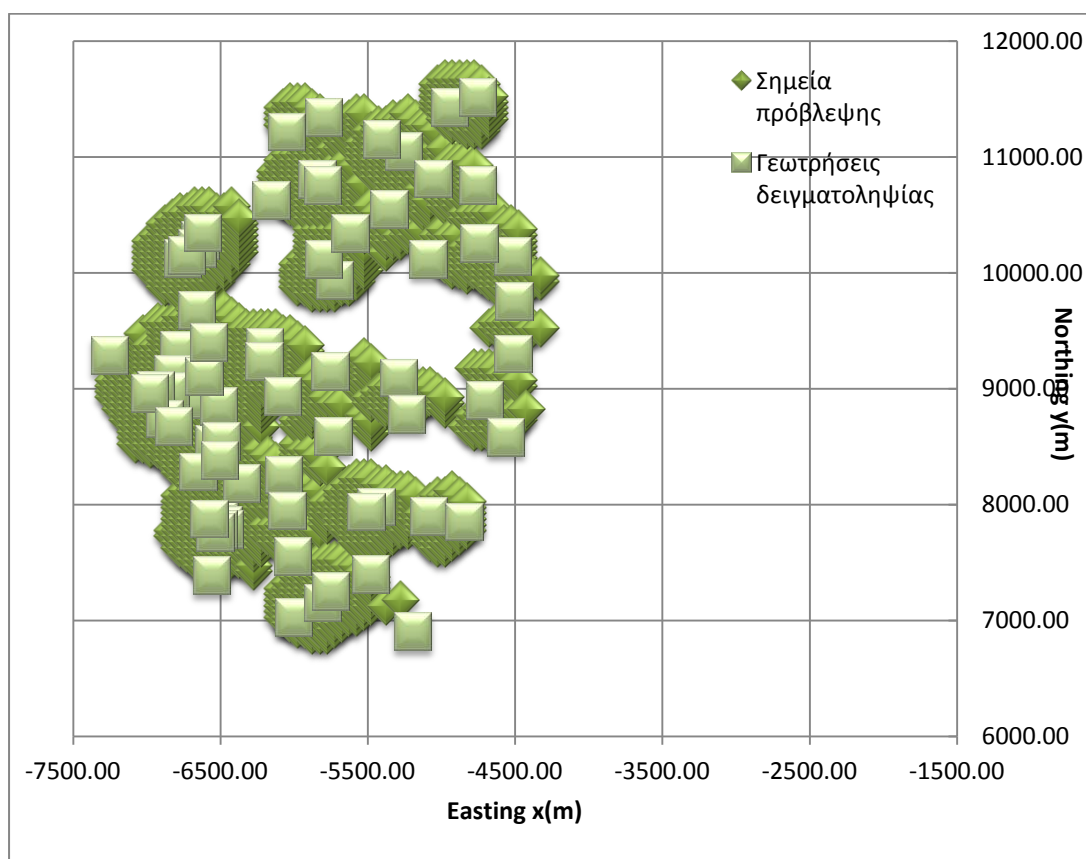
Εικόνα 34 Ημιβαριόγραμμα d (lag=50 m)

Οι παράμετροι που προκύπτουν από το εκθετικό μοντέλο ημιβαριογράμματος, οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν για το Kriging, είναι:

- Nugget=0.35
- Sill=14
- Range=300

Ο αριθμός των σημείων για τα οποία υπάρχει πρόβλεψη του πάχους (Εικ.35) είναι εμφανώς πολύ μικρότερος σε σχέση με τα 4916 σημεία που εκτιμήσαμε το SR. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η ακτίνα συσχέτισης (range) που προέκυψε από το ημι – βαριόγραμμα του πάχους είναι αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη ακτίνα που

προκύπτει από το ημι – βαριόγραμμα για το SR.. Με άλλα λόγια, αυτό σημαίνει πως η μέγιστη απόσταση ενός γνωστού σημείου από το σημείο εκτίμησης, προκειμένου το πρώτο να επηρεάζει την τιμή του πάχους του δεύτερου, είναι μικρότερη από την αντίστοιχη μέγιστη απόσταση δύο σημείων που επηρεάζουν την τιμή του SR. Επίσης ένας άλλος λόγος ο οποίος οδηγεί σε λιγότερες προβλέψεις για το πάχος είναι πως δεν ικανοποιείται η προϋπόθεση των δύο σημείων υποστήριξης εντός της ακτίνας συσχέτισης προκειμένου να εκτιμηθεί η τιμή ενός σημείου .

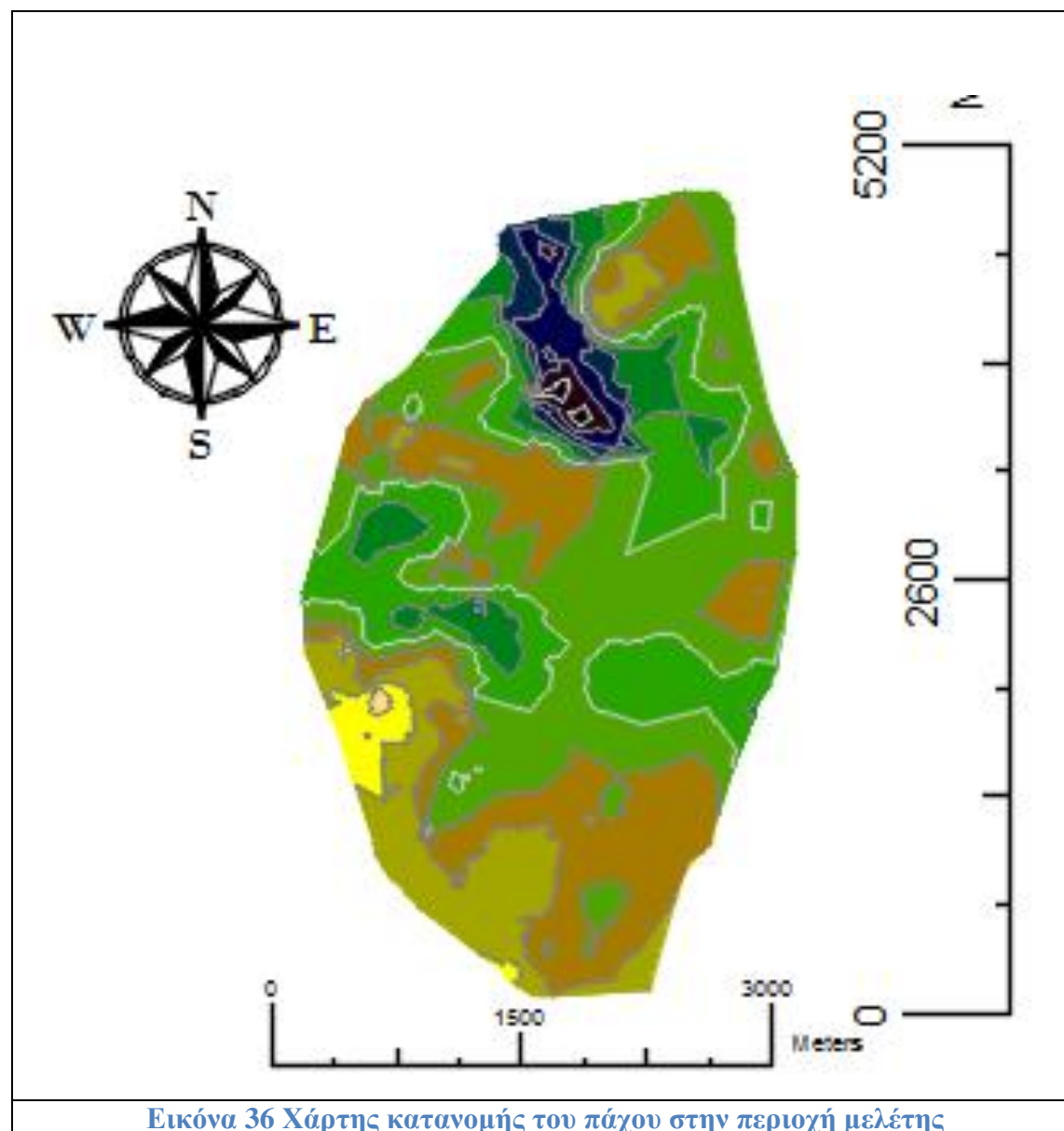


Εικόνα 35 Σημεία πρόβλεψης του πάχους (d) του λιγνίτη

Παρατηρώντας τον χάρτη ισοπαχών του κοιτάσματος (Εικ.36), γίνεται αντιληπτό πως τα μεγαλύτερα πάχη του κοιτάσματος βρίσκονται στο βόρειο τμήμα του κοιτάσματος. Το πάχος ελαττώνεται στη νότια πλευρά και ιδιαίτερα στη νοτιοανατολική εκεί όπου εκτιμήθηκαν χαμηλές τιμές και για το SR. Ένας τρόπος προσδιορισμού των γεωλογικών αποθεμάτων γίνεται με βάση τον πίνακα 6 στον οποίο εμφανίζεται η έκταση που καταλαμβάνει το κοιτάσμα για τα διαφορετικά πάχη. Το άθροισμα των

γινομένων του μέσου πάχους κάθε κλάσης του πάχους με την αντίστοιχη έκταση ισούται με τα μεταλλευτικά αποθέματα τα οποία εκτιμώνται $91.656.648,96 \text{ }^5\text{m}^3$.

⁵ Πρόκειται για μία πρώτη εκτίμηση των μεταλλευτικών αποθεμάτων



Εικόνα 36 Χάρτης κατανομής του πάχους στην περιοχή μελέτης

Thickness Table				
Num.	From	To	Area	Color
1	0	2.000	14780.430	
2	2.000	4.000	214485.860	
3	4.000	6.000	1152997.470	
4	6.000	8.000	2367384.990	
5	8.000	10.000	3231668.780	
6	10.000	12.000	1882111.160	
7	12.000	14.000	663332.070	
8	14.000	16.000	240592.470	
9	16.000	18.000	263081.230	
10	18.000	20.000	91913.750	
11	20.000	22.000	20120.550	

Πίνακας 6 Χρωματική κλίμακα του πάχους

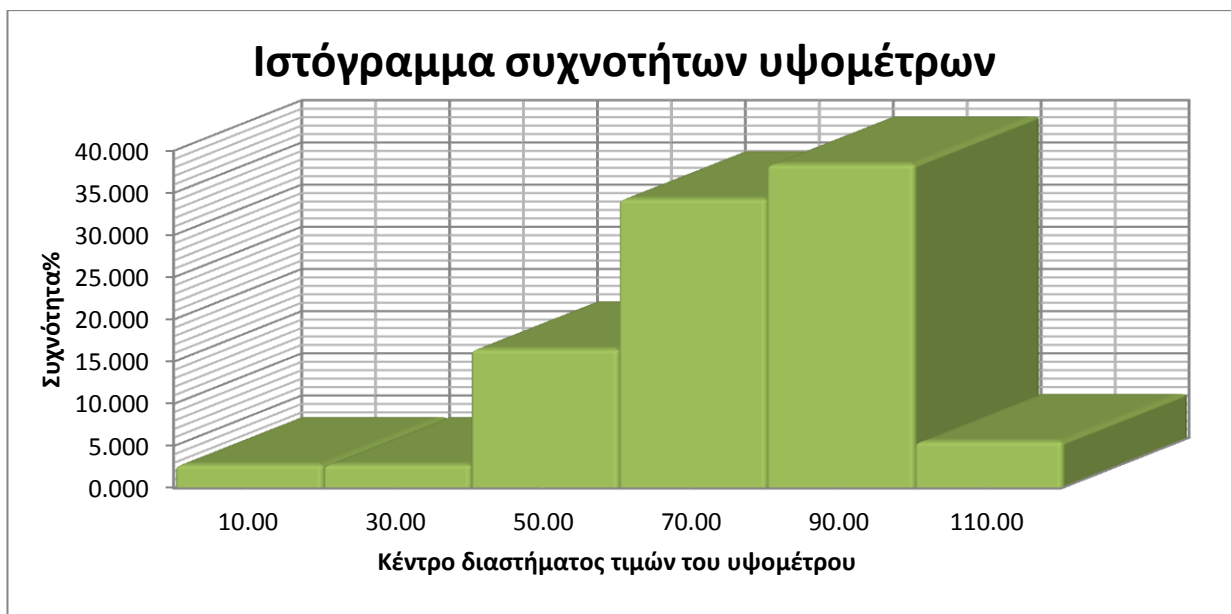
3.2.4 Εκτίμηση του υψομέτρου της τοπογραφίας

Με τον ίδιο τρόπο που εκτιμήθηκαν οι τιμές του πάχους του κοιτάσματος και τις τιμές του SR για τα διάφορα σημεία, θα γίνει εκτίμηση και της τιμής του υψομέτρου της επιφάνειας προκειμένου να προσεγγιστεί το πάχος των υπερκείμενων πετρωμάτων και στην συνέχεια να γίνει μοντελοποίηση του κοιτάσματος. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε καθώς ήταν ιδιαίτερο δύσκολο να βρεθεί το υψόμετρο των συγκεκριμένων σημείων από τον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής που υπάρχει καθώς από την ψηφιοποίηση του ο όγκος των δεδομένων που προκύπτει είναι αρκετά μεγάλος.

Τα κύρια στατιστικά χαρακτηριστικά των δεδομένων παρουσιάζονται στον πίνακα 7. Από τον πίνακα συχνοτήτων (Πίν.19) καθώς και από το ιστόγραμμα συχνοτήτων (Εικ.37) παρατηρείται πως τα υψόμετρα κυμαίνονται κατά κύριο λόγο από 40 m έως τα 100 m.

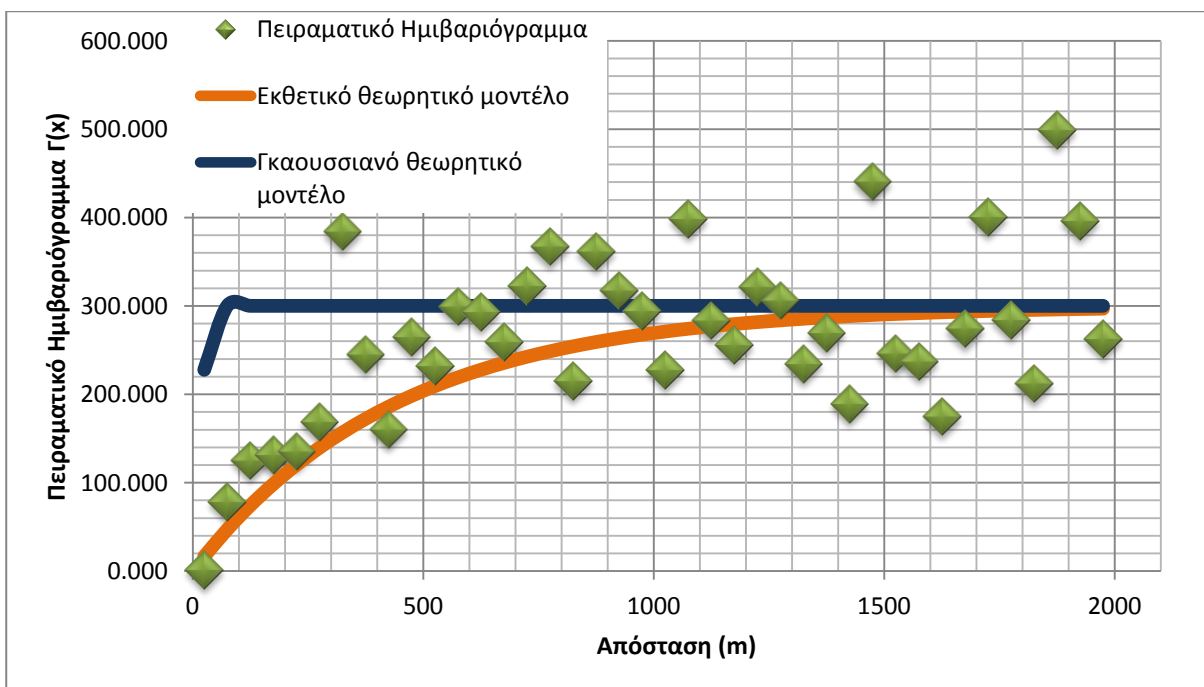
Πίνακας 7 Κύρια χαρακτηριστικά πεδίου υψομέτρων z

Πλήθος δειγμάτων	73
Μέγιστη τιμή z	114.9
Ελάχιστη τιμή z	0
Μέση τιμή	74.02082
Τυπική απόκλιση	21.11148
Διασπορά	445.6948



Εικόνα 37 Ιστόγραμμα συχνοτήτων υψομέτρων z

Με την χρήση του κώδικα «semivariogram_z» υπολογίστηκαν οι τιμές του πειραματικού ημιβαριογράμματος (Πίν.20) και προσαρμόστηκαν με βάση τις τιμές αυτές το εκθετικό και γκαουσιανό θεωρητικό μοντέλο ημιβαριογράμματος (Εικ.38).

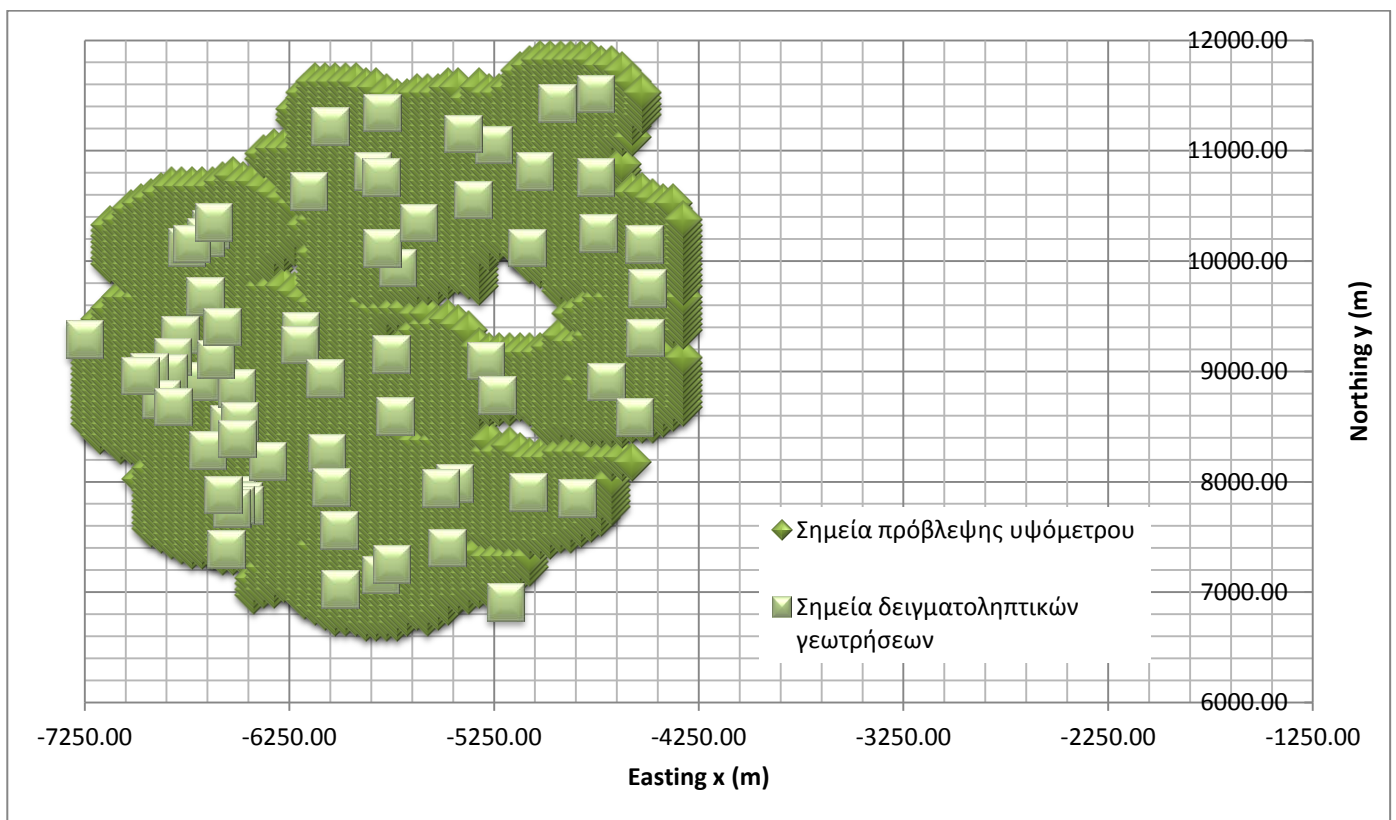


Εικόνα 38 Ημιβαριόγραμμα υψομέτρων (lag:50 m)

Οι παράμετροι που προέκυψαν από το εκθετικό θεωρητικό μοντέλο με βάση το οποίο θα γίνει το Kriging είναι:

- Nugget=0.2
- Sill=300
- Range=440

Ο αριθμός των σημείων πρόβλεψης (Εικ.39) είναι ίσος με 4.074 σημεία και οφείλεται στο γεγονός πως η ακτίνα συσχέτισης είναι αρκετά μεγάλη (Range:440 m). Ομοίως με τα σημεία εκτίμησης της τρέχουσας σχέσης αποκάλυψης όσο και του πάχους, παρατηρείται πως υπάρχουν αρκετά σημεία για τα οποία δεν εκτιμήθηκε η τιμή του υψομέτρου και οφείλεται στο γεγονός πως υπάρχει το πολύ ένα σημείο υποστήριξης εντός της ακτίνας συσχέτισης.



Εικόνα 39 Σημεία πρόβλεψης υψομέτρων (z)

4 Μοντελοποίηση κοιτάσματος και σχεδιασμός της εκμετάλλευσης

Για τη μοντελοποίηση του κοιτάσματος χρησιμοποιήθηκαν και οι τρεις ιδιότητες που προσδιορίστηκαν (SR, πάχος λιγνίτη d και το υψόμετρο z). Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο ο αριθμός των προβλέψεων για τις τρεις παραμέτρους διαφέρει λόγω των διαφορετικών μηκών συσχέτισης (range) που προέκυψαν από τα ημι – βαριογράμματα και της μη ύπαρξης των απαραίτητων σημείων υποστήριξης. Πιο συγκεκριμένα εκτιμήθηκαν 4.917 τιμές για το SR, 2.104 σημεία για το πάχος και 4.169 σημεία για το υψόμετρο. Για να υπάρχει μια καλύτερη εικόνα των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκε ο κώδικας «telika_dedomena» ο οποίος ελέγχει και συγκεντρώνει όλα τα σημεία για τα οποία υπήρχε πρόβλεψη και για τις τρεις παραμέτρους. Τα σημεία, των οποίων οι τιμές δεν εκτιμήθηκαν από το Kriging, προσδιορίστηκαν από τη μέση τιμή που προκύπτει από τα γειτονικά σημεία για κάθε παράμετρο.

Το επόμενο βήμα ήταν ο υπολογισμός των απόλυτων υψομέτρων (z_B) της ανώτερης επιφάνειας του κοιτάσματος του λιγνίτη. Γνωρίζοντας τον συντελεστή SR καθώς και το πάχος του λιγνίτη στα διάφορα σημεία είναι δυνατόν να υπολογιστεί το πάχος των υπερκείμενων πετρωμάτων με την χρήση της εξίσωσης 5.1.

$$SR = \frac{AB}{1.2 \cdot BC} \Rightarrow AB = SR \cdot 1.2 \cdot BC \quad (5.1)$$

Όπου:

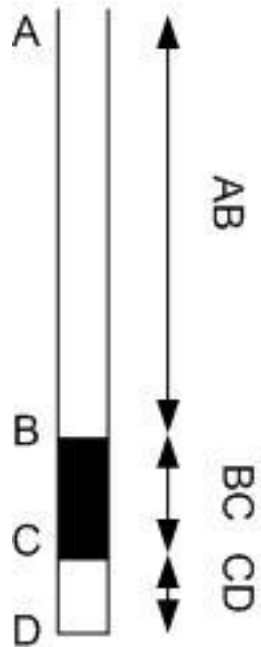
AB: πάχος υπερκείμενων πετρωμάτων (m)

BC: πάχος κοιτάσματος λιγνίτη (m)

1.2: ειδικό βάρος λιγνίτη (t/m^3)

Το απόλυτο υψόμετρο (σημείο B) της άνω επιφάνειας του λιγνίτη προκύπτει με την αφαίρεση του απόλυτου υψομέτρου του σημείου A, το οποίο αντιστοιχεί στο υψόμετρο της επιφάνειας, από το πάχος (AB) των υπερκείμενων πετρωμάτων ενώ το απόλυτο υψόμετρο της κάτω επιφάνειας του λιγνίτη προκύπτει από το υψόμετρο της άνω

επιφάνειας μειωμένη κατά το πάχος BC του κοιτάσματος στο συγκεκριμένο σημείο. Στην εικόνα 40 εμφανίζονται οι προαναφερθείσες αποστάσεις που προκύπτουν από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις στην οποία το μαύρο τμήμα αντιστοιχεί στο λιγνίτη.



Εικόνα 40 Μορφή και αποστάσεις των πετρωμάτων μέσα στην γεώτρηση

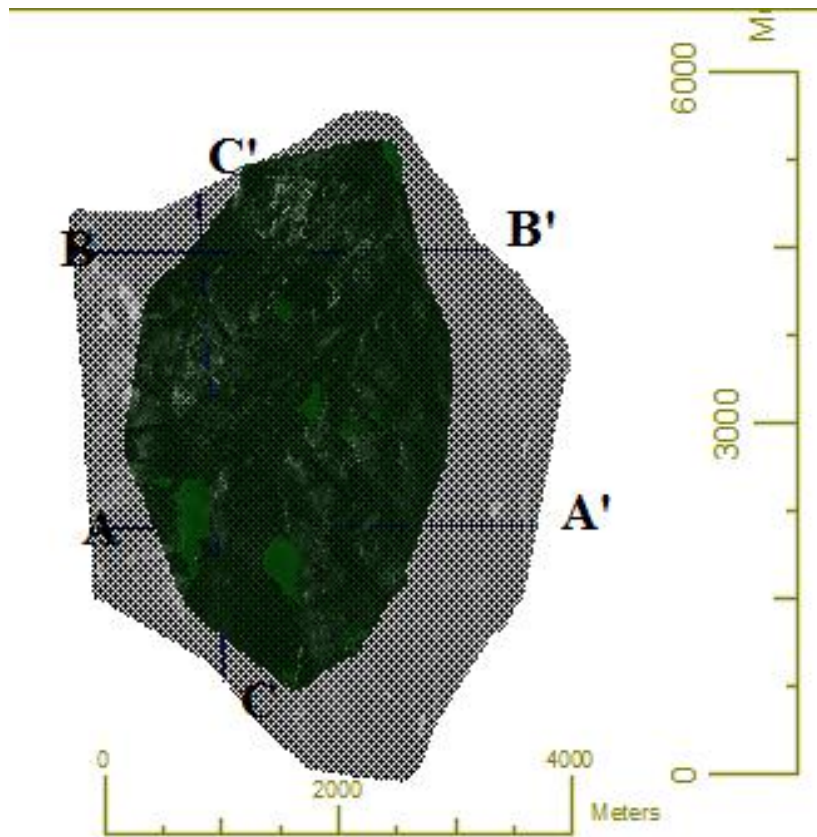
Η μοντελοποίηση του κοιτάσματος πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα AutoCAD Civil 3D και με βάση το αποτέλεσμα που προκύπτει, υπολογίστηκε ο όγκος του κοιτάσματος⁶.

Ο όγκος του κοιτάσματος και κατά συνέπεια τα γεωλογικά αποθέματα είναι $90.434.517,23 \text{ m}^3$ ένας αριθμός ο οποίος είναι πολύ κοντά στην πρώτη εκτίμηση που έγινε με βάση τους ισοπαχείς χάρτες στην προηγούμενη ενότητα (Εκτίμηση γεωλογικών αποθεμάτων από τον χάρτη ισοπαχών της σελίδας 37 : $91.656.648,96 \text{ m}^3$).

Το επόμενο βήμα που ακολουθεί μετά τον υπολογισμό των γεωλογικών αποθεμάτων είναι η κατασκευή τριών τομών (Εικ. 41) προκειμένου να υπάρχει μια σαφέστερη εικόνα της μορφολογίας του εδάφους. Στις τομές της εικόνας 42 το πράσινο χρώμα αντιστοιχεί στο κίτασμα του λιγνίτη και το μπλέ αντίστοιχα στα περιβάλλοντα πετρώματα. Οι δύο τομές βρίσκονται στην κατεύθυνση Ανατολής-Δύσης (Τομή ΑΑ',

⁶ Ο υπολογισμός του όγκου του κοιτάσματος έγινε με τη χρήση της εντολής MASSPROP

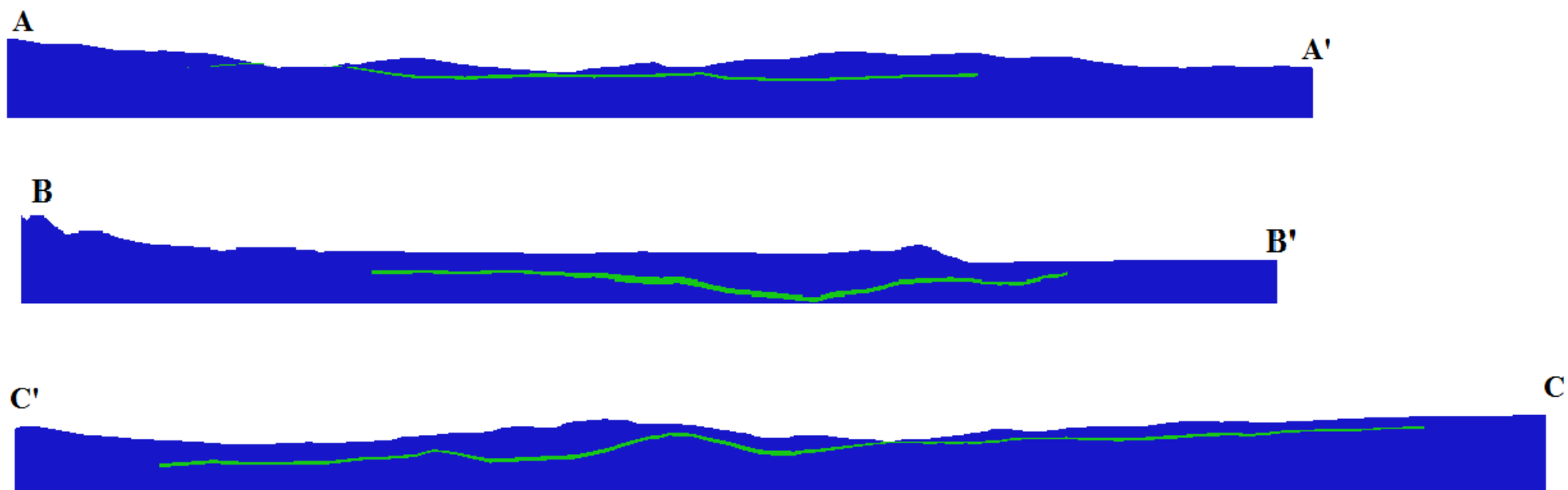
Τομή BB') ενώ η Τρίτη (Τομή CC') στην κατεύθυνση Βορρά-Νότου και οι ακριβείς θέσεις τους παρουσιάζονται στην κάτοψη του κοιτάσματος (Εικ. 41).



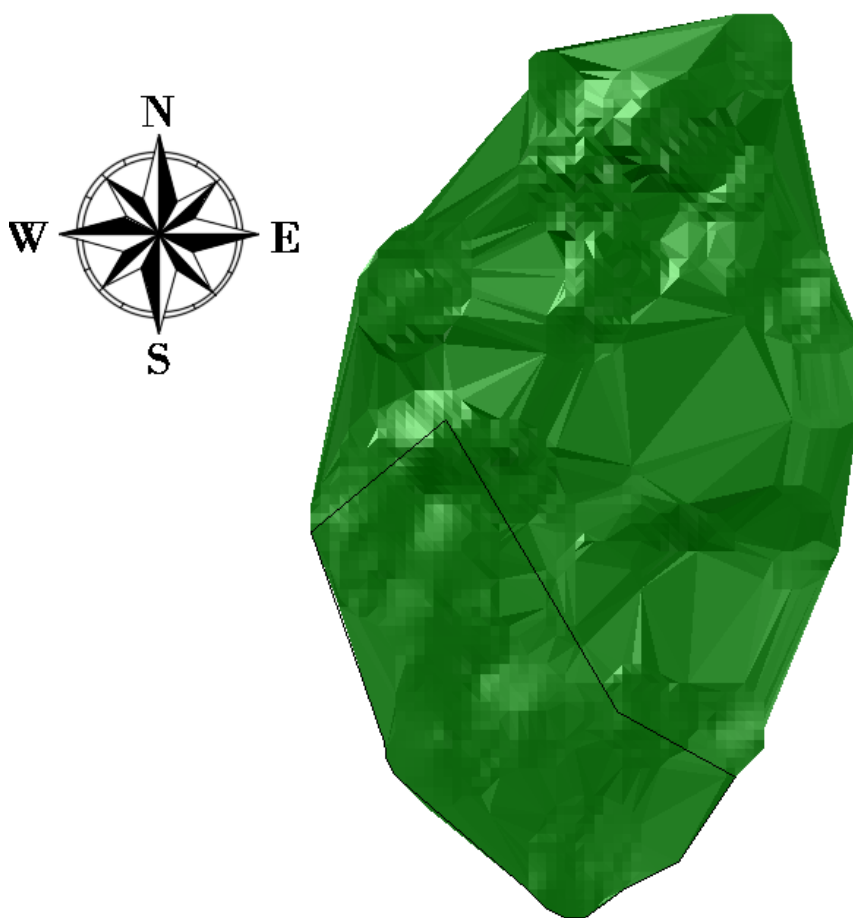
Εικόνα 41 Κάτοψη κοιτάσματος με διεύθυνση Βορρά-Νότου

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις τομές επιβεβαιώνουν πως το κοιτάσμα βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια στην Νότια περιοχή και ιδιαίτερα στο νοτιοδυτικό τμήμα στο οποίο ανέρχεται στην επιφάνεια. Αντίθετα το κοιτάσμα βυθίζεται κατά τη βόρεια κατεύθυνση

Με την ολοκλήρωση της μοντελοποίησης του κοιτάσματος, ακολουθεί ο σχεδιασμός της επιφανειακής εκμετάλλευσης. Η επιλογή των ορίων της επιφανειακής εκμετάλλευσης έγινε με βάση την τιμή του SR και πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκε το νοτιοδυτικό τμήμα (Εικ. 43) του κοιτάσματος στο οποίο η τιμή του SR είναι μικρότερη του 5.



Εικόνα 42 Τομές κοιτάσματος



Εικόνα 43 Όρια εκμετάλλευσης

Στην συνέχεια προσδιορίζεται η γεωμετρία της εκμετάλλευσης τηρώντας τα μέτρα ασφαλείας που προβλέπει ο Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (ΚΜΛΕ). Σύμφωνα με τον ΚΜΛΕ, για επιφανειακά μέτωπα, το μέγιστο ύψος των βαθμίδων είναι ίσο με 15 m (Άρθρο 84 παρ.1) ενώ το πλάτος κάθε βαθμίδας πρέπει να είναι μεγαλύτερο των 12 m (Άρθρο 84 παρ.1). Όσον αφορά την γωνία πρανούς, αυτή πρέπει να μην ξεπερνάει τις 60° όταν τα πετρώματα είναι υγιή και συνεκτικά (Άρθρο 83 παρ.1 και παρ.2 εδ. α' και εδ. β') ενώ στις περιπτώσεις στις οποίες τα πετρώματα είναι είτε σαθρά είτε αμμώδη είτε επικίνδυνα για κατολίσθηση η γωνία πρανούς δεν μπορεί να πάρει τιμή μεγαλύτερη των 45° (Άρθρο 83 παρ.1 και παρ.2 εδ. α' και εδ. β').

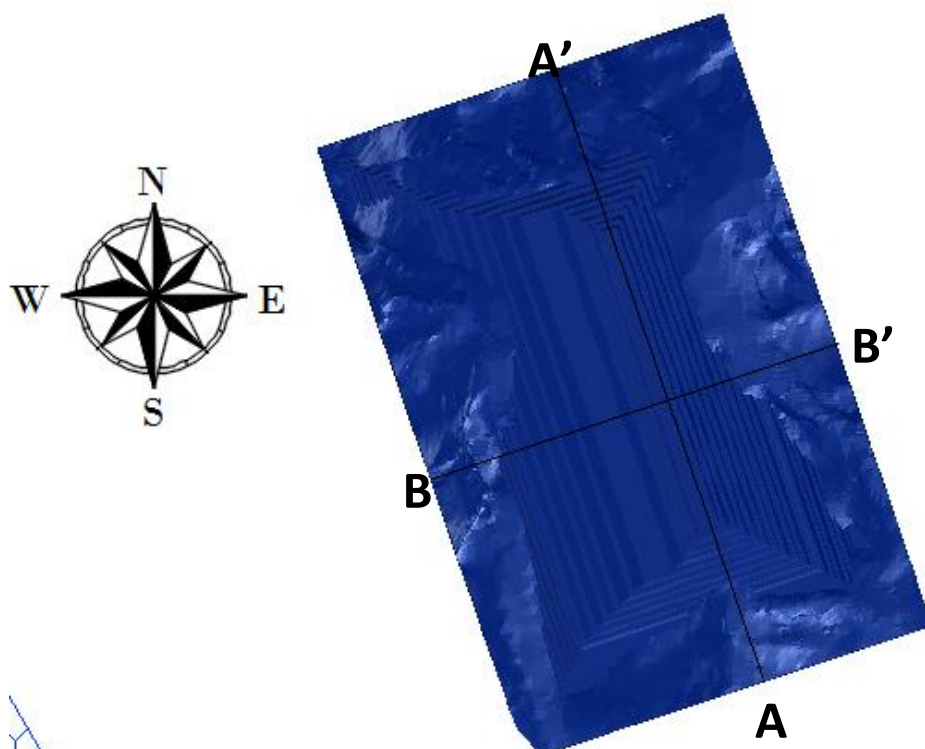
Ο σχεδιασμός της εκμετάλλευσης θα γίνει για τα πρώτα 6 χρόνια με απαιτούμενη ετήσια παραγωγή λιγνίτη 1.000.000 m³ και απαιτούμενη ετήσια παραγωγή για τα άγονα πετρώματα είναι ίση με 7.000.000 m³. Η εκμετάλλευση θα συνεχιστεί και για τους πρώτους 5 μήνες του έβδομου έτος με τους ίδιους ρυθμούς παραγωγής. Το εργοτάξιο (Πίν. 8) θα λειτουργεί 250 ημέρες ανά χρόνο και θα υπάρχουν καθημερινά 2

βάρδιες με την κάθε μία να εργάζεται 8 ώρες. Ο συντελεστής απόδοσης του εργοταξίου θα οριστεί ως 0,9 ο οποίος λαμβάνει υπόψιν όλες τις καθυστερήσεις που μπορεί να εμφανιστούν στην προκαθορισμένη λειτουργία του εργοταξίου λόγω εξωγενών παραγόντων όπως καιρικές συνθήκες, ατυχήματα κ.α..

Πίνακας 8 Γενικές θεωρήσεις εργοταξίου

Ημέρες ανά έτος	250		Άγωνα	Λιγνίτης
Βάρδιες ανά ημέρα	2	Ετήσια παραγωγή	7.000.000 m ³	1.000.000 m ³
Ωρες ανά βάρδια	8	Ημερήσια παραγωγή	28.000 m ³	4.000 m ³
Συντελεστής απόδοσης εργοταξίου	0,9	Παραγωγή ανά βάρδια	14.000 m ³	2.000 m ³
		Ωριαία παραγωγή	1750 m ³	250 m ³
		Απαιτούμενη ωριαία παραγωγή	1.944 m ³	278 m ³

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία σχεδιάστηκε το ορυχείο στη μορφή που θα έχει με το πέρας των πρώτων 6 ετών (Εικ.44) και οι δύο κάθετες μεταξύ τους τομές της εικόνας 44 παρουσιάζουν τις κλίσεις και τις διαστάσεις των πρυνών..

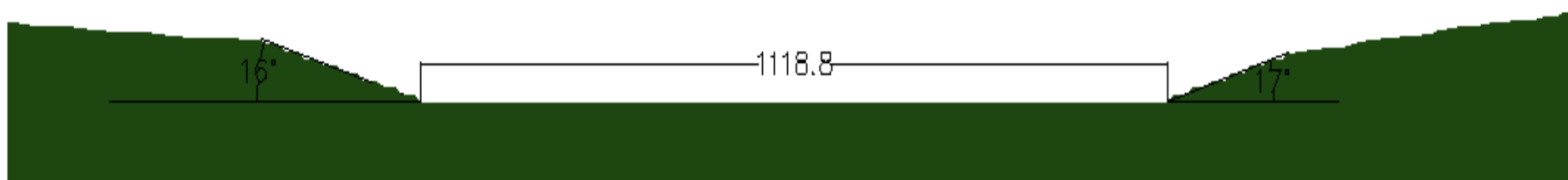


Εικόνα 44 Τομές εκμετάλλευσης

Στην εικόνα 45 εμφανίζονται οι κλίσεις των πρανών της τομής AA καθώς και το μήκος της πλατείας της εκμετάλλευσης. Το πρανές το οποίο βρίσκεται στην νοτια περιοχή της εκμετάλλευσης αποτελείται από 8 βαθμίδες και η κλίση του πρανούς είναι 8° ενώ αντίστοιχα στο βόρειο πρανές (κλίση 7°) αναπτύχθηκαν 7 βαθμίδες. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των βαθμίδων των δύο πρανών είναι ίδια. Πιο συγκεκριμένα τα πλάτη των βαθμίδων είναι 20 μέτρα και το ύψος του 8 m (Εικ 46).

Η τομή BB' (Εικ. 47) απεικονίζει τα πρανή που βρίσκονται στη διεύθυνση Ανατολής-Δύσης. Η κλίση του ανατολικού πρανούς είναι ίση με 9° ενώ του δυτικού με 17° . Στην ίδια εικόνα εκτός από τις κλίσεις εμφανίζεται και το πλάτος της πλατείας της εκμετάλλευσης το οποίο είναι 50,3 m. Το ανατολικό πρανές αποτελείται από 11 βαθμίδες εκ των οποίων οι δέκα πρώτες βαθμίδες έχουν ίδιο ύψος (8 m) και οι δύο τελευταίες είναι κατά ένα μέτρο υψηλότερες (Εικ.50). Αντίθετα με τις ανατολικές βαθμίδες, οι δυτικές, οι οποίες είναι οκτώ στον αριθμό, έχουν σταθερό ύψος το οποίο είναι ίσο με 8 m καθώς και σταθερό πλάτους το οποίο είναι 20 m. Οι ανατολικές βαθμίδες έχουν επίσης πλάτος ίσο με 20 m εκτός από την πέμπτη, τη δέκατη και την ενδέκατη οι οποίες έχουν πλάτη 115 m, 44 m και 15 m αντίστοιχα (Εικ.49). Οι κλίσεις

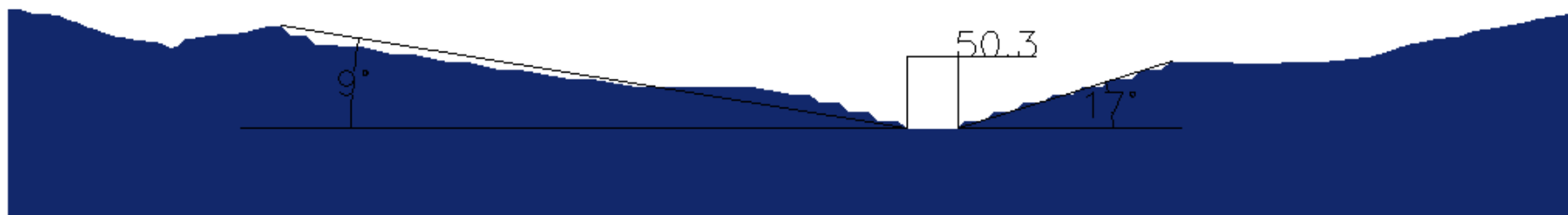
των βαθμίδων που βρίσκονται στο ανατολικό πρηνές διαφέρουν μεταξύ τους λόγω των διαφορετικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών που έχουν οι περισσότερες μεταξύ τους (Εικ.48).



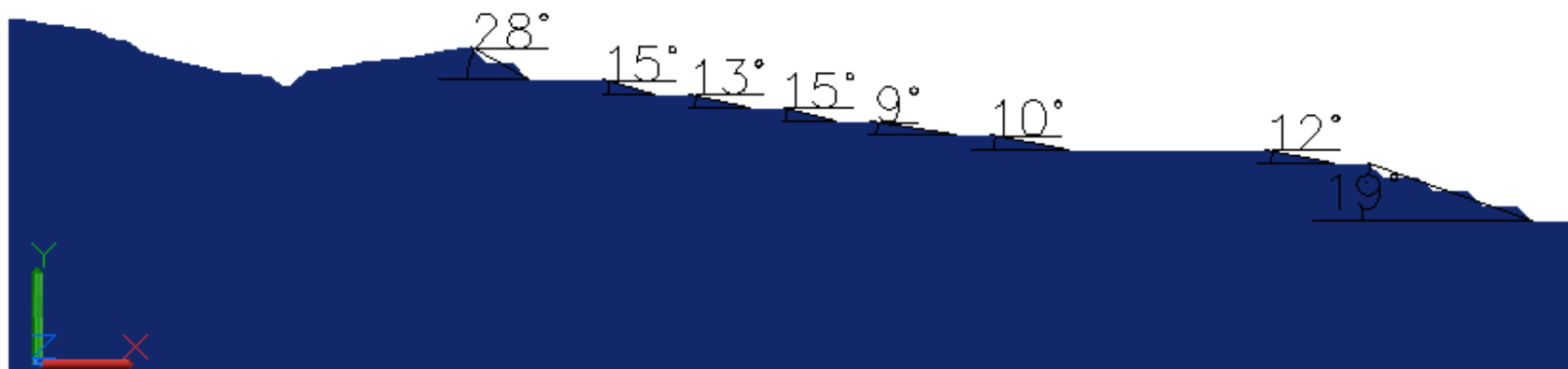
Εικόνα 45 Κλίσεις πρανών Τομής ΑΑ'



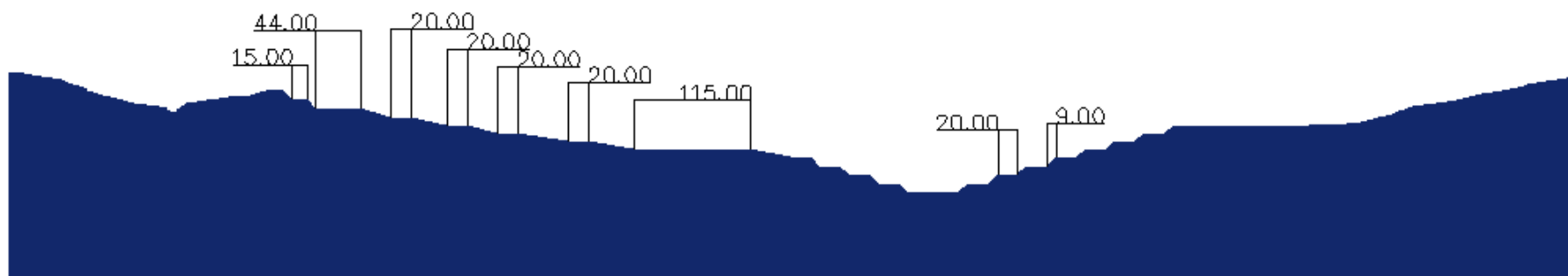
Εικόνα 46 Διαστάσεις βαθμίδων της τομής ΑΑ'



Εικόνα 47 Κλίση πρανούς τομής ΒΒ'



Εικόνα 48 Κλίσεις βαθμίδων



Εικόνα 49 Πλάτος δρόμων της τομής BB'

Μία κρίσιμη οικονομική παράμετρος είναι η σχέση αποκάλυψης. Ως σχέση αποκάλυψης ορίζεται ως ο όγκος των άγονων ή στείρων πετρωμάτων που πρέπει να απομακρυνθούν για να εξορυχτεί μία μονάδα όγκου του μεταλλεύματος και δίνεται από τη σχέση:

$$\Sigma A = \frac{\text{Όγκος στείρων (m}^3\text{)}}{\text{Όγκος μεταλλεύματος (m}^3\text{)}} \quad (5.2)$$

Με το πέρας της εκμετάλλευσης προκύπτει πως ο όγκος των στείρων που απομακρύνθηκαν είναι ίσος με 44.941.179 m³ ενώ ο όγκος του κοιτάσματος το οποίο εξορρύχθηκε τα πρώτα 6 χρόνια είναι 6.259.848 m³. Με βάση την εξίσωση (5.2) η τρέχουσα σχέση αποκάλυψης ισούται με 7,18 η οποία έχει αρκετά υψηλή τιμή σε σχέση με τη μέση τιμή του συντελεστή SR που ισούται με 4. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως για τον υπολογισμό της τρέχουσας σχέσης αποκάλυψης (SR) εξετάζουμε το βάθος των στείρων πετρωμάτων και του λιγνίτη ενώ ο υπολογισμός της σχέσης αποκάλυψης της εξίσωσης 5.2 γίνεται με βάση τους όγκους των στείρων και του μεταλλεύματος.

Συμπεράσματα-Προτάσεις

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αποτελούν μια αξιόπιστη εκτίμηση με βάση τα αρχικά δεδομένα στα οποία εφαρμόστηκαν οι γεωστατιστικές μέθοδοι. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν καθώς και οι προτάσεις βελτίωσης της διπλωματικής εργασίας είναι:

1. Οι κώδικες που υλοποιήθηκαν για την εφαρμογή των γεωστατιστικών μεθόδων σχεδιάστηκαν στις δύο διαστάσεις και με τις κατάλληλες προσαρμογές μπορούν να εφαρμόζονται στο χώρο.
2. Οι κώδικες που αναπτυχθηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από οποιονδήποτε επιθυμεί να εκτιμήσει κάποια παράμετρο με βάση τα αρχικά του δεδομένα και δεν έχει πρόσβαση σε εμπορικά πακέτα τα οποία και έχουν σαφώς μεγαλύτερο κόστος.
3. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τους κώδικες έχουν συγκριθεί με αποτελέσματα από άλλα εμπορικά προγράμματα. Ο κώδικας για τον υπολογισμό του ημιβαριογράμματος έχει μικρές αποκλίσεις. Αντίθετα ο κώδικας του Kriging έχει μεγαλύτερες διαφορές και θα πρέπει να ερευνηθούν οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό και να γίνουν οι απαραίτητες βελτιώσεις.
4. Η σχέση αποκάλυψης της εκμετάλλευσης είναι μεγαλύτερη από τη μέση τιμή του συντελεστή SR στην συγκεκριμένη περιοχή. Η σχέση αυτή θα μεγαλώσει εάν συνεχιστεί η υπαίθρια εκμετάλλευση στις περιοχές όπου το SR παίρνει μεγαλύτερες τιμές.
5. Να γίνει αναζήτηση των διευθύνσεων ανισοτροπίας προκειμένου να υπολογίζεται η εξάρτηση μεταξύ των σημείων τόσο με βάση την απόσταση τους όσο και με βάση τις διάφορες κατευθύνσεις στον χώρο.
6. Η ταχύτητα εκτέλεσης του κώδικα για την εφαρμογή του Kriging είναι σχετικά αργή και θα μπορούσαν να αναζητηθούν τρόποι αύξησης αυτής. Η χαμηλή ταχύτητα μπορεί να οφείλεται στο μεγάλο όγκο δεδομένων, στη μεγάλη ακρίβεια των αριθμών, στις πολλές εναλλαγές των φύλλων επεξεργασίας του Excel κ.α.
7. Θα ήταν δυνατό να γίνεται υπολογισμός του πειραματικού ημιβαριογράμματος και της εκτίμησης των σημείων με τη χρήση ενός κώδικα. Αυτή η τροποποίηση θα έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή αποτελεσμάτων με την εκτέλεση μόνο ενός

κώδικα αλλά η αναζήτηση τυχόν σφαλμάτων και η διόρθωση αυτών θα είναι σαφώς δυσκολότερη.

8. Να υπολογιστεί ο μηχανολογικός εξοπλισμός που απαιτείται.
9. Να γίνει οικονομικός έλεγχος για την οριακή τιμή του SR που πρέπει να ακολουθήσει η υπαίθρια εκμετάλλευση και αυτό πιθανώς να αλλάξει τα όρια της υπαίθριας εκμετάλλευσης που επιλέχθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.
10. Να γίνει μελέτη για υπόγεια εκμετάλλευση στις περιοχές που ξεπερνάνε την οριακή τιμή και να γίνει σχεδιασμός αυτής αν κριθεί αναγκαία.

Βιβλιογραφία

Autodesk / 3D Design, Engineering & Entertainment Software. (2018). Ανάκτηση από Autodesk.com: <https://www.autodesk.com/>

Bohling, G. (2005). *INTRODUCTION TO GEOSTATISTICS And VARIOGRAM ANALYSIS*. Kansas.

Brady, B., & Brown, E. (2005). *Rock Mechanics for Underground Mining* (Third ed.). United States of America.

CLARK, I. (1979). *Practical Geostatistics*. Alcoa.

ISAAKS, E., & SRIVASTAVA, M. (1989). *Applied Geostatistics*. New York: OXFORD UNIVERSITY PRESS.

Kitanidis, P. (1997). *Introduction to geostatistics applications in hydrogeology*. Cambridge: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.

ΑΓΙΟΥΤΑΝΤΗΣ, Ζ., & ΜΕΡΤΙΚΑΣ, Σ. (2003). *Ένας πρακτικός οδηγός για τη Συγγραφή Τεχνικών Κειμένων*. Χανιά: Ίων.

Γαλετάκης, Μ. (2017). *Υπολογιστή, Σχεδιασμός Εκμετάλλευσεων με Ηλεκτρονικό*. Χανιά.

Γεωργάκης, Θ., & Κατσάμπαλος, Κ. (2008, Δεκέμβριος). Οδηγός προγραμματισμού στο περιβάλλον της VISUAL BASIC 6. Θεσσαλονίκη.

ΕΞΑΔΑΚΤΥΛΟΣ, Γ. (2007). *ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ & ΛΑΤΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ*. ΧΑΝΙΑ.

ΣΑΡΑΤΣΗΣ, Γ. (2004). *ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΗ ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ-ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΗΡΑΓΓΩΝ*. ΧΑΝΙΑ.

ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, Δ. Θ. (2014). *Εφαρμοσμένη Γεωστατιστική*. Χανιά.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Πίνακας 9 Πίνακας συχνотήτων Walker Lake Data Set

Κέντρο	Από	Έως	Αριθμός δειγμάτων	Συχνότητα
25	0	50	56	11.91%
75	50	100	21	4.47%
125	100	150	21	4.47%
175	150	200	31	6.60%
225	200	250	28	5.96%
275	250	300	18	3.83%
325	300	350	25	5.32%
375	350	400	26	5.53%
425	400	450	25	5.32%
475	450	500	18	3.83%
525	500	550	28	5.96%
575	550	600	26	5.53%
625	600	650	36	7.66%
675	650	700	21	4.47%
725	700	750	17	3.62%
775	750	800	15	3.19%
825	800	850	16	3.40%
875	850	900	15	3.19%
925	900	950	6	1.28%
975	950	1000	7	1.49%
1025	1000	1050	4	0.85%
1075	1050	1100	2	0.43%
1125	1100	1150	2	0.43%
1175	1150	1200	0	0.00%
1225	1200	1250	2	0.43%
1275	1250	1300	1	0.21%
1325	1300	1350	0	0.00%
1375	1350	1400	1	0.21%

1425	1400	1450	0	0.00%
1475	1450	1500	0	0.00%
1525	1500	1550	2	0.43%
1575	1550	1600	0	0.00%
		Σύνολο	470	100.00%

Πίνακας 10 Προβλέψεις των δεδομένων της λίμνης Walker

x	y	Predicted Value	Prediction Error	Grid
10.00	90.00	443.61	143.72	20.00
30.00	70.00	823.73	189.06	
30.00	90.00	506.35	201.92	
30.00	170.00	322.42	147.94	
30.00	190.00	241.20	170.37	
30.00	210.00	62.09	174.76	
50.00	10.00	641.54	159.68	
50.00	90.00	698.36	185.20	
50.00	150.00	742.82	152.84	
50.00	170.00	984.16	196.22	
50.00	190.00	936.07	181.84	
50.00	210.00	907.85	145.14	
50.00	270.00	792.82	184.14	
70.00	30.00	591.96	164.56	
70.00	50.00	278.87	148.55	
70.00	90.00	88.71	142.74	
70.00	110.00	424.08	181.43	
70.00	130.00	645.42	204.18	
70.00	150.00	704.33	180.96	
70.00	170.00	725.04	162.58	
70.00	190.00	897.77	140.58	
70.00	210.00	131.58	203.41	
90.00	30.00	180.27	165.57	

90.00	50.00	640.61	146.99
90.00	70.00	666.60	184.58
90.00	90.00	826.45	157.67
90.00	110.00	837.03	162.69
90.00	130.00	952.47	137.67
90.00	170.00	165.74	151.38
110.00	110.00	272.26	148.55
110.00	130.00	594.07	158.47
150.00	230.00	507.80	183.43
170.00	210.00	636.60	44.72
190.00	90.00	338.93	147.40
190.00	150.00	481.00	164.62
210.00	10.00	388.74	174.08
210.00	90.00	776.37	142.96
210.00	150.00	563.74	189.36
230.00	10.00	615.09	145.52
230.00	230.00	684.30	189.59
250.00	230.00	223.61	162.90

Πίνακας 11 Τιμές βαριογράμματος (lag=5m) (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989)

No. of Pairs	Lag	$\gamma(h)$
22	2,1	11.294,1
488	5,4	42.671,4
1.720	10,4	51.932,4
1.856	14,8	71.141,8
3.040	20,3	70.736,9
2.412	24,9	86.745,2
3.550	30,1	84.077,8
2.816	34,8	99.986,6
4.092	40,3	89.954,4

3.758	44,9	86.155,0
4.248	50,2	98.319,3
3.920	55,0	94.415,1
5.324	60,2	88.848,9
4.442	64,8	96.309,2
5.478	70,2	96.397,3
4.696	74,8	90.704,6
5.762	80,2	92.560,6
5.084	84,9	88.104,0
5.666	90,1	95.530,9
4.458	94,8	101.174,8
2.890	98,8	94.052,1

**Πίνακας 12 Τιμές ημιβαριογράμματος (lag=5m) από τον κώδικα
"semivariogram"**

Αριθμός δειγμάτων n	Lag	Πειραματικό ημιβαριόγραμμα Γ(x)
650	2,5	9.233,0
872	7,5	41.862,4
2.172	12,5	60.348,2
1.972	17,5	77.116,3
3.176	22,5	73.526,9
2.750	27,5	83.927,3
3.504	32,5	92.155,4
2.898	37,5	97.915,3
4.518	42,5	84.968,9
3.552	47,5	92.536,7
4.430	52,5	97.877,3
4.116	57,5	92.236,8
5.708	62,5	90.292,5

4.160	67,5	95.455,3
5.906	72,5	92.332,8
4.494	77,5	97.637,2
6.136	82,5	88.563,9
4.952	87,5	88.783,6
5.502	92,5	100.964,3
4.750	97,5	97.930,1

Πίνακας 13 Τιμές βαριογράμματος (lag=10m)
(ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989)

No. of Pairs	Lag	$\gamma(h)$
178	3.6	32.544,3
3.044	11.0	55.299,8
5.140	20.4	75.224,6
6.238	30.2	88.418,6
7.388	40.5	90.544,1
7.954	50.1	95.689,7
9.782	60.3	91.285,2
10.060	70.3	93.809,2
10.628	80.3	92.357,8
10.454	90.1	95.010,5
4.856	97.8	97.349,3

Πίνακας 14 Τιμές ημιβαριογράμματος (lag=10m) από τον κώδικα "semivariogram"

Αριθμός δειγμάτων n	Lag	Πειραματικό ημιβαριόγραμμα $\Gamma(x)$
1.522	5	27.927,4
4.144	15	68.327,6
5.926	25	78.353,3
6.402	35	94.762,7
8.070	45	88.299,8

8.546	55	95.160,7
9.868	65	92.469,0
10.400	75	94.624,9
11.088	85	88.662,0
10.252	95	99.558,5
11.152	105	92.228,1

Πίνακας 15 Πίνακας συχνοτήτων του SR

Από	Έως	Κέντρο διαστήματος	Πλήθος δειγμάτων	Συχνότητα %
0.00	1.00	0.50	11.00	15.07
1.00	2.00	1.50	8.00	10.96
2.00	3.00	2.50	9.00	12.33
3.00	4.00	3.50	12.00	16.44
4.00	5.00	4.50	8.00	10.96
5.00	6.00	5.50	10.00	13.70
6.00	7.00	6.50	6.00	8.22
7.00	8.00	7.50	2.00	2.74
8.00	9.00	8.50	3.00	4.11
9.00	10.00	9.50	3.00	4.11
10.00	11.00	10.50	1.00	1.37

Πίνακας 16 Τμές ημιβαριογράμματος SR

Lag (m)	Από	Έως	Αριθμός δειγμάτων	Πειραματικό ημιβαριόγραμμα $\Gamma(x)$	Εκθετικό θεωρητικό μοντέλο	Γκαουσιανό θεωρητικό μοντέλο
25	0	50	103	0.396	0.454	3.910
75	50	100	42	2.613	0.924	5.400
125	100	150	26	1.567	1.350	5.400
175	150	200	20	6.275	1.736	5.400
225	200	250	28	8.097	2.084	5.400

275	250	300	30	4.153	2.400	5.400
325	300	350	40	6.390	2.685	5.400
375	350	400	56	5.335	2.944	5.400
425	400	450	62	3.496	3.177	5.400
475	450	500	70	3.226	3.389	5.400
525	500	550	66	2.197	3.580	5.400
575	550	600	92	4.293	3.753	5.400
625	600	650	78	6.100	3.910	5.400
675	650	700	82	3.783	4.052	5.400
725	700	750	70	3.129	4.180	5.400
775	750	800	88	4.805	4.296	5.400
825	800	850	66	4.685	4.401	5.400
875	850	900	74	5.975	4.496	5.400
925	900	950	92	5.323	4.582	5.400
975	950	1000	116	4.683	4.660	5.400
1025	1000	1050	120	5.082	4.731	5.400
1075	1050	1100	118	4.474	4.794	5.400
1125	1100	1150	114	4.338	4.852	5.400
1175	1150	1200	122	5.108	4.904	5.400
1225	1200	1250	100	4.922	4.951	5.400
1275	1250	1300	108	6.424	4.994	5.400
1325	1300	1350	76	7.331	5.033	5.400
1375	1350	1400	90	5.516	5.068	5.400
1425	1400	1450	98	7.116	5.099	5.400

Πίνακας 17 Πίνακας συχνοτήτων του πάχους

Από	Έως	Κέντρο διαστήματος	Πλήθος δειγμάτων	Συχνότητα %
0.00	2.00	1.00	1.00	1.37
2.00	4.00	3.00	2.00	2.74
4.00	6.00	5.00	15.00	20.55
6.00	8.00	7.00	18.00	24.66

8.00	10.00	9.00	13.00	17.81
10.00	12.00	11.00	10.00	13.70
12.00	14.00	13.00	7.00	9.59
14.00	16.00	15.00	3.00	4.11
16.00	18.00	17.00	1.00	1.37
18.00	20.00	19.00	2.00	2.74
20.00	22.00	21.00	0.00	0.00
22.00	24.00	23.00	1.00	1.37

Πίνακας 18 Τιμές ημιβαριογράμματος d

Lag	Από	Έως	Αριθμός δειγμάτων n	Πειραματικό ημιβαριόγραμμα $\Gamma(x)$	Εκθετικό θεωρητικό μοντέλο	Γκαουσσσιανό θεωρητικό μοντέλο
25	0	50	93	0.5761	1.4694	12.6068
75	50	100	42	8.1273	3.4468	14.3500
125	100	150	26	9.4776	5.1206	14.3500
175	150	200	20	2.9480	6.5375	14.3500
225	200	250	28	11.4917	7.7369	14.3500
275	250	300	30	18.6078	8.7521	14.3500
325	300	350	38	14.0269	9.6115	14.3500
375	350	400	56	12.8191	10.3389	14.3500
425	400	450	60	15.4140	10.9547	14.3500
475	450	500	70	15.1611	11.4759	14.3500
525	500	550	66	7.2780	11.9172	14.3500
575	550	600	90	12.8721	12.2906	14.3500
625	600	650	76	19.4830	12.6068	14.3500
675	650	700	82	10.9275	12.8744	14.3500
725	700	750	68	10.3843	13.1009	14.3500
775	750	800	82	14.4518	13.2927	14.3500
825	800	850	66	25.6583	13.4550	14.3500
875	850	900	72	16.5031	13.5924	14.3500

925	900	950	88	9.3874	13.7087	14.3500
975	950	1000	110	15.4971	13.8072	14.3500
1025	1000	1050	120	14.6787	13.8905	14.3500
1075	1050	1100	114	13.4312	13.9610	14.3500
1125	1100	1150	112	20.1058	14.0208	14.3500
1175	1150	1200	122	13.1227	14.0713	14.3500
1225	1200	1250	96	10.7344	14.1141	14.3500
1275	1250	1300	108	15.2773	14.1503	14.3500
1325	1300	1350	74	15.7208	14.1810	14.3500
1375	1350	1400	86	11.5913	14.2069	14.3500
1425	1400	1450	94	17.2032	14.2289	14.3500
1475	1450	1500	84	14.0580	14.2475	14.3500
1525	1500	1550	104	14.4839	14.2632	14.3500
1575	1550	1600	128	9.9520	14.2765	14.3500
1625	1600	1650	118	10.6198	14.2878	14.3500
1675	1650	1700	92	11.7470	14.2974	14.3500
1725	1700	1750	72	18.0061	14.3054	14.3500
1775	1750	1800	98	15.0965	14.3123	14.3500
1825	1800	1850	76	11.1289	14.3181	14.3500
1875	1850	1900	82	12.1885	14.3230	14.3500
1925	1900	1950	90	20.7673	14.3271	14.3500

Πίνακας 19 Πίνακας συχνοτήτων των υψομέτρων z

Από	Έως	Κέντρο διαστήματος	Πλήθος δειγμάτων	Συχνότητα %
0.00	20.00	10.00	2	2.740
20.00	40.00	30.00	2	2.740
40.00	60.00	50.00	12	16.438
60.00	80.00	70.00	25	34.247
80.00	100.00	90.00	28	38.356
100.00	120.00	110.00	4	5.479

Πίνακας 20 Τιμές ημιβαριογράμματος υψομέτρων z

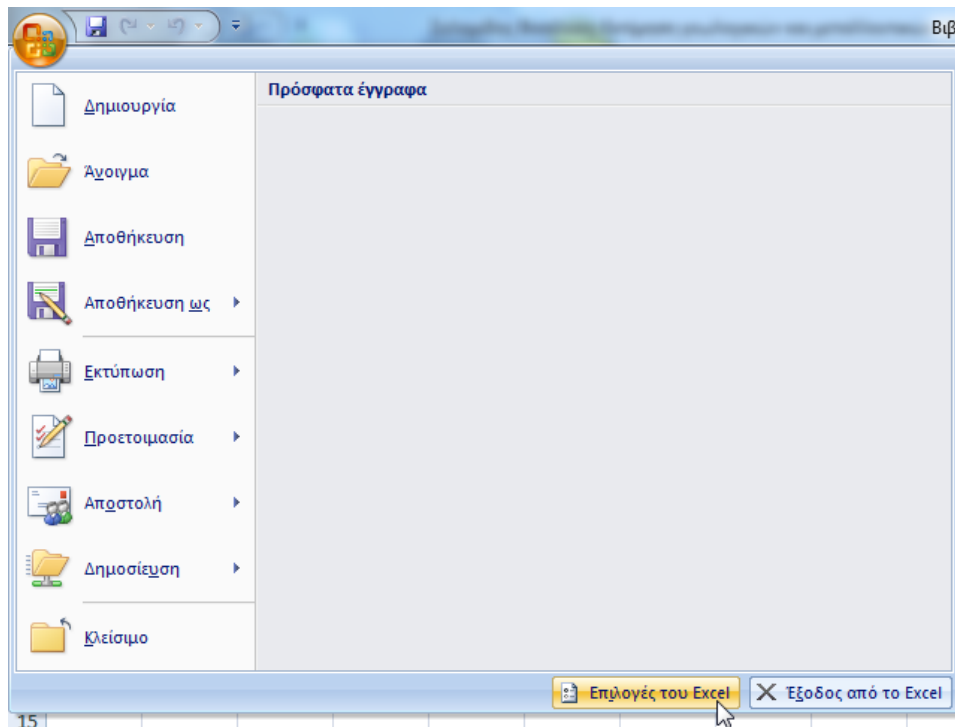
Lag	Από	Έως	Αριθμός δειγμάτων n	Πειραματικό ημιβαριόγραμμα $\Gamma(x)$	Εκθετικό θεωρητικό μοντέλο	Γκαουσιανό θεωρητικό μοντέλο
25	0	50	93	0.792	16.770	227.719
75	50	100	42	77.976	47.216	300.199
125	100	150	26	124.954	74.391	300.200
175	150	200	20	131.021	98.646	300.200
225	200	250	28	135.341	120.297	300.200
275	250	300	30	168.591	139.622	300.200
325	300	350	38	384.016	156.871	300.200
375	350	400	56	245.085	172.267	300.200
425	400	450	60	160.112	186.009	300.200
475	450	500	70	264.371	198.275	300.200
525	500	550	66	231.979	209.224	300.200
575	550	600	90	299.287	218.996	300.200
625	600	650	76	293.228	227.719	300.200
675	650	700	82	259.121	235.505	300.200
725	700	750	68	321.911	242.454	300.200
775	750	800	82	366.980	248.657	300.200
825	800	850	66	215.405	254.194	300.200
875	850	900	72	361.587	259.135	300.200
925	900	950	88	317.374	263.546	300.200
975	950	1000	110	294.359	267.484	300.200
1025	1000	1050	120	227.622	270.998	300.200
1075	1050	1100	114	398.645	274.135	300.200
1125	1100	1150	112	283.376	276.935	300.200
1175	1150	1200	122	255.388	279.434	300.200
1225	1200	1250	96	320.950	281.664	300.200
1275	1250	1300	108	306.252	283.655	300.200
1325	1300	1350	74	234.130	285.433	300.200
1375	1350	1400	86	269.398	287.019	300.200

1425	1400	1450	94	188.859	288.435	300.200
1475	1450	1500	84	440.427	289.699	300.200
1525	1500	1550	104	246.147	290.827	300.200
1575	1550	1600	128	237.007	291.833	300.200
1625	1600	1650	118	174.728	292.732	300.200
1675	1650	1700	92	274.126	293.534	300.200
1725	1700	1750	72	400.408	294.250	300.200
1775	1750	1800	98	284.206	294.889	300.200
1825	1800	1850	76	211.933	295.460	300.200
1875	1850	1900	82	498.833	295.969	300.200
1925	1900	1950	90	395.784	296.424	300.200
1975	1950	2000	64	262.506	296.829	300.200

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

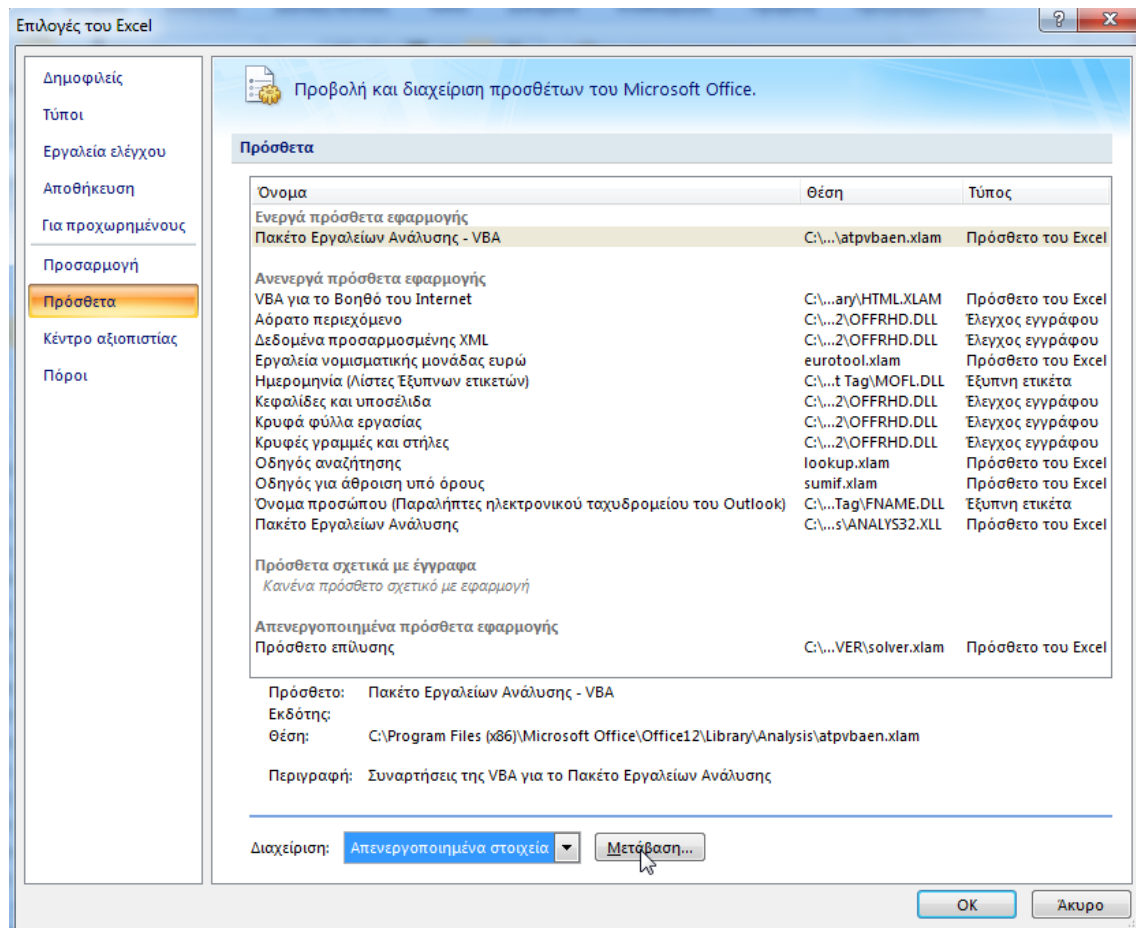
Στο παράρτημα Β παρουσιάζονται τα βήματα εγκατάστασης της VBA, γίνεται επεξήγηση του παραθύρου της VBA και τέλος παρουσιάζονται όλοι οι κώδικες που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του ημιβαριογράμματος και των τελικών προβλέψεων καθώς και η επεξήγηση του καθένα ξεχωριστά.

Προκειμένου κάποιος χρήστης να μπορέσει να αναπτύξει έναν κώδικα με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού της Visual Basic μέσω της εφαρμογής Microsoft Excel 2007, πρέπει να ενεργοποιηθεί η επιλογή της VBA και στη συνέχεια να προστεθεί η καρτέλα με όνομα «Προγραμματιστής» στο πάνω μέρος του παραθύρου που ονομάζεται Κορδέλα. Για την πραγματοποίηση των παραπάνω ενεργειών πρέπει να γίνει άνοιγμα της καρτέλας «Επιλογές του Excel» η οποία βρίσκεται στο κουμπί Office (Εικ.51)



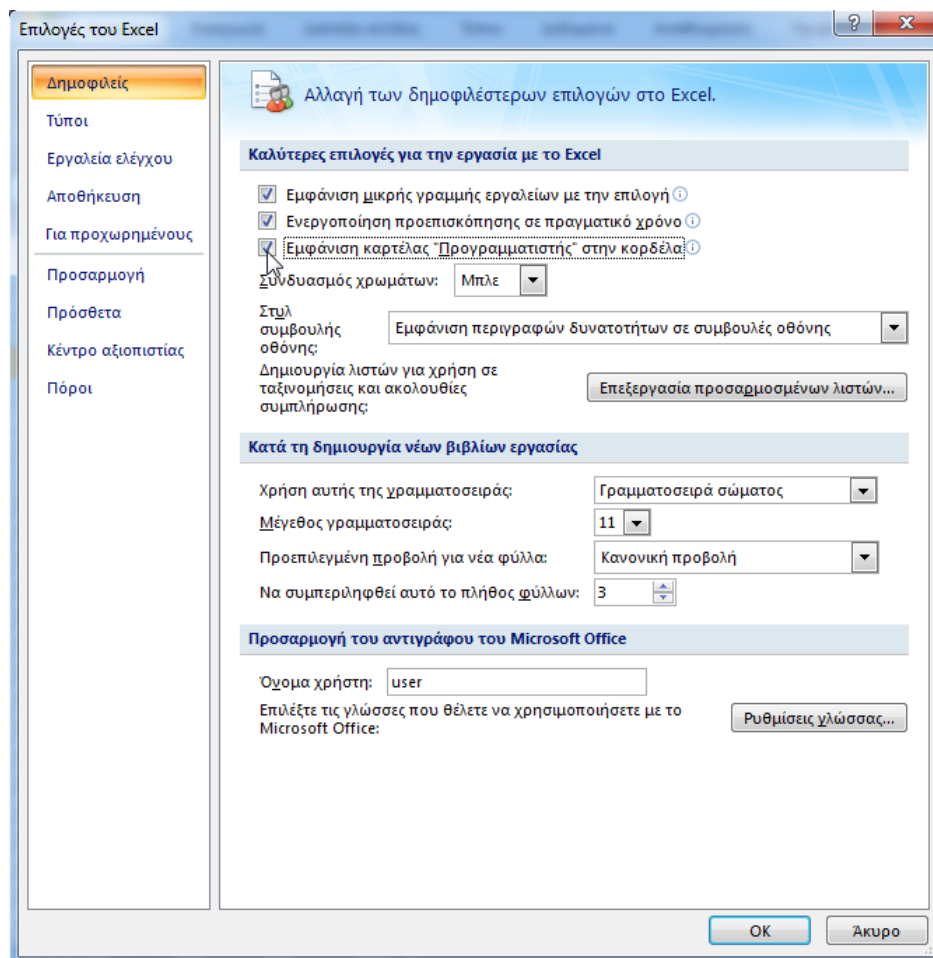
Εικόνα 51 Άνοιγμα της καρτέλας «Επιλογές του Excel»

Στην επιλογή «Διαχείριση», που βρίσκεται στην καρτέλα «Πρόσθετα», πρέπει να γίνει μετάβαση στα Απενεργοποιημένα στοιχεία (Εικ. 52) μέσω της αντίστοιχης επιλογής και να ενεργοποιηθεί το Πακέτο Εργαλείων Ανάλυσης-VBA στο αναδυόμενο παράθυρο που εμφανίζεται. Εάν τα προηγούμενα βήματα εφαρμόστηκαν με επιτυχία θα εμφανίζεται στα «Ενεργά πρόσθετα εφαρμογής» η επιλογή «Πακέτο Εργαλείων Ανάλυσης VBA».



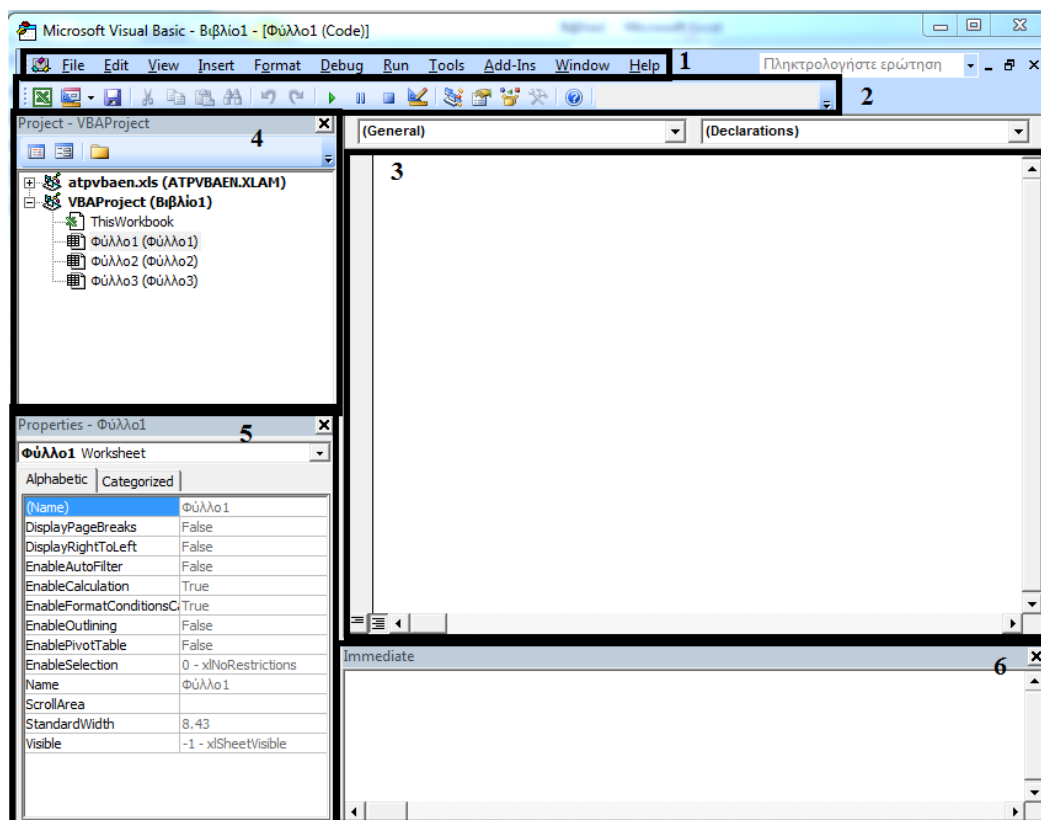
Εικόνα 52 Ενεργοποίηση της VBA

Η επόμενη ενέργεια αφορά στην εμφάνιση της καρτέλας «Προγραμματιστής» η οποία επιτυγχάνεται με την επιλογή «Εμφάνιση καρτέλας “Προγραμματιστή” στην κορδέλα» η οποία βρίσκεται στην καρτέλα «Δημοφιλείς» (Εικ.53).



Εικόνα 53 Εμφάνιση της καρτέλας "Προγραμματιστής"

Το άνοιγμα του παραθύρου της Visual Basic γίνεται με το ομώνυμο κουμπί που εμφανίζεται στην καρτέλα «Προγραμματιστής» που εμφανίστηκε προηγουμένως. Στην εικόνα 54 παρουσιάζεται το παράθυρο της Visual Basic και μία σύντομη επεξήγηση των παραθύρων.



Εικόνα 54 Περιβάλλον εργασίας της VBA

1. Το **Μενού Επιλογών** περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες και τις εφαρμογές της Visual Basic.
2. Η **Γραμμή Εργαλειών** περιλαμβάνει τις κύριες ενέργειες για την εκτέλεση του κώδικα όπως η αποθήκευση του κώδικα, η έναρξη, παύση και διακοπή της εκτέλεσης του κώδικα κ.α.
3. Στο **Παράθυρο Εργασίας** γίνεται ανάπτυξη του κώδικα
4. Στο Παράθυρο **Project-VBAProject** εμφανίζονται τα στοιχεία και όλοι οι κώδικες που έχουν αναπτυχθεί στο συγκεκριμένο βιβλίο επεξεργασίας του Excel.
5. Το παράθυρο **Properties** παρέχει πληροφορίες και τις κύριες ιδιότητες για κάθε κώδικα.
6. Τέλος το παράθυρο **Immediate (Παράθυρο άμεσης εκτύπωσης)** εκτυπώνει τα αποτελέσματα του κώδικα και βοηθάει στη διόρθωση των σφαλμάτων του κώδικα.

➤ **Κώδικας *simplify_data***

Ο κώδικας *simplify_data* απλοποιεί τα αρχικά δεδομένα τα οποία βρίσκονται στο φύλλο *DR_data_v1* του βιβλίου με όνομα *Drillhole_data_2018_SR_final* και παρουσιάζει αναλυτικά τις πληροφορίες που προκύπτουν από κάθε γεώτρηση στο φύλλο *data* του ίδιου βιβλίου Excel. Ο συγκεκριμένος κώδικας εκτελείται με το κουμπί *Simplify Data* που βρίσκεται στο φύλλο *data*.

```
Sub simplify_data()  
  
Dim x, y, d, kat, hole, drh, anwt, sr, z As Currency  
  
Dim i, j As Integer  
  
Worksheets("data").Select  
Cells(1, 1).value = "Hole ID"  
Cells(1, 1).Font.Bold = True  
Cells(1, 2).value = "x"  
Cells(1, 2).Font.Bold = True  
Cells(1, 3).value = "y"  
Cells(1, 3).Font.Bold = True  
Cells(1, 4).value = "z"  
Cells(1, 4).Font.Bold = True  
Cells(1, 5).value = "Ανώτερο σημείο λιγνίτη "  
Cells(1, 5).Font.Bold = True  
Cells(1, 6).value = "Κατώτερο σημείο λιγνίτη "  
Cells(1, 6).Font.Bold = True  
Cells(1, 7).value = "Πάχος λιγνίτη d"  
Cells(1, 7).Font.Bold = True  
Cells(1, 8).value = "SR"  
Cells(1, 8).Font.Bold = True  
Cells(1, 9).value = "Κατώτερο σημείο γεώτρησης"  
Cells(1, 9).Font.Bold = True  
  
j = 2
```

```

For i = 3 To 167 Step 2

    Worksheets("DR_data_v1").Select

    hole = Cells(i, 1)

    x = Cells(i, 2) 'easting
    y = Cells(i, 3) 'northing
    kat = Cells(i, 7) 'το κατώτερο σημείο που συναντήθηκε ο λιγνίτης
    z = Cells(i, 4)
    d = Cells(i, 8) 'πάχος λιγνίτη
    anwt = Cells(i, 6) 'το ανώτερο σημείο που συναντήθηκε ο λιγνίτης
    sr = Cells(i - 1, 9)
    drh = Cells(i, 5) 'το κατώτερο σημείο της γεώτρησης


    Worksheets("data").Select

    Cells(j, 1).value = hole
    Cells(j, 2).value = x
    Cells(j, 3).value = y
    Cells(j, 4).value = z
    Cells(j, 5).value = anwt
    Cells(j, 6).value = kat
    Cells(j, 7).value = d
    Cells(j, 8).value = sr
    Cells(j, 9).value = drh

    j = j + 1

Next i

End Sub

```

➤ ***Κώδικας syxnothtes_SR***

Ο κώδικας syxnothtes_SR κατασκευάζει τον πίνακα συχνοτήτων για τη μεταβλητή SR και παρουσιάζει τα αποτελέσματα στις στήλες Κ έως Ο του φύλλου «Ιστόγραμμα». Πιο συγκεκριμένα ζητείται από τον χρήστη να επιλέξει έναν ακέραιο για τη δημιουργία των κλάσεων του πίνακα συχνοτήτων. Πιο

συγκεκριμένα στην στήλη K και L εμφανίζονται η αρχή κάθε και το τέλος κάθε κλάσης αντίστοιχα, στην στήλη M το κέντρο κάθε κλάσης, στην στήλη N το πλήθος δειγμάτων που βρίσκονται στις διάφορες κλάσεις και τέλος, στην στήλη O, η συχνότητα εκφρασμένη σε ποσοστό. Στα κελιά του ίδιου φύλλου I1 έως I6 παρουσιάζονται το πλήθος δειγμάτων, η μέγιστη τιμή SR, η ελάχιστη τιμή SR, η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση και η διασπορά αντίστοιχα. Ο κώδικας εκτελείται με το κουμπί «Πίνακας Συχνοτήτων SR». Το κουμπί «Πίνακας Συχνοτήτων d» αντιστοιχεί στον κώδικα `suxnothtes_d` ο οποίος εμφανίζει τα ίδια αποτελέσματα με τον κώδικα `suxnothtes_SR` για τη μεταβλητή του πάχους d.

```
Sub suxnothtes_SR()
Dim i, j, r, k, pl As Integer
Dim max, evros, mesh As Currency
Worksheets("Ιστόγραμμα").Select
max = 0
pl = 0
For i = 2 To 74
    pl = pl + 1
    If Cells(i, 5) > max Then
        max = Cells(i, 5)
    End If
Next i
Cells(1, 8).value = "Πλήθος δειγμάτων"
Cells(2, 8).value = "Μέγιστη τιμή SR:"
Cells(3, 8).value = "Ελάχιστη τιμή SR:"
Cells(4, 8).value = "Μέση τιμή"
Cells(5, 8).value = "Τυπική απόκλιση"
Cells(6, 8).value = "Διασπορά"
Cells(1, 8).Font.Bold = True
Cells(2, 8).Font.Bold = True
Cells(3, 8).Font.Bold = True
Cells(4, 8).Font.Bold = True
```

```

Cells(5, 8).Font.Bold = True
Cells(6, 8).Font.Bold = True
Cells(1, 9).value = pl
Cells(2, 9).value = WorksheetFunction.max(range("E2: E74"))
Cells(3, 9).value = WorksheetFunction.Min(range("E2: E74"))
Cells(4, 9).value = WorksheetFunction.Average(range("E2: E74"))
Cells(5, 9).value = WorksheetFunction.StDev(range("E2: E74"))
Cells(6, 9).value = WorksheetFunction.Var(range("E2: E74"))
Cells(1, 11).value = "Από"
Cells(1, 12).value = "Έως"
Cells(1, 13).value = "Κέντρο διαστήματος"
Cells(1, 14).value = "Πλήθος δειγμάτων"
Cells(1, 15).value = "Συχνότητα %"

evros = Application.InputBox(prompt:="Δώσε εναν ακέραιο για το εύρος στο
διάγραμμα συχνοτήτων", Title:="Εύρος διαγράμματος συχνοτήτων", Type:=1)

r = 2
k = 0
For j = 0 To max Step evros
    mesh = (j + j + evros) / 2
    Cells(r, 11).value = j
    Cells(r, 12).value = j + evros
    Cells(r, 13).value = mesh
    For i = 2 To 74
        If Cells(i, 5) >= j And Cells(i, 5) <= j + evros Then
            k = k + 1
        End If
    Next i
    freq = k * 100 / pl
    Cells(r, 14).value = k
    Cells(r, 15).value = freq
    k = 0

```

```

r = r + 1
Next j
End Sub

```

➤ **Κώδικας *eykleidia_apostash_xy***

Ο συγκεκριμένος κώδικας υπολογίζει την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των δειγμάτων και τα εμφανίζει στο φύλλο «Αποστάσεις x-y». Ο κώδικας αντιστοιχεί στο κουμπί «Ευκλείδεια Απόσταση Συντεταγμένων».

```

Sub eykleidia_apostash_xy() ' Αρχή προγράμματος που γεμίζει τον πίνακα στο
φύλλο των αποστάσεων μέσω του κουμπιού Αποστάσεις x-y'
Dim i, j As Integer ' Δήλωση μεταβλητών της επανάληψης σαν ακέραιοι'
For i = 6 To 78 Step 1 'Αρχή πρώτης επανάληψης όπου το i συμβολίζει τις
γραμμές'
    For j = 6 To 78 Step 1 'Αρχή δεύτερης επανάληψης όπου το j συμβολίζει τις
στήλες'
        Cells(i, j).value = Sqr(((Cells(2, i) - Cells(2, j)) ^ 2) + ((Cells(3, i) - Cells(3,
j)) ^ 2)) 'Υπολογισμός της τετραγωνικής απόστασης και ανάθεσης της τιμής στο
αντίστοιχο κελί'
    Next j 'Τέλος δεύτερης επανάληψης'
Next i 'Τέλος τρίτης επανάληψης'

End Sub 'Τέλος προγράμματος

```

➤ **Κώδικας *apostaseis_SR***

Ο κώδικας *apostaseis_SR* υπολογίζει και τυπώνει στο φύλλο Αποστάσεις SR έναν πίνακα (73x73) που αποτελείται από την τετραγωνική διαφορά των τιμών SR για όλα τα δείγματα. Αντίστοιχα ο κώδικας *apostaseis_d* εμφανίζει τον αντίστοιχο πίνακα για τη μεταβλητή d στο φύλλο «Αποστάσεις d». Οι κώδικες αντιστοιχούν στα κουμπιά που βρίσκονται στα αντίστοιχα φύλλα.

```

Sub apostaseis_SR()

Dim i, j As Integer

```

```

Cells(46, 4).value = 0
Cells(4, 46).value = 0
For i = 5 To 77
For j = 5 To 77
Cells(i, j).value = (Cells(i, 4) - Cells(4, j)) ^ 2
Next j
Next i
End Sub

```

➤ **Κώδικας semivariogram_sr**

Ο κώδικας semivariogram_sr κατά την εκτέλεση του ζητάει από τον χρήστη να ορίσει τον πίνακα A που αντιστοιχεί στις ευκλείδειες αποστάσεις των σημείων, τον πίνακα B που αντιστοιχεί στην τετραγωνική διαφορά μεταξύ των σημείων καθώς και έναν ακέραιο αριθμό για τις αποστάσεις (lag) του ημιβαριογράμματος. Οι τιμές του εκθετικού και γκαουσσισιανού θεωρητικού μοντέλου υπολογίζονται από τον χρήστη με την εισαγωγή συνάρτησης έτσι ώστε ο προσδιορισμός των παραμέτρων του ημιβαριογράμματος να είναι πιο εύκολος και να μην απαιτείται εκτέλεση του κώδικα από την αρχή σε περίπτωση αλλαγής κάποιας παραμέτρου.

```

Sub semivariogram_sr() 'Αρχή προγράμματος για τον υπολογισμό του
βαριογράμματος'
Dim A, B As range 'Δήλωση των μεταβλητών ως περιοχές'
Dim i, j, k, pa, z, evros, n As Integer 'Δήλωση των μεταβλητών ως ακέραιους'
Dim max, gamma, bar, gaus, expo, sill, pmeso, range As Currency 'Δήλωση των
μεταβλητών ως πραγματικούς'
max = 0 ' Μηδενισμός της τιμής max'
Worksheets("semivariogram SR").Select
Cells(1, 1).value = "Lag"
Cells(1, 2).value = "Από"
Cells(1, 3).value = "Εώς"
Cells(1, 4).value = "Αριθμός δειγμάτων n"
Cells(1, 5).value = "Άθροισμα"
Cells(1, 6).value = "Πειραματικό ημιβαριόγραμμα Γ(x)"

```

```

Cells(1, 7).value = "Εκθετικό θεωρητικό μοντέλο"
Cells(1, 8).value = "Γκαουσσσιανό θεωρητικό μοντέλο"
Cells(1, 10).value = "sill:"
Cells(2, 10).value = "range:"
Cells(3, 10).value = "nugget:"

sill = Cells(1, 11)
range = Cells(2, 11)
nugget = Cells(3, 11)

Set A = Application.InputBox(prompt:="Επιλέξτε περιοχή κελιών για τις αποστάσεις x-y", Title:="Επιλογή τιμών", Type:=8) 'Ζητάμε από τον χρήστη να επιλέξει την περιοχή A'

For i = 1 To 73 Step 1 'Αρχή επανάληψης όπου το i αντιστοιχεί σε κάθε γραμμή'
    For j = 1 To 73 Step 1 'Αρχή δεύτερης επανάληψης όπου το j αντιστοιχεί σε κάθε στήλη'
        If (A(i, j) > max) Then 'Έλεγχος αν το στοιχείο του κάθε κελιού που εξετάζεται είναι μεγαλύτερο απο την τιμή max'
            max = A(i, j) 'Αν ισχύει η συνθήκη η μεταβλητή max παίρνει την τιμή του κελιού'
        End If 'Τέλος ελέγχου'
    Next j 'Τέλος δεύτερης επανάληψης'
Next i 'Τέλος πρώτης επανάληψης'

Worksheets("Αποστάσεις SR").Select 'Ενεργοποίηση του φύλλου Αποστάσεις d'

Set B = Application.InputBox(prompt:="Επιλέξτε περιοχή κελιών για τις αποστάσεις sr", Title:="Επιλογή τιμών", Type:=8)

' Ζητάμε από τον χρήστη να επιλέξει την περιοχή B'

envros = Application.InputBox(prompt:="Δώσε εναν ακέραιο για το εύρος βαριογράμματος", Title:="Εύρος βαριογράμματος", Type:=1)

'Ζητάμε εναν ακέραιο από τον χρήστη για τον έλεγχο των αποστάσεων'

pa = 0 'Μηδενισμός του pa για την επανάληψη που ακολουθεί'

k = 1 'Ορισμός της τιμής k=5

For p = pa To max Step envros 'Αρχή της επανάληψης p από 0 έως την μέγιστη τιμή που υπολογίσαμε πριν με βήμα την ακέραια τιμή που έδωσε ο χρήστης'

```

```

k = k + 1 ' αύξηση του k κατά ένα σε κάθε επανάληψη'
gamma = 0 'μηδενισμός της μεταβλητής gamma'
bar = 0 'μηδενισμός της μεταβλητής bar'
n = 0 'Μηδενισμός την μεταβλητής n'
For i = 1 To 73 Step 1 'Αρχή επανάληψης όπου το i αντιστοιχεί σε κάθε γραμμή'
    For j = 1 To 73 Step 1 'Αρχή δεύτερης επανάληψης όπου το j αντιστοιχεί σε
        κάθε στήλη'
        If A(i, j) >= p And A(i, j) < (p + evros) Then 'έλεγχος αν η τιμή του κελιού
            της περιοχής A είναι μέσα στα επιθυμητά όρια'
                gamma = gamma + B(i, j) 'Άθροισμα των στοιχείων της περιοχής B τα
                αντίστοιχα των οποίων της περιοχής A ικανοποιούν την παραπάνω
                συνθήκη'
                n = n + 1 'Μέτρηση των στοιχείων που βρίσκονται εντός της συνθήκης'
            End If 'Τέλος του ελέγχου'
        Next j 'Τέλος τρίτης επανάληψης.Μετά από εδώ αλλάζει γραμμή και
        ξαναρχίζει για την κάθε στήλη'
    Next i 'Τέλος δεύτερης επανάληψης'
    If n <> 0 Then 'έλεγχος εάν το n είναι διάφορο του 0
        bar = gamma / (2 * n) 'Αν ισχύει δίνει στην μεταβλητή bar την τιμή που θα
        χρησιμοποιηθεί για το βαριόγραμμα'
    Else
        bar = 0 ' Αν δεν ισχύει η συνθήκη η μεταβλητή bar ισοδυναμεί με 0'
    End If 'Τέλος ελέγχου'
    pmeso = (p + p + evros) / 2
    Worksheets("semivariogram SR").Select
    Cells(k, 1).value = pmeso
    Cells(k, 2).value = p
    Cells(k, 3).value = p + evros
    Cells(k, 4).value = n
    Cells(k, 5).value = gamma
    Cells(k, 6).value = bar 'Εμφανίζουμε τις τιμές που υπολογίσαμε στα αντίστοιχα
    κελιά'

```

```

'Cells(k, 7).value = expo
'Cells(k, 8).value = gaus
Next p 'Τέλος πρώτης επανάληψης'
End Sub 'Τέλος προγράμματος'

```

➤ **Κώδικας *semivariances_SR***

Ο συγκεκριμένος κώδικας υπολογίζει και εμφανίζει στο φύλλο krigging SR τον πίνακα που αποτελείται από τις ημιδιακυμάνσεις μεταξύ όλων των σημείων (Εξ. 2.6). Αντίστοιχα λειτουργεί και ο κώδικας *semivariances_d* ο οποίος εμφανίζει τα αποτελέσματα στο φύλλο krigging d

```

Sub semivariances_SR()
Dim i, j As Integer
Dim nugget, sill, distance, range, sr As Currency
Worksheets("semivariogram SR").Select
sill = Cells(1, 11)
range = Cells(2, 11)
nugget = Cells(3, 11)
For i = 2 To 74
    For j = 2 To 7
        Worksheets("Αποστάσεις x-y").Select
        sr = Cells(i + 4, 4)
        distance = Cells(i + 4, j + 4)
        Worksheets("krigging SR").Select
        Cells(i, j).value = nugget + sill * (1 - Exp(-distance / range))
    Next j
Next i
End Sub

```

➤ **Κώδικας *prediction_SR***

Ο κώδικας *prediction_SR* κάνει τις τελικές προβλέψεις για τα τελικά σημεία και υπολογίζει και το σφάλμα πρόβλεψης. Τυπώνει στο φύλλο *results* τις συντεταγμένες του σημείου εκτίμησης, την πρόβλεψη και το σφάλμα. Ο κώδικας ζητάει από τον χρήστη να ορίσει τις διαστάσεις με βάση τις οποίες θα γίνει η διακριτοποίηση του κανάβου.

Sub *prediction_SR*()

Dim *Mat*(), *SP*(), *weights*(), *value*(), *matinv*() As Variant

Dim *i*, *j*, *p*, *lop*, *rd*, *qqe*, *qqw*, *pr*, *l*, *m*, *o*, *lok*, *r*, *e*, *q*, *qq*, *ox*, *oy*, *s*, *w*, *op*, *kk*, *kr* As Integer

Dim *maxx*, *diast*, *xp*, *yp*, *x*, *y*, *nugget*, *error*, *pred*, *val*, *sill*, *range*, *sps*, *minx*, *maxy*, *krigg*, *krigx*, *krigg*, *miny*, *DPS*, *grid* As Currency

Worksheets("semivariogram SR").Select

nugget = Cells(3, 11)

sill = Cells(1, 11)

range = Cells(2, 11)

Worksheets("results").Select

Cells(1, 1).value = "x"

Cells(1, 1).Font.Bold = True

Cells(1, 2).value = "y"

Cells(1, 2).Font.Bold = True

Cells(1, 3).value = "predicted value for SR"

Cells(1, 3).Font.Bold = True

Cells(1, 4).value = "prediction error for SR"

Cells(1, 4).Font.Bold = True

Cells(1, 9).value = "grid for SR:"

Cells(1, 10).value = *grid*


```

Worksheets("krig SR").Select
Cells(1, 1).value = "X"
Cells(1, 1).Font.Bold = True
Cells(1, 2).value = "Y"
Cells(1, 2).Font.Bold = True
Cells(1, 3).value = "Distance(prediction and sample point)"
Cells(1, 3).Font.Bold = True
Cells(1, 4).value = "Semivar.(prediction and sample point)"
Cells(1, 4).Font.Bold = True
Cells(1, 5).value = "Weights"
Cells(1, 5).Font.Bold = True
Worksheets("Αποστάσεις SR").Select
maxx = 0
maxy = 0
minx = Cells(5, 2)
miny = Cells(5, 3)
For i = 5 To 87
    If Cells(i, 2) > maxx Then
        maxx = Cells(i, 2)
    End If
    If Cells(i, 2) < minx Then
        minx = Cells(i, 2)
    End If
    If Cells(i, 3) > maxy Then
        maxy = Cells(i, 3)
    End If
    If Cells(i, 3) < miny Then
        miny = Cells(i, 3)
    End If

```

Next i

'Cells(88, 1).value = "min:"

'Cells(89, 1).value = "max:"

'Cells(88, 2).value = maxx

'Cells(88, 3).value = maxy

'Cells(89, 2).value = minx

'Cells(89, 3).value = miny

diast = MsgBox("Θέλετε να ορίσετε εσείς τις διαστάσεις του κανάβου;", vbYesNo, "Δημιουργία κανάβου για εφαρμογή krigging")

If (diast = vbYes) Then

 grid = Application.InputBox(prompt:="Δώστε έναν ακέραιο για την διακριτοποίηση του κανάβου", Title:="grid", Type:=1)

Else

 grid = WorksheetFunction.Quotient((maxx - Min), 20)

End If

MsgBox grid

Worksheets("results").Select

Cells(1, 10).value = grid

pr = 2

kr = 3 ' Η μεταβλητή kr ορίζει την γραμμή που βρίσκομαι στο φύλλο krig

qq = 2

m = 0 ' Η μεταβλητή m χρησιμοποιείται για να ορίσω στο φύλλο helpV την γραμμή που είναι επιλεγμένη όταν κατασκευάζονται οι πίνακες για κάθε γειτονιά συσχέτισης

lop = 1

For p = -7250 To -4350 Step grid

 For l = 6350 To 11950 Step grid

 o = 2

 xp = (2 * p + grid) / 2 'κέντρα κάθε γειτονιάς που θα προσδιοριστεί το SR

 yp = (2 * l + grid) / 2

 rd = 0

```

For i = 5 To 77
    Worksheets("Αποστάσεις SR").Select
    If Sqr(((Cells(i, 2) - xp) ^ 2) + (Cells(i, 3) - yp) ^ 2) < range Then
        rd = rd + 1
    End If
Next i

If rd > 1 Then
    m = m + 1
    Worksheets("helpV SR").Select
    Cells(m, 1).value = "Centre of the box:"
    Cells(m, 1).Font.Bold = True
    Cells(m, 2).value = "x:" & xp
    Cells(m, 2).Font.Bold = True
    Cells(m, 3).value = "y:" & yp
    Cells(m, 3).Font.Bold = True
    m = m + 3
End If

j = m - 1 'με τη μεταβλητή j βρίσκομαι σε μία γραμμή στους πίνακες στο
φύλλο
        helpV ώστε να βάζω τον αριθμό του δείγματος στον κάθε πίνακα
jj = 1 'Η μεταβλητή jj ελέγχει πόσα δείγματα βρίσκονται στη γειτονιά που
μελετάμε

qq = kr
op = 0
lok = 0

If rd > 1 Then
For e = 5 To 77
    Worksheets("Αποστάσεις SR").Select
    If Sqr(((Cells(e, 2) - xp) ^ 2) + (Cells(e, 3) - yp) ^ 2) < range Then
        op = op + 1

```

```

        lok = lok + 1
    End If
Next e
If op > 1 Then
    ReDim SP(1 To op + 1, 1 To 1)
    ReDim value(1 To op, 1 To 1)
    SP(op + 1, 1) = 1
End If
For i = 5 To 77
    Worksheets("Αποστάσεις SR").Select
    If Sqr(((Cells(i, 2) - xp) ^ 2) + (Cells(i, 3) - yp) ^ 2) < range Then
        Worksheets("Αποστάσεις SR").Select
        x = Cells(i, 2)
        y = Cells(i, 3)
        DPS = Sqr(((x - xp) ^ 2) + ((y - yp) ^ 2))
        sps = nugget + sill * (1 - Exp(-DPS / range))
        If op > 1 Then
            SP(jj, 1) = sps
            SP(jj + 1, 1) = 1
            value(jj, 1) = Cells(i, 4)
        End If
        Worksheets("krig SR").Select
        Cells(kr, 4).value = sps
        Cells(kr + 1, 4).value = 1
        Cells(kr, 3).value = DPS
        Cells(kr, 1).value = xp
        Cells(kr, 2).value = yp
        kr = kr + 1
        Worksheets("helpV SR").Select
    End If

```

```

Cells(m, 1).value = i - 3

Cells(j, o).value = i - 3

m = m + 1

o = o + 1

jj = jj + 1

End If

Next i

qq = kr + 1 - jj

If op > 0 Then

    kr = kr + 3

End If

If jj > 2 Then

    ReDim Mat(1 To op + 1, 1 To op + 1)

    ReDim matinv(1 To op + 1, 1 To op + 1)

    ReDim weights(1 To op, 1 To 1)

End If

For w = j + 1 To m - 1 ' Σε αυτή την επανάληψη βάζω τα στοιχεία από το
                        φύλλο krigging στους πίνακες του φύλλου helpV

    For q = 2 To o - 1

        Worksheets("helpV SR").Select

        krigy = Cells(j, q)

        krigx = Cells(w, 1)

        Worksheets("Αποστάσεις SR").Select

        val = Cells(krigx + 3, 4)

        Worksheets("krigging SR").Select

        krigg = Cells(krigx, krigy)

        Worksheets("helpV SR").Select

        Cells(w, q).value = krigg

        Cells(m, q).value = 1

```

```

Cells(m, o).value = 0

Cells(w, o).value = 1

Cells(w, o + 2).value = val

Next q

Next w

Worksheets("helpV SR").Select

If jj > 2 Then
ox = 0
oy = 0
For w = j + 1 To m
    ox = ox + 1
    oy = 0
    For q = 2 To o
        oy = oy + 1
        Mat(ox, oy) = Cells(w, q)
    Next q
Next w
matinv = WorksheetFunction.MInverse(Mat)
weights() = WorksheetFunction.MMult(matinv, SP)
For i = 1 To op
    If lok > 1 Then
        Worksheets("krig SR").Select
        Cells(qq, 5).value = weights(i, 1)
        qq = qq + 1
    End If
Next i
End If
If lok > 1 Then

```

```

Worksheets("results").Select
Cells(pr, 1).value = xp
Cells(pr, 2).value = yp
pred = 0
error = 0
For i = 1 To op
    pred = pred + weights(i, 1) * value(i, 1)
    error = error + weights(i, 1) * SP(i, 1)
Next i
Cells(pr, 3).value = pred
Cells(pr, 4).value = error
pr = pr + 1
End If
qq = qq + op
m = m + 1
End If
Next l
Next p
End Sub

```

➤ ***Κώδικας Istogramma_SR***

Με τον κώδικα Istogramma_SR κατασκευάζεται ο πίνακας συχνοτήτων των τελικών αποτελεσμάτων τα οποία και τυπώνονται στο φύλλο «Ιστόγραμμα αποτελεσμάτων».

```

Sub Istogramma_SR()
Dim i, j, pl, gr As Integer
Dim eyros As Currency
Worksheets("results").Select
gr = 2

```

```

eyros = 1
maxc = WorksheetFunction.Max(range("c2:c4917"))
maxi = WorksheetFunction.Even(maxc)
minc = WorksheetFunction.Min(range("c2:c4917"))
mini = WorksheetFunction.Even(minc)
Worksheets("Ιστόγραμμα αποτελεσμάτων").Select
Cells(1, 1).value = "Πίνακας συχνοτήτων SR"
Cells(gr, 1).value = "Από"
Cells(gr, 2).value = "Έως"
Cells(gr, 3).value = "Κέντρο διαστήματος"
Cells(gr, 4).value = "Πλήθος δειγμάτων"
Cells(gr, 5).value = "Συχνότητα %"

For j = mini To maxi Step eyros
    pl = 0
    kr = 0
    gr = gr + 1
    For i = 2 To 4917
        kr = kr + 1
        Worksheets("results").Select
        If Cells(i, 3) <= j + eyros And Cells(i, 3) >= j Then
            pl = pl + 1
        End If
    Next i
    Worksheets("Ιστόγραμμα αποτελεσμάτων").Select
    Cells(gr, 1).value = j
    Cells(gr, 2).value = j + eyros
    Cells(gr, 3).value = j + eyros / 2
    Cells(gr, 4).value = pl

```



```
Cells(gr, 5).value = pl * 100 / (kr)  
Next j  
End Sub
```