

Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Διπλωματική Εργασία:

«ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΣΜΕΝΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ
ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RAM»

Μαγος Κωνσταντίνος

Επιβλέπων καθηγητής: Γεώργιος Καρατζάς

Χανια 2004

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ στη ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	9
1. ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ.....	10
1.1 Στόχοι και δραστηριότητες κοινοτικής πολιτικής	11
1.1.1 Agenda 21	11
1.1.2 Κοινοτική πολιτική έρευνας – Προγράμματα Πλαίσια	12
1.2 Σχόλια	13
2. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΑ ΥΔΑΤΑ	14
2.1 Κοινοτικό θεσμικό πλαίσιο.....	14
2.2 Ελληνικό Θεσμικό Πλαίσιο	17
3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ	21
3.1 Μέθοδοι Ανάλυσης Αβεβαιότητας	22
3.2 Ανάλυση Σφαλμάτων Μοντέλου	23
3.3 Ανάλυση Πρώτης Τάξης.....	24
3.4 Ανάλυση Monte Carlo	26
4. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ της ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	27
4.1 Δομή.....	27
4.2 Κριτήρια και Περιπτώσεις Ανάλυσης Επικινδυνότητας	29
4.3 Περιορισμοί στην Ανάλυση Επικινδυνότητας.....	31
4.4 Σκοπός και Αβεβαιότητα	32
4.5 Ανάλυση Επικινδυνότητας	33
4.6 Διαχείριση Επικινδυνότητας.....	35
4.7 Δομή Διαχείρισης Επικινδυνότητας Περιβαλλοντικής Υγείας	36
5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ με ΧΡΗΣΗ της ΜΕΘΟΔΟΥ MONTE CARLO	39
5.1 Περίληψη	39
5.2 Εισαγωγή	39
5.3 Δομή του Μοντέλου.....	40
5.4 Προσομοίωση Monte Carlo	41
5.5 Παρουσίαση και Ερμηνεία των Αποτελεσμάτων της Ανάλυσης Επικινδυνότητας	47
5.6 Μοντέλο Crystal Ball.....	49

6. MONTELO RAM	50
6.1 Γενικά.....	50
6.2 Βασικές Πληροφορίες για το Λογισμικό	53
6.2.1 Συνοπτική Περιγραφή του Λογισμικού	53
6.2.2 Πλαίσιο Λογισμικού	53
6.2.3 Ρύποι και Ρυπασμένα-Μολυσμένα Μέσα.....	54
6.2.4 Διαδρομές και Δέκτες	55
6.2.5 Αποτελέσματα.....	55
6.3 Χαρακτηριστικά της Ικανότητας Μοντελοποίησης Υπόγειων Υδροφορέων ...	56
6.3.1 Χρηστικότητα του λογισμικού.....	56
6.3.2 Βάσεις Δεδομένων και Προκαθορισμένες Τιμές.....	57
6.3.3 Χαρακτηρισμός Μόλυνσης της Πηγής.....	57
6.3.4 Χαρακτηρισμός Διαδρομών.....	58
6.3.5 Χαρακτηρισμός Αποδεκτών	60
6.3.6 Επιθυμητές Συγκεντρώσεις.....	61
6.3.7 Εισαγωγή Δεδομένων	61
6.3.8 Αποτελέσματα.....	62
7. Μοντέλο Μεταφοράς - εξισώσεις	64
7.1 Πηγή.....	64
7.2 Διάλυση.....	66
7.3 Εξασθένιση	68
7.4 Αναλυτικές λύσεις για τα στάδια 1-3.....	72
7.5 Μοντελοποίηση Σύνθετης περιοχής με εφαρμογή της ανάλυσης 4 ^ο σταδίου..	74
7.6 Πιθανολογική Λειτουργία Μοντέλου	74
7.7 Διερμήνευση Μοντέλου.....	75
7.7.1 Καταλληλότητα λογισμικού σύμφωνα με τη μεθοδολογία επανορθωτικών στόχων.....	75
7.7.2 Παρουσίαση Μοντέλου για τη Μεθοδολογία Επανορθωτικών Στόχων σε στάδια.....	75
7.7.3 Ενδεχόμενα Προβλήματα Λογισμικού	76
7.7.4 Ενδεχόμενα Λάθη από τη Χρήση του Λογισμικού	76
7.7.5 Περιορισμοί Λογισμικού	77
7.8 Συμπεράσματα	77

8. Εφαρμογή Μοντέλου - Πουλλίτσα	80
8.1 Περιγραφή της υπό Μελέτη Περιοχής.....	80
8.2 Μελέτη Παρούσας Κατάστασης Πουλλίτσας.....	81
8.2.1 Στάδιο 1.....	82
8.2.2 Στάδιο 2.....	86
8.2.3 Στάδιο 3.....	90
9. Εφαρμογή Μοντέλου – ΒΙ.ΠΕ.....	103
9.1 Περιγραφή της υπό Μελέτη Περιοχής.....	103
9.2 Παρούσα Κατάσταση ΒΙ.ΠΕ.	104
9.2.1 Στάδιο 1.....	105
9.2.2. Στάδιο 2.....	106
9.2.3. Στάδιο 3.....	107
9.3 Εφαρμογή πηγαδιού άντλησης	114
9.3.1. Στάδιο 1.....	114
9.3.2. Στάδιο 2.....	114
10. Γενικά Συμπεράσματα	116
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	118
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	121
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	121
Αναφορά Ευρωπαϊκών Διατάξεων	121
Αναφορά Ελληνικών Διατάξεων	124
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	126
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	127
Χρήσιμοι Πίνακες.....	127
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ	129
Ειδικό Λεξιλόγιο.....	129
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε	133
Χάρτης Περιοχής Πουλλίτσας.....	133
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ.....	134
Πιθανολογική Αναφορά Crystal Ball για την Πουλλίτσα.	134
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ	160
Πιθανολογική Αναφορά Crystal Ball για τη ΒΙ.ΠΕ.	160

Σχήμα 1. The Commission's Risk Management Framework 37

Σχήμα 2. Η αρχή Monte Carlo εφαρμοσμένη στην περίπτωση κατανεμημένων ιδιοτήτων. 42

Σχήμα 3. Σχηματική απεικόνιση του θεμελιώδους μοντέλου RAM 51

Πίνακας 1. Στάδια Αποτίμησης RAM 54

Σχήμα 4. Κάτοψη μεταφοράς ρυπογόνων ουσιών με διαφορετικούς παράγοντες καθυστέρησης 69

Σχήμα 5. Παραστατική Απεικόνιση 1^{ου} Σταδίου 84

Πίνακας 2. Συγκέντρωση στην πηγή, Στάδιο 1 – Πουλλίτσα. 85

Πίνακας 3. Επανορθωτικές συγκεντρώσεις, Στάδιο 1 – Πουλλίτσα. 85

Σχήμα 6. Παραστατική Απεικόνιση 2^{ου} Σταδίου – Πουλλίτσα. 87

Πίνακας 4. Συγκέντρωση 2^{ου} σταδίου στον αποδέκτη – Πουλλίτσα. 88

Πίνακας 5. Επανορθωτικές συγκεντρώσεις 2^{ου} σταδίου – Πουλλίτσα. 89

Πίνακας 6-α. Αποτελέσματα Εννοιολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – Πουλλίτσα. 92

Πίνακας 6-b. Αποτελέσματα Εννοιολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – Πουλλίτσα. 93

Πίνακας 6-c. Αποτελέσματα Εννοιολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – Πουλλίτσα. 94

Πίνακας 7-α. Αποτελέσματα Πιθανολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – Πουλλίτσα. 98

Πίνακας 7-b. Αποτελέσματα Πιθανολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – Πουλλίτσα. 99

Πίνακας 8. Αποτελέσματα Εννοιολογικής Προσομοίωσης 1^{ου} Σταδίου – ΒΙ.ΠΕ. 106

Πίνακας 9. Αποτελέσματα Εννοιολογικής Προσομοίωσης 2^{ου} Σταδίου – ΒΙ.ΠΕ. 107

Πίνακας 10. Αποτελέσματα Εννοιολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – ΒΙ.ΠΕ. 109

Πίνακας 10-α. Αποτελέσματα Εννοιολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – ΒΙ.ΠΕ. 109

Πίνακας 11. Αποτελέσματα Πιθανολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – ΒΙ.ΠΕ. 111

Πίνακας 11-b. Αποτελέσματα Πιθανολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου –
ΒΙ.ΠΕ. 113

Πίνακας 12. Αποτελέσματα Εννοιολογικής Προσομοίωσης 2^{ου} Σταδίου – ΒΙ.ΠΕ.
114

Με την ολοκλήρωση της Διπλωματικής Εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους βοήθησαν στην εκπόνηση της. Ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή Γεώργιο Καρατζά, καθώς και τη Δρ. Μαρία Παπαδοπούλου. Επίσης ευχαριστώ τους καθηγητές Ευάγγελο Γιδαράκο και Νικόλαο Νικολαΐδη, για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη σύγχρονη εποχή, η επιστημονική κοινότητα διχάζεται ανάμεσα στον τρόπο με τον οποίο θα συνεχιστεί η τεχνολογική ανάπτυξη και στην προστασία του περιβάλλοντος. Μέχρι πρότινος, η ανάπτυξη της τεχνολογίας συχνά συνοδευόταν από την έλλειψη συνεπούς αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, με αποτέλεσμα την υποβάθμισή και τη σταδιακή καταστροφή του. Πολλές φορές οι επιπτώσεις αυτές δεν ήταν ορατές, παρά μόνο μετά την παρέλευση μεγάλου χρονικού διαστήματος ή σε μεγάλης κλίμακας ατυχήματα. Ταυτόχρονα, η πίεση που ασκούν η κοινή γνώμη και οι ομάδες ειδικού ενδιαφέροντος (π.χ. οικολόγοι), για την προστασία του περιβάλλοντος και τον περιορισμό των επιπτώσεων που προκύπτουν από την καταστροφή του, έχει ως αποτέλεσμα την ακριβέστερη και αναλυτικότερη μελέτη των υπό κατασκευή έργων.

Η Ανάλυση Επικινδυνότητας είναι μια μέθοδος η οποία σκοπεύει στη διερεύνηση και επισήμανση των πιθανών κινδύνων που είναι δυνατόν να προκληθούν από ένα έργο ή μια απόφαση. Σημαντικό ρόλο για την εφαρμογή μίας απόφασης, παίζει η γνώμη των πολιτών εφόσον βεβαίως ενημερωθούν αναλυτικά. Τα αποτελέσματα της Ανάλυσης Επικινδυνότητας μπορεί να έχουν την μορφή ποσοστών, διαγραμμάτων ή πιθανοτήτων ανάλογα με την υπό εξέταση περίπτωση και την πολυπλοκότητά της. Στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου σε περιβαλλοντικά ζητήματα (φυσικά συστήματα), ο σκοπός είναι να υποδειχθούν οι πιθανότητες εμφάνισης ασθενειών (συνήθως καρκίνου), έπειτα από έκθεση των ανθρώπων σε ρυπασμένα από χημικά περιβάλλοντα. Για το λόγο αυτό και για τη διευκόλυνση αυτών που τελικά θα πάρουν τις αποφάσεις, για κάθε τοξική ή επικίνδυνη ουσία έχουν θεσπιστεί ορισμένα όρια πάνω από τα οποία οι κίνδυνοι για τον άνθρωπο είναι μεγάλοι. Επίσης έχει γίνει περαιτέρω διαχωρισμός των τιμών αυτών ανάλογα με τον χρόνο έκθεσης του ανθρώπου σε ρυπασμένο-μολυσμένο περιβάλλον. Σύμφωνα με τη λογική αυτή, όταν οι συγκεντρώσεις είναι κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια, οι ανεπιθύμητες επιπτώσεις είναι σχεδόν απίθανο να εμφανιστούν.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Η θεμελιώδης ανάπτυξη της Ανάλυσης Επικινδυνότητας στις ΗΠΑ και σε άλλες ανεπτυγμένες βιομηχανικά χώρες, ξεκίνησε 1) με την ανάπτυξη των σταθμών πυρηνικής ενέργειας και αναφορικά με την ασφάλεια τους που ουσιαστικά οδήγησε στην ανάπτυξη της κλασσικής πιθανολογικής Ανάλυσης Επικινδυνότητας (Probabilistic Risk Analysis), και 2) με την ίδρυση της U.S. Environmental Protection Agency (EPA), της Occupational Safety and Health Administration (OSHA), της National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), και άλλων παρόμοιων κρατικών φορέων σε ανεπτυγμένες χώρες. Αυτοί οι οργανισμοί αναπτύχθηκαν λόγω της ταχείας υποβάθμισης του περιβάλλοντος, η οποία προκλήθηκε εξαιτίας της ανεμπόδιστης χρήσης των μικροβιοκτόνων, της ρύπανσης – μόλυνσης από βιομηχανίες, και την δημόσια κατακραυγή. {1}

Στη σύγχρονη βιομηχανία γίνονταν αλλαγές οι οποίες έπρεπε να αναλυθούν με Ανάλυση Επικινδυνότητας και Διαχείρισης σε σχέση με τη βιομηχανική ανάπτυξη. Παρόλα αυτά, σε υποανάπτυκτες χώρες, που μαστιζονται ακόμα από μεταδοτικές νόσους, υποσιτισμό, και άλλες αρρώστιες της προ-βιομηχανικής κοινωνίας, η εφαρμογή των μοντέλων φαντάζει ουτοπική. Επιπρόσθετα, παρατηρείται υποβάθμιση του περιβάλλοντος που οφείλεται είτε στον υπερπληθυσμό είτε στην γρήγορη και ακαταλόγιστη βιομηχανική ανάπτυξη. Στις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες παρατηρούνται ως επί το πλείστον τα παρακάτω:

- Εμφάνιση νέων κινδύνων όπως πυρηνικά ατυχήματα, ραδιενεργά απόβλητα, καταστροφή του όζοντος, όξινη βροχή και το φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- Μεγαλύτερη ευχέρεια των επιστημόνων να ποσοτικοποιήσουν την ρύπανση-μόλυνση.
- Αυξημένο αριθμό μεθόδων Ανάλυσης Επικινδυνότητας που εκτιμούν εκ των προτέρων τους κινδύνους.
- Μεγαλύτερη ευαισθητοποίηση των κυβερνήσεων για την αποτίμηση και τη διαχείριση των κινδύνων.
- Έντονη συμμετοχή ομάδων με ειδικό ενδιαφέρον (όπως οικολόγοι, επιστήμονες και εργάτες), που καθιστούν απαραίτητη την πληροφόρηση του κοινού.
- Απαίτηση των πολιτών για προστασία από τους κινδύνους.

1. ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Τόσο στην Ελλάδα όσο και σε παγκόσμια κλίμακα η ολοένα μεγαλύτερη ζήτηση πόσιμου ύδατος, σε συνδυασμό με την περιορισμένη διαθεσιμότητά του και τη ρύπανση πολλών υδάτινων συστημάτων, δημιουργούν οξύτατα κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα (έως και συρράξεις μεταξύ κρατών). Έτσι, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη για σχεδιασμό και διαχείριση δράσεων με σκοπό την προστασία και ανάπτυξη του υδάτινου περιβάλλοντος. Στα πλαίσια αυτά κινείται η οδηγία – πλαίσιο 2000/60/EK της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στην οποία γίνεται εκτενέστερη αναφορά παρακάτω. Η οδηγία αυτή αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την εξασφάλιση της αειφορίας των υδατικών πόρων {7}.

Κατά καιρούς έχουν δοθεί διάφοροι ορισμοί στην έννοια της αειφόρου ανάπτυξης, οι οποίοι όμως πάντα χαρακτηρίζονταν από επιστημονική και νομική αοριστία και ασάφεια. Γενικά, ως *βιώσιμη ή αειφόρος ανάπτυξη* μπορεί να χαρακτηριστεί η συμβατή και φιλική προς το περιβάλλον ανάπτυξη. Η ανάπτυξη που δεν εξαντλεί τους φυσικούς πόρους αλλά τους διαφυλάσσει για την παρούσα και τις επερχόμενες γενεές αλλά και δεν συνεπάγεται μείωση ή υποβάθμιση των οικοσυστημάτων {13}.

Ωστόσο, ο πιο αποδεκτός ορισμός για την αειφόρο ανάπτυξη δόθηκε από την Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη: *“Η ανθρωπότητα έχει τη δυνατότητα να κάνει αειφόρο ανάπτυξη για την ικανοποίηση των αναγκών της σημερινής γενιάς χωρίς να τη στερεί από τις μελλοντικές γενεές. Η προοπτική της αειφόρου ανάπτυξης συνεπάγεται όρια – όχι ακριβή όρια, αλλά περιορισμούς που καθορίζονται με βάση τις τωρινές προδιαγραφές των τεχνολογικών και κοινωνικών οργανισμών που αφορούν τους περιβαλλοντικούς πόρους και την ικανότητα της βιόσφαιρας να επουλώνει τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων”* {14}.

Η αειφόρος ανάπτυξη αποτελεί βασική προϋπόθεση για το σχεδιασμό της διαχείρισης της ποιότητας νερού και μεγάλος αριθμός μελετών έχει γίνει με βάση αυτήν {7}.

1.1 ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΚΟΙΝΟΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Το νερό αποτελεί αναμφισβήτητα ένα ανεκτίμητο αγαθό, του οποίου η διαθεσιμότητα θεωρείται δεδομένη. Ωστόσο, η υπέρ-άντληση των υδάτινων αποθεμάτων, η ρύπανση θαλασσών, ποταμών και λιμνών και η μη ορθολογική διαχείριση οδηγούν σε ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση των υδάτινων οικοσυστημάτων. Το πρόβλημα της υποβάθμισης των υδάτων δεν έχει τοπικό αλλά διακρατικό χαρακτήρα με αποτέλεσμα να απαιτείται διακρατική συνεργασία και συνεννόηση για την αντιμετώπισή του.

Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν θεσπιστεί κατά καιρούς διάφοροι κανονισμοί, οδηγίες και αποφάσεις ενώ τον Ιούλιο του 2000 υιοθετήθηκε η οδηγία – πλαίσιο 2000/60/EK για την ολοκληρωμένη διαχείριση και προστασία των υδάτων. Η εφαρμογή της οδηγίας έχει προγραμματιστεί να ολοκληρωθεί το έτος 2015, ωστόσο η προθεσμία για την εναρμόνιση της νομοθεσίας των κρατών – μελών με αυτήν είναι το 2004 {7}.

1.1.1 Agenda 21

Σημαντικό βήμα για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης είναι η Agenda 21, ένα σχέδιο δράσης που χρησιμοποιείται συστηματικά από κυβερνήσεις, τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών και διάφορες ομάδες σε κάθε περιοχή όπου το περιβάλλον θίγεται από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Έτσι, στη διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη στο Ρίο (UNCED, Ιούλιος 1992), περισσότερες από 178 κυβερνήσεις ενστερνίστηκαν την Agenda 21, τη διακήρυξη του Ρίο για το περιβάλλον και την ανάπτυξη και την έκθεση αρχών για τη βιώσιμη διαχείριση των δασών.

Το Δεκέμβριο του 1992 συστάθηκε η Επιτροπή Αειφόρου Ανάπτυξης με σκοπό την εξασφάλιση της αποτελεσματικής συνέχειας της διάσκεψης και τον έλεγχο της εφαρμογής των συμφωνιών σε επίπεδο τοπικό, εθνικό, περιφερειακό και διεθνές. Ακόμη, συμφωνήθηκε να πραγματοποιηθεί το 1997 μια πενταετής επιθεώρηση για την πρόοδο της Συνόδου Κορυφής για τη Γη σε ειδική συνεδρίαση της Γενικής Συνέλευσης Ηνωμένων Εθνών.

Η πλήρης εφαρμογή της Agenda 21, το πρόγραμμα για περαιτέρω εφαρμογή της και η δέσμευση στις αρχές του Ρίο επαναβεβαιώθηκαν στην Παγκόσμια Σύνοδο Κορυφής για την Αειφόρο Ανάπτυξη (WSSD) που πραγματοποιήθηκε στο Γιοχάνεσμπουργκ, στο διάστημα από 26 Αυγούστου μέχρι 4 Σεπτεμβρίου 2002 (UN Department of Economic and Social Affairs – Division for Sustainable Development, 2003).

1.1.2 Κοινοτική πολιτική έρευνας – Προγράμματα Πλαίσια

Από το 1984 η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει στραφεί προς την κατεύθυνση της πολιτικής έρευνας και της τεχνολογικής ανάπτυξης, με την πραγματοποίηση πολυετών προγραμμάτων – πλαισίων. Το 6^ο Πρόγραμμα Πλαίσιο (2002 – 2006) στο οποίο βρισκόμαστε σήμερα είναι, όπως και τα προηγούμενα, ένα χρήσιμο εργαλείο που επηρεάζει σημαντικά τις ερευνητικές δραστηριότητες σε όλα τα κράτη μέλη.

Βασική προϋπόθεση για την υλοποίηση των προγραμμάτων αυτών είναι η καθιέρωση ενός ευρωπαϊκού χώρου έρευνας, ο οποίος θα επιτρέψει στην Ευρωπαϊκή Ένωση να αξιοποιήσει κατάλληλα το ερευνητικό δυναμικό της και να καταστεί ένας από τους βασικούς πόλους ώθησης της έρευνας σε παγκόσμιο επίπεδο.

Το 5^ο Πρόγραμμα Πλαίσιο (1998 – 2002) που προηγήθηκε αφορούσε τη θέσπιση πλαισίου χρηματοδότησης για την ενίσχυση του ρόλου της έρευνας στην Ευρώπη και την επίλυση των υφιστάμενων κοινωνικοοικονομικών προβλημάτων. Μια από τις κεντρικές δράσεις του ήταν η παραγωγή γνώσεων και τεχνολογιών για την αειφόρο διαχείριση των υδάτινων πόρων και την αντιμετώπιση καταστάσεων ανάγκης όπως οι πλημμύρες και η ερημοποίηση ορισμένων περιοχών. Συγκεκριμένα η έρευνα επικεντρώθηκε στα ακόλουθα θέματα [5^ο Πρόγραμμα Πλαίσιο (1998 – 2002), 2002]:

- Ολοκληρωμένη διαχείριση των υδάτινων πόρων και των υδροβιότοπων με τη ανάπτυξη κατάλληλων τεχνολογιών.
- Παρακολούθηση και πρόληψη της ρύπανσης υπογείων και επιφανειακών υδάτων.

- Βελτίωση των συστημάτων επιτήρησης, έγκαιρης προειδοποίησης και επικοινωνίας.
- Ρύθμιση των υδάτινων αποθεμάτων για περιοχές που αντιμετωπίζουν πρόβλημα λειψυδρίας.

Το 6^ο Πρόγραμμα Πλαίσιο (2002 – 2006), όπως έχει ήδη προαναφερθεί, αφορά τη θέσπιση χρηματοδοτικού μέσου που θα καταστήσει δυνατή την υλοποίηση ενός αυθεντικού ευρωπαϊκού χώρου έρευνας που να ευνοεί την επιστημονική αριστεία, την ανταγωνιστικότητα και την καινοτομία μέσω της προώθησης συνεργασίας μεταξύ των διάφορων οικονομικών, κοινωνικών και επιστημονικών τομέων.

Το νέο αυτό πρόγραμμα πλαίσιο καθιερώνει δύο νέα εργαλεία για την υλοποίησή του. Τα δίκτυα αριστείας, που αποβλέπουν στη σταδιακή ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων των εταίρων οι οποίοι δικτυώνονται μέσω των «εικονικών» κέντρων αριστείας και τα ολοκληρωμένα έργα, που είναι μεγάλα έργα και αποσκοπούν στη δημιουργία κρίσιμης μάζας στο πλαίσιο ερευνητικών δραστηριοτήτων με σαφώς καθορισμένους επιστημονικούς και τεχνολογικούς στόχους (6^ο Πρόγραμμα Πλαίσιο (2002 – 2006), 2003).

1.2 ΣΧΟΛΙΑ

Η διαχείριση και η διατήρηση της ποιότητας των υδάτων αποτελεί κλειδί για τη διαμόρφωση πολιτικών έρευνας και ανάπτυξης στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα, καθώς πολλά προγράμματα δημιουργήθηκαν με σκοπό την αειφορία και προστασία των υδάτινων συστημάτων. Το πρόγραμμα Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη της Ευρωπαϊκής Ένωσης αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την υποστήριξη και υλοποίηση της οδηγίας – πλαίσιο για τα ύδατα, ενώ το 6^ο Πρόγραμμα – Πλαίσιο, στο οποίο βρισκόμαστε σήμερα, ενθαρρύνει την πραγματοποίηση των απαιτούμενων ερευνητικών δραστηριοτήτων προς την κατεύθυνση αυτή {7}.

2. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΑ ΥΔΑΤΑ

Η σημασία της διατήρησης των υδάτινων πόρων και η αναγκαιότητα για ορθολογική και βιώσιμη διαχείρισή τους αντικατοπτρίζονται μέσα από το νομοθετικό πλαίσιο που έχει θεσπιστεί τόσο σε ελληνικό όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Η ελληνική πραγματικότητα χαρακτηρίζεται από ένα κλίμα σχετικής καθυστέρησης όσον αφορά την πρόταση και κατοχύρωση νόμων για την προστασία του περιβάλλοντος γενικότερα. Ωστόσο, η ένταξη της Ελλάδας στην Ευρωπαϊκή Ένωση την υποχρέωσε να προσαρμοστεί στα νέα δεδομένα περιβαλλοντικής διαχείρισης και προστασίας μέσω εναρμονίσεων της εσωτερικής νομοθεσίας με την Κοινοτική.

2.1 ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Το νερό αποτελούσε πάντα στοιχείο έντονου προβληματισμού κατά τη χάραξη περιβαλλοντικής πολιτικής από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα και μία από τις κυριότερες περιβαλλοντικές προτεραιότητες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Έτσι, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια έντονη δραστηριοποίηση στον τομέα της διατήρησης και αναβάθμισης των υδάτινων συστημάτων.

Μερικά σημαντικά βήματα που πραγματοποιήθηκαν προς την κατεύθυνση αυτή είναι τα νομοθετήματα που παρατίθενται στο Παράρτημα. Ακρογωνιαίος λίθος της ευρωπαϊκής υδατικής πολιτικής είναι η οδηγία 2000/60/EK, η οποία και παρατίθεται στο παρών κεφάλαιο, και η οποία αναφέρεται στη θέσπιση πλαισίου όσον αφορά την Κοινοτική δράση στον τομέα της πολιτικής υδάτων (η καλούμενη “οδηγία πλαίσιο για τα ύδατα”) {7}.

✓ *Οδηγία 2000/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων.*

Στόχος της οδηγίας αυτής είναι η θέσπιση κοινοτικού πλαισίου για την προστασία των εσωτερικών επιφανειακών, υπογείων, μεταβατικών και παράκτιων υδάτων με σκοπό την ενίσχυση της προστασίας και τη βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος,

την αιεφόρο χρήση των υδάτων, την πρόληψη και μείωση της ρύπανσης και τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων από τις πλημμύρες και την ξηρασία.

Σύμφωνα με την οδηγία αυτή, τα κράτη – μέλη καλούνται να ορίσουν τις λεκάνες απορροής ποταμών που βρίσκονται στην επικράτειά τους και οι οποίες θα υπάγονται σε επιμέρους περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού, ενώ λεκάνες απορροής που εκτείνονται σε περισσότερα από ένα κράτη – μέλη θα ενσωματώνονται σε διεθνείς περιοχές λεκανών απορροής. Για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ορίζεται αρμόδια αρχή.

Το αργότερο τέσσερα χρόνια μετά την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας τα κράτη μέλη καλούνται να λάβουν δράσεις, που περιλαμβάνουν την ανάλυση των χαρακτηριστικών κάθε περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού, την εκπόνηση μελέτης για τις ανθρωπογενείς επιπτώσεις επί των υδάτων, οικονομική ανάλυση της χρήσης τους και τήρηση μητρώου περιοχών που απαιτούν ειδική προστασία. Υδατικά συστήματα, που παρέχουν περισσότερο από 10 m³ νερό ημερησίως ή εξυπηρετούν περισσότερα από 50 άτομα, πρέπει επίσης να προσδιορίζονται.

Εννέα χρόνια μετά την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας εκπονείται σχέδιο διαχείρισης και πρόγραμμα μέτρων σε κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού, τα οποία αποσκοπούν:

- στην επίτευξη καλής οικολογικής και χημικής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων μέσω πρόληψης της επιδείνωσης, βελτίωσης και αποκατάστασης αυτών και στη μείωση του αντίκτυπου από την απόρριψη και εκπομπή επικίνδυνων ουσιών
- στην προστασία, βελτίωση και αποκατάσταση των υπογείων υδάτων μέσω πρόληψης της ρύπανσης και επιδείνωσής τους και στην επίτευξη ισορροπίας μεταξύ άντλησης νερού και ανανέωσής του
- στη διατήρηση των προστατευόμενων περιοχών

Οι παραπάνω στόχοι πρέπει να πραγματοποιηθούν μέσα σε 15 χρόνια από την έναρξη ισχύος της οδηγίας ενώ στην εκπλήρωσή τους μπορεί να συμμετάσχει ενεργά οποιοσδήποτε ενδιαφερόμενος.

Τα κράτη – μέλη πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την αρχή της ανάκτησης του κόστους των υπηρεσιών ύδατος, συμπεριλαμβανομένου του κόστους για το περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους, ενώ μέχρι το 2010 πρέπει να εξασφαλίσουν ότι οι πολιτικές τιμολόγησης του ύδατος παρέχουν κατάλληλα κίνητρα στους χρήστες για να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τους υδάτινους πόρους.

Τέλος, η Επιτροπή παραθέτει έναν κατάλογο ρύπων προτεραιότητας οι οποίοι θεωρούνται ιδιαίτερα επικίνδυνοι για το υδάτινο περιβάλλον και ορίζει επιτρεπόμενα όρια συγκέντρωσής τους καθώς και μέτρα ελέγχου.

Εντός δύο ετών από την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας η Επιτροπή υποβάλλει πρόταση με ειδικά μέτρα για την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων, ενώ εντός δώδεκα ετών και στη συνέχεια ανά εξαετία η Επιτροπή δημοσιεύει έκθεση σχετικά με την υλοποίηση της παρούσας οδηγίας. {13, 14, 15}

Η οδηγία αυτή έχει έναρξη ισχύος την ημερομηνία 22/12/2000 και τροποποιήθηκε από την απόφαση 2455/2001/EK. Επτά έτη μετά την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας καταργούνται οι οδηγίες 75/440/ΕΟΚ και 79/869/ΕΟΚ καθώς και η απόφαση 77/795/ΕΟΚ, ενώ δεκατρία έτη μετά την έναρξη ισχύος της οδηγίας καταργούνται οι οδηγίες 78/659/ΕΟΚ, 79/923/ΕΟΚ, 80/68/ΕΟΚ και 76/464/ΕΟΚ, εκτός από το άρθρο 6 το οποίο καταργείται από την ημερομηνία έναρξης ισχύος της παρούσας οδηγίας (Οδηγία Πλαίσιο στο Πεδίο της Πολιτικής των Υδάτων, 2002).

2.2 ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Στην Ελλάδα η θεμελιώδης νομοθετική διάταξη για τη θέσπιση πολιτικής και τη λήψη δράσης όσον αφορά τη διαχείριση και προστασία των υδάτινων πόρων είναι ο πρόσφατος Νόμος 3199/2003 σχετικά με την “*προστασία και διαχείριση των υδάτων*”, με τον οποίο επιτυγχάνεται η εναρμόνιση του εθνικού δικαίου με την οδηγία 2000/60/EK.

Παρακάτω παρατίθεται ο συγκεκριμένος νόμος, ενώ στο Παράρτημα γίνεται μία σύντομη αναφορά στην Κοινή Υπουργική Απόφαση Α5/288 του 1986, σχετικά με την ποιότητα του πόσιμου ύδατος, και στον Νόμο 1739/87, σχετικά με τη διαχείριση των υδάτινων πόρων και άλλες διατάξεις, ο οποίος μέχρι το Δεκέμβριο του 2003, που ψηφίστηκε ο Νόμος 3199/03, αποτελούσε το βασικό ελληνικό νομοθέτημα που συντόνιζε τη διαχείριση των υδάτινων πόρων.

✓ ***Νόμος 3199/03 σχετικά με την προστασία και διαχείριση των υδάτων (εναρμόνιση με την οδηγία 2000/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000)***

Ο νόμος αυτός ψηφίστηκε με σκοπό την εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας με την οδηγία 2000/60/EK και αφορά την προστασία και διαχείριση των επιφανειακών και υπογείων υδάτων. Στο άρθρο 2 παρατίθενται διάφοροι ορισμοί, μεταξύ των οποίων κρίνεται χρήσιμο να αναφερθούν οι παρακάτω:

“Ως υπόγεια ύδατα νοείται το σύνολο των υδάτων που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, στη ζώνη κορεσμού και σε άμεση επαφή με το έδαφος ή το υπέδαφος”.

“Ως υδροφόρος ορίζοντας νοείται το υπόγειο στρώμα ή στρώματα βράχων ή άλλες γεωλογικές στοιβάδες που είναι επαρκώς πορώδεις και διαπερατές, ώστε να επιτρέπουν είτε σημαντική ροή υπογείων υδάτων είτε την άντληση σημαντικών ποσοτήτων υπογείων υδάτων”.

“Σύστημα υπογείων υδάτων καλείται ένας συγκεκριμένος όγκος υπογείων υδάτων εντός ενός ή περισσότερων υδροφόρων οριζόντων”.

“Λεκάνη απορροής ποταμού λέγεται η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής μέσω σειράς ρευμάτων, ποταμών και, πιθανώς, λιμνών και παροχετεύεται στη θάλασσα με ενιαίο στόμιο ποταμού, εκβολές ή δέλτα”.

“Υπολεκάνη λέγεται η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής μέσω σειράς ρευμάτων, ποταμών και, πιθανώς, λιμνών σε συγκεκριμένο σημείο υδάτινου ρεύματος (συνήθως λίμνης ή συμβολής ποταμών)”.

Στα άρθρα 3 έως 6 αναφέρονται οι φορείς και τα όργανα που συνίστανται με σκοπό την υλοποίηση του Νόμου. Αυτά είναι:

- *Η Εθνική Επιτροπή Υδάτων*, η οποία καθίσταται υπεύθυνη για την κατάσχεση πολιτικής σχετικά με την προστασία και διαχείριση των υδάτων, για τον έλεγχο της και για την έγκριση, σε συμφωνία με τον Υπουργό Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων και το Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων, εθνικών προγραμμάτων προστασίας και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της χώρας. Ακόμη, υποχρεούται να συντάσσει ετήσια έκθεση σχετικά με την κατάσταση των υδάτινων συστημάτων, την οποία υποβάλλει στη Βουλή και στο Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων.
- *Το Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων*, στο οποίο προεδρεύει ο Υπουργός Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων.
- *Η Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων*, η οποία συνιστάται στο Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων και είναι υπεύθυνη για:
 - την κατάρτιση και παρακολούθηση των εθνικών προγραμμάτων προστασίας και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της χώρας,
 - την κατάρτιση της ετήσιας έκθεσης που αναφέρθηκε παραπάνω,
 - το συντονισμό των κρατικών φορέων και υπηρεσιών σε θέματα προστασίας και διαχείρισης των υδάτων,
 - την εισήγηση κανόνων κοστολόγησης και τιμολόγησης των υδάτων,

- την εισήγηση νομοθετικών και διοικητικών μέτρων για την προστασία και διαχείριση των υδάτων,
 - την ανάπτυξη εθνικού δικτύου παρακολούθησης της ποσότητας και ποιότητας των υδάτων,
 - τη διαχείριση βάσης υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων σε εθνικό επίπεδο,
 - την παρακολούθηση της λειτουργίας των Διευθύνσεων Ύδατος των Περιφερειών,
 - τη σύνταξη έκθεσης σχετικής με τα χαρακτηριστικά κάθε λεκάνης απορροής ποταμού, τη διαπίστωση των ανθρωπογενών επιπτώσεων στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα αυτής και την οικονομική ανάλυση των χρήσεων ύδατος μέχρι τις 22.12.2004,
 - την κατάρτιση του Εθνικού Μητρώου προστατευόμενων περιοχών μέχρι τις 22.12.2004,
 - την αναβάθμιση και αποκατάσταση των υδάτινων συστημάτων μέχρι το 2015.
- Η *Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας*, η οποία είναι υπεύθυνη για την προστασία και διαχείριση κάθε λεκάνης απορροής ποταμού που βρίσκεται στα διοικητικά της όρια, όπως καθορίζεται με απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων. Έχει διάφορα καθήκοντα, όπως τη λήψη μέτρων για την προστασία των υδάτων, την κατάρτιση μακροχρόνιων και μεσοχρόνιων προγραμμάτων για την προστασία και διαχείριση των λεκανών απορροής ποταμού, την εφαρμογή των Σχεδίων Διαχείρισης και Προγραμμάτων Μέτρων, τη μέριμνα για συμμετοχή του κοινού, την κατάρτιση μητρώου προστατευόμενων περιοχών, την αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών, την έκδοση αδειών χρήσεως νερού και εκτέλεσης έργων αξιοποίησής του, κτλ.
- Το *Περιφερειακό Συμβούλιο Υδάτων*, που συνιστάται σε κάθε Περιφέρεια και αποτελεί μέσο διαλόγου και διαβούλευσης για θέματα προστασίας και διαχείρισης των υδάτων.

Σύμφωνα με το άρθρο 7, η Διεύθυνση Υδάτων κάθε Περιφέρειας εκπονεί το Σχέδιο Διαχείρισης των λεκανών απορροής των ποταμών που υπόκεινται στην αρμοδιότητά της και το οποίο ισχύει για έξι χρόνια, ενώ το πρώτο Σχέδιο Διαχείρισης πρέπει να εγκριθεί μέχρι τις 22.12.2009.

Το άρθρο 8 αναφέρεται στην κατάρτιση προγραμμάτων μέτρων και παρακολούθησης της κατάστασης των υδάτων, ενώ στο άρθρο 9 αναφέρεται η υποχρέωση κάθε Περιφέρειας να καταρτίσει πρόγραμμα ειδικών μέτρων κατά της ρύπανσης των υδάτων.

Στα άρθρα 10 και 11 παρουσιάζονται κάποιοι γενικοί κανόνες χρήσης των υδάτων (όπως η βιώσιμη χρήση τους και η εξασφάλιση ισορροπίας μεταξύ άντλησης και ανατροφοδότησης των υπογείων υδάτων), καθώς και η απαιτούμενη διαδικασία για την έκδοση άδειας χρήσης ύδατος και εκτέλεσης έργων αξιοποίησής του. Το άρθρο 12 αναφέρεται στην ανάκτηση κόστους για υπηρεσίες ύδατος ενώ τα άρθρα 13 και 14 περιγράφουν τις διοικητικές και ποινικές κυρώσεις που επιβάλλονται σε οποιονδήποτε ρυπαίνει ή υποβαθμίζει τα ύδατα. (13) (14)

Ο Νόμος αυτός ισχύει από τις 9.12.2003 (Τράπεζα Νομικών Πληροφοριών Δικηγορικού Συλλόγου Αθηνών).

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Η δημιουργία μαθηματικών μοντέλων για τη μετατροπή και τη διακίνηση ρύπων στο περιβάλλον στοχεύει στην επίτευξη τριών πολύ σημαντικών στόχων:

1. Την καλύτερη κατανόηση της τύχης και μεταφοράς των χημικών ουσιών, μέσω της ποσοτικοποίησης των αντιδράσεων τους, της δημιουργίας νέων χημικών ειδών και της κίνησης τους.
2. Τον καθορισμό συγκεντρώσεων χημικής έκθεσης σε υδρόβιους οργανισμούς και/ή στους ανθρώπους κατά το παρελθόν, στο παρόν και το μέλλον.
3. Την πρόβλεψη μελλοντικών συγκεντρώσεων των χημικών ουσιών κάτω από διάφορα σενάρια συνθηκών ρυπαντικής επιβάρυνσης ή εναλλακτικές ενέργειες διαχείρισης.

Επειδή ωστόσο τα μαθηματικά μοντέλα για τους περιβαλλοντικούς ρυπαντές είναι απλουστευμένες προσεγγίσεις της πραγματικότητας, υπόκεινται σε σφάλματα. Τα τελευταία λειτουργούν προφανώς ανασχετικά, σε ότι αφορά στην ουσιαστική επίτευξη των παραπάνω στόχων και εγείρουν το ζήτημα της αβεβαιότητας σε σχέση με την ορθότητα της κατανόησης της τύχης και μεταφοράς των χημικών ουσιών και της εκτίμησης των συγκεντρώσεων χημικής έκθεσης, κυρίως σε σχέση με την ακρίβεια της πρόβλεψης μελλοντικών συνθηκών και κατ' επέκταση την επιτυχία των διαχειριστικών ενεργειών.

Στα πλαίσια αυτού του προβληματισμού οι υπεύθυνοι για την υλοποίηση περιβαλλοντικών σχεδίων διαχείρισης, θα ήθελαν να γνωρίζουν περισσότερα από τις μέσες συγκεντρώσεις που κάποιος αναμένει για ένα ρυπαντή. Θα ήθελαν επίσης να γνωρίζουν πόσο σίγουροι είμαστε για την απάντηση. Με στατιστικούς όρους αυτό σημαίνει ότι ο κατασκευαστής του μοντέλου θα πρέπει να παρέχει στον λαμβάνοντα τις αποφάσεις, την καλύτερη εκτίμηση της ρυπαντικής συγκέντρωσης καθώς και την αναμενόμενη μεταβλητότητα (αβεβαιότητα). Με τυχαία δειγματοληψία, η

αναμενόμενη τιμή μιας μεταβλητής είναι η μέση τιμή¹ και το μέτρο της μεταβλητότητας των τιμών είναι η διασπορά² (η τυπική απόκλιση στο τετράγωνο).

Εξαιτίας της κρισιμότητας που εμπεριέχει κάθε λήψη απόφασης από τα αρμόδια κρατικά όργανα, η απαίτηση παροχής «Ανάλυσης Αβεβαιότητας» ή ισοδύναμα «Ανάλυσης Σφαλμάτων» σε όλες τις μελέτες μοντέλων από τους περιβαλλοντικούς επιστήμονες, συνεχώς αυξάνει. Με αυτόν τον τρόπο λαμβάνονται καλύτερες και ασφαλέστερες αποφάσεις ως αποτέλεσμα της πληρέστερης πληροφόρησης. {10}

3.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Τα μοντέλα υπόκεινται στους παρακάτω τύπους σφαλμάτων:

- Σφάλμα στο μοντέλο.
- Σφάλματα στις κύριες μεταβλητές (εξαρτημένες μεταβλητές και αρχικές συνθήκες).
- Σφάλματα στα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση του μοντέλου.
- Σφάλματα στις παραμέτρους (σταθερές ρυθμού, συντελεστές και ανεξάρτητες μεταβλητές).

¹ Η Μέση ή Αναμενόμενη Τιμή X είναι κατά κάποιο τρόπο το κέντρο της πιθανότητας (αντίστοιχο του κέντρου βάρους) και δίνει την τετμημένη του σημείου γύρω από το οποίο παίρνει τιμές η τυχαία μεταβλητή X . είναι εύκολη στο υπολογισμό και εύχρηστη, έχει όμως το μειονέκτημα να επηρεάζεται

από τις ακραίες τιμές. Η τιμή της υπολογίζεται από τον τύπο: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$ {8}

² Η Διασπορά S^2 συμπληρώνει καλύτερα την εικόνα της κατανομής. Είναι ένας δείκτης ο οποίος δηλώνει κατά πόσο είναι συγκεντρωμένη η κατανομή. Αν η Διασπορά είναι μικρή, τότε είναι πολύ πιθανό οι τιμές τις τυχαίας μεταβλητής να κυμαίνονται γύρω από τη μέση τιμή, ενώ αν η Διασπορά είναι μεγάλη τότε υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις από τη μέση τιμή. Η Διασπορά για ένα δείγμα n

μετρήσεων δίνεται από των τύπο: $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ {8}

Στις μεθόδους ανάλυσης για την αντιμετώπιση των τριών τελευταίων τύπων σφαλμάτων συμπεριλαμβάνονται η «Ανάλυση Πρώτης Τάξης» (First Order Analysis) και η «Ανάλυση Monte Carlo» (Monte Carlo Analysis), οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω. Αναλυτικά θα εξετάσουμε το μοντέλο Monte Carlo, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί και για την Ανάλυση Επικινδυνότητας.

Στην ανάλυση σφαλμάτων μοντέλου, η οποία απαιτεί ιδιαίτερες προσεγγίσεις, γίνεται μία σύντομη αναφορά παρακάτω. {10}

3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Ο πρώτος τύπος σφάλματος, το σφάλμα στο μοντέλο, είναι η λανθασμένη μορφοποίηση του τελευταίου. Ουσιαστικά είναι η διαφορά ανάμεσα στο περιβάλλον και τις διαφορικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται από το μοντέλο: διαδικασίες μπορεί να έχουν παραλειφθεί ή συμπεριληφθεί λανθασμένα. Πιθανόν να χρειάζονται περισσότερες κύριες μεταβλητές για να περιγράψουν το οικοσύστημα, ή ακόμα είναι δυνατόν απρόβλεπτες αντιδράσεις να γίνουν σημαντικές σε διαφορετικά διαστήματα τιμών των παραμέτρων.

Σε όλες τις περιπτώσεις η μόνη ένδειξη για σφάλμα στο μοντέλο είναι ότι τα δεδομένα πεδίου δεν ταιριάζουν με τις προβλέψεις του. Το σφάλμα στο μοντέλο είναι ο πιο δύσκολος τύπος προς εξέταση στην Ανάλυση Αβεβαιότητας. Ένας άλλος τρόπος προσέγγισης είναι να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά μοντέλα για την ίδια εφαρμογή. Κατ' αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί μία εκτίμηση του σφάλματος μοντέλου μέσω των διαφορών στις μεταξύ τους προβλέψεις κάτω από πολλές διαφορετικές συνθήκες. Η προσαρμογή των μοντέλων σε προσομοιώσεις μιας ευρείας ποικιλίας συνθηκών πεδίου, μπορεί να βοηθήσει στο να επισημανθούν οι μεταξύ τους διαφορές. Καλύτερη απόδοση ενός μοντέλου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να οδηγήσει στην ανακάλυψη της αιτίας σφάλματος στο μοντέλο. {10}

3.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΩΤΗΣ ΤΑΞΗΣ

Η Ανάλυση Πρώτης Τάξης βασίζεται στην προσέγγιση της μεταβλητότητας των εξαρτημένων μεταβλητών του μοντέλου μέσω της μεταβλητότητας των ανεξάρτητων παραμέτρων. Η μέτρηση της, στις παραμέτρους γίνεται μέσω της διασποράς S^2 .

Ας θεωρήσουμε μία συνάρτηση ή μία σειρά εξισώσεων όπου y είναι η εξαρτημένη μεταβλητή και x η ανεξάρτητη:

$$y = f(x)$$

Αν η συνάρτηση είναι ομαλή και υπό την προϋπόθεση ότι η μεταβλητότητα της x δεν είναι πολύ μεγάλη, η αναμενόμενη τιμή της y είναι κατά προσέγγιση ίση με την τιμή της συνάρτησης για την αναμενόμενη τιμή της x . Η αναμενόμενη τιμή της x είναι η μέση τιμή της (mean value):

$$E(y) = E(f(x)) \approx f(E(x))$$

όπου E είναι ο τελεστής αναμονής.

Προκειμένου να εκφράσουμε την μεταβλητότητα της εξαρτημένης μεταβλητής y (S_y^2) σε συνάρτηση με τη μεταβλητότητα της ανεξάρτητης μεταβλητής x (S_x^2), κάνουμε προσέγγιση της $f(x)$ γράφοντας το ανάπτυγμα της σε σειρά, κατά Taylor:

$$f(x) = f(x_0) + (x - x_0) \left. \frac{\partial f(x)}{\partial x} \right|_{x_0} + \frac{(x - x_0)^2}{2} \left. \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} \right|_{x_0} + \dots$$

όπου x_0 είναι οποιοδήποτε σημείο του πεδίου ορισμού της συνάρτησης.

Αν «γραμμικοποιήσουμε» την εξίσωση, χρησιμοποιώντας μόνο τους δύο πρώτους όρους της, μπορούμε να θεωρήσουμε το ανάπτυγμα της συνάρτησης περί τη μέση τιμή, \bar{x} :

$$f(x) \approx f(\bar{x}) + (x - \bar{x}) \left. \frac{\partial f(x)}{\partial x} \right|_{\bar{x}}$$

βάση της παραπάνω εξίσωσης είναι δυνατή η απευθείας εξαγωγή μιας εξίσωσης για τη διασπορά της $f(x)$. Η διασπορά γύρω από τη μέση τιμή $S^2(f(\bar{x}))$ είναι μηδέν έτσι μόνο ο τελευταίος όρος της εξίσωσης λαμβάνεται υπ' όψιν. Η διασπορά της $f(x)$ είναι:

$$S^2(f(x)) \approx S^2(x) \left(\left. \frac{\partial f(x)}{\partial x} \right|_{\bar{x}} \right)^2$$

όπου S είναι η δειγματική τυπική απόκλιση και S^2 είναι η δειγματική διασπορά της συνάρτησης περί οποιουδήποτε σημείου από τη μέση τιμή, \bar{x} .

Η τελευταία εξίσωση ισχύει για μία σχέση δύο μεταβλητών που περιλαμβάνει μόνο μία ανεξάρτητη μεταβλητή. Για μία σχέση πολλών μεταβλητών πρέπει να θεωρηθεί η συμεταβλητότητα (co variation) μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών:

$$S_y^2 \approx \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 S_{xi}^2 + \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \left(\frac{\partial f}{\partial x_j} \right) S_{xi} S_{xj} \rho_{xixj}$$

όπου ρ είναι ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών x_i και x_j σε μία γραμμική παλινδρόμηση ελαχίστων τετραγώνων.

Η εξίσωση αυτή παρέχει τη βάση για την πρώτης τάξης ανάλυση αβεβαιότητας. Ονομάζεται πρώτης τάξης επειδή δεν λήφθηκαν υπ' όψιν οι όροι ανώτερης τάξης στο ανάπτυγμα κατά Taylor. Η διασπορά της εξαρτημένης μεταβλητής εξαρτάται από τη διασπορά (αβεβαιότητα) των επιμέρους ανεξάρτητων μεταβλητών ή παραμέτρων (S_x^2), την ευαισθησία της εξαρτημένης μεταβλητής συγκριτικά με αλλαγές σε κάθε παράμετρο (df/dx_i) και τη συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών (ρ_{xixj}).

Η πρώτης τάξης ανάλυση αβεβαιότητας έχει το μειονέκτημα ότι είναι μία προσέγγιση της πραγματικής λύσης καθώς μπορεί να είναι εσφαλμένη για εξισώσεις που αποκλίνουν πολύ από τη γραμμικότητα, λόγω της διασποράς των όρων ανώτερης τάξης που αγνοήθηκαν στην εξίσωση της σειράς Taylor. Επί πλέον είναι μια παραμετρική στατιστική προσέγγιση: προϋποθέτει κανονική κατανομή των παραμέτρων και των ανεξάρτητων μεταβλητών του μοντέλου και απαιτεί τη χρήση της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης. Εντούτοις συνυπολογίζει τη συνδιασπορά των παραμέτρων του μοντέλου και έχει αποδειχθεί μία αποτελεσματική μέθοδος πρόβλεψης σφάλματος σε πολλά περιβαλλοντικά μοντέλα. {10}

3.4 ΑΝΑΛΥΣΗ MONTE CARLO

Η Ανάλυση Monte Carlo είναι μία δυναμική λύση όχι μόνο στο πρόβλημα της ανάλυσης αβεβαιότητας αλλά και στην ανάλυση επικινδυνότητας και αποτίμησης του κινδύνου, στα περιβαλλοντικά μοντέλα. Η Μέθοδος Monte Carlo αναλύεται εκτενέστερα σε κεφάλαιο παρακάτω.

4. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Η Ανάλυση Επικινδυνότητας ορίζεται ως η κύρια γνώση (μεθοδολογία), η οποία αποτιμά και εξάγει την πιθανότητα μίας ανεπιθύμητης επίπτωσης κάποιου αίτιου όπως για παράδειγμα μίας βιομηχανικής διαδικασίας, ή τεχνολογίας, ή κάποιων φυσικών διαδικασιών ή ακόμα και τον θάνατο ή της ασθένειας (όσον αφορά την ανθρώπινη υγεία), ή την αστοχία ενός πυρηνικού σταθμού, ή ενός ατυχήματος σε εγκαταστάσεις χημικών, ή ακόμα και η αποτυχημένη επένδυση χρημάτων. Σε ορισμένες πρόσφατες περιπτώσεις, η Ανάλυση Επικινδυνότητας μπορεί να αναφέρεται στην ποιότητα ζωής, ή ακόμα και στην έννοια της επικοινωνίας. Συνήθως η Ανάλυση Επικινδυνότητας έχει να κάνει με επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, με την οικολογία, ή με την οικονομική ευημερία. {1}

4.1 ΔΟΜΗ

Παρόλο που υπάρχουν πολλά είδη Ανάλυσης Επικινδυνότητας, μερικά κοινά στοιχεία είναι χρήσιμα για να περιγράψουν την διαδικασία της. Αυτά τα στοιχεία είναι:

- Ο προσδιορισμός κινδύνου
- Η αναλογία σχέσεων (ποιά είναι η ποσότητα, η ένταση, και η συγκέντρωση του κινδύνου που σχετίζονται με την αντίστροφη επίπτωση)
- Η ανάλυση έκθεσης (τι έχει εκτεθεί, σε τι και σε ποια συγκέντρωση, για πόσο χρονικό διάστημα,)
- Ο χαρακτήρας επικινδυνότητας (συμπεριλαμβάνει όλα τα παραπάνω και μελετά πάνω σε δεδομένα, με όλες τις υποθέσεις να είναι επακριβώς καθορισμένες. Συνήθως μετά από αυτή την επεξεργασία, κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω συλλογή δεδομένων ή η βελτίωση της μεθοδολογίας. Είναι ευνόητο πως κανένα αριθμητικό αποτέλεσμα δεν μπορεί να μας δώσει ακριβώς την έκταση του κινδύνου).

Επειδή η Ανάλυση Επικινδυνότητας περιλαμβάνει πολλές διαφορετικές παραμέτρους και είναι γενικά πολύπλοκη, απαιτεί αρκετό χρόνο για να εξαχθούν οι σχετικές παρατηρήσεις, ακόμα και αν το πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε είναι λιγότερο πολύπλοκο. {1}

Η Ανάλυση Επικινδυνότητας μπορεί να βοηθήσει στην διαχείριση της τεχνολογίας με έναν πιο ορθολογικό τρόπο και να προάγει την διατήρηση των επιθυμητών περιβαλλοντικών συνθηκών για τις κοινωνίες καθώς και να αποκλείσει δυσάρεστες καταστάσεις για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Σε κάθε περίπτωση και σε κάθε μοντέλο Ανάλυσης Επικινδυνότητας, οι υποθέσεις και η αβεβαιότητα πρέπει να είναι σαφώς καθορισμένες. Μία τυπική μελέτη Ανάλυσης Επικινδυνότητας μπορεί να περιλαμβάνει τα εξής: {1}

1. Ανάλυση Επικινδυνότητας μη καρκινογόνων χημικών
2. Ανάλυση Επικινδυνότητας καρκινογόνων ουσιών
3. Επιδημιολογική Ανάλυση Επικινδυνότητας, στην οποία μπορούμε να συμπεριλάβουμε τις (καρκινογόνες ή μη) χημικές ουσίες ή άλλους μη χημικούς κινδύνους, όπως ατυχήματα, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, διατροφή κτλ.
4. Πιθανολογική Ανάλυση Επικινδυνότητας που σχετίζεται με την ασφάλεια πυρηνικών σταθμών ενέργειας και μονάδων παραγωγής χημικών.
5. Μια μεταγενέστερη Ανάλυση Επικινδυνότητας η οποία απευθύνεται στην ασφάλεια της πρόγνωσης των μελλοντικών απωλειών είτε από φυσικά φαινόμενα ή από επενδύσεις ή από την τεχνολογία.
6. Μη ποσοτική Ανάλυση Επικινδυνότητας, ή Ανάλυση Επικινδυνότητας «κοινής λογικής» η οποία μπορεί να δώσει μόνο ένα αόριστο δείγμα των πιθανών κινδύνων.

Για τα μη καρκινογόνα χημικά, υποτίθεται ότι μια ανεπιθύμητη επίπτωση μπορεί να επέλθει μόνο εάν υπάρξουν υπερβαίνουσες του ορίου ποσότητες χημικών. Η Ανάλυση Επικινδυνότητας χρησιμοποιείται επίσης και για τον καθορισμό κριτηρίων και προτύπων για τα χημικά σε περιβαλλοντικά μέσα (υπόγεια ή επιφανειακά νερά), και για την αξιολόγηση των κινδύνων σε συγκεκριμένες περιπτώσεις έκθεσης σε τοξικά χημικά (όπως είναι το μολυσμένο νερό, το έδαφος και ο αέρας). Υποτίθεται ότι δεν υπάρχει πιθανότητα να υπάρξει μια ανεπιθύμητη παρενέργεια εάν η έκθεση είναι κάτω από το όριο. {1}

4.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Τα κριτήρια είναι βασισμένα κυρίως σε μελέτες που έχουν γίνει πάνω σε ζώα, και οι μέθοδοι Ανάλυσης Επικινδυνότητας έχουν να κάνουν με την συμπερασματική εξαγωγή από τα ζώα στον άνθρωπο, από μικρής μέχρι μακράς διάρκειας έκθεση, και με παρόμοια επιστημονικά συμπεράσματα που απαιτούν ειδική κρίση και δεν μπορούν συστηματικά να μπουν σε μια φόρμουλα. Η αβεβαιότητα στα εξαγόμενα κριτήρια είναι συνήθως μιας ή δύο τάξης μεγέθους. {1}

Η Ανάλυση Επικινδυνότητας για τον καθορισμό κριτηρίων, είναι πιθανολογική μόνο για την περίπτωση των καρκινογόνων ουσιών. Η πιθανότητα της ανάπτυξης καρκίνου ως αποτέλεσμα της έκθεσης σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο ή συγκέντρωση ενός χημικού απορρέει από μοντέλα που χρησιμοποίησαν δεδομένα από ζώα. Εξαιτίας του μοντέλου, μπορεί να παρατηρηθεί μια ετερογένεια στα αποτελέσματα. {1}

Οι πιθανότητες για την ανάπτυξη καρκίνου ή άλλων νοσημάτων μπορεί να παρατηρηθεί και από επιδημιολογικές έρευνες οι οποίες συσχετίζονται με εκθέσεις σε τοξικές ουσίες με την ανάπτυξη καρκίνου ή άλλων νοσημάτων. Η επιδημιολογική Ανάλυση Επικινδυνότητας διαπραγματεύεται τον καθορισμό συσχέτισης ή τις προκαλούμενες σχέσεις μεταξύ της έκθεσης σε χημικούς ή φυσικούς παράγοντες και των ασθενειών. Η δεδομένη νοσηρότητα ή ο λόγος θνησιμότητας, μπορεί να εκτιμηθεί ως μια αύξηση στην πιθανότητα του κινδύνου υγείας με την έκθεση. Εξαιτίας όμως της μεγάλης αβεβαιότητας στην εκτίμηση της έκθεσης, τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών μελετών είναι συνδυασμένα με τις μελέτες σε ζώα, με σκοπό την δικαιολογημένη συσχέτιση μεταξύ έκθεσης σε ένα παράγοντα (καρκινογόνο) και του καρκίνου. {1}

Η πιθανολογική Ανάλυση Επικινδυνότητας, απευθύνεται στην ασφάλεια της βιομηχανικής διαδικασίας και στην ασφάλεια των πυρηνικών σταθμών ενέργειας. Η πιθανότητα ενός αντίθετου αποτελέσματος (αστοχία ενός μέρους ή ολόκληρου του συστήματος) από μια σειρά συνδεδεμένων γεγονότων αποκτάται από την εκτίμηση των αστοχιών των επιμέρους τμημάτων. Αυτές οι πιθανότητες μπορούν να εκτιμηθούν είτε με βάση ιστορικά στοιχεία ή από εκτιμήσεις της αποτυχίας. Αν μια

φορά καθορισθεί η πιθανότητα αστοχίας μιας χημικής διαδικασίας, τότε μπορεί να εφαρμοσθεί χημική Ανάλυση Επικινδυνότητας για να καθορισθεί η γενικότητα των επιπτώσεων της απελευθέρωσης μιας συγκεκριμένης τοξικής ουσίας. Αυτός ο τύπος της πιθανολογικής Ανάλυσης Επικινδυνότητας ήταν η αρχή της μοντέρνας πειθάρχησης της Ανάλυσης Επικινδυνότητας, όταν η ατομική ενέργεια, υποσχόταν μια νέα μέθοδο για την χρήση μίας σχεδόν ανεξάντλητης πηγής ενέργειας. Μέχρι το ατύχημα του Τσερνομπίλ, οι αριθμοί της Ανάλυσης Επικινδυνότητας ήταν πολύ καθαροί δείκτες ασφάλειας. Το Τσερνομπίλ και απορρίμματα από πυρηνικούς αντιδραστήρες υποδεικνύουν για άλλη μια φορά ότι η τεχνολογία που αρχικά υπόσχεται να είναι πανάκεια ίσως να μην είναι ότι ακριβώς υπόσχεται. Για το λόγο αυτό είναι πρόπον να είμαστε προσεκτικοί όταν προωθούμε τεχνολογικές εγκαταστάσεις. {1}

Βασιζόμενος σε ιστορικά δεδομένα, κάποιος μπορεί να καθορίσει τις πιθανότητες μιας αντίθετης συνέπειας από φυσικά φαινόμενα (σεισμοί, πλημμύρες κτλ) ή τύπους ανθρώπινων ενεργειών (συχνότητα αυτοκινητιστικών ατυχημάτων, αριθμός καπνιστών με καρκίνο των πνευμόνων κτλ). Αυτός ο τύπος της Ανάλυσης Επικινδυνότητας χρησιμοποιείται ευρέως από τις ασφαλιστικές εταιρείες βιομηχανιών για να καθορίσουν την αξία της ασφάλειας. {1}

Ωστόσο μερικά φαινόμενα δεν είναι ακόμα δυνατό να ποσοτικοποιηθούν. Για παράδειγμα, οι κίνδυνοι από την όξινη βροχή, δεν είναι εύκολα υπαγόμενοι σε αριθμητική ανάλυση, ούτε επίσης και οι κίνδυνοι από την αύξηση της θερμοκρασίας. Για το λόγο αυτό κάποιος μπορεί μόνο να καθορίσει ποιοτικούς κινδύνους μέχρι να αποκομίσουμε περισσότερα δεδομένα για να πραγματοποιηθεί η ποιοτική Ανάλυση Επικινδυνότητας. Είναι φανερό πως για την μελέτη τόσο πολύπλοκων φαινομένων, μπορεί να μην αποκτήσουμε ποτέ ικανά δεδομένα για να κάνουμε ακριβείς προβλέψεις. Γι' αυτό θα πρέπει να βασίσουμε τις αποφάσεις μας για τη διαχείριση του κινδύνου, τόσο στην πείρα όσο και στη σύνεση. {1}

Η στοχαστική Ανάλυση Επικινδυνότητας για περιβαλλοντικά θέματα, αποτελεί μία ολοκληρωμένη μέθοδο για την πρόβλεψη ασθενειών στον άνθρωπο από μολυσμένο υπόγειο υδροφόρα. Αυτού του είδους η Ανάλυση, λαμβάνει υπ' όψιν της, τις

επιρροές βιολογικών, χημικών, φυσικών και φυσιολογικών διαδικασιών που εμπεριέχουν στοιχεία αβεβαιότητας και αστάθειας. Ένας ιδανικός υπόγειος υδροφορέας χρησιμοποιείται για την παρουσίαση παραμετρικών μελετών ευαισθησίας για την αποτίμηση της σχετικής επιρροής από 1)τη γεωλογική αβεβαιότητα, 2)τη συμπεριφορική και τη φυσιολογική μεταβλητότητα για ανθρώπινη έκθεση, και 3)την αβεβαιότητα για εμφάνιση καρκίνου, για πρόβλεψη όπου τα άτομα εκτίθενται σε μολυσμένα νερό που προέρχεται από τον υπόγειο υδροφορέα. {2}

4.3 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Παρόλο που η Ανάλυση Επικινδυνότητας μπορεί να αποδειχθεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την αποτίμηση συσχετισμένων κινδύνων σε απλές περιπτώσεις (κίνδυνοι υγείας από τοξικές ουσίες σε ένα σενάριο έκθεσης) και να τους συγκρίνει με κινδύνους που θα προέκυπταν εάν λαμβανόταν κάποια εναλλακτική απόφαση (όπως χρήση διαφορετικού χημικού), υπάρχει περίπτωση η χρησιμοποίησή της να είναι επικίνδυνη εάν αυτή εφαρμοστεί για πολύπλοκα φαινόμενα με απώτερο σκοπό την εξαγωγή οριστικών συμπερασμάτων. Για το λόγο αυτό η Ανάλυση Επικινδυνότητας θα πρέπει να εφαρμόζεται με προσοχή σε περιπτώσεις πραγματικών προβλημάτων, και θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπ' όψιν οι περιορισμοί της μεθόδου. {1}

Ιδιαίτερη προσοχή χρήζουν τα πιθανά πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την Ανάλυση Επικινδυνότητας, όπου οι υπολογισμοί τους μπορεί να χαρακτηρίζονται με μεγαλύτερη αβεβαιότητα αλλά και εξάρτηση σε διάφορες υποκείμενες υποθέσεις. {1}

Σημαντική επίσης είναι η ενημέρωση του κοινού για τους κινδύνους που προκύπτουν από μία ενδεχόμενη ενέργεια, καθώς επίσης και για όλες τις σχετικές παραμέτρους και υποθέσεις της Ανάλυσης Επικινδυνότητας. Αυτό έχει σαν σκοπό τη λήψη της ορθότερης απόφασης, αφού τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μεθόδου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν από την βιομηχανία αλλά και από τους περιβαλλοντολόγους για την τεκμηρίωση των επιχειρημάτων και των συμφερόντων τους. {1}

Η εξακρίβωση του τρόπου που μπορεί να είναι χρήσιμη η διαχείριση του κινδύνου είναι απαραίτητη έτσι ώστε η εφαρμογή της μεθόδου να είναι αποτελεσματική στην περίπτωση πολύπλοκων προβλημάτων όπως είναι αυτά που αντιμετωπίζουμε σήμερα. Εάν η αβεβαιότητα που σχετίζεται με τα αποτελέσματα της Ανάλυσης Επικινδυνότητας δεν παρουσιάζεται αναλυτικά, τότε τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να οδηγήσουν σε λάθος συμπεράσματα. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από διαφορετικές εναλλακτικές ενέργειες, μπορούμε να κάνουμε ακριβέστερες προβλέψεις για τις επιπτώσεις που προκύπτουν από σχετικές αποφάσεις. {1}

4.4 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ

Οι μέθοδοι για την αποτίμηση του κινδύνου έχουν χρησιμοποιηθεί για την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων σε ανθρώπους αλλά και για να βοηθήσουν στη διαχείριση του νερού [Massman and Freeze, 1987a, b, et al]. Αυτές οι μέθοδοι αποτίμησης εμπεριέχουν παραμέτρους με στοιχεία αβεβαιότητας και αστάθειας σε μοντέλα ροής και μεταφοράς, σε μοντέλα έκθεσης και σε μοντέλα για την ανθρώπινη υγεία. Η μελέτη όμως της αβεβαιότητας και της αστάθειας των παραμέτρων οδηγεί σε ένα πολύπλοκο πρόβλημα ανάλυσης, που εμπεριέχει στοιχεία που αλληλοσχετίζονται. {2}

Ο κίνδυνος είναι ένα δομικό μέτρο που συχνά υπερβαίνει την έννοια του χρόνου και ξεπερνά τη διάρκεια ζωής ενός ανθρώπου. Οι κανονισμοί που βασίζονται στον κίνδυνο, επικεντρώνονται στο μέγιστο σημείο συγκέντρωσης ενός ρύπου στον αποδέκτη, αδιαφορώντας για το πότε θα συμβεί αυτό. {2}

Όπως προαναφέραμε, η Ανάλυση Επικινδυνότητας εμπεριέχει αβέβαιες και ασταθείς παραμέτρους. Η διαφορά μεταξύ των δύο είναι ότι οι αβέβαιες μεταβλητές είναι αυτές για τις οποίες δεν μπορεί ο αναλυτής να γνωρίζει αρκετά, ενώ οι ασταθείς είναι αυτές που ενδεχομένως είναι γνωστές όμως μπορεί να μεταβάλλονται χωρικά ή χρονικά. Όλες οι παράμετροι, σε διαφορετικό βαθμό, εμπεριέχουν κάποια στοιχεία που χαρακτηρίζονται από την αστάθεια ή τη μεταβλητότητα τους. {2}

4.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Η Επικινδυνότητα είναι ένας συνδυασμός της πιθανότητας μίας ανεπιθύμητης παρενέργειας και της φύσης καθώς και η σοβαρότητα της επίπτωσης αυτής. Η σχέση των ανθρώπων με την Επικινδυνότητα είναι καθημερινή, και συνδέεται άμεσα με τον χρόνο. Οι επιπτώσεις από διάφορες ενέργειες μπορεί να είναι βραχυπρόθεσμες ή μακροπρόθεσμες σε σύγκριση με την διάρκεια ζωής του ανθρώπου αλλά και για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους. Οι αποφάσεις που λαμβάνονται έχουν ως σκοπό την μείωση ή ακόμα και την πλήρη εξάλειψη των κινδύνων και των επιπτώσεων που μπορεί αυτοί να προκαλέσουν. Βέβαια υπάρχουν ομάδες ανθρώπων στους οποίους οι δυσμενείς επιπτώσεις έχουν άμεσο αντίκτυπο, και άλλες ομάδες οι οποίες ζημιώνονται, συνήθως οικονομικά, από τους περιορισμούς που τους επιβάλλονται για την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας. Έτσι η Ανάλυση Επικινδυνότητας παίζει σημαντικό ρόλο στη λήψη της τελικής απόφασης για την πραγμάτωση ή όχι κάποιου έργου, και πρέπει να λαμβάνει σοβαρά υπ' όψιν, τόσο τις επιπτώσεις σε περίπτωση κατασκευής του έργου αλλά και τις επιπτώσεις από την μη κατασκευή του. Το αναγνωρισμένο διεθνώς πλαίσιο που εφαρμόζεται σήμερα για τον προσδιορισμό της πιθανότητας μίας ανεπιθύμητης ενέργειας από συγκεκριμένες εκθέσεις σε χημικά, περιγράφεται περιγραμματικά παρακάτω:

1. Αναγνώριση του Κινδύνου: προσδιορισμός της ταυτότητας και της ποσότητας του χημικού που μπορεί να δημιουργεί κάποιο πρόβλημα, της χρήσης του και βέβαια το είδος των κινδύνων που μπορεί αυτό να προκαλέσει στην ανθρώπινη υγεία.
2. Καθορισμός της «κρίσιμης» δόσης³: αποτιμά τη σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του χημικού (δόση) και την επίπτωση στον άνθρωπο ή σε κάποιο άλλο είδος.
3. Καθορισμός Έκθεσης: προσδιορισμός των συνθηκών κάτω από τις οποίες ο άνθρωπος μπορεί να εκτεθεί σε κάποιο χημικό και της ποσότητας του

³ Κρίσιμη δόση θεωρείται η ποσότητα του χημικού στην οποία αρχίζουν να εμφανίζονται ανεπιθύμητες επιπτώσεις στο περιβάλλον ή τον άνθρωπο. Ανάλογα με το επίπεδο προστασίας που έχει επιλεγεί από τους μελετητές καθορίζεται και η τιμή της κρίσιμης δόσης.

χημικού που ανιχνεύεται στον οργανισμό του ως αποτέλεσμα της έκθεσης του σε αυτό.

4. Χαρακτηρισμός Επικινδυνότητας: περιγραφή της φύσης των παρενεργειών που αποδίδονται στην παρουσία χημικών, εκτίμηση της πιθανότητας έκθεσης διαφόρων πληθυσμών, και αποτίμηση της αξιοπιστίας των στοιχείων και της αβεβαιότητας που σχετίζεται με την εκτίμηση της Επικινδυνότητας.

Όπως αναφέραμε παραπάνω, οι επιπτώσεις μπορεί να είναι βραχυπρόθεσμες (άμεσες), όπως για παράδειγμα ο τραυματισμός από αστοχία του έργου, ή μακροπρόθεσμες (χρόνιες επιπτώσεις στην υγεία). Η έκθεση σε κάποιο ρύπο, μπορεί να προκαλέσει κάποιο πρόβλημα υγείας μετά από μερικούς μήνες, χρόνια ή ακόμα και δεκαετίες. Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε το κάπνισμα, το οποίο ευθύνεται για 400.000 περίπου θανάτους το χρόνο, και το αλκοόλ, περίπου 100.000 θάνατοι το χρόνο παγκοσμίως. Επίσης πρόσφατες μελέτες έδειξαν πως οι θάνατοι από την ατμοσφαιρική ρύπανση ανέρχονται σε 60.000 {Shprentz et al 1996}.

Παρόλο που ο καρκίνος είναι η βασική αιτία θνησιμότητας, δεν είναι η όμως και η μόνη που σχετίζεται με την μόλυνση του περιβάλλοντος. Η μείωση της αναπαραγωγικής ικανότητας, οι γενετικές ανωμαλίες, το άσθμα και άλλες αναπνευστικές δυσλειτουργίες, μπορούν να προκληθούν σε όλους τους οργανισμούς.

Η Ανάλυση Επικινδυνότητας προχωράει πέρα από επιστημονικές παρατηρήσεις έκθεσης και επίπτωσης σε ανθρώπους, ζώα ή πειραματικά συστήματα, και εξετάζει ερωτήματα όπως «τι είναι μη ασφαλές». Υπάρχει μία διαφορά μεταξύ του τι μπορεί να γίνει γνωστό από πειράματα ή να παρατηρηθεί άμεσα και του τι παρουσιάζεται από την τακτική της συμπερασματικής εξαγωγής που βασίζεται σε επιστημονικά πορίσματα και υποθέσεις. {4}

4.6 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Η διαχείριση ενός μεγάλου αριθμού κινδύνων της υγείας που σχετίζονται άμεσα με ένα τεράστιο πίνακα ρυπογόνων ενεργειών, αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση για τους σημερινούς επιστήμονες. Η μείωση των εκπομπών και της χρήσης επικίνδυνων ουσιών, μειώνει παράλληλα και τους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Τα όρια που έχουν θεσμοθετηθεί και πέρα από τα οποία ο κίνδυνος είναι πολύ σημαντικός για τον άνθρωπο, μπορεί να ποικίλουν από χώρα σε χώρα, όμως με την ανάπτυξη του κλάδου, τα όρια αυτά συνεχώς μειώνονται. Σαν παράδειγμα αναφέρουμε την υπάρχουσα κατάσταση στην Αμερική, όπου το όριο προφύλαξης είναι ένας θάνατος από καρκίνο ανά ένα εκατομμύριο εκτιθέμενων ανθρώπων στο συγκεκριμένο χημικό σε χρονική διάρκεια όσο ο μέσος χρόνος ζωής, δηλαδή 70 χρόνια. Τα κριτήρια επικινδυνότητας αλλάζουν όταν πρόκειται για εργαζόμενους που εκτίθενται σε κάποιο χημικό, και είναι ένας θάνατος από καρκίνο ανά χίλιους εργάτες στη διάρκεια της εργασίας τους. Για κινδύνους που δεν προκαλούν καρκίνο, σκοπός είναι η μείωση της έκθεσης κάτω από το όριο ανεπιθύμητων επιπτώσεων.

Για τη σωστή διαχείριση των κινδύνων, είναι απαραίτητο να απαντηθούν ορισμένα ερωτήματα όπως για παράδειγμα τα παρακάτω:

- Τι είναι η δημόσια υγεία, και ποια τα περιβαλλοντικά πλαίσια, σύμφωνα με τα οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ένα πρόβλημα, να παρθεί μια απόφαση και να γίνει αποτίμηση των επιπτώσεων τέτοιων ενεργειών.
- Πως είναι δυνατόν η χρησιμοποίηση διαφόρων εργαλείων (όπως της Ανάλυσης Επικινδυνότητας, και οι πληροφορίες για την κοινωνία και τον πολιτισμό), να γίνεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να είναι περισσότερο αποτελεσματική, κατανοητή και οικονομική.
- Πως μπορούμε να παίρνουμε αποφάσεις όταν οι πληροφορίες για τον κίνδυνο και τα έξοδα είναι ελλιπείς ή χαρακτηρίζονται από μεγάλη αβεβαιότητα.
- Με ποιόν τρόπο συγκρίνουμε κινδύνους και ενέργειες που θα μειώσουν τις δυσμενείς επιπτώσεις, και πως μπορούμε να τις κατατάξουμε.

Ο διάλογος για τους κινδύνους γίνεται μεταξύ δύο πλευρών, της εξειδικευμένης ομάδας και και στο κράτος που μέσω των νόμων προσπαθεί να προστατέψει το

κοινωνικό σύνολο, το οποίο και προστατεύει. Είναι πολύ σημαντικό οι δύο αυτές πλευρές να αποκομίσουν την απαραίτητη γνώση για τους κινδύνους που μπορεί να προκληθούν από μία χημική ουσία, και κατόπιν να παρθεί μία απόφαση που θα ικανοποιεί τόσο τα οικονομικά συμφέροντα όσο και τους κανόνες για την ανθρώπινη υγεία. {4}

4.7 ΔΟΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΥΓΕΙΑΣ

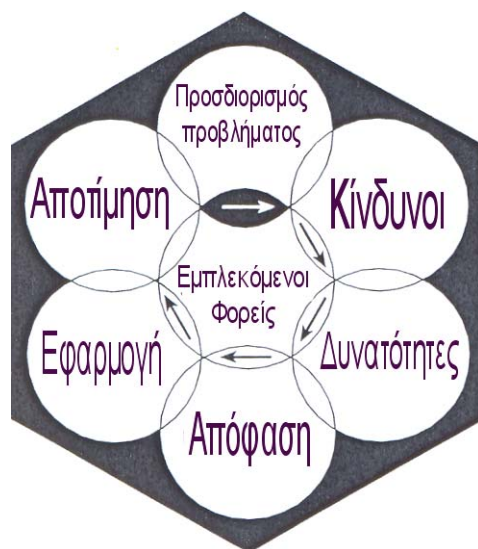
Στα παλιότερα χρόνια, η μείωση των ανεπιθύμητων ενεργειών μπορούσε να γίνει με πιο απλό τρόπο. Τα συμπεράσματα για τους κινδύνους που απορρέουν από την έκθεση των οργανισμών σε χημικά, προέκυπταν από στατιστικά στοιχεία έκθεσης πειραματόζωων στη συγκεκριμένη ουσία. Οι παρατηρήσεις που έγιναν κατά βάση στα εργαστήρια, όσον αφορά την τοξικότητα και τις δόσεις, βοήθησαν πάρα πολύ στην Διαχείριση των κινδύνων. Στις μέρες όμως, δεν παρατηρείται η ίδια απλότητα των προς μελέτη προβλημάτων όπως παλαιότερα, και για τον λόγο αυτό η τακτική που χρησιμοποιήθηκε δεν μπορεί να προσφέρει τα ίδια αποτελέσματα σήμερα. {4}

Η πολυπλοκότητα των παρόντων προβλημάτων, απαιτεί την χρησιμοποίηση πιο ολοκληρωμένων στρατηγικών Ανάλυσης. Η ανάπτυξη τέτοιων στρατηγικών, απαιτεί τον συσχετισμό μεταξύ των διαφορετικών προβλημάτων, την πρόσληψη επιστημόνων με τις κατάλληλες ειδικότητες και τον καθορισμό προτεραιοτήτων, όσον αφορά τη σπουδαιότητα των επιπτώσεων. Για τη διευκόλυνση αυτής της διαδικασίας, έχει προταθεί από ειδική επιτροπή στις Η.Π.Α., μία συγκεκριμένη δομή που αποτελείται από τα παρακάτω έξι σημεία:

- Προσδιορισμός και πλαισίωση του προβλήματος.
- Ανάλυση των κινδύνων που σχετίζονται με το συγκεκριμένο πρόβλημα.
- Εξέταση των περιπτώσεων για τη διευθέτηση του.
- Λήψη απόφασης για την υλοποίηση κάποιας πρότασης.
- Λήψη μέτρων για την πραγμάτωση της απόφασης και
- αποτίμηση των αποτελεσμάτων της ενέργειας.

Για την σωστή λειτουργία της μεθόδου, είναι απαραίτητη η συνεργασία μεταξύ των ειδικών επιστημόνων καθώς και η επανάληψη κάθε φορά που παρουσιάζονται νέες πληροφορίες που αλλάζουν τις ανάγκες ή την φύση των κινδύνων.

Μία σχηματική παρουσίαση της δομής της μεθόδου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1. The Commission's Risk Management Framework

Το πλαίσιο αυτό, είναι αρκετό για ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών καταστάσεων. Ανάλογα με την σπουδαιότητα του προβλήματος, τη σοβαρότητα και τον οικονομικό αντίκτυπο των κινδύνων, την αβεβαιότητα που ενδεχομένως να χαρακτηρίζει και τα δεδομένα αλλά και τα αποτελέσματα, η χρήση της μεθόδου μπορεί να γίνει περισσότερο πολύπλοκη και να απαιτεί μεγαλύτερη διερεύνηση για την εξαγωγή σωστών αποτελεσμάτων. Ο σκοπός αυτής της μεθόδου είναι να θέσει όρια για την προστασία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος, και να ελέγξει και να περιορίσει την ρύπανση-μόλυνση. Ο διαχωρισμός των αποφάσεων, που λαμβάνονται με στόχο την υλοποίηση των παραπάνω σκοπών, σε διεθνές και τοπικό επίπεδο, μπορεί να βοηθήσει ακόμα περισσότερο την σωστή χρήση της μεθόδου. Η μόνη περίπτωση στην οποία η χρήση της μεθόδου δεν ενδείκνυται είναι όταν πρόκειται για συνήθεις και ταχέως αναπτυσσόμενους κινδύνους όπως για παράδειγμα οι ομάδες πυρόσβεσης, και οι ομάδες επιστημόνων που ασχολούνται με επικίνδυνα χημικά.

Κάθε κομμάτι της μεθόδου βασίζεται σε τρία βασικά σημεία:

1. Διεύρυνση των ορίων.

Αυτό σημαίνει ότι σκοπός της μεθόδου δεν είναι απλά να εξετάσει τους κινδύνους που προκύπτουν από ένα χημικό σε ένα ορισμένο περιβαλλοντικό μέσο (θάλασσα, υπόγεια ύδατα, έδαφος, αέρα), αλλά να εξετάσει γενικότερα τους κινδύνους στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

2. Συμμετοχή των ενδιαφερόντων.

Η συμμετοχή των ενδιαφερόντων, δηλαδή όλων εκείνων που επηρεάζονται από τη Διαχείριση της Επικινδυνότητας, κρίνεται αναγκαία σε όλες τις φάσεις της διαδικασίας. Η επιρροή που μπορούν να έχουν είναι σημαντική και μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα όσον αφορά το οικονομικό μέρος της μελέτης, τη σωστή λήψη και εφαρμογή της απόφασης.

3. Επαναληψιμότητα.

Πολύτιμες πληροφορίες και διαφορετικές πλευρές του προβλήματος μπορούν να εμφανιστούν σε κάθε στάδιο της διαδικασίας με τον τρόπο αυτό.

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ MONTE CARLO

5.1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ποιοτική Ανάλυση Επικινδυνότητας παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην αποτίμηση των κινδύνων και της αβεβαιότητας που πλαισιώνουν την απόφαση για κάποιο συγκεκριμένο πρόβλημα. Η προσομοίωση με Monte Carlo είναι μία πολύ ισχυρή και ευέλικτη μέθοδος για την παρουσίαση τέτοιων ποιοτικών εκτιμήσεων Επικινδυνότητας. Επιτρέπει στον αναλυτή να προσδιορίσει την κατανομή όλων των αβέβαιων συνιστωσών του μαθηματικού μοντέλου και στη συνέχεια μετά από τυχαία δειγματοληψία, να αποφασίσει για όλα τα πιθανά αποτελέσματα που μπορούν να προκύψουν κάτω από αυτές τις αβεβαιότητες. {1}

5.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ανάλυση Επικινδυνότητας με Monte Carlo, περιγράφει μία σειρά από τεχνικές που περιγράφουν μαθηματικά την επίδραση του κινδύνου και της αβεβαιότητας πάνω στο πρόβλημα. Κάθε παράμετρος παρουσιάζεται μέσα από το μοντέλο με μια πιθανολογική κατανομή. Το μέγεθος και η κορυφή αυτών των κατανομών μπορούν να καθορίσουν το εύρος των τιμών αυτών των παραμέτρων και τις σχετικές τους πιθανότητες. Το μοντέλο του Monte Carlo, επιλέγει τυχαία ορισμένες τιμές για τις μεταβλητές και έτσι μπορεί να σχηματίσει εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες διαφορετικά σενάρια. Στο τέλος της προσομοίωσης αυτές οι τιμές για κάθε σενάριο συλλέγονται και αναλύονται με σκοπό την αποτίμηση της αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων του μοντέλου. {1}

Συνοπτικά, τα επιμέρους τμήματα που εμπεριέχονται έτσι ώστε να έχουμε μια Ανάλυση Επικινδυνότητας Monte Carlo, είναι:

- Σχεδιασμός της δομής του μοντέλου Ανάλυσης Επικινδυνότητας.
- Προσδιορισμός κατανομών που περιγράφουν την αβεβαιότητα του προβλήματος.

- Την εξάρτηση μεταξύ των αβεβαιοτήτων του μοντέλου.
- Παρουσίαση και επεξήγηση των αποτελεσμάτων της Ανάλυσης Επικινδυνότητας.

Η προσομοίωση με τη μέθοδο Monte Carlo είναι δύσκολο να εκτελεστεί. Με την αλματώδη όμως εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, η τεχνική αυτή έχει διαδοθεί ευρέως.

Η Ανάλυση Επικινδυνότητας Monte Carlo, δεν είναι η μόνη τεχνική για την αποτίμηση του κινδύνου και της αβεβαιότητας. Υπάρχει μια ποικιλία από εργαλεία που μπορούν να αναλύσουν τους κινδύνους, και άλλες όχι ποιοτικές απόψεις που θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν. {1}

5.3 ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Ο βασικότερος παράγοντας που θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν στο σχεδιασμό του μοντέλου είναι να προβάλει τις πληροφορίες που χρειάζονται για να παρθεί η απόφαση, για παράδειγμα ο χρόνος και το κόστος που απαιτούνται για την πλήρωση του έργου, ή την πιθανότητα μιας ανεπιθύμητης επίπτωσης. Το μοντέλο θα πρέπει να περιγραφεί εκτενώς ούτως ώστε να είναι εύκολη η χρήση του και να γίνεται κατανοητό και από μη ειδικούς χρήστες. Επίσης είναι προτιμότερο οι παράμετροι του μοντέλου να μπορούν να μεταβάλλονται και να είναι προσβάσιμοι, με σκοπό την χρήση του σε διαφορετικές συνθήκες (εξέταση εναλλακτικών λύσεων). {1}

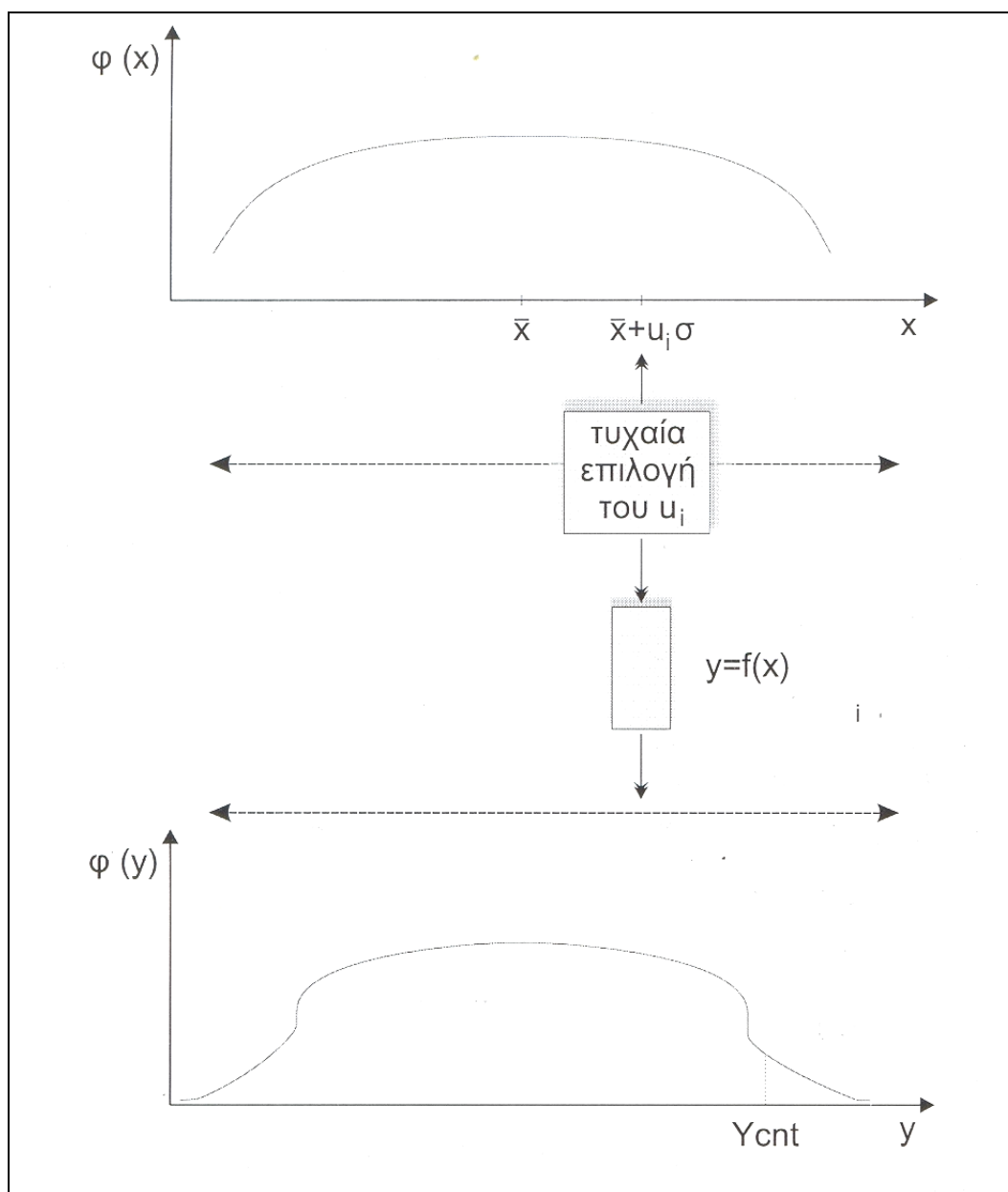
Πριν την δημιουργία του μοντέλου, είναι πρακτικότερο να γίνεται μια σχηματική απεικόνιση του μοντέλου. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη διάθρωση του μοντέλου, και αποτρέπει την δημιουργία σφαλμάτων τόσο κατά τον σχεδιασμό όσο και κατά την λειτουργία του. {1}

Ο διαχωρισμός είναι μια μέθοδος κατά την οποία το πρόβλημα χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα τα οποία μπορούν να αναλυθούν καλύτερα. Ο διαχωρισμός γενικά μπορεί να καταστήσει το πρόβλημα περισσότερο κατανοητό και φανερό, με αποτέλεσμα την λήψη της ορθότερης πρότασης. Σύντομα όμως ο διαχωρισμός ενός

προβλήματος μπορεί να το καταστήσει περισσότερο πολύπλοκο από ότι ήταν αρχικά. Αυτό είναι δυνατόν να συμβεί εάν τα επιμέρους τμήματα στα οποία χωρίζεται το πρόβλημα δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, δεν μπορούν δηλαδή να παράσχουν χρήσιμες πληροφορίες. {1}

5.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ MONTE CARLO

Γίνεται χρήση μίας γεννήτριας τυχαίων αριθμών προκειμένου να επιλεγούν τιμές παραμέτρων από μία γνωστή ή αναμενόμενη κατανομή (συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας). Αφού γίνει η τυχαία επιλογή τιμών του κατάλληλου αριθμού παραμέτρων (συνθετική δειγματοληψία), το μοντέλο «τρέχει» και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης καταγράφονται. Κατόπιν η διαδικασία επαναλαμβάνεται αρκετές φορές ώστε να καταγραφεί ένας στατιστικά σημαντικός αριθμός προσομοιώσεων. Από την κατανομή των αποτελεσμάτων μπορεί να υπολογιστεί για την εξαρτημένη μεταβλητή (ιδιότητα που μας ενδιαφέρει π.χ. συγκέντρωση ενός ρυπαντή), μία μέση προβλεπόμενη τιμή και μία τυπική απόκλιση, η οποία αντανακλά τη συνδυασμένη αβεβαιότητα όλων των σφαλμάτων των παραμέτρων {10}.



Σχήμα 2. Η αρχή Monte Carlo εφαρμοσμένη στην περίπτωση κατανομών ιδιοτήτων.

Η μεταβλητή x είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή της οποίας η συνάρτηση κατανομής είναι $\Phi(x)$. Η μεταβλητή y είναι η εξαρτημένη μεταβλητή που δίνεται απευθείας ως συνάρτηση της x : $y=f(x)$, ή από τη λύση μιας διαφορικής εξίσωσης της μορφής $f(x,y)=0$. Βάσει των προηγούμενων εξισώσεων, μετά από τυχαία επιλογή τιμών x , μέσω μιας γεννήτριας τυχαίων αριθμών και επαναλαμβανόμενες προσομοιώσεις σε υπολογιστή, υπολογίζονται τιμές y_i για την εξαρτημένη μεταβλητή. Κατόπιν η προκύπτουσα κατανομή της εξαρτημένης μεταβλητής μπορεί να μελετηθεί, προκειμένου να

καθοριστούν γι' αυτήν διαστήματα εμπιστοσύνης ή και να προσδιοριστεί η πιθανότητα υπέρβασης κάποιας κρίσιμης τιμής.

Κατανομές Παραμέτρων

Οι κατανομές των παραμέτρων μπορούν να καθοριστούν από πολλαπλά δείγματα συλλεγμένα στο πεδίο, από εργαστηριακά πειράματα στον μικρόκοσμο ή από την κρίση ειδικών. Τυπικές κατανομές παραμέτρων είναι κανονικές κατανομές (normal), κανονικές κατανομές λογαριθμικών συναρτήσεων (lognormal), ομοιόμορφες κατανομές⁴ και τραπεζοειδής συναρτήσεις⁵.

Οι κανονικές κατανομές θεωρείται ότι προκύπτουν από «προσθετικές» διαδικασίες στο περιβάλλον. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για μία κανονική κατανομή (κωδωνοειδή κατανομή Gauss) είναι:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

όπου μ : η μέση τιμή της κατανομής

σ : η τυπική απόκλιση.

Η περιοχή κάτω από την καμπύλη σε εύρος τιμών $x = \pm\sigma$ περιέχει το 68,3% των τιμών ενώ η αντίστοιχη περιοχή κάτω από την καμπύλη σε εύρος $x = \pm 2\sigma$ περιέχει το 95,5% των τιμών.

Ίσως η πιο κοινή κατανομή στο περιβάλλον είναι η κανονική κατανομή λογαριθμικής συνάρτησης. Αν δεν είναι τίποτα γνωστό για τον τρόπο που μεταβάλλεται μία παράμετρος, θα πρέπει να υποθέσουμε αυτού του είδους την κατανομή η οποία

⁴ Σταθερές πιθανότητες για το εύρος τιμών των παραμέτρων.

⁵ Οι πιθανότητες είναι σταθερές σ' ένα κυρίαρχο εύρος και μειώνονται γραμμικά στα δύο άκρα της συνάρτησης.

θεωρείται ότι προκύπτει από «πολλαπλασιαστικές» διαδικασίες. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για μία lognormal κατανομή δίνεται παρακάτω:

$$f(z) = \frac{1}{z\sqrt{2\pi\sigma_x}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln z - \mu_x}{\sigma_x}\right)^2\right]$$

όπου μ_x : η γεωμετρική μέση τιμή της παραμέτρου,

σ_x : η γεωμετρική απόκλιση,

z : οι τιμές της παραμέτρου⁶.

Βήματα Εφαρμογής της Ανάλυσης Monte Carlo

Καθορισμός των κατανομών αβεβαιότητας (συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας) για κάθε παράμετρο και εισαγωγή στον υπολογιστή της συνάρτησης και της μεταβλητής που είναι επιθυμητό να αναλυθεί.

Συλλογή τιμών παραμέτρων από κάθε κατανομή με τη χρήση μιας γεννήτριας τυχαίων αριθμών που λαμβάνει υπ' όψιν την πιθανότητα της κάθε τιμής. Τα περισσότερα λειτουργικά συστήματα υπολογιστών και μερικά προγράμματα λογιστικών φύλλων (spreadsheets), έχουν μία γεννήτρια τυχαίων αριθμών που μπορεί να κληθεί, με τη χρήση κατάλληλων προγραμμάτων, προκειμένου να γίνει συνθετική δειγματοληψία από τις κατανομές παραμέτρων, πριν πραγματοποιηθεί κάθε προσομοίωση μοντέλου.

Η σειρά τιμών παραμέτρου που επιλέχθηκε χρησιμοποιείται ως είσοδος για την πρώτη προσομοίωση. Το μοντέλο «τρέχει» και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποθηκεύονται σε αρχείο.

⁶ Οι τιμές της παραμέτρου πρέπει να είναι θετικές και μετασχηματίζονται παίρνοντας το φυσικό τους λογάριθμο: $x = \ln z$, όπου: $z \geq 0$ και $-\infty \leq x \leq +\infty$

Γίνεται επανάληψη των βημάτων 2 και 3 πολλές φορές, συνήθως 100-200, ή μέχρις ότου το στατιστικό αποτέλεσμα δεν αλλάζει από επαναλαμβανόμενες προσομοιώσεις του μοντέλου.

Τα αποθηκευμένα δεδομένα εξόδου⁷, χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της κατανομής της εξαρτημένης μεταβλητής.

Από την κατανομή της εξαρτημένης μεταβλητής (ιδιότητα που αποτελεί το εκάστοτε αντικείμενο μελέτης) υπολογίζεται μια μέση προβλεπόμενη τιμή και μια τυπική απόκλιση. Επιπλέον η προκύπτουσα κατανομή της εξαρτημένης μεταβλητής μπορεί να μελετηθεί προκειμένου να καθοριστούν γι' αυτήν διαστήματα εμπιστοσύνης ή και να προσδιοριστεί η πιθανότητα υπέρβασης κάποιας κρίσιμης τιμής.

Η ανάλυση αβεβαιότητας με τη μέθοδο Monte Carlo, στις περιπτώσεις περίπλοκων μοντέλων, απαιτεί πολύ χρόνο υπολογισμού ώστε να προκύψει ένας στατιστικά σημαντικός αριθμός προσομοιώσεων. Επιπλέον δεν διατηρεί τη δομή συνδιασποράς μεταξύ των παραμέτρων του μοντέλου εκτός και αν πραγματοποιηθεί συνθετική δειγματοληψία από τις κατανομές των παραμέτρων με ειδικό τρόπο ώστε να προκύψει μια ρεαλιστική σειρά αποτελεσμάτων.

Σημαντικό, ωστόσο, πλεονέκτημα της μεθόδου, είναι ότι δεν απαιτεί γραμμικοποίηση των εξισώσεων του μοντέλου και άρα αποτελεί ακριβή και όχι προσεγγιστική λύση. Επίσης είναι, θεωρητικά, μη παραμετρική. Αυτό σημαίνει ότι οι όροι σφάλματος στις παραμέτρους και στις ανεξάρτητες μεταβλητές μπορούν να εκφραστούν ως οποιαδήποτε συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και να γίνει η τυχαία επιλογή τιμών των παραμέτρων χωρίς την απαίτηση της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης. Η ανάλυση Monte Carlo είναι μία από τις πλέον προτιμώμενες μεθόδους ανάλυσης αβεβαιότητας ανάμεσα στους περιβαλλοντικούς επιστήμονες και μηχανικούς. {10}

⁷ Οι τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής για κάθε τυχαία επιλεγμένη σειρά παραμέτρων

Η προσομοίωση Monte Carlo είναι μία μέθοδος για την αποκόμιση πληροφοριών για την συμπεριφορά πολύπλοκων καταστάσεων. Η μέθοδος πραγματοποιεί δειγματοληψίες για τη δημιουργία πολλών σετ δεδομένων οι οποίες αναλύονται με μία στατιστική μέθοδο για να ερμηνευτούν. {16}

Υποθέτουμε ότι η σχέση που περιγράφει το μοντέλο είναι του τύπου $y = f(x)$, όπου για κάθε τιμή της μεταβλητής x , λαμβάνεται ένα αποτέλεσμα y . Είναι φανερό ότι η μεταβλητότητα της τιμής x σχετίζεται άμεσα με τη διακύμανση της τιμής y . Με τον τρόπο αυτό γίνεται δυνατή η μελέτη της συμπεριφοράς της μεταβλητής y , επιλέγοντας διαφορετικές τιμές x , ανάλογα με την κατανομή που ενδιαφέρει τους αναλυτές. Η διακύμανση των τιμών της μεταβλητής x και η κατανομή των τιμών μπορούν να προσδιοριστούν ως η πιθανολογική πυκνότητα της συνάρτησης. Η τιμή του x προέρχεται τυχαία από την πιθανολογική κατανομή και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μεταβλητής y . Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται για ένα μεγάλο αριθμό δοκιμών (100-5000), μέχρις ότου η τιμή του y να παραμένει σταθερή. Αυτή η διαδικασία καλείται «προσομοίωση» (simulation) ή ακόμα «συνθετική δειγματοληψία» (synthetic sampling). {16}

Είναι περισσότερο οικονομικό και πρακτικό, η διαδικασία της τυχαίας επιλογής των μεταβλητών να γίνεται απ' ευθείας σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι τιμές που προκύπτουν δεν είναι ουσιαστικά τυχαίες, αφού ο υπολογισμός τους γίνεται από κάποιο μαθηματικό μοντέλο, όμως εάν το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται είναι καλό τότε οι ιδιότητες τους δεν μπορούν να διακριθούν από τις πραγματικά τυχαίες τιμές. Έτσι πολλές φορές γίνεται η παραδοχή ότι το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται δίνει καθαρά τυχαίες τιμές. {16}

Για να ληφθεί μία τιμή $Y_U(\alpha, \beta)$ από μία σταθερή κατανομή για ένα διάστημα τιμών (α, β) από μία δοσμένη σταθερή μεταβλητή τυχαίων τιμών R_U για ένα διάστημα $(0,1)$, εφαρμόζεται ο παρακάτω τύπος:

$$Y_U(\alpha, \beta) = (\beta - \alpha)R_U + \alpha$$

Με παρόμοιο τρόπο, μία κανονική κατανομή τυχαίων τιμών $Y_N(\mu, \sigma^2)$, όπου μ η μέση τιμή και σ η διασπορά, προέρχεται από μία καθορισμένη κανονική κατανομή $R_N(0,1)$, ως ακολούθως:

$$Y_N(\mu, \sigma) = \mu + \sigma R_N$$

Η λογαριθμική κανονική κατανομή τυχαίων τιμών μπορεί να προσομοιωθεί ως εξής:

$$Y_{LN}(\alpha, \beta) = e^{\mu + \sigma R_N}$$

Ο λογάριθμος Y_{LN} είναι κανονικά κατανεμημένος με μέση τιμή μ και διασπορά σ . Η μέση τιμή και η διασπορά της λογαριθμικής κανονικής μεταβλητής Y_{LN} είναι:

$$\alpha = \exp(\mu + 0,5\sigma^2) \quad \text{και} \quad \beta = \exp(\mu + 0,5\sigma^2) \sqrt{\exp(\sigma^2 - 1)}$$

5.5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Το μοντέλο για την Ανάλυση Επικινδυνότητας θα πρέπει να παρουσιάζεται σε αυτούς οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την τελική απόφαση, με τέτοιο τρόπο, ώστε να προβάλλεται η αξιοπιστία της δομής και των υποθέσεων που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης η εμφάνιση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να ευνοεί την σωστή ερμηνεία και την περαιτέρω χρήση τους.

Η δομή της παρουσίασης ενός μοντέλου και των αποτελεσμάτων αυτού μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τον χαρακτήρα του προβλήματος που ασχολείται. Έτσι, η παρουσίαση του μπορεί να γίνει είτε διαγραμματικά, είτε γραφικά ή ακόμα και σχηματικά. Για πολύπλοκα προβλήματα είναι καλύτερη η χρησιμοποίηση διαγραμμάτων, καθώς απλουστεύει κατά το δυνατόν την πολυπλοκότητα του μοντέλου, και βοηθάει στη σωστή λήψη της απόφασης. {1}

Οι υποθέσεις του μοντέλου μπορούν και αυτές να παρουσιαστούν με διάφορους τρόπους ανάλογα με την πολυπλοκότητα του. Για δύσκολα προβλήματα, είναι προτιμότερη η δημιουργία περιεκτικών σχεδιαγραμμάτων. Οι εξαρτήσεις μεταξύ των κατανομών φαίνονται καλύτερα σε χωριστά διαγράμματα. Πολλές φορές για τις αβέβαιες μεταβλητές χρησιμοποιούνται πίνακες, στους οποίους αναφέρεται η βαρύτητα με την οποία συμμετείχαν στο μοντέλο. {1}

Όσον αφορά τα αποτελέσματα του μοντέλου, αυτή θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να απαντά στα κρίσιμα ερωτήματα του προβλήματος και να βοηθούν στη λήψη της απόφασης. Ο τρόπος παρουσίασης τους μπορεί να είναι με σχετικά ιστογράμματα, που βοηθούν στην κατανόηση της αβεβαιότητας των υποθέσεων του μοντέλου. Ένας άλλος τρόπος παρουσίασης είναι τα συγκεντρωτικά διαγράμματα, όπου οι ενδιαφερόμενοι μπορούν ευκολότερα να διαβάσουν τις σχετικές αξίες των στόχων τους. {1}

Τα χωριστά διαγράμματα, όπως και στην περίπτωση της παρουσίασης της δομής του μοντέλου και των υποθέσεών του, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις πολύπλοκων αλληλοσυσχετισμών μεταξύ των παραμέτρων του μοντέλου. Επίσης χρησιμοποιούνται και για τον έλεγχο του μοντέλου, εάν δηλαδή αυτό αναπαράγει πραγματικά σενάρια. {1}

Τα διαγράμματα με ράβδους (tornado charts), προβάλλουν μία καλύτερη άποψη για την συσχέτιση της συνεισφοράς των αβέβαιων μεταβλητών του μοντέλου στην αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων αυτού. Το μήκος και το ύψος των ράβδων απεικονίζει το βαθμό συσχέτισης μεταξύ των εισερχόμενων μεταβλητών και του αποτελέσματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η εξάρτηση, τόσο μεγαλύτερη είναι και η επιρροή των εισερχόμενων μεταβλητών στο αποτέλεσμα. Το γεγονός αυτό δίνει στον αναλυτή την ευκαιρία να επιλέξει τις σημαντικότερες συνιστώσες του προβλήματος και να προχωρήσει σε περαιτέρω ανάλυση αυτών. {1}

5.6 MONTELO CRYSTAL BALL

Το μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή της μεθόδου Monte Carlo είναι το Crystal Ball της εταιρίας Decisioneering. Το Crystal Ball είναι ένα πρόγραμμα για την Ανάλυση Επικινδυνότητας, με οριοθετημένα γραφικά πρόβλεψης. Το περιβάλλον εργασίας του Crystal Ball είναι φιλικό προς τον χρήστη και εύκολο στη λειτουργία του. {22}

Οι απαντήσεις που μπορεί να δώσει η πιθανολογική προσομοίωση του Crystal Ball, ποικίλουν ανάλογα με το υπό εξέταση πρόβλημα. Ενδεικτικά, όσον αφορά την ευρύτητα χρήσης του συγκεκριμένου μοντέλου, αναφέρουμε ότι το λογισμικό αυτό δύναται να απαντήσει σε ερωτήματα του τύπου: «Θα συνεχίσουμε να είμαστε εντός του προϋπολογισμού μετά την κατασκευή του νέας πτέρυγας του εργοστασίου;» ή «ποιες οι πιθανότητες να τελειώσει η εργασία μέσα στα χρονικά όρια;». {22}

Επίσης το Crystal Ball παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα να εξάγει μία πλήρη αναφορά σχετικά με τις κατανομές των παραμέτρων που υπολογίζονται. Το διάστημα εμπιστοσύνης μπορεί να καθοριστεί από τον χρήστη, ανάλογα με τις ανάγκες του προβλήματος. {22}

Το Crystal Ball είναι συμβατό με το μοντέλο RAM (αναλύεται στο επόμενο κεφάλαιο), και μπορεί να εφαρμοστεί μέσω αυτού με τη χρήση της κατάλληλης εντολής. Οι πιθανολογικές κατανομές που μπορεί να επιλέξει ο χρήστης για τις αβέβαιες παραμέτρους του μοντέλου RAM, είναι οι εξής:

- Τριγωνική,
- Κανονική και
- Σταθερή.

Για κάθε μία κατανομή απαιτείται η εισαγωγή της διακύμανσής της. Για την τριγωνική κατανομή, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της μέγιστης, της ελάχιστης και της πιθανότερης τιμής της μεταβλητής. Η κανονική κατανομή, απαιτεί τον προσδιορισμό της μέσης τιμής της παραμέτρου καθώς και της διασποράς αυτής. Τέλος, για τη σταθερή κατανομή είναι απαραίτητη η εισαγωγή της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής της αβέβαιης μεταβλητής. {22}

6. MONTELO RAM

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί είναι το RAM (Risk Assessment Management), και είναι προϊόν της ESI (Environmental Simulations International). Το RAM είναι ένα ισχυρό εργαλείο στα χέρια των επιστημόνων, το οποίο βοηθάει στην σταδιακή προσέγγιση της επικινδυνότητας για το νερό σε ρυπασμένο-μολυσμένο έδαφος. {5}

Το λογισμικό αυτό είναι πολλαπλών εφαρμογών και προβάλλει ένα εργαλείο ποσοτικής προσομοίωσης των αποφάσεων, για κινδύνους που προέρχονται από τα υπόγεια ύδατα και αποφάσεις που αφορούν στην επαναχρησιμοποίηση μίας ρυπασμένης-μολυσμένης περιοχής για οικιστικές ή άλλες χρήσεις. Το μοντέλο χρησιμοποιεί τις πιο πρόσφατες μεθοδολογίες που εφαρμόζονται στο Ηνωμένο Βασίλειο, με απώτερο στόχο την προστασία του περιβάλλοντος. {5}

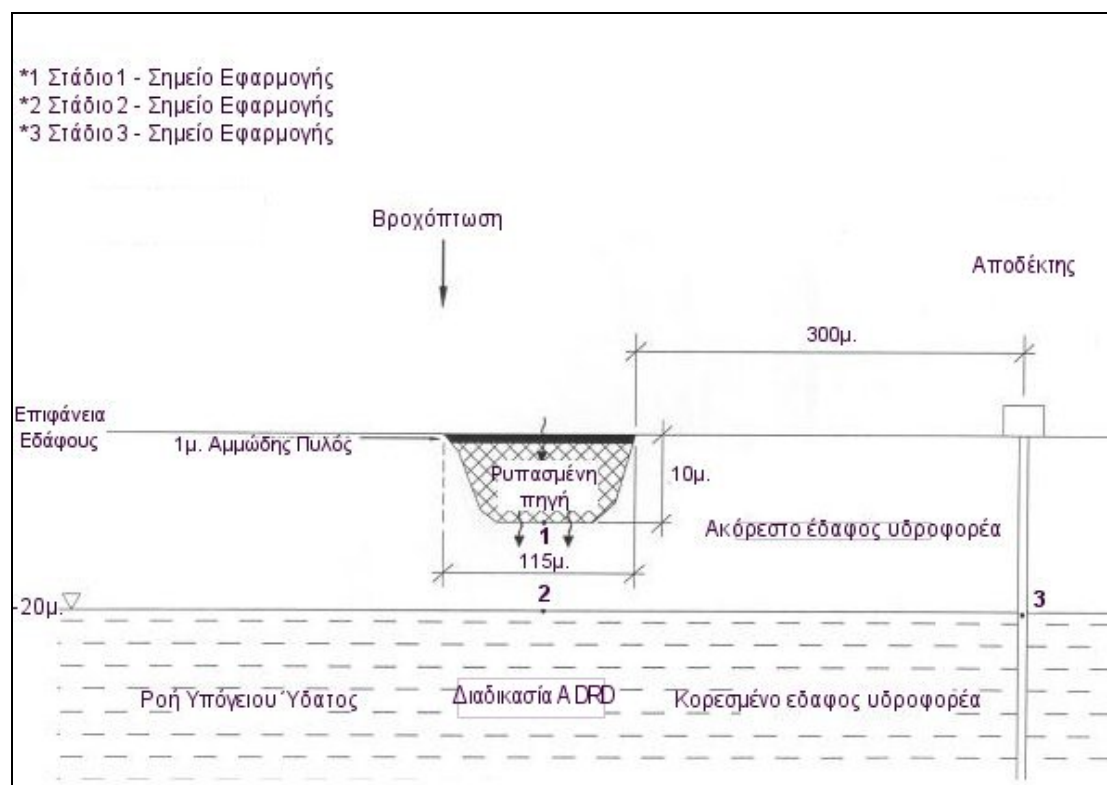
Το RAM είναι σχεδιασμένο για την σταδιακή Αποτίμηση της Επικινδυνότητας χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία των τεσσάρων επιπέδων, η οποία έχει παρουσιαστεί από τον φορέα περιβάλλοντος της Αγγλίας (Environmental Agency, 1999). Εκτός από τα στάδια 1, 2 και 3, τα οποία είναι σχεδιασμένα για γρήγορη αποτίμηση τόσο πιθανολογικά όσο και προσδιοριστικά (probabilistic and deterministic mode), το RAM διαπραγματεύεται ένα μοναδικό τέταρτο στάδιο, το οποίο σχεδιάστηκε με σκοπό την αναλυτική παρουσίαση θέσεων για ειδικές περιπτώσεις όπου πολλαπλές πηγές, τμήματα περιοχών και δέκτες μπορεί να χρειάζεται να αποτιμηθούν χωρίς την δέσμευση με αρχές που περιλαμβάνονται στο μοντέλο. {5}

Το περιβάλλον λειτουργίας του λογισμικού είναι το Microsoft Excel, το οποίο το καθιστά εύχρηστο και λειτουργικό. Επίσης ενσωματώνει τη μετατροπή Laplace, δίνοντας γρήγορες λύσεις στα πολύπλοκα προβλήματα αφού επιλύει τις δύσκολες εξισώσεις της μεταφοράς ρύπων.

Η πρόβλεψη για την μεταφορά και την τύχη του ρύπου βασίζεται στην προσέγγιση της πηγής, της διαδρομής και του αποδέκτη, όπως ορίζεται από την «Κίνηση

Περιβαλλοντικής Προστασίας» 1990. Το λογισμικό είναι επίσης σύμφωνο με τις αρχές της ASTM RBCA (Risk Based Corrective Action), αφού εφαρμόζεται στις κινήσεις του υπόγειου ύδατος, διευκολύνοντας έτσι την πρόβλεψη των επιδράσεων του ρύπου όπως επίσης και την αποτίμηση των επανορθωτικών ενεργειών που απαιτούνται για την διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος.

Το RAM χρησιμοποιεί το Crystal Ball, για την Ανάλυση Monte Carlo, επιτρέποντας έτσι την αποτίμηση του κινδύνου για συγκεκριμένα επίπεδα εμπιστοσύνης. Έτσι η απόφαση δεν είναι αποτέλεσμα απλά μιας εξέτασης της καλύτερης ή της χειρότερης κατάστασης, επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό στους επιστήμονες να έχουν μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την επικινδυνότητα. {5}



Σχήμα 3. Σχηματική απεικόνιση του θεμελιώδους μοντέλου RAM

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται τα σημεία εφαρμογής των τριών πρώτων σταδίων του μοντέλου, για ένα παράδειγμα όπου υπάρχει μία ρυπασμένη πηγή πάνω από τον κορεσμένο υδροφόρο και σε μία απόσταση από μία γεώτρηση που τροφοδοτεί γειτονικό οικισμό.

Συνοπτικά αναφέρουμε τα θετικά χαρακτηριστικά του μοντέλου RAM:

- Γνωστό περιβάλλον εργασίας (Excel), με καθορισμένες εξισώσεις και επεμβάσεις που μπορούν να γίνουν από το χρήστη, γεγονός που διασφαλίζει την ευκολία εκμάθησης και χρήσης του.
- Χρησιμοποίηση του Crystal Ball για Ανάλυση Monte Carlo
- Το RAM διαθέτει το «μαύρο κουτί», δηλαδή καταγράφει όλες τις αλλαγές και τις κινήσεις του χρήστη
- Αυτόματος έλεγχος στην ανάπτυξη του μοντέλου, που υποδεικνύει τυχόν λάθη ή παραλήψεις από τον χρήστη
- Ανάλυση Ευαισθησίας που διευκολύνει την ποιοτική ασφάλεια της αποτίμησης της επικινδυνότητας. {5}

Επίσης, για τα στάδια του μοντέλου ισχύουν τα εξής:

- Το στάδιο 1 επιλέγεται όταν είναι επιθυμητή μόνο η σύγκριση των συγκεντρώσεων της πηγής και των θεσμοθετημένων ορίων.
- Το δεύτερο στάδιο λαμβάνει υπ' όψιν και τη διάλυση που γίνεται στον υπόγειο υδροφόρο.
- Στο τρίτο στάδιο λαμβάνει χώρα εκτός από τη διάλυση, και εξασθένιση των ρύπων, μέσα στην κορεσμένη ζώνη του υδροφόρου.
- Η διάλυση, η εξασθένιση, οι πολλαπλές διαδρομές, πηγές και αποδέκτες, χαρακτηρίζουν το τέταρτο στάδιο. Επίσης ο χρήστης δύναται να μετατρέψει το μοντέλο ανάλογα με τις ανάγκες του προβλήματος.

6.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

6.2.1 Συνοπτική Περιγραφή του Λογισμικού

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, το μοντέλο RAM είναι προϊόν της ESI και χρησιμοποιεί το λογιστικό φύλλο του Microsoft Excel. Στο φύλλο αυτό έχουν εισαχθεί όλες οι απαραίτητες εξισώσεις του μοντέλου⁸, με σκοπό την αποτίμηση της επικινδυνότητας για ρυπασμένα-μολυσμένα εδάφη και υπόγεια ύδατα. Το RAM συμπληρώνεται με το Crystal Ball για την πιθανολογική αποτίμηση επικινδυνότητας αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και προσδιοριστικά (deterministically). {6}

6.2.2 Πλαίσιο Λογισμικού

Το μοντέλο RAM αναπτύχθηκε σε απάντηση της ανάγκης για σαφή τοποθέτηση της αποτίμησης των κινδύνων που προέρχονται από ρυπασμένα-μολυσμένα εδάφη και της ανάγκης για απευθείας παρουσίαση των υδρογεωλογικών θεμελιωδών μοντέλων. Το λογισμικό επιτρέπει στον χρήστη να κατασκευάσει ένα μοντέλο συνδυάζοντας πληροφορίες από την γεωμετρία, τους γεωλογικούς σχηματισμούς και τις υδρογεωλογικές καταστάσεις, και να προβλέψει την κίνηση και την τύχη του ρύπου στο σύστημα.

Το RAM είναι συμβατό με το πλαίσιο των περιβαλλοντικών οργανισμών για σταδιακή αποτίμηση (Environmental Agency, 1999), και μπορεί να εφαρμοστεί για την εκτίμηση του ρόλου της διάλυσης και των διαδικασιών εξασθένησης για την μείωση των συγκεντρώσεων από την πηγή μέχρι τον δέκτη. Η σημασία του λογισμικού έγκειται στην εύκολη αλλαγή παραμέτρων και στη διαφάνεια των αποτελεσμάτων.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιεί το μοντέλο για ρυπασμένο-μολυσμένο έδαφος και υπόγεια ύδατα, είναι αναγνωρισμένη από τους περιβαλλοντικούς οργανισμούς. Η μεθοδολογία απαιτεί την εισαγωγή της επιθυμητής συγκέντρωσης στον δέκτη και έπειτα γίνεται η σταδιακή αποτίμηση για τον καθορισμό των αποτελεσμάτων στην

⁸ Οι εξισώσεις που χρησιμοποιεί το μοντέλο για τους υπολογισμούς, παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 7.

πηγή. Τα στάδια περιέχουν προοδευτικά περισσότερες διαδικασίες. Εάν σε κάποιο στάδιο οι στόχοι για τον αποδέκτη δεν επιτυγχάνονται, τότε θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν περισσότερες και λεπτομερέστερες πληροφορίες και διαδικασίες στο επόμενο στάδιο, ή θα πρέπει να γίνει κάποια διόρθωση έτσι ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητοί στόχοι στο τρέχον στάδιο. Τα τέσσερα στάδια αποτίμησης του RAM παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

Στάδιο	Έδαφος	Υπόγειο Ύδωρ
1	Σύγκριση συγκέντρωσης του πορώδους ύδατος με την επιθυμητή συγκέντρωση	Μη εφαρμόσιμο
2	Εισάγει τις επιπτώσεις από τη διάλυση που προέρχεται από το υπόγειο ύδωρ, τα επιφανειακά νερά, ή από άντληση μέσω πηγαδιών	Άμεση σύγκριση των συγκεντρώσεων του υπόγειου ύδατος με αυτές που έχουν οριστεί ως στόχοι
3 - 4	Διαδικασίες εξασθένισης, σε συνάρτηση με την διάλυση	Διαδικασίες εξασθένισης

Πίνακας 1. Στάδια Αποτίμησης RAM

Τα στάδια 3 και 4 διαφέρουν στην πολυπλοκότητα του χρησιμοποιούμενου μοντέλου. Το στάδιο 4 επιτρέπει την ανάπτυξη πολύπλοκων μοντέλων με πολλαπλές πηγές, διαδρομές και δέκτες. Επίσης χρησιμοποιεί αριθμητικές μεθόδους (και όχι αριθμητικές λύσεις) για τον υπολογισμό των επιπτώσεων της μείωσης και της διάλυσης. {6}

6.2.3 Ρύποι και Ρυπασμένα-Μολυσμένα Μέσα

Οποιαδήποτε ρυπογόνα ουσία μπορεί να εισαχθεί στον ανάλογο κατάλογο των ρύπων, αφού δεν υπάρχουν προκαθορισμένες παράμετροι για ρυπογόνες ουσίες. Επί του παρόντος υπάρχει ένα όριο 8 ρύπων που μπορούν να εισαχθούν στο μοντέλο, στη βασική έκδοση του λογισμικού. Στα πρώτα 3 στάδια μπορεί να καθοριστεί μία πηγή ως πηγή εδάφους ή υπόγειου ύδατος, ενώ στο στάδιο 4 μπορούν να εισαχθούν πολλαπλών τύπων πηγές. {6}

6.2.4 Διαδρομές και Δέκτες

Το μοντέλο είναι σχεδιασμένο για να αποτιμά τον κίνδυνο που προέρχεται από ρυπασμένα-μολυσμένα υπόγεια ύδατα και συνδέεται είτε με το υπόγειο ύδωρ ή με επιφανειακούς αποδέκτες.

Το πρώτο στάδιο μελετά μόνο τα εδάφη. Το σημείο συμμόρφωσης λαμβάνεται όταν το έδαφος και οι συγκεντρώσεις των ρύπων στο νερό των πόρων συγκρίνονται άμεσα με την συγκεντρώση που έχει τεθεί ως επιθυμητή.

Για τα στάδια 2, 3 και 4, η συγκεντρώση στο νερό του αποδέκτη υπολογίζεται και συγκρίνεται με τα δεδομένα καταλληλότητας που έχουν τεθεί από τον χρήστη. Στο 4^ο στάδιο, ο χρήστης μπορεί να θέσει πολλαπλές πηγές και αποδέκτες. Ο μέγιστος αριθμός που μπορεί να τεθεί στις διαδρομές είναι 8 διαφορετικές μονάδες υπόγειων υδάτων. Ο χρήστης προσδιορίζει τις διαδρομές από τις πηγές δια μέσου των υδρογεωλογικών μονάδων προς τους αποδέκτες. {6}

6.2.5 Αποτελέσματα

Οι συγκεντρώσεις στους αποδέκτες συγκρίνονται με αυτές που έχει ορίσει ο χρήστης και διαφέρουν ανάλογα με τον σκοπό και τη χρήση του νερού. Έτσι οι επιθυμητές συγκεντρώσεις μπορεί να διαφέρουν εάν το νερό προορίζεται για ύδρευση, άρδευση ή άλλους λόγους. Οι επανορθωτικές τιμές για τις συγκεντρώσεις στην πηγή υπολογίζονται στα πρώτα τρία στάδια, όπου υπάρχουν οι όροι της διάλυσης και οι παράγοντες εξασθένησης.

Για παροδικές προσομοιώσεις, οι συγκεντρώσεις υπολογίζονται ανά πέντε χρονικά διαστήματα⁹. Για πιθανολογικές προσομοιώσεις, ο χρήστης μπορεί να προσδιορίσει τον τρόπο με τον οποίο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα είτε με τη μορφή ποσοστών, ή με ξεχωριστές πιθανολογικές κατανομές όπως αθροιστικές κατανομές ή κατανομές συχνότητας. {6}

⁹ Το μοντέλο δίνει ως προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα περιόδους για 1, 10, 100, 1000 και 10.000 χρόνια. Ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει τα διαστήματα αυτά σύμφωνα με τον προγραμματισμό που έχει γίνει. Εάν η προσομοίωση πρέπει να γίνει για διαστήματα μικρότερα του χρόνου, τότε εισάγονται υποδιαιρέσεις του χρόνου.

6.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ

6.3.1 Χρησιμότητα του λογισμικού

Η εγκατάσταση του λογισμικού γίνεται από το CD και προϋποθέτει την τοποθέτηση του «κλειδιού». Το μέγεθος των αρχείων εξαρτάται από αριθμό των δεδομένων και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από το μοντέλο. Ξεκινώντας τη χρήση του μοντέλου, ο χρήστης βρίσκεται στο φύλλο ελέγχου όπου είναι και το κεντρικό σημείο αναφοράς του μοντέλου RAM. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μεταξύ του κλασσικού φύλλου δεδομένων και του ειδικού φύλλου, το οποίο καθοδηγεί τον χρήστη στα δεδομένα δια μέσου κουτιών με οδηγίες για προβλήματα που έχουν να κάνουν με την πηγή εδάφους, και εισάγει τα δεδομένα στο λογιστικό φύλλο. Το φύλλο ελέγχου είναι το εναρκτήριο σημείο για κάθε νέα εφαρμογή του προγράμματος, και εκεί θα πρέπει ο χρήστης να κάνει τις πρώτες βασικές ρυθμίσεις όπως είναι η εισαγωγή του τύπου της πηγής, του σταδίου, και του τύπου της μεθόδου που θέλει να ακολουθήσει (πιθανολογικά ή προσδιοριστικά). {6}

Το RAM χρησιμοποιεί τρεις λειτουργίες:

- Παραμετρική (Parameter)
- Λειτουργική (Run) και
- την Εισαγωγή Στοιχείων (Edit).

Η παραμετρική λειτουργία δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να εισάγει τα δεδομένα που αφορούν το σύστημα πηγή-διαδρομή-αποδέκτης. Ο χρήστης έχει πρόσβαση σε όλα τα φύλλα που έχουν να κάνουν με την κατασκευή του μοντέλου. Για τη διευκόλυνσή του, έχουν χρωματιστεί τα κελιά όπου απαιτείται η εισαγωγή αριθμητικών δεδομένων. Για παράδειγμα, το ανοιχτό κίτρινο χρώμα, επισημαίνει στο χρήστη ότι είναι απαραίτητη η εισαγωγή κάποιας τιμής, ενώ το ανοιχτό πράσινο χρώμα, δηλώνει την καταχωρημένη εξίσωση από το μοντέλο, που κάνει τον υπολογισμό. Ο χρήστης μπορεί είτε να αφήσει την υπολογισμένη τιμή, ή να εισάγει την δική του. Τα ροζ κελιά υποδεικνύουν ότι οι τιμές προήλθαν από πράξεις μεταξύ άλλων τιμών που δεν είναι ανοικτές για επεξεργασία. {6}

Η λειτουργική, επιλέγεται με σκοπό την προσομοίωση του μοντέλου όταν βεβαίως η εισαγωγή δεδομένων έχει ολοκληρωθεί. Η προσδιοριστική μέθοδος προσομοίωσης είναι προεπιλεγμένη, ακόμα και αν η πιθανολογική εκδοχή έχει οριστεί στο φύλλο ελέγχου και σειρές δεδομένων έχουν εισαχθεί στα λογιστικά φύλλα. Κατά την επιλογή της προσομοίωσης, γίνεται αυτόματος έλεγχος των δεδομένων που έχουν εισαχθεί, και επισημαίνονται τυχόν παραλείψεις ή λάθη. Εφόσον η εισαγωγή στοιχείων έχει γίνει σωστά, τα αποτελέσματα διατίθενται στον χρήστη, όπου για την ευκολία εξαγωγής συμπερασμάτων τα κελιά είναι χρωματισμένα ανάλογα με τις τιμές των συγκεντρώσεων που έχουν προκύψει και τη μέθοδο που ακολουθήθηκε (προσδιοριστική ή πιθανολογική). Έτσι, οι συγκεντρώσεις που έχουν ξεπεράσει τα επιθυμητά όρια, χρωματίζονται με κόκκινο. Επίσης ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει σχόλια ή ακόμα και άλλα δεδομένα σε κελιά. {6}

Η Εισαγωγή Στοιχείων ισχύει μόνο στην περίπτωση που έχουμε εφαρμογή του τέταρτου σταδίου. Επιτρέπει την κατασκευή από τον χρήστη ενός μοντέλου χρησιμοποιώντας πρόσθετες πηγές, διαδρομές και δέκτες.

6.3.2 Βάσεις Δεδομένων και Προκαθορισμένες Τιμές

Το RAM δεν διαθέτει καμία βάση δεδομένων που να περιέχει προτεινόμενες τιμές παραμέτρων. Αυτό επιτρέπει την χρήση του μοντέλου σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν αποκλίσεις από τα όρια και τις τιμές που προτείνει η Βρετανική Περιβαλλοντική Οργάνωση. {6}

6.3.3 Χαρακτηρισμός Μόλυνσης της Πηγής

Τα είδη των ρυπογόνων ουσιών μπορούν να καταγραφούν από το χρήστη στη λίστα απογραφής ρύπων, καθώς δεν υπάρχουν προκαθορισμένες παράμετροι για καμία ρυπογόνο ουσία. Βέβαια υπάρχει ένας περιορισμός 8 ουσιών που μπορούν να εισαχθούν στο μοντέλο.

Η εδαφική συγκέντρωση της πηγής μπορεί να προσδιοριστεί ως η ποσότητα του ρύπου ανά λίτρο νερών πόρων (mg/l), ή ανά ποσότητα εδάφους (mg/kg). Η συγκέντρωση του υπόγειου ύδατος μετράται σε mg/l. Όλες οι συγκεντρώσεις των

προσδιοριζόμενων στοιχείων θα πρέπει να είναι στις ίδιες μονάδες. Επίσης το μοντέλο δεν έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας σειρών δεδομένων. Παρόλα αυτά η ερμηνεία των δεδομένων μπορεί να συνδεθεί με άλλο φύλλο εργασίας του χρήστη.

Η συγκέντρωση μπορεί είτε να είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, ή να προσδιορίζεται από ένα μοντέλο μείωσης της στην πηγή, που παρουσιάζει μία μετρήσιμη αρχική απογραφή των υπό μελέτη στοιχείων. Η εξασθένιση της πηγής χρησιμοποιεί την επαναφόρτιση δια μέσου του πεδίου, τη χωρητικότητα της πηγής και τον όγκο της, για να περιγράψει την εκθετική μείωση των συγκεντρώσεων της πηγής. Στο τέταρτο στάδιο ο χρήστης μπορεί να καθορίσει το ρυθμό ροής που μειώνει τις συγκεντρώσεις στην πηγή.

Το προκαθορισμένο μοντέλο για την πηγή είναι ένας ορθογώνιος όγκος μολυσμένου εδάφους ή υπόγειου ύδατος, το οποίο ορίζεται γεωμετρικά από τον χρήστη με το μήκος το πλάτος και το πάχος. Εναλλακτικά ο όγκος και η περιοχή της πηγής μπορούν να υπολογιστούν άμεσα. Επίσης το μήκος και το πλάτος δεν χρησιμοποιούνται εκτός και αν ο χρήστης εισάγει κάποιον τύπο που αναφέρονται σε αυτά, για παράδειγμα όταν προσδιορίζει τις διαδρομές. {6}

6.3.4 Χαρακτηρισμός Διαδρομών

Το RAM προσομοιώνει τη ροή και τη μεταφορά σε ένα πορώδες μέσο. Στα στάδια 1 έως 3 χρησιμοποιούνται αναλυτικές λύσεις για τις εξισώσεις που περιγράφουν τη Συμμεταφορά¹⁰, τη Διασπορά¹¹, την Καθυστέρηση¹² και την Εξασθένιση¹³ όπου οι

¹⁰ Συμμεταφορά είναι η μεταφορά μάζας ενός ρύπου, που οφείλεται στη ροή του υπόγειου ύδατος. Η ποσότητα της μάζας που μεταφέρεται μέσω της Συμμεταφοράς είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης του ρύπου στο υπόγειο νερό και της γραμμικής ταχύτητας ροής. (βλ. κεφ. 5.2.4.1)

¹¹ Διασπορά είναι ο όρος που δίνεται στη συνολική διεργασία μεταφοράς μάζας ως αποτέλεσμα τόσο της μοριακής Διάχυσης όσο και της μίξης του συστατικού λόγω της αναταραχής και της ταχύτητας μέσα στο σύστημα. (βλ. κεφ. 5.2.4.2)

¹² Η διαδικασία προσρόφησης ενεργεί δραστικά στην καθυστέρηση μεταφοράς μίας χημικής ουσίας. Η καθυστέρηση οδηγεί σε μία χρωματογραφική επίδραση, όπου εκείνα τα συστατικά που έχουν υψηλότερο R έχουν τις χαμηλότερες τιμές ταχύτητας και εκείνα που έχουν χαμηλότερες τιμές R έχουν μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας.

διαδρομές περιλαμβάνουν μόνο έναν τομέα μεταφοράς. Στο τέταρτο στάδιο, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει πολλαπλές διαδρομές, δεν υπάρχει αναλυτική λύση για τις εξισώσεις μεταφοράς. Για το λόγο αυτό η αντιστροφή της εξίσωσης Laplace επιτυγχάνεται αριθμητικά με τη μέθοδο του Talbot (Talbot, 1979; Robinson and Hodgkinson, 1986). Οι εξισώσεις που χρησιμοποιεί το μοντέλο περιγράφονται σε επόμενο κεφάλαιο. {6}

Στα πρώτα τρία στάδια η ακόρεστη ζώνη δεν μοντελοποιείται σαφώς, υπάρχει μια ισορροπία που θα πρέπει να εκτιμηθεί για τη διήθηση του ρυπασμένου όγκου στον όγκο του νερού. Στο τέταρτο στάδιο, η ακόρεστη ζώνη δεν περιέχεται στις ανάλογες εξισώσεις αλλά μπορεί να μοντελοποιηθεί με τη χρησιμοποίηση της αποτελεσματικής διαπερατότητας για τα ακόρεστα μέσα και το πορώδες. {6}

Η υδραυλική κλίση¹⁴ που εισάγεται, αναφέρεται στη βελτίωση της περιοχής της πηγής. Στο τέταρτο στάδιο ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει μία φόρμουλα για την ταχύτητα έτσι ώστε να είναι σύμφωνα με τη ροή του υπόγειου ύδατος, αφού η προκαθορισμένη φόρμουλα δεν λαμβάνει υπ' όψιν της την ροή της διήθησης από την πηγή. {6}

Η κατά μήκος διασπορά στη διαδρομή ενσωματώνεται αυτόματα στη λύση. Η διάχυση επίσης περιλαμβάνεται μέσα στη λύση. Ο συντελεστής διάχυσης προέρχεται από παραμέτρους που εισάγονται στο μοντέλο: το συντελεστή διάχυσης ελεύθερου νερού για κάθε ένα ρύπο, και την ανομοιομορφία του γεωλογικού σχηματισμού. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πολλοί τρόποι για την περιγραφή της ανομοιομορφίας. Το RAM χρησιμοποιεί τον παρακάτω τύπο:

¹³ Η Εξασθένιση των ρυπογόνων ουσιών μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες όπως είναι η επίδραση των μικροοργανισμών, η εξάτμιση των συστατικών και η επίδραση βιολογικών ή φυσικοχημικών διεργασιών.

¹⁴ Υδραυλική κλίση είναι η κλίση του υδραυλικού ύψους σε ένα σημείο. Μπορεί να οριστεί ως η αλλαγή στο συνολικό ύψος πέρα από την απόσταση στην κατεύθυνση της μέγιστης κλίσης της στάθμης νερού κάθετα ή οριζόντια. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί με την παρεμβολή των τιμών του ύψους στα γνωστά σημεία, π.χ. από έναν χάρτη περιγράμματος ή ένα διαγώνιο τμήμα.

$$D_m = \frac{D_{aq}}{\tau} \quad \text{Domenico \& Schwartz (1990):}$$

όπου: D_m , ο συντελεστής διάχυσης για το πορώδες μέσο

D_{aq} , η διαχυτότητα του ελεύθερου νερού

τ , παράγων πολυπλοκότητας (tortuosity¹⁵)

Η μοντελοποίηση της χημικής αποικοδόμησης και της αποσύνθεσης, είναι μία διαδικασία άμεσης προτεραιότητας, και επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό της ημίσειας ζωής σε χρόνια $t_{1/2}$. Ο χρόνος ημίσειας ζωής αναφέρεται και στην απορροφημένη φάση (εάν υπάρχει) και στη διαλυτή. Ο προκαθορισμένος χρόνος είναι $t_{1/2}=0$.

Η Αποτίμηση Επικινδυνότητας για υπόγειο ύδωρ στο τέταρτο στάδιο μπορεί να περιλαμβάνει πολλαπλές πηγές, διαδρομές δέκτες και πολύπλοκες ισορροπίες νερού. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα στο τέταρτο στάδιο να προσδιορίσει, στο φύλλο των διαδρομών, τις διαδικασίες που εμφανίζονται κατά μήκος των διαδρομών (για παράδειγμα καμία διαδικασία, ή Συναγωγή και Διάχυση μόνο, ή Διασπορά, Καθυστέρηση, Εξασθένιση και Συμμεταφορά). {6}

6.3.5 Χαρακτηρισμός Αποδεκτών

Στο στάδιο 1 ο αποδέκτης είναι το ύδωρ των πόρων που βρίσκονται στη ζώνη του εδάφους. Στα στάδια 2 και 3 ο αποδέκτης μπορεί να είναι ένα πηγάδι άντλησης ή ένα ποτάμι. Ένα πηγάδι παρατήρησης είναι ισοδύναμο με ένα σημείο ελέγχου, καθώς δεν υπάρχει διάλυση κατά τη δειγματοληψία μετά από κάποιο βάθος. Υποτίθεται ότι το πλούμιο βρίσκεται εντός της ζώνης άντλησης ενός πηγαδιού. Το ποτάμι ως αποδέκτης επιτρέπει τον καθορισμό μιας συχνότητας ροής η οποία διαλύει την

¹⁵ Tortuosity = Παράγων Πολυπλοκότητας: Αναφέρεται στην ανομοιομορφία της διαδρομής που ακολουθεί ο ρύπος μέσα στο έδαφος. Η τιμή του είναι πάντοτε μικρότερη της μονάδας και μπορεί να προσδιοριστεί με πειράματα διάχυσης. Οι τιμές του τ κυμαίνονται από 0.5 – 0.01 για φυσικά γεωλογικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν σε εργαστηριακά πειράματα διάχυσης.

συγκέντρωση του υπόγειου ύδατος. Η άλλη παράμετρος που σχετίζεται με τον αποδέκτη είναι η θέση του η οποία καθορίζεται με την απόσταση κατά τη διεύθυνση της ροής. Στο τέταρτο και τελευταίο στάδιο υπάρχουν πολλαπλές επιλογές για τους αποδέκτες, τους οποίους καθορίζει ο χρήστης. {6}

6.3.6 Επιθυμητές Συγκεντρώσεις

Το μοντέλο RAM δεν περιέχει προκαθορισμένες επιθυμητές συγκεντρώσεις. Ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει στο μοντέλο ένα σετ επιθυμητών συγκεντρώσεων στα πρώτα τρία στάδια, εάν επιθυμεί να υπολογιστούν οι επανορθωτικές τιμές των συγκεντρώσεων. Στο στάδιο 4 μπορούν να εισαχθούν μέχρι τέσσερα σετ συγκεντρώσεων για τους ρύπους, και έπειτα ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μεταξύ αυτών για κάθε μία διαδρομή. {6}

6.3.7 Εισαγωγή Δεδομένων

Κάθε παράμετρος θα πρέπει να εισάγεται στις κατάλληλες θέσεις και να έχει τις κατάλληλες μονάδες. Το λογισμικό δεν είναι σχεδιασμένο για να κάνει μετατροπή ή σύγκριση μονάδων διαφορετικών συστημάτων, και για το λόγο αυτό ο χρήστης θα πρέπει να είναι πολύ προσεκτικός. Παρόλα αυτά, σε ένα φύλλο του λογισμικού μπορεί ο χρήστης να εισάγει μία φόρμουλα ή ένα τύπο που να μετατρέπει τις μονάδες στο ίδιο σύστημα.

Μέσα από το RAM οι περισσότερες από τις παραμέτρους μπορούν να καθορίσουν τους παρακάτω τύπους πιθανολογικών κατανομών: κανονική, τριγωνική, και ομοιόμορφη. Επί προσθέτως, οι λογάριθμοι των παραπάνω κατανομών μπορούν να βοηθήσουν στην υδραυλική αγωγιμότητα με τον καθορισμό της κατανομής του δεκαδικού λογάριθμου της υδραυλικής αγωγιμότητας. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάλογα με τα δεδομένα που εισάγει την κατανομή που υποστηρίζει το Crystal Ball.

Στο τέταρτο στάδιο το περιβάλλον εργασίας είναι πολύ ευέλικτο αλλά και με μεγαλύτερες απαιτήσεις από τον χρήστη. Το φύλλο εργασίας για την ισορροπία του

νερού είναι κενό, και ο χρήστης καλείται να το συμπληρώσει και να δημιουργήσει έτσι ένα θεμελιώδες μοντέλο για τη συγκεκριμένη τοποθεσία, χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες του λογιστικού φύλλου Excel. Όλες οι παράμετροι που εισάγονται σε αυτό το φύλλο, μπορούν να προσδιοριστούν ως πιθανολογικές κατανομές χρησιμοποιώντας την σχετική επιλογή στη γραμμή εντολών του μοντέλου. {6}

6.3.8 Αποτελέσματα

Για τα στάδια 1 έως 3, οι συγκεντρώσεις στον αποδέκτη είναι αποτέλεσμα του παράγοντα μείωσης ή του παράγοντα διάλυσης όπου είναι απαραίτητο. Εάν οι επιθυμητές συγκεντρώσεις έχουν καθοριστεί τότε οι επανορθωτικές επιθυμητές τιμές συγκεντρώσεων είναι τα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα είναι παροδικά, εκτός και αν το μοντέλο περιλαμβάνει μία πηγή σταθερής συγκέντρωσης και μοναδική πηγή διάλυσης, οπότε στην περίπτωση αυτή επικρατούν σταθερές συνθήκες. Στο τέταρτο στάδιο η συγκέντρωση στον αποδέκτη αναφέρεται για κάθε ξεχωριστή διαδρομή.

Προσωρινά αποτελέσματα μπορούν να δοθούν για κάποια χρονικά διαστήματα (χρόνια), τα οποία επιλέγονται από τον χρήστη. Τα προσδιοριστικά (deterministic) αποτελέσματα υπολογίζονται πάντα, και απεικονίζουν τις τιμές που βρίσκονται τη στιγμή εκείνη στο φύλλο εργασίας. Η πιθανολογική (probabilistic) προσομοίωση μπορεί να γίνει απ' ευθείας με την επιλογή της λειτουργίας του μοντέλου (Run Mode) ή αργότερα από την γραμμή εργαλείων.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την Πιθανολογική Αποτίμηση Επικινδυνότητας μπορούν να παρουσιαστούν με οποιαδήποτε μορφή ποσοστού επιλέξει ο χρήστης. Από τη στιγμή που ολοκληρώνεται μία προσομοίωση, δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των διαφορετικών ποσοστών που μπορούν να προκύψουν, όμως αυτά είναι δυνατόν να δειχθούν μόνο μία φορά κατά περίπτωση. Επίσης τα αποτελέσματα της Πιθανολογικής Αποτίμησης Επικινδυνότητας είναι δυνατόν να παρουσιαστούν συγκεντρωμένα, με τη μορφή διαγραμμάτων, επιλέγοντας το ανάλογο κελί στο φύλλο εργασίας και έπειτα την παρουσίαση της κατανομής στη γραμμή εργαλείων. Μία πλήρης αναφορά των αποτελεσμάτων μπορεί να εμφανιστεί σε ξεχωριστό φύλλο έπειτα από επιλογή που κάνει ο χρήστης. {6}

Στο τέταρτο στάδιο εάν ο χρήστης επιθυμεί να προσδιορίσει παραπάνω παράγοντες όπως για παράδειγμα παροχές ή κλίσεις, τότε μπορεί να το κάνει αυτό αρκεί να επιλέξει από την γραμμή εργαλείων την «πρόβλεψη κελιών» (forecast cells).

Τέλος, τα δεδομένα και τα αποτελέσματα του μοντέλου μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλα υπολογιστικά φύλλα, με αντιγραφή και επικόλληση, ή ακόμα να εκτυπωθούν ως έγγραφα από το Excel. {6}

7. ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ - ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

Η προσέγγιση διαμόρφωσης παρέχει μια διαφανή και σίγουρη αξιολόγηση του κινδύνου, χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία πηγή-διαδρομή-δέκτης. Σε αυτήν την προσέγγιση, οι πιθανές διαδρομές μεταφοράς ρυπαντικών φορτίων προσδιορίζονται από το εννοιολογικό πρότυπο. Ο αντίστοιχος κίνδυνος ρύπανσης υπόγειων υδάτων αξιολογείται λαμβάνοντας υπ' όψιν τα τρία στοιχεία στη σειρά, με την απελευθέρωση ρυπαντικών φορτίων από την πηγή που παρέχει τη ροή εισαγωγής στη διαδρομή και τη ροή των ρυπαντών από τη διαδρομή που παρέχει το φορτίο μολυσματικών παραγόντων στο δέκτη. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για να αντιπροσωπεύσουν τις διαδικασίες μεταφοράς ρυπαντικών φορτίων που περιλαμβάνονται στο RAM εξηγούνται σύμφωνα με τα πλαίσια που έχουν θεσπιστεί από την αρμόδια επιτροπή του Ηνωμένου Βασιλείου.

7.1 ΠΗΓΗ

Στο στάδιο 1, λαμβάνεται υπ' όψιν μία πηγή στη εδαφική ζώνη. Ανάλογα με την αξιολόγηση, τα στοιχεία μπορούν να είναι διαθέσιμα για τις συγκεντρώσεις πορώδους ύδατος, για τις συγκεντρώσεις που διηθούνται ή τις εδαφικές συγκεντρώσεις. Για τους προηγούμενους δύο τύπους στοιχείων πηγής, κανένας υπολογισμός δεν απαιτείται, και η συγκέντρωση του ύδατος δεν πρέπει να υπερβεί τις ανώτατες συγκεντρώσεις όπως καθορίζονται παρακάτω:

$$LTC_1 = C_T \quad (1)$$

LTC_1 , στάδιο 1, επανορθωτική συγκέντρωση πηγής για πορώδες ύδωρ (mg/l) και C_T , επιθυμητή συγκέντρωση ύδατος (mg/l).

Για τα στοιχεία συγκέντρωσης ρυπασμένων εδαφών, η συγκέντρωση πορώδους ύδατος μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τη διαλυτότητα και την κατανομή των ρυπαντικών ουσιών μεταξύ των υδάτινων, αεριοδών και στερεών φάσεων. Σε αυτήν την περίπτωση η συγκέντρωση εδαφικών ρύπων δεν πρέπει να υπερβεί την επανορθωτική συγκέντρωση στο έδαφος, της πηγής, όπως καθορίζεται παρακάτω:

$$STC_1 = C_s = C_T \left(K_d + \frac{\theta_w + \theta_a H}{\rho} \right) \quad (2)$$

Όπου: STC_1 , επανορθωτική συγκέντρωση πηγής για εδαφική συγκέντρωση (mg/kg)

C_s , εδαφική συγκέντρωση (mg/kg),

K_d , συντελεστής κατανομής (l/kg),

θ_w , πορώδες πληρωμένο με ύδωρ,

θ_a , πορώδες με αέρα,

ρ , πυκνότητα (kg/m³).

Ο συντελεστής κατανομής μπορεί να προσδιοριστεί άμεσα από τους ανόργανους ρύπους ή να καθοριστεί από τα οργανικά στοιχεία ως ακολούθως:

$$K_d = K_{oc} \cdot f_{oc} \quad (3)$$

όπου: K_{oc} , συντελεστής κατανομής οργανικού άνθρακα,

f_{oc} , κλάσμα οργανικού άνθρακα του εδάφους.

Εάν η συγκέντρωση των ρυπαντών στην πηγή παραμένει σταθερή, αυτά τα αποτελέσματα αντιστοιχούν σε οποιαδήποτε χρονική διαμερισματοποίηση. Εντούτοις, συχνά η φυσική ή χημική σύνθεση του διηθήματος από μια ρυπασμένη περιοχή αλλάζει με το χρόνο. Όπου το σύστημα μελετάται για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, όπως για μερικές εκατονταετίες, η προσέγγιση της πηγής ως σταθερή πηγή συγκέντρωσης μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτική. Η πηγή τότε μπορεί να περιγραφεί με έναν απλό τρόπο, χρησιμοποιώντας ένα μειούμενο πρότυπο όρου πηγής, που αντιπροσωπεύει έναν πεπερασμένο αρχικό κατάλογο των καθορισμένων ειδών. Αυτό προϋποθέτει ότι η συγκέντρωση ενός μολυσματικού παράγοντα συσχετίζεται οποιαδήποτε στιγμή με την αρχική συγκέντρωσή του, σύμφωνα με τη σχέση:

$$C(t) = C_0 e^{-kt} \quad (4) \quad \text{και}$$

$$k = \frac{Q_{decline}}{V_{source} \cdot W_{porosity}} \quad (5)$$

όπου: k, κινητική σταθερά του ρυθμού αντίδρασης ανεξάρτητη από τη συγκέντρωση,

C(t), η συγκέντρωση σε χρόνο,

C₀, αρχική συγκέντρωση (όταν η συγκέντρωση ρύπου είναι στη μέγιστη τιμή της),

t, χρόνος,

Q_{decline}, ολική ροή του ύδατος,

V_{source}, όγκος της πηγής,

W_{porosity}, χωρητικότητα εδάφους πηγής.

Για ροή υπό σταθερές συνθήκες, η Q_{decline} θα είναι γενικά ίση με την επαναφόρτιση της περιοχής. Ο όγκος πηγής που χρησιμοποιείται στη μειούμενη πηγή αναφέρεται στο συνολικό βάθος της πηγής. Η χωρητικότητα εδάφους είναι ισοδύναμη με το μέρος του ύδατος που παραμένει στην πηγή, μετά από ελεύθερη στράγγιση.

Εάν η προσομοίωση δείξει ότι οι συγκεντρώσεις στο έδαφος ή στο ύδωρ των πόρων είναι χαμηλότερες από ότι οι ανώτατες συγκεντρώσεις, καμία περαιτέρω αξιολόγηση του κινδύνου δεν απαιτείται. Εντούτοις, εάν υπερβαίνουν τις ανώτατες συγκεντρώσεις, θα πρέπει να δοθεί προσοχή και να γίνει ανάλυση σε περισσότερα στάδια.

7.2 ΔΙΑΛΥΣΗ

Το στάδιο 2 εισάγει τα αποτελέσματα της διάλυσης σε υπόγεια ύδατα, στην επιφάνεια ενός υδάτινου όγκου ή σε μια γεώτρηση. Στο στάδιο 2, η επανορθωτική συγκέντρωση για πορώδες ύδωρ στα εδάφη καθορίζεται ως εξής:

$$LTC_2 = C_T \cdot DF \quad (6)$$

όπου: LTC₂, στάδιο 2, επανορθωτική συγκέντρωση για πορώδες ύδωρ (mg/l)

DF, παράγοντας διάλυσης (Dilution Factor).

Για το δεύτερο στάδιο, η επανορθωτική συγκέντρωση εδάφους καθορίζεται ως εξής:

$$STC_2 = S_T \cdot DF \quad (7)$$

όπου: STC_2 , επανορθωτική συγκέντρωση εδάφους (mg/kg)

S_T , επιθυμητή συγκέντρωση εδάφους (mg/l)

Ο παράγοντας διάλυσης βρίσκεται από τον τύπο:

$$DF = \frac{Q_{dilute} + Q_{path}}{Q_{path}} \quad (8)$$

όπου: Q_{dilute} , ο ρυθμός διάλυσης (m^3/s), ο οποίος μπορεί να οφείλεται στη ροή υπόγειων υδάτων, σε μια γεώτρηση άντλησης ή σ' έναν ποταμό

Q_{path} , η ογκομετρική ροή ρυπαντικών φορτίων (m^3/s), που ρέει δια μέσου και σε επαφή με την πηγή

Για μια πηγή εδάφους, η ογκομετρική ροή μολυσματικών ουσιών καθορίζεται στη συνέχεια από τη ροή διήθησης λόγω της επιτάχυνσης της διήθησης που περνά μέσω της ακόρεστης ζώνης και κινεί το ρύπο προς το σύστημα υπόγειων υδάτων.

$$Q_{path} = A \cdot R \quad (9)$$

όπου: A , επιφάνεια διήθησης (m^2)

R , επαναφόρτιση (m/s)

Η ροή υπόγειων υδάτων υπολογίζεται από το βάθος και το πλάτος ανάμειξης ως εξής:

$$Q_{dilute} = D_m \cdot W \cdot K \cdot i \quad (10)$$

όπου: D_m , βάθος ανάμειξης (m)

W , πλάτος κάθετο προς τη υπόγεια ροή (m)

K , υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφορέα (m/s)

i , οριζόντια υδραυλική κλίση του υδροφορέα.

Το βάθος μίξης μπορεί είτε να υπολογιστεί από το πρόγραμμα, είτε να εισαχθεί κατευθείαν, ως το αποτελεσματικό κορεσμένο πάχος του υδροφορέα. Ο τύπος για το βάθος μίξης μπορεί, να βασιστεί σε μια εκτίμηση της σταθερής απόκλισης της διασποράς που προσεγγίζεται ως:

$$D_m = \sqrt{2a_T d} \quad (11)$$

όπου: a_T , μήκος της κάθετης διασποράς (m)

d , μήκος διαδρομής (m)

Συνήθως η τιμή που αναμένεται για το βάθος μίξης είναι το ένα δέκατο του μήκους της διαδρομής: $D_m \approx d/10$ (12)

Εάν η προσομοίωση δείξει ότι οι συγκεντρώσεις στο έδαφος ή στο υπόγειο ύδωρ είναι χαμηλότερες από ότι οι ανώτατες συγκεντρώσεις, καμία περαιτέρω αξιολόγηση του κινδύνου δεν απαιτείται. Εντούτοις, εάν υπερβαίνουν τις ανώτατες συγκεντρώσεις, θα πρέπει να δοθεί προσοχή και να γίνει ανάλυση σε περισσότερα στάδια.

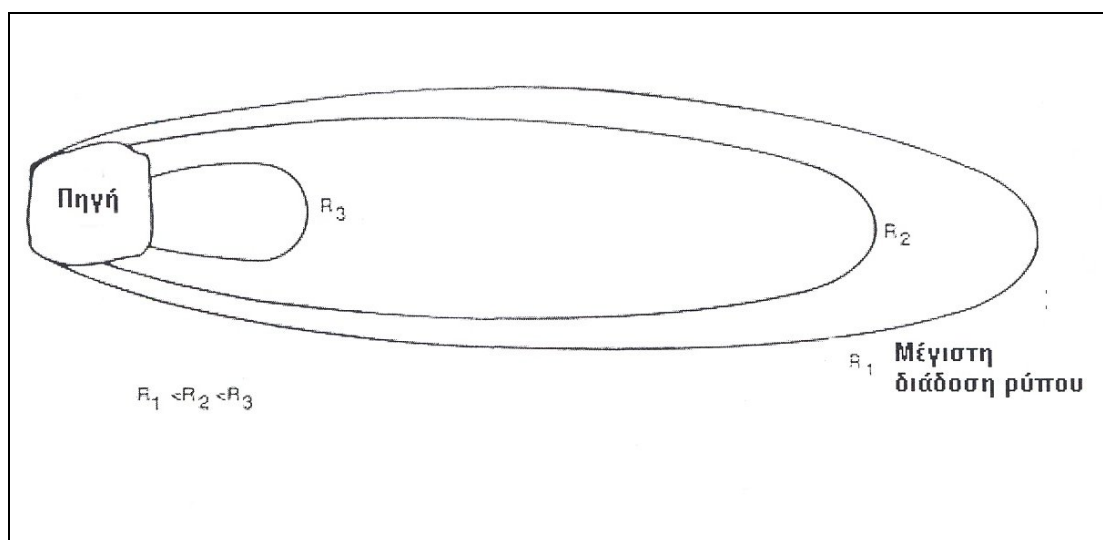
7.3 ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗ

Η ανάλυση στο τρίτο στάδιο εισάγει τα αποτελέσματα της εξασθένισης εξαιτίας της διασποράς, της καθυστέρησης και της χημικής αποικοδόμησης δια μέσου των διαδρομών στα υπόγεια ύδατα. Αυτό έχει σαν άμεσο αντίκτυπο την εμφάνιση των ρύπων σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα, όπως επίσης και την εμφάνιση της μέγιστης τιμής του ρύπου μετά τον αρχικό εντοπισμό του στο σημείο ελέγχου (Σχήμα 4). Η μεταφορά ρύπων κατά μήκος των διαδρομών μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας

μια αναλυτική λύση για μονοδιάστατη εξίσωση συμμεταφοράς, διασποράς, καθυστέρησης, εξασθένησης (Advection, Dispersion, Retardation, Decay - ADRD).

Η ανάλυση κατά μήκος κάθε διαδρομής λαμβάνει υπ' όψιν τη γεωμετρία της, αλλά είναι ουσιαστικά μονοδιάστατη, με μια απλή περιγραφή των φυσικών παραμέτρων που επηρεάζουν τη μετανάστευση μολυσματικών ουσιών κατά μήκος της διάβασης.

Η περίπτωση προεπιλογής δεν λαμβάνει υπ' όψιν καμία πλευρική διασπορά και είναι, επομένως, ένας συντηρητικός υπολογισμός της συγκέντρωσης κατά μήκος της διάβασης. Τα αποτελέσματα της πλευρικής διασποράς μπορούν να περιληφθούν ρητά με τον καθορισμό της ισοδύναμης διάλυσης κατά μήκος της διάβασης.



Σχήμα 4. Κάτοψη μεταφοράς ρυπογόνων ουσιών με διαφορετικούς παράγοντες καθυστέρησης

Οι επιθυμητές συγκεντρώσεις για το ύδωρ των πόρων στο στάδιο 3, μπορεί να υπολογιστεί όπως καθορίζεται παρακάτω:

$$LTC_3 = C_T \cdot DF \cdot AF \quad (13)$$

όπου: LTC₃, στάδιο 3, επιθυμητή συγκέντρωση στο ύδωρ των πόρων (mg/l)
AF, παράγοντας εξασθένησης

Για το τρίτο στάδιο, η επιθυμητή συγκέντρωση ρύπων στο έδαφος μπορεί να υπολογιστεί ως ακολούθως:

$$STC_3 = C_s \cdot DF \cdot AF \quad (14)$$

όπου: , STC_3 , η επιθυμητή συγκέντρωση ρύπων στο έδαφος (mg/kg)

Ο παράγοντας εξασθένισης καθορίζεται από την εξίσωση συμμεταφοράς-διασποράς-καθυστέρησης-αποσύνθεσης για τη συγκέντρωση ή τη ροή μολυσματικών παραγόντων που είναι:

$$R \frac{\partial u}{\partial t} + v \frac{\partial u}{\partial x} = av \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \lambda Ru \quad (15)$$

όπου: R , παράγοντας καθυστέρησης

v , μέση γραμμική ταχύτητα (m/s)

a , μήκος διαμήκους αποτελεσματικής διασποράς (m)

λ , συντελεστής χημικής αποικοδόμησης για αποσύνθεση πρώτης τάξης (s^{-1})

u , προσδιοριζόμενη συγκέντρωση

Στο μοντέλο RAM η εξίσωση αυτή επιλύεται για τη ροή των ρυπογόνων ουσιών (kg/s).

Ο παράγοντας καθυστέρησης R , αντιστοιχεί στη γραμμική αντιστρέψιμη προσρόφηση ισορροπίας, και αφορά το συντελεστή κατανομής, από:

$$R = 1 + \frac{\rho_b}{\phi} K_d \quad (16)$$

όπου: ρ_b , πυκνότητα του υλικού (kg/m^3)

K_d , συντελεστής κατανομής (m^3/kg)

ϕ , πορώδες του υδροφορέα

Η μέση γραμμική ταχύτητα υποτίθεται ότι είναι η ταχύτητα δια μέσω του υδροφόρου στρώματος και υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$v = \frac{Ki}{\phi} \quad (17)$$

όπου K , υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφορέα (m/s)

i , οριζόντια υδραυλική κλίση του υδροφορέα.

ϕ , πορώδες του υδροφορέα

Η μοριακή διάχυση είναι γενικά αμελητέα σε σχέση με τη διασπορά, εκτός από τις περιπτώσεις όπου έχουμε χαμηλές υδραυλικές αγωγιμότητες. Εντούτοις, προκειμένου να ληφθεί υπ' όψιν η μοριακή διάχυση, το μήκος διασποράς τροποποιείται όπως καθορίζεται από:

$$a = \frac{a^* v + D_p}{v} \quad (18)$$

όπου: a^* , πραγματικό μήκος διαμήκους διασποράς

D_p , διαλυτότητα ύδατος των πόρων

και τέλος:

$$D_p = \frac{D_i}{\tau} \quad (19)$$

όπου: D_i , διαλυτότητα καθαρού νερού

τ , η στρεβλότητα

7.4 ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ 1-3

Η ροή των ρύπων από την πηγή δίνεται από τους τύπους:

$$\begin{aligned} S(t) &= 0 & t < T \\ S(t) &= k_p M_0 e^{(k-k_m)T} e^{-kt} & t > T \end{aligned} \quad (20)$$

όπου: k_p , ποσοστό της ποσότητας ανά μονάδα χρόνου που μεταναστεύει κατά μήκος της διαδρομής (s^{-1}),

k_m , ποσοστό της ποσότητας ανά μονάδα χρόνου που απομακρύνεται σε μία φάση διαχείρισης (s^{-1}),

k , άθροισμα όλων των k_p για κάθε διαδρομή (s^{-1}),

T , η διάρκεια μίας φάσης διαχείρισης. Αυτό το διάστημα θεωρείται ότι η απελευθέρωση ρύπου στο υπόγειο ύδωρ είναι αμελητέα (s),

M_0 , αρχική μάζα (kg).

Το k συνδέεται με την αρχική ποσότητα και τις αναφερόμενες ροές, με την εξίσωση (5). Για μία μειούμενη πηγή η ποσότητα μίας δοσμένης ουσίας, (M_0) δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$M_0 = C \cdot W_{porosity} \cdot V \quad (21)$$

Με μετασχηματισμό της σχέσης προκύπτει:

$$\tilde{S}(s) = \frac{k_p M_0}{k + s} e^{-(k_m + s)T} \quad (22)$$

Η λύση της μετατροπής Green για τη ροή σε απόσταση, δια μέσου του υδροφορέα είναι η εξής:

$$G(t) = \frac{l e^{-\lambda t} e^{-R(l-vt/R)^2 / 4avt}}{2(\pi avt^3 / R)^{\frac{1}{2}}} \quad (23)$$

και η λύση της μετατροπής Laplace είναι:

$$\tilde{G}(s) = \exp\left[\frac{1 - [1 + 4aR(s + \lambda)/v]^{1/2}}{2a}\right] \quad (24)$$

Για να επιλυθεί το πολύπλοκο πρόβλημα κατά μήκος των διαδρομών, επισημαίνεται ότι η μετατροπή Laplace για το συνολικό πρόβλημα είναι απλώς το προϊόν όλων των επί μέρους σταδίων. Για διαδρομές που περιλαμβάνουν έναν απλό τομέα όπου λαμβάνουν χώρα συµµεταφορά, διασπορά, εξασθένηση και αποικοδόµηση (για παράδειγμα στον αποδέκτη), αυτό δίνει:

$$\tilde{F}(s) = DF\tilde{S}(s)\tilde{G}(s) \quad (25)$$

Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατόν να αντιστραφεί, χρησιμοποιώντας την ολοκλήρωση Bromwich, για να δώσει τη συγκέντρωση στον αποδέκτη ως:

$$C(t) = DFk_p M_0 e^{-\lambda t} e^{\frac{l}{2a}} e^{-\frac{Rl^2}{4avt}} e^{-\frac{vt}{4aR}} \times \left[\phi\left(\left(\frac{Rl^2}{4av}\right)^{1/2} + \left(\frac{vt}{4aR} - kt\right)^{1/2}\right) + \phi\left(\left(\frac{Rl^2}{4avt}\right)^{1/2} - \left(\frac{vt}{4aR} - kt\right)^{1/2}\right) \right] \quad (26) \text{ όπου:}$$

$$\phi(z) = e^{z^2} \operatorname{erfc}(z) \quad (27)$$

και το $\phi(z)$ σχετίζεται με το erfc με το όρισμα z [Abramowitz and Stegun, 1972]. Το $\phi(z)$ μπορεί να εκτιμηθεί άμεσα από πραγματικά ορίσματα, αλλά όταν το R είναι μεγάλο, το z είναι πολύπλοκο και η λύση δίνεται παρακάτω:

$$\phi(z) + \phi(\bar{z}) = 2R(w(\bar{iz})) \quad (28)$$

Αυτό απαιτείται μόνο όταν $|z| > 3$, όπου στην περίπτωση αυτή η ορθολογιστική στρογγυλοποίηση που δίνεται από τους Abramowitz και Stegun χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το $w(z)$.

7.5 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΝΘΕΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ 4^{ΟΥ} ΣΤΑΔΙΟΥ.

Για τα πιο σύνθετα εννοιολογικά πρότυπα περιοχών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ανάλυση 4^{ου} σταδίου. Μέσω του μοντέλου RAM, η αποτίμηση του κινδύνου σύμφωνα με το 4^ο στάδιο μπορεί να συμπεριλάβει πολλαπλές πηγές, πολλαπλές διαδρομές, πολλαπλούς αποδέκτες και σύνθετες ισορροπίες ύδατος. Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας κατάστασης εμφανίζεται όπου θεωρείται ότι η ακόρεστη ζώνη διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον έλεγχο της μετακίνησης ρύπων από την πηγή στο σύστημα των υπόγειων υδάτων. Σε αυτήν την περίπτωση, απαιτούνται δύο διαδρομές, μια για την ακόρεστη ζώνη και μία για τη διαδρομή υπόγειων υδάτων.

Για τις πολλαπλές διαδρομές δεν υπάρχει καμία αναλυτική λύση στην εξίσωση συμμεταφοράς-διασποράς-εξασθένισης-αποσύνθεσης¹⁶, εντούτοις η αντιστροφή της λύσης μετατροπής Laplace, μπορεί να πραγματοποιηθεί αριθμητικά χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Talbot [Talbot, 1979 Robinson και Hodgkinson, 1986]. Αυτό επιτρέπει πρόσθετα τμήματα διαδρομών και μίξη/διαχωρισμό των ροών στα ενδιάμεσα στάδια. Η αριθμητική αντιστροφή περιλαμβάνει ένα άθροισμα μιας προσέγγισης σειράς, και 16 όροι αυτής της σειράς είναι συνήθως επαρκείς για να επιτύχουν την απαραίτητη ακρίβεια.

7.6 ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το πρόγραμμα RAM δεν θέτει περιορισμούς όσον αφορά τον αριθμό των επαναλήψεων της μεθόδου. Ο προκαθορισμένος αριθμός είναι 10000

Η δειγματοληψία γίνεται με τη μέθοδο Monte Carlo.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσδιορίσει την τύχη του αριθμού των αποτελεσμάτων για το μοντέλο στην αρχή της πιθανολογικής προσομοίωσης. Για το

¹⁶ Στο μοντέλο, οι διαδικασίες αυτές παρουσιάζονται συντομογραφικά ως ADRD: Advection-Dispersion-Retardation-Decay.

λόγο αυτό τα αποτελέσματα της πιθανολογικής λειτουργίας μπορούν να αναπαραχθούν ακριβώς σε μία επαναλειτουργία του μοντέλου.

Ο χρόνος και η μνήμη που απαιτείται για την εκτέλεση ενός μεγάλου αριθμού πραγματοποιήσεων είναι άμεσα εξαρτώμενα από την πολυπλοκότητα του μοντέλου. Απλά μοντέλα (όπως αυτά των σταδίων 1-3) μπορούν να ολοκληρωθούν σε διάστημα λίγων μόλις λεπτών. Περισσότερο πολύπλοκα μοντέλα (όπως το τέταρτο στάδιο), χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να ολοκληρωθούν. {6}

7.7 ΔΙΕΡΜΗΝΕΥΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

7.7.1 Καταλληλότητα λογισμικού σύμφωνα με τη μεθοδολογία επανορθωτικών στόχων.

Το λογισμικό είναι σχεδιασμένο ειδικά για να χρησιμοποιείται σε συμφωνία με τη μεθοδολογία των επανορθωτικών στόχων (Remedial Target Methodology - RTM). Είναι κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί και στα τέσσερα στάδια της RTM. Είναι το μόνο διαθέσιμο λογισμικό το οποίο είναι κατάλληλο για την ολοκλήρωση της Αποτίμησης χρησιμοποιώντας την RTM όπου όλα τα στάδια είναι απαραίτητα.

Το RAM μπορεί να δώσει αποτελέσματα και πληροφορίες για ένα στάδιο κάθε φορά. Η μετάβαση σε ένα πιο προχωρημένο στάδιο δεν προϋποθέτει την αλλαγή των στοιχείων και των δεδομένων που έχουν ήδη εισαχθεί στα προηγούμενα στάδια από τον χρήστη. Επίσης, εάν ο χρήστης προχωρήσει σε άλλο επίπεδο, τότε δεν έχει τη δυνατότητα να επιστρέψει σε κατώτερο στάδιο, και για τον λόγο αυτό κάθε κομμάτι θα ήταν καλύτερο να σώζεται ξεχωριστά. {6}

7.7.2 Παρουσίαση Μοντέλου για τη Μεθοδολογία Επανορθωτικών Στόχων σε στάδια.

Στο στάδιο 3 του μοντέλου RAM, οι εξισώσεις που επιλύονται είναι παρόμοιες με αυτές που συνιστά η Περιβαλλοντική Επιτροπή (Environmental Agency, 1999), εκτός από τη διαμήκη διασπορά που καθορίζεται αυτόματα. Η μίξη στην εγκάρσια διασπορά κατά την οριζόντια και κάθετη διεύθυνση, μπορεί να εισαχθεί με σαφή τρόπο, για να διασφαλιστεί ότι τα γεωλογικά όρια δεν υπερβαίνονται.

Στο τέταρτο στάδιο γίνεται επιτρεπτή η ανάπτυξη πολύπλοκων μοντέλων με πολλαπλές πηγές, διαδρομές και αποδέκτες. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των εξισώσεων μεταφοράς των ρύπων είναι περισσότερο Αριθμητικές παρά Αναλυτικές. Επίσης ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να καθορίσει το δικό του θεμελιώδες μοντέλο, χρησιμοποιώντας το ίδιο υπολογιστικό φύλλο και τις δυνατότητες του προγράμματος. {6}

7.7.3 Ενδεχόμενα Προβλήματα Λογισμικού

Τα παρακάτω προβλήματα εντοπίστηκαν στην έκδοση 1.06 και αναμένεται να έχουν διορθωθεί στην επόμενη έκδοση 1.07:

- Οι χρήστες μπορεί σε μερικές περιπτώσεις να συναντήσουν ένα μήνυμα λάθους όταν επιλέξουν υποθέσεις ή προβλέψεις.
- Στο παράθυρο όπου παρουσιάζονται οι επιλογές για το έδαφος, εμφανίζονται μόνο τα αποτελέσματα για το πρώτο στοιχείο – ρύπο. {6}

7.7.4 Ενδεχόμενα Λάθη από τη Χρήση του Λογισμικού

Η προκαθορισμένη μέθοδος για τον υπολογισμό της ταχύτητας σε μία διαδρομή, βασίζεται στον υπολογισμό της για την γεωλογική μονάδα στο αντίστοιχο φύλλο. Η ταχύτητα θα πρέπει να είναι προσαρμοσμένη έτσι ώστε να περιέχει την παροχή διήθησης από την πηγή όπως επίσης και την ροή του υπόγειου ύδατος σε συνάρτηση με την κλίση της πηγής. Για να συμπεριληφθεί λοιπόν η διήθηση, η ταχύτητα θα πρέπει να υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$v = \frac{Q_{aq} + Q_{inf}}{W Mz \theta} \quad \text{όπου: } v, \text{ η ταχύτητα του νερού στους πόρους}$$

Q_{aq} , ρυθμός ανάμειξης

Q_{inf} , ρυθμός ανάμειξης λόγω της διήθησης

W , το πλάτος της πηγής

Mz , το βάθος ανάμειξης κάτω από το έδαφος

θ , το πορώδες.

Ακόμα και στο τέταρτο στάδιο, η προκαθορισμένη εξίσωση για τον υπολογισμό της ταχύτητας μπορεί να μην είναι έγκυρη. Αυτό εξαρτάται από την κατάσταση για την οποία γίνεται η μοντελοποίηση. Για παράδειγμα είναι δυνατόν να απαιτείται η παροχή κατά μήκος της διαδρομής ή της κάθετης ταχύτητας. {6}

7.7.5 Περιορισμοί Λογισμικού

Το μοντέλο RAM δεν περιέχει καμία βάση δεδομένων με προκαθορισμένες τιμές παραμέτρων για τα συστατικά. Το γεγονός αυτό παροτρύνει τον χρήστη να κρίνει και να εισάγει δικές του τιμές ανάλογα με τις απαιτήσεις του προβλήματος.

Η ακόρεστη ζώνη δεν είναι σαφώς προσδιορισμένη όμως αυτό μπορεί να γίνει με τη χρησιμοποίηση της πραγματικής διαπερατότητας (effective permeability), για το ακόρεστο μέσο, και του πορώδους. Η παρούσα έκδοση του μοντέλου RAM δεν υποστηρίζει την μοντελοποίηση δύο διαφορετικών διαπερατοτήτων. {6}

7.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η δοκιμή στην οποία υπόκειται το μοντέλο ακολουθεί τη μεθοδολογία και το πλαίσιο που έχει καθιερωθεί από την Επιτροπή Περιβάλλοντος (2001) και αποτελείται από (α) μία σειρά απαντήσεων σε ερωτήσεις που αφορούν τη λειτουργικότητα και τον τρόπο εφαρμογής, και (β) αποτελέσματα που αφορούν κάθε σενάριο μελέτης που εμπεριέχει μια τυπική σταδιακή αποτίμηση επικινδυνότητας. {6}

Το RAM αποτελεί ένα λογισμικό το οποίο έχει ως σκοπό την μοντελοποίηση της τύχης και της μεταφοράς των ρυπογόνων ουσιών κατά μήκος των διαδρομών και δια μέσου του υπόγειου υδροφορέα.

Τα δεδομένα εισέρχονται στα ανάλογα φύλλα εργασίας μέσω του γνωστού προγράμματος Excel. Επίσης το λογισμικό συνδέεται με το Crystal Ball για πιθανολογική αποτίμηση της επικινδυνότητας. Το RAM δεν διαθέτει βάση δεδομένων για παραμέτρους ρυπογόνων ουσιών. Αυτό επιτρέπει στον χρήστη να καθορίσει με τον δικό του τρόπο και με δικά του στοιχεία το μοντέλο διαχείρισης

παραμέτρων, και όχι να βασιστεί σε τιμές και υποθέσεις που μπορεί να μην είναι έγκυρες για την υπό εξέταση περίπτωση. {6}

Στα πρώτα τρία στάδια, τα προσχεδιασμένα θεμελιώδη μοντέλα έχουν δημιουργηθεί για τον υπολογισμό των επιπτώσεων της διαμερισματοποίησης και της μείωσης της πηγής στην εδαφική ζώνη, της διάλυσης στο νερό και των διαδικασιών μείωσης (διασπορά, γραμμική επιβράδυνση), όπως προσδιορίζονται σε κάθε στάδιο. Η μέθοδος με τις αναλυτικές λύσεις εφαρμόζεται και τα αποτελέσματα εκφράζονται σε συμφωνία με τις συγκεντρώσεις στους αποδέκτες και με τις επιθυμητές συγκεντρώσεις στην πηγή. {6}

Στο τέταρτο στάδιο παρουσιάζει ένα μοναδικό, ευμετάβλητο περιβάλλον που επιτρέπει την ρεαλιστική απεικόνιση της τοποθεσίας. Έτσι για παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να ενσωματώσει τις επιπτώσεις από πολλαπλές πηγές, υδρογεωλογικές μονάδες, διαδρομές και αποδέκτες σε μια Αποτίμηση Επικινδυνότητας. Βέβαια, ενώ μία σχετικά απλή τοποθεσία θα μπορούσε να προσομοιωθεί στο στάδιο 3, η εμπειρία στην Αποτίμηση της Επικινδυνότητας με τη χρήση του μοντέλου, δείχνει ότι οι περιορισμοί που επιβάλλονται στο στάδιο αυτό είναι πολύ αυστηροί. Ουσιαστικά η ανάπτυξη στο τέταρτο στάδιο αντιπροσωπεύει μία πλήρη Αποτίμηση Επικινδυνότητας, η οποία διευκολύνει την παρουσίαση πιο λεπτομερών θεμελιωδών μοντέλων σε εκείνες τις τοποθεσίες όπου πρόκειται ή ήδη λαμβάνουν χώρα εκτενείς μελέτες για την τοποθεσία. Έως τώρα η έλλειψη προσιτών, εύκολων στην χρήση εργαλείων, συμβατών με το στάδιο 4, είχαν περιορίσει σημαντικά την ικανότητα των μελετητών να παρουσιάσουν σημαντικά χαρακτηριστικά και διαδικασίες, και να εξασφαλίσουν μία αντικειμενική και ισορροπημένη απόφαση. Η χρησιμοποίηση του μοντέλου RAM, έχει διευκολύνει αυτή τη διαδικασία, και για αυτό το λόγο η σημασία του και η εφαρμογή του είναι πολύ μεγάλη. {6}

Σε μερικές περιπτώσεις η αποτίμηση μόνο του σταδίου 3, μπορεί να είναι αρκετή για την παρουσίαση των ισχυουσών συνθηκών, όπου όμως οι διορθωτικοί στόχοι (Remedial Targets) υπερβαίνονται, τότε είναι απαραίτητο να ληφθούν υπ' όψιν οι διορθώσεις. Σε αυτή την περίπτωση η αποτίμηση θα πρέπει να γίνει εφαρμόζοντας το τέταρτο στάδιο, με σκοπό την πρόβλεψη διορθωτικών σχεδίων και την απόδειξη ότι

δεν υπάρχουν εναπομείναντες κίνδυνοι. Για το στάδιο 4 του μοντέλου RAM οι αριθμητικές λύσεις για τις εξισώσεις μεταφοράς ρύπων προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση της τεχνικής μετασχηματισμού Laplace, και επίσης οι συγκεντρώσεις στους δέκτες αναφέρονται. {6}

Η εφαρμογή των τριών πρώτων σταδίων του RAM είναι άμεση. Επίσης τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το μοντέλο αυτό συμφωνούν με τα αποτελέσματα άλλων μεθόδων (Remedial Targets Worksheet και ConSim). Η βασική διαφορά φαίνεται να είναι η διαχείριση της διασποράς. Στο RAM περιλαμβάνεται ως προκαθορισμένη μόνο η κατά μήκος διασπορά, γεγονός που καθιστά τα αποτελέσματα πιο συντηρητικά σε σύγκριση με αυτά άλλων λογισμικών. Επίσης η κατακόρυφη διασπορά μπορεί να ληφθεί υπ' όψιν έτσι ώστε ο χρήστης να διασφαλίσει ότι η οριζόντια και η κάθετη διασπορά δεν εκτείνεται πέρα από τα φυσικά όρια του υδροφορέα. {6}

Αλλα δύο σημεία που επισημαίνονται στην αναφορά της δοκιμαστικής λειτουργίας του λογισμικού είναι τα παρακάτω:

- Ο χρήστης ίσως είναι απαραίτητο να προσδιορίσει την ταχύτητα για να μπορέσει έτσι να λάβει υπ' όψιν του τη ροή διήθησης, ή στο τέταρτο στάδιο να ενσωματώσει τις επιπτώσεις μίας πολύπλοκης ισορροπίας νερού στην τοποθεσία μελέτης.
- Η προεπιλεγμένη υπόθεση είναι ότι ο ρυθμός μείωσης αναφέρεται τόσο για το διαλυμένο μέρος του ρύπου όσο και για το συσσωματωμένο μέρος αυτού. Για να αναφέρεται η μείωση μόνο στο διαλυτό μέρος του συστατικού θα πρέπει ο χρήστης να πολλαπλασιάσει το χρόνο ημίσειας ζωής με το συντελεστή εξασθένισης για τον ρύπο και τη γεωλογική μονάδα.

Το παράδειγμα μελέτης που εμπεριέχει την πιθανολογική αποτίμηση επικινδυνότητας εξηγεί ότι το μοντέλο RAM παράγει απολύτως σαφή αποτελέσματα και όχι ποσοτικοποιημένες συγκεντρώσεις. Η πιθανολογική κατανομή οποιονδήποτε παραμέτρων άλλου μοντέλου μπορεί να εξαχθεί ως δεδομένο εξόδου εάν οριστεί από τον χρήστη. {6}

8. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ - ΠΟΥΛΛΙΤΣΑ

8.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η τοποθεσία στην οποία εφαρμόζεται το μοντέλο Ανάλυσης Επικινδυνότητας, ονομάζεται Πουλλίτσα και βρίσκεται στην παράκτια ζώνη του Κορινθιακού Κόλπου σε απόσταση 2.500 m από την ακτή. {19}

Η ευρύτερη περιοχή της Πουλλίτσας ανήκει στην παράκτια ζώνη, που οριοθετείται δυτικά από τον ποταμό Ασωπό, ανατολικά από το αρχαίο Λεχάιο και νότια από την Παλαιά Εθνική Οδό Αθηνών-Πατρών. Το κλίμα της περιοχής είναι ξηρό με ήπιους χειμώνες, δροσερά καλοκαίρια και έντονες βροχοπτώσεις. {19}

Η περιοχή βρέχεται από τον Κορινθιακό Κόλπο και διασχίζεται από δύο κύριους ποταμούς, τον Ασωπό και τον Νεμέα, καθώς και από ρέματα, που κατέρχονται από τους γειτονικούς ορεινούς όγκους. Καλύπτεται κυρίως από μία πεδινή ζώνη, η οποία καλλιεργείται εκτενώς. Οι πιο σημαντικές καλλιέργειες είναι τα εσπεριδοειδή, τα κηπευτικά, τα αμπέλια και οι ελιές. Το υψόμετρο της περιοχής δεν εμφανίζει ιδιαίτερες διακυμάνσεις. Τα υψηλότερα σημεία βρίσκονται νότια με μέγιστο στα 60 μέτρα. Τα υψομετρικά στοιχεία ελήφθησαν από γεωγραφικούς χάρτες και από γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια μελέτης του Υπουργείου Γεωργίας. {19}

Οι κύριες πηγές παροχής ύδατος στην περιοχή είναι τα υπόγεια ύδατα και τα επιφανειακά ύδατα. Τα πρώτα, μέσω ενός δικτύου άντλησης εξυπηρετούν τις ανάγκες άρδευσης και ύδρευσης της περιοχής, ενώ τα δεύτερα προέρχονται από τον Ασωπό ποταμό και μέσω δικτύου καναλιών εξυπηρετούν μόνο ανάγκες άρδευσης. {19}

Στην υπό μελέτη περιοχή της Πουλλίτσας βρίσκεται μεγάλη έκταση καλλιεργήσιμης γης¹⁷, συνολικού εμβαδού 500.000 m². Εξαιτίας της εντατικής καλλιέργειας της, το έδαφος φορτίζεται με μεγάλες ποσότητες νιτρικών, που προέρχονται από τη λίπανση των καλλιεργειών. Σε απόσταση 200 m από την υπό μελέτη περιοχή, βρίσκεται μία γεώτρηση, η καταλληλότητα της οποίας θα πρέπει να εξεταστεί ώστε εάν γίνει άντληση πόσιμου ύδατος, για την τροφοδοσία γειτονικών οικισμών, να μην κινδυνεύσει η υγεία των κατοίκων. Η καταλληλότητα του ύδατος εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό, από το ρυθμό φόρτισης του υδροφορέα, και κατ' επέκταση της φόρτισης του εδάφους με νιτρικά ιόντα. Σύμφωνα με την μελέτη Psaropoulou & Karatzas (2001), οι μετρήσεις πεδίου έδωσαν συγκεντρώσεις νιτρικών στο υπόγειο ύδωρ ίσες με 80 mg/l.

Τα στοιχεία τόσο για τη βροχόπτωση και την εξατμισιοδιαπνοή της περιοχής όσο και τα υδραυλικά ύψη, ελήφθησαν από την ίδια μελέτη. Έτσι, η τιμή της ημερήσιας βροχόπτωσης κατά τους χειμερινούς μήνες, υπολογίστηκε ότι είναι ίση με 2.64 mm/day, ενώ για τους θερινούς μήνες η βροχόπτωση θεωρήθηκε αμελητέα.

Όσον αφορά τους γεωλογικούς σχηματισμούς, αυτό που κυριαρχεί στο επιφανειακό και υποεπιφανειακό στρώμα του εδάφους αποτελείται από άμμο και χαλίκια (sand and gravel), τα οποία αποτέθηκαν κατά την Ολόκαινο γεωλογική περίοδο. {19}

Ο τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Πουλλίτσας παρουσιάζεται στο Παράρτημα Ε.

8.2 ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΟΥΛΛΙΤΣΑΣ

Η εκπόνηση της μελέτης αυτής προέκυψε από την ανάγκη θεσμοθέτησης ορίων για την εφαρμογή νιτρικών στην περιοχή, με σκοπό τη διατήρηση της καταλληλότητας του υπόγειου ύδατος για ύδρευση.

¹⁷ Για ευκολία, η περιοχή αυτή καλείται πηγή ρύπανσης ή απλώς πηγή.

Κατά την εφαρμογή του μοντέλου έγιναν ορισμένες παραδοχές. Αρχικά, η λίπανση γίνεται μία φορά τον χρόνο και έτσι η πηγή θεωρείται φθίνουσα και όχι μόνιμου φορτίου. Για τον υπολογισμό της πραγματικής τιμής νιτρικών που εναποτίθενται στην πηγή, εφαρμόστηκε το δεύτερο στάδιο του μοντέλου RAM. Σύμφωνα με αυτό, λαμβάνεται υπ' όψιν μόνο η διάλυση μέχρι το σημείο στο οποίο βρίσκεται ο υδροφορέας. Η αρχική τιμή νιτρικών στην πηγή, υπολογίστηκε με τη μέθοδο δοκιμής και σφάλματος με βάση τις μετρήσεις πεδίου από δειγματοληψίες υπόγειου ύδατος, εκτιμήθηκε ίση με 650 mg/l, δηλαδή 81.250 kg NO₃. Ο υπολογισμός αυτός έγινε για χρονικό διάστημα 4,5 μηνών από την αρχική απόθεση του ρυπαντικού φορτίου (οπότε και έγινε η μέτρηση στο πηγάδι παρατήρησης κάτω από την πηγή ρύπανσης).

Και για την προσομοίωση του μοντέλου έγιναν ορισμένες απαραίτητες παραδοχές, που έχουν να κάνουν:

- Αναφορικά με την βροχόπτωση: εξαιτίας της καλλιεργήσιμης γης, η οποία αποτελεί και την πηγή ρύπανσης, θα πρέπει να εισάγουμε και το ποσοστό του ύδατος που διατίθεται στην περιοχή για αρδευτικούς λόγους. Αυτό εισάγεται μαζί με την αποτελεσματική βροχόπτωση, στο σχετικό κελί του λογισμικού (963,6 mm/year).
- Αναφορικά με τους γεωλογικούς σχηματισμούς: για την καλύτερη προσομοίωση τόσο της ροής όσο και της μεταφοράς μάζας, θεωρήθηκε ότι το επιφανειακό και υποεπιφανειακό στρώμα αποτελούνται εξολοκλήρου από άμμο και χαλίκια.

8.2.1 Στάδιο 1

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το πρώτο φύλλο εργασίας για το πρώτο στάδιο του μοντέλου RAM. Αρχικά εισάγεται ο τύπος της πηγής ρύπανσης που πρέπει να μελετηθεί¹⁸, και κατόπιν δίνονται όλα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τον

¹⁸ Εάν η πηγή είναι εδαφική ή υπόγειου ύδατος

προσδιορισμό της¹⁹. Για την ευκολία του χρήστη, τα κελιά είναι χρωματισμένα με διαφορετικό χρώμα ανάλογα με την ενέργεια που θα πρέπει να γίνει στο καθένα. Έτσι, όπου απαιτείται εισαγωγή δεδομένων, τα κελιά είναι χρωματισμένα κίτρινα, ενώ το ανοιχτό πράσινο χρώμα επισημαίνει στο χρήστη ότι το μοντέλο χρησιμοποιεί κάποια εξίσωση για να βγάλει την τιμή, η οποία όμως είναι ενδεικτική και μπορεί να αλλάχθει σύμφωνα με τις ανάγκες του προβλήματος ή τις πληροφορίες του χρήστη. Στην παρακάτω εικόνα, φαίνεται και το παράρτημα με την ερμηνεία κάθε χρωματισμού.

Επίσης, η προσομοίωση του πρώτου σταδίου γίνεται εννοιολογικά. Η πιθανολογική ανάλυση μπορεί να γίνει στο 3^ο και 4^ο στάδιο, όπου οι τιμές που εισάγουμε για τον προσδιορισμό των συνθηκών του προβλήματος μπορούν να ακολουθούν κάποια κατανομή.

¹⁹ Έκταση πηγής ρύπανσης, φορτίο, επιθυμητά όρια, βροχόπτωση, συντελεστής διήθησης και χρονικά διαστήματα που επιθυμεί ο χρήστης να γίνει η ανάλυση

Σχήμα 5. Παραστατική Απεικόνιση 1^{ου} Σταδίου

Με αρχική συγκέντρωση νιτρικών τα 650 mg/l, εφαρμόζονται τα τρία πρώτα στάδια αποτίμησης του μοντέλου RAM. Για το πρώτο στάδιο, το οποίο εκτιμά τη συγκέντρωση του ρύπου στα όρια της πηγής, και χωρίς να λαμβάνει υπ' όψιν του καμιά διαδικασία καθυστέρησης ή εξασθένησης, τα αποτελέσματα που παίρνουμε είναι τα εξής:

Concentrations in mg/L in Poullitsa

Time (years)	Species1 NO ₃
0,3	2,30E+02
0,5	1,15E+02
0,8	4,05E+01
1,2	1,01E+01
1,6	2,53E+00
Compared with EU target concentration in mg/L	
	5,00E+01

Πίνακας 2. Συγκέντρωση στην πηγή, Στάδιο 1 – Πουλλίτσα.

Επίσης, το λογισμικό αυτό δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα να εκτιμήσει και την επανορθωτική συγκέντρωση στόχου, η οποία ορίζεται ως η συγκέντρωση με την οποία θα πρέπει να φορτιστεί η πηγή, ώστε να επιτευχθεί το θεσμοθετημένο όριο, λαμβάνοντας υπ' όψιν τη μέχρι στιγμής φόρτιση από την πηγή. Έτσι, τα αποτελέσματα που δίνει το μοντέλο είναι:

Remedial Target Concentrations in mg/L in Poullitsa

Time (years)	Species1 NO ₃
0,3	1,42E+02
0,5	2,83E+02
0,8	8,02E+02
1,2	3,21E+03
1,6	1,29E+04
Compared with source concentrations in mg/L	
	6,50E+02

Πίνακας 3. Επανορθωτικές συγκεντρώσεις, Στάδιο 1 – Πουλλίτσα.

Τα παραπάνω αποτελέσματα, προέκυψαν έπειτα από προσομοίωση του πρώτου σταδίου του μοντέλου, το οποίο όμως όπως έχει αναφερθεί, δεν λαμβάνει υπ' όψιν του μηχανισμούς καθυστέρησης και εξασθένησης του ρύπου. Για το λόγο αυτό, τα

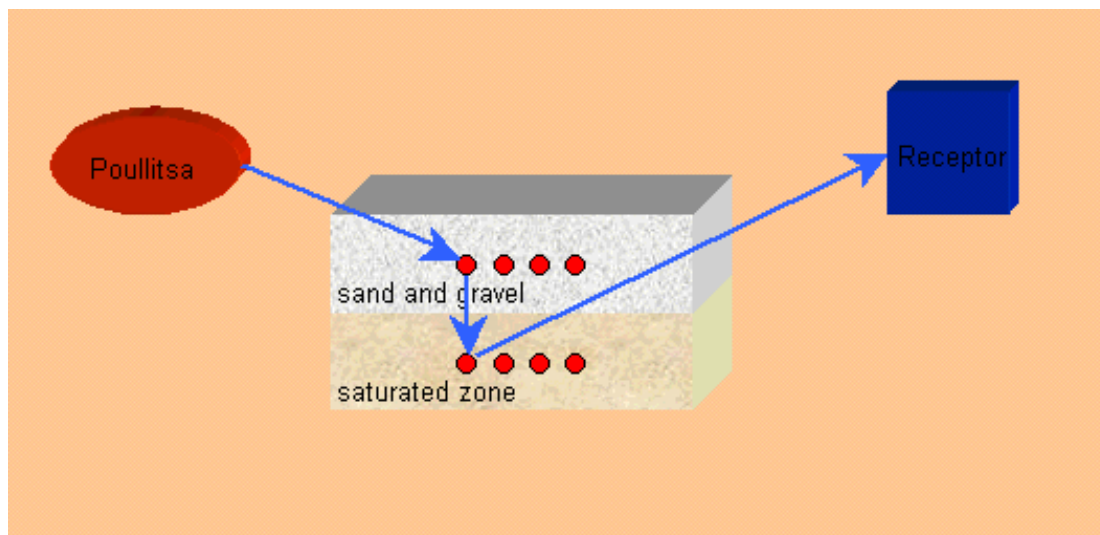
συμπεράσματα που προκύπτουν δεν μπορούν να δώσουν παρά μόνο μία ενδεικτική εικόνα στο μελετητή. Έτσι λοιπόν, παρατηρείται:

- μία συνεχόμενη μείωση της συγκέντρωσης των νιτρικών, γεγονός που συμφωνεί με το χαρακτηρισμό που δώσαμε στην πηγή ως μειούμενη,
- για τα δεδομένα που εισήχθηκαν στην εφαρμογή αυτή, η αρχική ποσότητα νιτρικών, βρέθηκε ότι ήταν 81.250 kg για τη συνολική έκταση των 500 στρεμμάτων της πηγής, και
- η συγκέντρωση παραμένει σε επίπεδα άνω του θεσμοθετημένου, από την Ευρωπαϊκή Ένωση, ορίου για χρονικό διάστημα περίπου 9 μηνών μετά την αρχική απόθεση του ρυπαντή.

Περισσότερο ρεαλιστικά αποτελέσματα και συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από την εφαρμογή των σταδίων 2 και 3, όπου λαμβάνονται υπ' όψιν οι πραγματικές διαδικασίες κατά μήκος της διαδρομής.

8.2.2 Στάδιο 2

Το δεύτερο στάδιο εξετάζει τη διάλυση στα υπόγεια ύδατα και το κατά πόσο μπορεί αυτό να μειώσει τις συγκεντρώσεις των ρύπων κάτω από τα ανώτατα όρια. Το σημείο εφαρμογής του δεύτερου σταδίου βρίσκεται κάτω από την πηγή ρύπανσης, στον υπόγειο υδροφόρα. Αυτό καλείται και στην περίπτωση αυτή «Αποδέκτης». Το σχήμα παρακάτω απεικονίζει τη διάταξη την οποία εισάγουμε στο μοντέλο, σύμφωνα με την οποία γίνεται η ανάλυση των δεδομένων.



Σχήμα 6. Παραστατική Απεικόνιση 2^{ου} Σταδίου – Πουλλίτσα.

Για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων στο σημείο αυτό, πρέπει αν εισαχθούν μερικές ακόμη παράμετροι, οι οποίες ελήφθησαν από την μελέτη Psaropoulou & Karatzas (2001). Έτσι λοιπόν, μετά την αρχική συγκέντρωση της πηγής και τον χαρακτηρισμό της ως μειούμενη, απαραίτητη είναι η εισαγωγή της χωρητικότητας του εδάφους της πηγής (0,5). Η χωρητικότητα εδάφους είναι ισοδύναμη με το μέρος του ύδατος που παραμένει στην πηγή, μετά από ελεύθερη στράγγιση. Επίσης, μετά την εισαγωγή των στρωμάτων, πρέπει να γίνει και προσδιορισμός αυτών, με τον ορισμό του πάχους²⁰, της υδραυλικής αγωγιμότητας²¹ και της υδραυλικής κλίσης²² του υδροφορέα. Τέλος, πριν την προσομοίωση του δευτέρου σταδίου, εισάγονται από τον χρήστη το βάθος (10,8 m) και το πλάτος (500 m) της ζώνης μίξης. Αυτό λαμβάνεται ως το πάχος και το πλάτος του κορεσμένου στρώματος. Τα χρονικά διαστήματα στα οποία γίνεται η προσομοίωση επιλέγονται από τον χρήστη ώστε να τον βοηθήσουν να βγάλει χρήσιμα συμπεράσματα για το ρόλο της διάλυσης, τον υδροφορέα και την πορεία του ρύπου στο έδαφος.

²⁰ Για την ακόρεστη ζώνη (sand and gravel) το πάχος είναι 19,45 m, ενώ για την κορεσμένη (saturated zone) 10,8 m.

²¹ Και για τα δύο στρώματα λαμβάνεται ίδια τιμή, αφού πρόκειται για ίδιο υλικό 0,00058 m/s.

²² Η υδραυλική κλίση αναφέρεται μόνο στην κορεσμένη ζώνη και είναι 0,00432.

Μετά την εισαγωγή όλων των δεδομένων, γίνεται η προσομοίωση του μοντέλου, και λαμβάνονται τα παρακάτω αποτελέσματα, όσον αφορά τη συγκέντρωση του ρύπου στο σημείο εφαρμογής:

Pollutant Linkage: Poullitsa, sand and gravel, saturated zone, receptor
Concentrations in mg/L in receptor

Time (years)	Species1 NO3
0,3	1,157E+02
0,4	8,177E+01
0,5	5,780E+01
0,6	4,086E+01
0,7	2,888E+01

Compared with EU target concentration in mg/L

5,000E+01

Πίνακας 4. Συγκέντρωση 2^{ου} σταδίου στον αποδέκτη – Πουλλίτσα.

Οι διορθωτικοί στόχοι προσδιορίζονται ως οι επιθυμητές συγκεντρώσεις πολλαπλασιασμένες επί το συντελεστή διάλυσης. Ο συντελεστής αυτός τυπικά υπολογίζεται ως ο λόγος της ροής του υπόγειου ύδατος κάτω από την πηγή και της διήθησης δια μέσου του ρυπασμένου εδάφους. Τα αποτελέσματα που δίνει το μοντέλο για τις επανορθωτικές συγκεντρώσεις και τον παράγοντα διάλυσης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ο παράγοντας διάλυσης που υπολογίζει το μοντέλο, αναφέρεται σε όλες τις ρυπογόνες ουσίες και για όλα τα χρονικά διαστήματα. Ο παράγοντας διάλυσης ορίζεται ως ο λόγος της διήθησης δια μέσου του ρυπασμένου υδροφορέα, προς την υπόγεια ροή ύδατος.

Remedial Target Concentrations in mg/L in Poullitsa

Time (years)	Species1 NO3
0,3	2,809E+02
0,4	3,975E+02
0,5	5,623E+02
0,6	7,954E+02
0,7	1,125E+03

Compared with source concentrations in mg/L

6,500E+02

Dilution Factor

1,985E+00 For all species and time slices

Πίνακας 5. Επανορθωτικές Συγκεντρώσεις 2^{ου} σταδίου – Πουλλίτσα.

Μετά το τέλος της προσομοίωσης ο μελετητής μπορεί να βγάλει χρήσιμα συμπεράσματα για τον ρόλο της διάλυσης στον υπόγειο υδροφόρα. Εάν η συγκέντρωση παραμένει σε υψηλότερα από τα θεσμοθετημένα όρια, επίπεδα, τότε είναι απαραίτητη η προσομοίωση του προβλήματος σύμφωνα με το τρίτο στάδιο αποτίμησης. Από τα αποτελέσματα του δευτέρου σταδίου, προκύπτουν ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα:

- Η συγκέντρωση του ρύπου παραμένει πάνω από τα επιθυμητά επίπεδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Παρατηρείται μείωση του χρονικού διαστήματος όπου η συγκέντρωση των νιτρικών πέφτει κάτω από το όριο. Έτσι, ενώ στην πρώτη περίπτωση αυτό συνέβη μετά από 9 μήνες περίπου, τώρα, με την διάλυση ο χρόνος μειώνεται σε περίπου 6,5 μήνες. Το γεγονός αυτό συμβαδίζει με τις παραδοχές που έχουν γίνει, για το ρόλο δηλαδή της διάλυσης στην εξασθένιση του ρύπου.

8.2.3 Στάδιο 3

Το τρίτο στάδιο του μοντέλου RAM, επιτρέπει στον χρήστη να εισάγει περισσότερες διαδικασίες καθυστέρησης και εξασθένησης του ρύπου δια μέσου του υδροφορέα. Η σχηματική απεικόνιση του υδροφορέα είναι ίδια με αυτήν του δευτέρου σταδίου (Σχήμα 6). Τα δεδομένα όμως που πρέπει να εισαχθούν από τον χρήστη είναι περισσότερα και λεπτομερέστερα.

Όσον αφορά στα δεδομένα της πηγής, αυτά μένουν τα ίδια όπως του πρώτου και δευτέρου σταδίου. Στο φύλλο που αναφέρεται στη ρυπογόνο ουσία, θα πρέπει να εισαχθεί και ο συντελεστής διάχυσης του ρύπου ($0,0001 \text{ m}^2/\text{s}$), ο οποίος βρίσκεται βιβλιογραφικά. Επίσης, δεδομένου για οργανικές ενώσεις, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός και του συντελεστής κατανομής του οργανικού άνθρακα K_{oc} . Στην περίπτωση όμως του υπό εξέταση προβλήματος, δεν γίνεται εισαγωγή αυτού του παράγοντα.

Στο φύλλο της Υδρογεωλογίας, ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει το πορώδες του υλικού (0,45) καθώς επίσης και τη στρεβλότητα του (0,1). Τα δεδομένα που έχουν χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση του μοντέλου, προέρχονται από την μελέτη Psaropoulou & Karatzas (2001), και από βιβλιογραφικές πηγές.

Άλλες παράμετροι που είναι απαραίτητες για την προσομοίωση του τρίτου σταδίου, είναι η ξηρή πυκνότητα (1700 kg/m^3), το κλάσμα οργανικού άνθρακα στο έδαφος f_{oc} (0,03), η διασπορά (2.5 m) και η απόσταση στην οποία βρίσκεται ο αποδέκτης (200 m). Μετά το τέλος της εισαγωγής δεδομένων, μπορεί να γίνει εννοιολογική προσομοίωση του μοντέλου. Η προσομοίωση έγινε για διαφορετικά χρονικά διαστήματα, με απώτερο στόχο την πληρέστερη πληροφόρηση του μελετητή, όσον αφορά τα διαστήματα στα οποία παρουσιάζεται η κορυφή της συγκέντρωσης, και του διαστήματος στο οποίο η συγκέντρωση παραμένει πάνω από το όριο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Επίσης, στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τριών διαφορετικών προσομοιώσεων του τρίτου σταδίου, για έναν αποδέκτη που βρίσκεται σε απόσταση 200 m από την πηγή ρύπανσης. Εξαιτίας των διαδικασιών μεταφοράς και εξασθένησης των ρυπογόνων ουσιών, παρατηρείται μία κατανομή της συγκέντρωσης τους. Έτσι η συγκέντρωση στον αποδέκτη αυξάνει για ένα χρονικό διάστημα, παίρνει την μέγιστη τιμή του και κατόπιν μειώνεται, όπως φαίνεται στους Πίνακες 6-a,b,c.

Στο Πίνακα 6-a, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης η οποία έγινε για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα, για τον προσδιορισμό του σημείου όπου η συγκέντρωση στον αποδέκτη, αυξάνει πάνω από το ανώτατο όριο. Από τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να φτάσει η συγκέντρωση το όριο, είναι περίπου 3 μήνες, μετά από την έκθεση στην πηγή.

Στον Πίνακα 6-b, η προσομοίωση γίνεται με σκοπό τον εντοπισμό της κορυφής της συγκέντρωσης. Λόγο των διαδικασιών μεταφοράς και εξασθένησης των ρυπογόνων ουσιών, παρατηρείται μία κατανομή της συγκέντρωσης τους. Η κορυφή της κατανομής αυτής, υποδεικνύει στον χρήστη και το μέγιστο της τιμής της συγκέντρωσης του ρύπου, που μπορεί να λάβει. Ο χρόνος αυτός, σύμφωνα με τα αποτελέσματα, είναι 6 μήνες, και η μέγιστη συγκέντρωση είναι περίπου 70 mg/l.

Στο Πίνακα 6-c, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης η οποία έγινε με σκοπό τον εντοπισμό του χρόνου όπου η συγκέντρωση στον αποδέκτη, πέφτει κάτω από το ανώτατο όριο. Έτσι βρέθηκε ότι ο χρόνος που απαιτείται για να μειωθεί η συγκέντρωση, είναι περίπου 11 μήνες.

Pollutant Linkage: Poullitsa, sand and gravel, saturated gravel, receptor

Concentrations in mg/L in receptor

Time (years)	Species1 NO3
0,1	6,466E+00
0,2	3,483E+01
0,3	5,673E+01
0,4	6,693E+01
0,5	6,954E+01

Compared with EU target concentration in mg/L

5,000E+01

Remedial Target Concentrations in mg/L in Poullitsa

Time (years)	Species1 NO3
0,1	5,026E+03
0,2	9,330E+02
0,3	5,729E+02
0,4	4,856E+02
0,5	4,674E+02

Compared with source concentrations in mg/L

6,500E+02

Dilution Factor

1,985E+00 for all species and time slices

Attenuation Factor

Time (years)	Species1 NO3
0,1	5,065E+01
0,2	9,402E+00
0,3	5,773E+00
0,4	4,893E+00
0,5	4,710E+00

Πίνακας 6-α. Αποτελέσματα Εννοιολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – Πουλλίτσα.

Pollutant Linkage: Poullitsa, sand and gravel, saturated gravel, receptor

Concentrations in mg/L in receptor

Time (years)	Species1 NO3
0,3	5,673E+01
0,4	6,693E+01
0,5	6,954E+01
0,6	6,803E+01
0,7	6,409E+01

Compared with EU target concentration in mg/L

5,000E+01

Remedial Target Concentrations in mg/L in Poullitsa

Time (years)	Species1 NO3
0,3	5,729E+02
0,4	4,856E+02
0,5	4,674E+02
0,6	4,777E+02
0,7	5,071E+02

Compared with source concentrations in mg/L

6,500E+02

Dilution Factor

1,985E+00 for all species and time slices

Attenuation Factor

Time (years)	Species1 NO3
0,3	5,773E+00
0,4	4,893E+00
0,5	4,710E+00
0,6	4,814E+00
0,7	5,110E+00

Πίνακας 6-b. Αποτελέσματα Εννοιολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – Πουλλίτσα.

Pollutant Linkage: Poullitsa, sand and gravel, saturated gravel, receptor

Concentrations in mg/L in receptor

Time (years)	Species1 NO3
0,5	6,954E+01
1	4,607E+01
1,5	2,404E+01
2	1,395E+01
2,5	8,526E+00

Compared with EU target concentration in mg/L

5,000E+01

Remedial Target Concentrations in mg/L in Poullitsa

Time (years)	Species1 NO3
0,5	4,674E+02
1	7,055E+02
1,5	1,352E+03
2	2,330E+03
2,5	3,812E+03

Compared with source concentrations in mg/L

6,500E+02

Dilution Factor

1,985E+00 for all species and time slices

Attenuation Factor

Time (years)	Species1 NO3
0,5	4,710E+00
1	7,109E+00
1,5	1,362E+01
2	2,348E+01
2,5	3,841E+01

Πίνακας 6-c. Αποτελέσματα Εννοιολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – Πουλλίτσα.

Από τις παραπάνω προσομοιώσεις που έγιναν, ο χρήστης μπορεί να βγάλει χρήσιμα συμπεράσματα για την καταλληλότητα των υπόγειων υδάτων, την πορεία του υπό εξέταση ρύπου²³, αλλά και την επανορθωτική συγκέντρωση στην πηγή. Έτσι, το χρονικό διάστημα στο οποίο η συγκέντρωση είναι άνω του ορίου, είναι περίπου 8 μήνες. Εξαιτίας του γεγονότος ότι πρόκειται για άντληση πόσιμου ύδατος, και οι επιπτώσεις που μπορεί να έχουν οι άνθρωποι οι οποίοι καταναλώνουν το νερό αυτό να είναι σοβαρές, κρίνεται απαραίτητη η πιθανολογική εξέταση της κατάστασης. Η πιθανολογική προσομοίωση δίνει μία κατανομή των αποτελεσμάτων, βοηθώντας έτσι τον μελετητή να πάρει την ορθότερη των αποφάσεων. Η προσομοίωση αυτή παρουσιάζεται παρακάτω.

Εκτός από τις συγκεντρώσεις στον αποδέκτη, γίνεται επίσης υπολογισμός των επανορθωτικών συγκεντρώσεων στην πηγή ρύπανσης. Τα αποτελέσματα των επανορθωτικών συγκεντρώσεων εξαρτώνται από τις συγκεντρώσεις στον αποδέκτη και τους παράγοντες διάλυσης και εξασθένησης, οι οποίοι και αυτοί υπολογίζονται από το μοντέλο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 6-a,b,c. Ο συντελεστής διάλυσης παραμένει σταθερός για διαφορετικές χρονικές περιόδους και για διαφορετικές ρυπογόνες ουσίες, και μόνο ο παράγοντας εξασθένησης μεταβάλλεται. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιεί το μοντέλο για τους υπολογισμούς, έχουν δοθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Για την πιθανολογική προσομοίωση του μοντέλου, έγιναν κάποιες παραδοχές από τον χρήστη, οι οποίες έχουν να κάνουν με τα δεδομένα που θεωρεί ως δεδομένα και άλλα στα οποία εισάγει μία ορισμένη κατανομή²⁴. Στο παράδειγμα αυτό, οι παράμετροι οι οποίες θεωρήθηκαν αβέβαιες ήταν η συγκέντρωση στην πηγή και η υδραυλική αγωγιμότητα. Στην πρώτη περίπτωση, δηλαδή στη συγκέντρωση του ρύπου στο πορώδες ύδωρ στην πηγή, η κατανομή που χρησιμοποιήθηκε ήταν η σταθερή, με

²³ Παρόλο που στο παράδειγμα αυτό εξετάστηκε μόνο ένας ρύπος, ο χρήστης δύναται να εισάγει μέχρι και 8 ουσίες.

²⁴ Οι κατανομές που μπορεί να εισάγει ο χρήστης, είναι η τριγωνική, η κανονική και η σταθερή. Ανάλογα με την κατανομή που χρησιμοποιείται, θα πρέπει να εισαχθούν και οι ελάχιστες ή μέγιστες τιμές της παραμέτρου, καθώς και ο μέσος όρος ή η διασπορά.

μέγιστο και ελάχιστο το 20% της αρχικής συγκέντρωσης ($\max=780 \text{ mg/l}$, $\min=520 \text{ mg/l}$).

Για την υδραυλική αγωγιμότητα, χρησιμοποιήθηκε η τριγωνική κατανομή, με μέγιστη και ελάχιστη τιμή το $\pm 10\%$ της αρχικής, και πιθανότερη τιμή την αρχική. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Η προσομοίωση έγινε για διαφορετικά χρονικά διαστήματα, με σκοπό τη αποκόμιση περισσότερων και ασφαλέστερων αποτελεσμάτων. Οι τιμές που προκύπτουν από την πιθανολογική προσομοίωση του μοντέλου είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τιμές της εννοιολογικής εφαρμογής κατά ένα ποσοστό περίπου 18%. Το γεγονός αυτό μπορεί να εξηγηθεί από την κατανομή που ορίσαμε για τις δύο παραμέτρους (συγκέντρωση στην πηγή και υδραυλική αγωγιμότητα). Με τον τρόπο αυτό, τα αποτελέσματα γίνονται ασφαλέστερα, αλλά ταυτόχρονα αυξάνουν άλλες παράμετροι όπως το κόστος ή ο χρόνος αποκατάστασης του εδάφους.

Για την εννοιολογική προσομοίωση βρέθηκε ότι ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει η συγκέντρωση στον αποδέκτη είναι 3 μήνες, ενώ κατά την πιθανολογική εφαρμογή, ο χρόνος αυτός μειώθηκε στους 2.5 μήνες. Αντίστοιχα, ο χρόνος που απαιτείται για να μειωθεί η συγκέντρωση κάτω από το όριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, είναι 13 μήνες για την πιθανολογική εφαρμογή. Αυτό συνεπάγεται αύξηση του χρονικού διαστήματος όπου η συγκέντρωση στον αποδέκτη παραμένει άνω του ορίου.

Όσο αυξάνονται οι αβέβαιες παράμετροι και το ποσοστό της αβεβαιότητας τους, τόσο θα αυξάνεται και το διάστημα αυτό, παρέχοντας στον μελετητή την ασφάλεια που απαιτεί. Στο σημείο αυτό εισάγεται και η έννοια της βελτιστοποίησης, σύμφωνα με την οποία θα πρέπει να βρεθεί η λύση που εξυπηρετεί στο μέγιστο βαθμό όλους τους εμπλεκόμενους φορείς²⁵.

²⁵ Στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι οι αγρότες που καλλιεργούν την έκταση, και οι περιβαλλοντολόγοι.

Το μοντέλο Crystal Ball που χρησιμοποιείται για την πιθανολογική ανάλυση με τη μέθοδο Monte Carlo, παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα της συνοπτικής γενικής αναφοράς των αποτελεσμάτων. Με την χρήση της επιλογής αυτής, το μοντέλο εξάγει μία αναφορά με τα διαγράμματα κατανομής όλων των υπολογιζόμενων παραμέτρων. Επίσης, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει το επιθυμητό διάστημα εμπιστοσύνης. Αυτό, για το συγκεκριμένο παράδειγμα, είναι 95%. Τα αποτελέσματα της αναφοράς δίνονται στο Παράρτημα ΣΤ.

PROBABILISTIC RESULTS

10.000 iterations

Pollutant Linkage: Poullitsa, sand and gravel, saturated gravel, receptor

95 th Percentile Concentrations in mg/L in receptor

Time (years)	Species1 NO3
0,1	7,621E+00
0,2	4,107E+01
0,3	6,689E+01
0,4	7,891E+01
0,5	8,199E+01
Compared with EU target concentration in mg/L	
	5,000E+01

5 th Percentile Remedial Target Concentrations in mg/L in Poullitsa

Time (years)	Species1 NO3
0,1	5,005E+03
0,2	9,325E+02
0,3	5,713E+02
0,4	4,831E+02
0,5	4,639E+02
Compared with source concentrations in mg/L	
	6,500E+02

5 th Percentile Dilution Factor

1,917E+00

5 th Percentile Attenuation Factor

Time (years)	Species1 NO3
0,1	4,879E+01
0,2	9,091E+00
0,3	5,597E+00
0,4	4,755E+00
0,5	4,588E+00

Πίνακας 7-α. Αποτελέσματα Πιθανολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – Πουλλίτσα.

PROBABILISTIC RESULTS

10.000 iterations

Pollutant Linkage: Poullitsa, sand and gravel, saturated gravel, receptor

95 th Percentile Concentrations in mg/L in receptor

Time (years)	Species1 NO3
0,9	6,178E+01
1	5,438E+01
1,1	4,754E+01
1,2	4,154E+01
1,3	3,643E+01

Compared with EU target concentration in mg/L

5,000E+01

5 th Percentile Remedial Target Concentrations in mg/L in Poullitsa

Time (years)	Species1 NO3
0,9	6,113E+02
1	6,932E+02
1,1	7,911E+02
1,2	9,032E+02
1,3	1,028E+03

Compared with source concentrations in mg/L

6,500E+02

5 th Percentile Dilution Factor

1,916E+00

5 th Percentile Attenuation Factor

Time (years)	Species1 NO3
0,9	6,141E+00
1	6,995E+00
1,1	8,028E+00
1,2	9,223E+00
1,3	1,057E+01

Πίνακας 7-b. Αποτελέσματα Πιθανολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – Πουλλίτσα.

Το μοντέλο Crystal Ball προσφέρει στο χρήστη τη δυνατότητα να εξάγει μία πλήρη αναφορά για τις διακυμάνσεις των παραμέτρων. Η αναφορά αυτή δίνει τη διακύμανση των υπολογιζόμενων παραμέτρων (συγκέντρωση στον αποδέκτη, επανορθωτική συγκέντρωση στην πηγή, παράγοντα διάλυσης και παράγοντα καθυστέρησης), σε διάγραμμα και σε ποσοστό. Αυτό επιτρέπει στον χρήστη να αποκτήσει μία πληρέστερη εικόνα για τη συμπεριφορά του ρύπου στον υπόγειο υδροφόρα, και να ορίσει το διάστημα εμπιστοσύνης που επιθυμεί.

Επίσης, το Crystal Ball, κατά την πιθανολογική εφαρμογή του, εξετάζει τις δυσμενέστερες περιπτώσεις της κατανομής που έχει εισάγει ο χρήστης, στις παραμέτρους του μοντέλου RAM. Έτσι καλύπτονται όλες οι ακραίες περιπτώσεις που μπορεί να προκύψουν. Παρακάτω παρουσιάζεται μέρος της αναφοράς του Crystal Ball για την πιθανολογική εφαρμογή του μοντέλου RAM στην περιοχή της Πουλλίτσας. Σε αυτό, παρουσιάζονται διάφορες παράμετροι που υπολογίζονται για την πιθανολογική εφαρμογή, τα ποσοστά της κατανομής της παραμέτρου καθώς και το διάγραμμα αυτής.

Στην αρχή της αναφοράς δίνεται ο τίτλος της παραμέτρου που αναλύεται και στο δεξί άκρο αναγράφεται το κελί από το μοντέλο RAM που προσδιορίζεται στην ανάλυση. Κατόπιν, παρατίθεται μία μικρή περίληψη της προσομοίωσης, που περιλαμβάνει το εύρος προσομοίωσης, και το εύρος των τιμών που υπολογίστηκαν. Έπειτα, γίνεται αναφορά σε διάφορες στατιστικές παραμέτρους που προσδιορίστηκαν για την τρέχουσα προσομοίωση. Τέτοιες είναι ο αριθμός των επαναλήψεων, η μέση τιμή, ο στατιστικός μέσος, η διασπορά, η διακύμανση, η ασυμμετρία κατανομής, καθώς και η ασυμμετρία των κορυφών της υπολογιζόμενης παραμέτρου (Kurtosis).

Στον πίνακα των ποσοστών, αναφέρονται τα αποτελέσματα για κάθε διάστημα ποσοστού. Η επιλογή του εύρους του ποσοστού μπορεί να γίνει από τον χρήστη, και στην περίπτωση αυτή είναι ίσο με 10%. Έτσι, από 0% μέχρι και 100%, ανά δέκα εκατοστά δίνεται η τιμή της παραμέτρου που υπολογίζεται.

Στο διάγραμμα, παρουσιάζεται η κατανομή, με την οποία έχει εισαχθεί η συγκεκριμένη παράμετρος. Ο χρήστης δύναται να μεταβάλει το διάστημα εμπιστοσύνης, χωρίς να υποχρεούται να προσομοιώσει ξανά το μοντέλο.

Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice1

Cell: B9

Summary:

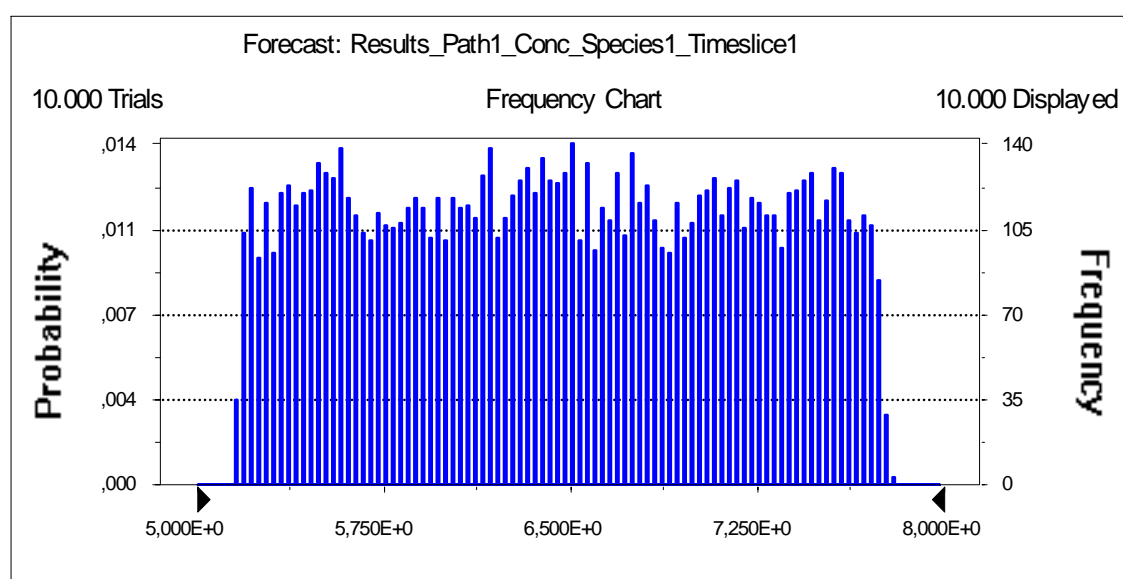
Display Range is from 5,000E+0 to 8,000E+0

Entire Range is from 5,155E+0 to 7,800E+0

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 7,443E-3

Statistics:

	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	6,466E+00
Median	6,461E+00
Mode	---
Standard Deviation	7,443E-01
Variance	5,540E-01
Skewness	0,00
Kurtosis	1,81
Coeff. of Variability	0,12
Range Minimum	5,155E+00
Range Maximum	7,800E+00
Range Width	2,646E+00
Mean Std. Error	7,443E-03



Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice1 (cont'd)

Cell: B9

<u>Percentile</u>	<u>Value</u>
0%	5,155E+00
10%	5,439E+00
20%	5,684E+00
30%	5,957E+00
40%	6,216E+00
50%	6,461E+00
60%	6,713E+00
70%	6,986E+00
80%	7,240E+00
90%	7,499E+00
100%	7,800E+00

Το διάγραμμα δίνει στον χρήστη πληροφορίες σχετικά με την συγκέντρωση του ρύπου, τη συχνότητα συνάντησης αυτής της τιμής και την πιθανότητα που έχει αυτή η τιμή να εμφανιστεί. Για παράδειγμα, για την τιμή 6,5 της συγκέντρωσης, η πιθανότητα να εμφανιστεί αυτή η τιμή είναι 0,0138 ή 1,38%, ενώ από τις 10.000 επαναλήψεις που έγιναν, οι 140 έδωσαν αυτή την τιμή για τη συγκέντρωση.

Η αναφορά του Crystal Ball αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των μελετητών, αφού επιτρέπει σε αυτούς να έχουν μία πληρέστερη εικόνα όσον αφορά τις τιμές των υπολογιζόμενων παραμέτρων. Ακόμα, βοηθά τους λαμβάνοντας τις αποφάσεις, να εκτιμήσουν με περισσότερη ακρίβεια την επικινδυνότητα της κατάστασης, και έτσι να αποφασίσουν με περισσότερη σύνεση, έχοντας υπ' όψιν τους τις πιθανότητες αστοχίας.

9. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΒΙ.ΠΕ.

9.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή η οποία εξετάζεται σε μία ξεχωριστή δεύτερη εφαρμογή του μοντέλου RAM, είναι η Βιομηχανική Περιοχή Ηρακλείου (ΒΙ.ΠΕ.). Η περιοχή μελέτης βρίσκεται ανατολικά της πόλης του Ηρακλείου και περιλαμβάνει την ΒΙ.ΠΕ. και τις ανατολικές συνοικίες της πόλης, ενώ εκτείνεται στα νότια μέχρι τις συνοικίες Άνω Φορτέτσα – Νέα Αλάτσατα – Καλλιθέα – Πρασάς. Ανατολικά φτάνει μέχρι τον Καρτερό ποταμό και κοντά στην ακτή το όριο μεταφέρεται ακόμα πιο ανατολικά συμπεριλαμβάνοντας και τον οικισμό Καρτερού. {18}

Η περιοχή έχει έντονο ανάγλυφο που είναι υποβαθμισμένο σε χαρακτηριστικά σημεία. Είναι πλούσιο σε χώνους, που οφείλονται στην ασβεστολιθική σύσταση των πετρωμάτων και την τεκτονική τους. Έτσι η κατανομή των ορεινών όγκων με τη δαντελωτή μορφή των ακτών, δημιουργούν συνθήκες μεγάλης ποικιλίας μικροτοπίων (Μ.Π.Ε. νέας εθνικής οδού Ηρακλείου – Λασιθίου). {18}

Το λιγοστό πεδινό έδαφος χαρακτηρίζεται από καλλιέργεια ελιάς και από μικρές άγονες ή χέρσες εκτάσεις και μικρή περιοχή γης υψηλής παραγωγικότητας. Οι ορεινές και λοφώδεις περιοχές αποτελούμενες από ημιβραχώδη ή ασβεστολιθικά εδάφη χαρακτηρίζονται ως γυμνές εκτάσεις σε συνθήκες έντονης υποβάθμισης ή το πολύ ως κατάλοιπα παλαιότερων δασικών εκτάσεων. Η βλάστηση έχει όλη την ποικιλία των ειδών της Κρήτης αλλά η παρουσία της στο φυσικό αυτό χώρο χαρακτηρίζεται με μικρή οπτική ποιότητα. {18}

Τα εδάφη στην περιοχή μελέτης είναι στο μεγαλύτερο τμήμα τους αποτέλεσμα δράσης των διεργασιών διάβρωσης. Το μητρικό πέτρωμα των εδαφών είναι ασβεστόλιθος που είναι και το κυρίαρχο πέτρωμα στην περιοχή. {18}

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί με υδρογεωλογικό ενδιαφέρον είναι κυρίως οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι οι οποίοι λόγω του καρστ και των ρωγμών τους θεωρούνται υδροδιαπερατοί. Αυτοί οι σχηματισμοί θεωρείται ότι μπορούν να έχουν υδροφορείς

μιας και οι λοιποί γεωλογικοί σχηματισμοί είναι αδιαπέραστοι λόγω της σύστασης και της κοκκομετρίας τους και δεν επιτρέπουν στο νερό της βροχής να κατεισδύσει σε βάθος. {18}

Το ετήσιο ύψος βροχής είναι για την συγκεκριμένη περιοχή 255 mm/year, και ο ρυθμός διήθησης ορίστηκε 0,9.

Η πηγή ρύπανσης για το συγκεκριμένο παράδειγμα, ορίστηκε εντός της ΒΙ.ΠΕ., και οι διαστάσεις της είναι 3x3x10 m. Η ρύπανση προέρχεται από κάποια βιομηχανία και τα απόβλητά της παρέχονται σε γειτονικό πηγάδι. Η ρυπογόνος ουσία η οποία θα εξεταστεί είναι η Ναφθαλίνη, και η μελέτη γίνεται με σκοπό το χαρακτηρισμό ενός γειτονικού πηγαδιού άντλησης που βρίσκεται σε απόσταση 30 μέτρων από το πηγάδι.

9.2 ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΙ.ΠΕ.

Η ανάγκη για τον χαρακτηρισμό του γειτονικού πηγαδιού άντλησης πόσιμου ύδατος, απαιτεί την υλοποίηση της παρούσης μελέτης για τη διακίνηση και μεταφορά του ρύπου στον υπόγειο υδροφορέα.

Η πηγή που ρυπαίνει τον υδροφορέα, και θέτει σε κίνδυνο την υγεία του πληθυσμού που υδρεύεται από την συγκεκριμένη γεώτρηση, όπως προαναφέρθηκε, είναι μία σταθερή πηγή Ναφθαλίνης, που ρυπαίνει συνεχώς τα υπόγεια ύδατα. Η συγκέντρωση που μετρήθηκε στο έδαφος της πηγής, είναι 10 mg/kg-εδάφους, ενώ το θεσμοθετημένο ανώτατο όριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι 10^{-4} mg/l.

Παραδοχές Προσομοίωσης

Οι παραδοχές οι οποίες έγιναν για την προσομοίωση του μοντέλου, έγιναν εξαιτίας έλλειψης στοιχείων από την περιοχή μελέτης. Αυτές έχουν να κάνουν με τη γεωλογία της περιοχής, όπου θεωρήθηκε ότι το στρώμα στο οποίο υφίσταται η υπόγεια ροή ύδατος, είναι ασβεστολιθικά πετρώματα με δεδομένη υδραυλική αγωγιμότητα (αναφέρεται παρακάτω). {18}

Άλλα χαρακτηριστικά μεγέθη, απαραίτητα για την προσομοίωση του μοντέλου, τα οποία εισήχθησαν στην παρούσα εφαρμογή είναι τα εξής:

- Υδρογεωλογία: Πάχος ακόρεστης ζώνης=80 m
Πάχος κορεσμένης ζώνης=60 m
Υδραυλική αγωγιμότητα= 10^{-4} m/s
Υδραυλική κλίση=0,0004
Πορώδες²⁶=0,2
Στρεβλότητα²⁷=0,1
- Εξασθένισης: Χρόνος ημίσειας ζωής=48 days
foc=0,0045
Ξηρή πυκνότητα εδάφους=1855 kg/m³
- Χαρακτηριστικά Πηγής: Ξηρή πυκνότητα εδάφους=1600 kg/m³
Πορώδες πληρωμένο με αέρα=0,1
- Χαρακτηριστικά Ρύπου: Διαλυτότητα=31,1 mg/l
Σταθερά νόμου του Henry=0,0204
Koc=1300 l/kg
Συντελεστής Διάχυσης= 10^{-4} m²/s

Τα δεδομένα αυτά δεν εισήχθησαν σε όλα τα στάδια του μοντέλου, αλλά σε αυτά που ήταν απαραίτητη η χρήση τους.

9.2.1 Στάδιο 1

Η εφαρμογή του πρώτου σταδίου του μοντέλου RAM είναι η απλούστερη δυνατή, και έχει ως σκοπό τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων του ρύπου στην πηγή. Κατά την προσομοίωση του δεν λαμβάνονται υπ' όψιν οι αποδέκτες ή οι διαδρομές που τυχόν ακολουθεί ο ρύπος, αλλά μόνο η πηγή. Έτσι, για τα δεδομένα που παρουσιάσαμε παραπάνω, λαμβάνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

²⁶ Το πορώδες πρέπει να εισαχθεί για όλους του γεωλογικούς σχηματισμούς που εισάγονται στο μοντέλο.

²⁷ Η στρεβλότητα είναι απαραίτητη μόνο για το κορεσμένο στρώμα του εδάφους.

DETERMINISTIC RESULTS

Pollutant Linkage: BIPE

Concentrations in mg/L in BI.PE.

Species1 **Napthalene**

2,556E-01

Compared with E.U. target concentration in mg/L

1,000E-04

Pollutant Linkage: BIPE

Remedial Target Concentrations in mg/kg in BIPE

Species1 **Napthalene**

3,913E-03

Compared with source concentrations in mg/kg

1,000E+01

Πίνακας 8. Αποτελέσματα Εννοιολογικής Προσομοίωσης 1^{ου} Σταδίου – BI.PE.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, ο χρήστης μπορεί να βγάλει το συμπέρασμα ότι η συγκέντρωση στα όρια της πηγής δεν πέφτει κάτω από το όριο, και παραμένει σε υψηλά επίπεδα. Επίσης, το μοντέλο δίνει και την διορθωτική συγκέντρωση ρύπου στην πηγή. Έτσι κρίνεται απαραίτητη η προσομοίωση του δευτέρου σταδίου του RAM, το οποίο εισάγει την διάλυση του ρύπου στον υδροφορέα.

9.2.2. Στάδιο 2

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η προσομοίωση των επόμενων σταδίων γίνεται με την παραδοχή ότι το πηγάδι που βρίσκεται σε απόσταση 30 m από την πηγή είναι πηγάδι παρατήρησης, και όχι άντλησης, και συνεπώς δεν αντλεί καθόλου ύδωρ. Αυτό γίνεται με σκοπό την πληρέστερη εικόνα του χρήστη όσον αφορά την μεταφορά και την εξασθένιση του ρύπου στον υπόγειο υδροφορέα σε διαφορετικές συνθήκες. Στη συνέχεια θα γίνει και προσομοίωση με ροή άντλησης στο πηγάδι.

DETERMINISTIC RESULTS

Pollutant Linkage: BIPE, limestone, saturated zone, receptor

Concentrations in mg/L in receptor

Species1 Napthalene

2,302E-03

Compared with E.U. target concentration in mg/L

1,000E-04

Remedial Target Concentrations in mg/kg in BIPE

Species1 Napthalene

4,343E-01

Compared with source concentrations in mg/kg

1,000E+01

Dilution Factor

1,110E+02 for all species and timeslices

Πίνακας 9. Αποτελέσματα Εννοιολογικής Προσομοίωσης 2^{ου} Σταδίου – ΒΙ.ΠΕ.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τα δύο πρώτα στάδια, αναφέρονται σε όλα τα χρονικά διαστήματα, αφού η πηγή έχει ορισθεί ως σταθερή. Το μοντέλο RAM, για τα δύο πρώτα στάδια και προκειμένου για σταθερή πηγή, θεωρεί ότι έχουν επέλθει σταθερές συνθήκες και στη συνέχεια υπολογίζει τις συγκεντρώσεις.

9.2.3. Στάδιο 3

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, ο χρήστης μπορεί να συμπεράνει ότι ο ρόλος της διάλυσης είναι μεν σημαντικός, καθώς μειώνει τη συγκέντρωση του ρύπου κατά δύο τάξης μεγέθους, δεν είναι όμως αρκετός για να την μειώσει κάτω από τα ανώτατα όρια. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή του 3^{ου} σταδίου, έτσι ώστε να συμπεριληφθούν όλες οι διαδικασίες καθυστέρησης και εξασθένησης του ρύπου. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του 3^{ου} σταδίου δίνονται παρακάτω.

Η προσομοίωση του τρίτου σταδίου έγινε για τα δεδομένα χρονικά διαστήματα που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα, με σκοπό τον εντοπισμό α) του σημείου που ξεπερνάτε η ανώτατη συγκέντρωση Ναφθαλίνης και β) της συγκέντρωσης υπό σταθερές συνθήκες. Έτσι, από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι απαιτείται η παρέλευση 4,8 μηνών από την εφαρμογή του ρύπου για να ξεπεράσει η συγκέντρωση της Ναφθαλίνης τα 10^{-4} mg/l. Επίσης μετά από 16 μήνες, η κατάσταση έχει σταθεροποιηθεί, οπότε και δεν παρατηρείται αλλαγή στη συγκέντρωση του ρύπου. Η ανώτατη αυτή τιμή έχει προσδιοριστεί στα $1,293 \times 10^{-4}$ mg/l. Η αλλαγή των υπόλοιπων παραμέτρων, επανορθωτικές συγκεντρώσεις και παράγοντας εξασθένησης, μεταβάλλονται σε ελάχιστο βαθμό μετά την παρέλευση 16 μηνών, μέχρι να σταθεροποιηθούν και αυτοί.

DETERMINISTIC RESULTS

Pollutant Linkage: BIPE, limestone, saturated zone, receptor

Concentrations in mg/L in receptor

Time (years)	Species1	Napthalene
0,2		5,061E-05
0,3		8,677E-05
0,4		1,073E-04
1,3		1,293E-04
1,8		1,293E-04
Compared with E.U. target concentration in mg/L		1,000E-04

Remedial Target Concentrations in mg/kg in BIPE

Time (years)	Species1	Napthalene
0,2		1,976E+01
0,3		1,152E+01
0,4		9,321E+00
1,3		7,735E+00
1,8		7,731E+00
Compared with source concentrations in mg/kg		1,000E+01

Dilution Factor

1,110E+02 for all species and timeslices

Attenuation Factor

Time (years)	Species1	Napthalene
0,2		1,780E+03
0,3		1,038E+03
0,4		8,397E+02
1,3		6,968E+02
1,8		6,965E+02

Πίνακας 10. Αποτελέσματα Εννοιολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – ΒΙ.ΠΕ.

Από επαναληπτικές εφαρμογές που έγιναν, προέκυψε το συμπέρασμα ότι η απόσταση των 30 μέτρων που βρίσκεται το πηγάδι παρακολούθησης είναι και το όριο του πλουμίου, στο οποίο η συγκέντρωση της Ναφθαλίνης παραμένει πάνω από τα ανώτατα επιτρεπτά επίπεδα. Ενδεικτικά παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα της συγκέντρωσης του ρύπου για την εφαρμογή στην οποία θεωρήθηκε ο αποδέκτης σε απόσταση 33 μέτρων:

DETERMINISTIC RESULTS**Pollutant Linkage: BIPE, limestone, saturated zone, receptor****Concentrations in mg/L in receptor**

Time (years)	Species1	Napthalene
0,5		8,604E-05
0,8		9,538E-05
1,2		9,685E-05
1,6		9,698E-05
2		9,699E-05

Compared with E.U. target concentration in mg/L

1,000E-04

Πίνακας 10-α. Αποτελέσματα Εννοιολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – ΒΙ.ΠΕ.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα ο χρήστης συμπεραίνει ότι για μεταφορά του αποδέκτη κατά 3 μέτρα, οι διαδικασίες απομάκρυνσης του ρύπου ρίχνουν τη συγκέντρωση του κάτω από το όριο.

Όπως αναφέραμε στην αρχή της συγκεκριμένης εφαρμογής, στο μοντέλο εισήχθησαν κάποιοι παράμετροι οι οποίοι περιείχαν κάποια αβεβαιότητα. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, ο χρήστης δύναται να εφαρμόσει πιθανολογικά το μοντέλο. Αυτό γίνεται μετά τον προσδιορισμό της κατανομής στις απαραίτητες παραμέτρους. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η αβέβαιες παράμετροι κρίθηκε ότι ήταν η διαλυτότητα του ρύπου, η υδραυλική αγωγιμότητα και η υδραυλική κλίση. Η πιθανολογική προσομοίωση έγινε για κάθε ένα παράγοντα ξεχωριστά και για όλους μαζί ταυτόχρονα, αφού καθορίστηκε η κατανομή τους.

Η πιθανολογική προσομοίωση της διαλυτότητας, δεν παρουσίασε κάποια ιδιαίτερη μεταβολή στα αποτελέσματα, και για το λόγο αυτό παραλήφθηκε από την συνέχεια της διαδικασίας. Για την υδραυλική αγωγιμότητα, η κατανομή που εισήχθηκε ήταν τριγωνική με μέγιστο και ελάχιστο το αντίστοιχο +10% και -10% της αρχικής τιμής. Επίσης, το διάστημα εμπιστοσύνης που τέθηκε από τον χρήστη είναι 95%. Η προσομοίωση έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα όσον αφορά τις συγκεντρώσεις του ρύπου στον αποδέκτη, τον παράγοντα διαλυτότητας και τον παράγοντα καθυστέρησης:

PROBABILISTIC RESULTS

10.000 iterations

Pollutant Linkage: BIPE, limestone, saturated zone, receptor

95 th Percentile Concentrations in mg/L in receptor

Time (years)	Species1	Napthalene
0,2		5,423E-05
0,3		9,298E-05
0,4		1,150E-04
1,3		1,385E-04
1,8		1,386E-04

Compared with E.U. target concentration in mg/L

1,000E-04

5 th Percentile Remedial Target Concentrations in mg/kg in BIPE

Time (years)	Species1	Napthalene
0,2		1,844E+01
0,3		1,075E+01
0,4		8,697E+00
1,3		7,218E+00
1,8		7,214E+00

Compared with source concentrations in mg/kg

1,000E+01

5 th Percentile Dilution Factor

1,036E+02

5 th Percentile Attenuation Factor

Time (years)	Species1	Napthalene
0,2		1,780E+03
0,3		1,038E+03
0,4		8,394E+02
1,3		6,967E+02
1,8		6,963E+02

Πίνακας 11. Αποτελέσματα Πιθανολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – ΒΙ.ΠΕ.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η μεταβολή της υδραυλικής αγωγιμότητας επηρεάζει τα αποτελέσματα του μοντέλου. Οι νέες τιμές που προέκυψαν είναι μεγαλύτερες από τις εννοιολογικές και αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από την κατανομή που ορίστηκε για τον παράγοντα αυτό. Επίσης, ο παράγοντας διαλυτότητας μειώθηκε γεγονός που δικαιολογεί την αύξηση των συγκεντρώσεων. Όσον αφορά τον παράγοντα καθυστέρησης, αυτός παραμένει ουσιαστικά αμετάβλητος.

Στη συνέχεια έγινε πιθανολογική προσομοίωση για την περίπτωση όπου και η υδραυλική κλίση εισάγεται με τριγωνική κατανομή, με τρόπο ανάλογο της υδραυλικής αγωγιμότητας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

PROBABILISTIC RESULTS

10.000 iterations

Pollutant Linkage: BIPE, limestone, saturated zone, receptor

95 th Percentile Concentrations in mg/L in receptor

Time (years)	Species1	Napthalene
0,2		5,578E-05
0,3		9,565E-05
0,4		1,183E-04
1,3		1,425E-04
1,8		1,426E-04

Compared with E.U. target concentration in mg/L

1,000E-04

5 th Percentile Remedial Target Concentrations in mg/kg in BIPE

Time (years)	Species1	Napthalene
0,2		1,793E+01
0,3		1,045E+01
0,4		8,455E+00
1,3		7,017E+00
1,8		7,013E+00

Compared with source concentrations in mg/kg

1,000E+01

5 th Percentile	Dilution Factor
	1,007E+02

5 th Percentile	Attenuation Factor
Time (years)	Species1 Napthalene
0,2	1,779E+03
0,3	1,038E+03
0,4	8,393E+02
1,3	6,966E+02
1,8	6,962E+02

Πίνακας 11-b. Αποτελέσματα Πιθανολογικής Προσομοίωσης 3^{ου} Σταδίου – ΒΙ.ΠΕ.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα παραπάνω αποτελέσματα είναι τα εξής: η συγκέντρωση του ρύπου στο υπόγειο ύδωρ στον αποδέκτη, είναι αυξημένη σε σύγκριση με την αντίστοιχη εννοιολογική τιμή, και μεγαλύτερη από τα πιθανολογικά αποτελέσματα όπου ο μόνος αβέβαιος παράγοντας ήταν η υδραυλική κλίση.

Η τιμή της διαλυτότητας μειώνεται περαιτέρω, γεγονός που αποδεικνύει την αυξημένη συγκέντρωση του ρύπου στο υπόγειο ύδωρ του αποδέκτη.

Ο παράγοντας εξασθένησης παραμένει ουσιαστικά σταθερός και σε αυτή την περίπτωση.

Γενικότερα, το συμπέρασμα που προκύπτει από την ολική πιθανολογική αποτίμηση (Πίνακας 11-b), είναι η μείωση του χρόνου όπου η συγκέντρωση της Ναφθαλίνης ξεπερνάει τα επικίνδυνα επίπεδα. Έτσι, ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για να φτάσει η ουσία σε επικίνδυνα επίπεδα στον αποδέκτη είναι 3.5 μήνες, σε σχέση με τους 4,8 μήνες που ήταν η εννοιολογική προσέγγιση.

Ο χρήστης, σύμφωνα με το διάστημα εμπιστοσύνης που εισήγαγε, είναι 95% βέβαιος ότι στο πεδίο θα έχει τις τιμές που υπολογίστηκαν παραπάνω, και μόνο κατά 5% υπάρχει η πιθανότητα να έχει σημαντικές αποκλίσεις.

9.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΗΓΑΔΙΟΥ ΑΝΤΛΗΣΗΣ

Όπως αναφέραμε στην εισαγωγή του κεφαλαίου, ο λόγος που είναι επιθυμητή και αναγκαία η παρούσα μελέτη είναι ο έλεγχος των συγκεντρώσεων της Ναφθαλίνης σε πηγάδι κοντά στην πηγή ρύπανσης, το οποίο χρησιμοποιείται για υδρευτικούς σκοπούς. Έτσι λοιπόν, η προσομοίωση γίνεται αυτή τη φορά έχοντας και μία ροή άντλησης στο πηγάδι της τάξης του $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Τα υπόλοιπα δεδομένα για την πηγή και την υδρογεωλογία του εδάφους δεν έχουν αλλάξει.

9.3.1. Στάδιο 1

Το πρώτο στάδιο προσομοίωσης δεν μεταβάλλεται, αφού εξετάζει τον ρύπο μόνο στα όρια της πηγής. Έτσι η προσομοίωση δίνει τα ίδια αποτελέσματα με την πρώτη περίπτωση (Πίνακας 8).

9.3.2. Στάδιο 2

Στο δεύτερο στάδιο λαμβάνεται υπ' όψιν η παροχή άντλησης, οπότε και τα αποτελέσματα αναμένονται να μεταβληθούν κατά την εννοιολογική προσομοίωση ως εξής:

DETERMINISTIC RESULTS

Pollutant Linkage: BIPE, limestone, saturated zone, receptor

Concentrations in mg/L in receptor

Species1 **Napthalene**

3,346E-08

Compared with E.U. target concentration in mg/L

1,000E-04

Remedial Target Concentrations in mg/kg in BIPE

Species1 **Napthalene**

2,989E+04

Compared with source concentrations in mg/kg

1,000E+01

Dilution Factor

7,639E+06 for all species and timeslices

Πίνακας 12. Αποτελέσματα Εννοιολογικής Προσομοίωσης 2^{ου} Σταδίου – ΒΙ.ΠΕ.

Από την εφαρμογή του 2^{ου} σταδίου, προκύπτει ότι οι συγκεντρώσεις της Ναφθαλίνης μειώνονται αισθητά κάτω από το όριο. Η τιμή που προκύπτει για σταθερές συνθήκες είναι περίπου το ήμισυ της τιμής της πρώτης περίπτωσης, όπου δεν υπήρχε άντληση ύδατος. Οι τιμές αυτές κρίνονται ως αναμενόμενες, αφού η άντληση από το πηγάδι προκαλεί αύξηση της κλίσης του υδροφορέα και συνεπώς μεγαλύτερες ταχύτητες του υπόγειου ύδατος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της διάλυσης του ρύπου και την μεγαλύτερη μείωση της συγκέντρωσής του.

Καθώς οι τιμές που προέκυψαν από την εφαρμογή του δευτέρου σταδίου, είναι κάτω από το όριο, δεν είναι απαραίτητη η αποτίμηση του τρίτου σταδίου του μοντέλου RAM.

10. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή του μοντέλου RAM προσφέρει στον χρήστη, μέσω ενός γνωστού περιβάλλοντος εργασίας, ένα πολύ χρήσιμο και εύχρηστο εργαλείο, το οποίο είναι ικανό να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα. Το γεγονός αυτό συνάγεται από τη σύγκριση που έχει γίνει από τους κατασκευαστές του μοντέλου, με άλλα ταυτόσημα λογισμικά, αλλά και από μετρήσεις στο πεδίο, που επιβεβαιώνουν τις προβλέψεις του.

Η κατασκευή του έγινε με βάση την Βρετανική και Ουαλική Επιτροπή Περιβάλλοντος και σύμφωνα με τη νομοθεσία του Ηνωμένου Βασιλείου, ακολουθώντας τα βήματα που περιγράφονται σε αυτή. Αφορμή για τη δημιουργία του ήταν ένα περιστατικό ρύπανσης στη Μεγάλη Βρετανία, όπου το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε δεν έδωσε ακριβή αποτελέσματα. Αυτό έγινε αντιληπτό κατά την μέτρηση των παραμέτρων στο πεδίο. Έτσι κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία ενός πληρέστερου και ακριβέστερου λογισμικού, το οποίο θα λαμβάνει υπ' όψιν του όλες τις διαδικασίες που πραγματοποιούνται στους υπόγειους υδροφορείς, πάνω στο οποίο θα μπορούσαν να βασιστούν οι επιστήμονες και οι λαμβάνοντες τις αποφάσεις.

Η μεθοδολογία που εφαρμόζεται παρέχει ένα πλαίσιο εργασίας για τον καθορισμό του βαθμού ρύπανσης του εδάφους και του υπόγειου ύδατος, ώστε να προστατευτούν τα υπόγεια αποθέματα ύδατος. Οι δυνατότητες του λογισμικού αυτού είναι μεγάλες, και μπορούν να προσομοιώσουν πολλαπλές πηγές ρύπανσης, πολλαπλές διαδρομές ρύπων καθώς και μεγάλο αριθμό διαφορετικών στρωμάτων εδάφους. Επίσης παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα επιλογής αποδέκτη (πηγάδι παρακολούθησης, πηγάδι άντλησης, ποτάμι).

Το τέταρτο στάδιο του μοντέλου, αποτελεί μία καινοτόμο εφαρμογή, επιτρέποντας στο χρήστη να κάνει τις δικές του παραδοχές για την ταχύτητα και τις παροχές. Έτσι η κατάσταση σε μία περιοχή μπορεί να προσομοιωθεί με ακόμα πιο σαφή τρόπο, δίνοντας παράλληλα περισσότερο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Επίσης η ταυτόχρονη χρησιμοποίηση του Crystal Ball, για την πιθανολογική εφαρμογή, επιτρέπει στο χρήστη να συμπεριλάβει στα αποτελέσματά του την

αβεβαιότητα που μπορεί να περιέχουν τα δεδομένα του. Η εισαγωγή της αβεβαιότητας μπορεί να γίνει με την τριγωνική, την κανονική και την σταθερή κατανομή. Η πιθανολογική εφαρμογή βασίζεται στη μεθοδολογία Monte Carlo, η οποία μέσω του Crystal Ball περιγράφει μαθηματικά την επίδραση του κινδύνου και της αβεβαιότητας πάνω στο πρόβλημα.

Φυσικά, οι αδυναμίες του λογισμικού περιορίζουν τις δυνατότητές του. Η αδυναμία τρισδιάστατης ή ακόμα και δισδιάστατης προσομοίωσης, δεν επιτρέπουν στον χρήστη αλλά και στους υπόλοιπους αρμόδιους φορείς, να έχουν μία πληρέστερη εικόνα του πλουμίου και της κίνησης αυτού. Επίσης το λογισμικό δεν περιέχει καμία βάση δεδομένων όσον αφορά τις επιτρεπτές συγκεντρώσεις των ρυπογόνων ουσιών. Ένα άλλο σημείο αδυναμίας του λογισμικού είναι η μοντελοποίηση δύο διαφορετικών διαπερατοτήτων. Ο καλύτερος τρόπος προσομοίωσης μίας τέτοιας περίπτωσης στο συγκεκριμένο πρόγραμμα, είναι η εφαρμογή του τέταρτου σταδίου και η εισαγωγή σε αυτό ενός άλλου στρώματος με τα ίδια χαρακτηριστικά αλλά με διαφορετική διαπερατότητα. Φυσικά θα πρέπει να γίνουν ορισμένες παραδοχές σχετικά με τις διαδρομές που ακολουθεί ο ρύπος, αφού δεν είναι δυνατόν να ακολουθηθούν οι ίδιες.

Σε γενικές γραμμές τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την εφαρμογή του μοντέλου, είναι θετικά. Εξετάστηκαν δύο περιπτώσεις ρύπανσης του υπόγειου υδροφορέα, για διαφορετικές ρυπογόνες ουσίες (μία ανόργανη και μία οργανική) και εδάφη, και τα αποτελέσματα που προέκυψαν χαρακτηρίζονται ως αντιπροσωπευτικά της εν γένει κατάστασης. Η προσομοίωση που έγινε θα μπορούσε να περιλαμβάνει πολυπλοκότερες συνθήκες και δυσμενέστερες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα η ύπαρξη υπόγειας πηγής ρύπανσης. Τέλος, οι δυνατότητες του μοντέλου που διαπιστώθηκαν κατά τη χρήση του, κρίνεται ότι μπορούν να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων ρύπανσης υπόγειων υδάτων, παρέχοντας ικανοποιητικά και αξιόπιστα αποτελέσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- {1} [Molak V. 1997. Fundamentals of Risk Analysis and Risk Management. Washington, D.C.]
- {2} [Maxwell R. M., W. E. Kastenber 1999. Stochastic environmental risk analysis: an integrated methodology for predicting cancer risk from contaminated groundwater. Springer – Verlag 1999]
- {3} [Θ.Τσούτσος 2002. Σημειώσεις Μαθήματος του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος: Ανάλυση Επικινδυνότητας. Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης]
- {4} [Risk Assessment and Risk Management in Regulatory Decision-Making. The Presidential/Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management. Final Report Vol. 2 1997]
- {5} [Ιστοσελίδα της ESI. Περιγραφή του μοντέλου RAM – Risk Assessment Model. www.groundwatermodels.com]
- {6} [Environmental Simulations International 2001. Benchmarking RAM: ESI's Groundwater Risk Assessment Tool. Report 5303R1D1. July, 2001 (draft)]
- {7} [Θ.Τσούτσος 2002. Σημειώσεις Μαθήματος του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος: Αειφόρος Ανάπτυξη. Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης]
- {8} [Φ.Κολυβά-Μαχαιρά, Ε.Μπόρα-Σεντά, 1999. Στατιστική Θεωρία, Εφαρμογές. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη]
- {9} [Jerald L. Schnoor, 1996. Περιβαλλοντικά Μοντέλα, Τύχη και Μεταφορά Ρύπων στον Αέρα, Νερό και Έδαφος. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη]

- {10} [Γκέκας Β., Σ.Πρωιμάκη, 2000. Φαινόμενα Μεταφοράς για Μηχανικούς Περιβάλλοντος. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη]
- {11} [Γιδαράκος Ε., 2003. Σημειώσεις μαθήματος του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος: Τεχνολογίες Εξυγίανσης Εδαφών και Υπογείων Υδάτων, Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης]
- {12} [Καρατζάς Γ., 2003. Σημειώσεις μαθήματος του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος: Ροή Υπογείων Υδάτων και Μεταφορά Ρύπων. Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης,]
- {13} [Μαριά Ε.Α., 2002. Σημειώσεις μαθήματος του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος: Περιβαλλοντική και Τεχνική Νομοθεσία. Πολυτεχνείο Κρήτης]
- {14} [World Commission on Environment and Development, 1987. *Our Common Future*. New York, Oxford University Press]
- {15} [Στεργιάδη Μ, 2004. Διπλωματική Εργασία: Υδρογεωλογική μελέτη του Β. τμήματος της ν. Ρόδου – Προσομοίωση υπόγειας ροής με χρήση του τρισδιάστατου μοντέλου ροής υπογείων υδάτων και μεταφοράς ρύπων PTC. Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης]
- {16} [Berthouex P.M – L.C.Brown, 1997. Statistics for Environmental Engineers,]
- {17} [Ιστοσελίδα www.groundwater.gr/directives.htm]
- {18} [Τριχάκης Ι. 2004. Διπλωματική Εργασία: Προσομοίωση της υπόγειας ροής και προσδιορισμός της ζώνης υφαλμύρινσης στην βιομηχανική περιοχή Ηρακλείου Κρήτης. Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης]

- {19} [Δόκου Ζ.Α., Μουσκεφταρά Α.Σ., Πάγκαλου Δ.Κ. 2002, Διπλωματική Εργασία: Μοντελοποίηση της υπόγειας ροής και της μεταφοράς νιτρικών στον επιφανειακό υπόγειο υδροφόρα στην περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου. Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης
- {20} [Psarropoulou E., Karatzas G. 2001. Field studies of nitrate mass transfer in the coastal aquifer of Corinth, Greece. Conference Proceedings, Syros, September 2001]
- {21} [Ιστοσελίδα του μοντέλου Crystal Ball: www.crystalball.com]
- {22} [Decisioneering, Inc., 1988-2001. User Manual, Crystal Ball 2000. United States of America]

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

- ✓ *Ψήφισμα του Συμβουλίου της 20^{ης} Φεβρουαρίου 1995 σχετικά με την προστασία των υπογείων υδάτων.*

Με το ψήφισμα αυτό τονίζεται η σημαντικότητα των υπογείων υδάτων ως πηγή πόσιμου νερού αλλά και ως συνιστώσα του υδρολογικού κύκλου και εκφράζεται η ανησυχία για την ποιοτική και ποσοτική τους υποβάθμιση. Προτείνεται η αναθεώρηση της οδηγίας 80/68/ΕΟΚ (η οποία ήδη καταργήθηκε με την οδηγία 2000/60/ΕΚ) και υποστηρίζεται η κατάρτιση προγράμματος δράσης (όπως αυτό αποφασίστηκε από το ψήφισμα της 25^{ης} Φεβρουαρίου 1992) για τη βιώσιμη ανάπτυξη στον τομέα της διαχείρισης των υπογείων υδάτων, μέσω πρόληψης και μείωσης της ρύπανσης και αποκατάστασης των ρυπασμένων υπογείων υδάτων.

Τέλος, η Επιτροπή καλείται να δημιουργήσει, σε συνεργασία με τα κράτη – μέλη, πρόγραμμα για την προστασία των υπογείων υδάτων (Ψήφισμα του Συμβουλίου της 20^{ης} Φεβρουαρίου 1995 σχετικά με την προστασία των υπογείων υδάτων).

- ✓ *Ανακοίνωση της Επιτροπής της 21^{ης} Φεβρουαρίου 1996 σχετικά με την κοινοτική πολιτική στον τομέα των υδάτων.*

Η ανακοίνωση αυτή αναφέρεται στη διαμόρφωση ενιαίας πολιτικής στο θέμα της διατήρησης των υδάτινων πόρων. Στόχοι της πολιτικής αυτής είναι η εξασφάλιση ύδατος (πόσιμου ή μη), ο περιορισμός των φυσικών καταστροφών καθώς και η προστασία και διαφύλαξη του υδάτινου περιβάλλοντος. Στην ανακοίνωση αυτή αναφέρεται ότι η υποβάθμιση των υδατικών πόρων μπορεί να οφείλεται σε ρύπανση από σημειακές και μη σημειακές πηγές, σε οξίνιση, σε ευτροφισμό αλλά και σε τυχαίους παράγοντες.

Η πολιτική διαχείρισης των υδάτινων πόρων θα διέπεται από όλες τις νομικές αρχές του Κοινοτικού Δικαίου Περιβάλλοντος, οι οποίες είναι:

- Η Αρχή της πρόληψης,
- Η Αρχή της προφύλαξης,
- Η Αρχή της επανόρθωσης των περιβαλλοντικών προσβολών κατά προτεραιότητα στην πηγή,
- Η Αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει»,
- Η Αρχή της ενσωμάτωσης.

Αλλα βασικά στοιχεία της πολιτικής αυτής είναι το υψηλό επίπεδο προστασίας, η διεθνής συνεργασία, η χρήση των διαθέσιμων επιστημονικών και τεχνικών δεδομένων, η ποικιλία των περιβαλλοντικών συνθηκών στις διάφορες περιοχές της Κοινότητας, η σχέση κόστους – ωφέλειας και η οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη της Κοινότητας.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι παραπάνω επιδιώξεις, η Επιτροπή διατύπωσε τη σκέψη δημιουργίας μιας οδηγίας – πλαισίου σχετικής με τη διαχείριση των υδάτινων συστημάτων. Η οδηγία αυτή προτάθηκε τέσσερα χρόνια αργότερα και είναι η γνωστή οδηγία 2000/60/EK «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στο πεδίο της πολιτικής υδάτων» (Κοινοτική πολιτική στον τομέα των νερών).

✓ ***Οδηγία 98/83/EK του Συμβουλίου της 3^{ης} Νοεμβρίου 1998 σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.***

Στόχος της παρούσας οδηγίας είναι η καθιέρωση ορίων ποιότητας για το πόσιμο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης με σκοπό την προστασία της ανθρώπινης υγείας από μολυσμένο ύδωρ. Εξαίρεση από την οδηγία αυτή αποτελούν το φυσικό μεταλλικό νερό και το ιαματικό.

Τα κράτη – μέλη πρέπει να μπορούν να δώσουν εγγύηση ότι το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση είναι καθαρό και υγιεινό. Συγκεκριμένα για το πόσιμο ύδωρ πρέπει να μεριμνούν ώστε να μην περιέχει ουσίες (όπως μικροοργανισμούς ή παράσιτα) σε συγκεντρώσεις επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία και να τηρεί τα όρια των μικροβιολογικών, χημικών και ραδιενεργών παραμέτρων.

Προκειμένου να εξασφαλιστούν τα παραπάνω, τα κράτη – μέλη υποχρεούνται να ελέγχουν συχνά την ποιότητα των υδάτων ανθρώπινης κατανάλωσης σύμφωνα με μεθόδους που αναφέρονται στην οδηγία ή άλλες μεθόδους εξίσου αξιόπιστες, επιλέγοντας κατάλληλες θέσεις δειγματοληψίας και θεσπίζοντας προγράμματα ελέγχου. Σε περίπτωση που κάποια νερά δεν τηρούν τα θεσπισμένα όρια (από την οδηγία ή το κράτος – μέλος), απαιτείται η λήψη δράσης για την αποκατάστασή τους και απαγορεύεται ή περιορίζεται η διάθεσή τους, με ταυτόχρονη ενημέρωση των καταναλωτών σχετικά με τα λαμβανόμενα μέτρα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις τα κράτη – μέλη μπορούν να παρεκκλίνουν σε κάποια όρια μέχρι μια μέγιστη τιμή, υπό την προϋπόθεση ότι η παρέκκλιση αυτή δεν είναι επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία, ούτε υπάρχει άλλη εναλλακτική λύση για τη διάθεση πόσιμου νερού σε μια συγκεκριμένη περιοχή και εφόσον δεν ξεπερνάτε διάστημα τριών έως εννέα ετών.

Το κράτος – μέλος υποχρεούται στην εκχώρησή του να αιτιολογεί την παρέκκλιση, εκτός εάν κρίνει ότι δεν είναι σοβαρή, όπως επίσης υποχρεούται να ενημερώνει τον γηγενή πληθυσμό και την Επιτροπή, μέσα σε διάστημα δύο μηνών, στην περίπτωση που η παρέκκλιση αφορά τη διάθεση περισσότερων των 1000 m³ νερού ημερησίως ή τον εφοδιασμό περισσότερων των 5.000 ατόμων.

Σημειώνεται ότι για τα νερά που πωλούνται σε φιάλες ή δοχεία δε μπορεί να υπάρξει παρέκκλιση, ενώ τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε νέες εγκαταστάσεις παρασκευής και διάθεσης πόσιμου νερού δεν επιτρέπεται να περιέχονται στο πόσιμο νερό πέρα από ένα ελάχιστο ποσοστό.

Κάθε τρία χρόνια τα κράτη – μέλη καλούνται να συντάξουν έκθεση σχετική με την ποιότητα του πόσιμου νερού ενώ η Επιτροπή εκπονεί έκθεση σχετική με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης στην Κοινότητα.

Τα κράτη – μέλη έχουν προθεσμία πέντε ετών (και σε εξαιρετικές περιπτώσεις οκτώ ετών) για να συμμορφωθούν με την οδηγία, ενώ η Επιτροπή σε συνεργασία με

εκπροσώπους από τα κράτη – μέλη κάθε πέντε χρόνια τουλάχιστον επανεξετάζει τις καθορισμένες από την οδηγία παραμέτρους.

Τέλος, με την παρούσα οδηγία καταργείται η οδηγία 80/778/ΕΟΚ (Ποιότητα του πόσιμου νερού: νέες διατάξεις). (13) (14) (15)

ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

✓ ***ΚΥΑ Α5/288/86 σχετικά με την ποιότητα του πόσιμου νερού (συμμόρφωση προς την οδηγία 80/778 του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων).***

Η παρούσα απόφαση έχει ως σκοπό την εναρμόνιση της Ελληνικής νομοθεσίας με την οδηγία 80/778 του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. Σύμφωνα με αυτήν, πόσιμο ύδωρ καλείται το ύδωρ που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση, ανεξάρτητα από την προέλευσή του και το αν έχει υποστεί επεξεργασία ή όχι. Το ύδωρ κρίνεται κατάλληλο προς πόση εφόσον οι 65 ποιοτικές παράμετροι που αναφέρονται στο παράρτημα Ι της εν λόγω απόφασης τηρούν τα όρια ανώτατης παραδεκτής συγκέντρωσης και προσεγγίζουν κάποιο ενδεικτικό επίπεδο, όπως αυτά προκύπτουν από πίνακες του παραρτήματος.

Οι προαναφερόμενες παράμετροι διακρίνονται σε έξι κατηγορίες: τέσσερις οργανοληπτικές, δεκαπέντε φυσικοχημικές, εικοσιτέσσερις που αφορούν τις ανεπιθύμητες ουσίες, δεκατρείς που αφορούν τοξικές ουσίες, έξι μικροβιολογικές και τρεις παράμετροι για την ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση στο πόσιμο νερό.

Αρμόδιες αρχές για την υλοποίηση της απόφασης τίθενται οι Υγειονομικές Υπηρεσίες του Υπουργείου Υγείας, Πρόνοιας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων, οι οποίες αναλαμβάνουν τον έλεγχο της τήρησης της οδηγίας από τους υπεύθυνους, την πραγματοποίηση υγειονομικών αναγνωρίσεων των δικτύων ύδρευσης και την ενημέρωση της Κεντρικής Υπηρεσίας του Υπουργείου Υγείας (Διεύθυνση Υγιεινής Περιβάλλοντος) (Νομοθεσία Περιβάλλοντος).

✓ **Νόμος 1739/87 σχετικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων και άλλες διατάξεις.**

Ο Νόμος αυτός αφορά τη θεσμοθέτηση οργάνων και διαδικασιών μέσω των οποίων θα καθίσταται δυνατή η διαχείριση των υδάτινων πόρων, τόσο σε εθνικό όσο και σε περιφερειακό επίπεδο. Διαχείριση των υδάτινων πόρων καλείται το σύνολο των έργων και δραστηριοτήτων που απαιτούνται για την κάλυψη των αναγκών σε νερό και έχει ως σκοπό την αντιμετώπιση της έλλειψης νερού, τον εφοδιασμό με νερό υψηλής ποιότητας, τον προσανατολισμό της ζήτησης νερού σε χρήσεις τέτοιες που να προβλέπονται από τα αναπτυξιακά προγράμματα της χώρας και την ανάπτυξη ερευνητικής δραστηριότητας στον τομέα της προστασίας και αξιοποίησης των υδάτων.

Οι βασικές ρυθμίσεις που υιοθετούνται με το Νόμο αυτό είναι οι ακόλουθες:

- Όσον αφορά τη διοικητική δομή της άσκησης της διαχείρισης, η χώρα διαιρείται σε δεκατέσσερα υδατικά διαμερίσματα, το Υπουργείο Ανάπτυξης τίθεται αρμόδιο για τους φυσικούς πόρους και συνίστανται η Διυπουργική Επιτροπή Υδάτων (ΔΕΥΔ) και δεκατέσσερις περιφερειακές επιτροπές υδάτων (ΠΕΥΔ) για τη λήψη αποφάσεων σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο αντίστοιχα.
- Όσον αφορά τον προγραμματισμό ανάπτυξης των υδατικών πόρων, τα προγράμματα κατηγοριοποιούνται ως μακροχρόνια εθνικά, μεσοχρόνια εθνικά, μεσοχρόνια κατά υδατικό διαμέρισμα και ειδικών σκοπών.
- Όσον αφορά τις ρυθμίσεις που προσανατολίζουν τη ζήτηση νερού, αυτό κατοχυρώνεται ως μέσο για την εξυπηρέτηση των κοινωνικών αναγκών, παρέχεται η δυνατότητα τιμολόγησής του και η εκάστοτε χρήση του καθορίζει το κόστος του.
- Όσον αφορά την προστασία των υδάτων, λαμβάνονται διάφορα μέτρα όπως η επιβολή περιορισμών στη χρήση του νερού, η δέσμευση ποσότητας νερού με σκοπό την προστασία κάθε υδατικού διαμερίσματος, ο καθορισμός ελάχιστης στάθμης νερού στις λίμνες και ελάχιστης παροχής στους ποταμούς και ο έλεγχος οποιασδήποτε δραστηριότητας που μπορεί να επηρεάσει τους υδάτινους πόρους.

Σύμφωνα με το άρθρο 18 του Νόμου 2503/97 τροποποιήθηκαν οι διατάξεις του άρθρου 9 και προστέθηκε νέο άρθρο 9α (Νομοθεσία Περιβάλλοντος). (13) (14) (15)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Η συμπληρωματική συνάρτηση σφάλματος (complementary error function) βρίσκεται υπό μορφή πίνακα όπως φαίνεται στο Παράρτημα Γ, και σχετίζεται με τη συνάρτηση σφάλματος (erf) με την σχέση:

$$\operatorname{erfc}(B) = 1 - \operatorname{erf}(B)$$

Η τιμή του $\operatorname{erfc}(B)$ είναι 0 για όλες τις θετικές τιμές του B μεγαλύτερες του 3, και 1 για τιμή 0. Για μερικές εφαρμογές ίσως είναι αναγκαίο να υπολογισθεί το erfc ενός αρνητικού αριθμού. Ο σχετικός πίνακας του Παραρτήματος Γ, δεν δίνει αρνητικές τιμές του $\operatorname{erfc}(B)$ για αρνητικές τιμές του B . Αυτά υπολογίζονται από την σχέση:

$$\operatorname{erfc}(-B) = 1 + \operatorname{erf}B \quad \text{Το } \operatorname{erf}(B) \text{ ορίζεται ως :}$$

$$\operatorname{erf}(B) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^B e^{-t^2} dt$$

Η παραπάνω εξίσωση δεν λύνεται αναλυτικά. Εντούτοις, υπολογίσθηκε στο παράρτημα Α υπό μορφή πίνακα. Επίσης μπορεί να υπολογισθεί από την αναλυτική εξίσωση:

$$\operatorname{erf}(B) = \sqrt{1 - \exp\left(\frac{-4B^2}{\pi}\right)}$$

Οι τιμές του $\operatorname{erfc}(B)$ κυμαίνονται από 0 έως +2, και η μέγιστη τιμή του είναι 1 για το 3 και όλους τους μεγαλύτερους αριθμούς.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

ΧΡΗΣΙΜΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ

x	erf(x)	erfc(x)	x	erf(x)	erfc(x)
0	0	1,0	1,1	0,880205	0,119795
0,05	0,056372	0,943628	1,2	0,910314	0,089686
0,1	0,112463	0,887537	1,3	0,934008	0,065992
0,15	0,167996	0,832004	1,4	0,952285	0,047715
0,2	0,222703	0,777297	1,5	0,966105	0,033895
0,25	0,276326	0,723674	1,6	0,976348	0,023652
0,3	0,328627	0,671373	1,7	0,983790	0,016210
0,35	0,379382	0,620618	1,8	0,989091	0,010909
0,4	0,428392	0,571608	1,9	0,992790	0,007210
0,45	0,475482	0,524518	2	0,995322	0,004678
0,5	0,520500	0,479500	2,1	0,997021	0,002979
0,55	0,563323	0,436677	2,2	0,998137	0,001863
0,6	0,603856	0,396144	2,3	0,998857	0,001143
0,65	0,642029	0,357971	2,4	0,999311	0,000689
0,7	0,677801	0,322199	2,5	0,999593	0,000407
0,75	0,711156	0,288844	2,6	0,999764	0,000236
0,8	0,742101	0,257899	2,7	0,999866	0,000134
0,85	0,770668	0,229332	2,8	0,999925	0,000075
0,9	0,796908	0,203092	2,9	0,999959	0,000041
0,95	0,820891	0,179109	3	0,999978	0,000022
1	0,842701	0,157299	>3	1	0,000000

Πίνακας 2. Τιμές συνάρτησης erf και erfc

Cations	Σταθερά Διάχυσης ($10^{-10} \text{ m}^2/\text{sec}$)
H ⁺	93,1
Na ⁺	13,3
K ⁺	19,6
Rb ⁺	20,6
Cs ⁺	20,7
Mg ²⁺	7,05
Ca ²⁺	7,93
Sr ²⁺	7,94
Ba ²⁺	8,48
Ra ²⁺	8,89
Mn ²⁺	6,88
Fe ^{2,3+}	7,19/6,07
Cr ³⁺	5,94

Anions	($10^{-9} \text{ m}^2/\text{sec}$)
OH ⁻	5,27
F ⁻	1,46
Cl ⁻	2,03
Br ⁻	2,01
HS ⁻	1,73
HCO ₃ ⁻	1,18
SO ₄ ²⁻	1,07
CO ₃ ²⁻	0,955

Πίνακας 1. Συντελεστές Διάχυσης Ιόντων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

ΕΙΔΙΚΟ ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ

Ακόρεστη Ζώνη, η ζώνη μεταξύ της επιφάνειας εδάφους και της επιφάνειας υπόγειου ύδατος. Οι πόροι περιέχουν ύδωρ σε πίεση μικρότερη της ατμοσφαιρικής, όπως επίσης και αέρα ή άλλα αέρια. Κορεσμένα μέρη είναι δυνατόν να υφίστανται μέσα στην ακόρεστη ζώνη.

Αποδέκτης, η ύπαρξη οργανισμών ή ελεγχόμενου ύδατος το οποίο θα μπορούσε να επηρεαστεί αρνητικά από μία ενδεχόμενη ρυπογόνα ουσία.

Βροχόπτωση Ενεργός, η ποσότητα της βροχής η οποία επανατροφοδοτεί τον υδροφόρα.

Διαδρομή, η πορεία η οποία ακολουθεί στο περιβάλλον ένα μόριο νερού, ουσίας, ή ρύπου.

Διάλυση, μείωση των συγκεντρώσεων των ρυπογόνων ουσιών από την προσθήκη νερού.

Διαπερατότητα, μετρά την ικανότητα μεταφοράς ύδατος στο έδαφος. Προσδιορίζεται ως ο όγκος που θα περάσει από 1m^2 του υδροφόρα για μοναδιαία υδραυλική κλίση.

Διασπορά, το φαινόμενο κατά το οποίο η διαλυμένη ουσία που βρίσκεται στο υπόγειο ύδωρ αναμιγνύεται με καθαρό νερό και διαχέεται κατά μήκος (διαμήκης διασπορά), και κάθετα (κάθετη-εγκάρσια διασπορά) στη ροή. Η διασπορά μπορεί να προκληθεί και από τη διαφορά της ταχύτητας με την οποία κινείται το νερό ανάμεσα στους πόρους αλλά και από τις διαφορές στην κατανομή με την οποία ρέει το ύδωρ από διαφορετικά μονοπάτια.

Διάχυση, μετανάστευση των ουσιών με φυσική κίνηση των μορίων τους.

Εξασθένηση, η μείωση των συγκεντρώσεων των ρύπων, με βιολογικές, φυσικές και χημικές διαδικασίες κατά την παραμονή του στο μέσο. Το γενικό αποτέλεσμα αυτών των διαδικασιών είναι ότι το μέτωπο της διαλυμένης ουσίας μεταναστεύει πιο αργά σε σχέση με τη συμμεταφορά του υπόγειου ύδατος.

Επανορθωτικός Στόχος, ο σκοπός μίας επανορθωτικής δραστηριότητας που εφαρμόζεται σε ένα σημείο εφαρμογής για μία επιθυμητή συγκέντρωση στο έδαφος ή στο υπόγειο ύδωρ.

Επανορθωτική ή Διορθωτική Συγκέντρωση, η απορρέουσα εδαφική συγκέντρωση ή συγκέντρωση υπόγειου ύδατος, πάνω από την οποία είναι απαραίτητη η εξυγίανση του εδάφους. Η επανορθωτική συγκέντρωση καθορίζεται ανάλογα με την περιοχή και αλλάζει για κάθε στάδιο προσομοίωσης.

Επιθυμητή Συγκέντρωση, η συγκέντρωση του χημικού που λαμβάνεται στο σημείο εφαρμογής.

Καθυστέρηση, μείωση της ρυπογόνου μάζας κατά την βιοαποδόμηση, μη αντιστρεπτών αντιδράσεων και ραδιενεργούς εξασθένισης.

Κλάσμα Οργανικού Άνθρακα, το κλάσμα του οργανικού άνθρακα που βρίσκεται στο ίζημα.

Κορεσμένη Ζώνη, η ζώνη στην οποία τα κενά του εδάφους, πληρώνονται με ύδωρ με πίεση μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική.

Μειούμενη Πηγή, ένας όρος για την πηγή που περιγράφει μειούμενες συγκεντρώσεις. Για παράδειγμα, όπου η εδαφική πηγή της ρύπανσης μεγαλώνει με επανατροφοδότηση. Αυτό συνεπάγεται μία μείωση στην φόρτιση ρύπων δια μέσου του εδάφους κατά τη διάρκεια του χρόνου.

Μετατροπή Laplace, μία μαθηματική μέθοδος η οποία επιτρέπει την επίλυση μη γραμμικών εξισώσεων.

Προσομοίωση Monte Carlo, ένα σύστημα που χρησιμοποιεί τυχαίους αριθμούς για να εκτιμήσει τα αποτελέσματα της αβεβαιότητας σε ένα μοντέλο.

Πορώδες, η αναλογία του όγκου των κενών των πόρων στο έδαφος και του ολικού όγκου του εδάφους.

Πορώδες Ύδωρ, το ελεύθερο ύδωρ (που δεν έχει απορροφηθεί από το έδαφος) που βρίσκεται στο κενό των πόρων και σε σχισμές του εδάφους, τόσο στην ακόρεστη όσο και στην κορεσμένη ζώνη.

Σημείο Εφαρμογής, σχετίζεται με την τοποθεσία όπου οι επανορθωτικοί στόχοι συγκέντρωσης πρέπει να επιτευχθούν.

Σταθερά νόμου του Henry, παράγοντας ο οποίος παρουσιάζει το συντελεστή ισορροπίας μεταξύ μίας διαλυμένης ουσίας στο νερό και των ατμών αυτού.

Στρεβλότητα, ο λόγος του πραγματικού μήκους ενός υπόγειου υδροφορέα προς την απόσταση μίας ευθείας γραμμής μεταξύ δύο σημείων του υδροφορέα (Fetter, 1994).

Συμμεταφορά, μεταφορά μάζας προκαλούμενη από κίνηση σωμάτων στη ροή υπογείου ύδατος.

Συντελεστής Διαμερισματοποίησης, σε ένα σύστημα δύο ή περισσότερων φάσεων ισορροπίας, η αναλογία των συγκεντρώσεων μίας ουσίας στις διάφορες φάσεις είναι σταθερή εάν η θερμοκρασία δεν μεταβάλλεται. Αυτή η σταθερά ονομάζεται συντελεστής διαμερισματοποίησης.

Ταχύτητα, γραμμικός μέσος ταχύτητας υπόγειου ύδατος στη διεύθυνση της ροής.

Υδραυλική Αγωγιμότητα, ο συντελεστής της αναλογικότητας που περιγράφει το ρυθμό με τον οποίο μπορεί να κινηθεί το ύδωρ δια μέσου διαπερατού εδάφους. (Fetter, 1994)

Υδραυλική Κλίση, η κλίση του υδραυλικού ύψους σε ένα σημείο. Μπορεί να οριστεί ως η αλλαγή στο συνολικό ύψος πέρα από την απόσταση στην κατεύθυνση της μέγιστης κλίσης της στάθμης νερού κάθετα ή οριζόντια. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί με την παρεμβολή των τιμών του ύψους στα γνωστά σημεία, π.χ. από έναν χάρτη περιγράμματος ή ένα διαγώνιο τμήμα.

Υδραυλικό Ύψος, το άθροισμα του ύψους πίεσης, ταχύτητας, και υψομέτρου σε ένα δεδομένο σημείο του υδροφορέα.

Υδροφορέας, ένα διαπερατό γεωλογικό στρώμα ή σχηματισμός, ο οποίος έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει αλλά και να διακινεί μεγάλες ποσότητες ύδατος.

Υπόγειο Ύδωρ, η μάζα του ύδατος που βρίσκεται στο έδαφος, στην κορεσμένη ζώνη, και καταλαμβάνει τον συνολικό χώρο του εδαφικού πορώδους, και η οποία κινείται αργά εξαιτίας την υδραυλικής κλίσης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΟΥΛΛΙΤΣΑΣ

ΕΙΚΟΝΑ ΠΟΥΛΛΙΤΣΑΣ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ

ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ CRYSTAL BALL ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΟΥΛΛΙΤΣΑ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ Πιθανολογική Αναφορά Crystal Ball για την Πουλλίτσα

Crystal Ball Report

Simulation started on 24/10/04 at 14:27:50

Simulation stopped on 24/10/04 at 14:46:45

Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice1

Cell: B9

Summary:

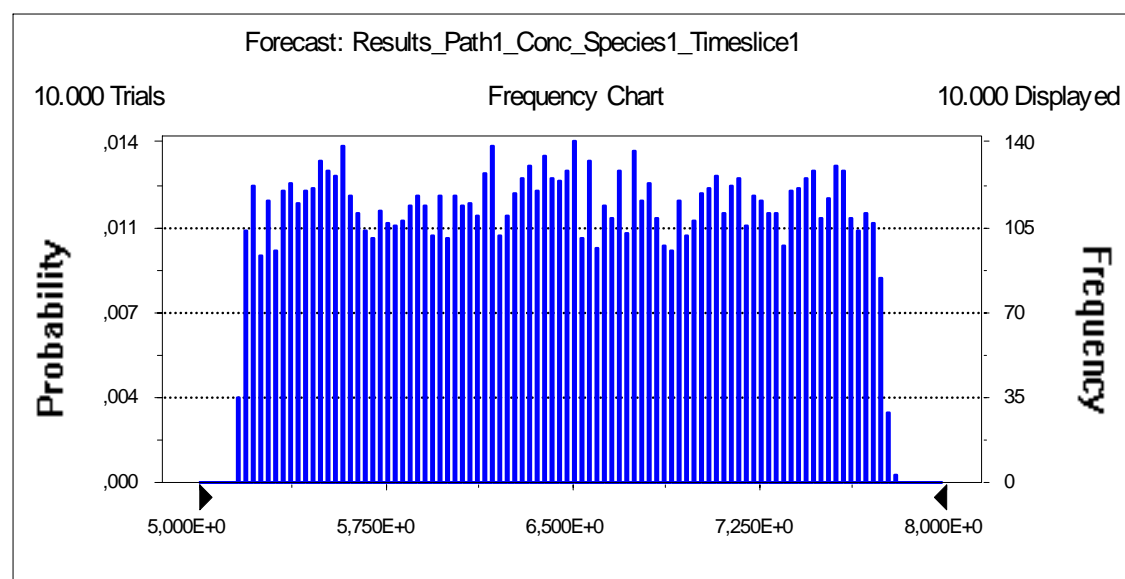
Display Range is from 5,000E+0 to 8,000E+0

Entire Range is from 5,155E+0 to 7,800E+0

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 7,443E-3

Statistics:

	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	6,466E+00
Median	6,461E+00
Mode	---
Standard Deviation	7,443E-01
Variance	5,540E-01
Skewness	0,00
Kurtosis	1,81
Coeff. of Variability	0,12
Range Minimum	5,155E+00
Range Maximum	7,800E+00
Range Width	2,646E+00
Mean Std. Error	7,443E-03



Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice1 (cont'd)

Cell: B9

Percentile	Value
0%	5,155E+00
10%	5,439E+00
20%	5,684E+00
30%	5,957E+00
40%	6,216E+00
50%	6,461E+00
60%	6,713E+00
70%	6,986E+00
80%	7,240E+00
90%	7,499E+00
100%	7,800E+00

Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice2

Cell: B10

Summary:

Display Range is from 2,750E+1 to 4,250E+1

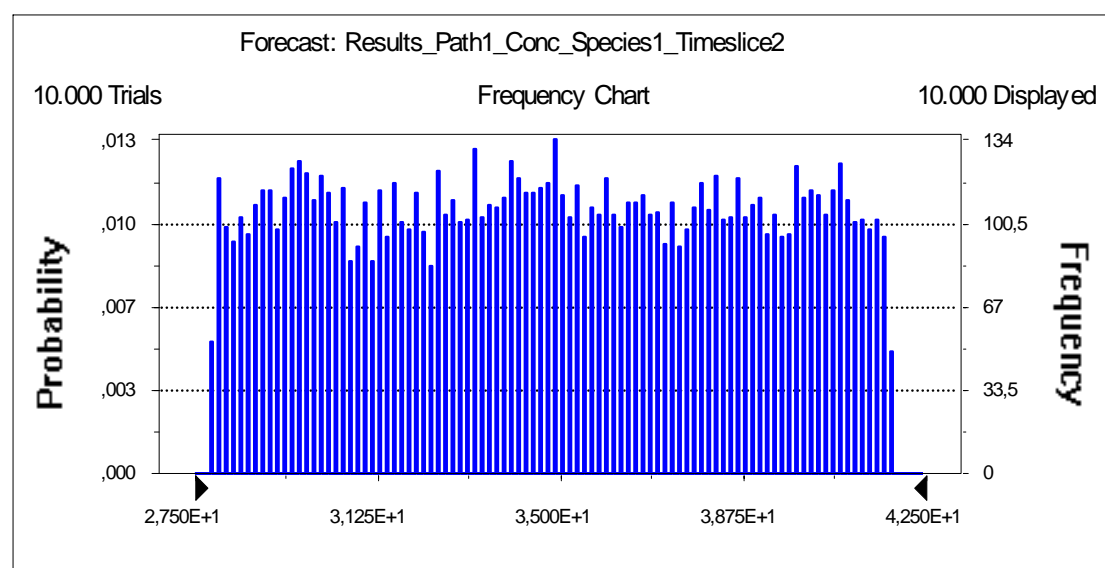
Entire Range is from 2,787E+1 to 4,181E+1

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 4,010E-2

Statistics:

	Value
Trials	10000
Mean	3,483E+01
Median	3,481E+01
Mode	---
Standard Deviation	4,010E+00

Variance	1,608E+01
Skewness	0,00
Kurtosis	1,81
Coeff. of Variability	0,12
Range Minimum	2,787E+01
Range Maximum	4,181E+01
Range Width	1,394E+01
Mean Std. Error	4,010E-02



Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice2 (cont'd)

Cell: B10

Percentiles:

<u>Percentile</u>	<u>Value</u>
0%	2,787E+01
10%	2,930E+01
20%	3,061E+01
30%	3,209E+01
40%	3,350E+01
50%	3,481E+01
60%	3,617E+01
70%	3,764E+01
80%	3,900E+01
90%	4,040E+01
100%	4,181E+01

Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice3

Cell: B11

Summary:

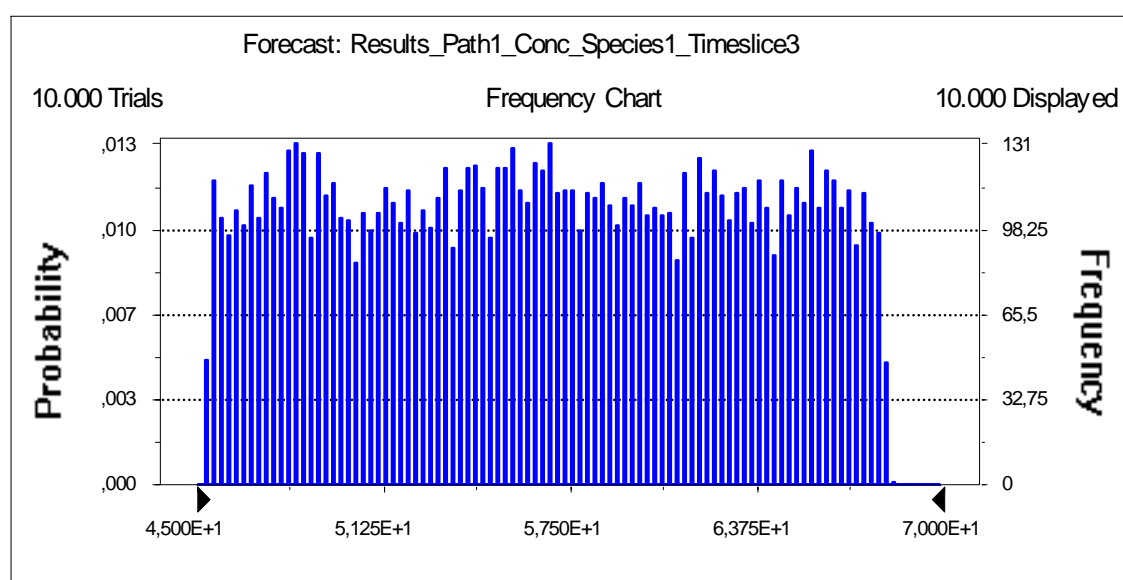
Display Range is from 4,500E+1 to 7,000E+1

Entire Range is from 4,530E+1 to 6,827E+1

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 6,531E-2

Statistics:

	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	5,673E+01
Median	5,669E+01
Mode	---
Standard Deviation	6,531E+00
Variance	4,265E+01
Skewness	0,00
Kurtosis	1,81
Coeff. of Variability	0,12
Range Minimum	4,530E+01
Range Maximum	6,827E+01
Range Width	2,297E+01
Mean Std. Error	6,531E-02



Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice3 (cont'd)

Cell: B11

Percentiles:

<u>Percentile</u>	<u>Value</u>
0%	4,530E+01
10%	4,771E+01
20%	4,983E+01
30%	5,226E+01
40%	5,454E+01
50%	5,669E+01
60%	5,889E+01
70%	6,128E+01
80%	6,350E+01
90%	6,579E+01
100%	6,827E+01

Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice4

Cell: B12

Summary:

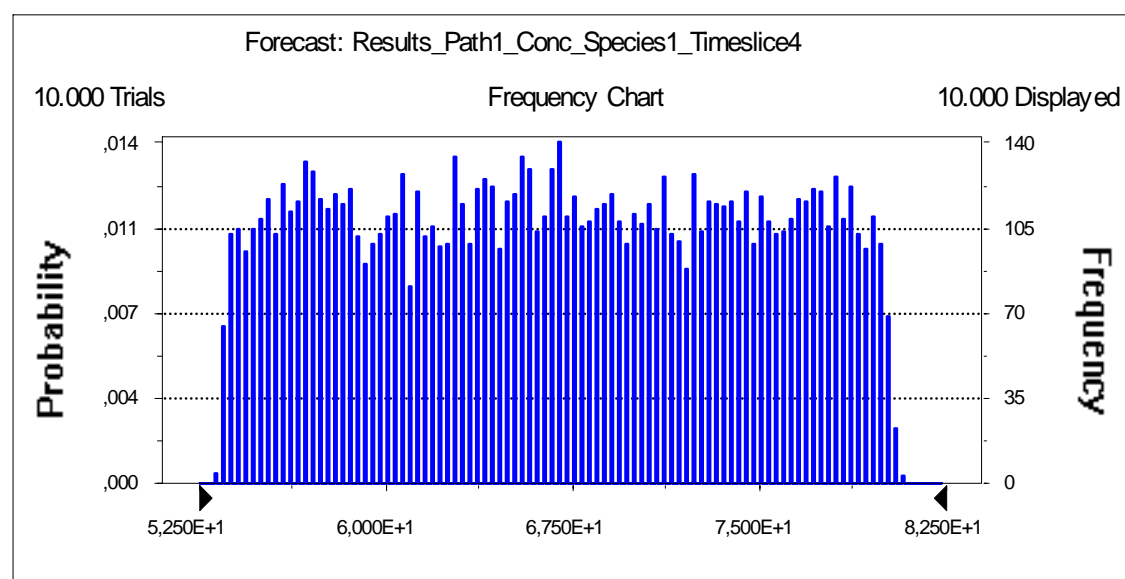
Display Range is from 5,250E+1 to 8,250E+1

Entire Range is from 5,329E+1 to 8,077E+1

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 7,709E-2

Statistics:

	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	6,693E+01
Median	6,689E+01
Mode	---
Standard Deviation	7,709E+00
Variance	5,942E+01
Skewness	0,00
Kurtosis	1,81
Coeff. of Variability	0,12
Range Minimum	5,329E+01
Range Maximum	8,077E+01
Range Width	2,747E+01
Mean Std. Error	7,709E-02



Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice4 (cont'd)

Cell: B12

Percentiles:

<u>Percentile</u>	<u>Value</u>
0%	5,329E+01
10%	5,627E+01
20%	5,878E+01
30%	6,163E+01
40%	6,435E+01
50%	6,689E+01
60%	6,950E+01
70%	7,230E+01
80%	7,495E+01
90%	7,762E+01
100%	8,077E+01

Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice5

Cell: B13

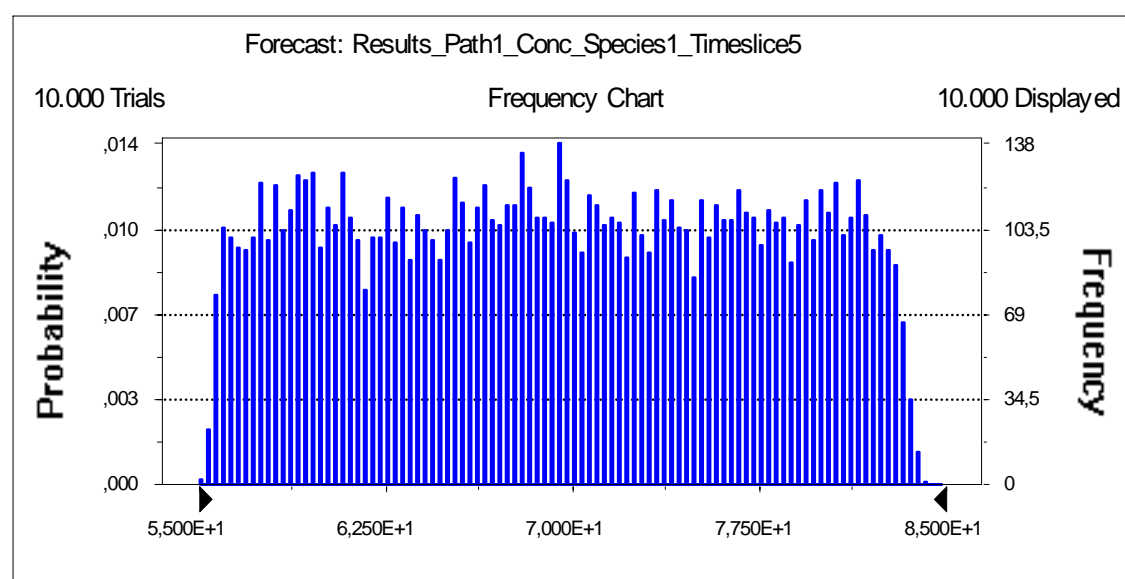
Summary:

Display Range is from 5,500E+1 to 8,500E+1

Entire Range is from 5,520E+1 to 8,416E+1

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 8,013E-2

Statistics:	Value
Trials	10000
Mean	6,954E+01
Median	6,949E+01
Mode	---
Standard Deviation	8,013E+00
Variance	6,421E+01
Skewness	0,00
Kurtosis	1,81
Coeff. of Variability	0,12
Range Minimum	5,520E+01
Range Maximum	8,416E+01
Range Width	2,896E+01
Mean Std. Error	8,013E-02



Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice5 (cont'd)

Cell: B13

Percentiles:

Percentile	Value
0%	5,520E+01
10%	5,848E+01
20%	6,109E+01
30%	6,405E+01

40%	6,683E+01
50%	6,949E+01
60%	7,220E+01
70%	7,509E+01
80%	7,786E+01
90%	8,064E+01
100%	8,416E+01

Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T

Cell: B24

Summary:

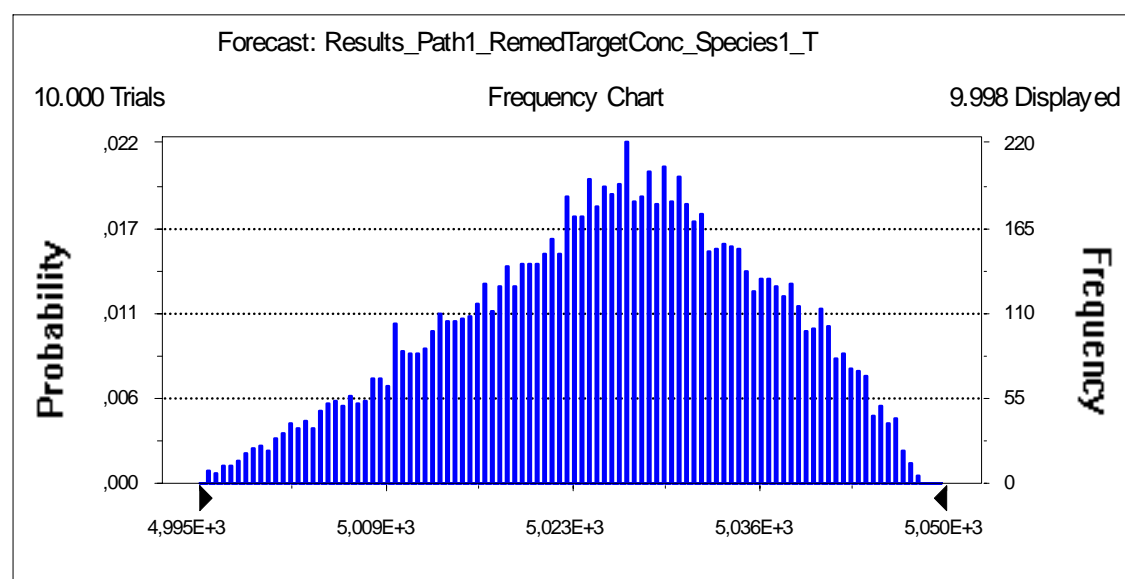
Display Range is from 4,995E+3 to 5,050E+3

Entire Range is from 4,994E+3 to 5,048E+3

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 1,110E-1

Statistics:

	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	5,025E+03
Median	5,026E+03
Mode	---
Standard Deviation	1,111E+01
Variance	1,234E+02
Skewness	-0,28
Kurtosis	2,46
Coeff. of Variability	0,00
Range Minimum	4,994E+03
Range Maximum	5,048E+03
Range Width	5,369E+01
Mean Std. Error	1,111E-01



Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T (cont'd)

Cell: B24

Percentiles:

<u>Percentile</u>	<u>Value</u>
0%	4,994E+03
10%	5,010E+03
20%	5,015E+03
30%	5,020E+03
40%	5,023E+03
50%	5,026E+03
60%	5,029E+03
70%	5,032E+03
80%	5,035E+03
90%	5,040E+03
100%	5,048E+03

Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T

Cell: B25

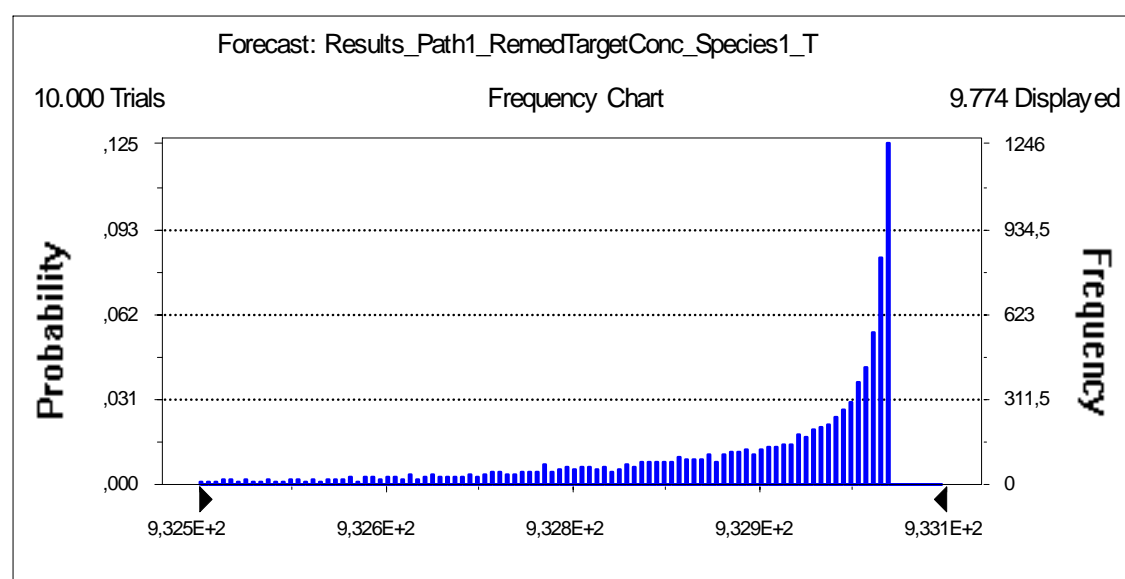
Summary:

Display Range is from 9,325E+2 to 9,331E+2

Entire Range is from 9,322E+2 to 9,330E+2

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 1,517E-3

Statistics:	Value
Trials	10000
Mean	9,329E+02
Median	9,329E+02
Mode	---
Standard Deviation	1,518E-01
Variance	2,304E-02
Skewness	-1,52
Kurtosis	4,83
Coeff. of Variability	0,00
Range Minimum	9,322E+02
Range Maximum	9,330E+02
Range Width	8,030E-01
Mean Std. Error	1,518E-03



Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T (cont'd)

Cell: B25

Percentiles:

<u>Percentile</u>	<u>Value</u>
0%	9,322E+02
10%	9,326E+02
20%	9,328E+02
30%	9,328E+02

40%	9,329E+02
50%	9,329E+02
60%	9,330E+02
70%	9,330E+02
80%	9,330E+02
90%	9,330E+02
100%	9,330E+02

Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T

Cell: B26

Summary:

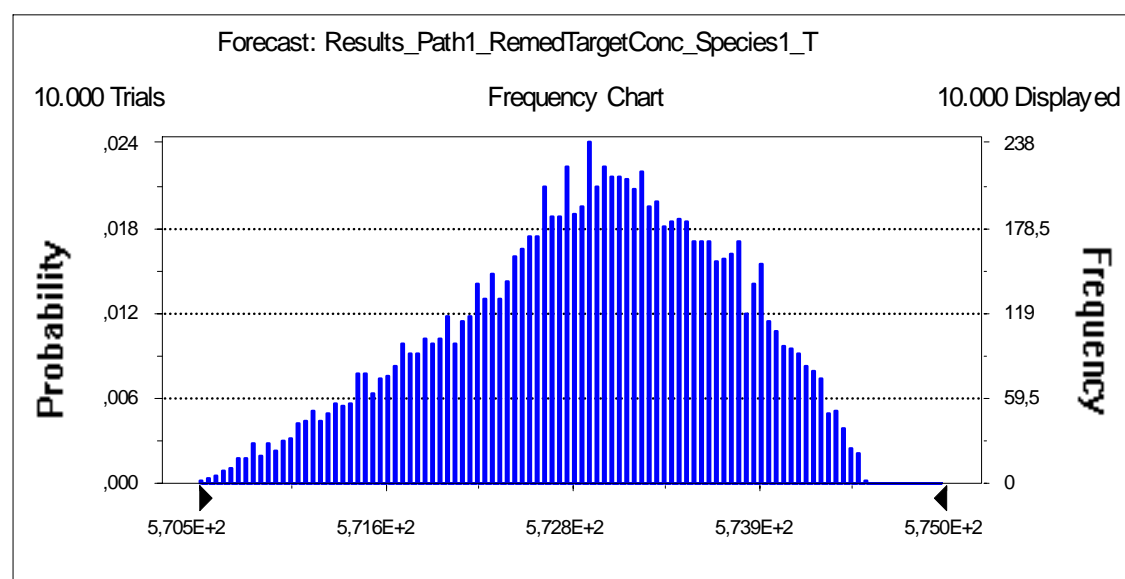
Display Range is from 5,705E+2 to 5,750E+2

Entire Range is from 5,705E+2 to 5,745E+2

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 8,295E-3

Statistics:

	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	5,728E+02
Median	5,729E+02
Mode	---
Standard Deviation	8,295E-01
Variance	6,880E-01
Skewness	-0,34
Kurtosis	2,53
Coeff. of Variability	0,00
Range Minimum	5,705E+02
Range Maximum	5,745E+02
Range Width	4,032E+00
Mean Std. Error	8,295E-03



Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T (cont'd)

Cell: B26

Percentiles:

<u>Percentile</u>	<u>Value</u>
0%	5,705E+02
10%	5,717E+02
20%	5,721E+02
30%	5,724E+02
40%	5,727E+02
50%	5,729E+02
60%	5,731E+02
70%	5,733E+02
80%	5,736E+02
90%	5,739E+02
100%	5,745E+02

Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T

Cell: B27

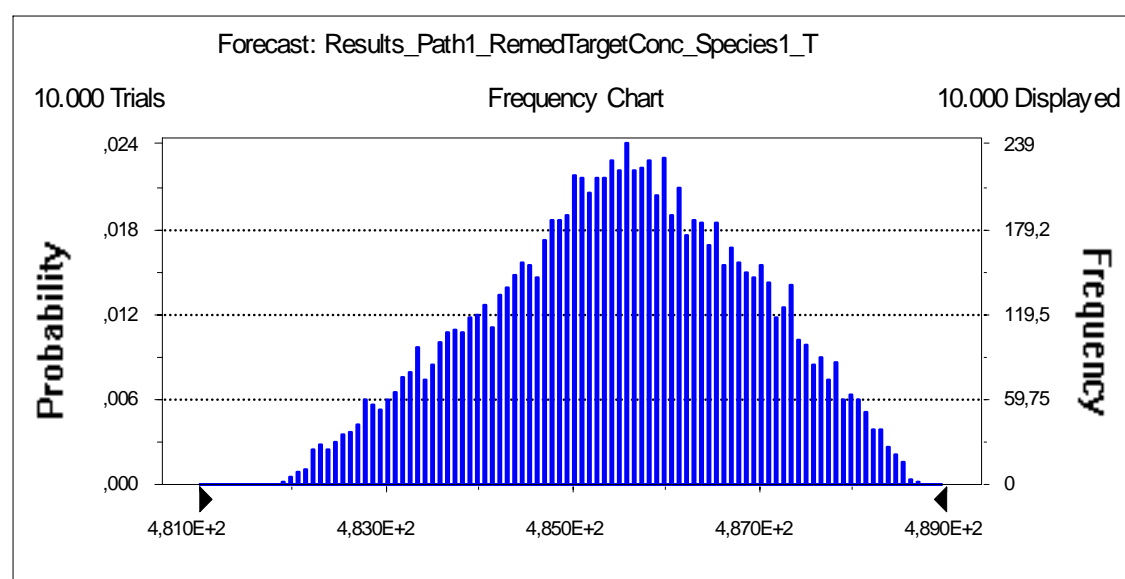
Summary:

Display Range is from 4,810E+2 to 4,890E+2

Entire Range is from 4,819E+2 to 4,887E+2

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 1,394E-2

Statistics:	Value
Trials	10000
Mean	4,855E+02
Median	4,856E+02
Mode	---
Standard Deviation	1,394E+00
Variance	1,944E+00
Skewness	-0,14
Kurtosis	2,43
Coeff. of Variability	0,00
Range Minimum	4,819E+02
Range Maximum	4,887E+02
Range Width	6,791E+00
Mean Std. Error	1,394E-02



Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T (cont'd)

Cell: B27

Percentiles:

Percentile	Value
0%	4,819E+02
10%	4,836E+02
20%	4,843E+02
30%	4,848E+02

40%	4,852E+02
50%	4,856E+02
60%	4,859E+02
70%	4,863E+02
80%	4,868E+02
90%	4,874E+02
100%	4,887E+02

Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T

Cell: B28

Summary:

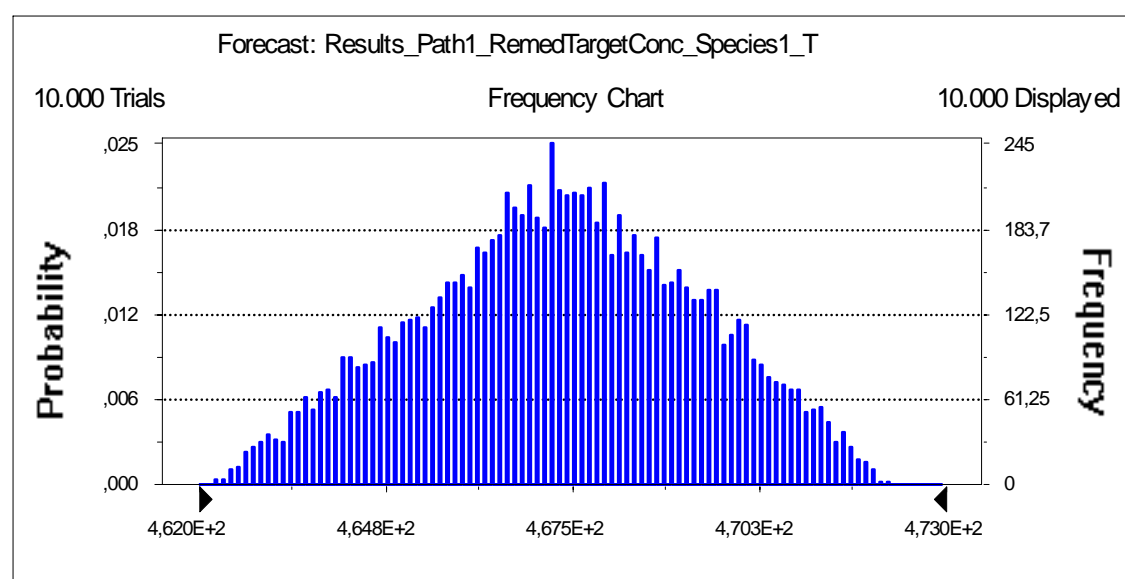
Display Range is from 4,620E+2 to 4,730E+2

Entire Range is from 4,623E+2 to 4,722E+2

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 2,036E-2

Statistics:

	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	4,673E+02
Median	4,674E+02
Mode	---
Standard Deviation	2,036E+00
Variance	4,145E+00
Skewness	-0,07
Kurtosis	2,41
Coeff. of Variability	0,00
Range Minimum	4,623E+02
Range Maximum	4,722E+02
Range Width	9,916E+00
Mean Std. Error	2,036E-02



Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T (cont'd)

Cell: B28

Percentiles:

Percentile	Value
0%	4,623E+02
10%	4,645E+02
20%	4,655E+02
30%	4,662E+02
40%	4,668E+02
50%	4,674E+02
60%	4,679E+02
70%	4,685E+02
80%	4,692E+02
90%	4,700E+02
100%	4,722E+02

Forecast: Results_DF_Path1

Cell: B37

Summary:

Display Range is from 1,875E+0 to 2,100E+0

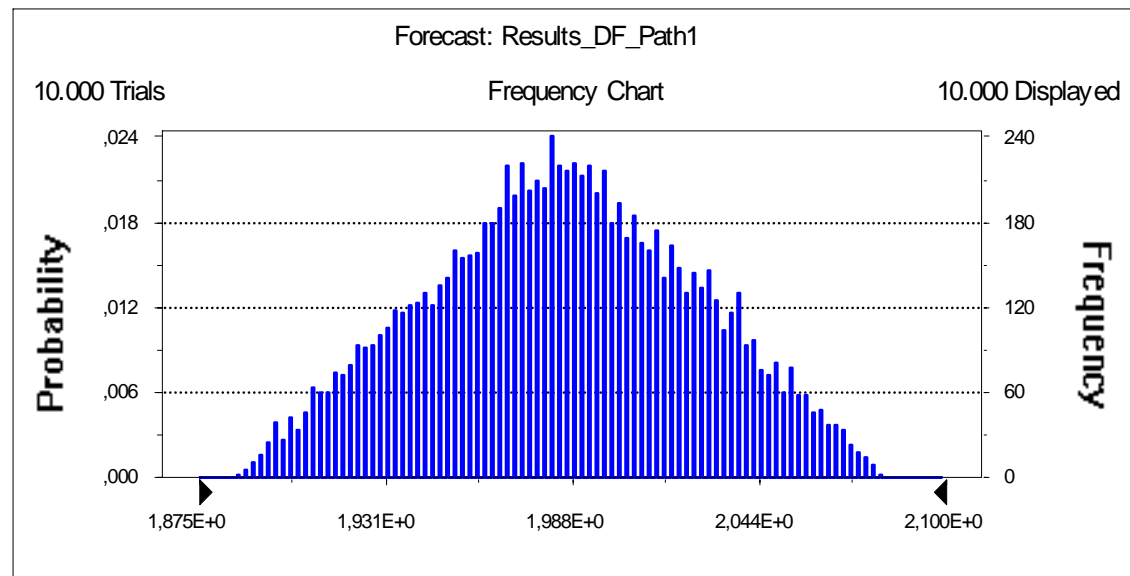
Entire Range is from 1,888E+0 to 2,082E+0

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 4,003E-4

Statistics:

Value

Trials	10000
Mean	1,985E+00
Median	1,985E+00
Mode	---
Standard Deviation	4,003E-02
Variance	1,603E-03
Skewness	-0,02
Kurtosis	2,40
Coeff. of Variability	0,02
Range Minimum	1,888E+00
Range Maximum	2,082E+00
Range Width	1,947E-01
Mean Std. Error	4,003E-04



Forecast: Results_DF_Path1 (cont'd)

Cell: B37

Percentiles:

Percentile	Value
0%	1,888E+00
10%	1,930E+00
20%	1,949E+00
30%	1,963E+00
40%	1,974E+00

50%	1,985E+00
60%	1,995E+00
70%	2,007E+00
80%	2,021E+00
90%	2,039E+00
100%	2,082E+00

Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice1

Cell: B45

Summary:

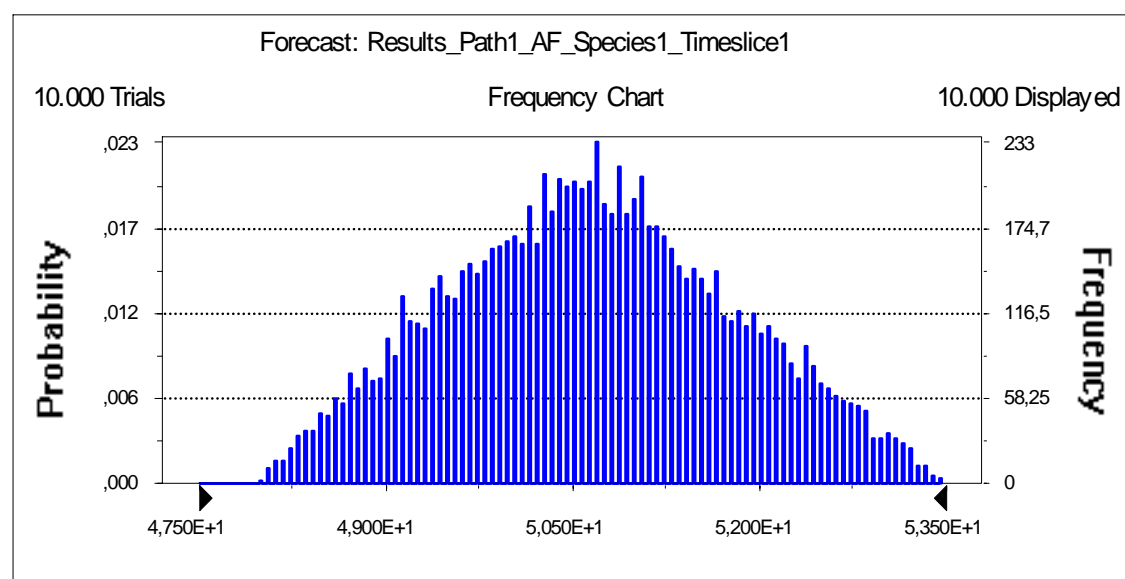
Display Range is from 4,750E+1 to 5,350E+1

Entire Range is from 4,797E+1 to 5,348E+1

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 1,134E-2

Statistics:

	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	5,066E+01
Median	5,064E+01
Mode	---
Standard Deviation	1,134E+00
Variance	1,287E+00
Skewness	0,07
Kurtosis	2,41
Coeff. of Variability	0,02
Range Minimum	4,797E+01
Range Maximum	5,348E+01
Range Width	5,517E+00
Mean Std. Error	1,134E-02



Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice1 (cont'd)

Cell: B45

Percentiles:

Percentile	Value
0%	4,797E+01
10%	4,915E+01
20%	4,963E+01
30%	5,002E+01
40%	5,035E+01
50%	5,064E+01
60%	5,094E+01
70%	5,126E+01
80%	5,167E+01
90%	5,221E+01
100%	5,348E+01

Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice2

Cell: B46

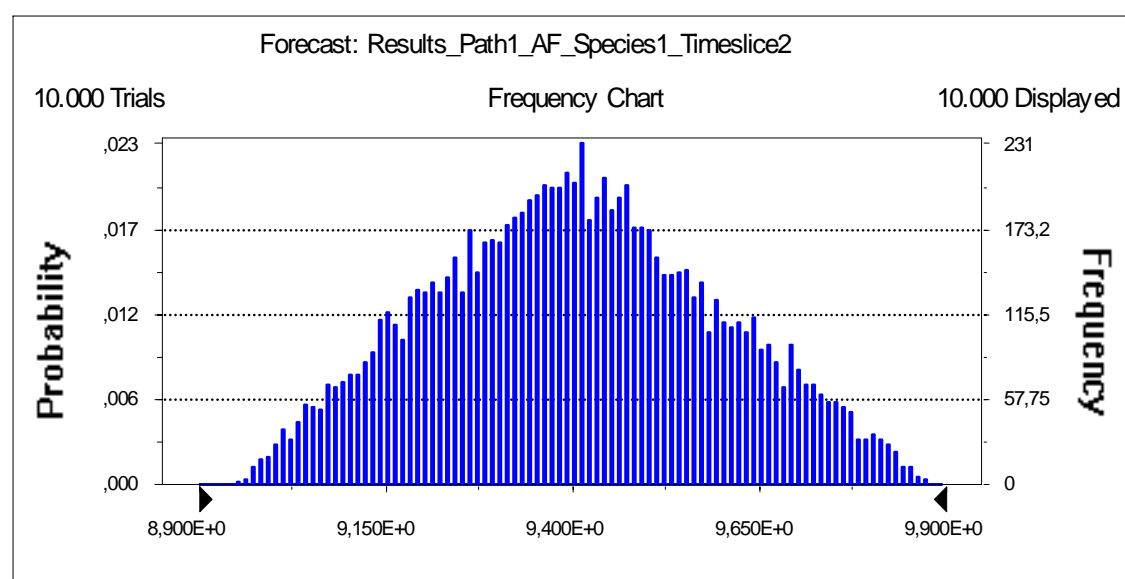
Summary:

Display Range is from 8,900E+0 to 9,900E+0

Entire Range is from 8,953E+0 to 9,878E+0

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 1,901E-3

Statistics:	Value
Trials	10000
Mean	9,404E+00
Median	9,401E+00
Mode	---
Standard Deviation	1,901E-01
Variance	3,614E-02
Skewness	0,07
Kurtosis	2,41
Coeff. of Variability	0,02
Range Minimum	8,953E+00
Range Maximum	9,878E+00
Range Width	9,247E-01
Mean Std. Error	1,901E-03



Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice2 (cont'd)

Cell: B46

Percentiles:

Percentile	Value
0%	8,953E+00
10%	9,150E+00
20%	9,232E+00
30%	9,297E+00

40%	9,352E+00
50%	9,401E+00
60%	9,451E+00
70%	9,505E+00
80%	9,574E+00
90%	9,665E+00
100%	9,878E+00

Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice3

Cell: B47

Summary:

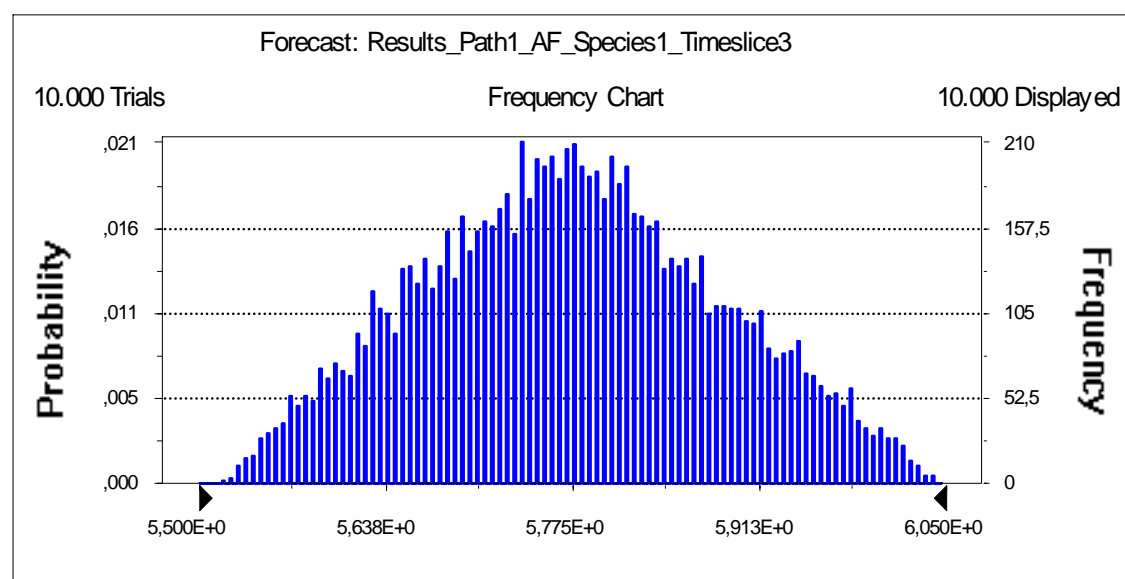
Display Range is from 5,500E+0 to 6,050E+0

Entire Range is from 5,518E+0 to 6,045E+0

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 1,082E-3

Statistics:

	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	5,775E+00
Median	5,773E+00
Mode	---
Standard Deviation	1,082E-01
Variance	1,172E-02
Skewness	0,08
Kurtosis	2,41
Coeff. of Variability	0,02
Range Minimum	5,518E+00
Range Maximum	6,045E+00
Range Width	5,265E-01
Mean Std. Error	1,082E-03



Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice3 (cont'd)

Cell: B47

Percentiles:

<u>Percentile</u>	<u>Value</u>
0%	5,518E+00
10%	5,630E+00
20%	5,676E+00
30%	5,713E+00
40%	5,745E+00
50%	5,773E+00
60%	5,801E+00
70%	5,832E+00
80%	5,871E+00
90%	5,923E+00
100%	6,045E+00

Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice4

Cell: B48

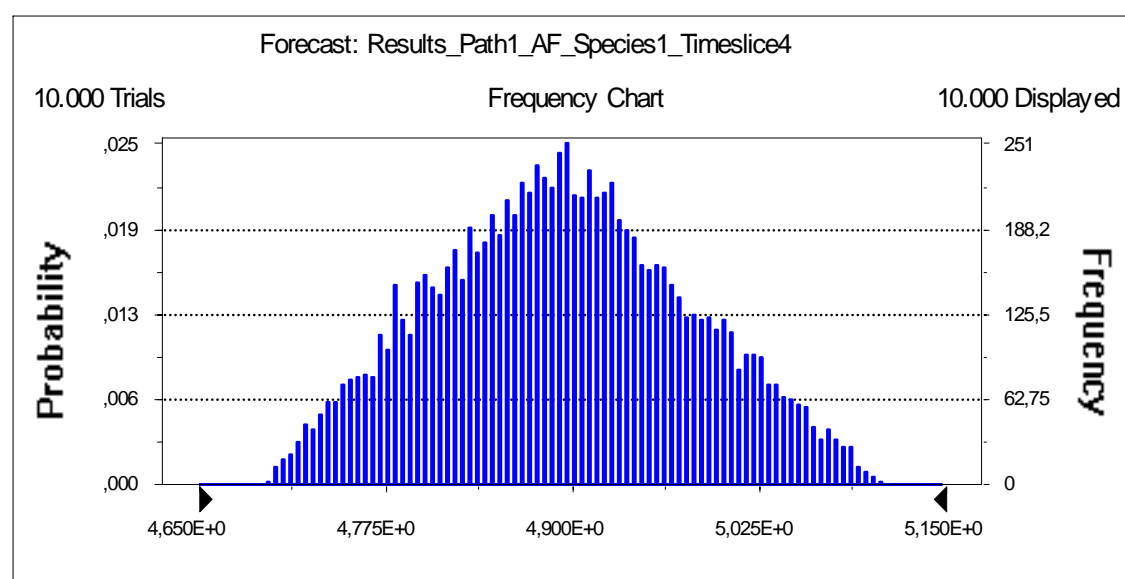
Summary:

Display Range is from 4,650E+0 to 5,150E+0

Entire Range is from 4,694E+0 to 5,106E+0

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 8,475E-4

Statistics:	Value
Trials	10000
Mean	4,894E+00
Median	4,893E+00
Mode	---
Standard Deviation	8,475E-02
Variance	7,182E-03
Skewness	0,08
Kurtosis	2,41
Coeff. of Variability	0,02
Range Minimum	4,694E+00
Range Maximum	5,106E+00
Range Width	4,122E-01
Mean Std. Error	8,475E-04



Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice4 (cont'd)

Cell: B48

Percentiles:

Percentile	Value
0%	4,694E+00
10%	4,781E+00
20%	4,817E+00
30%	4,846E+00

40%	4,871E+00
50%	4,893E+00
60%	4,915E+00
70%	4,939E+00
80%	4,970E+00
90%	5,010E+00
100%	5,106E+00

Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice5

Cell: B49

Summary:

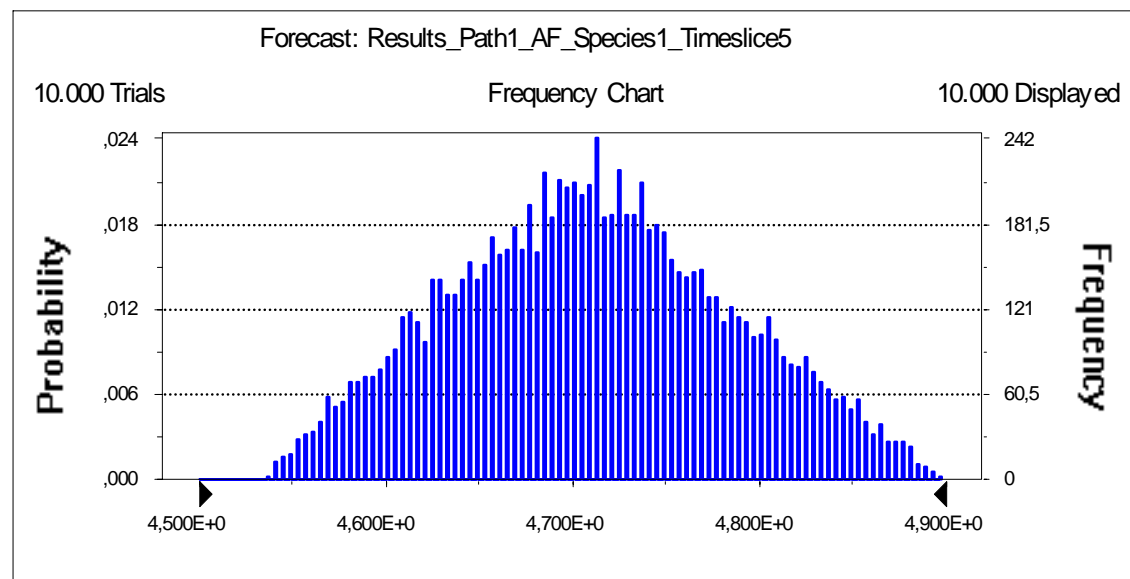
Display Range is from 4,500E+0 to 4,900E+0

Entire Range is from 4,535E+0 to 4,898E+0

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 7,457E-4

Statistics:

	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	4,711E+00
Median	4,709E+00
Mode	---
Standard Deviation	7,457E-02
Variance	5,561E-03
Skewness	0,09
Kurtosis	2,41
Coeff. of Variability	0,02
Range Minimum	4,535E+00
Range Maximum	4,898E+00
Range Width	3,627E-01
Mean Std. Error	7,457E-04



Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice5 (cont'd)

Cell: B49

Percentiles:

<u>Percentile</u>	<u>Value</u>
0%	4,535E+00
10%	4,611E+00
20%	4,643E+00
30%	4,668E+00
40%	4,690E+00
50%	4,709E+00
60%	4,729E+00
70%	4,750E+00
80%	4,777E+00
90%	4,813E+00
100%	4,898E+00

Assumptions

Assumption: sand_and_gravel Hydraulic_Conductivity

[poulitsa3-all.xls]Hydrogeology - Cell: C19

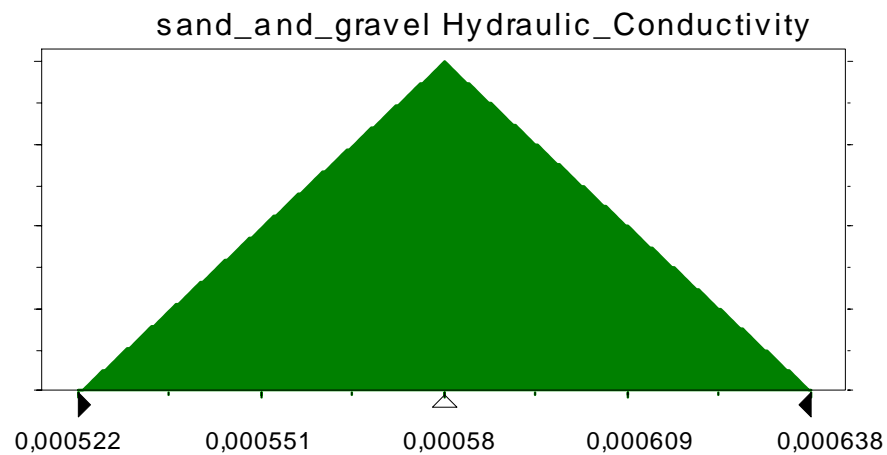
Triangular distribution with parameters:

Minimum (=C21)

Likeliest (=C22)
Maximum (=C23)

Selected range is from -Infinity to +Infinity

** Cell references are dynamic **



Assumption: saturated_grave Hydraulic_Conductivity

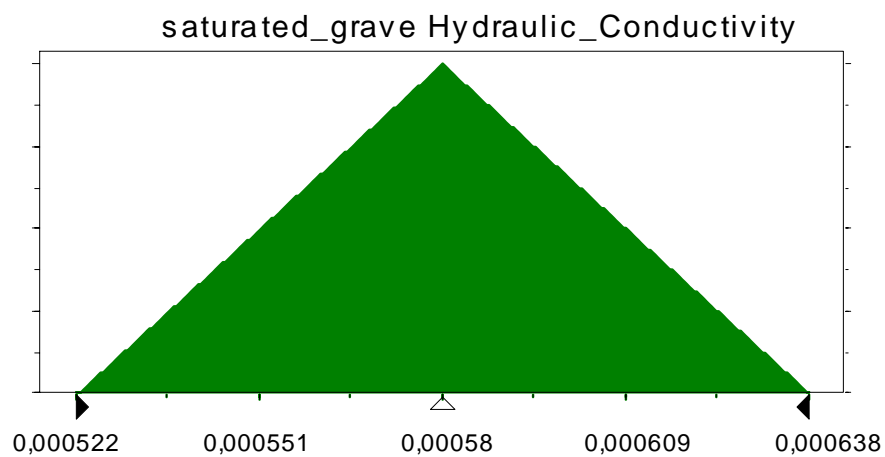
[poulitsa3-all.xls]Hydrogeology - Cell: D19

Triangular distribution with parameters:

Minimum (=D21)
Likeliest (=D22)
Maximum (=D23)

Selected range is from -Infinity to +Infinity

** Cell references are dynamic **



Assumption: Poulitsa_Species1 Pore_water_concentrati

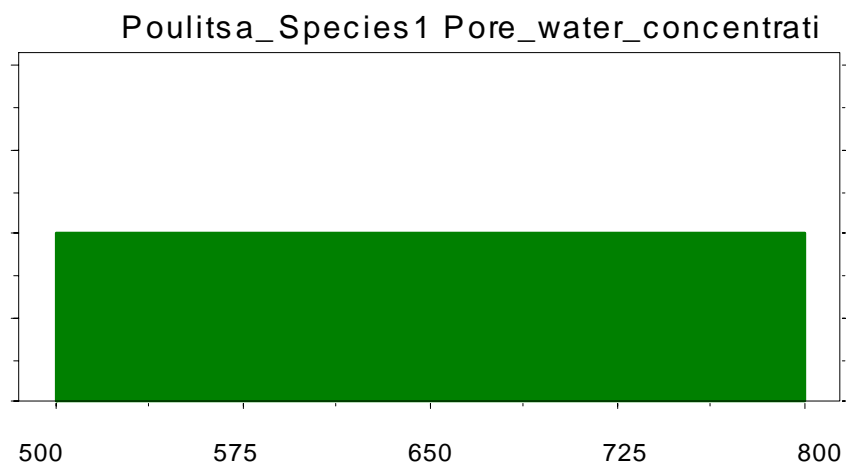
[poulitsa3-all.xls]Poulitsa - Cell: C75

Uniform distribution with parameters:

Minimum 5 20(=C77)

Maximum 7 80(=C78)

**** Cell references are dynamic ****



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ

ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ CRYSTAL BALL ΓΙΑ ΤΗ ΒΙ.ΠΕ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ Πιθανολογική Αναφορά Crystal Ball για τη ΒΙ.ΠΕ.

Crystal Ball Report

Simulation started on 27/10/04 at 13:40:28

Simulation stopped on 27/10/04 at 13:48:49

Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice1

Cell: B9

Summary:

Display Range is from 4,250E-5 to 6,000E-5

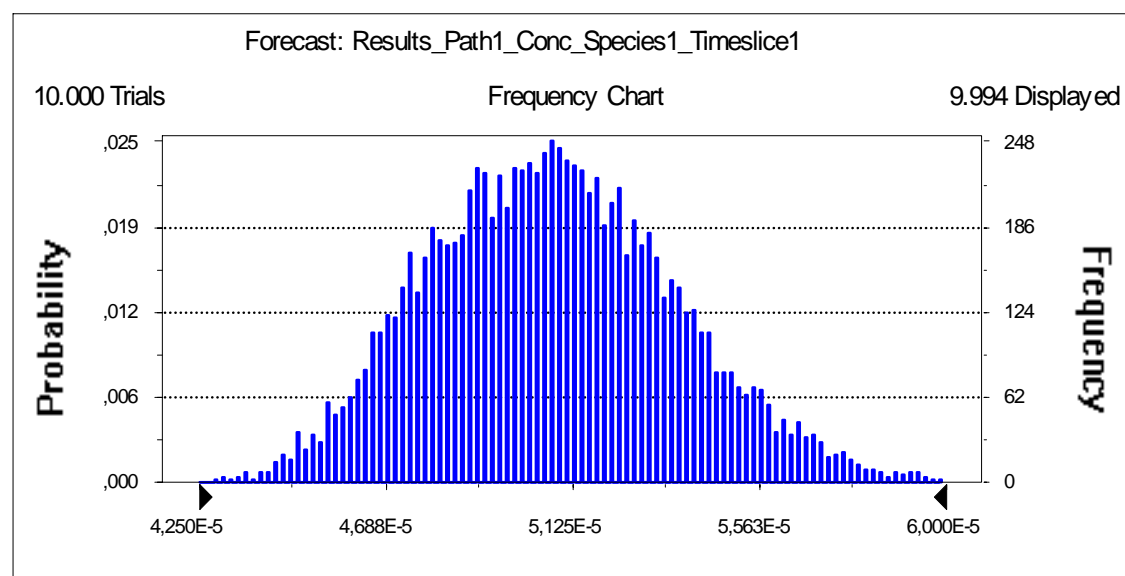
Entire Range is from 4,296E-5 to 6,100E-5

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 2,889E-8

Statistics:

Value

Trials	10000
Mean	5,080E-05
Median	5,072E-05
Mode	---
Standard Deviation	2,889E-06
Variance	8,344E-12
Skewness	0,22
Kurtosis	2,80
Coeff. of Variability	0,06
Range Minimum	4,296E-05
Range Maximum	6,100E-05
Range Width	1,804E-05
Mean Std. Error	2,889E-08



Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice1 (cont'd)

Percentile	Value
0%	4,296E-05
10%	4,713E-05
20%	4,822E-05
30%	4,913E-05
40%	4,995E-05
50%	5,072E-05
60%	5,145E-05
70%	5,228E-05
80%	5,323E-05
90%	5,458E-05
100%	6,100E-05

Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice2

Cell: B10

Summary:

Display Range is from 7,250E-5 to 1,000E-4

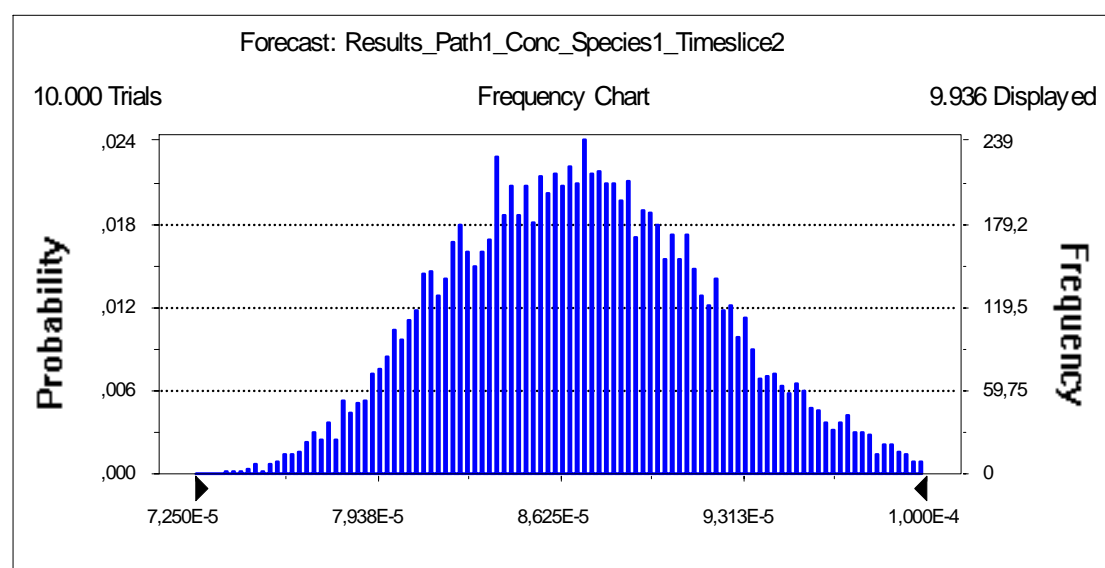
Entire Range is from 7,366E-5 to 1,045E-4

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 4,954E-8

Statistics:

	Value
Trials	10000
Mean	8,710E-05
Median	8,696E-05

Mode	---
Standard Deviation	4,954E-06
Variance	2,455E-11
Skewness	0,22
Kurtosis	2,80
Coeff. of Variability	0,06
Range Minimum	7,366E-05
Range Maximum	1,046E-04
Range Width	3,093E-05
Mean Std. Error	4,954E-08



Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice2 (cont'd)

Percentiles:

Percentile	Value
0%	7,366E-05
10%	8,081E-05
20%	8,268E-05
30%	8,424E-05
40%	8,565E-05
50%	8,696E-05
	8,821E-05
70%	8,963E-05
80%	9,127E-05
90%	9,358E-05

100% 1,046E-04

Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice3

Cell: B11

Summary:

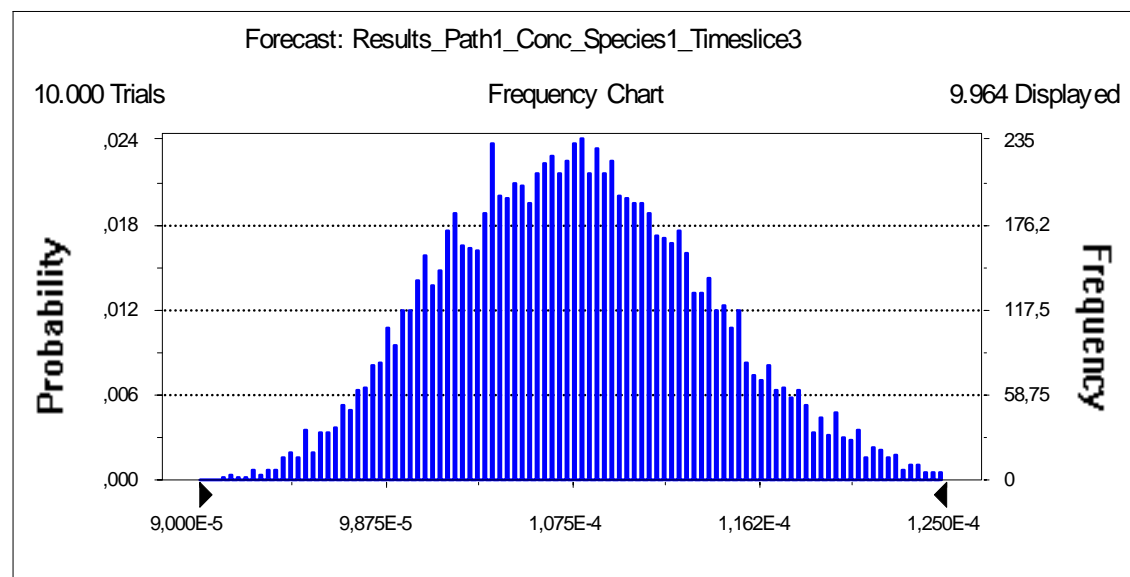
Display Range is from 9,000E-5 to 1,250E-4

Entire Range is from 9,107E-5 to 1,293E-4

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 6,127E-8

Statistics:

	Value
Trials	10000
Mean	1,077E-04
Median	1,075E-04
Mode	---
Standard Deviation	6,127E-06
Variance	3,754E-11
Skewness	0,22
Kurtosis	2,80
Coeff. of Variability	0,06
Range Minimum	9,107E-05
Range Maximum	1,293E-04
Range Width	3,825E-05
Mean Std. Error	6,127E-08



Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice3 (cont'd)

Cell: B11

Percentiles:

<u>Percentile</u>	<u>Value</u>
0%	9,107E-05
10%	9,992E-05
20%	1,022E-04
30%	1,042E-04
40%	1,059E-04
50%	1,075E-04
60%	1,091E-04
70%	1,108E-04
80%	1,129E-04
90%	1,157E-04
100%	1,293E-04

Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice4

Cell: B12

Summary:

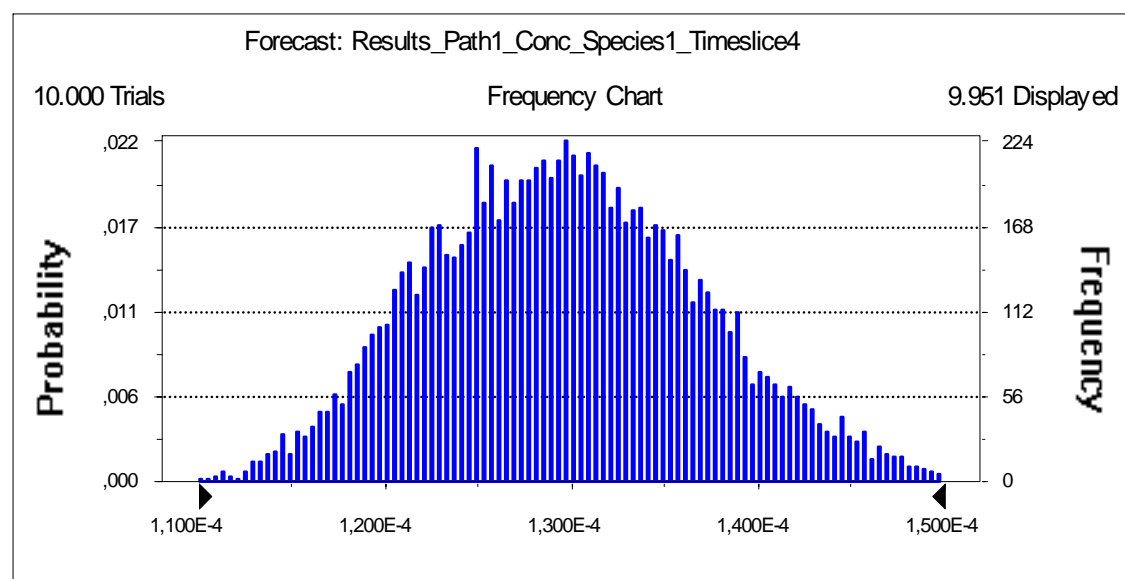
Display Range is from 1,100E-4 to 1,500E-4

Entire Range is from 1,097E-4 to 1,558E-4

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 7,384E-8

Statistics:

	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	1,298E-04
Median	1,296E-04
Mode	---
Standard Deviation	7,384E-06
Variance	5,452E-11
Skewness	0,22
Kurtosis	2,80
Coeff. of Variability	0,06
Range Minimum	1,097E-04
Range Maximum	1,558E-04
Range Width	4,610E-05
Mean Std. Error	7,384E-08



Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice4 (cont'd)

Cell: B12

Percentiles:

Percentile	Value
0%	1,097E-04
10%	1,204E-04
20%	1,232E-04
30%	1,255E-04
40%	1,276E-04
50%	1,296E-04
60%	1,314E-04
70%	1,335E-04
80%	1,360E-04
90%	1,394E-04
100%	1,558E-04

Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice5

Cell: B13

Summary:

Display Range is from 1,100E-4 to 1,500E-4

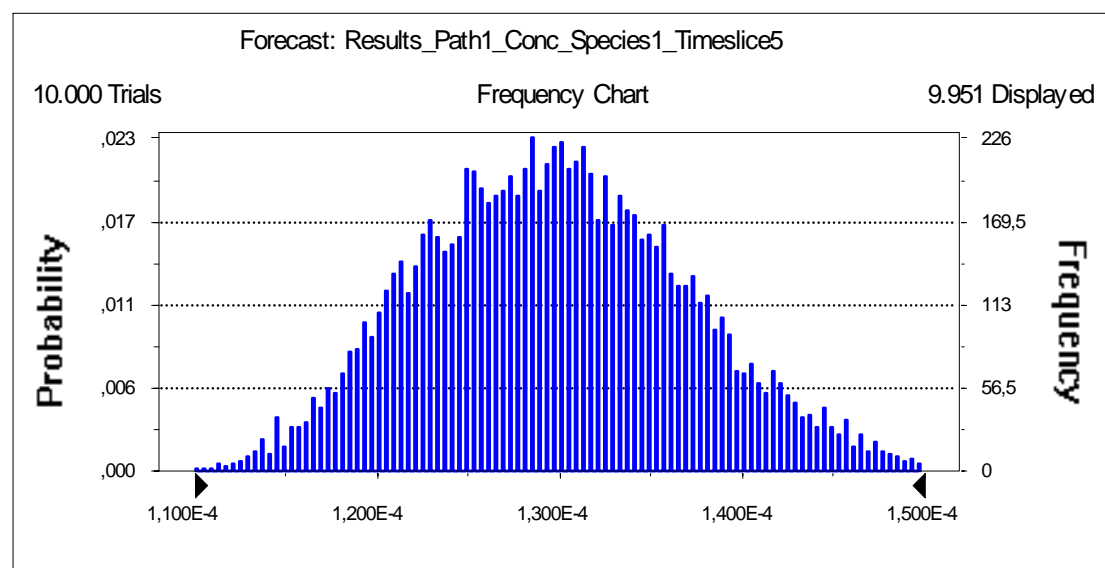
Entire Range is from 1,097E-4 to 1,559E-4

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 7,388E-8

Statistics:

	Value
Trials	10000
Mean	1,298E-04
Median	1,296E-04

Mode	---
Standard Deviation	7,388E-06
Variance	5,458E-11
Skewness	0,22
Kurtosis	2,80
Coeff. of Variability	0,06
Range Minimum	1,098E-04
Range Maximum	1,559E-04
Range Width	4,613E-05
Mean Std. Error	7,388E-08



Forecast: Results_Path1_Conc_Species1_Timeslice5 (cont'd)

Cell: B13

Percentiles:

Percentile	Value
0%	1,098E-04
10%	1,205E-04
20%	1,232E-04
30%	1,256E-04
40%	1,277E-04
50%	1,296E-04
60%	1,315E-04
70%	1,336E-04
80%	1,361E-04
90%	1,395E-04

100% 1,559E-04

Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T

Cell: B24

Summary:

Display Range is from 1,600E+1 to 2,300E+1

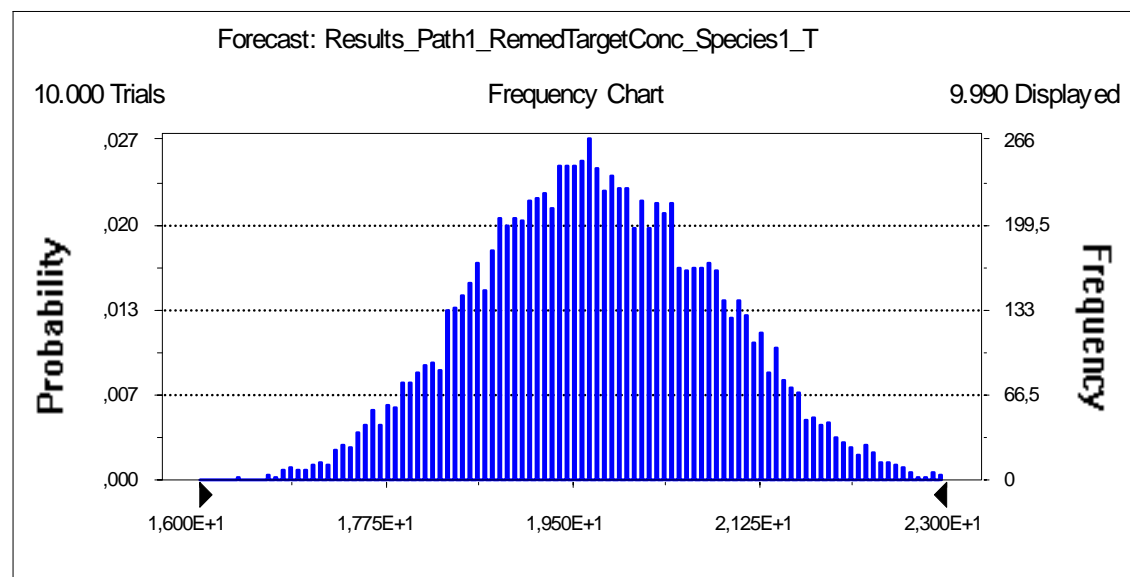
Entire Range is from 1,639E+1 to 2,328E+1

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 1,118E-2

Statistics:

Value

Trials	10000
Mean	1,975E+01
Median	1,972E+01
Mode	---
Standard Deviation	1,118E+00
Variance	1,251E+00
Skewness	0,07
Kurtosis	2,71
Coeff. of Variability	0,06
Range Minimum	1,639E+01
Range Maximum	2,328E+01
Range Width	6,882E+00
Mean Std. Error	1,118E-02



Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T (cont'd)

Cell: B24

Percentiles:

<u>Percentile</u>	<u>Value</u>
0%	1,639E+01
10%	1,832E+01
20%	1,879E+01
30%	1,913E+01
40%	1,944E+01
50%	1,972E+01
60%	2,002E+01
70%	2,035E+01
80%	2,074E+01
90%	2,122E+01
100%	2,328E+01

Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T

Cell: B25

Summary:

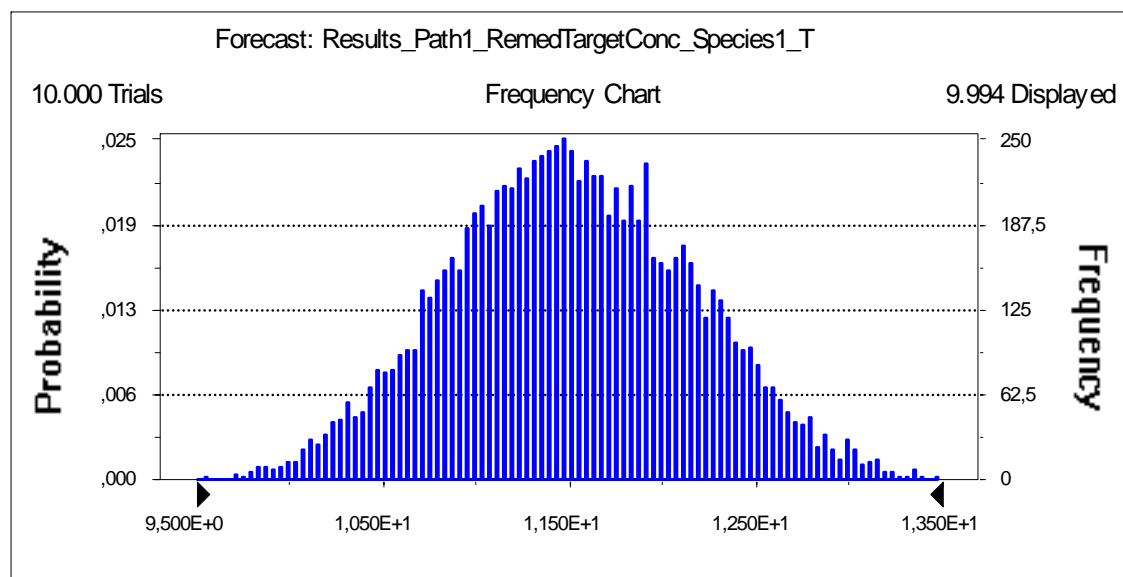
Display Range is from 9,500E+0 to 1,350E+1

Entire Range is from 9,561E+0 to 1,357E+1

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 6,525E-3

Statistics:

	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	1,152E+01
Median	1,150E+01
Mode	---
Standard Deviation	6,525E-01
Variance	4,257E-01
Skewness	0,07
Kurtosis	2,71
Coeff. of Variability	0,06
Range Minimum	9,561E+00
Range Maximum	1,358E+01
Range Width	4,015E+00
Mean Std. Error	6,525E-03



Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T (cont'd)

Cell: B25

Percentiles:

Percentile	Value
0%	9,561E+00
10%	1,069E+01
20%	1,096E+01
30%	1,116E+01
40%	1,134E+01
50%	1,150E+01
60%	1,168E+01
70%	1,187E+01
80%	1,210E+01
90%	1,237E+01
100%	1,358E+01

Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T

Cell: B26

Summary:

Display Range is from 7,750E+0 to 1,075E+1

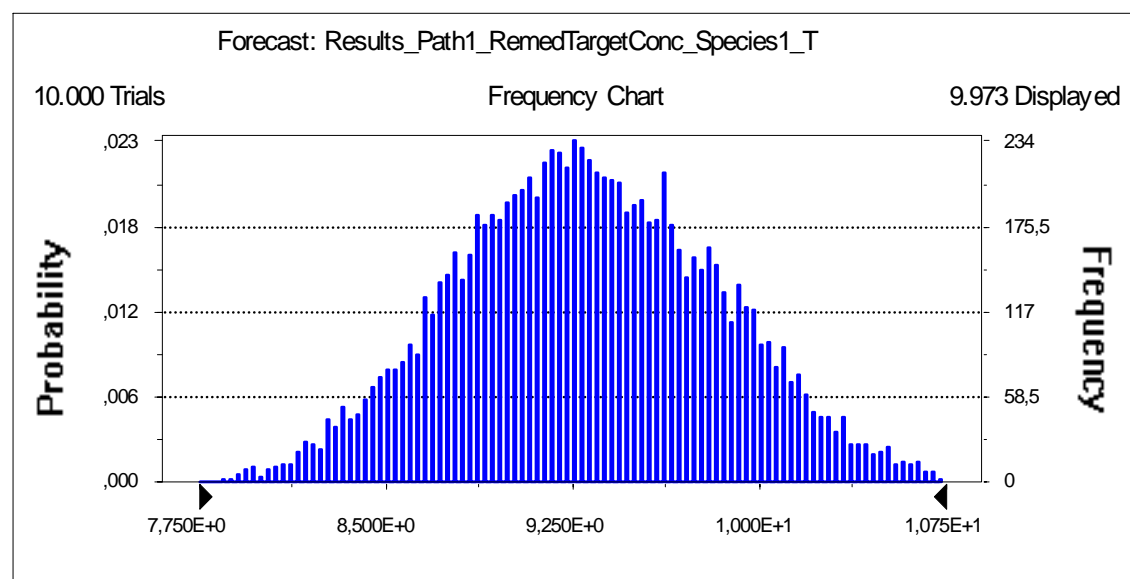
Entire Range is from 7,732E+0 to 1,098E+1

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 5,277E-3

Statistics:

	Value
Trials	10000
Mean	9,315E+00
Median	9,300E+00

Mode	---
Standard Deviation	5,277E-01
Variance	2,785E-01
Skewness	0,07
Kurtosis	2,71
Coeff. of Variability	0,06
Range Minimum	7,732E+00
Range Maximum	1,098E+01
Range Width	3,248E+00
Mean Std. Error	5,277E-03



Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T (cont'd)

Cell: B26

Percentiles:

Percentile	Value
0%	7,732E+00
10%	8,642E+00
20%	8,861E+00
30%	9,023E+00
40%	9,168E+00
50%	9,300E+00
60%	9,442E+00
70%	9,600E+00
80%	9,782E+00

90% 1,001E+01
100% 1,098E+01

Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T

Cell: B27

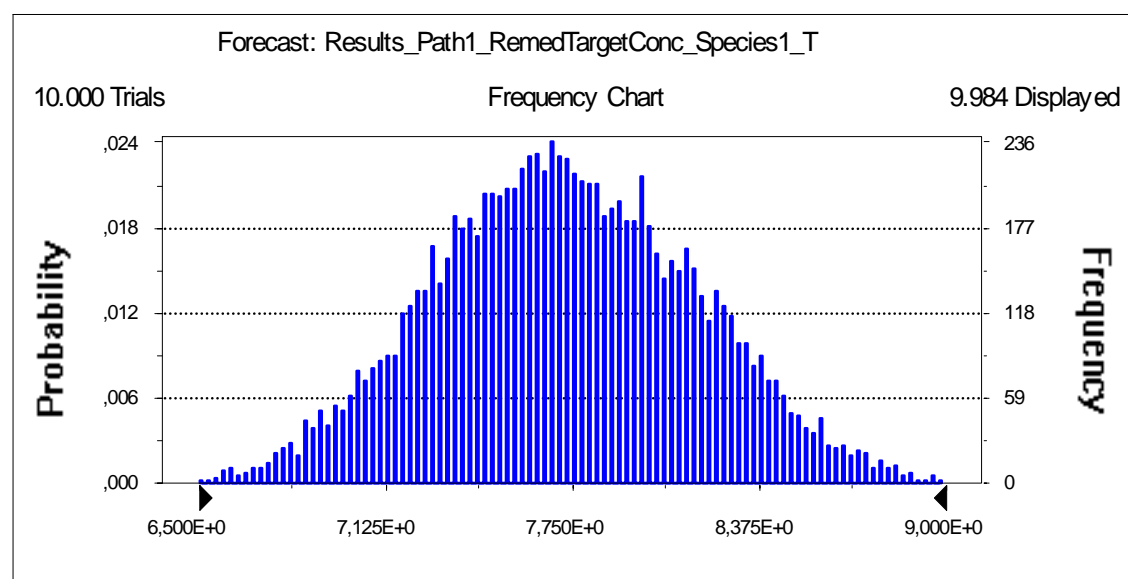
Summary:

Display Range is from 6,500E+0 to 9,000E+0

Entire Range is from 6,417E+0 to 9,113E+0

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 4,380E-3

Statistics:	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	7,731E+00
Median	7,718E+00
Mode	---
Standard Deviation	4,380E-01
Variance	1,919E-01
Skewness	0,07
Kurtosis	2,71
Coeff. of Variability	0,06
Range Minimum	6,417E+00
Range Maximum	9,113E+00
Range Width	2,696E+00
Mean Std. Error	4,380E-03



Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T (cont'd)

Cell: B27

Percentiles:

<u>Percentile</u>	<u>Value</u>
0%	6,417E+00
10%	7,172E+00
20%	7,354E+00
30%	7,488E+00
40%	7,608E+00
50%	7,718E+00
60%	7,836E+00
70%	7,967E+00
80%	8,118E+00
90%	8,305E+00
100%	9,113E+00

Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T

Cell: B28

Summary:

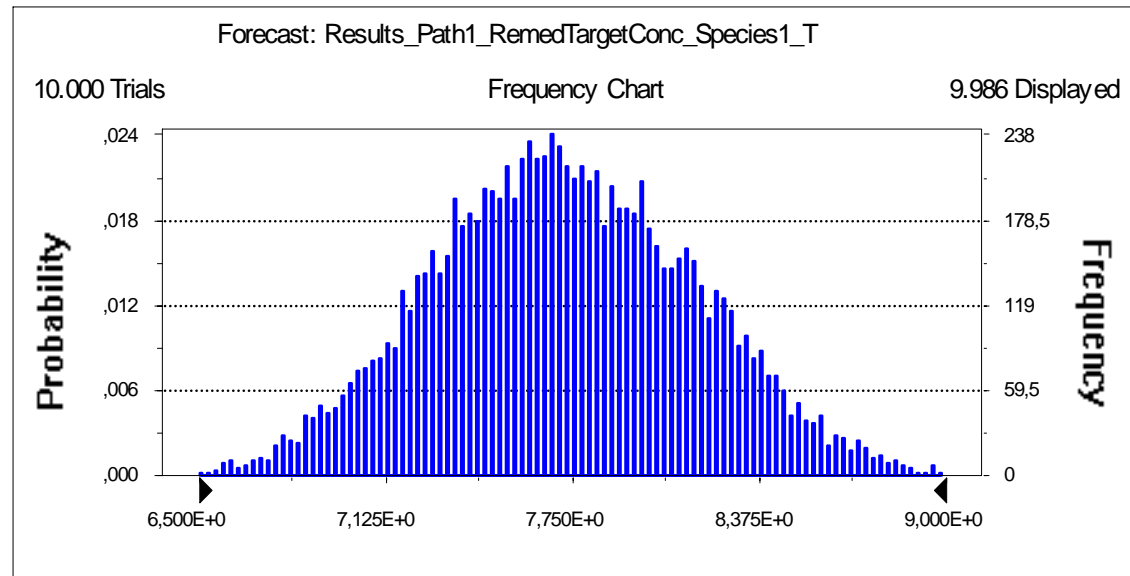
Display Range is from 6,500E+0 to 9,000E+0

Entire Range is from 6,414E+0 to 9,108E+0

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 4,378E-3

Statistics:

	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	7,727E+00
Median	7,714E+00
Mode	---
Standard Deviation	4,378E-01
Variance	1,917E-01
Skewness	0,07
Kurtosis	2,71
Coeff. of Variability	0,06
Range Minimum	6,414E+00
Range Maximum	9,108E+00
Range Width	2,695E+00
Mean Std. Error	4,378E-03



Forecast: Results_Path1_RemedTargetConc_Species1_T (cont'd)

Cell: B28

Percentiles:

Percentile	Value
0%	6,414E+00
10%	7,168E+00
20%	7,350E+00
30%	7,484E+00
40%	7,605E+00
50%	7,714E+00
60%	7,832E+00
70%	7,963E+00
80%	8,114E+00
90%	8,301E+00
100%	9,108E+00

Forecast: Results_DF_Path1

Cell: B37

Summary:

Display Range is from 9,000E+1 to 1,300E+2

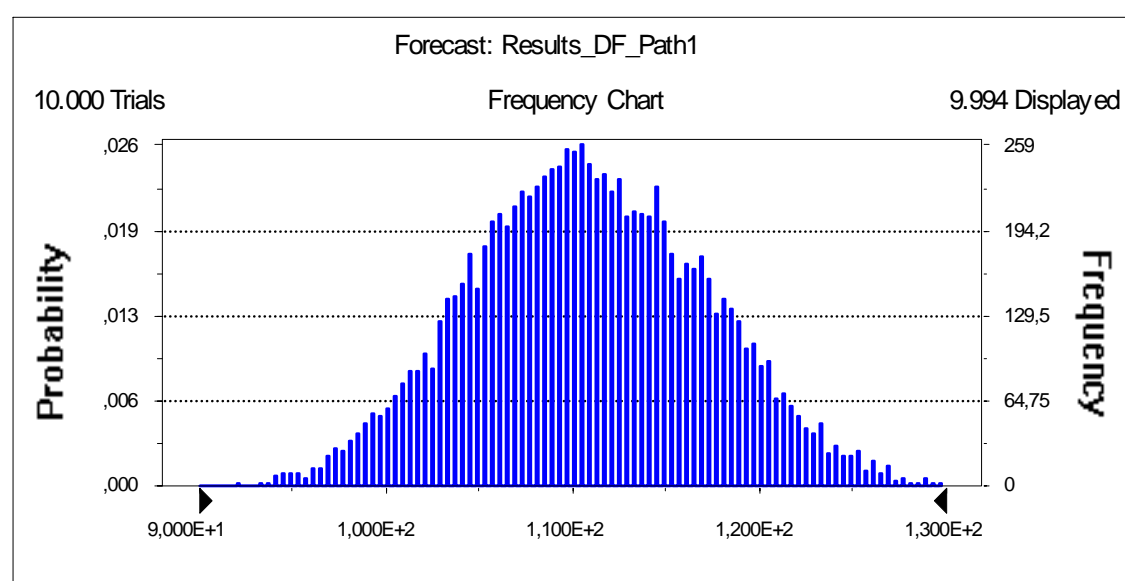
Entire Range is from 9,203E+1 to 1,309E+2

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 6,311E-2

Statistics:

	Value
Trials	10000
Mean	1,109E+02
Median	1,108E+02

Mode	---
Standard Deviation	6,311E+00
Variance	3,983E+01
Skewness	0,07
Kurtosis	2,71
Coeff. of Variability	0,06
Range Minimum	9,203E+01
Range Maximum	1,309E+02
Range Width	3,884E+01
Mean Std. Error	6,311E-02



Forecast: Results_DF_Path1 (cont'd)

Cell: B37

Percentiles:

Percentile	Value
0%	9,203E+01
10%	1,029E+02
20%	1,055E+02
30%	1,074E+02
40%	1,092E+02
50%	1,108E+02
60%	1,125E+02
70%	1,143E+02
80%	1,165E+02

90% 1,192E+02
100% 1,309E+02

Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice1

Cell: B45

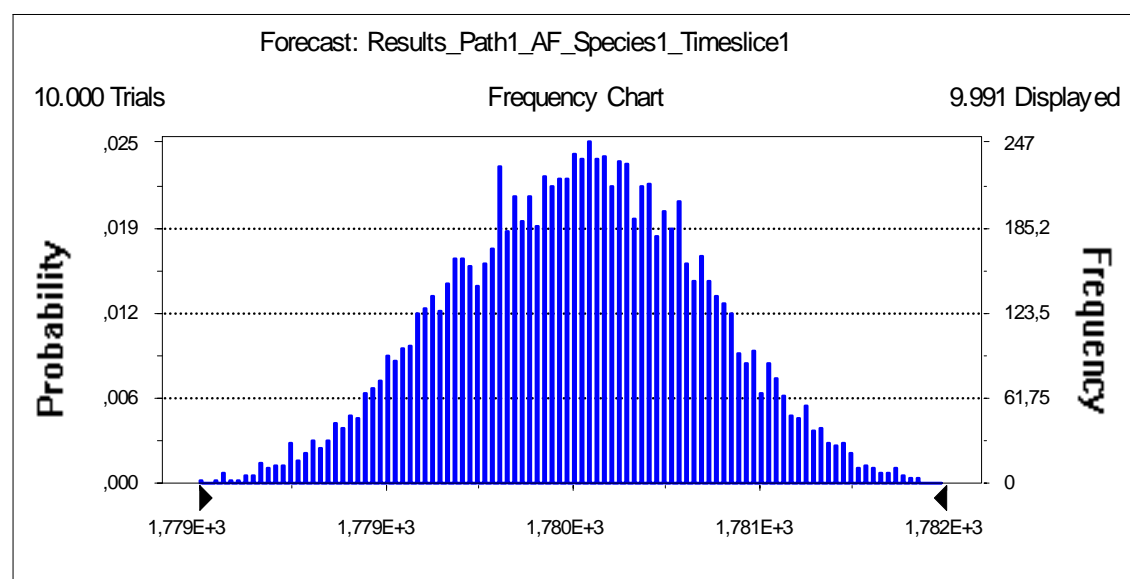
Summary:

Display Range is from 1,779E+3 to 1,782E+3

Entire Range is from 1,779E+3 to 1,782E+3

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 4,593E-3

Statistics:	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	1,780E+03
Median	1,780E+03
Mode	---
Standard Deviation	4,593E-01
Variance	2,110E-01
Skewness	-0,07
Kurtosis	2,71
Coeff. of Variability	0,00
Range Minimum	1,779E+03
Range Maximum	1,782E+03
Range Width	2,827E+00
Mean Std. Error	4,593E-03



Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice1 (cont'd)

Cell: B45

Percentiles:

<u>Percentile</u>	<u>Value</u>
0%	1,779E+03
10%	1,780E+03
20%	1,780E+03
30%	1,780E+03
40%	1,780E+03
50%	1,780E+03
60%	1,780E+03
70%	1,780E+03
80%	1,781E+03
90%	1,781E+03
100%	1,782E+03

Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice2

Cell: B46

Summary:

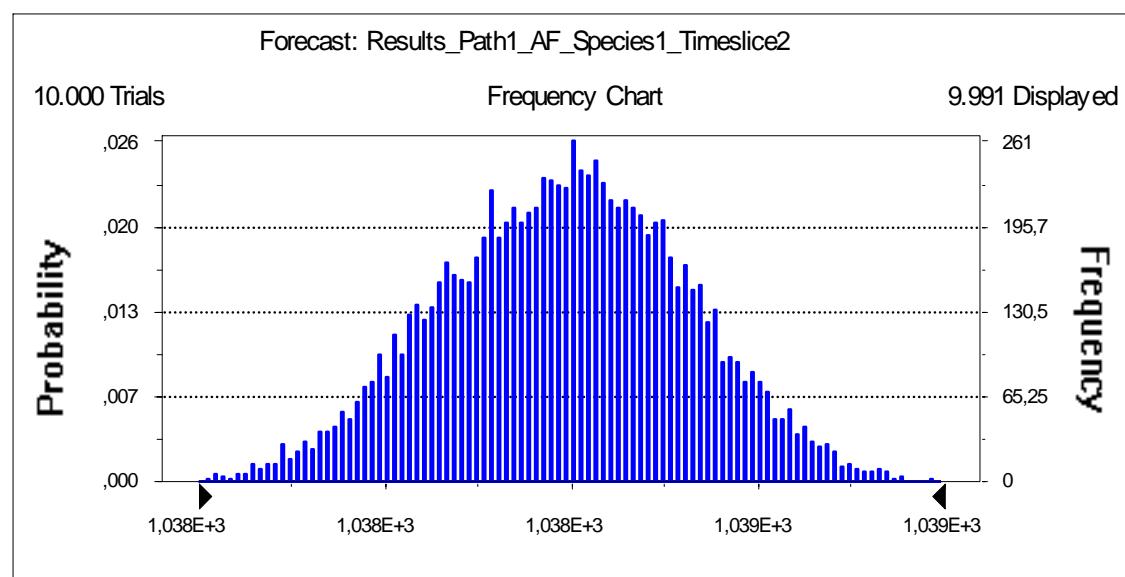
Display Range is from 1,038E+3 to 1,039E+3

Entire Range is from 1,037E+3 to 1,039E+3

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 2,473E-3

Statistics:

	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	1,038E+03
Median	1,038E+03
Mode	---
Standard Deviation	2,473E-01
Variance	6,114E-02
Skewness	-0,07
Kurtosis	2,72
Coeff. of Variability	0,00
Range Minimum	1,037E+03
Range Maximum	1,039E+03
Range Width	1,522E+00
Mean Std. Error	2,473E-03



Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice2 (cont'd)

Cell: B46

Percentiles:

<u>Percentile</u>	<u>Value</u>
0%	1,037E+03
10%	1,038E+03
20%	1,038E+03
30%	1,038E+03
40%	1,038E+03
50%	1,038E+03
60%	1,038E+03
70%	1,038E+03
80%	1,038E+03
90%	1,039E+03
100%	1,039E+03

Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice3

Cell: B47

Summary:

Display Range is from 8,391E+2 to 8,402E+2

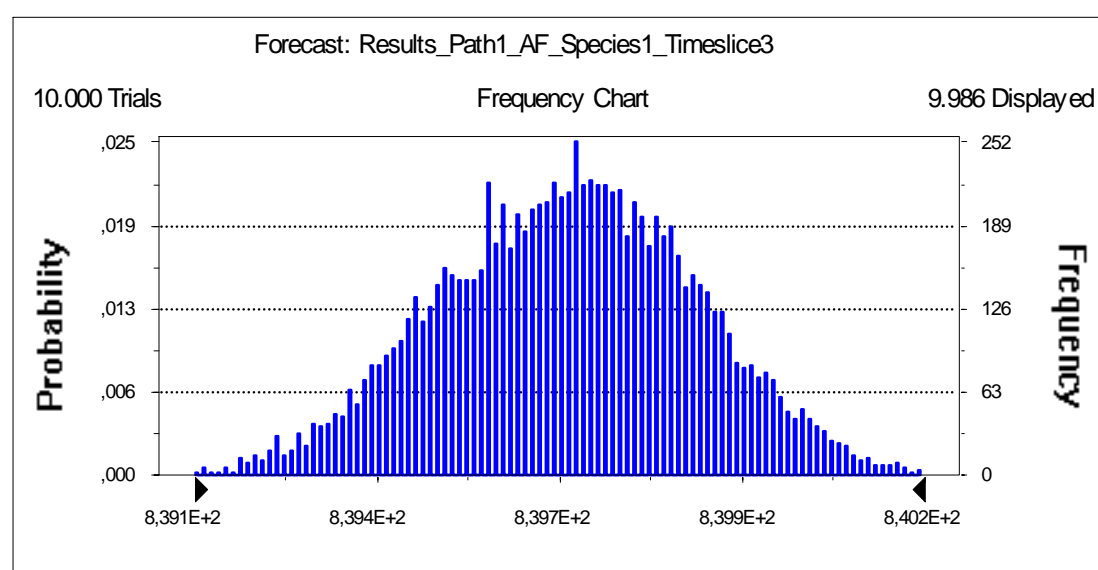
Entire Range is from 8,391E+2 to 8,402E+2

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 1,929E-3

Statistics:

	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	8,397E+02
Median	8,397E+02

Mode	---
Standard Deviation	1,929E-01
Variance	3,720E-02
Skewness	-0,07
Kurtosis	2,71
Coeff. of Variability	0,00
Range Minimum	8,391E+02
Range Maximum	8,402E+02
Range Width	1,187E+00
Mean Std. Error	1,929E-03



Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice3 (cont'd)

Cell: B47

Percentiles:

Percentile	Value
0%	8,391E+02
10%	8,394E+02
20%	8,395E+02
30%	8,396E+02
40%	8,396E+02
50%	8,397E+02
60%	8,397E+02
70%	8,398E+02
80%	8,398E+02
90%	8,399E+02

100% 8,402E+02

Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice4

Cell: B48

Summary:

Display Range is from 6,964E+2 to 6,973E+2

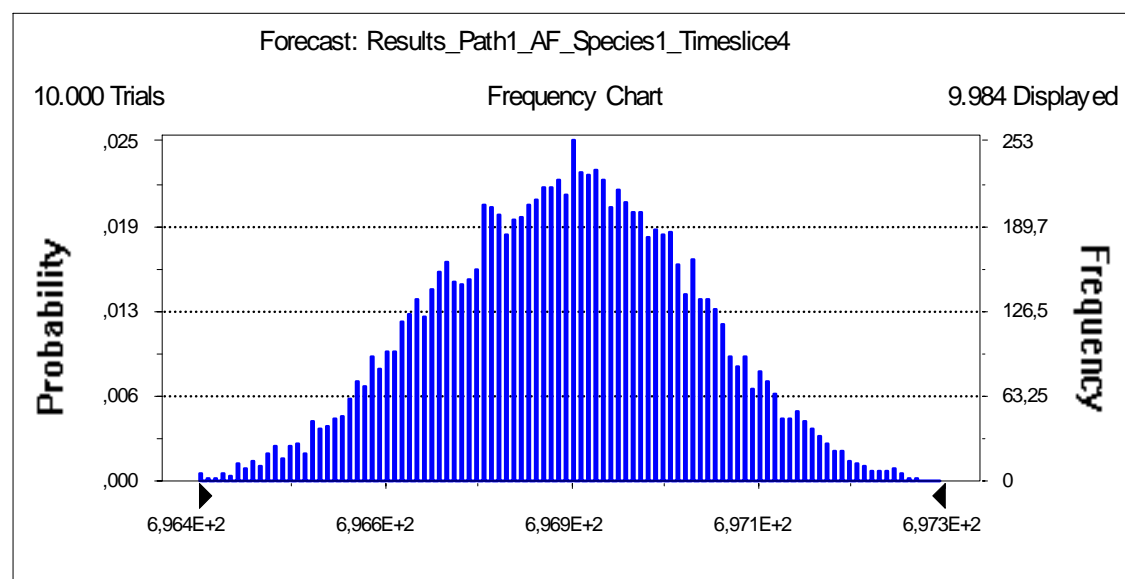
Entire Range is from 6,964E+2 to 6,973E+2

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 1,542E-3

Statistics:

Value

Trials	10000
Mean	6,968E+02
Median	6,968E+02
Mode	---
Standard Deviation	1,542E-01
Variance	2,379E-02
Skewness	-0,07
Kurtosis	2,72
Coeff. of Variability	0,00
Range Minimum	6,964E+02
Range Maximum	6,973E+02
Range Width	9,492E-01
Mean Std. Error	1,542E-03



Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice4 (cont'd)

Cell: B48

Percentiles:

<u>Percentile</u>	<u>Value</u>
0%	6,964E+02
10%	6,966E+02
20%	6,967E+02
30%	6,968E+02
40%	6,968E+02
50%	6,968E+02
60%	6,969E+02
70%	6,969E+02
80%	6,970E+02
90%	6,970E+02
100%	6,973E+02

Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice5

Cell: B49

Summary:

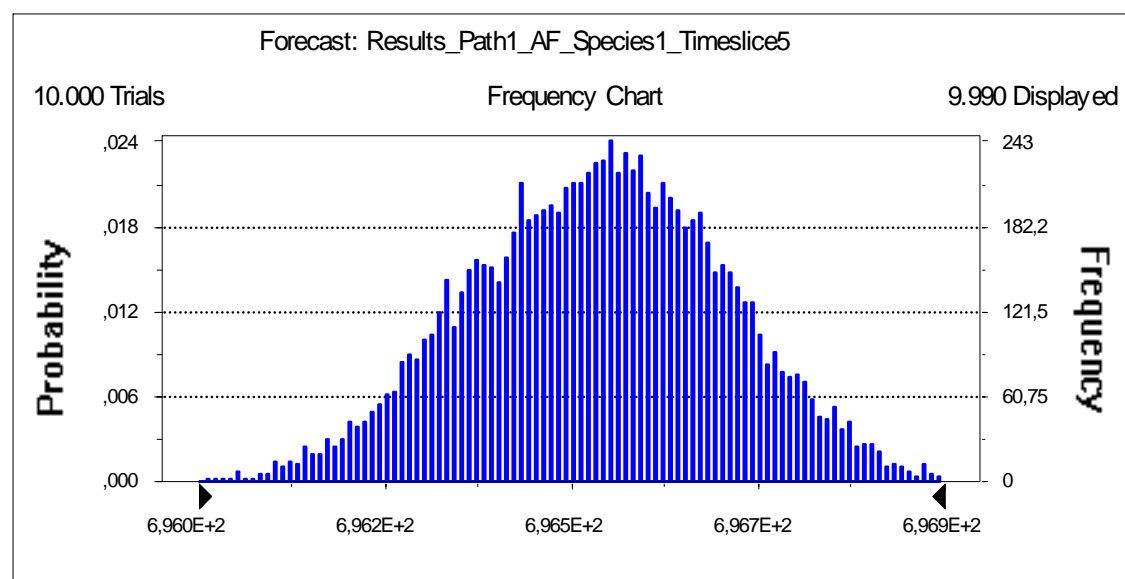
Display Range is from 6,960E+2 to 6,969E+2

Entire Range is from 6,960E+2 to 6,969E+2

After 10.000 Trials, the Std. Error of the Mean is 1,541E-3

Statistics:

	<u>Value</u>
Trials	10000
Mean	6,965E+02
Median	6,965E+02
Mode	---
Standard Deviation	1,541E-01
Variance	2,376E-02
Skewness	-0,07
Kurtosis	2,71
Coeff. of Variability	0,00
Range Minimum	6,960E+02
Range Maximum	6,969E+02
Range Width	9,486E-01
Mean Std. Error	1,541E-03



Forecast: Results_Path1_AF_Species1_Timeslice5 (cont'd)

Cell: B49

Percentiles:

Percentile	Value
0%	6,960E+02
10%	6,963E+02
20%	6,963E+02
30%	6,964E+02
40%	6,964E+02
50%	6,965E+02
60%	6,965E+02
70%	6,966E+02
80%	6,966E+02
90%	6,967E+02
100%	6,969E+02

Assumptions

Assumption: limestone Hydraulic_Conductivity

Cell: C19

Triangular distribution with parameters:

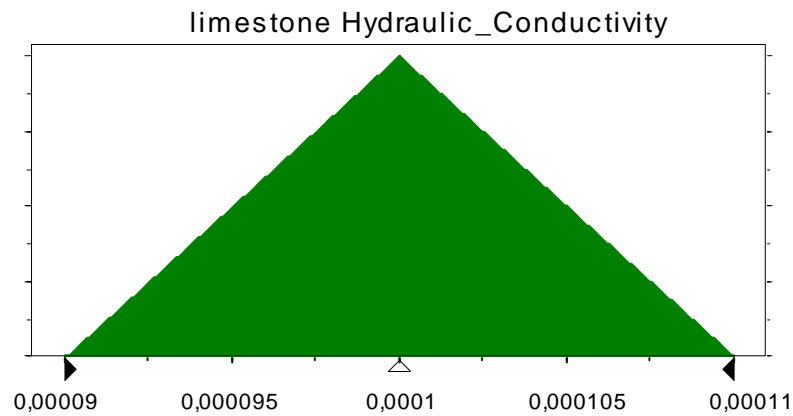
Minimum (=C21)

Likeliest (=C22)

Maximum (=C23)

Selected range is from -Infinity to +Infinity

** Cell references are dynamic **



Assumption: saturated_zone Hydraulic_Conductivity

Cell: D19

Triangular distribution with parameters:

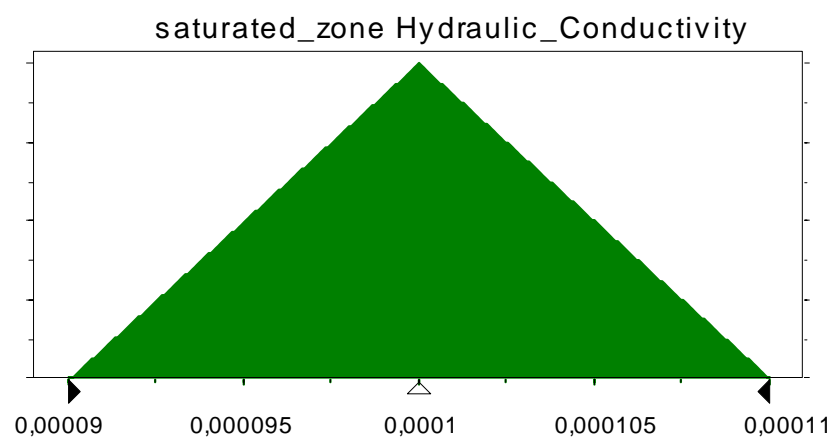
Minimum (=D21)

Likeliest (=D22)

Maximum (=D23)

Selected range is from -Infinity to +Infinity

** Cell references are dynamic **



Assumption: saturated_zone Hydraulic_Gradient

Cell: D33

Triangular distribution with parameters:

Minimum (=D35)

Likeliest (=D36)

Maximum (=D37)

Selected range is from -Infinity to +Infinity

**** Cell references are dynamic ****

