ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"

«Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΓΣΠ ΣΤΗΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΣΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΚΑΤΑΚΛΥΣΜΕΝΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ ΑΠΟ ΠΟΤΑΜΙΑ ΠΛΗΜΜΥΡΑ»

Μωυσής-Λουκάς Μισθός

Μεταπτυχιακή Εργασία η οποία υποβάλλεται
για μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων
για το Διεπιστημονικό - Διατμηματικό
Δίπλωμα Ειδίκευσης
του Δ.Π.Μ.Σ. του Ε.Μ.Πολυτεχνείου
"Περιβάλλον και Ανάπτυξη"

Αθήνα, Φεβρουάριος 2009

Επιβλέπων: Καθηγητής Δ. Αργιαλάς

Επιτροπή Παρακολούθησης:

Καθηγητής Δ. Αργιαλάς
Καθηγητής Δ. Ρόκος
Λέκτορας Ι. Σαγιάς

Περιβάλλον και Ανάπτυξη

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"

«Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΓΣΠ ΣΤΗΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΣΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΚΑΤΑΚΛΥΣΜΕΝΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ ΑΠΟ ΠΟΤΑΜΙΑ ΠΛΗΜΜΥΡΑ»

Μωυσής-Λουκάς Μισθός

Μεταπτυχιακή Εργασία η οποία υποβάλλεται
για μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων
για το Διεπιστημονικό - Διατμηματικό
Δίπλωμα Ειδίκευσης
του Δ.Π.Μ.Σ. του Ε.Μ.Πολυτεχνείου
"Περιβάλλον και Ανάπτυξη"

Αθήνα, Φεβρουάριος 2009

Περιβάλλον και Ανάπτυξη

Επιβλέπων: Καθηγητής Δ. Αργιαλάς

Επιτροπή Παρακολούθησης:

Καθηγητής Δ. Αργιαλάς
Καθηγητής Δ. Ρόκος
Λέκτορας Ι. Σαγιάς

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Τα ακραία φαινόμενα που εκδηλώνονται και εξελίσσονται μέσα από δριμείες διαδικασίες επί του φυσικού περιβάλλοντος ανέκαθεν αντιμετωπίζονταν με δέος. Για αυτόν το λόγο, στη συνείδηση του μέσου ανθρώπου έχει συνδεθεί κλασικά το ιδεολόγημα ότι τα σφοδρά ξεσπάσματα των «στοιχείων της φύσης» συνοδεύονται αναπόφευκτα από κολοσσιαίου μεγέθους πλήγματα και καταστροφές επί του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, «πλάθοντας» έτσι ένα άτοπο συνονθύλευμα όπου ο φυσικός κίνδυνος συγχέεται με την φυσική καταστροφή. Άλλα μυθεύματα που πλανώνται, συναρτώνται με το γεγονός ότι οι άνθρωποι και οι κοινωνίες που δεινοπαθούν εξ' αιτίας αυτών των φυσικών δυνάμεων (κινδύνων) είναι άμοιροι ευθυνών μπροστά στην ορμή τους, ή – κατά εκ διαμέτρου αντίθετες εικασίες – ότι ο άνθρωπος μπορεί και πρέπει να «χαλιναγωγήσει» τη φύση, ως «νόμιμος εξουσιαστής» της, μεταλλάσσοντας, ή και παύοντας φυσικές διαδικασίες.

Η απομυθοποίηση τέτοιων διαδεδομένων ψιμυθιώσεων, αν συνδυαστεί με το αναντίρρητο γεγονός ότι οι εύπορες, ευημερούσες και «ανεπτυγμένες» κοινωνίες επηρεάζονται σε πολύ μικρότερο βαθμό απ' ότι οι «λιγότερο ανεπτυγμένες», από την μία εξάπτουν το αίσθημα της δικαιοφροσύνης, από την άλλη όμως εγείρουν την επιδίωξη περί της διερεύνησης μέτρων και προγραμματισμένων ενεργειών, οι οποίες, διενεργούμενες, μεταλλάσσουν την δυνατότητα του ανθρώπου και των κοινωνιών να αντεπεξέρχεται σε ακραία φυσικά συμβάντα. Μια πιο ενδελεχής ματιά, διαπερνά το εξωτερικό περίβλημα τέτοιων μέτρων και ενεργειών, ανάγοντάς τες σε «βαθύτερες» διαστάσεις της «κοινωνικής αιτιότητας».

Η συγγραφή αυτής της μεταπτυχιακής (διπλωματικής) εργασίας με τίτλο «*Η Συμβολή της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ στην Ολοκληρωμένη Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών. Μελέτη Περίπτωσης: Η Τεχνική της Ανίχνευσης Μεταβολών στον Εντοπισμό Κατακλυσμένων Εκτάσεων από Ποτάμιες Πλημμύρες*», συνιστά ένα πόνημα, ώστε, μέσα από την αναδίφηση στις θεωρητικές έρευνες και μελέτες που άπτονται του ζητήματος της διαχείρισης και αντιμετώπισης φυσικών καταστροφών, αλλά και από την εξέταση κυρίων φυσικών κινδύνων αλλά και σχετικών (φυσικοκαταστροφικών) επεισοδίων του παρελθόντος, αποδίδοντας έμφαση σε μεθόδους και τεχνικές παρατήρησης και διαχείρισης του περιβάλλοντος με την εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών:

- αφ' ενός μεν να αναδειχθεί μια πληθώρα υποκείμενων (φυσικών, αλλά κυρίως ανθρωπογενών) αιτίων που υποθάλπουν την ικανότητα των ανθρώπων και των κοινωνιών να αντεπεξέρχονται σε επαπειλούμενα δεινά,
- αφ' ετέρου δε να διαφανεί μια οδός η οποία, υπό την αρωγή της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ), μπορεί να καλλιεργήσει μια βελτιωμένη ισορροπία όσον αφορά στην στάση και προσέγγιση του ανθρώπου μπροστά στις φυσικές τάσεις και δυνάμεις.

Εκλαμβάνοντάς λοιπόν την αποπεράτωση αυτής της εργασίας ως ένα πόνημα το οποίο πραγματεύεται ένα κατ' εξοχήν ζήτημα ***περιβάλλοντος και ανάπτυξης***, όπου η συμβολή δύο γνωστικών πεδίων αλλά και τεχνολογικών εργαλείων αναλαμβάνουν να επιλύσουν ένα μέρος μόνο του προβλήματος, δεν θα ήταν δυνατή άλλη από μια – κατά το μέτρο του δυνατού – ολιστική προσέγγιση του θέματος. Τόσο λοιπόν το ίδιο το αντικείμενο της εργασίας, όσο και η οπτική μέσα από την οποία αυτό «ατενίζεται», ανταποκρίνεται απόλυτα στην φιλοσοφία και στις «προσδοκίες» του Δ.Π.Μ.Σ. «Περιβάλλον και Ανάπτυξη», στο πλαίσιο του οποίου εκπονείται αυτή η εργασία.

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, ελπίζω να συνεισφέρω έστω και στο ελάχιστο σε ένα καλύτερο αύριο για τους ανθρώπους οι οποίοι υπόκεινται στην ορμή των φυσικών δυνάμεων, και κυρίως στο έλεος της ανθρώπινης αδικίας και των κοινωνικών, οικονομικών και πολιτικών ανισοτήτων που τους καταστούν διαφορικά επιρρεπείς σε δεινά κατά την εμφάνιση φυσικών καταστροφών.

Ανεξάρτητα δε από το αντίκρισμα της συμβολής μου, προτού κλείσει αυτό το προλογικό σημείωμα, δεν θα μπορούσε να εκλείπει ένα εδάφιο επί του οποίου να αποδίδονται τα εύσημα στους ανθρώπους που επέτρεψαν, διευκόλυναν, ή/ και ενίσχυσαν τις προσπάθειές μου για την πραγμάτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Θα ήθελα λοιπόν, κατ' αρχήν, να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για την ευκαιρία που μου δόθηκε να συμμετάσχω σε αυτό το Διεπιστημονικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών. Πιο συγκεκριμένα, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον επιβλέποντά μου, Καθηγητή κ. Δ. Αργιαλά, για την ουσιαστική και μεστή του καθοδήγηση στον τρόπο εκπόνησης της εργασίας (τόσο σε θεωρητικά, όσο και σε πρακτικά ζητήματα), του οποίου η οποιαδήποτε παρέμβασή είχε συμβουλευτικό χαρακτήρα και δεν σκόπευε στην χειραγώγηση των ερευνητικών επιδιώξεων αυτής της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να υποβάλλω τις θερμότατες ευχαριστίες μου στον

Καθηγητή και μέχρι πρότινος Διευθυντή του εν λόγω Δ.Π.Μ.Σ. κ. Δ. Ρόκο, κυρίως για τις υψηλές ιδεολογικές βάσεις επάνω στις οποίες θεμελίωσε την λειτουργία του Προγράμματος, καθώς και για τα κίνητρα και την ώθηση που παρείχε προς την ενασχόληση με μια ευρύτατη «γκάμα» ερευνητικών αντικειμένων υπέρτατης σπουδαιότητας, απόρροια των οποίων ήταν και αυτή η εργασία. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και τον Λέκτορα κ. Ι. Σαγιά για την πρόσχαρη αποδοχή του ρόλου του ως μέλος της τριμελούς επιτροπής, καθώς και για την ψυχολογική ενίσχυση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια συγγραφής αυτής της εργασίας. Ύψιστης σημασίας ήταν και η συνεισφορά από μέρους του Διδάκτορα κ. Π. Κολοκούση, ο οποίος πρόσφερε αγόγγυστα αμέριστη και ουσιαστική βοήθεια σε πρακτικά-τεχνικά ζητήματα για την εκπόνηση αυτής της εργασίας, τον οποίο και ευχαριστώ εγκάρδια. Ιδιαίτερες ευχαριστίες αρμόζουν στην εταιρεία Geoinformation και στην κύρια εκπρόσωπό της, κ. Μπ. Χαραλαμποπούλου, για την ευγενέστατη, δωρεάν παραχώρηση ψηφιακών δορυφορικών δεδομένων και εξειδικευμένου λογισμικού τηλεπισκόπησης, άνευ των οποίων δεν θα είχε καταστεί εφικτή η υλοποίηση της περιπτωσιολογικής εφαρμογής. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Α. Καραλή, απόφοιτο της Σ.Α.Τ.Μ. του Ε.Μ.Π., για την βοήθειά του στην «αποκρυπτογράφηση» ορισμένων ασαφειών του εν λόγω λογισμικού. Μέσα από τα βάθη της ψυχής μου, ακόμη, θέλω να εξωτερικεύσω τα βαθύτατα συναισθήματα μου προς το πρόσωπο των συμφοιτητών/τριών και φίλων, οι οποίοι/ες μετέτρεψαν αυτό το πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών σε ένα καταπληκτικό και πλήρες συγκινήσεων ταξίδι ενότητας, ομοψυχίας, αγάπης. Τέλος, θέλω να εκφράσω τις πιο ένθερμες ευχαριστίες μου προς την οικογένεια μου για την αμέριστη υποστήριξη που επέδειξε, καθώς και προς άτομα από το ευρύτερο φιλικό και κοινωνικό περιβάλλον μου που ψυχολογικά ή/ και έμπρακτα συνέβαλλαν στην αποπεράτωση αυτής της εργασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 1
ABSTRACT 4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ 7
1 ΦΥΣΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ, ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΕΥΠΑΘΕΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ: ΈΝΝΟΙΕΣ, ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟΙ ΥΠΑΙΝΙΓΜΟΙ 12
1.1 «Φυσικές» Καταστροφές: Γενική Επισκόπηση και Προσεγγίσεις 12
1.1.1 Προοίμιο 12
1.1.2 Προσέγγιση 15
1.2 Από τον Κίνδυνο στην Καταστροφή 17
1.2.1 Κίνδυνος ≠ Διακινδύνευση 17
1.2.2 Φυσικός Κίνδυνος ή Φυσικός Πόρος (;) 20
1.2.3 Τρωτότητα 22
1.2.4 Εξίσωση Διακινδύνευσης 27
1.2.5 Καταστροφή 27
1.3 Μεθοδολογικοί Υπαινιγμοί 34
1.4 Διαχείριση, Αντιμετώπιση και Μεταστροφή 37
1.4.1 Προσαρμοστικότητα στις Καταστροφές 38
1.4.2 Τεχνοκρατική Αντίληψη και Μη-Κατασκευαστικές Λύσεις 42
1.5 Ολιστικότητα – Στόχοι 43
2 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ 47
2.1 Τεκτονικοί Κίνδυνοι: Σεισμοί και Ηφαίστεια 48
2.1.1 Σεισμοί 49
Φύση και Τύποι Κινδύνων 49
Σεισμικά Κύματα και Κλίμακες Μετρήσεων 51
Γεωγραφική Κατανομή 54
Παράγοντες Τρωτότητας 54
Επισκόπηση Καταστροφικών Επεισοδίων 56
Απολογισμός 58
2.1.2 Ηφαίστεια 59
Φύση και Γεωγραφικός Εντοπισμός 59
Ηφαιστειακοί Τύποι και Κλίμακες Μετρήσεων 61
Τύποι Κινδύνων 63
Παράγοντες Τρωτότητας 64
Επεισόδια 66
Απολογισμός 69
2.2 Ατμοσφαιρικοί Κίνδυνοι – Παράκτιες Καταιγίδες 70
2.2.1 Τροπικοί Κυκλώνες 71
Φύση και Γεωγραφικός Εντοπισμός 71
Περιοχές Αυξημένης Επικινδυνότητας και Παράγοντες Τρωτότητας 75
Παραδείγματα 80
Σύνοψη 82
2.3 Υδρολογικοί Κίνδυνοι 82
2.3.1 Πλημμύρες 83
Φύση και Αίτια Εμφανίσεων 83
Γεωγραφία Διακινδύνευσης 85

Σχετικοί Κίνδυνοι και Διακινδύνευση 86
Ανασκόπηση 91
2.4 Κίνδυνοι από Μετακινήσεις Μαζών (Mass Movement Hazards) 92
2.4.1 Κατολισθήσεις 92
Φύση και Αιτίες Πρόκλησης των Φαινομένων 92
Κατηγορίες 95
Γεωγραφικός Εντοπισμός, Συσχετιζόμενη Επικινδυνότητα και Παράγοντες Αυξημένης Τρωτότητας 96
Σύνοψη 98
2.5 Άλλοι Φυσικοί Κίνδυνοι 99
2.6 Συγκεφαλαίωση – Σχόλια 101
3 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΓΣΠ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ, ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ 103
3.1 Τηλεπισκόπηση: Εισαγωγή, Σύντομο Ιστορικό, Βασικές Αρχές, Χαρακτηριστικά και Εφαρμογές 104
3.1.1 Εισαγωγή 104
3.1.2 Πρώιμη Ιστορία και Εξέλιξη 105
Λήψεις από «Αέρος και Διαστήματος» 105
Η «Νέα» Εποχή της Τηλεπισκόπησης 106
Τύποι Δορυφόρων 108
3.1.3 Ορισμοί και Αρχές 109
Ορισμοί και Επιδιώξεις 109
Αρχές 110
3.1.4 Χαρακτηριστικά, Ιδιότητες και Δυνατότητες 115
Είδη Αισθητήρων – Συστήματα Καταγραφής και Απεικόνισης 115
Καταχώρηση/ Εγγραφή της ΗΜΑ και Τύποι Εικόνων 118
Χαρακτηριστικά Αισθητήρων 119
Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας 123
Εφαρμογές 127
Ανακεφαλαίωση και Σκοπός 129
3.2 Ενσωμάτωση ΓΣΠ (GIS Integration) 130
3.2.1 Ορισμοί, Γενικές Αρχές και Λειτουργίες 130
3.2.1.1 Ορισμοί και Στόχοι 130
3.2.1.2 Από τα Στοιχεία στην Πληροφορία 132
3.2.2 Συνέργια ΓΣΠ και Τηλεπισκόπησης 134
3.3 Τηλεπισκόπιση, ΓΣΠ και Φάσεις Διαχείρισης Καταστροφών 135
3.3.1 Τροποποίηση της Τρωτότητας 136
3.3.2 Τηλεπισκόπηση και Τροποποίηση της Τρωτότητας 138
3.3.3 Στάδια Διαχείρισης Καταστροφών και Γενικές Κατευθυντήριες της Συμβολής της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ 139
Διαχείριση Διακινδύνευσης 141
Διαχείριση Κρίσεων 143
Ολοκλήρωση του Κύκλου μέσω του Μετριασμού – Ανάδραση 147
3.4 Μέθοδοι και Τεχνικές που Αξιοποιούν τις Τεχνολογίες της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ στον Κύκλο της Διαχείρισης Φυσικών Καταστροφών 153
3.4.1 Εισαγωγικά 153
3.4.2 Επικέντρωση στους Κινδύνους 154

Σεισμοί 154
Ηφαίστεια 157
Τροπικοί Κυκλώνες και Πλημμύρες 160
Κατολισθήσεις 167
3.4.3 Ειδική Μέριμνα για την Απόκριση-Αποκατάσταση: Αποτίμηση του Καταστροφικού Αντίκτυπου 174
4 Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ 178
4.1 Ανίχνευση Μεταβολών διαμέσου των Εφαρμογών της Τηλεπισκόπησης 179
4.1.1 Βασικά Βήματα 180
4.1.2 Επισκόπηση Τεχνικών Ψηφιακής Ανίχνευσης Μεταβολών 182
4.1.2.1 Περιγραφή Κυριότερων Αλγόριθμων-Τεχνικών 185
4.1.2.2 Σύγκριση 188
4.1.3 Εφαρμογή στην Ανίχνευση Πλημμυρών 191
4.1.3.1 Γεωμορφολογική Προσέγγιση 191
4.1.3.2 Εστίαση της Ανίχνευσης Μεταβολών 193
4.2 Μελέτη Περίπτωσης: Ανίχνευση Πλημμυρισμένων Εκτάσεων Εκατέρωθεν του Ποταμού Γεροποτάμου 195
4.2.1 Περιοχή Μελέτης και Εξέταση Πλημμυρικού Επεισοδίου 196
4.2.2 Αρχικές Ενέργειες: Γεωαναφορά και Απεικόνιση της Περιοχής Μελέτης 203
4.2.3 Υλικά και Μέθοδοι Ανίχνευσης Μεταβολών από Διαχρονικές Δορυφορικές Τηλεπισκοπικές Απεικονίσεις 204
4.2.3.1 Αρχικά δεδομένα 204
4.2.3.2 Εισαγωγή στο Λογισμικό Τηλεπισκόπησης 205
4.2.3.3 Χρησιμοποιούμενες Μέθοδοι και Τεχνικές 206
Προεπεξεργασίες 207
Αλγόριθμοι 211
Κατευθυντήριες Γραμμές Χρήσης Αλγορίθμων και Φίλτρων 214
Υλοποίηση Εναλλακτικών Τεχνικών-Αλγορίθμων 223
(Ενδιάμεσα) Προϊόντα και Προεκτίμηση της Αξιοπιστίας τους 230
4.2.3.4 Ενσωμάτωση ΓΣΠ 233
4.3 Αποτελέσματα 238
4.3.1 Τελικά Προϊόντα 238
4.3.2 Αξιολόγηση 244
4.3.3 Σημασία και Αξιοποίηση Αποτελεσμάτων 246
5 ΈΝΤΑΞΗ ΣΤΟ ΕΥΡΥΤΕΡΟ ΠΛΑΙΣΙΟ 249
5.1 Διαστάσεις Τρωτότητας 250
5.2 Τεχνολογίες Τηλεπισκόπησης και GIS *vs.* Φυσικές Καταστροφές: Από τον Μύθο στην Πραγματικότητα 252
5.2.1 Εγγενείς Περιορισμοί και μη Ριζικές Λύσεις 253
5.2.2 Ευρύτεροι Προβληματισμοί 256
5.3 Φυσικές Καταστροφές, Τρωτότητα και Ανάπτυξη 259
5.3.1 Φυσικές Καταστροφές και Ανάπτυξη: Η Τρωτότητα ως Συνδετικός Κρίκος 260
5.3.1.1 Φυσικές Καταστροφές και Ανάπτυξη 260
5.3.1.2 Διαστάσεις Τρωτότητας και Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη 262

5.3.2 Οι (Φυσικές) Καταστροφές ως Εφαλτήριο για Ανάπτυξη – Η «Ανάπτυξη» ως Έναυσμα Φυσικών Καταστροφών 263
5.4 Αποκρυστάλλωση της Πραγματικότητας: Ένα Σχήμα 267
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 270
ΕΠΙΜΥΘΙΟ 281
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 284
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι 311
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ 317

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Θάνατοι κατά τη διάρκεια καταστροφών, ταξινομημένοι με βάση την αιτία, 1900 – 1999 13
Πίνακας 2: Σφοδρές Καταιγίδες – χαρακτηριστικά/ αντίκτυποί τους – ταξινομημένες ως προς το γεωγραφικό πλάτος εμφάνισης τους 71
Πίνακας 3: Κλίμακα Μέτρησης (Κυκλώνων) Saffir-Simpson 73
Πίνακας 4: Ταξινόμηση Κατολισθήσεων 96
Πίνακας 5: Συγκριτική Αξιολόγηση Κυριοτέρων Τεχνικών/ Αλγορίθμων Ψηφιακής Ανίχνευσης Μεταβολής 189
Πίνακας 6: Συστηματοποιημένη καταχώριση επιλεγμένων αλγορίθμων και άλλων φίλτρων στη βάση επαναληπτικών διαδικασιών ανίχνευσης μεταβολών 224
Πίνακας 7: Επίπεδο Ανθρώπινης ανάπτυξης και καταστροφικοί αντίκτυποι 266

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Μια σύνοψη της πορείας των φυσικών καταστροφών της περιόδου 1900 – 2008 σε σχέση με τον αριθμό των συμβάντων, των ανθρώπων που πλήττονται και των ανθρώπων που χάνουν τη ζωή τους εξ' αιτίας φυσικών καταστροφών 15
Σχήμα 2: Η κοινωνική αιτιότητα των καταστροφών 24
Σχήμα 3: Τα συστατικά μέρη των φυσικών καταστροφών 32
Σχήμα 4: Γενικό φάσμα των φυσικών κινδύνων από τα γεωφυσικά συμβάντα έως τις ανθρωπογενείς ενέργειες 33
Σχήμα 5: Φυσικά αίτια των πλημμύρων σε σχέση με άλλους φυσικούς κινδύνους 84
Σχήμα 6: Μορφολογία πριν και μετά την εκδήλωση κατολίσθησης 94
Σχήμα 7:Τα κυριότερα χαρακτηριστικά μιας κατολίσθησης 95
Σχήμα 8: Φάσμα της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας 111
Σχήμα 9: Τυπικές καμπύλες φασματικής απόκρισης για διάφορα υλικά της γήινης επιφάνειας 115
Σχήμα 10: Ο Κύκλος (της Διαχείρισης) των Καταστροφών 140

Σχήμα 11: Σχηματική αναπαράσταση του πλημμυρικού καθεστώτος σε χρονικούς ορίζοντες 20-ετίας και 100-ετίας 192
Σχήμα 12: Αναπαράσταση της περιοχής μελέτης από λήψεις του δορυφόρου IKONOS σε σύνθετες έγχρωμες απεικονίσεις RGB (3,2,1) πριν (Α) και μετά (Β) την σχετική πλημμύρα 201
Σχήμα 13: Αναπαράσταση της περιοχής μελέτης από λήψεις του δορυφόρου IKONOS σε σύνθετες έγχρωμες απεικονίσεις RGB (4,3,2) πριν (Α) και μετά (Β) την σχετική πλημμύρα 202
Σχήμα 14: Αναπαράσταση των υπό σύγκριση διαχρονικών εικόνων RGB (3,2,1) για ολόκληρη την περιοχή μελέτης (Α) και για επιμέρους «θέσεις ενδιαφέροντος» (α, β, γ, δ, ε). 211
Σχήμα 15: Ιστόγραμμα (συχνοτήτων) εικόνας μεταβολής με τα εσώτερα και εξώτερα όρια κατωφλίωσης θετικής και αρνητικής μεταβολης 217
Σχήμα 16: Χωρικό φίλτρο ελλειψοειδούς σχήματος 219
Σχήμα 17: Ενοποιημένες συσσωματώσεις εικονοστοιχείων μέσω ενός κοινού γείτονα 219
Σχήμα 18: Κατάλληλα (Α) και ακατάλληλα (Β) συνταυτισμένα ζεύγη εικόνων 220
Σχήμα 19: Αναπαράσταση της επίδρασης της κακής συνταύτισης (mis-registration) 220
Σχήμα 20: Ανίχνευση της κακής συνταύτισης (mis-registration) 220
Σχήμα 21: «Καρτέλες» επιλογών αλγορίθμων, κατωφλιών και λοιπών φίλτρων στην κύρια φάση διεξαγωγής της ανίχνευσης μεταβολών στο add-on module DeltaCue . 223
Σχήμα 22: Βέλτιστες παραγόμενες εικόνες μεταβολής από την διενέργεια των αλγορίθμων overall magnitude difference (Α), tasseled cap soil difference (Β) και tasseled cap greenness difference (Γ) 233
Σχήμα 23: Επιλογή Σημείων Επιγείου Ελέγχου (GCPs) στην σύνθετη έγχρωμη απεικόνιση του Ιανουαρίου 236
Σχήμα 24: Τελικά παραγόμενα αρχεία από την επεξεργασία των ενδιάμεσων tasseled cap soil difference (Α) και tasseled cap greenness difference (Β) 240
Σχήμα 25: Τελικό παραγόμενο από την ένωση των παραπάνω αρχείων 241
Σχήμα 26: Διάγραμμα ροής υλοποιούμενων ενεργειών στο ΓΣΠ 242
Σχήμα 27: Αναπαράσταση των υφιστάμενων διαχειριστικών προσεγγίσεων και των δυνητικών βελτιωμένων προοπτικών τους 269

ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης Περιοχής Μελέτης	199
Χάρτης Κατακλυσμένων Εκτάσεων	243

«Η απήχηση των ταινιών καταστροφής ... εκφράζει μια συλλογική αντίληψη ενός κόσμου απειλούμενου από ακατανίκητες και αναπάντεχες δυνάμεις οι οποίες, εντούτοις, ανατρέπονται την τελευταία στιγμή. Η ελαφρώς κεκαλυμμένη συμβολική σημασία τους, θα μπορούσε να ερμηνευθεί επομένως (ως εξής): Είμαστε αθώοι (στην κατηγορία της) αδικοπραγίας. Δεχόμαστε επίθεση από απρόβλεπτες δυνάμεις που καταφθάνουν για να μας βλάψουν. Είμαστε, λοιπόν, αθώοι ακόμη και (στην κατηγορία της) αμέλειας. Και μολονότι αυτές οι δυνάμεις είναι ανυπέρβλητες, η συγκυρία θα αποβεί προς βοήθειά μας και θα αναδυθούμε νικηφόροι.»

'The popularity of disaster movies ... expresses a collective perception of a world threatened by irresistible and unforeseen forces which nevertheless are thwarted at the last moment. Their thinly veiled symbolic meaning might be translated thus: We are innocent of wrongdoing. We are attacked by unforeseeable forces come to harm us. We are, thus, innocent even of negligence. Though those forces are insuperable, chance will come to our aid and we shall emerge victorious."

(David Mamet)

Στα θύματα της ανθρώπινης τρωτότητας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι φυσικές καταστροφές αποτελούν διακριτά (ή και όχι) φαινόμενα στον χώρο και στον χρόνο που πλήττουν τον κοινωνικό περίγυρο, προκαλώντας ανθρώπινες απώλειες και τραυματισμούς, οικονομικές και υλικές ζημιές, καθώς και διάχυτη αναταραχή στα εκάστοτε κοινωνικοοικονομικά μορφώματα. Η εκδήλωση των φυσικών καταστροφών ανακύπτει λόγω αυξημένης *διακινδύνευσης*, η οποία, με τη σειρά της, απορρέει από την έξαρση ακραίων εκφάνσεων ενός φυσικού φαινομένου – *φυσικός κίνδυνος* – επί ενός πληθυσμού, καθώς και επί ενός συνόλου στοιχείων – ανθρωποποίητων και μη – τα οποία ενέχουν κάποια εγγενή ή «επίκτητη» αξία, που στο σύνολό τους εκτίθενται σε αυτόν τον κίνδυνο και καθίστανται αποδέκτες – τραγικών ενίοτε – επιπτώσεων, στον βαθμό που υπεισέρχεται μια υποκείμενη αδυναμία της κοινωνίας – *ανθρώπινη τρωτότητα*.

Η διευθέτηση επεισοδίων τα οποία τείνουν να ανατρέπουν τις «κανονικότητες» που διέπουν τις εκάστοτε κοινωνίες – με την επενέργειά τους να επιφέρει αναπεπταμένες συμφορές – , υλοποιείται στη βάση διάφορων προσεγγίσεων. Επί της παρούσας εργασίας προωθείται μια προσέγγιση η οποία, *τρόπον τινά*, τείνει να εναρμονίζει την ανθρώπινη στάση και συμπεριφορά στις φυσικές διαδικασίες, εγκαταλείποντας λογικές περιβαλλοντικού ελέγχου, μέσα από την καταστολή των φυσικών φαινομένων, αλλά και μέσα από την υλοποίηση κατασκευαστικών μέτρων-σχεδίων ανθεκτικών στον κίνδυνο (σε μικρότερο βαθμό). Η εξέταση των πλέον βασικών φυσικών κινδύνων αποκαλύπτει τον τρόπο που αυτοί, από γενικές μορφές απειλής, καταντούν σε πραγματικά ενδεχόμενα απώλειας ή φθοράς, όταν τρωτοί πληθυσμοί και περιουσίες εκτεθούν, και τεθούν τελικά υπό διακινδύνευση, ενώ, όταν παρουσιάζουν έναν «ικανό» καταστροφικό αντίκτυπο, λογίζονται ως φυσικές καταστροφές. Μέσα από την αναδίφηση λοιπόν σε θεωρητικά σχήματα και διατυπώσεις, αλλά και μέσα από τον προσπορισμό αποσταγμάτων της υφιστάμενης εμπειρίας, διαφαίνονται οι διαδικασίες μέσα από τις οποίες οι κίνδυνοι συνιστούν φυσικές καταστροφές. Παράλληλα, αναδύονται οι εγγενείς περιορισμοί που τίθενται στην αντιμετώπιση και διαχείρισή των τελευταίων, αλλά κυρίως εγείρονται οι κοινωνικοοικομικοί, πολιτικοί, πολιτισμικοί παράγοντες που τροποποιούν με οξυντικό ή κατευναστικό τρόπο τη διαβάθμιση των συνεπειών τους, κλιμακώνοντας ή

αποκλιμακώνοντας τον αντίκτυπο της έλευσης και εκδήλωσής τους, ως συνάρτηση της ανθεκτικότητας ενός κοινωνικού σχηματισμού, και δη της *προσαρμοστικότητας*.

Σε ένα εγχείρημα «εμποτισμού» βελτιστοποιημένης προσαρμοστικότητας στην ουσία του εκάστοτε φυσικού κινδύνου/ καταστροφής, προτάσσονται ως εναλλακτικές-μεριστικές λύσεις οι μέθοδοι και τεχνικές που άπτονται των τεχνολογιών της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ), εφόσον εν γένει μπορούν να μετριάσουν την τρωτότητα (και την διακινδύνευση), ενώ παράλληλα ενέχουν πολλαπλά πλεονεκτήματα όσον αφορά στην διαχρονική παρακολούθηση, αλλά και στην έγκαιρη και επί πραγματικού χρόνου (real time) πληροφόρηση περί των εμφανίσεων των φυσικοκαταστροφικών συμβάντων, της εξέλιξής τους και της κατανομής τους στον χρόνο και στον χώρο, με την ταυτόχρονη δυνατότητα της οπτικοποίησης των σχετικών αποτελεσμάτων σε ενημερωμένα χαρτογραφικά παραγόμενα.

Εξ' άλλου, όπως καταδεικνύεται, είναι δυνατό να παρεισφρήσουν σε κάθε μία των *φάσεων* εκδήλωσης ολόκληρου του *κύκλου* των φυσικών καταστροφών, διαμέσου των *σταδίων διαχείρισης* (μετριασμός, ετοιμότητα, απόκριση, αποκατάσταση). Έτσι λοιπόν, από την περιγραφή των επιμέρους χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων, αφ' ενός της Τηλεπισκόπησης – στην αποκομιδή τηλεπισκοπικών απεικονίσεων για την στατική παρατήρηση στοιχείων, εμφανίσεων και φαινομένων αλλά και για τη διαχρονική παρακολούθηση τους –, αφ' ετέρου των ΓΣΠ και της ενσωμάτωσης τους στην διαδικασία για την διαχείριση αυτής της προηγουμένως εκμαιευθείσας πληροφορίας, τη χωρική ανάλυση και την τελική χαρτογραφική απόδοση, αναφαίνεται ότι μπορούν και πρέπει να συμμετάσχουν ενεργά στον τομέα της ολοκληρωμένης διαχείρισης καταστροφών. Προάγεται λοιπόν η αξιοποίηση αυτών των τεχνολογιών με κύριο στόχο την προσαρμογή των ανθρώπινων και κοινωνικών προτύπων συμπεριφοράς και των αντίστοιχων δράσεων και ενεργημάτων σε κάθε φάση αυτού του κύκλου, όπου η αποτελεσματική διευθέτηση κάθε ενός σταδίου συνεπάγεται ταυτόχρονα την επιτυχή πραγμάτωση και των λοιπών σταδίων, είτε επί του ίδιου επεισοδίου, είτε επί μιας σειράς παρόμοιων επεισοδίων τα οποία ενδεχομένως θα λάβουν χώρα στον ίδιο χώρο, η υπό όμοιες συνθήκες, – μέσω της ανατροφοδότησης του κύκλου διαχείρισης των καταστροφών.

Μια συγκεκριμένη μέθοδος-τεχνική προκειμένου να διευθετηθούν επεισόδια εκτάκτου κατάστασης (φυσικών καταστροφών) σε ένα ή και περισσότερα από τα

στάδια του κύκλου τους, εμπερικλείει την αξιοποίηση διαχρονικών ψηφιακών τηλκεπισκοπικών απεικονίσεων, και, μέσα από την συνεργιστική χρήση μεθοδολογιών Τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ, παρέχει την δυνατότητα εντοπισμού μεταβολών επί δύο τέτοιων εικόνων. Η διαχείριση πλημμυρικών επεισοδίων, υλοποιούμενη διαμέσου της τεχνικής ανίχνευσης μεταβολών επί συγκεκριμένου λογισμικού τηλεπισκόπησης- επεξεργασίας εικόνας (DeltaCue της ERDAS) και ΓΣΠ (ArcMap της ESRI), για ένα ζεύγος δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης (IKONOS) πολλαπλών χρονικών στιγμών, αποφέρει ορισμένα ωφέλιμα αποτελέσματα, μέσα από την διεξαγωγή επιμέρους αλγορίθμων και άλλων επιλογών. Αυτά (τα αποτελέσματα) αξιολογούνται από άποψη αξιοπιστίας (ακρίβεια-ορθότητα), ενώ ερμηνεύεται η σημασία τους, ανάγοντας τη συμβολή τους στα στάδια της διαχείρισης.

Επειδή όμως η εργασία εμφορείται από μια «διάθεση» ολιστικής προσέγγισης των φυσικών καταστροφών ως φαινομένων σύνθετων, πολυδιάστατων και δυναμικών, αποτιμάται η πραγματική αξία των εν λόγω τεχνολογιών, αλλά και της τεχνολογίας στο ευρύτερο πλαίσιο της «απτής» πραγματικότητας, ενώ γίνεται ένα βήμα παραπέρα προς μια τωόντι ολοκληρωμένη διαχείριση των φυσικών καταστροφών. Τελικά, μέσα από μια αλληλοσυσχέτιση της τρωτότητας και της «ανάπτυξης», προάγεται μια οπτική που πρεσβεύει πως οι υποκείμενες, βαθιά ριζωμένες αιτίες είναι αυτές που ιθύνουν την επιδείνωση, καθώς και την πυροδότηση καταστροφών «φυσικής προέλευσης». Αυτό σημαίνει ότι η διάχυση της τεχνολογίας και η κατάλληλη χρησιμοποίησή της, ούτε είναι πάντοτε εφικτή, ούτε – ακόμη και αν γίνει εφικτή – θα είναι ζωτικής σημασίας, αν δεν μετριαστούν/ εξαλειφθούν οι κοινωνικές και οικονομικές ανισότητες, και αν δεν ενισχυθούν όλες οι πτυχές που πλαισιώνουν συλλήβδην την κοινωνικοοικονομική και φυσική πραγματικότητα, διαμέσου μιας κατάλληλης μορφής ανάπτυξης.

Λέξεις-Κλειδιά: Φυσικές Καταστροφές, Φυσικοί Κίνδυνοι, Ανθρώπινη Τρωτότητα, Προσαρμοστικότητα, Ολοκληρωμένη Διαχείριση Καταστροφών, Τηλεπισκόπηση, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, (Τεχνικές για Ψηφιακή) Ανίχνευση Μεταβολών, Ποτάμιες Πλημμύρες, Ανάπτυξη.

ABSTRACT

Natural disasters consist distinct (or not) phenomena in space and time that afflict the social setting, inducing human loss and injuries, financial and material damage, as well as widespread disruption upon the socioeconomic structures/ patterns. The manifestation of natural disasters emerges due to mounting *risk*, which, in turn, stems from the excess of a natural phenomenon's extreme expression – *natural hazard* – upon a population, as well as upon a set of elements – human-made or not – which are attributed an intrinsic or "acquired" value, that, as a whole, are exposed to this hazard and become the recipients of – sometimes tragic – impacts, to the extent that an subjacent weakness of the society – *human vulnerability* – is involved.

The regulation of incidents that tend to subvert "normalcies" that govern societies – with their influence procuring broad calamities –, is implemented on the basis of different approaches. In this essay, the promoted approach tends to modulate/ accord the human attitude and behavior to natural procedures, while overruling others that entail environmental control, via natural phenomena's restraint, or via hazard-resistant design (to a lesser extent). The study of the most "fundamental" natural hazards reveals the way they result, from general forms of danger to realistic potential of loss or damage, in cases where vulnerable people or property are exposed, and, subsequently, are put under risk; and as long as an "adequate" disastrous impact occurs, they are rated as disasters. Thus, delving into theoretical schemes and enouncements, and drawing "extracts" from the existing experience, the procedures through which natural hazards are "transmuted" to natural disasters surface. In parallel, innate limitations posed to the confrontation and management of the latter are demonstrated, but, mainly, the socio-economical, political and cultural factors are emerged, in a way to indicate that they are capable of climaxing or de-climaxing the impact of their advent or manifestation, as a dependence of a social "formation's" capacity-resistance, which is *resilience*.

In an attempt to "infuse" enhanced resilience at the very essence of whatever the natural hazard/ disaster is, the methods and techniques attached to the Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) technology are premised as alternative-partial solutions, since they can mitigate the vulnerability (and the risk),

whereas they yield multiple merits regarding both multi-temporal observation and timely and real-time informing about occurrence of natural disaster events, their distribution and their unfolding in time and space, with the simultaneous capability of visualizing the pertinent results in (near real time) updated cartographic products.

Besides, it is demonstrated that these technologies can penetrate the ranks of each *phase* on the entire *cycle* of a disaster, through the *stages* of disaster management (mitigation, preparedness, response, restoration). Thus, describing the attributes and potentialities of both Remote Sensing – in collecting/ deriving remotely sensed imagery for the static observation and the dynamic monitoring as well –, and GIS in integrating the procedure by managing this previously extracted information, spatially analyzing it and cartographically representing it, it immerges that they can and must actively participate in the domain of the integrated disaster management. The utilization of these technologies is promoted, with an aim to adjust the human behavioral patterns and the respective acts and actions in every phase of this cycle, where effectively implementing every stage postulates the simultaneous successful effectuation of all the others stages, either within the same incident, or within a series of similar incidents which will potentially occur at the same place, or at similar circumstances, – through the disasters' cycle feedback.

A specific method-technique used in order to settle incidents of emergency (natural disasters) at one or more stages of their cycle, contains the utilization of multi-temporal digital remotely sensed imagery, and, through Remote Sensing and GIS software's synergistic use, the capability of *change detection* is provided. The management of episodes related to flooding, implemented through digital change detection technique within a remote sensing/ image processing software (DeltaCue by ERDAS) and a GIS software (ArcMap by ESRI) for a multiple date, high resolution image pair (IKONOS), yields some salutary results, through certain algorithms and various options. These results are evaluated in terms of reliability (accuracy-correctness), while their real significance is interpreted, exalting their contribution to the management stages.

Owing to the fact that this thesis is approached by an "intention" towards holistically perceiving natural disasters, as phenomena complex, multifarious, multi-dimensional and dynamic, the true value of the technologies in question is evaluated, as well as the technology itself in the broader context of the "tangible" reality, while a

step forward is made towards an actually integrated management of natural disasters. Finally, through the interaction of the vulnerability and the "development", a perspective which professes that the underlying, deeply rooted causes are those that govern the aggravation and the ignition of "naturally originated" disasters is promoted. This fact signifies that the diffusion of technology and its proper usage neither is always feasible, nor – even if it becomes – is of essential meaning, provided that social and economic injustice is not abated/ obliterated, and the dimensions that environ the socioeconomic and natural reality as a whole are not reinforced too, through an appropriate type of development.

Key-Words: Natural Disasters, Natural Hazards, Human Vulnerability, Resilience, Integrated Disaster Management, Remote Sensing, Geographical Information Systems, (Digital) Change Detection (Techniques), River Inundation, Development.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανθρώπινη διαβίωση, ανέκαθεν επηρεαζόταν από την εμφάνιση «ακραίων» γεγονότων-συμβάντων των οποίων η γένεση και εξέλιξη οφειλόταν (και συνεχίζει να οφείλεται) στις ιδιαίτερες (τοπικές) αλλά και γενικότερες (παγκόσμιες) συνθήκες και διαδικασίες του φυσικού περιβάλλοντος. Ο χώρος και ο χρόνος που αυτά λάμβαναν χώρα, καθώς και η ένταση τους, σε συνδυασμό με την σχετική κατάσταση του ανθρώπινου στοιχείου με το οποίο αλληλεπιδρούσαν, μετέβαλλαν δυνητικά τις επιπτώσεις τους, τόσο ποιοτικά, όσο και ποσοτικά: άλλοτε «προσκομίζοντας» ευεργετικά αποτελέσματα, συνάδοντας με περιόδους ευνοϊκών περιστάσεων έως και υπέρμετρης ευμάρειας, και, άλλοτε επιφέροντας συμφορές, έως και τον παντελή όλεθρο. Επομένως, το (φυσικό) περιβάλλον λογιζόταν ως ένα στοιχείο, επί του οποίου μπορούσαν να παρουσιαστούν ευλογίες από τη μία και δυστυχίες από την άλλη, στη βάση των «άστατων διαθέσεών» του. Ειδικότερα, τα φαινόμενα και οι εμφανίσεις στο «δυσμενέστερο άκρο του φάσματός του», φάνταζαν ως απροσδόκητα, τρομερά και αμετάκλητα γεγονότα, μπροστά στην ορμή των οποίων οι ανθρώπινες κοινωνίες στέκονταν με δέος. Ως εκ τούτου, ο τρόπος αλλά και η ένταση της επίδρασης της ακραίας εκδήλωσης των στοιχείων της φύσης, αποδίδεται με τις πιο εύγλωττες προσωνυμίες θεομηνία (θεός + μήνις = οργή) και καταστροφή (dis-aster = κακό άστρο), υπό την έννοια ότι τόσο οι γενεσιουργές αιτίες, όσο και οι συνέπειές αυτών των δριμείων εμφανίσεων έτειναν να «δαιμονοποιούνται» άκριτα, παρουσιαζόμενες «αποκομμένες» από την ανθρώπινη εποπτεία, αιτιότητα και τιθάσευση.

Στον σύγχρονο κόσμο, τέτοιες «φυσικές καταστροφές» συνεχίζουν να υφίστανται και να μαστίζουν τον άνθρωπο, τα «κτήματά» του, καθώς και το ευρύτερο δομημένο και φυσικό περιβάλλον του, επιφέροντας ενίοτε τεράστια δεινά, ενώ αδιαφιλονίκητο είναι το γεγονός ότι οι αιτίες ή/ και αφορμές για την πρόκληση καταστροφών έχουν μεταβληθεί, και οι επιπτώσεις τους σε ποσοτικούς και ποιοτικούς όρους έχουν τροποποιηθεί. Σε αυτήν την εποχή του μεταμοντερνισμού, όπου οι οικονομική, πολιτική και πολιτισμική παγκοσμιοποίηση προβάλλουν ως επικρατούσες «αξιακές τάσεις», με την συνεχιζόμενη οικονομική ανάπτυξη επιλεγμένων χωρών ή και ομάδων ανθρώπων, την άνοδο και εξάπλωση των πολυεθνικών εταιριών, την ταχύρυθμη διακίνηση χρήματος στην σχετική αγορά, τις

γοργές τεχνολογικές εξελίξεις, την πληθυσμιακή έκρηξη, την γενικότερη αύξηση της ένδειας, την μαζική μετανάστευση, την περιθωριοποίηση και τον κοινωνικό αποκλεισμό, σε συνδυασμό με την πλανητικής εμβέλειας κλιματική αλλαγή, στο σύνολό τους τείνουν να μεταβάλλουν άρδην το σκηνικό, καθώς και την γεωγραφική κατανομή του κινδύνου, της τρωτότητας και της διακινδύνευσης.

Από την άλλη, η συγκέντρωση γνώσης μέσα από την διαρκή έρευνα και την εμπειρία, έχει επιφέρει μετατροπή των όρων δια μέσου των οποίων αρχίζουν να γίνονται αντιληπτά και να ερμηνεύονται πλέον τέτοια φαινόμενα. Επιπλέον, κάποια αξιοσημείωτα επιτεύγματα της τεχνικής/ τεχνολογικής προόδου μέσα από συνεχείς επενδύσεις – εκτός από τα δεινά των νέων, τεχνολογικών και αμιγώς ανθρωπογενώς υποκινούμενων (human-induced) κινδύνων και καταστροφών – έχει επιφέρει την ανάδυση νέων τεχνικών και μεθόδων που έχουν χρησιμοποιηθεί ως ένα βαθμό, ενέχοντας δυνατότητες περαιτέρω αξιοποίησης. Οι τεχνολογίες λοιπόν της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ αποτελούν κάποια από τα συστατικά μέρη ενός σύνθετου πλέγματος της πραγματικότητας, εν μέσω λοιπών οικονομικών, κοινωνικών, πολιτισμικών, πολιτικών και θεσμικών παραμέτρων· μέλει δε να αναδειχτεί αν μπορούν να «κερδίσουν το στοίχημα» της διαχείρισης επεισοδίων φυσικών καταστροφών, δεδομένου ότι πολλοί τέτοιοι παράγοντες-αιτίες, θα πρέπει να ενσωματωθούν προκείμενου το έργο αυτών των τεχνολογιών να καταστεί αποτελεσματικό για το όλον της φυσικής και κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας, και αν ναι με ποιόν τρόπο και υπό ποια προσέγγιση(;).

Από τα μέσα του προηγούμενου αιώνα, η διεθνής επιστημονική κοινότητα έχει επιτελέσει ορισμένα σπουδαία βήματα προκειμένου να αποδομήσει και να αποδελτιώσει τις πτυχές του ζητήματος, σε ένα πόνημα να ανεβρεθούν τα αίτια, και να αναφανεί μια οδός προς την κατεύθυνση της αντιμετώπισης και του μετριασμού της επενέργειας των φυσικών κινδύνων/ καταστροφών (Fritz, 1961; Burton and Kates, 1964; Sheehan and Hewitt, 1969; Burton and Hewitt, 1974; Barkun, 1974; Westgate and O' Keefe, 1976; Hewitt, 1983; Anderson, 1991; Alexander, 1993; Albala-Bertrand, 1993; Hewitt, 1995, Quarantelli, 1995; Alexander, 2000; Wisner *et al*., 2004), παρ' όλο που εικάζεται ότι η αντίστοιχη επιστημονική πειθαρχία βρίσκεται σε θεωρία και πράξη σε πρώιμο στάδιο. Επίσης, δεδομένης της ανόδου της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ τις τελευταίες δεκαετίες, μια σειρά επιστημονικών άρθρων και συγγραμμάτων προάγουν μια διαχειριστική προσέγγιση από την σκοπιά

της αξιοποίησής των παραπάνω τεχνολογιών (Luscombe and Hassan, 1993; Sabins, 1997; Jayaraman *et al*., 1997; Jensen, 2000; Johnson, 2000; Alexander, 2002; CEOS, 2003; Rejaie and Shinozuka 2004; Tralli *et al*., 2005). Υπό την ύπαρξη και υποστήριξη μιας τέτοιας βάσης, η αποζήτηση ενός μονοπατιού ουσιαστικής, μεστής και ολοκληρωμένης διαχείρισης επεισοδίων φυσικών καταστροφών συνιστά το κύριο ***μέλημα*** και ***σκοπό*** αυτής της εργασίας. Η εκπλήρωση του τελευταίου ανάγεται στην επίτευξη επιμέρους στόχων.

Έτσι, ως επιμέρους ***στόχοι*** αυτής της εργασίας τίθενται κατ' αρχήν η διερεύνηση των παραγόντων που εμπλέκονται στην εμφάνιση φυσικών καταστροφών και η αποσαφήνιση του τρόπου που οι πρώτοι συντελούν στην εκδήλωση των δεύτερων, καθώς και στην ανάδειξη εκείνων των ενεργειών μέσω των οποίων επιτυγχάνεται μετριασμός και περιστολή των συνεπειών τους, δίχως να προωθείται μια στάση υπεροχής και εξουσιαστική συμπεριφορά του ανθρώπου έναντι των φυσικών φαινομένων και διαδικασιών. Ακόμη, επιδιώκεται η «εξύψωση» των «*τηλεπισκοπικών διαδικασιών*» σε ισχυρά μέσα προς την παρατήρηση, παρακολούθηση και διαχείριση του φυσικού και δομημένο περιβάλλοντος, με εφαρμογές στο σύνολο του φάσματος της διαχείρισης μιας σειράς φυσικών καταστροφών, πριν, κατά και μετά την εκδήλωση τέτοιων συμβάντων. Προκειμένου δε να καταδειχτεί έμπρακτα η αξία τους σε αυτόν τον τομέα, καταβάλλεται προσπάθεια να υλοποιηθεί συγκεκριμένη μεθοδολογία αξιοποίησης διαχρονικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων ώστε να «εξαχθούν» κατά ημιαυτοματοποιημένο τρόπο κατακλυσμένες περιοχές από ποτάμια πλημμύρα, με απώτερο στόχο την ανάδειξη της συνεισφοράς τους στην ολοκληρωμένη διαχείριση φυσικών καταστροφών. Εν τέλει, σε ένα εγχείρημα να αντιμετωπιστεί με κριτική διάθεση η ουσιαστική συμβολή αυτών των τεχνολογικών μέσων και διαβημάτων, αποτιμώνται οι πραγματικές δυνατότητες τους, ενώ ταυτόχρονα αναζητούνται πιο ολιστικές και τελεσφόρες προσεγγίσεις, οι οποίες προφανώς θα εντάσσουν την τηλεπισκοπική διαδικασία.

Σε άμεση συσχέτιση με την προδιάθεση πραγμάτωσης των παραπάνω στόχων, η προκείμενη παρουσίαση της διάρθρωσης της εργασίας συντείνει στην μετάβασή τους από την «σφαίρα της σύλληψης», στη «σφαίρα της γένεσης». Έτσι, λίγο πιο αναλυτικά και «απτά»:

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας, επιχειρείται η «μύηση» σε όρους και ορισμούς και η αποσαφήνιση κάποιων εννοιών (όπως π.χ. φυσικός κίνδυνος, ανθρώπινη ευαισθησία, ανθρώπινη τρωτότητα, διακινδύνευση κ.α.), ώστε να οικοδομηθεί ένα εννοιολογικό και θεωρητικό μεθοδολογικό πλαίσιο διαμέσου του οποίου διαμορφώνονται οι «καθοδηγητικές πορείες» της εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφιερώνεται στην περιγραφή και ανάλυση των πιο καίριων φυσικών κινδύνων που δυνητικά «προάγουν» φυσικές καταστροφές, καθ' ότι κρίνεται επιτακτικό να εξεταστούν τα φαινόμενα αυτά καθ' αυτά (δηλ. η φύση και ο χώρος και χρόνος εμφάνισής τους), να διαγνωσθεί η επικινδυνότητά τους και να παρατεθούν συγκεκριμένα ιστορικά συμβάντα που έχουν κλονίσει χώρους και κοινωνίες· ταυτόχρονα παρουσιάζεται η ανθρωπογενής αλληλεπίδραση είτε στην επιδείνωση των συνεπειών των φαινομένων, είτε, αντίστροφα, στον μετριασμό τους.

Η παρουσίαση των τεχνολογικών εργαλείων της Τηλεπισκόπησης (κυρίως) αλλά και των ΓΣΠ συντελείται στο τρίτο κεφάλαιο. Αρχικά προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά και ιδιότητες/ δυνατότητες τους, ενώ στη συνέχεια η περιγραφή τους λαμβάνει μια ιδιαίτερη χροιά από τη σκοπιά της αξιοποίησής τους στη διαχείριση των φυσικών καταστροφών, σε μια προσπάθεια ανάδειξης της ειδικότερης αρωγής τους στα επιμέρους στάδια του «κύκλου της διαχείρισης καταστροφών».

Σε άμεση συνάρτηση με το προηγούμενο κεφάλαιο, στο τέταρτο κεφάλαιο προβάλλεται μια (υπαρκτή) περίπτωση κατά την οποία τα παραπάνω εργαλεία, μέσα από συγκεκριμένες τεχνικές – ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών – μπορούν να συνδράμουν στην διευθέτηση επεισοδίων φυσικών καταστροφών (εν προκειμένω πλημμύρες) στην πράξη. Τα αποτελέσματα αυτής της εφαρμογής υπόκεινται σε αξιολόγηση ως προς την αξιοπιστία αλλά και ως προς την χρησιμότητά τους.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί δυνάμει μια γέφυρα μεταξύ της τεχνολογικής διάστασης και της ευρύτερης πραγματικότητας, υπό το πρίσμα των φυσικών καταστροφών και της ανθρώπινης τρωτότητας. Επιπροσθέτως, συνιστά ένα χωρίο για την ανάκυψη προβληματισμών· γίνονται λοιπόν νύξεις για τις αδυναμίες/ απειλές της άκριτης χρήσης και «εξύμνησης» των ιδιοτήτων της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ, αλλά και των δυνατοτήτων και ευκαιριών που αυτά παρέχουν, στο πλαίσιο όμως μιας άλλης θεραπευτικής προσέγγισης, η ύπαρξη της οποίας κρίνεται αδήριτη προκειμένου να ανακύψει ολοκληρωμένη διαχείριση φυσικών καταστροφών.

Τέλος, παρουσιάζονται εν είδει σύνοψης, τα επιμέρους πορίσματα που ανέκυψαν κατά την συγγραφή αυτής της εργασίας, καθώς και πιο εξειδικευμένα συμπεράσματα τα οποία αναδύθηκαν, μόνο και μόνο υπό την μεθόδευση του εν λόγω πονήματος. Στο σύνολό τους, αυτά τα εξαγόμενα τείνουν να ανταποκρίνονται εν πολλοίς στο αντικείμενο του σκοπού και των στόχων.

1 ΦΥΣΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ, ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΕΥΠΑΘΕΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ: ΈΝΝΟΙΕΣ, ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟΙ ΥΠΑΙΝΙΓΜΟΙ

[«Ίσως καταστροφή είναι το φυσικό ανθρωπογενές/ ανθρώπινο περιβάλλον, και παρ' όλο που αναλίσκουμε πολλή ενέργεια προσπαθώντας να την αποφύγουμε, είμαστε προγραμματισμένοι να επιβιώνουμε μέσα από καταστροφές.»
"Perhaps catastrophe is the natural human environment, and even though we spend a good deal of energy trying to get away from it, we are programmed for survival amid catastrophe."]

(Germaine Greer)

Η συγγραφή αυτού του πρώτου κεφαλαίου της παρούσας εργασίας στοχεύει στην «μύηση» σε ένα πεδίο της επιστημονικής γνώσης, αλλά και της ανθρώπινης εμπειρίας που αφορά στην επισκόπηση ακραίων φυσικών συμβάντων τα οποία δυνητικά εξελίσσονται σε καταστάσεις οι οποίες επιφέρουν έντονους και εξαιρετικά δυσμενείς αντίκτυπους επί του ανθρώπου, της ιδιοκτησίας του ή του περιβάλλοντος. Έτσι, σε αυτό το προκαταρκτικού χαρακτήρα τμήμα της εργασίας, επιχειρείται η διερεύνηση της φύσης και των αιτιών πρόκλησης φυσικών καταστροφών, αλλά και της δυνάμει διευθέτησής τους μέσα από την ανάληψη δράσεων, στη βάση διάφορων προσεγγίσεων ή/ και θεραπευτικών οδών. Παρέχεται λοιπόν το εννοιολογικό υπόβαθρο που απαιτείται για την κατανόηση των ισορροπιών των δυνάμεων που επενεργούν ώστε ένα φυσικό φαινόμενο να καταστεί εν τέλει απειλητικό, με τελικό σκοπό την επίτευξη μιας δυνάμει ολοκληρωμένης θεώρησης και διαχείρισης επεισοδίων τα οποία επιφέρουν δεινά, συμφορές και φθορές/ ζημιές στα έμψυχα, υλικά ή/ και άυλα συστατικά μέρη μιας κοινωνίας, στον χώρο και στον χρόνο.

1.1 «Φυσικές» Καταστροφές: Γενική Επισκόπηση και Προσεγγίσεις

1.1.1 Προοίμιο

Σε έναν κόσμο όπου η συνεχής αναβάθμιση του βιοτικού επιπέδου προτάσσεται ως κορωνίδα των στόχων του ανθρώπινου γένους – τουλάχιστον όσον αφορά στις πιο ανεπτυγμένες χώρες (Most Developed Countries – MDCs) –, η

διαφύλαξη της ανθρώπινης ζωής καταλαμβάνει την ύψιστη θέση στην κλίμακα του περιορισμού των αρνητικών επιπτώσεων από την εμφάνιση βίαιων ξεσπασμάτων ακραίων και καταστροφικών επεισοδίων. Εντούτοις, ούτε οι ανθρώπινες απώλειες από πάσης φύσεως καταστροφές δείχνουν να σημειώνουν πτωτική πορεία, ούτε όμως και οι ταχέως εκδηλούμενες (rapid onsets) εμφανίσεις καταστροφικών συμβάντων προκαλούν τα μεγαλύτερα πλήγματα και τα πιο επιζήμια αποτελέσματα. Αντίθετα, τόσο οι ανθρώπινες απώλειες, οι τραυματισμοί και οι υλικές ζημιές συνεχίζουν να υφίστανται αδιάπτωτα, ενώ η πρωτοκαθεδρία των ευθυνών για αυτές τις ολέθριες εκβάσεις αποδίδεται κατά κύριο λόγο όχι στα ξαφνικά ξεσπάσματα φυσικών καταστροφών, αλλά στις πολεμικές συγκρούσεις, στις επιδημίες και σε καταστροφές βραδείας εκδήλωσης (slow onset disasters) όπως οι ξηρασίες και οι λιμοί. Στον πίνακα 1.1 διαγράφεται με σαφήνεια η σχεδόν αμελητέα ποσοστιαία «συνεισφορά» των συνεπειών των αιφνίδιων περιστατικών στο σύνολο των θυμάτων κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα.

Πίνακας 1: Θάνατοι κατά τη διάρκεια καταστροφών, ταξινομημένοι με βάση την αιτία, 1900 – 1999

Αιτία θανάτου	Νεκροί (εκατομμύρια)	Ποσοστό θανάτων (%)
Πολιτική βία	270.7	62.4
Καταστροφές βραδείας εκδήλωσης	70.0	16.1
Καταστροφές ταχείας εκδήλωσης	10.7	2.3
Επιδημίες	50.7	11.6
Οδικά, σιδηροδρομικά αεροπορικά και βιομηχανικά ατυχήματα	32.0	7.6
ΣΥΝΟΛΟ	434.1	100

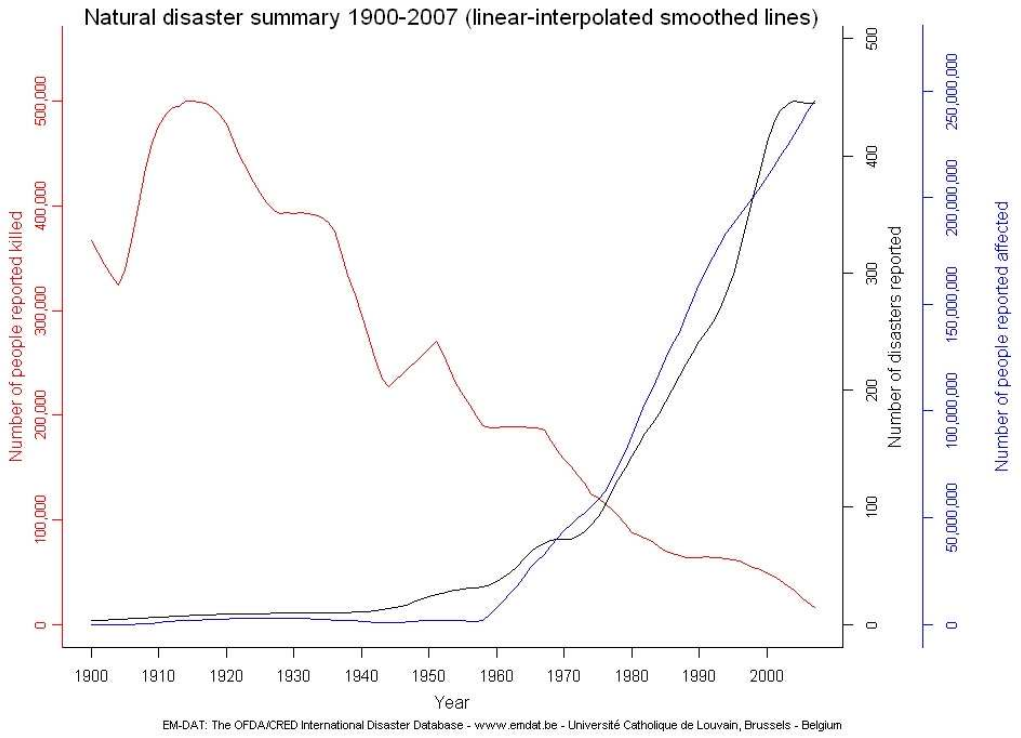
Πηγή: CRED, 2002 στο www.cred.be/emdat, εκτός από τα στοιχεία για την πολιτική βία, για τα οποία πηγή είναι Sivard, 2001.

Σημειώσεις: Οι Wisner *et al.* (2004) εκτιμούν το μέγεθος των απωλειών εξ' αιτίας καταστροφών βραδείας εκδήλωσης σε 70 εκατομμύρια, καθώς θεωρούν ότι οι επίσημες πηγές υποεκτιμούν το αντίστοιχο μέγεθος σε μόλις 18 εκατομμύρια.

Παρ' όλα αυτά, αντί μια τέτοια κατάσταση να συνηγορεί στην απαξίωση των φυσικών καταστροφών ως αιτιών που προκαλούν τον ανθρώπινο πόνο και δυστυχία – εφόσον δεν είναι οι κύριοι παράγοντες που στοιχίζουν την ζωή εκατομμυρίων ανθρώπων –, μάλλον τείνει να καταδεικνύει τον βαθμό που η ανθρωπογενής δραστηριότητα υπονομεύει τις ίδιες τις προοπτικές της ανθρώπινης ζωής καθώς και το γεγονός ότι η οικονομική ανάπτυξη και η τεχνολογική πρόοδος, πολλές φορές κάθε άλλο παρά συνάδουν με την εξασφάλιση μιας υγιούς και ασφαλούς ζωής (για όλους). Εξ' άλλου, αν στις βίαια εκδηλούμενες καταστροφές προστεθούν και οι πιο αργόσυρτες, τότε ο φόρος αίματος εξ' αιτίας φυσικών κινδύνων ανέρχεται σε ένα πολύ σημαντικό αριθμό ανθρώπων (80 εκ.), που δεν είναι δυνατό να αγνοηθεί, ακόμη και αν υποσκελίζεται από τις ανθρωπογενώς προκαλούμενες απώλειες[1].

Ακόμη λοιπόν και αν αυτά τα δεδομένα «κάνουν τις φυσικές καταστροφές να ωχριούν», εξαιρετικά κρίσιμη είναι η επίγνωση του γεγονότος ότι οι ολέθριες συνέπειες καταστροφών που εκπορεύονται από φαινόμενα και διαδικασίες στο φυσικό περιβάλλον, δεν αφορούν μόνο σε ανθρώπινες απώλειες, αλλά και σε υλικές ζημιές, καθώς και στην ευρύτερη διαταραχή στην κοινωνική ζωή και στις διάφορες οικονομικές και άλλες δραστηριότητες, με πολυποίκιλες επιπτώσεις στα εκάστοτε πολιτικά και θεσμικά πλαίσια. Έτσι, οι συνολικές επιπτώσεις από την εμφάνιση καταστροφικών πληγμάτων δε δείχνουν να «κατευνάζονται» με το πέρασμα του χρόνου, ειδικά για τις λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες (Least Developed Countries – LDCs). Επιπροσθέτως, η συχνότητα εμφάνισης φυσικών καταστροφών κατά τον τελευταίο αιώνα, σύμφωνα με τα στοιχεία του CRED, παρουσιάζει μια έντονα αυξητική τάση, όπως και ο αριθμός των ανθρώπων που «θίγονται», στοιχεία που στο σύνολό τους συνθέτουν μια διηνεκώς επιβαρυνόμενη κατάσταση, προκαλώντας βάσιμες ανησυχίες για το μέλλον (Σχ. 1).

[1] Εδώ θα έπρεπε να προστεθεί ο επιθετικός προσδιορισμός *αμιγώς*, καθ' ότι, όπως θα φανεί και στα παρακάτω, καμία καταστροφή δεν μπορεί να προκληθεί άνευ της αλληλεπίδρασης μιας φυσικής διαδικασίας ή φαινομένου με το ανθρωπογενές περιβάλλον



Σχήμα 1: Μια σύνοψη της πορείας των φυσικών καταστροφών της περιόδου 1900 – 2008 σε σχέση με τον αριθμό των συμβάντων, των ανθρώπων που πλήττονται και των ανθρώπων που χάνουν τη ζωή τους εξ' αιτίας φυσικών καταστροφών

Πηγή: CRED, 2008, στο http://www.emdat.be/Database/Trends/trends.html

1.1.2 Προσέγγιση

Σε κάθε περίπτωση πάντως, η ανθρώπινη ζωή είναι ανεκτίμητη. Το δικαίωμα στην ζωή είναι πρωταρχικό για να καταλύεται από ένα καταστροφικό συμβάν του οποίου η εμφάνιση, ή τουλάχιστον οι επιπτώσεις είναι δυνητικά αποφεύξιμες. Και ενώ το «ζην σε συνθήκες απόλυτης ασφάλειας» δεν μπορεί να αποτελέσει ανθρώπινο δικαίωμα, η διαβίωση σε συνθήκες σχετικής ασφάλειας, δίχως τον συνεχή φόβο της επικείμενης απειλής, μπορεί. Η απουσία μοιρολατρικής στάσης απέναντι σε επαπειλούμενα δεινά, σε συνδυασμό με την επίγνωση ότι η ανθρώπινη και κοινωνική

συμπεριφορά, ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες[2] ενέχει την δυναμική να μεταβάλλει σε κάποιον βαθμό, ευμενώς, ή/ και δυσμενώς τις φυσικές συνιστώσες μιας επερχόμενης καταστροφής, ή ότι μπορεί να ματαιώσει, ή τουλάχιστον να μετριάσει (αλλά και να πυροδοτήσει) την αιφνίδια ρήξη των δραστηριοτήτων και λειτουργιών και τις διαταραχές στον κοινωνικό βίο, και τις εν γένει επιζήμιες επιπτώσεις που μια φυσική καταστροφή δυνητικά επιφέρει, θα πρέπει να αρχίζουν να γίνονται κοινή συνείδηση.

Προκειμένου όμως διατυπώσεις όπως οι παραπάνω να επεκταθούν και να ενσωματωθούν σε μια δομημένη σειρά επιχειρηματολογίας, ώστε, επιπροσθέτως, να παράσχουν τις προοπτικές για γόνιμη σκέψη, θα πρέπει να προϋπάρχει, δηλ. να έχει προ-παραχθεί ένα ενιαίο/ ενοποιημένο θεωρητικό πλαίσιο, όπου, από την οπτική των κινδύνων και των καταστροφών, να ερμηνευθούν τα υπό διερεύνηση φαινόμενα και διαδικασίες σύμφωνα με απλές, καθολικές (universal) αρχές. Κάτι τέτοιο όμως μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την ανάκυψη και άνθηση ενός «νεογνού» (nascent) πεδίου της γνώσης ή μιας «νεοπαγούς» επιστημονικής πειθαρχίας – «καταστροφολογίας» (“disastreology”) – , όπου η φύση του προβλήματος στα (ολέθρια) συμβάντα θα καθορίζει τις εφαρμόσιμες μεθόδους. Και καθώς οι καταστροφές είναι φαινόμενα ολιστικά από τη φύση τους, κατά την διερεύνησή τους, υπό την προσέγγιση και αρωγή ενός τέτοιου επιστημονικού πεδίου, θα (πρέπει να) προάγεται και καλλιεργείται μια εξίσου ολιστική θεώρηση, υποστηριζόμενη από τον απότοκο της σύνθεσης και συνέργιας άλλων επιστημονικών πειθαρχιών, προκειμένου να καταστεί σαφής η συσχέτιση ανάμεσα σε ανόμοια φαινόμενα και συμβάντα, και να πραγματωθεί ένα πιο μεστό συνταίριασμα των φυσικών και κοινωνικών πτυχών των μελετών που αφορούν στις καταστροφές (Alexander, 2000).

Παρ’ ότι το εγχείρημα της μετουσίωσης του νέου αυτού γνωστικού πεδίου σε μια έγκυρη, έγκριτη και πλήρως θεμελιωμένη επιστημονική προσέγγιση συνεχίζει να ανάγεται στη αναζήτηση της «φιλοσοφικής λίθου», ενώ παράλληλα, εν γένει, οι σχετικές έρευνες και μελέτες κρίνονται ανεπαρκείς, ωστόσο το απόσταγμα της πολύχρονης προόδου στο συναφές πεδίο έχει εμπλουτίσει την διεθνή βιβλιογραφία και εμπειρία με διάφορα ισχυρά θεωρητικά «εφόδια» και τελεσφόρες πρακτικές αντίστοιχα. Για αυτόν τον λόγο, θεωρείται χρήσιμο σε αυτό το σημείο της εργασίας

[2] Δηλαδή την κοινωνικοοικονομική κατάσταση, την ασκούμενη πολιτική, το πολιτισμικό υπόβαθρο και τα τεχνολογικά μέσα, σε άμεση αλληλεπίδραση με το φυσικό περιβάλλον

να γίνει η εισαγωγή, προώθηση, παρουσίαση και αποσαφήνιση κάποιων εννοιών και όρων που διαποτίζουν τη σχετική με τις φυσικές καταστροφές διεθνή βιβλιογραφία καθ' ότι εμπεριέχουν μια εγγενή ασάφεια στην ξενόγλωσση βιβλιογραφία, η δε μετάφραση και απόδοσή τους στην ελληνική έχει αποτελέσει αντικείμενο συζητήσεων για τους συναφείς με τον κλάδο επιστήμονες και τους εν γένει «διαπλεκόμενους» στη διαδικασία λήψης αποφάσεων[3] όσον αφορά στην αντιμετώπιση καταστροφικών κρουσμάτων από φυσικούς και άλλους κινδύνους. Παρακάτω γίνεται μια προσπάθεια να αναδειχθούν και να αποσαφηνιστούν οι εμπλεκόμενοι όροι μέσω κάποιων ορισμών, συνοδευόμενοι από παραδείγματα, ώστε να αποφευχθεί η σύγχυση. Εν τέλει, η συγγραφή αυτού του κεφαλαίου στοχεύει στο να αποτελέσει το θεωρητικό υπόβαθρο, ώστε μέσα από την ανάπτυξη βασικών όρων και εννοιών και της ανάδειξης της μεταξύ τους αλληλεπίδρασης να θεμελιωθούν σε μια υφιστάμενη (αν και όχι απολύτως ικανοποιητική) θεωρία – που υποστηρίζεται και επαληθεύεται από την εμπειρία – οι επακόλουθες επιλογές, μέθοδοι και τεχνικές. Επιπλέον, επ' αυτού του κεφαλαίου προδιαγράφεται η μεθοδολογία οικοδόμησης της εργασίας, καθώς θα επιχειρείται η εμβάθυνση, στην προσπάθεια να επιτευχθούν οι ευρύτεροι στόχοι της.

1.2 Από τον Κίνδυνο στην Καταστροφή

1.2.1 Κίνδυνος ≠ Διακινδύνευση

[Δεν μπορεί να υπάρξει τρωτότητα δίχως διακινδύνευση· δεν μπορεί να υπάρξει κοινωνία δίχως τρωτότητα· δεν μπορεί να υπάρξει ειρήνη, και εν τέλει ζωή, δίχως κοινωνία.»
"There can be no vulnerability without risk; there can be no community without vulnerability; there can be no peace, and ultimately no life, without community."]

(M. Scott Peck**)**

Η ζωή στην βιόσφαιρα διέπεται από φαινόμενα, διαδικασίες, καταστάσεις, γεγονότα και συγκυρίες που μπορούν να επιφέρουν διαταραχές και δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη ασφάλεια και υγεία, καθώς και πλήγματα σε αγαθά και

[3] π.χ. φορείς πολιτικής προστασίας

αντικείμενα που έχουν αξία για τον άνθρωπο. Επομένως, ο *κίνδυνος (hazard)* είναι «εγγενής» της ανθρώπινης ζωής, καθ' ότι συνιστά ένα αναπόσπαστο και αναπόδραστο «συστατικό» της καθημερινής ζωής, δεδομένου ότι δεν υπάρχει περιβάλλον παντελώς απαλλαγμένο από τον κίνδυνο.

Η έννοια της *διακινδύνευσης (risk)* είναι συναφής, ενέχει όμως την επιπλέον συνεπαγωγή του ενδεχομένου να επισυμβεί στην πραγματικότητα ένας συγκεκριμένος κίνδυνος. Ενώ λοιπόν ο κίνδυνος εκλαμβάνεται ως μια (φυσικά ή τεχνητά προκαλούμενη) διαδικασία που εμφορείται από το δυναμικό της απώλειας, αποτελώντας μια γενική μορφή απειλής (danger), η διακινδύνευση συνιστά την πραγματική *έκθεση* (*exposure*) οποιουδήποτε στοιχείου που έχει αξία για τον άνθρωπο σε κάποιον κίνδυνο, θεωρούμενη ως ένας συνδυασμός πιθανότητας και απώλειας (Smith, 1996). Επομένως, θα μπορούσε να διατυπωθεί πως ο κίνδυνος υφίσταται ανεξάρτητα από την παρουσία ανθρώπων (π.χ. η δυνητική έκρηξη ενός ηφαιστείου σε μια ακατοίκητη περιοχή), ενώ η διακινδύνευση λαμβάνει χώρα μόνον όταν κάποιο ανθρωπογενές στοιχείο εκτίθεται – υπό διαφορετικές συνθήκες έκθεσης – σε αυτήν την γενική πηγή κινδύνου (π.χ. υπαρκτό ενδεχόμενο απώλειας ανθρώπινων ζωών και ιδιοκτησίας λόγω της έκρηξης ηφαιστείου πλησίον κάποιου οικισμού). Η μεταξύ τους διαφοροποίηση έχει παρουσιαστεί από τον Okrent (1980) μέσω ενός παραδείγματος δύο ανθρώπων που διασχίζουν τον ωκεανό· ο ένας μέσα σε ένα πλοίο, ενώ ο άλλος πάνω σε μια κωπηλατική λέμβο. Ο βασικός κίνδυνος είναι ο ίδιος και για τους δύο – βαθιά νερά και μεγάλα κύματα –, όμως η διακινδύνευση (ενδεχόμενο του πνιγμού) είναι κατά πολύ μεγαλύτερη για εκείνον που διασχίζει τον ωκεανό πάνω στην κωπηλατική λέμβο.

Από αυτό το παράδειγμα αρχίζει να καθίσταται αντιληπτό ότι η διακινδύνευση σε κάθε περίπτωση εμφάνισης ενός ενδεχόμενου κινδύνου, εμπλέκει μια παράμετρο που θα μπορούσε να ονομαστεί *ανθρώπινη ευαισθησία (human sensitivity)*. Η τελευταία αποτελεί τη συνισταμένη δύο άλλων παραγόντων, τόσο της *φυσικής έκθεσης (physical exposure*), όσο και της *ανθρώπινης τρωτότητας ή τρωτότητας (vulnerability)*. Σε γενικές γραμμές, ο πρώτος παράγοντας «αναπαριστά» το εύρος, την έκταση και την μεταβλητότητα των ενδεχομένως καταστροφικών γεγονότων, ενώ ο δεύτερος το κοινωνικό και οικονομικό «φάσμα» ανοχής σε τέτοια γεγονότα (Smith, 1996).

Εκτός λοιπόν από παραμέτρους που αναφέρονται στο περιστατικό αυτό καθ' αυτό, θα πρέπει να καταστεί αναμφίλεκτο το γεγονός ότι οι συνέπειες ενός τέτοιου ακραίου συμβάντος τελούνται σε συνάρτηση και αλληλεξάρτηση με το ανθρωπογενές περιβάλλον με το οποίο κάθε φορά αλληλεπιδρούν, παρ' ότι τα εγγενή χαρακτηριστικά του, δηλαδή ο χωρικός εντοπισμός (location), ο χρονισμός (timing), το μέγεθος (magnitude) και η συχνότητα (frequency) συνιστούν πρωταρχικά καθοριστικούς παράγοντες ενός κινδύνου (hazard) και εν γένει είναι ανεξάρτητοι από την ανθρωπογενή παρουσία. Εξ' άλλου, σύμφωνα με έναν άλλο ορισμό που αποδίδεται στους κινδύνους (hazards) από τον Alexander (2000), οι τελευταίοι είναι ακραία γεωφυσικά (geophysical) συμβάντα που είναι δυνατόν να προκαλέσουν συμφορές, με τον όρο «ακραίο» να αναφέρεται στην σημαντική παρέκκλιση της τιμής ενός μεγέθους εκατέρωθεν μιας μέσης τιμής (π.χ. οι καταστροφές από πλημμύρες πυροδοτούνται από ασυνήθιστα πολύ υψηλές τιμές κατακρημνισμάτων, ενώ οι συμφορές από ξηρασίες οφείλονται σε ασυνήθιστα πολύ χαμηλές).

Συνηγορώντας τώρα στην σημασία αυτών των καθοριστικών παραγόντων – οι οποίοι μεταβάλλουν την μια διάσταση της ανθρώπινης ευαισθησίας, και δη τη φυσική έκθεση – αρκεί να διατυπωθεί ότι πολλά φαινόμενα που εμφορούνται από το δυναμικό της πρόκλησης καταστροφών επανεμφανίζονται στον χρόνο με σχετικά προβλέψιμες εμφανίσεις στον χώρο, όπως οι τυφώνες (hurricanes, typhoons, intense tropical cyclones), οι οποίοι εκδηλώνονται σε γεωγραφικά πλάτη 5° έως 25° εκατέρωθεν του Ισημερινού, ενώ εξελίσσονται στα τέλη της καλοκαιρινής και της φθινοπωρινής περιόδου στο πλαίσιο της απόκρισης σε μετεωρολογικές αναταράξεις (ανατολικά κύματα – easterly waves) (Hess & Elsner, 1994; Diaz & Pulwarty, 1997). Επιπροσθέτως, ο κανόνας μεγέθους-συχνότητας (magnitude-frequency rule) που διέπει συμβάντα όπως οι πλημμύρες και οι σεισμοί, υποδηλώνει ότι σε ένα ικανό χρονικό διάστημα θα λάβουν χώρα αρκετά μικρά επεισόδια και λίγα μεγάλα (Wolman & Miller, 1960).

Όμως, ακόμη και στην περίπτωση που αγνοηθεί μερικώς η ανθρωπογενής αλληλεπίδραση, μια σειρά από λόγους τείνουν να αποτρέπουν την υιοθέτηση του κανόνα μεγέθους-συχνότητας για την προσέγγιση και διαχείριση τέτοιων ακραίων γεγονότων. Τέτοιοι είναι η έλλειψη επαρκών και εμπεριστατωμένων διαθέσιμων στοιχείων και πληροφορίας προκειμένου να καταστεί εφικτή η ανάπτυξη γραφημάτων μεγέθους-συχνότητας με κάποιον βαθμό στατιστικής αξιοπιστίας.

Επιπλέον, στην κλίμακα διάρκειας της ανθρώπινης ζωής, διάφοροι κίνδυνοι (π.χ. μετεωρολογικής φύσης) έχουν ακανόνιστους χρόνους επανεμφάνισης και είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθούν. Ακόμη, πάντοτε τίθεται στο προσκήνιο το ενδεχομένως μη επιλύσιμο πρόβλημα-ζήτημα περί των μεγάλης κλίμακας σπάνιων συμβάντων: στο φυσικό τοπίο, είναι τελικά η σωρευτική επίδραση πολλών μικρών επεισοδίων που λαμβάνει την μεγαλύτερη σπουδαιότητα έναντι περιστασιακών κατακλυσμιαίων φαινομένων ή το αντίθετο (Brunsden and Thornes, 1979);

Από την άλλη, η κλίμακα της καταστροφής είναι δυνητικά – σε κάποιον βαθμό – ανεξάρτητη από το μέγεθος του γεγονότος. Η διεθνής εμπειρία έχει να επιδείξει αξιοσημείωτες περιπτώσεις όπου ένα μικρής ή μέτριας έντασης συμβάν επέφερε τεράστιο όλεθρο. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί ο σεισμός στο Kobe (Ιαπωνία), κατά τον οποίο μια σεισμική δόνηση M = 7,2 R (όχι πολύ ισχυρής έντασης) επέσυρε τον θάνατο σε άνω των 6.000 ανθρώπους και προκάλεσε χιλιάδες τραυματισμούς. Σε αυτό το σημείο λοιπόν υπεισέρχεται η άλλη παράμετρος που συντελεί στην ανθρώπινη ευαισθησία, η τρωτότητα. Η εξαιρετικής σημασίας αυτή έννοια θα περιγραφεί αφού πρώτα καταδειχτεί πώς ένα ακραίο φυσικό φαινόμενο (και το μέγεθος του), όχι μόνο δεν μεταβάλλει την κλίμακα της ενδεχόμενης καταστροφής, αλλά πιθανώς αποφέρει ωφέλιμες επενέργειες για την ανθρώπινη ζωή, την ευημερία, ακόμη και για την διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος και την αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας.

1.2.2 Φυσικός Κίνδυνος ή Φυσικός Πόρος (;)

[«Δεν υπάρχει ασφάλεια σε αυτόν τον κόσμο. Μόνο ευκαιρία.»
“There is no security on this earth. Only opportunity.”]

(Douglas Macarthur**)**

Πολλές φορές, μια ανεπαίσθητη γραμμή διαχωρίζει έναν φυσικό (ή περιβαλλοντικό) κίνδυνο από έναν φυσικό πόρο. Έτσι, το νερό από μια ραγδαία βροχόπτωση σε μια ημιάνυδρη περιοχή μπορεί να αποτελέσει κρίσιμο πόρο με ευεργετικά αποτελέσματα για την διαβίωση των αυτοχθόνων πληθυσμών, ενώ αν ίδιας έντασης βροχόπτωση λάβει χώρα σε μια αστική περιοχή, ενδεχομένως να προκληθούν καταστροφικές συνέπειες. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και με τις

χιονοπτώσεις: όταν το χιόνι εξ' αυτών προσπίπτει στις πλαγιές ενός χιονοδρομικού κέντρου αποτελεί μέσο διασκέδασης για τους επισκέπτες και πηγή πλουτισμού για τους ιδιοκτήτες του κέντρου. Ακόμη και το τετηγμένο μαγματικό υλικό, η στάχτη, καθώς και λοιπά αέρια τα οποία εξέρχονται από τις οπές του στερεού φλοιού με τις ηφαιστειακές εκρήξεις είναι δυνατό να έχουν ευνοϊκές συνέπειες για την ζωή και την ευημερία των κατοίκων της «πληγείσας» περιοχής υπό ιδιαίτερες συνθήκες. Όπως άλλωστε αναφέρει και ο Wood (1986), παρ' ότι τα ηφαίστεια αποτελούν κίνδυνο, σε βάθος χρόνου κάποια από τα παράγωγά τους είναι ωφέλιμα, όπως τα εξαιρετικά γόνιμα εδάφη που προκύπτουν λόγω της διάβρωσης των πυροκλαστικών (μαγματικών) υλικών και της ηφαιστειακή στάχτης, καθώς και λόγω της ευεργετικής επίδρασης του ήπιου ραντίσματος της τελευταίας.

Λοιπόν, όταν τα συνδυασμένα αποτελέσματα της επενέργειας ενός ακραίου συμβάντος στη φύση είναι ωφέλιμα για την ανθρώπινη ευημερία, τότε θεωρούνται «ευλογία» και είναι καλοδεχούμενα, ενώ το φυσικό περιβάλλον «αξιολογείται» ως φιλικό και φιλόξενο. Άλλοτε πάλι, όταν το ανθρωπογενές στοιχείο υπόκειται σε δυσμενείς «επιρροές», όπως (ανθρώπινες) απώλειες, τραυματισμοί και υλικές ζημιές, από ένα – αντίστοιχου μεγέθους και σφοδρότητας – επεισόδιο, τότε η ανθρώπινη νόηση τείνει να εκλαμβάνει το περιβάλλον ως εχθρικό.

Όμως, κατ' ουσίαν, το περιβάλλον ούτε ήπιο και φιλικό (μπορεί να) είναι, αλλά ούτε αφιλόξενο και εχθρικό· ο τόπος και η θέση όπου εντοπίζεται η ανθρωπογενής παρουσία, τα συναφή ενεργήματα και δραστηριότητες, καθώς και η ίδια η ανθρώπινη αντίληψη, αποδίδουν σημασία σε ένα εύρος φυσικών γεγονότων, κατατάσσοντάς τα ως πόρους ή κινδύνους (Burton *et al*., 1993). Επιπλέον, τα φυσικά φαινόμενα εμπεριέχουν τόσο κινδύνους, όσο και ευκαιρίες, παρ' όλα αυτά η επίδρασή τους μεταβάλλεται λόγω της διαφορικής (και άνισης) *έκθεσης* στους πρώτους όσο και *πρόσβασης* στις δεύτερες (Cannon, 1994).

Επομένως, οι φυσικές καταστροφές προκύπτουν ως απόρροια της «σύγκρουσης» γεωφυσικών διαδικασιών με τον άνθρωπο. Σε αυτόν δε τον συσχετισμό δυνάμεων, ο άνθρωπος είναι που, διαμέσου του χωρικού εντοπισμού της θέσης του και της (υποκειμενικής) αντίληψής του, κατέχει τον κεντρικό και ενεργό ρόλο, με τις επιλογές του σε θέματα χωροθέτησης των δραστηριοτήτων του και χρήσης των γαιών, υπό το πρίσμα της αποτίμησης των φυσικών διαδικασιών, στο πλαίσιο της γενικότερης αξιολόγησης του φυσικού περιβάλλοντος (Smith, 1996). Ως

εκ τούτου, πολλές διαδικασίες που διέπονται από το στοιχείο του κινδύνου, απλά αναπαριστούν τα ακρότατα μιας κατανομής συμβάντων, που θα μπορούσαν να αποτελούν χρήσιμο πόρο σε λίγο διαφορετικό πλαίσιο (Kates, 1971). Αυτό το μεταβαλλόμενο πλαίσιο σχετίζεται άμεσα με τις γενικότερες κοινωνικο-οικονομικές και πολιτικές συνθήκες, που αποτελούν ταυτόχρονα και κύριες συνιστώσες της τρωτότητας. Στην επόμενη ενότητα, επιστρέφουμε στην εξέταση της τελευταίας.

1.2.3 Τρωτότητα

[*«Όταν ένα κτίσμα είναι ετοιμόρροπο,*
Η «πίεση» έγκειται ισχυρότερα στο πιο αδύναμο σημείο του,
Μια μικροσκοπική ρωγμή διαδίδεται από άκρου εις άκρον στην οικοδομή,
Και το ίδιο της το βάρος σύντομα επιφέρει την κατακρήμνισή της.»
"When a house is tottering to its fall,
The strain lies heaviest on the weakest part,
One tiny crack throughout the structure spreads,
And its own weight soon brings it toppling down."]

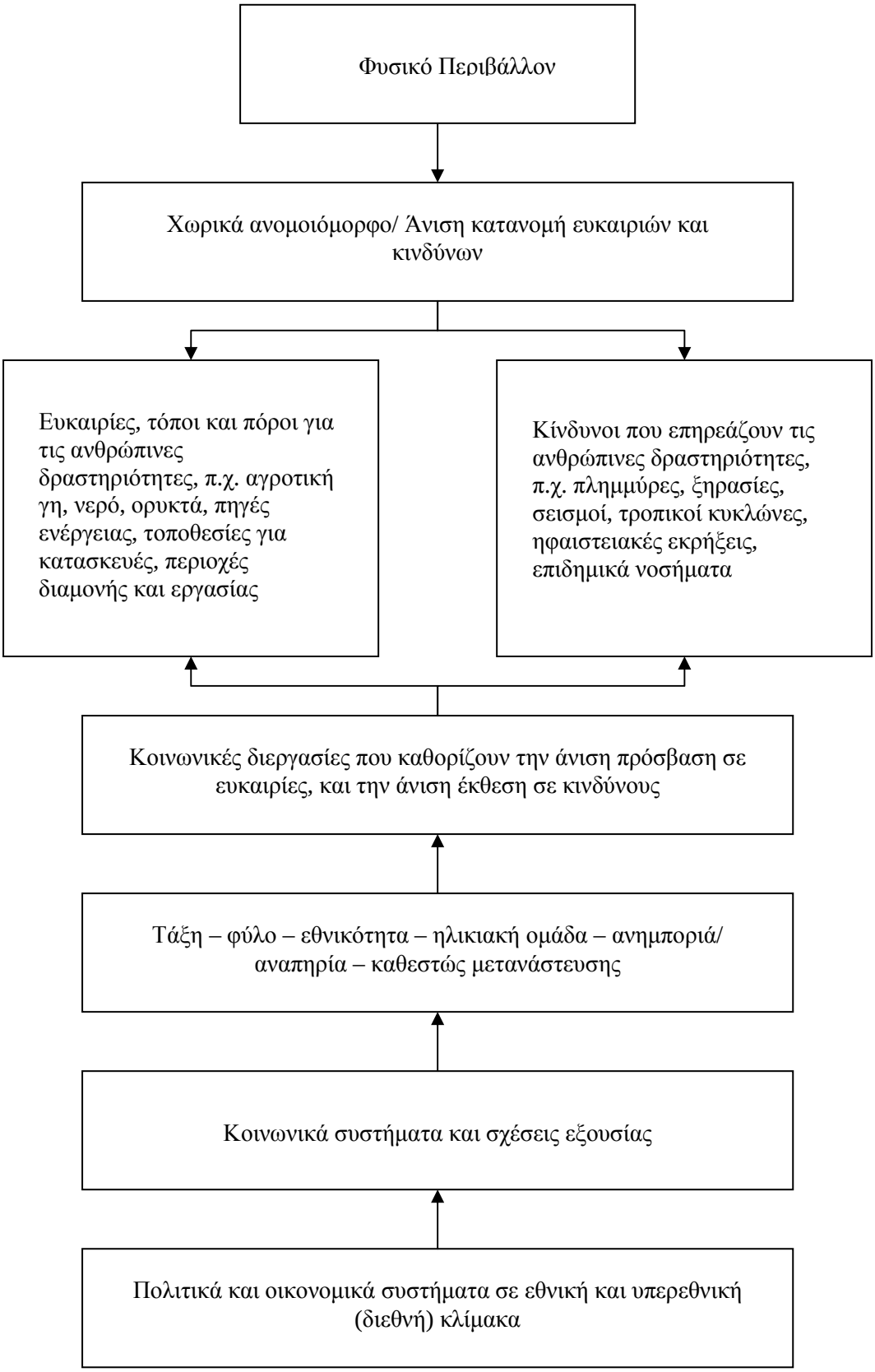
(Ovidius)

Η τρωτότητα αποτελεί ένα διανόημα που η μέση κοινωνική συνείδηση τείνει να του αποδίδει την σημασία μιας κατάστασης κατά την οποία ένα υποκείμενο (ή μια ομάδα) είναι επιρρεπές ή ευάλωτο στον τραυματισμό ή στην «φθορά». Σε ένα πιο εξειδικευμένο και λειτουργικό ορισμό, οι Wisner *et al.* (2004) με τον όρο τρωτότητα εννοούν: «*τα χαρακτηριστικά κάποιων ατόμων ή ομάδων και της κατάστασής τους η οποία επηρεάζει την ικανότητά τους να προλαμβάνουν, να αντεπεξέρχονται, να αντιστέκονται και να ανακάμπτουν από τον αντίκτυπο ενός φυσικού κινδύνου.*»

Επομένως, αυτή η έννοια συμπεριλαμβάνει μια σειρά από παράγοντες που καθορίζουν τον βαθμό που η ζωή, ο βιοπορισμός (livelihood), και τα περιουσιακά στοιχεία ενός ανθρώπου, ή μιας ομάδας ανθρώπων τίθενται σε κίνδυνο εξ' αιτίας ενός διακριτού και εντοπίσιμου/ αναγνωρίσιμου γεγονότος[4] που λαμβάνει χώρα στην διεπαφή φύσης και κοινωνίας. Τέτοιοι παράγοντες ή μεταβλητές που διαφοροποιούν τον αντίκτυπο του φυσικού κινδύνου και καθιστούν ανθρώπους (ή/ και ομάδες)

[4] ή μιας σειράς γεγονότων

περισσότερο/ ή λιγότερο ευπαθείς στην φθορά, την απώλεια και τα δεινά αποτελούν: η τάξη (συγκαταλέγοντας και τις οικονομικές και εισοδηματικές διαφοροποιήσεις), η κάστα, η απασχόληση, η εθνικότητα, το φύλο, η κατάσταση υγείας, η ηλικία, το καθεστώς μετανάστευσης (νόμιμοι ή παράνομοι μετανάστες), καθώς και η φύση και το εύρος των κοινωνικών δικτύων (Wisner *et al.*, 2004). Στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 2) αναπαρίσταται αυτό που έχει ήδη αρχίσει να διαφαίνεται από τα προηγούμενα, και πρόκειται να αναπτυχθεί πιο διεξοδικά στα επόμενα: την δυναμική των κοινωνικών διεργασιών – εδραζόμενων στα εκάστοτε πολιτικά και οικονομικά συστήματα – κατά τη διαπλοκή τους με το φυσικό περιβάλλον, ως παράγοντα καθορισμού τόσο της άνισης πρόσβασης σε ευκαιρίες (και πόρους), όσο και της άνισης έκθεσης σε κινδύνους.



Σχήμα 2: Η κοινωνική αιτιότητα των καταστροφών

Πηγή: Wisner *et al.*, 2004 (Τροποποίηση)

Η τρωτότητα συνιστά έναν όρο που ενέχει ποίκιλλα μεγέθη, πολλές φορές όμως χρησιμοποιείται κατά τρόπο που να καταδεικνύει εκείνους (τους ανθρώπους) που βρίσκονται στο «δυσμενέστερο» άκρο του φάσματος, όποτε σε αυτήν την περίπτωση, ο εκ διαμέτρου αντίθετος όρος δυνητικά συνδέεται με την έννοια που ονομάζεται ασφάλεια (security) και όλοι εκείνοι που διακατέχονται από αυτήν την ιδιότητα» μπορούν να χαρακτηριστούν ασφαλείς (secure). Άλλοι (Anderson & Woodrow, 1998; Eade, 1998; IFRC, 199b; Wisner, 2003a), μεταχειρίζονται ως συμπληρωματικό της τρωτότητας, τον όρο της *ικανότητας (capacity)* – της ιδιότητας ενός συνόλου ανθρώπων να ανθίσταται στις φθοροποιούς επενέργειες ενός κινδύνου και να αποκαθίσταται εύκολα.

Η τρωτότητα λοιπόν λογίζεται ως μια παράμετρος που διαπνέεται από την παρουσία ή την απουσία της δυναμικής (από πλευράς) των ανθρώπινων υποκειμένων που εκτίθενται σε έναν κίνδυνο να προσαρμοστούν στις οποιεσδήποτε «αντιξοότητες» και να ανακάμψουν. Μια τέτοια διατύπωση όμως, ενώ φαίνεται να εξαίρει τους ανθρωπογενείς παράγοντες (κοινωνικοί, οικονομικοί, πολιτικοί, πολιτισμικοί κ.α.) υποδηλώνοντας πως στην πλάστιγγα της ισορροπίας των δυνάμεων οι τελευταίοι βαραίνουν περισσότερο και ιδιαιτέρως έναντι των φυσικών διαδικασιών, δεν έχει ως απώτερο σκοπό να απαξιώσει την σημασία της γνώσης και κατανόησης των τελευταίων προκειμένου να διευθετηθεί ένας φυσικός κίνδυνος. Αντιθέτως, *τρόπον τινά* επιχειρεί να δώσει το έναυσμα και την αφορμή προκειμένου να αντισταθμιστούν οι ισορροπίες που υιοθετούνται και συντηρούνται από τις κρατούσες απόψεις οι οποίες – μονοδιάστατα πολλές φορές – καταστούν τις φυσικές διαδικασίες ως τις πλέον σημαντικές, για τον απλούστατο λόγο ότι η μέριμνα και η ενασχόληση με τα τεχνικά ζητήματα που άπτονται των φυσικών διαδικασιών φαντάζουν λιγότερο ατελέσφορες από την (προσπάθεια για) διευθέτηση παραγόντων κοινωνικοοικονομικής φύσης. Επιπλέον, η προσέγγιση των φυσικών καταστροφών από την οπτική της ανθρώπινης τρωτότητας, δεν θα μπορούσε παρά να εγείρει επίμαχα ζητήματα ενδο- και δια-γενεακής ισότητας και δικαιοσύνης, η ενασχόληση με τα οποία, και η προσπάθεια επίλυσή τους, δυνητικά κλονίζει τα θεμέλια των κυρίαρχων πολιτικών και οικονομικών συστημάτων.

Βεβαίως, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η συνιστώσα των φυσικών γεγονότων και διαδικασιών υπερισχύει σαφώς στην τρυτάνη της αποτίμησης των αιτιών. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του φονικού χτυπήματος ενός νέφους διοξειδίου του άνθρακα που αναδύθηκε από τη λίμνη Nyos στο Καμερούν το 1986 και σύντομα εξαπλώθηκε στα παραπλήσια χωριά, προκαλώντας τον θάνατο 1.700 ανθρώπων περίπου, την ώρα που αυτοί κοιμόνταν (Baxter and Kapila, 1989). Θα μπορούσε να διατυπωθεί πως η θέση αυτού του συμβάντος βρισκόταν στο πέρας του «φυσικού» φάσματος της αιτιότητας, καθ' ότι η περιοχή επί της οποίας διαδραματίστηκε αυτή η τραγωδία ήταν μια εν γένει πλούσια αγροτική περιοχή, ενώ υπέφεραν τόσο οι περισσότερο, όσο και οι λιγότερο εύποροι, και επομένως η επίδραση της κοινωνικής αιτιότητας αποδείχθηκε «ισχνή». Μια άλλη κατηγορία φυσικών κινδύνων που, όπως θα φανεί και σε επόμενα, η επενέργειά τους κατατρύχει το σύνολο των εκτιθέμενων ομάδων πληθυσμών χωρίς διακρίσεις είναι οι ηφαιστειακές εκρήξεις. Σίγουρα όμως, για μια σειρά δεινών που συνδέονται με την ανάδυση όλων των λοιπών ακραίων φαινομένων που συνιστούν κινδύνους (π.χ. κατολισθήσεις, πλημμύρες, κ.α.), η ιδιαίτερη κατάσταση των διαφόρων ομάδων ανθρώπων καθορίζει σε μεγάλο βαθμό (και με διάφορους τρόπους) την ένταση των επιπτώσεων του πλήγματος που αυτοί θα υποστούν, την ετοιμότητα και δυνατότητα απόκρισής τους κατά την περίοδο έκτακτης ανάγκης, καθώς και τις προοπτικές τους για πλήρη ανάκαμψη και αποκατάσταση.

Έτσι λοιπόν, σε κάθε περίπτωση, η μεταβολή των βαθύτερων κοινωνικών και οικονομικών παραγόντων μέσω – ριζοσπαστικών πολλές φορές – πολιτικών αποφάσεων, που «κινητοποιούν» φυσικά και ανθρώπινα διαθέσιμα, έχουν την δυνατότητα να τροποποιήσουν τον τρόπο που οι εκάστοτε δυνάμεις αλληλεπιδρούν στον χώρο και στην κοινωνία. Τέτοιες πολιτικές μπορούν να εμπεριέχουν εδαφική αναμόρφωση, περιορισμούς και απαγορεύσεις στις χρήσεις γης, επιβολή κανονισμών οικοδόμησης, μεγαλύτερες επενδύσεις για την δημόσια υγεία, την παροχή καθαρού νερού και για άλλες υποδομές (Wisner *et al.*, 2004). Σε αυτήν την λογική, η πολιτική βούληση μπορεί να καθορίσει, να προωθήσει και να καθιερώσει γενικές κατευθυντήριες γραμμές και επιπροσθέτως τις επιμέρους τεχνικές που θα εφαρμοστούν για την ανάληψη δράσεων περί της διαχείρισης καταστροφικών περιστατικών. Επομένως, πρέπει κανείς να «κατέχει την επίγνωση» ότι ακόμη και τα

θέματα που άπτονται της τεχνικής ή τεχνολογικής γνώσης και εφαρμογής, μεταβαίνουν στη σφαίρα του πολιτικού γίγνεσθαι ώστε να καταστούν υλοποιήσιμα.

1.2.4 Εξίσωση Διακινδύνευσης

Από όλα τα προηγούμενα, αρχίζει να διαφαίνεται πως η (συνολική) διακινδύνευση (risk), κατά τον τρόπο που έχει οριστεί, εντάσσει παραμέτρους που επαφίενται τόσο στις διαδικασίες και τα μεγέθη των φυσικών (ακραίων) επεισοδίων – κίνδυνος –, όσο και στην ανθρωπογενή παρουσία και στην δυναμική της να προσαρμόζεται στους εκάστοτε κινδύνους – τρωτότητα. Ο Alexander (2000), ορίζει λοιπόν την διακινδύνευση ως την πιθανότητα ενός συγκεκριμένου επιπέδου απώλειας και ζημίας, επί των *στοιχείων που εκτίθενται στον κίνδυνο/ στοιχείων υπό διακινδύνευση (elements at risk)* (όπως πληθυσμοί, περιουσίες, οικονομικές δραστηριότητες και υπηρεσίες, ή ακόμη και το φυσικό και δομημένο περιβάλλον), ως αποτέλεσμα ενός δεδομένου επιπέδου επιπτώσεων που πηγάζουν από ένα κίνδυνο. Σύμφωνα δε με ένα ορισμό του UNDRO 1982, η *συνολική διακινδύνευση (total risk)* συνιστά ένα άθροισμα θανάτων, τραυματισμών, καταστροφής, ζημίας, διαταραχής, καθώς και κόστους επιδιορθώσεων και μετριασμού. Μια πιο ποσοτικοποιημένη έκφραση των παραπάνω αποτελεί η ακόλουθη σχέση:

$$R_t = E * R_s = E * (H * V) \qquad \text{(Εξίσωση Διακινδύνευσης)}$$

όπου η *συνολική διακινδύνευση* (R_t) είναι ο αντίκτυπος της *ειδικής διακινδύνευσης* (R_s) – δηλ του γινομένου του *κινδύνου* επί την *τρωτότητα* ($H * V$) – επί μιας σειράς *στοιχείων* που εκτίθενται στον κίνδυνο (E), εκφράζεται δε ως το ενδεχόμενο μέγεθος των απωλειών[5] (UNDRO, 1982; Newman and Strojan, 1998).

1.2.5 Καταστροφή

[«Ενοχοποιούμε τον ήλιο, τη σελήνη και τα άστρα για τις συμφορές μας: σαν να ήμασταν (εμείς) φαύλοι κατ' ανάγκη· ανόητοι από (επ)ουράνιο ψυχαναγκασμό.»

[5] Για άλλες εννοιολογικές εξισώσεις, βλ. Alexander (1991b).

"We make guilty of our disasters the sun, the moon, and the stars: as if we were villains by necessity; fools by heavenly compulsion."]

(William Shakespeare**)**

Κατά μια έννοια λοιπόν, όταν ακραία περιστατικά υπερβαίνουν κάποια καθορισμένα μεγέθη σε επίπεδο ανθρώπινων απωλειών και υλικών ζημιών, επιφέροντας δεινά στις κοινωνίες, λέγεται ότι συμβαίνει μια (φυσική) καταστροφή. Οι Sheehan and Hewitt (1969) σε μια πρώιμη προσπάθεια να προσδιορίσουν τις παγκόσμιες φυσικές καταστροφές – σε όρους ποσοτικών κριτηρίων – συμπεριέλαβαν όλα εκείνα τα γεγονότα των οποίων η εμφάνιση έχει ως συνέπεια:

- Τουλάχιστον 100 νεκρούς ή
- Τουλάχιστον 100 τραυματίες ή
- Τουλάχιστον 1εκ.$ ζημιά

Η λέξη καταστροφή (αγγλικά: disaster) έχει τις καταβολές της στην λατινική σύνθετη λέξη dis- astro/ astrum, η οποία απορρέει από το ελληνικό πρόθεμα δυσ- και την κατάληξη άστρο, και επομένως μπορεί να μεταφραστεί ως κακό άστρο (αγγλικά: bad/evil star ή "ill-starred"). Η λέξη καταστροφή λοιπόν προέρχεται από την αστρολογία, κάτι που συνεπάγεται ότι όταν τα άστρα βρίσκονται σε «δυσμενείς» θέσεις, τότε ένα άσχημο συμβάν επίκειται. Οι λοιποί χρησιμοποιούμενοι όροι στην ξενόγλωσση βιβλιογραφία: "catastrophe" και "calamity" είναι συνώνυμοι, ενώ οι: "crisis" και "emergency", έχουν παραπλήσια σημασία.

Κατά βάση, οι καταστροφές συνιστούν αιφνίδια «πλήγματα» για το κοινωνικοοικονομικά και τα περιβαλλοντικά συστήματα (Burton and Kates, 1964; Turner, 1976), ενώ εμπεριέχουν κατά διάχυτο τρόπο τις έννοιες του μεγέθους του αφανισμού περιουσιών και του αριθμού των απωλειών, καθ' ότι, κατά τον Foster (1976) δεν υφίσταται ελάχιστο κατώφλι.

Ο UNDRO (1984) αποδίδει έναν ποιοτικό ορισμό στην καταστροφή, περιγράφοντάς την ως:

> ...ένα γεγονός, συγκεντρωμένο στον χώρο και στον χρόνο, κατά το οποίο η κοινότητα τελεί υπό σοβαρή απειλή, ενώ παράλληλα (η επενέργειά του)

> επισύρει τόσο μεγάλη ζημία και φθορά στα μέλη της και στα φυσικά «συναπαρτίσματα» της ώστε να διαταράσσεται η κοινωνική δομή και να παρακωλύεται η πραγμάτωση όλων ή κάποιων από τις πρωταρχικές λειτουργίες της κοινωνίας.

Η πορεία της διαμόρφωσης του διανοήματος των καταστροφών διάβηκε μέσα από προσεγγίσεις που τις εκλάμβαναν ως πανίσχυρες δυνάμεις οι οποίες επενεργούν σε μια κοινωνία «ανυπεράσπιστη», όπου, σε συναφείς προσεγγίσεις όπως αυτή του Fritz (1961), ανεξέλεγκτα συμβάντα υποβάλλουν την κοινωνία σε κίνδυνο (danger), διαταράσσοντας ζωτικής σημασίας λειτουργίες της. Κατά παρόμοιο τρόπο, ο Barkun (1974) υπογραμμίζει την στέρηση δυνατότητας ελέγχου από πλευράς των κοινωνικών συστημάτων επί των φυσικών δυνάμεων των καταστροφών, θεωρώντας τες ως δριμείες, απότομες και συχνές διαταραχές στην κανονικότητα των δομών μέσα στα κοινωνικά συστήματα.

Από τους πρώτους που απέδωσαν τη δέουσα σπουδαιότητα στην «ιδέες» της τρωτότητας και της αλληλεπίδρασης ακραίων φυσικών φαινομένων και ενός τρωτού πληθυσμού η οποία μπορεί να οδηγήσει στην διαταραχή και τον όλεθρο ήταν οι Westgate and O' Keefe (1976). Αυτός ο διττός «χαρακτήρας» των φυσικών καταστροφών, αναδεικνύεται από τον Alexander (1993), ο οποίος και τις ορίζει ως ακαριαίους και έντονους αντίκτυπους του φυσικού περιβάλλοντος επί των κοινωνικο-οικονομικών συστημάτων. Κυρίως όμως εκφέρεται μέσα από τις εισηγήσεις του Albala-Bertrand, (1993) που περιγράφει τις φυσικές καταστροφές ως αιφνίδια διασάλευση των ισορροπιών ανάμεσα στις «αντενεργητικές» ροπές των φυσικών και των κοινωνικών συστημάτων, όπου η συσχέτιση της έντασης του φυσικού φαινομένου και της ανοχής/ ανεκτικότητας των ανθρώπινων συνιστωσών, ισοδυναμεί με την σφοδρότητα αυτής της επιφερόμενης έλλειψης ισορροπίας.

Κατά έναν συναφή και περιεκτικό ορισμό από την IDNDR (1992), που αποδίδει έμφαση στις ανθρώπινες-κοινωνικές παραμέτρους, καταστροφή είναι μια:

> ...σοβαρή διαταραχή της λειτουργίας μιας κοινωνίας, που προκαλεί διάχυτες ανθρώπινες, υλικές και περιβαλλοντικές απώλειες οι οποίες υπερβαίνουν την δυνατότητα της «πληττόμενης» κοινωνίας να αντεπεξέρχεται χρησιμοποιώντας μόνο τους δικούς της πόρους. Οι

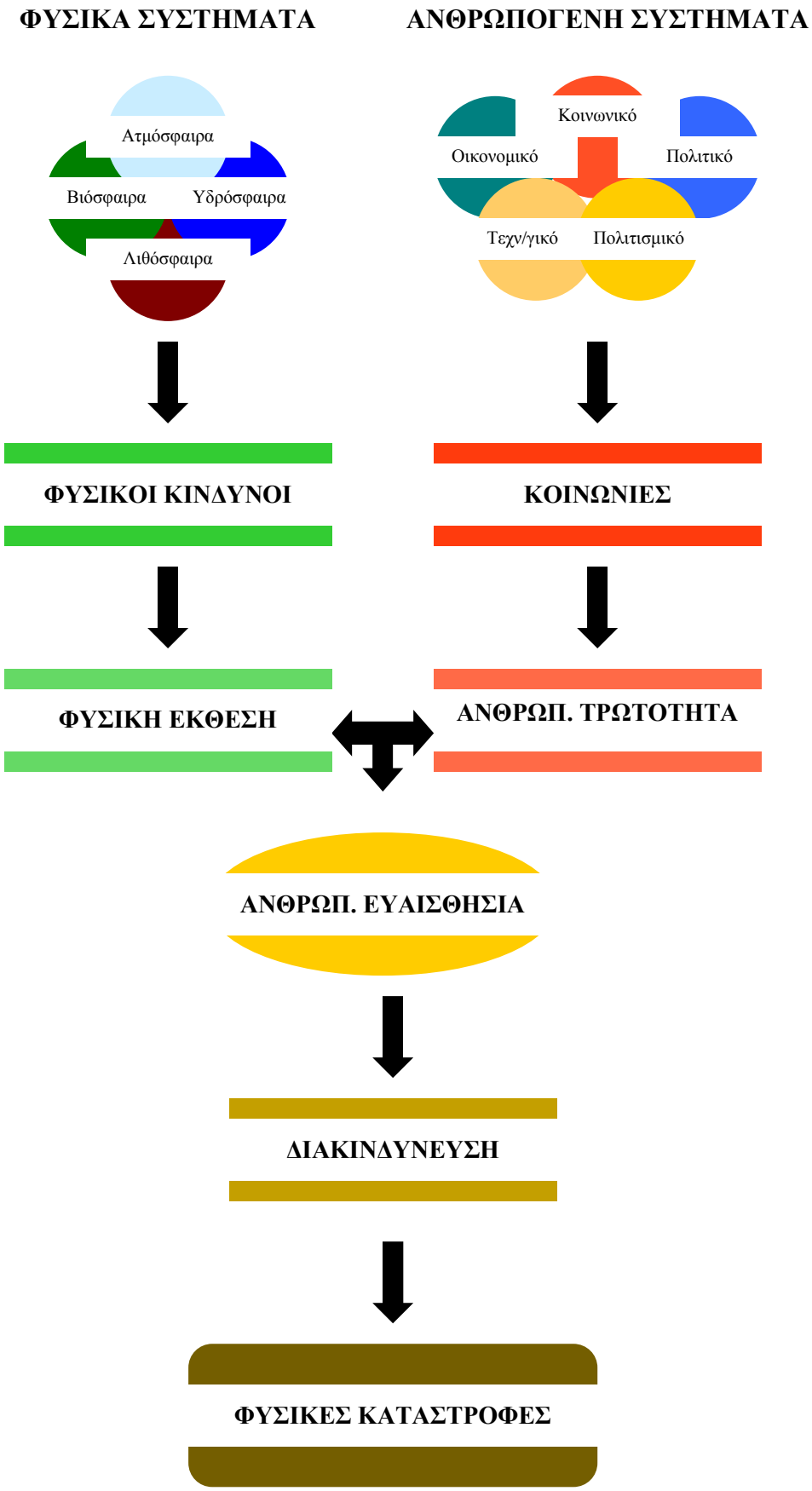
καταστροφές ταξινομούνται ανάλογα με την ταχύτητα (αιφνίδιες ή βραδείες), ή ανάλογα με τη αιτία τους (φυσικές ή ανθρωπογενείς).

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, μια καταστροφή εν γένει προκύπτει από την αλληλεπίδραση, στον χώρο και στον χρόνο, ενός τρωτού ανθρώπινου πληθυσμού και της φυσικής έκθεσής του σε μια επικίνδυνη (hazardous) διαδικασία. Με άλλα λόγια, οι ανθρώπινες κοινωνίες καθίστανται ευπαθείς εξ' αιτίας αδυναμιών επί ενός ή και περισσότερων επιπέδων που συνιστούν τα ανθρώπινα συστήματα: το οικονομικό, το κοινωνικό, το πολιτικό, το πολιτισμικό, ή το τεχνολογικό. Τελικά, ο κίνδυνος, μέσα από μια αλυσίδα διαδικασιών επαυξάνει την φυσική έκθεση (ή φυσική τρωτότητα), και, αλληλεπιδρώντας με την ανθρώπινη τρωτότητα, εγείρει την ανθρώπινη ευαισθησία και επομένως τη διακινδύνευση, οδηγώντας σε καταστροφές. Όταν δε ο κίνδυνος που υποκινεί μια καταστροφή ανάγεται σε ακραία συμβάντα που εκπηγάζουν από τη βιόσφαιρα, τη λιθόσφαιρα, την υδρόσφαιρα ή την ατμόσφαιρα, τότε ορίζεται, κατά τον Alexander (2000), ως φυσικός κίνδυνος, σαφώς διακρινόμενος από τους *τεχνολογικούς* και τους *κοινωνικούς κινδύνους* (*technological and social hazards*)[6]. Ο δε επιζήμιος αντίκτυπος του στο ανθρωπογενές ή και φυσικό περιβάλλον, θα μπορούσε να ονομαστεί φυσική καταστροφή. Αυτή η αλληλεπίδραση παρουσιάζεται εποπτικά στο Σχ. 3.

Παρ' όλα αυτά, πολλοί φυσικοί κίνδυνοι, ενέχουν και ανθρώπινες συνιστώσες. Έτσι, οι πλημμύρες λ.χ., μπορούν να επιδεινωθούν τόσο από φυσικά φαινόμενα, όσο και από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, όπως η αποψίλωση των δασών και η αποστράγγιση/ αποξήρανση υδάτινων σωμάτων κ.α. Επομένως, στο πλαίσιο της ανθρωπογενούς παρουσίας και επενέργειας, δημιουργούνται «υβριδικές» κατηγορίες κινδύνων, «ημι-φυσικοί» ("quasi-natural"), «ημι-τεχνολογικοί» ("na-tech") κ.ο.κ. Σίγουρα όμως υπάρχουν και «αμιγώς» φυσικοί κίνδυνοι που εντοπίζονται στο πλέον «φυσικό άκρο» του φάσματος (ηφαιστειακές εκρήξεις, σεισμικές δονήσεις κ.α.) (Σχ. 4). Φτάνοντας όμως να εξετάσουμε την ουσία μιας καταστροφής, όσο και αν αυτή προκαλείται από φυσικά αίτια, η εξέλιξη και οι επιπτώσεις της δεν μπορούν παρά να εμπλέκουν τον ανθρώπινο παράγοντα. Το «φυσικό» και το «ανθρώπινο» είναι τόσο

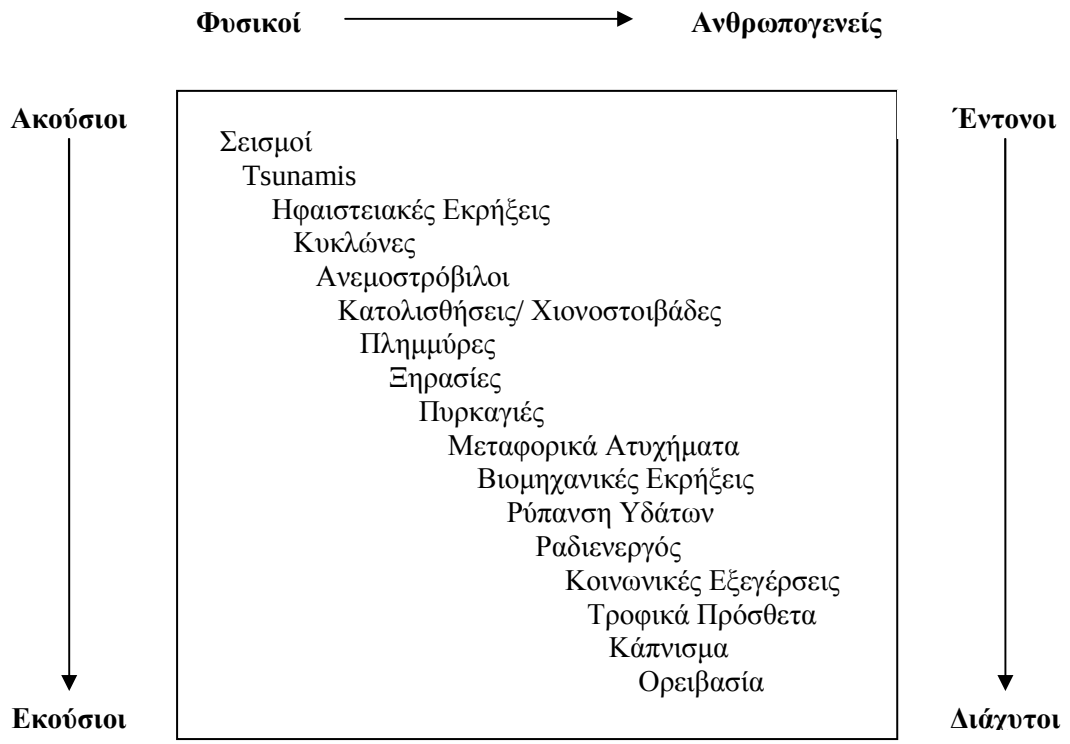
[6] Παραδείγματα τεχνολογικών κινδύνων συνιστούν τα επεισόδια σοβαρής μόλυνσης, εκρήξεων, έκλυσης τοξικών ουσιών, καθώς και συγκοινωνιακά, κατασκευαστικά και βιομηχανικά ατυχήματα, ενώ αντίστοιχα κοινωνικών κινδύνων είναι ο συνωστισμός, οι εξεγέρσεις και τα τρομοκρατικά επεισόδια, καθώς και οι ένοπλες συρράξεις.

αλληλένδετα συνδεδεμένα μεταξύ τους, έτσι ώστε όλες σχεδόν οι περιπτώσεις καταστροφών να μην δύνανται να (κατα)νοηθούν ως «φυσικές» με κάποιον άμεσο τρόπο (Wisner *et al.*, 2004). Άλλωστε, κάποιοι ερευνητές όπως ο Hewitt (1995) έχουν διατυπώσει πως (ακόμη και) οι φυσικές καταστροφές δεν γεννώνται από φυσικά αίτια – τα οποία απλώς τις πυροδοτούν –, αλλά από μια υποκείμενη αδυναμία της κοινωνίας.



Σχήμα 3: Τα συστατικά μέρη των φυσικών καταστροφών

Πηγή: Alcántara-Ayala, 2002 (Τροποποίηση)



Σχήμα 4: Γενικό φάσμα των φυσικών κινδύνων από τα γεωφυσικά συμβάντα έως τις ανθρωπογενείς ενέργειες.

Σημείωση: Όσο πιο αμιγώς ανθρωπογενείς τείνουν να είναι οι κίνδυνοι, τόσο πιο εθελούσιοι καθίστανται σε όρους αποδοχής (τους), αλλά και πιο διάχυτοι (λιγότερο σφοδροί) σε όρους επιπτώσεων (τους).

Πηγή: Smith, 1996 (Τροποποίηση)

Έτσι λοιπόν, σε αντιδιαστολή με τους κινδύνους οι οποίοι μπορούν ορισμένες φορές να υπάγονται σε αμιγείς κατηγορίες, σύμφωνα με τον Quarantelli (1995), η ταξινόμηση των καταστροφών σε φυσικές, τεχνολογικές, κοινωνικές και σε εκείνες που υπεισέρχονται στις ολέθριες επιπτώσεις των ενόπλων συρράξεων, εν γένει δεν διαχωρίζονται από ευκρινή όρια, παρουσιάζοντας σημαντικές μεταξύ τους επικαλύψεις.

Σε τελική ανάλυση, παρά την δυσχέρεια απόδοσης ενός συγκεκριμένου ορισμού – ή καλύτερα την αδυναμία υιοθέτησης ενός μόνο από μια πληθώρα τέτοιων –, την απουσία κατωφλιών και την ασάφεια διάκρισης των διαφόρων ειδών καταστροφών, μια τέτοια (καταστροφή) θα μπορούσε να περιγραφεί αδρά, αλλά ουσιαστικά, ως εξής:

> Ως σύνθεση, καταστροφή είναι αυτό που τα θύματα και οι συμμετέχοντες εκλαμβάνουν ότι είναι: είναι το άθροισμα πολλών προσωπικών καταστροφών, αλλά με μια ορισμένη (κοινωνική) μορφή (gestalt), καθώς ταυτόχρονα αντιπροσωπεύει ένα πλήγμα (shock) για τους κοινωνικούς «οργανισμούς». Για εκείνους που είναι εντριβείς με το αντικείμενο και έχουν ζήσει μέσα από μια μείζων καταστροφή, η μελέτη φωτίζει, αλλά και «θαμπώνει» το φαινόμενο, αφού οι ακαδημαϊκές μέθοδοι δεν μπορούν να αναλύσουν την καταστροφή ως όλον, παρά μόνο την αποδομούν στα συστατικά της μέρη (Alexander, 2000: 22).

1.3 Μεθοδολογικοί Υπαινιγμοί

Η παραπάνω διατύπωση μπορεί να δείχνει ότι στερείται «επιστημονικότητας» λόγω έλλειψης σαφών ποσοτικών και αντικειμενικών κριτηρίων. Όμως, εντρυφώντας στις διαστάσεις (μιας καταστροφής) τις οποίες οι άνθρωποι αναγνωρίζουν και αξιολογούν, όπως άλλωστε αναφέρουν και οι Simpson-Housley και Bradshaw (1978) και Aptekar (1991), εκτός από το μέγεθος των επιπτώσεων, είναι η ένταση των ανθρώπινων αντιδράσεων, καθώς και ο βαθμός της προσωπικής συμμετοχής που ενισχύεται από μια σειρά υποκειμενικών παραγόντων, που καταστούν τα άτομα λιγότερο ή περισσότερο ευαίσθητα ή/ και ανεκτικά στις καταστροφές. Και τα επιμέρους προσωπικά βιώματα, τα οποία στο σύνολό τους συνιστούν την αποκρυσταλλωμένη έκφανση της κοινωνίας, σίγουρα διακρίνονται από πολύ μεγάλη βαρύτητα.

Επειδή δε υπάρχει ανάγκη για μια πιο ολοκληρωμένη και ολιστική προσέγγιση των καταστροφών, δεδομένου ότι οι διάφορες επιστημονικές πειθαρχίες θέτουν ανυπέρβλητα όρια, ενθαρρύνοντας τον κατακερματισμό μιας πολύπλοκης και πολυσχιδούς πραγματικότητας στα συστατικά στοιχεία της, ίσως πρέπει, ιδιαίτερα σε

περιπτώσεις καταστροφικών συμβάντων, τα χαρακτηριστικά του γεγονότος του ίδιου να αναδεικνύουν τα σημαντικότερα προς εξέταση προβλήματα και να διαμορφώνουν την μεθοδολογική προσέγγιση (Alexander, 2000).

Παρ' όλο που μια τέτοια προσέγγιση διέπεται από το θετικό της απαλοιφής των ορίων ανάμεσα στις επιστημονικές πειθαρχίες, παράλληλα αυτοανακηρύσσεται ως *α-επιστημονική (non-disciplinary)*, εδραζόμενη στην αιτιολόγηση ότι οι διάφορες επιστημονικές πειθαρχίες τείνουν να απηχούν τις απαιτήσεις της διδασκαλίας και της έρευνας των ίδιων των (επιστημονικών) πεδίων που αντιπροσωπεύουν, παρά τις πραγματικές απαιτήσεις μιας έκτακτης περίπτωσης. Ως εκ τούτου, σύμφωνα με μια τέτοια θεώρηση, ακόμη και η *δι-επιστημονική (inter-disciplinary)* προσέγγιση εμπίπτει στο φάσμα της λογικής της εκπλήρωσης των σκοπών των επιμέρους επιστημονικών πειθαρχιών.

Η διεπιστημονικότητα (inter-disciplinarity) όμως διαχωρίζεται σαφώς από την πολυ-επιστημονικότητα (multi-disciplinarity)[7], καθώς ενέχει μια ιδιάζουσα συνεργιστική δυναμική ανάπτυξης των βέλτιστων δυνατών πολυδιάστατων σχέσεων, αλληλεξαρτήσεων, αλληλεπιδράσεων, προσεγγίσεων και αναλύσεων των επιστημόνων μιας διεπιστημονικής ομάδας, οι οποίες θα τείνουν «διηνεκώς» προς την «ολοκλήρωση» των αντίστοιχων γνωστικών τους πεδίων, μεθοδολογιών και τεχνικών, με αποτέλεσμα την υπέρβαση του κατακερματισμού της (ολιστικής) γνώσης (Beam, 1983; Bauer, 1990).

Συνεπώς, ίσως, η «ευρύτερη» μεθοδολογική προσέγγιση που χρειάζεται να ενστερνίζεται κανείς, όταν επιλαμβάνεται ζητημάτων φυσικών καταστροφών και εκτάκτων καταστάσεων, θα πρέπει να άρχεται με την ανάλυση του γεγονότος αυτού καθ' αυτού σε σχέση με το ευρύτερο πλαίσιο της πραγματικότητας, ώστε να διαπιστωθούν τα πραγματικά προβλήματα και οι απαιτήσεις, ενώ ύστερα, αφού τεθούν οι στόχοι αμερόληπτα, να επιχειρηθεί η – κατά συνεργιστικό τρόπο – άθροιση των διάφορων γνωστικών πεδίων με σκοπό μια ολιστική θεώρηση και αντιμετώπιση της κατάστασης.

Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να γνωστοποιηθεί ότι η συγγραφή αυτής της εργασίας δεν προβλέπεται να υλοποιηθεί μέσα από ένα τόσο πολύπλοκο και εκτενές μεθοδολογικό πλαίσιο, παρ' όλο που θεωρητικά το ασπάζεται. Η πεμπτουσία της εργασίας έγκειται στο να φωτιστεί το γεγονός ότι, πέρα από τις τεχνολογικά και

[7] και προφανώς από την «(μόνο)επιστημονικότητα»

κοινωνικά επιφερόμενες καταστροφές όπου η ανθρώπινη παρέμβαση είναι εξ' ορισμού δεδομένη, ακόμη και στις αποκαλούμενες φυσικές καταστροφές, η ανθρωπογενής παράμετρος είναι μείζονος σημασίας. Έτσι, πρόκειται να καταστεί εμφανές ότι κατά το εγχείρημα διαχείρισης και αντιμετώπισης μιας φυσικής καταστροφής, όλα τα επίπεδα της πραγματικότητας εμπλέκονται, τόσο αυτά που αναφέρονται στην ανθρώπινη ύπαρξη και δραστηριότητα (το κοινωνικό, οικονομικό, το πολιτικό, το πολιτισμικό, το τεχνολογικό), όσο και αυτό του φυσικού περιβάλλοντος και διαδικασιών.

Επομένως, ο άνθρωπος λαμβάνει ενεργό ρόλο, επέχοντας διττή θέση: με απερίσκεπτες και επισφαλείς επιλογές και δράσεις, καθίσταται περισσότερο τρωτός, ενώ δε χρησιμοποιώντας το συσσωρευμένο «απόσταγμα» γνώσης και εμπειρίας δύναται να «κατασιγάσει» τη διακινδύνευση, και δη την επενέργεια των φυσικών κινδύνων μέσω μιας συνετής στάσης και «ώριμων» επιλογών. Αυτό σημαίνει πως, υπό κατάλληλες συνθήκες, υπάρχει σημαντικό περιθώριο να αποφευχθούν, ή τουλάχιστον να μετριαστούν οι συνέπειες καταστροφικών συμβάντων που προκαλούνται από φυσικούς κινδύνους, αλλά και «εκτραχυνθούν» υπό ακατάλληλες. Τελικά, αρχίζει να διαφαίνεται πως τα κοινωνικά υποκείμενα κάθε άλλο παρά έρμαια των φυσικών φαινομένων είναι, καθώς μπορούν να τα «ρυθμίσουν», να τα διευθετήσουν και να τα διαχειριστούν, πολλές φορές σε τέτοιο βαθμό, που έχουν ακόμη και τη δυνατότητα να επιδεινώνουν τις περιρρέουσες συνθήκες, επισύροντας ακόμη υψηλότερα επίπεδα τρωτότητας.

Και μολονότι υπάρχει μια σειρά μεθόδων και τεχνικών προς την κατεύθυνση της εν γένει διαχείρισης των φυσικών καταστροφών, η παρούσα εργασία θα λάβει την ιδιαίτερη «χροιά» της από το πεδίο της *Τηλεπισκόπησης/ Τηλεανίχνευσης (Remote Sensing)* και των *Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographical Information Systems – GIS)*, καθ' ότι, αφ' ενός μεν η ραγδαία άνοδος της επιστημονικής επάρκειας και της τεχνολογικής προόδου έχει αναβαθμίσει τις εγγενείς δυνατότητές των συναφών συστημάτων για παρατήρηση-παρακολούθηση, αλλά και ανάλυση και διαχείριση, τόσο του φυσικού, όσο και του δομημένου περιβάλλοντος, αφ' ετέρου δε διέπονται από την δυναμική της προσέγγισης πολυδιάστατων και δυναμικών φαινομένων στον χώρο και στον χρόνο με έναν, δυνάμει, ολιστικό τρόπο. Εξ' άλλου, καθώς έχουν διατυπώσει διάφοροι επιστήμονες-ερευνητές, όπως και ο Ρόκος (1993α· 1993β), η Τηλεπισκόπηση/ Φωτοερμηνεία, καθώς και οι αντίστοιχες

μέθοδοι και τεχνικές τους, παρέχουν ύψιστης σπουδαιότητας πληροφορίες για την παρατήρηση, παρακολούθηση και προστασία του (φυσικού και ανθρωπογενούς) περιβάλλοντος, οι οποίες αξιοποιούνται και ολοκληρώνονται με τη βοήθεια των Συστημάτων Πληροφοριών Γης και Περιβάλλοντος· κατά συνέπεια, ως οι πλέον κατάλληλες μέθοδοι και τεχνικές για την συστηματική, ολιστική και δυναμική παρατήρηση και παρακολούθηση των πλανητικών μεταβολών, με σκοπό την ανεύρεση και αποκατάσταση των ισορροπιών της κάθε φορά δυναμικά μεταβαλλόμενης φυσικής και κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας, λογίζονται εκείνες που μπορούν να ολοκληρώσουν τις δυνατότητες της Τηλεπισκόπησης και των Συστημάτων Πληροφοριών Γης και Περιβάλλοντος. Τέτοιου είδους τεκμηριώσεις πρόκειται να αναλυθούν και αναπτυχθούν από την επιχειρηματολογία που παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο, δίχως όμως οι αρχές και οι δυνατότητες εφαρμογής τους να εξετάζονται αποκομμένες από το ευρύτερο πλαίσιο της πραγματικότητας.

1.4 Διαχείριση, Αντιμετώπιση και Μεταστροφή

[«Η ιτιά που κάμπτεται στην θύελλα, συχνά διαφεύγει καλύτερα (τον κίνδυνο) απ' ότι η βελανιδιά, η οποία αντιστέκεται σε αυτήν· τοιουτοτρόπως, σε μεγάλες καταστροφές, κάποιες φορές συμβαίνει τα πιο ήπια και αστόχαστα πνεύματα να ανακτούν την ευκαμψία και την ευστροφία τους συντομότερα από εκείνα πιο υπερφίαλου χαρακτήρα.» "The willow which bends to the tempest often escapes better than the oak, which resists it; and so, in great calamities, it sometimes happens that light and frivolous spirits recover their elasticity and presence of mind sooner than those of a loftier character."]

(Sir Walter Scott)

Στα προηγούμενα έχει αναφερθεί εκτενώς ότι οι φυσικές καταστροφές, κάθε άλλο παρά φυσικά μπορεί να προκαλούνται, ενώ δεν δύνανται να υφίστανται, παρά μόνο σε περίπτωση που οι φυσικές διαδικασίες αλληλεπιδρούν με την ανθρώπινη παρουσία και δραστηριότητα. Επίσης, περιγράφηκαν κάποιοι όροι, ενώ αναδύθηκαν κάποιες μεταξύ τους σχέσεις. Είναι καιρός λοιπόν να καταδειχτεί, σε θεωρητικό

ακόμα επίπεδο, ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να επιτευχθεί η διαχείριση τέτοιων καταστροφικών επεισοδίων.

Ξεκινώντας λοιπόν με τη σύνοψη της «διαπλοκής» των παραπάνω όρων, σε μια προσπάθεια να τους εντάξουμε σε μια λογική αλληλουχία, παρατίθεται αυτό που ο van Essche (1986), με άλλα λόγια, θέτει ως εξής: η διακινδύνευση αποτελεί το προϊόν του κινδύνου και της τρωτότητας· ο κίνδυνος είναι το ενδεχομένως καταστροφικό φαινόμενο, ενώ η τρωτότητα ο βαθμός της ευπάθειας σε ένα κίνδυνο.

Εντελώς απλά και λογικά, ερμηνεύοντας και αποδομώντας την εξίσωση της διακινδύνευσης, θα μπορούσε κάποιος να συμπεράνει πως η «λύση» έγκειται:

- είτε στην ελαχιστοποίηση ή/ και απομάκρυνση των στοιχείων που εκτίθενται στον κίνδυνο (μετριασμός φυσικής έκθεσης),
- είτε στην τροποποίηση/ ελαχιστοποίηση της ειδικής διακινδύνευσης, κάτι που σημαίνει:
  - είτε τροποποίηση του φυσικού κινδύνου, και δη του συμβάντος αυτού καθ' αυτού,
  - ή/ και τροποποίηση του βαθμού, (δηλ. ελαχιστοποίηση) της ανθρώπινης τρωτότητας.

1.4.1 Προσαρμοστικότητα στις Καταστροφές

Γενικά, η ενδεχόμενη απειλή των ανθρώπινων πληθυσμών από καταστροφές που πυροδοτούνται από φυσικά αίτια «αντισταθμίζεται» από ενέργειες (αντι-δράσεις) της κοινωνίας που στοχεύουν στην ελάττωση του επιπέδου της επικινδυνότητας-διακινδύνευσης. Αυτές οι αντιδράσεις, ιδεατά, συνιστούν τις *προσπάθειες για προσαρμογή*, ή την *προσαρμοστικότητα (resilience)*. Κατά δε τον Smith (1996): «*προσαρμοστικότητα είναι ένα μέτρο του ρυθμού ανάκαμψης από μια έντονη και αγωνιώδη (stressful) εμπειρία, που φανερώνει την δυνατότητα «αφομοίωσης» και αποκατάστασης εξ' αιτίας της εμφάνισης ενός επικίνδυνου περιστατικού*». Σε λοιπές – μη ιδεατές – περιπτώσεις, η έννοια της προσαρμοστικότητας ανάγεται στην μοναδική εκδοχή που απομένει, δηλαδή στην *αποδοχή (acceptance) της καταστροφής*.

Επομένως, η καταστροφή παρατίθεται της προσαρμοστικότητας, νοούμενη (η πρώτη), ως μια αναταραχή στο κοινωνικό σύστημα, χωρίς απαραίτητα να είναι και καθοριστική (Hewitt, 1983; Ebert, 1993). Τα διάφορα τροποποιητικά μέτρα είναι

δυνατό να καταστήσουν «άκαρπες» τις δυνητικές επιπτώσεις ενός φυσικού κινδύνου, και συνεπώς να επιτύχουν ακόμη και την ανάσχεση μιας καταστροφής. Στην πράξη, η έννοια της προσαρμοστικότητας χρησιμοποιούμενη και ως συνώνυμη της έννοιας της ικανότητας (capacity), αντικαθιστά την τελευταία, και συνεπώς, είναι αυτή που (σε τελική ανάλυση) αντιπαραβάλλεται της τρωτότητας.

Όπως σημειώθηκε και παραπάνω, η τροποποίηση της ειδικής διακινδύνευσης συνίσταται στην τροποποίηση είτε του φαινομένου, είτε της τρωτότητας, διαμέσου του *μετριασμού των (δυνητικών) απωλειών (reducing the loss)*. Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, όμως, πως η προσαρμογή[8] στον κίνδυνο (adjustment to hazard) ενέχει και το ενδεχόμενο της τροποποίησης *του μεγέθους των απωλειών*, μέσω της *αποδοχής και του συμμερισμού/ διαμοιρασμού των απωλειών* (*accepting and sharing the loss*), *έπειτα* από μια καταστροφική «επέλαση». Έτσι, προκειμένου να απαλυνθεί το φορτίο των πληγεισών περιοχών, η *αρωγή σε καταστροφές (disaster aid)* – διακρίνεται ως επί το πλείστο αντίστοιχα σε τοπική βοήθεια, εσωτερική κρατική βοήθεια και διεθνή βοήθεια (community aid, internal government aid, international aid) –, που προκύπτει είτε ως απότοκος του ανθρωπιστικού ενδιαφέροντος, είτε στο πλαίσιο προγραμμάτων πολιτικής προστασίας, αποτελεί σε κάθε περίπτωση απαραίτητη απόκριση – όχι όμως και ικανή – ιδιαίτερα όταν άλλες στρατηγικές αποτυγχάνουν. Επιπλέον, η *ασφάλιση* δυνητικά αποτελεί ένα μέτρο που μπορεί να συνδράμει στην αναδιανομή των απωλειών.

Από τη στιγμή λοιπόν που μια συμφορά «επισκιάζει» έναν τόπο, θα πρέπει να επιτευχθούν ενέργειες προς την απόκριση και την αποκατάσταση των απωλειών και φθορών. Σύμφωνα όμως με τον Anderson (1991), η μείωση και ο μετριασμός (των ενδεχόμενων) απωλειών μιας καταστροφής αποτελεί λιγότερο δαπανηρή εναλλακτική απ' ότι η αποκατάσταση τους έπειτα από μια καταστροφή, ενώ ο ενεργός μετριασμός της διακινδύνευσης τείνει να είναι ο πλέον διαδεδομένος τρόπος στις MDCs. Επιπλέον, καθ' ότι κύριο ζητούμενο συνιστά η εκ των προτέρων – στον βαθμό του εφικτού – αποσόβηση των ενδεχόμενων απωλειών και ζημιών, μια προληπτική λογική/ πρακτική θα πρέπει να πρυτανεύει σε τέτοια φαινόμενα, δεδομένου ότι πολλές συνέπειες που απορρέουν εξ αυτών είναι μη αναστρέψιμες (π.χ. απώλειες ανθρώπινων ζωών).

[8] με την γενικότερη έννοια του όρου

Έτσι λοιπόν, οι εναλλακτικές που αναδεικνύονται και προάγονται σε αυτό το σημείο, αφορούν στον μετριασμό των απωλειών, και όχι στην τροποποίηση του μεγέθους τους – δηλ. στην ανακούφιση του «φορτίου» των καταστροφικών απωλειών –, παρ' ότι οι τελευταίες είναι απαραίτητες στην περίπτωση που η μοναδική επιλογή που απομένει είναι η αποδοχή της καταστροφής, ενώ σε άλλες περιπτώσεις μπορούν να λειτουργήσουν επικουρικά, δεδομένου ότι κάθε άλλο παρά εύκολο είναι να αποφευχθούν στο σύνολό τους οι απώλειες.

Η «καταστολή» λοιπόν των απωλειών με τη μέθοδο της τροποποίησης του φαινομένου αυτού καθ' αυτού αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση του καταστροφικού δυναμικού ενός φυσικού κινδύνου, ενώ υλοποιείται είτε μέσω του *περιβαλλοντικού ελέγχου (environmental control)*, είτε μέσω των *σχεδίων ανθεκτικότητας/ αντοχής στον κίνδυνο (hazard-resistant design)*. Στην πρώτη περίπτωση επιδιώκεται εν γένει η καταστολή των φυσικών φαινομένων και διαδικασιών, διασκορπίζοντας την ενέργειά τους στον χώρο και στον χρόνο (π.χ. βομβαρδισμός υετοφόρων νεφών με σωματίδια ιωδιούχου αργύρου). Στην δεύτερη εμπλέκονται τόσο ο κατασκευαστικός σχεδιασμός, όσο και ο ευρύτερος σχεδιασμός ώστε να περιοριστούν ή/ και να «ζωνοποιηθούν» (buffer) οι επιπτώσεις ενός φυσικού κινδύνου και κατά συνέπεια να επιτευχθεί «άρση» των επιζήμιων αντίκτυπων. Συγκριτικά πάντως, η δεύτερη επιλογή περιλαμβάνει κάτι περισσότερο από τεχνικά μέτρα, καθώς χρειάζεται και την υποστήριξη και συμμετοχή της κοινότητας για την υιοθέτηση κανονισμών και την υλοποίηση μη κατασκευαστικών σχεδίων. Θα μπορούσε να θεωρηθεί λοιπόν πως η φιλοσοφία της ανθεκτικότητας/ αντοχής στον κίνδυνο κείται στη διεπαφή της ελαχιστοποίησης των απωλειών στη βάση της προσαρμογής του γεγονότος στους ανθρώπους από τη μία, και της προσαρμογής των ανθρώπων στο γεγονός από την άλλη. Με άλλα λόγια είναι ένας συγκερασμός διαδικασιών τροποποίησης φυσικού φαινομένου και ανθρώπινης τρωτότητας[9].

[9] Π.χ., στην περίπτωση της τροποποίησης του φυσικού φαινομένου των πλημμυρών, στη λογική του **περιβαλλοντικού ελέγχου** θα ενέπιπτε η τροποποίηση τόσο των αιτιών και μηχανισμών που προκαλούν την βροχόπτωση, ούτως ώστε να αποφευχθούν, ή να «μετατοπιστούν» οι βροχοπτώσεις που ενδεχομένως θα προκαλούσαν πλημμύρες, όσο και των ιδιαίτερων υδρολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής μέσω συντονισμένων προσπαθειών διαχείρισης της, με σκοπό τη μείωση της επιφανειακής απορροής διαμέσου δενδροφυτεύσεων κ.α. Στο πλαίσιο της υιοθέτησης της **ανθεκτικότητας στον κίνδυνο**, το βασικό σκεπτικό αναφέρεται στην τροποποίηση της υδρολογικής συμπεριφοράς μέσω τόσο κατασκευαστικών λύσεων όπως η κατασκευή φραγμάτων για την συγκράτηση του νερού, η κατασκευή αντιπλημμυρικών αναχωμάτων (dykes, levees) και ή βελτίωση των φυσικών καναλιών των ποτάμιων κοιτών για την επίτευξη ελεγχόμενης ροής, όσο και μέσω

Η τροποποίηση της ανθρώπινης τρωτότητας βασίζεται, σε αντίθεση με τις παραπάνω επιλογές οι οποίες συμπεριλαμβάνουν πρωτίστως την φυσική προστασία, σε μη κατασκευαστική απόκριση κυρίως, αλλά στην προσαρμογή της ανθρώπινης στάσης και συμπεριφοράς απέναντι σε φυσικούς κινδύνους. Καθώς οι σχετικές προσεγγίσεις-πρακτικές πηγάζουν σε μεγάλο βαθμό και από τις κοινωνικές επιστήμες, αποδομούνται σε επιμέρους μη κατασκευαστικές διαδικασίες, ήτοι: *ετοιμότητα (preparedness), πρόγνωση-πρόβλεψη (forecasting), προειδοποίηση (warning)* και *σχεδιασμός χρήσεων γης (land-use planning).*

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, η διάκριση που γίνεται στη διεθνή βιβλιογραφία (π.χ. Smith, 1996) όσον αφορά στις εναλλακτικές προσαρμογής στον κίνδυνο, έχει ως εξής:

- Τροποποίηση του Μεγέθους των Απωλειών: Αποδοχή και Συμμερισμός των Απωλειών («Απάλυνση και Θεραπεία»)
  - Βοήθεια/ Ασφάλιση
- Μετριασμός των (Δυνητικών) Απωλειών («Πρόληψη»)
- Τροποποίηση του Φυσικού Φαινομένου/ Κινδύνου
  - *Περιβαλλοντικός Έλεγχος*
  - *Σχεδιαστικές Λύσεις Ανθεκτικότητας/ Αντοχής στον Κίνδυνο*
- Τροποποίηση της ανθρώπινης τρωτότητας
  - *Ετοιμότητα/ Πρόγνωση-Πρόβλεψη/ Προειδοποίηση/ Σχεδιασμός Χρήσεων Γης*

Οι παραπάνω εναλλακτικές δεν είναι αμοιβαία αποκλειόμενες μεταξύ τους. Συνεπώς, τα μέτρα τροποποίησης του φυσικού φαινομένου και της ανθρώπινης τρωτότητας μπορούν να υλοποιηθούν από κοινού, σε συνδυασμό με πρακτικές τροποποίησης του φόρτου των απωλειών, όπως η ασφάλιση περιουσιών. Τέτοιοι συνδυασμοί μεθόδων, φαίνεται πως σε ορισμένες περιπτώσεις είναι οι πλέον αποτελεσματικοί. Στην πράξη όμως, δεν αποδίδεται η ίδια σημασία σε όλες, ακόμη και αν κάποια από αυτές, εμφορείται από τις πλέον ολοκληρωμένες προτάσεις και προκρίνει τις πιο ουσιαστικές και ριζικές λύσεις. Έτσι, η μέθοδος της τροποποίησης

κατασκευών ανθεκτικών στον κίνδυνο των πλημμυρών – κάτι που συμπεριλαμβάνει προώθηση οικοδομικών κανονισμών, αποδοχή από το κοινό και τήρησή τους κ.λ.π.

της ανθρώπινης τρωτότητας, μολονότι βρίσκει εφαρμογές στην διευθέτηση όλων των κινδύνων και συνιστά την πιο πρακτική ομάδα απόκρισης για την ελαχιστοποίηση των συνεπειών των ενδεχόμενων καταστροφών, δεν υλοποιείται με τους πλέον αποτελεσματικούς τρόπους, καθώς έρχεται σε σύγκρουση με κατοχυρωμένα συμφέροντα της κοινότητας και δεν τυγχάνει ιδιαίτερης αναγνώρισης, λόγω λανθασμένου και ανεπαρκούς τρόπου αντίληψης των κινδύνων (Smith, 1996).

Από την άλλη όμως, ο μετριασμός των απωλειών, ανεξάρτητα από την ενστερνιζόμενη προσέγγιση, δεν μπορεί (ούτε και πρέπει) να περιορίζεται σε χρονικές φάσεις που προηγούνται της ανάδυσης ενός καταστροφικού επεισοδίου. Καθ' ότι δυναμικά φαινόμενα, οι φυσικές καταστροφές επανέρχονται στο προσκήνιο με τακτές ή άτακτες περιόδους, δημιουργώντας χρονοσειρές και κύκλους επανεμφάνισης. Έτσι, μολονότι η πρόληψη συνιστά τον πυλώνα της διαχείρισης φυσικών καταστροφών, οι διενεργούμενες πρακτικές προσαρμογής, θα πρέπει να εκκινούνται επί των *προ-καταστροφικών φάσεων*, «προλαμβάνοντας» επιζήμιους αντίκτυπους, μέσω του *μετριασμού της διακινδύνευσης* και της *ετοιμότητας*, καθώς και να ολοκληρώνονται επί των *μετα-καταστροφικών*, με ενέργειες *απόκρισης* και *αποκατάστασης*. Οι μετα-καταστροφικές αυτές διαδικασίες μπορούν να λειτουργήσουν τόσο «θεραπευτικά», αναφορικά με τις συνέπειες της εκάστοτε καταστροφής, όσο και «προληπτικά» για την μεγιστοποίηση της ετοιμότητας και του εν γένει μετριασμού της διακινδύνευσης σε επερχόμενο/α επεισόδιο/α. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα περί ολόκληρου του *κύκλου των φάσεων των καταστροφών*, μέσα από αντίστοιχα *στάδια* διαχείρισης, όπως αυτά περιγράφονται σε επόμενο κεφάλαιο. Ας σημειωθεί δε επί του παρόντος, πως η τροποποίηση της τρωτότητας αποτελεί την δέουσα προσέγγιση που μπορεί να επενεργηθεί σε όλα τα στάδια.

1.4.2 Τεχνοκρατική Αντίληψη και Μη-Κατασκευαστικές Λύσεις

Αυτό λοιπόν που πολύ εύγλωττα έχει τονίσει και ο Alexander (2000), επαφίεται στο γεγονός ότι η επιστήμη – και κυρίως οι θετικές επιστήμες και εκείνες της εφαρμοσμένης μηχανικής (engineering) –, έχει καταστήσει την τεχνοκρατική προσέγγιση μια «ορθοδοξία», αδιαφιλονίκητη· ο μετριασμός των κινδύνων λαμβάνει, ως εκ τούτου, την σημασία της καταστολής των φυσικών δυνάμεων και, μόνον όταν αυτές υλοποιηθούν, άλλες προσεγγίσεις (μη κατασκευαστικές) τίθενται υπό εξέταση.

Επιπλέον, ένα από τα σημεία που έχει εγείρει την περιέργεια ορισμένων ερευνητών έγκειται στο εντυπωσιακό γεγονός ότι τόση λίγη έρευνα και επενδύσεις έχουν γίνει προκειμένου να τεθούν κάποια όρια στις ανθρώπινες προσδοκίες, και εν τέλει να επέλθει συμβίωση με τα ακραία φυσικά φαινόμενα (Burton and Hewitt, 1974; Faupal, 1985; Bunin, 1989; Bates and Pelanda,1994).

Φαίνεται λοιπόν ότι η ανθρώπινη νοοτροπία, στις μέρες μας, υποβάλλεται από μια «κουλτούρα μεταμοντερνισμού» και διαποτίζεται από μια προδιάθεση που απορρίπτει το ενδεχόμενο μεταστροφής της ανθρώπινης στάσης και συμπεριφοράς, όσον αφορά τη σχέση του ανθρώπου με το περιβάλλον, εξυψώνοντας την «χαλιναγώγηση» της φύσης και επενδύοντας σε κατασκευαστικά μέτρα περιορισμού και καταστολής της φυσικής δραστηριότητας. Στον αντίποδα, αρχίζουν να αναδύονται μέτρα και κατευθύνσεις που, ευτυχώς, εμπίπτουν σε μικτές κατηγορίες (τροποποίησης του φαινομένου – τροποποίησης της τρωτότητας), ενώ και οι μέθοδοι αμιγούς τροποποίησης της τρωτότητας φαίνονται να κερδίζουν έδαφος, καθώς σε πολλές των περιπτώσεων, ο περιβαλλοντικός έλεγχος δεν είναι εφικτός, ούτε παρουσιάζει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

1.5 Ολιστικότητα – Στόχοι

Θα πρέπει, συνεπώς, να κατανοηθεί ότι, όπως ρητά δηλώνουν και οι Wisner *et al.* (2004), το περιβάλλον δεν μπορεί να καταστεί ασφαλέστερο με τεχνικά μέσα μόνο. Υπό το πρίσμα της τρωτότητας, αυτό είναι δυνατό να επισυμβεί, δίχως, από την άλλη, να παραγνωρίζεται το γεγονός της ύπαρξης φραγμών που τίθενται από τις κοινωνικές και οικονομικές ανισότητες, από τις πολιτισμικές προκαταλήψεις, και τις πολιτικές «αδυναμίες» ή και μεροληψίες .

Σε αυτό το σημείο ας σημειωθεί πως αυτά τα (τεχνικά) μέσα αναφέρονται σε κατασκευαστικές εναλλακτικές επιλογές, ακόμη όμως, δυνητικά, και στα τεχνικά/ τεχνολογικά μέσα που παρέχουν οι νέες τεχνολογίες της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ προς την κατεύθυνση της τροποποίησης της τρωτότητας, και δη της μεταβολής των ανθρώπινων προτύπων συμπεριφοράς και στάσης έναντι των φυσικών κινδύνων, με την συμβολή αυτών των τεχνολογιών στην λήψη αποφάσεων και στην ανάληψη δράσεων προς την διευθέτηση των φάσεων που διακρίνουν ένα καταστροφικό

συμβάν, μέσω διαβημάτων στα στάδια της ετοιμότητας, της απόκρισης και της μετέπειτα αποκατάστασης, καθώς και του γενικότερου του μετριασμού.

Η Τηλεπισκόπηση και τα ΓΣΠ μπορούν να διαδραματίσουν ένα σπουδαίο ρόλο προς αυτή την κατεύθυνση, όμως, με τη σύμφωνη γνώμη της κοινωνίας – σε συνδυασμό με την βελτίωση των κοινωνικών σχέσεων, των κοινωνικών δικτύων και παροχών –, την ικανή χρηματοδότηση της έρευνας – σε άμεση συνάρτηση με την συνολική οικονομική ανάπτυξη –, την αναβάθμιση των υφιστάμενων τεχνολογιών και την διάχυση της τεχνογνωσίας, και φυσικά μέσω της διαδικασίας της «ορθής» και αμερόληπτης πολιτικής βούλησης, πάντοτε σε αρμονία με τις αρχές του πολιτισμού κάθε τόπου. Και αυτό γιατί, σε κάθε περίπτωση, όπως πολύ χαρακτηριστικά διατυπώνει ο Quarantelli (1986), «*μια (φυσική) καταστροφή δεν είναι ένα φυσικό συμβάν, είναι ένα κοινωνικό γεγονός*». Για αυτό και οι ενέργειες προς την άμβλυνση της τρωτότητας και των παρεπόμενων καταστροφών, θα πρέπει να ενσωματώσουν τόσο το κοινωνικό, το οικονομικό και το πολιτικό πλαίσιο, όσο και το τεχνικό (Lewis, 1999) – του οποίου οι προτάσεις και οι λύσεις τείνουν να κυριαρχούν, καθώς, όπως άλλωστε έχει προαναφερθεί, παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της μεγαλύτερης ευχέρειας και ευκολίας στον χειρισμό και της δυνατότητας ποσοτικοποιήσεων.

Σε ένα εγχείρημα λοιπόν να περιοριστεί η συνολική διακινδύνευση, και να αποτραπεί η πρόκληση φυσικών καταστροφών (περιορισμός αρνητικών επιπτώσεων) στον άνθρωπο και την κοινωνία (και στο περιβάλλον), θα πρέπει να εγερθεί το επίπεδο επαγρύπνησης, μήπως και, καθώς μεταβαίνουμε από μεθόδους που απομακρύνονται από την «χαλιναγώγηση» των φυσικών διαδικασίες, προς μεθόδους που επιδιώκεται η μεταστροφή της ανθρώπινης και κοινωνικής συμπεριφοράς, η τεχνική/ ή η τεχνολογική διάσταση «λάβουν τα ηνία», εισάγοντάς μας σε μια νέα εποχή «τεχνοκρατίας», εν μέσω μη κατασκευαστικών λύσεων.

Στα παρακάτω λοιπόν θα επιχειρηθεί να αναδειχθεί ο τρόπος με τον οποίο οι μέθοδοι και τεχνικές παρατήρησης και διαχείρισης του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος μπορούν να συνδράμουν στην ολοκληρωμένη διαχείριση φυσικών κινδύνων και καταστροφών, χωρίς, προφανώς, να αποτελούν πανάκεια. Ο δε επιθετικός προσδιορισμός «ολοκληρωμένη» που αποδίδεται στην διαχείριση των φυσικών καταστροφών, στον τίτλο αυτής της εργασίας, σημειώνεται ότι πρόκειται να διακριθεί σε τρία επίπεδα, καθ' ότι η παρούσα εργασία αποτελεί ένα πόνημα ώστε να:

- συμπεριληφθεί υπό το πρίσμα της διαχείρισης, *ολόκληρο* το «φάσμα» των κύριων φυσικών-περιβαλλοντικών κινδύνων που δυνητικά εξελίσσονται σε φυσικές καταστροφές (ταχείας εκδήλωσης)[10]
- ενταχθούν οι διάφορες ενέργειες αξιοποίησης της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ για την διαχείριση των καταστροφικών συμβάντων σε *όλες* τις φάσεις ενός καταστροφικού επεισοδίου, δηλαδή: πριν, κατά και μετά την εκδήλωσή του[11]
- εντοπιστεί η τεχνολογική-τεχνική διάσταση των επιμέρους εφαρμόσιμων μεθόδων και τεχνικών παρατήρησης-παρακολούθησης και διαχείρισης του περιβάλλοντος στο *ευρύτερο όλον της πραγματικότητας*, αποδίδοντας την δέουσα σημασία σε όλες τις πτυχές της τελευταίας, προκειμένου να σκιαγραφηθεί το «αποτύπωμα» μιας δυνάμει ολοκληρωμένης θεραπευτικής μεθόδου στο αντικειμενικά δυσεπίλυτο ζήτημα της αντιμετώπισης των φυσικών καταστροφών – τόσο των συμπτωμάτων τους, όσο και των υποκείμενων, βαθιά ριζωμένων, αιτιών τους.

Ειδικότερα δε, οι επιμέρους στόχοι επικεντρώνονται στην διερεύνηση μιας σειράς (επιλεγμένων) φυσικών κινδύνων, όσον αφορά στους φυσικούς μηχανισμούς γένεσης και εκδήλωσής τους, στην γεωγραφική κατανομή τους, αλλά και στη διακινδύνευση που αυτοί θέτουν στους απειλούμενους πληθυσμούς κατά την εκδήλωση μιας φυσικής καταστροφής, υπό την προοπτική της ανάδειξης των παραγόντων της φυσικής έκθεσης και κυρίως της ανθρώπινης τρωτότητας, οι οποίοι προκύπτουν μέσα από την αναδίφηση στις θεωρητικές διατυπώσεις και αναφορές, καθώς και μέσα από την άντληση γνώσης από υπαρκτά παραδείγματα της διεθνούς βιβλιογραφίας. Επιπλέον, με την παρουσίαση των αρχών και δυνατοτήτων της Τηλεπισκόπησης, αλλά και των ΓΣΠ, συντελείται προσπάθεια προκειμένου να καταδειχτεί η χρησιμότητά τους στην διαχείριση επεισοδίων ανάδυσης φυσικών καταστροφών, για κάθε φάση του κύκλου της διαχείρισής τους, μέσα από διάφορες γενικές μεθόδους, καθώς και μέσα από πιο συγκεκριμένες τεχνικές, κατάλληλες για κάθε τύπο κινδύνου. Ενδιάμεσος στόχος αποτελεί το πέρασμα από τη θεωρία στην

[10] Σε αυτήν την εργασία δίδεται ιδιαίτερη έμφαση σε φυσικές καταστροφές που εκδηλώνονται άμεσα, όπως π.χ. σεισμοί, πλημμύρες, ηφαιστειακά ξεσπάσματα, και όχι σε καταστροφές των οποίων οι ολέθριες συνέπειες «φανερώνονται» σε βάθος χρόνου όπως π.χ. ξηρασίες, λιμοί κ.α.
[11] Οι φάσεις ή στάδια διαχείρισης μιας καταστροφής αναπτύσσονται στο τρίτο κεφάλαιο

πράξη, με την υλοποίηση μιας εφαρμογής της τηλεπισκοπικής διαδικασίας και της ενσωμάτωσης των ΓΣΠ στην δυνάμει διαχείριση ακραίων φυσικών επεισοδίων, ενώ δε ο απώτερος σκοπός συνίσταται στην ένταξη των δυνατοτήτων και των προοπτικών των προαναφερθέντων τεχνολογιών στο ευρύτερο πλαίσιο της πραγματικότητας, μέσω της ταυτόχρονης, υπαινικτικής εισήγησης μιας πιο ολιστικής θεραπευτικής οδού.

Καθώς λοιπόν ολοκληρώνεται η πρώτη ενότητα αυτής της εργασίας, που ως αντικειμενικό σκοπό είχε να αποσαφηνίσει κάποιες έννοιες, να οικοδομήσει το θεωρητικό πλαίσιο και να διαμορφώσει τις «καθοδηγητικές πορείες», θεωρείται πλέον δόκιμο το πέρασμα στην επόμενη ενότητα. Επ' αυτής θα παρουσιαστεί και θα περιγραφεί συνοπτικά το φάσμα των κινδύνων και των δυνητικών καταστροφών που πυροδοτούνται από διαδικασίες του φυσικού περιβάλλοντος, εστιάζοντας κατά κόρον στα πιο σημαντικά αιφνίδια (rapid onset) επεισόδια, ώστε έπειτα να διαμορφωθεί το κατάλληλο έδαφος για να καταδειχτούν μέθοδοι για την δέουσα διαχείριση τους. 'Όπως άλλωστε έχει προαναφερθεί, όταν εξετάζεται ένα τέτοιο θέμα, όπου αναζητούνται και αξιολογούνται μέθοδοι αντιμετώπισης συμβάντων των οποίων ο αντίκτυπος επισύρει την απώλεια τόσων ανθρώπινων ζωών και την καταστροφή ιδιοκτησιών, τότε η ανάλυση πρέπει να πηγάζει από την εμβάθυνση στο ίδιο το επεισόδιο με στόχο την αυξημένη κατανόηση των αιτιών που το προκαλούν, καθώς και των παραμέτρων που προκαλούν την εμφάνιση ή εντείνουν τις επιπτώσεις επί του ανθρώπου και του περιβάλλοντος. Σε αντίθετη περίπτωση, ελλοχεύει πάντοτε ο κίνδυνος, η εκάστοτε επιστημονική πειθαρχία, γνωστικό αντικείμενο, ή και μέθοδος-τεχνική, να τείνει να προωθεί/ εξυπηρετεί την εκπλήρωση ίδιων επιδιώξεων, επισκιάζοντας και υποσκελίζοντας τις πραγματικές ανάγκες ανάλυσης που απορρέουν από την προβληματική κατάσταση προς διευθέτηση.

2 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ

[«Υπάρχουν δύο μείζονες δυνάμεις που επενεργούν, οι εξωτερικές και οι εσωτερικές. Έχουμε πολύ μικρή «εξουσία» πάνω στις εξωτερικές δυνάμεις όπως ανεμοστρόβιλοι, σεισμοί, πλημμύρες, θεομηνίες, ασθένεια και πόνος. Αυτό που τελικά έχει σημασία είναι η εσωτερική δύναμη. Πως αποκρίνομαι σε αυτές τις καταστροφές;»
"There are two big forces at work, external and internal. We have very little control over external forces such as tornadoes, earthquakes, floods, disasters, illness and pain. What really matters is the internal force. How do I respond to those disasters?"]

(Leo Buscaglia)

Όπως έχει φανεί και από τα προηγούμενα, καταστροφικά συμβάντα των οποίων το έναυσμα κείται στη λιθόσφαιρα, στην υδρόσφαιρα, στην ατμόσφαιρα, ή στη βιόσφαιρα, εμφανίζονται όλο και συχνότερα, και, παρά τις αλματώδεις εξελίξεις της τεχνολογίας, τα δεινά που αυτά τα επεισόδια συνεπάγονται συνολικά, ολοένα και πληθαίνουν. Οι παγκόσμιες κλιματικές μεταβολές με τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις τους τείνουν να επηρεάζουν αρνητικά το φυσικό φάσμα των κινδύνων, εγείροντας έτσι την παράμετρο της φυσικής έκθεσης. Από την άλλη, ο υπερπληθυσμός και η συνέχιση της αύξησής του με καλπάζοντες – σε πολλές χώρες του κόσμου – ρυθμούς, οι υψηλές πληθυσμιακές συγκεντρώσεις και πυκνότητες σε συγκεκριμένες περιοχές, κυρίως μέσω της ραγδαίας αστικοποίησης, οι πιέσεις στην αγροτική γη μέσα από πρακτικές χωρίς μέλλον, η έξαρση των ανισοτήτων και η φτώχεια, οι μεταβολές στα πολιτικά και οικονομικά συστήματα, η αυξανόμενη εξάρτηση από την τεχνολογία και οι (κοινωνικές) προσδοκίες – άλλα χαρακτηριστικά των LDCs και άλλα των MDCs – μεταβάλλουν δυσμενώς τις συνθήκες της διαρκώς αυξανόμενης τρωτότητας, κυρίως εις βάρος των πρώτων (LDCs), αλλά και για τις δεύτερες (MDCs).

Η ανάγκη λήψης μέτρων προς την κατεύθυνση του μετριασμού της διακινδύνευσης, είναι πλέον αδήριτη. Προτού όμως παρουσιαστούν συγκεκριμένες «θεραπευτικές» μέθοδοι που εισάγουν τα γνωστικά πεδία και τις τεχνολογίες της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ σε όλες τις φάσεις διαχείρισης φυσικών κινδύνων,

καθώς και των κρίσεων που απορρέουν εξ' αυτών, θα πρέπει να εξεταστούν τα φαινόμενα αυτά καθ' αυτά (δηλ. η φύση και ο χώρος και χρόνος εμφάνισής τους), να διαγνωσθεί η επικινδυνότητά τους, να παρατεθούν συγκεκριμένα ιστορικά συμβάντα που έχουν κλονίσει χώρους και κοινωνίες – επιφέροντας πλήγματα σε ανθρώπους, περιουσίες και στο περιβάλλον –, καθώς και να διαφανεί η εκάστοτε (δυνητική) ανθρωπογενής αλληλεπίδραση (και αιτιότητα), είτε στην επιδείνωση των συνεπειών του φαινομένου, μέσω της τρωτότητας, είτε, αντίστροφα, στον μετριασμό τους μέσω της προσαρμοστικότητας των εκάστοτε κοινωνιών. Από αυτήν την διαβάθμιση τρωτότητάς (ή προσαρμοστικότητας-ανθεκτικότητάς) τους, που είναι διάχυτη στα συμβάντα τα οποία παρατίθενται, επιχειρείται η ανεύρεση και αξιολόγηση εκείνων των – ανθρωπογενών – αιτιών που την «ιθύνουν», ούτως ώστε να προκύψουν παραδείγματα προς μίμηση ή προς αποφυγή στον τρόπο αντιμετώπισης «φυσικοκαταστροφικών» επεισοδίων.

Στα παρακάτω, για λόγους συστηματοποίησης, οι κίνδυνοι που ενέχονται σε φαινόμενα ή/ και διαδικασίες του φυσικού περιβάλλοντος διακρίνονται σε: λιθοσφαιρικοί ή τεκτονικοί, υδρολογικοί, ατμοσφαιρικοί, βιοφυσικοί και λοιποί.

2.1 Τεκτονικοί Κίνδυνοι: Σεισμοί και Ηφαίστεια

Το εσωτερικό της Γης κάθε άλλο παρά ομοιόμορφο και ανενεργό είναι. Αντιθέτως, απαρτίζεται από ένα υπέρπυκνο *πυρήνα (core)* ο οποίος βρίσκεται σε μια θερμοκρασία μεταξύ 3000° C και 5000° C, έχοντας ακτίνα 3.500 km. Το ενδότερο τμήμα του βρίσκεται σε στερεή κατάσταση, ενώ το εξώτερο σε υγρή. Περικλείεται δε από ένα ανώτερο στρώμα πάχους 2.900 km, που καλείται *μανδύας (mantle)* και συνιστά ένα υπερ-βασικό πέτρωμα (ultra mafic rock), το οποίο ενυπάρχει σε θερμοκρασίες 2.800^{o} C (στην διεπαφή με τον πυρήνα) έως 1800° C (στο εξώτερο τμήμα του). Το εξώτατο στρώμα της Γης αποτελεί ο φλοιός, ο οποίος αποτελείται από πυριγενή, μεταμορφωμένα και ιζηματογενή πετρώματα, ενώ διαχωρίζεται με σαφή όρια από τον υποκείμενο μανδύα από την ασυνέχεια Moho[12].

Η ενδογενής δραστηριότητα του εσωτερικού της γης εμπλέκει αφ' ενός την *λιθόσφαιρα*, δηλαδή ένα εξώτατο «κέλυφος» που συμπεριλαμβάνει τόσο τον φλοιό, όσο και τον ανώτερο μανδύα και είναι σκληρό και άκαμπτο, και αφ' ετέρου την

[12] συντομογραφία του «εφευρέτη» της, Andrija Mohorovicic

ασθενόσφαιρα, ένα «μαλακό» στρώμα που υπόκειται της λιθόσφαιρας, υπέρκειται δε ενός κατώτερου στρώματος μανδύα το οποίο τείνει να είναι πιο «σκληρό». Το λιθοσφαιρικό κέλυφος είναι κατακερματισμένο σε επιμέρους τεμάχη, τα οποία ονομάζονται λιθοσφαιρικές πλάκες. Οι τελευταίες μπορούν να κινούνται κατά τρόπο αυτόνομο. Οι δε κινήσεις και οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις οι οποίες αναπτύσσονται στα εκάστοτε (μεταξύ τους) όρια υπάγονται στην έννοια του τεκτονισμού, ενώ χαρακτηρίζονται ανάλογα με τους τύπους των ορίων που προκύπτουν σε αντίστοιχα: (i) *αποκλίνοντα*, (ii) *συγκλίνοντα και* (iii) *πλευρικά ολισθαίνοντα ή μετασχηματισμού* (*spreading, converging, transform*). Στον πρώτο τύπο ορίων λαμβάνει χώρα η απομάκρυνση μεταξύ δύο πλακών, στον δεύτερο τύπο ορίων οι πλάκες συγκρούονται και η μία δυνητικά υποβυθίζεται της άλλης, ενώ κατά τον τρίτο τύπο, οι δύο όμορες πλάκες ολισθαίνουν αμφότερες κινούμενες παράλληλα (Srtahler and Strahler, 2003).

Σε αυτήν λοιπόν την ενδογενή διεργασία και στις διάφορες κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών που συμπεριλαμβάνονται στην έννοια του τεκτονισμού, οφείλεται τόσο η πρόκληση σεισμικών δονήσεων, όσο και ηφαιστειακών εκρήξεων. Επειδή όμως οι κινήσεις των πλακών υποκινούνται από ενδογενείς δυνάμεις, είναι ανεξάρτητες από τις εξωγενείς διεργασίες της επιφάνειας.

Έτσι, τόσο οι σεισμικές δονήσεις, όσο και οι ηφαιστειακές εκρήξεις αποτελούν δύο εξαιρετικά δυναμικά φαινόμενα τα οποία επιπλέον αναδύονται ανεξάρτητα από την ανθρώπινη δραστηριότητα και παρέμβαση στο φυσικό περιβάλλον. Μολονότι όμως το ανθρωπογενές στοιχείο είναι αμελητέο ως προς το έναυσμα τέτοιων εμφανίσεων, από την άλλη, εντούτοις, θα πρέπει να σημειωθεί πως δυνητικά καθίσταται καθοριστικός παράγοντας όσον αφορά στην έκβασή τους (Wisner *et al.*, 2004).

2.1.1 Σεισμοί

Φύση και Τύποι Κινδύνων

Οι σεισμοί είναι φαινόμενα που εν γένει προκαλούνται από την αιφνίδια απελευθέρωση συσσωρευμένης «πίεσης» (strain) στο στερεό φλοιό της γης (Sabins, 1997). Πιο συγκεκριμένα, η διαρκής κίνηση των πλακών επιφέρει την συνεχή

επισώρευση τάσεων σε κάποιους χώρους (επί της λιθόσφαιρας), με αποτέλεσμα την σταδιακή παραμόρφωση των υφιστάμενων πετρωμάτων. Η υπέρβαση ενός ορίου αντοχής των τελευταίων εξ' αιτίας των εκδηλούμενων τάσεων εντός ενός τέτοιου χώρου – σεισμογόνου –, προκαλεί θραύση και δημιουργία επιφάνειας διάρρηξης, δηλαδή τον σχηματισμό ενός *σεισμογόνου ρήγματος*. Από δε τη στιγμή που πρωτοσχηματιστεί ένα ρήγμα, εκκινείται ένας λειτουργικός κύκλος ο οποίος, μέχρι να ολοκληρωθεί[13], μπορεί να επανενεργοποιήσει αρκετές φορές μια σεισμική εκδήλωση. Ως εκ τούτου, σε έναν τέτοιο κύκλο, κάθε εμφάνιση ενός σεισμικού φαινομένου εμπλέκει μια αργόσυρτη μεγέθυνση «πίεσης», η οποία σταδιακά επιφέρει παραμόρφωση των πετρωμάτων του φλοιού, προκαλώντας την «παραγωγή» αποθηκευμένης ελαστικής ενέργειας, ενώ δε στην περίπτωση που η ισχύς της τελευταίας υπερβαίνει την αντοχή του αντίστοιχου ρήγματος (εννοούμενο πλέον ως μια ζώνη-χώρος προϋπάρχουσας «αδυναμίας» πλησίον της γήινης επιφάνειας), τότε το τελευταίο (επανα-)διαρρηγνύεται, και λόγω αυτής της απότομης ρήξης δημιουργούνται σεισμικά κύματα τα οποία εκτείνονται ακτινοειδώς καθώς απομακρύνονται από το ρήγμα (Παπανικολάου και Σιδέρης, 2007).

Το σημείο του σεισμογόνου χώρου αυτής της διάρρηξης ή θραύσης ονομάζεται *εστία ή υπόκεντρο (focus or hypocenter)* και μπορεί να παρουσιαστεί οπουδήποτε (στον φλοιό), δηλ ανάμεσα στην επιφάνεια της γης και σε ένα βάθος 700 km. Από την άλλη, το σημείο της επιφάνειας της Γης ακριβώς άνωθεν της εστίας, δηλαδή η κατακόρυφη προβολή της εστίας επί της επιφάνειας της Γης (στη χέρσο ή σε υποθαλάσσιο πυθμένα) ονομάζεται *επίκεντρο* (*epicenter*). Το δε μέγεθος αυτής της κατακόρυφης απόστασης ονομάζεται *εστιακό βάθος (focal depth)*.

Καθ' ότι ο γήινος φλοιός είναι κατακερματισμένος σε περισσότερα των 15 τεμαχών, οι διάφορες κινήσεις που επιτελούνται εκ των λιθοσφαιρικών πλακών έχουν ως απότοκο την ανάδυση μιας πληθώρας σεισμικών φαινομένων, αλλά και επιπτώσεων που αυτά τα τελευταία συνεπάγονται. Διακρίνονται δε, με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία, σε δύο μείζονες κατηγορίες:

- στα πρωτογενή φαινόμενα, τα οποία εμπερικλείουν την ανακίνηση του εδάφους, την διάρρηξη των ρηγμάτων και την τεκτονική παραμόρφωση
- στα δευτερογενή (σύνοδα) φαινόμενα που προκαλούν: ρευστοποίηση των εδαφών, κατολισθήσεις-καταπτώσεις, χιονοστιβάδες-κατολισθήσεις πάγου,

[13] Αυτός ο κύκλος μπορεί να διαρκέσει κάποια εκατομμύρια χρόνια

λασποροές, υποθαλάσσιες κατολισθήσεις, καθώς και *tsunamis* (σεισμικά θαλάσσια κύματα),

ενώ οι επιπτώσεις τους, που επίσης διαχωρίζονται κατ' αντίστοιχό τρόπο, υπαγάγουν στις πρωτογενείς την κατάρρευση κτιρίων και τη διάρρηξη αγωγών και άλλων κατασκευών-δικτύων κοινής ωφέλειας, και στις δευτερογενείς την εκδήλωση πυρκαγιών, εκρήξεων και πλημμύρων (από αστοχίες φραγμάτων π.χ.) κ.α.

Σεισμικά Κύματα και Κλίμακες Μετρήσεων

Ο κύριος περιβαλλοντικός κίνδυνος μιας σεισμικής δόνησης, σύμφωνα και με τον Bolt (1988) έγκειται στην ανατάραξη του εδάφους (ground-shaking), όρος που χρησιμοποιείται για την δόνηση που υφίσταται το έδαφος, υπό την επενέργεια δυο γενικών τύπων ελαστικών κυμάτων: των *«κυμάτων χώρου»* (*body waves*), τα οποία υποδιαιρούνται στις υποκατηγορίες των *επιμηκών* (*primary – P waves*) και των *εγκαρσίων* (*secondary – S waves*), και των *επιφανειακών κυμάτων* (*surface waves*) – *Love waves* και *Raleigh waves* (βλ. Παράρτημα Ι).

Τα πρώτα – επιμήκη – συνιστούν κύματα τα οποία διαδίδονται τόσο σε στερεά, όσο και σε υγρά μέσα με ταχύτητες της τάξης των 6-8 km/s (ανάλογα με την πυκνότητα και τις ελαστικές ιδιότητες του μέσου), των οποίων την πορεία ακολουθεί η σεισμική δόνηση. Από την άλλη, τα εγκάρσια κύματα κινούνται με την μισή περίπου ταχύτητα, προκαλώντας δονήσεις σε ορθές γωνίες ως προς την διεύθυνσης κίνησής τους. Σε αντίθεση με τα επιμήκη κύματα, η διάδοσή τους σε υγρά τμήματα της γης είναι αδύνατη. Κατά την προσέγγιση τους όμως της επιφάνειας της γης, η εξ' αυτών προκαλούμενη κατακόρυφη εδαφική ανακίνηση μπορεί να αποβεί καταστροφική για τις οικοδομές και κατασκευές.

Εντούτοις, εκείνα τα κύματα που θέτουν τον σοβαρότερο κίνδυνο για πρόκληση δομικών/ κατασκευαστικών ζημιών είναι τα επιφανειακά. Γενικά, η μέθοδος και ο τρόπος κατασκευής των κτιρίων είναι τέτοιος που να τα καθιστά ανθεκτικά στην βαρυτική έλξη, κάτι που συνεπάγεται ότι αυτά μπορούν να «αντεπεξέλθουν» σε κάποιους επιπλέον κραδασμούς στον κατακόρυφο άξονα από αντίστοιχες (κατακόρυφες) ανακινήσεις. Αντίθετα, οριζόντιες μετατοπίσεις ακόμη και πολύ μικρότερου μεγέθους, δυνητικά επιφέρουν πολύ σοβαρές ζημιές σε κτίσματα άνευ σιδηροπαγούς (ή οπλισμένης) τοιχοποιίας. Τα επιφανειακά κύματα, και δη τόσο

τα Love waves, όσο και τα Raleigh waves προκαλούν τέτοιες οριζόντιες αναταράξεις κάθετα της κατεύθυνσης διάδοσής τους, και είναι το μέγεθος αυτών των κυμάτων που πρωτίστως ανιχνεύεται και καταμετράται από την σχετική κλίμακα (M_L).

Από την άλλη, δυο είναι οι εν γένει μετρούμενες διαστάσεις/ κλίμακες των σεισμικών φαινομένων: *το μέγεθος (magnitude)* και η *ένταση ή σφοδρότητα (intensity)*.

Το μέγεθος αποτιμάται στις κλίμακες Ρίχτερ (Charles Richter), που περιγράφουν την συνολική ενέργεια που διαχέεται από την εστία ενός σεισμού και καταγράφεται από τα ίχνη της κίνησης του εδάφους στους σεισμογράφους σε μια κανονικοποιημένη απόσταση των 100 km. Σήμερα, η πιο κοινώς χρησιμοποιούμενη κλίμακα είναι γνωστή ως *local magnitude (M_L)*, καθ' ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως. Το μέγεθος M_L αποτελεί τον λογάριθμο της «προσαρμοσμένης» ("corrected") κίνησης του εδάφους σε μικρόμετρα (10^{-3} mm) στην απόσταση των 100 km. Επομένως, λ.χ., η δημιουργία ενός ίχνους μέγιστου εύρους 10 mm στον σεισμογράφο (από ένα σεισμό σε απόσταση 100 km) θα σήμαινε μέγεθος σεισμού M_L = 4.0 ($\log_{10}$ of 10.000 = 4).

Αξίζει λοιπόν να σημειωθεί πως η μετάβαση από μια κλίμακα μεγέθους στην αμέσως επόμενη, συνεπάγεται 10 φορές ισχυρότερο εδαφικό τράνταγμα Έτσι, ένας σεισμός μεγέθους M_L = 6 αντιπροσωπεύει 10 φορές μεγαλύτερη ανατάραξη του εδάφους απ' ότι ένας σεισμός μεγέθους M_L = 5 και 1000 φορές μεγαλύτερη απ' ότι ένας σεισμός μεγέθους M_L = 3. Από την άλλη, η σχέση που συνδέει το μέγεθος με την εκλυόμενη ενέργεια περιγράφεται ως εξής: για κάθε ολόκληρη μονάδα που ανέρχεται το μέγεθος, η συνολική ενέργεια που απελευθερώνεται αυξάνει κατά 31,6 φορές. Ως εκ τούτου, αρχόμενοι από μια τυχαία αφετηρία μεγέθους (π.χ. M_L = 4), η άνοδος δυο και τριών ολόκληρων μονάδων μεγέθους (M_L = 6 και M_L = 7) υποδηλώνει εκλυόμενη ενέργεια περίπου 1000 και 30.000 φορές μεγαλύτερη αντίστοιχα από εκείνη του αρχικού μεγέθους.

Όμως, αυτή η κλίμακα μέτρησης μεγέθους, αδυνατεί να περιγράψει και αποτιμήσει επαρκώς σεισμικά φαινόμενα μεγέθους άνω των M_L = 6,5, καθώς τα σεισμικά κύματα που συμπεριλαμβάνονται στις σχετικές μετρήσεις εκπορεύονται από ένα μικρό μόνο τμήμα του ρήγματος, και ως εκ τούτου επέρχεται

«υποαντιπροσώπευση» της συνολικής εκλυόμενης ενέργειας. Για αυτόν τον λόγο υιοθετείται η κλίμακα *στιγμιαίου μεγέθους* (*moment magnitude*) (M). Έτσι, αντί για τον υπολογισμό του ίχνους του σεισμογράφου, οι αποτιμήσεις σε αυτές τις περιπτώσεις βασίζονται στην (κατα)μέτρηση της επιφανειακής μετατόπισης του ρήγματος, και του μέσου μήκους μετακίνησης του, δεδομένης της στιβαρότητας του εδαφικού υλικού.

Η δεύτερη χρησιμοποιούμενη κλίμακα μέτρησης – ένταση – αναφέρεται στις απτές και παρατηρήσιμες συνέπειες ενός σεισμικού συμβάντος, καθ' ότι, το μέγεθος και, γενικότερα, η εκλυόμενη ενέργεια δεν συνιστούν πάντοτε τους πιο κρίσιμους και δόκιμους δείκτες για την απόδοση και αποτίμηση του καταστροφικού αντίκτυπου, εξ' αιτίας του γεγονότος ότι μια σειρά από συνιστώσες δεν υπεισέρχεται στην έννοια του μεγέθους. Επεξηγηματικά, οι απώλειες και οι ζημίες που προξενούνται από ένα σεισμό εξαρτώνται επιπροσθέτως από: την απόσταση από το επίκεντρο και το εστιακό βάθος, την θέση-διαστάσεις του σεισμογόνου ρήγματος και τους μηχανισμούς γένεσης και του τρόπου διάδοσης των κυμάτων, τις λιθολογικές και εδαφολογικές συνιστώσες, τη διάρκεια του σεισμού, την πληθυσμιακή πυκνότητα καθώς και την κατάσταση και τα δομικά χαρακτηριστικά των κτιρίων και την εν γένει ποιότητα των κατασκευών «εντός των ορίων» της πληττόμενης περιοχής.

Προκειμένου λοιπόν να αξιολογηθεί και να συσχετιστεί πιο άμεσα ο δυνητικός ολέθριος αντίκτυπος, ένα άλλο μέτρο έχει αναδειχθεί, αυτό της έντασης ή σφοδρότητας. Η εκτίμηση αυτού του μέτρου μπορεί να επιτευχθεί με την απόδοση αριθμητικών τιμών ανάλογα με την εμπειρική αξιολόγηση του εδαφικού τραντάγματος και την έκταση της καταστροφής δομημένων και αδόμητων εκτάσεων. Η πλέον κοινώς αποδεκτή κλίμακα για την διαβάθμιση της έντασης είναι η Τροποποιημένη Κλίμακα Μερκάλι (Modified Mercalli Scale – *MM*) σύμφωνα με την οποία, τα σεισμικά φαινόμενα κατατάσσονται σε 12 κατηγορίες, από *MM* = I (ανεπαίσθητη δόνηση) έως *MM* = XII (ολοσχερής καταστροφή) (βλ. Παράρτημα I). Παρ' όλο όμως που αυτή η κλίμακα μέτρησης είναι μάλλον αυθαίρετη και περισσότερο εμπειρική, όπως δηλώνει και ο Smith (1996), δεν μπορεί να εκληφθεί ως λιγότερο επιστημονική από την κλίμακα Richter, εφ' όσον πολλές φορές οι σεισμολόγοι διαφωνούν για την αποτίμηση του μεγέθους.

Γεωγραφική Κατανομή

Όσον αφορά δε στις περιοχές που πλήττονται, είναι μάλλον συγκεκριμένες, καθώς η γεωγραφική κατανομή εμφάνισης σεισμικών φαινομένων, κάθε άλλο παρά τυχαία είναι. Τουλάχιστον 35 χώρες «θίγονται», ενώ οι περισσότερες ζώνες μέγιστης έντασης και συχνότητας σημειώνονται στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών. Όπως άλλωστε αναφέρει και ο Bolt (1988), τα 2/3 των μεγάλων σεισμών εντοπίζονται στο αποκαλούμενο «Δαχτυλίδι της Φωτιάς» ή αλλιώς «Πύρινος Δακτύλιος» ("Ring of Fire") στην περιοχή του Ειρηνικού. Εντούτοις, παρ' όλο που η πλειοψηφία των σεισμών και των ηφαιστείων απαντάται σε αυτές τις τεκτονικά ενεργές περιοχές ανάμεσα στις πλάκες, σεισμικά φαινόμενα επισυμβαίνουν και σε «εξασθενημένα» σημεία εντός των πλακών (Smith, 1996). Η παγκόσμια κατανομή της τεκτονικής και ηφαιστειακής δραστηριότητας παρατίθεται στο Παράρτημα Ι. Παρά δε την σχετικά συγκεκριμένη γεωγραφία που διέπει τους σεισμικούς κινδύνους, η οποία προσομοιάζει των ηφαιστειακών κινδύνων, ο φόρος αίματος από καταστροφικά σεισμικά συμβάντα, εκτιμάται σε 1,87 εκ. ανθρώπινες απώλειες, κάτι που, σε σύγκριση με τις απώλειες από ηφαιστειακές εκρήξεις, για κάθε άνθρωπο που χάνει τη ζωή του από ένα ηφαιστειακό ξέσπασμα, αντιστοιχούν 19 που πεθαίνουν από ένα σεισμό (CRED, 2002).

Παράγοντες Τρωτότητας

Όπως διατυπώθηκε και στα παραπάνω, πέρα από το μέγεθος ενός σεισμού που τείνει να καθίσταται ένα απόλυτο μέτρο της βιαιότητας ενός σεισμικού επεισοδίου, πολλές άλλες παράμετροι υπεισέρχονται, ώστε να προκληθεί πλήγμα σε μια περιοχή, καθιστώντας πολλές φορές αυτό το μέτρο ως μη καθοριστικό παράγοντα. Η *τοποθεσία* ενός σεισμού αποτελεί έναν αυτονοήτως πρωταρχικής σημασίας παράγοντα. Ως εκ τούτου, ο χωρικός εντοπισμός τους και η χαρτογράφησή τους μπορεί και πρέπει να λαμβάνεται σοβαρότατα υπ' όψιν, μάλιστα δε σε διάφορες κλίμακες: από την πλέον διευρυμένη που αναφέρεται στην παγκόσμια διασπορά καταστροφικών σεισμικών επεισοδίων – τόσο όσον αφορά στον αριθμό τους όσο και στη σφοδρότητά τους – και την δημιουργία σεισμικών ζωνών, έως την πιο «συρρικνωμένη», που εξετάζει τη μικρογεωγραφία των οικισμών σε συνάρτηση με

την χωρική διάταξη του σεισμικού φαινομένου (και των τοπικών εδαφικών χαρακτηριστικών) (Wisner *et al.*, 2004).

Επίσης, τόσο η συνιστώσα του *χρονισμού* όσο και της *διαχρονικότητας*[14] χρήζουν σοβαρής μέριμνας. Ειδικότερα, η συχνότητα εκδήλωσης ενός φαινομένου ενδεχομένως να μεταβάλλει την επίγνωση της διακινδύνευσης, ενώ η περίοδος του χρόνου ή ο μήνας, η μέρα της εβδομάδας, ακόμη και η ώρα κατά την οποία ξεσπά ένας σεισμός, σε πολλές περιπτώσεις έχουν σαφή αντίκτυπο στο μέγεθος της διακινδύνευσης. Χαρακτηριστικά αναφέρονται η περίπτωση του σεισμού στην Αρμενία τον χειμώνα του 1988, όπου η επιβίωση ενός μικρού μόνο πλήθους ατόμων που ενεπλάκησαν στην καταστροφή, αποδίδεται κατά τον Noji (1997) στις αντίξοες καιρικές συνθήκες, καθώς αν η ίδια σεισμική δόνηση λάμβανε χώρα σε θερμότερα κλίματα, ή μια άλλη εποχή του έτους, οι εγκλωβισμένοι στα συντρίμμια θα είχαν μεγαλύτερη πιθανότητα να επιβιώσουν και να διασωθούν (έως ότου θα ανασύρονταν από τα ερείπια). Η ώρα της μέρας που χτυπά ένας σεισμός συνιστά παράμετρο μείζονος σημασίας, καθ' ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας, οπότε οι άνθρωποι κοιμούνται, η διακινδύνευση τείνει να μεγιστοποιείται. Και αυτό διότι κατά τη διάρκεια του ύπνου, αφ' ενός μεν δεν μπορούν να αντιληφθούν τους προειδοποιητικούς «προ-σεισμούς» (fore-shocks), αφ' ετέρου δε, καθ' ότι ξαπλωμένοι εντός των κτισμάτων εκτίθενται σε υψηλό κίνδυνο από πτώσεις θραυσμάτων δομικών υλικών (debris) (Alexander, 1985). Οι περιπτώσεις των σεισμών στη Γουατεμάλα το 1976 και στο Latur (Ινδία) το 1993 που εκδηλώθηκαν κατά τις νυχτερινές ώρες επέφεραν πολύ μεγάλες απώλειες.

Μια από τις κύριες συνιστώσες που διαφοροποιεί την ανθρώπινη τρωτότητα σε σεισμικά πλήγματα επαφίεται στα *χαρακτηριστικά των κτιρίων* και στις *επισφαλείς κατασκευές* (Cuny, 1983; Coburn and Spence, 2002). Η σπουδαιότητα αυτής της συνιστώσας άλλωστε αναδεικνύεται και από τον Alexander (1985), ο οποίος διατείνεται ότι το 95% των θανάτων προκύπτει λόγω οικοδομικών αστοχιών (building failures), που πηγάζουν από πρωτογενή φαινόμενα και κυρίως από το εδαφικό τράνταγμα, ενώ, σύμφωνα με τους Seaman *et al.* (1984) και Noji (1997), πολύ λιγότερες ανθρώπινες απώλειες προξενούνται από δευτερογενείς καταστροφικούς αντίκτυπους όπως πυρκαγιές, κατολισθήσεις ή tsunamis. Κι' όμως, μολονότι ένας τέτοιος κρίσιμος παράγοντας μπορεί να διευθετηθεί από τους

[14] Οι Wisner *et al.*(2004), εκφέρουν τα παραπάνω ως "temporal characteristics".

αρμόδιους φορείς, απλώς επιβάλλοντας (κτιριακούς και οικοδομικούς) κανονισμούς ασφαλείας, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των κτιρίων όσον αφορά στη γεωμετρία τους, στην θέση τους (και στη συγκεκριμένη τοποθεσία τους), καθώς και στον σχεδιασμό και στα υλικά κατασκευής τους, θα πρέπει επιπροσθέτως, κατά τον Noji (1997), να απαντηθούν ουσιαστικά ερωτήματα σχετικά: (i) με τις επισφαλείς θέσεις/ περιοχές όπου είναι πιθανό να υποστούν βλάβη οι οποιεσδήποτε κατασκευές-οικοδομές, (ii) με τις γενεσιουργές αιτίες αυτής της δυνητικά επικίνδυνης και επισφαλούς κατάστασης, καθώς και (iii) με τις ενέργειες και δράσεις που θα πρέπει να αναληφθούν ώστε να αντιμετωπιστεί η υποκείμενη πίεση.

Επισκόπηση Καταστροφικών Επεισοδίων

Τα διάφορα επεισόδια καταστροφικών σεισμών τείνουν να επαληθεύουν τους διάφορους παράγοντες τρωτότητας που παρατέθηκαν στα προηγούμενα, καθώς και να αποκαλύπτουν άλλους, βαθύτερους.

Έτσι, η περίπτωση του σεισμού της πόλης του Μεξικό (7:00 π.μ., 19 Σεπτεμβρίου 1985) που είχε ως επακόλουθο το θάνατο 17.000 ανθρώπων απέληξε σε τόσο ολέθριο πλήγμα στη βάση φυσικών κυρίως παραγόντων, οι οποίοι όμως ενισχύθηκαν από τα ανθρωπογενή ενεργήματα. Η πόλη του Μεξικό, λοιπόν, σε ένα πολύ μεγάλο τμήμα της εδράζει στον πυθμένα της αποξηραμένης λίμνης Texcoco. Επομένως, από τη φύση του ο τόπος εγκατάστασης εμπεριέχει το στοιχείο του κινδύνου, κάτι που σε καμία περίπτωση δεν απαλείφει την ανθρώπινη ευθύνη για την σχετική επιλογή. Μάλιστα, όπως δεικτικά δηλώνει ο Tobriner (1988): *«μία από τις μεγάλες ειρωνείες τις αστικής ιστορίας [είναι] ότι το Mexico City, ίσως η μεγαλύτερη πόλη στον κόσμο, εδρεύει σε κάποια από τα πιο ασταθή εδάφη του πλανήτη»*. Και όμως, αυτή η επιλογή του τόπου εγκατάστασης στον πυθμένα της παλιάς λίμνης Texcoco, που αποτελεί και το πρωταρχικό αίτιο της επικινδυνότητας της περιοχής, μπορεί σήμερα, και κατά την εποχή του σεισμού να εκλαμβάνεται/όταν ως κάτι το δεδομένο, κάτι που δεν επιδέχεται/όταν μεταβολή· υπό μια πιο στοχαστική μελέτη θα πρέπει μια τέτοια επιλογή να αναχθεί στην αναζήτηση των βαθύτερων ιστορικών αιτίων της[15]. Σε κάθε περίπτωση, το ευτύχημα είναι πως αν εκδηλωνόταν μερικές

[15] Κατά την άφιξη των Ισπανών κονκισταδόρων πριν από πέντε περίπου αιώνες, ο υφιστάμενος καλά προσαρμοσμένος οικισμός αντικαταστάθηκε από μια νέα πόλη η οποία «απαιτούσε» την

ώρες νωρίτερα, ο φόρος αίματος θα ήταν σίγουρα υψηλότερος. Εδώ, το καταστροφικό πλήγμα δεν επισκίασε, όπως έγινε στην επόμενη περίπτωση, τους φτωχούς και περιθωριοποιημένους «ενοίκους παραγκών» (“slum dwellers”), αλλά όλους εκείνους που διέμεναν ή δούλευαν σε κτίρια εντός της πλέον επιρρεπούς ζώνης του πρότερου βυθού της λίμνης, και ιδιαίτερα εκείνων που βρίσκονταν στα πιο υψηλά κτίσματα, αποδεικνύοντας ότι η έννοια της φτώχειας δεν είναι ταυτόσημη, ούτε πάντοτε συνυφασμένη με αυτήν της τρωτότητας, ενώ είναι δυνατό η τελευταία να τροποποιηθεί από άλλους παράγοντες, όπως οι ιστορικές επιλογές και συγκυρίες.

Αντιθέτως, ο σεισμός στην Γουατεμάλα (2:58 π.μ., 4 Φεβρουαρίου 1976) επέφερε τον θάνατο σε 22.000 ανθρώπους, πλήττοντας σχεδόν αποκλειστικά όσους κατοικούσαν σε πρόχειρες και αγροτικές κατοικίες στα υψίπεδα της Γουατεμάλα και σε απόκρημνες χαράδρες, καθώς και τους ενοίκους επισφαλών κτισμάτων στέγασης, αφήνοντας πρακτικά ανεπηρέαστες τις μεσαίες και ανώτερες τάξεις. Αυτή η κατάφωρη «επιλεκτικότητα» στον αντίκτυπο εξώθησαν στην μετονομασία – σε μια λογοπαιγνιακή παράφραση – αυτού του εδαφικού τραντάγματος (earth-quake) ως ταξικό τράνταγμα (“class-quake”). Η διαφορική αυτή τρωτότητα δεν εντοπίστηκε στη βάση μόνο της τάξης ή της ένδειας, αλλά και της εθνικότητας, καθώς τόσο οι αγροτικοί πληθυσμοί των υψιπέδων της Γουατεμάλα που έχασαν τη ζωή τους ήταν και φτωχοί και αυτόχθονες (Mayans), όσο και εκείνοι που δεινοπάθησαν, ήταν συγκεντρωμένοι στις φτωχογειτονιές της πόλης, ενώ επιπλέον η μετα-καταστροφική βοήθεια κατέστη εξαιρετικά δυσχερής (Wisner *et al.*, 2004).

Άλλες περιπτώσεις, όπως αυτή του σεισμικού χτυπήματος στο Kobe της Ιαπωνίας (5:46 π.μ., 17 Ιανουαρίου 1995) επιδεικνύουν την σημαντικότητα της τρωτότητας και στις ανεπτυγμένες χώρες. Εδώ, η ψευδής αίσθηση της ασφάλειας και της ετοιμότητας των αρμόδιων αποτέλεσαν τους καταλύτες για τον αναλογικά πολύ υψηλό αντίκτυπο της καταστροφής. Οι πρωταρχικές όμως αιτίες για μια τόσο ευμεγέθους κλίμακας καταστροφή – τόσο όσον αφορά στις ανθρώπινες απώλειες και τραυματισμούς (περίπου 6.300 σκοτώθηκαν και 35.000 τραυματίστηκαν), όσο και αναφορικά με τις υλικές ζημιές και φθορές (136.000 κτίρια καταστράφηκαν) και τις οικονομικές απώλειες (περί τα $ 150 δις, χωρίς να συνυπολογιστούν οι οικονομικές ζημιές από τους θανάτους, την πτώση της παραγωγής κ.α.) – από ένα σεισμικό

αποστράγγιση-αποξήρανση της λίμνης. Η πηγή λοιπόν της διακινδύνευσης έχει την προέλευσή της, σύμφωνα και με τον Oliver-Smith (1994), στο πολύ μακρινό παρελθόν

επεισόδιο μεγέθους 7,2 R σε μια εύπορη πόλη-λιμάνι μιας πολύ εύρωστης οικονομίας, της Ιαπωνίας, έχουν την προέλευσή τους στην κοινωνική και οικονομική τρωτότητα, στην επιφερόμενη τρωτότητα από τις επισφαλείς κατοικίες και στις θεσμικές ανεπάρκειες να επιβάλλουν κανόνες δόμησης, αλλά και να προωθήσουν αποτελεσματικά μέτρα ετοιμότητας (Wisner *et al.*, 2004). Ως εκ τούτου, οι ηλικιωμένοι, οι γυναίκες, και ιδιαίτερα εκείνες με ηλικία άνω των 55 έθεταν τις πιο ευπαθείς ηλικιακές ομάδες. Επιπλέον, η ύπαρξη κάποιων υπό-τάξεων (under-classes) – όπως οι εργατικές τάξεις ξένων μεταναστών από την Κίνα, την Β. Κορέα και τις Φιλιππίνες, αλλά και των *Barakumin* («χωρικών» – "village people") – στο κοινωνικό σύστημα της Ιαπωνίας, και οι διαφορικές συνθήκες μεταχείρισης και ποιότητας ζωής, τους κατέστησαν πολύ πιο επιρρεπείς στον κίνδυνο, και εν τέλει επλήγεισαν σφοδρότερα. Όπως άλλωστε επισημαίνει ο Laidlaw (2002), για τους τελευταίους (τους *Barakumin*), ο κοινωνικός στιγματισμός και η οικονομική τους αποστέρηση είχαν αντίκτυπο στην αυξημένη ευπάθειά τους, εφόσον οι παραπάνω παράγοντες τους εξώθησαν στην εγκατάσταση τους σε εν γένει σε ανεπιθύμητες περιοχές όπως οι όχθες ποταμών και οι πλαγιές των βουνών. Από την άλλη, η εκτεταμένη διαμονή σε επισφαλείς κατοικίες αποτέλεσε ευρύτερα ένα σοβαρότατο παράγοντα ευπάθειας, καθ' ότι η πλειοψηφία των θυμάτων έχασαν την ζωή τους μέσα στα σπίτια τους και μάλιστα σε πολύ μεγάλο βαθμό εξ' αιτίας ασφυξίας από την κατάρρευσή τους. Αυτό αν συνδυαστεί με την πληροφορία ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των κτιρίων που κατέρρευσαν ήταν (διώροφες) κατοικίες, δομημένες από ξύλινους τοίχους και βαριές στέγες επιστρωμένες με κεραμίδια, είναι δυνατό να αναλογιστεί κανείς το ειδικό βάρος που έφεραν οι επισφαλείς κατοικίες σε αυτό το περιστατικό. Τέλος, η αδυναμία του συστήματος διαχείρισης καταστροφών να υλοποιήσει μέτρα αντιμετώπισης μέσα από συστήματα ετοιμότητας και προδιαγεγραμμένα σχέδια σε περιπτώσεις επειγουσών καταστάσεων, μέσα από την δημόσια ενημέρωση και την έγερση της δυνατότητας απόκρισης, είχαν ως απότοκο τον όλεθρο.

Απολογισμός

Τόσο οι θεωρητικές προσεγγίσεις, όσο και η πρακτικά αφομοιούμενη γνώση υπαγορεύουν πως οι σεισμοί (γενικά τάξης μεγέθους άνω των M =5,5) συνιστούν κρίσιμα επεισόδια τα οποία, αν και επέρχονται αποκλειστικά ως συνέπεια της

ενδογήινης διεργασίας, είναι δυνατό να διευθετηθούν σε κάποιον βαθμό. Ο κύριος κίνδυνος που ενέχει μια σεισμική δόνηση είναι η ανατάραξη του εδάφους, που, με την πρόκληση κατάρρευσης κτιρίων, επιφέρει την πλειονότητα απωλειών ζωής και τραυματισμών. Επίσης, καθώς πολλές φορές ένα κύριο σεισμικό επεισόδιο έπεται προσεισμικών δονήσεων ή/ και συνοδεύεται από μετασεισμικές, το ενδεχόμενο και η δυνατότητα άμεσης εκκένωσης κτιρίων και η μετακίνηση προς χώρους καταφυγής αποτελεί ζωτικής σημασίας μέτρο. Έτσι, οι οικοδομικοί κανονισμοί, και ο πολεοδομικός σχεδιασμός καλούνται να επιτελέσουν ένα σημαντικό λειτούργημα, σε συνδυασμό με την προώθηση σχεδίων ετοιμότητας, απόκρισης και αποκατάστασης σε καταστροφές.

Οι δε υποκείμενες αιτίες φαίνεται να ενέχουν την μεγαλύτερη βαρύτητα, όσον αφορά τόσο στην διαμονή σε επισφαλείς κατοικίες και την εργασία σε «ανάρμοστες» εγκαταστάσεις, όσο και στην εγκατάσταση σε γενικότερα επιρρεπείς περιοχές. Έτσι, ακόμη και αν αντιμετωπιστεί μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης κατά περίπτωση, οι αιτίες μάλλον θα παραμείνουν «άλυτες» διαιωνίζοντας το πρόβλημα. Όπως άλλωστε ισχύει και για την πλειονότητα των φυσικών καταστροφών, το πρόβλημα θα πρέπει να «βάλλεται» στη ρίζα του, τουτέστι πρωτίστως τροποποίηση της κοινωνικής, οικονομικής, πολιτικής και πολιτισμικής τρωτότητας, αλλά και της φυσικής έκθεσης. Και δεδομένου του γεγονότος ότι τα καταστροφικά χτυπήματα επαναλαμβάνονται, οι συνέπειες-εκροές της καταστροφής ενός τέτοιου μετατρέπονται σε μελλοντικούς παράγοντες περαιτέρω επαύξησης της τρωτότητας-εισροές. Για αυτό και η δυνατότητα ανάκαμψης για οικονομικά και κοινωνικά τρωτούς ανθρώπους καθίσταται πολύ πιο δυσχερής υπό την επανεμφάνιση τέτοιων επεισοδίων, υπονομεύοντας την δυναμική άρσης των υποκείμενων αιτιών, τα οποία τείνουν να διαιωνίζονται δημιουργώντας έναν φαύλο κύκλο.

2.1.2 Ηφαίστεια

Φύση και Γεωγραφικός Εντοπισμός

Η ενδογενής δραστηριότητα του μανδύα της Γης βρίσκει εξωτερίκευση μέσω των εκρήξεων των ηφαιστείων. Αυτά, σύμφωνα με τους Davis and Gupta (1991) και Winchester (2003), είναι οπές στον στερεό φλοιό της Γης, διαμέσου των οποίων

τετηγμένα πετρώματα (διάπυρο ρευστό υλικό ενδογήινης προέλευσης) εξέρχονται με τη μορφή *λάβας*, μαζί με στερεά και αέρια αναβλήματα υψηλών θερμοκρασιών και δη τέφρα και πιο αδρομερή τεμάχη, συνοδευόμενα ενίοτε από ατμό και θερμά αέρια (συνήθως τοξικά). Όλα τα ηφαίστεια λοιπόν σχηματίζονται από την επενέργεια του τετηγμένου υλικού εντός του γήινου φλοιού, το οποίο ονομάζεται *μάγμα*. Μάγμα και λάβα όμως δεν είναι έννοιες ταυτόσημες, καθώς η δεύτερη αποτελεί ένα ποσοστό του αρχικού μάγματος που έφτασε μέχρι την επιφάνεια της γης ρευστοποιημένη, διαφεύγοντας την διαδικασία της ενδογήινης κρυστάλλωσης-λιθοποίησης (Παπανικολάου και Σιδέρης, 2007).

Ως μορφές του γήινου αναγλύφου, τα ηφαίστεια αποτελούν την ορατή έκφανση ενός πολύπλοκου συστήματος, διαμέσου του οποίου επιτελείται η ανοδική κίνηση του μάγματος προς την επιφάνεια. Πρωταρχικό χαρακτηριστικό συνιστά ένας κατακόρυφος αγωγός, ο *κεντρικός (ηφαιστειακός) αγωγός*, από όπου διέρχεται η λάβα προτού εκχυθεί στον περιβάλλοντα χώρο, ενώ από τα αλλεπάλληλα στρώματα λάβας και τέφρας τα οποία διοχετεύονται κατά τις διαδοχικές εκρηκτικές φάσεις, σχηματίζεται, περιφερειακά, το (κωνικό) «οικοδόμημα» της ηφαιστειακής γεωμορφής. Η δε χοανοειδής απόληξη του κεντρικού αγωγού στο ανώτατο άκρο αγωγού και οικοδομήματος, καλείται *κρατήρας*. Στο κατώτατο άκρο του αγωγού εντοπίζεται μια δεξαμενή μάγματος (επί του ανώτερου φλοιού) που τροφοδοτεί το ηφαίστειο, εν είδει δευτερογενούς εστίας, καθ' ότι η πρωτογενής κείται πολύ βαθύτερα. Τέλος, «εκφυλισμένες» μορφές ηφαιστειακών σχηματισμών αποτελούν οι *καλδέρες* και οι *ηφαιστειακοί λαιμοί*. Οι πρώτες επέρχονται ως το αποτέλεσμα της απώλειας στήριξης της στέγης (δηλ. ο κρατήρας και τμήμα του κεντρικού αγωγού) του ηφαιστείου και της κατάρρευσής της, ύστερα από την προσωρινή αναστολή της μαγματικής τροφοδότησης, με απότοκο τον σχηματισμό μια λεβητοειδούς εγκατακρημνισιγενούς μορφής, πολύ ευρύτερης του κρατήρα. Από την άλλη, η διάβρωση των μαλακών στρώσεων ηφαιστειακών πετρωμάτων του κωνικού σχηματισμού, επιφέρει την απογύμνωση του ηφαιστειακού αγωγού από αυτές, προκαλώντας την ανάδυση μιας υπολειμματικής μορφής, του ηφαιστειακού λαιμού .

Η κατανομή των ηφαιστειακών εμφανίσεων, όπως και στην περίπτωση των σεισμών, εξαρτάται από την γεωμετρία των λιθοσφαιρικών πλακών στο «πρόσωπο» της Γης. Γενικά, ηφαίστεια απαντώνται σε όλες τις ηπειρωτικές μάζες, εκτός της Αυστραλίας, και κατά βάση στα όρια (κατά μήκος της ζεύξεως) των τεκτονικών/

λιθοσφαιρικών πλακών. Έτσι, η συντριπτική πλειοψηφία τους (80%) εντοπίζεται στις ζώνες σύγκλισης των πλακών, εκεί όπου η μία υποβυθίζεται της άλλης, ενώ πάνω από τα μισά στον Πύρινο Δακτύλιο. Επίσης, ηφαίστεια ανακύπτουν στις ζώνες απόκλισης, ενώ μπορούν να ευρεθούν και σε κεντρικές περιοχές των λιθοσφαιρικών πλακών, εκεί που ο φλοιός παρουσιάζει ασυνέχειες (βλ. Παράρτημα Ι).

Ηφαιστειακοί Τύποι και Κλίμακες Μετρήσεων

Τα ηφαίστεια που σχηματίζονται στις ζώνες σύγκλισης ονομάζονται *στρωματο-ηφαίστεια ή σύνθετοι κώνοι (subduction volcanoes)* και αποτελούν τον πλέον εκρηκτικό τύπο ηφαιστείων – με κυρίαρχη μορφή αυτή των *stratovolcanoes*. Τα ηφαίστεια που εντοπίζονται σε περιοχές όπου οι τεκτονικές πλάκες αποκλίνουν, χαρακτηρίζονται ως *ρήξι-ηφαίστεια (rift volcanoes)*, ενώ εκείνα που «εξέρχονται» από τα «ασθενή σημεία» του φλοιού ως *ηφαίστεια θερμών κηλίδων (hot-spot volcanoes).*

Ο τύπος του ηφαιστείου, εν γένει συνδέεται με τη βιαιότητα και την εκρηξιμότητα/ εκρηκτικότητα του. Αντίθετα όμως με τους σεισμούς, για τους οποίους έχουν αναβρεθεί απόλυτες κλίμακες μέτρησης του μεγέθους, δεν υπάρχει μια παγκοσμίως ενιαία κλίμακα μέτρησης του μεγέθους μιας ηφαιστειακής έκρηξης. Εντούτοις, οι Newhall and Self (1982) προέβηκαν στην κατάρτιση/ σύνταξη ενός ημι-ποσοτικοποιημένου δείκτη ηφαιστειακής εκρηκτικότητας (volcanic eruptivity index) που συνυπολογίζει διάφορες παραμέτρους όπως ο όγκος των εκτοξευόμενων υλικών, το ύψος της εκρηκτικής στήλης, η θερμική ενέργεια, η διάρκεια της κύριας φάσης της έκρηξης κ.α. (βλ. Παράρτημα Ι).

Και ενώ αιτία δημιουργίας ηφαιστείων συνιστά η ανοδική κίνηση του μάγματος, η σφοδρότητα μιας έκρηξης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του τετηγμένου υλικού. Καθ' ότι το μάγμα αποτελεί ένα πολύπλοκο μείγμα πυριτικών αλάτων/ υλικών εμπεριέχοντας αέρια εν διαλύσει και κρυσταλλικά ορυκτά, ο τρόπος που θα «βρει» διέλευση από μια ηφαιστειακή διέξοδο καθώς ανέρχεται, εξαρτάται από τον σχηματισμό φυσαλίδων λόγω της θερμοκρασίας των αερίων και την κατάσταση των μάγματος – ήτοι το ιξώδες του (Λέκκας, 2000). Μεγάλη δημιουργία φυσαλίδων λόγω υψηλής θερμοκρασίας των αερίων και χαμηλό ιξώδες συνεπάγονται τον πιο εκρηκτικό συνδυασμό. Όμως, οι ιδιαίτερες συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας

και χαμηλού ιξώδους, παρουσιάζονται πρωτίστως στα στρωματοηφαίστεια τα οποία «αντλούν» μάγμα που είναι ένα μίγμα υλικών του ανώτερου μανδύα και τηγμένων ηπειρωτικών πετρωμάτων, πλούσιων σε άστριο και πυρίτιο. Τέτοιου είδους μάγματα χαρακτηρίζονται ως *όξινα (acid/ felsic)*, παράγοντας παχύρρευστη, χαμηλού ιξώδους λάβα. Αντίθετα, τα ρήξι-ηφαίστεια και ηφαίστεια θερμών κηλίδων δημιουργούνται από την ανάδυση μάγματος υψηλής περιεκτικότητας σε μαγνήσιο και σίδηρο και χαμηλής (<50%) σε πυριτικά συστατικά (SiO_2). Αυτά καλούνται *βασικά* (*basic/ mafic*), ενώ η λάβα που εκχύνουν είναι πιο λεπτόρρευστη και κινητική, συγκρατώντας λίγα αέρια εν διαλύσει, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα οι εκρήξεις τέτοιων τύπων ηφαιστείων να καθίστανται λιγότερο βίαιες απ' ότι εκείνες των στρωματοηφαιστείων. Οι τρεις αυτές γενικές κατηγορίες, εμπερικλείουν στους κόλπους τους, τύπους ηφαιστείων μιας διαφορετικής και πιο διευρυμένης κατηγοριοποίησής τους. Σε αυτήν την ταξινόμηση, τα ηφαίστεια κατατάσσονται σε οχτώ κατηγορίες-τύπους: Ισλανδικού Τύπου (Islandic Type), Τύπου Χαβάης (Hawaiian Type), Τύπου Στρόμπολι (Strombolian Type), Τύπου Vulcanian (Vulcanian Type), Τύπου Βεζούβιου (Vesuvian Type), Τύπου Πλίνιου (Plinian Type), Τύπου Πελέ (Pelean Type), ανάλογα με την εκρηκτικότητα τους (βλ. Παράρτημα Ι).

Μια άλλη διάκριση που γίνεται, ταξινομεί τα ηφαίστεια σε *ενεργά, κοιμώμενα και σβησμένα* (*active, dormant, extinct*). Η πρώτη κατηγορία συμπεριλαμβάνει εκείνα τα ηφαίστεια των οποίων η δραστηριότητα ανάγεται σε ιστορικούς χρόνους και είναι δυνατό να επανενεργοποιηθούν στο άμεσο μέλλον, η δεύτερη εκείνα των οποίων η δραστηριότητα δεν είναι ιστορικά καταγεγραμμένη, μη όμως μπορώντας να αποκλειστεί η ενεργοποίησή τους, ενώ στην τρίτη κατατάσσονται όλα εκείνα που έχουν ολοκληρώσει τον χρόνο ζωής τους και δεν αναμένεται να ενεργοποιηθούν ξανά.

Παρ' όλα αυτά, οι σχετικά μακρές περίοδοι κατά τις οποίες τα ηφαίστεια βρίσκονται σε ανενεργή φάση, καθώς και η σποραδικότητα των συμβάντων στην μικρή κλίμακα της ανθρώπινης ιστορίας καθιστά αυτή την ταξινόμηση ασαφή άλλα και παραπλανητική. Η περίπτωση της έκρηξης του, κατά τα άλλα θεωρούμενου ως σβησμένου, ηφαιστείου Mount Lamington, το 1951 στην Παπούα - νέα Γουινέα, εξαλείφοντας την ζωή 5.000 ανθρώπων (Chester, 1993), επιβάλλει μια πιο συνετή κατηγοριοποίηση και διάκριση, αντιμετωπίζοντας όλα τα ηφαίστεια που έδρασαν τα τελευταία 25.000 χρόνια ως δυνητικά ενεργά.

Τύποι Κινδύνων

Όπως και στην περίπτωση των σεισμών, οι κίνδυνοι που ενυπάρχουν σε επεισόδια ηφαιστειακών εκρήξεων, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες φαινομένων:

- Πρωτογενή φαινόμενα: Πυροκλαστική δραστηριότητα/ πτώσεις τέφρας/ ροές λάβας/ δηλητηριώδη-τοξικά αέρια
- Δευτερογενή φαινόμενα: Εδαφική παραμόρφωση/ ροές ιλυώδους ηφαιστειακής τέφρας (lahars)/ κατολισθήσεις κορημάτων/ σεισμοί και εδαφικές μετακινήσεις/ tsunamis

Ο κύριος κίνδυνος που κοστίζει τη ζωή των ανθρώπων που εκτίθενται σε ηφαιστειακές εκρήξεις, συνδέεται με τα φαινόμενα των *πυροκλαστικών*[16] *ροών* και των *ροών λάβας*. Στην πρώτη περίπτωση, καθώς οι φυσαλίδες αερίων που ενυπάρχουν στο μάγμα επεκτείνονται, τείνουν να «κομματιάζουν» τη λάβα, έως ότου τελικά προκύψει ένα πυκνό νέφος σε εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία (1000°C) – αποκαλούμενο ως «διάπυρο νέφος» (“glowing cloud”) – που απαρτίζεται από θραύσματα λάβας και πυροκλαστικών υλικών, το οποίο και κατέρχεται ρέοντας από τα πρανή του ηφαιστειακού κώνου. Στο διάβα ενός πυροκλαστικού «κύματος», σχεδόν τίποτε δεν επιβιώνει, καθώς οι ζώντες οργανισμοί που εκτίθενται σε αυτό πεθαίνουν άμεσα από ένα συνδυασμό σφοδρών εξωτερικών και εσωτερικών εγκαυμάτων και ασφυξίας εξ’ αιτίας της εισπνοής των εξαιρετικά θερμών αερίων των νεφών. Στην δεύτερη περίπτωση, οι ροές λάβας θέτουν τη μεγαλύτερη απειλή όταν αναδύονται βίαια από σχισμές-ρωγμές-διακλάσεις του εδάφους, αντί για την κεντρική ηφαιστειακή οπή. Η κινητικότητά τους εξαρτάται από τη ποσοστιαία περιεκτικότητά τους σε διοξείδιο του πυριτίου, με τις όξινες, μεγάλου ιξώδους λάβες (<50%) να είναι λιγότερο κινητικές, ενώ οι βασικές (<50%) να είναι πιο κινητικές και να διαχέουν περισσότερο τα αέρια τους.

Από την άλλη, οι επιπτώσεις της *πτώσης της τέφρας* ποικίλλουν. Αν και γενικά αυτός ο κίνδυνος ευθύνεται για ένα πολύ μικρό ποσοστό (άμεσων) θανάτων, δημιουργεί σοβαρά προβλήματα στην ορατότητα και στις τηλεπικοινωνίες, προκαλεί πυρκαγιές, έχει αρνητικές επιπτώσεις στην γεωργία και την κτηνοτροφία, και

[16] Ο όρος *πυροκλαστικός* σημαίνει «σπασμένος δια πυρός» (fire-broken)

δυνητικά διαταράσσει τις μελλοντικές προοπτικές των αγροτικών πληθυσμών που ασχολούνται με τις παραπάνω δραστηριότητες για βιοπορισμό. Τέλος, τα *ηφαιστειακά αέρια* που απελευθερώνονται από τις εκρήξεις και τις ροές λάβας συνιστούν κίνδυνο σε περίπτωση εισπνοής τους. Η σύστασή τους ποικίλλει, όμως συνήθως εμπεριέχουν υδρατμούς, υδρογόνο, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο και τριοξείδιο του θείου, σουλφίδια του υδρογόνου, χλωρίδια του υδρογόνου και του χλωρίου σε διάφορες αναλογίες. Γενικά πάντως, παρά την τοξική φύση πολλών συστατικών τους και της δυσοσμίας τους, σπάνια αποτελούν την άμεση αιτία μειζόνων καταστροφών. Από τα παραπάνω αέρια, το μονοξείδιο του άνθρακα ευθύνεται για θανάτους λόγω της τοξικότητας του, αλλά κυρίως το διοξείδιο – σε περιπτώσεις που εγκλωβίζεται σε τοπικά βυθίσματα (τοπογραφικές υφέσεις ή υπόγεια κτιρίων) σε ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις της τάξης του 10% – μπορεί να προκαλέσει το θάνατο (από ασφυξία) μέσα σε μερικά λεπτά, καθώς είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο.

Από τους δευτερογενείς κινδύνους, οι ηφαιστειακές ιλυώδεις ροές στοιχίζουν τη ζωή των περισσότερων ανθρώπων, ενώ οι λοιποί, αν και επέρχονται ως αποτέλεσμα της ηφαιστειότητας, είτε δεν εκλαμβάνονται ως άμεσοι κίνδυνοι (εδαφική παραμόρφωση[17]) καθώς προάγουν διαδικασίες και φαινόμενα που καθιστούν τα πρανή των ηφαιστείων πιο επιρρεπή στο έναυσμα για άλλους κινδύνους, είτε λογίζονται ως διακριτά ακραία φυσικά γεγονότα αυτά καθ' αυτά, συνιστώντας διαφορετικούς κίνδυνους (κατολισθήσεις και tsunamis), οπότε εξετάζονται σε ξεχωριστές ενότητες.

Παράγοντες Τρωτότητας

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις, περισσότερο από κάθε άλλον φυσικό ή περιβαλλοντικό κίνδυνο, συνιστούν επεισόδια που κατατάσσονται στο πέρας του φυσικού τμήματος του φάσματος της αιτιότητας· αυτό πρακτικά σημαίνει πως δυνητικά μαστίζουν κάθε άτομο που διαβιεί εντός της (εκάστοτε) υψηλής ζώνης διακινδύνευσης, ανεξάρτητα από την εθνικότητα, το φύλο, την ηλικία, την κοινωνική τάξη ή το εισόδημα. Όπως άλλωστε έχει ρητά σημειώσει και ο Tombin (1987: 17):

[17] Η εδαφική παραμόρφωση (ground deformation) προκύπτει από την εξέλιξη της ανάπτυξης ενός ηφαιστειακού σχηματισμού, τόσο από τις ενδογενείς διεργασίες του μάγματος, όσο και από την (εξωγενή) επισυσσώρευση και απόθεση στρωμάτων λάβας και πυροκλαστικών υλικών επί των περιβαλλόντων πρανών.

> Τα (ηφαιστειακά) ξεσπάσματα διαφέρουν από τις περισσότερες των λοιπών μειζόνων αιτιών καταστροφών όπως οι σεισμοί, οι τυφώνες ή οι πλημμύρες, καθ' ότι επιφέρουν κατ' ουσίαν ολοκληρωτικό «αφανισμό» ζωής και ιδιοκτησίας εντός σχετικά μικρών περιοχών οι οποίες μπορούν εύκολα να οριοθετηθούν.

Οι κίνδυνοι που ενυπάρχουν σε επεισόδια ηφαιστειακών εκρήξεων και κυρίως εκείνοι που υπάγονται σε πρωτογενή φαινόμενα, φαίνεται να μην επενεργούν κατά διαφορετικό τρόπο ανάμεσα στις διάφορες κοινωνικές ομάδες. Η ανθεκτικότητα των ανθρώπων ελάχιστα δύναται να διαφοροποιηθεί από το εισόδημα, την επαγγελματική ενασχόληση, όπως και από την ποιότητα και την αντοχή των οικοδομών μπροστά στα εκρηκτικά πυροκλαστικά κύματα, στις σφοδρές ροές λάβας, τις εκπομπές δηλητηριωδών αερίων και στις αποθέσεις της τέφρας (Wisner *et al.*, 2004). Το μόνο που ίσως θα μπορούσε κανείς να υπαινιχθεί ότι τείνει να τροποποιεί τις επιπτώσεις του κινδύνου προς όφελος των «ανώτερων» κοινωνικών τάξεων έγκειται στην καλύτερη ενημέρωση και δυνατότητα έγκαιρης και ταχείας μετακίνησης που παρέχεται στα πιο εύπορα στρώματα. Και πάλι όμως, διαπιστώνεται πως η επίγνωση του κινδύνου είναι υπαρκτή και στους πλέον φτωχούς ανθρώπους και, καθώς αναφέρουν και οι Kuester and Forsyth (1985), Tayag (n.d.) και Zarco (1985), από τη στιγμή που παρατηρούν σημάδια ηφαιστειακής δραστηριότητας, είναι το ίδιο πιθανό οι τελευταίοι να ακολουθήσουν τις οδηγίες εκκένωσης της περιοχής, όσο και οι πλούσιοι γείτονές τους.

Ο παράγοντας χρόνος, τόσο σημαντικός κατά την εκδήλωση λοιπών καταστροφών δείχνει να είναι ήσσονος σημασίας για τις ηφαιστειακές εκρήξεις. Όπως έχει διατυπωθεί και στα προηγούμενα, η καταστροφή είναι τόσο ολοσχερής ώστε όποια ώρα της ημέρας και να εκραγεί ένα ηφαίστειο δεν αναμένεται να παρουσιαστούν ουσιαστικές διαφοροποιήσεις στις συνέπειες στην ανθρώπινη ζωή. Βέβαια, η εποχή μπορεί να μεταβάλλει το μέγεθος της καταστροφής σε περιπτώσεις κατά τις οποίες μαζικές αφίξεις επιτελούνται σε επιρρεπείς περιοχές. Το ίδιο ισχύει και για τις κατασκευές, τις υποδομές και τις περιουσίες, οι οποίες με το πέρασμα του χρόνου ενδεχομένως τείνουν να πληθύνονται λόγω της διόγκωσης των δραστηριοτήτων εντός μιας ζώνης υπό διακινδύνευση που κατά τα άλλα

συγκεντρώνει ορισμένα τοπικά πλεονεκτήματα. Και σε αυτήν την περίπτωση, όσο αυξάνουν τα σχετικά μεγέθη τόσο περισσότερες και μεγαλύτερες θα είναι οι υλικές ζημιές, σε περίπτωση που αναδυθεί ένα δυνητικά καταστροφικό επεισόδιο.

Σε κάθε περίπτωση, το συμπέρασμα που εξάγεται έγκειται στο γεγονός πως η παράμετρος του χωρικού εντοπισμού κατέχει την πρωτοκαθεδρία για τον καθορισμό της συνολικής διακινδύνευσης, η οποία ελάχιστα επηρεάζεται από την (ανθρώπινη) τρωτότητα, καθώς το εύρος της τελευταίας ελάχιστα δύναται να κυμανθεί, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα. Το μέγεθος της καταστροφής εξαρτάται σε υπέρτατο βαθμό από τον τόπο εγκατάστασης, πέρα από την ένταση του φαινομένου[18]. Μια τέτοια διατύπωση όμως θα μπορούσε να εκληφθεί ως απλοϊκή, καθώς στη βάση της επίγνωσης αυτής της αιτίας, εύκολα θα μπορούσε να διευθετηθεί το πρόβλημα, δεδομένου ότι η ζώνες επιρροής της επικινδυνότητας των ηφαιστειακών ξεσπασμάτων συνήθως δεν είναι πολύ εκτεταμένες, ενώ η οριοθέτησή τους ευχερής. Επομένως, ενδεχόμενος αποκλεισμός της ανθρωπογενούς παρουσίας σε ορισμένες εκτάσεις, θα συνεπαγόταν και ελαχιστοποίησης της διακινδύνευσης. Εντούτοις, πρακτικά αυτό δεν συμβαίνει πολλές φορές.

Οι ηφαιστειακοί κίνδυνοι, ίσως περισσότερο από όλους τους υπόλοιπούς κινδύνους (μαζί με τις πλημμύρες) συνδέονται με μια σειρά αδιαμφισβήτητων οικονομικών ωφελειών που προκύπτουν από την διαδικασία της μακροπρόθεσμης αποσάθρωσης των πυροκλαστικών πετρωμάτων, η οποία έχει ως αποτέλεσμα εξαιρετικά γόνιμα εδάφη. Ως εκ τούτου, κατά τις διατυπώσεις και των Wisner *et al.* (2004), οι κατά τα άλλα ευάλωτες ζώνες που εγκυμονούν σοβαρές απειλές για την ζωή και την περιουσία, αποτελούν ταυτόχρονα και ένα σοβαρό θέλγητρο, παρακινώντας ή/ και εξωθώντας ανθρώπους, «τζογαδόρους» από τη φύση τους, να αποφασίζουν να ζήσουν με τις οικογένειές τους στις πλαγιές ενός ηφαιστειακού σχηματισμού, προτιμώντας να ρισκάρουν για έναν κίνδυνο με μια σχετικά μακρά περίοδο επαναφοράς[19], υπό την προϋπόθεση των οικονομικών ευκαιριών που τους παρέχονται και της εν γένει ανταπόδοσης που καθίστανται απτές καθημερινά.

Επεισόδια

[18] Σχετίζεται άμεσα με αυτό που αργότερα θα «αναγορευθεί» ως *φυσική τρωτότητα*.
[19] για τα δεδομένα της διάρκειας της ανθρώπινης ζωής

Παρά το αδιαμφισβήτητο γεγονός του παντελούς ολέθρου που επιφέρει ένα ηφαιστειακό ξέσπασμα, η εξέταση ορισμένων καταστροφικών επεισοδίων αποκαλύπτει παράγοντες αποφασιστικής σημασίας, πέραν της σφοδρότητας μιας έκρηξης. Παρακάτω περιγράφεται δύο τέτοια:

Το επεισόδιο της έκρηξης του Mount Pelée, στο νησί της Καραϊβικής Martinique (8 Μαίου 1902), συνιστά το πλέον καταστροφικό επεισόδιο, καθώς από ένα σύνολο 98.000 ανθρώπων που έχουν χάσει τη ζωή τους από βίαια ηφαιστειακά ξεσπάσματα τον προηγούμενο αιώνα (CRED, 2002), αυτό από μόνο του έχει προκαλέσει το θάνατο στο 1/3 αυτού του συνόλου (29.000). Η έκρηξη λοιπόν του ηφαιστείου Mount Pelée αφάνισε ολόκληρο τον πληθυσμό της πόλης του Saint Pierre σε λιγότερο από δύο λεπτά (Scarth, 1997). Και παρ' όλο που αυτή η μαζική τραγωδία τείνει να αποδίδεται αποκλειστικά στην σφοδρότητα του φαινομένου, στην πραγματικότητα υπεισέρχεται σε πολύ μεγάλο βαθμό η παράμετρος της τρωτότητας, καθώς τα πρώτα σημάδια είχαν κάνει την εμφάνισή τους ήδη δύο εβδομάδες πριν, όταν διάφορα ζώα στις πλαγιές του όρους άρχισαν να πεθαίνουν, αλλά και τρεις μέρες πριν, όταν πυροκλαστικές ροές και πτώσεις τέφρας άρχισαν να παρουσιάζονται.

Και είναι η – πολιτικά επιφερόμενη – τρωτότητα που αποτέλεσε τελικά την ειδοποιό αιτία για αυτή την κολοσσιαία απώλεια ανθρωπίνων ζωών. Και αυτό επειδή, υπό την προσμονή των προγραμματισμένων εκλογών για την 9η Μαΐου, ο Κυβερνήτης του νησιού ήταν πεπεισμένος πως οι τελευταίες δεν θα έπρεπε επ' ουδενί να παρακωλυθούν, καθ' ότι μια μαζική εκκένωση θα προκαλούσε τεράστια διοικητικά προβλήματα στην διαχείριση του εκλογικού σώματος των ψηφοφόρων, ενώ η φυγή τους – έστω και προσωρινή – ήταν κάτι που τα κυρίαρχα κόμματα απεύχονταν (Frampton, 1998). Έτσι, παρά τις αυξανόμενες ενδείξεις για μια επικείμενη έκρηξη, οι εισηγήσεις για εκκένωση απορρίφθηκαν από τον Κυβερνήτη, ο οποίος και εξέδωσε/ ανακοίνωσε καθησυχαστικά μηνύματα (Ferguson, 2002). Τελικά, μια τέτοια πολιτική απόφαση προδιέγραψε τη θανατική του καταδίκη, συμπαρασύροντας στον όλεθρο και τον αφανισμό τον υπόλοιπο πληθυσμό της πόλης (Bishop,1998: Zebroski, 2002).

Μια σειρά συνεχών ηφαιστειακών εκρήξεων σε ένα άλλο νησί της Καραϊβικής, το Montserrat, από το 1995 έως το 1998, συνιστούν το δεύτερο αντικείμενο διερεύνησης. Το Montserrat, ένα μικρό νησί έκτασης περίπου 100 km^2, αν και γεωγραφικά υπάγεται στις Μικρές Αντίλλες (όπως και η νήσος Martinique), αποτελεί Βρετανική Υπερπόντια Κτήση. Έως το 1995, η παρουσία του ηφαιστειακού σχηματισμού των λόφων Soufriere δεν εκλαμβανόταν ως απειλή Τελικά, ακόμη και με την λήξη των εκρήξεων το 1998, η επιστροφή σε συνθήκες «κανονικότητας» δεν επιτεύχθηκε, για πολλούς, ακόμη και με το πέρασμα αρκετών χρόνων αργότερα.

Αν και ο απολογισμός των άμεσων θανάτων κατά την περίοδο των εκρήξεων ήταν πολύ μικρός, πολύπλοκοι παράγοντες όπως οι ιδιαίτερες συνθήκες κοινωνικής και οικονομικής τρωτότητας και της μετακίνησης των πληθυσμών, η γεωγραφία του νησιού, καθώς και ο δυναμικός χαρακτήρας της σειράς των συμβάντων λειτούργησαν καταλυτικά, παρά το γεγονός ότι οι συμφορές που συνεπάγονται οι ηφαιστειακές εκρήξεις εν γένει δρουν «καθολικά ισοπεδωτικά». Επεξηγηματικά, η έλλειψη πρόσβασης σε πόρους εξώθησε πολλούς ανθρώπους να επιστρέψουν στην επίσημη ζώνη κινδύνου, ενώ το χαμηλό εισόδημα, η έλλειψη διασυνδέσεων και η ηλικία αποτέλεσαν παράγοντες απουσίας εναλλακτικών τύπων διαβίωσης και βιοπορισμού, μέσω της μετακίνησης προς άλλα νησιά της Καραϊβικής, η προς το Ηνωμένο Βασίλειο. Από την άλλη, το μέγεθος του νησιού έθετε ορισμένες αντικειμενικές δυσκολίες στην ελαχιστοποίηση της διακινδύνευσης, λόγω των συνυφαινόμενων αντι-οικονομιών κλίμακας (diseconomies of scale) (Clay *et al*., 1999), καθώς στα μικρά νησιωτικά κράτη, οι συνέπειες από την εκδήλωση ενός φυσικού κινδύνου, πολλές φορές έχουν απήχηση σε ένα μεγάλο τμήμα του πληθυσμού (του νησιού), ενώ τα φυσικά και ανθρώπινα διαθέσιμα, οι υποδομές και οι υπηρεσίες κρίνονται ανεπαρκείς (π.χ. ένα μόλις αεροδρόμιο) σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης. Ειδικότερα δε για το Montserrat, οι Wadge *et al*. (1998) δηλώνουν ότι η μετακίνηση των πληθυσμών σε ασφαλείς ζώνες του νησιού θα ήταν δυνατή σε πιο ευμέγεθες νησί, η δε συνολική εκκένωση της νήσου θα ήταν επιβεβλημένη σε μικρότερο. Άλλοι παράγοντες, αναφέρονται στην γενικότερη αποτυχία των αξόνων προστασίας. Τέτοιοι είναι: η άγνοια των αξιωματούχων περί της ύπαρξης προγενέστερης έκθεσης, σχετικά με την αποτίμηση της διακινδύνευσης από ηφαιστειακό κίνδυνο (PCDPPP)[20], η οποία

[20] Το Pan Caribbean Disaster Preparedness and Prevention Project, είχε συνταχθεί από το 1987 (Wadge and Isaacs, 1987).

και καθιστούσε υπό σοβαρή διακινδύνευση το νησί, συμπεριλαμβανομένης και της πρωτεύουσας, Plymouth· η απουσία σχεδιασμού και προώθησης προγραμματισμένων δράσεων μετριασμού κατά αυτήν την περίοδο· η αστοχία των επιλογών όσον αφορά στην ανακαίνιση του υφιστάμενου νοσοκομείου, αντί για την μετεγκατάστασή του σε πιο ασφαλή ζώνη-περιοχή του νησιού.

Στο σύνολό τους, η διερεύνηση των παραπάνω παραμέτρων, αποδεικνύει κοινωνική, οικονομική και πολιτική αιτιότητα. Και, παρ' όλο που δεν ήταν η ύπαρξη αυτών των διαστάσεων της τρωτότητας που προκάλεσαν την καταστροφή του κτιριακού αποθέματος της πρωτεύουσας από την πτώση τέφρας, αναμφισβήτητα επέφεραν επιπρόσθετες δυσκολίες στην έγκαιρη και αποτελεσματική διευθέτηση αυτής της σειράς των επεισοδίων, προκαλώντας επαυξημένη κοινωνική και οικονομική διαταραχή, καθώς και ανθρώπινες απώλειες.

Απολογισμός

Από τα παραπάνω πρέπει να γίνει αντιληπτό το γεγονός ότι το καταστροφικό δυναμικό των ηφαιστειακών εκρήξεων επενεργεί με καταλυτικό, σχεδόν ισοπεδωτικό τρόπο για κάθε κοινωνική ομάδα εντός της ζώνης επιρροής των πρωτογενών κυρίως κινδύνων. Φυσικά όμως, και πάλι, οι επιλογές και οι εναλλακτικές των διαφόρων ατόμων και ομάδων ατόμων ανάγονται στο «πρίσμα» της κοινωνικής αιτιότητας. Έτσι λοιπόν, η εξαιρετικά ζωτικής σημασίας παράμετρος της οριοθέτησης των ζωνών κινδύνου/ επικινδυνότητας, που θα πρέπει να βρει εφαρμογή σε επιρρεπείς εκτάσεις πλησίον τόσο ενεργών, όσο και σε σβησμένων ηφαιστείων, μέσω της συνεχούς παρακολούθησής τους δεν είναι αρκετή, καθώς, δυστυχώς, η επίγνωση του κινδύνου – και της χωρικής διασποράς/ κατανομής του – από μόνη της δεν είναι ικανή να αποτρέψει την ανθρωπογενή εγκατάσταση και την εξάσκηση συναφών δραστηριοτήτων σε τέτοιες περιοχές. Άλλωστε, σε περιπτώσεις κατά τις οποίες το ηφαιστειακό ξέσπασμα λαμβάνει χώρα σε μικρά νησιά ή *μικρά νησιωτικά (αναπτυσσόμενα) κράτη* (*Small Island (Developing) States – SIDS*), η έκταση του καταστροφικού αντίκτυπου ενδέχεται να εξαπλώνεται σε όλη την επικράτεια του νησιού.

Επομένως, καθοριστικής σημασίας μέτρο κρίνεται η κατάρτιση σχεδίων προγραμματισμένων ενεργειών ακόμη και άμεσης εκκένωσης όταν οι ενδείξεις είναι

«απειλητικές». Όπως άλλωστε έχει φανεί και στα παραπάνω, η συχνότητα έκρηξης του ίδιου ηφαιστείου είναι πολύ μικρή σε σχέση με την κλίμακα διάρκειας της ανθρώπινης ζωής, με αποτέλεσμα, ως επί το πλείστο, η «περίοδος επαναφοράς» τους να τείνει να υπερβαίνει τέτοια χρονικά διαστήματα. Αυτή όμως η ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου φυσικού κινδύνου δεν θα πρέπει να συνηγορεί στην «απαξίωση» της δυνητικής επικινδυνότητάς του· αντίθετα, φρόνιμη κρίνεται η σχολαστική παρατήρηση και διαχρονική παρακολούθηση ηφαιστείων που έχουν εκραγεί σε παλαιότερους ιστορικούς χρόνους (αλλά και εκείνων των οποίων η ενεργοποίηση δεν μπορεί να αποκλειστεί), καθώς αρκεί ένα ηφαιστειακό ξέσπασμα μια για να επέλθει παντελής όλεθρος.

2.2 Ατμοσφαιρικοί Κίνδυνοι – Παράκτιες Καταιγίδες

Σε αντίθεση με τους κινδύνους που πηγάζουν από την ενδογενή δραστηριότητα της Γης, οι οποίοι είναι χωρικά συγκεντρωμένοι εν γένει στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών και επηρεάζουν περιορισμένους πληθυσμούς, τα ακραία καιρικά και κλιματικά φαινόμενα που εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα είναι απολύτως διασκορπισμένα, μαστίζοντας το σύνολο των ανθρώπων του πλανήτη. Ο πιο εμφανής τρόπος εκδήλωσης αυτών των ακραίων φαινομένων στην ατμόσφαιρα, ανακύπτει με τη μορφή *σφοδρών καταιγίδων (severe storms)*.

Αυτές οι καταιγίδες λοιπόν διακρίνονται σε δύο γενικές κατηγορίες: στις τροπικές, και σε εκείνες μεγαλύτερων γεωγραφικών πλατών (Πιν. 2), με την εποχή του έτους που αυτές εκδηλώνονται, να επέχει κάποια σημασία. Παρ' όλο λοιπόν που στους κινδύνους ατμοσφαιρικής φύσεως εντάσσονται καταιγίδες που επισυμβαίνουν και σε άλλες περιοχές της γης πέραν των τροπικών, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στις τροπικές καταιγίδες, και κυρίως στους τροπικούς κυκλώνες.

Πίνακας 2: Σφοδρές Καταιγίδες – χαρακτηριστικά/ αντίκτυποί τους – ταξινομημένες ως προς το γεωγραφικό πλάτος εμφάνισης τους

Τροπικές καταιγίδες	**Καταιγίδες Μεγαλύτερων Γεωγραφικών Πλατών**			
Τροπικοί Κυκλώνες	***Ανεμοστρόβιλοι***	***Καταιγίδες με Χαλάζι***	***Χειμερινοί Κυκλώνες***	***Καταιγίδες με Χιόνι***
Άνεμοι	Άνεμοι	Χαλάζι	Άνεμοι	Χιόνι
Βροχοπτώσεις	Πτώση Πίεσης	Άνεμοι	Βροχοπτώσεις	Πάγος
Κύματα Καταιγίδας	Ανελκυσμοί/ Ανελκύσεις	Αστραπές/ Κεραυνοί	Παράκτια Διάβρωση	Παγετός
Παράκτια Διάβρωση	Κτιριακές Καταστροφές	Κτιριακές Καταστροφές	Πλημμύρες	Άνεμοι
Πλημμύρες	Ζημιές σε Αγροτικές Εκτάσεις	Ζημιές σε Αγροτικές Εκτάσεις	Κατολισθήσεις	Χιονοθύελλες
Κατολισθήσεις			Κτιριακές Καταστροφές	Διατάραξη Μεταφορών
Παρείσφρηση (Θαλασσινού) Αλμυρού Νερού			Ζημιές σε Αγροτικές Εκτάσεις	Κτιριακές Καταστροφές
Κτιριακές Καταστροφές				Ζημιές σε Αγροτικές Εκτάσεις
Ζημιές σε Αγροτικές Εκτάσεις				
Διατάραξη Μεταφορών				

Πηγή: Smith, 2004 (Τροποποίηση)

2.2.1 Τροπικοί Κυκλώνες

Φύση και Γεωγραφικός Εντοπισμός

Οι τροπικοί κυκλώνες συνιστούν σφοδρές καταιγίδες θαλάσσιας προέλευσης, που εγείρονται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες εντός μιας ζώνης εκατέρωθεν του Ισημερινού, επιφέροντας καταστροφικές συνέπειες σε παράκτιες περιοχές, καθ' ότι συνήθως εξασθενούν βαθμιαία ύστερα από την προσέγγιση της ξηράς (landfall) – πάνω από χερσαίες περιοχές[21]. Ο όρος «τροπικός κυκλώνας» ("tropical cyclone") εκτός από την γενική χρήση του, χρησιμοποιείται για να περιγράψει καταιγίδες που σημειώνονται στον Ινδικό ωκεανό, στον κόλπο της Βεγγάλης και στις θάλασσες της Αυστραλίας, ενώ οι αντίστοιχες καταιγίδες που απαντώνται στην ευρύτερη γεωγραφική περιοχή του Ατλαντικού ωκεανού, του κόλπου του Μεξικό και της Καραϊβικής θάλασσας καλούνται «τυφώνες» ("hurricanes"). Τέλος, οι καταιγίδες του βορειοδυτικού Ειρηνικού ωκεανού, των Φιλιππίνων και της Ιαπωνίας ονομάζονται «τυφώνες» ("typhoons") (βλ. Παράρτημα Ι).

Γενικά, ένας τροπικός κυκλώνας ορίζεται ως μια κυκλωνικά περιστρεφόμενη ατμοσφαιρική δίνη, η οποία διακρίνεται από μια χαρακτηριστική κεντρική περιοχή χαμηλών πιέσεων (μάτι), περιστοιχισμένη από θερμαγωγά σύννεφα, διατεταγμένα σε σπειροειδείς ζώνες. Το συνολικό εύρος τους κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα έως δύο χιλιάδες, ενώ το αντίστοιχο εύρος της διαμέτρου του ματιού τους φθάνει τα 50 χιλιόμετρα. Εντός του ματιού του κυκλώνα, επικρατούν συνθήκες ηρεμίας και γαλήνης, αλλά ακριβώς έξω από αυτό, στο τείχος του ματιού (eye wall), η ένταση του ανέμου και της βροχόπτωσης μεγιστοποιείται. Τέλος, εξ' αιτίας του γεγονότος ότι οι κυκλώνες δεν χαρακτηρίζονται από συμμετρία, ενώ ταυτόχρονα κινούνται, οι άνεμοι δεν κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλες τις πλευρές του ματιού, με τους ανέμους που προκαλούνται στην δεξιά πλευρά της κίνησης να τείνουν να είναι ισχυρότεροι (Conway and the Maryland Space Grand Consortium, 1997).

Προκειμένου να δημιουργηθούν συνθήκες για την ανάπτυξη και εξέλιξη ενός κυκλώνα, απαιτούνται κέντρα πολύ χαμηλών πιέσεων. Το κατώφλι των τιμών ταχύτητας των ανέμων προκειμένου να εκδηλωθεί τροπικός κυκλώνας είναι τα 33 m/s, ενώ χαμηλότερες τιμές (17 – 32 m/s) συνιστούν τροπικές καταιγίδες (tropical storms) και ακόμη χαμηλότερες (<17 m/s) τροπικές υφέσεις ή «βαθιά βαρομετρικά» (tropical depressions). Εφόσον ξεπεραστεί το κατώφλι των 33 m/s, οι κυκλώνες κατατάσσονται όσον αφορά στην σφοδρότητά τους ανάλογα, τόσο με την ταχύτητα,

[21] αν και ορισμένες φορές συνεχίζουν να αποτελούν κίνδυνο για πολλά χιλιόμετρα μακριά από τις ακτές, προς την ενδοχώρα

όσο και με την ατμοσφαιρική πίεση, καθώς και τα ύψη των κυμάτων που προξενούνται, σύμφωνα με τη κλίμακα μέτρησης Saffir-Simpson (Πίνακας 2), σε 5 κατηγορίες. Η 1^{η} αντιστοιχεί σε σχετικά χαμηλές τιμές ταχύτητας ανέμων και ύψους κυμάτων και σχετικά υψηλές τιμές πίεσης, ενώ όσο μεγαλώνει η τάξη μεγέθους οι σχετικές τιμές αυξάνουν, εκτός από εκείνη της ατμοσφαιρικής πίεσης – η οποία φθίνει. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι ένας πλήρως εξελιγμένος κυκλώνας-τυφώνας απελευθερώνει ενέργεια ισοδύναμη με πολλές ατομικές βόμβες «μεγέθους Hiroshima» (Cuny, 1983; Milne, 1986; Alvarez, 1999; Gray, 2000).

Πίνακας 3: Κλίμακα Μέτρησης (Κυκλώνων) Saffir-Simpson

Κλίμακα Μεγέθους	Κεντρική Πίεση (mb)	Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Ύψος Κύματος (m)	Ζημιά
1	> 980	33 – 42	1,2 – 1,6	Ελάχιστη
2	965 – 979	43 – 49	1,7 – 2,5	Μεσαία
3	945 – 964	50 – 58	2,6 – 3,8	Εκτεταμένη
4	920 – 944	59 – 69	3,9 – 5,5	Ακραία
5	< 920	> 69	> 5,5	Καταστροφική

Πάντως, η αιτία δημιουργίας τροπικών κυκλώνων έγκειται πρωταρχικά στην ύπαρξη θερμότητας και υγρασίας, οπότε αυτοί «γεννώνται» σε θερμά ωκεάνια ύδατα των οποίων η επιφανειακή θερμοκρασία υπερβαίνει τους 26° C. Επιπλέον, εξαιτίας του παγκόσμιου συστήματος ανέμων και ωκεάνιων ρευμάτων που επικρατεί, οι κυκλώνες εκπορεύονται από τις δυτικές παρυφές των κυρίων ωκεάνιων λεκανών, όπου δεν παρουσιάζονται ψυχρά ωκεάνια ρεύματα. Αποκλείεται δε η εμφάνισή τους στον νότιο Ατλαντικό Ωκεανό (π.χ. ακτές Βραζιλίας) λόγω χαμηλών θερμοκρασιών και δυσμενών ανέμων. Τυπικά, η μετεωρολογική ανάπτυξη ενός κυκλώνα άρχεται από μια τοπική διαταραχή (disturbance) χαμηλής πίεσης, όπως η δημιουργία μιας δίνης πλησίον της Δια-Τροπικής Ζώνης Σύγκλισης (Inter-Tropical Convergence Zone), με την επιφανειακή πίεση να εξακολουθεί να φθίνει (κατά 25-30 mb), δημιουργώντας μια κυκλική περιοχή κάποιων χιλιομέτρων που συνοδεύεται από ισχυρούς – πνέοντες εντός αυτής (inblowing) – ανέμους. Αυτή η διαταραχή μπορεί να

μετεξελιχθεί σε έναν αυτό-διατηρούμενο κυκλώνα, αν πληρούνται ορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες:

- Ο ανερχόμενος αέρας θα πρέπει να είναι θερμότερος των περιβαλλουσών αερίων μαζών μιας «ζώνης» 10-12 km πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ παράλληλα, η υγρασία εντός μιας «ζώνης» 6 km θα πρέπει να είναι υψηλή. Πρακτικά λοιπόν, απαιτείται επιφανειακή ωκεάνια θερμοκρασία άνω των 26° C.
- Προκειμένου να αναπτυχθεί δυνατότητα περιδίνησης χρειάζεται η επενέργεια των *δυνάμεων Coriolis*. Ως εκ τούτου, τα ιδανικά γεωγραφικά πλάτη που μπορούν να υποστηρίξουν μια επιθυμητή σπειροειδή δομή εντοπίζονται μεταξύ 5 και 12° εκατέρωθεν του Ισημερινού.
- Το ρεύμα αέρος εντός του οποίου ο κυκλώνας σχηματίζεται, θα πρέπει να διέπεται από μια ασθενούς έντασης κατακόρυφη διάτμηση ανέμου (wind shear), καθώς η έντονη παρουσία της τελευταίας παρακωλύει την δημιουργία δίνης.
- Θα πρέπει να υφίσταται ένας συνδυασμός χαμηλής ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια δημιουργίας από τη μία, και υψηλών πιέσεων πάνω από την δημιουργούμενη καταιγίδα από την άλλη, για την μετεξέλιξη μιας τοπικής διαταραχής σε έναν κυκλώνα.

Από δε τη στιγμή που σχηματιστεί τελικά ένας κυκλώνας, διαθέτει επαρκείς θερμοδυναμικούς μηχανισμούς ώστε να αυτοσυντηρείται. (Smith, 2004).

Τύποι Κινδύνων και Καταστροφικοί Αντίκτυποι

Οι τροπικοί κυκλώνες, όπου εμφανίζονται, σχετίζονται με μια σειρά κινδύνων που χρήζουν διευθέτησης. Τέτοιοι είναι οι εξής:

- *Ισχυροί άνεμοι* που ευθύνονται για τις περισσότερες κτιριακές και δομικές ζημιές/ φθορές
- *Σφοδρές βροχοπτώσεις* που προκαλούν πλημμύρες (γλυκού νερού), κατά το πέρασμα ενός τροπικού κυκλώνα
- *Κύματα καταιγίδας* που προξενούν τους περισσότερους θανάτους (από πνιγμό) και την υποβάθμιση των καλλιεργήσιμων εδαφών (λόγω της εισόδου θαλασσινού νερού) και οφείλονται στα ανεμογενή κύματα

«φουσκοθαλασσιάς» (wind-driven swell waves), των οποίων τα ύψη αυξάνουν επιπροσθέτως λόγω της τοπικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας εξ' αιτίας της χαμηλής ατμοσφαιρικής πίεσης[22]

Σύμφωνα με τον Southern (1980), ο φόρος αίματος που από τέτοιου είδους καταστροφές υπερβαίνει τον αντίστοιχο κάθε άλλου φυσικού κινδύνου. Επιπλέον, αυτές οι απώλειες ζωής ανέρχονται σε 15.000 νεκρούς ετησίως[23], κυρίως αποδιδόμενες σε πνιγμούς κατά την ορμητική κατάκλυση από κύματα καταιγίδας (Smith, 1989).

Και ενώ ο άνεμος και τα κύματα καταιγίδας προκαλούν άμεσες επιπτώσεις, η διάβρωση και η «εισβολή» των αλμυρών υδάτων μπορούν συνεχίζουν να υφέρπουν για χρόνια, υπονομεύοντας την οικονομία ενός τόπου μακροπρόθεσμα (Campbell, 1984). Οι φθορές και οι βλάβες σε υποδομές μεταφορών και τηλεπικοινωνίας δυσχεραίνουν έτι περισσότερο την κατάσταση – βραχυχρόνια ή μακροχρόνια – παρακωλύοντας τις όποιες ενέργειες περίθαλψης, ανακούφισης και οικονομικής αποκατάστασης (Wisner *et al.*, 2004). Επιπροσθέτως, οι επιπτώσεις «μεταφέρονται» και σε απόμακρες περιοχές της ενδοχώρας, εκεί όπου φαινομενικά δεν θα υφίστατο καταστροφικός αντίκτυπος: η συνεπαγόμενη έντονη βροχόπτωση δυνητικά προκαλεί κατολισθήσεις και λασποροές (λ.χ. ο τυφώνας Mitch στη Νικαράγουα το 1998, συνοδεύτηκε από σφοδρότατες βροχοπτώσεις, πυροδοτώντας την μερική κατάρρευση του κρατήρα του ηφαιστείου Las Casitas, που κατέληξε σε κατολίσθηση που στοίχισε τη ζωή 2000 ανθρώπων).

Περιοχές Αυξημένης Επικινδυνότητας και Παράγοντες Τρωτότητας

Η εμφάνιση των κυκλώνων, όπως προαναφέρθηκε, λαμβάνει χώρα στις παράκτιες ζώνες, μερικές μοίρες βόρεια και νότια του Ισημερινού, και κυρίως στα δυτικά τμήματα των ωκεάνιων λεκανών. Η εποίκηση αυτών των ζωνών-περιοχών αποτελεί φαινόμενο που έχει τις καταβολές του στην αρχαιότητα. Πολύ αργότερα, κατά την περίοδο της αποικιοκρατίας (αρχές 16^{ου} – μέσα 19^{ου} αιώνα), το φαινόμενο επιτείνεται, ενώ κατά την ύστερη περίοδο, η επικράτηση της παγκοσμιοποιημένης

[22] Για κάθε 30 mb πτώσης της ατμοσφαιρικής πίεσης, συνεπάγεται 260 mm άνοδος της στάθμης της θάλασσας.
[23] κατά μέσον όρο την περίοδο της παρελθούσας τριακονταετίας (έτος αναφοράς 1989)

οικονομίας σε συνδυασμό με την έξαρση των τουριστικών δραστηριοτήτων στις επάκτιες ζώνες, έχει προσελκύσει άνω του μισού πληθυσμού της γης στις σχετικές περιοχές, επιφέροντας την ανάπτυξη παράκτιων πόλων (coastal cities) και μεγαλουπόλεων (coastal mega-cities)[24]. Επιπλέον, τόσο οι παράκτιες μεγαλουπόλεις, όσο και οι μικρότερες τέτοιες πόλεις έχουν μεγεθυνθεί ούτως ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις μιας παγκόσμιας αγοράς (εμπόριο, τουρισμός κ.α.) μια κατάσταση η οποία στο σύνολό της, υπό την επενέργεια των διαφόρων διαδικασιών «ανάπτυξης», επισύρει μια – ενίοτε – κολοσσιαίου μεγέθους παρέμβαση στις φυσικές ισορροπίες. Παράλληλα όμως με αυτές τις πιέσεις που ασκούνται στο φυσικό περιβάλλον, αντίστροφα, οι δυνάμεις του τελευταίου επί του ανθρώπου, έχουν ως συνέπεια την έγερση της διακινδύνευσης του, υπό την δεδομένη επαύξηση της φυσικής έκθεσής του (μεγάλοι πληθυσμοί υψηλών πυκνοτήτων συσσωρευμένοι σε επιρρεπείς ζώνες κινδύνου) αλλά και της τρωτότητάς του (κοινωνικοοικονομικές συνθήκες εξωθούν σε ολοένα πιο επισφαλείς συνθήκες διαβίωσης, πρακτικές κ.α.). Και, παρά την διασπορά της επικινδυνότητας σε όλες αυτές τις περιοχές, η τελευταία παρουσιάζεται ιδιαιτέρως επαυξημένη σε συγκεκριμένα «τοπία» εντός αυτού του ευρύτερου γεωγραφικού πλαισίου.

Οι πυκνοκατοικημένες (παράκτιες εκτάσεις) ποτάμιων εκβολών συνιστούν ένα τέτοιο τοπίο. Το δέλτα που σχηματίζεται στο Μπαγκλαντές από τη συμβολή δύο μεγάλων ποταμών (Γάγγη (Ganges) και Βραχμαπούτρα (Brahmaputra)), αλλά και μικρότερων (λ.χ. Μέγκνα (Meghna)) αποτελεί τον κύριο αντιπρόσωπο, συνιστώντας περιοχή υπέρτατης επικινδυνότητας, τρωτότητας και διακινδύνευσης, καθ' ότι αφ' ενός ένα μεγάλο ποσοστό των τροπικών κυκλώνων σχηματίζεται στον κόλπο της Βεγγάλης, αφ' ετέρου δε το ήπιο τοπογραφικό ανάγλυφο και ο μεγάλος αριθμός εκτιθέμενων ανθρώπων (20 εκ περίπου) εκτινάσσουν την τρωτότητα και, επομένως, σε συνδυασμό με την σφοδρότητα των φυσικών φαινομένων, την διακινδύνευση.

Επίσης, οι πολυπληθείς παράκτιες ζώνες των MDCs, όπως αυτές της ανατολικής ακτής των Η.Π.Α. και της Αυστραλίας πλήττονται σφοδρά από τους τροπικούς κυκλώνες (hurricanes). Συγκεκριμένα, κυρίως στην πολιτεία της Florida ενυπάρχει η υψηλότερη διακινδύνευση, καθώς πέρα από την μεγάλη συχνότητα των χτυπημάτων, η ταχύρυθμη αύξηση του πληθυσμού των κατοίκων των ακτών, οι οποίοι καταφθάνουν αποζητώντας μια θέα στη θάλασσα στις «περιοχές της ζώνης του

[24] πόλεις με πληθυσμό άνω των 8 εκ. κατοίκων

ήλιου», έχει επαυξήσει την τρωτότητά τους. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και στη παράκτια ζώνη, την ονομαζόμενη Χρυσή Ακτής (Gold Coast), του Queensland της Αυστραλίας. (Όμως, ακόμη και σε λιγότερο πυκνοκατοικημένες ακτές των LDCs, όπως αυτές του κόλπου του Μεξικό, ή της Μοζαμβίκης, οι κάτοικοι δεινοπαθούν). Σε κάθε περίπτωση πάντως, από την πλέον αυξημένη τρωτότητα, διέπονται τα λιγότερο εύπορα στρώματα και οι αυτόχθονες πληθυσμοί, που τείνουν να περιθωριοποιούνται, εξωθούμενοι να κατοικούν στις πλέον επιρρεπείς περιοχές και υπό τις πιο αντίξοες συνθήκες (π.χ. επισφαλείς κατασκευές).

Τα νησιωτικά κράτη και συμπλέγματα που εντοπίζονται σε αυτήν την ζώνη κινδύνου, καθίστανται ιδιαίτερα ευάλωτα από πλήγματα κυκλώνων. Η περίπτωση των νησιών της Καραϊβικής, του νότιου Ειρηνικού, των Φιλιππίνων και της Ιαπωνίας εμπίπτουν σε αυτό το φάσμα. Εξ' αυτών, ιδιαίτερα οι πληθυσμοί που βιοπορίζονται στα μικρά (αναπτυσσόμενα) νησιωτικά κράτη είναι ιδιαιτέρως ευάλωτοι στους τροπικούς κυκλώνες και γενικότερα σε κλιματικές μεταβολές (Pelling and Uitto, 2002), καθ' ότι οι ολέθριες επιπτώσεις ενός τροπικού κυκλώνα ενδεχομένως «εμπερικλείουν» εξ' ολοκλήρου ένα νησί και τον πληθυσμό του (Lewis, 1981, 1984a, 1984b, 1999), ενώ η υπερθέρμανση του πλανήτη επαυξάνει τη διακινδύνευση με τις επιπτώσεις στη συχνότητα και την ένταση των καταιγίδων, καθώς και στην ανύψωση της στάθμης των ωκεανών (Lewis, 1989, 1990).

Η ανθρώπινη τρωτότητα σε σφοδρές καταιγίδες σημειώνει άνοδο τα τελευταία χρόνια, όπως εδώ και αρκετές δεκαετίες διαπίστωσαν οι Burton and Kates (1964b) σχετικά με την «εισβολή» επί της επάκτιας ζώνης των Η.Π.Α. Από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα ο αρχικός πληθυσμός της πολιτείας της Florida που ανερχόταν σε 500.000, έχει σχεδόν εικοσαπλασιαστεί, καθώς οι ακτές της συνδυάζουν ήλιο και θάλασσα, προσελκύοντας τόσο ηλικιωμένους, όσο και εργατικές τάξεις που, επιθυμώντας να αποσυρθούν από την ενεργό δράση και να βιώσουν το «αμερικάνικο όνειρο», αγοράζουν ευτελούς αξίας κατοικίες σε τοποθεσίες υψηλής επικινδυνότητας/ διακινδύνευσης. Ως εκ τούτου, ένα σημαντικό ποσοστό των νεοεισελθόντων στην περιοχή απαρτίζεται από ηλικιωμένους συνταξιούχους (Graff and Wiseman, 1978), καθιστώντας τους μια ομάδα υψηλής τρωτότητας, λόγω των ειδικών αναγκών τους κατά τις εκκενώσεις. Πέραν αυτών, οι χαμηλότερες εισοδηματικές τάξεις, ο γυναικείος πληθυσμός και οι Αφρο-Αμερικάνοι,

οι Αϊτινοί και οι Ισπανόφωνοι παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη δυσχέρεια στην (κατοπινή) αποκατάσταση (Peacock *et al.*, 1997).

Εκτός από τα παραδείγματα των MDCs, στις LDCs, επί των οποίων οι αγροτικοί πληθυσμοί είναι αυτοί που αριθμητικά υπερτερούν, το πρόβλημα των εδαφικών διενέξεων με τις συνυφασμένες ανισότητες διανομής πόρων και πρόσβασης σε γαίες, εξωθεί τους λιγότερο ευνοημένους – που αποτελούν και την πλειονότητα – ολοένα και σε πιο επιρρεπείς ζώνες. Τελικά, οι δυνάμεις που εκτινάσσουν την τρωτότητα οφείλουν την ύπαρξή τους στην λαχτάρα για απόκτηση γης, καθώς και στην επιθυμία των φτωχών καλλιεργητών και αλιέων να κατοικήσουν πλησίον του τόπου απασχόλησής τους, αφού τα οδικά δίκτυα και οι εν γένει μεταφορικές υποδομές σε πολλές των περιπτώσεων είναι πενιχρές, καθιστώντας εξαιρετικά δυσχερή την διαρκή προσπέλαση των φτωχών εργαζόμενων από τις (σχετικά ασφαλείς) περιοχές κατοικίας προς τις (πιο επιρρεπείς) περιοχές εργασίας και το αντίστροφο. Οι δε βασικές αιτίες για μια τέτοια πραγματικότητα εστιάζονται στο ταξικό σύστημα (σύστημα καστών), στην πολιτική γης και στη φύση και τον χαρακτήρα της κυβέρνησης (Wisner *et al.*, 2004).

Άλλες, επίσης πολύ βαθιές αιτίες που επικαθορίζουν τα πρότυπα (patterns) τρωτότητας, αναφέρονται στα σύνδρομα της αποικιοκρατίας, συμπεριλαμβανομένων των σχέσεων εξάρτησης (ή/ και υποτέλειας) και της ύπαρξης του «χρέους», οι οποίες, σε «σύμπτωση» με τα καπιταλιστικά και νεοφιλελεύθερα πρότυπα της ελεύθερης αγοράς συνιστούν εκρηκτικό συνδυασμό. Έτσι, αρχικά οι παραθαλάσσιες τοποθεσίες αποτέλεσαν διαχρονικά τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα στους αυτόχθονες πληθυσμούς και τις αποικιακές δυνάμεις. Αργότερα ο βιοπορισμός των πρώτων συνυφάνθηκε και εξαρτήθηκε άμεσα από τις ανάγκες των δευτέρων (Franke and Chasin, 1980), ενώ η αστική ανάπτυξη υπέκυψε στις επιταγές μιας άτακτης αστικοποίησης (Hardoy and Sattertwaite, 1989). Αυτή η γενικότερη διαδικασία αστικής επέκτασης, ιδιαιτέρως στις τροπικές και υποτροπικές παράκτιες περιοχές συνιστούν το κοινό υπόβαθρο για την εκτόξευση της τρωτότητας σε υψηλά επίπεδα σε περιπτώσεις που λαμβάνουν χώρα ισχυρές τροπικές καταιγίδες (κυκλώνες) (International Centre, 1989). Η σημερινή λοιπόν πραγματικότητα, στην οποία πολλές παράκτιες πόλεις κείνται σε επιρρεπείς στην διάβρωση και πλημμύρα τοποθεσίες, με τους αστικούς (και άλλους πληθυσμούς) να διαβιούν σε κακοφτιαγμένα σπίτια, χωρίς τις στοιχειώδεις,

προκειμένου να εκπληρώσουν τις αξιώσεις των εξαγωγικών οικονομικών δραστηριοτήτων, έχει τις ρίζες της στην αποικιοκρατική περίοδο.

Πέραν όλων των παραπάνω παραγόντων που είτε δελεάζουν, είτε εξωθούν ανθρώπους, ή ομάδες ανθρώπων να κατοικούν ή/ και να βιοπορίζονται σε τόσο ευάλωτες ζώνες, οι οποίες και πλήττονται σφοδρά εβρισκόμενες στο διάβα τροπικών κυκλώνων, είτε σε χαμηλού υψομέτρου παράκτιες περιοχές – παράγοντας εν τέλει τρωτούς «βιοπορισμούς» – τα ίδια τα εγγενή χαρακτηριστικά των τροπικών κυκλώνων θέτουν «ανυπέρβλητα», ως ένα βαθμό, εμπόδια στην επιτυχή διαχείριση και αντιμετώπισή τους.

Επεξηγηματικά, αν και οι τροπικές καταιγίδες διέπονται από μια «εποχικότητα», η πρόβλεψη και πρόγνωσή τους παραμένει ένα στοιχείο αρκετά επισφαλές, ενώ η σφοδρότητα και η συχνότητά τους πιθανότατα σχετίζεται με φαινόμενα παγκόσμιας ατμοσφαιρικής εμβέλειας, όπως οι ωκεάνιες θερμοκρασίες και οι μεταβολές των ρευμάτων, συμπεριλαμβανομένων και των κύκλων El Nino La Nina (McGuire *et al.*, 2002). Επιπλέον, η γενικότερη αλλαγή στο κλίμα σε πλανητικό επίπεδο, διακρίνεται από μια αυξητική μεταβλητότητα, σύμφωνα με τον Adger (1999), κάτι που ενδεχομένως θα επενεργήσει στην σφοδρότητα των κυκλώνων. Τελικά, συνεκτιμώντας μια σειρά σχετικών ασαφών συλλογισμών, οι McGuire *et al.* (2002) οδηγούνται να καταλήγουν στο μάλλον συγκεκριμένο συμπέρασμα ότι: «φαίνεται πιθανό πως ένας πιο θερμός κόσμος θα «βιώσει» κυκλώνες *κατά τι* μεγαλύτερης μέσης έντασης», κάτι που άλλωστε πορίζεται από τις δουλειές άλλων επιστημόνων (Easterling *et al.*, 2000, cf: Wilson and Rachman, 1989).

Όσο όμως η επαύξηση της έντασής τους διαφαίνεται σχεδόν βέβαια, άλλο τόσο επικρατεί απροσδιοριστία σχετικά με τα χαρακτηριστικά (π.χ. διεύθυνση, ταχύτητα) και την (δυναμική) εξέλιξη τέτοιων καταιγίδων. Η έγκαιρη και επαρκής γνώση των παραπάνω λογίζεται τόσο ως κρίσιμη παράμετρος, όσο και ως νευραλγικό σημείο. Πιο συγκεκριμένα, τα στοιχεία που τελικά συνιστούν την πεμπτουσία για έγκαιρη προειδοποίηση (και επομένως για την τροποποίηση της ανθρώπινης τρωτότητας) κατά τον Elsberry, (2002), είναι οι έγκαιρες και επακριβείς πληροφορίες για την (ακολουθούμενη) πορεία του κυκλώνα, καθώς και το επακριβές σημείο της προσέγγισης της ξηράς (landfall). Η πρόοδος όμως που έχει επιτευχθεί στην μετεωρολογία μέσω δορυφορικών κυρίως εφαρμογών, εν γένει έχει συμβάλλει ουσιαστικά, αν και όχι απόλυτα. Η ύπαρξη ορισμένων περιπτώσεων κατά τις οποίες

κάποιες λανθασμένες προβλέψεις έχουν οδηγήσει σε αχρείαστες εκκενώσεις, που με τη σειρά τους δυσχεραίνουν το κοινό να πειστεί για την αναγκαιότητα μιας εκκένωσης σε μεταγενέστερες περιπτώσεις φανερώνουν κάποιες εγγενείς αδυναμίες. Από την άλλη, η ανταπόκριση των ανθρώπων σε προειδοποιητικά μηνύματα που είχαν «κυκλοφορήσει» από τις αρμόδιους πολιτικής προστασίας, απέφερε σωτήρια αποτελέσματα σε πολλές άλλες περιπτώσεις, όπως σε κυκλωνικές καταιγίδες που «προσέβαλλαν» τον Μαυρίκιο, την Κούβα κ.α.

Παραδείγματα

Σε αυτό το σημείο, σκόπιμη θεωρείται η παράθεση δύο επεισοδίων σφοδρών χτυπημάτων από τροπικούς κυκλώνες σε δύο διαφορετικές γεωγραφικές ενότητες:

Andhra Pradesh, Ινδία, 1977

Ο κυκλώνας που έπληξε την Ινδική επάκτια επαρχία Andhra Pradesh επέσυρε ολέθριες συνέπειες σε ανθρώπινες ζωές και περιουσίες. Κύρια αιτία θανάτου ήταν τα κύματα (storm surges) που ανύψωσαν τις υδάτινες μάζες έως και 6 m, με αποτέλεσμα τον πνιγμό 8 έως 12 χιλιάδων ανθρώπων (Cohen and Raghavulu, 1979). Παράλληλα, οι υλικές ζημιές ήταν τεράστιες. Επεξηγηματικά, τα ποσοστά ανθρώπινων απωλειών ήταν πολύ υψηλότερα – περίπου 25% – για τους μικροκαλλιεργητές και του αλιείς σε σχέση με τα αντίστοιχα των ιδιοκτητών-καλλιεργητών μεγάλων εκτάσεων και των αξιωματούχων. Αυτό φαίνεται να οφείλεται στις περισσότερο ευνοημένες από την τοπογραφία περιοχές κατοικίας των δεύτερων και στην δομική ανθεκτικότητα των κατοικιών τους, καθώς και στην αυξημένη δυνατότητα των πιο εύπορων στρωμάτων να μετακινούνται προς πιο ασφαλείς περιοχές μέσω του οδικού δικτύου. Όσον αφορά στις φθορές και ζημιές στις περιουσίες, οι εύποροι ιδιοκτήτες μεγάλων εκτάσεων έχασαν εν γένει μεγαλύτερα τμήματα γης σε απόλυτα μεγέθη, αλλά μικρότερα ποσοστά της συνολικής τους περιουσίας. Επιπλέον, αυτή η διαφορική τρωτότητα αναδεικνύεται μέσα από την διαφορετική δυνατότητα ανάκαμψης των διαφόρων ομάδων. Έτσι, σύμφωνα με την σχετική έρευνα του Winchester (1986), τέσσερα χρόνια ύστερα από το χτύπημα (1981), οι ιδιοκτήτες πολλών κτημάτων που είχαν χάσει τα περισσότερα, κατάφεραν να ανακάμψουν αρκετά σύντομα και να περιέλθουν τελικά σε πιο ευνοϊκή κατάσταση (από την πρότερη), οι δε αξιωματούχοι

κατέληξαν σαφώς πιο εύποροι. Από την άλλη, οι καλλιεργητές μικρών εκτάσεων ανέκαμψαν, αλλά πολύ πιο αργά, ενώ οι αλιείς και οι ακτήμονες εργάτες μόλις μετά βίας ξανάγγιξαν τα προ-καταστροφικά χαμηλά επίπεδα ευημερίας.

Κούβα, 2001 (Hurricane Michelle).

Η Κούβα αποτελεί ένα νησί του συγκροτήματος των Μεγάλων Αντίλλων, εντοπιζόμενο σε μια ευρύτερη περιοχή (κόλπος Μεξικό, Καραϊβική θάλασσα) που πλήττεται συχνά από τυφώνες (hurricanes). Το 2001, ο τυφώνας Michelle, μια τρίτου μεγέθους (στην κλίμακα Saffir-Simpson) τροπική καταιγίδα προσέγγισε την ξηρά στο νότιο τμήμα του νησιού (Bay of Pigs), και με ταχύτητες άνω των 200 km/hr, κινήθηκε βόρεια, επιφέροντας πολλές ζημιές και καταστροφές σε κτίσματα και κατοικίες, σε αγροτικές εκτάσεις και σε υποδομές μιας σημαντικής έκτασης του δυτικού τμήματος του νησιού, προσβάλλοντας και την πρωτεύουσα, Αβάνα. Παρά την σφοδρότητα του πλήγματος (ο χειρότερος από το 1944), και το μέγεθος των υλικών φθορών και καταστροφών, μόλις 10 άνθρωποι σκοτώθηκαν και 26 καταχωρήθηκαν ως αγνοούμενοι (Cawthorne, 2001). Αυτός ο εξαιρετικά χαμηλός φόρος αίματος (για ένα τόσο ισχυρής έντασης συμβάν), αποδίδεται πρωτίστως στην έγκαιρη εκκένωση, και την μετεγκατάσταση σε ασφαλέστερες περιοχές σχεδόν 700.000 ανθρώπων, παρά τις αντιξοότητες που συνδέονται με τον ρημαγμένο στόλο οχημάτων, την έλλειψη καυσίμων και το κακής ποιότητας οδικό δίκτυο. Ένα άλλο μέτρο που στάθηκε καθοριστικής σημασίας ήταν η διακοπή της τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος και πόσιμου νερού στην πρωτεύουσα προς αποφυγή επεισοδίων ηλεκτροπληξίας και μολύνσεων (νερού) αντίστοιχα. Αυτά τα μέτρα πλαισιώθηκαν από την έγκαιρη ενημέρωση του πληθυσμού ώστε να αποθηκεύσουν νερό και τροφή σε επάρκεια εντός των κατοικιών τους, σε συνδυασμό με την προβολή τηλεοπτικών πομπών που έκαναν μνεία σε προγενέστερους τυφώνες, όπως ο τυφώνα του 1932, που είχε στοιχίσει πολλές ζωές. Στο σύνολό τους, οι εν λόγω επιλογές της πολιτικής προστασίας της Κούβας υλοποιήθηκαν με επιτυχία χάριν των προετοιμασιών μέσω της εκπαίδευσης και της ετοιμότητας του πληθυσμού, καθώς και διαμέσου της στελέχωσης ειδικών κλιμακίων ντόπιου προσωπικού (cadre of local personnel), σε συνεργασία με τις αποστολές του Ερυθρού Σταυρού της Κούβας. Επίσης, το σύστημα επικοινωνίας και ενημέρωσης απέδωσε δεόντως, ανασύροντας δυσάρεστες αναμνήσεις από παρελθούσες καταστάσεις. Τέλος, όλα τα παραπάνω καρποφόρησαν

στη βάση της δημιουργία ενός κλίματος εμπιστοσύνης του πληθυσμού (συνολικά) προς τις αρχές πολιτικής προστασίας που τελικά εκφράστηκε μεσώ της διάθεσής του να «συμμορφωθεί» (Wisner *et al*., 2004).

Σύνοψη

Συνοπτικά, αυτό που θα πρέπει να επισημανθεί αφορά στο ότι οι τροπικοί κυκλώνες συνιστούν φαινόμενα που διέπονται από το στοιχείο του κινδύνου, η εξέλιξή των οποίων όμως είναι κατά τι πιο αργόσυρτη από ότι η εκδήλωση σεισμικών δονήσεων ή ηφαιστειακών εκρήξεων. Αυτό, σε συνδυασμό με την δυνατότητα παρακολούθησης της πορείας τους από μετεωρολογικούς δορυφόρους, παρέχει ως ένα βαθμό την δυνατότητα για έγκαιρη πρόγνωση και προειδοποίηση. Επιπλέον, ο αντίκτυπος της συνεπαγόμενης καταστροφής ποικίλλει και δεν είναι πάντοτε ολοσχερής, όπως στις περιπτώσεις των ηφαιστειακών εκρήξεων, εκτός από την εκδήλωση του πλέον ολέθριου αντίκτυπου από τέτοιους κινδύνους ατμοσφαιρικής φύσεως που συνδέεται με την πρόκληση κυμάτων καταιγίδας. Βέβαια, η συχνότητα εμφάνισής τους στις πλέον ευπαθείς περιοχές του κόσμου είναι αρκετά μεγάλη. Από τα παραπάνω μπορεί να συνάγει κανείς πως πολλά μπορούν να γίνουν για την καταπράυνση των συνεπειών τόσο πριν όσο και κατά την εξέλιξη του φαινομένου, η δε υψηλή συχνότητα επανεμφάνισης μπορεί από την μια συνιστά ένα πρόβλημα σε μόνιμη βάση που θα διαταράσσει τις κοινωνικές και οικονομικές δομές, από την άλλη όμως παρέχει την προοπτική βαθμιαίας λήψης κατάλληλων μέτρων και ανάκυψης ολοκληρωμένων προγραμμάτων προσαρμογής στον κίνδυνο, λόγω της επισωρευμένης εμπειρίας, που δυνητικά μπορεί να ενισχύσει την προσαρμοστικότητα κοινωνιών που κατατρύχονται από τέτοιους κινδύνους, και να τις καταστήσει, μέσα από κατάλληλες διαδικασίες, σχεδόν «άνοσες» σε τέτοιου είδους καταστροφικά περιστατικά.

2.3 Υδρολογικοί Κίνδυνοι

Στα παρακάτω πρόκειται να περιγραφούν οι κίνδυνοι από ακραία υδρολογικά φαινόμενα και κυρίως εκείνοι που σχετίζονται με την υπέρμετρη παρουσία του υδάτινου στοιχείου στα ποτάμια ρεύματα που δυνητικά οδηγεί σε (υδρολογικές)

πλημμύρες. Η αντιθέτως ακραία έκφανση, δηλαδή η αξιοσημείωτη μείωση των υδάτινων αποθεμάτων στα ποτάμια συστήματα (καθώς και στους υπόγειους υδροφορείς και στις λίμνες ή άλλους ταμιευτήρες) φέρνει στο προσκήνιο τον κίνδυνο της ξηρασίας[25]. Εντούτοις, επειδή το ερευνητικό ενδιαφέρον αυτής της εργασίας επικεντρώνεται σε καταστροφικά επεισόδια φυσικής προέλευσης αλλά και ραγδαίας εκδήλωσης, οι κίνδυνοι των ξηρασιών, απλώς αναφέρονται σε επόμενη ενότητα για λόγους πληρότητας, καθώς το ιδιάζον χαρακτηριστικό γνώρισμά τους είναι η παρατεταμένης διάρκειας εκδήλωσή τους, καθιστώντας τους ως «υφέρποντες» και «ύπουλους» κινδύνους (creeping hazards). Παρ' όλα αυτά, κάθε άλλο παρά υποτιμάται η επικινδυνότητά τους, αφού, όπως έχει φανεί και σε προηγούμενα, οι συνέπειές τους είναι μακράν οι πλέον ολέθριες για τις μαστιζόμενες περιοχές, ιδιαιτέρως όταν επενεργούν στις LDCs.

2.3.1 Πλημμύρες

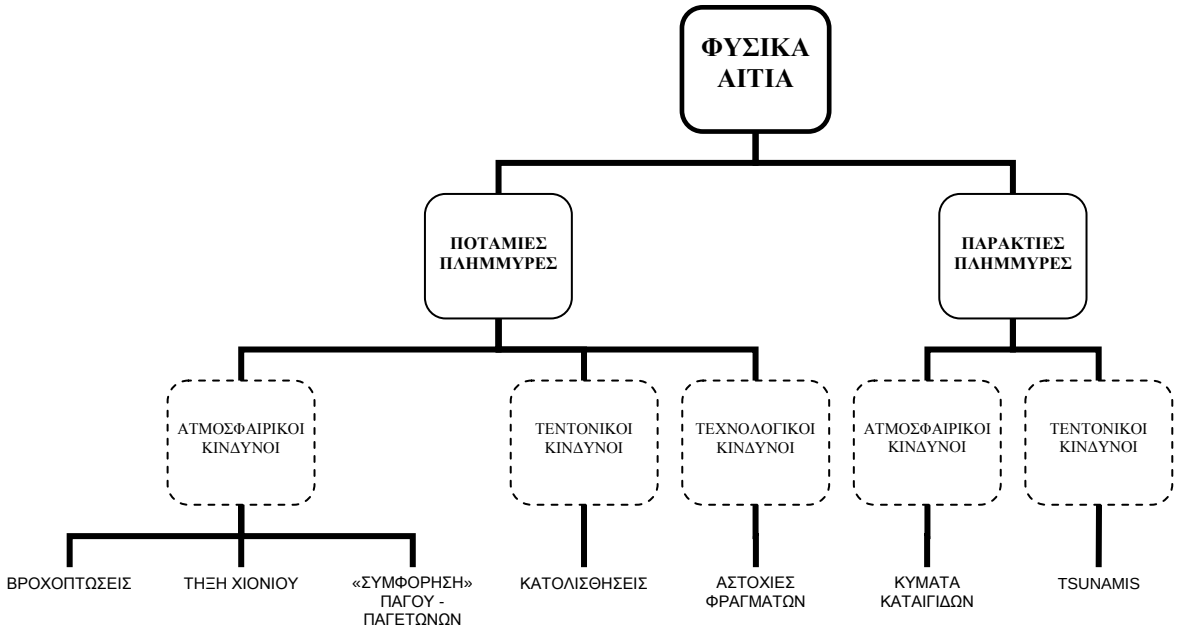
Φύση και Αίτια Εμφανίσεων

Οι πλημμύρες ανέκαθεν λογίζονταν ως οι κίνδυνοι που επηρέαζαν περισσότερους ανθρώπους και επέφεραν μεγαλύτερες οικονομικές συνέπειες, από ότι κάθε άλλος φυσικός κίνδυνος. Και αυτό διότι αποτελούν τους πλέον «κοινούς» κινδύνους, δεδομένης της εκτεταμένης γεωγραφικής διασποράς των ποτάμιων συστημάτων στο πρόσωπο της Γης[26]. Αυτό άλλωστε έχει καταδείξει και ο Parker (2000), παραθέτοντας δεδομένα που καθιστούν τις πλημμύρες ως τα πλέον συνήθη εναύσματα για την πρόκληση καταστροφών, κατά τη διάρκεια του δευτέρου μισού του 20^{ου} αιώνα.

Εν γένει, οι πλημμύρες (με την ευρύτερη έννοια του όρου) αναδύονται στη βάση πολλών παραγόντων. Έτσι, ο «κατακλυσμός» χερσαίων εκτάσεων μπορεί να σημειωθεί τόσο σε παράκτιες, όσο και σε παρόχθιες εκτάσεις, ενώ οι γενεσιουργές αιτίες για τέτοια συμβάντα αποδίδονται σε ατμοσφαιρικά φαινόμενα, τεκτονικά φαινόμενα ή/ και στην ανθρώπινη παρέμβαση. Μια τέτοια διάκριση παρουσιάζεται

[25] Συγκεκριμένα της υδρολογικής ξηρασίας. Τα είδη της ξηρασίας μπορούν να διαχωριστούν σε μετεωρολογική, υδρολογική, αγροτική και λιμών (famine droughts).
[26] ας σημειωθεί ότι σε αυτήν την ενότητα εξετάζονται οι ποτάμιες πλημμύρες (υδρολογικής προέλευσης).

στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 5). Όσον αφορά στις ποτάμιες πλημμύρες, οι οποίες και θα εξεταστούν σε αυτήν την ενότητα – συνιστώντας την μία πτυχή των υδρολογικής φύσεως κινδύνων –, ο Ward (1978) αναδεικνύει ως κυρίαρχες αιτίες εμφάνισής τους, τους εξωγενείς κλιματικούς παράγοντες και ως δευτερεύουσες, εκείνες που συνδέονται με τα χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής.



Σχήμα 5: Φυσικά αίτια των πλημμύρων σε σχέση με άλλους φυσικούς κινδύνους

Πηγή: Smith, 2004 (Τροποποίηση)

Σημείωση: Οι ατμοσφαιρικοί κίνδυνοι που «καταλήγουν» σε μεγάλες ποσότητες βροχόπτωσης, αποτελούν τις πιο σημαντικές πηγές πλημμυρικών κινδύνων

Ως (ποτάμια) πλημμύρα λοιπόν θεωρείται η κατάσταση κατά την οποία η αποφόρτιση (discharge) των υδάτων ενός ποταμού (ή τμήματός του) δεν μπορεί να επιτευχθεί διαμέσου της κανονικής του κοίτης, με αποτέλεσμα το νερό να την υπερβαίνει και να εξαπλώνεται στα γειτονικά εδάφη (Strahler and Strahler, 2003). Εντούτοις, δεν συνιστά παράγοντα διακινδύνευσης (κίνδυνο) παρά μόνο αν απειλήσει την ανθρώπινη παρουσία.

Κανονικά, εκτός περιπτώσεων όπου οι ποτάμιοι κλάδοι ρέουν σε ορεινό «περιβάλλον», όταν οι κοίτες των ποταμών πλημμυρίζουν, εκατέρωθέν τους σχηματίζονται εκτάσεις ήπιου αναγλύφου, από τις αποθέσεις που επικάθονται,

γνωστές ως *πεδιάδες κατάκλυσης ή πεδιάδες υπερχείλισης* (*floodplains*). Αυτές οι πεδιάδες κατακλύζονται εντελώς μόνο σε μείζονες πλημμύρες, ενώ σε επεισόδια μικρότερης έντασης και μεγαλύτερης συχνότητας, μόνο ένα τμήμα τους καλύπτεται από νερό. Πάντως, εν γένει, το εύρος αυτών των πεδιάδων εξαρτάται από τις τιμές της επιφανειακής αποφόρτισης του ποταμού[27](Lewin, 1978).

Γεωγραφία Διακινδύνευσης

Καθίσταται λοιπόν αντιληπτό λοιπόν πως οι πεδιάδες κατάκλυσης, ή οι πιο διευρυμένες αλλουβιακές πεδιάδες, καθώς και οι ποτάμιες εκβολές συνιστούν τις πλέον επιρρεπείς στον πλημμυρικό κίνδυνο περιοχές, οι οποίες, επιπροσθέτως είναι και εύκολα αναγνωρίσιμες. Όμως, πέραν αυτών των πρόδηλων, κάποια άλλα «γεωγραφικά τοπία» κρίνονται ιδιαίτερα «ευπαθή»:

Μικρές λεκάνες απορροής είναι δυνητικά ιδιαιτέρως επιρρεπείς σε *πλημμύρες ακαριαίας εκδήλωσης* (*flash floods)*, όταν, σε ημιάνυδρες ζώνες όπου το ανάγλυφο είναι έντονο με υψηλές κλίσεις, λαμβάνουν χώρα ραγδαίες βροχοπτώσεις. Ένας ιδιάζων τύπος απειλής *flash flooding* ενυπάρχει σε γεωμορφές αλλουβιακών ριπιδίων[28], ειδικά σε ημιάνυδρες περιοχές των οποίων οι ιδιαίτερες συνθήκες κρίνονται ευνοϊκές για την αστική ανάπτυξη (λόγω της επιβλητικής θέας και της καλής τοπικής αποστράγγισης). Πολλές φορές, οι επικρατούσες συνθήκες ξηρότητας, σε συνδυασμό με τις απρόβλεπτες δυνητικές διαδρομές του νερού και τις μεγάλες τοπογραφικές κλίσεις, όταν συνοδευτούν από μια έντονη βροχόπτωση μπορούν να συντελέσουν στην παροχή μεγάλων ποσοτήτων νερού, το οποίο, φορτισμένο από ιζήματα, κατέρχεται με μεγάλες ταχύτητες, ικανό να παρασύρει και να καταστρέψει κτίσματα. Λόγω των μικρών χρόνων συρροής, τα επεισόδια *flash flooding*

[27] σε περιπτώσεις δε όπου οι πεδιάδες κατάκλυσης συνενώνονται, συνιστούν *αλλουβιακές πεδιάδες (alluvial plains)*

[28] Τα αλλουβιακά ριπίδια (alluvial fans) συνιστούν μορφές ποτάμιας απόθεσης που λαμβάνουν αυτήν την ονομασία εξ' αιτίας της ιδιάζουσας μορφής τους, καθώς προσομοιάζουν με ριπίδια, δηλ βεντάλιες. Και ενώ μορφολογικά θυμίζουν σχηματισμούς δελταϊκών εκβολών, διαφέρουν κύρια στο ότι η απόθεση των υλικών επιτελείται ενδοχωρικά, σε σημεία/ περιοχές όπου, κλάδοι εμφορούμενοι από υψηλή στερεοπαροχή μεταβαίνουν, από (ορεινές) περιοχές έντονου αναγλύφου, σε περιοχές μικρότερης μορφολογικής κλίσης και αποθέτουν τα μεταφερόμενα υλικά, απλώνοντας τα τοξοειδώς, από το στόμιο της κοιλάδας – κορυφή – προς χαμηλότερες περιοχές. Οι δε κλίσεις αυτών των γεωμορφών κυμαίνονται από 3°-6° , επί των οποίων η ίδρυση οικισμών και κωμοπόλεων κρίνεται ιδιαίτερα πρόσφορη πολλές φορές.

διακρίνονται από μια εγγενή δυσχέρεια στην αντιμετώπισή τους μέσω έγκαιρης προειδοποίησης.

Μια άλλη περίπτωση πλημμυρών επισυμβαίνει σε «κλειστές» θάλασσες και λίμνες και οφείλεται σε αυξημένες παροχές ποταμών που εκβάλλουν σε αυτές. Η διακύμανση των επιπέδων της στάθμης του νερού σε αυτά τα υδάτινα σώματα, που συνεπάγεται τον μεγαλύτερο κίνδυνο, συνήθως δεν αποτελεί πρόβλημα, εφόσον παρέχεται η δυνατότητα επαρκούς και πρώιμης προειδοποίησης, καθώς, όπως έχει καταδείξει και ο Chagnon (1987), μεγάλες ανυψώσεις της στάθμης επακολουθούν μόνο ύστερα από μακρές υγρές περιόδους.

Τέλος, οι εκτάσεις που κείνται κατάντη φραγμάτων είναι επιρρεπείς σε περιπτώσεις αστοχιών των φραγμάτων, ή σε περιπτώσεις που το νερό υπερχειλίζει (over-topping) εξ' αιτίας κινήσεων της γης. Ο τρόπος εκδήλωσης τέτοιων πλημμυρικών επεισοδίων προσομοιάζει σε αυτά των *flash floods*, οπότε η έγκαιρη προειδοποίηση καθίσταται εξαιρετικά δυσχερής.

Σχετικοί Κίνδυνοι και Διακινδύνευση

Οι πρωτογενείς κίνδυνοι μιας υδρολογικής φύσεως πλημμύρας εμπερικλείουν την κατάκλυση των πεδιάδων υπερχείλισης, την εκδήλωση *flash floods*, την ανύψωση της στάθμης υδάτινων σωμάτων της ενδοχώρας, καθώς και την κατάρρευση φραγμάτων (τεχνητών ή φυσικών), ενώ στους δευτερογενείς υπάγονται οι συσχετιζόμενες κατολισθήσεις και λασποροές.

Η πρωταρχική διακινδύνευση (ως αντίκτυπος των κινδύνων) που συνεπάγεται μια πλημμύρα είναι αυτή του πνιγμού εξ' αιτίας του ταχύρυθμου καταποντισμού των κατακλυζόμενων περιοχών (ειδικά στις περιπτώσεις των *flash floods*), άλλα και η απώλεια ζωών εξαιτίας καταρρεύσεων κτισμάτων. Επιπλέον, πολλοί τραυματισμοί συμβαίνουν, καθώς επιτελείται η κατακρήμνιση οικοδομών και καθώς παρασύρονται ορμητικά άνθρωποι και αντικείμενα. Από την άλλη, στους δευτερεύοντες – αλλά επίσης πολύ σημαντικούς παράγοντες, ειδικά όταν οι πλημμύρες δεν εξελίσσονται τόσο ταχύρυθμα – αντίκτυπους εντάσσονται η νοσηρότητα που πολλές φορές συνεπάγεται η διάδοση λοιμωδών νοσημάτων μέσω του νερού, η πρόκληση λιμών (λόγω της κατάκλυσης της γεωργικής γης), καθώς και η γενικότερη ρήξη της κοινωνικής και οικονομικής ζωής των πληττόμενων πληθυσμών: Οι πλημμυρισμένες

εκτάσεις σκεπάζουν δυνητικά περιοχές κατοικίας (παρόχθιους οικισμούς), περιοχές εργασίας (γεωργική γη) κ.α.

Φυσική Έκθεση και Ανθρώπινη Τρωτότητα

Παραπάνω, περιγράφηκαν ορισμένες περιοχές που είναι πιο επιρρεπείς σε επεισόδια ποτάμιων πλημμύρων. Επιπλέον, ενδεχομένως να κατέστη εμφανές το γεγονός ότι, όπως αναφέρει και ο White (1942), λόγω των επαναλαμβανόμενων προτύπων συμπεριφοράς τους, οι πλημμύρες εκλαμβάνονται ως «γνωστοί» κίνδυνοι. Παρ' ότι όμως αποτελούν φαινόμενα με περιόδους επαναφοράς, και εν γένει περιορίζονται εντός των πεδιάδων κατάκλυσης επί των οποίων οι ποταμοί για πάμπολλα χρόνια αποθέτουν ιλύς και φερτές ύλες, οπότε θα κατέληγε κανείς στο συμπέρασμα ότι εύκολα μπορούν να διευθετηθούν, η εμπειρία υπαγορεύει το αντίθετο: συνεχίζουν να αποτελούν την πιο τρομερή μάστιγα αιφνίδια εκδηλούμενων καταστροφών με πολλούς και ολέθριους αντίκτυπους.

Κάποιες από τις απολήξεις αυτού του προβλήματος, μπορούν να εντοπιστούν εν μέρει στο φυσικό τμήμα του φάσματος της αιτιότητας. Η προηγούμενη δεκαετία «γνώρισε» κάποια από τα πιο σφοδρά και εκτεταμένα πλημμυρικά καταστροφικά επεισόδια. Τόσο οι MDCs βίωσαν συμβάντα με έντονα επιζήμιες και καταστροφικές επιπτώσεις (π.χ. οι πλημμύρες των ποταμών Μισισιπή στις Η.Π.Α. και Ρήνου στην Ευρώπη, καθώς και ο καταποντισμός τμήματος της Αυστραλίας όπου μια έκταση ίση με την πολιτεία του Texas καταποντίστηκε το 1990), όσο και οι LDCs αντιμετώπισαν σφοδρές πλημμύρες, κατά τα άλλα σπάνιες (δηλαδή με περιόδους επαναφοράς 100 ετών) σε ετήσια βάση(!), με δριμεία περιστατικά να πλήττουν την νοτιοανατολική Ασία (κυρίως τα έτη 1996, 1998, 1999 και 2000) και την δυτική Αφρική (Αιθιοπία και Σομαλία το 1997, Μοζαμβίκη και Μαλάουι το 2000). Γενικότερα πάντως, στο πέρασμα των αιώνων, τα πιο καταστροφικά επεισόδια έχουν σημειωθεί στη Κίνα και στην Ινδία, όπου τα μεγέθη των πληθυσμών και οι αντίστοιχες υψηλές συγκεντρώσεις έχουν επιφέρει κάποια από τα πλέον ολέθρια επεισόδια (τουλάχιστον από άποψη απωλειών ανθρωπίνων ζωών) σε σχέση με όλους του λοιπούς κινδύνους.

Αυτά τα αυξανόμενης συχνότητας δριμεία συμβάντα τείνουν να συνδέονται με την παγκόσμια κλιματική μεταβολή, καθώς και ακόμη πιο συγκεκριμένα με το φαινόμενο ENSO (El Nino Southern Oscillation). Παρ' όλο που η ύπαρξη μιας

τέτοιας διασύνδεσης δεν έχει αποσαφηνιστεί, όπως διαπιστώνει όμως ο Glanz (2001, 2002), οι συνέπειες του τελευταίου φαίνεται να υπερβαίνουν την περιφερειακή εμβέλεια, και ως εκ τούτου αυτό το φαινόμενο μάλλον δείχνει να εμπλέκεται σε ένα σύστημα που ελέγχει ακόμη και τα πλανητικά σχήματα ξηρασίας και ανομβρίας τα οποία εναλλάσσονται με πλημμύρες και καταιγίδες.

Επιπλέον, τα συμβάντα που αναφέρονται σε *flash floods*, τείνουν να σχετίζονται περισσότερο με ακραία ατμοσφαιρικά (κλιματολογικά-μετεωρολογικά) φαινόμενα (ασυνήθιστα ύψη βροχών σε λίγες ώρες) των οποίων ο «φθοροποιός» αντίκτυπος επιδεινώνεται εξ' αιτίας μορφολογικών και μορφομετρικών παραμέτρων της λεκάνης απορροής οι οποίες ως επί το πλείστο είναι μικρές. Και πάλι όμως, ακόμη και αν τέτοια γεγονότα από τη φύση τους καθιστούν δυσχερή την δυνατότητα ταχείας απόκρισης, οι δυνητικές περιοχές διακινδύνευσης μπορούν εύκολα να οριοθετηθούν. Μοναδικές περιπτώσεις κατά τις οποίες ο εντοπισμός-αναγνώριση των ενδεχομένως επιρρεπών περιοχών είναι σχεδόν ανέφικτος, αφορούν σε εκείνα τα «κατακλυσμιαία» επεισόδια που προκύπτουν από καταρρεύσεις «φυσικών φραγμάτων» ("natural dams"). Τέτοια φυσικά φράγματα αποτελούν τόσο κατολισθήσεις, όσο και παγετώνες που φράσσουν κοιλάδες ή άλλες κοιλότητες, δημιουργώντας ταμιευτήρες νερού. Όταν λοιπόν τα εμπόδια διαβρωθούν, αποσπαστούν ή τηχθούν, η επακόλουθη ροή νερού θα είναι ραγδαία, δημιουργώντας *flash floods*, κατά τρόπο αντίστοιχο εκείνων των πλημμύρων που προκαλούνται από αστοχίες (τεχνητών) φραγμάτων.

Οι βαθύτερες όμως ρίζες της τρωτότητας μάλλον θα πρέπει να αναζητηθούν σε παραμέτρους που αναφέρονται στην κοινωνική αιτιότητα. Υπό αυτή τη σκοπιά, θα πρέπει να διατυπωθεί πως οι πλημμύρες, περισσότερο από κάθε άλλο κίνδυνο συνιστούν ταυτόχρονα και πολύτιμο πόρο, ενίοτε ακόμη και πηγή ζωής. Σε γενικές γραμμές, οι πλημμύρες συντηρούν την γονιμότητα των εδαφών, εμπλουτίζοντάς τα με ιλύες και αποπλένοντας τα άλατα από τα επιφανειακά τους στρώματα, ενώ παρέχουν νερό για φυσική άρδευση (Smith, 1998). Η δε οικολογική και οικονομική συνεισφορά αυτών των περιοδικών κατακλίσεων των αντίστοιχων πεδιάδων σε ημιάνυδρες εκτάσεις όπως αυτές της Δ. Αφρικής είναι ζωτικής σημασίας, ενώ η συνεπαγόμενη (υψηλή) αγροτική παραγωγικότητα υπερτερεί της αντίστοιχης που κάνει χρήση πλήρως μηχανοποιημένων (capitalized) συστημάτων άρδευσης (Adams, 1993).

Ειδικά στο Μπαγκλαντές, κατεξοχήν χώρα που «ταλανίζεται» από πλημμύρες[29], ιδιαίτερη αίσθηση προκαλεί το γεγονός ότι σε ορισμένες περιπτώσεις οι αγροτικοί πληθυσμοί θεωρούν πως δεν υφίσταται πρόβλημα πλημμυρών, τουναντίον δε η απουσία πλημμυρών εκλαμβάνεται ως καταστροφική ξηρασία (Leaf, 1997).

Αυτή η αμφίσημη στάση των ανθρώπων προς τα πλημμυρικά φαινόμενα, αφ' εαυτής επαυξάνει τη διακινδύνευση που τα τελευταία ενέχουν. Η εξοικείωση με ένα φαινόμενο που είναι δυνητικά ολέθριο και η, πολλές φορές, «ασμένως υποδοχή» του, προσθέτουν μια παράμετρο επιπλέον διακινδύνευσης. Βεβαίως και σε αυτά τα συμβάντα, το φάσμα των δυνατών επιλογών, και δη η διαβάθμιση της τρωτότητας ποικίλλει, καθ' ότι η εκμετάλλευση των πλημμυρικών πεδιάδων για άλλους αποτελεί μια πηγή πλουτισμού, για άλλους όμως επιτακτική ανάγκη και μοναδική λύση. Και φυσικά οι ζωές των δευτέρων είναι πολύ πιο στενά συνδεδεμένες με τις πλημμύρες, απλούστατα διότι ο βιοπορισμός τους εξαρτάται άμεσα και αποκλειστικά από την δραστηριοποίηση επί τέτοιων επιρρεπών περιοχών, οι οποίες τους παρέχουν μεν κάποιες ευκαιρίες, πάντα όμως υπό την απειλή των υφερπόντων κινδύνων.

Από την άλλη, η συνεχής πληθυσμιακή αύξηση, καθώς και η τάση συρροής και συγκέντρωσης σε αστικές περιοχές, έχει εντείνει την εμφάνιση (σε συχνότητα ή/ και σφοδρότητα) καταστροφικών συμβάντων. Αφ' ενός μεν, ολοένα και περισσότερο εξωθεί προς την «παραβίαση» επιρρεπών εκτάσεων όπως οι πεδιάδες κατάκλυσης, αφ' ετέρου δε η ευρύτατη χρήση αδιαπέρατων υλικών (δρόμοι από άσφαλτο, πεζοδρόμια από τσιμέντο κ.α.) επαυξάνει τον συντελεστή επιφανειακής απορροής[30], επιδεινώνοντας ακόμη περισσότερο τους φθοροποιούς αντίκτυπους.

Η αστικοποίηση λοιπόν θέτει υπό ιδιαίτερη διακινδύνευση το «δομημένο τοπίο». Η δε αποψίλωση των δασών, η οποία μπορεί να επισυμβαίνει είτε στο πλαίσιο της ραγδαίας αστικοποίησης, είτε για άλλους λόγους πέραν της οικιστικής εξάπλωσης, θεωρείται ότι σχετίζεται με την τροποποίηση του υδρολογικού κύκλου του νερού, και επομένως, ότι μεταβάλλει τις παροχές και τα πρότυπα της εδαφικής/ επιφανειακής αποφόρτισης εντός των εκάστοτε λεκανών απορροής. Η ύπαρξη πλούσιας βλάστησης (δέντρα και άλλα φυτά), συνεπάγεται και παρουσία εξίσου διευρυμένων ριζικών συστημάτων. Η εξάπλωση τέτοιων ριζικών συστημάτων επί των

[29] και όχι μόνο υδρολογικής προέλευσης

[30] δηλ. το ποσοστό των αρχικών ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, και κυρίως της βροχής που καταλήγει να εκρέει επιφανειακά (σε αντιπαράθεση με το υπόλοιπο που διηθείται ή/ και κατεισδύει στο υπέδαφος, ή εξατμίζεται).

εδαφών, επιφέρει την σταθεροποίηση και την προστασία των τελευταίων (εδαφών) από τη διάβρωση. Ως εκ τούτου, η παρουσία υγιούς εδάφους «εξωθεί» ένα ποσοστό των κατακρημνισμάτων που προσπίπτουν σε μια υδρολογική λεκάνη να διηθείται, και να επιστρέφει ξανά στην ατμόσφαιρα, είτε άμεσα, διαμέσου της εξατμισοδιαπνοής των φυτών, είτε έμμεσα, δια της οδού των υπόγειων υδροφορέων που, σε βάθος χρόνου οδηγούνται σε κάποιο υδάτινο σώμα (π.χ. λίμνη, θάλασσα). Συνολικά, αυτές οι διαδικασίες συνιστούν μια «παράκαμψη» στο (τοπικό τουλάχιστον) καθεστώς επιφανειακής απορροής – με συνέπεια την αποφυγή επιπρόσθετης «επιβάρυνσής» του. Βέβαια, σε περιπτώσεις ραγδαίας και συνεχούς κατακρήμνισης, ίσως η φυτοκάλυψη να μην διαδραματίζει πολύ σπουδαίο ρόλο, καθώς, αφ' ης στιγμής κορεστεί το έδαφος σε υγρασία και νερό, ενδέχεται να προκληθούν πλημμύρες, ανεξάρτητα από την παρουσία βλάστησης.

Η παρουσία φραγμάτων φέρει ευεργετικά αποτελέσματα στον άνθρωπο, αλλά και δυσμενείς αρνητικές επιπτώσεις (σε φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον). Μια από αυτές αποτελεί το ενδεχόμενο υπερχείλισης ενός φράγματος και τελικά της κατάρρευσής του (αστοχία). Και παρ' ότι η πιθανότητα αστοχίας φράγματος που να επιφέρει 1000 ή περισσότερους νεκρούς είναι αρκετά σημαντική σε σχέση με την διακινδύνευση που διέπει άλλους κινδύνους, ελάχιστες χώρες έχουν «συντάξει» χάρτες κατάκλυσης (ή πλημμυρικού κινδύνου) ή έχουν προετοιμάσει σχέδια έκτακτης ανάγκης (και άμεσης επέμβασης) (Smith, 1989).

Γενικότερα πάντως, η ανθρώπινη νοοτροπία – στις τεχνικά/ τεχνολογικά προηγμένες χώρες – εμπεριέχει μια διάχυτη τάση χαλιναγώγησης των (ακραίων) φυσικών διαδικασιών. Αυτή η τάση, παρουσιάζεται ιδιαιτέρως οξυμένη, όταν πρόκειται για έναν κίνδυνο ο οποίος αφ' ενός δείχνει σχετικά ελέγξιμος (σε αντίθεση με τα πυροκλαστικά κύματα ή τη ροή λάβας από ένα ηφαιστειακό ξέσπασμα), αφ' ετέρου δε, ορισμένες φορές λογίζεται περισσότερο ως πόρος. Ως εκ τούτου, η καταστολή των αντίκτυπων των πλημμυρών μέσω κατασκευών ανθεκτικών στον κίνδυνο αποτελεί την πλέον διαδεδομένη τεχνική. Φράγματα, τάφροι και αντιπλημμυρικά αναχώματα (dikes and levees), βελτιώσεις και διαπλατύνσεις κοίτης καναλιών (channel improvement) αποτελούν τις πιο «δημοφιλείς» λύσεις. Από την άλλη, στις χώρες όπου η τεχνολογική και οικονομική κατάσταση αποτρέπουν την εφαρμογή τέτοιων πρακτικών, ή εκεί όπου το φαινόμενο δεν είναι δυνατό ή δεν είναι

ευκταίο να «καταπνιγεί», ανακύπτουν πρότυπα συμπεριφοράς τα οποία χαρακτηρίζονται πολλές φορές έως και αυτοκαταστροφικά (π.χ. Μπανγκλαντές πολλοί άνθρωποι προσβλέπουν στις πλημμύρες εκθύμως, παρά τις συμφορές που αυτές τους επιφέρουν). Στο ενδιάμεσο τέτοιων λογικών και πρακτικών, ενυπάρχει μια επιλογή, η οποία όσο και αν φαίνεται μη λειτουργική, αποτελεί την μόνη έγκριτη οδό, έγκειται δε στον ενστερνισμό της «φυσικής ροής», ειδάλλως τα αποτελέσματα θα παραμένουν καταστροφικά (εκτός κι αν ο βαθμός παρέμβασης ενταθεί ακόμη περισσότερο – χωρίς όμως η τελευταία να εγγυάται πάντοτε τον μετριασμό της διακινδύνευσης): Οι ποτάμιοι κλάδοι θα πρέπει να «αφήνονται ελεύθερα» (δηλ. δίχως σοβαρές περιοριστικές ενέργειες που αλλοιώνουν το καθεστώς ροής τους) να κατακλύζουν ακριβώς εκείνες τις περιοχές που εξ' ορισμού υπαγορεύουν οι σχετικοί όροι πλημμυρικές πεδιάδες ή πεδιάδες κατάκλυσης. Ο δε άνθρωπος θα πρέπει σε κάποιον βαθμό να προσαρμοστεί σε μια τέτοια πραγματικότητα.

Ανασκόπηση

Όπως φάνηκε στα προηγούμενα, οι πλημμύρες αποτελούν ευρύτατα διαδεδομένους κινδύνους στο πρόσωπο της γης. Όμως, επειδή το νερό, εκτός από παράγοντα διακινδύνευσης, συνιστά ύψιστης αξίας πόρο και «συντελεστή» ευημερίας, που, αντί να απωθεί την ανθρωπογενή παρουσία, πολλές φορές την προσελκύει. Από την άλλη, η σφοδρότητα του φαινομένου, εν γένει, αφ' εαυτής, εκτός των περιπτώσεων των *flash floods*, σπάνια εκδηλώνεται σε χρόνους τέτοιους που να καθίσταται ανέφικτη η εκκένωση περιοχών υψηλής διακινδύνευσης και η παροδική μετεγκατάσταση πληθυσμών. Έτσι λοιπόν, ο καταστροφικός αντίκτυπός τους (τουλάχιστον όσον αφορά στην απώλεια ζωών και στους τραυματισμούς) μπορεί να θεωρηθεί λοιπόν ότι είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό ανθρωπογενώς επιφερόμενος. Η αλλοίωση των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής, η έντονη αστικοποίηση και η καταπάτηση των πεδιάδων κατάκλυσης, συνεπάγεται επιπτώσεις επί του ανθρώπου και επί των ιδιοκτησιών. Καθ' ότι όμως η ανθρώπινη και κοινωνική συμπεριφορά, όσο και οι οικονομικές δραστηριότητες, και τα χωρικά πρότυπα εμφάνισης των τελευταίων δεν αναμένεται να μεταβληθούν δραστικά και άμεσα, θα συνεχίσουν να απαιτούνται «ρυθμιστικές» δράσεις και πρακτικές.

Η έγκαιρη ενημέρωση και προειδοποίηση, η παρουσία μοντέλων πρόβλεψης βροχόπτωσης και απορροής, με μια πολιτική σχεδιασμού χρήσεων γης, μπορούν να οδηγήσουν σε συνθήκες αυξημένης ετοιμότητας και απόκρισης. Επιπλέον, η άμεση αποτύπωση των εκτάσεων που κατακλύζονται, μπορούν να συνδράμουν στην αποτίμηση των απωλειών (π.χ. καταποντισμός αγροτικών εκτάσεων, καταστροφή γεφυρών, οδών κ.α.) και στην γνωστοποίηση και χαρτογράφηση περιοχών υψηλού κινδύνου (και διακινδύνευσης) λόγω του γεγονότος επαναφοράς τέτοιων ακραίων επεισοδίων με σχετικά γνωστές αντίστοιχες περιόδους. Έτσι λοιπόν, σκόπιμο είναι να εξετάζεται η διαχρονική μεταβολή του πλημμυρικού εύρους, ώστε να αποδίδεται αυτή η κατανομή στον χώρο και στον χρόνο, προς την κατεύθυνση, τόσο ειδικά της κατά περίπτωση αποτίμησης της καταστροφής, όσο και του γενικότερου μετριασμού.

2.4 Κίνδυνοι από Μετακινήσεις Μαζών (Mass Movement Hazards)

Σε αυτήν την γενική κατηγορία κινδύνων εντάσσονται όλες εκείνες οι κινήσεις που επιτελούνται κατά την κατωφέρεια κεκλιμένων (και όχι μόνον) επιφανειών, υπό την επενέργεια των βαρυτικών δυνάμεων, ήτοι τόσο οι καταρρεύσεις/ καταπτώσεις και ολισθήσεις τμημάτων του εδάφους ή βραχομαζών, όσο και οι πτώσεις μαζών πάγου ή χιονιού. Στην πιο γενικευμένη μορφή τους, τα πρώτα αυτά φαινόμενα που εμφορούνται από το στοιχείο του κινδύνου καλούνται *κατολισθήσεις (landslides)*, ενώ τα δεύτερα *χιονοστιβάδες (avalanches)*. Ο λόγος που ταξινομούνται από κοινού έγκειται στο γεγονός ότι οι αιτίες πρόκλησης τους προσομοιάζουν, καθ' ότι πυροδοτούνται είτε από σεισμικά, είτε από ακραία ατμοσφαιρικά επεισόδια, σε συνδυασμό με την ανθρώπινη επίδραση. Ως εκ τούτου, συνιστούν μια «μιγαδική» κατηγορία κινδύνων, εφόσον κείνται στον «κοινό τόπο» των ενδογενών και εξωγενών διαδικασιών. Στα παρακάτω, εξετάζεται μόνο η γενική κατηγορία των κατολισθήσεων, ως η πλέον αντιπροσωπευτική, για (πρακτικούς) λόγους συντομίας.

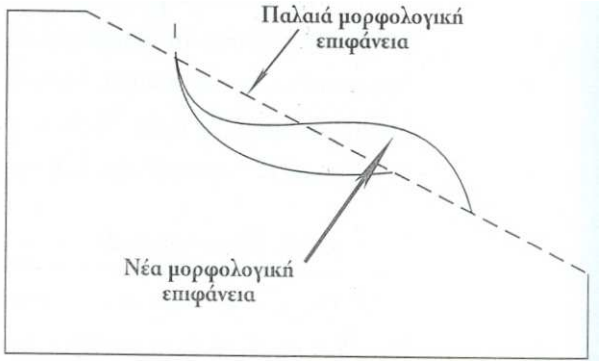
2.4.1 Κατολισθήσεις

Φύση και Αιτίες Πρόκλησης των Φαινομένων

Κατολισθητικά φαινόμενα ανακύπτουν κατά την διατάραξη της ισορροπίας εδαφικών ή βραχωδών μαζών που, είτε υπόκεινται οριζοντίων, είτε κείνται όπισθεν κεκλιμένων μορφολογικών επιφανειών (Λέκκας, 2000). Μια τέτοια διατάραξη μπορεί να επιφέρει απόσπαση πετρωδών μαζών ή εδαφικών κορημάτων/ θραυσμάτων από το υποκείμενο σταθερό τμήμα αυτών των επιφανειών. Η συνοδευόμενη της απόσπασης κίνηση μπορεί να εξελιχθεί με διάφορους τρόπους, διαχωριζόμενη σε τύπους κίνησης, συμπεριλαμβάνοντας την κατάρρευση (falling), την ολίσθηση (sliding) ή την ροή (flowing), ανάλογα με το γεωλογικό περιβάλλον, την αντοχή του υλικού, την διάταξη και διαμόρφωση των πρανών, καθώς και την πίεση του νερού στους πόρους του υλικού, όπως αναφέρεται και από τον Smith (1998).

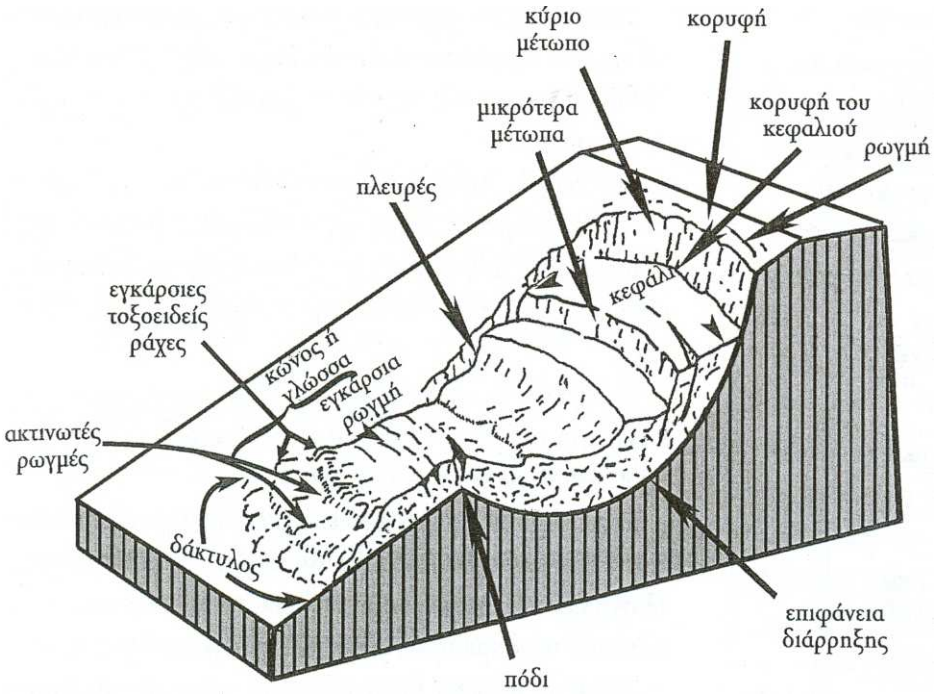
Όσον αφορά στην κινηματική τέτοιων διεργασιών, διακρίνονται δύο συνιστώσες κίνησης, η οριζόντια και η κατακόρυφη. Όταν επενεργεί μόνο η κατακόρυφη συνιστώσα, γίνεται λόγος για *κατάρρευση ή καθίζηση*, ενώ όταν συνυπάρχει και η οριζόντια, το φαινόμενο καλείται *κατολίσθηση*, με την γενικότερη έννοια του όρου. Οι κινήσεις στις δύο αυτές διευθύνσεις, συνδέονται δυναμικά με τις αντίστοιχες τάσεις και αντοχές: Έτσι, αν δρα *ορθή τάση* σε οριζόντιο επίπεδο, σε περίπτωση μετακίνησης μάζας, εκδηλώνεται κατάρρευση ή καθίζηση, ενώ αν επενεργεί ταυτόχρονα και *διατμητική τάση*, η οποία υπερβαίνει την *διατμητική αντοχή* εδάφους ή ασυνέχειας βραχομάζας, τότε ενυπάρχει και οριζόντια συνιστώσα στην κίνηση, οπότε προκύπτει κατολισθητικό φαινόμενο (Λέκκας, 2000).

Κατά την εκδήλωση μιας τυπικής (περιστροφικής) κατολίσθησης, το ανώτερο τμήμα τείνει να υποχωρεί, ενώ το κατώτερο να διογκώνεται σε σχέση με την αρχική μορφολογική επιφάνεια. Κατά συνέπεια, αν η αρχική μορφολογική επιφάνεια του πρανούς ήταν επίπεδη, τότε η νέα θα παρουσιαζόταν – σε μια κατακόρυφη τομή – με τη μορφή σχήματος S (Σχ. 6).



Σχήμα 6: Μορφολογία πριν και μετά την εκδήλωση κατολίσθησης

Σε μια κατολίσθηση, τα διάφορα μέρη/ χαρακτηριστικά που διακρίνονται, παρουσιάζονται στο σχήμα 7. Έτσι, ως *κύριο μέτωπο* ορίζεται μια απόκρημνη επιφάνεια εντοπιζόμενη περιφερειακά της κατολίσθησης, η οποία δημιουργήθηκε εξ' αιτίας της κατακόρυφης κίνησης των μετακινηθέντων υλικών, ενώ τα *μικρότερα μέτωπα*, αποτελούν επίσης κρημνώδεις επιφάνειες οι οποίες προέκυψαν από διαφορικές κινήσεις εντός της κατολισθείσας μάζας. *Η κορυφή*, βρίσκεται στα υψηλότερα σημεία του κύριου μετώπου και συμπεριλαμβάνει υλικά πρακτικά αδιατάρακτα. Το *κεφάλι*, συνίσταται από υλικά τα οποία κατολίσθησαν από ανώτερα στρώματα, εντοπιζόμενα πια κατά μήκος της επαφής των διαταραγμένων υλικών και κυρίου μετώπου, ενώ *κορυφή του κεφαλιού* είναι το υψηλότερο σημείο αυτής της επαφής. Από το κεφάλι και πιο κάτω, οι *πλευρές* οδηγούν στο *πόδι*, δηλαδή στη γραμμή διατομής μεταξύ αρχικής επιφάνειας εδάφους και *επιφάνειας διάρρηξης*. Η τελευταία συνιστά το (επιφανειακό) όριο από το οποίο αποχωρίζονται τα υλικά της κατολίσθησης (σε σχέση με το σταθερό υπόβαθρο). Η δε *επιφάνεια ολίσθησης* συνιστά την επιφάνεια επί της οποίας, συνολικά, γίνεται η μετακίνηση της κατολισθαίνουσας μάζας, συμπεριλαμβάνοντας, στο ανώτερο τμήμα της, την επιφάνεια διάρρηξης, ενώ από το πόδι και χαμηλότερα, η ολίσθηση επιτελείται επάνω στην αρχική επιφάνεια του εδάφους· σε αυτές τις θέσεις παρατηρείται ο *κώνος* (ή *γλώσσα*), αποτελούμενος από υλικά που, έχοντας υπερβεί την επιφάνεια διάρρηξης, ολισθαίνουν στην αρχική επιφάνεια. Τα δε υλικά που, εντοπίζονται στην μεγαλύτερη απόσταση από το κύριο μέτωπο της κατολίσθησης συνιστούν τον *δάχτυλο*.



Σχήμα 7:Τα κυριότερα χαρακτηριστικά μιας κατολίσθησης

Πηγή: Λέκκας, 2000

Κατηγορίες

Οι κατολισθήσεις αποτελούν εκείνους τους φυσικούς κινδύνους για τους οποίους ανέκαθεν η ταξινόμηση αποτελούσε την πιο σημαντική και εκτενή διεργασία (Howe, 1909). Και παρ' ότι το πρόβλημα που προκύπτει κατά την προσπάθεια ταξινόμησης των κατολισθήσεων είναι, σύμφωνα με τον D. E. Alexander (2008) διττό, καθ' ότι, αφ' ενός μεν πρέπει να ενταχθούν σε διακριτές κατηγορίες κυμαινόμενα και συνεχή φαινόμενα, αφ' ετέρου δε πρέπει να αντιμετωπιστούν περιπτώσεις (στο πεδίο) που υπάγονται ταυτόχρονα σε περισσότερες της μίας κλάσης, ωστόσο, η δημιουργία κλάσεων ενέχει το θετικό της διαμόρφωσης ασφαλούς βάσης για την αναγνώριση πολύπλοκων φαινομένων. Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν αναδυθεί κατά καιρούς, από διάφορους ερευνητές, μια πληθώρα ταξινομήσεων (κατά Heim, Desio, Zaruba – Mencl κ.α.). Παρ' όλά αυτά, αν και πολλές από αυτές τις ταξινομήσεις θεωρούνται ότι διέπονται από πληρότητα, η επικρατούσα είναι αυτή που έχει προταθεί από τον D. Varnes (Varnes, 1978). Και αυτό διότι αυτή η κατηγοριοποίηση συγκεντρώνει τα πλεονεκτήματα της ευκρίνειας και της απλότητας,

παρ' ότι, αν και με κάποιες βελτιώσεις σε μεταγενέστερες εκδοχές (Cruden and Varnes, 1996), εξακολουθεί να στερείται διευρυμένου φάσματος ταξινομίας, καθώς βασίζεται σε επιλεγμένα παραδείγματα της βιβλιογραφίας, τα οποία δεν εμπίπτουν σε όλες τις υφιστάμενες κατηγορίες του φαινομένου. Παρακάτω παρατίθεται ενδεικτικά η ταξινόμηση κατά Varnes, καθ' ότι άλλωστε θεωρείται ως μια από τις πληρέστερες ταξινομήσεις (Πιν. 3).

Πίνακας 4: Ταξινόμηση Κατολισθήσεων

	Τύπος Υλικού		
	Πετρώματα	***Εδάφη***	
Είδος Κίνησης		*Χονδρόκοκκα*	*Λεπτόκοκκα*
Καταπτώσεις	Κατάπτωση Βράχων	Κατάπτωση Κορημάτων	Κατάπτωση Εδάφους
Ανατροπές	Ανατροπή Βράχων	Ανατροπή Κορημάτων	Ανατροπή Εδάφους
Ολισθήσεις (περιστροφικές – πολλών τμημάτων)	(Κατρα)κύλιση Βράχων/ Ολίσθηση block Βράχων	(Κατρα)κύλιση Κορημάτων/ Ολίσθηση block Κορημάτων	(Κατρα)κύλιση Εδάφους/ Ολίσθηση block Εδάφους
Ολισθήσεις (μετακινούμενες – πολλών τμημάτων)	Ολίσθηση Βράχων	Ολίσθηση Κορημάτων	Ολίσθηση Εδάφους
Πλευρικές Εξαπλώσεις	Εξαπλώσεις Βράχων	Εξαπλώσεις Κορημάτων	Εξαπλώσεις Εδάφους
Ροές	Ροή Θραυσμάτων Πετρώματος	Ροή Κορημάτων	Ροή Εδάφους
Σύνθετες	Συνδυασμός δύο ή περισσοτέρων Ειδών Κίνησης		

Πηγή: Varnes, 1978 (Τροποποίηση)

Γεωγραφικός Εντοπισμός, Συσχετιζόμενη Επικινδυνότητα και Παράγοντες Αυξημένης Τρωτότητας

Η διακινδύνευση από κατολισθητικά φαινόμενα είναι διάχυτη στον πλανήτη, και λιγοστές μόνο χώρες παραμένουν ανεπηρέαστες, ιδιαίτερα υπό την επίδραση των αυξανόμενων πιέσεων και της επιθυμίας για απόκτηση γης. Μια τέτοια τάση, δεδομένης της κατά τόπους υπέρμετρης πληθυσμιακής συγκέντρωσης, εξωθεί ανθρώπους ή ομάδες ανθρώπων σε ολοένα και πιο επιρρεπείς ζώνες, όπως οι ασταθείς πλαγιές.

Εντούτοις, οι κατολισθητικοί κίνδυνοι εξακολουθούν, σύμφωνα με τον Jones (1992), να υποτιμόνται, λόγω των συχνών και των σχετικά μικρών διαστάσεων των αντίκτυπών τους, αλλά και εξ' αιτίας του γεγονότος ότι το ξέσπασμα αυτών των φαινομένων τείνει να αποδίδεται σε άλλες φυσικές διαδικασίες (π.χ. σεισμικές δονήσεις ή καταιγίδες). Ο ίδιος (Jones, 1995) υποστηρίζει πως αναμένεται να αποτελέσουν έναν αυξάνουσας σημαντικότητας κίνδυνο, ειδικά στις LDCs, για αυτό και προβαίνει στην κατάρτιση ενός καταλόγου/ λίστας, όπου παραθέτει τις πλέον επισφαλείς/ επιρρεπείς τοποθεσίες ή περιοχές. Τέτοιες είναι:

- περιοχές που υπόκεινται σε σεισμικά τραντάγματα,
- περιοχές που είναι αποδέκτες υψηλών ποσοτήτων κατακρημνισμάτων (βροχής κυρίως)
- ορεινές τοποθεσίες με έντονο ανάγλυφο,
- περιοχές πιο ήπιου αναγλύφου, οι οποίες όμως υφίστανται εδαφική υποβάθμιση
- εδαφικές εκτάσεις καλυμμένες από παχιά επιστρώματα – λεπτόκοκκων αποθέσεων – ανοιχτόχρωμου εύφορου εδάφους (loess)

Περιοχές ή τοποθεσίες οι οποίες ενέχουν συνδυασμό χαρακτηριστικών των παραπάνω, παρουσιάζονται επαυξημένα επιρρεπείς. Πάντως, οι αιτίες που πυροδοτούν την έξαρση ενός κατολισθητικού επεισοδίου αφορούν i) είτε στην αύξηση των «κινητήριων δυνάμεων» και δη της βαρύτητας με: αύξηση των κλίσεων των πρανών και επιπρόσθετη επιβάρυνσή τους, αποψίλωση της βλάστησης, έξαρση τοπικών δονήσεων, ii) είτε στην μείωση της διατμητικής αντοχής οφειλόμενη σε: διαδικασίες αποσάθρωσης, αύξηση της πίεσης στους πόρους των υλικών των κλιτύων από συγκέντρωση νερού, αύξηση των κλίσεων των πρανών. Η δε απόληξη αυτών των αιτιών μπορεί να εντοπίζεται σε φυσικές, ή/ και σε ανθρωπογενείς διαδικασίες/ δραστηριότητες (Smith, 2004).

Εστιάζοντας στην δυναμική της ανθρώπινης τρωτότητας, θα πρέπει να ληφθεί ιδιαίτερα υπ' όψιν πως, αφ' ενός μεν η ανθρώπινη και κοινωνική συμπεριφορά επιτείνει την ένταση και συχνότητα των ίδιων των φυσικών διαδικασιών, αφ' ετέρου δε αυτή η λίστα των πράγματι επιρρεπών περιοχών χρήζει επιπρόσθετου «εμπλουτισμού» από την επίγνωση ενός γεγονότος που τονίζει ο Alexander (1989), και δη της εξαιρετικά οξείας ευπάθειας (σε κατολισθήσεις) που διέπει τις αστικές περιοχές λόγω των υψηλών πληθυσμιακών συγκεντρώσεων που εκτίθενται σε διακινδύνευση. Δεδομένου δε ότι πολυπληθείς πόλεις εντοπίζονται στη βάση πρανών, λ.χ. παραθαλάσσιες πόλεις χτισμένες στους πρόποδες ορέων που τις περιστοιχίζουν, ο υφιστάμενος κίνδυνος κατολισθήσεων που ενυπάρχει σε τέτοιες τοποθεσίες συνδυάζεται με την εγειρόμενη ανθρώπινη τρωτότητα και φυσική έκθεση, επιφέροντας επαυξημένη διακινδύνευση. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι σπουδαίες ανθρώπινες απώλειες που σημειώνονται στις «παρυφές» του Ειρηνικού, όπου τόσο τα φυσικά – απότομο ανάγλυφο, υψηλή σεισμικότητα, σφοδρές νεροποντές – όσο και τα ανθρωπογενή αίτια – μεγάλες πυκνότητες, ραγδαίες μεταβολές στις χρήσεις γης, πιέσεις και επιβάρυνση από ανθρωπογενείς δραστηριότητες σε ήδη επιρρεπείς τοποθεσίες – συντελούν στην ανάδυση περιοχών ή ζωνών εντεινόμενης διακινδύνευσης.

Το επεισόδιο επί του όρους Nevados Huascaran, στο Περού, το 1970 αποτελεί χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα. Μέσα σε λίγα λεπτά, μια τεράστια ποσότητα λάσπης και ογκόλιθων δημιούργησε ένα «κύμα» κινούμενο με πολύ υψηλές ταχύτητες (> 70 m/s), και αφού διένυσε τις κοιλάδες Rio Shacsha και Santa, εν τέλει κυριολεκτικά έθαψε τις πόλεις Yungay και Ranrahirca κάτω από φερτές ύλες πάχους 10m, καθώς και άλλα χωριά, στοιχίζοντας τη ζωή 18.000 ανθρώπων (Plafker and Eriksen, 1978).

Σύνοψη

Η διακινδύνευση που θέτουν οι κίνδυνοι από μετακινήσεις μαζών, και συγκεκριμένα από εκδήλωση κατολισθήσεων, ορισμένες φορές υποτιμόνται, άλλοτε εξ' αιτίας των, πολλάκις, μικρής εμβέλειας επιπτώσεών τους, άλλοτε διότι η ανάδυσή τους τείνει να αποδίδεται στην εμφάνισή άλλων φυσικών ή και τεχνολογικών κινδύνων. Εντούτοις, οι συνεπαγόμενες επιπτώσεις τους, μπορεί ορισμένες φορές να

ενεργούν σχετικά αργόσυρτα, πλήττοντας υλικά αντικείμενα (π.χ. ιδιοκτησίες, δρόμους), αλλά μπορούν και να προξενήσουν τεράστιες ανθρώπινες απώλειες, καθώς είναι επίσης δυνατό να εκδηλωθούν εξαιρετικά ταχύρυθμα και βίαια. Γεγονός αποτελεί ότι κάποια γεωγραφικά τοπία ενέχουν εγγενώς έντονο τον φυσικό κίνδυνο του κατολισθητικού φαινομένου. Από την άλλη, δεδομένης της αναπεπταμένης γεωγραφικής τους κατανομής (σχεδόν απανταχού της γης), σε συνδυασμό με την αναζήτηση βιοπορισμού ακόμη και στις πλέον επιρρεπείς περιοχές – είτε «διάσπαρτα» σε ορεινές κλιτύες, είτε «συμπυκνωμένα» σε πόλεις που κείνται σε ορεινούς πρόποδες –, εγείρεται η διακινδύνευση.

Επομένως, κρίνεται αδήριτη η αναγκαιότητα για προστασία από τέτοιους κινδύνους. Η παρακολούθηση λοιπόν της εξέλιξης της μορφολογίας επιρρεπών περιοχών, η πρόβλεψη-πρόγνωση της επενέργειας των αντίκτυπων σε περίπτωση που εκδηλωθεί ένα τέτοιο ακραίο και αιφνίδιο (ή και λιγότερο αιφνίδιο) φαινόμενο, αλλά και η προσαρμογή των πληθυσμών σε τέτοια επεισόδια, είναι ύψιστης σημασίας. Σχετικά μέτρα οριοθέτησης των ζωνών διακινδύνευσης, σχεδιασμού χρήσεων γης, καθώς και συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης, ετοιμότητας και απόκρισης, θα πρέπει να έχουν θεμελιωθεί στη βάση προγραμματισμένων ενεργειών.

2.5 Άλλοι Φυσικοί Κίνδυνοι

Σε προηγούμενο κεφάλαιο παρατέθηκε μια κατηγοριοποίηση των κινδύνων σε φυσικούς, τεχνολογικούς και κοινωνικούς. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στους φυσικούς κινδύνους, μα δεν στοχεύει στην περιγραφή και διευθέτηση όλων εκείνων που υπάγονται στην αυτή κατηγορία, για διάφορους λόγους. Εντούτοις, εκτός των προαναφερθέντων κινδύνων, κρίνεται σκόπιμο να γίνει απλή μνεία και σε λοιπούς φυσικούς κινδύνους για λόγους πληρότητας, καθώς και να επεξηγηθεί ο λόγος που δεν επιλέχθηκε η εστίασης σε αυτούς.

Έτσι, σε αυτήν την ενότητα γίνεται αναφορά στην ύπαρξη και άλλων φυσικών κινδύνων. Τέτοιοι είναι οι ακόλουθοι:

- τα tsunamis, η σεισμικά θαλάσσια βαρυτικά κύματα, που αποτελούν έναν κίνδυνο που αναδύεται ως επακόλουθο της επενέργειας άλλων – τεκτονικής φύσης – περιστατικών, και κυρίως υποθαλάσσιων σεισμών ή κατολισθήσεων

- οι δασικές πυρκαγιές (wildfires), οι οποίες αναδύονται λόγω ακραίων φυσικών διαδικασιών (εκτεταμένων περιόδων ξηρασίας, ακραία υψηλών θερμοκρασιών) ή/ και εξ' αιτίας της ανθρώπινης παρέμβασης/ αμέλειας
- οι ακραίες θερμοκρασίες
- οι λοιμοί και η εισβολή παρασίτων, που εντάσσονται στην κατηγορία των βιοφυσικών κινδύνων
- οι λιμοί, ως αποτέλεσμα φυσικών διαδικασιών (π.χ. υδρολογικής φύσεως ξηρασία), ή/ και ανθρωπογενών (υπερπληθυσμός, πολεμικές συρράξεις κ.α.)
- η ξηρασία
- η περιβαλλοντική υποβάθμιση, η εδαφική διάβρωση και η ερημοποίηση
- η ρύπανση της υδρόσφαιρας/ ατμόσφαιρας/ βιόσφαιρας
- η εισροή του θαλάσσιου νερού σε υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες και υφαλμύρινσή τους
- η καταπόντιση της ξηράς εξαιτίας της βαθμιαίας επέλασης της θάλασσας εις βάρος της πρώτης, λόγω της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, οφειλόμενη στην γενικότερη μεταβολή του κλίματος παγκοσμίως
- η βαθμιαία υπερθέρμανση του πλανήτη (global warming), η οποία σημειώνεται αφ' ενός στην βάση της φυσικής τροπής των πραγμάτων (παγετώδεις-μεσοπαγετώδεις περίοδοι), αφ' ετέρου επιδεινώνεται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες (ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου με την αυξανόμενη έκλυση σχετικών αερίων), αποτελώντας έναν «κίνδυνο-πλαίσιο» (context hazard) που δυνητικά έχει ως τελικό απότοκο την αύξηση της έντασης και της συχνότητας επαναφοράς φαινομένων και διαδικασιών που διέπουν ατμοσφαιρικούς και υδρολογικούς κινδύνους κυρίως
- κίνδυνοι εξω-γήινης προέλευσης (extra-terrestrial hazards) όπως η πτώση μετεωροειδών (αστεροειδών, κομητών), που συνιστούν τους πλέον τρομερούς «υπέρ-κινδύνους» ("super-hazards"), καθώς συνδέονται με εξαιρετικά υψηλούς αντίκτυπους, αλλά ενέχουν χαμηλή διακινδύνευση λόγω της μικρής πιθανότητας εμφάνισής τους

Παρά το γεγονός ότι όλοι αυτοί οι κίνδυνοι είναι υπαρκτοί, ο τρόπος που κάποιοι εξ' αυτών εκτυλίσσονται είναι αργόσυρτος, ενώ οι επιζήμιες συνέπειες των

περισσοτέρων είναι διάχυτες και μακροπρόθεσμες, με αποτέλεσμα να συνιστούν διαλανθάνοντες ή δυσδιάκριτους κινδύνους (elusive hazards) (λ.χ. ξηρασία, ερημοποίηση, παγκόσμια κλιματική αλλαγή). Άλλοι, εμπλέκουν τον ανθρώπινο παράγοντα στην πρόκληση του κινδύνου σε τόσο μεγάλο βαθμό (δασικές πυρκαγιές, λιμοί, ρύπανση), ώστε σε πολλές των περιπτώσεων να εκτρέπονται από το «φάσμα του φυσικού», με αποτέλεσμα να εκλαμβάνονται ακόμη ως και «εκούσιοι» κίνδυνοι. Τέλος, άλλοι κίνδυνοι, (ακόμη και) πλανητικής εμβέλειας συνεπειών, αναδύονται τόσο σπάνια, ενώ, ταυτόχρονα, οι οποιεσδήποτε ενέργειες προσαρμογής στην συνεπαγόμενη καταστροφή ή και ανάσχεσης/ αποσόβησης τους καθίστανται αντικειμενικά παντελώς αναποτελεσματικές, μπροστά στην τεράστια ορμή τους (των κινδύνων). Τέτοιοι κίνδυνοι σχετίζονται με τη σύγκρουση αστεροειδών ή κομητών με τη Γη, και (σε μικρότερη εμβέλεια) με τις εμφανίσεις *super-tsunamis*.

Αν και αναγνωρίζεται η σπουδαιότητα, τόσο των αργόσυρτων, όσο και των ανθρωπογενώς επιφερόμενων και σπανίων κινδύνων, η εργασία επικεντρώνεται σε αμιγώς φυσικούς κινδύνους ταχέως εκδηλούμενους, με εύλογες συχνότητες εμφάνισης, στην ανασκόπηση της διακινδύνευσης που απορρέει εξ' αυτών, και στην προσπάθεια διαχείρισης των δυνητικών συμφορών που συνεπάγονται, υπό τη σκοπιά των τεχνολογιών της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ. Επομένως, η ενδελεχής διερεύνηση όλων των λοιπών κινδύνων διαφεύγει των σκοπών και των επιδιώξεων αυτής της εργασίας. Εξ' άλλου, σε κάθε περίπτωση, μια πραγματιστική θεώρηση του ζητήματος, αποτρέπει εκ των πραγμάτων μια ταυτόχρονα συνολική και εις βάθος εξέταση όλων των υπαρκτών (φυσικών) κινδύνων.

2.6 Συγκεφαλαίωση – Σχόλια

Όπως έχει γίνει αντιληπτό από όλα τα παραπάνω, στον «κοινό τόπο» του φυσικού και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος κάνουν την εμφάνισή τους μια σειρά από φαινόμενα και διαδικασίες με δυνητικά επιζήμιους/ φθοροποιούς αντίκτυπους, που αν ενισχυθούν από την υψηλή επιρρέπεια της κοινωνίας, μπορούν να έχον ως αποτέλεσμα μεγάλες συμφορές άμεσα στον ίδιο τον άνθρωπο, ή έμμεσα, διαμέσου της φθοράς και ζημιάς σε αντικείμενα (π.χ. κατασκευές και υποδομές) ή «ζώσες οντότητες» (π.χ. βιοποικιλότητα) που εμφορούνται από υψηλή αξία για αυτόν, είτε για την διαβίωση και συντήρηση του, είτε για την τέρψη και ευχαρίστηση του.

Παρ' όλο που δεν εξετάστηκε σε βάθος ολόκληρο το φάσμα των «φυσικών κινδύνων» – κάτι που διαφεύγει των προθέσεων συγγραφής αυτής της εργασίας, αλλά και ούτως ή άλλως θεωρείται πρακτικά αδύνατο να συμβεί – δόθηκε ένα στίγμα του τρόπου που κάποια συγκεκριμένα και διακριτά φαινόμενα – δυνάμει φυσικοί κίνδυνοι – ενεργοποιούνται στον χώρο και στον χρόνο, σε σχέση και με την ένταση-μέγεθός τους. Επίσης, διαφάνηκε και η ανθρωπογενής διάσταση ως καταλυτικής – πολλές φορές – σημασίας παράμετρος στην πυροδότηση της εμφάνισης, καθώς και στο αντίκρισμα των επιπτώσεων, ή και στη διευθέτηση τους.

Παρακάτω λοιπόν, εφόσον εξετάστηκε η ουσία κάποιων κινδύνων, και η «συνδρομή» της κοινωνικής δυναμικής στην τροποποίηση της διακινδύνευσης και των καταστροφικών επιπτώσεων, επιχειρείται μια, τόσο συνολική, όσο και περιπτωσιολογική διαχειριστική προσέγγιση, μέσα από τις δυνατότητες που προσφέρουν οι τεχνολογίες της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ.

3 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΓΣΠ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ, ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ

[«Δεν μπορούμε να δημιουργήσουμε παρατηρητές λέγοντας «παρατηρήστε», αλλά δίνοντάς τους την δύναμη και τα μέσα για αυτήν την παρατήρηση, με αυτά τα μέσα να αποκτώνται μέσα από την εκπαίδευση των αισθήσεων.»
"We cannot create observers by saying "observe," but by giving them the power and the means for this observation and these means are procured through education of the senses."]

(Maria Montessori)

Η μελέτη των στοιχείων που απαρτίζουν τον κόσμο άρχεται με τη αποκομιδή των αντίστοιχων δεδομένων. Η παρακολούθηση του φυσικού και του πολιτισμικού τοπίου, η λήψη μετρήσεων επ' αυτού, καθώς και οι περαιτέρω διεργασίες επεξεργασίας και ανάλυσης που υλοποιούνται προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα αποτελέσματα – *πληροφορίες* δηλαδή – καθίστανται δυνατές μόνο με την προηγηθείσα απόκτηση *δεδομένων*· η λήψη των τελευταίων επιτυγχάνεται είτε με την άμεση και επιτόπια/ επί του πεδίου συλλογή (*in-situ* or *in-place*) είτε μέσω της «συγκομιδής» τους από κάποια απόσταση (remote distance), *μακρόθεν* δηλαδή.

Σε αυτήν την εργασία προάγεται η δεύτερη μέθοδος, η εξ' αποστάσεως δηλαδή συγκέντρωση δεδομένων της γήινης επιφάνειας, ούτως ώστε να παρατηρηθεί ή/ και παρακολουθηθεί το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον και διαμέσου της εισαγωγής τους (ή «εισροής») τους και της επεξεργασίας τους εντός ενός κατάλληλου συστήματος να «παραχθεί» μια ωφέλιμη «εκροή». Παρακάτω λοιπόν, ύστερα από μια σύντομη εισαγωγή για την ιστορική πορεία μεθόδων και τεχνικών παρατήρησης της Γης από τα «σπάργανά» τους έως τις πρόσφατες εξελίξεις τους, πρόκειται να παρουσιαστεί η Τηλεπισκόπηση ως όρος, αντικείμενο και γνωστικό πεδίο, με τους ορισμούς, τις αρχές, τις διαδικασίες και τα χαρακτηριστικά γνωρίσματά της, καθώς και το εύρος των εφαρμογών της. Ιδιαίτερη δε έμφαση μέλλει να αποδοθεί σε εκείνες που αφορούν στην αξιοποίηση δορυφορικών εικόνων για την ανίχνευση δυνητικών κινδύνων του περιβάλλοντος, τον χωρικό εντοπισμό της διακινδύνευσης εξ' αυτών, την πρόβλεψη της έντασης, της έκτασης ή και του χρονικού ορίζοντα εμφάνισης μιας

φυσικής καταστροφής, αλλά και της εκ των υστέρων αποτίμησης της. Σε αυτό το σημείο, σε άμεση σύνδεση με τα προλεγόμενα των περασμένων κεφαλαίων, περιγράφονται με σαφήνεια οι διάφορες φάσεις του «κύκλου των φυσικών καταστροφών» και ο τρόπος που η Τηλεπισκόπηση εμπλέκεται σε κάθε μία από αυτές. Εν συνεχεία, επιτελείται προσπάθεια να καταγραφούν σε αδρές γραμμές οι αναλυτικές δυνατότητες της Τηλεπισκόπησης οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν για την παρακολούθηση, τον εντοπισμό, την αναγνώριση, την επεξεργασία χαρακτηριστικών και εμφανίσεων της γήινης επιφάνειας, ή μεταβολών τους που συνδέονται με την ανάδειξη φαινομένων και διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα τόσο στο φυσικό περιβάλλον (ανάδυση φυσικών κινδύνων), όσο και στο ανθρωπογενές-δομημένο (ενδείξεις διαβάθμισης τρωτότητας), αλλά και στην μεταξύ τους αλληλοσυσχέτιση και διαπλοκή (ανεύρεση και εκτίμηση διακινδύνευσης, εύρος και κλίμακα φυσικής καταστροφής). Παράλληλα γίνεται αναφορά σε συγκεκριμένες μεθόδους και τεχνικές που υλοποιούνται προκειμένου να πραγματωθούν τα παραπάνω. Εν τέλει, παρουσιάζεται και η διαπλοκή των ΓΣΠ σε αυτό το εγχείρημα.

3.1 Τηλεπισκόπηση: Εισαγωγή, Σύντομο Ιστορικό, Βασικές Αρχές, Χαρακτηριστικά και Εφαρμογές

3.1.1 Εισαγωγή

Ως Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) νοείται κάθε διάβημα προσπορισμού γνώσης και δεδομένων από απόσταση με στόχο την μετέπειτα μετουσίωσή τους σε ωφέλιμη πληροφόρηση. Σύμφωνα με δε με τον επίσημα «καταρτισμένο» ορισμό από την Αμερικανική Κοινότητα για την Φωτογραμμετρία και την Τηλεπισκόπηση (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing – ASPRS), ως Τηλεπισκόπηση «αναγορεύεται» : «*η μέτρηση ή η απόκτηση πληροφορίας για κάποια ιδιότητα ενός αντικειμένου ή φαινομένου, από μια καταγραφική συσκευή η οποία δεν είναι σε φυσική ή «στενή» επαφή με το υπό εξέταση/ μελέτη αντικείμενο ή φαινόμενο*» (Colwell, 1983).

Ως εκ τούτου, τόσο οι τεχνικές των ηχοβολιστικών συσκευών και συστημάτων (sonar), προκειμένου να υπολογιστούν αποστάσεις, ταχύτητες κ.α., όσο και η τεχνική της ανάγνωσης – κατά την οποία η λειτουργία της όρασης χρησιμεύει

ως σύστημα συλλογής συμβόλων, γραμμάτων, φράσεων κ.ο.κ. ενώ η κατοπινή λειτουργία της ερμηνείας τους σε οικεία προς τον άνθρωπο νοήματα επιτελείται από μέρους των εγκεφαλικών διεργασιών – εμπίπτουν υπό μια γενική θεώρηση στις διεργασίες της Τηλεπισκόπησης ή Τηλεανίχνευσης.

Αντιπαρερχόμενοι συστημάτων των οποίων η λειτουργία βασίζεται στην μακρόθεν συλλογή κάθε είδους σημάτων (λ.χ. της μεταβολής της κατανομής των ηχητικών κυμάτων), η προσοχή μας εστιάζεται επί του παρόντος σε εκείνα – καθώς και στις εν γένει τεχνικές και μεθόδους – που ευαισθητοποιούνται στις διακυμάνσεις της Ηλεκτρομαγνητικής Ενέργειας ή του φάσματος της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας (ΗΜΑ).[31]

3.1.2 Πρώιμη Ιστορία και Εξέλιξη

Λήψεις από «Αέρος και Διαστήματος»

Η ιστορία της Τηλεπισκόπησης, με την έννοια της απόκτησης δεδομένων περί της γήινης επιφάνειας, (που αφορούν στην απόκριση στο φάσμα της ΗΜΑ) από ένα αισθητήρα σε απόσταση, ξεκινά πριν από 150 έτη, όταν, το 1858 ο Γάλλος Gaspard-Felix Tournachon (η αλλιώς Nadar) πήρε την πρώτη φωτογραφία πάνω από το Val de Pierre, κοντά στο Παρίσι, από ένα αερόστατο (tethered balloon). Ήδη, περίπου δύο δεκαετίες πριν είχε σημειωθεί η γέννηση της φωτογραφίας μέσα από τα πρωτοποριακά επιτεύγματα των Nicephore Niepse, Louis Jacques Mand Daguerre και Henry Fox Talbot. Η πρώτη υφιστάμενη (έως σήμερα) – από αέρος – φωτογραφία λήφθηκε το 1860, από ένα αερόστατο πάνω από την πόλη της Βοστόνης, από τον James Wallace Black, σηματοδοτώντας μια νέα εποχή όπου, όπως περιγραφόταν στα σύγχρονα περιοδικά[32]: η ίδια πόλη ήταν τόσο διαφορετική όσο και οι οπτικές ενός ιπταμένου πτηνού και ενός πολίτη (Newhall, 1969).

Μετέπειτα, σε μια τάση εκτεταμένης χρήσης των αεροφωτογραφιών για την απόκτηση μετεωρολογικών δεδομένων, τέθηκαν στο προσκήνιο οι ιπτάμενοι αετοί (kites) που με την σειρά τους συνετέλεσαν στην αεροφωτογράφηση, έως το 1908,

[31] Ακόμη πιο συγκεκριμένα, η μέριμνα αυτής της εργασίας είναι εστιασμένη κύρια σε αισθητήρες της ΗΜΑ, που εδράζουν σε εξέδρες που κείνται ή κινούνται σε απόσταση από την φυσική γήινη επιφάνεια, σε τροχιές δορυφόρων.

[32] στο *Atlantic Monthly*, από τον Oliver Wendell Holmes , τον Ιούλιο του 1863

οπότε η συμβολή του αεροπλάνου (του οποίου η εφεύρεση είχε σημειωθεί 5 έτη νωρίτερα) εκτόπισε αετούς και αερόστατα, καθώς διευκόλυνε κατά πολύ την σχετική διενέργεια λήψης (από αέρος) φωτογραφιών. Κατά τα ακόλουθα έτη, η διεθνής συγκυρία ενέτεινε αυτήν την πρακτική, αφού η αναγνώριση του εδάφους δια αεροφωτογραφιών αποτελούσε πρωτεύον μέλημα κατά τη διάρκεια του 1^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου.

Αν και αυτά είναι τα πρώτα γεγονότα στην ιστορία της αεροφωτογραφίας, η οποία αποτελεί μια από τις τεχνικές συλλογής δεδομένων, η λήψη εικόνων από το διάστημα (space imaging) αποτελεί μια άλλη τεχνική η οποία αναπτύχθηκε με κάποια «διαφορά φάσης», έχοντας τις απαρχές της το 1891. Ήταν η χρονιά εκείνη που ένας γερμανός, ο Ludwig Rahrmann προώθησε μια συσκευή-σύστημα που συμπεριλάμβανε μια φωτοληπτική μηχανή προωθούμενη από πύραυλο (rocket-propelled camera system). Μερικά χρόνια αργότερα, (το 1907) ένας άλλος γερμανός, ο Alfred Maul, εισήγαγε την έννοια της γυροσταθεροποίησης (gyrostabilization) και το 1912 εκτόξευσε μια τέτοια συσκευή σε ύψος 790 m (ASP, 1983).

Αργότερα (1960’), μετεωρολογικές και στρατιωτικές εφαρμογές, έφεραν στο προσκήνιο διαστημικά συστήματα παρατήρησης της γης μέσα από τους μετεωρολογικούς δορυφόρους και επανδρωμένα διαστημικά σκάφη. Σε αυτή τη φάση άρχιζε να γίνεται αντιληπτό ότι υπήρχε η δυνατότητα θέασης όχι μόνο της ίδιας της ατμόσφαιρας, αλλά και μέσα από αυτήν. Έτσι, το ενδιαφέρον στράφηκε επιπροσθέτως προς την ανίχνευση των επίγειων πόρων επί της γήινης επιφάνειας. Το 1967 στις Η.Π.Α., για πρώτη φορά, η NASA (National Aeronautics and Space Administration) σε συνεργασία με το Υπουργείο Εσωτερικών, επιδόθηκε στη μελέτη της βιωσιμότητας μιας σειράς Δορυφορικών Τεχνολογιών Επιγείων Πόρων (Earth Resource Technology Satellites – ERTSs). Απόρροια αυτής της μελέτης ήταν η κατάρτιση προγραμματισμένων ενεργειών προς την διαδοχική «εξαπόλυση» μιας σειράς έξι δορυφόρων (ERT-A, ERTS-B,…, ERTS-F, που έμελλαν να μετονομαστούν σε ERTS-1, ERTS-2,..., ERTS-6).

Η «Νέα» Εποχή της Τηλεπισκόπησης

Στις 23 Ιουλίου του 1972 εκτοξεύθηκε ο πρώτος μη επανδρωμένος δορυφόρος, ειδικά σχεδιασμένος για την απόκτηση δεδομένων για του επίγειους

πόρους κατά τρόπο συστηματικό και επαναληπτικό, μέσα από μετρίων αναλύσεων πολυφασματικές λήψεις. Λίγο πριν από την εκτόξευση του ERTS-2, η NASA αποφάσισε να μετονομάσει το πρόγραμμα ERTS σε Landsat – προκειμένου να διαχωριστεί από το αντίστοιχο ωκεανογραφικό πρόγραμμα Seasat. Έτσι, ο ERTS-1 αναδρομικά επονομάστηκε Landsat-1, και όλη η σειρά των έξι δορυφόρων, Landsat-1 – Landsat 7 (καθ' ότι ο Landsat-6 υπέστη βλάβη και έπαψε να λειτουργεί λίγο μετά την εκτόξευσή του) εκτοξεύθηκε έως τον Απρίλιο του 1999.

Παράλληλα, στις αρχές του 1978, αναπτύχθηκε από την Γαλλική κυβέρνηση το πρόγραμμα SPOT (Système Pour l' Observation de la Terre), επί του οποίου συμφώνησαν να συμμετάσχουν το Βέλγιο και η Σουηδία. Μεταβλήθηκε δε σε ένα πρόγραμμα παγκόσμιας εμβέλειας από το γαλλικό Κέντρο Διαστημικών Ερευνών (Centre National des Études Spatiales – CNES). Η εκτόξευση του SPOT-1 στις 21 Φεβρουαρίου του 1986, και των λοιπών τεσσάρων (-2, -3, -4, -5) σηματοδότησε μια νέα εποχή στην δορυφορική τηλεπισκόπηση.

Έκτοτε, έχουν αναπτυχθεί πολλά δορυφορικά τηλεπισκοπικά συστήματα (οπτικά και RADAR), από διάφορα κράτη, όπως το ENVISAT, JERS, IRS κ.α. Όσον αφορά δε κυρίως στον τομέα των οπτικών δορυφορικών συστημάτων παρατήρησης και παρακολούθησης της Γης, οι τελευταίες εξελίξεις έχουν να επιδείξουν ανάλογα συστήματα υψηλής ανάλυσης. Έτσι, από τον Σεπτέμβριο του 1999 και τον Οκτώβριο του 2001, έχουν τεθεί σε τροχιά οι δορυφόροι IKONOS και Quickbird αντίστοιχα, οι οποίοι καταγράφουν την επιφάνεια της γης υπό πολύ υψηλές αναλύσεις, ενώ αποδίδουν απεικονίσεις σε υψηλές διαβαθμίσεις των τόνων του γκρι.

Τις τελευταίες δεκαετίες, τα τεχνολογικά άλματα, τόσο στον τομέα της διαστημικής εξερεύνησης, όσο και της μακρόθεν παρακολούθησης της Γης (τηλεπισκοπικοί δέκτες) έχουν κρίσιμους αντίκτυπους στην γνώση του ανθρώπου για τον πλανήτη. Άλλωστε, όπως σημειώνουν και οι Lillesand *et. al* (2004), η συγχώνευση των παραπάνω τεχνολογιών έχει προκαλέσει τόσο πολύ το ενδιαφέρον και έχει εγείρει τόσες εφαρμογές όσο ενδεχομένως κανένας άλλος συνδυασμός, ενώ ταυτόχρονα το πλέον ουσιώδες απόκτημα αυτού του συγκερασμού επαφίεται της θεώρησης και «θέασης» του πλανήτη Γη ως ενιαίο σύστημα, με ότι αυτό συνεπάγεται για την επίδραση του ανθρώπινου γένους στην αλληλοσυσχέτισή του με τους φυσικούς πόρους.

Τύποι Δορυφόρων

Σε αυτό το σημείο, σκόπιμη θεωρείται η διάκριση των δορυφορικών συστημάτων τηλεπισκόπησης στη βάση των χαρακτηριστικών/ εμφανίσεων/ αντικειμένων που είναι σχεδιασμένοι να εντοπίζουν, καθώς και στις παραμέτρους που καθορίζουν τις ακολουθούμενες πορείες της τροχιάς τους (υψόμετρο, κλίση/ διεύθυνση, περίοδος κ.α.). Όπως άλλωστε έχει διαφανεί και από τα παραπάνω, οι δορυφόροι μπορούν να διακριθούν σε δύο τύπους: στους μετεωρολογικούς (meteorological) και στους αντίστοιχους παρατήρησης και παρακολούθησης των επίγειων πόρων (earth resource), με τους πρώτους να παρουσιάζουν πολύ πιο αδρή (coarse) χωρική ανάλυση. Σε μια άλλη κατηγοριοποίηση, οι δορυφόροι διαχωρίζονται σε γεωστατικούς (geostationary) και ηλιοσύγχρονους (sun-synchronous). Αυτός ο διαχωρισμός σχετίζεται κυρίως με την τροχιακή περίοδο, αλλά και με την κλίση, δηλαδή την γωνία με την οποία η τροχιά ενός δορυφόρου τέμνει την νοητή καμπύλη του Ισημερινού. Επεξηγηματικά, τροχιές που τέμνουν με γωνίες περί τις 90° τον ισημερινό καλούνται σχεδόν πολικές, ενώ τροχιές παράλληλες προς τον ισημερινό (κλίση ίση με 0°), ονομάζονται ισημερινές. Οι Γεωστατικοί (GOES – Geostationary Operational Environmental Satellites) εκτελούν μια γεωστατική τροχιά, ισημερινή (δηλ. η κλίση της τροχιάς τους είναι μηδενική) ενώ βρίσκονται σε ένα τροχιακό υψόμετρο 36.000 m, κάτι που συνεπάγεται τροχιακή περίοδο 24 ωρών, προκειμένου να εντοπίζονται διαρκώς σε μια σχετικά σταθερή θέση πάνω από τον Ισημερινό, και ως εκ τούτου να είναι φαινομενικά στατικοί. Τέτοιοι τύποι δορυφόρων προορίζονται αποκλειστικά για μετεωρολογικές εφαρμογές – με χωρικές αναλύσεις άνω του 1 km. Από την άλλη, δορυφορικά συστήματα που είναι σχεδιασμένα κατά τρόπο που η τροχιακή περίοδος και η κλίση τους να είναι τέτοια ώστε να συγχρονίζονται με την (από τα ανατολικά προς τα δυτικά) περιστροφή της γης και να τέμνουν τον ισημερινό (και φυσικά να καλύπτουν την ίδια περιοχή της γης) την ίδια ακριβώς τοπική ώρα, ονομάζονται ηλιοσύγχρονα. Δορυφόροι με τροχιές σχεδόν πολικές, ηλιοσύγχρονες μπορεί να είναι τόσο οι μετεωρολογικοί δορυφόροι της σειράς NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), όσο και επιγείων παρατηρήσεων (Landsat, SPOT κ.α.). Επιπλέον, άλλοι τύποι δορυφόρων που υπάγονται σε αυτήν την κατηγορία είναι οι εκείνοι του Defense Meteorological Satellite Program – υπό την διεύθυνση της NOAA – οι οποίοι, αν και έχουν πολύ χαμηλές αναλύσεις,

καταγράφουν επίγεια φαινόμενα και εμφανίσεις. Τέλος υφίστανται και οι Δορυφόροι Ωκεάνιας Παρακολούθησης (Ocean Monitoring Satellites).

3.1.3 Ορισμοί και Αρχές

Ορισμοί και Επιδιώξεις

Όπως προκύπτει και ετυμολογικά, η λέξη Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing) είναι σύνθετη, και απαρτίζεται από το πρόθεμα τηλε (επίρρημα) και το θέμα επισκοπέω-ώ (ρήμα), δηλαδή επιβλέπω, παρακολουθώ εξ' αποστάσεως ή μακρόθεν (από μακριά). Προφανώς, η εξ' αποστάσεως επισκόπηση ανάγεται στην λήψη εικόνων (δεδομένων) από δορυφόρους ή και από αεροπλάνα. Παρακάτω παρατίθενται κάποιοι ορισμοί που περιγράφουν σε αδρές γραμμές το περιεχόμενο και την χρησιμότητα της τηλεπισκόπησης.

Έτσι, οι Avery and Berlin (1992) την προσδιορίζουν ως την τεχνική απόκτησης πληροφορίας για αντικείμενα που υφίστανται στην γήινη επιφάνεια από ειδικά όργανα που δεν έχουν φυσική επαφή με αυτά, η οποία και επιπροσθέτως ενέχει και την πτυχή της αναγνώρισης αντικειμένων εξ' αποστάσεως. Από την άλλη, οι Lillesand *et al.* (2004), σε έναν πιο διευρυμένο ορισμό ορίζουν την Τηλεπισκόπηση ως την επιστήμη και τέχνη με την οποία επιτυγχάνεται η πληροφόρηση για αντικείμενα, περιοχές, φαινόμενα, μέσω της ανάλυσης δεδομένων που αποκτήθηκαν από μέσα που δεν είναι σε επαφή με τα εξεταζόμενα (αντικείμενα, περιοχές, φαινόμενα). Επιπλέον, ο Gupta (1991) προσδίδει ακόμη πιο ρητά διττή διάσταση στον όρο και, πέραν της αναγνώρισής της ως της τεχνικής απόκτησης δεδομένων από ένα μέσο που βρίσκεται απομακρυσμένο σε σχέση με το αντικείμενο που καταγράφεται, επικεντρώνεται στην ανάδειξη της σημασίας της ανάλυσης αυτών των δεδομένων για την ερμηνεία του αντικειμένου.

Επομένως, από τα παραπάνω αρχίζει να καθίσταται αντιληπτό το γεγονός ότι το αντικείμενο της Τηλεπισκόπησης ενέχει αφ' ενός μεν την διενέργεια συλλογής δεδομένων, αφ' ετέρου δε εμπεριέχει και την πτυχή της επεξεργασίας τους. Αυτές οι δύο *διεργασίες (procedures)* – η συλλογή και η ανάλυση δεδομένων – σύμφωνα με τον Jensen (2000) εμπίπτουν στην ευρύτερη *τηλεπισκοπική διαδικασία (remote sensing procedure)* η οποία ενσωματώνει επιπροσθέτως και άλλες δύο: τον

καθορισμό του προβλήματος (statement of the problem) – σε προηγούμενη φάση αυτής της συλλογής δεδομένων – και, εν τέλει, την παρουσίαση της πληροφορίας (information presentation), ούτως ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα και να καταστεί δυνατή η οποιαδήποτε διενέργεια λήψης αποφάσεων. Η όλη διαδικασία παρατίθεται σχηματικά στο Παράρτημα Ι.

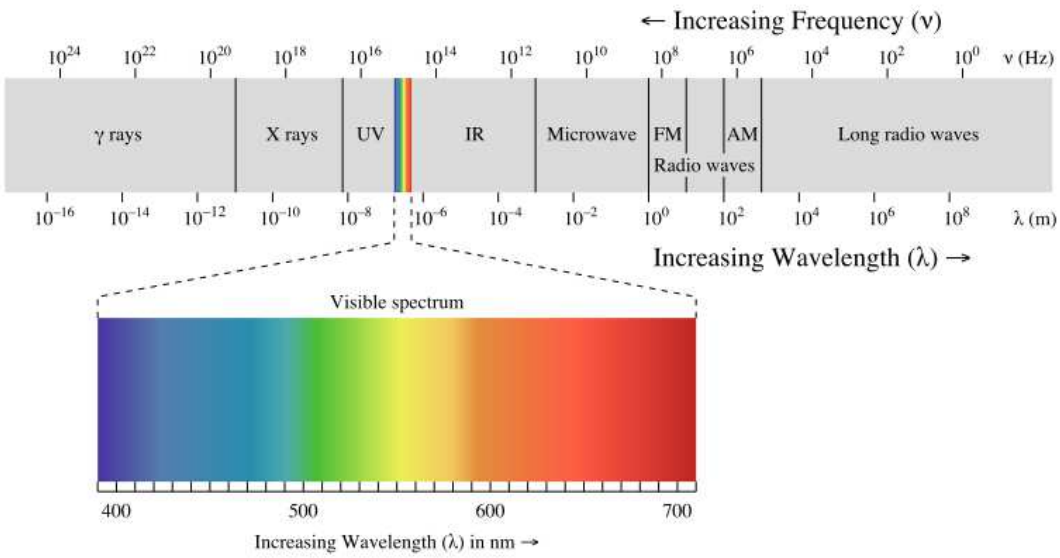
Επί της παρούσας εργασίας υιοθετείται σε αδρές γραμμές το θεωρητικό αυτό μοντέλο, προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις, αλλά και τις επιδιώξεις της (εργασίας). Έτσι, ως πλέον πρόσφορα δεδομένα συλλογής κρίνονται τα ψηφιακά δεδομένα (ψηφιακές εικόνες), κυρίως από παθητικά (passive digital), και δευτερευόντως από ενεργητικά (active digital) τηλεπισκοπικά συστήματα, ενώ γίνεται λόγος και για τις αεροφωτογραφίες. Όσον αφορά στην διεργασία ανάλυσης δεδομένων, επιλέγεται πρωτίστως η ανάδειξη της ψηφιακής επεξεργασίας των προαναφερθέντων ψηφιακών δεδομένων (digital image processing), ενώ, κατά περίπτωση σε αυτήν την ανάλυση μπορεί να συνεπικουρήσει και μια, αναλογική, φωτοερμηνευτική τεχνική[33]. Η δε τελική ανάλυση και παρουσίαση των δεδομένων προβλέπεται να επιτελεστεί τόσο σε ψηφιακό, όσο και σε αναλογικό τύπο, με την μορφή τελικών παραγόμενων εικόνων και χαρτών με την βοήθεια και των ΓΣΠ. Ο καθορισμός του προβλήματος δεν προσεγγίζεται ως διακριτή φάση και με την έννοια που εκλαμβάνεται στο μοντέλο, αλλά το νόημα και η σημασία της επικαθορίζεται από την εφαρμογή που πρόκειται να επιτελεστεί. Ανεξάρτητα όμως από την εφαρμογή, η συνέχιση της εργασίας χρήζει την κατηγοριοποίηση στοιχείων, την αποσαφήνιση όρων, και την παρουσίαση ή και την «μύηση» στα χαρακτηριστικά που διέπουν κάθε μία διεργασία, καθώς και την διαδικασία στο σύνολό της.

Αρχές

Συνεπώς, αρχικά, θα πρέπει να παρουσιαστούν εν συντομία οι αρχές λειτουργίας ενός τηλεπισκοπικού συστήματος που βασίζεται στην καταγραφή της ανακλώμενης ή επανεκπεμπόμενης ΗΜΑ (παθητικά συστήματα). Η ΗΜΑ εξαπλώνεται σε ένα πολύ ευρύ φάσμα *μηκών κύματος*, ενώ το ορατό φως καταλαμβάνει ένα πολύ μικρό τμήμα αυτού του φάσματος. Η ηλεκτρομαγνητική

[33] όσον αφορά στις τεχνικές της φωτογραμμετρίας, της ποσοτικής δηλαδή φωτοερμηνείας, γίνεται μια απλή αναφορά

ενέργεια ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός *c*, κατά ημιτονοειδή τρόπο, ενώ, όπως ισχύει για κάθε ηλεκτρομαγνητικό κύμα, διέπεται από τη σχέση $c = \nu\lambda$. Η απόσταση λοιπόν μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών αποτελεί το *μήκος κύματος* λ, ενώ ο αριθμός των διαδοχικών κορυφών που διέρχονται από ένα δεδομένο σημείο στον χώρο στην μονάδα του χρόνου τη *συχνότητα* ν, και, καθ' ότι η ταχύτητα του φωτός συνιστά μια σταθερά, το μήκος κύματος και η συχνότητα είναι αντιστρόφως ανάλογες μεταξύ τους· αρκεί δε για τον χαρακτηρισμό του κύματος η μία από τις δύο μεταβλητές, είθισται όμως να χρησιμοποιείται το μήκος του κύματος για την πιο άμεση περιγραφή των φασματικών καναλιών (Sabins, 1997), και δη η θέση του συγκεκριμένου μήκους κύματος εντός του *ηλεκτρομαγνητικού φάσματος* (Σχ. 8), παρ' όλο που η συχνότητα είναι το μέγεθος που παραμένει σταθερό κατά την διάδοση της ακτινοβολίας διαμέσου υλικών διαφορετικής πυκνότητας, ενώ ταυτόχρονα διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο στην αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και επιφάνειας πρόσπτωσης, όσον αφορά στο βάθος διείσδυσης της πρώτης, ή/ και στη διάχυσή της από μια τραχιά επιφάνεια (Elachi, 1987).



Σχήμα 8: Φάσμα της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας

Πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/Image:EM_spectrum.svg

Η ηλιακή ακτινοβολία που τελικά προσπίπτει σε κάποιο στοιχείο/ εμφάνιση της γήινης επιφάνειας – εφόσον/ και στον βαθμό που της «επιτραπεί» η διέλευση από την γήινη ατμόσφαιρα, καθώς υφίσταται σκέδαση και απορρόφηση – υπόκειται σε

τρεις κύριες αλληλεπιδράσεις με το εκάστοτε «γήινο χαρακτηριστικό»: διάφορα ποσά («κλάσματα») της προσπίπτουσας ενέργειας ανακλώνται, είτε/ και απορροφώνται, είτε/ και μεταδίδονται (διέρχονται) από τα εν λόγω αντικείμενα[34]. Ισχύει λοιπόν η σχέση:

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda),$$

όπου

E_I : προσπίπτουσα ενέργεια (incident energy)

E_R : ανακλώμενη ενέργεια (reflected energy)

E_T : απορροφώμενη ενέργεια (absorbed energy)

E_A : μεταδιδόμενη ενέργεια (transmitted energy)

συναρτήσει πάντοτε του μήκους κύματος (λ).

Η αξιολόγηση της διακύμανσης των μερών που αλληλεπιδρούν στην παραπάνω εξίσωση προσδίδει ζωτικής σημασίας χρησιμότητα στις αρχές και τις εφαρμογές της τηλεπισκόπησης. Έτσι, τα αντίστοιχα ποσά θα ποικίλλουν αφ' ενός μεν για δεδομένο μήκος κύματος, αλλά για διαφορετικά χαρακτηριστικό της γης, αφ' ετέρου δε για το ίδιο γήινο χαρακτηριστικό, αλλά για διαφορετικά μήκη κύματος (Lillesand *et al.*, 2004). Ιδιαιτέρως το δεύτερο σκέλος της παραπάνω επιχειρηματολογίας ίσως και να αποτελεί το θεμέλιο της πεμπτουσίας της φωτοερμηνευτικής μεθόδου[35] στην τηλεπισκοπική διαδικασία, για τον απλούστατο μεν, ουσιωδέστατο δε λόγο ότι δυο χαρακτηριστικά τα οποία φαίνονται πανομοιότυπα σε μια δεδομένη ζώνη του (ηλεκτρομαγνητικού) φάσματος, σε μια άλλη ενδεχομένως διαφέρουν πλήρως.

Εν γένει, τα διάφορα τηλεπισκοπικά συστήματα «δραστηριοποιούνται» σε φασματικές περιοχές όπου η ανακλώμενη ενέργεια είναι αυτή που επικρατεί[36]. Οπότε, όπως το ανθρώπινο μάτι διαχωρίζει τα διάφορα αντικείμενα ανάλογα με τις φασματικές διαφοροποιήσεις που – εντός του ορατού φάσματος – έχουν ως ορατό αντίκτυπο την διαφορική αντίληψη του *χρώματος* («κόκκινα» όταν ανακλούν πιο ισχυρά στο ερυθρό τμήμα του φάσματος, «πράσινα» όταν ανακλούν πιο ισχυρά στο

[34] Οι Lillesand *et al.* (2004) κατηγοριοποιούν τις αλληλεπιδράσεις σε τέσσερις κατηγορίες. Εκτός λοιπόν από τις γνωστές, εντάσσουν και την διάχυση.

[35] με την ευρύτερη έννοια της, είτε δηλαδή αναφέρεται στην αναλογική (οπτική), είτε στην ψηφιακή ανάλυση και επεξεργασία εικόνας

[36] Πολλοί δέκτες ευαισθητοποιούνται και στο θερμικό υπέρυθρο, στην επανεκπεμπόμενη ακτινοβολία, τα δε (ενεργητικά) συστήματα RADAR λειτουργούν στη βάση της καταγραφής της επανασκεδαζόμενης μικροκυματικής ακτινοβολίας την οποία έχουν εκπέμψει προηγουμένως.

πράσινο τμήμα του φάσματος κ.ο.κ.), έτσι και τα αντίστοιχα συστήματα τηλεπισκόπησης – σε πιο διευρυμένες φασματικές ζώνες – κάνουν χρήση των διακυμάνσεων της έντασης της ανακλώμενης ενέργειας για να «διακρίνουν» τα διάφορα αντικείμενα[37]. Βεβαίως, δεν θα πρέπει να αμελείται ο τρόπος με τον οποίο ανακλάται η προσπίπτουσα ακτινοβολία από κάθε σώμα-ανακλαστήρα. Οι δύο βασικές, αλλά «ακραιφνείς» κατηγορίες ανακλαστήρων είναι οι *κατοπτρικοί (specular)* και *διαχυτικοί (diffuse)*. Από τις ονομασίες τους γίνεται εύκολα αντιληπτή η γεωμετρία και η «συμπεριφορά» της ανάκλασης του εκάστοτε σώματος. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί αυτό που ρητά διατυπώνουν οι Lillesand *et al.* (2004), ότι δηλαδή στην τηλεπισκόπηση το ενδιαφέρον επικεντρώνεται ως επί το πλείστο στην καταγραφή και καταμέτρηση της διαχεόμενης ανακλώμενης ακτινοβολίας εκ των χαρακτηριστικών/ εμφανίσεων του εδάφους, καθ' ότι στις ιδιότητες της διαχεόμενης εμπεριέχεται η φασματική πληροφορία του «χρώματος», ενώ στις αντίστοιχες της κατοπτρικής απουσιάζει.

Προκειμένου λοιπόν να ποσοτικοποιηθεί η κατά τα άλλα χρήσιμη ανακλώμενη ενέργεια, και μάλιστα ως συνάρτηση της αρχικής ή προσπίπτουσας ενέργειας, δεδομένης της εκάστοτε τιμής του μήκους κύματος, έχει εισαχθεί το μέγεθος της *φασματικής ανάκλασης (spectral reflectance)*, ρ_λ, που ορίζεται ως ο λόγος της ενέργειας μήκους κύματος λ που ανακλάται από κάποιο αντικείμενο προς την ενέργεια αντίστοιχου μήκους κύματος που προσπίπτει σε αυτό το αντικείμενο και μαθηματικά εκφράζεται ως:

$$\rho_\lambda = \left[\frac{E_R(\lambda)}{E_I(\lambda)}\right] * 100 \text{, ως ποσοστό,}$$

το δε γράφημα της συνάρτησης της φασματικής ανάκλασης ως προς το μήκος κύματος αποτελεί την *καμπύλη φασματικής ανάκλασης*.

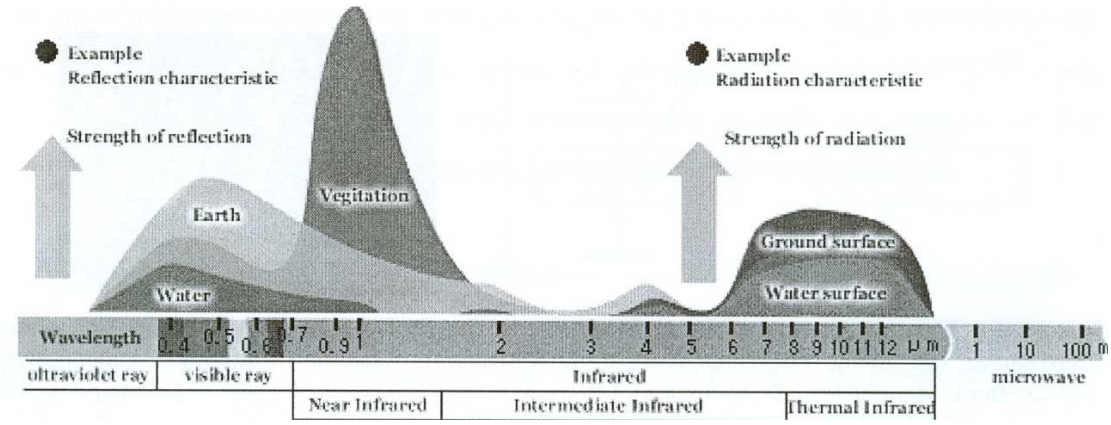
Η φασματική ανάκλαση ή απόκριση ποικίλλει από χαρακτηριστικό σε χαρακτηριστικό της γήινης επιφάνειας, καθώς μεταβάλλεται το μήκος κύματος. Επομένως, η καμπύλη φασματικής ανάκλασης για κάθε γενική κατηγορία

[37] Η παραπάνω εξίσωση, υπό την μορφή $E_R(\lambda) = E_I(\lambda) - [E_A(\lambda) + E_T(\lambda)]$, παρέχει την δυνατότητα της θεώρησης της ανακλώμενης ενέργειας, ως την προσπίπτουσα, μειωμένη κατά το άθροισμα της απορροφώμενης και της μεταδιδόμενης.

χαρακτηριστικών/ εμφανίσεων (βλάστηση, νερό, χώμα, τσιμέντο) της επιφάνειας της γης είναι ξεχωριστή. Φυσικά, σημασία έχει ποια περιοχή του φάσματος εξετάζεται. Έτσι, αν εξεταστούν οι γενικές κατηγορίες «νερό» και «βλάστηση» στο τμήμα του ορατού φάσματος, δεν θα προκύψει δυνατότητα διαχωρισμού τους με πολύ μεγάλη σαφήνεια καθώς οι ανακλαστικότητές τους τείνουν να προσομοιάζουν, ενώ αντίθετα η «παρατήρησή» τους στο εγγύς υπέρυθρο εξαλείφει τις αμφιβολίες, εφόσον διαφοροποιούνται δραματικά οι φασματικές ανακλαστικότητές τους (Σχ. 9). Γενικά, οι διαφορετικές αυτές φασματικές αποκρίσεις των γενικών κατηγοριών αντικειμένων, καλούνται *φασματικές υπογραφές* (*spectral signatures*). Σύμφωνα όμως με τους Lillesand *et al.* (2004), παρά την ιδιαιτερότητα των (καμπυλών) φασματικών ανακλαστικοτήτων που χαρακτηρίζουν τις παραπάνω κατηγορίες, αυτές οι ιδιαιτερότητες τείνουν να «απολήγουν» σε φασματικά *«πρότυπα αποκρίσεων»* μάλλον, παρά σε φασματικές *«υπογραφές»*, καθ' ότι ο δεύτερος όρος παραπέμπει στο απόλυτο και στο μοναδικό, κάτι που δεν συμπίπτει με τις διακριτές άλλα όχι και κατ' ανάγκη μοναδικές φασματικές αποκρίσεις κατά την παρατήρηση των φυσικού κόσμου. Και ενώ αυτή η ανυπαρξία αποκλειστικότητας επιφέρει κάποια σύγχυση κατά την αναζήτηση (με αξιοποίηση του φασματικού προτύπου) ξεχωριστών ομοειδών αντικειμένων (γενικών θεματικών κατηγοριών), ειδικά σε περιπτώσεις όπου το ζητούμενο είναι η αναζήτηση και αναγνώριση επιμέρους «μελών» της ίδιας γενικής θεματικής κατηγορίας/ κλάσης (π.χ. έλατα από πεύκα), ή ακόμη πιο συγκεκριμένα η ανίχνευση της κατάστασης εντός της ίδιας, ειδικότερης (θεματικής) κατηγορίας (π.χ. διάκριση υγιούς/ μη υγιούς βλάστησης – healthy/ stressed vegetation), τότε διαφαίνεται επιτακτική η «προσφυγή» στην ποικιλομορφία και την μεταβλητότητα/ ευμεταβλησία των φασματικών *«προτύπων απόκρισης»*.

Αυτή δε η ποικιλομορφία απορρέει και από ορισμένες «εξωγενείς» συνθήκες. Πέρα λοιπόν από την εξέταση των εγγενών χαρακτηριστικών των αντικειμένων αυτών καθ' αυτών, θα πρέπει κανείς να επιλαμβάνεται των εμπλεκόμενων *χωρικών και χρονικών επιδράσεων* (*spatial/ temporal effects*). Οι πρώτες αναφέρονται σε παράγοντες οι οποίοι τροποποιούν την φασματική απόκριση πανομοιότυπων θεματικών κατηγοριών σε μια δεδομένη *χρονική στιγμή*, αλλά σε διαφορετικές *γεωγραφικές περιοχές*. Οι δεύτερες αφορούν στη μεταβολή της φασματικής απόκρισης ίδιων θεματικών κατηγοριών αντικειμένων που απαντώνται σε δεδομένη *γεωγραφική περιοχή*, υπό την επενέργεια της παρόδου του *χρόνου*. Και σε αυτήν την

περίπτωση, ενώ αυτές οι περιρρέουσες συνθήκες δείχνουν να περιπλέκουν την κατάσταση, εντούτοις, πολλές φορές, η συνειδητή αξιοποίηση τους μπορεί να οδηγήσει στην «αποκομιδή» της επιθυμητής πληροφόρησης. Η τελευταία μπορεί να αφορά ακριβώς στην ανάδειξη αυτών των επιδράσεων. Έτσι, ειδικά στην περίπτωση που αναζητούνται οι χρονικές επιδράσεις, η ανάδυση μιας διαδικασίας όπως η *ανίχνευση μεταβολών* (*change detection*) αποφέρει τέτοια ωφέλιμη πληροφορία. Ας σημειωθεί πως σε αυτήν την «ευκαιρία» και προοπτική που παρέχεται μέσα από αυτήν την διαδικασία πρόκειται να εδρασθεί η υλοποίηση μιας εφαρμογής, στο πλαίσιο μιας μελέτης περίπτωσης, στο επόμενο κεφαλαίο.



Σχήμα 9: Τυπικές καμπύλες φασματικής απόκρισης για διάφορα υλικά της γήινης επιφάνειας

Πηγή: CCRS, 1998 (www.ccrs.nrcan.gc.ca)

3.1.4 Χαρακτηριστικά, Ιδιότητες και Δυνατότητες

Εφόσον στα παραπάνω έγινε μια σύντομη εισαγωγή στις αρχές λειτουργίας των τηλεπισκοπικών συστημάτων, επί του παρόντος πρόκειται να περιγραφούν οι τρόποι καταγραφής και απόδοσης της ΗΜΑ μέσω αυτών των συστημάτων, τα επιμέρους χαρακτηριστικά και ιδιότητες τους που «ρυθμίζουν» το μέτρο των δυνατοτήτων διενέργειας τέτοιων λειτουργιών, αλλά και οι τύποι και διεργασίες μέσω των οποίων επιτελείται η επεξεργασία των δεδομένων συλλογής-καταγραφής.

Είδη Αισθητήρων – Συστήματα Καταγραφής και Απεικόνισης

Ο όρος απομακρυσμένοι αισθητήρες (remote sensors) αναφέρεται σε εκείνα τα όργανα που ανιχνεύουν και καταμετρούν εξ' αποστάσεως την ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ακτινοβολία επί της γήινης επιφάνειας, καθώς και τα ανακλώμενα ακουστικά κύματα από στοιχεία που βρίσκονται υποβυθισμένα σε υδατικές μάζες (sonar) (Avery and Berlin, 1992). Αυτοί οι αισθητήρες διακρίνονται σε δύο γενικές κατηγορίες: τους καταγραφικούς, και τους απεικονιστές. Στους πρώτους, μετράται η ένταση της ακτινοβολίας, και, υπό διαρκείς διακυμάνσεις του μήκους κύματος, επιτυγχάνεται η καταγραφή της σε διαφορετικά φασματικά κανάλια. Στους δεύτερους, συντίθεται μια εικόνα των αντικειμένων ή εμφανίσεων που ανιχνεύουν, με ταυτόχρονη καταγραφή των δύο διαστάσεων (μήκους και πλάτους).

Οι απεικονιστές, επιπλέον διαχωρίζονται, ανάλογα με τις διεργασίες ανίχνευσης (π.χ. φωτογραφικοί ή απεικονιστές τηλεόρασης) και ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους ή με τη φασματική περιοχή λειτουργίας τους (ενεργητικοί-παθητικοί (οπτικοί), πολυφασματικοί-υπερφασματικοί).

Οι οπτικοί λειτουργούν στις περιοχές του ορατού, υπεριώδους και υπέρυθρου του φάσματος, αξιοποιώντας την ανάκλαση, ή την επανεκπομπή (στο υπέρυθρο θερμικό) της ΗΜΑ. Και ενώ οι αρχές λειτουργίας των παθητικών-οπτικών συστημάτων βασίζονται στην ανακλώμενη, ή επανεκπεμπόμενη ακτινοβολία στο ορατό και στο υπέρυθρο τμήμα του φάσματος της ΗΜΑ, όπως περιγράφεται παραπάνω, τα ενεργητικά συστήματα Radar (Radio Detection And Ranging) ενεργοποιούνται στο μικροκυματικό (microwave) τμήμα το φάσματος.

Τα συστήματα Radar μπορούν να διακριθούν σε εκείνα που παράγουν εικόνες, και σε εκείνα που δεν παράγουν, καθώς και σε εκείνα που εδράζουν επί του εδάφους και σε εκείνα που κείνται επί μιας εναέριας εξέδρας (δηλ ένα αεροσκάφος ή ένα τεχνητό δορυφόρο). Μια ειδική κατηγορία Radar είναι τα συστήματα SAR (Synthetic Aperture Radar – Radar Συνθετικού Ανοίγματος), τα οποία διαφέρουν από τα κοινά SLR (Side-Looking Radar – Radar Πλευρικής Σάρωσης). Τα πρώτα, αν και πολύ πιο πολύπλοκα και μεγάλου κόστους κατασκευής υπερτερούν έναντι των δεύτερων, λόγω της καλύτερης ανάλυσής τους που οφείλεται στο μικρό μήκος κεραίας τους (Avery & Berlin, 1992). Ειδικότερα, τα συστήματα SAR τα οποία καταγράφουν τη μικροκυματική ακτινοβολία, ως επί το πλείστο ονομάζονται ενεργά (active) λόγω της δυνατότητάς τους να εκπέμπουν παλμούς μικροκυματικής ακτινοβολίας διάρκειας μερικών λεπτών από μια κεραία που βρίσκεται επάνω στον

δορυφόρο ή στο αεροσκάφος, και έτσι να αποτελούν πηγές ενέργειας ή φωτισμού. Η μικροκυματική ακτινοβολία διαδίδεται μέσω της ατμόσφαιρας προς τη γήινη επιφάνεια, σκεδάζεται ή ανακλάται, και στη συνέχεια ένα μέρος της επιστρέφει προς την κεραία του δορυφόρου, ενώ το υπόλοιπο χάνεται προς διαφορετική κατεύθυνση. Η καταγραφή του χρόνου επιστροφής του παλμού στα όργανα του δορυφόρου είναι αυτή που καθορίζει τη θέση των γήινων χαρακτηριστικών στην εικόνα. Η λειτουργία αυτή έρχεται σε πλήρη αντίθεση με την αντίστοιχη των παθητικών (passive) οπτικών συστημάτων τα οποία απλώς καταγράφουν την ενέργεια που εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια σε διαφορετικά μήκη κύματος και η οποία εξαρτάται από τη γωνιακή απόσταση (Lillesand & Kiefer, 2000).[38]

Τα βασικά πλεονεκτήματα των ενεργητικών συστημάτων καταγραφής έγκεινται στην δυνατότητα απρόσκοπτης λειτουργίας τους ανεξάρτητα από την ηλιακή φωτεινότητα ή σκίαση του γήινου αναγλύφου και τις καιρικές συνθήκες (λειτουργούν ημέρα και νύχτα σε περιπτώσεις μερικής ή ολικής νεφοκάλυψης).

Σε αυτό το σημείο δεν θα γινόταν να παραληφθεί μια πολύ σημαντική εφαρμογή της λειτουργίας των radar στην παραγωγή τοπογραφικών χαρτών, η οποία βασίζεται στην συμβολομετρία απεικονιστικών radar (imaging radar interferometry), μέσω της ανάλυσης των φάσεων των σημάτων radar, από δύο κεραίες οι οποίες εντοπίζονται σε διαφορετικά σημεία στον χώρο. Η διαφορά των αποστάσεων των επιστρεφουσών μικροκυματικών ακτινοβολιών στις δύο κεραίες radar (που σκοπεύουν το ίδιο σημείο P) συνεπάγεται μια διαφορά φάσης (0-2π ακτίνια), που, σε συνδυασμό με την ακριβή γνώση της *συμβολομετρικής βάσης λήψης* (*interferometric baseline*), είναι εφικτός ο υπολογισμός του υψομέτρου του σημείου P. Η δημιουργία συμβολογραφημάτων (interferograms) προκύπτει από radar τόσο εναέριων, όσο και διαστημικών εξέδρων, αντίστοιχα κατά την πτήση αεροσκαφών ή κατά την ακολουθούμενη τροχιά δορυφόρων, στη βάση *απλού* ή *επαναληπτικού περάσματος* (*single or repeat pass*). Στην πρώτη περίπτωση, και οι δύο κεραίες ενυπάρχουν στο ίδιο αεροσκάφος ή δορυφόρο, όπου η μία λειτουργεί τόσο ως πομπός όσο και ως δέκτης, ενώ η δεύτερη μόνο ως δέκτης· η δε συμβολομετρική βάση λήψης ισούται με την φυσική απόσταση των δύο κεραιών. Στην δεύτερη περίπτωση, το αεροσκάφος, ή

[38] Πάντως, μια ειδική περίπτωση είναι τα παθητικά μικροκυματικά, τα οποία ανιχνεύουν την φυσικά διαθέσιμη μικροκυματική ακτινοβολία εντός του πεδίου λήψεως τους, σε αντίθεση με τα ενεργά μικροκυματικά τα οποία καταγράφουν παλμούς μικροκυματικής ακτινοβολίας τους οποίους προηγουμένως έχουν εκπέμψει.

ο δορυφόρος διαθέτει μόνο μια κεραία η οποία λειτουργεί ως πομπός και ως δέκτης σε δύο ή περισσότερα περάσματα από την ίδια περιοχή ενδιαφέροντος· η δε συμβολομετρική βάση λήψης ισούται με την απόσταση μεταξύ δύο γραμμών πτήσεων, ή μεταξύ των ακολουθούμενων δορυφορικών τροχιών. Μια ειδική περίπτωση αποτελούν τα δεδομένα-εικόνες *InSAR* (*Interferometric Synthetic Aperture Radar – Συμβολογραφήματα Radar Συνθετικού Ανοίγματος*), που χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την εξαγωγή/ παραγωγή *Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους*, (DEM – Digital Elevation Models).

Καταχώρηση/ Εγγραφή της ΗΜΑ και Τύποι Εικόνων

Ύστερα από την ανάπτυξη των αρχών που διέπουν την ΗΜΑ, την ανάλυση του τρόπου που αυτή αλληλεπιδρά με την ατμόσφαιρα και με τη γήινη επιφάνεια, την διάκριση των λήψεων από αέρος ή από διαστήματος, καθώς και την ταξινόμηση δορυφόρων και δεκτών, σε αυτό το σημείο θεωρείται χρήσιμο να επισημανθεί πως υφίσταται μια κρίσιμη διάκριση στον τρόπο που αποκτούνται τα σήματα της ΗΜΑ. Οι ιδιαίτερες διεργασίες – *ανίχνευσης και καταχώρησης/ εγγραφής* – προκειμένου να παραχθεί μια εικόνα έχει αντίκτυπο τόσο στη διάκρισή της σε διάφορους τύπους (εικόνων), όσο και στον τρόπο που αυτή μπορεί να γίνει μετέπειτα αξιοποιήσιμη.

Ξεκινώντας λοιπόν με αυτές τις διεργασίες *ανίχνευσης* της ΗΜΑ, οι τελευταίες μπορούν να επιτευχθούν είτε φωτογραφικά, σε ένα φωτογραφικό φιλμ (film) μέσω χημικών αντιδράσεων σε μια φωτοευαίσθητη μεμβράνη (φωτογραφικό φιλμ), είτε ηλεκτρονικά, μέσω της δημιουργίας ενός ηλεκτρικού σήματος που ανταποκρίνεται/ αντιστοιχεί στις ενεργειακές διακυμάνσεις των στοιχείων/ αντικειμένων/ οντοτήτων που απαρτίζουν το «υπό παρατήρηση» τοπίο. Από την άλλη, η αποθήκευση/ εγγραφή των ηλεκτρονικών σημάτων των αντίστοιχων δεκτών γίνεται είτε σε κάποιο φιλμ (άμεσα), είτε σε κάποιο μαγνητικό μέσο (δίσκο), εκ του οποίου μετέπειτα οι πληροφορίες μπορούν να μετεγγραφούν σε ένα φιλμ, οπότε τότε το τελευταίο λογίζεται απλώς ως μέσο καταχώρησης. Στην τηλεπισκόπηση, ο όρος *φωτογραφία* (*photograph*) απηχεί σε εικόνες οι οποίες τόσο ανιχνεύθηκαν από, όσο και καταχωρίστηκαν/ εγγράφηκαν σε ένα φιλμ (film). Αντίθετα, ο πιο διευρυμένος/ γενικευμένος όρος εικόνα (image) χρησιμοποιείται για να περιγράψει κάθε αναπαράσταση εικόνας (pictorial representation) αντίστοιχων

δεδομένων (image data). Επομένως, όλες οι φωτογραφίες είναι εικόνες, δεν είναι όμως όλες οι εικόνες φωτογραφίες[39] (Lillesand *et al*., 2004).

Επιπλέον, οι παρεπόμενες «προοπτικές» αξιοποίησής τους παρουσιάζουν διαφορές. Έτσι, εν γένει οι φωτογραφίες εμπίπτουν σε μεθόδους και τεχνικές *οπτικής ή αναλογικής (φωτο)ερμηνείας* (*visual/ analog image interpretation*), ενώ οι εικόνες σε αντίστοιχες τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας (*digital image processing*). Οι αναλογικές, αλλά κυρίως οι ψηφιακές μέθοδοι αναπτύσσονται στα παρακάτω.

Επανερχόμενοι στο ζήτημα της εξέτασης των εικόνων αυτών καθ' αυτών κρίνεται αναγκαία η συνοπτική περιγραφή της «υποκείμενης δομής» των εικόνων, αποδίδοντας έμφαση στις (δορυφορικές) ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις που προέρχονται από *πολυφασματικούς* ή/ και *υπερφασματικούς σαρωτές*, καθώς ως επί το πλείστο, αυτές θα μας απασχολήσουν. Έτσι λοιπόν, τα δεδομένα συλλογής ψηφιακών απομακρυσμένων αισθητήρων (remote sensors) συνήθως αποθηκεύονται με τη μορφή ενός πίνακα (μήτρας – matrix) που αποτελείται από σειρές (i) και στήλες (j). Σε κάθε ζεύγος συνδιατεταγμένων σειρών και στηλών αντιστοιχεί ένα δυσδιάστατο *εικονοστοιχείο* (*picture element – pixel*) το οποίο αποτελεί ταυτόχρονα το μικρότερο, μη-διαχωρίσιμο στοιχείο στο οποίο και αποδίδεται μια *τιμή φωτεινότητας* (*brightness value – BV*). Στην δε περίπτωση που το σύνολο δεδομένων (dataset) απαρτίζεται από n φασματικά κανάλια (k), προκειμένου να ευρεθεί η τιμή της φωτεινότητας για κάποιο εικονοστοιχείο, θα πρέπει να καθοριστεί η θέση του τόσο από την σειρά, την στήλη, αλλά και από τη φασματική ζώνη ($BV_{i,j,k}$).

Χαρακτηριστικά Αισθητήρων

Τα τηλεπισκοπικά συστήματα χαρακτηρίζονται από τεσσάρων ειδών ιδιότητες-δυνατότητες ανάλυσης: την *χωρική*, την *φασματική*, την *ραδιομετρική* και την *χρονική*. Ο όρος *ανάλυση (ή διακριτική ικανότητα/ διαχωριστική δυνατότητα)* καθορίζεται ως μια δυνατότητα των οπτικών αισθητήρων να διαχωρίζουν σήματα που γειτνιάζουν χωρικά ή προσομοιάζουν φασματικά (Jensen, 2000). Παρακάτω περιγράφονται οι εν λόγω διακριτικές ικανότητες:

[39] Μια εξαίρεση σε αυτήν την ορολογία αποτελούν οι ψηφιακές φωτογραφίες (digital photography), που προκύπτουν είτε άμεσα χάριν της εμφάνισης των ψηφιακών φωτογραφικών μηχανών (digital cameras) , είτε έμμεσα από την αξιοποίηση αυτόματων σαρωτών ή ψηφιοποιητών (scanners) – σάρωση (αναλογικών) φωτογραφιών.

Η ***φασματική*** σχετίζεται με τον αριθμό και την διάσταση των μεσοδιαστημάτων του φάσματος της ΗΜΑ, στα οποία ευαισθητοποιείται ένα τηλεπισκοπικό όργανο. Κάθε τέτοιο μεσοδιάστημα ονομάζεται *φασματικό κανάλι ή φασματική ζώνη (band)*, ενώ *εύρος φασματικού καναλιού (bandwidth)* η περιοχή του φάσματος εντός της οποίας «ενεργοποιείται» κάθε κανάλι. Ο αριθμός των καναλιών, καθώς και το εύρος τους καθορίζει την (ονομαστική) φασματική διακριτική ικανότητα. Έτσι, λ.χ. ο Πολυφασματικός Σαρωτής του Landsat (Landsat Multispectral Scanner – MSS) έχει τέσσερα κανάλια (band 1 = 0,5-0,6 μm, band 2 = 0,6-0,7 μm, band 3 = 0,7-0,8 μm και band 4 = 0,8-1,1 μm). Γενικά, η πολυφασματική τηλεπισκόπηση επιτελείται διαμέσου της «αποκομιδής» της ανακλώμενης, εκπεμπόμενης, και επανασκεδαζόμενης (back-scattering) ενέργειας της περιοχής ενδιαφέροντος, και της καταγραφής της σε πολλαπλές – άνω των δύο – φασματικές ζώνες της ΗΜΑ. Διαφέρει δε από την υπερφασματική τηλεπισκόπηση (hyperspectral remote sensing), καθώς η τελευταία εμπεριέχει τη συλλογή δεδομένων σε εκατοντάδες τέτοιες ζώνες (Logicon, 1997). Ένα παράδειγμα υπερφασματικού δέκτη αποτελεί ο AVRIS (Airborne Visible and Infrared Imaging Spectrometer) ο οποίος συλλαμβάνει την ΗΜΑ σε 224 κανάλια εύρους 10 nm το κάθε ένα (Clark, 1999).

Η ***χωρική*** διακριτική ικανότητα σχετίζεται θεμελιωδώς με το μέγεθος του αντικειμένου ή της οντότητας που χρήζει ταυτοποίησης (identification). Έτσι, σύμφωνα με τον Jensen (2000) είναι «*το μέτρο του μικρότερου γωνιακού ή γραμμικού διαχωρισμού ανάμεσα σε δύο αντικείμενα το οποίο μπορεί να αναλυθεί από έναν αισθητήρα*», ή όπως το θέτει ο Αστάρας (1994), η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δυο αντικειμένων στην οποία οι διαστάσεις τους φαίνονται ευκρινώς. Ένας πρακτικός κανόνας λοιπόν προκειμένου να εντοπιστεί ένα χαρακτηριστικό ή μια οντότητα είναι ο ακόλουθος: θα πρέπει η χωρική διακριτική ικανότητα του τηλεπισκοπικού δέκτη, να είναι τουλάχιστον η μισή του χαρακτηριστικού προς εξέταση, στην μικρότερη διάστασή του. Επομένως, όταν ως επιδίωξη τίθεται λ.χ. ο εντοπισμός όλων των οχημάτων σε μια περιοχή, τότε η χωρική διακριτική ικανότητα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το ήμισυ του πλάτους του μικρότερου οχήματος. Βεβαίως, ακόμη και σε αυτήν την ανάλυση δεν είναι εγγυημένη η αναγνώρισή του εκάστοτε αντικειμένου, αν δεν υφίσταται ικανή διαφορά στην φασματική απόκριση (ή φωτεινότητα) των οχημάτων και των περιβαλλόντων χαρακτηριστικών, (π.χ. δρόμοι, χώμα, γρασίδι, κατοικίες, αγροτεμάχια). Η χωρική διακριτική ικανότητα εξαρτάται

λοιπόν και από την αντίθεση φωτεινότητας, η οποία ορίζεται από τον Campell (1996) ως η διαφοροποίηση ενός (προς εξέταση) αντικειμένου σε συνάρτηση με το «φόντο» που το περιβάλλει. Ο πιο συνήθης τρόπος απόδοσης της χωρικής διακριτικής ικανότητας είναι το Στιγμιαίο Πεδίο Λήψεως (Instaneous Field of View – IFOV), το οποίο και σχετίζεται με τις γεωμετρικές ιδιότητες του συστήματος, ενώ ορίζεται από τον Mather (1999) ως η περιοχή που ανιχνεύεται για δεδομένο ύψος λήψης σε δεδομένη χρονική στιγμή. Όσο δε αφορά στα δορυφορικά συστήματα τηλεπισκόπησης που κινούνται σε σταθερές τροχιές και διακρίνονται από ένα σταθερό IFOV, η ονομαστική χωρική διακριτική ικανότητα προκύπτει ως η διάσταση της προβολής του IFOV επί του εδάφους (σε μέτρα – m). Έτσι, λ.χ., η ονομαστική χωρική διακριτική ικανότητα του Landsat TM ισούται με 30 m (30 x 30 m).

Η ***ραδιομετρική*** διακριτική ικανότητα αφορά στην ευαισθησία του δέκτη στην καταχώρηση/ καταγραφή της έντασης της ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ΗΜΑ, όπως αυτή αποτυπώνεται ως πραγματική πληροφορία σε μια εικόνα. Με άλλα λόγια, καθορίζει των αριθμό των διακριτών διαβαθμίσεων στην ισχύ του σήματος της ΗΜΑ. Η δε επαύξηση της, προκαλεί αύξηση των διαβαθμίσεων των τόνων του γκρι στην εικόνα, κάτι που αναβαθμίζει τις δυνατότητες μέτρησης των ιδιοτήτων των εμφανίσεων-αντικειμένων-οντοτήτων σε μια εικόνα. Ουσιαστικά, σε κάθε ένα από τα εικονοστοιχεία που απαρτίζουν μια εικόνα, η ενέργεια που φθάνει στον δέκτη καταχωρείται με ακρίβεια κάποιων bits (binary digits). Ως εκ τούτου, η αύξηση της ραδιομετρίας κατά μια μονάδα (1 bit), αυξάνει τον εκθέτη κατά 1 μονάδα, όπου βάση είναι ο αριθμός 2. Αν n λοιπόν ο αριθμός των bits, τότε η εικόνα θα αποδίδεται με 2^n διαβαθμίσεις. Έτσι, ένα σύστημα που καταγράφει με ακρίβεια 6 bits, παρουσιάζει 64 τόνους διαβάθμισης (0 – 63), ενώ κάποιο άλλο που καταγράφει με ακρίβεια 8 bits, διέπεται από 256 τόνους (0 – 255). Έτσι, π.χ. ο Landsat TM ραδιομετρικής διακριτικής ικανότητας 8 bits παρουσιάζει αναβαθμισμένη ραδιομετρία και απεικονίζεται με πολύ περισσότερες διαβαθμίσεις τόνου σε σχέση με τον Landsat MSS, αντίστοιχης διακριτικής ικανότητας 6 bits.

Η ***χρονική*** διακριτική ικανότητα εξαρτάται από τη συχνότητα λήψης εικόνων για μια συγκεκριμένη περιοχή. Αυτή η περίοδος επαναληψιμότητας σε ένα δορυφορικό τηλεπισκοπικό είναι της τάξης κάποιων ημερών.

Τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε δέκτη/ αισθητήρα βρίσκονται σε συνάρτηση με τις ιδιότητες/ δυνατότητες ανάλυσης και επεξεργασίας μιας εικόνας είτε αυτή

ενυπάρχει σε αναλογική μορφή (έντυπη – εκτυπωμένη), είτε σε ψηφιακή (καταχωρημένη δηλ. ως ένα ψηφιακό αρχείο σε έναν υπολογιστή). Στην πρώτη περίπτωση, η διαδικασία ανάλυσης και επεξεργασίας που επιτελείται, καλείται *Αναλογική (Οπτική) Επεξεργασία Εικόνας/ Φωτοερμηνεία*, ενώ στην δεύτερη *Ψηφιακή Επεξεργασίας Εικόνας*. Είναι δε δυνατή η φωτοερμηνεία ψηφιακής εικόνας μέσω της απεικόνισής της στην οθόνη ενός υπολογιστή – η δε ψηφιακή επεξεργασία αναλογικής δεν είναι[40]. Επιπλέον, εκτός από δυνατή, η οπτική ερμηνεία κρίνεται απαραίτητη σε κάθε περίπτωση, τόσο στην αναλογική, όσο και στην ψηφιακή επεξεργασία, ώστε να καθίσταται δυνατή η «επιστημονική οπτικοποίηση» (scientific visualization) κάτι που σημαίνει κατά τον Pickover (1991) οπτική εξερεύνηση των δεδομένων ή πληροφορίας μιας εικόνας προκειμένου να επέλθει βαθύτερη κατανόηση και «ενορατικότητα».

Αναλογική Επεξεργασία Εικόνας

Προκειμένου να πραγματωθεί μια αναλογική επεξεργασία και να ερμηνευτούν εικόνες από διάφορα τμήματα του φάσματος σε διάφορες χωρικές, φασματικές και διακριτικές ικανότητες, είθισται να ακολουθούνται οι αρχές της ερμηνείας που έχουν αναπτυχθεί, μέσα από πολύτιμα εμπειρικά αποκτήματα άνω των 150 ετών (Rabben, 1960; Estes *et al*., 1983; Schott, 1997). Στον πυρήνα αυτών των αρχών κείνται τα *στοιχεία φωτοερμηνείας* (*elements of image interpretation*) επί των οποίων συγκαταλέγονται: η (x,y) θέση, το μέγεθος, το σχήμα, η σκιά/ σκίαση, ο τόνος και το χρώμα, η υφή, το πρότυπο, το ύψος/ βάθος, η τοποθεσία, η σχετική θέση ή η σχέση με το περιβάλλον. Ως γενικός σκοπός της φωτοερμηνείας, ορίζεται από τον Philipson (1997), η ταυτοποίηση αντικειμένων και η αξιολόγηση της σημασίας/ σπουδαιότητάς τους, που προκύπτει από την εξέταση εικόνων. Στην περίπτωση διενέργειας μιας αναλογικής φωτοερμηνευτικής μεθόδου, η τελευταία επιτελείται με γνώμονα την αξιοποίηση των διαφόρων φωτοερμηνευτικών στοιχείων για την αξιολόγηση και ταξινόμηση κάθε οντότητας-αντικειμένου· και παρ' ότι η εμπειρία ενός επαρκώς εκπαιδευμένου φωτοερμηνευτή προάγει την, κατά ασυνείδητο, σχεδόν μηχανικό τρόπο, αυθόρμητη χρησιμοποίηση αυτών των στοιχείων, ένας αρχάριος χρειάζεται να

[40] πλην της περίπτωσης των ψηφιακών αεροφωτογραφιών

υποβάλλεται συνειδητά και «εξαναγκασμένα» σε αυτήν την διαδικασία (Jensen, 2000).

Από την άλλη, είναι εφικτή η χρήση φωτογραμμετρικών μεθόδων και τεχνικών. Εν γένει, η Φωτογραμμετρία αποδίδεται ως η τέχνη και η επιστήμη μετρήσεων ακριβείας επί αεροφωτογραφιών (α/φ) προκειμένου να προσποριστούν ποσοτικές πληροφορίες. Αυτές μπορούν να εφαρμόζονται τόσο *μονοσκοπικά* (σε μία α/φ), όσο και *στερεοσκοπικά* (σε δύο α/φ – στερεοζεύγος αξιοποιώντας το στοιχείο της παράλλαξης), και αντίστοιχα να εξάγονται μετρητικές πληροφορίες τόσο για το μήκος, την περίμετρο, τον τόνο, όσο και το επακριβές ύψος και η οριζοντιογραφική (planimetric) θέση (x,y) αντικειμένου. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα ψηφιοποίησης των α/φ και ψηφιακής επεξεργασίας τους.

Εν γένει, ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι ιδιαίτερα εντριβής στην αναγνώριση σύνθετων και πολύπλοκων διασυνδέσεων των στοιχείων που περιγράφηκαν παραπάνω, καθώς είναι εξαιρετικά εξοικειωμένος με απόψεις των γήινων χαρακτηριστικών και με τις διάφορες εικόνες που του προβάλλονται καθημερινά. Επομένως, η αναλογική ερμηνεία εικόνας, διαποτίζεται από την προϋπάρχουσα εμπειρία και τις συμπαρομαρτούσες πληροφορίες της διάνοιας του εκάστοτε φωτοερμηνευτή, ούτως ώστε (ο τελευταίος) να δύναται να εντοπίζει εμφανίσεις και φαινόμενα επί μιας εικόνας και να αξιολογεί την σημασία τους. Εκτός, δε, από αυτές τις ποιοτικές εκτιμήσεις, μπορεί να προβεί και σε μετρητικές από σχετικούς υπολογισμούς μέσα από τις φωτογραμμετρικές μεθόδους (Jensen, 2000).

Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας

Σε γενικές γραμμές, η ψηφιακή επεξεργασία (εικόνας) συμπεριλαμβάνει την αξιοποίηση μιας εικόνας με σκοπό την ερμηνεία της, υπό την αρωγή ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή (Lillesand *et al.*, 2004). Η πραγμάτωση αυτής της διεργασίας υλοποιείται από ένα σύστημα ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, το οποίο, κατά τον Jensen (1996), συναπαρτίζεται τόσο από το ηλεκτρομηχανολογικό μέρος (hardware) ενός υπολογιστή, όσο και από το λογισμικό (software) επεξεργασίας, προκειμένου να αναλυθεί μια εικόνα (τηλεπισκοπική ψηφιακή απεικόνιση).

Παραπάνω έγινε μνεία στις φωτοερμηνευτικές μεθόδους, ενώ κατέστη προφανές το γεγονός ότι ο άνθρωπος συνιστά ένα «απόλυτο» φωτοερμηνευτικό

«όργανο» προς την οπτική ερμηνεία εικόνας. Παρ' όλα αυτά, η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας συνιστά εξαιρετικά διαδεδομένη πρακτική. Για αυτόν ακριβώς το λόγο, προκειμένου να διαλευκανθεί αυτή η αντίφαση, προτού επιτευχθεί η περιγραφή μιας τέτοιας διαδικασίας, προέχει η απόδοση μιας επιχειρηματολογίας που να εξηγεί την ιδιαίτερη αξία των ψηφιακών μεθόδων επεξεργασίας, και τους λόγους για τους οποίους πολλές φορές προτιμούνται έναντι της αναλογικών.

Έτσι, ενώ κατά την αναλογική ερμηνεία εικόνας, η γνώση και η διαίσθηση ενός έμπειρου φωτοερμηνευτή, μπορεί να αποδώσει τα μέγιστα, ποικίλοι παράγοντες καταστούν πρακτικές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας επιβεβλημένες. Τέτοιοι παράγοντες σχετίζονται με σύμφυτους περιορισμούς της ανθρώπινης όρασης να αντιλαμβάνονται τις διακυμάνσεις της ΗΜΑ σε περιοχές εκτός του ορατού φάσματος (400-700 nm)· ακόμη όμως και εντός αυτής της φασματικής περιοχής, η δυνατότητα διάκρισης μιας πληθώρας τονικών διαβαθμίσεων επί μιας εικόνας, ή και της ταυτόχρονης ανάλυσης των φασματικών αποκρίσεων μιας πληθώρας εικόνων, είναι πολύ περιορισμένη[41]. Ειδικά σε περιπτώσεις όπου οι εικόνες εμπεριέχουν μεγάλους όγκους φασματικής πληροφορίας και απαιτείται η διάκριση ανεπαίσθητων διαβαθμίσεων του τόνου, ούτε καν η εκτενής και εξεζητημένη εκπαίδευση των φωτοερμηνευτών αρκεί, και, τότε, η ψηφιακή επεξεργασία είναι όχι μόνο προτιμητέα, αλλά και επιβεβλημένη. Επίσης, η αναλογική φωτοερμηνευτική διαδικασία είναι «ανεπίδεκτη» μοντελοποίησης και επεκτασιμότητας, καθώς ένας φωτοερμηνευτής δεν δύναται να επαναλάβει – κατά αυτοματοποιημένο τρόπο, στο πλαίσιο μιας ρουτίνας ή ενός αλγόριθμου – την αυτή διαδικασία, και να παράγει προτυποποιημένα αποτελέσματα, γεγονός που συνεπάγεται την «εκ του μηδενός» επανάληψη της φωτοερμηνευτικής διαδικασίας, έστω και αν η ανάλυση θα στοχεύει στην εξαγωγή αντίστοιχων πληροφοριών ή/ και θα εφαρμοστεί επί εφάμιλλων γεωγραφικών περιοχών, υπό τις συνυφαινόμενες επιβαρύνσεις κόπου, χρόνου, και κόστους. Αντίθετα, η διαδικασία σε έναν υπολογιστή ενέχει το πλεονέκτημα της επαναληψιμότητας, ανεξάρτητα από την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Παρ' όλα αυτά, η υποκειμενική κρίση, τόσο χρήσιμη και ζωτικής σημασίας για πληθώρα επιλογών στην ανάλυση εικόνας, την καθιστούν σε ορισμένες περιπτώσεις σχεδόν αναντικατάστατη.

[41] εν γένει, ένας αναλυτής εικόνας δεν μπορεί να διακρίνει πάνω από εννιά τόνους του γκρι

Παρ' όλο που το πεδίο της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας είναι πολύ ευρύ, και ενίοτε εμπλέκει περίπλοκα μαθηματικά, η βασική λογική από την οποία εμφορείται είναι σχετικά απλή. Κάθε εικόνα εισάγεται σε ένα υπολογιστικό σύστημα στη βάση κάθε ξεχωριστού pixel που την απαρτίζει. Τελικά, το λογισμικό καταχωρεί τα δεδομένα επιτελώντας μια εξίσωση ή μια σειρά συναρτήσεων υπολογισμών που τη μετασχηματίζουν σε εικόνα. η οποία είτε μπορεί να αναπαραχθεί/ αναπαρασταθεί σε μορφή εικόνας (pictorial format), ή να μπορεί να γίνει εκμεταλλεύσιμη από μια σειρά άλλων προγραμμάτων. Υπάρχει μια σωρεία δυνητικών τύπων αξιοποίησης και εκμετάλλευσης μιας ψηφιακής εικόνας με τη βοήθεια ενός συστήματος επεξεργασίας, όπως αυτό περιγράφηκε παραπάνω. Είναι όμως δόκιμο να ταξινομηθούν σε ορισμένους ευρύτερους τύπους, οι κυριότεροι των οποίων, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (π.χ. Lillesand *et al*. 2004), είναι:

Επανόρθωση και Αποκατάσταση Εικόνας (Image Rectification and Restoration). Αυτός ο τύπος επεξεργασίας εμπερικλείει λειτουργίες που στοχεύουν στην διόρθωση παραμορφωμένων γεωμετρικά εικόνων, στην επαναβαθμονόμηση της ραδιομετρίας τους και στην ενίοτε απομάκρυνση θορύβου, ώστε τελικά να αποδοθεί μια πιο πιστή αναπαράσταση του αρχικού τοπίου. Γενικά, επειδή αυτές οι εφαρμόζονται επί πρωτογενών (raw) δεδομένων, ώστε να είναι δυνατή η μετέπειτα επιπρόσθετη επεξεργασία τους, ονομάζονται λειτουργίες *προεπεξεργασίας* (*preprocessing*).

Ενίσχυση/ Βελτίωση Εικόνας (Image Enhancement). Οι διαδικασίες που υλοποιούνται αποσκοπούν τελικά στην δημιουργία νέων εικόνων που θα εμπεριέχουν «περισσότερη» πληροφορία από τις αρχικές, ώστε, μέσα από τεχνικές που επαυξάνουν τις οπτικές διαφοροποιήσεις, να προαχθεί η μεταγενέστερη οπτική ερμηνεία της εικόνας είτε από μια απεικόνιση στην οθόνη ενός Η/Υ, είτε από μια εκτύπωση. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται, αφορούν είτε στην βελτίωση της αντίθεσης της εικόνας, είτε στην εκμετάλλευση χωρικών χαρακτηριστικών (χρήση χωρικών φίλτρων, ενίσχυση ακμών), είτε στην αξιοποίηση πολλαπλών φασματικών καναλιών (σύνθετες (ψευδ)έγχρωμες εικόνες, λόγοι φασματικών καναλιών, ανάλυση κυρίων συνιστωσών κ.α.).

Ταξινόμηση Εικόνας (Image Classification). Η βασική αρχή υλοποίησης αυτού του τύπου επεξεργασίας έγκειται στην απόδοση μιας ιδιότητας – ταυτότητα

εδαφικής κάλυψης (land cover) – σε όλα τα εικονοστοιχεία που απαρτίζουν την εικόνα, ώστε εν τέλει, κάθε ένα από αυτά να μπορεί να ενταχθεί σε μια από τις κλάσεις εδαφικής κάλυψης· το δε εξαγόμενο αποτέλεσμα είναι ένας θεματικός χάρτης, καθ' ότι κάθε κλάση αποτελεί διακριτή «θεματική» κατηγορία. Η διεργασία λοιπόν που επιτελείται είναι η αυτοματοποιημένη ταυτοποίηση των χαρακτηριστικών μιας περιοχής με τη βοήθεια μιας ποσοτικοποιημένης τεχνικής. Η πραγμάτωση μιας τέτοιας τεχνικής μπορεί να βασίζεται σε κανόνες (decision rules) που αφορούν στις φασματικές ιδιότητες των δεδομένων μέσω της *αναγνώρισης χωρικών προτύπων/ διατάξεων* (*spectral pattern recognition*) ή/ και σε γεωμετρικά σχήματα, μεγέθη, διατάξεις που εμπίπτουν στην *αναγνώριση χωρικών προτύπων/ διατάξεων* (*spatial pattern recognition*).

Συγχώνευση-Συνέργεια Δεδομένων και ενσωμάτωση ΓΣΠ (Data Merging and GIS Integration). Προορισμός αυτών των διαδικασιών είναι ο επιτυχής συνδυασμός τηλεπισκοπικών δεδομένων εικόνων μιας περιοχής με διάφορους άλλους τύπους δεδομένων με κοινή γεωγραφική αναφορά (για την ίδια περιοχή). Στο εγχείρημα αυτό μπορούν να συν- αξιοποιηθούν εικόνες διαχρονικές (multi-temporal), δηλ. λήψεις από τον ίδιο δέκτη σε διαφορετικές ημερομηνίες, ή και από διαφορετικούς δέκτες. Επίσης, μπορούν να αξιοποιηθούν πληροφορίες εξαγόμενες από μια εικόνα σε συνδυασμό με άλλες πληροφορίες στο πλαίσιο ενός ΓΣΠ. Διαδικασίες που εντάσσονται σε αυτόν τον τύπο ψηφιακής επεξεργασίας είναι η συγχώνευση διαχρονικών δεδομένων, η συγχώνευση δεδομένων διαφορετικών τελεπισκοπικών συστημάτων (δεκτών) και η ανίχνευση μεταβολών

Βιοφυσική Μοντελοποίηση (Biophysical Modeling). Ως αντικείμενο αυτής της γενικής μορφής επεξεργασίας προτάσσεται η ποσοτική συσχέτιση των βιοφυσικών χαρακτηριστικών και φαινομένων που επιτελούνται επί της γήινης επιφάνειας με τα ψηφιακά δεδομένα που εμπεριέχονται σε μια τηλεπισκοπική απεικόνιση με κύριο στόχο την προσομοίωση της λειτουργίας των περιβαλλοντικών συστημάτων με ένα χωρικά σαφές τρόπο, καθώς και την πρόβλεψη της «συμπεριφοράς» τους υπό μεταβαλλόμενες συνθήκες. Σε αυτό το εγχείρημα, τα τηλεπισκοπικά δεδομένα χρησιμοποιούνται από κοινού με τεχνικές των ΓΣΠ.

Υπερφασματική Ανάλυση (Hyperspectral Analysis). Εφόσον η ψηφιακή επεξεργασία εφαρμόζεται σε πολυφασματικά δεδομένα, θα πρέπει να επεκταθεί και

στα υπερφασματικά. Όμως, η ιδιαίτερη φύση και ο μεγάλος όγκος αυτών των δεδομένων απαιτούν ειδικές διαδικασίες για την διαχείριση και ανάλυσή τους.

Μετάδοση και Συμπίεση Εικόνων (Image Transmission and Compression). Δεδομένου του όγκου της διαθέσιμης πληροφορίας και της ανάγκης για διάδοση αυτής της πληροφορίας μέσω του διαδικτύου, οι τεχνικές συμπίεσης εικόνων αποτελούν την πολυπόθητη επιδίωξη συνεχών ερευνητικών πονημάτων.

Θα πρέπει σε αυτό το σημείο να σημειωθεί ότι οι παραπάνω μέθοδοι που σε γενικές γραμμές χρησιμοποιούνται στην Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση, αποβλέπουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την φυσική γήινη επιφάνεια αξιοποιώντας την διαφορική ανακλαστικότητα των εικονοστοιχείων (pixels) που συναπαρτίζουν τις διάφορες εμφανίσεις-οντότητες στα διάφορα μήκη κύματος του φάσματος του ορατού (και όχι μόνον), και επομένως στα διάφορα κανάλια των δορυφορικών δεκτών. Παρ' όλα αυτά, οι δυνατότητες αυτών των προσανατολισμένων στα εικονοστοιχεία «συμβατικών» προσεγγίσεων (pixel oriented approaches) κρίνονται περιορισμένες (Blaschke and Strobl, 2001), την στιγμή που άλλες, πιο «εξελιγμένες» μορφές διερεύνησης της πραγματικότητας αποδεσμεύονται από το επίπεδο του pixel, επί των οποίων, ο εντοπισμός, η αναγνώριση και η ταξινόμηση-ομαδοποίηση αντικειμένων-οντοτήτων επιτυγχάνεται μέσω της *αντικειμενοστραφούς ανάλυσης* (*object-based/ object-orientated analysis*).

Ύστερα από αυτήν την μικρή «παρέμβαση», η οποία υφίσταται για λόγους πληρότητας, συνεχίζει η ροή της εργασίας, δίχως να υπάρξει περαιτέρω ανάπτυξη-επέκταση σχετικά με το παραπάνω θέμα. Έχοντας πλέον κατηγοριοποιήσει σε βασικές ομάδες τις λειτουργίες και διεργασίες οι οποίες αναφέρονται στην «pixel-based» επεξεργασία που μπορούν να «υποστούν» οι ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις, σκόπιμη κρίνεται η επισήμανση των πλέον συναφών πεδίων εφαρμογών, επί των οποίων η τηλεπισκοπική διαδικασία δύναται να επιφέρει τελεσφόρα και ωφέλιμα παραγόμενα.

Εφαρμογές

Η συλλογή, ερμηνεία, επεξεργασία και ανάλυση ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων, παρέχει τη δυνατότητα εντοπισμού, ανίχνευσης, «εξαγωγής» και

παρακολούθησης μιας πληθώρας χαρακτηριστικών/ οντοτήτων/ εμφανίσεων/ φαινομένων στην γήινη επιφάνεια. Έτσι, η τηλεπισκοπική διαδικασία μπορεί να βρει εφαρμογές:

- στην ατμόσφαιρα (εντοπισμός νεφών, πρόγνωση καιρού, καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος κ.α.)
- στο υδατικό περιβάλλον – υδρόσφαιρα (κυκλοφορία ωκεανών, κυματισμός, θαλάσσια ρύπανση από πετρελαιοκηλίδες, θερμική ρύπανση υδάτων, αναγνώριση υδρογραφικού δικτύου στα ποτάμια συστήματα, πλημμυρικά φαινόμενα κ.α.)
- στα εδάφη - λιθόσφαιρα (αναγνώριση γεωμορφών, ανίχνευση υγρασίας στα εδάφη, εντοπισμός ρηγμάτων κ.α.)
- στην βιόσφαιρα (διάκριση βλάστησης-καλλιεργειών, αποδάσωση, ερημοποίηση, απώλεια βιοποικιλότητας, εξάντληση φυσικών πόρων κ.α.)
- στην γενικότερη κάλυψη γης (αναγνώριση γενικών κατηγοριών χρήσης-κάλυψης γης)
- στο ανθρωπογενές-δομημένο περιβάλλον (συγκέντρωση πληθυσμών, αναγνώριση ανθρωπογενών κατασκευών-υποδομών, αγροτεμαχίων, διάκριση δημόσιας-ιδιωτικής γης κ.α.)

Μια κατηγορία εφαρμογών που προκύπτει από τον συγκερασμό των παραπάνω, συναρτάται με την (ολοκληρωμένη) διαχειριστική προσέγγιση όλων των φάσεων που διαδραματίζονται κατά την εμφάνιση και εκδήλωση των φυσικών καταστροφών. Καθ' ότι οι διάφοροι φυσικοί κίνδυνοι εμπίπτουν στην επικράτεια της λιθόσφαιρας, της υδρόσφαιρας, της ατμόσφαιρας ή της βιόσφαιρας, ενώ η ανθρώπινη τρωτότητα ανακύπτει ως η υποκείμενη αδυναμία στη βάση του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, και δη στο κοινωνικό, οικονομικό, πολιτικό, πολιτισμικό και τεχνολογικό επίπεδο, η ολοκληρωμένη διαχείρισή των φυσικών καταστροφών – σε συνάρτηση με τις μεθόδους και τεχνικές της Τηλεπισκόπησης – πρόσκειται στην παρατήρηση και «εξαγωγή» των διαδραστικών συστατικών του κινδύνου (και της φυσικής έκθεσης), αλλά και εκείνων της κοινωνικής αιτιότητας (και της ανθρώπινης τρωτότητας). Από την άλλη, καθ' ότι οι φυσικές καταστροφές αποτελούν φαινόμενα δυναμικά στον χρόνο, η παροχή δυνατότητας διαρκούς παρακολούθησής χρησιμεύει

σε μια σειρά κρίσιμων ενεργειών διαχείρισης, από την ανάλυση και τον μετριασμό της διακινδύνευσης, μέχρι την έγκαιρη προειδοποίηση και ετοιμότητα, έως και την άμεση απόκριση και την αποτίμηση του καταστροφικού αντίκτυπου ταυτόχρονα και ακριβώς ύστερα από την πρόκληση μιας καταστροφής, καθώς και τον συντονισμό της αποκατάστασης σε ακόμη μεταγενέστερο στάδιο. Τελικά, ακόμη και οι ενέργειες που λαμβάνουν χώρα κατά και μετά την εκδήλωση τέτοιων φαινομένων, μπορούν να θεωρηθούν ως διαδικασίες προ-καταστροφικές για μια ενδεχόμενη μελλοντική καταστροφή, συνιστώντας έναν ατέρμονο κύκλο. Η ολοκλήρωση των δυνατοτήτων της στιγμιαίας παρατήρησης και της διαχρονικής παρακολούθησης, υπό την συνεργιστική επίδραση των ΓΣΠ, μπορεί να αποφέρει τα πλέον μεστά και ζωτικής σημασίας αποτελέσματα («εκροές») προς την διευθέτηση και προσαρμογή της ανθρώπινης και κοινωνικής συμπεριφοράς και των αντίστοιχων ενεργειών, με σκοπό την ουσιαστικότερη διαχείριση των φυσικών καταστροφών.

Στην πράξη, ύστερα από την συλλογή και αποθήκευση των αρχικών δεδομένων, προκειμένου να παραχθούν ωφέλιμα αποτελέσματα, η υλοποίηση των διαφόρων μεθόδων και τεχνικών επεξεργασίας τηλεπισκοπικών απεικονίσεων διενεργείται μέσα από μια πληθώρα λογισμικών προγραμμάτων Τηλεπισκόπησης και επεξεργασίας εικόνας, καθώς και επιπρόσθετων ημιαυτόνομων λογισμικών μονάδων (add-on modules). Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας δια μέσου αυτών των λογισμικών, μπορούν να καταστούν άμεσα «εκμεταλλεύσιμα» ως τελικά προϊόντα, ή ακόμη να «τελέσουν» ως ενδιάμεσα προϊόντα, τα οποία θα χρησιμέψουν ως δεδομένα εισροής για την μετέπειτα επεξεργασία τους σε ένα ΓΣΠ.

Ανακεφαλαίωση και Σκοπός

Οι πληροφορίες που παρατίθενται σε αυτή την πρώτη ενότητα αυτού του κεφαλαίου οφείλουν την ύπαρξή τους σε ένα εγχείρημα να παρουσιαστούν εν συντομία βασικά «συστατικά» της «ευρύτερης τηλεπισκοπικής διαδικασίας» προκειμένου η εμβάθυνση στα παρακάτω να υποστηρίζεται από ένα θεωρητικό έρεισμα και να μην απαιτείται η κατά περίπτωση επεξήγηση θεμελιωδών εννοιών ή όρων που θα εμφανίζονται εφεξής. Εξ' άλλου, η συγγραφή μιας τέτοιας ενότητας θεωρείται επιτακτική προς την κατεύθυνση της επίτευξης μιας αρμονικής και οργανικής σύνδεσης και σύνθεσης των προηγούμενων (κεφαλαίων) με το υπόλοιπό

του εν λόγω κεφαλαίου, καθώς και με τα επερχόμενα. Στα δε αμέσως επόμενα, σειρά έχει η απόδοση ορισμών, η περιγραφή εννοιών και όρων, καθώς και η αποσαφήνιση πρωταρχικών χαρακτηριστικών και θεμελιωδών λειτουργιών των ΓΣΠ, σε ένα εγχείρημα να αναδειχτεί ο τρόπος που οι συναφείς τεχνολογίες εμπλέκονται στο ρου της ευρύτερης τηλεπισκοπικής διαδικασίας.

3.2 Ενσωμάτωση ΓΣΠ (GIS Integration)

Όπως θα φανεί και στα επόμενα, οι τεχνολογίες των ΓΣΠ εντάσσονται αναπόφευκτα κατά τα διάφορα στάδια της διαδικασίας διαχείρισης των φυσικών καταστροφών (Johnson, 2000), ιδίως όταν αναδύεται στο προσκήνιο η επιλογή της τροποποίησης της τρωτότητας. Οι εγγενείς δυνατότητες των ΓΣΠ σε θέματα ανάλυσης του χώρου με σκοπό την αντιμετώπιση προβλημάτων χωρικής φύσης, καθώς και η δυναμική ανάπτυξης αυτών των δυνατοτήτων τους εντός της ευρύτερης τηλεπισκοπικής διαδικασίας, παρέχει μια επιπλέον πολύ ισχυρή προοπτική. Σε αυτήν την ενότητα, σε μια προσπάθεια σκιαγράφησης της υπόστασης των ΓΣΠ, αποδίδονται ορισμοί, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες τους και αναδεικνύονται οι δυνατότητες τους. Παράλληλα, παρουσιάζονται οι θεωρητικές βάσεις και ρήσεις που καταξιώνουν την ενσωμάτωση των ΓΣΠ στην τηλεπισκοπική διαδικασία, εκθειάζοντας την εγειρόμενη προοπτική που αναφαίνεται από την «ολοκλήρωση» των δυνατοτήτων των επιμέρους γνωστικών πεδίων-εργαλείων-τεχνολογιών των ΓΣΠ και της Τηλεπισκόπησης.

3.2.1 Ορισμοί, Γενικές Αρχές και Λειτουργίες

3.2.1.1 Ορισμοί και Στόχοι

Τα ΓΣΠ (GIS – Geographical Information Systems)[42] αποτελούν ένα εργαλείο χωρικής ανάλυσης, το οποίο είναι συνυφασμένο με ζητήματα φυσικού και δομημένου περιβάλλοντος, όπου ο χωρικός (φυσικός ή περιβαλλοντικός) σχεδιασμός συνιστά τον κυρίαρχο στόχο. Μπορεί δε να αξιοποιηθούν, είτε αυτόνομα, είτε σε συνάρτηση

[42] ή ΣΠΓ (Συστήματα Πληροφοριών Γης)

με τις μεθόδους της τηλεπισκόπησης, όταν η εφαρμογή άπτεται της ολοκληρωμένης διαχείρισης φυσικοκαταστροφικών επεισοδίων.

Σύμφωνα με ένα σχετικά ευρύ ορισμό, ΓΣΠ είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα αποτελεσματικής συλλογής, ανάκτησης, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απεικόνισης πληροφοριών σχετικών με ζητήματα γεωγραφικής φύσης, ανάλογα με τις προδιαγραφόμενες απαιτήσεις του εκάστοτε χρήστη (Goodchild, 1985; McGuire *et al*., 1991). Από τον παραπάνω ορισμό προκύπτει ένα «τρίπτυχο» διακριτών προσεγγίσεων – *διαχείριση, (χωρική) ανάλυση και σχεδιασμός* –, για κάθε μία από τις οποίες έχει αποδοθεί ιδιαίτερη έμφαση από διάφορους ερευνητές-επιστήμονες, οι οποίες όμως μπορούν να ιδωθούν ως αλληλοσυσχετιζόμενα συναπαρτίσματα που έχουν ως κοινό τόπο την διάσταση του χώρου, και επομένως δυνητικά εντάσσονται επί μιας *ολοκληρωμένης χωρικής προσέγγισης* (Κουτσόπουλος, 2002).

Και ενώ οι ενέργειες *διαχείρισης* εντάσσουν διαδικασίες για την συστηματική συλλογή, ενημέρωση και επεξεργασία επί μιας *Βάσης Δεδομένων*, δηλαδή ενός ενιαίου συστήματος (γεωγραφικής) αναφοράς, που συνδέει στοιχεία του ίδιου, ή άλλων συναφών συστημάτων, η *χωρική ανάλυση* νοείται ως: *«μια συνολική δυνατότητα διαχείρισης-μετασχηματισμού των χωρικών στοιχείων σε διαφορετικές μορφές, αποδίδοντάς τους, ως αποτέλεσμα, διαφορετική έννοια»* (Bailey, 1994), αυτό δηλαδή που με άλλα λόγια ο Κουτσόπουλος (1990) έχει αποκαλέσει διαδικασία από (γεωγραφικά) στοιχεία σε (γεωγραφική) πληροφορία. Σε ένα εγχείρημα μετάβασης από την ανάλυση, με σκοπό την διευθέτηση προβληματικών καταστάσεων γεωγραφικής-χωρικής υπόστασης, ο Μανιάτης (1996), κατηγορηματικά δηλώνει πως τα ΓΣΠ δεν συνιστούν μονάχα ένα μέσο παραγωγής χαρτών, και άλλων εποπτικών προϊόντων ποιοτικών ή ποσοτικών χαρακτηριστικών, αλλά ένα ανερχόμενο, ολοκληρωμένο τεχνολογικό επίτευγμα, του οποίου οι δυνατότητες-προοπτικές εμπίπτουν, τόσο στην ανάλυση-μελέτη του χώρου, όσο και στη λήψη αποφάσεων αναφορικά με το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. Στο τελευταίο σκέλος αυτών των γεγραμμένων συνηγορεί και ο Cowen (1988), κατά τον οποίο, η συμβολή των ΓΣΠ στον *χωρικό σχεδιασμό* και οι δυνατότητες τους να αποφέρουν επίλυση χωρικών προβλημάτων προκύπτουν, αν αξιοποιηθούν (τα ΓΣΠ) ως συστήματα λήψης αποφάσεων (decision support systems) προς αυτήν την κατεύθυνση, ενσωματώνοντας δεδομένα χωρικής αναφοράς.

Ως συνέπεια όλων των προδιατυπομένων, προκύπτει συνοπτικά ότι ένα ΓΣΠ εμφορείται από το δυναμικό: i) αποθήκευσης, διαχείρισης και ενσωμάτωσης μεγάλου όγκου δεδομένων, ii) διενέργειας χωρικής ανάλυσης, μέσω του μετασχηματισμού στοιχείων σε πληροφορία, εστιάζοντας στην χωρική διάστασή τους, iii) αποτελεσματικής επίλυσης προβλημάτων χωρικής φύσης, διαμέσου της οργάνωσης, διαχείρισης και μετασχηματισμού των στοιχείων, παρουσιάζοντας την εξαγόμενη πληροφορία, με κατάλληλο τρόπο (Κουτσόπουλος, 2002).

3.2.1.2 Από τα Στοιχεία στην Πληροφορία

Βασική λοιπόν διενέργεια συνιστά η αποκομιδή πρόσφορων στοιχείων-αρχικών δεδομένων, και ο μετασχηματισμός τους, μέσα από την διεξαγωγή ενεργειών χωρικής ανάλυσης. Στην πράξη, η διαχείριση των βάσεων γεωγραφικών δεδομένων, η (χωρική) ανάλυσή τους και η χαρτογραφική απεικόνιση των παραγόμενων αποτελεσμάτων προκειμένου να εκμαιευθούν λύσεις σε προβλήματα του χωρικού σχεδιασμού, υλοποιούνται μέσα από μια πληθώρα λογισμικών προγραμμάτων ΓΣΠ και υπο-λογισμικών – επιπρόσθετων ημιαυτόνομων λογισμικών (add-on modules) – τα οποία, συνδυαζόμενα, αποδίδουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Άλλωστε, ο Burrough (1983) υποδεικνύει πως τα ΓΣΠ αντιπροσωπεύουν *«ένα ισχυρό **σύνολο εργαλείων** για τη συλλογή, αποθήκευση, ανάληψη ανά πάσα στιγμή, μετασχηματισμό και απεικόνιση χωρικών στοιχείων του πραγματικού κόσμου»*.

Σε κάθε περίπτωση, και ανεξάρτητα από το λογισμικό πρόγραμμα που επιλέγεται να αξιοποιηθεί κάθε φορά, η διαδικασία άρχεται με την συλλογή των απαραίτητων αρχικών (μη επεξεργασμένων[43]) δεδομένων ή στοιχείων και τη μετέπειτα *εισαγωγή/ είσοδό* τους. Αυτά τα δεδομένα βρίσκονται σε μορφή η οποία είναι αναγνώσιμη από έναν Η/Υ, δηλαδή είναι ψηφιακά δεδομένα.. Τέτοια μπορεί να είναι σαρωμένοι χάρτες, τηλεπισκοπικά δεδομένα, (ψηφιακά) μοντέλα εδάφους, ή και χωρικά δεδομένα-οντότητες για εμφανίσεις στον χώρο (ποτάμια, δάση, δρόμοι, οικοδομικά τετράγωνα κ.α.). Μια βασική διαφοροποίηση αυτών των στοιχείων αφορά στην διάκρισή τους σε *ψηφιδωτά* και *διανυσματικά* μοντέλα δόμησης και

[43] ο όρος μη επεξεργασμένα είναι σχετικός και εξαρτάται από το στάδιο της διαδικασίας

απεικόνισής τους[44]. Σε επόμενο στάδιο, προς την επίτευξη του αντικειμενικού στόχου των ΓΣΠ, ενδιάμεσος κρίκος αποτελεί η δημιουργία βάσης δεδομένων ή πληροφοριακής βάσης. Και αυτό διότι ο τρόπος με τον οποίο οργανώνονται τα στοιχεία για τη θέση, την τοπολογία και τα χαρακτηριστικά των γεωγραφικών οντοτήτων, αντιστοιχεί στην έννοια της *διαχείρισης* των ΓΣΠ (ενημέρωση, συντήρηση, ανάκτηση).

Έπεται η φάση της *ανάλυσης* χωρικών προτύπων και χωρικών σχέσεων των γεωγραφικών στοιχείων, η οποία, σύμφωνα με τον Bailey (1994), μπορεί και πρέπει να αποτελέσει κεντρική λειτουργία. Οι αναλυτικές διαδικασίες επιτελούνται τόσο επί των ψηφιδωτών όσο και επί των διανυσματικών μοντέλων. Αναφορικά με τα στοιχεία καννάβου, η διεθνής βιβλιογραφία υπαγορεύει ότι η σχετική ανάλυση διαφοροποιείται σε επιμέρους λειτουργίες: στις *τοπικές ή σημειακές (local)*, στις *εστιακές (focal)*, στις *λειτουργίες ζωνών (zonal)* και στις *γενικευμένες (global)*. Όσον αφορά στις αναλυτικές διαδικασίες επί διανυσματικών δεδομένων, αυτές ταξινομούνται σε μια σειρά ομάδων λειτουργιών, με κυριότερες την *επιλογή*, την *ταξινόμηση*, την *ανάλυση εγγύτητας*, την *διαχείριση*, την *ανάλυση ορίων* και την *επικάλυψη* (βλ. Κουτσόπουλος, 2002). Πέρα όμως από αυτές τις λειτουργίες οι οποίες επιτελούνται ξεχωριστά για ψηφιδωτά ή διανυσματικά αρχεία, υφίστανται λειτουργίες που εμπερικλείουν την από κοινού επεξεργασία τους, όπως ο

---

[44]Ψηφιακά Δεδομένα ΓΣΠ: Στη διεθνή βιβλιογραφία τα γεωγραφικά δεδομένα (ψηφιακά) δομούνται σε μορφή ***Διανυσμάτων*** (***Vector format***) ή ***Ψηφίδων*** (***Raster*** format) προκειμένου να εισαχθούν σε ένα ΓΣΠ. Τόσο τα ***διανυσματικά*** όσο και τα ***ψηφιδωτά*** μοντέλα είναι ψηφιακά μοντέλα. Στην περίπτωση του ***διανυσματικού*** μοντέλου ιδιαίτερη σημασία, εκτός από τα ίδια τα γεωγραφικά αντικείμενα έχουν και οι μεταξύ τους σχέσεις, με την *γραμμή* να αποτελεί τη στοιχειώδη λογική μονάδα με βάση την οποία κωδικοποιείται η θέση ενός αντικειμένου. Κάθε γραμμή παρουσιάζεται με τη μορφή σειράς ζευγών συντεταγμένων των σημείων της, ενώ κάθε πολύγωνο ως μια σειρά γραμμών. Τα σημεία, τέλος, δεν έχουν καμία διάσταση στον χώρο. Η δημιουργία ενός ***ψηφιδωτού*** μοντέλου βασίζεται στην διαίρεση μιας ενιαίας περιοχής μελέτης σε μια σειρά από επιμέρους στοιχειώδεις μονάδες αναφοράς/ χωρικές ενότητες. Αυτές οι μονάδες, λαμβάνουν διάφορα σχήματα (τρίγωνο, πολύγωνο, τετράγωνο – με συνηθέστερη την τελευταία) και, συνδυαζόμενες έχουν τη δυναμική απεριόριστης επέκτασης στο χώρο και τη δυνατότητα συνεχούς υποδιαίρεσης σε μικρότερες μονάδες ίδιου σχήματος. Οι ονομασίες των παραπάνω όρων ποικίλλουν. Έτσι, τα διανυσματικά μοντέλα ονομάζονται εκτός από vector models και *shapefiles*. Από την άλλη, τα ψηφιδωτά μοντέλα παίρνουν ενίοτε την ονομασία *αρχεία καννάβου – raster models, grids –* ενώ οι δομικές τους μονάδες καλούνται *ψηφίδες, κελιά, φατνία, εικονοστοιχεία – cells, pixels*.

μετασχηματισμός από γεωγραφικές οντότητες σε ψηφίδες (και το αντίστροφο) ή η αποκοπή αρχείου καννάβου εντός των ορίων ενός πολυγωνικού διανυσματικού αρχείου κ.α.

Διαμέσου των αναλυτικών λειτουργιών σε ένα ΓΣΠ, παρέχεται η δυνατότητα να δοθούν «απαντήσεις» σε «ερωτήματα» γεωγραφικής φύσης, υπό τη μορφή χωρικής ή/ και περιγραφικής πληροφορίας. Τελικά, αυτή η παραγόμενη πληροφορία, η οποία προκύπτει ως η απόρροια μιας χωρικής ανάλυσης, αναπαρίσταται χαρτογραφικά, στην φάση της *εξόδου*, η της *χαρτογραφικής απόδοσης*. Και είναι τέτοια η σημασία της ύπαρξης ενός χάρτη – ο οποίος είναι δυνατό να οριστεί ως η αναπαράσταση τμήματος της γήινης επιφάνειας υπό κλίμακα – που έχει εξωθήσει τους Wooldridge and East (1952) να διατυπώσουν την τόσο μεστή φράση: *«στην γεωγραφία μπορεί να θεωρηθεί ως αξίωμα πως, ότι δεν μπορεί να χαρτογραφηθεί, δεν μπορεί να περιγραφεί και να αναλυθεί»*.

Παρά το γεγονός ότι υφίσταται μια πληθώρα τεχνικές, διαδικασίες, λειτουργίες, ενέργειες κ.α. που αναφέρονται στην χωρική ανάλυση, και στην εν γένει ολοκληρωμένη χωρική προσέγγιση, δεν αποτελεί πρωταρχική επιδίωξη αυτής της εργασίας η ενδελεχής περιγραφή τους. Η αξιοποίηση των γνωστικών πεδίων-τεχνολογιών, τόσο των ΓΣΠ, όσο και της Τηλεπισκόπησης πρόκειται να καταδειχτεί σε θεωρητικό επίπεδο, στις επόμενες ενότητες αυτού του κεφαλαίου, ενώ στο επόμενο κεφάλαιο, αναδεικνύεται η χρηστικότητά τους εν μέσω συγκεκριμένων λογισμικών προγραμμάτων στο πλαίσιο μια πρακτικής εφαρμογής.

3.2.2 Συνέργια ΓΣΠ και Τηλεπισκόπησης

Ανάλογα με την εκάστοτε επικρατούσα προσέγγιση, υφίσταται η θεώρηση ότι είτε τα ΓΣΠ ενσωματώνονται στην ευρύτερη τηλεπισκοπική διαδικασία, στο ύστατο στάδιο της, είτε τα προϊόντα των τηλεπισκοπικών μεθόδων και τεχνικών αποτελούν εισροή (input) για την ολοκληρωμένη χωρική προσέγγιση στο πλαίσιο ενός ΓΣΠ. Σε κάθε περίπτωση πάντως, ενώ η τηλεπισκοπικές διεργασίες μπορούν να αποφέρουν τα πλεονεκτήματα όχι μόνο της απογραφής, αλλά και της συνεχούς παρακολούθησης – μέσα από την συλλογή εικόνων πολλαπλών χρονικών στιγμών (Jensen, 1996), καθώς και του, επί πραγματικού χρόνου (real-time), προσπορισμού και επεξεργασίας δεδομένων, τα ΓΣΠ παρέχουν τις δυνατότητες αποθήκευσης δεδομένων και

πληροφορίας σε αντίστοιχες (πληροφοριακές) βάσεις, συντονισμού και συνδυασμού των γεωγραφικών στοιχείων/ πληροφορίας σε πολλαπλά επίπεδα (multiple layers), εμφορούμενα ταυτόχρονα (τα ΓΣΠ) από την δυναμική διενέργειας «χωρικών αναλύσεων» και οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων σε (ψηφιακά ή αναλογικά) χαρτογραφικά παραγόμενα.

Καθώς λοιπόν η ουσιαστική χρησιμότητα των τεχνολογιών της τηλεπισκόπησης εξαρτάται, σε τελική ανάλυση, από την δυνατότητα συσχέτισής της με άλλες χωρικές πληροφορίες (Hutchinson, 1982; Davis and Simonett, 1991), κάποιοι επιστήμονες θεωρούν ότι θα πρέπει να ολοκληρωθούν τόσο οι τεχνολογίες των ΓΣΠ, όσο και της τηλεπισκόπησης, προκειμένου να αξιοποιηθεί το δυναμικό τους – στο πλήρες του (Jensen, 1989; Dobson, 1993)–, σε τέτοιο βαθμό που για κάποιους, η επίκληση σε ένα ολοκληρωμένο ΓΣΠ (Integrated GIS – IGIS) να διαφαίνεται επιτακτική (Elhers, 1990; Elhers *et al*., 1991).

3.3 Τηλεπισκόπιση, ΓΣΠ και Φάσεις Διαχείρισης Καταστροφών

Εφόσον στα προηγούμενα έγινε μια συνοπτική περιγραφή των γενικών αρχών λειτουργίας, των χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων των συστημάτων τηλεπισκόπησης, καθώς και παρουσιάστηκε το εύρος των εφαρμογών που προκύπτει από την αξιοποίηση τους, είναι πλέον καιρός να συνδεθούν με σαφήνεια οι ευκαιρίες που ανακύπτουν διαμέσου της τηλεπισκοπικής διαδικασίας (ως όλον) με τις ενέργειες που άπτονται της μέριμνας περί των φυσικών κινδύνων και της διαχείρισης των φυσικών καταστροφών, κατά τρόπο που η πρώτη να αποτελεί αξιόπιστο εργαλείο για την ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των τελευταίων. Αφού λοιπόν αρχικά ανακεφαλαιωθούν οι συσχετισμοί μεταξύ των όρων που αναδύθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο (περί διακινδύνευσης, κινδύνου, τρωτότητας, φυσικής έκθεσης), έπεται μια σύντομη επιχειρηματολογία προώθησης των τεχνολογιών της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ προς την επίτευξη των γενικότερων σκοπών αντιμετώπισης φυσικών καταστροφών, όπως αυτές πραγματώνονται μέσω της *τροποποίησης της τρωτότητας*. Εν τέλει γίνεται μια εισαγωγική προσπάθεια να περιγραφούν δράσεις που πρέπει να αναλαμβάνονται, καθώς και η ένταξή τους σε μια σειρά (*κύκλο*), υπαγόμενες σε στάδια υλοποίησης τα οποία πρέπει να πραγματωθούν στη ολότητά τους, προκειμένου – όπως άλλωστε τέθηκε ως στόχος από το πρώτο κεφάλαιο – η

διαχείριση μιας κρίσης να είναι πλήρης, ολοκληρωμένη, και για αυτό αποτελεσματική. Στα παρακάτω αναπτύσσονται αυτά τα στάδια, ενώ τελικά επιχειρείται η ανάδειξη γενικών κατευθυντήριων γραμμών για την κάθε φάση, στη βάση της χρησιμοποίησης των εν λόγω τεχνολογιών.

3.3.1 Τροποποίηση της Τρωτότητας

Από την έως τώρα εξέλιξη της συγγραφής αυτής της εργασίας έχει επανειλημμένως επιχειρηθεί να προαχθεί η παράμετρος της τρωτότητας, ως σημαντική παράμετρος για την τροποποίηση της διακινδύνευσης (risk), είτε – έμμεσα – ως μέσον για την διαβάθμιση της φυσικής έκθεσης μέσω διαφορικών κοινωνικών προτύπων συμπεριφοράς (λ.χ. αποφυγή εγκατάστασης οικισμών πλησίον ρηγμάτων), είτε – άμεσα – ως ένα μέτρο ευπάθειας ή αντίστασης/ ανθεκτικότητας στην καταστροφή, μεγιστοποιώντας ή ελαχιστοποιώντας αντίστοιχα το γινόμενο Ε * (Η*V) – (Exposure*Hazard*Vulnerability) – στην εξίσωση της διακινδύνευσης.

Η απόλυτη ανθρώπινη ασφάλεια δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να αποτελέσει ανθρώπινο δικαίωμα, όπως προκύπτει σχεδόν εξ' ορισμού από την αλληλεπίδραση του ανθρωπογενούς στοιχείου με το φυσικό, κάτι που άλλωστε έχει επιδείξει και η διεθνής εμπειρία. Εντούτοις, αυτό που εξάχθηκε από τα προηγούμενα κεφάλαια επαφίεται στο ζωτικής σημασίας γεγονός ότι δεν είναι η σφοδρότητα των φυσικών διαδικασιών που ευθύνεται θεμελιωδώς για την πρόκληση καταστροφών, ενώ το περιβάλλον δεν είναι ούτε εχθρικό, ούτε αφιλόξενο. Αντίθετα, είναι οι ανθρώπινες επιλογές – πάντοτε στο δεδομένο κοινωνικό, οικονομικό, πολιτισμικό και πολιτικό πλαίσιο – αυτές που «ενεργοποιούν» ευμενώς ή δυσμενώς (ή και κατά ουδέτερο τρόπο) αυτές τις διαδικασίες, παρ' ότι δεν θα ήταν φρόνιμο, ούτε και δυνατό να αγνοηθεί παντελώς η εγγενής διαβάθμιση της έντασης και του μεγέθους των φαινομένων. Σε μια τέτοια διατύπωση υπεισέρχεται ο υπαινιγμός ότι σε πολλές περιπτώσεις, όσο πιο ακραίο ή και ευμετάβλητο είναι ένα φυσικό φαινόμενο ή διαδικασία που εκφράζεται μέσα από ένα διακριτό γεγονός, τόσο πιο πολύ επηρεάζεται δυσμενώς από τις «εξωγενείς» φυσικές δυνάμεις η παράμετρος της φυσικής έκθεσης. Ως εκ τούτου, πορίζεται ότι η ανθρώπινη τρωτότητα θα πρέπει να μετριαστεί σημαντικά (ή να ενισχυθεί η προσαρμοστικότητα) προκειμένου να αντισταθμιστεί αυτή η συνολικά διευρυμένη ανθρώπινη ευαισθησία (βλ. ενότητα

1.2). Εναλλακτικά, θα πρέπει να μετριαστεί η σφοδρότητα του ίδιου του φυσικού φαινομένου.

Και, παρ' όλο που υπάρχει η δυνατότητα του περιβαλλοντικού ελέγχου (environmental control) και των ανθεκτικών στον κίνδυνο σχεδιαστικών λύσεων (hazard-resistant design) οι οποίες εμπίπτουν στην ευρύτερη λογική της τροποποίησης του κάθε φορά (ακραίου) φυσικού φαινομένου-περιστατικού (event modification), η εργασία αυτή τείνει να αποσκιρτά από τέτοιες κατευθυντήριες και να προσκολλάται σε εκείνες της τροποποίησης της ανθρώπινης τρωτότητας. Οι κύριοι λόγοι για μια τέτοια συνειδητή επιλογή απορρέουν από την πεποίθηση ότι ο άνθρωπός είναι – και οφείλει να είναι ένα αναπόσπαστο μέρος της «βιόσφαιρας» και όχι κυρίαρχο. Άλλωστε οι τεχνικές που εμπλέκουν κατασκευαστικά μέτρα συνοδεύονται από αυξημένα κόστη, ενώ παράλληλα, συνοδεύονται από παράπλευρες – άλλοτε άγνωστες, ανεξιχνίαστες και ανεξέλεγκτες – επιπτώσεις σε βιοτικό και αβιοτικό περιβάλλον. Επιπλέον, τίθενται υπό αμφισβήτηση οι ευεργετικές-προστατευτικές ιδιότητες/ προοπτικές που αναφύονται από τέτοιες κατασκευαστικές μεθόδους, ακόμα και επί των κοινωνικών συνόλων και ιδιοκτησιών που προορίζονται να διαφυλάξουν, (π.χ. περιβαλλοντικά προβλήματα από κατασκευές φραγμάτων, αλλά και απώλειες ζωών και ζημιές σε περιουσίες σε περίπτωσης αστοχιών σε φράγματα). Ακόμη δε και αν δεν υπάρξουν επιπλοκές σε δεδομένο χρονικό ορίζοντα, σε βάθος χρόνου η εξάρτηση από τις κατασκευές καθιστούν πληθυσμούς υπό την «αιγίδα» των πρώτων ολοένα και πιο επιρρεπείς (π.χ. η ανάγκη εκσκαφής ολοένα και μεγαλύτερου βάθους τάφρων (dikes) ή/ και ενίσχυσης όλο και περισσότερων και υψηλότερων αντιπλημμυρικών αναχωμάτων (levees)). Τέλος, δεν θα πρέπει να λησμονεί κανείς το αδιάσειστο γεγονός ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, η αποφυγή ή η αποσόβηση της διακινδύνευσης που θέτει ένας φυσικός κίνδυνος, είναι αδύνατη, όσα μέτρα περιβαλλοντικού ελέγχου ή ανθεκτικότητας στον κίνδυνο κι αν ληφθούν.

Γενικότερα, η προσπάθεια τιθάσευσης και χαλιναγώγησης της φυσικής ορμής αποτελεί πολλές φορές μια επιλογή εγωιστική, υπερφίαλη, πολυδάπανη, άλλοτε δε, άτοπη ή ακόμη και επικίνδυνη, που όμως, απ' ότι φαίνεται, πολλές φορές αξιώνει την πρωτοκαθεδρία. Γι' αυτό, η επιδίωξη της εργασίας επικεντρώνεται στην διαχείριση κρίσεων διαμέσου της τροποποίησης τη ανθρώπινης τρωτότητας, με κύριο τεχνολογικό βοήθημα τις δυνατότητες των μεθόδων και τεχνικών της Τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με εκείνες των ΓΣΠ. Ας σημειωθεί πάντως, πως σε

καμία περίπτωση δεν αποτελεί εγχείρημα πλήρους κατάλυσης των κατασκευαστικών μέτρων, απλώς συνιστά μια προσπάθεια μεταστροφής προς επιλογές που κινητοποιούν περισσότερο την ανθρώπινη και κοινωνική συμπεριφορά – μέσω της λήψης αποφάσεων που υποστηρίζονται (και δεν υπαγορεύονται) από την πρόσληψη πληροφοριών από τεχνικά/ τεχνολογικά μέσα.

Βέβαια, επειδή μια καταστροφή είναι ένα διακριτό συμβάν τόσο στον χώρο όσο και στον χρόνο, με την χρονική διάσταση να λαμβάνει ιδιαίτερη σημασία, η άρτια, ολοκληρωμένη και επιτυχής διαχείρισή τους μπορεί να επιτευχθεί μόνο αν εφαρμοστούν κατάλληλες ενέργειες σε όλες τις φάσεις μιας καταστροφής – πριν, κατά και μετά την εκδήλωση του επεισοδίου. Παρακάτω δίνεται η επιχειρηματολογία για μια στοιχειώδη σύνδεση τηλεπισκόπησης με την τροποποίηση της τρωτότητας, ενώ αμέσως μετά παρουσιάζονται τα στάδια διαχείρισης που «διαποτίζουν» ένα καταστροφικό επεισόδιο, με τις τηλεπισκοπικές μεθόδους να εμπλέκονται δυναμικά.

3.3.2 Τηλεπισκόπηση και Τροποποίηση της Τρωτότητας

Τα συστήματα τηλεπισκόπησης, μέσω της απόκτησης και επεξεργασίας εικόνων που έχουν συλλεχθεί από αισθητήρια μέσα που δεν είναι σε επαφή με τις εκάστοτε πληττόμενες περιοχές (επί του παρόντος δορυφορικές εικόνες), προσφέρουν μια εξαιρετική ευκαιρία για την τροποποίηση της τρωτότητας κατά ευνοϊκό τρόπο. Και αυτό διότι, σύμφωνα με την επιχειρηματολογία των Jayaraman *et al.* (1997), η λήψη κατάλληλων μέτρων για την εν γένει αντιμετώπιση κρίσεων άρχεται με την ανάλυση τρωτότητας μιας συγκεκριμένης χωρικής ενότητας, όπως αυτή (η ανάλυση) καθορίζεται στη βάση των εγγενών συνθηκών του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, καθώς και στο δυναμικό των κοινωνικών, οικονομικών και πολιτικών δομών να ανθίστανται και αποκρίνονται σε καταστροφικά συμβάντα. Και ενώ οι εισροές (δεδομένα εισόδου) που προέρχονται από συστήματα τηλεπισκόπησης (π.χ. δορυφορικές εικόνες) αποτελούν κρίσιμα στοιχεία για την περαιτέρω ανάλυση και επεξεργασία, παρ’ όλα αυτά, θα πρέπει να εκλαμβάνονται ως συμπληρωματικές επιγείων μετρήσεων και επιτόπιων ερευνών καθ’ ότι δεν είναι δυνατό να τις αντικαταστήσουν. Ενέχουν όμως το αδιαμφισβήτητο «προτέρημα» της αποκομιδής κρίσιμης πληροφορίας για μια πληθώρα καταστάσεων και φυσικοκαταστροφικών φαινομένων, καθ’ ότι, μεταξύ άλλων, οι διαστημικές τεχνολογίες παρατήρησης της

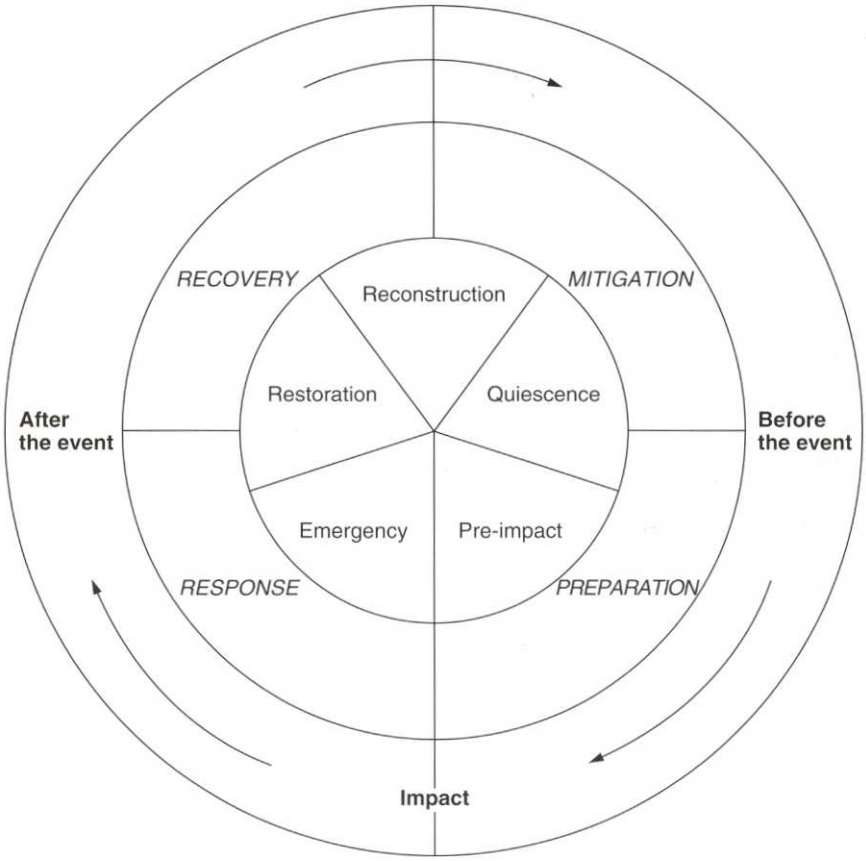
Γης είναι οι μόνες που παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο (real time), για απόμακρες και απρόσιτες περιοχές. Δεδομένου λοιπόν ότι τα δεδομένα και οι πληροφορίες που απαιτούνται θα πρέπει πολλές φορές να συλλεχθούν και να αναλυθούν σε ένα εύλογο (αν όχι εξαιρετικά σύντομο) χρονικό διάστημα προκειμένου να επιτευχθεί η έγκαιρη προειδοποίηση και απόκριση, και δεδομένου ότι οι χειρωνακτικές, επί του πεδίου μέθοδοι (συλλογής αλλά και επεξεργασίας δεδομένων) εν γένει στερούνται τέτοιων ιδιοτήτων (είναι χρονοβόρες και ανίκανες να ανταποκριθούν σε αυτές τις εξαιρετικά ταχύρυθμες «επιταγές»), η χρήση των τεχνολογιών της τηλεπισκόπησης[45] κρίνονται επιτακτικές (Luscombe and Hassan, 1993).

3.3.3 Στάδια Διαχείρισης Καταστροφών και Γενικές Κατευθυντήριες της Συμβολής της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ

Προς την πραγμάτωση της αποτελεσματικής διευθέτησης καταστροφών ή *έκτακτων/ επειγουσών καταστάσεων* (*emergencies*) που πυροδοτούνται από πληθώρα διαδικασιών (συμπεριλαμβανομένων και των φυσικών), έχουν αναδυθεί στη διεθνή βιβλιογραφία κρίσιμες ενέργειες που προτίθενται να καλύψουν ολόκληρο το φάσμα εξέλιξης καταστροφικών συμβάντων. Δεδομένου ότι οι (φυσικές) καταστροφές τείνουν να διακρίνονται από επαναληψιμότητα, σχηματίζουν έναν «κύκλο», επί του οποίου εντάσσονται οι ενέργειες αυτές, τον *κύκλο της διαχείρισης των φυσικών καταστροφών*, ο οποίος απαρτίζεται από τα ημι-διακριτά στάδια του ***μετριασμού***, της ***ετοιμότητας,*** της ***απόκρισης*** και της ***αποκατάστασης (ανάκαμψης)/ ανακούφισης (mitigation – preparedness/ preparation – response – recovery/ relief)***. Τα δύο πρώτα στάδια λαμβάνουν χώρα στην προ-καταστροφική φάση, ενώ τα δύο τελευταία στην μετα-καταστροφική (Σχ. 10). Οι ενέργειες προς την διευθέτηση της προ-καταστροφικής φάσης (δύο πρώτα στάδια) λαμβάνει τον χαρακτηρισμό *διαχείριση διακινδύνευσης* (*risk management*), ενώ οι δράσεις που υλοποιούνται μετά την «έλευση» του καταστροφικού πλήγματος – στα δύο επόμενα στάδια – υπάγονται στην *διαχείριση κρίσεων* (*crisis management*). Τόσο η διαχείριση διακινδύνευσης, όσο και η διαχείριση κρίσεων υπάγονται στον ευρύτερο *σχεδιασμό* περί *διαχείρισης*

[45] με την έννοια της ευρύτερης τηλεπισκοπικής διαδικασίας

καταστροφών ή εκτάκτων καταστάσεων (planning for disaster/ emergency management).



Σχήμα 10: Ο Κύκλος (της Διαχείρισης) των Καταστροφών
Πηγή: Alexander, 2000

Σε γενικές γραμμές, οι δράσεις που αναλαμβάνονται σε κάθε στάδιο, καθώς και οι διαδικασίες σχεδιασμού που τις επικαθορίζουν, διαφέρουν, όσο διαφέρουν και οι ανάγκες που χρήζουν διευθέτησης/ αντιμετώπισης. Έτσι, ο ***μετριασμός*** αναφέρεται σε όλες εκείνες τις ενέργειες προκειμένου να ελαττωθεί ο αντίκτυπος μελλοντικών καταστροφικών συμβάντων. Αυτές οι ενέργειες-μέτρα διαιρούνται στις κατασκευαστικές (λύσεις εφαρμοσμένης μηχανικής) και στις μη-κατασκευαστικές που αφορούν στη νομοθέτηση, στην ασφάλιση, στο σχεδιασμό των χρήσεων/ καλύψεων γης και στα σχέδια εκκένωσης. Η ***ετοιμότητα*** συμπεριλαμβάνει πάλι ενέργειες προς τη μείωση των συνεπειών μιας καταστροφής, όταν όμως μια τέτοια επίκειται· και σε αυτό το στάδιο ενυπάρχουν οι δύο παραπάνω κατηγορίες, με τη

διαφορά ότι τόσο οι κατασκευαστικές (π.χ. η ενίσχυση των αναχωμάτων όταν τα νερά των πλημμυρών αρχίζουν να ανυψώνονται), όσο και οι μη-κατασκευαστικές (εκκενώσεις και μετακινήσεις επιρρεπών/ ευπαθών πληθυσμών) μεταβαίνουν από τον *σχεδιασμό* (*planning*) στην *εκτέλεση* (*execution*). Στο στάδιο της ***απόκρισης*** υπεισέρχονται δράσεις που υλοποιούνται τόσο κατά την διάρκεια εκδήλωσης του καταστροφικού επεισοδίου, όσο και στο βραχυπρόθεσμο χρονικό διάστημα που επακολουθεί. Στοχεύουν δε στην διάσωση και περιφρούρηση, καθώς και στην ικανοποίηση των άμεσων αναγκών των πληγέντων και διασωθέντων (σίτιση, ιατροφαρμακευτική περίθαλψη κ.α.). Τέλος, η ***ανάκαμψη-αποκατάσταση*** εμπερικλείει διενέργειες επιδιόρθωσης και επισκευής υλικών ζημιών και φθορών, επανόρθωσης των υπηρεσιών και ανακατασκευής των υποδομών (καθώς και διαδικασίες αναδόμησης και αναζωογόνησης της κοινωνικοοικονομικής ζωής), διαδικασίες που στο σύνολό τους ενδέχεται να υπερβούν τον 20-ετή χρονικό ορίζοντα, αν πρόκειται για μείζονα καταστροφή (Alexander, 2002).

Διαχείριση Διακινδύνευσης

Αρχίζοντας αυθαίρετα από την φάση της *ετοιμότητας*, θα μπορούσε κανείς να υπαινιχθεί πως εν γένει (μαζί με το *μετριασμό*) αντιστοιχίζεται στην *προ-καταστροφική* διαχείριση (*pre-disaster*)[46]. Σε αυτό λοιπόν το στάδιο επιτελείται η εκτίμηση της έντασης του επικείμενου γεγονότος, αλλά και ο (χωρικός και χρονικός) εντοπισμός του, ενώ παράλληλα προεκτιμώνται τα ανθρώπινα διαθέσιμα που αναμένεται να υποστούν την επενέργεια του πλήγματος, πριν από την εκδήλωση του συμβάντος, προκειμένου να διευθετηθούν οι ενέργειες προετοιμασίας και ως εκ τούτου να αμβλυνθεί ο αντίκτυπος των συνεπειών (Luscombe and Hassan, 1993).

Γενικά, η προετοιμασία σε καταστροφικά επεισόδια διακρίνεται στην *μακροπρόθεσμη*, όπου η διακινδύνευση σε ανθρώπινες απώλειες και υλικές ζημιές «ρυθμίζεται» από μακρόπνοα σχέδια που κατά περίπτωση συμπεριλαμβάνουν την καταστολή της οποιασδήποτε «αναπτυξιακής» διαδικασίας, την υιοθέτηση και εφαρμογή οικοδομικών κανόνων, την προώθηση θεσμικών προγραμμάτων (μέσα εκτάκτου από απόκρισης, κ.α., και στην *άμεση (ή βραχυπρόθεσμη)*, κατά την οποία η

[46] Αν και ο μετριασμός της διακινδύνευσης προφανώς υπάγεται στην διαχείριση της διακινδύνευσης, για πρακτικούς λόγους θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα.

κατάσταση ετοιμότητας μετουσιώνεται σε ενέργειες άμεσης απόκρισης όταν ένα επεισόδιο επίκειται ή βρίσκεται σε εξέλιξη. Και στις δύο περιπτώσεις, σκοπό έχει τον μετριασμό των αντίκτυπων. Και ενώ η πρώτη επιλογή είναι εφαρμόσιμη και «δρέπει καρπούς» σε κάθε τύπο καταστροφής, η δεύτερη δεν έχει απήχηση σε εξαιρετικά ταχύρυθμα εξελισσόμενα γεγονότα όπως σεισμικές δονήσεις, ή *flash floods*. Έτσι, στα αναγκαία προσαρμοστικά διαβήματα σε λοιπά περιστατικά ταχείας εκδήλωσης (π.χ. εξέλιξη τροπικών κυκλώνων, οι τυπικών πλημμυρών υδρολογικής φύσης) υπεισέρχονται διάφορες επιλογές: ανάλογα με την αναμενόμενη σφοδρότητα του επαπειλούμενου κινδύνου/ καταστροφής, αλλά και τις δυνατότητες και τον διαθέσιμο χρόνο αντίδρασης των κατατρυχόμενων πληθυσμών, οι ενέργειες αυτές μπορεί να κυμαίνονται από την ανακοίνωση μέτρων «περιφρούρησης» κτιρίων ή «ενίσχυσης» κατασκευών και που είναι οι πλέον επιρρεπείς σε τέτοιου είδους επεισόδια, έως και την παντελή εκκένωση μιας περιοχής. Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις οι δράσεις προετοιμασίας θα πρέπει να στηρίζεται στην προσφυγή μακροπρόθεσμων στρατηγικών πλάνων, η οποία επαφίεται πρωταρχικά στην ανάδειξη περιοχών και ζωνών διακινδύνευσης.

Καθ' ότι η ετοιμότητα εμπερικλείει όλες εκείνες τις ενέργειες προετοιμασίας για πραγματικές επείγουσες καταστάσεις, η Τηλεπισκόπηση μπορεί να συμβάλει με την διαχρονική και *real time* παρακολούθηση φυσικών διαδικασιών και φαινομένων (π.χ. ανίχνευση αυξημένης ηφαιστειακής δραστηριότητας, εξέλιξη των κινήσεων και της ανάπτυξης τροπικών κυκλώνων κ.α.) και με τη σχετική αποκομιδή πληροφοριών προς την έγκαιρη προειδοποίηση, ενώ τα ΓΣΠ μπορούν να διαχειριστούν, αναλύσουν και οπτικοποιήσουν κατάλληλα την σχετική χωρική πληροφορία. Έτσι, η δυνατότητα των τελευταίων να αποδίδουν απαντήσεις γεωγραφικής αναφοράς σχετικά με τα στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος, αλλά κυρίως αναφορικά με τα στοιχεία του δομημένου και δη τις ανθρωποποίητες υποδομές και τα ανθρώπινα διαθέσιμα όπως: την κατανομή και την χωροθέτηση βασικών μονάδων έκτακτης ανάγκης, τις (εναλλακτικές) διαδρομές εκκένωσης, τους (ανεκτούς) φόρτους των μεταφορικών δικτύων, τη θέση και τη χωρητικότητα χώρων και υποδομών καταφυγής κ.ο.κ., μπορούν να παράσχουν την απαιτούμενη πληροφόρηση, η οποία όμως πρέπει επιπροσθέτως να διανεμηθεί προς το κοινό (Johnson, 2000).

Οι ενέργειες του προληπτικού σχεδιασμού, με σκοπό την τόνωση της ανθεκτικότητας στον κίνδυνο παρέχει μια σημαντική προοπτική στην διαχείριση της

διακινδύνευσης, πριν αναδυθεί ένα καταστροφικό επεισόδιο. Σύμφωνα δε με τους Hassan and Luscombe (1990), η ετοιμότητα, μολονότι δεν μπορεί να εξαλείψει πλήρως τους δαπανηρούς αντίκτυπους, συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των ολέθριων συνεπειών.

Διαχείριση Κρίσεων

Καθώς πραγματοποιείται η μετάβαση από το στάδιο προ της καταστροφής, προς το στάδιο – δηλ. τη χρονική στιγμή ή το χρονικό διάστημα – κατά το οποίο εκδηλώνεται επί της ουσίας το φαινόμενο που επιφέρει καταστροφές (in-disaster/ impact), οι ενέργειες που εμπίπτουν στην έννοια της *απόκρισης* επέχουν θέση υψηλής σπουδαιότητας προς την «απάλυνση» των επιπτώσεων. Έτσι, όταν ένα καταστροφικό συμβάν βρίσκεται υπό εξέλιξη, η λήψη αποφάσεων σχετικά με την επισήμανση των περιοχών υπό διακινδύνευση, της χωρικής κατανομής των συνεπειών και της έκτασης της καταστροφής, καθώς και τον εντοπισμό των πλέον πληττόμενων περιοχών[47] – υπό το πρίσμα ανθρωπογενών, οικονομικών και περιβαλλοντικών συνθηκών – κρίνεται τουλάχιστον κρίσιμη για την έγκαιρη απόκριση και για την, κατά το μέτρο του δυνατού, μεγαλύτερη αποσόβηση των ανθρώπινων απωλειών και τραυματισμών, των υλικών ζημιών και της περιβαλλοντικής υποβάθμισης (Luscombe and Hassan, 1993).

Διαφαίνεται λοιπόν επιτακτική η ανάγκη για παρακολούθηση και ανάλυση της εξέλιξης του φαινομένου σε (σχεδόν) πραγματικό χρόνο ((near)real-time), ούτως ώστε οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων να είναι σε θέση να «παράσχουν» ενημερωμένες κατευθυντήριες οδηγίες άμεσης απόκρισης, και, σε συνδυασμό με προεπιλεγμένα σενάρια «αντίδρασης» όσον αφορά στην υλοποίηση της εκκένωσης συγκεκριμένων περιοχών και της άμεσης επέμβασης μονάδων επειγουσών καταστάσεων και σωστικών συνεργείων, να συνεπικουρήσουν στην πλέον κατάλληλη και αποτελεσματική οργάνωση του εγχειρήματος. Η ουσιαστική αυτή έκφανση της απόκρισης επιτυγχάνεται θέτοντας ταυτόχρονα τις προτεραιότητες και επεμβαίνοντας κατά προτεραιότητα προς όφελος των πλέον σφοδρά χτυπημένων με ταχύτητα και αποτελεσματικότητα, στο πλαίσιο των βέλτιστων δυνατών αποφάσεων απόκρισης.

[47] που προκύπτει από την ιεράρχηση των προτεραιοτήτων

Σε αυτή την κατεύθυνση μπορεί – και θα πρέπει – να συμβάλλει η ευρύτερη τηλεπισκοπική διαδικασία, ή ένα ολοκληρωμένο ΓΣΠ, με την συναξιοποίηση τόσο της προγενέστερα υφιστάμενης και συγκεντρωμένης χωρική πληροφορία σε μια πληροφοριακή βάση ΓΣΠ, όσο και των ενημερωμένων δεδομένων-πληροφοριών που προκύπτουν από τις *real-time* τηλεπισκοπικές απεικονίσεις, υπό την αρωγή των δυνατοτήτων χωρικής ανάλυσης και χαρτογραφικής απόδοσης που παρέχουν τα ΓΣΠ. Έτσι, η «άντληση» πληροφοριών από τηλεπισκοπικά δεδομένα συλλογής και επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας τα νέα, πρόσφατα δεδομένα, σε συνδυασμό με άλλες πολυσχιδείς πληροφορίες (περί φυσικού και δομημένου περιβάλλοντος) που έχουν καταχωρηθεί διαχρονικά, είτε μέσω τηλεπισκοπικών μεθόδων, είτε μέσω επίγειων ερευνών, μπορούν να αποφέρουν ένα ικανό σύνολο πληροφόρησης επί της εξέλιξης μιας κρίσιμης κατάστασης, μέσα από αυτοματοποιημένες ενέργειες ψηφιακής επεξεργασίας τηλεπισκοπικών απεικονίσεων, ολοκληρώνοντας τα αποτελέσματα στη βάση του συστήματος διαχείρισης και των αναλυτικών λειτουργιών ενός ΓΣΠ.

Πιο συγκεκριμένα, τα ΓΣΠ μπορούν να καθορίσουν ζώνες καταφυγής ανάλογα με την εξέλιξη του φαινομένου. Επιπλέον, μπορούν να συνεπικουρήσουν καθοριστικά στην αποστολή (CAD – Computer Aided Dispatch) οχημάτων, σωστικών συνεργείων και εν γένει (κινητών) μονάδων έκτακτης ανάγκης και απόκρισης προς σημεία ή περιοχές αυξημένης διακινδύνευσης[48], εντοπίζοντας ταυτόχρονα χρήσιμους πόρους για την απόκριση (λ.χ. σε περίπτωση πυρκαγιάς με τον άμεσο εντοπισμό υφιστάμενων ταμιευτήρων ύδατος), σε δε περιπτώσεις πολλαπλών εκτάκτων καταστάσεων (multiple emergencies) (λ.χ. σεισμικά επεισόδια με παράλληλη πυροδότηση πλημμυρών, λόγω αστοχιών φραγμάτων οφειλόμενες στην σεισμική δόνηση), μπορούν να συνδράμουν στην απόδοση και «διανομή» αρμοδιοτήτων και «ζωνών ευθύνης» σε αυτές τις μονάδες, ανάλογα με τον χωρικό εντοπισμό των τελευταίων (Johnson, 2000). Η ανίχνευση περιοχών αυξημένων προβλημάτων, σε συνδυασμό με την εύρεση *ζωτικών συνδέσεων* (*lifelines*), είτε για την έγκαιρη άφιξη σωστικών συνεργείων, είτε για την εύρεση οδών διαφυγής προς

[48] λόγω σημαντικής τοπικής έξαρσης φαινομένου και αυξημένων αντίκτυπων, λόγω εγγενούς τρωτότητας (π.χ. κτίρια, κατασκευές, ή ομάδες ανθρώπων εξαιρετικά επιρρεπείς) ή λόγω υψηλής αξίας/ χρησιμότητας/ επιπρόσθετης διακινδύνευσης (λ.χ. μουσεία/ υδραγωγεία/ αποθήκες με επικίνδυνα υλικά)

ελεύθερων χώρους καταφυγής, αποτελεί ύψιστης σημασίας ζήτημα, κατά τις κρίσιμες ώρες μιας επείγουσας/ έκτακτης ανάγκης.

Ύστερα από την «εκτόνωση» μιας φυσικής διαδικασίας η οποία εκδηλώνεται μέσα από ένα ακραίο φυσικό φαινόμενο κατατρύχοντας το ανθρωπογενές στοιχείο, θα πρέπει να επιτευχθούν ενέργειες προς την *ανακούφιση, αποκατάσταση και επανόρθωση* (*relief, recovery and restitution*). Το στάδιο της αποκατάστασης μπορεί να διακριθεί στην άμεση ή βραχυπρόθεσμη (rehabilitation) και στην μακροχρόνια-μακροπρόθεσμη αποκατάσταση (reconstruction).

Έτσι, πρώτο και ουσιαστικό μέλημα συνιστά η «ενεργοποίηση» κρίσιμων υπηρεσιών προς την άμεση ικανοποίηση των πιο πρωταρχικών αναγκών των θυμάτων-πληγέντων, όσον αφορά στην παροχή νερού, τροφής, στέγης και πρώτων βοηθειών (ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης), καθώς και η επιδιόρθωση ζημιών και βλαβών σε βασικές παροχές (λ.χ. δίκτυο ύδρευσης κ.α.). Ύστερα δε από τις ενέργειες άμεσης ανακούφισης και περιφρούρησης της ζωής, σε έναν άλλο χρονικό ορίζοντα, απαιτείται η επανόρθωση των υποδομών, και η επαναφορά της κοινωνικής και οικονομικής ζωής σε επίπεδα τουλάχιστον εφάμιλλα των προ-καταστροφικών.

Ζωτικής σημασίας διάβημα προκειμένου να επέλθει, τόσο άμεση ανακούφιση, όσο και θεραπεία και επιστροφή στην κανονικότητα, αποτελεί, αρχικά, ο απολογισμός του εύρους και μεγέθους της καταστροφής και η αποτίμηση των ζημιών-απωλειών. Κάτι τέτοιο σημαίνει την αποτίμηση των περιοχών όπου ο καταστροφικός αντίκτυπος ήταν πιο δριμύς, με ταυτόχρονη εστίαση των ενεργειών ανακούφισης σε αυτές, και μάλιστα με υψηλό βαθμό προτεραιότητας. Η άμεση και ουσιαστική αρωγή θα πρέπει παρασχεθεί στις πιο έντονα πληγείσες, ή και ευπαθείς κοινωνικές ομάδες, ενώ δεν θα πρέπει να υποτιμάται/ αμελείται το γεγονός ότι ακόμη και λιγότερο οξείες (φαινομενικά) επιπτώσεις σε ιδιαίτερα επιρρεπείς υποδομές ή/ και σε τρωτούς πληθυσμούς και κοινωνίες, μπορούν να επιφέρουν τον όλεθρο. Από την άλλη, με γνώμονα την αποτίμηση των καταστροφών, θα πρέπει να προαχθούν σχέδια επανόρθωσης στον τομέα της επιδιόρθωσης και ανακατασκευής κτιριακών εγκαταστάσεων και άλλων έργων υποδομής (δικτύων παροχών κοινής ωφέλειας, οδοί, γέφυρες κ.α.). Επιπλέον, τίθεται στο προσκήνιο, με αυξημένο «συντελεστή βαρύτητας» η ταχεία και δέουσα διευθέτηση ζητημάτων κοινωνικής, οικονομικής, ακόμη και θεσμικής και πολιτικής αναδιάρθρωσης.

Καθώς θα πρέπει να επανέλθει μια κατάσταση ισορροπίας, τουλάχιστον εφάμιλλη της προ- της καταστροφής, κατά το στάδιο της (μακροχρόνιας) αποκατάστασης των ισορροπιών, ένα επίσης πολύ κρίσιμο ζήτημα στην μετα-καταστροφική φάση συνιστά η «επαναπόδοση», και δη η διάθεση πόρων-διαθεσίμων και κονδυλίων «εκεί που πρέπει» και «κατά τρόπο που αρμόζει». Ένα τέτοιο εγχείρημα μπορεί να μετεξελιχθεί σε εξαιρετικά πολύπλοκο και δυσεπίλυτο, εφόσον εγείρει πτυχές κοινωνικής δικαιοφροσύνης, τόσο κατά την φάση της «δέουσας» αναδιανομής πόρων στο στάδιο της αποκατάστασης, ενώ δε θέτει υπό αμφισβήτηση ακόμη και τις προϋπάρχουσες ισορροπίες. Προς απλοποίηση των προηγούμενων, το ζητούμενο εστιάζεται, τουλάχιστον στην παρουσία καταχωρημένων-καταγεγραμμένων σε χωρικές βάσεις δεδομένων των ιδιωτικών περιουσιών (αγροτεμάχια, κατοικίες κ.α.) και των δημοσίων γαιών (δημόσιοι κοινωφελείς χώροι, δασικές εκτάσεις κ.α.), με παράλληλη δυνατότητα έγκυρης διαπίστωσης των σχετικών μεταβολών μετά την έλευση της συμφοράς.

Οι τεχνολογίες της Τηλεπισκόπησης μπορούν να προσφέρουν ουσιαστική βοήθεια στην ανίχνευση των πληγεισών περιοχών και στον εντοπισμό της έκτασης της καταστροφής μέσω της διαχρονικής παρακολούθησης της περιοχής μελέτης, με την επεξεργασία εικόνων πολλαπλών χρονικών στιγμών (πριν και μετά το καταστροφικό χτύπημα). Η δε αποτίμηση των απωλειών και ζημιών μπορεί να επιτευχθεί διαμέσου της ενσωμάτωσης ΓΣΠ, καθώς αυτά παρέχουν την δυνατότητα οργάνωσης και αξιοποίησης πολυσχιδούς ποιοτικής και ποσοτικής πληροφορίας που έχει αντληθεί μέσα από πληθώρα μέσων, και αφορά τόσο σε παρατηρήσιμες-απτές παραμέτρους (π.χ. επιφανειακή κάλυψη γης), όσο και σε άυλες, νοητικές ή αξιακές παραμέτρους (π.χ. οικονομική δραστηριότητα, δημογραφία, αξία γης-κτισμάτων κ.α.). Όσον αφορά την μακροπρόθεσμη αποκατάσταση, οι διαχρονικές τηλεπισκοπικές εικόνες μπορούν να καταδείξουν με αμερόληπτο τρόπο τις χωρικές επιπτώσεις μιας καταστροφής στο φυσικό και δομημένο περιβάλλον, ενώ με την συναξιοποίηση των ΓΣΠ μπορεί να συνταχθούν προγράμματα επανασχεδιασμού, αποδίδοντας την χωρική διάσταση στα έργα που θα πρέπει να επιτελεστούν, στα κονδύλια που θα διατεθούν στους φορείς της περιφερειακής και τοπικής αυτοδιοίκησης ή και στους πολίτες, από ίδιους (εθνικούς) ή «εισαγόμενους» πόρους, καθώς και στην τόνωση και ανάπτυξη με άλλους τρόπους, όπως η χωροθέτηση νέων παραγωγικών δραστηριοτήτων και η προσέλκυση ανθρώπινων διαθεσίμων. Βεβαίως,

δεν θα πρέπει να παραγνωρίζεται το ενδεχόμενο της αποθάρρυνσης της εποίκιση ενός τόπου ή ακόμη και της «παύσης της οποιασδήποτε λειτουργίας του» (ως περιοχή κατοικίας, εμπορίου, βιομηχανίας κ.α), λόγω του υψηλού κινδύνου που ενέχει.

Ολοκλήρωση του Κύκλου μέσω του Μετριασμού – Ανάδραση

Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί το γεγονός ότι σε ορισμένους φυσικούς κινδύνους, κάποιες φάσεις τείνουν να απαλείφονται, ή να συγχωνεύονται μεταξύ τους. Έτσι, στα εκρηκτικού ρυθμού εκδηλούμενα φαινόμενα (λ.χ. σεισμοί), η άμεση ετοιμότητα δεν υπεισέρχεται ως διακριτό στάδιο σε πρακτικό επίπεδο, ενώ στα εξαιρετικά αργόσυρτα, το στάδιο της ετοιμότητας, της απόκρισης και της αποκατάστασης τείνουν να συγχέονται μεταξύ τους εν πολλοίς. Πάντως, ανεξαρτήτως της φύσης και του χρόνου εξέλιξης ενός επεισοδίου καταστροφής φυσικής προέλευσης, το στάδιο του μετριασμού της διακινδύνευσης – λαμβάνοντας και ένα γενικότερο νόημα – είναι αδιαλείπτως υπαρκτό στον κύκλο της διαχείρισης. Ο μετριασμός της διακινδύνευση προφανώς υπάγεται στην διαχείριση της διακινδύνευσης (risk management)· εντούτοις, προκειμένου να καταδειχτεί η κυκλική ροή των φάσεων «εκτύλιξης» και των σταδίων διαχείρισης, αυτό το στάδιο παρουσιάζεται, αυθαίρετα, ως συνδετικός κρίκος ανάδρασης, σε αυτήν την ατέρμονη αλληλουχία παρόμοιων φυσικοκαταστροφικών επεισοδίων σε μια κοινή γεωγραφική περιοχή.

Συνεχίζοντας λοιπόν από το στάδιο της επιδιόρθωσης και ανακατασκευής – στο ευρύτερο πλαίσιο της ανάκαμψης –, θα πρέπει αναντίρρητα να συμπεριληφθεί και το «παράθυρο» των δυνατοτήτων και προοπτικών για μελλοντική ανάπτυξη, και φυσικά η προώθηση των λοιπών σταδίων της διαχείρισης των καταστροφών, καθώς, όπως αναφέρουν οι Luscombe and Hassan (1993), σε πολλές περιπτώσεις οι ενέργειες αποκατάστασης μετά την καταστροφή (post disaster rehabilitation), παρέχουν ευκαιρίες για προώθηση προγραμμάτων μετριασμού και ετοιμότητας, προκειμένου να προληφθούν οι ίδιοι καταστροφικοί αντίκτυποι από παρόμοια συμβάντα. Επομένως, με άλλα λόγια, η μετα-καταστροφική ανάκαμψη και αποκατάσταση (και όχι μόνο) θα πρέπει να «ιδωθεί» ως μια δυνητική ευκαιρία για αναβάθμιση των λοιπών σταδίων του κύκλου, καθώς και για γενικότερη ανάπτυξη.

Σε αυτό το πλαίσιο, ο μετριασμός της διακινδύνευσης, μπορεί να εκληφθεί σε ένα βαθμό ως η απόρροια αυτών των μελλοντικών προοπτικών για ανάπτυξη και ενισχυμένη προσαρμοστικότητα, έπειτα από την εκδήλωση των επιπτώσεων μιας καταστροφικής επέλασης. Εντούτοις, ως διακριτό στάδιο εντοπίζεται στη χρονική φάση προ της εκδήλωσης μιας κατάστασης εκτάκτου ανάγκης. και νοείται ως το προκαταρκτικό στάδιο όπου προσδιορίζεται η ευρύτερη διακινδύνευση υπό την οποία τελεί ένας συγκεκριμένος χώρος λόγω της επενέργειας της γεωγραφικής κατανομής ενός φυσικού κινδύνου και της διακύμανσης της έντασης του, σε σχέση με την υποκείμενη τρωτότητα της κοινωνίας που εκτίθεται επί αυτού του κινδύνου, με το πέρασμα του χρόνου. Έτσι, επέχει έναν σπουδαίο ρόλο στον προσδιορισμό των απαιτήσεων προς την λήψη μέτρων όσον αφορά στην γενικότερη διευθέτηση των φυσικών και ανθρωπογενών παραμέτρων που καθορίζουν τον βαθμό επιρρέπειας και το ενδεχόμενο ανάδυσης ενός κινδύνου – με ποιες πιθανές επιπτώσεις και με ποιόν γεωγραφικό καθορισμό (;).

Η Τηλεπισκόπηση έχει να προσφέρει πολλά στον περιορισμό της διακινδύνευσης, υπό την έννοια ότι το εν λόγω στάδιο συνιστά την ευρύτερη-συνολική μορφή διαχείρισης καταστροφών, εντοπιζόμενο στο μεταίχμιο της προ και μετά-καταστροφικής φάσης. Παρέχοντας πληθώρα πληροφορίας για εκτεταμένες περιοχές της Γης, τα συστήματα παρακολούθησης της Γης προσδίδουν την δυνατότητα της απογραφής και αξιολόγησης του φυσικού και δομημένου περιβάλλοντος, μεταξύ άλλων και ως προς την επιρρέπειά του σε πλήγματα φυσικών κινδύνων/ καταστροφών, κατατείνοντας τελικά (τα πρώτα) σε πηγές και μέσα πληροφόρησης για την διαβάθμιση της διακινδύνευσης σε επικείμενες καταστροφές. Η δε ύπαρξη πληροφοριών-απεικονίσεων πολλαπλών χρονικών στιγμών, προωθεί την διάσταση του χρόνου, και την δυνατότητα δημιουργίας χρονοσειρών απεικονίσεων. Άλλωστε, από την συσσωρευμένη εμπειρία και πληροφορία κατά την εκδήλωση άλλων καταστροφών και σε λοιπά στάδια, διαμορφώνονται (ή τουλάχιστον πρέπει να δημιουργούνται) συνθήκες βελτιστοποιημένου μετριασμού της διακινδύνευσης. Ως εκ τούτου, η συνολική ευπάθεια και διακινδύνευση εξάγεται συνδυαστικά και συνεπαγωγικά μέσα από την συλλογή και επεξεργασία σειρών δεδομένων και εξαγόμενης πληροφορίας.

Καθώς στο παρόν στάδιο αναδεικνύονται οι μακροπρόθεσμες στρατηγικές, κατευθύνσεις και κανονισμοί που εξαρτώνται από την ιστορία και την εκτίμηση του

διευρυμένου δυναμικού επιρρέπειας-διακινδύνευσης καταστροφικών επεισοδίων, η συμβολή και των ΓΣΠ εμπλέκεται άμεσα και ενεργητικά. Αυτή η αρωγή τους έγκειται στις αναβαθμισμένες δυνατότητες που ενέχουν προς: (i) την στοιχειοθέτηση των παραμέτρων εκείνων που συνιστούν τις υποκείμενες επισφαλείς αιτίες στον χώρο (π.χ. λιθολογία, τοπογραφία, βλάστηση, κλίμα κ.α.) σε πληροφοριακή βάση (ii), την ανεύρεση των συνδυασμών των παραπάνω παραγόντων, οι οποίοι κατά καθορισμένο τρόπο συντείνουν στην εμφάνιση ενός κινδύνου – υπό την πυροδότηση του από άλλους εναρκτήριους παράγοντες –, (iii) την κατάδειξη-χωροθέτηση των προβλεπόμενων ζωνών επιρροής και εξάπλωσής φυσικών καταστροφών (και με τι μέγεθος-ένταση (;)), (iv) την αποτίμηση των ενδεχόμενων επιζήμιων επιπτώσεων που απορρέουν εξ' αυτών, όταν εγκαταστάσεις, υποδομές κ.α. ευρίσκονται εντός των παραπάνω ζωνών, αλλά και (v) τον ταχύ εντοπισμό των πλέον ουσιωδών στοιχείων που εκτίθενται στον κίνδυνο/ τίθενται υπό διακινδύνευση, ανεξάρτητα από την κλίμακα μεγέθους-έντασης του φαινομένου, καθ' ότι ακόμη και σε λιγότερο επιρρεπείς ζώνες η παρουσία τρωτών ανθρωπίνων (και λοιπών ζωικών/ φυτικών) πληθυσμών και ιδιαίτερα πολύτιμων-κρίσιμων υλικών υποδομών, χρήζει διαφορετικής αντιμετώπισης (Johnson, 2000).

Τελικά, διαφαίνεται ότι ο μετριασμός της διακινδύνευσης μπορεί να συμβάλλει με ουσιαστικό τρόπο στην αντιμετώπιση κάθε τύπου φυσικού κινδύνου, σε άμεση συσχέτιση και αλληλεπίδραση με τα λοιπά εμπλεκόμενα στάδια διαχείρισης – τόσο λαμβάνοντας εισροές από αυτά τα στάδια, όσο και αποτελώντας το ίδιο εισροή για τα λοιπά. Επιπροσθέτως, γίνεται αντιληπτό το γεγονός ότι η βαρύτητα που πρέπει να αποδίδεται σε κάθε ένα εξ' αυτών συναρτάται με την φύση του κινδύνου, καθώς και με τα διαθέσιμα μέσα και πληροφορίες μιας κοινωνίας.

3.3.4 Πληροφόρηση μέσα από Χαρτογραφικά Παραγόμενα

Ως απόρροια της συνεργιστικής αξιοποίησης των τεχνολογιών της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ, μπορούν να προκύψουν, από την αναπαράσταση των χωρικών προτύπων και σχέσεων, χαρτογραφικά παραγόμενα «δυναμικού χαρακτήρα». Καθ' ότι χρόνος, χώρος, μέγεθος και ένταση συνιστούν τις βασικές διαστάσεις-συνιστώσες των κρίσιμων καταστάσεων (emergencies) (Alexander, 2000;

2002), η επαρκής, έγκαιρη και σχετικά ευχερής δυνατότητα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, σε τέτοιες καταστάσεις – σχετικά με τον τρόπο που εκτυλίσσονται στον χρόνο, με την γεωγραφική κατανομή τους στον χώρο (ποιες περιοχές πλήττονται (;)), καθώς και με το μέγεθος των φυσικών δυνάμεων αλλά και την ένταση ή τη σφοδρότητα των επιπτώσεων που επιφέρουν αυτές οι δυνάμεις –, επαφίεται πρωταρχικά στην αξιοποίηση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων και άλλων πληροφοριών με γεωγραφική αναφορά. Έτσι, η ύπαρξη (χωρικής) πληροφορίας σχετικά με την φύση, την χωρική κατανομή και την χρονική κύμανση των φαινομένων, και της επενέργειάς τους, σε συνδυασμό με την αντίστοιχη πληροφορία που αφορά σε χρήσεις/ καλύψεις γης, πληθυσμιακές κατανομές και πρότυπα, υφιστάμενες κατασκευές ή οικονομικές δραστηριότητες, ιδιοκτησιακό καθεστώς κ.α., ανάγονται στην επιτυχή συνεργιστική αλληλεπίδραση τόσο των «τηλεπισκοπικά κεκτηθέντων» δεδομένων, όσο και προϋπαρχόντων πληροφοριών που έχουν συλλεχθεί και επεξεργαστεί με μια πληθώρα μεθόδων, και έχουν καταχωρηθεί σε ένα πλήθος μέσων. Η καταχώρηση, λοιπόν, δεδομένων που αναφέρονται τόσο στον φυσικό κίνδυνο αυτόν καθ' αυτόν, όσο και στα συναφή κοινωνικοοικονομικά στοιχεία σε ένα ΓΣΠ, μπορούν να αποφέρουν καρπούς, καθώς, όπως έχει καταδειχτεί από την διερεύνηση των ΓΣΠ, η δυνατότητα απόκτησης, επεξεργασίας, και χαρτογραφικής απόδοσης πληροφοριών γεωγραφικής φύσης, αποτελούν τις βασικές αρχές τέτοιων συστημάτων.

Αναγνωρίζοντας την σπουδαιότητα των παραπάνω συνιστωσών προς την κατεύθυνση του σχεδιασμού σε περιπτώσεις εκτάκτων καταστάσεων, η χαρτογραφία – ως απότοκος της συμπερίληψης των παραπάνω διαδικασιών – και δη η απεικονιστική απόδοση των χωρικών (προτύπων και) σχέσεων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα, προκειμένου να αναπαρασταθεί η εκτύλιξη τέτοιων συμβάντων στον χώρο και στον χρόνο, και να παρουσιαστεί η κατανομή και η εξέλιξη των μεγεθών και των εντάσεών τους, με σκοπό την εν γένει κατανόηση και διαχείριση των καταστροφών. Ως εκ τούτου, οι χαρτογραφικές μέθοδοι χρησιμεύουν σε όλα τα στάδια του κύκλου των καταστροφών (Alexander, 2002).[49]

Έτσι, σε άμεση συνάρτηση με αυτά που αναφέρθηκαν προηγουμένως για τα διάφορα στάδια, οι χαρτογραφικές αποδόσεις μπορούν να συνδράμουν στον

[49] Εδώ δεν γίνεται αναφορά στις παραδοσιακές μεθόδους χαρτογράφησης, αλλά σε ευρύτερα χαρτογραφικά παραγόμενα, τα οποία δεν αναπαράγουν τις χωρικές κατανομές στατικά, αλλά μέσα από συνεχείς ενημερώσεις, μπορούν να αναπαριστούν τα φαινόμενα με δυναμικό τρόπο.

μετριασμό, με την κατάδειξη των θέσεων ή περιοχών που εντοπίζονται φυσικά φαινόμενα που εμφορούνται από το στοιχείο του κινδύνου, ώστε να ληφθούν κατάλληλα μέτρα (τροποποίηση φαινομένου/ τρωτότητας) πριν από την ανάδυση ενός καταστροφικού επεισοδίου, και δη στο στάδιο της διαχείρισης της διακινδύνευσης. Οι *χάρτες κινδύνου* (*hazard maps*), και δη εκείνοι που συντελούν στην γεωγραφική αναπαράσταση κάποιου γενικού τύπου απειλής, ανεξάρτητα αν κάποιος πληθυσμός ή ανθρωποποίητο στοιχείο υπόκειται σε αυτόν, συνιστούν απλά μια σκιαγράφηση της εικόνας της πραγματικής διακινδύνευσης. Από την άλλη, στην *ετοιμότητα* (συμπεριλαμβανομένου και του μετριασμού) είναι δυνατό μέσα από την σύνταξη *χαρτών τρωτότητας*, και τη μετέπειτα χρησιμοποίηση/ αξιοποίηση της πληροφορίας της χωρικής και περιγραφικής πληροφορίας της τρωτότητας και του κινδύνου, να προκύψουν *χάρτες διακινδύνευσης*. Η γεωγραφική αναπαράσταση της τρωτότητας, ως μέτρο του βαθμού ευπάθειας των ανθρωποποίητων κατασκευών/ υποδομών (λ.χ. οικοδομικά υλικά, μέγεθος και διαστάσεις, κατάσταση συντήρησης κ.α.), αλλά και των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και συμπεριφορών όσον αφορά στα χωρικά πρότυπα μέσω των οποίων οι τελευταίες εκδηλώνονται, αποτελεί μια θεμελιώδη προϋπόθεση για την χαρτογραφική απόδοση της διακινδύνευσης[50]. Τελικά, η χαρτογραφική απόδοση της διακινδύνευσης μπορεί και πρέπει να επιτευχθεί μέσα από την *«ζωνοποίηση» (zonation)*, δηλαδή την κατάτμηση μιας περιοχής σε επιμέρους «επικράτειες» σχεδόν ομογενούς διακινδύνευσης, είτε αδρομερώς σε μικρές κλίμακες – *«μακροζωνοποίηση»* (macrozonation) –, είτε πιο λεπτομερώς σε μεγάλες κλίμακες – *«μικροζωνοποίηση»* (macrozonation). Ειδικά, στην περίπτωση της μικροζωνοποίησης, η χωρική κατανομή των φυσικών διαδικασιών και των υφιστάμενων εδαφικών καλύψεων γης, της υποκείμενης γεωλογίας και των ανθροπογενών χαρακτηριστικών, εμφανίσεων και φαινομένων, οδηγούν σε σενάρια διακινδύνευσης.

Κατά την εξέλιξη ενός καταστροφικού επεισοδίου, ή και αφού επιτελεστεί, στη φάση πλέον της διαχείρισης κρίσεων, τα χαρτογραφικά παραγόμενα αποτελούν ζωτικής σημασίας βοηθήματα. Έτσι, κατά την *απόκριση*, υπάρχει μεγάλη χρεία της συνεχούς και ενημερωμένης – σε πραγματικό χρόνο – οπτικοποίησης της χωρικής

[50] Δυστυχώς, ειδικά στην περίπτωση που επιχειρείται η αναπαράσταση δραστηριοτήτων και ιδιαίτερα συμπεριφορών, πολλές φορές η κατανομή της τρωτότητας συλλαμβάνεται και προσεγγίζεται μόνο διαισθητικά, και επομένως δεν μπορεί να προσλάβει χωρική υπόσταση, και ως εκ τούτου να χαρτογραφηθεί.

κατανομής κρίσιμων ανθρωπογενών στοιχείων και δη: σωστικές/ ζωτικές συνδέσεις (lifelines), δίκτυα κοινής ωφέλειας, γραμμές και κόμβοι τηλεπικοινωνίας, τοποθεσίας κομβικών υπηρεσιών-εγκαταστάσεων (πυροσβεστικοί σταθμοί, νοσοκομεία), αλλά και σημεία/ τομείς ιδιάζουσας τρωτότητας. Η παραγωγή λοιπόν *χαρτών εκτάκτου ανάγκης* (*emergency mapping*), οφείλει να συσχετίζει τέτοια στοιχεία με την χωρική διασπορά του κινδύνου, της τρωτότητας, αλλά και της μεταβολής τους, καθώς, κατά την διάρκεια εκδήλωσης ενός φαινομένου πολλά από τα παραπάνω εξελίσσονται και μεταλλάσσονται – τόσο η κατανομή του κινδύνου-διακινδύνευσης (π.χ. ύπαρξη μετασεισμών ή δευτερογενών κινδύνων εξ' αιτίας των πρωτογενών σεισμικών δονήσεων), όσο και η κατάσταση των ανθρωπογενών στοιχείων (π.χ. η κατακρήμνιση μιας γέφυρας), με επιπρόσθετο σκοπό να προτείνει εναλλακτικές διαδρομές άμεσης διαφυγής ή/ και επέμβασης μονάδων έκτακτης ανάγκης. Από την άλλη, η παραγωγή *χαρτών επιπτώσεων* (*impact maps*) αποτελεί μια μέθοδο χαρτογράφησης των τοποθεσιών ή εκτάσεων που επηρεάστηκαν από τον αντίκτυπο του καταστροφικού συμβάντος, με σκοπό την γενικότερη οριοθέτηση του πλήγματος, την αποτίμηση της ζημιάς και των απωλειών, προκειμένου να αποτελέσει έναν οδηγό οργανωμένων προσπαθειών για μετα-καταστροφική *ανάκαμψη, επανόρθωση και αποκατάσταση*. Συν τοις άλλοις, μέσα από την διαχρονική καταγραφή-απογραφή των τμημάτων της γήινης επιφάνειας που υπόκεινται στα πλήγματα των καταστροφών, δημιουργούνται αρχειακές καταγραφές, οι οποίες, όταν οργανώνονται σε κατάλληλες βάσεις χρονοσειρών καταστροφικών επεισοδίων, δυνάμει συμβάλλουν στην ανάδειξη χωρικών προτύπων εμφάνισης τους διαμέσου του χρόνου, καθώς και στην προγνωστική αξιολόγηση των αντίκτυπών τους, αλλά και στην προεκτίμηση ενδεχόμενων μελλοντικών απωλειών. Ως συνέπεια, σε τελική ανάλυση, η διευθέτηση του σταδίου της αποκατάστασης συντελεί στον μετριασμό της διακινδύνευσης διττά: ενισχύοντας τις δομές και υποδομές που «εξέρχονται» από μια (μεγάλη) συμφορά, αλλά και (εμμέσως) προάγοντας μια αναπαράσταση της γεωγραφίας του κινδύνου, της διακινδύνευσης και της ανθρώπινης ευπάθειας.

Έτσι, κάθε ένα από τα χαρτογραφικά παραγόμενα που ανακύπτουν στα επιμέρους στάδια διαχείρισης επειγουσών καταστάσεων μέσα από τις τεχνολογίες της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ, σε μια διαδικασία συγκερασμού επιτόπιων ερευνών και άλλων δευτερογενών πηγών δεδομένων, μπορούν να συμβάλλουν στο σύνολο του κύκλου διαχείρισης. Συνεπώς, χαρτογραφικά παραγόμενα κινδύνου, τρωτότητας και

διακινδύνευσης (στάδιο μετριασμού-ετοιμότητας), δυνητικά συνιστούν εισροή σε συστήματα που ενημερώνουν χάρτες εκτάκτου ανάγκης (στο στάδιο της απόκρισης), ενώ οι χάρτες επιπτώσεων (στο στάδιο της αποκατάστασης) χρησιμεύουν στην σύνταξη χαρτών κινδύνου και διακινδύνευσης (στο στάδιο του μετριασμού-ετοιμότητας) κ.ο.κ.

3.4 Μέθοδοι και Τεχνικές που Αξιοποιούν τις Τεχνολογίες της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ στον Κύκλο της Διαχείρισης Φυσικών Καταστροφών

3.4.1 Εισαγωγικά

Και ενώ στην προηγούμενη ενότητα έγινε προσπάθεια να περιγραφούν σε αδρές γραμμές οι φάσεις της εξέλιξης μιας καταστροφής – και τα αντίστοιχα στάδια διαχείρισης των φάσεων τους – και να διαφανεί η διασύνδεση με τις γενικές ιδιότητες-δυνατότητες της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ, επί του παρόντος γίνεται μια προσπάθεια να αναδειχθούν αυτές καθ’ αυτές οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι και τεχνικές που εμπίπτουν στο φάσμα των παραπάνω τεχνολογιών (Τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ) για την ολοκληρωμένη διαχείριση φυσικών καταστροφών. Ας σημειωθεί πως σε καμία περίπτωση το εύρος των παρατιθέμενων αυτών πρακτικών δεν είναι εξαντλητικό, απλώς επιχειρείται μια συμπτυγμένη παρουσίαση μιας σειράς ενεργειών που αρμόζει σε κάθε έναν από τους εξεταζόμενους κινδύνους, ο οποίος μετεξελίσσεται δυνητικά σε καταστροφικό συμβάν (στα διάφορα στάδια του κύκλου).

Εντούτοις, σύμφωνα και με τα προηγούμενα, στη διευθέτηση κάθε φυσικοκαταστροφικού τύπου, δεν μπορούν πάντοτε να ενταχθούν όλα τα προαναφερθέντα στάδια, ή τουλάχιστον δεν απολαμβάνουν όλα την ίδια βαρύτητα και δεν τυγχάνουν της ίδιας δυνατότητας αξιοποίησης. Έτσι, εκ των προτέρων αναφέρεται ότι η διαχείριση σεισμικών επεισοδίων λ.χ. επαφίεται κυρίως στον εν γένει ευρύτερο σχεδιασμό και μετριασμό της διακινδύνευσης, στην μακροπρόθεσμη ετοιμότητα και αποτίμηση των μετα-καταστροφικών επιπτώσεων, ενώ για επεισόδια μετεωρολογικής φύσεως (κυκλώνες), οι αναβαθμισμένες δυνατότητας για πρόγνωση, πρόβλεψη, και παρακολούθηση της εξέλιξης του φαινομένου, συνιστούν προτεραιότητες για τα στάδια της άμεσης ετοιμότητας (κυρίως) και της απόκρισης.

Παρακάτω παρατίθενται διάφορες μέθοδοι παρατήρησης και παρακολούθησης της εμφάνισης ακραίων φυσικών γεγονότων με καταστροφικές επιπτώσεις και της ανίχνευσης (των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών) αυτών των τελευταίων. Παρουσιάζονται λοιπόν τεχνικές οριοθέτησης των σχετικών ζωνών κινδύνου/ ευπάθειας και τυχόν πρόγνωσης των επερχόμενων καταστροφών, προς τον μετριασμό της διακινδύνευσης και την έγερση της ετοιμότητας, αλλά και διαδικασίες αποτίμησης και ελαχιστοποίησης των επιφερόμενων συνεπειών δια μέσου της άμεσης απόκρισης και ανακούφισης, και της περαιτέρω ταχείας ανάκαμψης-αποκατάστασης. Σε μια προσπάθεια να ενταχθεί η επενέργειά τους στα διάφορα στάδια, ώστε η διαχείρισή τους από τηλεπισκοπικές εισροές να είναι κατά το μέτρο του δυνατού ολοκληρωμένη, συμβουλευόμενοι πάντοτε τις ιδιαιτερότητες της φυσικής εξέλιξης κάθε ακραίου φαινομένου – όπως αυτά περιγράφηκαν επί του δευτέρου κεφαλαίου – η διαχείριση της διακινδύνευσης (μετριασμός και ετοιμότητα) επιτελείται στη βάση κάθε ξεχωριστού κινδύνου, ενώ η μετα-καταστροφική απόκριση και ανάκαμψη, παρουσιάζεται σε μία ενότητα για όλους τους κινδύνους.

3.4.2 Επικέντρωση στους Κινδύνους

Σεισμοί

Όπως έχει προαναφερθεί, η εκδήλωση μιας σεισμικής δόνησης έχει τις καταβολές της στην αιφνίδια έκλυση αποθηκευμένης ελαστικής ενέργειας που ανακύπτει από τη διάρρηξη ενός τμήματος του φλοιού , ενώ το «σημείο» εμφάνισης, η εστία, εντοπίζεται πλησίον των ορίων των λιθοσφαιρικών πλακών, χωρίς όμως να αποκλείεται η ανάδυση σεισμικών περιστατικών και στο «εσωτερικό» των πλακών. Από μία σκοπιά, η ανάλυση του σεισμικού κινδύνου μπορεί να επέλθει τόσο μέσα από την μελέτη των *ιστορικών καταγραφών* σεισμικών περιστατικών, ή και από «άμεσες» εγγραφές/ καταγραφές από κατάλληλα καταγραφικά όργανα που έχουν προαναφερθεί, τους σεισμογράφους. Όμως, οι πρώτες είναι εν γένει τόσο ελλιπείς, όσο και σχετικά πρόσφατες[51], ενώ οι δεύτερες ανακύπτουν μόλις στην δεκαετία του 1930· κατά συνέπεια, εικάζεται ότι και οι δύο είναι αρκετά «βραχύβιες» ώστε να

[51] σε χώρες όπως η Κίνα ή η Ιαπωνία, οι καταγραφές αυτές έχουν μια ιστορία 3000 ετών και 2000 ετών αντίστοιχα, ενώ για άλλες χώρες, οι σχετικές καταγραφές είναι ακόμη πιο πρόσφατες

δύνανται να δώσουν έγκυρες προβλέψεις για φαινόμενα με συγκριτικά μεγάλες περιόδους επανεμφάνισης, όπως οι σεισμοί. Ως εκ τούτου, υπάρχει χρεία για άλλες πηγές πληροφόρησης περί δυνητικά εμφανίσιμων σεισμικών γεγονότων.

Για αυτό, δεδομένου ότι η εδαφική παραμόρφωση συνιστά την πλέον έκδηλη έκφανση αυτών των διαδικασιών επί της γήινης επιφάνειας, η αναγνώριση *ενεργών ρηγμάτων* (*active faults*), δηλ. διακλάσεων κατά μήκος των οποίων επισυνέβησαν μετακινήσεις κατά το ύστερο Τεταρτογενές[52] – πριν από 11.000 έτη – συνιστά μια άλλη μέθοδο εκτίμησης του σεισμικού κινδύνου. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι τηλεπισκοπικές αναλύσεις, μέσω της αναγνώρισης και ανάλυσης ενεργών ρηγμάτων μπορούν λοιπόν να «επεκτείνουν» και να συμπληρώσουν τις γεωλογικές εγγραφές που έχουν ανακύψει στη βάση των προηγούμενων μεθόδων, καθ' ότι η πρόδηλη «ρηγμάτωση» εξ' αιτίας επιφανειακών σεισμών είναι πολύ διαδεδομένη σε παγκόσμιο επίπεδο (Sabins, 1997).

Η γνώση και η δυνατότητα αναγνώρισης συγκεκριμένων χαρακτηριστικών των ενεργών ρηγμάτων όπως τα ίχνη ρήγματος (fault traces), οι επιμήκεις γραμμικές κοιλάδες (linear valleys) και ακρώρειες (linear ridges), οι πολυεδρικές ακρώρειες (faceted ridges), τα μετατεθειμένα αποστραγγιστικά κανάλια (offset drainage channels) κ.α., διαμέσου τηλεπισκοπικών απεικονίσεων, συνεπάγεται την απόκτηση πληροφοριών όπως η κατεύθυνση ή ο ρυθμός της εγκάρσιας μετατόπισης κατά μήκος ενός ρήγματος κ.α.

Γενικότερα, η οριοθέτηση και σκιαγράφηση ζωνών κινδύνου ή επικινδυνότητας απαιτούν επαρκή κατανόηση των γεωλογικών, τεκτονικών παλαιοσεισμικών και νεοτεκτονικών χαρακτηριστικών, καθώς και ευχέρεια στην κατανόηση της γεωμορφολογίας, προκειμένου να διερευνηθούν οι παραμορφώσεις του εδάφους, ώστε τελικά να προσδιοριστούν οι παράγοντες που υπεισέρχονται των χωρικών και χρονικών χαρακτηριστικών των σεισμικών φαινομένων (Talebian *et al*., 2004). Η αξιοποίηση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων στον καθορισμό νεοτεκονικών δομών, μπορούν να αποσαφηνίσουν τις σεισμοτεκτονικές συνθήκες και τον σεισμικό κίνδυνο, ενώ οι χαρτογραφήσεις γεομορφολογικών χαρακτηριστικών, δύνανται να αποκαλύψουν τα υφιστάμενα συστήματα ρηγμάτων και την συνεπαγόμενη πρόσφατη τεκτονική δραστηριότητα (Rao *et al*., 1993; Jamarayan and Rao, 1997).

[52] το Τεταρτογενές αποτελεί Περίοδο του Καινοζωικού Αιώνα στην γεωλογική χρονολόγηση

Έτσι, οι ερευνητικοί στόχοι προκειμένου να επέλθει μια βελτιωμένη διαχείριση του σεισμικού κινδύνου συμπεριλαμβάνουν τον εντοπισμό της τοποθεσίας και των ρυθμών ολίσθησης (slip rates), με την παράλληλη δημιουργία ιστορικού των επικίνδυνων ρηγμάτων, την ανάδυση των πιθανοτήτων εμφάνισης μέσω της κατανόησης της δυναμικής και κινηματικής των συστημάτων των ενεργών ρηγμάτων σε δια-/ενδο-σεισμικές χρονικές κλίμακες, αλλά και την επίγνωση του τρόπου απόκρισης των υλικών του συστήματος των ρηγμάτων στον τρισδιάστατο χώρο, όσον αφορά στην εδαφική παραμόρφωση και των φυσικών διαδικασιών της σεισμικής «συσπείρωσης», διάδοσης και ανάσχεσης, προκειμένου να προβλεφθούν ισχυρές εδαφικές δονήσεις και άλλες εδαφικές (σύνοδες) διαδικασίες (NRC, 2003).

Προς την κατεύθυνση της επίτευξης των παραπάνω, τα δεδομένα τηλεπισκόπησης, και συγκεκριμένα οι συμβολομετρικές λήψεις Radar Συνθετικού Ανοίγματος (Interferometric Synthetic Aperture Radar – InSAR) – σε συνδυασμό με εισροές από GPS και άλλα (ψηφιακά) σεισμικά δεδομένα από επίγειες μετρήσεις – μπορούν να αποδώσουν την εδαφική παραμόρφωση με χωρική συνέχεια ακρίβειας κάτω του εκατοστού (sub-centimeter)· η δε συμπλήρωση της χωρικής από την αντίστοιχη στον χρόνο συμβάλλει στην απόκτηση γνώσης περί της δυναμικής της περιοχής [53] (Tralli *et al.*, 2005). Ως εκ τούτου, οι InSAR τεχνικές συνεργούν στον μετριασμό της διακινδύνευσης και της δυνατότητας απόκρισης (CEOS, 2003).

Βέβαια, ακόμη και η οπτική φωτοερμηνεία, ή και η ψηφιακή επεξεργασία (π.χ. ενίσχυση και βελτίωση εικόνας) μπορεί να αναδείξει ρήματα και ίχνη ρωγμών (trace of rapture), ακόμη και σε μεγάλες χωρικές διακριτικές ικανότητες. Μια τέτοια περίπτωση αποτελεί η απεικόνιση της ρήματος ύστερα από τον σεισμό Landers, στην California, το1992, από τον Crippen (1992), επί μια εικόνας SPOT η οποία λήφθηκε μετά την εκδήλωση του σεισμού, σε σχέση με μια αντίστοιχη εικόνα προ της σεισμικής δόνησης. Επιπροσθέτως, σε ένα εγχείρημα κατάδειξης της δυναμικής του σεισμού, οι Crippen and Blom (1992) «συνταύτισαν» ψηφιακά τις δύο εικόνες και τελικά κατάφεραν να αποδώσουν μια αίσθηση της μετατόπισης, ποσοτικοποιώντας την εν τέλει. Ο υπολογισμός αυτής της μετατόπισης μπορεί να επιτελεστεί και για την μακροχρόνια παρακολούθηση αργά μετατοπιζόμενων ρηγμάτων.

Η συνεχής διαστημική (ή και εναέρια) παρακολούθηση του «σεισμικού» κύκλου, συμπεριλαμβάνοντας τις ανενεργές περιόδους συσσώρευσης είναι

[53] για περισσότερα, βλ. επίσης Lanari *et al.* (2004)

απαραίτητη, κατά τους Fielding *et al*. (2004), για την συστηματική μελέτη του φαινομένου (phenomenology) με σκοπό την δυνατότητα πρόγνωσης ενδεχόμενων μελλοντικών σεισμών υψηλής επικινδυνότητας. Άλλωστε, εκτός των άλλων, από τις διατυπώσεις των Lohman *et al*. (2002) αναφορικά με την αναγκαιότητα των δεδομένων συλλογής από απόσταση στην κατεύθυνση της υποστήριξης επιστημονικών και μοντέλων της μηχανικής τα οποία μπορούν να αναχθούν σε πρότυπα καταστροφής, εξάγεται ότι η διαπλοκή της τηλεπισκόπησης στην αποτελεσματική διευθέτηση της σεισμικής διακινδύνευσης είναι καίριας σημασίας.

Οι παραπάνω ενέργειες και τεχνικές, έχουν τη δυνατότητα να συμβάλλουν στον μετριασμό της διακινδύνευσης, και στην μακροχρόνια ετοιμότητα (κυρίως), μέσα από την αντίστοιχη μακροχρόνια πρόγνωση. Όπως άλλωστε συνάγεται από όλα τα προηγούμενα, η πρόγνωση της επακριβούς χρονικής στιγμής και του μεγέθους του επερχόμενου σεισμικού πλήγματος, διέπεται από ορισμένες εγγενείς δυσκολίες, όποτε περιορίζεται σημαντικά και η δυνατότητα άμεσης (βραχυπρόθεσμης) ετοιμότητας. Παρ' όλα αυτά, η επίγνωση της σημαντικής συνεχούς σεισμικής δραστηριότητας σε μια περιοχή, πολλές φορές αρκεί για την αντιμετώπιση των επιζήμιων επιπτώσεων, με την σύσταση σχεδίων ανθεκτικών στον κίνδυνο, καθώς, σε σχέση με άλλους φυσικούς κινδύνους, οι πλέον ολέθριες επιπτώσεις των σεισμών επί του ανθρωπογενούς στοιχείου, συνδέονται με τις συνεπαγόμενες φθορές και «αστοχίες» ***εντός*** κτιριακών εγκαταστάσεων.

Ηφαίστεια

Οι εξωτερικευόμενες διεργασίες που συνδέονται με την ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι πολλές και διεξάγονται τόσο στην επιφάνεια της γης (surface deformation) όσο και άνωθεν αυτής (subaerial volcanic activity). Παρ' όλες τις συναφείς ενδείξεις, όπως έκλυση θερμότητας, εκπομπές αερίων και τέφρας, πυροκλαστικές εκρήξεις και παραμόρφωση των επιφανειακών μορφολογικών εκφάνσεων, ούτε τα παγκόσμια επίπεδα των ηφαιστειακών δραστηριότητας μπορούν να εκτιμηθούν, ούτε και είναι δυνατό να κατανοηθούν επαρκώς i) ο τρόπος που αυτά τα φαινόμενα αλληλοσυσχετίζονται, καθώς και ii) οι φυσικοί μηχανισμοί που ιθύνουν την ένταση και το στυλ των εκρήξεων και προκαλούν εδαφικές παραμορφώσεις. Έτσι, η επακριβής πρόγνωση/ πρόβλεψη του χρονισμού, του τύπου και της έντασης,

παραμέτρων τόσο σημαντικών για την αποτίμηση του κινδύνου και για τον σχεδιασμό του μετριασμού της διακινδύνευσης, αποτελούν έως του παρόντος έναν ανεκπλήρωτο στόχο (SESWG Report, 2002).

Πάντως, ακόμη και αν οι ηφαιστειακοί μηχανισμοί δεν μπορούν να αναλυθούν πλήρως και οι δυνατότητες πρόγνωσης/ πρόβλεψης δεν είναι διαθέσιμες, τουλάχιστον η παρακολούθηση μέσα από τις γεωδαιτικές μεθόδους, οι καταγραφές από σεισμογράφους, σε συνδυασμό με πολυφασματικές και υπερφασματικές εικόνες, μπορούν να συνεισφέρουν ουσιαστικά στην εκτίμηση της διακινδύνευσης και, στον μετριασμό της, καθώς και σε ενέργειες ετοιμότητας (Tralli *et al*., 2005). Οι δε απαιτήσεις παρακολούθησης, κατά τον CEOS (2003), συνοψίζονται στην απόδοση της τρισδιάστατης χωρικής κατανομής της σεισμικότητας· στην ανίχνευση της παραμόρφωσης του ηφαιστειακού «οικοδομήματος» από γεωδαιτικές και άλλες μετρήσεις (αναγνώριση ρηγμάτων, πλευρικών ασταθειών πρανών, συστημάτων ρωγμών και διακλάσεων και καλδέρων)· στον εντοπισμό και στην εποπτεία των θερμικών χαρακτηριστικών όπως η θερμοκρασία, η φύση και η δυνητική εκροή θερμότητας· στην διάκριση των εκπομπών αερίων (CO_2, SO_2) και τέφρας.

Προς την κατεύθυνση της «ικανοποίησης» όλων των παραπάνω απαιτήσεων, τα συστήματα τηλεπισκόπησης προσφέρουν μια προσοδοφόρα ευκαιρία., καθώς, όπως χαρακτηριστικά διατυπώνουν οι Pieri and Abrams (2004), πράγματι διαμορφώνουν ένα νέο «υπόδειγμα» στις ηφαιστειακές παρατηρήσεις. Έτσι, όσον αφορά στο γενικότερο εγχείρημα κατανόησης των συστημάτων έκρηξης δια της ταυτοποίησης και του χαρακτηρισμού των ενεργών ηφαιστείων από την αλλοίωση των εδαφικών χαρακτηριστικών, είναι δυνατό να εφαρμοστούν γεωδαιτικές παρατηρήσεις από λήψεις InSAR (Pritchard and Simons, 2004), σε συνδυασμό με μετρήσεις GPS, καθώς και φασματοσκοπικές, όπως αυτές που επιτελούνται επί του δορυφόρου EOS (Earth Observing – 1) της NASA προκειμένου, επιπροσθέτως, να εξαχθούν και να εντοπιστούν οι ροές θραυσμάτων (debris flows) και οι μετακινήσεις εδαφών (Crowley *et al.*, 2003; Wright and Flynn, 2003). Άλλωστε, τέτοιου είδους παρατηρήσεις από αντίστοιχες λήψεις αποφέρουν υψηλής ανάλυσης ψηφιακά μοντέλα εδάφους (digital elevation models - DEMs) (Lu *et al*., 2003), τα οποία με τη σειρά τους προάγουν χάρτες ρυθμού εδαφικής παραμόρφωσης, ενώ παράλληλα συνιστούν απαραίτητο βοήθημα ώστε, από τις εξώτερες δομικές αλλαγές να «συναχθεί» η γεωμετρία του θαλάμου του μάγματος (Lanari *et al*., 2003).

Και ενώ ο τρόπος διάχυσης η/ και διασποράς των ποικίλων – κυρίως πυροκλαστικών – ροών που συνοδεύουν ένα ηφαιστειακό ξέσπασμα επιτελείται μέσα από υπολογιστικά μοντέλα (computer models), προκειμένου να προκαθοριστούν περιοχές οι οποίες δυνητικά θα πληγούν (Stevens *et al*., 2003), η ενδεχόμενη διαδρομή των ροών λάβας και της λασπώδους ηφαιστειακής τέφρας (lahars) είναι δυνατό να προδιαγραφεί από κάποιες λειτουργίες ανάλυσης ΓΣΠ επί ενός DEM για αποστάσεις δεκάδων χιλιομέτρων με ικανοποιητική ακρίβεια (Glaze and Baloga, 2003), η οποία εξαρτάται από την ακρίβεια της τοπογραφικής πληροφορίας, και δη τον βαθμό (χωρικής) ανάλυσης του παρεχόμενου DEM. Άλλωστε, η επαρκής και επικαιροποιημένη γνώση της τοπογραφίας ενός ηφαιστειακού σχηματισμού, είναι απαραίτητη για την δημιουργία ρεαλιστικών μοντέλων πρόβλεψης των διαδρομών των προαναφερθέντων ροών, καθ' ότι κάθε φορά που συντελείται μια ηφαιστειακή έκρηξη μεταβάλλεται η προϋπάρχουσα τοπογραφία εξ' αιτίας της απόθεσης νέων μαζών λάβας, εξ' αιτίας τόσο της αποκόλλησης υλικών από τις ανώτερες υψομετρικά περιοχές, όσο και της απόθεσης τους χαμηλότερα, εκεί που τελικά ενσωματώνονται στο μεταβεβλημένο πλέον ηφαιστειακό σχηματισμό, αλλοιώνοντας την πρότερη τοπογραφία (Wright *et al.*, 2006). Οι πιο αξιόπιστες και ενημερωμένες πηγές πληροφόρησης για την δημιουργία DEMs, ειδικά για απόμερες, δυσπρόσιτες περιοχές, προέρχονται από μετρήσεις του SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (Stevens *et al*., 2003), από λήψεις InSAR, ή τέλος από *LiDAR*, με δυνατότητες υψηλών αναλύσεων (βλ. σε επόμενο κεφάλαιο).

Ο μετριασμός των πρωτογενών κινδύνων που επαφίεται στην πρόγνωση της ακολουθούμενης πορείας των ροών, εξαρτάται κυρίως από την αξιοπιστία υπολογιστικών μοντέλων πρόβλεψης, και την ακρίβεια, ορθότητα και ενημέρωση των παρεχόμενων ψηφιακών μοντέλων εδάφους.

Η ανίχνευση αερίων και τέφρας, που αποτελούν τους λοιπούς πρωτογενείς κινδύνους, χρήζουν επίσης διευθέτησης. Έτσι, από τον γεωστατικό δορυφόρο GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) του NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), οι στήλες καπνού και η ηφαιστειακή τέφρα είναι εντοπίσιμα – παρά την μικρή χωρική διακριτική ικανότητα του –, καθώς και από τον ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) (Elrod *et al*., 2003; Watanabe and Matsuto). Επίσης, από φασματοσκοπικές μετρήσεις του MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) είναι δυνατή, σύμφωνα με

τους Watson *et al*. (2004), η ποσοτικοποίηση της ύπαρξης ηφαιστειακής τέφρας και των εκπομπών αερίων (SO_2 και άλλων θειούχων) μέσα από μια σειρά μεθοδολογιών-αλγορίθμων που αξιοποιούν τις φασματικές υπογραφές αυτών των χαρακτηριστικών στο θερμικό υπέρυθρο (8-12μm).

Πέραν του εντοπισμού αερίων και τέφρας, η λήψη εικόνων στο τμήμα του θερμικού υπέρυθρου του φάσματος της ΗΜΑ, αποτελεί έναν διαδεδομένο τρόπο απογραφής και παρακολούθησης της εν γένει ηφαιστειακής δραστηριότητας στο πρόσωπο της Γης. Η αξιοποίηση θερμικών εικόνων Landsat, παρουσιάζουν ως αντιπροσωπευτικά παραδείγματα την παρατήρηση-παρακολούθηση της δραστηριότητας των ηφαιστείων Erta ‘Ale στην Αιθιοπία (Rothery, 1989) και των Stromboli και Vulcano (Gaonac’h *et al*., 1994). Επίσης, αναφέρεται και το ηφαίστειο Lascar, ένα από τα πλέον ενεργά ηφαίστεια των κεντρικών Άνδεων (Χιλή), του οποίου η δραστηριότητα έχει «καταγραφεί» στη βάση θερμικών εικόνων από τους Glaze *et al.* (1989) και Opppenheimer *et al*. (1993).

Όσο λοιπόν η σκιαγράφηση των δυνητικά επιρρεπών περιοχών φαίνεται να «βρίσκει αντίκρισμα» στη μακροπρόθεσμη ετοιμότητα και στον εν γένει σχεδιασμό της διαχείρισης της τρωτότητας, οι έννοιες (και οι συνακόλουθες πρακτικές) της βραχυπρόθεσμης ετοιμότητας και της απόκρισης κατά την εξέλιξη του φαινομένου δείχνουν να «καταλύονται» μπροστά στην σφοδρότητα του ξεσπάσματος, στην – πολλές φορές – σχεδόν ακαριαία εκδήλωσή του και τον παντελή όλεθρο που συνεπάγεται. Παρ’ όλα αυτά, απειλές όπως οι συγκεντρώσεις τοξικών αερίων και η πτώση τέφρας έχουν επιπτώσεις σε βάθος χρόνου. Η διαχρονική παρακολούθηση των ηφαιστειακών σχηματισμών, στη βάση των μεθόδων δυναμικής ανίχνευσης της σχετικής δραστηριότητας, επιβάλλει την λήψη μέτρων έκτακτης ανάγκης (λ.χ. εκκένωση), καθώς η εκδήλωση των πλέον βίαιων τύπων εκρήξεων σημαίνει ολοσχερή καταστροφή της πληττόμενης περιοχής. Η έγερση της επαγρύπνησης και της ετοιμότητας στη βάση της συστηματικής παρακολούθησης και της έγκαιρης προειδοποίησης αποτελούν τις σημαντικότερες ενέργειες για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων.

Τροπικοί Κυκλώνες και Πλημμύρες

Γενικά, οι κίνδυνοι ατμοσφαιρικής και υδρολογικής φύσεως, όταν εξετάζονται υπό το πρίσμα των μεθόδων και τεχνικών τηλεπισκόπησης, σχετίζονται σχεδόν άρρηκτα μεταξύ τους, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου το ενδιαφέρον εστιάζεται στις σφοδρές καταιγίδες οι οποίες, εκτός άλλων, συνοδεύονται από υψηλά ποσά κατακρημνισμάτων τα οποία δυνητικά συντελούν σε μια από τις παραμέτρους πρόκλησης υδρολογικής φύσεως πλημμυρών.[54]

Οι τροπικοί κυκλώνες αποτελούν μάλλον την πιο βίαιη έκφανση των κινδύνων μετεωρολογικής/ ατμοσφαιρικής φύσεως, καθώς, εξ' ορισμού διακρίνονται από τις λοιπές συναφείς κατηγορίες με βάση την υψηλότερη ταχύτητα των ανέμων, τα χαμηλότερα βαρομετρικά κ.α. Όμως, παράλληλα, αποτελούν τους κινδύνους τους οποίους οι μετεωρολογικοί δορυφόροι είναι ειδικά εξοπλισμένοι να παρακολουθούν, ώστε, μέσα από τις πολύτιμες πληροφορίες που εξάγονται για τη θέση, την ένταση και την κίνηση τους, να καθίσταται δυνατή η ανάλυση και η πρόβλεψη τους, καθώς και να παρέχεται η δυνατότητα προειδοποίησης (Conway and the Maryland Space Grand Consortium, 1997). Έτσι, σε αντίθεση με τους κινδύνους ενδογήινης προέλευσης, επί του παρόντος κινδύνου η τηλεπισκόπηση μπορεί να συμβάλλει άμεσα, τόσο στην βραχυπρόθεσμη ετοιμότητα και στην άμεση απόκριση υπό ορισμένες προϋποθέσεις. Οι τελευταίες αναφέρονται στη γνώση των χαρακτηριστικών και της δυναμικής του, όπως έχουν περιγραφεί σε προηγούμενη ενότητα.

Κατά την εκδήλωση ενός κυκλώνα, έχει πολύ μεγάλη σημασία η εξακρίβωση της σφοδρότητάς του, όσον αφορά στην ένταση των ανέμων, στο ύψος και τον ρυθμό της βροχόπτωσης, αλλά και στα ύψη των κυμάτων καταιγίδας (swells), η «ιχνηλάτηση» της ακολουθούμενης διαδρομής του, και, εν τέλει ο καθορισμός των υπό διακινδύνευση περιοχών, από τους κινδύνους που συνεπάγεται. Η συνεχής παρακολούθηση από δορυφορικά τηλεπισκοπικά συστήματα μπορεί να συμβάλλει θετικά σε όλα τα παραπάνω.

Έτσι, εν γένει, οι δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιούνται για:

- την παρακολούθηση των ακολουθούμενων τροχιών των κυκλώνων
- την αξιολόγηση της έντασής τους και των μέγιστων ταχυτήτων ανέμων

[54] Η άλλη παράμετρος σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά – εδαφολογία, κάλυψη γης, και μορφομετρία – της λεκάνης απορροής.

- τον εντοπισμό των περιοχών επιρροής από την επενέργεια ενός κυκλώνα
- την εκτίμηση των όγκων του νερού της βροχής (με μικρότερη βεβαιότητα)

(Barret and Curtis, 1999).

Πέρα από την παρακολούθηση της τροχιάς κίνησης τους, η έντασή τους μπορεί να καθοριστεί σε μεγάλο βαθμό από την θερμοκρασιακή δομή που παρουσιάζει μια υπέρυθρη εικόνα GOES. Επεξηγηματικά, οι θερμοκρασιακές διαφορές από το μάτι (θερμότερο) προς τις περιβάλλουσες δομές των σπειρών, και μάλιστα ο ρυθμός μεταβολής από τα CF (central features) προς BF (banding features), επιφέρουν την κατηγοριοποίηση σε “T-numbers” (WMO, 1977).

Από την άλλη, η παροχή πληροφοριών περί της στάθμης της θάλασσας συμβάλλει στον εντοπισμό της παλιρροιακής μεταβολής ή/ και «φουσκοθαλασσιάς» (swell) και στην πρόγνωση της δημιουργίας κυμάτων καταιγίδας. Η αξιοποίηση συστημάτων δορυφορικών radar υψογραφίας/ υψομετρίας (radar altimetry) όπως τα ERS-1/2, Seasat και TOPEX/ Poseidon βρίσκουν απήχηση σε τέτοιες περιπτώσεις, δίχως όμως να καθιστούν ευχερή την near-real time προσομοίωση σε προγνωστικά μοντέλα κυμάτων καταιγίδας, καθώς απαιτούνται πληροφορίες περί της τροχιάς του δορυφόρου (Johannessen *et al*., 2000) και η ύπαρξη ενός σχετικά ακριβούς γεωειδούς μοντέλου (Samuel et al., 1994). Όσον αφορά στα ίδια τα κύματα, από την χρήση δορυφορικών υψομετρήσεων προκύπτει δυνητικά το ύψους τους (significant height) (Bauer et al., 1992; Guillaume and Mognard, 1992; Le Meur *et al*., 1996), αλλά και η ταχύτητά τους (Paci and Campbell, 1996; Lasnier et al., 1996). Η δε διεύθυνση και το μήκος κύματος τους μπορούν να προσεγγιστούν τηλεπισκοπικά από την κάλυψη των συστημάτων SAR (Johannessen *et al*., 2000). Τελικά η επιφερόμενη κατάκλυση παράκτιων ή παρόχθιων εκτάσεων, που πυροδοτείται από τέτοιους ακραίους, μετεωρολογικής φύσεως, κινδύνους, δυνητικά προσεγγίζεται κατά παρόμοιο τρόπο με αυτόν που παρουσιάζεται παρακάτω, αναφορικά με υδρολογικής φύσεως (ποτάμιες) πλημμύρες. Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται περιπτώσεις χρήσης τόσο παθητικών, όσο και ενεργητικών μικροκυματικών συστημάτων για την ανίχνευση και οριοθέτηση των παράκτιων πλημμυρικών ίσαλων (tidal waterlines) (Mason and Davenport, 1996; Yamano *et al*., 2006; Zhao *et al*., 2008).

Πέραν της διείσδυσης του θαλάσσιου νερού, άλλος παράγοντας που επιφέρει την κατάκλυση περιοχών τόσο της παράκτιας ζώνης, όσο και της ενδοχώρας, είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Η βροχόπτωση, και η πρόγνωσή της συνιστά παράμετρο που κείται στη διεπαφή των ατμοσφαιρικών και υδρολογικών κινδύνων. Όταν λοιπόν μια τροπική καταιγίδα εμφορείται από το δυναμικό έντονης κατακρήμνισης, που τελικά προκαλεί φαινόμενα τα οποία συνδέονται με ασυνήθιστα ύψη βροχής, και εν τέλει με ποτάμιες πλημμύρες, τότε γίνεται μια μετάβαση από τους ατμοσφαιρικούς στους υδρολογικούς κινδύνους, οι οποίοι μελετώνται παρακάτω υπό την σκοπιά των συστημάτων παρακολούθησης της Γης.

Οι ποτάμιες πλημμύρες λοιπόν, ως γνωστό, συνιστούν ένα πολύ διαδεδομένο κίνδυνο, πλήττοντας, με τις καταστροφικές του συνέπειες, ένα μεγάλο αριθμό ανθρώπων σε ολόκληρο το πρόσωπο της γης. Τα φυσικά αίτια που προκαλούν αυτήν την υπερχείλιση της κοίτης και την κατάκλυση των πεδιάδων κατάκλυσης (και άλλων, στενότερων ή ευρύτερων ζωνών)[55], άπτονται τόσο των κλιματικών και ατμοσφαιρικών συνθηκών, όσο και των μορφολογικών και εδαφολογικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης, εντός των αποστραγγιστικών λεκανών. Επομένως, τόσο η πρόγνωση της βροχόπτωσης μέσω της παρατήρησης της ατμόσφαιρας καθώς και ο εντοπισμός και η μοντελοποίηση της μετατροπής της βροχόπτωσης σε επιφανειακή απορροή, όσο και η ανάπτυξη (στοχαστικών ή ντετερμινιστικών) μοντέλων κατάκλυσης, βάσει της μορφομετρίας και της σύστασης του εδάφους και των συνθηκών της επιφανείας του, εντός των εκάστοτε λεκανών απορροής μπορούν να επιφέρουν μια οδό ευέλικτης και έγκαιρης πρόγνωσης του φαινομένου, αλλά και αποτίμησης και άμβλυνσης των επιπτώσεων του σε περιοχές οι οποίες πλήττονται ή μέλουν να απειληθούν από τέτοια επεισόδια. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί μέσα από τα συστήματα παρακολούθησης και παρατήρησης της γης και τα ΓΣΠ.

Αυτό ακριβώς πιστοποιούν και οι Matgen *et al.* (2007) με τις σχετικές διατυπώσεις τους όταν αναφέρονται στην επιτυχή διαχείριση των πλημμυρικών επεισοδίων, εμπερικλείοντας την αξιοποίηση μοντέλων τόσο πρόγνωσης της βροχόπτωσης-επιφανειακής απορροής, όσο και επιφανειακής κατάκλυσης λαμβάνοντας ως δεδομένα εισροής χωρικές πληροφορίες (της γήινης επιφάνειας). Στη διττή αυτή προσπάθεια, τα εισαγόμενα δεδομένα μπορούν να διακριθούν σε δύο

[55] βλ. επόμενο κεφάλαιο

γενικές κατηγορίες: στα δεδομένα εικόνων και στα τοπογραφικά δεδομένα, ενώ χρησιμοποιείται μια πληθώρα τεχνικών αξιοποίησής τους.

Όσον αφορά στα πρώτα δεδομένα, η διεθνής βιβλιογραφία έχει δείξει πως οι απεικονίσεις Radar και ιδιαίτερα οι SAR εξυπηρετούν, εν γένει, καλύτερα τις επιδιώξεις του εντοπισμού της εξάπλωσης μιας πλημμύρας λόγω της δυνατότητάς τους να εισχωρούν μέσα από τα φυλλώματα κορυφής δένδρων (canopies) σε δασικές περιοχές (Hess *et al*., 1990; Hess and Melack, 1994), ενώ η «αδυναμία» διείσδυσης των οπτικών συστημάτων τηλεπισκόπησης σε περιοχές με πυκνά φυλλώματα, αναστέλλει το δυναμικό εντοπισμού υγροτόπων και πλημμυρισμένων εκτάσεων (Mackey and Riley, 1994). Επιπλέον, η τηλεπισκόπηση από ενεργητικά μικροκυματικά, αποκρίνεται έντονα στις συνθήκες εδαφικής υγρασίας για τα πρώτα εκατοστά (Zrimbi and Dechambre, 2003), οπότε είναι δυνατή η αποτίμηση του εδαφικού κορεσμού. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο, αυτή η ιδιότητα «εξαγωγής» προτύπων εδαφικής υγρασίας, έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία προς την κατεύθυνση της εκτίμησης της επιφανειακής αποφόρτισης για προγνωστικά μοντέλα πλημμυρών (Pawels *et al*., 2001; Aubert *et al*., 2003). Αξιολογώντας τις δυνατότητες των SAR απεικονίσεων, αν και αμφισβητείται η αξιοπιστία τους σχετικά με την απόδοση ακριβών πληροφοριών για την εδαφική υγρασία (Schmugge *et al*., 2002), έχει καταδειχτεί ότι μπορούν να αποτελέσουν ένα αποδοτικό εργαλείο στην οριοθέτηση πλημμυρισμένων ζωνών (Badji and Dautrebande, 1997).

Ας σημειωθεί ότι σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η περιοχή μελέτης δεν «επικαλύπτεται» από πυκνή βλάστηση, και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες δεν παρακωλύουν την λήψη εικόνων από παθητικά οπτικά συστήματα, τα τελευταία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές όπου απαιτείται η απόδοση υδρολογικής πληροφόρησης σε ποτάμια «περιβάλλοντα», προκειμένου να σκιαγραφηθεί η έκταση της κατάκλυσης κατά την διάρκεια μιας πλημμύρας (Hewitt, 1990; Muller *et al*., 1993). Γενικά όμως, τα οπτικά συστήματα, εμπλέκονται περισσότερο στην «παραγωγή» χαρτογραφικών προϊόντων βλάστησης τα οποία σχετίζονται με το υδρολογικό καθεστώς, ανάγονται δε σε αμιγείς αποτυπώσεις των υδρολογικών διαδικασιών, μέσω της συνέργιας με ένα ΓΣΠ (Price, 1986; Gurnell *et al*., 1993). Τέτοιες διατυπώσεις όμως, σε καμία περίπτωση δεν αποκλείουν την χρήση των παθητικών συστημάτων (στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο), τα οποία, όπως θα φανεί

και παρακάτω, σε θεωρητικό και πρακτικό επίπεδο, μπορούν να αξιοποιηθούν στη βάση διάφορων τεχνικών προς την επίτευξη επιθυμητών αποτελεσμάτων.

Οι τεχνικές (ανάλυσης) που εφαρμόζονται, πέραν της απλής οπτικής φωτοερμηνείας (Oberstadler *et al.* 1997), εμπερικλείουν την επιβλεπόμενη ταξινόμηση (De Roo *et al.*, 1999), καθώς και διάφορες τεχνικές ανίχνευσης μεταβολών (Calabresi, 1995; Brivio *et al.* 1997). Οι τελευταίες περιγράφονται συνοπτικά από την πρόσφατη σχετική βιβλιογραφία (Coppin *et al*, 2004; Lu *et al*, 2004; Liu *et al*, 2004), περί των οποίων γίνεται ιδιαίτερος λόγος στο επόμενο κεφάλαιο, τόσο σε θεωρητικό επίπεδο, όσο και στο πλαίσιο μελέτης περίπτωσης. Πάντως, θα πρέπει να υπογραμμιστεί ένα μείζον μειονέκτημα αυτών των μεθόδων, το οποίο αναφέρεται στην επιβολή ενός αντιπροσωπευτικού συντελεστή κατωφλίωσης, γεγονός που καθιστά μια τέτοια επιλογή ατεκμηρίωτη και αυθαίρετη, εκτός και αν συνοδεύεται/ υποστηρίζεται από επίγειους ελέγχους (Matgen *et al*, 2007).

Από την άλλη, υφίσταται το ενδεχόμενο μοντελοποίησης της ενδεχόμενης κατάκλυσης στη βάση ενός Ψηφιακού Μοντέλου εδάφους, το οποίο είτε έχει παραχθεί από λήψεις InSAR, είτε από LiDAR, είτε από την ψηφιοποίηση και αξιοποίηση πληροφοριών υψομέτρων και υδρογραφικών δικτύων που εμπεριέχονται σε προϋπάρχοντες τοπογραφικούς χάρτες σε ένα ΓΣΠ – με την λειτουργία TOPOGRID (Topo to Raster)[56]. Από εκεί και έπειτα, είναι δυνατή η δημιουργία μοντέλων κατάκλυσης βασισμένη σε παράγωγα εξαγόμενα από ένα DEM σε περιβάλλον ΓΣΠ (λ.χ. Townsend and Walsh, 1998). Γενικά, τα ΓΣΠ παρέχουν μια σειρά από ρουτίνες που μπορούν να μοντελοποιήσουν τα υδρολογικά πρότυπα,

[56] Πιο συγκεκριμένα, η λειτουργία Topo to Raster είναι μια μέθοδος παρεμβολής που χρησιμεύει για την αναπαραγωγή υδρολογικά ορθών ψηφιακών μοντέλων υψομέτρου – DEM από ισοϋψείς καμπύλες, υψομετρικά σημεία και την υδρογραφία μιας περιοχής, η οποία έχει βασιστεί στο πρόγραμμα ANUDEM το οποίο έχει αναπτυχθεί από τον Hutchinson (1988, 1989). Κατά αυτήν την μέθοδο χρησιμοποιείται μια επαναληπτική πεπερασμένη τεχνική παρεμβολής η οποία συνδυάζει κατά βέλτιστο τρόπο τα πλεονεκτήματα της υπολογιστικής αποτελεσματικότητας μιας τοπικά εφαρμόσιμης μεθόδου παρεμβολής (local interpolation method), χωρίς να υφίσταται απώλειες στην συνεχή κατανομή των επιφανειών, εκμεταλλευόμενη παράλληλα τις γενικευμένες μεθόδους παρεμβολής (global interpolation methods). Επί της ουσίας, αποτελεί μια τεχνική πολυωνυμικής παρεμβολής, κατά την οποία το προσαρμοσμένο DEM μπορεί να ακολουθήσει απότομες μεταβολές του ανάγλυφου όπως τα ποτάμια ρεύματα και οι κορυφογραμμές. (Hutchinson, 1989; Wahba, 1990).

έχοντας ως εισροή ένα DEM[57]. Η εξαγωγή μορφομετρικών παραμέτρων στη βάση της τοπογραφίας και της υδρογραφίας μιας αποστραγγιστικής λεκάνης, καθώς και στις συνθήκες επιφανειακής κάλυψης και υγρασίας, από DEM που έχουν παραχθεί με αυτούς τους τρόπους, καθώς και από τηλεπισκοπικές απεικονίσεις, αποκαλύπτουν σε κάποιον βαθμό αυτά τα πρότυπα, όταν συμπληρώνονται από δεδομένα εισροών ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, και κυρίως της βροχόπτωσης.

Μια πολύ σημαντική παράμετρος λοιπόν όσον αφορά στην πρόγνωση και την έγκαιρη προειδοποίηση πλημμυρών αποτελεί η εκτίμηση της βροχόπτωσης (Bell and Moore, 2000). Η ύστερη δημιουργία μοντέλων βροχόπτωσης-απορροής αν και αποτελεί σημαντικό βήμα, παρά όσα πολλοί ερευνητές πιστεύουν, οι Moore *et al.* (2005) δηλώνουν ρητά πως απαιτείται πολύ περισσότερη έρευνα προκειμένου να αναπτυχθούν ορθολογικά και αξιόπιστα τέτοια μοντέλα. Επομένως, η διαδικασία της πρόγνωσης ή προεκτίμησης ενέχει μια αλυσίδα μοντέλων και εκτιμήσεων, που πολλές φορές μπορούν να υποστηριχθούν αν οι αρχικές εκτιμήσεις της βροχόπτωσης προκύψουν από λήψεις μετεωρολογικών δορυφόρων radar σε συνδυασμό με μετρήσεις από επίγεια βροχόμετρα, των οποίων οι εκροές γενικεύονται και επεκτείνονται αν υποστηριχθούν από αριθμητικά μοντέλα πρόβλεψης του καιρού. Τα παραπάνω, στο σύνολό τους, προσφέρουν μια νέα ευκαιρία ώστε να υπερπηδηθούν τα σημαντικά προβλήματα της εκτίμησης της βροχόπτωσης (συνεχώς) στον χώρο.

Εν γένει λοιπόν, από τα παραπάνω συνάγεται πως είναι δυνατή η έγκαιρη πρόγνωση τροπικών κυκλώνων, όσον αφορά στον εντοπισμό της ακολουθούμενης τροχιάς τους, της έντασής τους, της προεκτίμησης των εκτάσεων επί των οποίων θα «ασκηθεί επιρροή», αλλά και της συνεπαγόμενης βροχόπτωσης και της έντασής της. Η μεγαλύτερη αβεβαιότητα έγκειται στην εκτίμηση της τελευταίας, πρόβλημα που ανάγεται και στις περιπτώσεις υδρολογικών κινδύνων. Η ετοιμότητα λοιπόν στην περίπτωση των κυκλώνων μπορεί να ενισχυθεί από την ταχεία και έγκαιρη προειδοποίηση, ενώ στην περίπτωση των πλημμύρων, ακόμη και κατά την εξέλιξη του φαινομένου, απαιτείται η συνεχής παρακολούθησή (των μεταβολών) του. Συγκεκριμένα, για την περίπτωση των ποτάμιων πλημμυρών, σύμφωνα με τους Tralli *et al.* (2005), η μακρόθεν επισκόπηση τέτοιων μεταβολών και η γενικότερη εξέλιξη του τοπίου, χρήζει διαχρονικού ελέγχου, ενώ το ύψος της στάθμης και το πλημμυρικό

[57] λ.χ. η αυτοτελής λειτουργική μονάδα ή εργαλείο Υδρολογίας (*Hydrology* module)

εύρος των ποταμών, καθώς και η σφοδρότητα των βροχοπτώσεων να απαιτούν ακόμη και ωριαίες μετρήσεις.

Η έγκαιρη αποτίμηση του κινδύνου μέσα από ενημερωμένα χαρτογραφικά προϊόντα κινδύνου, σε συνδυασμό με αντίστοιχα προϊόντα τρωτότητας, αποδίδουν χρήσιμες εκροές περί της δυνητικής διακινδύνευσης. Τελικά, τόσο τα διάφορα προγνωστικά μοντέλα, όσο και τα παραγόμενα (απεικονίσεις, χάρτες κ.α.) που προκύπτουν από τα παθήματα παρελθόντων καταστροφών, υπό κατάλληλες προϋποθέσεις δυνητικά συμβάλλουν στον βελτιωμένο σχεδιασμό, έχοντας ως ύστατο απότοκο – θεωρητικά – τη μείωση της διακινδύνευσης. Από τη μία οι απεικονίσεις και τα εξαγόμενα αυτών μπορούν ως εισροές ή σειρά εισροών να προσφέρουν ενημέρωση-επικαιροποίηση, αν ενταχθούν σε ΓΣΠ και συνδυαστούν με μια υφισταμένη πληροφοριακή βάση η οποία είτε αναφέρεται στην τοπογραφία/ υδρογραφία (αρχεία μοντέλων εδάφους – DEMs, DTMs –, και παραγώγων τους: αρχεία κλίσεων, υδρογραφικής συχνότητα και πυκνότητας κ.α.), αλλά και με αρχεία που αφορούν στις καλύψεις/ χρήσεις γης και στις διάφορες ιδιότητές τους οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά (διαπερατότητα εδαφών, συντελεστές διήθησης, φυτοκάλυψη, ανθρωπογενής παρέμβαση και κατασκευές-υποδομές, τύποι υλικών) τον τρόπο εξέλιξης φαινομένων υδρολογικής φύσης.

Κατολισθήσεις

Οι κατολισθήσεις αποτελούν έναν κίνδυνο που απαντάται πολύ συχνά στο ορεινό περιβάλλον, και ιδιαιτέρως σε περιοχές έντονων μορφολογικών κλίσεων όπου επικρατεί αστάθεια πρανών. Η οριοθέτηση-ζωνοποίηση των τμημάτων της γήινης επιφάνειας που είναι επιδεκτικές (susceptible) αποτελεί την βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη μοντέλων που συντείνουν στην «πρόβλεψη» κατολισθητικών περιστατικών και επομένως στον μετριασμό της διακινδύνευσης και στην επαύξηση της ετοιμότητας. Αυτή η οριοθέτηση συμπίπτει, σύμφωνα με τον Varnes (1984), με την κατάτμηση και διαβάθμιση ομοιογενών περιοχών οι οποίες παρουσιάζουν τον αυτό πραγματικό ή δυνητικό κίνδυνο εκδήλωσης φαινομένων μετακίνησης μαζών. Η γνώση λοιπόν των παραγόντων που εμπλέκονται ή επιφέρουν την εμφάνιση τέτοιων φαινομένων είναι απαραίτητη. Οι Dai *et al*. (2002) εντάσσουν αυτούς τους παράγοντες σε δύο κατηγορίες, και δη (i) τους «προπαρασκευαστικούς» που

καταστούν *de facto* επιρρεπείς κάποιες περιοχές-πλαγιές στην ανάδυση αστοχιών χωρίς να τις πυροδοτούν: γεωλογία, τοπογραφικές κλίσεις, γεωτεχνικές ιδιότητες, πρότυπα αποστράγγισης και αποσάθρωσης, βλάστηση, κ.α., και (ii) εκείνους που δίνουν το έναυσμα για την εκδήλωση: έντονες βροχοπτώσεις, «ξεσπάσματα» παγετώνων κ.α.. Η συμβολή της Τηλεπισκόπησης κατατείνει στην «εκπλήρωση» και των δυο. Και ενώ οι δεύτεροι οφείλονται σε κλιματικές και μετεωρολογικές παραμέτρους, ή και σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, η εν λόγω ανάλυση επικεντρώνεται κυρίως στους πρώτους που αφορούν στην επιφανειακή εμφάνιση εδαφών επιδεκτικών σε κατολισθητικά επεισόδια.

Όσον αφορά στην εκτίμηση των πρώτων, μια περαιτέρω ανάλυση πρόκειται να αποσαφηνίσει την διάκριση ανάμεσα στον *εντοπισμό* (*detection-identification*) και την *παρακολούθηση* (*monitoring*). Πάντως, αυτό που γενικά συνάγεται από την επισκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας και εμπειρίας, όσον αφορά στην υλοποίηση μεθόδων Τηλεπισκόπησης για τη μελέτη μετακινήσεων μαζών και την οριοθέτηση ζωνών κινδύνου, συνοψίζεται στο γεγονός ότι δεν έχει γίνει πλήρης αξιοποίηση των δυνατοτήτων αυτών των μεθόδων (Mantovani *et al.*, 1996). Αυτό άλλωστε υποδεικνύουν και οι Tralli *et al.* (2005), όταν διατείνονται ότι υφίσταται έλλειψη δεδομένων σχετικών με αυτούς τους παράγοντες όπως: το πάχος, η υγρασία ή η ανθεκτικότητα των εδαφών, η βλάστηση και η επακριβής τοπογραφία. Εντούτοις, υπάρχει η δυνατότητα συνεργίας παθητικών/ οπτικών (λ.χ. Landsat TM) και ενεργητικών/ μικροκυματικών (SAR) δορυφορικών δεδομένων, ώστε να παραχθεί πληροφόρηση για την εδαφική κάλυψη και τη γεωμορφολογία των πρανών, προκειμένου να καταγραφεί και αναδειχθεί το δυναμικό εμφάνισης κατολισθητικών φαινομένων (Singhroy *et al.*, 1998), καθώς και να παρακολουθηθεί η κίνηση και να εκτιμηθούν τα μεγέθη και η κατανομή των κορημάτων (Singhroy, 1995). Τα σχετικά σύγχρονα επιτεύγματα στην συλλογή δεδομένων από αισθητήρες υψηλής ανάλυσης, και στις μεθόδους επεξεργασίας, δίνουν νέα ώθηση στον εντοπισμό και την παρακολούθηση τηλεπισκοπικές μεθόδους.

Έτσι, οι Singhroy (2002) και Singhroy and Molch (2004a) προτείνουν δύο υιοθετήσιμες προσεγγίσεις για την ***αναγνώριση- εντοπισμό*** κατολισθήσεων: μία πιο «ποιοτική» που συμπεριλαμβάνει την ανίχνευση της κατανομής των ροών θραυσμάτων (κατολισθήσεων) και τον χαρακτηρισμό-κατηγοριοποίησή τους, και μια δεύτερη πιο «μετρητική» που εντάσσει διαστάσεις όπως το μήκος και εύρος τους,

καθώς και την κλίση των πρανών. Αυτές μπορούν να υλοποιηθούν διαμέσου λήψεων από αερομεταφερόμενες, ή/ και διαστημικές εξέδρες. Πιο συγκεκριμένα, αεροφωτογραφίες σχετικά μεγάλης κλίμακας (μεγαλύτερης της 1: 15.000) αποτελούν τις πλέον κατάλληλες (Mantovani *et al*., 1996) για τα δεδομένα μεγέθη προκυπτόντων «ομάδων» θραυσμάτων-κορημάτων που, εν γένει, είναι της τάξης δεκάδων έως και μερικών εκατοντάδων μέτρων (Lorente *et al*., 2002). Επίσης, στερεοζεύγη αεροφωτογραφιών μεγάλης κλίμακας είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη αστάθειας πρανών, λόγω της συναφούς «διαγνωστικής» τους δυνατότητας (Metternicht *et al*., 2005). Σχετικά με τις δορυφορικές «εισροές», η χρήση οπτικών παθητικών συστημάτων μεσαίας ανάλυσης 10 – 30m (Landsat TM, SPOT 5) μέχρι πρότινος δεν επέτρεπε παρά την εξαγωγή χαρακτηριστικών για τη λιθολογία, την διαφοροποίηση της βλάστησης – περισσότερο χονδροειδείς παρατηρήσεις. Η έλευση συστημάτων υψηλής ανάλυσης όπως IRS, Ikonos, Quickbird, Plèiades, παρέχουν ένα νέο, αναβαθμισμένο φάσμα ευκαιριών για την λεπτομερέστερη εξαγωγή γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών-οντοτήτων που άπτονται των μετακινήσεων μαζών (λ.χ. οι Gupta & Saha (2001) αξιοποίησαν εικόνες IRS – 5,8m – και οι Hervás *et al*. (2003) εικόνες Ikonos – 1m). Στη διεθνή βιβλιογραφία απαντώνται ακόμη και περιπτώσεις όπου αξιοποιούνται απεικονίσεις στο θερμικό υπέρυθρο (TIR) προς την ανεύρεση παραγόντων πυροδότησης όπως η εδαφική υγρασία (Bison *et al.*, 1990; Carrara *et al.*, 1991) και η παρουσία και ανάπτυξη παγετώνων, για τον εντοπισμό της δυνητικής εμφάνισης χιονοστιβάδων, οι οποίες επιπλέον εκλαμβάνονται ως παράγοντες πυροδότησης του φαινομένου της ολίσθησης (εδαφικών) κορημάτων (Huggel *et al.*, 2002; Kääb *et al.*, 2003 Paul *et al.*, 2004).

Από την άλλη, καθ' ότι η τραχύτητα του αναγλύφου και η γεωμορφολογία αποτελούν την επιφανειακή έκφραση των κατολισθητικών φαινομένων και παρέχουν πληροφορίες για παραμέτρους εμφανίσεων ροών (flow emplacement), ενώ η αξιοποίηση των αναλύσεων/ μετρήσεων της υφής (textural analysis/ measurement) εικόνων SAR συσχετίζεται στενά με την εξαγωγή της μορφολογίας των κορυφογραμμών και την κατανομή των κορημάτων/ θραυσμάτων, απορρέει πως η χρήση των απεικονίσεων SAR μπορεί να αποβεί εξαιρετικά ωφέλιμη στον χαρακτηρισμό κατολισθητικών κορημάτων (Singhroy and Molch 2004a). Αυτό άλλωστε είχε υποδειχτεί από αρχαιότερες έρευνες των Singhroy *et al*. (1998), όπου η λήψη συμβολομετρικών απεικονίσεων SAR υπό κατάλληλες προσπίπτουσες γωνίες

επί απότομων πρανών, με τη συνεργιστική χρήση και οπτικών ή θερμικών εικόνων, αποδίδει την – αναδρομική – δυνατότητα χαρακτηρισμού των στοιχείων μιας κατολίσθησης και των αστοχιών της. Επιπροσθέτως, η απόδοση της τοπογραφίας-μορφολογίας μπορεί να επιτευχθεί από υψομετρήσεις με *Laser Altimetry* – μέσω ειδικών συσκευών LiDAR (Light Detection and Ranging). Οι τελευταίες απαρτίζονται από ενεργητικούς αισθητήρες που κάνουν χρήση των κυμάτων της ΗΜΑ στο οπτικό ή εγγύς υπέρυθρο (Mather, 2004), παράγοντας, μεταξύ άλλων, χάρτες επιφανειακού υψομέτρου, ή DEMs υψηλής ανάλυσης. Η χρήση τέτοιων μοντέλων υψομέτρου/ αναγλύφου που έχουν προέλθει από την χρήση LiDAR, διέπονται από αναβαθμισμένες δυνατότητες έναντι παραδοσιακών μεθόδων που κάνουν της χρήση μεθόδων στερεοσκοπικής ανάλυσης ή φωτοερμηνείας παγχρωματικών/ πολυφασματικών εικόνων σε περιοχές με τραχύ ανάγλυφο και έντονη φυτοκάλυψη (McKean and Roering, 2004). Έτσι, συνάγεται ότι η ανάλυση τέτοιων τοπογραφικών δεδομένων, οδηγεί, μέσα από την ποσοτικοποίηση της τοπικής εδαφικής τραχύτητας, στην διάκριση περιοχών όπου σημειώνεται εδαφική ολίσθηση/ μετακίνηση ή/ και όχι, και στην οριοθέτηση των κατολισθητικών χαρακτηριστικών (και στον εντοπισμό άλλων μορφολογικών χαρακτηριστικών), παράγοντας μηχανιστικές «συνεπαγωγές» για την κατολισθητική συμπεριφορά και αποτίμηση της πρόσφατης συναφούς δραστηριότητας (McKean and Roering, 2004; Metternicht *et al*., 2005).

Πέρα από την αναγνώριση και τον εντοπισμό, ένα πολύ σημαντικό ζήτημα στην διαχείριση των κατολισθητικών φαινομένων αφορά στην ***παρακολούθησή*** τους. Κατά τους Mantovani *et al.* (1996), η τελευταία αναφέρεται στην σύγκριση των συνθηκών (χωρική εξάπλωση, ταχύτητα κίνησης, εδαφική υγρασία κ.α.) εμφάνισης κατολισθητικών φαινομένων κατά την εκδήλωσή τους σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, η οποία και αποσκοπεί στην αποτίμηση της κατολισθητικής δραστηριότητας. Εν γένει, οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι αφορούν σε διαχρονικές απεικονίσεις στο φάσμα του ορατού και σε τεχνικές ανίχνευσης μεταβολών, ακόμη και από αντίστοιχες αεροφωτογραφίες (προκειμένου να ξεπεραστούν προβλήματα ανάλυσης-κλίμακας), ενώ παρατηρείται μια τάση για την αξιοποίηση διαχρονικών SAR, εισάγοντας και τεχνικές InSAR και Διαφορικών InSAR (DInSAR) για την δυναμική καταγραφή της κατολισθητικής δραστηριότητας.

Η έννοια της παρακολούθησης και της εξέλιξης της κατολισθητικής επενέργειας όταν επιτελείται από δορυφορικές εικόνες στο φάσμα του ορατού-εγγύς υπέρυθρου, λαμβάνει την έννοια της ανίχνευσης μεταβολών σε διαχρονικές απεικονίσεις. Η διεθνής βιβλιογραφία έχει να επιδείξει τέτοιες περιπτώσεις χρήσης *λόγων φασματικών καναλιών (band ratios)* επί διαχρονικών πολυφασματικών εικόνων IRS (Nagarajan *et al.*, 1998) και SPOT (Cheng *et al.*, 2004), όπως και αλγορίθμων μεταβολής επί διαχρονικών απεικονίσεων IRS σε συνδυασμό με τοπογραφικά δεδομένα (Lee *et al.*, 2002). Καθώς όμως προκύπτει ότι η αξιοποίηση τέτοιων, μεσαίας χωρικής ανάλυσης εικόνων προάγει την ανίχνευση και παρακολούθηση μεσαίας-μεγάλης κλίμακας κατολισθήσεων, υπάρχει χρεία υψηλότερων αναλύσεων. Προς αυτήν την κατεύθυνση οδεύουν τα ερευνητικά πονήματα των Hervás *et al.* (2003), όπου υλοποιούνται ημιαυτοματοποιημένες τεχνικές ανίχνευσης μεταβολών επί πολυφασματικών δορυφορικών απεικονίσεων υψηλής και πολύ υψηλής ανάλυσης (IKONOS, Quickbird) πολλαπλών χρονικών στιγμών, στη βάση των απαιτούμενων διεργασιών προεπεξεργασίας – γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση. Ακόμη πιο μεγάλη αίσθηση αποπνέει το ερευνητικό έργο των Delacourt *et al.* (2004), όπου, κατά το εγχείρημα δημιουργίας χρονοσειρών εικόνων με υψηλές αναλύσεις, αναφερόμενες αφ' ενός στο παρόν, αφ' ετέρου σε περιόδους προγενέστερες της εκτόξευσης του Quickbird, προτείνεται η επικουρική χρήση α/φ, ώστε μέσα από την συναξιοποίηση τους με δορυφορικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης, να συνεμπλακούν σε εφαρμογές ανίχνευσης μετακινήσεων μαζών, πολύ μικρής εμβέλειας (της τάξης του 0,1 m). Βεβαίως, οι μέθοδοι της παραδοσιακής φωτογραμμετρίας κυριαρχούν, μέσα από την χαρτογράφηση-αναπαράσταση των κατολισθητικών κινήσεων, από ποσοτικές ογκομετρικές αναλύσεις (van Western and Getahun, 2003), ή και διαμέσου της ψηφιακής φωτογραμμετρίας σε ένα διαχρονικό πλαίσιο (λ.χ. Kääb, 2000).

Η δυναμική παρατήρηση της επιφανειακής μετακίνησης, μπορεί να επιτευχθεί και στο μικροκυματικό τμήμα του φάσματος της ΗΜΑ. Τα παραγόμενα συμβολογραφήματα από απεικονίσεις SAR σε διαφορετικές χρονικές στιγμές για τις ίδιες (ή ελαφρώς διαφορετικές) περιοχές, μπορούν να αποδώσουν πολύ μικρές μεταβολές στην *πλευρική απόσταση* (*slant range* changes), οι οποίες οφείλονται είτε στην τοπογραφία, είτε στην επιφανειακή παραμόρφωση και κίνηση-μετατόπιση (Klees and Massonnet, 1999). Προκειμένου να δημιουργηθούν (ψηφιακοί) χάρτες

κίνησης (λ.χ. διαχρονικής ταχύτητας κίνησης των κατολισθήσεων), απαιτείται ο διαχωρισμός των φάσεων που αφ' ενός αναφέρονται στην κίνηση και αφ' ετέρου στην τοπογραφία (motion-related and topographic phase contribution) (Squarzoni *et al*., 2003; Singhroy and Molch, 2004a; 2004b). Η τεχνική επεξεργασίας εικόνας που βασίζεται στην αξιοποίηση της τεχνικής διαφορικών συμβολομετρικών SAR (DInSAR), καθιστά δυνατή την απαλοιφή του στοιχείου της τοπογραφίας (Canuti *et al*., 2004). Σε αυτήν άλλωστε την διαδικασία προέβηκαν οι Rott and Nagler (2006), προκειμένου να χαρτογραφήσουν την μετακίνηση μαζών σε ορεινά τμήματα της οροσειράς των Άλπεων, από δεδομένα SAR του δορυφόρου ERS.

Όπως έχει ήδη καταδειχθεί από τα προηγούμενα, πέρα από την συλλογή των κατάλληλων τηλεπισκοπικών δεδομένων, οι τεχνικές επεξεργασίας τους προς την παραγωγή ωφέλιμων πληροφοριών αποτελεί μια εκ των ων ουκ άνευ αναπόσπαστη διαδικασία. Έτσι, οι τεχνικές ταξινόμησης μέσω αλγορίθμων που εφαρμόζονται σε προσεγγίσεις προσανατολισμένες στα εικονοστοιχεία (minimum distance, maximum likelihood, κ.α.), ή/ και σε αντικειμενοστραφείς προσεγγίσεις μέσω κατάτμησης εικόνας (nearest neighbor, fuzzy logic), οι τεχνικές ανίχνευσης μεταβολών, και η αξιοποίηση των συμβολομετρικών αναπαραστάσεων, αποτελούν τις πλέον προσφιλείς τεχνικές επεξεργασίας εικόνας, οι οποίες ενσωματώνονται στις αντίστοιχες διεργασίες αποκομιδής δεδομένων. Επιπλέον (σε μετέπειτα φάση), υφίσταται η δυνατότητα αξιοποίησης των παραγόμενων ταξινομημένων εικόνων/ εικόνων μεταβολής και κυρίως των DEMs, μέσα σε ένα ΓΣΠ, από διαδικασίες ανάλυσης που αναφέρονται στην τοπογραφία και μορφομετρία (terrain analysis)[58]. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η ερευνητική εργασία των Lee *et al.* (2002), επί της οποίας, αφού αξιοποιήθηκαν διαχρονικές εικόνες, ανεβρέθηκαν αρχικά τα «ίχνη» προϋπαρχουσών/ παλαιότερων κατολισθήσεων· εκ των υστέρων δε, η γεωλογική δομή και τα παράγωγα της τοπογραφίας ενεπλάκησαν σε μια χωρική βάση δεδομένων σε ένα ΓΣΠ, επιφέροντας εν τέλει την αποτύπωση της επιδεκτικότητας του εδάφους σε μετακινήσεις μαζών σε περιοχή της Κορέας. Γενικότερα, σε περιβάλλον ΓΣΠ, η συνεργιστική ολοκλήρωση των τηλεπισκοπικών απεικονίσεων στο φάσμα του ορατού (Garcia-Melndez *et al*., 1998; Zink *et al*., 2001), όσο και απεικονίσεων στο μικροκυματικό (SAR) (Singhroy *et al*., 1998), χρησιμοποιούνται επιτυχημένα για την ανάδειξη και αναπαράσταση τοπογραφικών

[58] τοπογραφικά-μορφολογικά παραγόμενα όπως: κλίσεις, εκθέσεις, κυρτότητα/ κοιλότητα

και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών-παραμέτρων, συσχετιζόμενων με την απογραφή και αποτίμηση της διακινδύνευσης κατολισθητικών φαινομένων. Σε αυτό το σημείο βέβαια, δεν θα πρέπει να αμελείται το γεγονός ότι οι επίγειες μετρήσεις παίζουν καθοριστικό ρόλο πολλές φορές, είτε για την επαλήθευση-έλεγχο των μακρόθεν παρατηρήσεων, αλλά και για την αναντικατάστατη με άλλα μέσα αποκομιδή στοιχείων και διενέργεια μετρήσεων.

Σε τελική φάση, είναι δυνατή η εκτίμηση-αποτίμηση του κινδύνου και της δυνητικής διακινδύνευσης, υπό την επενέργεια διαφόρων τύπων μοντέλων-προσεγγίσεων τα οποία, σύμφωνα με τους Soeters and van Western, 1996 και van Western *et al*. (1997), διακρίνονται σε απογραφικά (inventory), ευρετικά (heuristic), στατιστικά/ στοχαστικά (statistic/ stochastic) και ντετερμινιστικά (deterministic). Η χρηστικότητα και οι δυνατότητες-προοπτικές των παραπάνω μοντέλων επαφίενται στην ποιότητα-ακρίβεια (κλίμακες/ χωρικές και διακριτικές αναλύσεις) και την πληρότητα των παρεχόμενων τηλεπισκοπικών απεικονίσεων, με τα απογραφικά να σκιαγραφούν απλά την κάθε φορά γεωγραφία του υφιστάμενου κατολισθητικού κινδύνου, σε αντιδιαστολή με τα ντετερμινιστικά που αποδίδουν τα πιο λεπτομερή αποτελέσματα, οριοθετώντας με σαφήνεια τις επιρρεπείς περιοχές και, υπό την εισροή ενός συνόλου συνθηκών, εκφράζουν το ενδεχόμενο της ανάδυσης αστοχιών.

Πάντως, το ουσιαστικό απόσταγμα όλων των προαναφερθέντων μεθόδων και τεχνικών μπορεί και πρέπει να «αποβλέπει» στον εν γένει μετριασμό της διακινδύνευσης και στην άνοδο της ετοιμότητας. Η δημιουργία επικαιροποιημένων ψηφιακών χαρτών ευπάθειας και κινδύνου μπορούν να αποδώσουν μια αδρή αλλά ουσιαστική εικόνα της κατανομής της επιρρέπειας της γήινης επιφάνειας σε κατολισθητικά φαινόμενα, τόσο επί περιοχών προϋπάρχουσας εμφάνισης μετακινήσεων μαζών, όσο και ενδεχόμενων περιοχών οι οποίες συγκεντρώνουν παράγοντες ευπάθειας. Πέραν αυτής της ευκαιρίας που παρέχει η Τηλεπισκόπηση και τα ΓΣΠ, η διαρκής και έγκαιρη παροχή πληροφοριών, από την ταχεία επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικούς χρόνους για παράγοντες πυροδότησης (triggering factors), αναδύεται επιπροσθέτως το δυναμικό της δημιουργίας διαφόρων μοντέλων, μέσω της δυνατότητας πρόγνωσης-πρόβλεψης, με τελικό απότοκο την επαύξηση της επαγρύπνησης και την έγκαιρη προειδοποίηση.

3.4.3 Ειδική Μέριμνα για την Απόκριση-Αποκατάσταση: Αποτίμηση του Καταστροφικού Αντίκτυπου

Σε γενικές γραμμές, στα στάδια του μετριασμού της διακινδύνευσης και της ετοιμότητας – όπου η τροποποίηση της τρωτότητας επισυμβαίνει σε άμεση συσχέτιση με το επικείμενο ή το εκδηλούμενο συμβάν –, η αρμόζουσα και αποτελεσματική υλοποίηση των παραπάνω τεχνικών απαιτεί την γνώση των ειδικών χαρακτηριστικών των υποκείμενων κινδύνων που προκαλούν την καταστροφή. Επομένως, η συγκέντρωση των εκάστοτε δεδομένων, καθώς και η ανάλυση-επεξεργασία τους προκειμένου να προκύψουν χρήσιμες εκροές προς την κατεύθυνση της πρόβλεψης-πρόγνωσης, προειδοποίησης, ζωνοποίησης, σχεδιασμού-καθορισμού χρήσεων γης, επαφίενται πρωταρχικά στον εκάστοτε τύπο κινδύνου, ή στην κατά περίπτωση ενδεχόμενη εξέλιξη ενός ακραίου φαινομένου. Από την άλλη, τα στάδια της απόκρισης και αποκατάστασης είναι λιγότερο συνυφασμένα και εξαρτημένα με το φαινόμενο σε εξέλιξη και περισσότερο με τις συνέπειές τους (αναφορικά με την χωρικό εντοπισμό τους, την ένταση και τη σφοδρότητα) σε σχέση με τα αθρωπογενή και άλλα στοιχεία που επισκιάζουν. Και αυτό διότι σε αυτές τις φάσεις κύρια μέριμνα αποτελεί ο αντίκτυπος ενός δυνάμει καταστροφικού συμβάντος στην φύση και την κοινωνία, ενώ δε ο τρόπος με τον οποίο θα πρέπει να προσαρμοστεί μια κοινότητα και να προβεί σε ενέργειες εκτάκτου ανάγκης, απορρέει περισσότερο από την απογραφή και την αξιολόγηση της κατάστασης των ανθρωπογενών/ ανθρωποποίητων ιδιοκτησιών/ κατασκευασμάτων όπως οι γενικές χρήσεις-καλύψεις γης και ειδικότερα οι κτιριακές εγκαταστάσεις και υποδομές κοινής ωφέλειας (π.χ. δίκτυα οδικά, παροχής ύδατος, τηλεπικοινωνιών), αλλά και η ύπαρξη/ ανυπαρξία ασφαλών χώρων (ελεύθεροι χώροι καταφυγής) κ.α. Για αυτόν τον λόγο, σε αυτό το χωρίο παρατίθενται κάποιες «δεσπόζουσες» τεχνικές και ενέργειες της τηλεπισκοπικής διαδικασίας προς την κατεύθυνση της απόκρισης και αποκατάστασης, οι οποίες έχουν την δυνατότητα να εφαρμοστούν σε αυτά τα στάδια κάθε φυσικοκαταστροφικού περιστατικού, αν και ο τρόπος εξέλιξης του φαινομένου μπορεί να «μεταλλαχθεί» σε κάποιον βαθμό κατά περίπτωση.

Έτσι, οι πιο γενικευμένες δυνατότητες της τηλεπισκόπησης όσον αφορά στην ανάδειξη και στον διαχωρισμό χρήσεων-καλύψεων γης τόσο στο φυσικό, όσο και στο δομημένο περιβάλλον, μπορούν να συμβάλλουν σε όλο το φάσμα της διαχείρισης

κρίσεων, ιδιαίτερα δε στην απόκριση και αποκατάσταση. Και αυτό διότι με τη συνεργιστική χρήση εικόνων υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας, λήψεων InSAR και LiDAR – διαμέσου της εκμαίευσης χρήσεων γης και ψηφιακών μοντέλων εδάφους – παρέχεται η δυνατότητα απεικόνισης, ταξινόμησης και απογραφής του δομημένου περιβάλλοντος (Gamba and Houshmand, 2002), κάτι που κατά τους Rejaie and Shinozuka (2004) νοείται ως ένα διάβημα που συμβάλλει στην εκτίμηση της τρωτότητας και στην ταχεία (μετα-καταστροφική) αποτίμηση της ζημιάς. Όταν λοιπόν συντελείται η ενσωμάτωση τηλεπισκοπικών δεδομένων σε προϋπάρχουσες βάσεις δεδομένων εντός ενός ΓΣΠ, εμπεριέχοντας δεδομένα/ πληροφορίες για την δημογραφία, τις υποδομές, και το οικιστικό απόθεμα, το οδικό δίκτυο (και λοιπά δίκτυα), σε λεπτομερές επίπεδο (επίπεδο οικοδομικού τετραγώνου), μπορούν να προαχθούν σχέδια απόκρισης, τόσο προς την άμεση κινητοποίηση των πληττόμενων (πολιτών), με την έγκυρη κατάστρωση σχεδίων εκκένωσης των κτιρίων, προτεινόμενων εναλλακτικών διαδρομών προς προμελετημένους και προσχεδιασμένους χώρους καταφυγής (π.χ. γήπεδα, πάρκα, σχολεία κ.α.), όσο και από την πλευρά των δράσεων της πολιτικής προστασίας, με την προδιαγραφή ειδικών διαδρομών (και εναλλακτικών) των σωστικών συνεργείων, την αποστολή κινητών μονάδων, καθώς και την «ενεργοποίηση» των εκάστοτε χωρικά γειτνιαζόντων ακίνητων μονάδων/ εγκαταστάσεων εκτάκτου κατάστασης. Κατ’ αυτόν τον τρόπο, καθίσταται δυνατή η έγκαιρη και αποτελεσματική διανομή φυσικών και ανθρώπινων διαθέσιμων προς τις δράσεις απόκρισης και ανακούφισης, προκειμένου να επακολουθήσουν αργότερα η κινητοποίηση αποστολών ανθρωπιστικής και ασφαλιστικής βοήθειας, διαμέσου της αποτίμησης των συνεπειών, με απώτερο σκοπό την μακροπρόθεσμη αποκατάσταση. Αναμφισβήτητα δε, όλες οι παραπάνω πληροφορίες θα πρέπει να επικαιροποιούνται στο σύνολό τους μετά το καταστροφικό χτύπημα ώστε να εντοπίζονται διαφοροποιήσεις στην κατανομή των εκάστοτε μεταφορικών-συγκοινωνιακών υποδομών και άλλων ζωτικής σημασίας συνδέσεων. Ουσιαστικό βοήθημα στην ενημερωμένη παρουσίαση-απόδοση της τρέχουσας κάθε φορά κατάστασης, καθώς και στην αποτίμηση του καταστροφικού αντίκτυπου μπορούν να συναποτελέσουν και οι διαχρονικές εικόνες (πριν και μετά το επεισόδιο), ώστε μέσα από την ανίχνευση και ανάδειξη πολυποίκιλων ή/ και συγκεκριμένων μεταβολών να εντοπιστούν οι πληγείσες περιοχές και να εκτιμηθεί κατά προσέγγιση η έκταση/ μέγεθος της καταστροφής.

Συνεπώς, προς την κατεύθυνση της ταχείας αποτίμησης των απωλειών και της ζημιάς, (καθώς και της έγκαιρης απόκρισης εκτάκτου ανάγκης), προτείνεται η απόκτηση δεδομένων παγχρωματικών εικόνων υψηλής διακριτικής ικανότητας (0,25-2m), καθώς και εικόνων NIR (near infra-red) εντός δύο εικοσιτετραώρων από την στιγμή της «ανάδυσης» της καταστροφής (Scheitzer and McLeod, 1997). Αυτές οι «μετα-καταστροφικές» εικόνες πρέπει να συνοδεύονται και υποστηρίζονται από εικόνες προ-καταστροφικές, οι οποίες, σύμφωνα με τους Jensen *et al*. (1998) δε χρειάζεται να ενημερώνονται/ επικαιροποιούνται σε χρονικά διαστήματα μικρότερα του 1-5 ετών, απαιτούνται όμως αντίστοιχες υψηλές αναλύσεις (1-5 m) στις λαμβανόμενες εικόνες (πολυφασματικές). Σε περίπτωση νεφοκάλυψης, τα radar μπορούν να περάσουν τα πλέον ωφέλιμα δεδομένα (Wagner, 1994). Τελικά, η γεωμετρική «συνταύτιση» (co-registration) των δύο εικόνων, με την καταχώρηση (registration) της εικόνας που έπεται της καταστροφής επ' αυτής που προηγείται επιφέρει την δυνατότητα τόσο της χειρωνακτικής όσο και της αυτοματοποιημένης (ψηφιακής – digital) ανίχνευσης μεταβολών (Cinti, 1994; Jensen, 1996).

Έτσι, αν η παραγόμενη εικόνα μεταβολής διέπεται από την απαιτούμενη πιστότητα, καθιστά σε κάποιον βαθμό δυνατή την «ποσοτικοποίηση» της σχετικής πληροφορίας περί κατεστραμμένων κτιριακών αποθεμάτων, «αποζευγμένων» αρτηριών και άλλων συγκοινωνιακών δικτύων, και την «διάγνωση» της εν γένει αναστάτωση και πρόκληση ρήξης στη λειτουργία άλλων υποδομών. Αυτή η αδρή/ πρόχειρη πληροφόρηση, είναι δυνατό να αποτελέσει εισροή σε ένα ΓΣΠ για την εκτίμηση της έκτασης της καταστροφής, ενώ σε συνδυασμό με πληροφορίες περί της γης, αγροτεμαχίων, ιδιωτικών ιδιοκτησιών και δημόσιων γαιών, δασικών εκτάσεων και των αντίστοιχων αξιών τους, μπορεί να διενεργηθεί μια άμεση, και ποσοτικοποιημένη σε όρους χρήματος εκτίμηση των ζημιών και φθορών από μέρους δημόσιων φορέων κυρίως (λ.χ. τοπική αυτοδιοίκηση). Σε περιπτώσεις δε που τίθεται το ζήτημα της «προσβολής» ιδιωτικών περιουσιών και δημόσιων κτημάτων, απαιτείται και η καταχωρημένη απογραφή του ιδιοκτησιακού καθεστώτος και των διάφορων καλύψεων-χρήσεων γης. Γενικά, λοιπόν σε όλες τις περιπτώσεις έπειτα από την «έκρηξη», την εκτόνωση και την αποφόρτιση μιας καταστροφής, ακολουθεί η επιστροφή στις κανονικότητες – στο στάδιο της ανάκαμψης –, με την ανακούφιση, την αποζημίωση, επαναδιανομή πόρων-διαθεσίμων και δημοσίων και ιδιωτικών γαιών, την επανόρθωση και την ανακατασκευή να συνιστούν φλέγοντα ζητήματα ως

προς τον τρόπο εφαρμογής τους – προς όφελος ποιών και γιατί(;). Ακριβώς επειδή υφίσταται η επιτακτική ανάγκη για επείγουσα και συνεπή επανόρθωση και επαναπόδοση, τα συστήματα παρατήρησης και παρακολούθησης της Γης και γεωγραφικών πληροφοριών μπορούν να αναδειχθούν σε αξιόπιστα και αμερόληπτα εργαλεία, θέτοντας τα εχέγγυα για μια «δίκαιη»[59] και ταχύρυθμη διαδικασία αποκατάστασης.

[59] Σε περίπτωση που υφίσταται προδιαγεγραμμένη μέθοδος αποκατάστασης-αποζημίωσης και επαναπόδοσης απολεσθέντων περιουσιακών στοιχείων σε όρους χρήματος ή και ιδιοκτησίας, η διαδικασία αυτή είναι τόσο δίκαιη, όσο και το πρότερο καθεστώς κατανομής του πλούτου και ιδιοκτησίας, εκτός και αν υπεισέρχονται τάσεις προς την επίτευξη νέων ισορροπιών – προς όφελος ποιών και γιατί (;).

4 Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΩΝ. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

[«Τίποτα στον κόσμο δεν είναι μόνιμο, και είμαστε ανόητοι όταν αξιώνουμε κάτι να διαρκέσει, αλλά σίγουρα γινόμαστε ακόμη πιο ανόητοι όταν δεν αρεσκόμαστε σε αυτό ενόσω το έχουμε. Υπό την προϋπόθεση ότι η μεταβολή πρόσκειται της ουσίας της ύπαρξης, κάποιος θα μπορούσε να το βρει μόνο λογικό να την καταστήσει την βασική αρχή της φιλοσοφίας μας.»
"Nothing in the world is permanent, and we're foolish when we ask anything to last, but surely we're still more foolish not to take delight in it while we have it. If change is of the essence of existence one would have thought it only sensible to make it the premise of our philosophy."]

(W. Somerset Maugham)

Οι πλημμύρες, όπως έχει καταδειχθεί και στα προηγούμενα, συνιστούν ένα ακραίο φυσικό φαινόμενο το οποίο λαμβάνει χώρα σε περιπτώσεις που οι παροχές ύδατος σε έναν ποτάμιο κλάδο ή σύστημα αυξάνουν κατά πολύ – λόγω ενός συνδυασμού υπέρμετρης πτώσης κατακρημνισμάτων, όσο και ιδιαίτερων γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών – με αποτέλεσμα να καθίσταται αδύνατη η αποφόρτισή τους διαμέσου των κοιτών τους και μόνο. Η παγκόσμια (γεωγραφική) κατανομή αυτών των φυσικών φαινομένων δυνητικά ταυτίζεται με την αντίστοιχη κατανομή των υδρογραφικών δικτύων και ποτάμιων συστημάτων, ενώ η συχνότητα εμφάνισής τους κάθε άλλο παρά σπάνια είναι. Λόγω αυτής της «αναπεπταμένης» γεωγραφικής τους κατανομής, της υψηλής συχνότητας εμφάνισής τους, καθώς και της εν γένει προδιάθεσης των πληθυσμών να συγκεντρώνονται (ή και να συνωστίζονται) πλησίον ποτάμιων συστημάτων προκειμένου να απολαμβάνουν τα πολλαπλά οφέλη που απορρέουν εξ' αυτών (πόσιμο νερό, άρδευση, ναυσιπλοΐα κ.α.), τέτοια φαινόμενα μετατρέπονται δυνητικά σε έναν κίνδυνο που μπορεί να κοστίσει τη ζωή πολλών ανθρώπων, ειδικά αν εκδηλωθούν και εξελιχθούν σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, υπό τη μορφή *flash flooding*.

Πάντως, είτε εκλαμβάνεται ως κίνδυνος, είτε λογίζεται ως πόρος, η εκδήλωση ενός πλημμυρικού επεισοδίου συνδέεται άμεσα με την υπερχείλιση της «κανονικής»

κοίτης ενός ποταμού και την εκατέρωθεν αυτής περιοδική κατάκλυση όμορων εκτάσεων, γνωστών από τα προηγούμενα ως πεδιάδες κατάκλυσης. Η επανεμφάνιση τέτοιων γεγονότων, προσδίδουν μια ιδιαίτερα σημαίνουσα αξία στη διάσταση του χρόνου. Γενικότερα, τα χαρακτηριστικά και οι εμφανίσεις που απαντώνται επί της γήινης επιφάνειας διέπονται ενίοτε από μια δυναμική φύση. Για τον εντοπισμό και την κατανόηση φαινομένων που αφορούν τόσο στις διαδικασίες που επιτελούνται στη φύση, όσο και εκείνων που διεκπεραιώνονται διαμέσου της ανθρωπογενούς διεργασίας, την ανεύρεση αλληλοσυσχετίσεων και αλληλεπιδράσεων και την αναγνώριση των διαχρονικών μεταβολών τους, προκειμένου να υπαχθούν σε μια διαδικασία που ύστατη επιδίωξη είναι η λήψη αποφάσεων (λ.χ. χάραξη μέτρων διαχείρισης περιστατικών εκτάκτου κατάστασης), απαιτείται η ύπαρξη δυνατότητας έγκαιρης και ακριβούς ανίχνευσης αυτών των μεταβολών διαμέσου του χρόνου.

Συνεπώς, η ανάδυση πλημμυρικών επεισοδίων αποτελεί αντικείμενο που χρήζει διερεύνησης και συνεχούς παρακολούθησης, είτε γίνεται αναφορά σε διακριτά συμβάντα, είτε σε σειρές γεγονότων. Στην πρώτη περίπτωση, έχει τεράστια σημασία η συνεχής εποπτεία της εξέλιξής μεμονωμένων περιστατικών, καθώς και της αλληλεπίδρασης με λοιπά στοιχεία του φυσικού και του πολιτισμικού (ανθρωπογενούς) τοπίου. Από την άλλη, δεδομένου πως τέτοιοι κίνδυνοι υδρολογικής προέλευσης επανέρχονται περιοδικά στο προσκήνιο, είναι αναγκαία η απογραφή διαδοχικών τέτοιων συμβάντων για την κατανόηση και την αποτύπωση των χωρικών προτύπων κατάκλυσης που ανακύπτουν από την διαχρονική παρακολούθηση. Τα τηλεπισκοπικά συστήματα παρατήρησης-παρακολούθησης της Γης μπορούν να συμβάλλουν τα μέγιστα, εφόσον υλοποιηθούν *τεχνικές ανίχνευσης μεταβολών* (*change detection techniques*), επί (δυο) τηλεπισκοπικών απεικονίσεων (της αυτής περιοχής) που έχουν ληφθεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

4.1 Ανίχνευση Μεταβολών διαμέσου των Εφαρμογών της Τηλεπισκόπησης

Εν γένει, η ανίχνευση μεταβολών συνιστά μια διαδικασία κατά την οποία η παρατήρηση-παρακολούθηση (monitoring) ενός αντικειμένου ή φαινομένου σε διαφορετικές χρονικές στιγμές αποκαλύπτει ενδεχόμενες διαφοροποιήσεις στην κατάστασή του. Στην τηλεπισκόπηση, η (ψηφιακή) ανίχνευση μεταβολών

συμπεριλαμβάνει την ποσοτικοποίηση αυτών των διαφοροποιήσεων φαινομένων που τροποποιούνται στον χρόνο, με την αξιοποίηση διαχρονικών (multi-date/ multi-temporal) εικόνων, συνηθέστερα αποκτούμενες από δορυφορικούς πολυφασματικούς σαρωτές (Coppin *et al*., 2004). Όσον αφορά δε στους τύπους των μεταβολών που είναι δυνατό και ενδιαφέρον να αναγνωριστούν, αυτοί ποικίλλουν από τα πιο «ακαριαία» ή βραχυπρόθεσμα φαινόμενα όπως η κατάκλυση μιας παράκτιας ή παρόχθιας περιοχής από νερό, ή ακόμη και η κάλυψη μιας ορεινής πλαγιάς από χιόνι ή ηφαιστειακή λάβα, έως τα πλέον αργόσυρτα και μακροπρόθεσμα όπως η αποψίλωση των δασών και η ερημοποίηση. Οι Lu *et al*. (2004), συνοψίζουν σε διάφορες κατηγορίες τις βασικότερες θεματικές «προσεγγίσεις» εφαρμογής διαδικασιών ανίχνευσης μεταβολών οι οποίες συμπεριλαμβάνουν μεταβολές ή τροποποιήσεις σε εμφανίσεις της γήινης επιφάνειας, και δη: στις γενικότερες καλύψεις/ χρήσεις γης, στη βλάστηση και στα δάση, στους υγροτόπους, εν γένει στο περιβάλλον και στο φυσικό τοπίο, καθώς και στις αστικές περιοχές.

4.1.1 Βασικά Βήματα

Όπως προκύπτει από την διερεύνηση της σχετικής βιβλιογραφίας, η επιτυχής υλοποίηση της διαδικασίας της ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών ανακύπτει μέσα από την διαδοχή ορισμένων γενικών βημάτων:

Ύστερα λοιπόν από τον σαφή ***καθορισμό του προβλήματος,*** διαμέσου της περιγραφής της προς εξέταση περιοχής, υπό την βοήθεια μιας αναγνώρισης θεματικών κλάσεων – μέσω προϋπάρχοντος συστήματος ταξινόμησης, ή μέσω ίδιας ταξινόμησης πρωτογενούς εικόνας της περιοχής –, έπεται το βήμα της ***μέριμνας περί σημαντικών παραμέτρων*** πριν διενεργηθεί οποιοδήποτε μετέπειτα εγχείρημα. Αυτές οι παράμετροι αφορούν τόσο σε μελήματα που άπτονται των συστημάτων τηλεπισκόπησης και των χαρακτηριστικών τους (remote sensing system considerations), αλλά και σε «έγνοιες» που αφορούν τα χαρακτηριστικά και τις συνθήκες του ευρύτερου περιβάλλοντος (environmental considerations). Οι χρονικές, χωρικές, φασματικές και ραδιομετρικές διακριτικές ικανότητες των συστημάτων τηλεπισκόπησης, όσο και οι μείζονος σημασίας περιβαλλοντικοί παράγοντες, δηλαδή οι συνθήκες φωτισμού, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, η υγρασία του εδάφους και τα

χαρακτηριστικά του *φαινολογικού κύκλου*[60] (*phenological cycle*) (Jensen, 1996; Weber 2001)[61], συνιστούν τέτοιες παραμέτρους. Η υποτίμηση και η ελλιπής κατανόηση της σπουδαιότητας των παραπάνω, μπορεί να επιφέρει εσφαλμένα και ανακριβή αποτελέσματα στην διαδικασία της ανίχνευσης μεταβολών (Dobson *et al*., 1995).

Επί του παρόντος ανακύπτει στο προσκήνιο το πιο βασικό βήμα: ***η επεξεργασία των τηλεπισκοπικών δεδομένων με σκοπό την «εξαγωγή» πληροφορίας περί των υφιστάμενων μεταβολών***. Προς την κατεύθυνση της πραγμάτωσης μιας τέτοιας διεργασίας εκμαίευσης πληροφορίας, προηγείται η απόκτηση κατάλληλων δεδομένων. Έτσι, σε άμεση συσχέτιση με την μέριμνα περί των προαναφερθέντων προβλημάτων, όσον αφορά στα χαρακτηριστικά των τηλεπισκοπικών δεκτών και στους παράγοντες των περιβαλλοντικών συνθηκών, οι εικόνες θα πρέπει: i) να διακρίνονται από τις ίδιες χωρικές, φασματικές και ραδιομετρικές διακριτικές αναλύσεις και ii) να έχουν ληφθεί κατά το ίδιο στάδιο του φαινολογικού κύκλου, και υπό τις ίδιες συνθήκες φωτισμού (ώρα ημέρας, συνθήκες νεφοκάλυψης, γωνία λήψης κ.α.). Η συνετή επιλογή των δύο (ή και περισσότερων) διαχρονικών δορυφορικών εικόνων πρέπει να «συμπληρώνεται» από τις απαραίτητες ενέργειες «προεπεξεργασίας». Οι τελευταίες αναφέρονται πρωτίστως στην κατάλληλη και ακριβή χωρική συν-εγγραφή ή συν-ταύτιση (co-registration) των διαχρονικών εικόνων, καθώς και στη διενέργεια των απαιτούμενων ατμοσφαιρικών κανονικοποιήσεων ή (ραδιομετρικών) διορθώσεων. Η υψηλή σπουδαιότητα της ύπαρξης ακρίβειας επ' αυτής της γεωμετρικής ταύτισης των διαδοχικών εικόνων σε επίπεδο μικρότερο (του μεγέθους) του εικονοστοιχείου (sub-pixel level), ώστε να περιοριστούν σημαντικά τα σφάλματα και τα επίπλαστα αποτελέσματα εντοπίσιμων μεταβολών έχει καταδειχτεί από διάφορους ερευνητές (Townshed *et al*., 1992, Dai and Khorram, 1998; Verbyla and Boles, 2000; Carvahlo *et al*., 2001; Stow and Chen, 2002). Από την άλλη, προκειμένου να είναι συγκρίσιμα τα ζεύγη εικόνων διαφορετικής χρονικής λήψης και να είναι εφαρμόσιμη μια ποσοτική ανάλυση επ' αυτών, αναγκαία κρίνεται η κοινή ραδιομετρική απόκριση. Και αυτό διότι οι διαφοροποιήσεις στις συνθήκες ηλιακού φωτισμού («ηλιασμού»), στην ατμοσφαιρική

[60] Ως φαινολογία ορίζεται η μελέτη που αναφέρεται στην εξάρτηση των βιολογικών φαινομένων των φυτών από το περιβάλλον.
[61] για μια πιο διεξοδική περιγραφή των παραπάνω μελημάτων, βλ. Coppin and Bauer (1996), Jensen (1996), Biging et al. (1999)

διάχυση και απορρόφηση, αλλά και στους ανιχνευτές-αισθητήρες, απαιτούν την προσαρμογή των ραδιομετρικών ιδιοτήτων της εκάστοτε προκείμενης εικόνας σε μια εικόνα αναφοράς (Coppin *et al*., 2004), και μόνο διαμέσου μιας κατάλληλης και αξιόπιστης ραδιομετρικής βαθμονόμησης μπορεί κανείς (λ.χ. ο ερευνητής) να είναι πεπεισμένος ότι οι διακρινόμενες μεταβολές δεν είναι τα «παραπροϊόντα» διαφορικών βαθμονομήσεων, ατμοσφαιρικών συνθηκών και συνθηκών ηλιασμού, αλλά πράγματι υπαρκτές (Robinove, 1982). Τέλος, σε ορεινές περιοχές (με έντονο ανάγλυφο), θα πρέπει να διενεργούνται οι απαραίτητες διορθώσεις, προς αποφυγή των επιπτώσεων της τοπογραφίας (Kawata *et al*., 1988; Civco, 1989).

Εφόσον πληρούνται οι προϋποθέσεις που επαφίενται τόσο της δόκιμης επιλογής διαχρονικών εικόνων – ίδιας (και υψηλής) χωρικής και φασματικής διακριτικής ικανότητας, και παρόμοιας κατάστασης στον φαινολογικό κύκλο – όσο και των απαιτούμενων ενεργειών προεπεξεργασίας – ακριβής γεωμετρική ταύτιση και ραδιομετρική κανονικοποίηση – , έπεται η ενασχόληση με την τεχνική της ανίχνευσης μεταβολών, αυτής καθ' αυτής. Η περιγραφή των σχετικών τεχνικών επιτελείται σε παρακάτω ενότητα. Πάντως, όπως θα φανεί και στα επόμενα, η επιλογή της δέουσας κάθε φορά τεχνικής διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο για την επιτυχή και αποτελεσματική διαδικασία εξιχνίασης αλλαγών σε δύο χρονικές στιγμές από αντίστοιχες εικόνες.

Η ανάλυση και ο έλεγχος της ποιότητας των αποτελεσμάτων, αποτελεί το προτελευταίο στάδιο και αφορά στην αξιοπιστία των παραγόμενων, πριν από της ***παρουσίαση και διανομή των αποτελεσμάτων*** είτε σε ψηφιακή είτε σε αναλογική μορφή (hardcopy), δηλαδή σε έκτυπο (αντίγραφο από εκτυπωτή Η/Υ).

4.1.2 Επισκόπηση Τεχνικών Ψηφιακής Ανίχνευσης Μεταβολών

Η συνδυασμένη ανάλυση δυο εικόνων που έχουν ληφθεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές δύναται να προάγει τις συνολικές μεταξύ τους διαχρονικές διαφοροποιήσεις. Εντούτοις, κατά τις προηγούμενες διατυπώσεις, ούτε όλες οι εντοπιζόμενες πληροφορίες διαφοροποιήσεων είναι υπαρκτές (π.χ. η αλλαγή της φασματικής απόκρισης σε κάποια εικονοστοιχεία οφειλόμενη αποκλειστικά και μόνο στη σκιά που «πέφτει» από ένα σύννεφο), ούτε και ωφέλιμες (π.χ. η διαφοροποίηση της υγρασίας του εδάφους). Αυτή η λογική αναδεικνύεται και από τους Green *et al*.

(1994), όταν αποδίδουν τον αντικειμενικό σκοπό της ανίχνευσης μεταβολών ως ένα εγχείρημα αντιπαραβολής της αναπαράστασης του (ίδιου) χώρου σε δύο χρονικά σημεία, κατά τρόπο που να «τιθασεύονται» οι διαφοροποιήσεις από διαφορές σε μεταβλητές που δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον, ενώ ταυτόχρονα να «εκμαιεύονται» και μετρώνται οι μεταβολές που προκαλούνται από μεταβλητές ενδιαφέροντος. Ως εκ τούτου, ζωτικής σημασίας προϋπόθεση για τη διενέργεια ανίχνευσης μεταβολών στην τηλεπισκόπηση συνιστά η απόδοση των μεταβολών αντικειμένων ή εμφανίσεων ενδιαφέροντος διαμέσου της μεταβολής των τιμών ανακλαστικοτήτων τους, ή της τοπικής τους υφής, σαφώς διακρινόμενες έναντι αλλαγών και διαφοροποιήσεων στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, στον φωτισμό και στις γωνίες θέασης, καθώς και στην υγρασία του εδάφους (Deer, 1995).

Αυτό λοιπόν που συνάγεται με ενάργεια, έγκειται στη επισήμανση ότι το καίριο και «φλέγον» ζήτημα που εγείρεται επί του παρόντος αφορά στην ανάδειξη και ποσοτικοποίηση όχι οποιονδήποτε αλλαγών, μα εκείνων των αλλαγών που αναφέρονται επί προεπιλεγμένων οντοτήτων ή εμφανίσεων, δηλαδή επί εκείνων που για κάποιον συγκεκριμένο λόγο παρουσιάζουν συγκεκριμένο ενδιαφέρον για κάποιον ερευνητή ή αναλυτή εικόνας. Η διαδικασία της ανίχνευσης μεταβολών στο σύνολό της αποσκοπεί ακριβώς στον εντοπισμό τέτοιων αλλαγών ιδιαίτερου ενδιαφέροντος. Σε αυτό το σημείο, χρήσιμος θα ήταν ένας επιπλέον διαχωρισμός ούτως ώστε να αποφευχθεί ενδεχόμενη σύγχυση, καθώς επιτελείται μια βαθμιαία εμβάθυνση. Πρακτικά, ο πιο γενικός όρος μεταβολή (αντικειμένου) ενδιαφέροντος «υποδιαιρείται» στις επιμέρους κατηγορίες: σημαντικές (ή ουσιαστικές) μεταβολές και μεταβολές (ειδικού) ενδιαφέροντος. Μεταξύ τους υπάρχει μια ουσιώδης διαφορά: Ως σημαντική μεταβολή (θα) εννοείται κάθε πραγματική μεταβολή στην υπόσταση (υλικά) της κάλυψης γης (λ.χ. η μετατροπή ενός χωματόδρομου σε ασφαλτοστρωμένο), σε αντιδιαστολή με τις ασήμαντες που σχετίζονται με θόρυβο από τον αισθητήρα, ατμοσφαιρικές διαφοροποιήσεις και εσφαλμένη ταύτιση εικόνων κ.α. Ως μεταβολή (ειδικού) ενδιαφέροντος λογίζεται κάθε σημαντική μεταβολή (πραγματική αλλαγή) στην κάλυψη γης, η οποία επιπλέον εμπίπτει στα ενδιαφέροντα και στις ιδιαίτερες επιδιώξεις της εφαρμογής.

Συνήθως, ο διαχωρισμός των σημαντικών από τις ασήμαντες επιτελείται βασιζόμενος στην κατάλληλη επιλογή αρχικών δεδομένων (διαχρονικών εικόνων), και στην διενέργεια των παρεπόμενων διεργασιών προεπεξεργασίας. Έπεται δε,

αυτής της προκαταρκτικής «διαλογής», η επικέντρωση των προσπαθειών στην ανεύρεση των μεταβολών ειδικού ενδιαφέροντος. Αυτές εντοπίζονται στη βάση κάποιου αλγόριθμου, ή μιας σειράς αλγορίθμων, χωρίς βέβαια να αποκλείονται ορισμένες διαπλοκές ή και «διενέξεις».

Καμία τεχνική ανίχνευσης μεταβολών δεν είναι άριστη για όλες τις εφαρμογές – υπό τους αντίκτυπους που συνεπάγονται οι αναπόδραστοι περιορισμοί στις χωρικές, χρονικές, φασματικές, ραδιομετρικές αναλύσεις. Από την άλλη, ο τρόπος υλοποίησης – δηλαδή οι επιμέρους ενέργειες και επιλογές – της εκάστοτε τεχνικής επίσης επιφέρει αντίστοιχα ορθά και ακριβή/ ή όχι αποτελέσματα. Επομένως, η επιλογή της πλέον κατάλληλης τεχνικής (ή αλγορίθμου) ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών, πάντοτε σε συσχέτιση με τα διαθέσιμα αρχικά δεδομένα, το σύστημα επεξεργασίας εικόνας (υλικοτεχνικά μέρη και λογισμικό) και τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής, την εξοικείωση του αναλυτή με το εν λόγω λογισμικό κ.α., είναι πολύ σημαντική, όχι όμως πάντοτε εύκολη και ευχερής. Παρακάτω γίνεται μια προσπάθεια να παρουσιαστούν συνοπτικά οι διάφορες γενικές κατηγορίες τέτοιων τεχνικών/ αλγόριθμων, καθώς και να περιγραφούν οι πλέον συνήθεις πιο εκτεταμένα.

Υιοθετείται λοιπόν ένας τρόπος ομαδοποίησης που προτείνεται από τους Lu *et al*. (2004) σε επτά διακριτές κατηγορίες ήτοι: (i) άλγεβρα (algebra), (ii) μετασχηματισμός (transformation), (iii) ταξινόμηση (classification), (iv) προχωρημένα μοντέλα (advanced models), (v) Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems), (vi) οπτική ανάλυση (visual analysis), (vii) άλλες προσεγγίσεις (other approaches).

Ξεκινώντας από το τέλος προς την αρχή, η έβδομη κατηγορία εντάσσει τεχνικές που δεν θα μπορούσαν να υπαχθούν σε κάποια άλλη· καθ' ότι δε νεοσύστατες και όχι ευρέως χρησιμοποιούμενες, δεν αποτελούν αντικείμενο προς εξέταση. Επίσης δεν εξετάζεται η έκτη κατηγορία – οπτικός εντοπισμός μεταβολών – καθώς κύριο μέλημα της εφαρμογής αυτής της εργασίας είναι η ψηφιακή ανίχνευση μεταβολών. Τέλος, οι αλγόριθμοι που υλοποιούνται στην τέταρτη κατηγορία, στα προχωρημένα μοντέλα δηλαδή, προϋποθέτουν την διεξαγωγή πολλών επιγείων μετρήσεων, ενώ παράλληλα είναι εν γένει πολύπλοκοι και απαιτούν μεγάλη

προσπάθεια ώστε να παραχθούν[62]. Οι πλέον συχνά χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι εμπίπτουν στις τρεις πρώτες κατηγορίες.

4.1.2.1 Περιγραφή Κυριότερων Αλγόριθμων-Τεχνικών

Στις τεχνικές ***άλγεβρας*** εντάσσονται – μεταξύ άλλων – τρεις πολύ σημαντικοί, ευρύτατα χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι: Αφαίρεση Εικόνων (Image Differencing), Διαίρεση/ Δημιουργία Λόγων Εικόνων (Image Ratioing) και Ανάλυση Διανύσματος Μεταβολής (Change Vector Analysis – CVA).

Η λογική που διέπει την υλοποίηση των δύο πρώτων – ***Image Differencing, Image Ratioing*** – εμπίπτει σε μια γενική αρχή, αυτήν της αναγνώρισης της ποσότητας της μεταβολής ανάμεσα σε δύο διαχρονικές εικόνες, η οποία προκύπτει από την αφαίρεση (differencing), ή την «ποσοστοποίηση» (ratioing) του ίδιου καναλιού των δύο εικόνων οι οποίες προηγουμένως έχουν διορθωθεί γεωμετρικά (rectify) από κοινού σε χάρτη αναφοράς (Green *et al*., 1994). Έτσι, ο *Image Differencing* συνιστά μια αφαίρεση των ψηφιακών τιμών των αντίστοιχων εικονοστοιχείων των ομόλογων καναλιών των δύο εικόνων, ενώ ο *Image Ratioing* μια διαίρεση (λόγο). Το εύρος των ψηφιακών τιμών, ή των τιμών φωτεινότητας (BV), καθώς και τα αποτελέσματα των σχετικών αλγεβρικών/ αριθμητικών πράξεων εξαρτώνται από τη ραδιομετρία των εικόνων. Τελικά, η εικόνα που παράγεται (change image), συνοδεύεται από μια κανονική κατανομή των μεταβολών των τιμών φωτεινότητας. Τα εικονοστοιχεία της παραγόμενης εικόνας που δεν έχουν υποστεί μεταβολή τοποθετούνται γύρω από μια μέση τιμή, ενώ τα μεταβεβλημένα απλώνονται προς τις παρυφές. Στην περίπτωση της αφαίρεσης, οι τιμές των μη μεταβεβλημένων εικονοστοιχείων έχουν μηδενική τιμή, ενώ στην περίπτωση της διαίρεσης, μοναδιαία (Jensen, 1996).

Ο αλγόριθμος Ανάλυσης Διανύσματος (Φασματικής) Μεταβολής (***CVA, ή SCVA – Spectral Change Vector Analysis***) λειτουργεί στη βάση της ανίχνευσης της φασματικής διαφοροποίησης που προκύπτει ως συνέπεια της σύγκρισης δύο εικόνων διαφορετικών ημερομηνιών για την αυτή περιοχή, παράγοντας ένα διάνυσμα

[62] αντιπροσωπευτικά παραδείγματα τέτοιων αλγόριθμων είναι τα: Li-Strahler reflectance model, spectral mixture και model biophysical parameter method

μεταβολής. Επεξηγηματικά, με την υλοποίηση αυτής της τεχνικής, οι διάφορες μεταβολές αναπαρίστανται από ένα *διάνυσμα φασματικής μεταβολής* (*spectral change vector*), δηλαδή ένα διάνυσμα που περιγράφει τόσο την διεύθυνση, όσο και την ένταση/ μέγεθος της μεταβολής που έχει σημειωθεί από την πρώτη χρονική στιγμή στη δεύτερη (Malila, 1980; Mickalek *et al*., 1993). Το συνολικό μέγεθος της μεταβολής έντασης (change magnitude) ανά εικονοστοιχείο (CMpixel), υπολογίζεται από την εφαρμογή του παρακάτω αλγορίθμου:

$$CM_{pixel} = \sum_{k=1}^{n} \left[BV_{i,j,k(date2)} - BV_{i,j,k(date1)} \right]^2$$

όπου, $BV_{i,j,k(date2)}$ και $BV_{i,j,k(date2)}$ είναι οι ψηφιακές τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων στο κανάλι κ, για τις χρονικές στιγμές 1 και 2. Ο παράγοντας καθορισμού της κατεύθυνσης της μεταβολής για κάθε εικονοστοιχείο επαφίεται στην θετική ή αρνητική μεταβολή του αποτελέσματος που δίνει ο παραπάνω αλγόριθμος, για κάθε κανάλι, παρέχοντας (ποιοτικές) πληροφορίες για το είδος των μεταβολών· το δε υπολογιζόμενο μέγεθος της μεταβολής, αποδίδει ποσοτική πληροφορία για τις μεταβολές που έχουν συμβεί στην περιοχή μελέτης (Jensen, 1996; Johnson and Kasischke, 1998). Πρακτικά, ο απότοκος της διενέργειας μιας τέτοιας τεχνικής επί πολυφασματικών εικόνων αποφέρει δύο γεωμετρικά συνταυτισμένες εικόνες, όπου η μία εμπεριέχει τον κώδικα τομέων (sector code) – ανάλογα με τον συνδυασμό αρνητικών ή θετικών μεταβολών για κάθε χρησιμοποιούμενο κανάλι –, ενώ η άλλη εμπεριέχει τα διαβαθμισμένα μεγέθη των διανυσμάτων (μεταβολής)· η τελική απόφαση περί της ύπαρξης ή μη ύπαρξης αλλαγής καθορίζεται μέσω της κατωφλίωσης διανύσματος (Virag and Colwell, 1987).

Στις λοιπές εξεταζόμενες κατηγορίες, δηλαδή **μετασχηματισμού** και **ταξινόμησης**, οι κύριοι εκπρόσωποι είναι οι αλγόριθμοι Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (PCA), Μετασχηματισμού Kauth-Thomas ή Tasseled Cup και Μετα-Ταξινομικής Σύγκρισης (Post-Classification Comparison)**.**

Η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis – PCA) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό και την αναγνώριση της μεταβολής,

όταν γεωμετρικά διορθωμένες εικόνες τοποθετηθούν σε κοινό αρχείο και χρησιμοποιηθούν ως μία και μόνο εικόνα, καθώς γίνεται η παραδοχή ότι οι εικόνες πολλαπλών χρονικών στιγμών είναι ισχυρά συσχετισμένες μεταξύ τους. Με αυτήν την τεχνική, ένα καινούριο σύστημα ορθοκανονικών αξόνων προσαρμόζεται στην εικόνα. Η πρώτη συνιστώσα εμπεριέχει τη μέγιστη μεταβλητότητα, ενώ οι παρεπόμενες συνιστώσες περιέχουν μικρότερα ποσοστά της μεταβλητότητας που περισσεύει. Οι μεταβολές που έχουν σημειωθεί από τη μία χρονική στιγμή στην άλλη δεν παρουσιάζονται στην πρώτη συνιστώσα, αλλά γίνονται αντιληπτές σε κάποια/ ες από τις υπόλοιπες, ανάλογα με το είδος της μεταβολής. Εναλλακτικά αντί για την ταυτόχρονη τοποθέτηση των δύο εικόνων (προγενέστερης και μεταγενέστερης) σε ένα αρχείο, υφίσταται η επιλογή της αυτόνομης διεξαγωγής της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών σε κάθε εικόνα ξεχωριστά. Αφού δε επιτελεστεί η διαδικασία, το παραγόμενο αποτέλεσμα της μεταγενέστερης εικόνας (PC image date 2), αφαιρείται από το αντίστοιχο της προγενέστερης (PC image date 1) (Sunar, 1988; Collins and Woodcock, 1996; Jensen, 1996; Michener and Houhoulis, 1997; Macleod and Congalton, 1998; Lu *et al.*, 2004).

Μια άλλη τεχνική που βασίζεται σε παρόμοιες αρχές με την προηγούμενη, επαφίεται στην εφαρμογή του Μετασχηματισμού ***Kauth-Thomas* (*Kauth-Thomas Transformation/ Tasseled Cap – KT/ TC*).** Αυτός ο αλγόριθμος μετασχηματισμού, όταν εφαρμόζεται σε εικόνες Landsat (στα έξι φασματικά κανάλια πλην του θερμικού), τα μετατρέπει σε ένα ασυσχέτιστο σύστημα ορθοκανονικών αξόνων, όπου επί των δύο πρώτων αξόνων περιγράφεται η φωτεινότητα του εδάφους (soil brightness) και η «πρασινότητα»/ «πρασινάδα» της βλάστησης (vegetation greenness), ενώ επί του τρίτου, η επιφανειακή υγρασία (surface wetness) (Kauth and Thomas, 1976; Crist and Ciccone, 1984; Crist and Kauth, 1986). Η πλήρης εφαρμογή του αλγορίθμου, έγκειται στην υλοποίηση του μετασχηματισμού στις εικόνες πολλαπλών χρονικών στιγμών ώστε να προκύψουν εικόνες «φωτεινότητας», «πρασινότητας» και «υγρασίας» των δύο εικόνων, ενώ ύστερα επιτελείται μια αφαίρεση των παραγόμενων εικόνων, από τις αντίστοιχες αρχικές εικόνες. Τελικά, οι εικόνες μεταβολής που παράγονται, εμπεριέχουν πληροφορία κυρίως περί της διαφοροποίησης της φωτεινότητας, «πρασινότητας» και υγρασίας του εδάφους επί της περιοχής μελέτης, μολονότι εντοπίζουν και άλλου είδους διαφοροποιήσεις

(αλλαγές) στην κάλυψη γης (Collins and Woodcock, 1996; Ridd and Liu, 1998, Coppin *et al.*, 2001; Seto *et al.*, 2002). Ας σημειωθεί ότι η υλοποίηση αυτού του αλγορίθμου μετασχηματισμού βρίσκει απήχηση, πέραν από ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις Landsat, και σε αντίστοιχες πολυφασματικές απεικονίσεις υψηλής ανάλυσης όπως IKONOS και Quickbird.

Ο αλγόριθμος της ***Μετα-Ταξινομικής Σύγκρισης*** (***Post-Classification Comparison***) συνίσταται στην ξεχωριστή γεωμετρική διόρθωση και ταξινόμηση της κάθε μίας από τις δύο εικόνες και στην μετέπειτα από κοινού καταχώριση (co-registration) ώστε να επιτελεστεί η μετέπειτα μεταξύ τους σύγκριση. Αυτή η σύγκριση επιτελείται στη βάση του κάθε εικονοστοιχείου, με την χρήση μιας *μήτρας ανίχνευσης μεταβολών* (*change detection matrix*) (Jensen, 1996). Αυτή δε η μήτρα, αν κωδικοποιηθεί με χρωματικές διαβαθμίσεις, μπορεί να «λειτουργήσει» ως ένα αποτελεσματικό υπόμνημα πληροφοριών αναγνώρισης μεταβολών *«από-σε»* (*"from-to"*) (Jensen and Narumalani, 1992). Προκειμένου δε να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό τελικό αποτέλεσμα, θα πρέπει τα ενδιάμεσα παραγόμενα των (ανεξάρτητων) ταξινομήσεων να είναι όσο πιο ακριβή γίνεται (Augenstein *et al.*, 1991), καθ' ότι ανακρίβειες και σφάλματα επί των τελευταίων συνεπάγονται την μετάδοσή τους και στον τελικό χάρτη (Rutchey and Velcheck, 1994).

4.1.2.2 Σύγκριση

Όπως εξ' άλλου προαναφέρθηκε, δεν υφίσταται βέλτιστη διαθέσιμη τεχνική ή τεχνική η οποία αφ' εαυτής να επιφέρει (τα) ιδεατά αποτελέσματα. Αυτό άλλωστε υπαγορεύει η σχετική βιβλιογραφία (λ.χ. Coppin and Bauer, 1994; Ridd and Liu, 1998; Sunar, 1998), όσον αφορά τουλάχιστον στους προηγουμένως περιγραφέντες αλγορίθμους. Αντίθετα, στην πράξη, χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός τέτοιων. Καθ' ότι δε οι διάφορες τεχνικές εξαρτώνται άμεσα από συγκεκριμένα «πλαίσια» στα οποία αφορούν (context-specific), η παράλληλη υλοποίησή τους με ύστερη επιδίωξη την ενσωμάτωση των αποτελεσμάτων τους συνιστούν τον πιο πρόσφορο και τελεσφόρο τρόπο εντοπισμού αλλαγών σε πιο «γενικευμένα» τοπία και «περιβάλλοντα» (Zhan *et al.*, 2002). Με άλλα λόγια, ορισμένοι αλγόριθμοι αποκρίνονται με βελτιωμένα αποτελέσματα στην εξαγωγή και ανίχνευση

συγκεκριμένων μεταβολών σε συγκεκριμένα τοπία, για συγκεκριμένες εφαρμογές· επομένως, η από κοινού χρησιμοποίησή τους «αποκαλύπτει» συνολικές, «διαφορετικές» αναζητούμενες μεταβολές στην υπό εξέταση περιοχή, η οποία αναπαρίσταται και απαρτίζεται από ένα ζεύγος διαχρονικών ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων.

Παρ' όλα αυτά, κάθε επιμέρους τεχνική ή αλγόριθμος παρουσιάζει ορισμένες εγγενείς δυνατότητες ή/ και αδυναμίες. Ως εκ τούτου, χρήσιμη εικάζεται μια συγκριτική ανάλυση των αλγορίθμων που περιγράφηκαν παραπάνω, μέσω της παράθεσης των σημείων-κλειδιών (κρίσιμων παραγόντων), των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων τους. Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να επισημανθεί η ουσιαστική διάκριση των διάφορων τεχνικών: (i) σε αυτές που εντοπίζουν την ύπαρξη/ μη ύπαρξη μεταβολών («μεταβολή/ μη-μεταβολή» – "change/ non-change") σε δυαδική μορφή στη βάση αλγορίθμων όπως οι image differencing/ ratioing, PCA και (ii) σε αυτές που ανιχνεύουν «από-σε» "from-to" μεταβολές υποστηριζόμενες από αλγόριθμους όπως οι CVA και post-classification comparison. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται μια συνοπτική αξιολόγηση των εν λόγω αλγορίθμων.

Πίνακας 5: Συγκριτική Αξιολόγηση Κυριοτέρων Τεχνικών/ Αλγορίθμων Ψηφιακής Ανίχνευσης Μεταβολής

Αλγόριθμος	***Κρίσιμοι παράγοντες***	***Πλεονεκτήματα***	***Μειονεκτήματα***
Image Differencing/ Ratioing	Εντοπισμός καταλλήλων φασματικών καναλιών και κατωφλιών	Αποτελεσματική μέθοδος εντοπισμού εικονοστοιχείων που έχουν υποστεί μεταβολή της τιμής φωτεινότητας τους. Απλή και άμεση ερμηνεία των αποτελεσμάτων	Απαιτεί προσεκτική κατωφλίωση «μεταβολής/ μη μεταβολής». Δεν παρέχονται κατηγορίες «από-σε» μεταβολών
CVA	Καθορισμός κατωφλιών και εντοπισμός τάσεων	Παροχή δυνατότητας επεξεργασίας	Δυσχέρεια στην αναγνώριση/ εντοπισμό τάσεων

	μεταβολών στην πορεία του χρόνου (time trajectories)	πλήθους φασματικών καναλιών και παραγωγής λεπτομερούς πληροφορίας μεταβολών	μεταβολής στην πορεία του χρόνου στις καλύψεις γης
PCA	Εντοπισμός των συνιστωσών που ανταποκρίνονται βέλτιστα στην απόδοση των μεταβολών και επιλογή κατωφλιών – με γνώμονα την κρίση και ικανότητα του αναλυτή	Τονισμός διαφορετικής πληροφορίας στις εξαγόμενες συνιστώσες/ Ελαχιστοποίηση πλεονασμού δεδομένων μεταξύ των καναλιών	«Συνύφανση με το τοπίο» (scene dependent), κάτι που συνεπάγεται δυσχέρεια στην ερμηνεία και τον χαρακτηρισμό των αποτελεσμάτων ανίχνευσης μεταβολών/ Αδυναμία «παροχής» πλήρους μήτρας πληροφοριών μεταβολής κλάσεων/ Ανάγκη επιβολής κατωφλιών
KT (TC)	-//-	-//-	-//- + Απαίτηση ατμοσφαιρικών διορθώσεων ακριβείας για κάθε εικόνα
Post-Classification Comparison	Επιλογή επαρκών δειγμάτων εκπαίδευσης (training samples)	Ελαχιστοποίηση «θορύβου» από διαφοροποιήσεις ατμοσφαιρικών,	Χρονοβόρα και «εντάσεως εμπειρίας» η διαδικασία ώστε να

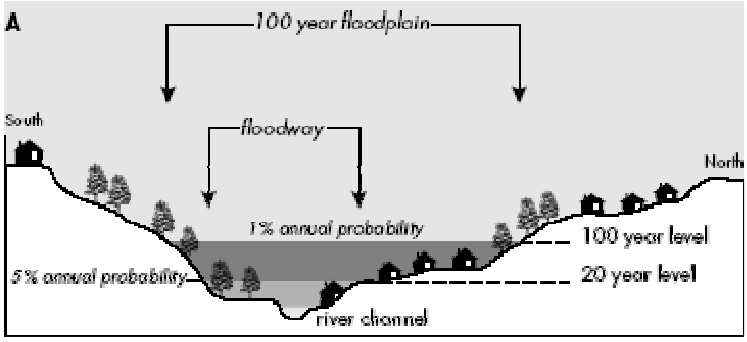
	για την ταξινόμηση	περιβαλλοντικών παραγόντων (και τύπου αισθητήρα) στις δύο εικόνες/ «Παραγωγή» πλήρους μήτρας πληροφοριών μεταβολής κλάσεων	επιτελεστούν οι δύο ταξινομήσεις/ Εξάρτηση παραγόμενων εικόνων μεταβολής από την ποιότητα-ακρίβεια των ξεχωριστών ταξινομήσεων

Πηγή: Lu *et al.*, 2004 (Τροποποίηση)

4.1.3 Εφαρμογή στην Ανίχνευση Πλημμυρών

4.1.3.1 Γεωμορφολογική Προσέγγιση

Οι πλημμύρες, υπό την οπτική της περιοδικής κατάκλυσης των πλημμυρικών πεδίων ή και «στενότερων» ζωνών των ποτάμιων συστημάτων (Σχ. 11) αξιώνουν την παρακολούθηση τους σε βάθος χρόνου προκειμένου να διαπιστώνεται το εύρος και η έκταση των πλημμυρισμένων τομέων, να καθορίζεται η ζώνη επιρροή τους, καθώς και να παρέχεται η δυνατότητα ενός στοιχειώδους απολογισμού των οποιανδήποτε απωλειών και ζημιών. Σε αυτό το σημείο θεωρείται σκόπιμη η λεπτομερέστερη περιγραφή των ζωνών «επιρροής» ενός ποταμού στο πλημμυρικό καθεστώς που τον διέπει. Εντός αυτών των ζωνών, τα νερά της κοίτης ενός ποταμού υπερχειλίζουν, κατακλύζοντας τις σχετικές περιοχές. Από γεωμορφολογικής άποψης, σύμφωνα και με τον Newson (1997), εκτός τη λεκάνης απορροής η οποία αποτελεί την υπέρτατη οριοθέτηση για τον διευρυμένο *«πυθμένα της κοιλάδας»* (*valley floor*), ο οποίος εμπερικλείει την γνωστή *πεδιάδα κατάκλυσης*, ενυπάρχει η πιο περιορισμένου εύρους, άμεσα περιβάλλουσα ζώνη της *κοίτης* (*channel*) του ποταμού, και δη ο *«ποτάμιος διάδρομος»* (*river corridor/ floodway*). Πάντως, οι πεδιάδες κατάκλυσης – αναπαριστώντας τις περιοχή επί των οποίων το νερό «δραπετεύει» κατά τις ετήσιες (ή/ και λιγότερο συχνές) πλημμύρες – καθώς και οι στενότερες ή ευρύτερες «λωρίδες» επέχουν ζωτική σημασία για την διατήρηση φυσικών διαδικασιών και ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (Newson, 1992b).



Σχήμα 11: Σχηματική αναπαράσταση του πλημμυρικού καθεστώτος σε χρονικούς ορίζοντες 20-ετίας και 100-ετίας

Πηγή: Smith, 2004

Καθώς εξετάζεται το φαινόμενο της περιοδικής ποτάμιας υπερχείλισης, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η δημιουργία των διαφόρων επιπέδων, τα οποία κατακλύζονται σε διάφορους χρονικούς ορίζοντες, αντιστοιχούν, ως επί το πλείστο, στις ποτάμιες αναβαθμίδες, δηλ. τοπογραφικές επιφάνειες παλαιότερης παρουσίας του πυθμένα. Καθώς οι διεργασίες της διάβρωσης επιτελούνται με το πέρασμα του χρόνου, η δημιουργία των αναβαθμίδων οφείλεται στην επανειλημμένη διάβρωση του πυθμένα της εκάστοτε ποτάμιας κοίτης ως αποτέλεσμα διαφόρων παραγόντων[63] (Παπαπέτρου - Ζαμανή, 1995). Παρ' όλο που αυτές οι μορφές του αναγλύφου – γεωμορφές – έχουν επέλθει ως αποτέλεσμα της ποτάμιας διάβρωσης, είναι σπάνιο να μην καλύπτονται από υλικά αποθέσεων. Οι πεδιάδες υπερχειλίσεως αποτελούν πρωταρχικές τέτοιες μορφές ποτάμιας απόθεσης.

Επομένως, το ποτάμιο περιβάλλον, διέπεται τόσο από διεργασίες διάβρωσης, όσο και απόθεσης. Πάντως, εδώ και δεκαετίες, η έρευνα σχετικά με την διανομή φερτών υλών και ιζημάτων (υλικών – αλλουβιακής – απόθεσης) καταδεικνύει πως μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό των ιζημάτων που έχουν υποστεί τη επενέργεια της διάβρωσης εντός μιας λεκάνης απορροής, καταλήγουν στο στόμιο εκροής (outlet) της τελευταίας (Trimble, 1981; Walling, 1983). Τελικά, η απόθεση μπορεί να επιτελεστεί σε διάφορα τμήματα εντός της λεκάνης αποστράγγισης, με τις πεδιάδες κατάκλυσης να αποτελούν πολύ σημαντικές περιοχές απόληξης (sinks) αιωρούμενων ιζημάτων, ιδίως κατά την περίοδο των πλημμυρών (Walling and Bradley, 1989). Επομένως, η

[63] κλιματικών, τεκτονικών και ευστατικών

διάχυτη παρουσία (λεπτόκοκκων) αλλουβιακών αποθέσεων επί τέτοιων πεδιάδων εκλαμβάνεται ως ένδειξη μακροπρόθεσμης διαδικασίας υπερχείλισης (Lewin, 1981; Brown, 1983). Παρά ταύτα, τα εγχειρήματα τεκμηρίωσης των προτύπων και των ρυθμών της απόθεσης λεπτόκοκκων ιζημάτων, παρεμποδίζεται από τεχνικά και άλλα προβλήματα, όπως η επί του πεδίου εργασία/ αναζήτηση στοιχείων σε περιβάλλοντα τα οποία παρουσιάζουν παροδική μονάχα κατάκλυση, καθώς και η απαίτηση για συλλογή σχετικής πληροφορίας, τόσο κατά την εκδήλωση διακριτών επεισοδίων, όσο και σε ορίζοντες μεγαλύτερων χρονικών περιόδων (Walling and Bradley, 1989). Η διαχρονική παρακολούθηση από τηλεπισκοπικά συστήματα, σε μεγάλο βαθμό παρακάμπτει αυτές τις δυσκολίες, και δυνητικά αποφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα της διαρκούς εποπτείας, γεγονός το οποίο, κατ' επέκταση, συνεπάγεται την χωρική αναπαράσταση του τρόπου που εκτυλίσσονται μεμονωμένα επεισόδια *per se*, καθώς και την ανάδειξη του ευρύτερου πλημμυρικού καθεστώτος, δεδομένου ότι η κατανομή των αποθέσεων στην επιφάνεια των πεδιάδων υπερχείλισης, σκιαγραφεί το εύρος της εξάπλωσης των υδάτων κατάκλυσης.

4.1.3.2 Εστίαση της Ανίχνευσης Μεταβολών

Και ενώ στο προηγούμενο κεφάλαιο προηγήθηκε μια επιχειρηματολογία που αναδεικνύει τα ενεργητικά συστήματα radar (SAR κυρίως) ως τα πλέον προσοδοφόρα προς την κατεύθυνση της διαχρονικής ανίχνευσης μεταβολών πλημμυρισμένων εκτάσεων, επί του παρόντος παρατίθεται υποστηρικτική περί της χρήσης και των παθητικών οπτικών συστημάτων, και ιδιαίτερα όσον αφορά σε τηλεπισκοπικές απεικονίσεις μεσαίας και υψηλής ανάλυσης. Αυτή η επέκταση απαιτείται καθ' ότι η εφαρμογή αυτής της εργασίας θα βασιστεί στην επεξεργασία δεδομένων IKONOS. Επιπλέον, καθ' ότι τα αρχικά δεδομένα διαδραματίζουν μείζων ρόλο στην υιοθετούμενη προσέγγιση ανάλυσης και επεξεργασίας, είναι κρίσιμο να αναφερθεί εκ των προτέρων πως, όταν η λήψη της δεύτερης (μεταγενέστερης του επεισοδίου) εικόνας επιτελείται αρκετά αργότερα (μέρες ή εβδομάδες) από την εκδήλωση του – πλημμυρικού – επεισοδίου, κάθε άλλο παρά σκόπιμη κρίνεται η ανίχνευση εκτάσεων οι οποίες να εμφανίζονται πληρωμένες με νερό, καθώς το νερά της κατάκλυσης, κατά αυτό το χρονικό σημείο έχουν ήδη αποσυρθεί. Αντίθετα, ο εντοπισμός εκτάσεων οι οποίες είχαν κατακλυστεί αμέσως μετά την εκδήλωση του συμβάντος θα πρέπει, σε

μεγάλο βαθμό, να εξαχθούν από την μεταβολή-διαφοροποίηση της προϋπάρχουσας κάλυψης γης (λ.χ. φυσική βλάστηση, καλλιέργειες κ.α.) και της μετάβασής της σε μια μάλλον παροδική νέα κατάσταση όπου επικρατούν τα «διαταραγμένα εδάφη» (disturbed soil), εμπλουτισμένα από φερτές ύλες, εξ' αιτίας της επενέργειας της διάβρωσης και της απόθεσης (ιζημάτων). Επομένως, η διενέργεια ανεύρεσης μεταβολών θα εστιαστεί κυρίως στον εντοπισμό μεταβολής της επιφανειακής κάλυψης εκατέρωθεν της κοίτης του ποταμού, στη βάση αυτών των παραδοχών, εντάσσοντας όμως παράλληλα και την ανάδειξη της επέκτασης του υδάτινου στοιχείου λόγω της «υπολειπόμενης διαπλάτυνσης» της κοίτης, η οποία δυνητικά οφείλεται και σε μεγαλύτερη υδατοπαροχή κατά την ύστερη χρονική στιγμή λήψης της εικόνας.

Παρ' όλο που η διεθνής βιβλιογραφία βρίθει από περιπτώσεις όπου αξιοποιούνται τα ενεργητικά τηλεπισκοπικά συστήματα, τα οποία ενεργοποιούνται στην μικροκυματική ζώνη, παρακάτω παρατίθενται ορισμένα πρόσφατα παραδείγματα όπου χρησιμοποιούνται τα παθητικά οπτικά συστήματα για την διαχρονική παρακολούθηση πλημμυρικών φαινομένων μέσα από οπτικά συστήματα, στη βάση τεχνικών που έχουν περιγραφεί στα προηγούμενα. Έτσι, η χρήση τεχνικών μετασχηματισμού Tasseled Cap, Simple Density Slicing, καθώς και δεικτών βλάστησης (NDVI – Normalised Vegetation Index) σε διαχρονικές δορυφορικές απεικονίσεις Landsat και IRS αποδίδουν την επέκταση των πλημμυρικών υδάτων, και καταδεικνύουν τις πληγείσες περιοχές (Jain *et al*, 2005). Από την άλλη, η υλοποίηση αλγορίθμων ανίχνευσης μεταβολών σε υδάτινα σώματα αξιοποιώντας τεχνικές όπως PCA, αποφέρουν επιθυμητά αποτελέσματα (Munyati, 2004)· επίσης η πραγμάτωση ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών υπό την επενέργεια των αλγορίθμων Magnitude Differencing, NDVI Differencing, CVA και post-classification comparison για συζευγμένες διαχρονικές εικόνες Landsat (ETM+), παρέχει την δυνατότητα για συγκρίσεις αξιοπιστίας, με τους αλγορίθμους CVA να εμφανίζουν μια υπεροχή στην ανίχνευση μεταβολών που αφορούν στις εκτάσεις κατάκλυσης (Sepehry and Liu, 2006). Επιπλέον, η χρήση εικόνων πολλαπλών χρονικών στιγμών και δεκτών (Landsat, IKONOS) φαίνεται ότι συμβάλλουν προς τις κατευθύνσεις του μετριασμού της διακινδύνευσης και του εν γένει προληπτικού σχεδιασμού (ετοιμότητα), καθώς και του μετριασμού των απωλειών και ζημιών από πλημμύρες, μέσα από την

ανίχνευση μεταβολών στο πλημμυρικό εύρος και στην μεταβολή του προτύπου κατανομής των ιζημάτων (Gläber and Reinartz, 2005).

4.2 Μελέτη Περίπτωσης: Ανίχνευση Πλημμυρισμένων Εκτάσεων Εκατέρωθεν του Ποταμού Γεροποτάμου

[«Μεταβολή σημαίνει κίνηση. Κίνηση σημαίνει τριβή. Μόνο στο στερούμενο τριβής κενό ενός ανύπαρκτου αφηρημένου κόσμου μπορεί η κίνηση ή η μεταβολή να επισυμβεί δίχως αυτή την λειαντική τριβή της διένεξης.»
"Change means movement. Movement means friction. Only in the frictionless vacuum of a nonexistent abstract world can movement or change occur without that abrasive friction of conflict."]

(Saul Alinsky**)**

Η μελέτη της εμφάνισης ακραίων φυσικών φαινομένων (φυσικοί κίνδυνοι), τα οποία μπορούν να προκαλέσουν επιζήμιους αντίκτυπους (μετεξέλιξή τους σε φυσικές καταστροφές), καθώς και η ανάδειξη διαβημάτων προσαρμογής σε αυτά (μετατροπή της ανθρώπινης τρωτότητας-ευαισθησίας), καταδείχτηκε – στο προηγούμενο κεφάλαιο – ότι μπορεί να προσεγγιστούν υπό το πρίσμα και την αρωγή της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ. Πιο συγκεκριμένα, η διευθέτηση ενός πλημμυρικού καταστροφικού επεισοδίου στα διάφορα στάδια της διαχείρισης, αποτελεί ένα «πεδίο» όπου η διαχρονική παρακολούθηση επέχει πρωτεύοντα ρόλο. Η πραγμάτωση ευρύτερων μεθόδων οι οποίες αξιοποιούν τις τεχνικές ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών από (δορυφορικές) τηλεπισκοπικές απεικονίσεις πολλαπλών χρονικών στιγμών λήψης, σύμφωνα με τις συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές οι οποίες αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην επίτευξη ενός τέτοιου πονήματος. Επί του παρόντος λοιπόν, η επιθυμία να εξεταστεί ένα πλημμυρικό φαινόμενο, δεδομένης και της ευτυχούς ανεύρεσης κατάλληλων ψηφιακών τηλεπισκοπικών πολυφασματικών απεικονίσεων υψηλής ανάλυσης, για δύο διαφορετικές ημερομηνίες λήψης – πριν και μετά την εκδήλωση της πλημμύρας (και δη της υπερχείλισης κάποιων ποτάμιων κλάδων) –, αποτέλεσε το έναυσμα για την εμβάθυνση σε μια σχετική πρακτική εφαρμογή.

Πάντως, καθ' ότι οι κύριες παράμετροι για την επιλογή μιας τέτοιας εφαρμογής άπτονται ενός «δίπολου»: εξεταζόμενο φαινόμενο και περιοχή ενδιαφέροντος – διαθέσιμα δεδομένα και τεχνικές, η σχέση που τα συνδέει είναι «αμφιμονοσήμαντη». Επεξηγηματικά, όπως έχει ήδη αναφερθεί, άλλοτε οι απαιτήσεις της εφαρμογής καθορίζουν τα χρησιμοποιούμενα δεδομένα, μέσα και διαδικασίες, και άλλοτε η παροχή δεδομένων και η εξεύρεση κατάλληλων μέσων επεξεργασίας τους (τεχνικών, λογισμικών κ.α.) προάγουν και εγκαινιάζουν τις πρόσφορες εφαρμογές για τις εκάστοτε περιοχές μελέτης. Εντούτοις, στην πράξη, δεν υφίσταται πάντοτε η δυνατότητα πρόσβασης σε δεδομένα τα οποία ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες ερευνητικές προσδοκίες, ούτε σε τεχνικές οι οποίες εμφορούνται από τις ευκταίες δυνατότητες. Επ' αυτής της εργασίας, το ευτύχημα έγκειται στο γεγονός ότι η χορηγία δεδομένων, συνέπεσε εντός του φάσματος των ενδιαφερόντων όσον αφορά στο εξεταζόμενο θέμα-φαινόμενο και στην μέθοδο επεξεργασίας. Έτσι, στο επίλοιπο μέρος αυτού του κεφαλαίου, παρουσιάζεται ο τρόπος (αλγόριθμοι, λειτουργίες, τεχνικές) που αξιοποιούνται τα πρωτογενή δεδομένα (δυο ανεπεξέργαστες πολυφασματικές εικόνες) μέσα από ένα λογισμικό Τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ για την αποτύπωση εκτάσεων που είχαν κατακλυστεί κατά την εμφάνιση ενός πλημμυρικού συμβάντος, ενώ προάγονται οι προοπτικές περαιτέρω ανάπτυξης εφαρμογών στο πλαίσιο της γενικότερης διαχείρισης τέτοιων φαινομένων.

4.2.1 Περιοχή Μελέτης και Εξέταση Πλημμυρικού Επεισοδίου

Η περιοχή που εξετάζεται, εντοπίζεται στη νήσο Κρήτη, στον νομό Ρεθύμνης[64], σε μια περιφέρεια που εκτείνεται δυτικά (περί τα 15 – 20 km) από την πόλη του Ρεθύμνου, έχοντας έκταση, περίπου 24 km^2. Εντός αυτής της περιοχής, βασικά χαρακτηριστικά-εμφανίσεις της γήινης επιφάνειας αποτελούν: η βλάστηση, και δη η φυσική (βοσκότοποι, σκληρόφυλλα), καθώς και καλλιέργειες (ελαιώνες, αμπελώνες) και λοιπές αροτραίες εκτάσεις. Από τα ανθρωπογενή, στο βόρειο, παραθαλάσσιο τμήμα, παρατηρείται ένα σύμπλεγμα ξενοδοχειακών μονάδων, ενώ στα βορειοανατολικά ο οικισμός «Πάνορμος, στα ανατολικά ο οικισμός «Ρούμελη» και στα νότια ο οικισμός «Αγγελιανά». Οι διάφοροι οικισμοί, καθώς και άλλες τοποθεσίες συνδέονται μέσω του οδικού δικτύου. Στο βόρειο τμήμα κυριαρχεί τμήμα

[64] διοικητικά, η περιοχή εντάσσεται εξ' ολοκλήρου στον δήμο Γεροποτάμου του νομού Ρεθύμνης

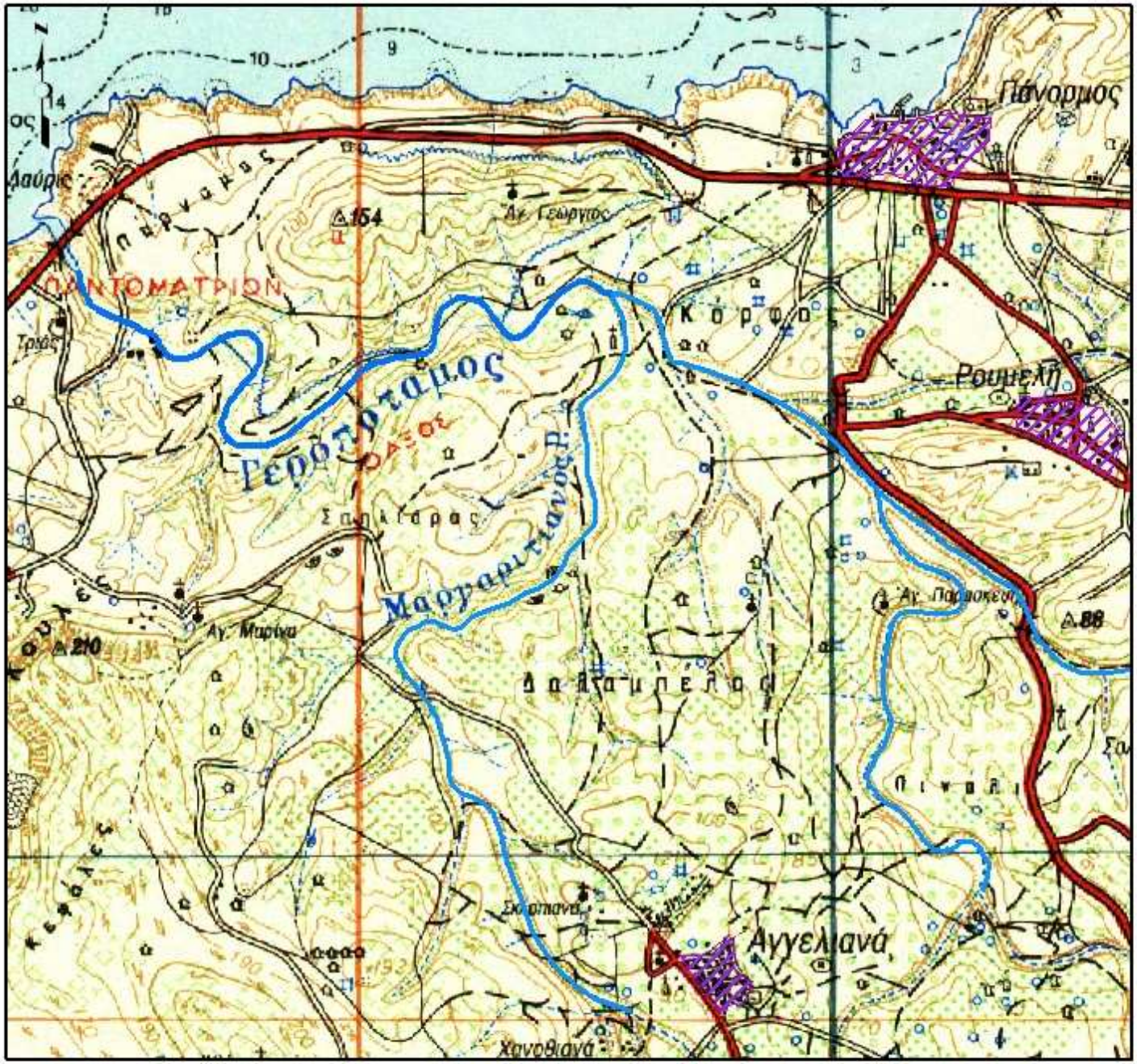
της κύριας οδική αρτηρίας του νησιού (εν είδει εθνικής οδού), ενώ στα ανατολικά ο επαρχιακός οδικός άξονας που συνδέει τον Πάνορμο με νότιες περιοχές με κύρια διεύθυνση Β-Ν. Το πλέγμα ολοκληρώνεται από μικρότερους, ασφαλτοστρωμένες ή χωμάτινες οδούς. Πάντως, το εξέχον χαρακτηριστικό και φυσική οντότητα εντός της περιοχής μελέτης είναι ο ποταμός Γεροπόταμος, αλλά και οι παραπόταμοι (Μαργαριτιανός), και τα λοιπά μικρότερα ποτάμια ρεύματα, που, στο σύνολό τους συνιστούν το υδρογραφικό δίκτυο, στο πλαίσιο της σχετικής λεκάνης απορροής, η οποία, σε τελική ανάλυση αποστραγγίζεται από την κεντρική κοίτη του Γεροποτάμου, κατά μήκος της οποίας, ορισμένα χιλιόμετρα πριν τις εκβολές παρουσιάζει μαιανδρισμούς. Ο ποταμός Γεροπόταμος, με συνολικό μήκος περίπου 16 km και κύρια διεύθυνση ροής νοτιοανατολικά – βορειοδυτικά, αποστραγγίζει μια περιοχή βόρεια του όρους Ίδη (Ψηλορείτη), εκβάλλοντας στο Κρητικό Πέλαγος. Στο «διάβα» του απαντώνται διάφοροι οικισμοί (Ζωνιανά, Μουρτζανά, Πέραμα), ενώ, όπως προκύπτει από τον τοπογραφικό χάρτη ή φύλλο χάρτου της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) «Πέραμα», κλίμακας 1: 50.000, ενώ μόνο ένα τμήμα του – από τις εκβολές έως και περίπου 4,3 km ανάντη αυτών – ρέει μόνιμα.

Προκειμένου να απεικονιστούν τα κυριότερα χαρακτηριστικά αυτής της περιοχής, χρησιμοποιείται ως υπόβαθρο ο παραπάνω χάρτης της ΓΥΣ, ενώ αναπαρίστανται και οι οικισμοί και το κύριο υδρογραφικό δίκτυο, σύμφωνα με διαδικασίες που περιγράφονται σε επόμενα (γεωαναφορά και ψηφιοποίηση). Έτσι, συντάσσεται ένας νέος χάρτης, ο οποίος παρουσιάζει την περιοχή μελέτης, παρέχοντας την απαιτούμενη γεωγραφική αναφορά (Χάρτης Περιοχής Μελέτης). Επίσης, στη συνέχεια παρατίθενται και οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις (κύρια αρχικά δεδομένα) οι οποίες έχουν υποστεί μια στοιχειώδη μονάχα επεξεργασία, η οποία και περιγράφεται σε επόμενη ενότητα.

Εστιάζοντας λοιπόν την προσοχή επί των δυο παρεχόμενων εικόνων – μιας προγενέστερης και μιας μεταγενέστερης του υπό εξέταση πλημμυρικού φαινομένου – σε μια έκταση που καθορίζεται από την παρουσία του Γεροποτάμου, από τις εκβολές του έως και περίπου 9 km ανάντη αυτών – περίπου 17 km^2 (4,8 km x 3,5 km) – και κυρίως στις παρόχθιες θέσεις, επιχειρείται η «αποδελτίωση» των διαφόρων κατηγοριών εδαφικής κάλυψης. Αυτές αντιστοιχούν σε αραιή και πυκνή φυσική βλάστηση (χορτάρι, θάμνοι, δένδρα), σε καλλιεργούμενες και αροτραίες εκτάσεις, σε

«υδάτινες επιφάνειες», καθώς και σε εκτάσεις όπου επικρατεί σκίαση λόγω του αναγλύφου. Στα πέριξ, δεν απουσιάζουν και οι ανθρωπογενείς κατασκευές που συνδέονται με την γεωργία όπως αποθήκες, θερμοκήπια κ.α. Άλλες εμφανίσεις που ανακύπτουν από την παρατήρηση, συμπεριλαμβάνουν τμήματα της παρόχθιας επιφάνειας επί των οποίων απουσιάζει βλάστηση και καλλιέργειες, αλλά παρουσιάζονται σαν κατηγορίες που θα μπορούσαν να ταξινομηθούν, άλλα ως γυμνά και αλλά ως «διαταραγμένα» εδάφη (disturbed soil). Η ζωτικής σημασίας διαφοροποίηση ανάμεσα στην πρότερη δορυφορική απεικόνιση (του Ιανουαρίου), έγκειται στην αθρόα ανάδυση τέτοιων εμφανίσεων, έναντι της κατοπινής (του Μαρτίου), επί της οποίας τέτοιες κατηγορίες εδαφών είναι κατά σημαντικό βαθμό λιγότερες, καίτοι δεν απουσιάζουν. Στην ταυτοποίηση αυτής της ειδοποιού διαφοράς ανάμεσα στις διαχρονικές εικόνες η οποία αναδύεται ως η συνέπεια της επενέργειας των υδάτων κατάκλυσης και των συμπαρασυρόμενων ιζημάτων με τις αλλεπάλληλες και αλληλένδετες διαδικασίες διάβρωσης άλλά κυρίως απόθεσης – τείνει να συνηγορεί κατηγορηματικά το γεγονός της εκδήλωσης ενός τέτοιου πλημμυρικού επεισοδίου, εντός της μεσολαβούσας χρονικής περιόδου λήψης των εικόνων.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Ποτάμιοι Κλάδοι

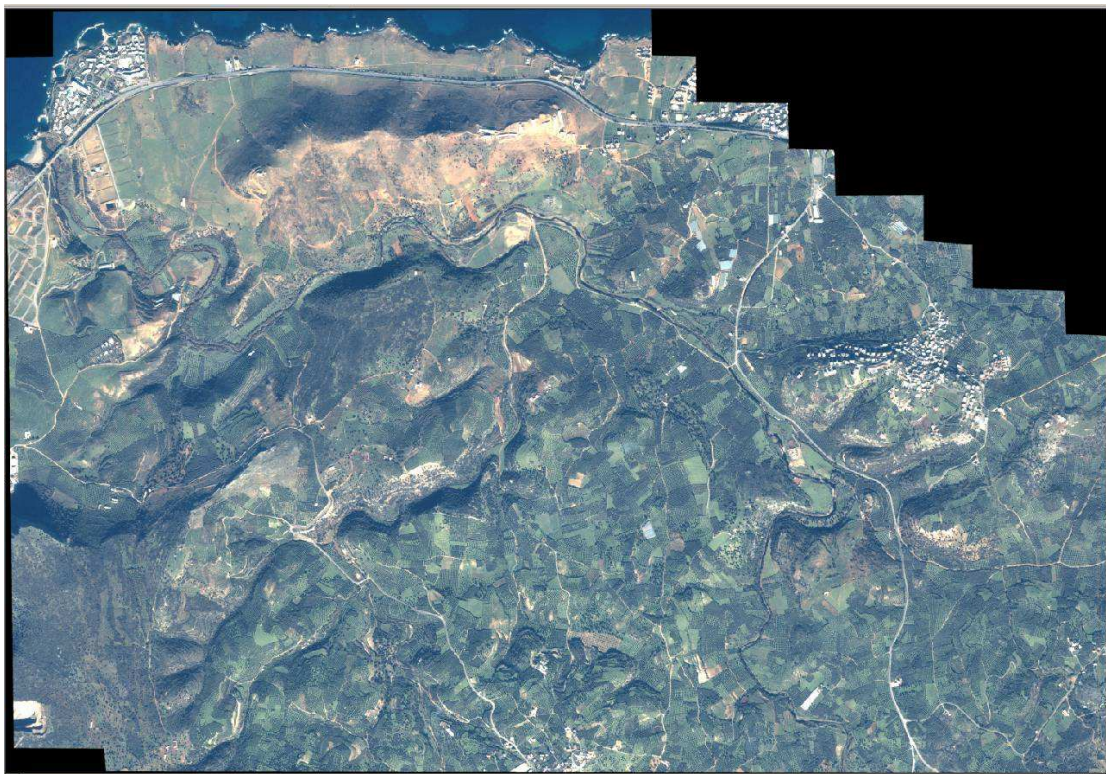
- Κύριος
- Δευτερεύοντες
- Οικισμοί
- Κύριο Οδικό Δίκτυο
- Δευτ. Οδικό Δίκτυο

Μέτρα
0 250 500 1.000

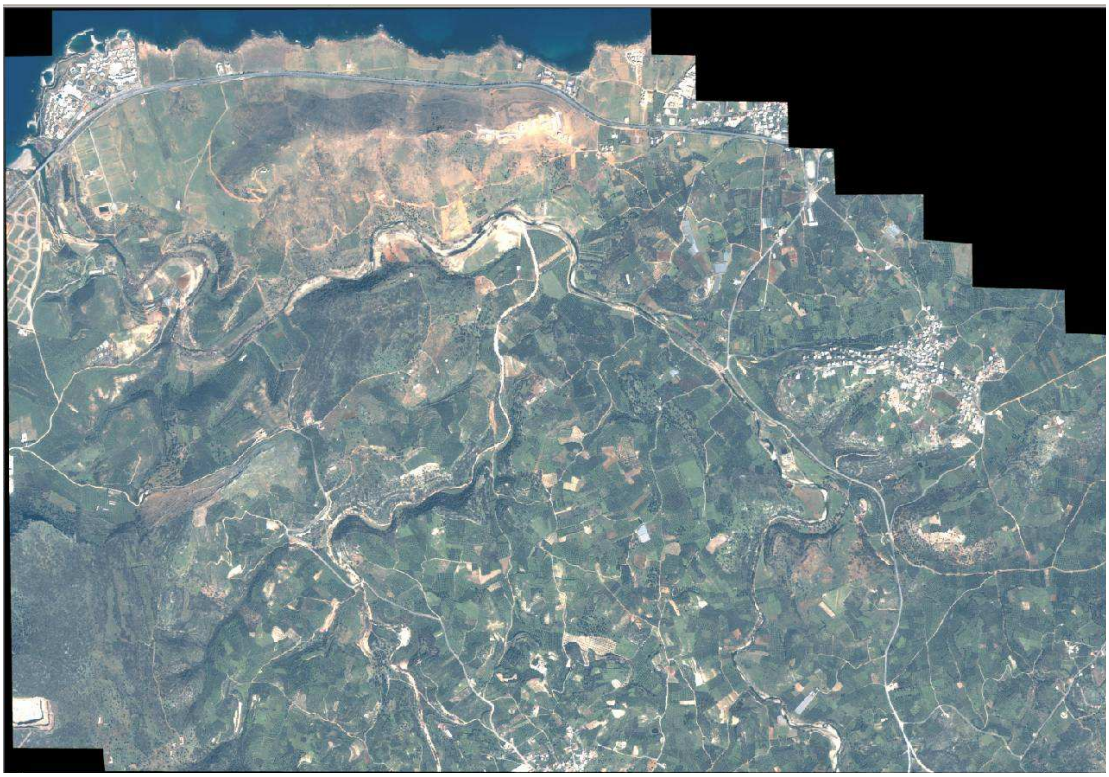
Έτσι, τον χειμώνα του 2007, ύστερα από καταρρακτώδεις βροχοπτώσεις που σημειώθηκε στις 20 Φεβρουαρίου, το νερό του Γεροποτάμου υπερχείλισε την κοίτη τμημάτων του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού, κατακλύζοντας εκτάσεις εκατέρωθεν αυτής. Ζώνες λοιπόν εντός της πεδιάδας υπερχείλισης του Γεροποτάμου πλημμύρησαν, πλήττοντας δρόμους, καλλιεργήσιμες εκτάσεις και λοιπές ιδιοκτησίες, όπως αποθήκες και θερμοκήπια.

Καθώς λοιπόν, από μια πρώτη, διερευνητική ματιά προκύπτει ότι τα ίχνη της διαδικασίας απόθεσης (ή και σε ορισμένες περιπτώσεις της διάβρωσης) ύστερα από την υπερχείλιση του ποταμού είναι παρόντα και ορατά «δια γυμνού οφθαλμού», και συνιστούν ανοιχτόχρωμες παρουσίες επί των έγκοιλων των μαιάνδρων, επί των έγχρωμων σύνθετων εικόνων[65] RGB (3,2,1) και RGB (4,3,2), παρέχονται τα εχέγγυα για την πραγμάτωση μιας ψηφιακής ανίχνευσης μεταβεβλημένων επιφανειακών τμημάτων εξ' αιτίας της κατάκλυσης της παρόχθιας περιοχής, στη βάση της αξιοποίησης των δύο διαχρονικών εικόνων (Σχ 12 Α-Β, Σχ 13 Α-Β). Λαμβάνοντας τα παραπάνω ως δεδομένα, στη συνέχεια επιχειρείται η κατάδειξη αυτών των περιοχών που είχαν κατακλυστεί, μέσω της αξιοποίησης τηλεπισκοπικών μεθόδων και τεχνικών, με την αρωγή και των ΓΣΠ για διάφορες λειτουργίες χωρικής ανάλυσης και οπτικοποίησης, ενώ επιπροσθέτως γίνονται υπαινιγμοί προς την κατεύθυνση της περαιτέρω ανάπτυξης σχετικών εφαρμογών στο πλαίσιο της διαχείρισης πλημμυρικών επεισοδίων.

[65] Ως σύνθετη (ψευδ-)έγχρωμη εικόνα (composite (false) color image) ορίζεται η εικόνα που δημιουργείται από την σύνθεση τριών φασματικών καναλιών, σε κάθε ένα από τα οποία αποδίδεται ένα από τα κύρια χρώματα, κόκκινο, πράσινο, μπλε. Έτσι, λ.χ., το RGB: (3,2,1) με το κόκκινο να αντιστοιχεί στο κανάλι 3, το πράσινο στο 2 και το μπλέ στο 1, αποδίδει μια απεικόνιση της γήινης επιφάνειας, όπως θα την διέκρινε το ανθρώπινο μάτι από ένα δορυφόρο.

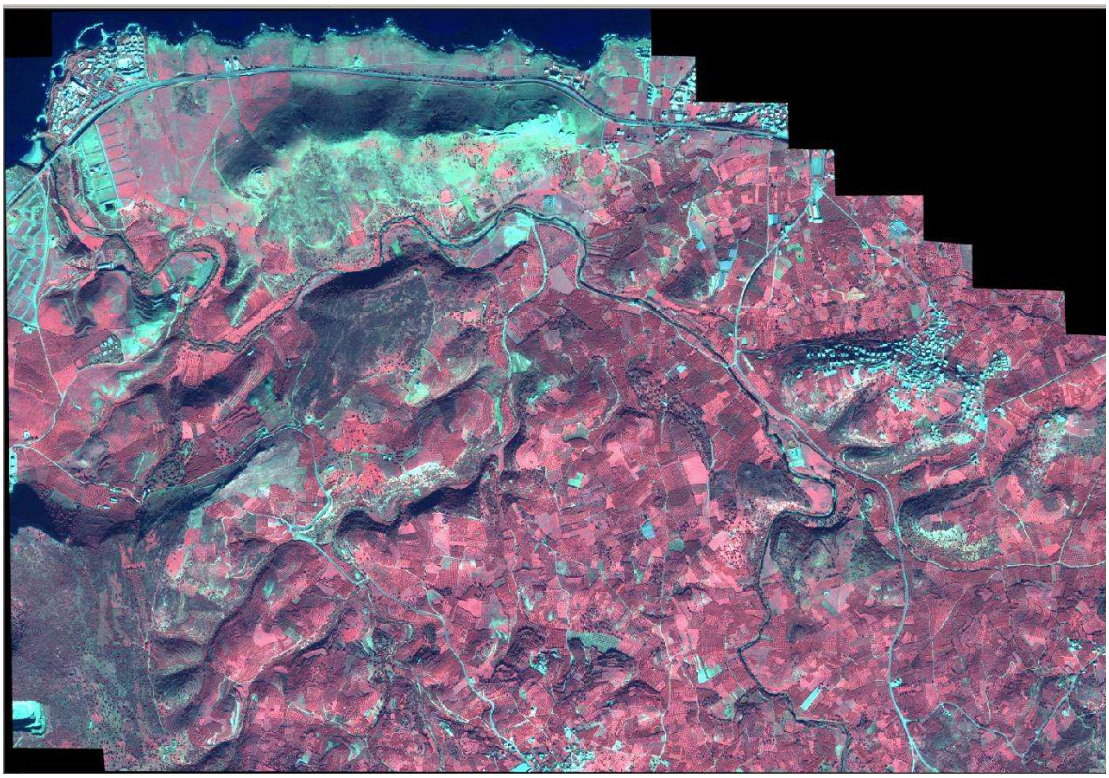


Α

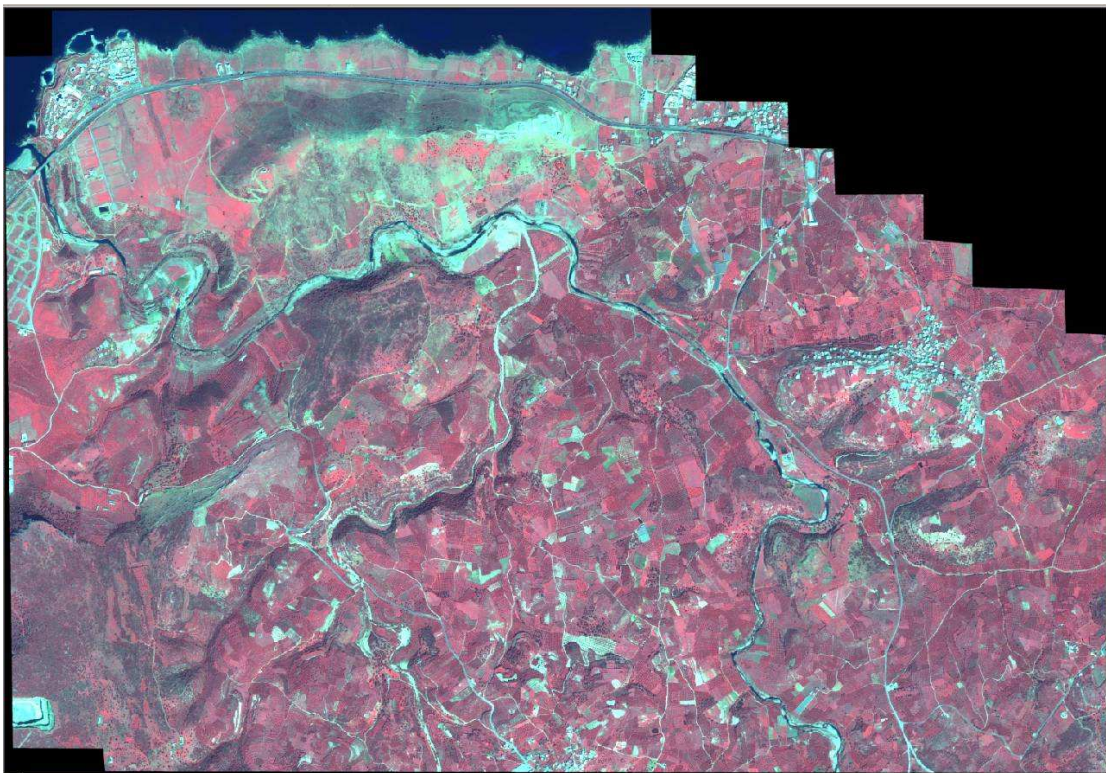


Β

Σχήμα 12: Αναπαράσταση της περιοχής μελέτης από λήψεις του δορυφόρου IKONOS σε σύνθετες έγχρωμες απεικονίσεις RGB (3,2,1) πριν (Α) και μετά (Β) την σχετική πλημμύρα



A



B

Σχήμα 13: Αναπαράσταση της περιοχής μελέτης από λήψεις του δορυφόρου IKONOS σε σύνθετες έγχρωμες απεικονίσεις RGB (4,3,2) πριν (A) και μετά (B) την σχετική πλημμύρα

4.2.2 Αρχικές Ενέργειες: Γεωαναφορά και Απεικόνιση της Περιοχής Μελέτης

Ας σημειωθεί πως σε αυτό το αρχικό στάδιο εντάσσεται η διαδικασία εισαγωγής του – σαρωμένου – παρεχόμενου χάρτη στο λογισμικό ΓΣΠ ArcGIS της ESRI, και συγκεκριμένα στο «περιβάλλον» του «υποπρογράμματος» ArcMap, ενέργεια που αποσκοπεί αφ' ενός μεν στην απεικόνιση τμήματος του χάρτη που αφορά στην περιοχή μελέτης, με την ταυτόχρονη αναπαράσταση των οντοτήτων του υδρογραφικού δικτύου και των οικισμών, αφ' ετέρου δε στην απόδοση γεωγραφικής αναφοράς στα προϊόντα χωρικής φύσεως που αναμένεται να ανακύψουν μετέπειτα, ώστε να καθίστανται εφικτές οι λειτουργίες διαχείρισης, ανάλυσης και χαρτογραφικής απόδοσης, καθώς και στην δημιουργία των προϋποθέσεων για την ανάπτυξη μιας γεωγραφικής βάσης δεδομένων προς την παραγωγή χαρτογραφικών προϊόντων υπολογισμού της έκτασης του φαινομένου, αλλά και δυνητικά χαρτών πλημμυρικού κινδύνου, και ενδεχομένως χαρτών αποτίμησης των ζημιών ή ακόμη και διακινδύνευσης. Αναφέρεται επιγραμματικά λοιπόν πως οι ενέργειες γεωαναφοράς (georeferencing) άρχονται με την εισαγωγή του *ψηφιδωτού* (*raster*) τύπου ψηφιακού αρχείου του χάρτη της Γ.Υ.Σ., το οποίο «βρίσκει αντίκρισμα» επί ενός *διανυσματικού* (*vector*) τύπου ψηφιακού αρχείου (*shapefile*). Το τελευταίο συνιστά θεματικό αρχείο που έχει αποκτήσει γεωγραφικές συντεταγμένες από το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ) 87' και απαρτίζεται από μια σειρά κατανεμημένων – στον γεωγραφικό χώρο της ελληνικής επικράτειας – ορθογώνιων τετράπλευρων που αντιστοιχούν στα διάφορα φύλλα χάρτου κλίμακας 1: 50.000 της Γ.Υ.Σ. Επί της ουσίας, αφού εντοπιστεί το εν προκειμένω τετράπλευρο ενδιαφέροντος (στην περίπτωσή μας με την ονομασία «Πέραμα»), επιτελείται η «προσαρμογή» του ψηφιδωτού αρχείο της εικόνας-χάρτη στο «ομόλογο» τετράπλευρο, στη βάση της διαδικασίας *γεωαναφοράς ή αγκίστρωσης εικόνας επί θεματικού αρχείου*. Κατά την διεξαγωγή αυτής της διαδικασίας, οι συντεταγμένες (x,y) των τεσσάρων γωνιών του τετραπλεύρου αναφοράς προσδίδονται στις αντίστοιχες τέσσερις γωνίες της εικόνας-χάρτη, σχήματος επίσης ορθογωνίου τετραπλεύρου, κάτι που πραγματώνεται λαμβάνοντας Σημεία (Επιγείου) Ελέγχου (Ground Control Points)[66] επί αυτών των θέσεων, καταδεικνύοντάς τα (μέσω

[66] σε αυτήν την περίπτωση, ο όρος Σημεία Επιγείου Ελέγχου χρησιμοποιείται καταχρηστικά, καθώς δεν αποδίδονται συντεταγμένες επί υπαρκτών επιγείων σημείων, όπως στην περίπτωση της κατάδειξης

κατάλληλου εργαλείου) ένα προς ένα κάθε φορά, πρώτα επί του χάρτη, και ύστερα επί του βοηθητικού θεματικού αρχείου. Τελικά, η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων αυτού του μετασχηματισμού μέσω των παραπάνω συνδέσεων, αξιολογείται με γνώμονα το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (RMSE). Στην προκειμένη εφαρμογή της αγκίστρωσης του χάρτη «Πέραμα», η ακρίβεια θεωρείται ικανοποιητική, όποτε αποθηκεύεται ο πίνακας της σύνδεσης (link table) των συντεταγμένων εικόνας σε συντεταγμένες του ΕΓΣΑ 87, σε αρχείο τύπου .txt. Στη συνέχεια ο προσωρινά αγκιστρωμένος χάρτης-εικόνα μετατρέπεται σε ένα νέο, μετασχηματισμένο (rectified) ψηφιακό αρχείο που διατηρεί μόνιμα τις συντεταγμένες που του έχουν αποδοθεί.

4.2.3 Υλικά και Μέθοδοι Ανίχνευσης Μεταβολών από Διαχρονικές Δορυφορικές Τηλεπισκοπικές Απεικονίσεις

Επ’ αυτής της ενότητας της εργασίας παρατίθενται οι αναγκαίες πληροφορίες περί των αρχικών δεδομένων και περιγράφονται όλες οι διαδικασίες προκαταρκτικής και κύριας επεξεργασίας (αυτών των δεδομένων) μέσα από τα χρησιμοποιούμενα λογισμικά. Προς αυτήν την κατεύθυνση, αναπτύσσεται σχετική επιχειρηματολογία περί των επιλογών που λαμβάνουν χώρα, προάγοντας ταυτόχρονα την ευρύτερη συλλογιστική που διέπει την μέθοδο ή «στρατηγική» που υιοθετείται, αλλά και επεξηγώντας και στηρίζοντας τις επιμέρους ενέργειες και λειτουργίες που «προσεταιρίζονται» προς την πραγμάτωση της μεθόδου.

4.2.3.1 Αρχικά δεδομένα

Ως αρχικά δεδομένα χρησιμοποιούνται οι πρωτογενείς/ ανεπεξέργαστες (raw) δορυφορικές ψηφιακές τηλεπισκοπικές απεικονίσεις IKONOS. Τέτοιες εικόνες προέρχονται από δορυφορικά τηλεπισκοπικά συστήματα υψηλής ανάλυσης (high resolution). Ως εκ τούτου, διακρίνονται από πολύ υψηλές χωρικές διακριτικές ικανότητες – 4m στα επιμέρους φασματικά κανάλια και 1m στο παγχρωματικό. Επιπλέον, η φασματική διακριτική ικανότητα ανέρχεται στα πέντε κανάλια, τέσσερα πολυφασματικά (band 1: 0,45-0,52, band 2: 0,52-0,60, band3: 0,60-0,69, band4: 0,76-

---

τέτοιων σημείων επί διασταυρώσεων οδών κ.α. επί μιας τηλεπισκοπικής απεικόνισης (εικόνας) ή χάρτη

0,90) και ένα παγχρωματικό (Pan: 0,45-0,90), ενώ είναι δυνατή η «αναγωγή» των πολυφασματικών καναλιών επί της παγχρωματικής, συνδυάζοντας την διακριτική ικανότητα των παγχρωματικών με τη φασματική πληροφορία των πολυφασματικών, παράγοντας εν τέλει μια "pan-sharpened" πολυφασματική απεικόνιση χωρικής διακριτικής ικανότητας 1m. Η σχετική ραδιομετρία τους ισούται με 11 bits (τουτέστι 2048 τονικές διαβαθμίσεις του γκρι), ενώ η επαναληψιμότητα λήψης ανέρχεται σε μερικές ημέρες. Όσον αφορά στις δύο εικόνες που επιλέχθηκαν για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, έχουν ληφθεί στις 21 Ιανουαρίου του 2007, και στις 20 Μαρτίου του ίδιου έτους αντίστοιχα, και συγκεκριμένα περί τις 11 π.μ. (09:09 και 09:22 GMT). Καθώς λοιπόν η πρώτη, είναι προγενέστερη ενός πλημμυρικού επεισοδίου, και η δεύτερη έχει ληφθεί δύο μήνες αργότερα – ύστερα από την εκδήλωση του φαινομένου – μπορούν να αξιοποιηθούν σε μια εφαρμογή ανίχνευσης μεταβολών του πλημμυρικού καθεστώτος, κάτι που κατ' επέκταση δυνητικά προάγει μια αποτίμηση υλικών ζημιών (π.χ. καταστροφή αγροτικής γης, οδικού δικτύου κ.α.).

Όσον αφορά στην επεξεργασία τους με σκοπό την ανάδειξη πραγματικών αλλαγών, και αν συνεχεία αλλαγών που σχετίζονται με παρόχθιες πλημμυρισμένες εκτάσεις, δεν θα πρέπει να αμεληθεί η εποχή και η ώρα λήψης των εικόνων. Έτσι, σχετικά με την εποχή, θα πρέπει κανείς να έχει υπ' όψιν ότι κατά τον Μάρτιο, όπότε έχει ληφθεί η δεύτερη, μεταγενέστερη δορυφορική εικόνα, πολλές μεταβολές ενδεχομένως έχουν συντελεστεί στην βλάστηση, λόγω του φαινολογικού κύκλου (λ.χ. (επαν)εκβλάστηση φύλλών (foliation) σε φυλλοβόλα δένδρα), αλλά και εξ' αιτίας ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (λ.χ. άροση καλλιεργούμενων εκτάσεων). Η ώρα αποκομιδής των εικόνων, σε σχέση και με την εποχή, διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο, καθ' ότι το ύψος του ηλίου καθορίζει τις συνθήκες φωτισμού ή/ και σκίασης του τοπίου/ αναγλύφου. Καθ' ότι λοιπόν η ώρα είναι σχεδόν η ίδια για τις δύο εποχές, επόμενο είναι στην προγενέστερη εικόνα του Ιανουαρίου, οι σκιές να παρουσιάζονται πιο έντονες, εφόσον ο ήλιος κατ' αυτόν τον μήνα «εμφανίζεται» χαμηλότερα στον ορίζοντα (για αυτήν την πρωινή ίδια ώρα).

4.2.3.2 Εισαγωγή στο Λογισμικό Τηλεπισκόπησης

Όπως φάνηκε και στα προηγούμενα, προκειμένου να ολοκληρωθεί μια διαδικασία ανίχνευσης μεταβολών από δύο διαχρονικές εικόνες, εμπλέκονται

διάφορες επιμέρους διεργασίες, οι οποίες υλοποιούνται μέσω λογισμικών τηλεπισκόπησης και επεξεργασίας εικόνας. Η προεπεξεργασία λοιπόν, όσο και η κύρια επεξεργασία, στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, αναπτύσσονται μέσα από δυο επιπρόσθετες αυτοτελείς λειτουργικές μονάδες (add-on modules) του λογισμικού πακέτου επεξεργασίας εικόνας της Leica Geosystems Geospatial Imaging, ERDAS IMAGINE. Έτσι λοιπόν, το add-on module που χρησιμοποιείται προκειμένου να συντελεστούν οι διεργασίες προ-επεξεργασίας είναι το IMAGINE AutoSync, με σκοπό να επιτευχθεί η συνταύτιση των δύο εικόνων (co-registration) στο πλαίσιο μιας «αμοιβαίας» γεωμετρικής διόρθωσης (και – προαιρετικά – να αποδοθεί τοπογραφική πληροφόρηση με την εισαγωγή κάποιου ψηφιακού μοντέλου εδάφους DEM). Όσον αφορά την πραγμάτωση της διεργασίας ανίχνευσης μεταβολών αυτής καθ’ αυτής, χρησιμοποιείται το add-on module IMAGINE DeltaCue. Στη βάση αυτού του module, επιτελείται αφ’ ενός το δεύτερο σκέλος των διεργασιών προ-επεξεργασίας, και δη η ραδιομετρική διόρθωση-κανονικοποίηση (radiometric normalization). Αφ' ετέρου, εντός αυτής της αυτοτελούς λειτουργικής μονάδας, επιλέγονται και υλοποιούνται οι διαθέσιμοι αλγόριθμοι-τεχνικές, οι οποίοι εν γένει εμπίπτουν στην γενικότερη κατηγορία των τεχνικών άλγεβρας και μετασχηματισμού, για τις οποίες απαιτείται η εκλογή κατάλληλων κατωφλιών (change/ no change)[67], ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες (συγκεκριμένα χαρακτηριστικά/ εμφανίσεις) του απεικονιζόμενου τοπίου της περιοχής μελέτης στις δύο διαχρονικές εικόνες, καθώς και τις επιδιώξεις της εκάστοτε εφαρμογής. Επιπλέον, οι αλγόριθμοι αυτοί, πλαισιώνονται από την παρουσία φασματικών και χωρικών φίλτρων, προκειμένου να παρασχεθεί η δυνατότητα μιας πιο αναβαθμισμένης προσαρμοστικότητας στον εντοπισμό των ιδιαίτερων μεταβολών περί των οποίων λαμβάνεται μέριμνα στην εκάστοτε εφαρμογή.

4.2.3.3 Χρησιμοποιούμενες Μέθοδοι και Τεχνικές

Προκειμένου να επιτευχθούν οι επιμέρους στόχοι αυτής της εργασίας, «επιστρατεύονται», τόσο το λογισμικό Τηλεπισκόπησης ERDAS της Leica Geosystems – και ιδιαίτερα τα «υποπρογράμματα» DeltaCue και AutoSync, όσο και το λογισμικό ΓΣΠ ArcGIS της ESRI – και ιδιαίτερα τα «υποπρογράμματα» ArcMap

[67] βλ. ενότητα 4.1.2

και Arc Catalog. Παρακάτω, παρατίθενται, περιγράφονται και αναλύονται οι τεχνικές, διαδικασίες και ενέργειες που απαιτούνται ώστε να πραγματωθούν οι στόχοι αυτής της μελέτης περίπτωσης, μέσα από αυτά τα παραπάνω λογισμικά.

Προεπεξεργασίες

Κατ' αρχήν, πρώτη ενέργεια αποτέλεσε η διαμόρφωση των πρωτογενών δεδομένων εικόνας σε κατάλληλα αναγνώσιμα αρχεία τα οποία θα μπορούν να αναγνωρισθούν και παρουσιαστούν με τη μορφή διακριτών καναλιών-«στρωμάτων», μέσω της διενέργειας layer stacking. Έπειτα, απεικονίστηκαν (στο Viewer του ERDAS) οι δυο εικόνες, υπό τη μορφή έγχρωμων σύνθετων RGB (3,2,1) και RGB (4,3,2), και επιχειρήθηκε μια πρώτη αναγνωριστική «ματιά» στην περιοχή μελέτης, επιτείνοντας ιδιαίτερα την προσοχή στις παρόχθιες εκτάσεις εντός μίας εύλογης ζώνης[68] εκατέρωθεν της κεντρικής κοίτης του ποταμού, αποδίδοντας έμφαση στην εξιχνίαση διαχρονικών διαφοροποιήσεων στην αυτή περιοχή, ανάμεσα στις δύο εικόνες.

Στην επόμενη φάση, επιτελέστηκαν δοκιμαστικές προσπάθειες γεωμετρικής συνταύτισης (co-registration) με τη βοήθεια του add-on module AutoSync. Το τελευταίο αποτελεί ένα σπουδαίο εργαλείο το οποίο, δημιουργώντας αυτοματοποιημένα σημεία σύνδεσης/ συνταύτισης (tie points) επί δύο ψηφιδωτά αρχεία εικόνας, παρέχει τις βάσεις για μια επαρκή γεωμετρική διόρθωση προκειμένου να επιτευχθούν μετέπειτα διαδικασίες παραγωγής μωσαϊκών, ανίχνευση μεταβολών σε δύο διαχρονικές εικόνες, ή ακόμη και αλληλεπίθεσης φασματικών καναλιών (layer stacking) πολυφασματικών απεικονίσεων. Τα βασικά πλεονεκτήματα μια τέτοιας διεργασίας επαφίενται στο γεγονός ότι υπό την αυτοματοποιημένη επενέργεια κατάλληλων αλγορίθμων οι οποίοι εντοπίζουν μαζικά σημεία σύνδεσης και τα συνταυτίζουν με βάση μαθηματικά μοντέλα, καθίσταται δυνατή η ακριβής συνταύτιση (sub-pixel) δύο εικόνων, σε πολύ μικρό χρόνο, σε αντίθεση με τις χειρωνακτικές μεθόδους. Εντούτοις, η ποιότητα της συνταύτισης αναμένεται να επηρεαστεί από την ποιότητα των εισαγόμενων δεδομένων. Το εργαλείο AutoSync παρέχει ορισμένες επιλογές αλγορίθμων συνταύτισης, οι οποίες συμπεριλαμβάνουν την εκλογή τόσο βέλτιστου μαθηματικού μοντέλου, όσο και κατάλληλης

[68] όπως θα φανεί και στα επόμενα, αυτή η ζώνη δεν ξεπερνά τα 200m εκατέρωθεν της κοίτης

«Στρατηγικής» Αυτόματης Εντοπισμού Σημείων «αντιστοίχησης» (APM Strategy). Παρακάτω παρατίθενται οι τεχνικές γεωμετρικής συνταύτισης που υλοποιήθηκαν στην παρούσα εφαρμογή, υπό την αξιοποίηση κάποιων μοντέλων.

Έτσι, σε μια πρώτη, «ανιχνευτική» δοκιμή, επιλέχθηκε η συνταύτιση των εικόνων με βάση μια πολυωνυμική συνάρτηση (polynomial), η οποία κρίθηκε εκ των υστέρων ανεπαρκής. Έπειτα, έλαβε χώρα η διενέργεια του μοντέλου Direct Linear Transform (DLT), συναξιοποιώντας και το διαθέσιμο DEM[69] της περιοχής μελέτης. Ούτε όμως και αυτή παρουσίασε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Ύστερα από αυτές τις δύο πρώτες αποτυχημένες δοκιμές, θεωρήθηκε σκόπιμη μια προσπάθεια δημιουργίας ορθοφωτοχάρτη, δηλαδή εικόνας που έχει γεωαναφερθεί, (έχει λάβει γεωγραφικές συντεταγμένες σε κάποιο γεωδαιτικό σύστημα). Καθώς στάθηκε αδύνατη η παροχή δευτερογενών δεδομένων εκ των οποίων θα μπορούσε να «αντληθεί» γεωγραφική αναφορά μέσα από χάρτες σχετικά μεγάλης κλίμακας (τοπογραφικά διαγράμματα της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:5.000)[70], καταβλήθηκε προσπάθεια να επιλεγούν κατάλληλα σημεία επίγειου ελέγχου (ground control points – GCPs) από σχετική απεικόνιση στην διαδικτυακή εφαρμογή του Google Earth, και αφού προσαρμόστηκαν οι συντεταγμένες αυτών των σημείων τους από το παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα WGS 84, στο ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (ΕΓΣΑ 87’), αποδόθηκαν οι σχετικές τιμές στις αντίστοιχες θέσεις επί των δύο εικόνων. Μετέπειτα, επιχειρήθηκε εκ νέου η συνταύτισή τους.

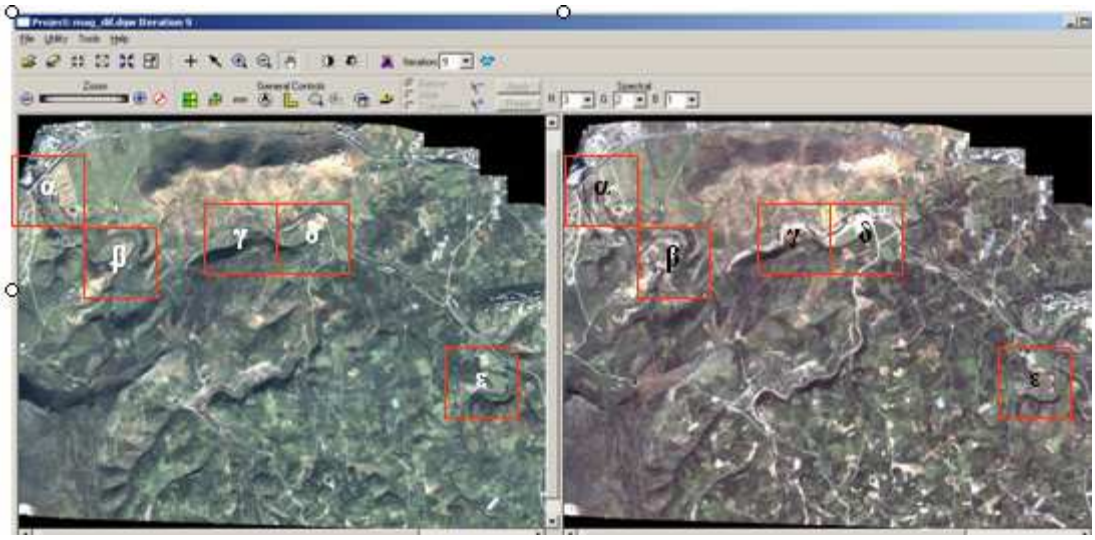
Στις νέες αυτές, γεωμετρικά διορθωμένες και «αγκιστρωμένες» στο ΕΓΣΑ 87’ εικόνες, επιχειρήθηκε εκ νέου συνταύτιση. Πρώτα επιλέχθηκε, για ακόμη μία φορά, η πολυωνυμική προσέγγιση, ενώ αργότερα και η DLT, συναξιοποιώντας και το σχετικό DEM. Και στις δύο αυτές απόπειρες, τα αποτελέσματα που «εξάχθηκαν», απείχαν και πάλι από τα επιθυμητά. Τελικά, κρίθηκε πως οι παραγόμενοι ορθοφωτοχάρτες δεν διακρίνονταν από την απαιτούμενη ποιότητα, και για αυτό προκρίθηκε η εφαρμογή ενός άλλου μοντέλου-τεχνικής συν-εγγραφής για την γεωμετρική συνταύτιση των προγενέστερων της μετατροπής των εικόνων σε ορθοφωτοχάρτες, και δη το *Linear Rubber Sheeting*. Εν γένει, υπό την επενέργεια αυτού του μοντέλου, επιτελείται ένας δυσδιάστατος μετασχηματισμός, δημιουργώντας τρίγωνα από τα υφιστάμενα σημεία

[69] το συγκεκριμένο DEM διακρίνεται από χαμηλή πιστότητα αναπαράστασης του αναγλύφου

[70] Υπό τους αναπόδραστους περιορισμούς χρόνου και κόστους, η ιδέα διεξαγωγής επιτόπιων-επιγείων μετρήσεων με τη χρήση τεχνολογιών GPS (Global Positioning System) για κατάλληλα σημεία ελέγχου, εγκαταλείφθηκε νωρίς.

σύνδεσης/ συνταύτισης (tie points). Και, παρ' όλο που η συνταύτιση είναι σχεδόν τέλεια επ' αυτών των σημείων, και από τρίγωνο σε τρίγωνο ακολουθείται μια ομαλή, και «καλά συμπεριφερόμενη» μετάβαση, για απεικονίσεις όμως της φυσικής γήινης επιφάνειας που διακρίνονται από έντονη τοπογραφία, υπάρχει χρεία για πολλά τέτοια σημεία (πρακτικά προκειμένου να αντικατασταθεί το DEM), με συνέπεια ενδεχομένως να μειώνονται ως ένα βαθμό οι «επιδόσεις» αυτού του μετασχηματισμού. Γενικά πάντως, η χρήση του ενδείκνυται για περιοχές ήπιου αναγλύφου, για τις οποίες δεν διατίθεται DEM υψηλής πιστότητας. Όσον δε αφορά στις χρησιμοποιούμενες εικόνες, από την ταυτόχρονη απεικόνισή τους, παρουσιάστηκε βελτιωμένη συνταύτιση, και εντός των ορίων του επιθυμητού για τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Ας σημειωθεί ότι η μεταγενέστερη εικόνα (20 Μαρτίου 2007), «καταχωρήθηκε» γεωμετρικά. ως προς την προγενέστερη (21 Ιανουαρίου 2007) υπό την εκλογή των πλέον κατάλληλων παραμέτρων προσαρμογής (APM Strategy) στο χρησιμοποιούμενο μοντέλο Linear Rubber Sheeting.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 14) παρατίθεται η παρουσίαση των «συζευγμένων» πλέον εικόνων στον απεικονιστή (change display) του κύριου μενού (main menu) του Delta Cue. Εκτός από την απεικόνιση της περιοχής μελέτης εξ' ολοκλήρου, στο έγχρωμο σύνθετο RGB (3,2,1), αναπαρίστανται επιμέρους τμήματα της, προκειμένου τόσο να αποδοθεί η ποιότητα της συνταύτισης, όσο και να διαφανούν λεπτομερέστερα οι υφιστάμενες μεταβολές σε «θέσεις ενδιαφέροντος».

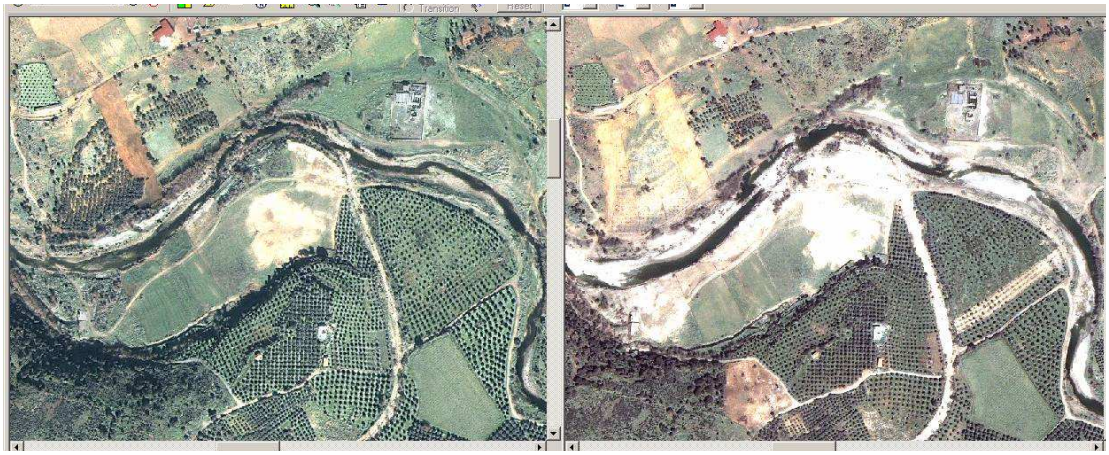


Α

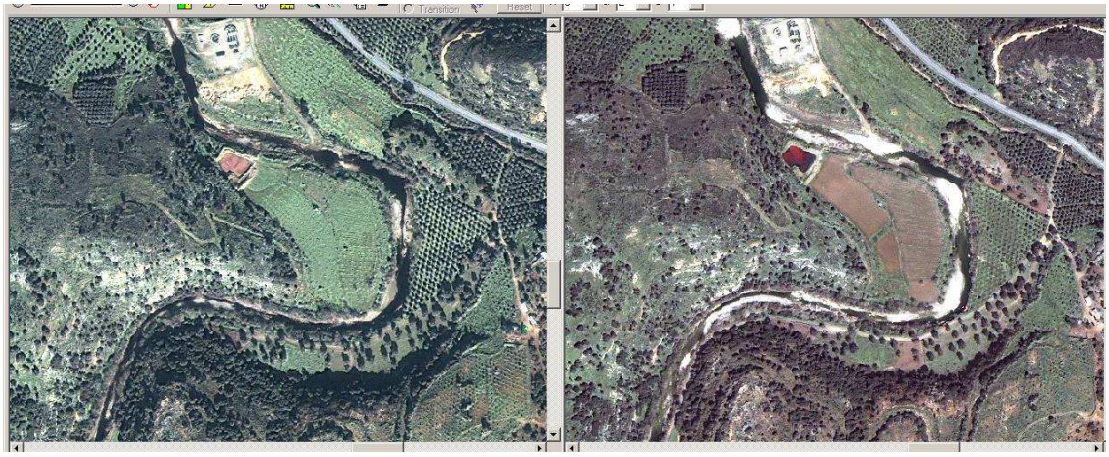
α

β

γ



δ



ε

Σχήμα 14: Αναπαράσταση των υπό σύγκριση διαχρονικών εικόνων RGB (3,2,1) για ολόκληρη την περιοχή μελέτης (Α) και για επιμέρους «θέσεις ενδιαφέροντος» (α, β, γ, δ, ε).

Αλγόριθμοι

Εφόσον η συνταύτιση κρίθηκε ικανοποιητική, πραγματοποιήθηκε η μετάβαση προς την υλοποίηση των αλγορίθμων ανίχνευσης μεταβολών στις εικόνες. Η ραδιομετρική διόρθωση, τμήμα των ενεργειών προεπεξεργασίας, δεν κρίθηκε απαραίτητο να διενεργηθεί σε προγενέστερη φάση, καθ' ότι στο (add-on module) DeltaCue, πριν από οποιαδήποτε εφαρμογή αλγορίθμου ή φίλτρου, υπεισέρχεται η επιλογή μιας *de facto* (αυτόματης) ραδιομετρικής κανονικοποίησης των δύο εικόνων, ενώ παρέχεται η δυνατότητα να επιβληθεί και μια περαιτέρω κανονικοποίηση στην περίπτωση που υφίστανται νέφη σε κάποια από τις δύο (ή και στις δύο) εικόνες. Έτσι,

με μια *ex post facto* αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, θεωρήθηκε πως η συνήθης κανονικοποίηση αποφέρει σε γενικές γραμμές αποδεκτά αποτελέσματα.

Στο περιβάλλον του (add-on module) DeltaCue πλέον, έγινε η πρώτη απόπειρα για την πραγμάτωση ενός αλγόριθμου ανίχνευσης μεταβολών στις παρεχόμενες εικόνες. Η «φιλοσοφία» που διακρίνει αυτό το λογισμικό, εναπόκειται στην κάθε φορά επιλογή ενός αλγορίθμου, ο οποίος «πλαισιώνεται» και «εμπλουτίζεται» από επιμέρους φίλτρα και παραμετροποιήσεις, στη βάση διεξαγωγής πολλαπλών (διαδοχικών ή μη διαδοχικών) επαναλήψεων. Για λόγους συντομίας όμως, αναφέρεται μονάχα η γενικότερη «στρατηγική» που ακολουθήθηκε, ενώ οι επιμέρους επιλογές παρατίθενται πινακοποιημένες, συνοδευόμενες από κάποια σχόλια.

Η συλλογιστική αυτού του ημι-αυτόνομου λογισμικού έγκειται σε έναν αρχικό εντοπισμό των σημαντικών διαφοροποιήσεων και μεταβολών («εις βάρος» των ασήμαντων), και στην ύστερη ανίχνευση των μεταβολών ειδικού ενδιαφέροντος – ανάλογα με την εφαρμογή – και διαχωρισμό της επιθυμητής πληροφορίας από την αχρείαστη. Σε αδρές γραμμές, οι διακριτοί αλγόριθμοι ανίχνευσης μεταβολών, με τις σχετικές κατωφλιώσεις που τους επιβάλλονται, προωθούν κυρίως το πρώτο σκέλος της ανίχνευσης ουσιαστικών διαφοροποιήσεων, προσδίδοντας έναν «ευρύτερο προσανατολισμό» στην πληροφορία μεταβολής – σύμφωνα με τα κάθε φορά ζητούμενα –, ενώ τα διάφορα *φασματικά* και *χωρικά φίλτρα*, τα οποία ενδεχομένως εφαρμόζονται μεταγενέστερα, επιτελούν το «λειτούργημα» της απομάκρυνσης και εξάλειψης πληροφορίας αλλαγών που δεν παρουσιάζει ειδικό ενδιαφέρον.

Καθ' ότι λοιπόν η ανίχνευση μεταβολών, κατά την έννοια που προδιατυπώθηκε, εναπόκειται πρωτίστως στην υλοποίηση ενός σχετικού αλγορίθμου, ο ρους των ενεργειών άρχεται με την επιλογή ενός τέτοιου. Στο add-on module Delta Cue, οι παρεχόμενοι αλγόριθμοι είναι οι εξής:

- Overall Magnitude Differencing,
- Tasseled Cap (TC) Greenness Differencing,
- Tasseled Cap (TC) Soil Differencing,
- Primary Color Differencing (red, green, blue),
- Single-Band Difference
- Band-Slope Difference

Σε προηγούμενη ενότητα, οι συναφείς αλγόριθμοι είχαν κατηγοριοποιηθεί σε τρεις βασικές ομάδες: Άλγεβρας, Μετασχηματισμού και Ταξινόμησης. Αυτό το ημι-αυτόνομο λογισμικό, παρέχει στην διάθεση του αναλυτή αλγόριθμους άλγεβρας και μετασχηματισμού, οι οποίοι υλοποιούνται υπό την «θέσπιση» ένα κατωφλιού αλλαγής/ μη-αλλαγής, με τελικό παραγόμενο μια εικόνα μεταβολής τονικής διαβάθμισης. Ο γενικός τύπος της εξίσωσης που εφαρμόζεται προκειμένου να μετρηθεί η μεταβολή είναι η εξής:

$$\frac{T_2 - T_1}{|T_1|} + \frac{T_2 - T_1}{|T_2|}$$

Καθώς T_2 και T_1 οι δυο χρονικές στιγμές λήψης των εικόνων, με τον λόγο (διαίρεση) της διαφοράς της τιμής (της φωτεινότητας) των εικονοστοιχείων στις διαχρονικές εικόνες προς την τιμή των εικονοστοιχείων κατά τις δύο χρονικές στιγμές, εξάγεται μια (παραγόμενη) εικόνα μεταβολής στην οποία καταμετράται η ποσοστιαία διαφοροποίηση στο εικονοστοιχείο, ανεξαρτήτως ποια εικόνα επιλέγεται ως η αρχική. Ως επί το πλείστο, θεωρείται ότι η ποσοστιαία μεταβολή της φωτεινότητας ενός εικονοστοιχείου αποτελεί πιο ουσιαστική ένδειξη της πραγματικής μεταβολής, παρά η απόλυτη μεταβολή (δηλ. διαφορά που προκύπτει από αφαίρεση).

Αυτή η ποσοστιαία μεταβολή μπορεί να αναπαρασταθεί, απλώς από την διαφορά κάθε φασματικού καναλιού ξεχωριστά στις δυο χρονικές στιγμές, και ύστερα να συμπυκνωθεί η πληροφορία μεταβολής. Μια αυτοματοποιημένη τέτοια έκφανση συνιστά ο αλγόριθμος της ***Συνολικής Διαφοράς της Έντασης*** (***Overall Magnitude Differencing***), ο οποίος υπολογίζει, για κάθε εικονοστοιχείο, την ένταση της φωτεινότητας για όλα τα φασματικά κανάλια της εικόνας ως εξής:

$$M_i = \sqrt{\sum_{j-1}^{n} BV_{ij}^2}$$

Σε άλλες περιπτώσεις, όπου είναι γνωστό πως ένα φαινόμενο γίνεται αντιληπτό από την διαχρονική ανάλυση συγκεκριμένων φασματικών καναλιών ή λόγων φασματικών καναλιών για συγκεκριμένο τηλεπισκοπικό δέκτη, τότε είναι

δυνατή η ανεξάρτητη ***Διαφορά*** της έντασης ***ενός*** και μόνο ***Καναλιού*** (***Single Band Difference***). Εκτός των τεχνικών άλγεβρας, ο μετασχηματισμός των φασματικών καναλιών των εικόνων σε συνιστώσες που συμπίπτουν με στοιχεία του «σκηνικού», όπως η φωτεινότητα ή η «πρασινότητα»/ «πρασινάδα» του εδάφους, μπορούν, ύστερα από μια αφαίρεση να μετατραπούν σε εικόνες μεταβολής της φωτεινότητας ή της «πρασινότητας» του εδάφους (***Tasseled Cap (TC) Differencing)***.

Η εκλογή του πλέον κατάλληλου αλγόριθμου δεν είναι πάντοτε *a priori* προδιαγεγραμμένη. Η ποικιλία των απαιτήσεων ανάδειξης τύπων αλλαγών – ακόμη και στο πλαίσιο μιας και μόνο εφαρμογής –, καθώς και η πληθώρα των εμφανίσεων που δυνητικά ενυπάρχουν στις εικόνες πολλαπλών χρονικών στιγμών, καθιστά μια τέτοια επιλογή «ρευστή». Βεβαίως, σε ορισμένες περιπτώσεις η χρησιμοποίηση ορισμένων αλγορίθμων διαφαίνεται ως η πλέον πρόσφορη. Έτσι, όταν αναζητούνται μεταβολές στη βλάστηση, ο Tasseled Cap (TC) Greenness Difference, συνιστά έναν ικανό «δείκτη». Αντίθετα, βελτιωμένη απόκριση σε αλλαγές που επισυμβαίνουν σε ανθρωποποίητα αντικείμενα, χαρακτηριστικά ή στοιχεία (δρόμοι, αεροδρόμια κ.α.), παρουσιάζουν οι αλγόριθμοι ***Διαφοράς Κύριων Χρωμάτων (Primary Color Differencing)*** (ερυθρό, πράσινο, κυανό), σε άμεση αντιστοιχία με την χροιά των υπό διερεύνηση αντικειμένων. Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις, χρήσιμη πρακτική μπορεί να αποτελέσει η διερεύνηση της ***Διαφοράς*** της ***«Κλίσης»*** ανάμεσα σε όμορα φασματικά ***Κανάλια*** (***Band Slope Difference***), η οποία υπολογίζεται, για κανάλια j, j+1 ως εξής:

$$T_1 = BV_1[j+1] - BV_1[j]$$

$$T_2 = BV_2[j+1] - BV_2[j]$$

Οπότε, τελικά, η επιλογή του πλέον δόκιμου αλγόριθμου, είτε απ' ευθείας, χάριν της βιβλιογραφική γνώσης, της εμπειρίας, ή της διαίσθησης, είτε μέσω αλλεπάλληλων δοκιμών, τόσο αποτελεί οδό απομάκρυνσης θορύβου, και δη, ασήμαντης, αχρείαστης πληροφορίας μεταβολών (οφειλόμενη σε ατμοσφαιρικές/ ραδιομετρικές ατασθαλίες, ή σε κακή γεωμετρική συνεγγραφή (misregistration), όσο και, σε κάποιον βαθμό, συνεπικουρεί στην σκιαγράφηση μεταβολών ενδιαφέροντος.

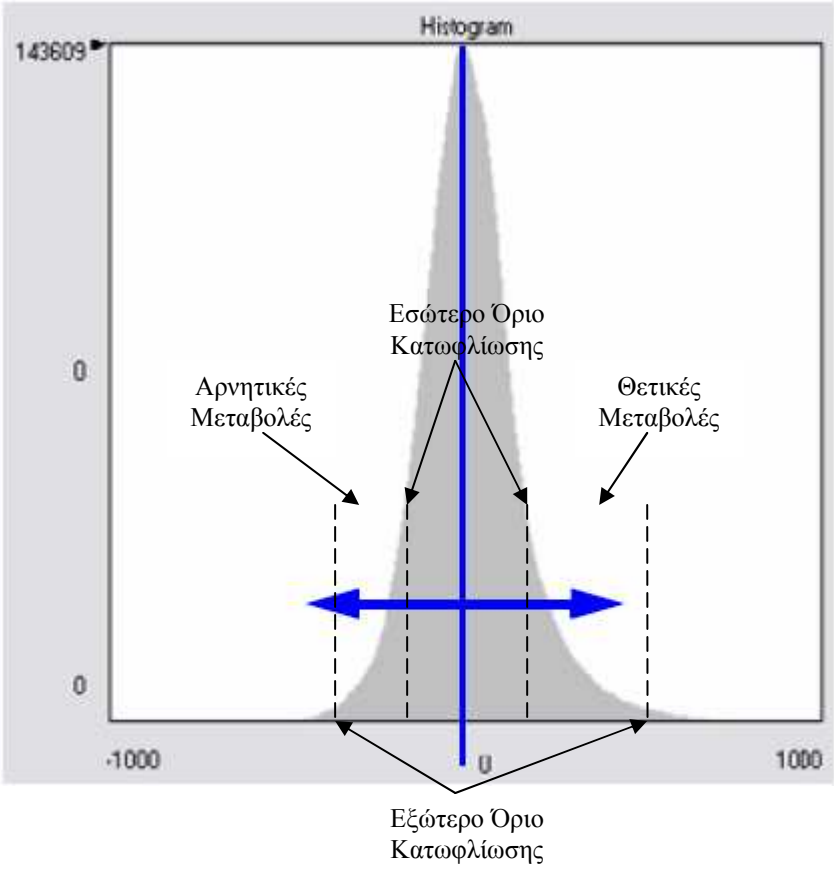
Κατευθυντήριες Γραμμές Χρήσης Αλγορίθμων και Φίλτρων

Ως γενική στρατηγική προτάσσεται η χωριστή υλοποίηση του κάθε ενός διακριτού αλγόριθμου, όπου, ύστερα από διαδοχικές επιλογές σε περαιτέρω παραμέτρους, επιχειρείται η ανάδειξη του βέλτιστου, για κάθε γενική κατηγορία αποτελέσματος, εκτός και αν η ανάδειξη των αλλαγών που αναζητούνται συντελείται μέσα από γνωστές και προκαθορισμένες «ρουτίνες», αναφορικά τόσο με τους χρησιμοποιούμενους αλγόριθμους, όσο και με παρεπόμενες ενέργειες διήθησης της πληροφορίας μεταβολής. Συγκεκριμένα, για κάθε τέτοιον αλγόριθμο (ο οποίος διαμορφώνει μια γενική κατηγορία), η εφαρμογή θα διεκπεραιώνεται στη βάση επιμέρους επιλογών. Σε αρχική φάση, στην προσπάθεια να εντοπιστούν μόνο οι σημαντικές αλλαγές, για κάθε τέτοιον αλγόριθμο παρέχεται η δυνατότητα κατωφλίωσης, εξαιρετικά κρίσιμη παράμετρος για την ποσότητα της πληροφορίας μεταβολής η οποία «παραμένει» στην παραγόμενη εικόνα μεταβολής. Προκειμένου να μην «απαλειφθεί» πληροφορία υπαρκτών αλλαγών, προκρίνεται η «επιβολή» πολύ χαμηλών κατωφλιών, ενώ παράλληλα αντενδείκνυται η εξ' αρχής χρήση *φασματικών* ή *χωρικών φίλτρών* (*spectral or spatial filtering*), καθώς και *φίλτρων τύπων υλικών* (*material filtering*). Αντ' αυτής (της χρήσης), προάγεται η πιο επιλεκτική κατωφλίωση, μέσω της αξιοποίησης των *διαδραστικών κατωφλιώσεων* (*interactive thresholds*). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι πρώτα επιτελούνται διαδοχικές δοκιμές στην κατωφλίωση και έπειτα γίνεται η μετάβαση προς περαιτέρω χρήση φίλτρων.

Στο εν λόγω λογισμικό λοιπόν, κατά το στάδιο της δοκιμής κατωφλιών, η πληροφορία μεταβολής αναπαρίσταται από ένα ιστόγραμμα κανονικής κατανομής. Τα στοιχεία (αυτής της πληροφορίας) κατανέμονται σε μια τέτοια «Γκαουσσιανή καμπύλη», με τα κεντρικά τμήματα να αντιστοιχούν στις πρακτικά αμετάβλητες εμφανίσεις (εικονοστοιχείων) – δεδομένου ότι κατά το μείζον, το τοπίο παραμένει αμετάβλητο – και τις «ουρές» να αντιστοιχούν στις αρνητικές και θετικές μεταβολές. Η καθιέρωση κατωφλιών, τόσο αριστερόθεν, όσο και δεξιόθεν της κεντρικής τιμής, μπορεί να εξαρτηθεί από έναν αριθμό τυπικών αποκλίσεων, αλλά και από άλλες, «αυθαίρετες ποσότητες», ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες των εικόνων που συναξιοποιούνται, κάτι που άλλωστε υποστηρίζει την μη ισόποση μεταβολή των ορίων των αρνητικών και θετικών μεταβολών. Κατά την επιλογή διαδραστικής κατωφλίωσης, εμφανίζεται ένα «παράθυρο» με την προγενέστερη εικόνα, επί της οποίας ενημερώνεται συνεχώς η πληροφορία μεταβολής και ένα «παράθυρο» με το ιστόγραμμα, επί του οποίου επιβάλλονται τα κατώφλια. Η εξαιρετικής σημασίας αξία

της διαδραστικής κατωφλίωσης έγκειται στο γεγονός της δυνατότητας συνεχούς ενημέρωσης της μεταβαλλόμενης πληροφορίας μεταβολής, ως αποτέλεσμα της – κατά βούληση – αυξομείωσης των ορίων αρνητικής ή θετικής μεταβολής, με ταυτόχρονη δυνατότητα άμεσης εποπτείας της εκάστοτε εξαγόμενης πληροφορίας η οποία επιτρέπεται να διέλθει από τα κατώφλια, απεικονιζόμενη με κυανή απόχρωση για της αρνητικές μεταβολές και με κίτρινη για της θετικές[71], έχοντας ως «υπόβαθρο» την προγενέστερη εικόνα. Κατά συνέπεια, ο ερευνητής ή ο αναλυτής της εικόνας, είναι σε θέση, ύστερα από διαδοχικές δοκιμές – τεκμηριώνοντας τις επιλογές του από την οπτική ερμηνεία της υποκείμενης εικόνας – να καταλήξει στο πιο κατάλληλο επίπεδο κατωφλίωσης εκατέρωθεν (της κεντρικής τιμής), δίχως να απαιτείται το «τρέξιμο» του αλγορίθμου κάθε φορά. Αυτή η δυνατότητα, «καταξιώνει» την διαδικασία της κατωφλίωσης ως κυρίαρχο στοιχείο για την διεξαγωγή της ανίχνευσης μεταβολών μέσω της διαχρονική ανάλυσης, ενώ ταυτόχρονα εξοικονομεί πολύ ωφέλιμο χρόνο, σε σχέση με άλλες μεθόδους οι οποίες απαιτούν την υλοποίηση του αλγορίθμου προκειμένου να οπτικοποιηθούν τα αποτελέσματα της κατωφλίωσης. Σε πολλές δε περιπτώσεις υφίσταται η δυνατότητα να καθοριστεί, εκτός από το «εσώτερο», και το «εξώτερο» όριο. Το εσώτερο όριο αξιοποιείται προκειμένου να διαχωριστούν και απομακρυνθούν εικονοστοιχεία που δεν συνιστούν πραγματική μεταβολή (ασήμαντη μεταβολή), ενώ τα εξώτερα χρησιμοποιούνται – σπάνια – όταν είναι ευκταία η απαλοιφή πολύ έντονων αλλαγών, οι οποίες εντοπίζονται πλησίον των ουρών του ιστογράμματος, σε περιπτώσεις ύπαρξης νεφών, ή σκιών από νεφοκάλυψη. Στο σχήμα 15 παρουσιάζεται το ιστόγραμμα κανονικής κατανομής, καθώς και τα εσώτερα και εξώτερα όρια της κατωφλίωσης των αρνητικών και θετικών μεταβολών.

[71] Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι οι αρνητικές μεταβολές που απεικονίζονται με κυανό, αναπαριστούν μεταβολές εικονοστοιχείων από πιο ανοιχτούς τόνους σε πιο σκούρους, δηλαδή αναφέρονται σε διαχρονική μείωση της τιμής της φωτεινότητας (brightness value). Για τις θετικές (κίτρινο), ισχύει το αντίστροφο.



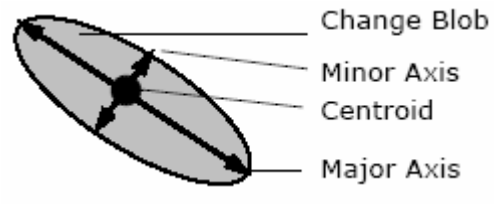
Σχήμα 15: Ιστόγραμμα (συχνοτήτων) εικόνας μεταβολής με τα εσώτερα και εξώτερα όρια κατωφλίωσης θετικής και αρνητικής μεταβολής

Όταν λοιπόν η εξαγόμενη πληροφορία, μέσα από την αξιοποίηση της διακύμανσης των κατωφλιώσεων του αντίστοιχου διαδραστικού παραθύρου, δείχνει να αδυνατεί να αποδώσει τις μεταβολές ενδιαφέροντος, τότε σκόπιμη κρίνεται η απομάκρυνση κάποιων κατηγοριών υλικών ή καλύψεων γης οι οποίες, με βεβαιότητα, δεν αναμένεται να «εμπλακούν» στην εξιχνίαση των αντικειμένων-οντοτήτων-εμφανίσεων που αφορούν στην εν λόγω εφαρμογή, είτε επί της προγενέστερης (πριν), είτε επί της μεταγενέστερης (μετά) εικόνας (είτε και επί των δύο εικόνων). Οι διαθέσιμες επιλογές που ενυπάρχουν στην «καρτέλα» του *material filtering*, αναφέρονται: στην βλάστηση, την μη-βλάστηση και το νερό/ σκιά[72]. Έτσι, λ.χ., σε μια εφαρμογή που αναζητούνται δασικές εκτάσεις οι οποίες αποψιλώθηκαν ύστερα

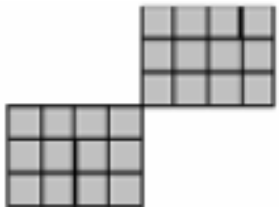
[72] τα δε όριά τους ποικίλλουν ελαφρά, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του δέκτη που χρησιμοποιείται

από μια περίοδο αλόγιστης υλοτόμησης, είτε έπειτα από μια δασική πυρκαγιά, θα μπορούσε κανείς να αποκλείσει τις κατηγορίες νερού/ σκιάς πριν και μετά, καθώς και τις κατηγορίες μη βλάστησης πριν και βλάστης μετά (υπό την παραδοχή ότι στην περιοχή μελέτης δεν σημειώθηκε φυσική αναγέννηση ή δενδροφύτευση κατά το μεσολαβούν διάστημα). Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτός ο τύπος φίλτρου (material filter) χρησιμοποιείται κατά κόρον σε περιπτώσεις που υλοποιείται κάποιος εκ των αλγορίθμων μετασχηματισμού Tasseled Cap, καθ' ότι οι τελευταίοι επενεργούν με γνώμονα τη σχέση του υποβάθρου-σκηνικού της αρχική εικόνας και της εικόνας μεταβολής.

Αν τα αποτελέσματα της παραπάνω «διήθησης», αφήνουν ορισμένα εικονοστοιχεία-κατάλοιπα, τα χωρικά φίλτρα είναι δυνατό να απαλείψουν ορισμένες τέτοιες *συσσωρεύσεις-συσσωματώσεις* (*blobs*) εικονοστοιχείων οι οποίες, είτε είναι περιορισμένου/ διευρυμένου μεγέθους (έκτασης), είτε δεν πληρούν ορισμένα γεωμετρικά κριτήρια (εξαιρετικά επιμήκη/ συμπαγή κ.α.). Η απαλοιφή τους επιτυγχάνεται με τον καθορισμό των διαστάσεων των χωρικών φίλτρων τα οποία εν γένει αναπαρίστανται ως ελλείψεις (Σχ. 16). Οι συνιστώσες που υπεισέρχονται, αφορούν στην έκταση (area), στο μήκος μείζονος-ελάσσονος/ ήσσονος άξονα (minor-major axis), στην επιμήκυνση (elongation), και στο συμπαγές ή το συμπτυγμένο της γεωμετρίας (compactness) των συσσωρεύσεων-συσσωματώσεων εικονοστοιχείων. Σημειωτέον ότι στο εν λόγω λογισμικό, ως μια συσσωμάτωση οντοτήτων θεωρούνται συστάδες εικονοστοιχείων οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους από τουλάχιστον ένα κοινό γείτονα (Σχ. 17). Θα μπορούσε να συναχθεί ως γενική παρατήρηση, πως η χρήση του συνδυασμού των κυρίων αξόνων, αποφέρει εν γένει βελτιστοποιημένα αποτελέσματα, καθώς ο μείζων και ο ελάσσων άξονας «προσαρμόζονται» στην μεγαλύτερη και στην μικρότερη αντίστοιχα διάσταση μιας συσσωμάτωσης αλλαγής, ανεξάρτητα από τον προσανατολισμό της. Σε περιπτώσεις που το σχήμα είναι επακριβώς καθορισμένο, χρησιμοποιείται το κριτήριο της επιμήκυνσης (για ανίχνευση δρόμων ή χειμάρρων) ή του συμπαγούς του σχήματος (για ανίχνευση οχημάτων ή κτιρίων). Όταν δε μοναδικό κριτήριο είναι η έκταση – ανεξαρτήτως διαστάσεων – τότε αξιοποιείται το χωρικό φίλτρο της έκτασης.

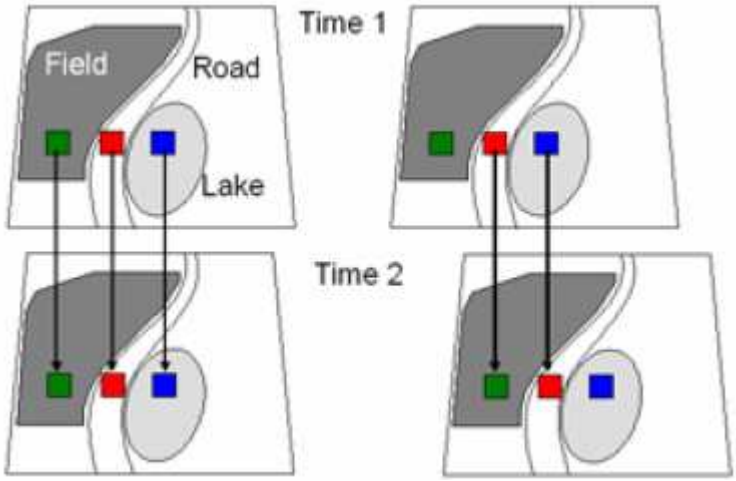


Σχήμα 16: Χωρικό φίλτρο ελλειψοειδούς σχήματος



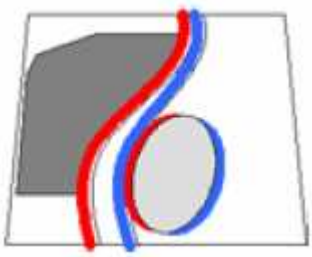
Σχήμα 17: Ενοποιημένες συσσωματώσεις εικονοστοιχείων μέσω ενός κοινού γείτονα

Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να δοθεί έμφαση σε ένα άλλου τύπου χωρικό φίλτρο, που αναφέρεται στην «επίλυση» του δυσμενούς ενδεχομένου «κακής» συνταύτισης (mis-registration). Με την εφαρμογή ενός τέτοιου χωρικού φίλτρου, ζεύγη εικόνων που δεν έχουν συνταιριαστεί/ συνταυτιστεί με ακρίβεια (Σχ. 18), και επομένως παρουσιάζουν μια προβλέψιμη «συμπεριφορά» στις ανωμαλίες της παραγόμενης εικόνας μεταβολής (Σχ. 19), είναι δυνατό να επιδιορθωθούν, μέσα από τον εντοπισμό της σχετικά χαμηλής ποιότητας συν-εγγραφής, μέσα από ένα σχετικό παράθυρο n x n εικονοστοιχείων. Η διαδικασία που επιτελείται μέσα σε αυτό το παράθυρο, σχετίζεται με την ανεύρεση της μετατόπισης ενός εικονοστοιχείου στην εικόνα χρονικής στιγμής T_1, σε σχέση με το ομόλογό του στην εικόνα χρονικής στιγμής T_2. Αυτή η διαδικασία υλοποιείται, όταν στην προγενέστερη εικόνα, εικονοστοιχείο με τιμή Α αντιστοιχίζεται σε εικονοστοιχείο με τιμή Β' στην μεταγενέστερη, ενώ ταυτόχρονα, εντός ενός παραθύρου αναζήτησης (λ.χ. 5 x 5) επί της μεταγενέστερης εντοπίζεται εικονοστοιχείο με τιμή Α', που ταιριάζει με το εικονοστοιχείο με τιμή Α στην προγενέστερη. Αν λοιπόν υφίστανται επί του παραθύρου, τόσο εικονοστοιχεία τιμής Α και Α' που να ταιριάζουν, όσο και αντίστοιχα εικονοστοιχεία τιμής Β και Β', τότε η μεταβολή από το Α στο Β' δεν είναι υπαρκτή, αλλά οφείλεται σε κακή συνταύτιση. Η δε μετατόπιση από το Β' στο Β και από το Α στο Α', έχει το ίδιο μέτρο, αλλά αντίθετη κατεύθυνση (Σχ. 20).

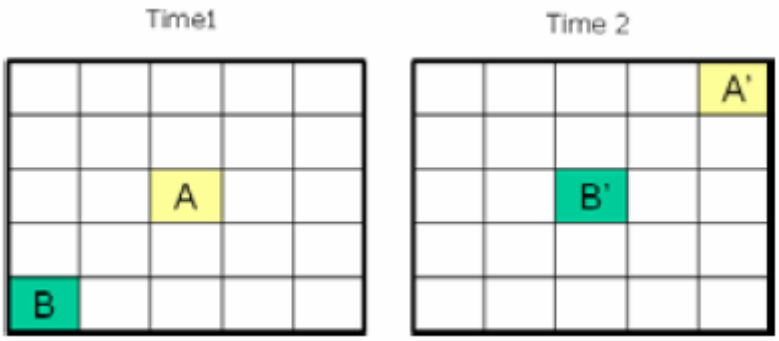


A **B**

Σχήμα 18: Κατάλληλα (A) και ακατάλληλα (B) συνταυτισμένα ζεύγη εικόνων



Σχήμα 19: Αναπαράσταση της επίδρασης της κακής συνταύτισης (mis-registration)



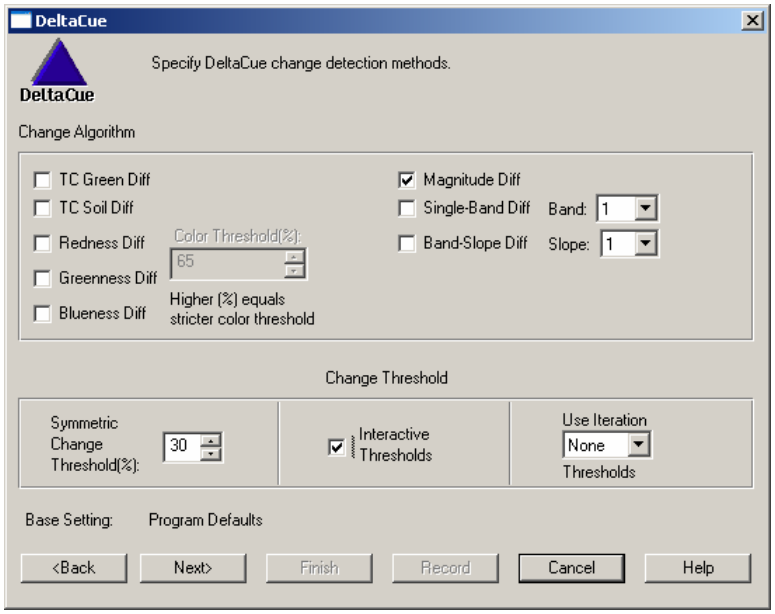
Σχήμα 20: Ανίχνευση της κακής συνταύτισης (mis-registration)

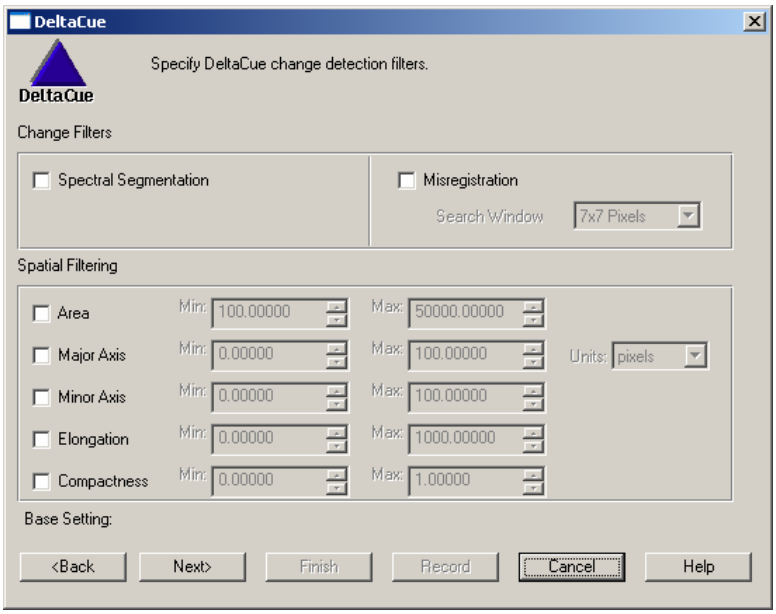
Σε επόμενη φάση, οδεύοντας προς τον εντοπισμό των μεταβολών ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, είναι εφικτή η περαιτέρω «εκλέπτυνση» της πληροφορίας μεταβολών βάσει της φασματικής παραμέτρου (spectral segmentation). Σε περίπτωση που η

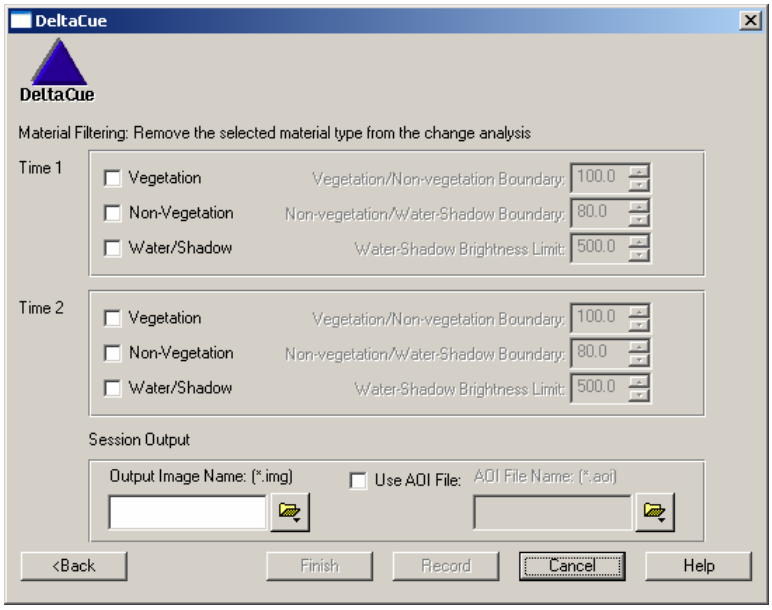
εκμαιευόμενη πληροφορία εμπεριέχει εικονοστοιχεία που δεν θα έπρεπε να έχουν καταχωρηθεί σε ομάδες (ή κατατμήσεις οντοτήτων – segments) όπου ανιχνεύεται μεταβολή, ίσως απαιτείται μια πιο λεπτομερής απομάκρυνση εικονοστοιχείων ή ομάδων εικονοστοιχείων (ή κατατμήσεων οντοτήτων) που «μοιράζονται» ταυτόσημο φασματικό προφίλ μεταβολής, δηλαδή αναπαρίστανται στην σχετική εικόνα με τον ίδια απόχρωση.

Και ενώ ως επί το πλείστο, στην πράξη, η διεξαγωγή του φασματικού φίλτρου, χρησιμοποιούμενη πριν από φίλτρα τύπων υλικών και γεωμετρικά φίλτρα ενδεχομένως να διευκολύνει την διαδικασία και να αποδίδει επιθυμητά αποτελέσματα σύμφωνα με τις βλέψεις του ερευνητή ή του αναλυτή της εικόνας, καθιστώντας πολλές φορές ακόμη και αχρείαστη την επενέργεια παρεπόμενων λοιπών σταδίων διήθησης, ενέχει το ζωτικής σημασίας μειονέκτημα ότι δεν συμβάλλει στην αυτοματοποίηση και την μοντελοποίηση της διαδικασίας. Βεβαίως, οι απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής, καθώς και η ποιότητα και τα χαρακτηριστικά των αρχικών δεδομένων, αλλά και το «απεικονιζόμενο σκηνικό» στις διαχρονικές εικόνες, μπορούν, κατά περίπτωση, να τροποποιήσουν σε κάποιον βαθμό την ακολουθία των προαναφερθέντων ενεργειών.

Προκειμένου να υπάρξει μια συνοπτική εποπτεία της διαδικασίας υλοποίησης μιας τεχνικής επί του DeltaCue παρατίθενται συγκεντρωμένες οι σχετικές «καρτέλες» επιλογών και δη: της επιλογής του αλγορίθμου καθώς των φασματικών και χωρικών φίλτρων, με τη σειρά εμφάνισής τους στη ροή εργασίας του λογισμικού (Σχ. 21). Ας σημειωθεί ότι η καθιέρωση κατωφλιών παρουσιάστηκε σε προηγούμενο σχήμα.


DeltaCue
Specify DeltaCue change detection methods.
DeltaCue
Change Algorithm
TC Green Diff
TC Soil Diff
Redness Diff
Greenness Diff
Blueness Diff
Color Threshold(%):
65
Higher (%) equals stricter color threshold
Magnitude Diff
Single-Band Diff
Band: 1
Band-Slope Diff
Slope: 1
Change Threshold
Symmetric Change Threshold(%):
30
Interactive Thresholds
Use Iteration
None
Thresholds
Base Setting:
Program Defaults
<Back
Next>
Finish
Record
Cancel
Help


DeltaCue
Specify DeltaCue change detection filters.
DeltaCue
Change Filters
Spectral Segmentation
Misregistration
Search Window
7x7 Pixels
Spatial Filtering
Area
Min: 100.00000
Max: 50000.00000
Major Axis
Min: 0.00000
Max: 100.00000
Units: pixels
Minor Axis
Min: 0.00000
Max: 100.00000
Elongation
Min: 0.00000
Max: 1000.00000
Compactness
Min: 0.00000
Max: 1.00000
Base Setting:
<Back
Next>
Finish
Record
Cancel
Help



Σχήμα 21: «Καρτέλες» επιλογών αλγορίθμων, κατωφλιών και λοιπών φίλτρων στην κύρια φάση διεξαγωγής της ανίχνευσης μεταβολών στο add-on module DeltaCue

Υλοποίηση Εναλλακτικών Τεχνικών-Αλγορίθμων

Μεταβαίνοντας από την περιγραφή γενικών κατευθυντήριων αξόνων προς την ορθή και αποτελεσματική διεκπεραίωση μιας μεθόδου-τεχνικής ανίχνευσης μεταβολών διαμέσου του DeltaCue, παρακάτω παρατίθενται πινακοποιημένες οι παράμετροι-επιλογές που προτιμήθηκαν, τόσο όσον αφορά στους χρησιμοποιούμενους αλγόριθμους, όσο και στα λοιπά φίλτρα, στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εφαρμογής ανίχνευσης πλημμυρισμένων εκτάσεων. Η συλλογιστική της διεξαγωγής διαδοχικών ή και μη διαδοχικών επαναληπτικών δοκιμών (iterations) – η αλλιώς «τρεξίματα» (run) – των αλγορίθμων και των φίλτρων, θεμελιώνεται υποστηριζόμενη από κάποια θεωρητική και εμπειρική επιχειρηματολογία, ενώ τα *βέλτιστα* αποτελέσματα κάθε αλγόριθμου, και δη οι *βέλτιστες παραγόμενες εικόνες μεταβολής* απεικονίζονται σε επόμενα. Εξ' άλλου, όλα τα παραγόμενα που προκύπτουν από κάθε επανάληψη, παρατίθενται συγκεντρωμένα στο Παράρτημα ΙΙ.

Πίνακας 6: Συστηματοποιημένη καταχώριση επιλεγμένων αλγορίθμων και άλλων φίλτρων στη βάση επαναληπτικών διαδικασιών ανίχνευσης μεταβολών

Αλγόριθμος (Algorithm)	Διαδραστική Κατωφλίωση (Interactive Thresholding)	Φασματικό Φίλτρο/ Κατάτμηση (Spectral Filtering/ Segment.)	Φίλτρο Κακής Συνταύτισης (Mis-registration Filtering)	Χωρικό Φίλτρο (Spatial Filtering)	Φίλτρο Τύπων Υλικών (Material Filtering)
1* (i)	O (-300, 300)	O	O	O	Κανένα
1 (ii)	N (-500, 430)	O	N (5X5)	O	Κανένα
1 (iii)	N (-440, 500)	N	N (7X7)	O	-//-
1 (iv)	N (-440, 500)	N	N (7X7)	N: Area (min-max) 50-1000 pixels	-//-
1 (v)	N (-500, 520)	N	N (7X7)	N: Area (min-max) 100-5000 pixels	-//-
2**(i)	O (-300, 300)	O	O	O	Κανένα
2 (ii)	N (-500, 450)	O	N (5X5)	O	Κανένα
2 (iii)	N (-500, 450)	O	N (7X7)	O	Time 2: Vegetation (boundary) 100
2 (iv)	-//-	N	N (7X7)	O	-//-
2 (v)	-//-	N	-//-	N: Area (min-max) 70-10000 pixels	-//-
2 (vi)	-//-	O	-//-	N: Area (min-max) 70-10000 pixels	Time 2: Vegetation (boundary) 100 + Time 1 – Time 2:

					Water/ Shadow (boundary) 80-600
3*** (i)	O (-300, 300)	O	O	O	Κανένα
3 (ii)	O (-250, 400)	O	N (7X7)	O	Κανένα
3 (iii)	N (-250, 450)	O	N (7X7)	O	Time 1 – Time 2: Water/ Shadow (boundary) 80-500
3 (iv)	-//-	O	-//-	O	Time 1 – Time 2: Water/ Shadow (boundary) 80-700
3 (v)	-//-	O	-//-	O	Time 1 – Time 2: Water/ Shadow (boundary) 80-600 + Time 2: Vegetation (boundary) 100
3 (vi)	-//-	N	-//-	O	-//-
3 (vii)	-//-	O	-//-	N: Area (min-max) 80-10000 pixels	-//-
3 (viii)	-//-	O	-//-	N: Major Axis (min-max) 10-10000 pix., Minor Axis (min-max) 5-5000 pix.	-//-
3 (ix)	-//-	O	-//-	N: Major	-//-

				Axis (min-max) 20-10000 pix., Minor Axis (min-max) 10-5000 pix.	
3 (x)	-//-	N	-//-	-//-	-//-

* Overall Magnitude Difference

** Tasseled Cap Soil Difference

*** Tasseled Cap Greenness Difference

N: Ναι

O: Όχι

(i), (ii)… : αύξων αριθμός επανάληψης (iteration)

Παρακάτω επιτελείται μια συνοπτική περιγραφή των επιλεγμένων φίλτρων και παραμέτρων που αξιοποιήθηκαν, προκειμένου να ερμηνευθεί η λογική στη βάση της οποίας ενσωματώθηκαν αυτές οι επιλογές – των οποίων τα «ποσοτικοποιημένα κριτήρια» παρουσιάζονται στον προηγούμενο πίνακα – ώστε να διεκπεραιωθούν οι διαδικασίες των τριών ευρύτερων κατηγοριών-αλγορίθμων:

1. ***Overall Magnitude Difference***. Για πρώτη φορά, και υπό την αναδίφηση στις υποδείξεις του εγχειριδίου χρήσης του λογισμικού, εφαρμόζεται ο πιο «γενικευμένης ισχύος» αλγόριθμος overall magnitude difference με επίπεδο κατωφλίωσης το προεπιλεγμένο (-300, 300) (i). Η εξέταση των αποτελεσμάτων επιβάλλει μια λιγότερο ανεκτική κατωφλίωση, καθ' ότι η προεπιλεγμένη, επέτρεπε την διέλευση πληθώρας πληροφοριών μεταβολής – για τις ιδιότητες αυτού του αλγορίθμου (ii). Εν συνεχεία, εντάσσοντας στη ροή και λοιπά φίλτρα, όπως το φασματικό, γίνεται η προσπάθεια να απομακρυνθούν ομοειδείς κλάσεις μεταβολής, χωρίς τα επιθυμητά αποτελέσματα, δεδομένου ότι παρέμεναν πολλά διάσπαρτα εικονοστοιχεία ή μικρές ομάδες αυτών, δίχως να αποτελούν την πληροφορία ενδιαφέροντος (iii). Η δυσκολία αυτή ξεπερνιέται με την προσφυγή σε ένα χωρικό φίλτρο, αναφερόμενο στην μέγιστη και ελάχιστη *έκταση* συσσωματώσεων (iv), το

οποίο σε επόμενη φάση μεταβάλλεται, ελαφρώς, ενώ πλαισιώνεται από ένα λίγο πιο «απαιτητικό» κατώφλι, με την ταυτόχρονη διενέργεια της φασματικής κατάτμησης, όπως στο παραπάνω, με αποτέλεσμα την δημιουργία μιας εικόνας μεταβολών που δυνητικά προσεγγίζει την πραγματικότητα (v). Ας σημειωθεί πως από την δεύτερη επαναληπτική διαδικασία και έπειτα, η διόρθωση τυχόν «δυσ-συνταυτισμένων» εικονοστοιχείων, μέσα από το αντίστοιχο φίλτρο, είναι παρούσα, αρχικά εντός ενός παραθύρου 5Χ5, και αργότερα εντός ενός παραθύρου 7Χ7, ενώ θα είναι παρούσα και σε όλα τα στάδια των άλλων δυο κατηγοριών (εκτός του πρώτου τους).

2. ***Tasseled Cap Soil Difference***. Καθ' ότι οι μεταβολές που έχρηζαν αναγνώρισης, αναφέρονταν – εν μέρει τουλάχιστον – στην αποτύπωση διαφοροποίησης της φωτεινότητας του εδάφους, κρίθηκε πως ένας τέτοιος αλγόριθμος θα διακρινόταν από βελτιωμένη προσαρμοστικότητα για τις σχετικές απαιτήσεις της εφαρμογής. Ξεκινώντας λοιπόν με την αμιγή χρησιμοποίηση του αλγορίθμου, υπό την επενέργεια των προεπιλεγμένων κατωφλιών, καταστώντας έτσι αυτήν την πρώτη εφαρμογή ως κριτήριο βάσης, συνάγεται ότι η παραγόμενη εικόνα απέχει από τα προσδοκώμενα (i). Σε μια δεύτερη δοκιμή, κρίνεται σκόπιμο να μειωθεί η διερχόμενη πληροφορία απλώς με την επιβολή υψηλότερων (σε απόλυτο μέγεθος) κατωφλιών (ii). Θα πρέπει δε να επισημανθεί ότι για παραπλήσιες τιμές κατωφλίωσης με του προηγούμενου αλγορίθμου, αυτός (ο αλγόριθμος) αναδεικνύει καλύτερα τις αναμενόμενες μεταβολές. Πάντως, από εδώ και έπειτα, η πορεία των επαναλήψεων λαμβάνει διαφορετική τροπή, καθώς αποζητάται ένας διαφορετικός τρόπος να απαλειφθεί η αχρείαστη πληροφορία μεταβολής. Έτσι, προκρίνεται η χρήση των φίλτρων τύπων υλικών. Υπό την παραδοχή ότι η απομάκρυνση μεταβολών στη κάλυψη γης που αφορούν στην βλάστηση επί της εικόνας της μεταγενέστερης χρονικής στιγμής (T2), δεν αναμένεται να απαλείψουν χρήσιμη πληροφορία μεταβολής, επιβάλλεται το αντίστοιχο φίλτρο. Επεξηγηματικά, στην παρούσα εφαρμογή, η κατάκλυση των εκτάσεων πέριξ της κοίτης του ποταμού, δεν φαίνεται να ευνοεί την ανάπτυξη βλάστησης, τουλάχιστον κατά το μεσολαβούν χρονικό διάστημα λήψης των δύο εικόνων· κάθε άλλο μάλλον. Επομένως, η επιλογή «αποκλεισμού» διέλευσης της πληροφορίας μεταβολής της βλάστησης στην

εξαγόμενη εικόνα έχει νόημα, καθώς και ενθαρρυντικά αποτελέσματα (iii). Παρ' όλα αυτά, λόγω της παρουσίας ασύμβατης πληροφορίας αλλαγών, κρίνεται σκόπιμη η απόρριψη κάποιων ομοειδών (φασματικά) εικονοστοιχείων, στη βάση της φασματικής κατάτμησης (iv), ενώ έπειτα η πληροφορία μεταβολής «ραφινάρεται» από ένα χωρικό φίλτρο που αναφέρεται στην ελάχιστη-μέγιστη επιφάνεια των συσσωματωμένων εικονοστοιχείων, με αρκετά βελτιωμένα αποτελέσματα (v). Σε αυτό το σημείο, το γεγονός της διαφορικής ύπαρξης σκιασμένου αναγλύφου και νερού στη δεύτερη εικόνα, έναντι της πρώτης, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι (αυτές οι κατηγορίες επιφανειακών εμφανίσεων, και η συνυφαινόμενη εξαγόμενη πληροφορία μεταβολής) ευθύνονται πρόδηλα για μεγάλο ποσοστό ύπαρξης θορύβου στην παραγόμενη πληροφορία, θέτει υπό επανεξέταση τον τρόπο αξιοποίησης του φίλτρου τύπων υλικών. Ανακύπτει, συνεπώς, εξ' αυτού ο συλλογισμός περί του αν ο αποκλεισμός σκιάς/ νερού από τις κατηγορίες υλικών και των δύο εικόνων (χρονικών στιγμών T1 και T2) θα επέφερε την δέουσα εικόνα μεταβολών, υπό την ταυτόχρονη συνέχιση της επενέργειας του σχετικού φίλτρου της απαλοιφής της βλάστησης (μετά). Η δοκιμαστική υλοποίηση αυτού του «ηθμού», σε συνδυασμό με την εφαρμογή του παραπάνω χωρικού φίλτρου, δικαιώνουν μια τέτοια επιλογή, εφόσον, ακόμη και άνευ της διενέργειας φασματικής κατάτμησης, τα παραγόμενα εμπίπτουν με σχετική ασφάλεια στο φάσμα του επιθυμητού (vi).

3. ***Tasseled Cap Greenness Difference***. Από την πρώτη επαναληπτική διαδικασία, όπου η υλοποίηση αυτού του αλγορίθμου συντελείται άνευ της επικουρικής χρήσης φίλτρων, και υπό την επενέργεια των προεπιλεγμένων κατωφλιών, φανερώνεται με ενάργεια η εγγενής δυνατότητά του να ανιχνεύει τις μεταβολές ενδιαφέροντος (i). Και αυτό διότι εκατέρωθεν της κοίτης του Γεροποτάμου, η παρουσία φυσικής βλάστησης ή καλλιεργειών είναι έντονη, ενώ παράλληλα, έπειτα από την εκδήλωση του πλημμυρικού φαινομένου, οι εκτάσεις που προηγουμένως (στην εικόνα του Ιανουαρίου) καλύπτονταν από βλάστηση, έχουν καταληφθεί από αποθέσεις ιζημάτων, δημιουργώντας ένα «στρώμα» διαταραγμένου εδάφους. Είναι λοιπόν τόσο ισχυρή η επίδρασή του, ώστε απαιτείται μια πιο ανεκτική κατωφλίωση, τουλάχιστον στο κατώτερο όριο, προκειμένου να διέλθει μεγαλύτερο ποσοστό πληροφορίας αλλαγών (ii).

Η τροποποίηση των κατωφλιώσεων, συμπληρώνεται από την – δοκιμασμένη πλέον – διήθηση των κατηγοριών τύπων υλικών σκιάς/ νερού (πριν και μετά) (iii, iv) σε συνδυασμό με την κατηγορία της βλάστησης (μετά) (v). Καθώς συνεχίζουν να υφίστανται ορισμένες ομάδες κοινής φασματικής μεταβολής που δεν χρειάζονται, επιχειρείται η αποκοπή τους διαμέσου της φασματικής κατάτμησης (vi). Η ανεπάρκεια των προηγούμενων φίλτρων να παρεμποδίσουν την ανάκυψη ανεπιθύμητης πληροφορίας, φέρνει στο προσκήνιο την ανάγκη για διαχωρισμό βάσει της χωρικής-γεωμετρικής υπόστασης· έτσι, η διήθηση της πληροφορίας μεταβολών συντελείται κατ' αρχήν μέσω του καθορισμού της έκτασης (vii), και έπειτα μέσω του συγκερασμού της επενέργειας των φίλτρων μείζονος και ήσσονος άξονα (viii, ix). Από τις παραπάνω δοκιμές γίνεται αντιληπτό ότι η απαλοιφή συσσωματώσεων εικονοστοιχείων ανάλογα με τα μήκη μεγάλου και μικρού άξονα, προσδιορίζουν με μεγαλύτερη σαφήνεια το αντίστοιχο χωρικό-γεωμετρικό κριτήριο, και μπορούν να απευθυνθούν στο σύνολο των ομαδοποιημένων εικονοστοιχείων μεταβολής, σε αντίθεση με τον καθορισμό της έκτασης, η οποία δεν εξετάζει την γεωμετρική διάταξη στον χώρο. Η δε χρήση της επιμήκυνσης ή του γεωμετρικού «συμπαγούς», ενώ σε περιπτώσεις που αναζητάται η ανίχνευση μεταβολών σε οντότητες που εξ' ορισμού κατατείνουν σε τέτοιες μορφές (λ.χ. οχήματα ή οικοδομές ή, από την άλλη δρόμοι ή ποτάμια ρέματα) μπορεί να συνδράμει αποφασιστικά, στην εν λόγω περίπτωση δεν ωφελεί συνολικά η προσφυγή σε ένα τέτοιο κριτήριο καθώς οι παραγόμενες συσσωματώσεις της πληροφορίας μεταβολής αναπαριστούν αλληλοαντικρουόμενες τέτοιες τυπικές μορφές (λ.χ. σε έγκοιλα μαιάνδρων οι εξαγόμενες οντότητες είναι πιο «τετράγωνες», ενώ σε άλλες παρόχθιες θέσεις πιο επιμήκεις). Εφόσον απομακρύνθηκαν απομονωμένες ομάδες εικονοστοιχείων υπό την επιλογή του παραπάνω χωρικού φίλτρου, μια επιπλέον φασματική κατάτμηση επιφέρει τα πλέον ικανοποιητικά αποτελέσματα (x).

Από την διαδικασία αποκλείστηκαν οι τρεις λοιποί αλγόριθμοι για διάφορους λόγους. Έτσι, ο Primary Color Differencing, είναι εκ προοιμίου γνωστό ότι εξυπηρετεί στον εντοπισμό ανθρωποποίητων στοιχείων και εμφανίσεων στα οποία

επικρατεί κάποιο από τα τρία κύρια χρώματα. Από την άλλη, ο αλγόριθμος της Single Band Differencing θα ήταν πιο ωφέλιμος αν η αναζήτηση της ανίχνευσης εναπόκειτο στην ανίχνευση πιο συγκεκριμένων/ διακριτών κατηγοριών (βλάστηση, νερό, δομημένες εκτάσεις, γυμνά εδάφη κ.α.) χρησιμοποιώντας ως εισροή ένα κανάλι, είτε ένα λόγο φασματικών καναλιών στις εικόνες πολλαπλών χρονικών στιγμών. Κάτι αντίστοιχο ισχύει και για τον Band Slope Differencing.

(Ενδιάμεσα) Προϊόντα και Προεκτίμηση της Αξιοπιστίας τους

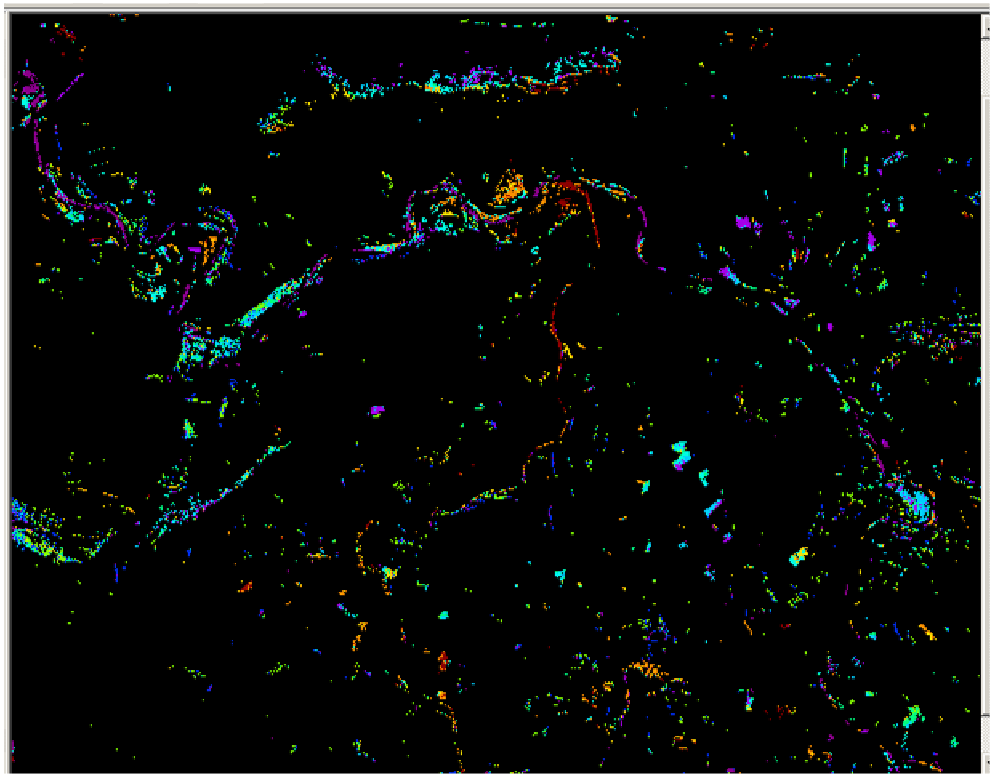
Προτού αξιολογηθούν σε ένα προκαταρκτικό στάδιο (προεκτίμηση) τα βέλτιστα παραγόμενα από κάθε μια από τις τρεις χρησιμοποιηθείσες τεχνικές, και καταξιωθούν τα (τρία) πιο κατάλληλα παραγόμενα, θα πρέπει να προηγηθεί ένας γενικότερος σχολιασμός της διαδικασίας ανίχνευσης μεταβολών διαμέσου του εν λόγω λογισμικού. Έτσι, κρίνεται αναγκαίο να σημειωθεί το γεγονός ότι η διεκπεραίωση αλλεπάλληλων επαναλήψεων, προκειμένου να προκύψει η παραγωγή της βέλτιστης – για κάθε χρησιμοποιούμενο αλγόριθμο – εικόνας, αποτέλεσε ένα πόνημα ταυτόχρονα επίπονο, επώδυνο και χρονοβόρο, που μολαταύτα ενέχει στοιχεία ευελιξίας και διαδραστικότητας, εφόσον επιτρέπει την «παρέμβαση» του ερευνητή-αναλυτή. Οι παραπάνω χαρακτηρισμοί απορρέουν από «πορισμένη» εμπειρία, όπου, σε μια προσπάθεια να επιτευχθεί ο κατάλληλος (από τους πολλούς – πρακτικά άπειρους) συνδυασμούς κατωφλιώσεων και φίλτρων (φασματικών και χωρικών), απαιτήθηκαν πολλές δοκιμές και πολύς χρόνος επεξεργασίας και εξαγωγής επιμέρους αποτελεσμάτων για κάθε επανάληψη, συγκεραίνοντας και επιστρατεύοντας υποκειμενικές δεξιότητες σχετιζόμενες με την προσωπική διαίσθηση/ ενορατικότητα. Τελικά μέσα από τις συνεχείς δοκιμές κατωφλιών και την απόρριψη ή και αποδοχή φίλτρων, συγκρίνοντας κάθε φορά τα νεοσύστατα προϊόντα με τα υφιστάμενα, προκύπτει τελικά ένα αρχείο-εικόνα μεταβολής που παρουσιάζει τα βέλτιστα αποτελέσματα για κάθε αλγόριθμο ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών.

Η δυνατότητα της διαδραστικής κατωφλίωσης επέχει ζωτικής σημασίας θέση, καθώς άνευ αυτής, ο απαιτητός χρόνος θα διευρυνόταν τα μάλα (υπέρμετρα). Έπειτα από την επιλογή του πλέον κατάλληλου αλγορίθμου και κατωφλίωσης όμως, αυτή η εκλέπτυνση της πληροφορίας εξαγωγής μέσα από τα φίλτρα οφείλει να διαδραματίζει επικουρικό μονάχα ρόλο, απαλείφοντας μεταβολές οι οποίες αναμένονταν να είναι

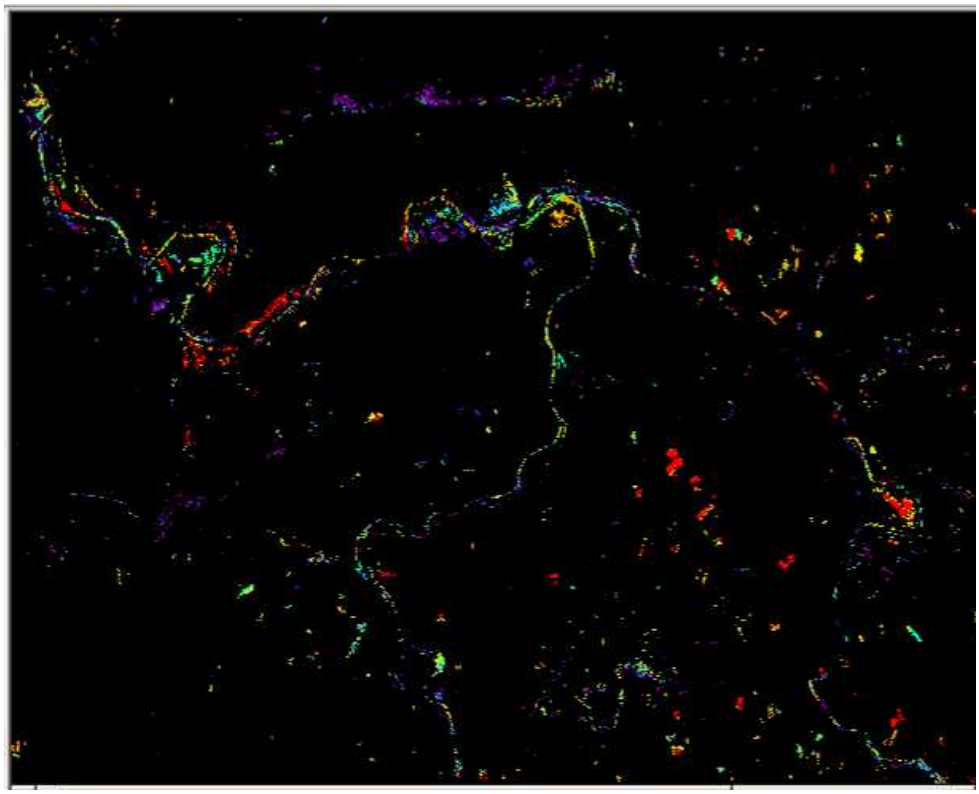
παρούσες, αλλά δεν αφορούν στην συγκεκριμένη εφαρμογή. Εν γένει πάντως, η υπέρμετρη χρήση των φίλτρων – ακόμη και η πολύ λίγο ανεκτική κατωφλίωση – θα πρέπει να θεωρηθεί πως *τρόπον τινά* «κατευθύνει» την εκάστοτε ερευνητική προσπάθεια. Επομένως, μπορεί να συναχθεί ότι όσο λειτουργεί ο αλγόριθμος, υπό χαμηλές θετικές και αρνητικές κατωφλιώσεις και με τη βοήθεια φίλτρων που στοχεύουν στην απομάκρυνση πληροφορίας-θορύβου, τόσο πιο αξιόπιστο είναι ένα αποτέλεσμα, ανεξάρτητα από την εφαρμογή.

Όσο δε αφορά στις τρεις βέλτιστες παραγόμενες εικόνες μεταβολής που προέκυψαν στη βάση των τριών διαφορετικών τεχνικών (Σχ. 22), η πρώτη φαίνεται να μην πληροί αυτό το κριτήριο. Επιπλέον, συνυπολογίζοντας το γεγονός ότι ακόμη και υπό αυτήν την υψηλή κατωφλίωση και την έντονη παρουσία φίλτρων δεν αποδίδει παραγόμενα στο πλαίσιο του αποδεκτού, σημαίνει πως μάλλον δεν συνιστά κατάλληλο αλγόριθμο για την εν λόγω εφαρμογή. Έτσι, σε μια προκαταρκτική αξιολόγηση των προϊόντων της τεχνικής ανίχνευσης μεταβολών μέσα από το λογισμικό DeltaCue για την εν λόγω περιοχή, προκύπτει συνοπτικά, ότι:

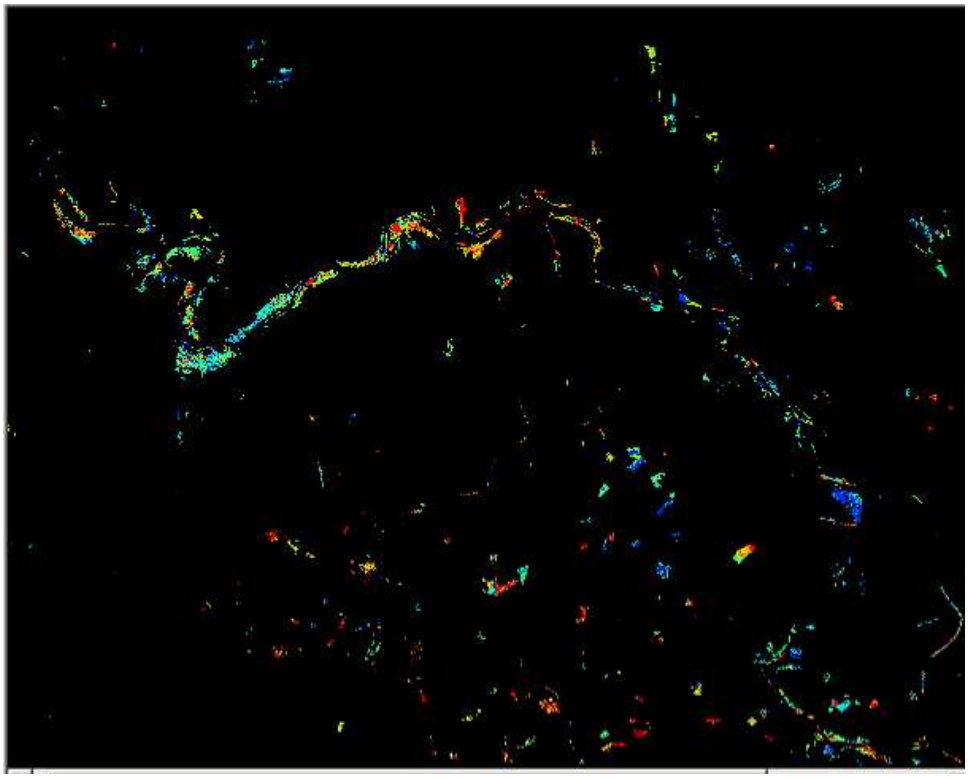
- η βέλτιστη εικόνα μεταβολής που προκύπτει από την υλοποίηση του πρώτου αλγορίθμου, δεν κρίνεται ικανοποιητική τόσο ως προς τα αποτελέσματα που εξάγει, καθώς και ως προς το γεγονός της επιβολής σχετικά υψηλών επιπέδων κατωφλίωσης, και την εκτεταμένη χρήση της φασματικής κατάτμησης
- οι εικόνες, αντίθετα, που ανακύπτουν από την διεξαγωγή των αλγορίθμων μετασχηματισμού Tasseled Cap, εικάζεται ότι εμφορούνται από την απαιτούμενη πληροφορία μεταβολής, εφόσον τα εικονοστοιχεία εντοπίζονται κυρίως πέριξ της κοίτης του ποταμού, ενώ η παραγωγή των εικόνων έχει διεξαχθεί υπό την επενέργεια σχετικά χαμηλών κατωφλιών και χρήσης φίλτρων τύπων υλικών προκειμένου να αφαιρεθεί κυρίως πληροφορία-θόρυβος



Α



Β



Γ

Σχήμα 22: Βέλτιστες παραγόμενες εικόνες μεταβολής από την διενέργεια των αλγορίθμων overall magnitude difference (A), tasseled cap soil difference (B) και tasseled cap greenness difference (Γ)

Σε αυτό το σημείο, ανατρέχοντας σε προαναφερθείσα επιχειρηματολογία, αξίζει να γίνει μνεία στο ενδεχόμενο της παράλληλης αξιοποίησης των αποτελεσμάτων των δύο αλγορίθμων-τεχνικών μετασχηματισμού TC, μια επιλογή η οποία δεν είχε εξ' αρχής προμελετηθεί.

4.2.3.4 Ενσωμάτωση ΓΣΠ

Εφόσον στα παραπάνω παρήχθησαν εικόνες που εμπεριέχουν, μεταξύ άλλων, τις μεταβολές που αφορούν σε παρόχθιες εκτάσεις οι οποίες είναι πολύ πιθανό να είχαν κατακλυστεί κατά το πλημμυρικό επεισόδιο του Φεβρουαρίου του 2007, είναι καιρός να επιτελεστεί η κατάλληλη διαχείρισή τους – ως ψηφιακά δεδομένα – μέσω αναλυτικών και άλλων διαδικασιών εντός ενός ΓΣΠ, προκειμένου, αφ' ενός μεν να «εγκιβωτιστεί» η πληροφορία μεταβολής εντός μιας καθορισμένης ζώνης εκατέρωθεν της κεντρικής κοίτης του Γεροποτάμου, αφ' ετέρου δε να οπτικοποιηθούν οι

υποτιθέμενες πλημμυρισμένες εκτάσεις, να υπολογιστούν τα εμβαδά τους, και, αφού διενεργηθεί μια αξιολόγηση της ποιότητας των σχετικών αποτελεσμάτων να και χαρτογραφηθούν οι σχετικές περιοχές. Με τη συμπλήρωση της περιγραφής της γενικής μεθοδολογίας και των επιμέρους τεχνικών, διαδικασιών και λειτουργιών, και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, καθίσταται δυνατή η ανάδειξη των δυνατοτήτων των τεχνολογιών της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ στην χαρτογράφηση εκτάσεων που είχαν κατακλυστεί κατά την υπερχείλιση της κεντρικής κοίτης του Γεροποτάμου, τον Φεβρουάριο του 2007. Στο δε πλαίσιο περαιτέρω ερευνητικής προσπάθειας και ανάπτυξης εφαρμογών για τον ευρύτερο μετριασμό της διακινδύνευσης, πρόκειται να γίνει μνεία περί του πως ο εντοπισμός κατακλυσμένων εκτάσεων, θα μπορούσε να αποβεί σε έναν χάρτη αποτίμησης και απολογισμού επιπτώσεων, σε χάρτη κινδύνου/ επικινδυνότητας, αλλά και διακινδύνευσης.

Έπειτα λοιπόν από την εκμαίευση των αποτελεσμάτων, και την απόρριψη της βέλτιστης εικόνας που προκύπτει από την αξιοποίηση του αλγόριθμου overall magnitude difference, απομένουν οι δύο τελικά επιλεγμένες εικόνες μεταβολής που παρήχθησαν μέσα από τους αλγόριθμους TC Soil Difference και TC Greenness Difference. Οι τελευταίες, παρά την εγγενή τους αξία, προκειμένου να μεγιστοποιήσουν την χρηστικότητά τους, καταχωρήθηκαν ως ψηφιακές εισροές – ψηφιδωτού τύπου θεματικά αρχεία – σε ένα ΓΣΠ.

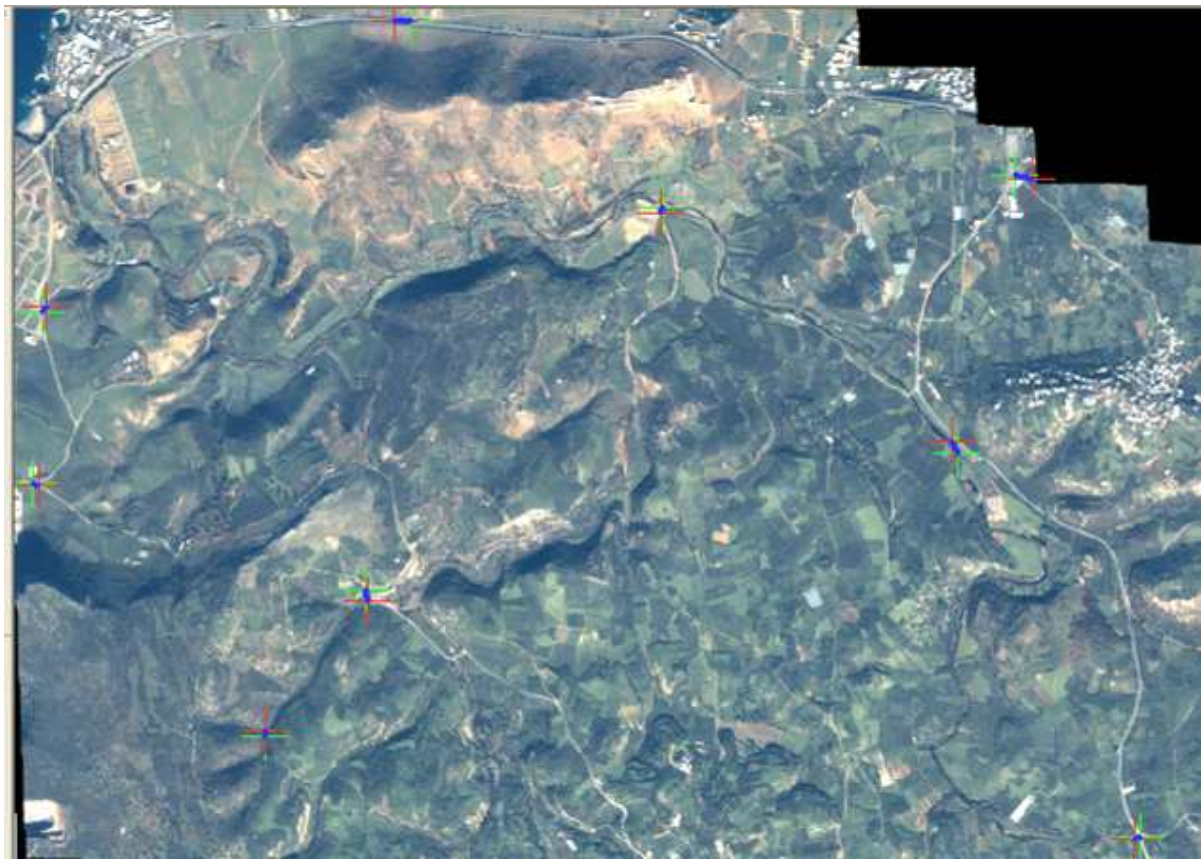
Προτού όμως εισαχθούν σε περιβάλλον ΓΣΠ οι εικόνες μεταβολής, απαραίτητη κρίθηκε η εισαγωγή και γεωαναφορά των δύο αρχικών εικόνων. Και αυτό για διάφορους λόγους: Από τη μία, κρίθηκε σκόπιμη η παραγωγή ενός νέου διανυσματικού αρχείου (shapefile) προκειμένου να αναπαρασταθεί η γραμμική οντότητα (polyline) του κύριου ποτάμιου κλάδου του Γεροποτάμου, καθώς παρατηρήθηκε πως η γεωμετρία του στον χάρτη της Γ.Υ.Σ. παρουσίαζε παρεκκλίσεις από την πιο πρόσφατη, και επομένως πιο αξιόπιστη αναπαράστασή του στις δορυφορικές εικόνες. Από την άλλη, η μοναδική πρόσφορη οδός ώστε να γεωαναφερθούν οι εικόνες μεταβολής εναπόκειτο στην γεωαναφορά των αρχικών εικόνων ως προς τον – ήδη αγκιστρωμένο – χάρτη, και την εκ νέου αγκίστρωση των επεξεργασμένων εικόνων επί των γεωαναφερμένων αρχικών (εικόνων). Επιπροσθέτως, εισάγοντας και αγκιστρώνοντας τις αρχικές εικόνες στο ArcMap, καθίσταται εφικτή μια προσεγγιστική ψηφιοποίηση εκτάσεων που εικάζονται ότι

είχαν κατακλυστεί, με σκοπό την σύγκρισή τους με τα παραχθέντα προϊόντα της αυτοματοποιημένης διαδικασίας της ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών μέσω του DeltaCue· αυτή η χειρονακτική διεργασία οριοθέτησης των περιοχών κατάκλυσης δυνητικά αποτελεί μέτρο αξιολόγησης της ποιότητας των εξαγόμενων αποτελεσμάτων.

Η γεωαναφορά των δορυφορικών εικόνων της υπό εξέταση περιοχής αποτέλεσε ένα διάβημα το οποίο αξίωσε μεγαλύτερη προσπάθεια, αφού έπρεπε να καταδειχτούν περισσότερα σημεία ελέγχου σε όλο το εύρος της εικόνας, αλλά και να ευρεθούν στις πλέον κατάλληλες θέσεις, ώστε να εντοπίζονται ευδιάκριτα τόσο στην εικόνα, όσο και στον τοπογραφικό χάρτη. Τελικά, επιλέχθηκαν 9 σημεία σε διασταυρώσεις δρόμων και στη συμβολή ποτάμιων κλάδων (Σχ. 23). Εφόσον επιτεύχθηκε η αγκίστρωση με ικανοποιητική ακρίβεια, αποθηκεύτηκε ο πίνακας της σύνδεσης (link table) των συντεταγμένων εικόνων σε συντεταγμένες του ΕΓΣΑ 87, σε αρχείο τύπου .txt. Ας σημειωθεί ότι η αγκίστρωση εφαρμόστηκε στην εικόνα του Ιανουαρίου. Το ίδιο βοηθητικό αρχείο όμως χρησιμεύει και για την αγκίστρωση της εικόνας του Μαρτίου. Επί δε της αγκιστρωμένης εικόνας του Ιανουαρίου, ψηφιοποιήθηκε ο κύριος ποτάμιος κλάδος, αφού πρώτα δημιουργήθηκε ένα νέο shapefile στο περιβάλλον του υποπρογράμματος του ArcGIS, ArcCatalog, το οποίο «φιλοξένησε» την σχετική γραμμική οντότητα.

Έπειτα, εισάγονται οι εικόνες μεταβολής μια προς μία. Ο τρόπος αγκίστρωσης τους προσομοιάζει με τον αντίστοιχο διαμέσου του οποίου συντελέστηκε η γεωαναφορά του σαρωμένου χάρτη: στις τέσσερις γωνίες των εικόνων μεταβολής καταδείχθηκαν σημεία ελέγχου, και ύστερα συνδέθηκαν (ένα προς ένα) με τα αντίστοιχα σημεία που εντοπίζονται στις τέσσερις γωνίες των αρχικών, γεωαναφερμένων πια εικόνων· και αυτό διότι οι εικόνες μεταβολής, ως προϊόντα επεξεργασίας των αρχικών διέπονται από τις ίδια γεωμετρία, έχουν δηλαδή ταυτόσημες διαστάσεις. Στη συνέχεια μετατρέπονται σε νέες, μετασχηματισμένες εικόνες (rectified images) που διατηρούν μόνιμα τις συντεταγμένες που τους έχουν αποδοθεί, καθώς η απλή αποθήκευση των σχετικών συντεταγμένων μετασχηματισμού στον πίνακα σύνδεσης, απαιτεί την επαναληπτική φόρτωση (load) του σχετικού αρχείου τους κάθε φορά που απαιτείται η ανάκτησή τους, κάτι που δυσχεραίνει την διενέργεια των επικείμενων επακόλουθων λειτουργιών διαχείρισης και ανάλυσης. Επομένως, οι δύο αυτές εικόνες, μπορούν πλέον να υπόκεινται σε

οποιαδήποτε ενέργεια επεξεργασίας που προσήκει στα ψηφιδωτά αρχεία. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημανθεί ότι τα κάτωθι περιγραφόμενα στάδια επιτελέστηκαν για κάθε ένα από τα δύο ενδιάμεσα προϊόντα.



Σχήμα 23: Επιλογή Σημείων Επιγείου Ελέγχου (GCPs) στην σύνθετη έγχρωμη απεικόνιση του Ιανουαρίου

Πρώτη ενέργεια αποτελεί η αποκοπή των εικόνων μεταβολής εντός ενός δακτυλίου που να καθορίζεται από μια απόσταση εκατέρωθεν της προηγουμένως ψηφιοποιηθείσας γραμμικής οντότητας του ποταμού, προκειμένου να περιοριστεί η εφεξής διαχειριζόμενη πληροφορία. Η επίτευξη του παραπάνω απαιτεί κατ' αρχήν την δημιουργία μιας πολυγωνικής οντότητας-ζώνης επιρροής (buffer zone) μέσω μιας λειτουργίας εγγύτητας. Το εύρος της ζώνης ορίστηκε σε 150 m ύστερα από διαδοχικές δοκιμές, ώστε να συμπεριλαμβάνονται όλες οι ενδεχόμενες, άλλοτε κατακλυσμένες περιοχές. Ύστερα από την δημιουργία αυτού του διανυσματικού αρχείου, επιτελείται η αποκοπή ή εξαγωγή (extraction) των ψηφιδωτών αρχείων των

εικόνων μεταβολών με χωρική «μάσκα» το προηγουμένως παραχθέν shapefile. Έτσι, προκύπτουν δύο νέα ψηφιδωτά αρχεία ή αρχεία καννάβου, τα οποία οριοθετούνται από την προαναφερθείσα ζώνη. Αξίζει να σημειωθεί όμως ότι η εκτομή των εικόνων μεταβολής στα όρια μιας τέτοιας ζώνης επιρροής δεν μπορεί, ούτε πρέπει να υποκαθιστά διαδικασίες απαλοιφής άχρηστων και αχρείαστων μεταβολών μέσω των τεχνικών της ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών, διότι τοιουτοτρόπως υποτιμόνται οι εν λόγω τεχνικές – οι οποίες υλοποιούνται στη βάση αλγορίθμων που αξιοποιούν τις τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων στα εκάστοτε υφιστάμενα φασματικά κανάλια, και στη βάση συναφών φασματικών και χωρικών φίλτρων με αυτοματοποιημένο τρόπο – με συνέπεια, εν τέλει, να υποβαθμίζεται η αξιοπιστία της μεθόδου σε κάποιον βαθμό. Όταν όμως η επιβολή χαμηλότερης κατωφλίωσης, ή/ και η χρήση περαιτέρω χωρικής και φασματικής διήθησης, στο πλαίσιο της διενέργειας μιας τεχνικής ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών θα εκτόπιζε και ωφέλιμες μεταβολές, όπως στην εν λόγω περίπτωση, μια τέτοιου είδους αποκοπή κρίνεται δόκιμη, καθώς οι μεταβολές που είναι ταυτόχρονα σημαντικές και εμπίπτουν στα μελήματα του εν λόγω πονήματος, εντοπίζονται τόσο πλησίον του ποταμού, όσο και μακρόθεν αυτού. Όμως, ως ειδοποιός διαφορά προτάσσεται το γεγονός ότι η πλειονότητα των ψηφίδων μεταβολής κείται στην παρόχθια «επικράτεια», ενώ ταυτόχρονα η χωρική τους συγκέντρωση παρουσιάζεται ιδιαίτερα αυξημένη περί αυτής της ζώνης, σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο τμήμα της εικόνας όπου απαντώνται, όπου, αντίθετα, είναι αρκετά διεσπαρμένες.

Σε επόμενο λοιπόν στάδιο, διαφαίνεται η ανάγκη απόσπασης μόνο των στοιχείων που παραπέμπουν σε μεταβολές, προκειμένου να απεικονιστούν ως ανεξάρτητες οντότητες και να υπολογιστεί το συνολικό τους μέγεθος. Επεξηγηματικά, απαιτείται η ανεύρεση τρόπου δημιουργίας ενός διανυσματικού θεματικού αρχείου το οποίο να αναπαριστά τις εκτάσεις που είχαν πληρωθεί με νερό. Το εγχείρημα λοιπόν της υπεξαγωγής στοιχείων που συνιστούν τις εκμαιευθείσες διαφοροποιήσεις στην επιφανειακή κάλυψη, μπορεί να διεκπεραιωθεί κατ' αρχήν μέσα από την τοπική ή σημειακή λειτουργία της επαναταξινόμησης, που αφορά στα δεδομένα καννάβου. Στη βάση αυτής της λειτουργίας, αποδίδονται νέες τιμές σε μία ή περισσότερες ομάδες ψηφίδων που προσδιορίζονται από κοινές τιμές. Στην προκειμένη περίπτωση, οι ψηφίδες που είχαν την τιμή 0, επαναταξινομούνται με την ίδια τιμή, ενώ όλα τα υπόλοιπα κελιά (ή ψηφίδες), με την τιμή 1. Κατ' αυτόν τον

τρόπο, οι διάφορες διαβαθμίσεις στην ένταση της μεταβολής απλοποιούνται, συρρικνωμένες σε μόλις μία, προάγοντας ένα νέο «δυϊστικό» αρχείο καννάβου που εμπεριέχει ψηφίδες αλλαγής (1) και μη αλλαγής (0), με απώτερο σκοπό την διευκόλυνση της διαχείρισης της πληροφορίας στο επόμενο στάδιο.

Έπεται η διαδικασία της *μετατροπής ψηφιδωτών αρχείων σε διανυσματικά (conversion raster to feature)*, στο πλαίσιο των δυνατοτήτων που παρέχει το ArcMap. Η υλοποίηση της παραπάνω διαδικασίας έχει ως απότοκο ένα διανυσματικό θεματικό αρχείο το οποίο εμπεριέχει, όπως προκύπτει και από τον *πίνακα περιγραφών* του (*attribute table*), οντότητες οι οποίες είτε λαμβάνουν την τιμή 0 (μη μεταβολή), είτε την τιμή 1 (μεταβολή). Επιλέγοντας μόνο εκείνες τις *εγγραφές* (*records*) με τιμή 0 από τον πίνακα περιγραφών (με χρήση SQL γλώσσας – select by attributes), και εξάγοντας τες σε νέο shapefile, έχει επιτευχθεί ο στόχος της δημιουργία ενός θεματικού διανυσματικού αρχείου που εμπεριέχει τις οντότητες μεταβολής, και δη προηγουμένως πλημμυρισμένες εκτάσεις.

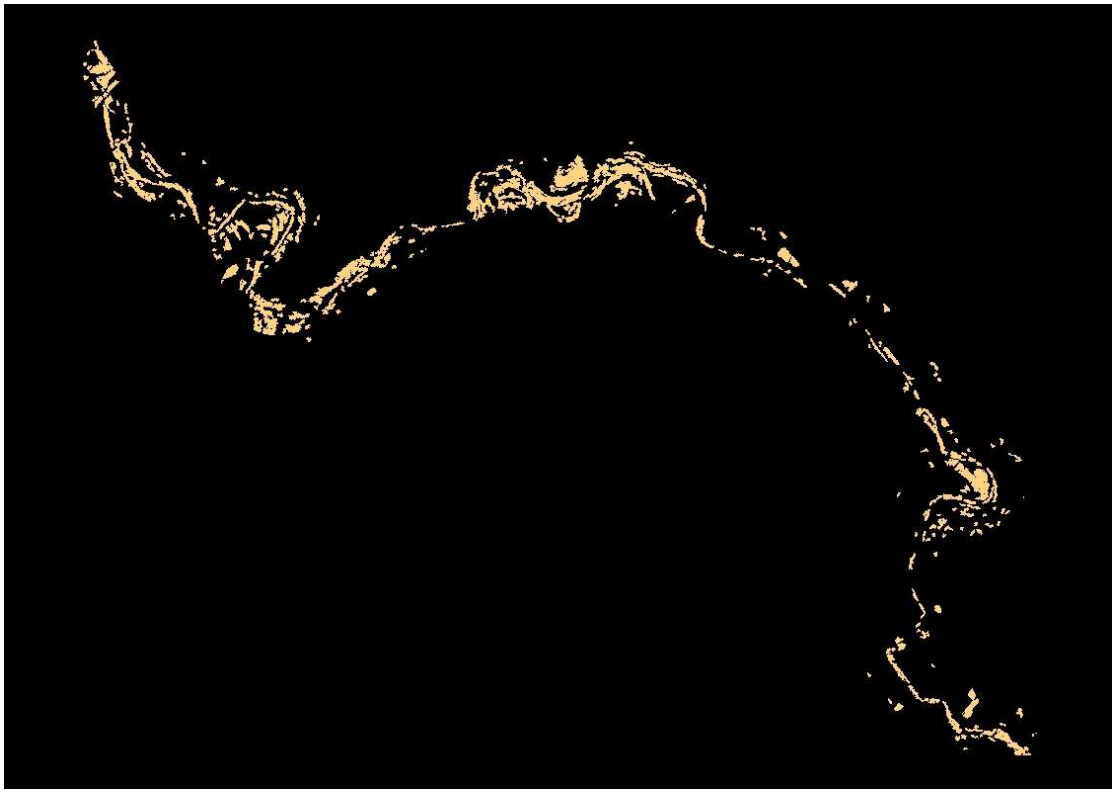
4.3 Αποτελέσματα

4.3.1 Τελικά Προϊόντα

Τα (διανυσματικά) ψηφιακά αρχεία που προέκυψαν από τις παραπάνω διαδικασίες απεικονίζονται στο Σχ. 24 Α-Β. Συνεξετάζοντας όμως για ακόμη μια φορά τις διαχρονικές εικόνες, έχοντας εστιασμένη την προσοχή στα τμήματα των εικόνων που εντοπίζονται στην παρόχθια ζώνη, σε συνδυασμό με την παρατήρηση και την από κοινού επίθεση των οντοτήτων μεταβολής επί των αγκιστρωμένων αρχικών δορυφορικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων, συνάγεται ότι είναι η συνισταμένη των δύο προϊόντων επεξεργασίας που αντικατοπτρίζει πιο πιστά τις συνολικές μεταβολές από την επενέργεια του πλημμυρικού συμβάντος. Κρίνεται λοιπόν επιτακτική η διενέργεια μιας λειτουργίας επικάλυψης, της *ένωσης* (*union*), στο ArcMap με σκοπό την παραγωγή ενός νέου θεματικού διανυσματικού αρχείου-επιπέδου, το οποίο εντάσσει όλες τις οντότητες-εγγραφές των δύο – προηγουμένως ανεξάρτητων – θεματικών αρχείων (Σχ. 25). Η θεωρητική υποστήριξη για την παραπάνω επιλογή συνένωσης αρχείων όπου η μεταβολή είχε προκύψει ως αποτέλεσμα διαφορετικής τεχνικής ανίχνευσης μεταβολών, αντλείται από έναν

τεκμηριωμένο συλλογισμό-επιχειρηματολογία που έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα – κατά τη σύγκριση των επιμέρους τεχνικών –, και, με άλλα λόγια, υπαγορεύει πως η βέλτιστη οδός ανίχνευσης ορισμένων μεταβολών δεν μπορεί να προσεγγιστεί πάντοτε από έναν και μόνο αλγόριθμο. Αντίθετα, ειδικά όταν διερευνώνται μεταβολές σύνθετου περιεχομένου, η παράλληλη και συνδυασμένη υλοποίηση διαφορετικών αλγορίθμων ή/ και τεχνικών μπορεί να αποφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

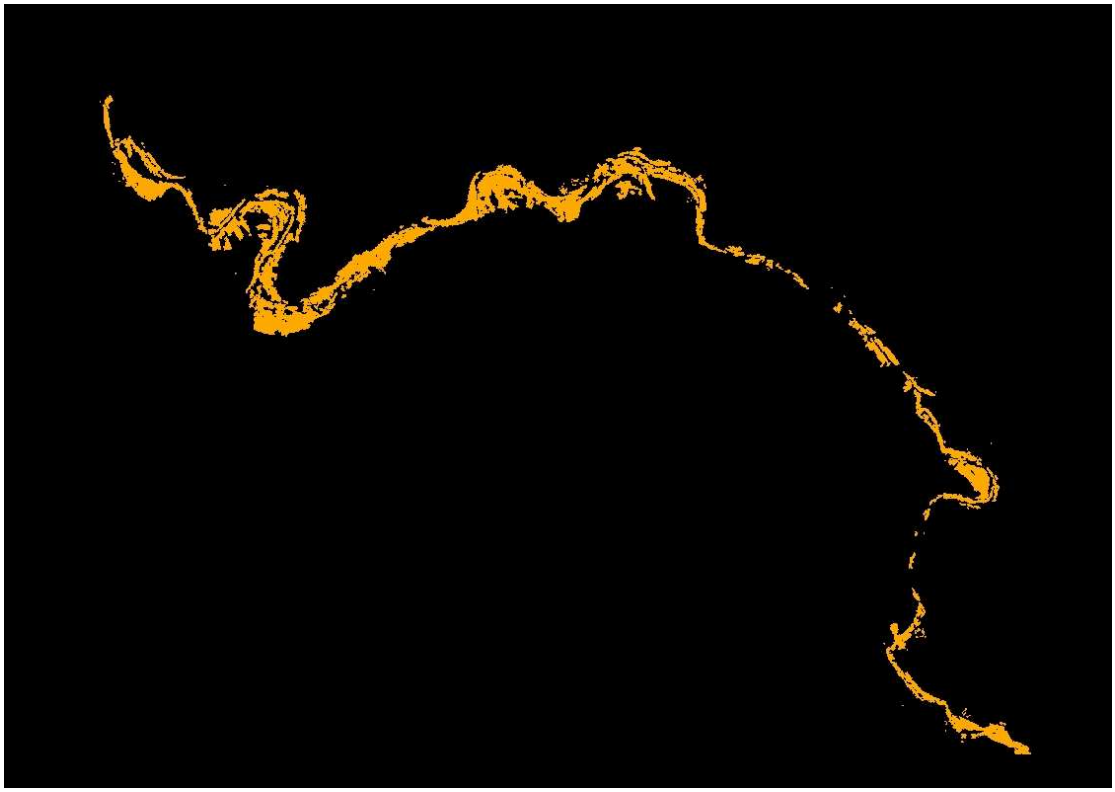
Αφού διενεργηθεί η παραπάνω διαδικασία της ένωσης, επιλέγονται και απομακρύνονται (χειρωνακτικά) κάποιες επιπλέον εγγραφές επί του νέου – τελικού προϊόντος – οι οποίες αποκλείεται να αποτελούν πραγματικές αλλαγές οφειλόμενες στην υπερχείλιση του ποταμού. Έτσι, ολοκληρώνεται η διαδικασία του εντοπισμού των περιοχών που είχαν κατακλυστεί κατά την πρόσφατη πλημμύρα. Οι τελικές περιοχές που προέκυψαν από την ενσωμάτωση των προηγουμένως παραχθέντων εικόνων μεταβολής σε ένα ΓΣΠ, μέσα από τις διαδικασίες διαχείρισης, ανάλυσης και χαρτογραφικής απόδοσης, απεικονίζονται στον Χάρτη Εκτιμώμενων Κατακλυσμένων Εκτάσεων. Η δε συνολική έκταση αυτών των περιοχών ανέρχεται σε 314.865,9 m^2 ή 314,9 στρέμματα, όπως προκύπτει από την αξιοποίηση του εργαλείου υπολογισμού εκτάσεων (calculate areas) του ArcMap. Η όλη πορεία της διαδικασίας παρουσιάζεται διαγραμματικά στο Σχ. 26.



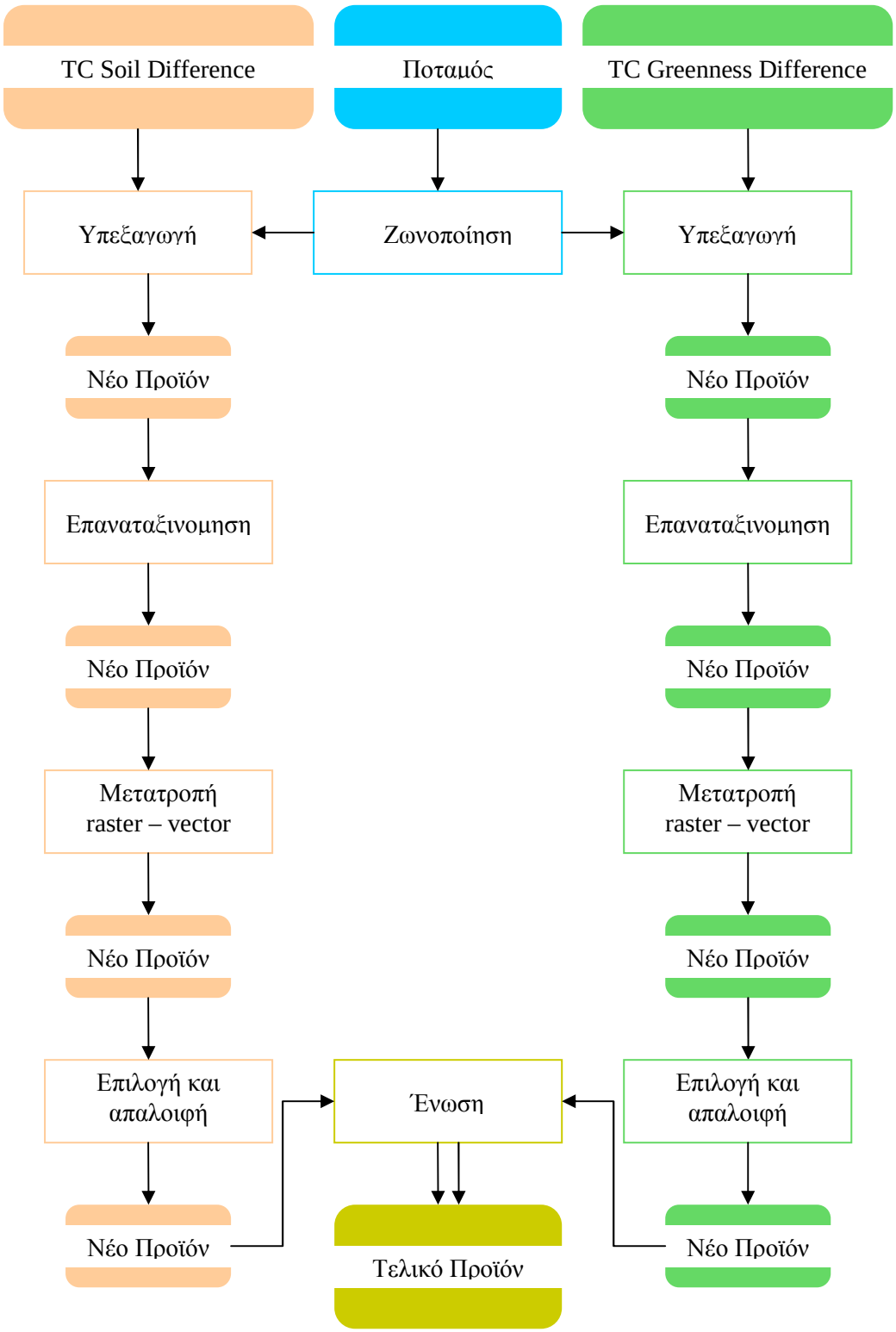
A

B

Σχήμα 24: Τελικά παραγόμενα αρχεία από την επεξεργασία των ενδιάμεσων tasseled cap soil difference (A) και tasseled cap greenness difference (B)

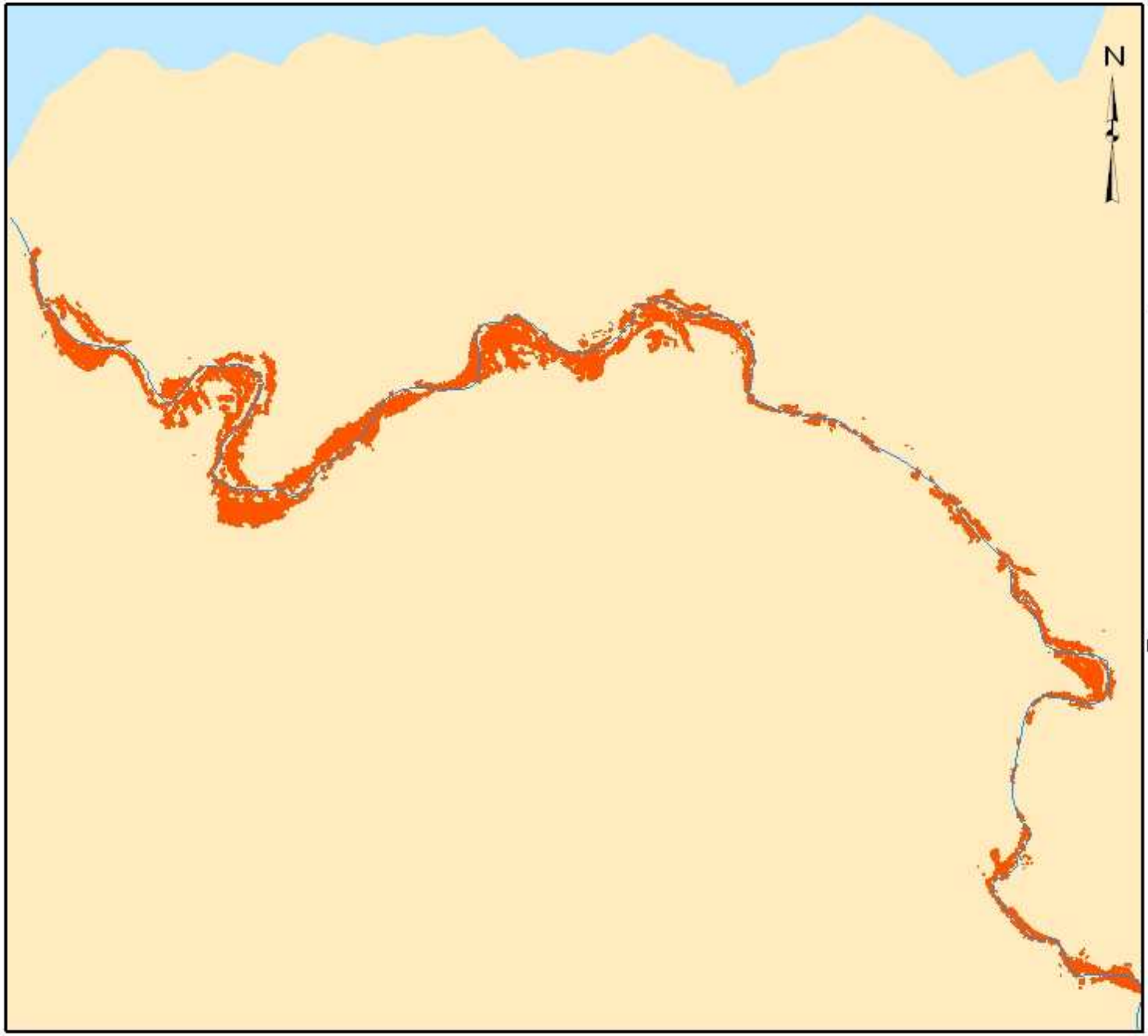


Σχήμα 25: Τελικό παραγόμενο από την ένωση των παραπάνω αρχείων



Σχήμα 26: Διάγραμμα ροής υλοποιούμενων ενεργειών στο ΓΣΠ

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΜΕΝΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Ποτάμιοι Κλάδοι

Κατακλ. Εκτάσεις

Η συνολική εκτιμώμενη έκταση των περιοχών που είχαν κατακλυστεί κατά την πλημμύρα του Φεβρουαρίου 2007 ανέρχεται στα 315 στρέμματα

Μέτρα
0 250 500 1.000

4.3.2 Αξιολόγηση

Η διαδικασία της εξαγωγής των μεταβολών επί της περιοχής ενδιαφέροντος με αυτοματοποιημένο τρόπο, ολοκληρώνεται με την αξιολόγηση της πιστότητας/ ακρίβειας (accuracy assessment) των αποτελεσμάτων. Προκειμένου να προαχθεί ένα μέτρο σύγκρισης των παραπάνω ψηφιακών (διανυσματικών) προϊόντων, προκρίνεται η δημιουργία αντίστοιχων αρχείων τα οποία θα ανακύψουν ως αποτέλεσμα της χειρωνακτικής ψηφιοποίησης των εκτάσεων υπό την διεξαγωγή μιας υποκειμενικής/ φωτοερμηνευτικής διαδικασίας.

Πρακτικά, ελέγχοντας επί του έγχρωμου σύνθετου RGB (3,2,1) της μεταγενέστερης εικόνας όλες εκείνες τις οντότητες που διακρίνονται από μια εδαφική διαταραχή, και καταχωρώντας τες, με μια διαδικασία ψηφιοποίησης πολυγωνικών οντοτήτων, σε ένα shapefile, έχει επιτευχθεί η αποτύπωση ζωνών οι οποίες πληρώθηκαν από νερό και αποκαλύφθηκαν εκ νέου, διαταραγμένες, με την ύστερη απόσυρση των υδάτων της πλημμύρας, καθώς και των τμημάτων που ακόμη καλύπτονται από νερό λόγω της αυξημένης παροχής του ποταμού ύστερα από το πλημμυρικό επεισόδιο, αλλά και διότι, εν γένει, τον Μάρτιο η ποσότητα των υδάτων που ρέει στα ποτάμια είναι αυξημένη, ύστερα από την περίοδο των χειμερινών βροχών. Όμως, καθ' ότι αντικείμενο μελέτης συνιστά η αποκάλυψη των μεταβολών (ενδιαφέροντος) μιας εικόνας, λαμβάνοντας ως βάση μια άλλη, προγενέστερη εικόνα αναφοράς, θα πρέπει να δημιουργηθεί και ένα άλλο διανυσματικό αρχείο. Σε αυτό το αρχείο «φιλοξενούνται», μέσω της ψηφιοποίησης επί της προγενέστερης εικόνας, «ψήγματα» των οντοτήτων που περιγράφηκαν ως διαταραγμένο έδαφος» και αναφέρονται σε εδαφικές εμφανίσεις παλαιότερων πλημμυρών, καθώς και τμήματα όπου ρέει το νερό. Με μια αναλυτική λειτουργία διαχείρισης – *αφαίρεση* (*erase*) – του δεύτερου παραγόμενου shapefile από το πρώτο, στο περιβάλλον του ArcMap, εικάζεται ότι επέρχεται η διαμόρφωση ενός νέου τέτοιου αρχείου, το οποίο αναπαριστά τις εκτάσεις που είχαν κατακλυστεί, εκτός αυτών που είχαν ήδη κατακλυστεί, πριν από την ημέρα λήψης της πρώτης εικόνας, την 21^{η} Ιανουαρίου.

Πριν προβούμε στην σύγκριση των αποτελεσμάτων της αυτοματοποιημένης ανίχνευσης μεταβολών, έχοντας ως γνώμονα τα αποτελέσματα της χειρωνακτικής, ίσως θα έπρεπε να γίνει ένας σχολιασμός της αποτίμηση των δευτέρων. Έτσι, πέρα

από το γεγονός ότι η ψηφιοποίηση αποτέλεσε μια επίπονη διαδικασία, η οριοθέτηση των κατακλυσμένων εκτάσεων αποτέλεσε μια διαδικασία υπονομευμένη από κάποια δόση υποκειμενισμού, αλλά και επηρεασμένη από τα αποτελέσματα της ψηφιακής (αυτόματης) εξαγωγής. Παρ' όλα αυτά, μολονότι σε ορισμένες περιπτώσεις η οριοθέτηση δια γυμνού οφθαλμού ήταν ασαφής, τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας θεωρούνται ικανοποιητικά – στο πλαίσιο μιας, κατά το μέτρο του δυνατού, ανεξάρτητης μεθόδου – ώστε να συντελέσουν στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της αυτοματοποιημένης.

Εφόσον ολοκληρώθηκε η παραπάνω μέθοδος της χειρωνακτικής οριοθέτησης, ακολουθεί η διαδικασία της αξιολόγησης ακρίβειας, η οποία πραγματώθηκε επίσης μέσα από τις αναλυτικές λειτουργίες επικάλυψης επί διανυσματικών αρχείων. Πρώτη ενέργεια αποτέλεσε η εφαρμογή της λειτουργίας της *τομής* (*intersection*), επί των δυο τελικών προϊόντων της αυτοματοποιημένης και της χειρωνακτικής (ενός επικαλυπτόμενου και ενός επιτιθέμενου) προκειμένου να παραχθεί ένα νέο θεματικό διανυσματικό επίπεδο που εμπεριέχει τα κοινά χαρακτηριστικά (features) τόσο του επικαλυπτόμενου όσο και του επιτιθέμενου. Έπειτα, διεξάχθηκε η *ένωση* των δύο παραπάνω επιπέδων. Τελικά, η ύστερη σύγκριση της συνολικής έκτασης των οντοτήτων της τομής και της ένωσης, εκφρασμένη ως ο λόγος των πρώτων επί των δευτέρων (επί τοις εκατό), αποδίδει τον βαθμό ακρίβειας της υλοποιηθείσας τεχνικής ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών. Η ακρίβεια (α) υπολογίζεται λοιπόν ως:

$$a = \frac{A_i}{A_u} * 100 \ ,$$

όπου A_i έκταση των οντοτήτων της τομής, και A_u η έκταση των οντοτήτων της ένωσης.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ισούται με ***55,0%***, καθ' ότι: A_i = 264,8 στρ. και A_u = 481,6 στρ. Αυτή η τιμή, σε πρώτη ανάγνωση μπορεί να δείχνει ανεπαρκής· απαιτείται όμως μια πιο «σχολαστική ματιά» προκειμένου να καταδειχθεί η πραγματικότητα. Θα πρέπει λοιπόν να ληφθούν υπό μέριμνα, αφ' ενός μεν κάποια χαρακτηριστικά των πρωτογενών δεδομένων και της προκαταρκτικής επεξεργασίας, αφ' ετέρου δε ο τρόπος και οι συνθήκες που πραγματώθηκε η αξιολόγηση. Επεξηγηματικά, η αδυναμία εξαιρετικά ορθής και ακριβούς συνταύτισης λόγω ανυπαρξίας κατάλληλου Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, καθώς και η απουσία πολύ καλής ραδιομετρικής διόρθωσης των δύο εικόνων – άλλη από εκείνη που

πραγματοποιείται ούτως ή άλλως επί του υπολογισμικού DeltaCue –, δημιούργησαν a priori δυσχέρειες. Αυτές οι δυσχέρειες, όπως έχει επισημανθεί και σε προηγούμενα, κάθε άλλο παρά αμελητέες επιπτώσεις έχουν επί των παραγόμενων εικόνων. Επίσης, η χωρική διακριτική ικανότητα του αισθητήρα του δορυφόρου IKONOS, αν και αρκετά υψηλή, δεν αποτελεί την υψηλότερη υφιστάμενη. Από την άλλη, η επιλογή της χειρωνακτικής ψηφιοποίησης ως μεθόδου αξιολόγησης εγείρει ερωτηματικά σχετικά με την ορθότητα και την ακρίβειά της, αλλά και τον υποκειμενισμό της. Χαρακτηριστικά συναφή προβλήματα αφορούν στην κλίμακα επί της οποίας έπρεπε να επιτευχθεί η ψηφιοποίηση, ή το δίλημμα να συμπεριληφθεί ή όχι και πότε το υδάτινο στοιχείο (σύμμεικτη κατηγορία). Επιπλέον, μια παράμετρος που τέθηκε στο «απυρόβλητο» και ενδεχομένως επηρεάζει την αξιοπιστία του αποτελέσματος, συναρτάται με την πιστότητα της διενέργειας της μετατροπής των αρχείων μεταβολής από ψηφιδωτά σε διανυσματικά, στο πλαίσιο της μεταγενέστερης επεξεργασίας της πληροφορίας στο ΓΣΠ. Υπό την συνεκτίμηση όλων των παραπάνω, με τους υφιστάμενους εγγενείς και μη περιορισμούς να εμπλέκονται ισχυρά, το εν λόγω περιθώριο σφάλματος θεωρείται ανεκτό για ακαδημαϊκούς, αν όχι για επιχειρησιακούς σκοπούς.

4.3.3 Σημασία και Αξιοποίηση Αποτελεσμάτων

Ανεξάρτητα από την ακρίβεια των αποτελεσμάτων, επισημαίνεται πως το τελικό παραγόμενο αποτέλεσμα ενέχει τα στοιχεία εκείνα της μεταβολής που εμπίπτουν στην κατηγορία των εκτάσεων οι οποίες είχαν κατακλυστεί κατά την εξεταζόμενο πλημμυρικό συμβάν. Επομένως, ο τελικός χάρτης δεν φανερώνει τις ζώνες επιρροής πλημμύρας 5-ετίας, 20-ετίας ή 100-ετίας, αλλά κυρίως τις εκτάσεις οι οποίες προκύπτει ότι μετέβαλλαν την φασματική τους απόκριση εξ’ αιτίας της επέλασης του νερού, της «έκπλυσης» εδαφών και της απόθεσης ιζημάτων. Αυτές δε οι εκτάσεις, υπολείπονται κατά τον βαθμό που άλλες εμπλεκόμενες εκτάσεις είχαν κατακλυστεί σε προγενέστερα πλημμυρικά επεισόδια, και η σύσταση και απόκριση των εδαφών ήταν ήδη μεταβεβλημένη, οπότε δεν εξάχθηκαν ως εικονοστοιχεία-οντότητες μεταβολής στην σχετική εικόνα-χάρτη.

Ως εκ τούτου, ο στόχος που είχε τεθεί εξ’ αρχής περί ανίχνευσης κατακλυσμένων εκτάσεων, θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί στον βαθμό της ακρίβειας

που του αποδόθηκε στην προηγούμενη υποενότητα. Και παρά το γεγονός ότι δεν μπορεί να αποτελέσει αφ' εαυτού έναν χάρτη κινδύνου-επικινδυνότητας, λόγω ελλιπών στοιχείων στην αποδιδόμενη πληροφορία και του μεμονωμένου χαρακτήρα του περιστατικού, ως συναπάρτισμα σε μια συλλογή-σειρά τέτοιων είδους παραγόμενων αρχείων μπορεί να δώσει μια συνολική εικόνα της κατανομής και του εύρους (των αντίκτυπων) του κινδύνου, στον χώρο και στον χρόνο. Όσον αφορά στην σύνταξη χαρτών αποτίμησης των ζημιών που επέφερε το περιστατικό (impact map), απαιτείται η διάθεση πληροφορίας σε αντίστοιχη γεωγραφική βάση δεδομένων που να εμπεριέχει λεπτομερώς καταγεγραμμένες τις χρήσεις-καλύψεις γης, καταχωρημένα τα διακριτά ανθρωποποίητα στοιχεία (δρόμοι, οικοδομήματα, γήπεδα, καλλιεργούμενες εκτάσεις, κοινόχρηστοι χώροι κ.α.), το ιδιοκτησιακό καθεστώς (κτηματολόγηση), και τις αξίες των οντοτήτων-αντικειμένων-στοιχείων. Η τελική αποτίμηση των απωλειών μπορεί να επιτελεστεί, ασαφώς, μέσα από την ταυτόχρονη αναπαράσταση των χωρικών προτύπων εξέλιξης του επεισοδίου και των διαφόρων κοινωνικοοικονομικών στοιχείων – διαμέσου των λειτουργιών επικάλυψης υπό την επενέργεια απόδοσης βαρών που αντιστοιχούν σε χρηματικές αξίες, ή/ και άλλους ποιοτικούς και ποσοτικούς τρόπους ιεράρχησης της καταστροφικής επενέργειας (μηδαμινή, μέτρια, σοβαρή, πολύ σοβαρή κ.α.).

Η ανάκυψη χαρτών τρωτότητας, εμπερικλείει κάτι περισσότερο από την απογραφή των παραπάνω πληροφοριών. Απαιτεί την σύλληψη και την προώθηση-αναπαράσταση χωρικών προτύπων και σχέσεων των ανθρωποποίητων στοιχείων και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και συμπεριφορών. Ως εκ τούτου, εφόσον η διακινδύνευση εμπλέκει την τρωτότητα, οι αντίστοιχοι χάρτες διακινδύνευσης διέπονται από τις αυτές δυσχέρειες κατά την προσπάθεια παραγωγής τους. Εντούτοις, παρά την εγγενή δυσκολία σύνταξης χαρτών τρωτότητας ή/ και διακινδύνευσης, οι «γενικότεροι» χάρτες κινδύνου, σε συνδυασμό με χάρτες αντίκτυπων δύνανται να συνεπικουρήσουν αποδίδοντας μια νοερή διάσταση της διακινδύνευσης, και, προσεγγίζοντας έμμεσα, ακόμη και την τρωτότητα. Επομένως, σε κάποιον βαθμό, και υπό την παρουσία περισσότερων, πιο πολυποίκιλων και υψηλότερης ακρίβειας δεδομένων και πληροφορίας, με χρονικές σειρές, συνέχειες και επικαλύψεις, η εν λόγω τεχνική μπορεί να συνδράμει αποφασιστικά στον μετριασμό, την ετοιμότητα και την αποκατάσταση. Σχετικά με την απόκριση, η δυνατότητα άμεσης συλλογής δεδομένων (απεικονίσεων) από απομακρυσμένους δέκτες, ει δυνατόν και κατά την

εξέλιξη ενός φαινομένου, μπορεί να βοηθήσει δραστικά στην αναπαράσταση των νέων-επικαιροποιημένων συνθηκών, για την ενημέρωση της βάσης δεδομένων και την δημιουργία ψηφιακών χαρτών εκτάκτου ανάγκης σε πραγματικούς χρόνους.

5 ΈΝΤΑΞΗ ΣΤΟ ΕΥΡΥΤΕΡΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

[«Δεν «μεγαλώνουμε» απόλυτα, χρονολογικά. «Μεγαλώνουμε» κάποιες φορές σε μία διάσταση, και όχι σε μια άλλη· άνισα. «Μεγαλώνουμε» μερικώς. Είμαστε σχετικοί. Είμαστε ώριμοι σε έναν τομέα, παιδιάστικοι σε κάποιον άλλο. Το παρελθόν, το παρόν και το μέλλον, μας συμφύρουν και μας σύρουν (προς τα) πίσω, μπροστά, ή μας «εμπήγουν» στο παρόν. Αποτελούμαστε από επίπεδα, κύτταρα, «πλειάδες».»

"We do not grow absolutely, chronologically. We grow sometimes in one dimension, and not in another; unevenly. We grow partially. We are relative. We are mature in one realm, childish in another. The past, present, and future mingle and pull us backward, forward, or fix us in the present. We are made up of layers, cells, constellations."]

(Anais Nin)

Στα προηγούμενα πραγματοποιήθηκε μια απόπειρα ανάδειξης της σπουδαιότητας της επαύξησης και αναβάθμισης της προσαρμοστικότητας (resilience) μιας κοινωνίας έναντι των φυσικών καταστροφών, μέσα από την τροποποίησης της ανθρώπινης τρωτότητας. Για την εκπλήρωση αυτού του σκοπού «επιστρατεύτηκαν» ως εργαλεία ενίσχυσης της τρωτότητας τα συστήματα παρακολούθησης και πληροφοριών της γης και διαχείρισης του περιβάλλοντος, και η «ολοκλήρωση» των αντίστοιχων γνωστικών πεδίων τους. Δια μέσου της συνεργιστικής αλληλεπίδρασής τους διαφάνηκε ότι μπορεί να διευθετηθεί το ζήτημα της διαχείρισης και αντιμετώπισης καταστροφών, τόσο προληπτικά μέσω της ετοιμότητας και της έγκαιρης πρόγνωσης, πρόβλεψης και προειδοποίησης, όσο και θεραπευτικά, μέσω της απόκρισης και αποκατάστασης. Από όλες τις προηγούμενες διατυπώσεις, αναλύσεις και συσχετίσεις, αυτό που προέκυψε και επί του παρόντος χρήζει ενδελεχούς ανάλυσης, αφορά στον βαθμό που αυτά τα εργαλεία – και κατ' επέκταση η αξιοποίηση-αρωγή του τεχνικού-τεχνολογικού επιπέδου – ενέχουν την δυναμική να επιφέρουν σε κάποιον βαθμό ουσιαστικές και ριζικές λύσεις από μόνα τους· και αυτό επειδή η φύση και διαχείριση των φυσικών καταστροφών είναι πολύπλοκη, και η έννοια της τρωτότητας πολυδιάστατη. Έτσι, εκτός από την σχέση τεχνολογίας-διαχείρισης καταστροφών, σε αυτό το κεφάλαιο επιχειρείται να παρουσιαστεί συμπυκνωμένα το «φάσμα» των διαστάσεων της ανθρώπινης (και φυσικής)

τρωτότητας, και ο ρόλος τους, αναδεικνύοντας υπαινικτικά τα περιθώρια ή/ και τις ευκαιρίες για αναβάθμιση της προσαρμοστικότητας με την έλευση *διαδικασιών ανάπτυξης*, κατά την εμφάνιση ή την επάνοδο πληγμάτων και συμφορών. Τελικά, μια εικόνα της status quo των φυσικών καταστροφών και του τρόπου αντιμετώπισής τους στο ευρύτερο όλον της πραγματικότητας προβάλλει, αποκρυσταλλώνοντας σχηματικά ένα «στιγμιότυπο» της οδού που ακολουθείται, φανερώνοντας τοιουτοτρόπως την αδήριτη ανάγκη για μια πιο ολιστική προσέγγιση.

5.1 Διαστάσεις Τρωτότητας

Ήδη από τα προηγούμενα, έχει καταβληθεί η προσπάθεια να προωθηθεί η σπουδαιότητα της τρωτότητας, τόσο ως μιας θεωρητικής έννοιας για την εν γένει ανάλυση της διακινδύνευσης από έναν καταστροφικό αντίκτυπο, όσο και ως μιας πιο χειροπιαστής έννοιας στο εγχείρημα της ολοκληρωμένης διαχείρισης φυσικών καταστροφών. Ακόμη, έχει αφεθεί να εννοηθεί από σχετική επιχειρηματολογία πως είναι πολυποίκιλοι οι παράγοντες που επιδρούν στην «διαμόρφωσή» της, όπως η εθνικότητα, η κάστα, το εισόδημα (Cannon, 1993; Wisner *et al.*, 2004), ως αποτέλεσμα της ύπαρξης συγκεκριμένων κοινωνικοοικονομικών και πολιτικών συστημάτων. Αυτός άλλωστε ο πολυδιάστατος χαρακτήρας της τρωτότητας επισημαίνεται από τον Aysan (1993), ο οποίος διακρίνει διαφόρων ειδών «τρωτότητες», και δη:

- Αδυναμία/ Έλλειψη δυνατότητας πρόσβασης σε πόρους (υλική/ οικονομική τρωτότητα)
- Αποδιοργάνωση κοινωνικών σχηματισμών (κοινωνική τρωτότητα)
- Έλλειψη ισχυρών εθνικών και τοπικών θεσμικών δομών (οργανωτική τρωτότητα)
- Αδυναμία/ Έλλειψη δυνατότητας πρόσβασης σε πληροφορία και γνώση (εκπαιδευτική τρωτότητα)
- Έλλειψη δημόσιας επίγνωσης (τρωτότητα γενικής τάσης και προδιάθεσης (attitudinal and motivational))
- Περιορισμένη πρόσβαση στην πολιτική εξουσία και αντιπροσώπευση (πολιτική τρωτότητα)

- Ύπαρξη προκαταλήψεων στη βάση συγκεκριμένων δοξασιών και παραδόσεων (πολιτισμική τρωτότητα)
- Παρουσία μη ανθεκτικών κτιρίων (υλική/ φυσική (physical) τρωτότητα)

Έκτος των προαναφερθέντων, μπορούν να ανεβρεθούν μια σειρά άλλων τύπων τρωτότητας. Εντούτοις, όλοι αυτοί οι τύποι εμπίπτουν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες ανθρώπινης τρωτότητας: την κοινωνική, την οικονομική, την πολιτική και την πολιτισμική[73]. Όμως όταν γίνεται λόγος για φυσικές καταστροφές, η τρωτότητα δεν είναι μονάχα εγγενής μιας κοινωνικής οντότητας, ως επακόλουθο των ανθρωπίνων ενεργημάτων, είναι και απότοκος της διαπλοκής των φυσικών διαδικασιών. Οπότε, υπεισέρχονται δύο τύποι τρωτότητας: μια φυσική και μια ανθρώπινη[74]. Και ενώ η πρώτη απορρέει από τη διαπλοκή με φυσικές διαδικασίες και φαινόμενα, λ.χ. τρωτότητα σε κυκλώνες, σεισμούς, ηφαίστεια, πλημμύρες, κατολισθήσεις, η αμιγής ανθρώπινη τρωτότητα αναδιφά σε κοινωνικά, οικονομικά, πολιτικά και πολιτισμικά συστήματα (Alcántara-Ayala, 2002).

Υπό το πρίσμα μιας τέτοιας θεώρησης, προκύπτουν δύο πορίσματα, ένα ειδικότερο και ένα γενικότερο:

Το πρώτο (ειδικότερο) έρχεται να υποστηρίξει την διάκριση που είχε γίνει όταν επιχειρήθηκε να διαχωριστεί η τροποποίηση της τρωτότητας εντός του κύκλου της διαχείρισης των φυσικών καταστροφών σε κατευθυντήριες γραμμές προς την «διαχείριση της διακινδύνευσης» και προς την «διαχείριση κρίσεων». Δεδομένου λοιπόν ότι ενέργειες και δράσεις οι οποίες επαφίενται στη διαχείριση της διακινδύνευσης και δη στην ετοιμότητα (πρόγνωση-πρόβλεψη, προειδοποίηση) και στην άμβλυνση διακινδύνευσης και τον σχεδιασμό (σχεδιασμός χρήσεων γης, ζωνοποίηση επιρρεπών περιοχών) αφορούν στην εκδήλωση και εξέλιξη του φυσικού φαινομένου, αυτές υπάγονται κυρίως στην τροποποίηση της φυσικής τρωτότητας (φυσικής έκθεσης). Από την άλλη, η απόκριση και η ανάκαμψη-επανόρθωση (διαχείριση κρίσεων), αποτελούν στοιχεία τα οποία, ποιοτικά τουλάχιστον, υπάγονται πρωτίστως στην τροποποίηση της ανθρώπινης τρωτότητας. Παρ' όλο που στην πράξη

[73] σε μια πιο διευρυμένη αντίληψη, και την τεχνολογική

[74] Εδώ η έννοια της «φυσικής τρωτότητας», σχετίζεται με την γεωγραφική θέση/ κατανομή του κινδύνου/ διακινδύνευσης και πρακτικά ταυτίζεται με αυτήν της φυσικής έκθεσης, συμπληρωματικής της ανθρώπινης τρωτότητας. Αμφότερες οι δύο παραπάνω έννοιες, συνιστούν την ανθρώπινη ευαισθησία (βλ. κεφ. 1).

ενδέχεται να μην υπάρχουν σαφή «στεγανά» σε αυτές τις δύο κατηγορίες, είναι χρήσιμο να αναγνωρίζεται ο σχετικά μεγαλύτερος βαθμός σπουδαιότητας γνώσης των εκάστοτε φυσικών διαδικασιών κατά το γενικό στάδιο διαχείρισης της διακινδύνευσης· κατά δε τη διαχείριση κρίσεων, η γνώση, απογραφή και αξιοποίηση των ανθρωπίνων διαθεσίμων αποτελούν εκείνες τις παραμέτρους που δεν επιδέχονται απαλοιφής. Σίγουρα, θα πρέπει να υπάρξει τροποποίηση και μεταστροφή της ανθρώπινης συμπεριφοράς κατά την διαχείριση της διακινδύνευσης, εντούτοις, πάντοτε στην βάση της γεωγραφικής κατανομής, της διαχρονικής εξέλιξης και του μεγέθους του φαινομένου που ενέχει το στοιχείο του κινδύνου. Από την άλλη, κατά την διαχείριση των κρίσεων, δεν μπορεί να παραγνωρίζονται οι βασικές συνιστώσες του κινδύνου, ούτε οι εκάστοτε απτές συνέπειές τους επί του πεδίου· η υλοποίηση όμως ενεργημάτων και δράσεων απόκρισης και επανόρθωσης-αποκατάστασης, απορρέουν κυρίαρχα από την ορθολογική και συντονισμένη διανομή και αξιοποίηση – σε κατάλληλους χρόνους – ανθρωπίνων και φυσικών διαθεσίμων.

Το δεύτερο πόρισμα δυνητικά αποτελεί έρεισμα για σαφείς υπαινιγμούς που παρατέθηκαν ήδη στο πρώτο κεφάλαιο περί της σπουδαιότητας καταστολής της (ανθρώπινης) τρωτότητας. Η τελευταία, διαχωριζόμενη σε αυτούς τους τέσσερις βασικούς τύπους, καταδεικνύει ως ένα βαθμό το γεγονός ότι όταν κάποιο, ή όλα τα στοιχειώδη επίπεδα του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος χωλαίνουν – δηλαδή η κοινωνική ισορροπία, η οικονομική ευημερία, το πολιτικό *status quo* και το πολιτισμικό υπόβαθρο – ακόμη και όταν είναι οροθετημένες οι ζώνες επικινδυνότητας, δυνατή η μοντελοποίηση και πρόγνωση της εξέλιξης φαινομένων και γνωστή και απογεγραμμένη η κοινωνικοοικονομική πραγματικότητα, ο αντίκτυπος ενός καταστροφικού συμβάντος δεν προβλέπεται να αποσοβηθεί, ούτε καν να κατασταλεί. Τα παραπάνω εκφέρονται με περισσότερη ενάργεια στα παρακάτω, όπου από τη μία επιτελείται μια κριτική επισκόπηση στην τηλεπισκόπηση και τα ΓΣΠ, ως αυτά καθ' αυτά εργαλεία, αλλά και ως τεχνολογικά μέσα, και από την άλλη αναζητάται μια πιο ριζική και ολοκληρωμένη θεραπεία.

5.2 Τεχνολογίες Τηλεπισκόπησης και GIS *vs.* Φυσικές Καταστροφές: Από τον Μύθο στην Πραγματικότητα

Στα παραπάνω έχει επιχειρηθεί η ανάδειξη της σημασίας των τεχνολογικών της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ στην παρακολούθηση φαινομένων και διαδικασιών στη φύση που εμφορούνται από το στοιχείο του κινδύνου και θέτουν υπό διακινδύνευση το ανθρωπογενές στοιχείο, καθώς και στη διευθέτηση κρίσεων (καταστροφικών επεισοδίων) τις οποίες αυτά τα φαινόμενα ή διαδικασίες επιφέρουν. Επ' αυτής της ενότητας, προσεγγίζεται το ζήτημα της συμβολής των εν λόγω τεχνολογιών υπό μια κριτική προσέγγιση. Γίνεται δηλαδή μια προσπάθεια να παρατεθούν, πέραν των εγγενών περιορισμών τους, η αδυναμία τους να επιφέρουν «γιατρειά» στα ριζωμένα προβλήματα της κοινωνίας.

5.2.1 Εγγενείς Περιορισμοί και μη Ριζικές Λύσεις

Ήδη από τις ενότητες που αφιερώθηκαν στην περιγραφή των χαρακτηριστικών των συστημάτων τηλεανίχνευσης και γεωγραφικών πληροφοριών, έχουν ανακύψει, πέραν από τις δυνατότητες και ευκαιρίες, αρκετοί περιορισμοί σχετικά με την συλλογή, απογραφή, καταχώρηση, αποθήκευση, διαχείριση, επεξεργασία, ανάλυση, χαρτογραφική απόδοση και εν γένει αξιοποίηση δεδομένων της φυσικής και κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας. Ειδικότερα, όταν τέτοια συστήματα εμπλέκονται στο πάσχισμα-πόνημα της διαχείρισης φυσικών καταστροφών, εμφανίζουν αδυναμίες οι οποίες, εν μέρει, συναρτώνται με παραμέτρους που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των πρώτων, εκτός από την ενύπαρκτη δυσχέρεια που εμπίπτει στις δεύτερες, και πιο συγκεκριμένα στα «κλιμάκια» των φυσικών φαινομένων και των ανθρωπογενών συμπεριφορών και δραστηριοτήτων.

Εξ' άλλου, σύμφωνα με τον Morgan (1989), αυτές οι τεχνολογικές «προτάσεις» δεν συνιστούν πανάκεια για την συλλογή και την αποτίμηση πληροφορίας σχετικά με την διαχείριση (της διακινδύνευσης) των φυσικών καταστροφών, καθώς παρουσιάζουν σοβαρούς περιορισμούς, ενώ είναι πιο κατάλληλες για κάποιους κινδύνους, και για άλλους λιγότερο. Τα δε αδύνατα σημεία απορρέουν τόσο από τα χαρακτηριστικά των τηλεπισκοπικών δεκτών (χωρική, ραδιομετρική κ.α. διακριτική ικανότητα) όσον αφορά στη συλλογή τους, τις μεθόδους επεξεργασίας και διαχείρισης των συλλεχθέντων δεδομένων (σε ένα λογισμικό

Τηλεπισκόπησης ή σε ένα ΓΣΠ), αλλά και από τη φύση και τον τρόπο εκδήλωσης των φυσικών φαινομένων και διαδικασιών (ταχύρυθμα εξελίξιμες, φανερές κ.α.).

Τα συστήματα παρακολούθησης, απογραφής και διαχείρισης των πληροφοριών γεωγραφικής φύσης φαίνεται λοιπόν να συγκεντρώνουν τα πλεονεκτήματα της συνεχούς και «αβίαστης» συγκέντρωσης πληροφορίας (σε «σχετικά» χαμηλά κόστη) όσον αφορά τόσο στην εξέλιξη του φαινομένου, όσο και στην γνώση των ανθρώπινων διαθέσιμων και της δυναμικής τους. Ενέχουν, ως εκ τούτου, μια διττή υπόσταση στην δυνατότητα τους να απαλύνουν την υποκείμενη τρωτότητα, ή να εγείρουν την προσαρμοστικότητα των ανθρώπων και των κοινωνιών.

Από τη μία «αποκαλύπτουν» την εμφάνιση και εξέλιξη των ενδεχομένως καταστροφικών επεισοδίων στον χώρο και στον χρόνο (μειώνοντας την φυσική τρωτότητα ή φυσική έκθεση), καθιστώντας τους ανθρώπους κοινωνούς στην γνώση και επίγνωση τους, με περιορισμούς, ζωνοποιήσεις, παραγωγή χαρτών (κινδύνου, τρωτότητας και διακινδύνευσης, αντίκτυπων κ.α.) Έτσι, δυνητικά προάγουν αναβαθμισμένη προσαρμοστικότητα των ανθρώπινων κοινωνιών στη βάση των περιορισμών και των απειλών που θέτει ένας φυσικός κίνδυνος.

Από την άλλη, καταγράφοντας και απογράφοντας την φυσική και κοινωνικοοικονομική πραγματικότητα ενός τόπου, μιας περιοχής-περιφέρειας, παρουσιάζονται οι χωρικές κατανομές των ανθρωπίνων υποκειμένων, των ανθρωποποίητων οντοτήτων και των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων σε σχέση και αλληλεξάρτηση μεταξύ τους, αλλά και με το εγγύς φυσικό ή αδόμητο περιβάλλον και η διαχρονική εξέλιξή αυτών και των τάσεων μεταβολής τους. Ως εκ τούτου, σε αυτήν την δεύτερη πτυχή της υπόστασης τους, είναι δυνατό να εξαχθούν, πάντα με τους απαραίτητους επίγειους ελέγχους και τις επιτόπιες έρευνες είτε προς επαλήθευση, είτε προς συμπλήρωση και καταγραφή ποιοτικών ή μετρητικών πληροφοριών που δεν δύνανται τα συστήματα τηλεπισκόπησης να ανιχνεύσουν (λ.χ. τίτλοι και δικαιώματα ιδιοκτησίας γης, κατοικιών, δημογραφικά χαρακτηριστικά, οικονομικά μεγέθη, επίπεδα ευημερίας κ.α.), ο γενικότερος χαρακτήρα μιας περιοχής, καθώς και οι δυνατότητες/ αδύνατα σημεία και οι απειλές/ ευκαιρίες που διέπουν μια οργανωμένη κοινωνία όταν πρόκειται να αντιπαρατεθούν ενός φυσικού ή περιβαλλοντικού κινδύνου. Τέτοια ενεργήματα αφορούν στον ευρύτερο χωροταξικό (γεωγραφική θέση και εγκατάσταση, π.χ. στους πρόποδες ενός όρους, στην παράκτια ζώνη, στην

παρόχθια ζώνη ενός μεγάλου ποταμού κ.α.) αλλά και πολεοδομικό σχεδιασμό, σε άμεση συνάρτηση με τις εκάστοτε υποδομές μεταφορών και συγκοινωνιών, δικτύων κοινής ωφέλειας, κτιριακών χαρακτηριστικών (ύψη, υλικά, κατασκευαστικές προδιαγραφές), του ρυμοτομικού σχεδιασμού, της γεωγραφικής πυκνότητας των κτηρίων, των μεταξύ τους αποστάσεων, της ύπαρξης, έκτασης-κατανομής, χώρων αναψυχής κ.λ.π. Επίσης, η γνώση των συγκεκριμένων τόπων όπου επιτελούνται οι περισσότερες δραστηριότητες και συγκεντρώνεται ο πληθυσμός, καθώς και οι διαφοροποιήσεις τους στον χώρο και χρόνο (ώρα ημέρας/ μέρα εβδομάδας/ μήνας) επέχουν μείζονος σημασίας αξία.

Όλα τα παραπάνω, αποτελούν στο σύνολό τους πολύ κρίσιμες συνιστώσες προκειμένου να υπάρξει η δυνατότητα για ολοκληρωμένη και αποτελεσματική διαχείριση καταστροφών. Μολαταύτα, η αποτελεσματική παροχή όλων αυτών των πληροφοριών σε όρους πληρότητας και ακρίβειας συνιστούν απαραίτητη αλλά όχι και ικανή προϋπόθεση προς την επίτευξη των αντικειμενικών στόχων της επιτυχούς και διηνεκούς αντιμετώπισης καταστροφικών συμβάντων. Ο λόγος έγκειται στο ακόλουθο: η μετουσίωση του ιδεατού της «ολοκληρωμένης διαχείρισης φυσικών καταστροφών» σε μία σειρά μεστών και εφαρμόσιμων πρακτικών – από τα ευρύτερα συλλογικά επίπεδα έως τις ατομικές καθημερινές πρακτικές και επιλογές – προϋποθέτει ένα γόνιμο κοινωνικό έδαφος, με παράλληλη άμβλυνση των όποιων κοινωνικών και οικονομικών ανισοτήτων, την οικονομική δυνατότητα να ακολουθηθούν οι οποιεσδήποτε ώριμες και ορθολογικές αποφάσεις, την ύπαρξη και επενέργεια ισχυρών και έγκριτων πολιτικών ωθήσεων που θα εκπονήσουν ολοκληρωμένα προγράμματα και θα τα υλοποιήσουν μέσα από συντονισμένες ενέργειες και δράσεις, πάντοτε σε διαλεκτική αρμονία με τα πολιτισμικά μορφώματα και το φυσικό περιβάλλον.

Μια τέτοια προσεγγίσει θέτει την τεχνολογία, τα τεχνολογικά διαβήματα και τα παράγωγά της στο πλέγμα των αλληλεπιδράσεων με τα λοιπά επίπεδα της πραγματικότητας. Η τεχνολογίες των συστημάτων τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ φέρνουν στο προσκήνιο μη κατασκευαστικές λύσεις προς την τροποποίηση της φυσικής και ανθρώπινης τρωτότητας, σε καμία όμως περίπτωση δεν μπορούν να επιφέρουν θεραπεία στις βαθύτερες αιτίες που ιθύνουν την ανθρώπινη τρωτότητα. Η κοινωνική, η οικονομική, η πολιτισμική και η πολιτική, ως οι τέσσερις κύριες διαστάσεις της τρωτότητας, δεν δύνανται να τροποποιηθούν παρά μερικώς και υπό

όρους, όσο επαρκής και πλήρης να είναι η πρόσβαση σε πληροφορίες, και υψηλή η επαγρύπνηση, όσον αφορά, από την μία στη γνώση των φυσικών φαινομένων και διαδικασιών στον χώρο και στον χρόνο, ανάλογα με τον τρόπο και την ένταση εκδήλωσής τους, και από την άλλη στην κατανόηση και αναπαράσταση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, ενεργημάτων, συμπεριφορών (κοινωνική και οικονομική δραστηριότητα) και της έκφανσής τους στον χρόνο, μέσω χωρικών σχέσεων και προτύπων· ακόμη και η επίγνωση των μεταξύ τους σχέσεων, αλληλεπιδράσεων και αλληλοκαθορισμών (μέσα από τον «συγκερασμό» τους), ελάχιστα μπορούν να συνδράμουν αν δεν επέλθει – ριζική ενίοτε – αναδιάρθρωση των υφιστάμενων ισορροπιών. Γι' αυτό, κάθε ουσιαστικό εγχείρημα για ολοκληρωμένη διαχείριση/ αντιμετώπιση, θα πρέπει να εμπερικλείει την ενίσχυση της ανθεκτικότητας-προσαρμοστικότητας κάθε διάστασης της τρωτότητας, έναντι των βασικών τύπων κινδύνων. Μια έννοια που συνάδει με την παραπάνω προσέγγιση, και δυνητικά τονώνει την προσαρμοστικότητα καθ' ολοκληρία, είναι αυτή της *ανάπτυξης*. Προτού γίνει μνεία περί της τελευταίας και αναδειχθεί ο μείζον ρόλος της, αναφαίνονται ορισμένες πτυχές που ενδεχομένως καταστέλλουν περαιτέρω την δυνατότητα των τεχνολογικών μέσων να συνεπικουρήσουν στην επίλυση του προβλήματος.

5.2.2 Ευρύτεροι Προβληματισμοί

Τα τεχνολογικά βοηθήματα, προφανώς δεν μπορούν να διαδραματίσουν κάποιο ρόλο στην εξισορρόπηση προβληματικών καταστάσεων που ελλοχεύουν στις απολήξεις τις κοινωνικής αιτιότητας της τρωτότητας. Εκτός όμως αυτού του αδιαμφισβήτητου γεγονότος, άλλα, γενικότερα θέματα εγείρονται κατά την επισκόπηση των πρώτων.

Τέτοια θέματα σχετίζονται με τα κόστη σχεδιασμού, κατασκευής και εκτόξευσης δορυφόρων, σε συνδυασμό με τον ρυθμό γοργής πεπαλαίωσής τους, καθώς και με τα κόστη των συστημάτων επεξεργασίας (λογισμικά προγράμματα) τηλεπισκοπικών εικόνων, ή και διαχείρισης γεωγραφικών πληροφοριών (ΓΣΠ), αλλά και τις χρηματικές απαιτήσεις απόκτησης δεδομένων γεωγραφικής φύσεως, όπως δορυφορικές εικόνες και ψηφιακά (ψηφιδωτά και διανυσματικά) γεωγραφικά δεδομένα-πληροφορίες. Και ενώ το κόστος των συστημάτων ανάλυσης και

επεξεργασίας μπορεί να φθίνει σε κάποιον βαθμό, αντίθετα, το κόστος αποκομιδής δεδομένων και πληροφορίας – παρά το γεγονός ότι η βαθμιαία συγκέντρωση τους έχει οδηγήσει σε τεράστιες «επισωρεύσεις» σε σχετικές τράπεζες – δεν μειώνεται κατ' αντίστοιχο τρόπο, ενώ πολλές φορές ακόμη και αυξάνει, εξαιτίας των πιέσεων που ασκεί η αγορά.

Ως απόρροια των προηγούμενων, τίθεται στο προσκήνιο το ερώτημα περί του αν «οι ουρανοί εκδημοκρατίζονται ή εμπορευματοποιούνται (;)» και αν τελικά η διάχυση πληροφορίας και τεχνογνωσίας όντως επισυμβαίνει (;), καθώς, κατά τον Mack (1990) η μείωση των κρατικών παρεμβάσεων όσον αφορά στις δορυφορικές εφαρμογές, και η έξαρση τη ιδιωτικοποίησης έχουν οδηγήσει σε ένα στρεβλό πρότυπο επιμερισμού συναφών προϊόντων και υπηρεσιών, κατά τις νόρμες τις ελεύθερης αγοράς, και δη κατά την αγοραστική δυνατότητα. Επεξηγηματικά, η ραγδαία αύξηση των συλλεγόμενων, πάσης φύσεως γεωγραφικών δεδομένων και πληροφοριών, δεν συνάδει με τον τρόπο επιμερισμού τους.

Η διάχυση λοιπόν της πληροφορίας, πληροφόρησης και της τεχνογνωσίας αποτελεί ένα μείζον ζήτημα τόσο σε τοπικό, περιφερειακό, εθνικό, αλλά και σε υπερεθνικό επίπεδο.

Υφίσταται λοιπόν μια πραγματικότητα όπου είναι απαραίτητη τόσο η απόκτηση (χωρική και θεματικής) πληροφορίας, έγκαιρα, με επάρκεια και ακρίβεια, όσο και η δυνατότητα ταχύρυθμης προσπέλασης και ανάλυσής της μέσα από διάφορα τεχνολογικά εργαλεία, όπως η Τηλεπισκόπηση, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, τα χωρικά και άλλα μοντέλα πρόγνωσης-πρόβλεψης. Βέβαια, θα πρέπει κανείς να αναρωτηθεί ποια είναι πράγματι η «προστιθέμενη αξία» της Τηλεπισκόπησης στα περιβαλλοντικά ζητήματα (Belward *et al.*, 1994), και πως μπορεί να υπηρετήσει μια εξελιγμένη κοινωνία πληροφόρησης, τεχνολογικά προηγμένη. Από μια άλλη, ακόμη πιο διεισδυτική σκοπιά, θα πρέπει κανείς να έχει πάντοτε υπ' όψιν αυτό που με γλαφυρό τρόπο διατείνεται ο Alexander (2000), ήτοι η οπτικοποίηση ενός προβλήματος με βελτιωμένα γραφικά, δεν συνεπάγεται μια εννοιολογικά βελτιωμένη προσέγγιση, σε ένα πλαίσιο όπου η πραγματικότητα τελεί υπό την απειλή να γίνει πολύ εικονική και η μεθοδολογία πολύ επαγωγική, εξωθούμενη από μια οξυνόμενη προδιάθεση κατά την οποία τα προβλήματα τείνουν να εκλαμβάνονται ως επιλύσιμα, μόνο αν είναι δυνατή η μετατροπή τους σε *bytes* ή *pixels*.

Τέτοιες διατυπώσεις ανακαλούν φόβους που είχαν προοιωνιστεί από το πρώτο κεφάλαιο, όταν ακόμη γινόταν η διάκριση ανάμεσα σε κατασκευαστικές και μη κατασκευαστικές λύσεις. Η απειλή τέτοιων, μη κατασκευαστικά μεν, τεχνολογικά δε επιφερόμενων μεθόδων συναρτάται με το ενδεχόμενο η τεχνοκρατική προσέγγιση που τις διέπει να μετουσιωθεί ταυτόχρονα και σε αυτοσκοπός των επιδιώξεών τους. Εκτός αυτού όμως, ακόμη και στην περίπτωση που η αξιοποίηση τέτοιων τεχνολογικών μέσων επιτελείται κατά τρόπο που να ανταποκρίνεται πρωταρχικά στην επίλυση των πραγματικών προβλημάτων που είναι «προορισμένη» να «επιλύει», θα ήταν αδύνατο να μην γίνει μνεία στον κίνδυνο που ελλοχεύει όταν μια κοινωνία εμπήγει τα θεμέλια της ανθεκτικότητας της στο έδαφος της τεχνογνωσίας και των τεχνολογικών επιτευγμάτων. Έτσι, λοιπόν, σε αυτό το σημείο υποδηλώνεται ότι όσο πιο «εξαρτημένη» καθίσταται μια κοινωνία από την τεχνολογία, τόσο πιο ευάλωτη καταντά η πρώτη σε περίπτωση που δεν μπορούν να της παραχθούν οι αντίστοιχες «καλύψεις» ή εγγυήσεις της τελευταίας.

Τελικά θα πρέπει να προβληθεί με παρρησία το γεγονός ότι αν και τα τεχνολογικά διαβήματα παρακολούθησης τής γης και του περιβάλλοντος, καθώς και διαχείρισης και επεξεργασίας των ψηφιακών αναπαραστάσεων της γήινης πραγματικότητας μπορούν να συντελέσουν θετικά, δεν είναι η ύπαρξη ψηφιακών δεδομένων υψηλής ανάλυσης, ούτε οι αποτελεσματικές, εκλεπτυσμένες και ακριβείς διαδικασίες επεξεργασίας τους που διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ουσιαστική διαχείριση κρίσεων και στην λύση του προβλήματος. Ως εκ τούτου, η διάχυση της τεχνολογίας και της πληροφορίας συνιστά μονάχα ένα μέρος της λύσης του προβλήματος, και αυτό υπό κατάλληλες προϋποθέσεις. Το «ψηφιακό χάσμα» ή το «ψηφιακό έλλειμμα» δεν είναι ο πρωταρχικός παράγοντας που διαχωρίζει τις λιγότερο από τις περισσότερο ανεπτυγμένες χώρες· ομοίως, η ψηφιακή σύγκλιση, αλλά και γενικότερα η τεχνολογική ανάπτυξη δεν είναι η θεραπεία.

Αυτό το πόρισμα, καίτοι, αντί να γίνει πρόσκομμα για την αργή ή και μηδαμινή διάχυση της πληροφόρησης, πληροφορίας, τεχνολογικών μέσων και τεχνογνωσίας στις λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες, μάλλον θα πρέπει να αποτελέσει οδηγό για την ανατροπή των υφιστάμενων ισορροπιών, σε μια προσέγγιση όπου προτάσσεται, πέραν της τεχνολογικής ανάπτυξης, η «τόνωση» όλων των λοιπόν πτυχών μιας ανθρωπογενούς πραγματικότητας η οποία βρίσκεται σε στενή αλληλεξάρτηση με το φυσικό περιβάλλον. Έτσι λοιπόν, θεμελιώδης προϋπόθεση

ώστε να καταστούν εφικτές οι ενέργειες ετοιμότητας, απόκρισης, αποκατάστασης και εν γένει μετριασμού της διακινδύνευσης, οι οποίες αποτυπώνονται σε/ και «υπαγορεύονται» από τηλεπισκοπικές εικόνες και ψηφιακά ή αναλογικά χαρτογραφικά παραγόμενα, θεωρείται η υιοθέτηση μιας πιο ολιστικής προσέγγισης της πραγματικότητας, ώστε πόροι, διαθέσιμα, ευκαιρίες και προοπτικές να «μεταφέρονται» στους ανθρώπους (ή στις ομάδες) που τα αξιώνουν πιο έντονα – συμπεριλαμβανόμενης και της μετακίνησης και μετεγκατάστασης των ανθρώπων των ίδιων – , όταν πρέπει, και κατά τρόπο που αρμόζει (κοινωνική δικαιοσύνη), μέσα από στιβαρές, αλλά υγιαίνουσες πολιτικές επιλογές.

Παρακάτω περιγράφεται μια άλλη διέξοδος, διαμέσου της γενικότερης ανάπτυξης, αναδεικνύοντας την υπέρτατη σημασία της τελευταίας για την διευθέτηση της τρωτότητας και, εν τέλει, για την αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών.

5.3 Φυσικές Καταστροφές, Τρωτότητα και Ανάπτυξη

Οι φυσικές καταστροφές, και εν γένει οι καταστροφές συνιστούν αιφνίδια πλήγματα στον χώρο και στις κοινωνίες, επιφέροντας διαταραχή και διάρρηξη των υφιστάμενων ισορροπιών. Από την άλλη, εξ' αιτίας του γεγονότος ότι έχουν κάποιες περιόδους επαναφοράς, δηλαδή επανεμφανίζονται στο διάβα του χρόνου σε συγκεκριμένους χώρους, εκτός από διακριτά συμβάντα, δημιουργούν «σειρές συμβάντων». Κοινή συνισταμένη των προηγούμενων αποτελεί το ότι ορισμένοι χώροι και κοινωνίες θα πρέπει αφ' ενός να αντιληφθούν ότι ο φυσικός κίνδυνος συνιστά ένα αναπόσπαστο και αναπόφευκτο στοιχείο στην διεπαφή του φυσικού και του ανθρωπογενούς, ενώ η επαύξηση της διακινδύνευσης και το μέγεθος της καταστροφής απορρέει κατά μεγάλο μέρος από την ανθρώπινη τρωτότητα. Καθώς στον αντίποδα της τελευταίας εντοπίζεται η ικανότητα (capacity) ή η προσαρμοστικότητα (resilience) – η ιδιότητα ενός συνόλου ανθρώπων να ανθίσταται στις φθοροποιούς επενέργειες ενός κινδύνου και να αποκαθίσταται εύκολα –, διαφαίνεται ότι η έγερση αυτής, σε μεγάλο βαθμό δυνητικά προωθεί εναλλακτικές προς μια πιο μεστή διευθέτηση τέτοιων καταστροφών. Κάτι τέτοιο όμως δεν μπορεί να επιτευχθεί άνευ δυνάμεων και κινητήριων μοχλών που θα αναβαθμίσουν και βελτιώσουν τις συνολικές συνθήκες στο κοινωνικοοικονομικό, πολιτισμικό και πολιτικό γίγνεσθαι ενός τόπου. Ως απόρροια των προηγούμενων, αναδύεται στο

προσκήνιο η «φιγούρα» της «ανάπτυξης», η οποία θα πρέπει να ιδωθεί ως αναπόσπαστο τμήμα της διαχείρισης των φυσικών καταστροφών· αντίστροφα δε, επεκτείνοντας αυτόν τον συλλογισμό, κατά την αναπτυξιακή διαδικασία δεν θα πρέπει να αγνοείται ο φυσικός κίνδυνος, ούτε και τα επακόλουθα από κάποιο καταστροφικό χτύπημα. Στο υπέρτατο άκρο τέτοιων συλλογισμών, η «καταστροφή» ίσως θα πρέπει να εκληφθεί ακόμη και ως *αφορμή* για ανάπτυξη, όπως και η ίδια η «ανάπτυξη» ως παράγοντας επαύξησης της τρωτότητας και της διακινδύνευσης.

5.3.1 Φυσικές Καταστροφές και Ανάπτυξη: Η Τρωτότητα ως Συνδετικός Κρίκος

[«Αν αποδώσουμε την έμφαση στα σωστά πράγματα, αν ζήσουμε τη ζωή που αξίζει, και έπειτα αποτύχουμε, θα επιβιώσουμε σε όλες τις καταστροφές, θα ζήσουμε περισσότερο από κάθε δυστυχία. Θα πρέπει να είμαστε τόσο καλά ισορροπημένοι και συμμετρικοί/ αρμονικοί, ώστε τίποτα το οποίο μπορεί ποτέ να συμβεί, να δύναται να μας κλονίσει από το σημείο εστίασής μας, κατά τρόπο που όποια κακοτυχία και να μας επισκιάσει, να εξακολουθεί να υπάρχει ακόμη ένας ολόκληρος υπέροχος άνθρωπος έπειτα από την «απογύμνωσή» του από κάθε τι άλλο.»
"If we put the emphasis upon the right things, if we live the life that is worth while, and then fail, we will survive all disasters, we will out-live all misfortune. We should be so well balanced and symmetrical, that nothing which could ever happen could throw us off our center, so that no matter what misfortune should overtake us, there would still be a whole magnificent man or woman left after being stripped of everything else."]

(Orison Swett Marden**)**

5.3.1.1 Φυσικές Καταστροφές και Ανάπτυξη

Οι φυσικές καταστροφές, όπου κάνουν την εμφάνισή τους, συνεπάγονται τρομερά δεινά στη ζωή και στον βιοπορισμό των μελών των κατατρυχόμενων κοινωνιών, και ειδικότερα όσον αφορά στα μέλη των πιο επιρρεπών κοινωνικών ομάδων, όπως οι χαμηλές εισοδηματικές τάξεις, οι μετανάστες, οι ηλικιωμένοι κ.α. Η ανάδυση λοιπόν ενός περιστατικού υψηλής διακινδύνευσης, εκτός από τις άμεσες-

βραχυχρόνιες ολέθριες συνέπειες που επιφέρει (απώλειες ζωών, τραυματισμοί, φθορές και ζημιές σε περιουσίες, καταστροφές σε δημόσιες υποδομές κ.α.) κατά την «στιγμή» που λαμβάνει χώρα, σε βάθος χρόνου καθιστά μια κοινωνία στο σύνολό της (ακόμη) πιο ευάλωτη σε επερχόμενες απειλές, με τον πιο τραγικό και επώδυνο αντίκτυπο να επισύρεται στις λιγότερο ευνοημένες, και δη στις πιο σφοδρά μαστιζόμενες ομάδες. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι που η αναπτυξιακή διαδικασία προτάσσεται ως αδήριτη αναγκαιότητα, παρ' όλο που σε θεωρία και σε πράξη δεν τείνει να προάγεται πάντα μια τέτοια συσχέτιση. Ακόμη σπανιότερα προβάλλεται η αντίστροφη, εξ' ίσου σημαντική «έκφραση», κατά την οποία τα αναπτυξιακά εγχειρήματα πρέπει να εντάσσουν την παράμετρο της διακινδύνευσης και των συνεπειών των φυσικών καταστροφών. Καθώς άλλωστε εισηγείται και ο Anderson (1991), αγνοώντας πιθανές καταστροφές, πολλές αναπτυξιακές προσπάθειες όχι μόνο δεν μειώνουν το ενδεχόμενο εμφάνισής των πρώτων, επιπλέον δε επαυξάνουν την τρωτότητα σε αυτές. Επιπλέον, συνεχίζει ο Anderson, οι δαπάνες για ανάπτυξη και για διαχείριση των καταστροφών δεν πρέπει να εκλαμβάνονται ως «αντισταθμίσματα» (trade-offs), αλλά ως (πεπερασμένοι) πόροι οι οποίοι διατιθέμενοι είτε αφ' ενός προς αναπτυξιακούς στόχους θα έχουν αντίκτυπο στον πιθανό αντίκτυπο από μια καταστροφή, είτε αφ' ετέρου προς στρατηγικές απόκρισης σε καταστροφές, θα έχουν επίπτωση στην δυνητική (μελλοντική) ανάπτυξη. Τελικά, καταλήγει ότι οι επενδύσεις για την ανάπτυξη δεν θα πρέπει να αυξάνουν την τρωτότητα, τουναντίον θα πρέπει να ενισχύουν την προσαρμοστική ικανότητα μιας κοινωνίας (ενός τόπου, μιας περιφέρειας, μιας χώρας) στις καταστροφές. Συνεπώς, «επιβάλλεται» η ανάκυψη νέων προσεγγίσεων στον αναπτυξιακό σχεδιασμό, επί των οποίων ο μετριασμός (της διακινδύνευσης) των καταστροφών δεν εκλαμβάνεται ως «περιττό έξοδο» (Luscombe and Hassan, 1993).

Καθώς λοιπόν η «υπόσταση» των (φυσικών) καταστροφών αλληλεμπλέκεται τόσο αναπόσπαστα με αυτήν της ανάπτυξης, είναι κρίσιμο να ερμηνευτεί κατά κάποιον τρόπο το νόημα της δεύτερης, δεδομένου ότι σε προηγούμενα έχει ήδη καθοριστεί και διαστασιολογηθεί η έννοια της πρώτης (της καταστροφής). Έτσι, θα μπορούσε κανείς να υποστηρίξει ότι, γενικά, η ανάπτυξη συνιστά ένα διανόημα που στην μέση κοινωνική συνείδηση απηχεί με έναν εγγενώς θετικό τρόπο. Στην πράξη, ανάπτυξη μπορεί να σημαίνει κάτι εντελώς διαφορετικό, ανάλογα με τις καταβολές, την νοοτροπία, τις πεποιθήσεις (πολιτικές, ιδεολογικές) και τις επιδιώξεις ενός

ατόμου, ή ενός κοινωνικού συνόλου. Η διάφορες «μορφές» ανάπτυξης έχουν παρατεθεί συνοπτικά στα έργα διαφόρων επιστημόνων και ερευνητών (λ.χ. Schuurman, 1996; Rist, 1997). Πάντως, σε μια απόδοση του όρου χωρίς αξιακές παραμέτρους, υποκειμενισμούς και «χρωματισμούς»,

> «ανάπτυξη είναι μια «καλύτερη» ισορροπία κοινωνικών και ανθρωπίνων σχέσεων και συστημάτων χρήσεων γης, παραγωγής, απασχόλησης, διανομής και κατανάλωσης, σύμφωνα με τις αξίες και τις επιλογές των δυνάμεων που βρίσκονται στην εξουσία, όπως αυτές μαχητικά συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν, στο φυσικό περιβάλλον, με την συγκεκριμένη κάθε φορά κοινωνική δυναμική και τη μέση κοινωνική συνείδηση» (Ρόκος, 2001),

όπου μονάχα η λέξη «καλύτερη» εγκολπώνει τις κάθε φορά υποκειμενικότητες οι οποίες αναπόδραστα υπεισέρχονται σε έναν τέτοιο ορισμό, ενώ τα λοιπά «συναπαρτίσματα» αυτού του ορισμού παραθέτουν τους όρους και τους παράγοντες που επενεργούν προς την επίτευξη νέων ισορροπιών, ανεξάρτητα από το τι θεωρείται θετικό και καλό και από ποιους, αλλά και ποιοι αποκομίζουν τα μεγαλύτερα οφέλη – ή αντίστοιχα για ποιους η νέα κατάσταση ισορροπίας μπορεί να επιδεινώνει τις συνθήκες.

5.3.1.2 Διαστάσεις Τρωτότητας και Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη

Όπως έχει καταδειχτεί μέσα από όλο το φάσμα αυτής της εργασίας, η ανθρώπινη τρωτότητα (και λιγότερο η φυσική έκθεση) συνιστά την υποκείμενη ουσία που τελεί καταλυτικά στην «εκτίναξη» των ολέθριων συνεπειών – στη διεπαφή φυσικού και ανθρωποποίητου περιβάλλοντος – υπό την εμφάνιση ενός δυνητικά καταστροφικού επεισοδίου. Η τρωτότητα όμως ερείδεται επί μιας σειράς κοινωνικών, οικονομικών, πολιτικών, πολιτισμικών, (αλλά και τεχνολογικών) παραμέτρων. Από την άλλη, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, διαφαίνεται πως ο αναπτυξιακός σχεδιασμός εμφορείται από μια έντονη δυναμική ουσιαστικής συμβολής στην αντιμετώπιση καταστροφών. Τέτοιες διατυπώσεις, σε συνδυασμό με την «περιρρέουσα ατμόσφαιρα» που έχει δημιουργηθεί σε αυτήν την εργασία, δεν θα

μπορούσαν παρά να εγείρουν ερωτηματικά περί της ανάδυσης μιας – κατά το μέτρο του δυνατού και σε θεωρητικό τουλάχιστον επίπεδο – ικανής μορφής ανάπτυξης, η οποία «συνοδεύεται από το εχέγγυο» της επενέργειάς της κατ' αρχήν στην κοινωνική, οικονομική, πολιτική, πολιτισμική αιτιότητα της ανθρώπινης τρωτότητας, αποδίδοντας ταυτόχρονα την δέουσα σημασία στις φυσικές συνιστώσες – είτε αυτές λογίζονται ως κίνδυνοι, είτε ως πόροι.[75]

Μια τέτοια ανάπτυξη θα μπορούσε να είναι: ταυτόχρονα, σε βάθος χρόνου και σε κάθε χωρικό επίπεδο αναφοράς (πλανητικό, υπερεθνικό, εθνικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο) οικονομική, κοινωνική, πολιτική, πολιτισμική και τεχνική/ τεχνολογική «ανάπτυξης», η οποία υφίσταται, μόνο όταν τελείται σε διαλεκτική αρμονία και με σεβασμό πάντα στον άνθρωπο τις προαιώνιες ευγενείς του αξίες και το «όλο» φυσικό και πολιτισμικό του περιβάλλον, επί του οποίου αυτός εντάσσεται, όχι ως κυρίαρχο, άλλα, ειρηνικά και δημιουργικά, ως αναπόσπαστο μέρος του (Ρόκος, 2001).

Μια τέτοια ανάπτυξη – *αξιοβίωτη ολοκληρωμένη ανάπτυξη* – προάγει ένα θεωρητικό (και δυνάμει εφαρμοσμένο) μοντέλο στη βάση του οποίου μπορούν να επιληφθούν τα φυσικοκαταστροφικά φαινόμενα, αναδιφώντας σε πρωταρχικά «συστατικά» της τρωτότητας, με μια εγγενή προδιάθεση να διευθετήσει τόσο τα πρώτα, όσο και τα τελευταία ως όλον.

5.3.2 Οι (Φυσικές) Καταστροφές ως Εφαλτήριο για Ανάπτυξη – Η «Ανάπτυξη» ως Έναυσμα Φυσικών Καταστροφών

[«Δεν υπάρχει καταστροφή που να μην μπορεί να γίνει ευλογία, και ευλογία που να μην μπορεί να γίνει καταστροφή.»
"There's no disaster that can't become a blessing, and no blessing that can't become a disaster"]

(Richard Bach)

Όπως έχει προοιωνιστεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, η αναπτυξιακή διαδικασία, όπως αυτή ορίζεται κάθε φορά, αποτελεί διαδικασία που μπορεί (και

[75] εδώ εμπλέκεται η έννοια της φυσικής έκθεσης: όταν το φυσικό περιβάλλον λογίζεται ως κίνδυνος, εξετάζεται ο βαθμός έκθεσης, ενώ όταν λογίζεται ως πόρος, ο βαθμός πρόσβασης.

πρέπει) να επιτελείται κατά τη μετάβαση από το στάδιο της αποκατάστασης προς το στάδιο του μετριασμού της διακινδύνευσης και έγερσης της ετοιμότητας. Αυτό σημαίνει πρακτικά πως ύστερα από την ανάδυση ενός καταστροφικού περιστατικού, και την παροχή άμεση βοήθειας και ανακούφισης προς τους πληγέντες, εκκινείται μια πορεία προς την επαναφορά στις παρελθούσες κανονικότητες, ή ακόμη και προς την επίτευξη ακόμη καλυτέρων επιπέδων ισορροπιών, ώστε μια κοινωνία να προάγει, μεταξύ άλλων, αναβαθμισμένες προϋποθέσεις για μετριασμό της εν γένει διακινδύνευσης των συναπαρτισμάτων της, έτσι ώστε, στο σύνολό της να είναι καλύτερα προσαρμοσμένη σε επερχόμενες φυσικές καταστροφές. Μια τέτοια διατύπωση, συνάδει απόλυτα και με τον προηγούμενο ορισμό περί ανάπτυξης. Το ερώτημα είναι, για άλλη μια φορά, αν οι μετα-καταστροφικές αναδιαρθρωτικές και αναπτυξιακές διαδικασίες όντως θα ενεργοποιηθούν, ώστε να επιφέρουν βελτιωμένες (ή τουλάχιστον ίδιες) συνθήκες και δυναμική προς την κατεύθυνση της ευμενούς τροποποίησης του όλου των διαστάσεων της τρωτότητας(;) και αν ναι, προς όφελος ποιών(;). Επεκτείνοντας αυτούς τους συλλογισμούς-προβληματισμούς ένα βήμα πιο πέρα, ένα άλλο ερώτημα που ανακύπτει συναρτάται με το αν τελικά η «ανάπτυξη» είτε ύστερα από την έκρηξη ενός επεισοδίου, είτε νοούμενη με την ευρύτερη διαδικασία της, λειτουργεί τελικά κατά τρόπο που να αποκλιμακώνει τους επιζήμιους αντίκτυπους των καταστροφών, αίροντας την τρωτότητα και επιφέροντας υψηλότερη προσαρμοστικότητα, ή επενεργεί κατά αντίθετο τρόπο, και υπό ποιες συνθήκες-προϋποθέσεις(;).

Καθ' ότι βίαια, σφοδρά και αιφνίδια πλήγματα που διαταράσσουν την κοινωνική και οικονομική κατάσταση σε τοπικό/ ή και υπερτοπικό επίπεδο, οι φυσικές καταστροφές (και εν γένει οι καταστροφές) μπορούν να θεωρηθούν ως καταλύτες που διαρρηγνύουν την «κανονικότητα». Από την άλλη, σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό που αποδόθηκε στην ανάπτυξη, η τελευταία ευθύνεται για τη διαμόρφώση νέων ισορροπιών εν μέσω κοινωνικών σχέσεων, οικονομικών δραστηριοτήτων και παραγωγικών διαδικασιών, καθώς και χρήσεων γης, ανάλογα με την αλληλεπίδραση των δυνάμεων της πολιτικής βούλησης και εξουσίας, σε σχέση πάντοτε με το φυσικό και πολιτισμικό περιβάλλον. Από τον συγκερασμό των παραπάνω αναδύονται, πέρα από τις απειλές και τις πολυδιάστατες και δριμύτατες αρνητικές επιπτώσεις που συνεπάγεται η ανάδυση επεισοδίων φυσικών

καταστροφών, η αφορμή και οι προοπτικές για νέες, καλύτερες ισορροπίες. Επεξηγηματικά, η διάρρηξη των προγενέστερων ισορροπιών εμπερικλείει μια *de facto* δυνατότητα για την αποζήτηση νέων, καλύτερων ισορροπιών, όπου η ανάνηψη, η ανακατασκευή και η αναδιάρθρωση προβάλλουν ως *conditio sine qua non*, και, υπό προϋποθέσεις, παραχωρούν πρόσφορο έδαφος για την προώθηση των πλέον ρηξικέλευθων εναλλακτικών για την πραγμάτωση μιας πιο δίκαιας κατανομής του πλούτου και της γης, συνδυαζόμενες από μελλοντικές προοπτικές που δεν υπονομεύουν συγκεκριμένες κοινωνικές ομάδες, προάγοντας εν τέλει μια μορφή ανάπτυξης που προορίζεται για όλους. Ο παραπάνω συλλογισμός βέβαια, σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να εκληφθεί ως μια επίκληση σε τεράστιας κλίμακας και πλανητικής εμβέλειας καταστροφές προς την ανατροπή και εξυγίανση του υφιστάμενου συστήματος ισορροπιών και κανονικοτήτων.

Η άλλη όψη του νομίσματος, λιγότερο ακραία και αιρετική, έγκειται στην διατύπωση ότι η υιοθέτηση μορφών ανάπτυξης ακατάλληλων, αποσπασματικών, που ιεραρχούν τον άνθρωπο στην «κορυφή της πυραμίδας», θέτοντας το φυσικό περιβάλλον υπό την νομή και κατοχή του, καταστώντας τον συννόμως εξουσιαστή (του) που μπορεί να το απομυζεί, σε καμία περίπτωση δεν επιφέρουν «καλύτερες» ισορροπίες, τουλάχιστον μακροπρόθεσμα. Και δεδομένης όχι μόνο της απομύζησης, κατασπατάλησης και υποβάθμισης του φυσικού περιβάλλοντος, άλλα και της εκμετάλλευσης του ανθρώπου από τον άνθρωπο – καθώς στο βωμό της υπέρ πάσης θυσίας κέρδους, η αποθέωση του χρήματος και της ύλης συνεπάγεται την υποβάθμιση της αξίας της ζωής και των δικαιωμάτων των πλέον «αδύνατων», φτωχών και περιθωριοποιημένων – σε τελική ανάλυση, στο σύνολο, μάλλον οδηγούμαστε προς ολοένα πιο ευάλωτες κοινωνίες, με την γεωγραφική κατανομή αυτής της εντεινόμενης τρωτότητας να διαφορίζεται σαφώς, τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε τοπικό επίπεδο, εμφανίζοντας ολοένα και περισσότερο «πολωτικές τάσεις». Ιδιαίτερα δε για συγκεκριμένες χώρες ή και συγκεκριμένες κοινωνικές ομάδες-τάξεις, που θυλακοποιούνται και γκετοποιούνται σε πλανητικό, υπερτοπικό ή και τοπικό επίπεδο, η τρωτότητα και η ανασφάλεια εντείνονται υπέρμετρα εις βάρος τους, σε έναν περίγυρο που ορισμένοι «προνομιούχοι» απολαμβάνουν ολοένα και μεγαλύτερα επίπεδα ασφάλειας. Οι δε συνήθεις προωθούμενες πολιτικές ανάπτυξης και περιβάλλοντος, όχι μόνο δεν μετριάζουν τους φθοροποιούς αντίκτυπους των καταστροφών, άλλα τείνουν να διαιωνίζουν την παρουσία και την όξυνση των

υποκείμενων καταλυτικών αιτιών, εξωθώντας περιθωριοποιημένους ανθρώπους (άπορους, μετανάστες και πρόσφυγες, ηλικιωμένους κ.α.) και κοινωνίες σε ολοένα πιο επισφαλείς συνθήκες και μη βιώσιμες πρακτικές. Ο πίνακας 7 είναι ενδεικτικός αυτής της κατάστασης, καταδεικνύοντας ότι η εμφάνιση καταστροφικών επεισοδίων στα διάφορα μήκη και πλάτη της Γης δεν συνεπάγεται τις ίδιες επιπτώσεις, ακόμη και αν τα «μεγέθη» του κινδύνου είναι κοινά· το γεγονός αυτό συναρτάται άμεσα με το βιοτικό επίπεδο και με το επίπεδο «ανάπτυξης», με σαφή αντίκτυπο στη διαφορική τρωτότητα μεταξύ MDCs και LDCs.

Πίνακας 7: Επίπεδο Ανθρώπινης ανάπτυξης και καταστροφικοί αντίκτυποι

Δείκτης Ανθρώπινης Ανάπτυξης (HDI)	*Θανατηφόρα περιστατικά ανά καταστροφικό φαινόμενο*	*Δαπάνες ανά καταστροφικό φαινόμενο (εκ. δολ.)*
Χαμηλό HDI	1.052	79
Μεσαίο HDI	145	209
Υψηλό HDI	23	636

Πηγή: IFRC, 2001 (Τροποποίηση)

Σημείωση: Κατά τη διάρκεια 1991-2001, σε 2557 καταστροφές οι οποίες προκλήθηκαν από φυσικά αίτια, παρ' όλο που οι μισές εκδηλώθηκαν σε χώρες μεσαίου HDI, τα 2/3 των μοιραίων συμβάντων σημειώθηκαν σε χώρες χαμηλού HDI. Αντίθετα, στις χώρες υψηλού HDI, μόνο το 2% των θανάτων έλαβαν χώρα, κάτι που αντισταθμίζεται από τις μεγάλες οικονομικές δαπάνες. Ως MDCs λογίζονται οι χώρες υψηλού HDI, ενώ ως LDCs οι χώρες με χαμηλό HDI.

Είναι λοιπόν οι παγκοσμιοποιημένης πλέον εμβέλειας δυνάμεις που τροφοδοτούν και εγείρουν νέες μορφές τρωτότητας, όπου, σε ένα κόσμο ίσως πιο πλούσιο και τεχνολογικά προηγμένο από ποτέ, οι οικονομικά, κοινωνικά/ πολιτισμικά ή πολιτικά αλλά και τεχνολογικά περιθωριοποιημένοι βιώνουν την πιο αδυσώπητη πλευρά των φυσικών δυνάμεων, συνάμα με την πιο κατάφωρη, κυνική και χυδαία αδικία του δήθεν πολιτισμένου, μετριοπαθούς και εξελιγμένου σύγχρονου κόσμου. Από τις πρώτες σημαντικές επιστημονικές ανακαλύψεις και τεχνολογικές εφευρέσεις, την κατά μέσο όρο συνολική αναβάθμιση του βιοτικού επιπέδου του κόσμου, και την μετάβαση προς ασφαλέστερες κοινωνίες, η οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη τείνουν πλέον να υποσκάπτουν τα ίδια τους τα θεμέλια, οδηγώντας σε νέες μορφές

και χωρικά πρότυπα τρωτότητας – πολλές φορές πλανητικής εμβέλειας: Οι δυνάμεις που άλλοτε είχαν παρουσιαστεί ως σωτήριες, τώρα πια εξωθούν τις συνιστώσες της ανθρώπινης ευαισθησίας στο δυσμενέστερο άκρο του φάσματός τους. Η δε μέση κοινωνική συνείδηση, οφείλει να διακρίνει αυτήν την νοσηρή κατάσταση που βασιλεύει, εντρυφώντας στις βαθιά ριζωμένες αδικίες και ανισότητες που ελλοχεύουν στο επικρατούν κοινωνικοοικονομικό και πολιτικό-ιδεολογικό σύστημα, οι οποίες αντανακλώνται εν μέρει και από το τεχνολογικό έλλειμμα, δυσχεραίνοντας την υπάρχουσα προβληματική κατάσταση, εν μέσω νέων συνθηκών όπου οι συνολικές επιπτώσεις από την έλευση φυσικών καταστροφών οξύνονται επιπροσθέτως από την παγκόσμια κλιματική μεταβολή (με ότι αυτή συνεπάγεται στην έξαρση κάποιων τύπων κινδύνων).

5.4 Αποκρυστάλλωση της Πραγματικότητας: Ένα Σχήμα

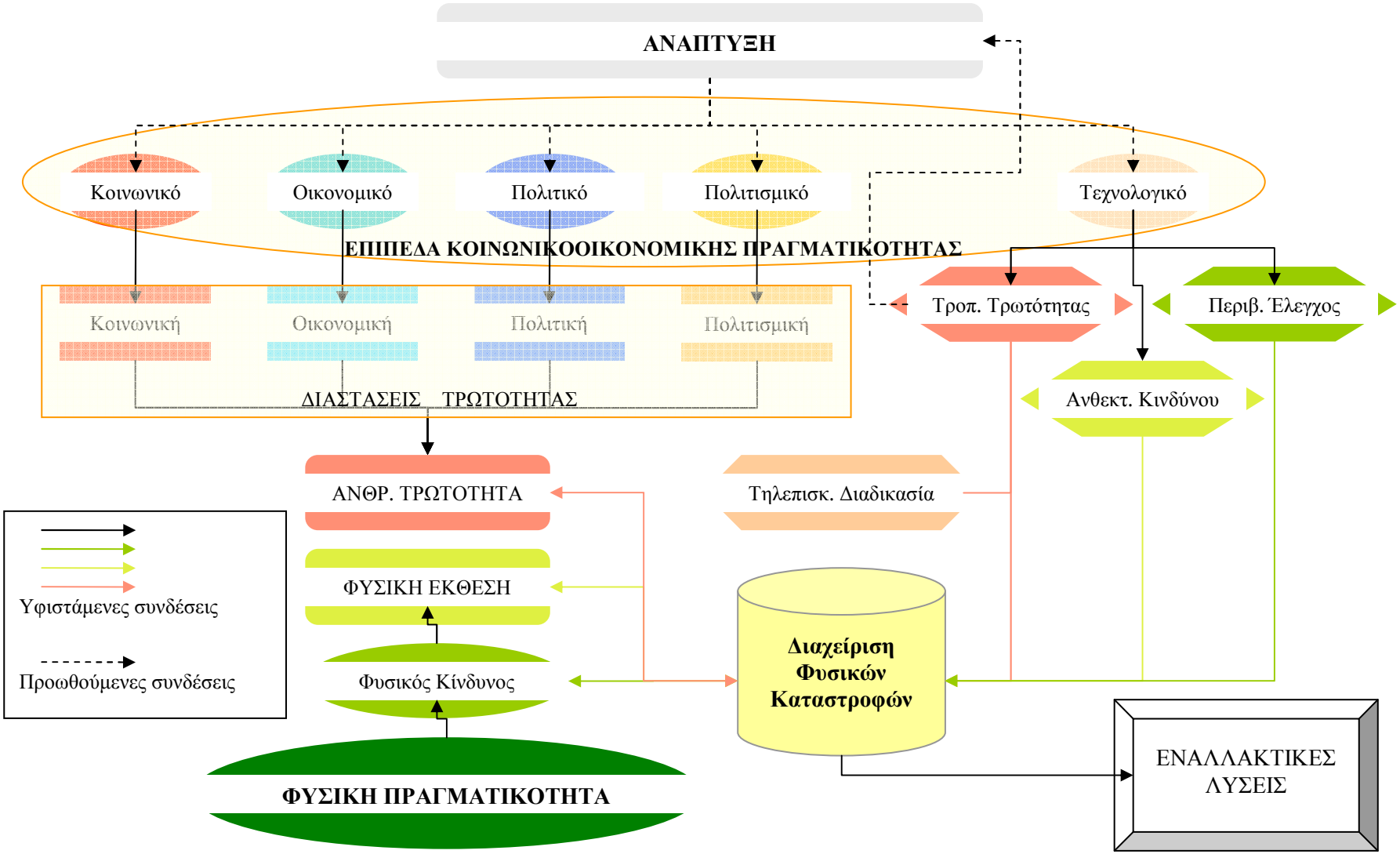
Στην εργασία αυτή, η οποία εμφορείται από μια προσέγγιση που οικειοποιείται και αξιοποιεί τα επιτεύγματα της τεχνολογικής προόδου – και των εργαλείων της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ – χωρίς παράλληλα να εκθειάζει άκριτα τα οφέλη της, λαμβάνοντας βέβαια υπ' όψιν την αποσπασματικότητα της πραγματικής χρησιμότητάς της, παρουσιάζεται ένα παράθυρο προοπτικών και ευκαιριών για ουσιαστική επίλυση του προβλήματος. Όπως άλλωστε έχει προκύψει από όλα τα παραπάνω, δεν είναι η έλλειψη ενός Η/Υ, η ανεπάρκεια δεδομένων και πληροφοριών, και η έλλειψη μοντέλων πρόβλεψης και προσομοίωσης της εκδήλωσης και εξέλιξης επεισοδίων φυσικών καταστροφών και η απουσία τεχνικών αποτίμησης των επιπτώσεών τους που εξωθούν τους εξαθλιωμένους χωρικούς του Μπαγκλαντές στην εποίκιση των πλημμυρικών πεδιάδων, ούτε τους αυτόχθονες Mayas στις ασταθείς κλιτύες στη Γουατεμάλα, ή τους άπορους νησιωτικούς πληθυσμούς στις πλαγιές των ηφαιστειακών κώνων σε κάποιο νησί της Καραϊβικής.

Η αναγνώριση των μηχανισμών γένεσης και εκδήλωσης (ακραίων) φυσικών φαινομένων, καθώς και η «προτυποποίηση» επισφαλών κατασκευών, σχεδίων, πρακτικών και βιοπορισμών, έχει να προσθέσει πολλά στην κατανόηση της συνετής προετοιμασίας και αντίδρασης σε εμφανίσεις φυσικών καταστροφών, ενώ παράλληλα μπορεί να προσδώσει μια νέα προοπτική και τεράστια ώθηση στη σημασία της μεταστροφής των ανθρώπινων τάσεων, συμπεριφορών, δραστηριοτήτων, και των

χωρικών προτύπων τους. Αυτά όμως ισχύουν σχεδόν αποκλειστικά για ανθρώπους και κοινότητες-κοινωνίες που έχουν εξασφαλίσει τα προς το ζην και διαθέτουν εναλλακτικούς βιοπορισμούς και ευκαιρίες διαβίωσης, και επ' ουδενι δεν προβλέπεται να αποτρέψουν ανθρώπους οι οποίοι ενώ δουλεύουν για μια ζωή καλλιεργώντας κάποιες εκτάσεις γης χωρίς ποτέ να μπορέσουν να αποκτήσουν ούτε ένα στρέμμα από αυτές να στραφούν προς πρακτικές παντελώς ριψοκίνδυνες, εφόσον «δεν έχουν τίποτα να χάσουν». Άρα, η συμβολή των τεχνικών/ τεχνολογικών μέσων, ακόμη και όταν η αξιοποίησή τους στοχεύει στην τροποποίηση των ανθρωπογενών παραμέτρων, κρίνεται ανεπαρκής, καθώς δεν δύνανται (τα πρώτα), ούτε στο ελάχιστο να διαμορφώσουν τις προϋποθέσεις που υπόκεινται της βελτίωσης των υφιστάμενων ισορροπιών στο πλέγμα των κοινωνικών σχέσεων με έναν ανθρωπιστικό και δίκαιο τρόπο, αλλά και της αλληλεπίδρασής τους με το φυσικό περιβάλλον (αρμονικά), ούτε βέβαια και να διδάξουν/ υποδείξουν τις οδούς μέσα από τις οποίες θα επιτευχθεί αυτή η μεταστροφή.

Υπό αυτό το πρίσμα, προκειμένου να αναδειχτεί το μονοπάτι που ακολουθήθηκε στην διεκπεραίωση αυτής της εργασίας, γίνεται η προσπάθεια να αναπαρασταθεί το πλαίσιο των ευρύτερων παραγόντων και δυνατοτήτων διαχείρισης των καταστροφικών φαινομένων, εν μέσω μιας πραγματικότητας, όπως ο υπογραφόμενος την «αποδελτιώνει», συμπυκνώνοντας σε ένα σχήμα τα επιμέρους στοιχεία και το πλέγμα των μεταξύ τους σχέσεων, με παράλληλη υπαινικτική ανάδειξη της μερικότητας της υιοθετούμενης προσέγγισης, η οποία όμως, υπό προϋποθέσεις, δύναται να συμβάλλει σε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, προάγοντας τις βέλτιστες δυνατές εναλλακτικές.

Σχήμα 27: Αναπαράσταση των υφιστάμενων διαχειριστικών προσεγγίσεων και των δυνητικών βελτιωμένων προοπτικών τους



6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά την πορεία εκπόνησης αυτής της εργασίας, έχουν προκύψει διάφορα πορίσματα και συμπεράσματα. Πέρα από εκείνα τα οποία αναφαίνονται μόνο «υπό το φως» αυτής της εργασίας, φτάνοντας σε αυτό το σημείο, θεωρείται σκόπιμη η ταυτόχρονη παράθεσή και όλων των επιμέρους πορισμάτων τα οποία προκύπτουν απλά από την εμβάθυνση στις ενύπαρκτες, αλλά πιο αφανείς πτυχές του ζητήματος. Έτσι λοιπόν, σε μια διάταξη που ακολουθεί τη χρονολογική σειρά της ίδιας της εξέλιξης της εργασίας, αναφέρονται επιγραμματικά, όλα τα ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Ξεκινώντας λοιπόν από εκείνα που αφορούν στις γενικές θεωρητικές αρχές των φυσικών καταστροφών και του τρόπου και δυνατοτήτων αντιμετώπισής τους (μέσω της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ), και καταλήγοντας σε εκείνα που συνεπάγεται η διερεύνηση της μελέτης περίπτωσης, έως και την αναδρομική επισκόπησής τους υπό ένα ευρύτερο πρίσμα, μπορούν να παρουσιαστούν τα εξής – εν είδει σύνοψης.

Κατ' αρχήν, η ύψιστης σημασίας αναγνώριση του γεγονότος ότι οι φυσικές καταστροφές, μόνο «φυσικές» δεν μπορούν να χαρακτηρίζονται, καθ' ότι δεν ανακύπτουν παρά μόνο όταν ένα ακραίο φαινόμενο που έχει την προέλευση του στο φυσικό περιβάλλον, κάνει την εμφάνισή του σε έναν κατοικημένο τόπο (στη διεπαφή φυσικού-ανθρωπογενούς περιβάλλοντος), θέτοντας υπό διακινδύνευση μια ανθρώπινη ομάδα ή ένα πληθυσμό, διαλευκαίνει ένα θολό τοπίο που συγχέει τον κίνδυνο με την καταστροφή. Συνεπώς, μια τέτοια οπτική αποδίδει την δέουσα αξία στην ανθρώπινη τρωτότητα η οποία απορρέει από μια σύμφυτη αδυναμία της κοινωνικής έκφανσης του ανθρώπινου (συλλογικού) βίου και έχει τις απολήξεις της τουλάχιστον σε ένα από τα επίπεδα της «ανθρωπογενούς» πραγματικότητας, και δη: στο κοινωνικό, στο οικονομικό, στο πολιτικό, στο πολιτισμικό (και το τεχνολογικό). Ως εκ τούτου, συνεπάγεται ότι αν όντως υφίσταται ένας πραγματιστικός και δίκαιος τρόπος να διευθετηθεί το εν λόγω φλέγον ζήτημα, τόσο προς την κατεύθυνση της πρόληψης, όσο και προς την κατεύθυνση της θεραπείας, με σεβασμό στο φυσικό περιβάλλον και στο πολιτισμικό τοπίο, τότε η ουσία της περιστολής αυτής της διακινδύνευσης – την οποία μονάχα εξωτερικεύουν οι φυσικοί κίνδυνοι – θα πρέπει να ανεβρεθεί και αναχθεί στην τροποποίηση της τρωτότητας, και στην επαύξηση της

προσαρμοστικότητας των ανθρώπινων και κοινωνικών προτύπων συμπεριφοράς, μέσω της ταυτόχρονης μεταστροφής προς δράσεις και ενεργήματα που δεν υποσκάπτουν την ανθρώπινη τρωτότητα σε όλες της τις εκφάνσεις, παρόλο που σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτό δεν αρκεί, καθώς – κατ' εξαίρεση – μπορεί να υφίστανται φυσικές απειλές, «πέρα από το φάσμα της ανθρώπινης-κοινωνικής αιτιότητας». Σε κάθε περίπτωση πάντως, εντελώς επιγραμματικά συνάγεται ότι:

- Οι φυσικές καταστροφές, κάθε άλλο παρά «φυσικές» τείνουν να λογίζονται, καθώς λαμβάνουν χώρα μόνο στην διεπαφή του φυσικού με το ανθρωπογενές, όπου, τελικά, ο κίνδυνος, μέσα από μια αλυσίδα διαδικασιών επαυξάνει την φυσική έκθεση (ή φυσική τρωτότητα), και, αλληλεπιδρώντας με την ανθρώπινη τρωτότητα, εγείρει την ανθρώπινη ευαισθησία και επομένως τη διακινδύνευση, οδηγώντας σε καταστροφές.
- Η ανάλυση των συστατικών στοιχείων των φυσικών καταστροφών, αναδεικνύουν το γεγονός ότι η παρέμβαση/ διαπλοκή των ανθρωπογενών συστημάτων συνιστά την καθοριστική παράμετρο προς την άμβλυνση της διακινδύνευσης και τον περιορισμό των δυσμενών επιπτώσεων αυτών των ολέθριων κρουσμάτων.
- Η τροποποίησης της τρωτότητας, νοούμενη ως η διαφοροποίηση-βελτίωση των στάσεων, συμπεριφορών, ενεργημάτων που άπτονται κάθε μίας των διαστάσεων της πρώτης, φαντάζει ως η μοναδική διέξοδος προς την επαναφορά των ισορροπιών μεταξύ ανθρώπου-φύσης, «εκτός των τειχών» της οποίας, μόνο κατά περίπτωση νομιμοποιείται η υλοποίηση εναλλακτικών λύσεων ανθεκτικότητας/ αντοχής στον κίνδυνο, και ακόμη σπανιότερα περιβαλλοντικού ελέγχου.

Ακολούθως, η εντρύφηση στους κυριότερους φυσικούς κινδύνους που έχουν την προέλευσή τους στα τέσσερα βασικά φυσικά συστήματα: λιθόσφαιρα, υδρόσφαιρα, ατμόσφαιρα, βιόσφαιρα, οι οποίοι αποτελούν τελικά, ως επί το πλείστο, όχι τις υποκείμενες αιτίες, αλλά τα εναύσματα, αποδίδει την ιδιαιτερότητα της φύσης τους, την γεωγραφία της εμφάνισής τους, τον χρονισμό, τη διαχρονικότητα και τη διάρκεια, καθώς και τον τρόπο και της ένταση εκδήλωσής τους. Κατά το πλησίασμα τους στην «άλλη όχθη» (των ανθρωπογενών συστημάτων), αναδύονται οι ανθρώπινες συμπεριφορές οι οποίες καταστούν τις ομάδες-κοινωνίες διαφορικά επιρρεπείς –

ανάλογα με τον τύπο κινδύνου. Κάτι τέτοιο σημαίνει πως, αφ' ενός κάποιος κίνδυνος μπορεί να μετεξελιχθεί σε καταστροφή υπό την επήρεια των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και συμπεριφορών· ισχύει επίσης, εξ' ορισμού της ανθρώπινης τρωτότητας, ότι η διευθέτηση και τροποποίησή της, μπορεί να αποφέρει τον μετριασμό της διακινδύνευσης, και την ελαχιστοποίηση των φθοροποιών, επιζήμιων και επώδυνων συνεπειών. Γενικά λοιπόν, αναδιφώντας στους βασικούς τύπους κινδύνων προκύπτει ότι:

- Οι σεισμοί αποτελούν αιφνίδιες και βίαιες διαρρήξεις στην λιθόσφαιρα, με μικρή δυνατότητα πρόγνωσης, όπου η επιφερόμενη ανακίνηση των εδαφών (ground-shaking) αποτελεί τον σημαντικότερο κίνδυνο, ενώ η ένταση του φαινομένου επιδρά σε σχέση με την εκλυόμενη ενέργεια, την υφιστάμενη λιθολογία, με τον χωρικό εντοπισμό και κυρίως με την ποιότητα των ανθρωποποίητων κατασκευών-υποδομών που πλήττονται, με τον παράγοντα χρόνο να λαμβάνει σημαντική βαρύτητα (λ.χ. ώρα της ημέρας που λαμβάνει χώρα ένας σεισμός). Η διαβάθμιση της ανθρώπινης τρωτότητας επέχει σαφή αντίκτυπό επί του επιπέδου ανθρώπινων απωλειών και υλικών ζημιών.
- Οι ηφαιστειακές εκρήξεις, με αρκετά γνωστή τη γεωγραφική κατανομή της σχετικής δραστηριότητας, σε συνδυασμό με την εκδήλωση προκαταρκτικών δραστηριοτήτων (λ.χ. εμφάνιση ατμίδων), αποτελούν κινδύνους των οποίων η εμφάνιση θεωρείται πιο «προβλέψιμη», κάτι που αντισταθμίζεται βέβαια από το γεγονός ότι η εκδήλωση των πλέον εκρηκτικών τύπων ηφαιστείων «βυθίζει» στον όλεθρο το σύνολο της πληττόμενης περιοχής, κυρίως από την εξάπλωση των πυροκλαστικών νεφών, της λάβας και των εκλυόμενων τοξικών αερίων. Οι διακρίσεις στο πλαίσιο της κοινωνικής αιτιότητας εν πολλοίς εξαλείφονται, εξ' αιτίας αυτής της ισοπεδωτικής επενέργειάς της ηφαιστειακής δράσης.
- Σε αντίθεση με την πολύ συγκεκριμένη γεωγραφία των λιθσφαιρικών/ τεκτονικών κινδύνων, οι υδρολογικοί και ιδιαίτερα οι ατμοσφαιρικοί κίνδυνοι είναι εξαιρετικά αναπεπταμένοι στο πρόσωπο της γης και πιο συνήθεις. Οι πλημμύρες (αντιπροσωπευτικότερο δείγμα των υδρολογικών κινδύνων), αποτελώντας περισσότερο από κάθε άλλο φυσικό κίνδυνο, ταυτόχρονα και φυσικό πόρο, στοιχίζουν τις ζωές των περισσότερων ανθρώπων, λόγω της αμφίσημης συμπεριφοράς τους προς αυτές· η δε αντιμετώπισή τους, εκτός από

τις περιπτώσεις των πλημμυρών ακαριαίας εκδήλωσης (*flash floods*), ανάγεται στη διαφορικότητα της ανθρώπινης τρωτότητας η οποία προσδιορίζει το επίπεδο των επιπτώσεων. Οι τροπικοί κυκλώνες (πλέον βίαιη έκφανση των ατμοσφαιρικών κινδύνων), επιφέρουν μια σειρά απειλών – σφοδροί άνεμοι, ραγδαίες βροχοπτώσεις, κύματα καταιγίδας – οι οποίες μαστίζουν σφοδρά υποτροπικές παράκτιες περιοχές και νήσους. Το αντιστάθμισμα αυτής της διάσπαρτης κατανομής τους, και της σφοδρότητας εκδήλωσής τους έγκειται στην γενικότερη δυνατότητα έγκαιρης πρόγνωσης καιρικών φαινομένων με παράλληλη δυνατότητα αντιμετώπισής τους, η οποία εν πολλοίς εμπίπτει στο φάσμα της κοινωνικής αιτιότητας.

- Η γενική κατηγορία κινδύνων «μετακινήσεις μαζών», με τις κατολισθήσεις να συνιστούν μια επίσης σημαντική υποκατηγορία, αποτελούν έναν «σύμμεικτο» τύπο κινδύνου που απαντάται σε περιοχές όπου μια σειρά «πρόσφορων» γεωλογικών και γεωμορφολογικών/ τοπογραφικών συνθηκών επικρατούν, και ενισχύονται/ πυροδοτούνται από δυσμενείς κλιματικές-μετεωρολογικές και αθρωπογενείς παραμέτρους. Ως απόρροια μιας σειράς τέτοιων παραμέτρων, η ανάπτυξη υπέρμετρων διατμητικών τάσεων εξ' αιτίας και των βαρυτικών δυνάμεων προκαλεί τον χρόνιο ερπυσμό, την ολίσθηση, την πτώση τμημάτων εδάφους, κορημάτων, ή και συμπαγών blocks πετρωμάτων με τελικό αποτέλεσμα την φθορά/ καταστροφή διακριτών ανθρωποποίητων οντοτήτων (π.χ. οδικού δικτύου) ή ακόμη και την «ταφή» ολόκληρων οικισμών-πόλεων εβρισκόμενων στις κλιτύες ή στους πρόποδες ορεινών ή ημιορεινών όγκων. Η εμφάνιση διάσπαρτων και μικρής εμβέλειας επεισοδίων, και η εκδήλωσή τους ως δευτερογενών συνόδων φαινομένων άλλων κινδύνων, έχει προωθήσει μια εικόνα αμελητέων κινδύνων, παρά την μείζονες συνολικές τους αρνητικές επιπτώσεις.
- Γενικά, εξετάζοντας ένα ευρύ φάσμα φυσικών καταστροφών, η ανθρώπινη τρωτότητα, αν και ζωτικής σημασίας στην αντιμετώπιση και διευθέτηση πληθώρας καταστροφικών πληγμάτων, μπορεί να αποβεί ήσσονος σημασίας παράμετρος μόνο σε πολύ συγκεκριμένους τύπους καταστροφών (ηφαιστειακές εκρήξεις), ή ακόμη και σε υπερ-κινδύνους (κίνδυνοι εξω-γήινης προέλευσης, super-tsunamis). Αυτή όμως η αδυναμία, αντισταθμίζεται

από το μικρό έως και απειροελάχιστο ενδεχόμενο εμφάνισης τέτοιων κινδύνων.

Συνάγεται λοιπόν ότι η εξέταση των φυσικών καταστροφών θα πρέπει να επιτυγχάνεται υπό ολοκληρωμένες προσεγγίσεις, όπου θα πρέπει να αποδίδεται η δέουσα σημασία στις συνιστώσες των ανθρωπογενών συστημάτων, καθ' ότι είναι φαινόμενα ολιστικά και πολυσύνθετα, μα και δυναμικά. Σε ένα πόνημα να μεταλλαχτούν στοιχεία της κοινωνικής συμπεριφοράς προς επαύξηση της προσαρμοστικότητάς τους, με μέσα και μεθόδους που εκλαμβάνουν την ολότητα του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος στο διάβα του χρόνου, τα συστήματα παρατήρησης και παρακολούθησης της Γης και διαχείρισης του περιβάλλοντος συνιστούν τα πιο αξιόπιστα μέσα για την «αδιάβλητη» συλλογή δεδομένων και την περαιτέρω επεξεργασία και οργάνωση-διαχείριση της πληροφορίας. Μια άλλη πολύ σημαντική παράμετρος στη διαχείριση επεισοδίων φυσικών καταστροφών, που απορρέει από την κατ' εξοχήν δυναμική φύση των φυσικών καταστροφών, άπτεται της κατάτμησης τέτοιων επεισοδίων σε φάσεις εκδήλωσής τους, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους δημιουργώντας έναν κύκλο-αλληλουχία, χωρίς, πρακτικά, αρχή και τέλος. Μια τέτοια προσέγγιση δίνει το έναυσμα για την «θεσμοθέτηση» σταδίων διαχείρισης σε κάθε τύπο κινδύνου, με σκοπό την διευθέτηση των καταστροφών σε όλες της φάσεις: πριν, κατά και μετά την εκδήλωσή τους. Ο μετριασμός της διακινδύνευσης, η έγερση της ετοιμότητας, η άμεση και αποτελεσματική απόκριση, καθώς και η ουσιαστική και πλήρης αποκατάσταση, οφείλουν να συγκροτούν κοινωνίες συνολικά πιο ανθεκτικές στον κίνδυνο, παρέχοντας τα εχέγγυα περαιτέρω μελλοντικής ανάπτυξης. Συνοπτικά:

- Η συμβολή της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ διέπεται από το αναμφισβήτητο πλεονεκτήματα της «αμερόληπτης» αποκομιδής στοιχείων/ πληροφοριών, σε (σχεδόν) πραγματικό χρόνο, ενώ με την συνεργιστική ολοκλήρωση των ΓΣΠ, δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για μια αξιόλογη και ολοκληρωμένη προσπάθεια διαχείρισης και προστασίας του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος.
- Στον κύκλο της διαχείρισης φυσικών καταστροφών, η διαχείριση της διακινδύνευσης (risk management), απαρτιζόμενη από την ετοιμότητα και τον μετριασμό, εξαρτάται σε μεγαλύτερο βαθμό από την διευθέτηση της φυσικής

έκθεσης (φυσική τρωτότητα), συγκριτικά με την διαχείριση κρίσεων (crisis management) – απόκριση και αποκατάσταση – η οποία αναδιφά άμεσα κυρίως στην ανθρώπινη τρωτότητα, στοχεύοντας στην έγερση της προσαρμοστικότητας. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι:

- η διαχείριση της διακινδύνευσης πραγματεύεται την αναγνώριση, προεκτίμηση και – ει δυνατό – πρόγνωση των διαστάσεων του επικείμενου φαινομένου, υπό το πρίσμα της απάλυνσης των δυνητικών επιπτώσεων, στη βάση των ιδιαιτεροτήτων του κάθε φυσικού κινδύνου, ανακύπτοντας περισσότερο ως προληπτικό στάδιο
- η διαχείριση των κρίσεων πρόσκειται της αναγνώρισης, αξιολόγησης αποτίμησης και αντιμετώπισης των καταστροφικών συνεπειών επί του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος κατά την εκδήλωσή τους ή/ και *a posteriori*, με το επίπεδο της προσαρμοστικότητας να τείνει να ρυθμίζει συμπεριφορές και δραστηριότητες και να ανοικοδομεί τις υποδομές της των ίδιων των ανθρωπογενών συστημάτων, μέσω μηχανισμών απόκρισης και θεραπευτικών μεθόδων που, όταν υλοποιούνται, θα πρέπει να συνεισφέρουν στον περαιτέρω (προληπτικό) μετριασμό της διακινδύνευσης.

- Στη διευθέτηση κάθε φυσικοκαταστροφικού τύπου, δεν μπορούν πάντοτε να ενταχθούν όλα τα προαναφερθέντα στάδια, ή τουλάχιστον δεν απολαμβάνουν όλα την ίδια βαρύτητα και δεν τυγχάνουν της ίδιας δυνατότητας αξιοποίησης, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι και τεχνικές της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ.
- Προκειμένου η διαχείρισή τους από τηλεπισκοπικές εισροές να είναι κατά το μέτρο του δυνατού ολοκληρωμένη, συμβουλευόμενοι πάντοτε τις ιδιαιτερότητες της φυσικής εξέλιξης κάθε ακραίου φαινομένου, η διαχείριση της διακινδύνευσης (μετριασμός και ετοιμότητα) επιτελείται στη βάση κάθε ξεχωριστού κινδύνου, ενώ η μετα-καταστροφική απόκριση και ανάκαμψη, παρουσιάζεται ενοποιημένη για όλους τους κινδύνους.

Η δυναμική υπόσταση των φυσικοκαταστοφικών συμβάντων απαιτεί την παρατήρηση καθώς και την συνεχή παρακολούθηση εκείνων των τμημάτων της φυσικής γήινης επιφάνειας τα οποία τείνουν να παρουσιάζουν επιδεκτικότητα στην

εμφάνιση τέτοιων φαινομένων. Επιπλέον, οι μεθοδολογίες οι οποίες απηχούν στην εκμαίευση ωφέλιμων εξαγόμενων, κρίνεται σκόπιμο να εντάσσουν και την διάσταση του χρόνου. Η επιλογή της μελέτης περίπτωσης ενός πλημμυρικού φαινομένου υπό την σκοπιά της αξιοποίησης δορυφορικών ψηφιακών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων πολλαπλών χρονικών στιγμών μέσω της τεχνικής ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών και την μετέπειτα διαχείριση, χωρική ανάλυσή και οπτικοποίηση της προηγουμένως εκμαιευθείσας «πληροφορίας μεταβολής», αποτελεί ένα χειροπιαστό επίτευγμα συγκερασμού των μεθόδων και τεχνικών της Τηλεπισκόπησης και της συνεργιστικής ολοκλήρωσης των εκροών-παραγόμενων από λογισμικό τηλεπισκόπησης-επεξεργασίας εικόνας σε περιβάλλον ΓΣΠ, προκειμένου τα εν λόγω εργαλεία να ενσωματωθούν σε μια ολοκληρωμένη διαχειριστική, αλλά και δυναμική προσέγγιση. Οι διάφορες προϋποθέσεις, παράμετροι, περιορισμοί αποτελέσματα της μεθοδολογίας εν γένει, καθώς και της υλοποιηθείσας περιπτωσιολογικής μελέτης, παρουσιάζονται κάτωθι:

- Μέσω της διαδικασίας κατά την οποία η παρακολούθηση ενός αντικειμένου ή φαινομένου σε διαφορετικές χρονικές στιγμές αποκαλύπτει ενδεχόμενες διαφοροποιήσεις στην κατάστασή του, συμπεριλαμβάνοντας την ποσοτικοποίηση αυτών των διαφοροποιήσεων επί φαινομένων που τροποποιούνται στον χρόνο, από την αξιοποίηση διαχρονικών πολυφασματικών εικόνων, παράγονται εικόνες-πληροφορίες μεταβολής.
- Αυτή η τεχνική της ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών από διαχρονικές πολυφασματικές απεικονίσεις επιλέγεται ως η πιο δόκιμη τεχνική επεξεργασίας εικόνας, λόγω της απήχησής της στα δυναμικής φύσης επεισόδια φυσικών καταστροφών των οποίων οι επιπτώσεις είναι διάχυτες επί της γήινης επιφάνειας. Απαρτίζεται δε από ενέργειες:
  - Προσδιορισμού του προβλήματος
  - Κατάλληλης επιλογής ψηφιακών δεδομένων και προεπεξεργασίας τους (ραδιομετρικές και γεωμετρικές διορθώσεις)
  - Υλοποίησης εναλλακτικών αλγορίθμων ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών και χρησιμοποίησης των βέλτιστων (κατά περίπτωση)
  - Αξιολόγησης, οπτικοποίησης και διανομής των αποτελεσμάτων.
- Από την επισκόπηση μιας πληθώρας τεχνικών και αλγορίθμων ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών προκύπτει ότι δεν υφίσταται βέλτιστη υλοποιούμενη

τεχνική καθολικής ισχύος για κάθε εφαρμογή, ενώ αντίθετα εξαρτάται – εκτός από τα διαθέσιμα δεδομένα και μέσα – από τις απαιτήσεις, τους σκοπούς και τις επιδιώξεις της εκάστοτε εφαρμογής

- Η αποτελεσματικότητα της τεχνικής της ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών, απορρέει καθοριστικά, πέρα από την καταλληλότητα του χρησιμοποιούμενου αλγορίθμου, από την καλή γεωμετρική συν-εγγραφή/ συνταύτιση των εικόνων πολλαπλών χρονικών στιγμών, καθώς και από τις ραδιομετρικές κανονικοποιήσεις ή και άλλες διορθώσεις προς αποφυγή των επιπτώσεων της τοπογραφίας.
- Η περιπτωσιολογική μελέτη πλημμυρικών φαινομένων υπό τις προϋποθέσεις της ύπαρξης δορυφορικών πολυφασματικών εικόνων υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας, τόσο προγενέστερων όσο και μεταγενέστερων της εκδήλωσης σημαντικού πλημμυρικού φαινομένου, καθώς και εξειδικευμένου λογισμικού διεκπεραίωσης της ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών, παρέχουν την προοπτική ανεύρεσης σημαντικών αλλαγών εξ' αιτίας της επενέργειας της υπερχείλισης του ποταμού και της συνεπαγόμενης κατάκλυσης ορισμένων εκτάσεων, παρά τους όποιους περιορισμούς (π.χ. απόσυρση υδάτων, κατά την χρονική στιγμή λήψης της μεταγενέστερης εικόνας, αδυναμία διεξαγωγής επιτόπιου ελέγχου κ.α.)
- Οι «εμφανίσεις» που αντικατοπτρίζουν-σκιαγραφούν την πληροφορία μεταβολής (επί της μεταγενέστερης εικόνας), συνίστανται κυρίως από «διαταραγμένα εδάφη» εξ' αιτίας της διάβρωσης και κυρίως της απόθεσης ιζημάτων που λαμβάνει χώρα εντός της πεδιάδας κατάκλυσης κατά την υπερχείλιση του ποταμού, και εν μέρει από νερό.
- Η προσωπική εμπειρία της διενέργειας της ψηφιακής ανίχνευσης μεταβολών, υπό την αρωγή του συγκεκριμένου λογισμικού (add-on module) DeltaCue – που διεκπεραιώνεται από αλγόριθμους σε διάφορα επίπεδα κατωφλιώσεων, σε συνδυασμό με την αξιοποίηση φίλτρων-κριτηρίων: φασματικών, τύπων υλικών και γεωμετρικών, υπαγορεύει ότι ενώ στην πράξη η διεξαγωγή του φασματικού φίλτρου, χρησιμοποιούμενη πριν από φίλτρα τύπων υλικών και γεωμετρικά φίλτρα ενδεχομένως να διευκολύνει την διαδικασία και να αποδίδει επιθυμητά αποτελέσματα σύμφωνα με τις βλέψεις του ερευνητή ή του αναλυτή της εικόνας, καθιστώντας πολλές φορές ακόμη και αχρείαστη

την επενέργεια παρεπόμενων λοιπών σταδίων διήθησης, ενέχει το ζωτικής σημασίας μειονέκτημα ότι δεν συμβάλλει στην αυτοματοποίηση και την μοντελοποίηση της διαδικασίας.

- Οι απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής, καθώς και η ποιότητα και τα χαρακτηριστικά των αρχικών δεδομένων, αλλά και το «απεικονιζόμενο σκηνικό» στις διαχρονικές εικόνες, μπορούν, κατά περίπτωση, να τροποποιήσουν σε κάποιον βαθμό την ακολουθία των προαναφερθέντων ενεργειών.
- Η ξεχωριστή υλοποίηση διαφορετικών αλγορίθμων, και η μετέπειτα από κοινού χρήση-ενσωμάτωσή τους, ενδεχομένως επιφέρει τα βέλτιστα αποτελέσματα, ιδίως όταν οι μεταβολές που αναζητούνται, αφορούν σε εμφανίσεις που εμπλέκουν «μιγαδικές» κατηγορίες χρήσεων-καλύψεων γης, και εξαρτώνται από το «απεικονιζόμενο σκηνικό-υπόβαθρο», όπως στην εν λόγω περίπτωση.
- Τα συνολικά αποτελέσματα αξιολογούνται ως επαρκή – ακρίβεια της τάξης του 55% – για ακαδημαϊκούς, αν όχι για επιχειρησιακούς σκοπούς, υπό την συνεκτίμηση μελημάτων συσχετιζόμενων:
  - αφ’ ενός μεν με τα χαρακτηριστικά των πρωτογενών δεδομένων και της προκαταρκτικής και μετέπειτα επεξεργασίας (χωρική διακριτική ικανότητα του αισθητήρα του δορυφόρου IKONOS, αδυναμία εξαιρετικά ορθής και ακριβούς συνταύτισης λόγω ανυπαρξίας κατάλληλου Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, απουσία υψηλής ποιότητας ραδιομετρικής διόρθωσης των δύο εικόνων, πιστότητα της διενέργειας της μετατροπής των αρχείων μεταβολής από ψηφιδωτά σε διανυσματικά, στο πλαίσιο της μεταγενέστερης επεξεργασίας της πληροφορίας στο ΓΣΠ)
  - αφ’ ετέρου δε με τον τρόπο και τις συνθήκες που πραγματώθηκε η αξιολόγηση (επιλέγοντας τη χειρωνακτική ψηφιοποίησης ως μέθοδο αξιολόγησης, τίθεται υπό αμφισβήτηση η ορθότητα-ακρίβειά της ίδιας της ψηφιοποίησης, εξ’ αιτίας τόσο του υποκειμενισμού περί της κλίμακας ψηφιοποίησης, καθώς και του διλήμματος να συμπεριληφθεί ή όχι (και πότε) το υδάτινο στοιχείο (σύμμεικτη κατηγορία))
- Ο συγκεκριμένος στόχος που είχε τεθεί εξ’ αρχής περί ανίχνευσης κατακλυσμένων εκτάσεων, θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί σε μεγάλο βαθμό, η

δε αξιοποίηση των ψηφιακών παραγόμενων δυνητικά συμβάλλει στην αποτίμηση των απωλειών και στην μετέπειτα αποκατάσταση, με έμμεση θετική επίδραση στον μετριασμό της διακινδύνευσης, την έγερση της ετοιμότητας και την αναβάθμιση των προοπτικών για έγκαιρη απόκριση.

- Η συμβολή του πονήματος της εξαγωγής των κατακλυσμένων εκτάσεων της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιώντας τηλεπισκοπικές απεικονίσεις, αναδεικνύει τον τρόπο που η ψηφιακή τηλεπισκόπηση συμβάλλει στην διαχείριση φυσικών καταστροφών σε «όλο τους το εύρος», ενώ από τα πορίσματα του συγκεκριμένου ημι-αυτοματοποιημένου τρόπου, ανακύπτουν οι παράμετροι προς την δυνητική μοντελοποίηση της ανίχνευσης του προβλήματος των πλημμύρων, για περιοχές αντίστοιχου σκηνικού, (υπό την αρωγή των λογισμικών DeltaCue και ArcGIS).

Η τεχνολογική ανέλιξη των μεθόδων και τεχνικών της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ αποτελούν μια προσοδοφόρα ευκαιρία προς την κατεύθυνση της ολοκληρωμένης διαχείρισης των φυσικών καταστροφών, κυρίως μέσω της τροποποίησης της τρωτότητας. Ωστόσο, ακόμη και υπό μια τέτοια διάθεση προσέγγισης, δεν αναμένεται να επέλθουν τα επιθυμητά αποτελέσματα, αν δεν αρθεί η τρωτότητα, στη βάση όμως των υποκείμενων αδυναμιών (αυτών καθ' αυτών) που υποθάλπουν τα ανθρωπογενή συστήματα. Απαιτείται λοιπόν μια άλλη μεθόδευση, η οποία να ενισχύει όλους τους τομείς-παράγοντες της ανθρώπινης τρωτότητας, εντάσσοντας και την τεχνολογική πτυχή της πραγματικότητας, όχι προς την τιθάσευση των φυσικών στοιχείων (περιβαλλοντικός έλεγχος), αλλά ως μέσο προς την επιπρόσθετη έγερση της επίγνωσης, επαγρύπνησης και μεταστροφής των ανθρώπινων συμπεριφορών και επιλογών. Πιο συγκεκριμένα λοιπόν προκύπτει ότι:

- Οι τεχνολογίες των συστημάτων Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ φέρνουν στο προσκήνιο μη κατασκευαστικές λύσεις προς την τροποποίηση της φυσικής και ανθρώπινης τρωτότητας, σε καμία όμως περίπτωση δεν μπορούν να επιφέρουν θεραπεία στις βαθύτερες αιτίες που ιθύνουν την ανθρώπινη τρωτότητα.
- Η κοινωνική, η οικονομική, η πολιτισμική και η πολιτική, ως οι τέσσερις κύριες διαστάσεις της τρωτότητας, δεν δύνανται να τροποποιηθούν παρά

μερικώς και υπό όρους υπό την πραγμάτωση των εν λόγω μεθόδων και τεχνικών.

- Πέρα από τους εγγενείς περιορισμούς της τεχνολογικής επάρκειας (λ.χ. στη βάση των ιδιοτήτων/ δυνατοτήτων ανάλυσης των συστημάτων τηλεπισκόπησης), τα εν λόγω τεχνολογικά εργαλεία διέπονται από μια διάχυτη αδυναμία να επιφέρουν «γιατρειά» στα ριζωμένα προβλήματα της κοινωνίας.
- Υφίστανται ευρύτεροι προβληματισμοί περί του αν τελικά «οι ουρανοί εκδημοκρατίζονται ή εμπορευματοποιούνται (;)», ενώ υιοθετείται η άποψη/ αντίληψη ότι η οπτικοποίηση ενός προβλήματος με βελτιωμένα γραφικά, δεν συνεπάγεται και μια εννοιολογικά βελτιωμένη προσέγγιση.
- Όσο πιο «εξαρτημένη» καθίσταται μια κοινωνία από την τεχνολογία, τόσο πιο ευάλωτη καταντά η πρώτη σε περίπτωση που δεν μπορούν να της παραχθούν οι αντίστοιχες «καλύψεις» ή εγγυήσεις της δεύτερης.
- Απαιτείται ενίσχυση όλων των διαστάσεων της τρωτότητας, μέσω της επαύξησης της προσαρμοστικότητας στις καταστροφές.
- Οι (φυσικές) καταστροφές μπορούν να εκληφθούν, υπό συνθήκες, ως εφαλτήριο για ανάπτυξη, αλλά και αντιστρόφως, η (κακώς νοούμενη) «ανάπτυξη» δυνητικά λειτουργεί ως έναυσμα (φυσικών) καταστροφών.
- Η ολοκληρωμένη ανάπτυξη προτάσσεται ως η βέλτιστη «θεραπεία» για την άρση της τρωτότητας, την έγερση της προσαρμοστικότητας και την αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών, με την ένταξη των τεχνολογιών της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ ως αναπόσπαστων συναπαρτισμάτων.

ΕΠΙΜΥΘΙΟ

Οι πιο δριμείες επιπτώσεις σε όρους απώλειας ζωών και τραυματισμών, φθορών σε περιουσίες, οικονομικών ζημιών και κοινωνικής ρήξης, καθώς και περιβαλλοντικής υποβάθμισης, μπορεί να μην απορρέουν πάντοτε από φυσικές καταστροφές. Εντούτοις, η ορμή των τελευταίων, πολλές φορές μπορεί να υπερβεί τα ανθρώπινα μέτρα και σταθμά, ενώ δε ο αντίκτυπός τους να επιφέρει τον παντελή όλεθρο. Εξ' άλλου, η προσέγγιση των φυσικών καταστροφών, φαινομένων εγγενώς ολιστικών, τα οποία και ανακύπτουν στην διεπαφή φύσης και κοινωνίας, σίγουρα δεν μπορεί να επιτελείται στη βάση της φυσικής διάστασής τους μόνο – προβιβάζοντας τις διαδικασίες που επισυμβαίνουν στις «σφαίρες επιρροής» των φυσικών συστημάτων· ούτε όμως θα πρέπει να εκλαμβάνονται τα αθρωπογενή συστήματα ως οι μοναδικές καθοριστικές διαστάσεις – και να αποδίδονται τυφλά οι κατηγορίες στην ανθρωπογενή αδυναμία. Μονάχα όποιος έχει επιβιώσει από ένα τέτοιο ολέθριο «τράνταγμα», μπορεί να αντιληφθεί τη φρικαλεότητα και τον οδυρμό που ένα ακραίο φυσικό γεγονός δυνητικά προκαλεί και να «καταθέσει» την αίσθηση της ασημαντότητας του ανθρώπου, ο οποίος με δέος στέκεται μπροστά στον επικείμενο «αφανισμό».

Η ακαδημαϊκή έρευνα, διαχωρίζοντας την θέση της από τέτοιες εμπειρικές προσεγγίσεις και εικάζοντας ότι οι τελευταίες στερούνται επιστημονικότητας, «αμελεί» ζωτικής σημασίας «τεκμήρια» για την φύση-υπόσταση τέτοιων συμβάντων, καθώς και για την ουσιαστική αντιμετώπισή τους. Έτσι, αν και ο σκοπός της εργασίας μας δεν εναπόκειτο στην διείσδυση των πλέον «αισθαντικών» παραμέτρων, διατυπώνεται με βεβαιότητα ότι οι τελευταίες έχουν να προσφέρουν πάρα πολλά.

Εξ' άλλου, όταν η κατάσταση εκτάκτου ανάγκης αξιώνει άμεσης αντιμετώπισης, θα πρέπει να εξαχθεί από την «φαρέτρα» των δυνατών επιλογών η πρακτική και η επισωρευμένη εμπειρία – μια εμπειρία η οποία δεν δύναται πάντοτε να ενταχθεί σε αυστηρά συστηματοποιημένες δομές, ούτε υποστηρίζεται πάντοτε από μια ορθολογικά και επιστημονικά τεκμηριωμένη ολοκληρωμένη θεωρία· άλλωστε, το «νεαρό της ηλικίας» ενός τέτοιου νεόδμητου πεδίου της γνώσης, δεν θα έπρεπε να συντείνει στην ανάπτυξη τέτοιων στεγανών. Τέτοιες πτυχές λοιπόν του θέματος κρίνεται περισσότερο από απαραίτητο (ότι πρέπει) να αναγνωρίζονται και να συμπεριλαμβάνονται, ειδάλλως ελλοχεύει ο επαπειλούμενος κίνδυνος να είμαστε

πολύ γενικευτικοί και επαγωγικοί, δίχως το εκάστοτε γεγονός να προσεγγίζεται υπό τους κατάλληλους όρους και με σκοπό την διάσωση ή/ και διασφάλιση/ περιφρούρηση των πιο πρωταρχικής σημασίας συνιστωσών: την ανθρώπινη ζωή και υγεία, την ισορροπία στα φυσικά και ανθρωπογενή συστήματα, καθώς και τις δυνατότητες για μελλοντική αναβάθμιση της προσαρμοστικότητας των τελευταίων.

Συνολικά, το μάθημα για την επιστημονική και ακαδημαϊκή κοινότητα εκπηγάζει από το ευκταίο της ενοποίησης της γνώσης. Επεξηγηματικά, θα πρέπει να καταβληθεί κάθε «φιλότιμη προσπάθεια» ώστε, κάθε επιστημονική πειθαρχία που (μέλλει να) εμπλέκεται με το ζήτημα – σε ένα εγχείρημα ολιστικής και διεπιστημονικής προσέγγισης – να πασχίζει να αποδράσει από τις μερικότητές της, δίχως να προωθεί λύσεις και προτάσεις οι οποίες στοχεύουν στην εκπλήρωση ίδιων επιδιώξεων, ή/ και εξαίρουν την αυθεντία κάθε μίας από αυτές (τις πειθαρχίες). Αντίθετα, δια μέσου μιας από κοινού επιδιωκόμενης συνεργιστικής ολοκλήρωσης, προκρίνεται επιτακτικά ο «εναγκαλισμός» της ολότητας του εκάστοτε περιστατικού αυτού καθ' αυτού.

Επιπλέον, κάτι που δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να λησμονείται, αναφέρεται στην μεγάλη αλήθεια ότι αν ο άνθρωπος δεν συμφιλιωθεί με την φύση του άλλα και με την ουσία των φυσικών δυνάμεων, προάγοντας ταυτόχρονα εναλλακτικές που να αντικατοπτρίζουν αυτή την (συν)διαλλακτική του στάση, όσο και να έχουν γίνει αντιληπτές οι αιτίες και τα εναύσματα/ καταλύτες για την ανάκυψη φυσικών καταστροφών, ολοένα και πιο πολύ θα διακυβεύει την δυνατότητα του για μελλοντική ανάκαμψη σε τοπικό και υπερτοπικό επίπεδο. Στην σημερινή εποχή του μεταμοντερνισμού, όπου η πίστη στον άνθρωπο, στην οικονομική ανάπτυξη και την τεχνολογική πρόοδο, ο *οικονομικός άνθρωπος* (homo (o)economicus), με το τεράστιο δυναμικό που διαφαίνεται να συγκεντρώνει στα χέρια του, εμφορείται εν πολλοίς από μια προδιάθεση να αψηφά τις «περιρρέουσες» συνθήκες και τις «εξωγενείς» δυνάμεις, αλλά και τις επιπτώσεις που προκαλεί στον φυσικό και κοινωνικοοικονομικό περίγυρό του μέσα από τις αλόγιστες πολλές φορές δράσεις και δραστηριότητές του, μέχρι που οι πρώτες να «διαβούν το κατώφλι του σπιτιού του». (Αγνοεί δε ότι ο ίδιος γίνεται αυτουργός δραματικών επιπτώσεων, τόσο σε υπερτοπικό/ πλανητικό επίπεδο, όσο και στο επίπεδο του ίδιου του οικείου περιβάλλοντός του).

Καθ' ότι δε πεπερασμένος, και καθώς αποτελεί ακόμη ένα μέρος του συστήματος του πλανήτη γη, του ηλιακού συστήματος, κ.ο.κ., είναι μάλλον αδύνατο να έχει εξασφαλίσει πρόσβαση στην ολότητα της γνώσης και να έχει ανακαλύψει σημαντικό «ποσοστό» των ενδεχόμενων σχέσεων αλληλεπίδρασης και αλληλοκαθορισμού. Ως εκ τούτου, οι αλληλεπιδράσεις της ολοένα εντονότερης και πιο διευρυμένης παρέμβασης του ανθρώπου επάνω σε ισορροπίες που προκύπτουν αυθόρμητα και φυσικά, τον καθιστούν πιο ευάλωτο σε έναν άλλο κίνδυνο, και δη στις απρόβλεπτες και απρόοπτες δυσάρεστες εξελίξεις της ίδιας της ζωής. Η κλιματική αλλαγή αποτελεί το πιο ακλόνητο και ορατό πλέον παράδειγμα στο γραφικό μεν, ρεαλιστικό δε μοτίβο: «η φύση εκδικείται». Από την άλλη, όσο διευρύνει το εύρος και το βάθος της γνώσης του και επαυξάνει τη συνειδητότητα και την επαγρύπνηση του, τόσο του αποκαλύπτεται η πραγματικότητα περί μιας διάχυτης αβεβαιότητας, λόγω των «ιδιοτροπιών» του τρόπου εκδήλωσης των φυσικών διαδικασιών και φαινομένων· σε τέτοιο σημείο μάλιστα ώστε να καθίσταται πιο επίκαιρη παρά ποτέ μια αρχαία μνημειώδης ρήση που εξαγγέλλει ότι: «*…αἱ συμφοραί ἄρχονται τοῦ ἀνθρώπου, οὐχί ὁ ἄνθρωπος τῶν συμφορῶν*».

Σε τελική ανάλυση, οι πραγματικές δυνατότητες του ανθρώπου και των διαβημάτων του αξιολογούνται, εκτός άλλων, διαμέσου της αποτίμησης των συνεπειών αυτών των ενεργημάτων στο διάβα του χρόνου. Με συνετές, συνειδητές και υπεύθυνες επιλογές για την διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος – μέσα από την τροποποίηση και μεταστροφή των επιλογών του σε τοπική, περιφερειακή και παγκόσμια κλίμακα – τα κοινωνικά υποκείμενα μπορούν, χωρίς βέβαια να έχουν απόλυτο έλεγχο, να εγκαθιδρύσουν μια αρμονική σχέση μεταξύ των δυνάμεων της φύσης και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, προσαρμόζοντας σε ένα βαθμό τις έως του παρόντος ακολουθούμενες πρακτικές, ώστε να είναι τουλάχιστον βιώσιμες, για το σύνολο της ανθρωπότητας. Μια τέτοια προσέγγιση όμως αξιώνει τη συνολική και συνειδητή μεταστροφή των κοινωνικών προτύπων συμπεριφοράς σε όλα τα επίπεδα και σε «βάθος χρόνου».

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Adams, **W. M.** (1993). Indigenous Use of Wetlands and Sustainable Development in West Africa. *The Geographical Journal* **159** 209-18.

Adger, N. (1999). Social Vulnerability to Climate Change and Extremes in Coastal Vietnam. *World Development* **27**, 249-269

Albala-Bertrand, J. M. (1993). *Political Economy of Large Natural Disasters: With Special Reference to Developing Countries.* London: Oxford University Press.

Alcántara-Ayala, I. (2002). Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disasters in Developing Countries. *Geomorphology* **47**, 107–124.

Alexander, **D. E.** (1985). *Death and Injury in Earthquakes*. Disasters **9**(1), 57-60.

Alexander, **D. E.** (1989). Urban Landslides. *Progressing Physical Geography*. **13**, 157-91.

Alexander, D. E. (1991b). *Applied Geomorphology and the Impact of Natural Hazards on the Built Environment*. Natural Hazards **4**(1), 57-80.

Alexander, D. E. (1993). *Natural Disasters*. New York: UCL Press and Chapman & Hall.

Alexander, D. E. (2000). *Confronting Catastrophe*. England: Terra Publications.

Alexander, D. E. (2002). *Principles of Emergency Planning and Management*. England: Terra Publications.

Alexander, D. E. (2008). A Brief Survey in Mass-Movement Studies, with Reflections on Theory and Methods. *Geomorphology* **94**, 261-7.

Alvarez, R. (1999). Tropical Cyclone. In *Natural Disaster Management*. Ingleton, J. (ed.) pp. 34-36. Leicester: Tudor Rose.

Anderson, M. B. (1991). Which Costs More: Prevention or Recovery? In *Managing Natural Disasters and Environment*. Kraimer A. and Munasinghe, M. (eds.), pp. 17-27. Environment Department, The World Bank, Washington DC.

Anderson, M. and Woodrow, P. (1998). *Rising from the Ashes: Development Strategies in Times of Disaster*. Boulder, CO and London: IT Publications and Lynne Rienner.

Aptekar, L. (1991). *The Psychosocial Process of Adjusting to Natural Disasters*. Working Paper 70, Natural Hazard Research and Applications Information Center, University of Colorado, Boulder.

ASP (American Society of Photogrammetry) (1983). *Manual of Remote Sensing* (2nd edition). ASP: Falls Church VA.

Αστάρας, Θ. (1994). Η Συμβολή της Σύγχρονης Τηλεπισκόπησης στην Περιοδική Ανίχνευση-Προστασία του Περιβάλλοντος. Πρακτικά Β' Πανελλήνιου Συμποσίου για την «Ηλιακή και Διαστημική Έρευνα στην Ελλάδα Σήμερα – Βασική Έρευνα, Τεχνολογία και Εφαρμογές». Δημοκρ. Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη, 26-29 Απριλίου 1993 (35 σελίδες).

Aubert, D., Loumagne, C. and Oudin, L. (2003). Sequential Assimilation of Soil Moisture and Streamflow Data in a Conceptual Rainfall-Runoff Model. *J. Hydrol.* **280**(1–4), 145–61.

Augenstein, E., Stow, D. and Hope, A. (1991). Evaluation of SPOT HRV-XS Data for Kelp Resource Inventories. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **57**(5), 501-9.

Avery, T. E. & Berlin, G. L. (1992). Fundamentals of remote Sensing and Airphoto Interpretation (5th edition). New York: Mc Millan Publishing Company.

Aysan, Y. F. (1993). Vulnerability Assessment. In *Natural Disasters: Protecting Vulnerable Communities*, Merriman, P.A., Browitt, C.W.A. (eds.), pp. 1 – 14. London: Thomas Telford.

Badji, M. and Dautrebande, S. (1997). Characterization of Flood Inundated Areas And Delineation of Poor Drainage Soil Using ERS-1 SAR Imagery. *Hydrol. Process.* **11** (10), 1441–50.

Bailey, G. T. (1994). A Review of Statistical Spatial Analysis in Geographical Information Systems. In *Spatial Analysis and GIS*, Fortheringham, S. and Rogerson, P. (eds.) p.15. Hong Kong: Taylor and Fransis.

Barkun, N. (1974). *Disaster and the Millenium*. New Have: Yale University Press.

Barret, E. C. and Curtis, L. F. (OBE) (1999). *Introduction to Environmental Science* (4th edition). UK: Stanley Thorm.

Bates, F. L. and Pelanda, **C.** (1994). An Ecological Approach to Disasters. In: *Disasters, Collective Behaviour and Social Organization*, Dynes R. R. and Tierney K. J. (eds.), 145-59. Newark, Delaware: University of Delaware Press.

Bauer, H. H. (1990). Barriers against Interdisciplinary: Implications for Studies of Science, Technology and Society (STS), *Science, Technology and Human Values* **15**(1), 105-19.

Bauer, E., Hasselmann, S., Hasselmann, K. and Graber, H.C. (1992). Validation and Assimilation of Seasat Altimeter Wave Heights Using the WAM Wave Model. J. Geophys. Res. 97 (C8), 12671–83.

Baxter, P. and Kapila, M. (1989). Acute Health Impact of the Gas Release at Lake Nyos, Cameroon, 1986. *Journal of Volcanology and Geothermal Risks* **39**, 266-75.

Beam, R. D. (1983). *Fragmentation of Knowledge*, Kenneth Boulding and Lawrence Seneh, (eds.). Boulder, Westview.

Belward, A. S., Kennedy, P. J., Gregoire, J-M. (1994). The Limitations and Potential of AVHRR GAC Data for Continental-Scale Fire Studies. *International Journal of Remote Sensing* 15, 243-54.

Berz, G. (1990). Natural Disasters and Insurance/ Reinsurance. *UNDRO News* Jan.–Feb., 18–19.

Biging, G. S., Chrisman, N. R., Colby, D. R., Congalton, R. G., Dobson, J. E., Ferguson, R. L., Goodchild, M. F., Jensen, J. R. and Mace, T. H. (1999). Accuracy Assessment of Remote Sensing-Detected Change Detection. Monograph Series, edited by S. Khorram. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)*, USA: MD.

Bell, V.A. and Moore, R.J. (2000). The Sensitivity of Catchment Runoff Models to Rainfall Data at Different Spatial Scales. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **4**(4), 653–667.

Bishop, **V.** (1998). *Hazards and Responses*. London: Collins Educational.

Bison, P., Grinzato, E., Pasuto, A. and Silvano, S. (1990). Thermal IR Remote Sensing in Landslides Survey. In *6th International IAEG Congress*, Price, D. G. (ed.), pp. 873– 878. Rotterdam: Balkema.

Blaschke, T. and Strobl, J. (2001). What's Wrong with Pixels? Some Recent Developments Interfacing Remote Sensing and GIS. *GIS-Zeitschrift für Geoinformationssysteme* **6**, 12-7.

Bolt., B. A. (1988). *Earthquakes*. New York: W. H. Freeman and Company.

Brivio, P.A., Colombo, R., Maggi, M. and Tomasoni, R. (2002). Integration of Remote Sensing Data and GIS for Accurate Mapping of Flooded Areas. *Int. J. Remote Sens.* **23** (3), 429–41.

Brown, A. G. (1983). Floodplain Deposits and Accelerated Sedimentation in the Lower Severn Basin. In *Background to Palaeohydrology*, Gregory, K. J. (ed.) pp. 375-379. Chichester: Wiley.

Brunsden, D. and Thornes, J. B. (1979). Landscape Sensitivity and Change. *Institute of British Geographers, Transactions* **4**(4), 463-84,

Bunin, **J.** (1989). Incorporating Ecological Concerns into the IDNDR. *Natural Hazards Observer* **14**(2), 4-5.

Burrough, P. A. (1983). Multi-Scale Sources of Spatial Variation in Soil. *Journal of Soil Science* **34,** 577-620.

Burton, I. and Kates, R. W. (1964). The Perception of Natural Hazards in Resource Management. *Nat. Resourse Journal* **3**, 412-41.

Burton, I. and Kates, R. W. (1964b). The Floodplain and the Sea Shore: A Comparative Analysis of Hazard Zone Occupancy. *Geographical Review* **54**, 366-85.

Burton, I. and Hewitt, K. (1974). Ecological Dimensions of Environmental Hazards. In *Human Ecology*, Sargent, F. (ed.), 253-83. Amsterdam: Elsevier.

Burton, I., Kates, R. W. and White, G. F. (1993). *The Environment as Hazard* (2nd edition). New York and London: Guilford Press.

Calabresi, G. (1995). The Use of ERS Data for Flood Monitoring: An Overall Assessment. In *Proceedings of the Second ERS Applications Workshop*. London, UK ESA SP-383.

Campbell, **J.** (1984). *Dealing with Disaster, Hurricane Responses in Fiji.* Suva: Pacific Island Development Programme, East-West Center and the Government of Fiji.

Campell, B. J. (1996). *Introduction to Remote Sensing* (2nd Edition). Virginia Polytechnic Institute and State University, New York, London: The Guilford Publication Press.

Cannon, T. (1993). A Hazard Need not a Disaster Make: Vulnerability and the Causes of 'Natural' Disasters. In *Natural Disasters: Protecting Vulnerable*

Communities, Merriman, P.A., Browitt, C.W.A. (eds.), pp. 92 – 105. London: Thomas Telford.

Cannon, T. (1994). Vulnerability Analysis and the Explanation of "Natural" Disasters. In *Disasters, Development and Environment*, A. Varley (ed.), pp. 13-30. Chichester, England: John Wiley.

Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. and Reichenbach, P. (1991). GIS Techniques and Statistical Models In Evaluating Landslide Hazard. *Earth Surface Processes and Landforms* **16**, 427– 45.

Carvalho, L. M. T., Fonseca, L. M. G., Murtagh, F., and Cleves, J. G. P. W. (2001). Digital Change Detection with the Aid of Multiresolution Wavelet Analysis. International Journal of Remote Sensing, 22, 3871–3876.

Cawthorne, A. (2001). Hurricane Michelle Pounds Cuba, Heads for Bahamas. Reuters, 5 November. ReliefWeb, http://www.reliefweb/int

CCRS (Canada Canter for Remote Sensing) (1998). Fundamentals of Remote Sensing. Tutorial. http://www.ccrs.nrcan.gc.ca

CEOS (2003). The Use of Earth Observing Satellites for Hazard Support: Assessments and Scenarios. Final Report of the CEOS Disaster Management Support Group (DMSG), November.

Cheng, K., Wei, C. and Chang, S. (2004). Locating Landslides Using Multitemporal Satellite Images. *Advances in Space Research* **33**, 296–301.

Cinti, F. A. (1994). South Carolina Shakes Again: The Earthquake of January 17, 1994. *Systema Terra – Remote Sensing and the Earth* **3**(2), 27– 30.

Civco, D. L. (1989). Topographic Normalisation of Landsat Thematic Mapper (Digital Imagery). *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **55**(9), 1303-9.

Chagnon, S. A. (1987). Climate Fluctuations and Record High Levels of Lake Michigan. *Bulletin of the American Meteorological Society* **68**, 1394-1402.

Chester, D. (1993). *Volcanoes and Society*. London: E. Arnold.

Clark, R. N. (1999). *Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy*. Denver: U.S. Geological Survey, http://speclab.cr.usgs.gov, 58 pp.

Clay, E. *et al*. (1999). An Evaluation of HMG's Response to the Montserrat Volcanic Emergency. Evaluation Report EV635, Vol. 1, London: DFID.

Coburn, A. and Spence, R. (2002). *Earthquake Protection* (2nd edition). Chichester: John Wiley and Sons.

Cohen, S. and Raghavulu, C (1979). *The Andhra Cyclone of 1977*. New Delhi: Vikas.

Collins, J. and Woodcock, C. (1996). An Assessment of Several Linear Change Detection Techniques for Mapping Forest Mortality Using Multitemporal Landsat TM Data. *Remote Sensing of the Environment* **56**, 66-77.

Colwell, R. N. (1983). *Manual of Remote Sensing*. (Ed.) Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.

Conway, E. D. and the Maryland Space Grand Consortium (1997). *An Introduction to Satellite Image Interpretation*. Baltimore, Maryland: The John Hopkins University Press.

Coppin, P. R. and Bauer, M. E. (1994). Processing of Multitemporal Landsat TM Imagery to Optimise Extraction of Forest Cover Change Features. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **32**, 918–27.

Coppin, P. R. and Bauer, M. E. (1996). Digital Change Detection in Forest Ecosystems with Remote Sensing Imagery. *Remote Sensing Reviews* **13**, 207–234.

Coppin, P., Nackaerts, K., Queen, L. and Brewer, K. (2001). Operational Monitoring of Green Biomass Change for Forest Management. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **67**, 603–11.

Coppin, P, Jonckheere, I., Nackaerts, K. and Muys, B. (2004). Digital Change Detection Methods in Ecosystem Monitoring: A Review. *International Journal of Remote Sensing* **25**(9), 1565–96.

Cowen, D. J. (1988). GIS Versus CAD versus DBMS: Which Are the Differences? *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **54**(11), 1551-5.

CRED (Centre for Research in the Epidemiology of Disasters) (2002). *EM-DAT 2002*. Brussels: Université Catholique de Louvaine: www.cred.be/emdat

CRED (Centre for Research in the Epidemiology of Disasters) (2008). *EM-DAT: Emergency Events Database. Database: Trends/ Natural Disasters: World 1900-2008: Combinated Trend for Events*. Brussels: Université Catholique de Louvaine: http://www.emdat.be/Database/Trends/trends.html

Crippen, R. E. (1992). Measurements of Subresolution Terrain Displacements Using SPOT Panchromatic Imagery. *Episodes* **15**, 56-61.

Crippen R. E. and Blom R. G. (1992). The first Visual Observations of Fault Movements from Space – The 1992 Landers Earthquake. *EOS Transactions of the American Geophysical Union* **72**, 364.

Crist, E. P., Ciccone, R. C. (1984). Application of the Tasselled Cap Concept to Simulated Thematic Mapper Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **50**(3), 343-352.

Crist, E. P., Kauth, R. J. (1986). The Tasselled Cap Demystified. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **52**(1), 81-86.

Crowley, J. K., Hubbard, B. E. and Mars, J. C. (2003). Analysis of Potential Debris Flow Source Areas on Mount Shasta, California, by Using Airborne and Satellite Remote Sensing Data. *Remote Sens. Environ.* **87**(2–3), 345– 58.

Cruden, D. M. and Varnes, D. J. (1996). Landslide Types and Processes. In *Landslides: Investigation and Mitigation*, Schuster, R. L., Turner, A. K. (eds.), pp. 36–75. Special Report, Transportation Research Board. National Academy of Sciences, Washington, DC.

Cuny, **F. C.** (1983). *Disasters and Development*. New York: Oxford University Press.

Dai, X. L. and Khorram, S. (1998) The Effects of Image Misregistration on The Accuracy of Remotely Sensed Change Detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **36**, 1566–1577.

Dai, F., Lee, C. and Ngai, Y. (2002). Landslide Risk Assessment and Management: An Overview. *Engineering Geology* **64**, 65– 87.

Davis, F. W. and Simonett, D. S. (1991). GIS and Remote Sensing, Chapter 14. In *Geographical Information Systems: Volume 1 Principles*, McGuire, D. J., Goodchild, M. F., and Rhind, D. W. (eds.) pp. 191-213. New York: Longman Scientific and Technical.

Davis, I. and Gupta, S. (1991). Technical Background Paper. In *Disaster Mitigation in Asia and the Pacific*, Asian Development Bank (ed.), pp. 23-69. Manila: Asian Development Bank.

Deer, P. J. (1995). Digital Change Detection Techniques: Civilian and Military Applications. International Symposium on Spectral Sensing Research 1995

Report (Greenbelt, MD: Goddard Space Flight Center), http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/ISSSR-95/digitalc.htm

De Roo, A., Van der Knijff, J., Horritt, M.S., Schmuck, G., and De Jong, S. (1999). Assessing Flood Damages of the 1997 Oder Flood and the 1995 Meuse Flood. In *Proceedings of the Second International Symposium on Operationalisation of Remote Sensing*. Enschede, The Netherlands.

Delacourt, C., Alleman, P., Casson, B. and Vadon, H. (2004). Velocity Field of the 'La Clapiere' Landslide Measured by the Correlation of Aerial and QuickBird Satellite Images. *Geophysical Research Letters* **31**(15), 15619.

Diaz, H. F. and Pulwarty R. S. (1997). *Hurricanes: Climate and Socioeconomic Impacts*. New York: Springer.

Dobson, J. E. (1993). Commentary: A Conceptual Framework for Integrating Remote Sensing, GIS and Geography. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **59**(10), 1491-96.

Dobson, G. E., Ferguson, R. L., Field, D. W., Wood, L. L., Haddad, K. D., Iredale H., Jensen, J. R., Klemas, V. V., Orth, R. J. and Thomas, J. P. (1995). *NOAA Coastal Change Analysis Project (C-CAP): Guidance for Regional Implementation*, National Oceanic and Atmospheric Administration, NMFS 123, 92 p.

Eade, D. (1998). *Capacity Building*. Oxford: Oxfam.

Easterling, D., Meehl, G., Parmesan, C., Chagnon, S., Karl, T. and Mearns, L. (2000). Climate Extremes, Observations, Modelling and Impacts. *Science* **289**, 2068-74.

Ebert, C (1993). *Disasters: Violence of Nature, Threats by Man*. Dubuque IO: Kendall/ Hunt.

Elachi, Ch., (1987). *Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and techniques.* Institute of Electrical and Electronical Engineers, Inc., New York.

Ehlers, M. (1990). Remote Sensing and Geographic Information Systems: Towards Integrated Spatial Information Processing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **28**(4), 763-766.

Ehlers, M., Greenlee, D., Smith, T. And Star, J. (1991). Integration of Remote Sensing and GIS: Data and Data Access. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **57**(6), 669-75.

Ellrod, G. P., Connell, B. H. and Hillger, D. W. (2003). Improved detection of airborne volcanic ash using multispectral infrared satellite data. *J. Geophys. Res.* [Atmos.] **108**(D12) (Art. No. 4356).

Elsberry, **R.** (2002). Track Forcast Guidance Improvements for Early Warnings of Tropical Cyclones. In *Early Warning Systems for Natural Disaster Reduction*, Zschau J. and Kueppers A. (eds.), pp. 167-83. Berlin: Springer Verlag.

van Essche, L. (1986). *Planning and Management of Disaster Risks in Urban and Metropolitan Regions*. International Seminar on Regional Development for Disaster Prevention UNDRO, Geneva.

Estes, J. E., Hajic, E. J., Tinney, L. (1983). Fundamentals of Image Analysis: Visible and Thermal Infrared Data. In *Manual of Remote Sensing*, Collwell, R. N. (ed.) Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.

Faupal, **C. E.** (1985). *The Ecology of Disaster: An Application of a Conceptual Model*. New York: Irvington.

Ferguson, J. (2002). The Tragedy of St Pierre. *Geographical Magazine* **74**(5), 14-19.

Fielding, E. J., Wright, T. J., Muller, J., Parsons, B. E. and Walker, R. (2004). A Seismic Deformation of a Fold-and-Thrust Belt Imaged by SAR Interferometry Near Shahdad, SE Iran. *Geology* **32**(7), 577– 80.

File: EM Spectrum.svg. Διατίθεται στη ιστοσελίδα: http://en.wikipedia.org/wiki/Image:EM_spectrum.svg

Foster, H. D. (1976). Assessing Disaster Magnitude: A Social Science Approach. *Professional Geographer* **28**(3), 241-7.

Franke, R. and Chasin, B (1980). *Seeds of Famine: Ecological Destruction and the Development Dilemma in the West-African Sahel*. Montclaire, NJ: Allenheld, Osmun.

Fritz, C. E. (1961). Disasters. In *Contemporary Social Problems*. Merton, R. K., Nisbet, R. A. (eds.), pp. 651– 694. Harcourt, New York.

Frampton, S. Chaffey, J., McNaught, A. and Hardwick, J. (1998). *Natural Hazards Causes, Consequences and Management. "The Kobe Earthquake"*. London: Hodder and Stoughton.

Gamba, P. and Houshmand, B. (2002). Joint Analysis of SAR, LIDAR and Aerial Imagery for Simultaneous Extraction of Land Cover, DTM and 3D Shape of Buildings. *Int. J. Remote Sens.* **23**(20), 4439– 50.

Gaonac'h, H., Vandemeulebrouck, J., Stix, J. and Halbwachs, M. (1994). Thermal Infrared Satellite Measurements of volcanic activity at Stromboli and Vulcano. *Journal of Geophysical Research* **51**, 9477-85.

García-Meléndez, E., Molina, I., Ferre-Julià, M., et al. (1998). Multisensor Data Integration and GIS Analysis for Natural Hazard Mapping in a Semiarid Area (Southeast Spain). *Adv. Space Res.* **21** (3), 493–499.

Gläber, C and Reinartz, P. (2005). Multitemporal and Multispectral Remote Sensing Approach for Flood Detection in the Elbe-Mulde Region. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* **33**(5), 395-403.

Glanz, M. (2001). *Once Burnt, Twice Shy? Lessons Learnt from the 1997-98 El Nino*. Tokyo: United Nations University Press.

Glaze, L. S., Francis, P. W., Self, S. and Rothery, D. W. (1989). The 16 September 1986 Eruption of Lascar Volcano, North Chile – Satellite Investigations. *Bulletin of Volcanology* **51**, 149-60.

Glaze, L. S., Baloga, S. M. (2003). DEM Flow Path Prediction Algorithm for Geologic Mass Movements. *Environ. Eng. Geosci*. **9**(3), 225–40.

Goodchild, M. F. (1985). Geographic Information Systems in Undergraduate Geography: A Contemporary Dilemma. *The Operational Geographer*, No 8.

Graff, T. and Wiseman, **R.** (1978). Changing Concentrations of Older Americans. *Geographical Review* **68**, 379-93.

Gray, W. (2000). General Characteristics of Tropical Cyclones. In *Storms*, Pielke, R. and Pielke R. (eds.), Vol. 1, pp. 154-63. London: Routledge.

Green, K., Kempka, D. and Lackey, L. (1994). Using Remote Sensing to Detect And Monitor Land-Cover and Land-Use Change. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **60**, 331–7.

Guillaume, A. and Mognard, M.N. (1992). A New Method for the Validation of Altimeter-Derived Sea State Parameters with Results from Wind and Wave Models. *J. Geophys. Res.* **97**(C6), 9705–17.

Gupta, P. R. (1991). *Remote Sensing in Geology*. Springler-Verlag, 356 p.

Gupta, R. and Saha, A. (2001). Mapping Debris Flows in the Himalayas, Natural Resource Management. GISdevelopment.net, pp. 4.

Gurnell, A. M., Edwards, P. J. and Hill, C. T. (1993). The Effects of Management on Heath and Mire Hydrology: A Framework for a Geographic Information System Approach. In *Landscape Ecology and GIS*, Haines-Young, R., Green, D. R. and Cousins, S. H. (eds.) pp. 212-222. London: Taylor and Francis.

Hardoy, J. and Sattertwaite, D. (1989). *Squatter Citizen: Life in the Urban Third World*. London: Earthscan.

Hassan, H. M. **and Luscombe, B. W.** (1990). Remote Sensing and Technology Transfer in Developing Countries. In *Managing Natural Disaster and the Environment*, Kreimer, A. and Munasinghe, M. (eds.). The World Bank, Washington D.C.

Herva´s, J., Barredo, J., Rosin, P., Pasuto, A., Mantovani, F. and Silvano, S. (2003). Monitoring Landslides from Optical Remotely Sensed Imagery: The Case Story of Tessina Landslide, Italy. *Geomorphology* **54**, 63– 75.

Hess, L. L., Melack, J. M. and Simonett, D. S. (1990). Radar Detection of Flooding Beneath the Forest Canopy: A Review. *Int. J. Remote Sensing* **11**(7), 1313-25.

Hess, L. L. and Melack, J. M. (1994). Mapping Wetland Hydrology and Vegetation with Synthetic Aperture Radar. *Int. J. Ecol. Environ. Sci.* **20**, 197-205.

Hess, J. C. and Elsner, **J. B.** (1994). Historical Developments Leading to Current Forecast Models of Annual Atlantic Hurricane Activity. *Bulletin of the American Meteorological Society* **75**(9), 1611-22.

Hewitt, K. (1983). The Idea of Calamity in a Technocratic Age. In *Interpretations of Calamity from the Viewpoint of Human Ecology*, Hewitt, K. (ed.), pp. 3-32. London: Allen and Unwin.

Hewitt, K. (1995). Excluded Perspectives in the Social Construction of Disaster. *International Journal of Mass Emergencies and Disasters* **13**(3), 317-39.

Hewitt, M. J., III (1990). Synoptic Inventory of Riparian Ecosystems: The Utility of Landsat Thematic Mapper Data. *For. Ecol. Manage*. **33/34**, 605–20.

Howe, E. (1909). Landslides in the San Juan Mountains, Colorado: Including a Consideration of their Causes and their Classification. *U. S. Geol. Surv. Prof.* Pap. 67.

Huggel, C., Kääb, A., Haeberli, W., Teysseire and Paul, F. (2002). Remote Sensing Based Assessment of Hazards from Glacier Lake Outbursts: A Case Study In the Swiss Alps. *Canadian Geotechnical Journal* **39,** 316– 30.

Hutchinson, C. F. (1982). Techniques for Combining Landsat and Ancillary Data for Digital Classification Improvement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **48**, 123-30.

Hutchinson, M. F. (1988). *Calculation of Hydrologically Sound Digital Elevation Models*. Third International Symposium on Spatial Data. Handling, Sydney, Columbus, Ohio: International Geographical Union.

Hutchinson, M. F. (1989). A New Procedure for Gridding Elevation and Stream Line Data with Automatic Removal of Spurious Pits. *Journal of Hydrology* 106, 211-232.

IDNDR (1992). Glossary: Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management, DHA-Geneva, 83 pp.

IFRC (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies) (1999b). *Vulnerability and Capacity Assessment: An International Federation Guide*. Geneva: IFRC.

IFRC (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies) (2001). *World Disasters Report: Focus on Recovery*. Geneva: IFRC.

International Centre, Cities on Water (1989*). Impact of Sea-Level Rise on Cities and Regions*. International Centre, S. Marco, Venice, Italy.

Jain, S. K., Singh, R. D., Jain, M. K. and Lohani, A. K. (2005). Delineation of Flood-Prone Areas Using Remote Sensing Techniques. *Water Resources Management* **19**, 333-47.

Jayaraman, V., Chandrasekhar, M. G. and Rao, U. R. (1997). Managing the Natural Disasters from Space Technology Inputs. *Acta Austronautica*. **40**(2-8), 291-325.

Jensen, J. R. (ed.) (1989). Chapter 20: Remote Sensing in America. *Geography in America*. New York: Bobbs Merrill.

Jensen, J. R. (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective.* New Jersey, Upper Saddle River: Prentice Hall.

Jensen, J. R., Halls, J. and Michel, J. (1998). A Systems Approach to Environmental Sensitivity Index (ESI) mapping for Oil Spill Contgency

Planning and Response. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **64**(10), 1003-14.

Jensen, J. R. (2000). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. New Jersey, Upper Saddle River: Prentice Hall.

Jensen, J. R. and Narumalani, S. (1992). Improved Remote Sensing and GIS Reliability Diagrams, Image Genealogy Diagrams, and Thematic Legends to Enhance Communication. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **6**(B6), 125-32.

Johannessen, O. M., Sandven, S., Jenkins, A. D., Durand, D., Pettersson, L. H. Espedal, H., Evensen, G. and Hamre, T. (2000). Satellite Earth Observation in Operational Oceanography. *Coastal Engineering* **41**, 155–176.

Johnson, R. and Kasischke, E. (1998). Change Vector Analysis: A Technique for the Multi-Temporal Landsat Thematic Mapper Data. *International Journal of Remote Sensing* 19(3), 411-26.

Johnson, R. (2000). *GIS Technology for Disasters and Emergency Management*. ESRI White Paper, New York.

Jones, D. K. C. (1992). Landslide Hazard Assessment in the Context of Development. In *Geo-Hazards: Natural and Man-made*, McCall, G. J. H., Laming, D. J. C. and Scott, S. C. (eds.) pp. 117-41. London: Chapman and Hall.

Jones, D. K. C. (1995). The Relevance of Landslide hazard to the International Decade for natural Disaster Reduction. In *Landslides Hazard Mitigation with Particular Reference to Developing Countries*, pp. 19-33. Proceedings of a Conference, London: The Royal Academy of Engineering.

Kääb A. (2000). Photogrammetry for Early Recognition of High Mountain Hazards: New Techniques and Applications. *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, **25**(9), 765– 70.

Kääb, A., Wessels, R., Haeberli, W., Huggel, C., Kargel, J. and Khalsa, S. (2003). Rapid ASTER Imaging Facilities Timely Hazard Assessment of Glacier Hazards Disasters. *EOS, Transactions American Geophysical Union* **84**(13), 117– 24.

Kates, R. W. (1971). Natural hazards in Human Ecological Perspective: Hypothesis and Model. *Economic Geography* **47**(3), 438-51.

Kauth, R. J. and Thomas, G. S. (1976). The Tasseled Cap: A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by Landsat.

Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University, West Lafayette, Ind., pp. 4B41-4B51.

Kawata, Y., Ueno, S. and Kussaka T. (1988). Radiometric Correction for Atmospheric and Topographic effects on Landsat MSS Images. International Journal of Remote Sensing **9**(4), 729-48.

Klees, R. and Massonnet, D. (1999). Deformation Measurements Using SAR Interferometry: Potential and Limitations. *Geologie en Mijnbouw* **77**, 161–76.

Κουτσόπουλος, Κ. (1990). *Γεωγραφία και Μέθοδοι Ανάλυσης Χώρου*. Αθήνα: Συμμετρία.

Κουτσόπουλος, Κ. (2002). *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου

Kuester, I. and Forsyth, S. (1985). Rabaul Eruption Risk: Population Awareness and Preparedness Survey. *Disasters* **9**(3), 179-82.

Laidlaw, I. (2002). Personal Correspondence with B. Wisner via e-mail, March and April, 2002.

Lanari, R., Berardino, P., Borgstrom, S., del Gaudio, C., de Martino, P., Fornaro, G., Guarino, S., Ricciardi, P., Sansosti, E. and Lundgren, P. (2003). The Use of IFSAR and Classical Geodetic Techniques for Caldera Unrest Studies: application to the Campi Flegrei Uplift Event of 2000. J. *Volcanol. Geotherm. Res*. **133**(1–4), 247– 60.

Lanari, R., Lundgren, P., Manzo, M., Casu, F. (2004). Satellite Radar Interferometry Time Series Analysis of Surface Deformation for Los Angeles, California. *Geophys. Res. Lett.* **31**(23) (Art. No. L23613).

Lasnier, P., Loeul, S., Hajji, H., Bonicel, D. and Charriez, P. (1996). Contribution of ERS Data to Cliosat Project, the Satellite Metocean Atlas. *Proceedings of the 2nd ERS Applications Workshop, London, 6–8 December, 1995*. ESA Publications Division, Noordwijk, The Netherlands, pp. 65–73, number ESA SP-383.

Leaf, M. (1997). Local Control versus Technocracy: The Bangladesh Flood Response Study. *Journal of International Affairs* **51** (1), 179-200.

Lee, S., Ueechan Chwae, U. and Min, K. (2002). Landslide Susceptibility Mapping by Correlation between Topography and Geological Structure: The Janghung Area, Korea. *Geomorphology* **46**, 149–162.

Λέκκας, Ε. Λ. (2000). *Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές* (2η έκδοση). Αθήνα: Access Pre-Press.

Le Meur, D., Roquet, H. And Lefevre, J.-M. (1996). Use of ERS Wind and Wave Data for Numerical Wave Modelling at Meteo-France. *Proc. 2nd ERS Applications Workshop, London, 6–8 December, 1995*. ESA Publications Division, Noordwijk, The Netherlands, pp. 53–56, number ESA SP-383.

Lewin, J. (1978). Floodplain Geomorphology. *Progress in Physical Geography* **2**(3), 408-37.

Lewin, J. (1981). Contemporary Erosion and Sedimentation. In *British Rivers*, Lewin, J. (ed.) pp. 35-58. London: George Allem and Unwin.

Lewis, J. (1981). Some Perspectives on Natural Disaster Vulnerability in Tonga. *Pacific Viewpoint* **22**(2), 145-62.

Lewis, J. (1984a). A Multi-Hazard History of Antigua. *Disasters* **8**(3), 190-7.

Lewis, J. (1984b). *Disaster Mitigation Planning: Some Lessons from Island Countries*. Occasional Paper, Centre for Development Studies. Bath: University of Bath.

Lewis, J. (1989). *Sea-level Rise: Tonga, Tuvalu (Kiribati)*. Common Wealth Expert Group on Climate Change and Sea-level Rise. London: Common Wealth Secretariat.

Lewis, J. (1990). The Vulnerability of Small Island-States to Sea Level Rise: The Need for Holistic Strategies. *Disasters* **14**(3), 241-8.

Lewis, J. (1999). *Development in Disaster-Prone Places*. London Intermediate Technology Publications.

Lohman, R. B., Simons, M. and Savage, B. (2002). Location and Mechanism of the Little Skull Mountain Earthquake as Constrained by Satellite Radar Interferometry and Seismic Waveform Modelling. *J. Geophys. Res.*, [Solid Earth] **107**(B6) (Art. 2118).

Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W. (2000) *Remote Sensing and Image Interpretation* (4th edition). USA: John Wiley and Sons.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. and Chipman, J. W. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation* (5th edition). USA: John Wiley and Sons.

Liu, Y., Nishiyama, S. and Yano, T. (2004). Analysis of Four Change Detection Algorithms in Bi-Temporal Space with a Case Study. *Int. J. Remote Sens.* **25** (11), 2121–39.

Logicon Geodynamics (1997). Multispectral Image Reference Guide. Fairfax: Logicon Geodynamics.

Lorente, A., Garcia-Ruiz, J., Begueria, S. and Arnáez, J. (2002). Factors Explaining the Spatial Distribution of Hillslope Debris Flows. *Mountain Research and Development* **22,** 32–9.

Lu, Z., Patrick, M., Fielding, E. J. and Trautwein, C. (2003). Lava Volume from the 1997 Eruption of Okmok Volcano, Alaska, Estimated from Spaceborne and Airborne Interferometric Synthetic Aperture Radar. *IEEE Trans. Geosci.* Remote Sens. **41**(6), 1428–36.

Lu, D., Mausel, P., Brondízio, E. and Moran, E. (2004). Change Detection Techniques. *International Journal of Remote Sensing* **25**(12), 2365–407

Luscombe, B. W. and Hassan, H. M. (1993). Applying Remote Sensing Technologies to Natural Disaster Risk Management: Implication for Developmental Investments. Acta Astronautica **29**(10/11) 871-6.

Mack, P. E. (1990). *Viewing the Earth: The Social Construction of the Landsat Satellite System*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Mackey, H. E., Jr. and Riley, R. S. (1994). Mapping of Flood Patterns in A 10,000-Acre Southeastern River Swamp with SPOT HRV Data (abstract). *ASPRS/ACSM Annual Convention and Exposition, Tech. Pap.* **1,** p. 375.

Macleod, R. and Congalton, R. (1998). A Quantitative Comparison of Change Detection Algorithms for Monitoring Eelgrass from Remotely Sensed Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **64**(3) 207-16.

Malila, W. A. (1980). Change Vector Analysis: An Approach for Detecting Forest Changes with Landsat. *Proceedings*, LARS Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium, In: Laboratory for the Application of remote Sensing, W. Lafayette, (ed.) pp. 326-336.

Μανιάτης, Ι. (1996). *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών: Γης - Κτηματολογίου*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

Mantovani, F., Soeters, R. and van Westen, C. (1996). Remote Sensing Techniques for Landslide Studies and Hazard Zonation in Europe. *Geomorphology* **15,** 213–25.

Mason, D. C. and Davenport, I. J. (1996). Accurate and Efficient Determination of the Land-Sea Boundary in ERS-1 SAR Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **34**, 1243-53.

Matgen, P. Schumann, G., Henry, J.-B., Hoffmann, L. and Pfister, L. (2007). Integration of SAR-derived River Inundation Areas, High-Precision Topographic Data and a River Flow Model Toward Near Real-Time Flood Management. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **9,** 247–263.

Mather, M. P. (1999). *Computer Processing of Remotely Sensed Images* (2nd edition). Great Britain: John Wiley and Sons.

Mather, P. (2004). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction.* Chichester: John Wiley and Sons.

McGuire, D. J. Goodchild, M. F., and Rhind, D. W. (1991). *Geographical Information Systems*. New York: Longman Scientific and Technical.

McGuire, **B., Mason, I. and Kilburn, C.** (2002). *Natural Hazards and Environmental Change*. London: Arnold.

McKean, J. and Roering, J. (2004). Objective Landslide Detection and Surface Morphology Mapping Using High-Resolution Airborne Laser Altimetry. *Geomorphology* **57**, 331– 51.

Metternicht, G., Hurni, L. and Gogu, R. (2005). Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments. *Remote Sensing of Environment* **98,** 284 – 303.

Michener, W. and Houhoulis, P. (1997). Detection of Vegetation Changes Associated with Extensive Flooding in a Forested Ecosystem. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **63**(12) 1363-74.

Mickalek J. L., Wagner, W., Luczkovich, J. J. and Stoffl, R. W. (1993). Multispectral Change Vector Analysis for Monitoring Coastal Marine Environments. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **59**(3), 381-4.

Milne, **A.** (1986). *Floodshock: The Drowning of Planet Earth.* Gloucester: Alan Sutton.

Moore, R.J., Bell, V.A. and Jones, D.A. (2005). Forecasting for Flood Warning. *C. R. Geoscience* **337,** 203–217.

Morgan, G. (1989) Satellite Remote Sensing Technology for Natural Hazards Preparedness and Emergency Response Planning. The World Bank, Washington, D.C.

Muller, E., Decamps, El. and Dobson, M. K. (1993). Contribution of Space Remote Sensing to Fiver Studies. *Freshwater Biol.* **29**, 301-312.

Munyati, C. (2004). Use of Principal Component Analysis (PCA) of Remote Sensing in Wetland Change Detection on the Kafue Flats, Zambia. *Geocarto International* **19**(3), 11-22.

Nagarajan, R., Mukherjee, A., Roy, A. and Khire, M. (1998). Temporal Remote Sensing Data and GIS Application in Landslide Hazard Zonation of Part of Western Ghat, India. *International Journal of Remote Sensing* **19**(4), 573– 585.

Newhall, B. (1969). *Airborne Camera*. Hasting House: New York.

Newhall, C. G. and Self, S. (1982). The Volcanic Explosivity Index (VEI): An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism. *Journal of Geophysical Research* **87**, 1231-38.

Newman, M. C. and Strojan, **C. L.** (1998). *Risk Assessment: Logic and Measurement*. Chelsea, Michigan: Ann Arbor Press.

Newson, M. D. (1992b). River Conservation and Catchment Management: UK Perspective. In *River Conservation and Management*, Boon, F., Calow, P. and Petts, G. (eds.). Chichester: Wiley.

Newson, M. D. (1997). *Land, Water and Development: Sustainable Development of River Basin System* (2nd edition). USA and Canada: Routledge.

Noji, E. K. (ed.) (1997). *The Public Health Consequences of Disasters*. New York: Oxford University Press.

NRC (National Research Council) (2003). *Living on an Active Earth: Perspectives on Earthquake Science*. Committee on the Science of Earthquakes. Washington, D.C.: National Academies Press.

Oberstadler, R., Hönsch, H. and Huth, D. (1997). Assessment of the Mapping Capabilities of ERS-1 SAR Data for Flood Mapping: A Case Study in Germany. *Hydrol. Process.* **11** (10), 1415–25.

Okrent, D. (1980). Comment on Societal Risk. *Science* **208**, 372-5.

Oliver-Smith, A. (1994). The Five Hundred Year Earthquake: Natural and Social Hazards in the Third World (Peru). In *Disasters, Development and Environment*, Varley, A. (ed.) pp. 31-48. Chichester: Wiley.

Opppenheimer, C., Francis, P. W., Rothery, D. A. and Carlton, R. W. T. (1993). Infrared Image Analysis of Volcanic Thermal Features – Lascar Volcano, Chile, 1984 – 1982. *Journal of Geophysical Research* **98**, 4269-86.

Paci, G. and Campbell, G. (1996). Operational Use of ERS-1 products in Marine Applications. *Proc. 2nd ERS Applications Workshop, London, 6–8 December, 1995.* ESA Publications Division, Noordwijk, The Netherlands, pp. 43–46, number ESA SP-383.

Παπανικολάου Δ. Ι. και Σιδέρης Χρ. Ι. (2007). *Γεωλογία: Η Επιστήμη της Γης*. Αθήνα: Εκδόσεις Πατάκη.

Παπαπέτρου – Ζαμάνη, Α. (1995). *Γεωμορφολογία*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.

Parker, D (ed.) (2000). *Floods*. 2 Vols. London: Routledge.

Paul, F., Huggel, C. and Kääb, A. (2004). Combining Satellite Multispectral Image Data and a Digital Elevation Model for Mapping Debris-Covered Glaciers. *Remote Sensing of Environment* **89**, 510–8.

Pauwels, V. R. N., Hoeben, R., Verhoest, N. E. C. and De Troch, F. P. (2001). The Importance of the Spatial Patterns of Remotely Sensed Soil Moisture in the Improvement of Discharge Predictions for Smallscale Basins through Data Assimilation. *J. Hydrol*. **251** (1/2), 88–102.

Pieri, D. and Abrams, M. (2004). ASTER Watches the World's Volcanoes: A New Paradigm for Volcanological Observations from Orbit. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* **135**(1–2), 13– 28.

Peacock, W., Morrow, B. and Gladwin, H. (eds.) (1997). Hurricane Andrew: Ethnicity Gender and the Sociology of Disasters. London: Routledge.

Pelling M., and Uitto, **J.** (2002). Small Island Developing States: Natural Disaster Vulnerability and Global Change. *Environmental Hazards* **3**, 49-62.

Philipson, W. (1997) *Manual of Photographic Interpretation* (2nd edition). Bethesda MD: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Pickover, C. A. (1991). *Computers and the Imagination: Visual Adventures Beyond the Edge*. New York: St Martin's Press.

Plafker, G. and Eriksen, G. E. (1978). Nevados Huascaran Avalanches, Peru. In *Rockslides and Avalanches, vol. 1: Natural Disasters*, Voight, B. (ed.) pp. 48–55. Amsterdam: Elsevier.

Price, M. (1986). The Analysis of Vegetation Change by Remote Sensing. *Progr. Phys. Geogr.* **29**, 261-281.

Pritchard, M. E. and Simons, M. (2004). An InSar-based Survey of Volcanic Deformation in the Central Andes. *Geochem. Geophys. Geosyst.* **5** (Art. No. Q02002).

Quarantelli, E. L. (1986). Planning and Management for the Prevention and Mitigation of Natural Disasters, Especially in a Metropolitan Context: Initial Questions and Issues Which Need to be Addressed. Planning for Crisis Relief International Seminar. Nagoya, United Nations Centre for Regional Development.

Quarantelli, **E. L.** (1995). What is Disaster? Six Views of the Problem. *International Journal of Mass Emergencies and Disasters* **13**(3), 221-364.

Rabben, E. L. (1960). Fundamentals of Photo Interpretation. In Manual of Photographic Interpretation, Falls Church: American Society for Photogrammetry.

Rao, U. R. et al. (1993). Latur Earthquake - Selection of Sites for Rehabilitation of The Affected Villages in Latur and Osmanabad Districts of Maharashtra, India. *Current Science* **65**, 772.

Rejaie, A. and Shinozuka, M. (2004). Reconnaissance of Golcuk 1999 Earthquake Damage Using Satellite Images. *J. Aerosp. Eng.* **17**(1), 20– 5.

Ridd, M. and Liu, J. (1998). A Comparison of Four Algorithms for Change Detection in Urban Environment. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 63, 95-100.

Rist, G. (1997). *The History of Development*. London and New York: Zed Books.

Robinove, C. J. (1982). Computation with Physical Values from Landsat Digital Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **48**, 781–784.

Ρόκος, Δ. (1993α). Η Συμβολή της Τηλεπισκόπησης στην Παρατήρηση, Παρακολούθηση και Προστασία του Περιβάλλοντος. Στο *Από τη «Βιώσιμη» ή «Αειφόρο» στην Αξιοβίωτη Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη*, Ρόκος, Δ.(επιμ.). Αθήνα: Εκδόσεις Λιβάνη.

Ρόκος, Δ. (1993β). Η Συμβολή της Τηλεπισκόπησης και των Ολοκληρωμένων Συστημάτων Πληροφοριών Γης και Περιβάλλοντος στη Μελέτη και Παρακολούθηση των Πλανητικών Μεταβολών. Στο *Από τη «Βιώσιμη» ή «Αειφόρο» στην Αξιοβίωτη Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη*, Ρόκος, Δ.(επιμ.). Αθήνα: Εκδόσεις Λιβάνη.

Ρόκος, Δ. (2001). Από τη «Βιώσιμη» ή «Αειφόρο» στην Αξιοβίωτη Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη. Στο *Από τη «Βιώσιμη» ή «Αειφόρο» στην Αξιοβίωτη Ολοκληρωμένη Ανάπτυξη*, Ρόκος, Δ. (επιμ.). Αθήνα: Εκδόσεις Λιβάνη.

Rothery, D. A. (1989). Volcano Monitoring by Satellite. *Geology Today* **5**, 128-32.

Rott, H. and Nagler, T. (2006). The Contribution of Radar Interferometry to the Assessment of Landslide Hazards. *Advances in Space Research* **37**, 710–719.

Rutchey, K. and Velcheck, L. (1994). Development of an Everglades Vegetation Map Using a SPOT Image and the Global Positioning System. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **60**(6), 767-75.

Sabins, F. F. (1997). *Remote Sensing: Principles and Interpretation* (3d Edition). New York: W. H. Freeman and Company.

Samuel, P., Johannessen, J. A. and Johannessen, O.M. (1994). A Study on The Inflow of Atlantic Water to the GIN Sea Using GEOSAT Altimeter Data. *The Polar Oceans and Their Role in Shaping the Global Environment.* American Geophysical Union, pp. 95–108.

Scarth, **A.** (1997). *Savage Earth*. Pelean Eruptions, pp. 138-41. London: Harper-Collins.

Scheitzer, B. and McLeod, B. (1997). Marketing Technology that Is Changing at the Speed of Light. *Earth Observation Magazine*, **6**(7), 22-24.

Schmugge, T. J., Kustas, W. P., Ritchie, J. C., Jackson, T. J. and Rango, A. (2002). Remote Sensing in Hydrology. *Adv. Water Resour.* **25** (8– 12), 1367–85.

Schott, J. R. (1997). *Remote Sensing: The Image Chain Approach*. Oxford: Oxford University Press.

Schuurman, F. J. (ed.) (1996). «Beyond the Impasse». London and New Jersey: Zed Books.

Seaman, J., Leivesley, S. and Hogg, C. (1984). Epidemiology of Natural Disasters. *Contributions to Epidemiology and Biostatistics*, Vol 5, Basel: S. Karger.

Sepehry, A. and Liu, G-J. (2006) Flood Induced Land Cover Change Detection Using Multitemporal ETM+ Imagery. *Proceedings of the 2nd Workshop of the EARSel SIG on Land Use and Land Cover*. Center for Remote Sensing of Land Surfaces, Bonn, 28-30 September 2006.

SESWG (Solid Earth Science Working Group) **Report** (2002). *Living on a Restless Planet*. S. C. Solomon, Chair, NASA Jet Propulsion Laboratory, Report JPL 400-1040, November.

Seto, K. C., Woodcock, C. E., Song, C., Huang, X., Lu, J. and Kaufmann, R. K. (2002). Monitoring Land-Use Change in the Pearl River Delta Using Landsat TM. *International Journal of Remote Sensing* **23**, 1985–2004.

Sheehan, L. and Hewitt, K. (1969). *A Pilot Survey of Global Natural Disasters of the Past Twenty Years*. Working paper No. 11, Institute of Behavioural Science, University of Colorado, Boulder.

Simpson-Housley, P. and Bradshaw, P. (1978). Personality and the Perseption of Earthquake hazard. *Australian Geographical Studies* **16**, 65-72.

Singhroy, V. (1995). SAR Integrated Techniques for Geohazard Assessment, Natural Hazards: Monitoring and Assessment using Remote Sensing Techniques. *Adv. Space Res.* **33**(3), 205– 90.

Singhroy, V., Mattar, K. and Gray, A. (1998). Landslide Characterisation in Canada using Interferometric SAR and Combined SAR and TM Images. *Advances in Space Research* **21**(3), 465– 476.

Singhroy, V. (2002). Landslide Hazards: CEOS, the Use of Earth Observing Satellites for Hazard Support: Assessments and Scenarios. *Final report of the CEOS Disaster Management Support Group* NOAA, p. 98.

Singhroy, V. and Molch, K. (2004a). Characterizing and Monitoring Rockslides From SAR Techniques. *Advances in Space Research* **33,** 290– 5.

Singhroy, V. and Molch, K. (2004b). Geological Case Studies Related to RADARSAT-2. *Canadian Journal of Remote Sensing* **30**(6), 893–902.

Sivard, R. (2001). *World Military and Social Expenditures*. Washington, DC: World Priorities.

Smith, D. I. (1989). A Dam Disaster Waiting to Break. *New Scientist* 11 November: 42-46.

Smith, D. K. (1998). *Natural Disaster Reduction: How Meteorological and Hydrological Services Can Help*. Publication No. 722, World Meteorological Organisation, Geneva.

Smith, K. (1996). *Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster* (2nd edition). London and New York: Routledge.

Smith, K. (2004). *Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster* (4th edition). London and New York: Routledge.

Soeters, R. and van Westen, C. (1996). Slope Instabilty, Recognition, Analysis and Zonation. In *Landslides: Investigation and Mitigation* (Special Report, vol. 247.), Turner, A and Schuster R. (Eds.) pp. 129–177. Washington DC: Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press.

Southern, R. L. (1980). Global Socio-Economic Impact of Tropical Cyclones. *Australian Meteorological Magazine* **27**, 175-195.

Stevens, N. F., Manville, V., Heron, D. W. (2003). The Sensitivity of a Volcanic Flow Model to Digital Elevation Model Accuracy: Experiments with Digitized Map Contours and Interferometric SAR at Ruapehu and Taranaki Volcanoes, New Zealand. *J. Volcanol. Geotherm. Res*. **119**(1–4), 89–105.

Squarzoni, C., Delacourt, C. and Alleman, P. (2003). Nine Years of Spatial and Temporal Evolution of the La Valette Landslide Observed by SAR Interferometry. *Engineering Geology* **68**, 53–66.

Stow, D. A. and Chen, D. M. (2002). Sensitivity of Multitemporal NOAA AVHRR Data of an Urbanizing Region to Land-Use/Land-Cover Change and Misregistration. *Remote Sensing of Environment* **80**, 297–307.

Strahler, A. N. and Strahler, A. (2003). *Introducing Physical Geography*. USA: John Willey and Sons.

Sunar, F. (1988). An Analysis of Changes in a Multi-Data Set: A Case Study in the Ikkitelli Area, Istanbul, Turkey. *International Journey of Remote Sensing* **19**(2), 225-35.

Talebian, M., Fiedling, E. J., Funning, G. J., Ghorashi, M., Jackson, J., Nazari, H., Parsons, B., Priestley, K., Rosen, P. A., Walker, R. and Wright, T. J. (2004). The 2003 Bam (Iran) Earthquake: Rupture of a Blind Strike-Slip Fault. *Geophys. Res. Lett.* **31**(11) (Art. No. L11611).

Tayag J. C. (n.d.). How the People Escaped and Coped with Mayon Volcanos Fury – A Case Study of Institutional and Human Response to the 1984 Mayon Volcano Eruption. Quezon City: Philippine Institute of Volcanology and Seismology.

Tobriner, S. (1988). The Mexico Earthquake of September 19, 1985: Past Decisions, Present Danger: An Historical Perspective on Ecology and Earthquakes in Mexico City. *Earthquake Spectra* **4**(3) 469-79.

Tombin, J. (1987). Management of Volcanic Emergencies. UNDRO News, July/ August: 17.

Townshend, J. R. G., Justice, C. O., Gurney, C. and Mcmanus, J. (1992). The Effect of Image Misregistration on the Detection of Vegetation Change. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **30**, 1054–60.

Townsend, P. A. and Walsh, S. J. (1998). Modelling Floodplain Inundation using an Integrated GIS with Radar and Optical Remote Sensing. *Geomorphology* **21**, 295-312.

Tralli, D. M., Blom, R. G., Zlotnicki, V., Donnellan, A. and Evans, D. L. (2005). Satellite Remote Sensing of Earthquake, Volcano, Flood, Landslide and Coastal Inundation Hazards. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* **59,** 185– 98.

Trimble, S. W. (1981). Changes in the Sediment Storage in the Coon Creek Basin, Driftless Area, Wisconsin, 1853 to 1975. *Science* **214**, 181-3.

Turner, **B. A.** (1976). Development of Disasters: A Sequence Model for the Analysis of the Origin of Disasters. *Sociological Review* **24**(4), 753-74.

UNDRO (1982). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*. Geneva: Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator (UNDRO).

UNDRO (1984). *Disaster Prevention and Mitigation: A Compendium of Current Knowledge*, Vol. 11: Preparedness Aspects. Geneva: Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator (UNDRO). UNDRO US National Research Council 1987. *Confronting Natural Disasters: An International Decade for Natural Hazard Reduction*. Washington DC: National Academy Press.

van Westen, C., Rengers, N., Terlien, M. and Soeters, R. (1997). Prediction of the Occurrence of Slope Instability Phenomena through GIS-Based Hazard Zonation. *Geologische Rundschau* **86**, 404– 414.

van Westen, C. and Getahun, F. (2003). Analyzing the Evolution of the Tessina Landslide Using Aerial Photographs and Digital Elevation Models. *Geomorphology* **54**, 77– 89.

Varnes, D. J. (1978). Slope Movement Types and processes. In: *Landslides: Analysis and Control*, Schuster, R. L. and Krizek, R. J. (eds.), pp. 11–33. Transportation Research Board, Washington, DC.

Varnes, D. (1984). Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. Paris' UNESCO, 63 pp.

Verbyla, D. L. and Boles, S. H. (2000). Bias in Land Cover Change Estimates Due to Misregistration. *International Journal of Remote Sensing* **21**, 3553–3560.

Virag, L. A. and Colwell, G. E. (1987). An Improved Procedure for Analysis of Change in Thematic Mapper Image-Pairs. *Proceedings* of the 21st International Symposium of remote Sensing of Environment. Ann Arbour, MI: Environmental research Institute of Michigan, 1101-10.

Wadge, G., Woods, A., Jackson, P., Bower, S., Williams, C. and Hulsemann, F. (1998). A Hazard Evaluation System for Montserrat. In *Forecasts and Warnings*, Lee, B. and Davis, I. (eds.), pp. 3.1-3.32. London: Thomas Telford and UK National Co-ordination Committee for IDNDR.

Wadge, G. and Isaacs, M. (1987). *Volcanic Hazards from the Soufriere Hills Volcano, Montserrat West Indies*. Reading, UK: A Report to the Government of Montserrat and the Pan Carribean Disaster Preparedness and Prevention Project, Department of Geography, University of Reading.

Wahba, G. (1990), *Spline Models for Observational Data*. CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics, Philadelphia: Soc. Inc. Appl. Maths.

Wagner, J. J. (1994). Flood 1993 in Western Europe – ERS1-1 on the Job. *Systema Terra – Remote Sensing and the Earth*, **3**(2), 42-5.

Walling, D. E. (1983). The Sediment Delivery Problem. *J. Hydrology* **69,** 209-37.

Walling D. E. and Bradley, S. B. (1989). Rates and Patterns of Contemporary Floodplain Sedimentation: A Case Study of the River Culm, Devon, UK. *GeoJournal* **19**(1), 53-62.

Ward, R. C. (1978). *Floods: A Geographical Perspective*. London: Macmillan.

Watanabe, H. and Matsuo, K. (2003). Rock Type Classification by Multiband TIR of ASTER. *Geosci. J*. **7**(4), 347–58.

Watson, I. M., Realmuto, V. J., Rose, W .I., Prata, A. J., Bluth, G. J. S., Gu, Y., Bader, C. E. and Yu, T. (2004). Thermal Infrared Remote Sensing of Volcanic Emissions Using the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. *J. Volcanol. Geotherm. Res*. **135**(1– 2), 75– 89.

Weber, K. T. (2001). A Method to Incorporate Phenology into Land Cover Change Analysis. *Journal of Range Management* 54, A1–A7.

Westgate, K. N. and O'Keefe, P. (1976). *Some Definitions of Disaster*. Disaster Research Unit Occasional Paper No. 4. Department of Geography, University of Bradford.

White, G. F. (1945). *Human Adjustment to Floods: A Geographical Approach to the Flood Problem in the United States.* Research Paper 29, Department of Geography, University of Chicago.

Wilson, M. and Rachman, G. (1989). Are Hurricanes Growing in the Greenhouse? *The Sunday Correspondent* (London), 24 September: 11.

Winchester, P. (1986). *Cyclone Vulnerability and Housing Policy in the Krishna Delta, South India, 1977-83*. Ph.D. Thesis, School of Development Studies, University of East Anglia, Norwich.

Winchester, S. (2003). *Krakatoa: The Day the World Exploded August 27, 1883*. New York: Harper-Collins.

Wisner, **B.** (2003a). The Communities Do Science! Proactive and Contextual Assessment of Capability and Vulnerability in the Face of Hazards. In: *Vulnerability: Disasters, Development and People*, Bankoff, G., Frerks, G. and Hilhorst, T. (eds). Ch. 13. London: Earthscan.

Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. (2004). *At Risk: Natural Hazard, People's Vulnerability and Disasters* (2nd edition). Canada and USA: Routledge.

WMO (World Meteorological Organisation) (1977). *Guidelines to Disaster Prevention and Preparedness in Tropical Cyclone Areas (A Typhoon Committee Project*). Geneva/ Bangkok.

Wolman, M. G. and Miller, J. P. (1960). Magnitude and Frequency of Forces in Geomorphic Processes. *J. Geol*. **68,** 54-74.

Wood, R. (1986). *Earthquakes and Volcanoes.* London: Mitchell Beazley.

Wooldridge, S. W. and East, W. G. (1952). *The Spirit and Purpose of Geography*. London: Huachinson's University Press.

Wright, R. and Flynn, L. P. (2003). On the Retrieval of Lava-Flow Surface Temperatures from Infrared Satellite Data. *Geology* **31**(10), 396– 893.

Wright, R., Garbeil, H., Baloga, S. M. and Mouginis-Mark, P. J. (2006). An Assessment of Shuttle Radar Topography Mission Digital Elevation Data for Studies of Volcano Morphology. *Remote Sensing of Environment* **105,** 41–53.

Yamano, H., Shimazaki, H., Matsunaga, T., Ishoda, A., McClennen, C., Yokoki, H., Fujita, K., Osawa, Y. and Kayanne, H. (2006). Evaluation of Various Satellite Sensors for Waterline Extraction in a Coral Reef Environment: Majuro Atoll, Marshall Islands. *Geomorphology* **82**, 398-411.

Zarco, R. (1985). *Anticipation, Reaction and Consequences: A Case Study of the Mayon Volcano Eruption.* Quezon City: Philippine Institute of Volcanology and Seismology.

Zebroski, **E.** (2002). *The Last Days of St Pierre: The Volcanic Disaster that Claimed 30.000 Lives.* New Brunswick, NJ: Rutgers University Press.

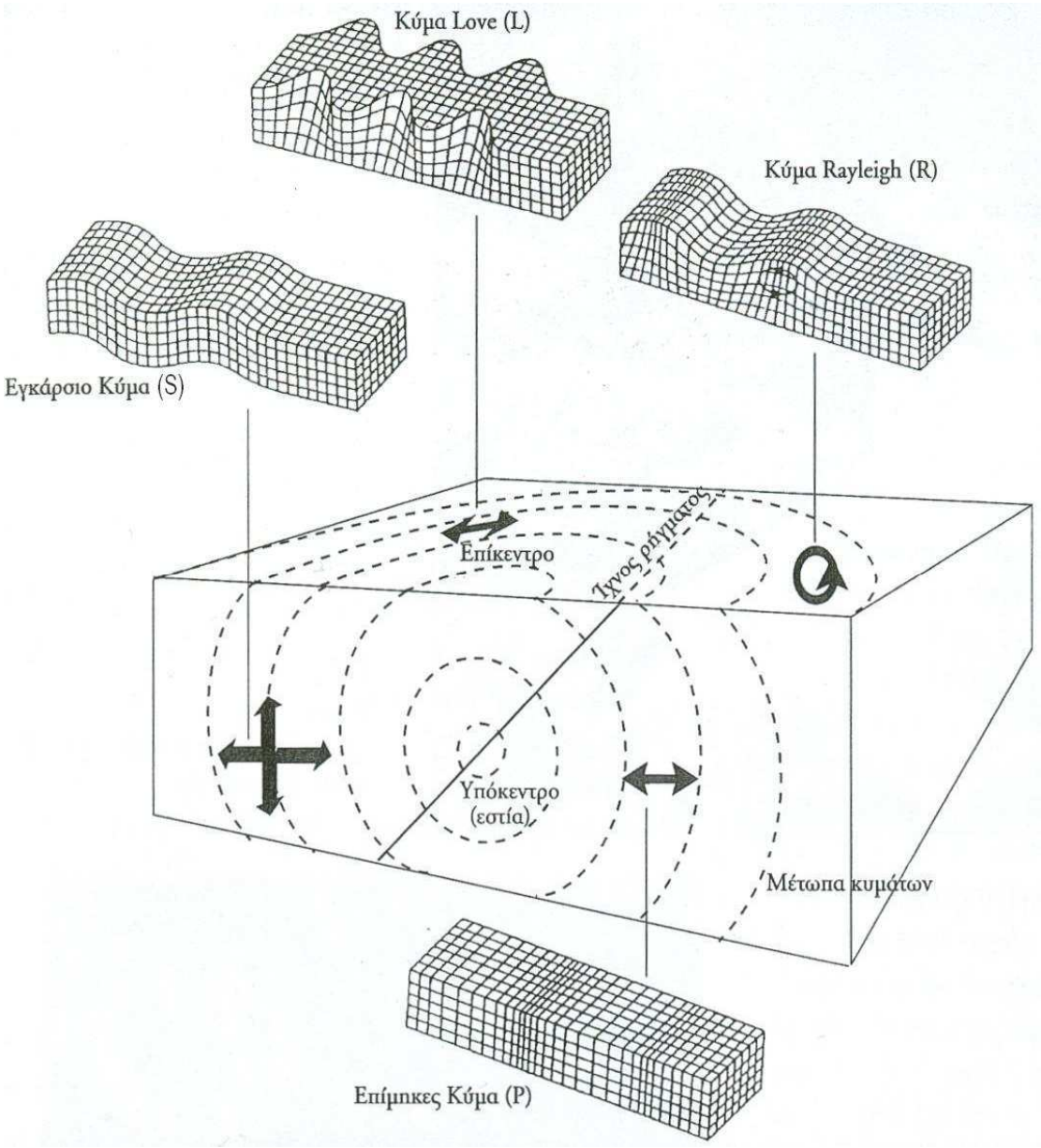
Zhan, X., Sohlberg, R. A., Townshend, J. R. G., Dimiceli, C., Carroll, M. L., Eastman, J. C., Hansen, M. C. and Defries, R. S. (2002). Detection of Land Cover Changes Using MODIS 250m Data. *Remote Sensing of Environment* **83**, 336–350.

Zhao, B., Haiqiang Guo, H., Yan, Y., Wang, Q. and Li, B. (2008). A Simple Waterline Approach for Tidelands Using Multi-Temporal Satellite Images: A Case Study in The Yangtze Delta Estuarine. *Coastal and Shelf Science* **77**, 134–42.

Zinck, J. A., López, J., Metternicht, G. I. (2001). Mapping and Modelling Mass Movements and Gullies in Mountainous Areas using Remote Sensing and GIS Techniques. *JAG* **3** (1), 43–53.

Zribi, M. and Dechambre, M. (2003). A New Empirical Model to Retrieve Soil Moisture and Roughness from C-Band Radar Data. *Remote Sens. Environ.* **84** (1), 42–52.

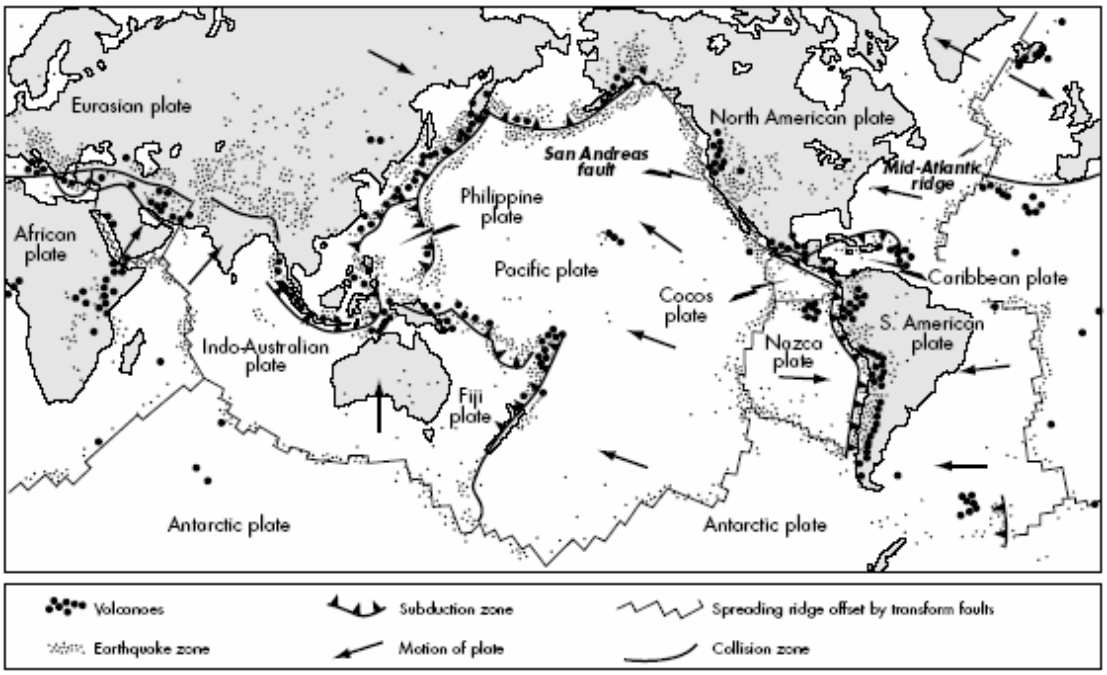
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι



Σχήμα Α: Διαφορετικοί τύπων σεισμικών κυμάτων και γένεσή τους
Πηγή: Λέκκας, 2000

ΒΑΘΜΟΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ
I	Δε γίνεται αισθητός, παρά μόνο από πολύ λίγους ανθρώπους και υπό ιδιαίτερες συνθήκες.
II	Γίνεται αισθητός, μόνο από λίγους ανθρώπους που βρίσκονται σε φάση ανάπαυσης, συνήθως στους τελευταίους ορόφους κτιρίων.
III	Αρκετά αισθητός μέσα σε κτίρια, κυρίως στους υψηλότερους ορόφους, αν και πολλοί άνθρωποι δεν τον αναγνωρίζουν σαν σεισμό. Σταθμευμένα οχήματα μπορεί να μετακινηθούν ελαφρά, ενώ η δόνηση προσομοιάζει πολύ με αυτή που προκαλεί ένα διερχόμενο φορτηγό.
IV	Καρά τη διάρκεια της ημέρας είναι αντιληπτός από πολλούς ανθρώπους που βρίσκονται μέσα σε κτίρια, και από πολύ λίγους που βρίσκονται εκτός. Αν συμβεί κατά την διάρκεια της νύχτας, πολλοί άνθρωποι ξυπνούν. Ζημιές παρατηρούνται σε πήλινα είδη, πόρτες και παράθυρα, ενώ οι τοίχοι τρίζουν. Σταθμευμένα οχήματα ενδεχομένως μετακινούνται αρκετά.
V	Αισθητός σχεδόν από όλους, ενώ, αν συμβεί κατά τη διάρκεια της νύχτας, πολλοί άνθρωποι ξυπνούν. Πήλινα αντικείμενα, παράθυρα κ.α. σπάζουν, ενώ ασταθή αντικείμενα ανατρέπονται. Επιπλέον, παρατηρούνται πτώσεις πασσάλων και δέντρων. Εκκρεμή ρολόγια μπορεί να σταματήσουν.
VI	Αισθητός από όλους τους ανθρώπους. Πολλοί τρομοκρατούνται και σπεύδουν να εξέλθουν από τα κτίρια. Βαριά έπιπλα μετακινούνται, ενώ καμινάδες και γύψινα κατακρημνίζονται. Ελαφρές καταστροφές.
VII	Αισθητός ακόμη και από τους ανθρώπους που οδηγούν οχήματα. Ο κόσμος εξέρχεται ταχέως από τα κτίρια. Ασήμαντες οι φθορές σε κτίρια με ιδιαίτερα καλό σχεδιασμό· ελαφρές οι ζημιές σε καλά κατασκευασμένα κοινά κτίρια, ενώ σημαντικές σε κακές κατασκευές. Κατακρημνίζονται καμινάδες.
VIII	Ελαφρές ζημιές σε ειδικά κατασκευασμένα κτίρια· σημαντικές στα κοινά κτίρια – μερική συντριβή –, μεγάλες σε κακές κατασκευές. Βαριά έπιπλα αναποδογυρίζουν. Μικρές ποσότητες άμμου και λάσπης εκτοξεύονται από το έδαφος. Αλλαγή της στάθμης των υδάτων στα πηγάδια. Ο σεισμός επηρεάζει άμεσα όσους οδηγούν οχήματα.
IX	Σημαντικές ζημιές σε ειδικά κατασκευασμένα κτίρια, πολλές καλοσχεδιασμένες κατασκευές αποκολλώνται από το δομικό σκελετό τους. Πολύ μεγάλες καταστροφές που συνοδεύονται από μερική κατάρρευση στα κοινά κτίρια. Οι κατασκευές «αποσυνδέονται» από τα θεμέλιά τους. Δημιουργούνται εδαφικές ρωγμές και καταστρέφονται υπόγειοι αγωγοί.
X	Καταστροφές σε ορισμένα καλά κατασκευασμένα ξύλινα κτίρια και συθέμελη «εκρίζωση» πολλών λίθινων κατασκευών. Μεγάλες εδαφικές ρωγμές. Οι σιδηροδρομικές γραμμές κάμπτονται και σημαντικές κατολισθήσεις κάνουν την εμφάνισή τους. Αποθέσεις άμμου και ιλύος μετακινούνται και το νερό στις κοίτες των ποταμών υπερχειλίζει.
XI	Σχεδόν καμία λίθινη κατασκευή δεν απομένει «όρθια». Γέφυρες καταστρέφονται. Τεράστιες εδαφικές ρωγμές. Ολοσχερής καταστροφή όλων των υπογείων αγωγών.
XII	Ολοκληρωτική καταστροφή. Η εδαφική επιφάνεια σχηματίζει κύματα. Διάφορα αντικείμενα εκτοξεύονται στον αέρα.

Σχήμα Β: Τροποποιημένη Κλίμακα (σεισμικών εντάσεων) Μερκάλι (Modified Mercalli Scale)



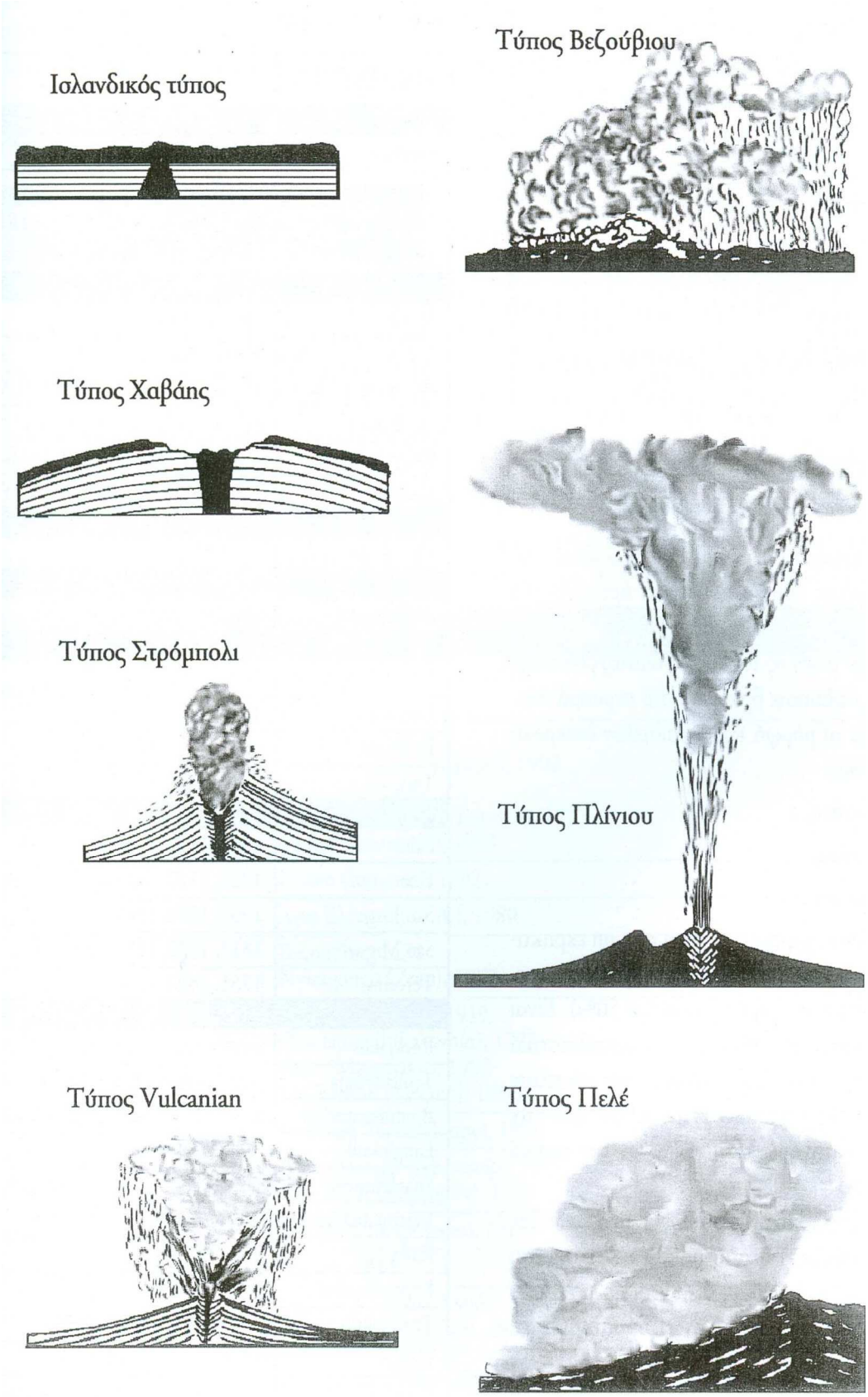
Σχήμα Γ: Η παγκόσμια κατανομή της τεκτονικής και ηφαιστειακής δραστηριότητας

Πηγή: Smith, 2004

Δείκτης Ηφαιστ. Δράσης	Ηφαιστ. Ένταση	Κλίμακα Tsuya	Σφοδρότητα Έκρηξης (Kg/ sec)	Όγκος Εκτοξευομ. Υλικών (m^3)	Ύψος Εκρηκτικ. Στήλης (km)	Θερμική Ενέργεια (log. kW)	Διάρκεια (ώρες συνεχούς έκρηξης)
0	V	I	10^2-10^3	< 10^4	0,8-1,5	5-6	<1
1	VI	II-III	10^3-10^4	10^4-10^6	1,5-2,8	6-7	<1
2	VII	IV	10^4-10^5	10^6-10^7	2,8-5,5	7-8	1-6
3	VIII	V	10^{25}-10^6	10^7-10^8	5,5-10,5	8-9	1-12
4	IX	VI	10^6-10^7	10^8-10^9	10,5-17,0	9-10	1->12
5	X	VII	10^7-10^8	10^9-10^{10}	17,0-28,0	10-11	6->12
6	XI	VIII	10^8-10^9	10^{10}-10^{11}	28,0-47,0	11-12	>12
7	XII	IX	> 10^9	10^{11}-10^{12}	> 47,0	>12	>12
8	–	–	–	>10^{12}	–	–	>12

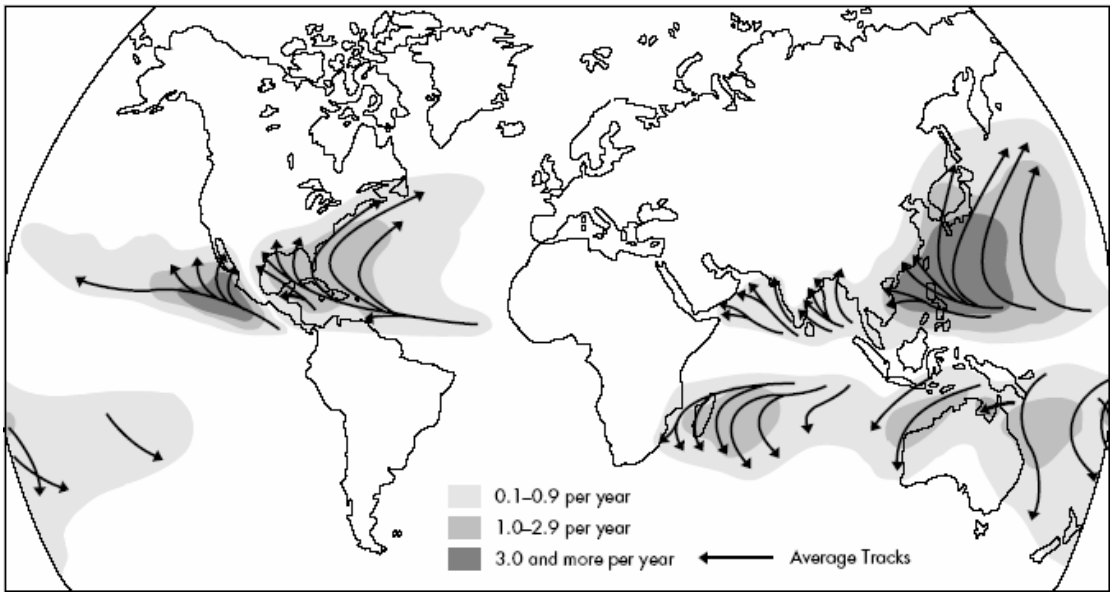
Σχήμα Δ: Δείκτης Ηφαιστειακής Εκρηκτικότητας/ Δράσης (Volcanic Eruptivity Index – VEI)

Πηγή: Newhall and Self, 1982. Τροποποίηση



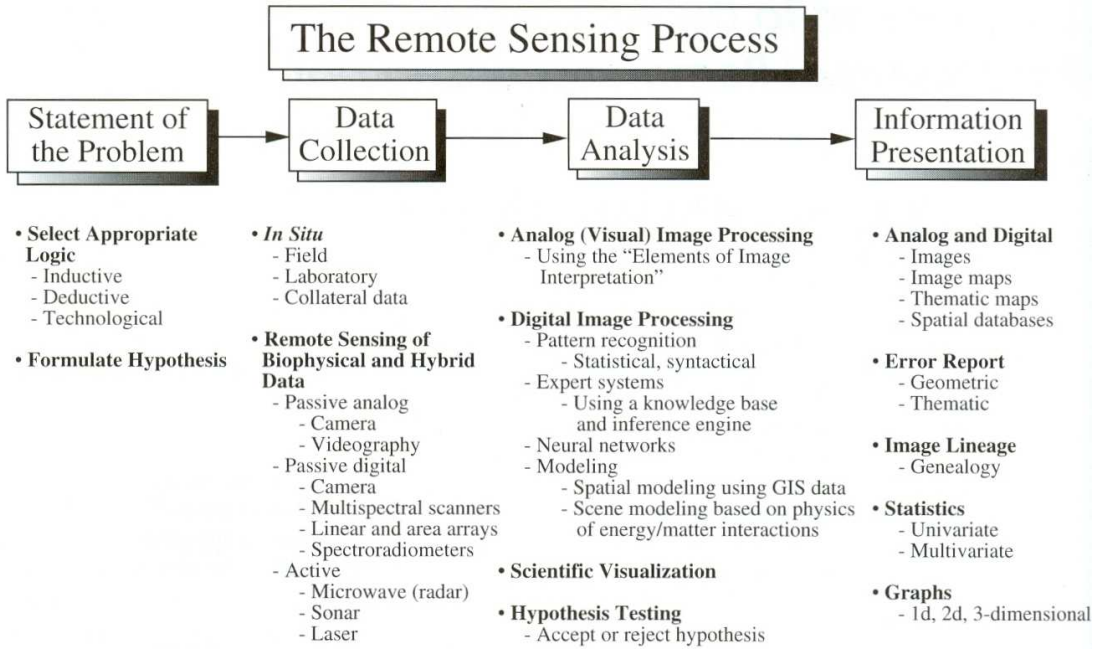
Σχήμα Ε: Οι κυριότεροι τύποι ηφαιστειακών εκρήξεων, κατανεμημένοι σε σειρά

αυξανόμενου κινδύνου και καταστροφής (Ισλανδικού τύπου ηπιότερες, τύπου Πελέ σφοδρότερες)



Σχήμα ΣΤ: Χαρτογραφική αναπαράσταση της γεωγραφικής κατανομής των τροπικών κυκλώνων και της μέσης ετήσιας συχνότητάς τους.

Πηγή: Berz, 1990 (Τροποποίηση)

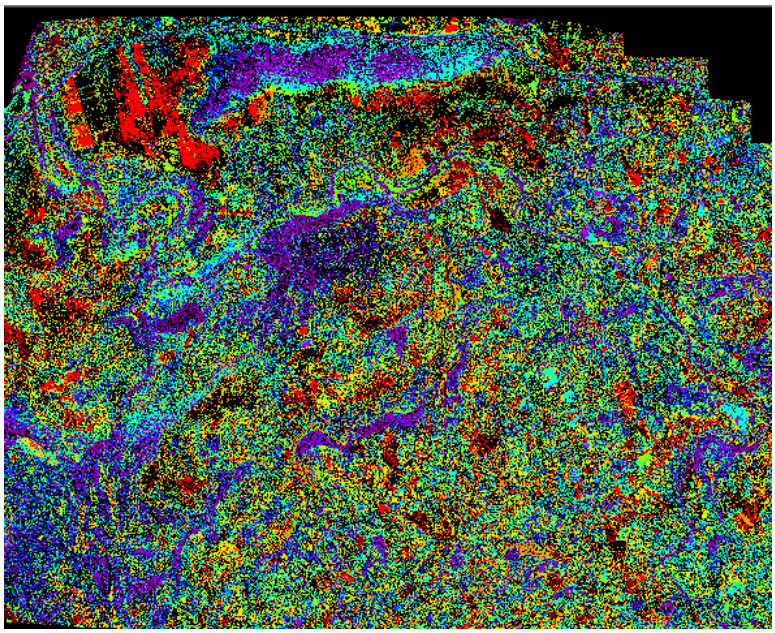


Σχήμα Ζ: Η πορεία της Τηλεπισκοπικής Διαδικασίας (Remote Sensing Process), κατά το πόνημα της εξαγωγής χρήσιμης πληροφορίας, μέσα από την επεξεργασία από αρχικά δεδομένα που έχουν αποκτηθεί από απόσταση (απεικονίσεις)

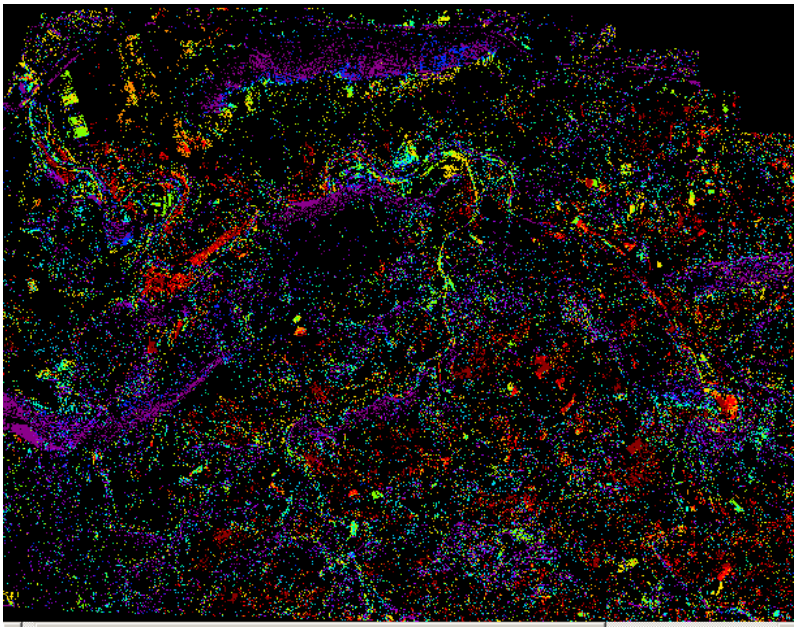
Πηγή: Jensen, 2000

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

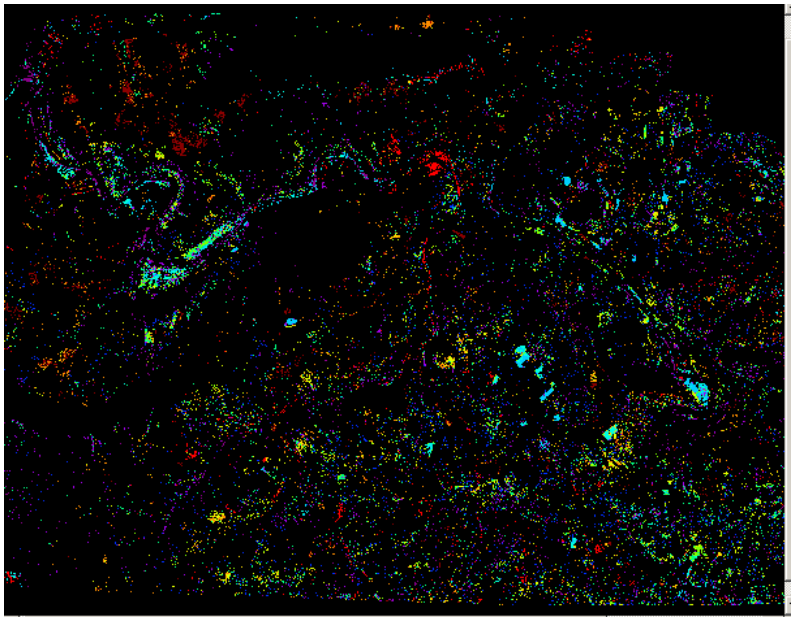
1. Overall Magnitude Difference



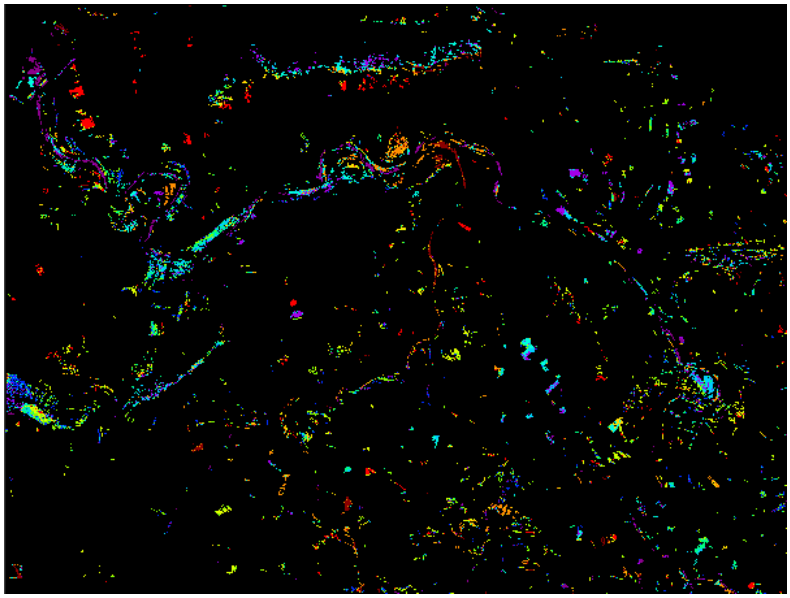
1 (i)



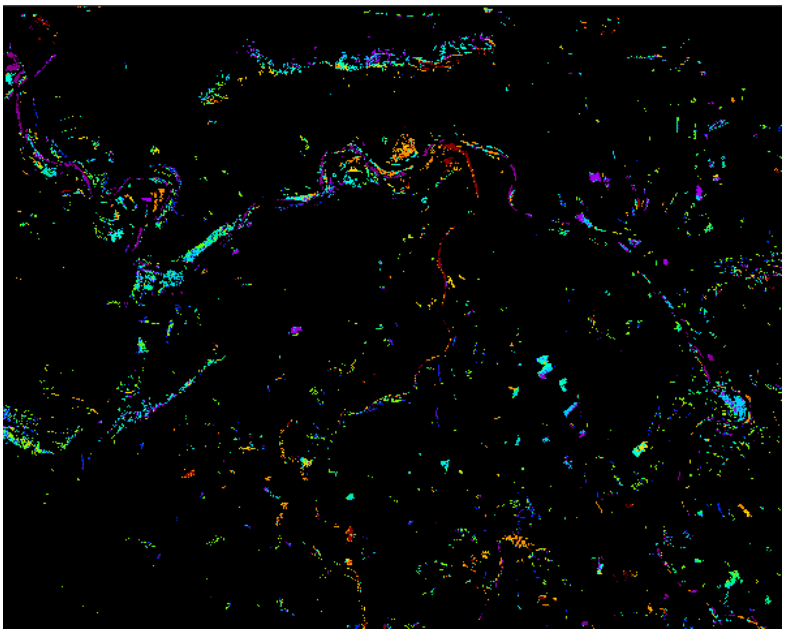
1 (ii)



1 (iii)

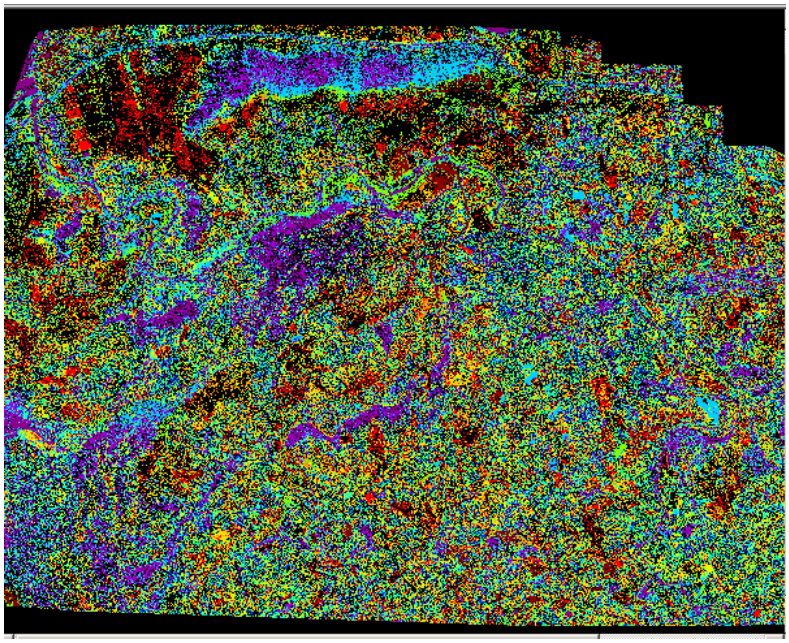


1 (iv)

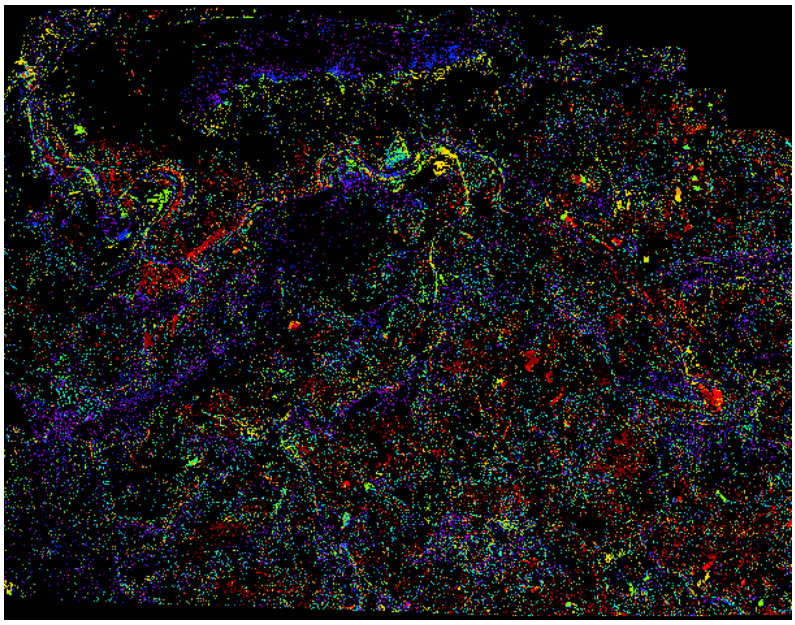


1 (v)

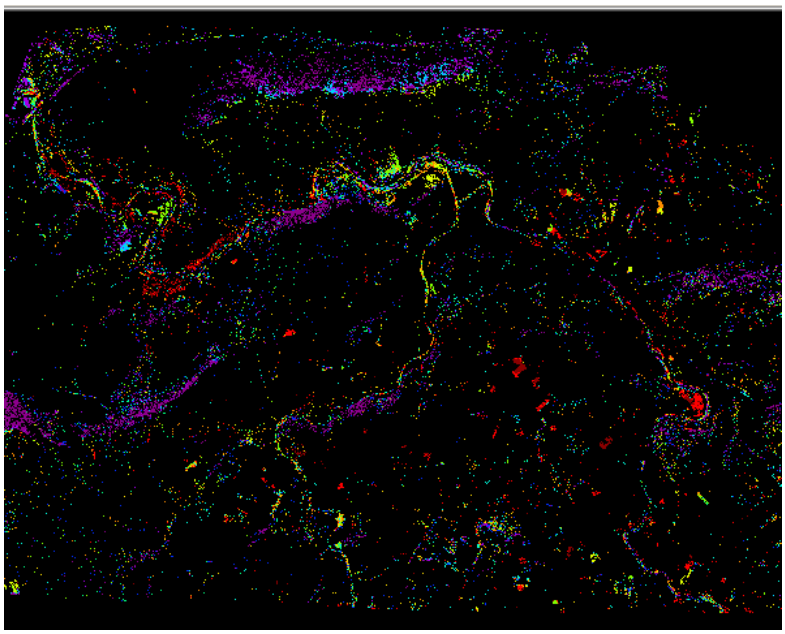
2. Tasseled Cap Soil Difference



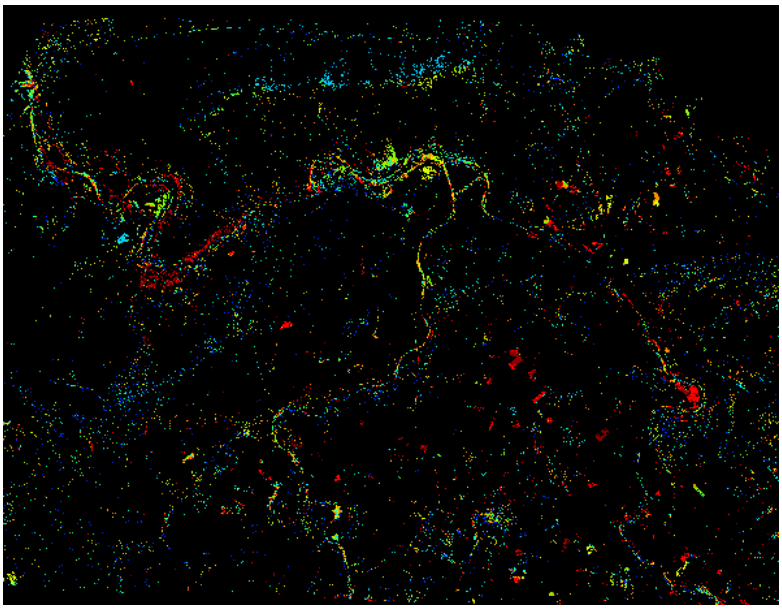
2 (i)



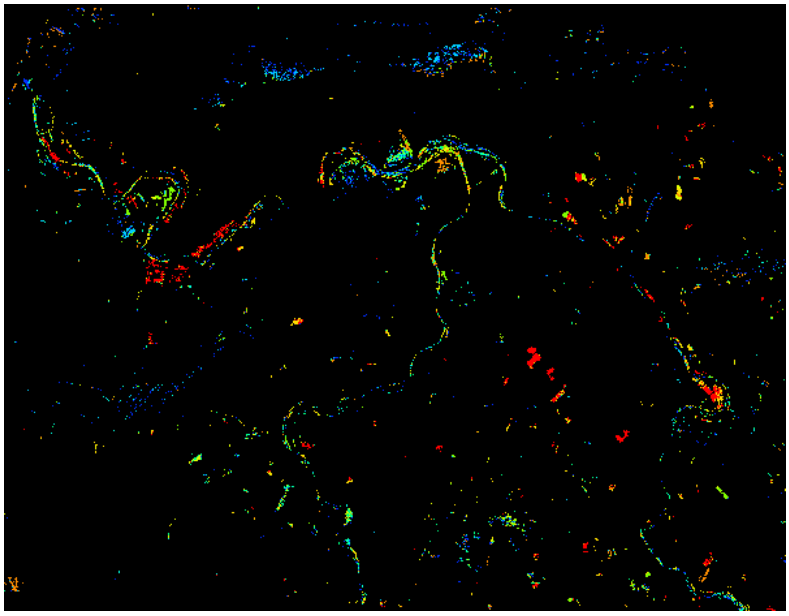
2 (ii)



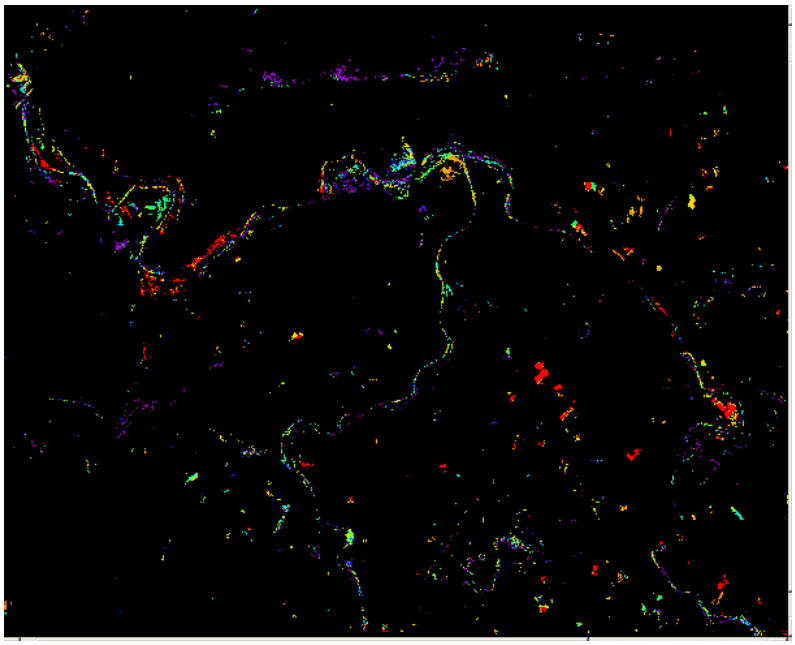
2 (iii)



2 (iv)

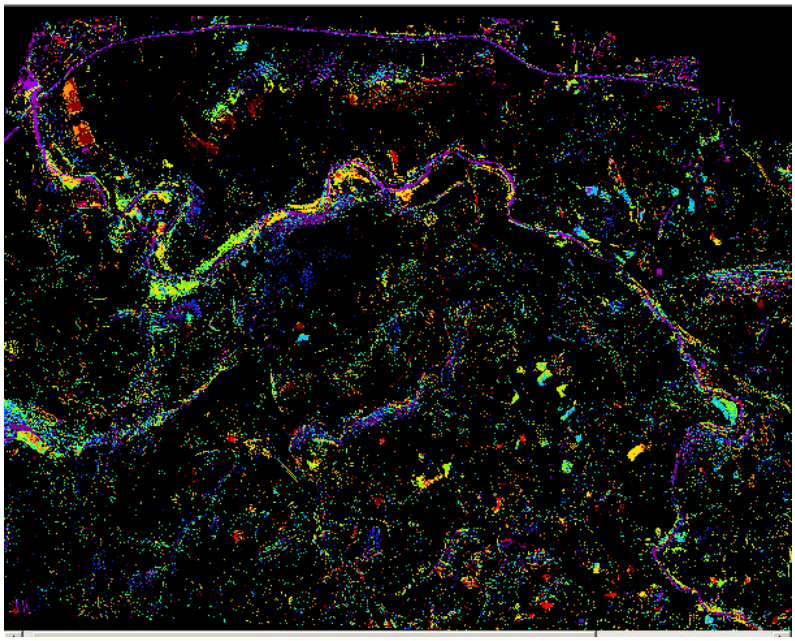


2 (v)

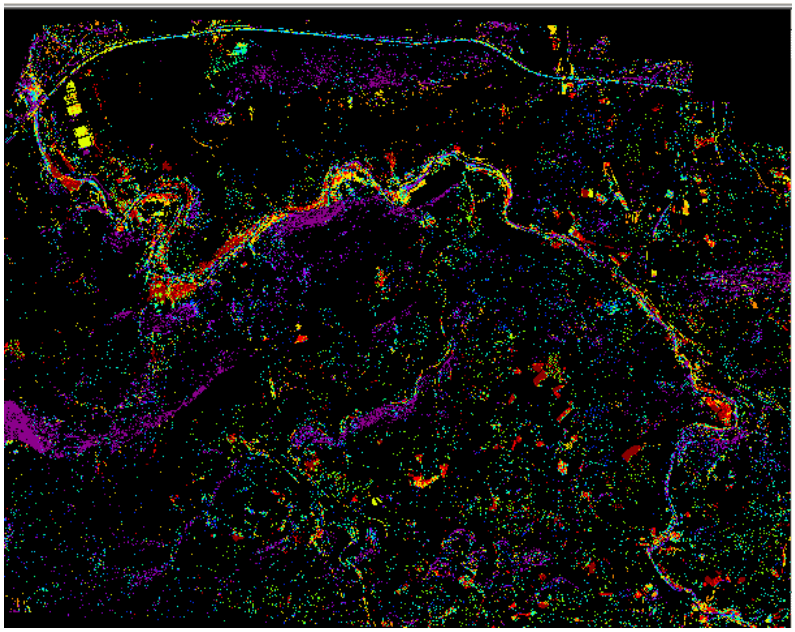


2 (vi)

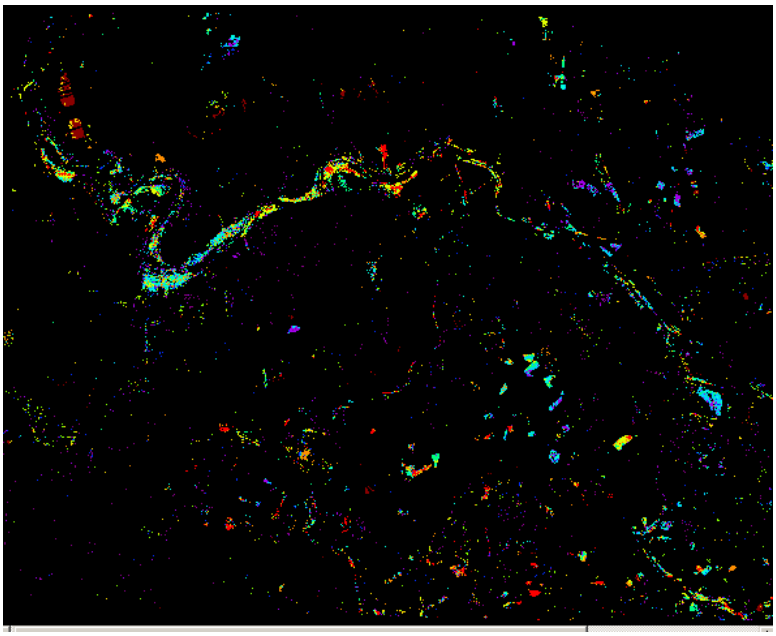
3. Tasseled Cap Greenness Difference



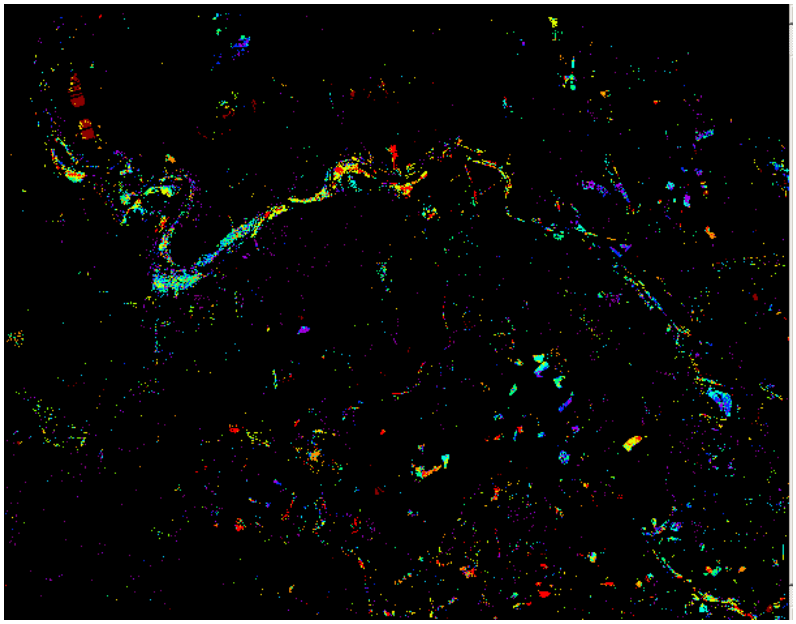
3 (i)



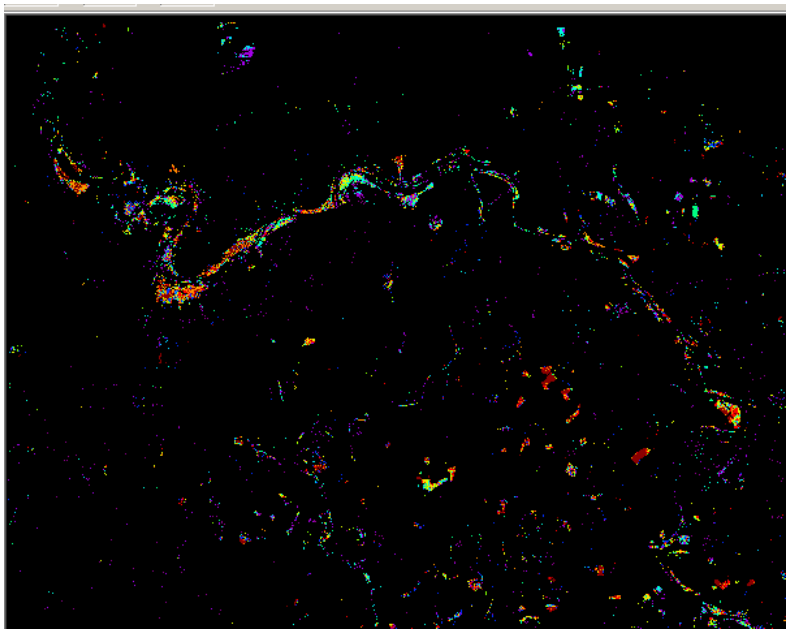
3 (ii)



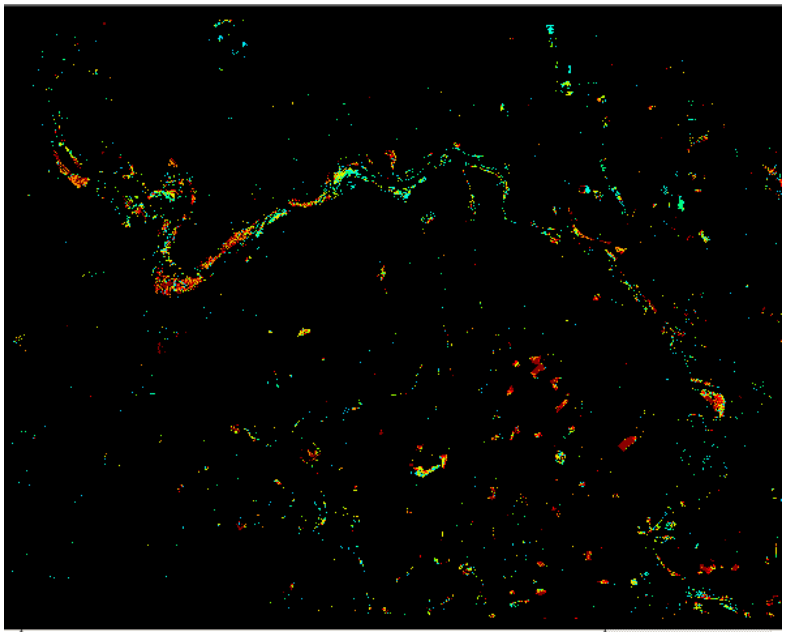
3 (iii)



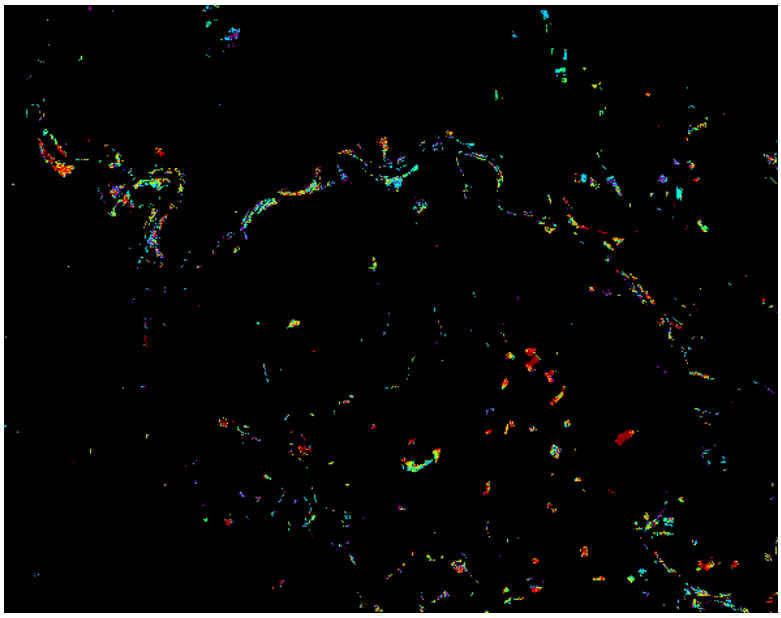
3 (iv)



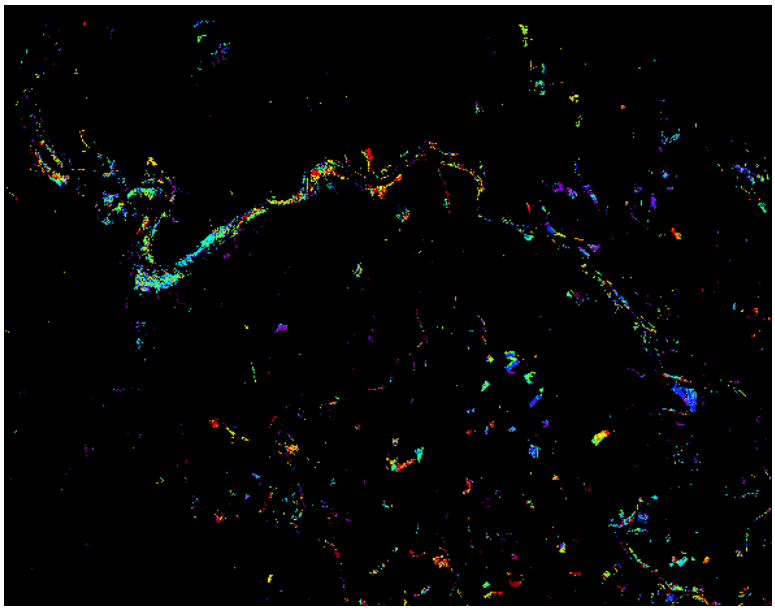
3 (v)



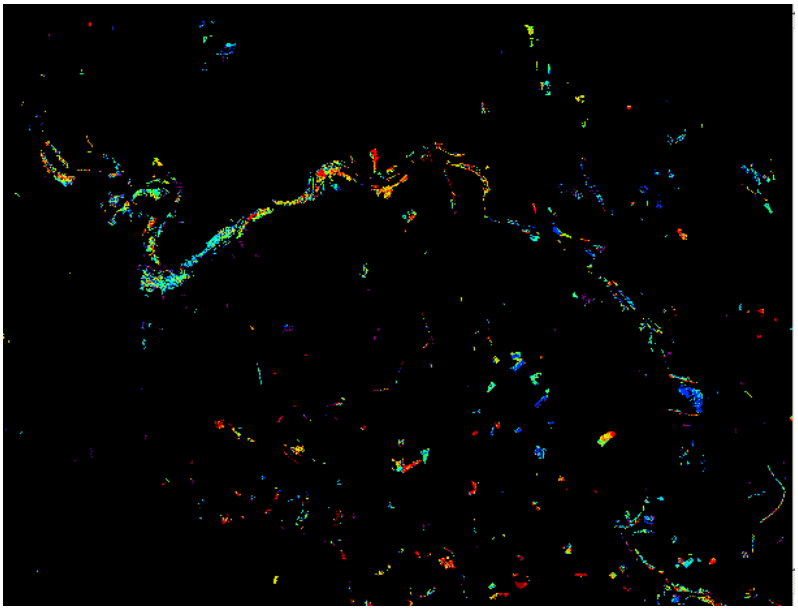
3 (vi)



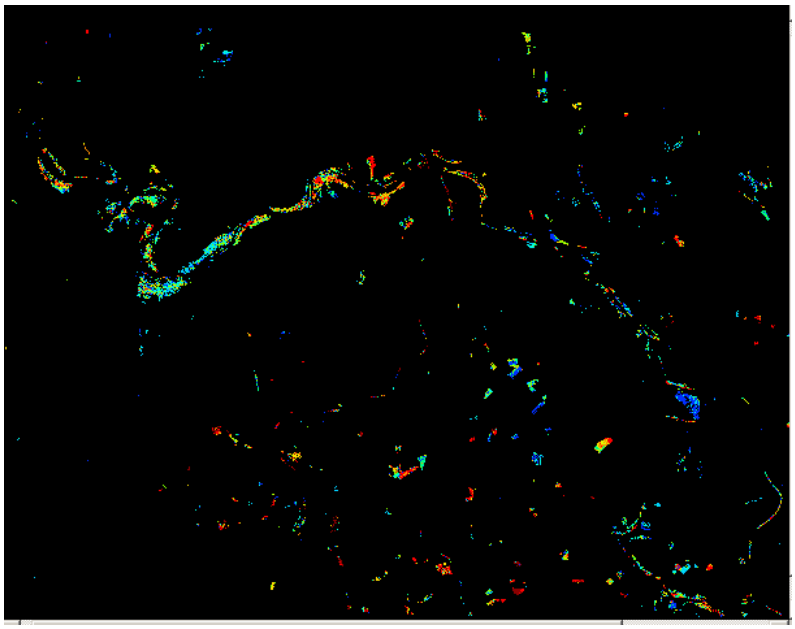
3 (vii)



3 (viii)



3 (ix)



3 (x)