



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

**Π.Μ.Σ. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ
ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ**

***ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ - ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ
ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ***

**ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΤΗΤΑ – ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ – ΑΝΟΛΟΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ
ΣΤΑΘΜΗΣ – ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΕΞΩΓΗΪΝΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ**

Σημειώσεις από τις διαλέξεις του Ε. Καρύμπαλη Επίκ. Καθηγητή

ΑΘΗΝΑ 2008

ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΤΗΤΑ

Με τον όρο ηφαιστειότητα εννοούμε τη δραστηριότητα και όλα τα φαινόμενα που συνδέονται με την άνοδο και έξοδο εκρηξιγενούς (τηγμένου) υλικού από το εσωτερικό της γης στην επιφάνεια. Ως ηφαίστειο μπορούμε να ορίσουμε το σημείο εκείνο (τη γεωμορφή εκείνη) της επιφάνειας της γης στο οποίο εκχύνεται το μάγμα (διάπυρο τηγμένο υλικό) με έκρηξη.

Οι μορφές της ηφαιστειακής δραστηριότητας εξαρτώνται από τον τρόπο που έρχεται το μάγμα στην επιφάνεια και από τη σύστασή του. Η βιαιότητα των εκρήξεων είναι αποτέλεσμα της χημικής σύστασης του μάγματος. Τα μάγματα που περιέχουν μεγάλο ποσοστό πυριτίου ($\text{SiO}_2 > 65\%$) ονομάζονται όξινα και έχουν μεγάλα ποσοστά αερίων και μικρή πυκνότητα. Όταν αυτά φθάνουν στην επιφάνεια έχουν θερμοκρασία που ανέρχεται στους 900°C περίπου. Τέτοια μάγματα εκρήγνυνται όταν η πίεσή τους υπερβεί το βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων.

Αντίθετα, όταν το ποσοστό του πυριτίου είναι σχετικά μικρό ($\text{SiO}_2 < 50\%$) το μάγμα λέγεται βασαλτικό, είναι λιγότερο βίαιο σε εκρήξεις από το πυριτικό και φθάνοντας στην επιφάνεια έχει θερμοκρασία γύρω στους 1200°C .

Γνωρίσματα ενός ηφαιστείου

Τα γενικά γνωρίσματα ενός ηφαιστείου είναι:

- Ο πόρος, ο αγωγός που φέρνει το μάγμα από το εσωτερικό της γης προς την επιφάνεια και συνήθως είναι σε μεγάλα ρήγματα.
- Ο κρατήρας, που αντιστοιχεί στο επιφανειακό άνοιγμα του πόρου.
- Ο ηφαιστειακός κώνος, που σχηματίζεται από την έκρηξη ή έκχυση του ηφαιστειακού υλικού.
- Η καλδέρα, που προκύπτει λόγω έκρηξης από κατάπτωση του κρατήρα και έχει συνήθως ελλειπτική μορφή.

Γεωγραφική κατανομή των ηφαιστείων

Η ηφαιστειότητα είναι παγκόσμιο φαινόμενο ωστόσο τα ηφαίστεια φαίνεται ότι συγκεντρώνονται σε ορισμένες γεωγραφικές ζώνες. Πρόκειται για περιοχές που αποτελούν όρια μεγάλων λιθοσφαιρικών πλακών. Όταν δύο πλάκες απομακρύνονται, τότε μάγμα βασικής σύστασης (με περιεκτικότητα σε Si από 46% έως 53%) ανεβαίνει από την περιοχή του μανδύα και ψύχεται στον ωκεάνιο πυθμένα. Ηφαίστεια εμφανίζονται επίσης εκεί που έχουμε σύγκλιση λιθοσφαιρικών πλακών ή σε περιοχές που οι πλάκες κινούνται παράλληλα μεταξύ τους. Τα πετρώματα του στερεού φλοιού της γης βυθίζονται σε μεγάλο βάθος, λιώνουν και μετατρέπονται σε μάγμα το οποίο στη συνέχεια ανέρχεται στην επιφάνεια της γης. Η λάβα αυτών των ηφαιστείων έχει περισσότερο πυριτική σύσταση από το μάγμα που προέρχεται κατευθείαν από τον μανδύα. Υπάρχουν και μερικά ηφαίστεια που βρίσκονται στο μέσο μιας πλάκας και ονομάζονται “hot spots”. Σε αυτά υπάρχει ένα σταθερό κέντρο προσφοράς μάγματος από το μανδύα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα ηφαίστεια της Χαβάης.

Τύποι Ηφαιστειακών Εκρήξεων

Τα ηφαίστεια δεν παρουσιάζουν όλα τον ίδιο τρόπο δράσης. Όταν για παράδειγμα η λάβα είναι βασικής σύστασης είναι ρευστή και η δραστηριότητα του ηφαιστείου είναι

συχνά ήρεμη. Τα αέρια απελευθερώνονται εύκολα από τη λάβα, η οποία γεμίζει τον κρατήρα του ηφαιστείου και υπερχειλίζοντας από αυτόν, μπορεί ρέοντας να φθάσει σε σημαντική απόσταση από τον κρατήρα.

Η λάβα είναι πιθανό να στερεοποιηθεί σχηματίζοντας ένα είδος πώματος του κρατήρα και συνεπώς να διακοπεί για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα η εξωτερική δραστηριότητα του ηφαιστείου. Κατά το χρονικό αυτό διάστημα τα αέρια που συσσωρεύονται κάτω από τον κρατήρα αποκτούν μεγάλες πιέσεις μέχρις ότου το “πώμα” του πόρου και του κρατήρα ανατιναχθεί με έκρηξη ή με μια σειρά εκρήξεων. Τα αέρια που απελευθερώνονται από την έκρηξη συμπαρασύρουν υγρά και στερεά υλικά τα οποία εκσφενδονίζονται σε μεγάλα ύψη. Όλα αυτά τα προϊόντα της εκρηκτικής δραστηριότητας του ηφαιστείου ονομάζονται πυροκλαστικά υλικά και αποτίθενται σε αλληπάλληλα στρώματα γύρω ή και μακριά από το ηφαίστειο.

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των εκρήξεων, το είδος των προϊόντων της έκρηξης και την πίεση των αερίων διακρίνονται οι παρακάτω τέσσερις τύποι ηφαιστειών:

Ασπιδωτά ηφαίστεια ή ηφαίστεια Χαβάϊου τύπου: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα ηφαίστεια που για μεγάλο χρονικό διάστημα βγάζουν ευκίνητες λάβες βασαλτικής σύστασης. Παρουσιάζουν σχήμα πεπλατυσμένου κώνου με πολύ μεγάλη βάση. Μέσα στον κρατήρα υπάρχει λίμνη λάβας που κοχλάζει. Συνήθως τα αέρια του μάγματος ελευθερώνονται εύκολα όταν αυτό φθάνει στην επιφάνεια, γι αυτό και οι εκχύσεις λάβας είναι ήρεμες. Η πιο χαρακτηριστική περιοχή εμφάνισης αυτού του τύπου ηφαιστειών είναι η Χαβάη. Το ηφαίστειο Mauna Kea θεωρείται μη ενεργό (η τελευταία του έκρηξη χρονολογείται περίπου 2000 χρόνια πριν από σήμερα) σε αντίθεση με τα Mauna Loa και Kilanea. Ο κρατήρας του Mauna Loa έχει διάμετρο περίπου 5 χιλιόμετρα, η κλίση των κλιτύων του είναι $4^{\circ} - 5^{\circ}$ και το ύψος του ηφαιστείου φθάνει τα 4194 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας (ή 9000 μέτρα πάνω από τον πυθμένα του ωκεανού). Το κωνικό ανάγλυφο συνεχίζει και κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας καταλήγοντας σε μια βάση με διάμετρο 400 χιλιομέτρων. Άλλες περιοχές της γης που φιλοξενούν μεγάλες εξαπλώσεις βασαλτικών ηφαιστειών είναι η Ινδία, η Βραζιλία, η Ν. Αφρική και η Ανταρκτική.

Στρομπόλιος τύπος. Είναι περισσότερο εκρηκτικός τύπος από τον προηγούμενο. Η λάβα είναι βασαλτική και σπάνια υπερχειλίζει του κρατήρα και δεν ρέει τόσο εύκολα όσο στον Χαβάιο τύπο. Η απότομη απελευθέρωση των αερίων δημιουργεί περιοδικές ή ακανόνιστες εκρήξεις που συχνά είναι βίαιες αλλά ανεπαρκείς να καταστρέψουν το ηφαιστειακό οικοδόμημα. Κύριο χαρακτηριστικό είναι οι ενδιαστρώσεις λάβας και πυροκλαστικών υλικών στο χώρο γύρω από τον κρατήρα. Η κλίση των πρανών του ηφαιστειακού κώνου είναι μεγαλύτερη σ αυτόν τον τύπο ηφαιστειών σε σχέση με τον προηγούμενο και συνήθως φθάνει τις $30^{\circ} - 45^{\circ}$. Περιοχές εμφάνισης αυτού του τύπου των ηφαιστειών είναι το νησί Στρόμπολι, βόρεια της Σικελίας, στην Ιταλία απ’ όπου πήρε και την ονομασία του, η Αίτνα (Ιταλία), το Erebus στην Ανταρκτική, το Fujiyama στην Ιαπωνία.

Βουλκάνιος τύπος. Η λάβα είναι περισσότερο ιξώδης από τον Στρομπόλιο τύπο. Η εκρηκτική δραστηριότητα είναι πολύ βίαιη και συχνά καταστρέφει μέρος της ηφαιστειακής κατασκευής. Στο τέλος κάθε δραστηριότητας ο κρατήρας φράσσεται

λόγω στερεοποίησης του μάγματος. Σε περιόδους βίαιων εκρήξεων ανατινάσσεται όλος ο παλαιότερος κρατήρας και στη θέση του δημιουργείται τοπογραφική ταπεινώση που ονομάζεται κρατήρας έκρηξης. Μετά από κάθε εκρηκτική δραστηριότητα παρατηρούνται μεγάλα νέφη από αέρια και σκόνη που φθάνουν σε μεγάλο ύψος. Ο κώνος των ηφαιστείων του Βουλκάνιου τύπου αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από πυροκλαστικά υλικά. Ηφαίστεια αυτού του τύπου βρίσκονται στην Ιταλία (νησί Vulkano βόρεια της Σικελίας, Βεζούβιος), Krakatau και Bezymianny στην Καμτσάτκα.

Τύπος Πελέ. Ο τύπος αυτός έκρηξης παρατηρήθηκε κατά τη δραστηριότητα του ηφαιστείου του όρους Πελέ στη Μαρτινίκα στις 8 Μαΐου του 1902. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτού του τύπου είναι η “φλεγόμενη νεφέλη” θερμοκρασίας 800 °C που εξήλθε πλευρικά του ηφαιστείου και ο σχηματισμός πώματος μορφής οβελίσκου από ιξώδη λάβα στη θέση του παλαιού κρατήρα. Το ύψος του οβελίσκου στην περίπτωση του ηφαιστείου του όρους Πελέ έφθανε τα 400 μέτρα και με την πάροδο των ωρών σταδιακά κατέρρευσε. Ο σχηματισμός του οβελίσκου συνοδεύτηκε από ασυνεχή εκρηκτική δραστηριότητα και απελευθέρωση τέφρας που κατέκλυσε την πόλη του Αγίου Πέτρου. Η ύπαρξη του φλεγόμενου νέφους δεν συνοδεύεται πάντα από το σχηματισμό του οβελίσκου όπως για παράδειγμα η περίπτωση του ηφαιστείου St. Vincent 144 χιλιόμετρα νότια της Μαρτινίκα, όπου έλαβε χώρα ακτινωτή έξοδος των υπέρθερμων αερίων. Εκρήξεις αυτού του τύπου παρατηρήθηκαν σε αρκετά ηφαίστεια των Φιλιππίνων.

Διάκριση ηφαιστείων ανάλογα με τη χρονική περίοδο δράσης τους

Όπως αναφέρθηκε η παραπάνω διάκριση αφορά τον τύπο των ηφαιστειακών εκρήξεων. Τα ηφαίστεια είναι δυνατό να διακριθούν και στις τρεις παρακάτω κατηγορίες ανάλογα με τη χρονική περίοδο που έδρασαν:

- Σβησμένα ηφαίστεια. Είναι αυτά που δεν έχουν εκραγεί κατά τη διάρκεια των ιστορικών χρόνων.
- Ανενεργά ηφαίστεια. Που κατά τη σύγχρονη περίοδο δεν έχουν δώσει εκρήξεις, έχουν όμως παρουσιάσει δραστηριότητα κατά τους ιστορικούς χρόνους και
- Ενεργά ηφαίστεια. Είναι εκείνα που συνεχίζουν και σήμερα τη δραστηριότητά τους.

Καταστροφές που προκαλούνται από την ηφαιστειακή δραστηριότητα

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα προκαλεί μια σειρά από άμεσες και έμμεσες γεωλογικές και υδρολογικές καταστροφές. Μεγάλης έντασης ηφαιστειακές εκρήξεις μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές και περιουσίες σε απόσταση εκατοντάδων χιλιομέτρων μακριά από τη γεωγραφική θέση του ηφαιστείου. Επιπλέον σε εξαιρετικές περιπτώσεις οι ηφαιστειακές εκρήξεις μπορούν να επηρεάσουν ακόμη και τις παγκόσμιες κλιματικές συνθήκες.

Ηφαιστειακές στήλες και ηφαιστειακά νέφη

Ένα από τα προϊόντα της ηφαιστειακής δράσης είναι οι στήλες και τα ηφαιστειακά νέφη έκρηξης. Η βίαιες ηφαιστειακές εκρήξεις εκσφενδονίζουν με μεγάλη δύναμη

θραύσματα στερεών πετρωμάτων, τηγμένα σταγονίδια και ηφαιστειακά αέρια. Τα μεγαλύτερα από τα στερεά πετρώδη τεμάχια ονομάζονται βόμβες και συνήθως πέφτουν στο έδαφος εντός σχετικά μικρής απόστασης (μέχρι περίπου 3 km) από τον κρατήρα. Μικρότερων διαστάσεων στερεά θραύσματα (με διάμετρο μικρότερη από 1 ίντσα) ηφαιστειακής υέλου, ορυκτών και πετρωμάτων είναι δυνατό να ανυψωθεί μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα φθάνοντας σε μεγάλο ύψος σχηματίζοντας μια κυματοειδή στήλη που ονομάζεται ηφαιστειακή στήλη. Η στήλη αυτή μπορεί να αναπτυχθεί ταχύτατα φθάνοντας σε ύψος 12 μιλίων πάνω από το ηφαίστειο που την προκάλεσε μέσα σε χρονικό διάστημα μικρότερο των 30 λεπτών σχηματίζοντας ένα ηφαιστειακό νέφος το οποίο παρασύρεται από τους επικρατούντες ανέμους σε αρκετά μεγάλη απόσταση από το ηφαίστειο. Η ηφαιστειακή στάχτη των νεφών μπορεί να προκαλέσει σημαντικές καταστροφές στην αεροπλοΐα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι κατά την διάρκεια των τελευταίων 15 ετών περίπου 80 εμπορικά αεροσκάφη καταστράφηκαν διότι έτυχε να πετούν μέσα σε νέφη ηφαιστειακών υλικών και αρκετά από αυτά έπεσαν λόγω μηχανικών προβλημάτων που προκλήθηκαν από την ηφαιστειακή στάχτη. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα ηφαιστειακά νέφη μπορούν να εκτείνονται εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από το ηφαίστειο που τα δημιουργήσε προκαλώντας βροχή από ηφαιστειακή στάχτη. Η στάχτη από την έκρηξη της 18^{ης} Μαΐου του 1980 του ηφαιστείου της Αγίας Ελένης στην Washington παρασύρθηκε από τον άνεμο και έπεσε σε απόσταση 22000 τετραγ. μιλίων στις δυτικές ΗΠΑ. Η βροχή της ηφαιστειακής στάχτης μπορεί να προκαλέσει την κατάρρευση κτιρίων καθώς και την καταστροφή καλλιεργειών.

Ηφαιστειακά αέρια

Τα ηφαίστεια κατά τη διάρκεια των εκρήξεων εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες αερίων. Ακόμη όμως και όταν ένα ηφαίστειο δεν βρίσκεται σε κατάσταση παροξυσμού ηφαιστειακά αέρια φθάνουν στην επιφάνεια μέσω υπεδαφικών ρωγμών και διακλάσεων και εκλύονται μέσω μικρών ανοιγμάτων που ονομάζονται φουμαρόλες. Πάνω από το 90% όλων των αερίων που έχουν εκπεμπθεί από όλα τα ηφαίστεια είναι υδρατμοί. Η μεγαλύτερη ποσότητα αυτών είναι υπόγειο νερό υδροφόρων οριζόντων που εξαιτίας της μαγματικής δραστηριότητας θερμαίνεται και μετατρέπεται σε ατμό. Τα περισσότερα συνήθη ηφαιστειακά αέρια είναι το CO₂ και το SO₂.

Το CO₂ δεδομένου ότι είναι βαρύτερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα μπορεί να παγιδευτεί κοντά στην επιφάνεια της γης σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις που σε αρκετές περιπτώσεις είναι θανατηφόρες για τον άνθρωπο και τα ζώα.

Το SO₂ που εκλύεται από τα ηφαίστεια αντιδρά με το νερό της ατμόσφαιρας προκαλώντας την όξινη βροχή που αφενός προκαλεί την διάβρωση διαφόρων υλικών, αφετέρου καταστρέφει τη βλάστηση και τις καλλιέργειες.

Οι μεγάλες ηφαιστειακές εκρήξεις, όπως αυτή της 15^{ης} Ιουνίου του 1991 στο Pinatubo στις Φιλιππίνες, απελευθερώνουν τεράστια ποσά SO₂ στην στρατόσφαιρα όπου ενώνεται με το νερό σχηματίζοντας ένα αεροζόλ θειικού οξέως. Το αεροζόλ αυτό προκαλεί την ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας πίσω στο διάστημα μειώνοντας αρκετά τη θερμοκρασία του αέρα στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Επιπλέον το αεροζόλ αυτό προκαλεί την καταστροφή της

οζονόσφαιρας, η οποία ως γνωστόν δρα σαν φίλτρο για την βλαβερή ηλιακή ακτινοβολία.

Επιπλέον το φθόριο που σε μεγάλες ποσότητες είναι τοξικό μπορεί να απορροφηθεί από την ηφαιστειακή στάχτη και στην συνέχεια να πέσει μαζί της στο έδαφος δηλητηριάζοντας καλλιέργειες, βοσκοτόπια και επηρεάζοντας το υπόγειο νερό.

Ροές λάβας και δόμοι λάβας

Το τηγμένο πέτρωμα (μάγμα) που περνά και φθάνει στην επιφάνεια της γης δημιουργεί τις ροές λάβας. Αναφέρθηκε ότι όσο περισσότερο πυρίτιο (SiO_2) περιέχει μια λάβα τόσο δυσκολότερα ρέει. Έτσι οι βασαλτικές λάβες που είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε πυρίτιο δημιουργούν ποτάμια λάβας που κινούνται γρήγορα (με ταχύτητα 10 έως 30 μίλια την ώρα) ή διασκορπίζονται κινούμενες σε εκτεταμένα λεπτά στρώματα πλάτους αρκετών χιλιομέτρων.

Στα νησιά της Χαβάης ροές βασαλτικής λάβας από το ηφαίστειο Kilauea έχουν καταστρέψει πάνω από 200 κατοικίες από το 1983.

Αντίθετα οι ροές ανδεσιτικής και δακιτικής λάβας, που είναι υψηλότερης περιεκτικότητας σε πυρίτιο, είναι παχύρευστες και μπορούν να μετακινηθούν μόνο σε μικρή απόσταση από τον κρατήρα. Οι λάβες αυτές συνήθως εκτοξεύονται βίαια από τον κρατήρα και σχηματίζουν ανώμαλες μάζες που ονομάζονται δόμοι λάβας. Μεταξύ των ετών 1980 και 1986 ένας δόμος λάβας στο βουνό της Αγίας Ελένης έφθασε σε ύψος τα 1000 πόδια και σε πλάτος τα 3500 πόδια.

Ροές πυροκλαστικών υλικών

Οι ροές πυροκλαστικών υλικών είναι συγκεντρώσεις στάχτης, στερεών υλικών όπως θραυσμάτων πετρωμάτων και αερίων πολύ υψηλής θερμοκρασίας και μεγάλης ταχύτητας. Τα υλικά αυτά μπορεί να κυλίσουν κατά μήκος των πλαγιών ενός ηφαιστείου κατά τη διάρκεια της έκρηξης ή όταν η απόκρημνη πλαγιά ενός ηφαιστειακού δόμου καταρρεύσει και θραυτεί. Οι ροές αυτές των πυροκλαστικών υλικών μπορούν να αποκτήσουν θερμοκρασίες της τάξης των 1500°F και να αναπτύξουν ταχύτητες 100 – 150 μιλίων την ώρα. Συνήθως ακολουθούν το κοιλαδικό σύστημα της περιοχής γύρω από το ηφαίστειο και μπορούν να καταστρέψουν και να αποτεφρώσουν οτιδήποτε συναντήσουν στην πορεία τους. Οι κινήσεις πυροκλαστικών υλικών μικρότερης πυκνότητας ονομάζονται πυροκλαστικές κατακλύσεις.

Η δραστηριοποίηση του ηφαιστείου της Αγίας Ελένης προκάλεσε μια σειρά από επιμέρους εκρήξεις που προκάλεσαν μια τεράστια κατάκλιση από πυροκλαστικά υλικά καταστρέφοντας μια έκταση 230 τετραγ. μιλίων. Είναι χαρακτηριστικό ότι δένδρα με μεγάλους πάχους κορμούς έπεφταν σαν γρασίδι μέχρι και σε απόσταση 15 μιλίων από το ηφαίστειο.

Ηφαιστειακές κατολισθήσεις

Κατολίσθηση είναι η γρήγορη κίνηση πετρώδους υλικού με ή χωρίς περιεκτικότητα ωερού χιονιού και/ή πάγου κατά μήκος μιας απόκρημνης πλαγιάς. Όταν οι κινήσεις λόγω βαρύτητας αφορούν ηφαιστειακά υλικά ονομάζονται ηφαιστειακές κατολισθήσεις. Οι ηφαιστειακές κατολισθήσεις ποικίλουν σε μέγεθος και έκταση από μικρής κλίμακας κινήσεις χαλαρών ηφαιστειακών κορημάτων κατά μήκος της

επιφάνειας των πλαγιών ενός ηφαιστείου έως μαζικές καταρρεύσεις όλου του ηφαιστειακού οικοδομήματος ή των πλευρών του κώνου. Τα ηφαίστεια των οποίων οι ηφαιστειακοί κώνοι έχουν μεγάλης μορφολογική κλίση είναι περισσότερο επιρρεπή σε κατολισθητικά φαινόμενα. Επιπλέον οι κινήσεις ηφαιστειακών υλικών λόγω βαρύτητας ευνοούνται από το ότι οι ηφαιστειακοί κώνοι συνήθως αποτελούνται από στρώματα θραυσμάτων πετρωμάτων, στάχτης και γενικά χαλαρών ηφαιστειακών υλικών. Άλλος λόγος που ευνοεί τις κατολισθήσεις αυτές είναι η κυκλοφορία θερμών νερών που σε αρκετές περιπτώσεις μετατρέπει αρκετά ηφαιστειακά υλικά σε μαλακά και ολισθηρά αργιλικά ορυκτά.

Οι ηφαιστειακές κατολισθήσεις στις πλαγίες των ηφαιστίων πυροδοτούνται όταν εκρήξεις, έντονη βροχόπτωση ή μεγάλες σεισμικές δονήσεις αποσταθεροποιήσουν τα υλικά των ηφαιστειακών κώνων προκαλώντας την απόσπασή τους και την ολίσθησή τους υπό την επίδραση της βαρύτητας προς τοπογραφικά χαμηλότερες περιοχές.

Έχει διαπιστωθεί ότι κατά μήκος των πλαγιών του βουνού Rainer στην Wasinghton έχουν κυλίσει τουλάχιστον πέντε μεγάλες ηφαιστειακές κατολισθήσεις κατά τα τελευταία 6000 έτη. Η μεγαλύτερη ηφαιστειακή κατολίσθηση των ιστορικών χρόνων συνέβη με την έναρξη της μεγάλης έκρηξης του ηφαιστείου της Αγίας Ελένης το 1980.

Σε αρκετές περιπτώσεις τα υλικά των ηφαιστειακών κατολισθήσεων μαρτυρούν τα φαινόμενα που προκάλεσαν την απόθεσή τους. Για παράδειγμα η πόλη Weed στην California είναι χτισμένη πάνω σε μια τεράστια ροή ηφαιστειακών κορημάτων που κινήθηκε στις πλαγίες του ηφαιστείου Shast περίπου 300000 έτη πριν από σήμερα. Αυτή η παλαιά κατολίσθηση ταξίδεψε σε απόσταση μεγαλύτερη από 30 μίλια από το ηφαίστριο κατακλύζοντας μια έκταση περίπου 260 τετραγ. μιλίων.

Ηφαιστειακές λασποροές (Lahars)

Οι λασποροές (ροές υλικών με μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό) ηφαιστειακών υλικών στις πλαγίες ενός ηφαιστείου ονομάζονται ηφαιστειακές λασποροές (lahars). Αυτές οι ροές μίγματος λάσπης, πετρωμάτων και νερού μπορούν αν κινηθούν μέσω του κοιλαδικού συστήματος και των κοιτών των υδρογραφικών δικτύων της ευρύτερης του ηφαιστείου περιοχής, με ταχύτητες από 20 έως 40 μιλίων την ώρα και να ταξιδέψουν σε απόσταση μεγαλύτερη από 50 μίλια. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι λασποροές αυτές μπορούν να περιέχουν 60-90 % κατά βάρος στερεά τεμάχια – θραύσματα πετρωμάτων και μοιάζουν με ταχύτατα κινούμενα ποτάμια από τσιμέντο. Κοντά στην πηγή τους οι ροές αυτές έχουν μεγάλη ισχύ και μπορούν να ξεριζώσουν και να μεταφέρουν δένδρα, να παρασύρουν σπίτια και να θέσουν σε κίνηση τεράστιους ογκόλιθους. Στις τοπογραφικά χαμηλότερες περιοχές όπου καταλήγουν βυθίζουν ότι βρουν στην πορεία τους στην λάσπη και τα υλικά που έχουν παρασύρει από ψηλότερα.

Ιστορικά οι ηφαιστειακές λασποροές αποτελούν μια από τις περισσότερο θανατηφόρες ηφαιστειακές καταστροφές. Μπορούν να συμβούν τόσο κατά τη διάρκεια της έκρηξης του ηφαιστείου όσο και σε περιόδους που το ηφαίστριο ηρεμεί. Συνήθως στην περίπτωση αυτή προκαλούν τις περισσότερες καταστροφές αφού βρίσκουν απροετοίμαστο τον πληθυσμό περιοχών που βρίσκονται πολύ μακριά από το ηφαίστριο. Το νερό που δημιουργεί τη λασποροή μπορεί να προέρχεται από το λιώσιμο χιονιού ή πάγου που καλύπτει την κορυφή ενός ηφαιστείου, από παγετώνα

που έλιωσε κατά τη διέλευση μιας ροής πυροκλαστικών υλικών, από έντονη βροχόπτωση, ή σπανιότερα από την αποδέσμευση του νερού της λίμνης ενός κρατήρα που απελευθερώθηκε μετά τη διάρρηξη των τοιχωμάτων του. Οι ηφαιστειακές λασποροές αποτελούν ένα φυσικό κίνδυνο για πιθανή καταστροφή αρκετών πόλεων και οικισμών που βρίσκονται στα κατάντη ηφαιστειών που καλύπτονται από παγετώνες.

Πρόγνωση ηφαιστειακών εκρήξεων

Έχει μεγάλη σημασία η πρόβλεψη των ηφαιστειακών εκρήξεων δεδομένου ότι όλο και μεγαλύτερος αριθμός ανθρώπων κατοικεί σε περιοχές μεγάλης τρωτότητας ως προς τις ηφαιστειακές εκρήξεις. Για παράδειγμα η πόλη Porocatepelt που βρίσκεται νότια της πόλης του Mexico ενώ είχε υποστεί κατά το παρελθόν τις αρνητικές επιπτώσεις από την ηφαιστειακή δραστηριότητα επανεγκαταστάθηκε στην ίδια θέση θέτοντας σε κίνδυνο 1000000 ανθρώπους. Ίδιος περίπου αριθμός ανθρώπων κατοικούν στην Νάπολη της Ιταλίας θέτοντας τη ζωή τους σε κίνδυνο από μια ενδεχόμενη έκρηξη του Βεζούβιου. Κρίνεται λοιπόν αναγκαίος τόσο ο προγραμματισμός όσο και η οργάνωση για την αποφυγή των αρνητικών αποτελεσμάτων ενδεχόμενων καταστροφικών ηφαιστειακών εκρήξεων.

Είναι δυνατή η πρόβλεψη των ηφαιστειακών εκρήξεων;

Αναζήτηση της συμπεριφοράς - ιστορικού του ηφαιστείου

Σε αρκετές περιπτώσεις κρίνεται σκόπιμη η αναζήτηση του ιστορικού των εκρήξεων ενός ηφαιστείου. Σε αρκετές περιπτώσεις αυτό γίνεται με την ανεύρεση στοιχείων (ιχνών) των εκρήξεων του παρελθόντος κυρίως με τη μελέτη των αποθέσεων πυροκλαστικών υλικών και λαβών που αφήνουν οι εκάστοτε εκρηκτικές φάσεις του ηφαιστείου. Οι περιοχές που έχουν επηρεαστεί από ροές λάβας, πυροκλαστικών υλικών καθώς και ηφαιστειακές λασποροές μπορούν να αναζητηθούν και χαρτογραφηθούν λεπτομερώς. Η κατανόηση της συμπεριφοράς και του ιστορικού του ηφαιστείου κάνει το σχεδιασμό της αντιμετώπισης μιας ενδεχόμενης ηφαιστειακής καταστροφής αποτελεσματικότερο.

Αναζήτηση σημάτων προειδοποίησης

Κατά την άνοδο του μάγματος προς την επιφάνεια παρατηρούνται ορισμένα φαινόμενα που μπορούν να αποτελέσουν πολύτιμα στοιχεία για την αναζήτηση της πιθανότητας μιας ενδεχόμενης έκρηξης. Πριν την έκρηξη το μάγμα κινείται κάτω από το ηφαίστειο και συγκεντρώνεται σε θαλάμους (δεξαμενές) που ονομάζονται μαγματικοί θάλαμοι. Κατά την ανοδική κίνηση του μάγματος απελευθερώνονται ηφαιστειακά αέρια. Η αύξηση της ποσότητας και του είδους (σύστασης) των αερίων που εκλύονται αποτελούν ένα πρόδρομο της έκρηξης φαινόμενο. Η κίνηση του μάγματος επίσης προκαλεί μικρές σεισμικές δονήσεις ενώ η συγκέντρωση του κάτω από το ηφαίστειο προκαλεί μια ελαφρά εδαφική παραμόρφωση – ανύψωση των πλευρών του ηφαιστείου.

Όργανα για την παρακολούθηση των ηφαιστειών

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται συνήθως για την καταγραφή των προειδοποιητικών σημάτων είναι τα εξής:

- Σεισμογράφοι για την καταγραφή της σεισμικής δραστηριότητας στην ευρύτερη περιοχή του ηφαιστείου,
- Tiltmeters ή geodimeters καθώς και μέθοδοι τηλεπισκόπησης για την μέτρηση των ανεπαίσθητων μεταβολών στο υψόμετρο (εδαφικών παραμορφώσεων) περιμετρικά και στις πλευρές του ηφαιστείου,
- Correlation Spectrometers (COSPECS) για τη μέτρηση των ποσών SO₂ που εκλύεται από το ηφαίστειο.

Πως οι ηφαιστειολόγοι χρησιμοποιούν τα πρόδρομα φαινόμενα για την πρόγνωση των εκρήξεων

Σεισμική δραστηριότητα (μικρής έντασης σεισμοί και ασθενείς δονήσεις).

Αρκετά ηφαίστεια εμφανίζουν μια συνεχή φυσιολογική ασθενή σεισμική δραστηριότητα. Η αύξηση της συχνότητας των δονήσεων μπορεί να αποτελεί μια προειδοποίηση για ενδεχόμενη ηφαιστειακή έκρηξη. Τα είδη των ηφαιστειακών σεισμών που συμβαίνουν καθώς και το πότε χρονικά αρχίζουν και σταματούν είναι επίσης σημαντικές πρόδρομες ενδείξεις. Η ηφαιστειακή σεισμικότητα έχει τρεις κύριες μορφές: σεισμούς μικρής περιόδου, μακράς περιόδου και αρμονικές δονήσεις.

Οι σεισμοί μικρής περιόδου μοιάζουν στα χαρακτηριστικά με τους σεισμούς που οφείλονται στην δραστηριοποίηση των ρηγμάτων. Προκαλούνται από τη θραύση των μικρής αντοχής πετρωμάτων του φλοιού καθώς το μάγμα τα πιέζει στην ανοδική του κίνηση προς την επιφάνεια. Αυτοί οι μικρής περιόδου σεισμοί είναι ενδείξεις της ανάπτυξης ενός μαγματικού σώματος κοντά στην επιφάνεια.

Οι μακράς περιόδου σεισμοί σχετίζονται με τις αυξημένες πιέσεις αερίων στο «σύστημα σωληνώσεων» ενός ηφαιστείου. Οι σεισμοί αυτοί μοιάζουν αρκετά με τους ήχους που ακούγονται στο σύστημα των υδραυλικών σωληνώσεων των σπιτιών.

Οι αρμονικές δονήσεις παρατηρούνται όταν υπάρχει μεγάλη κινητικότητα του μάγματος κάτω από την επιφάνεια.

Στην πραγματικότητα η ηφαιστειακή σεισμικότητα είναι πολύπλοκη και συχνά η ερμηνεία της είναι δύσκολη. Η αυξημένη πάντως δραστηριότητα είναι πολύ ανησυχητική ειδικά όταν μακράς περιόδου σεισμοί κυριαρχούν με την πάροδο του χρόνου και εμφανίζονται επεισόδια αρμονικών δονήσεων.

Εκπομπές ηφαιστειακών αερίων

Καθώς το μάγμα πλησιάζει στην επιφάνεια μειώνεται η πίεσή του και απελευθερώνονται τα αέρια που περιέχει. Η διεργασία αυτή της έκλυσης των ηφαιστειακών αερίων μοιάζει αρκετά με την απελευθέρωση του διοξειδίου του άνθρακα όταν ανοίγει ένα μπουκάλι σόδας ή ανθρακούχου αναψυκτικού. Ένα από τα κυριότερα ηφαιστειακά αέρια είναι το SO₂. Η σταδιακή αύξηση των εκλυόμενων ποσοτήτων του αερίου αυτού συνήθως προμηνύει την άφιξη όλο και περισσότερου μάγματος από το εσωτερικό της γης στην επιφάνεια. Για παράδειγμα στις 13 Μαΐου 1991 από το βουνό Pinatubo στις Φιλιππίνες απελευθερώθηκαν 500 τόνοι SO₂. Στις 28 Μαΐου, μόλις δύο εβδομάδες μετά, οι εκπομπές SO₂ αυξήθηκαν σε 5000 τόνους, δηλαδή δεκαπλασιάστηκαν και στις 12 Ιουνίου του 1991 το Pinatubo εξεράγη. Σε αρκετές περιπτώσεις όπως πριν την έκρηξη του Pinatubo οι εκπομπές SO₂ χαμηλά επίπεδα πριν το συμβάν. Οι περισσότεροι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι αυτή η μείωση των εκλυόμενων ποσοτήτων ηφαιστειακών αερίων προκλήθηκε από το

σφράγισμα των διόδων εξόδου τους από στερεοποιημένο μάγμα. Αυτό προκαλεί την αύξηση της πίεσης κάτω από το ηφαίστειο και αυξάνει τις πιθανότητες η έκρηξη να είναι πολύ ισχυρή και βίαιη.

Εδαφικές παραμορφώσεις

Η παραμόρφωση του εδάφους περιμετρικά του ηφαιστείου αποτελεί ένδειξη ότι το μάγμα έχει συγκεντρωθεί πολύ κοντά στην επιφάνεια. Οι επιστήμονες που παρακολουθούν ένα ενεργό ηφαίστειο συχνά μετρούν την παραμόρφωση των ηφαιστειακών πλαγιών και αναζητούν μεταβολές στους ρυθμούς της παραμόρφωσης. Η συνεχιζόμενη παραμόρφωση (φούσκωμα) ειδικά αν συνοδεύεται από μια αντίστοιχη αύξηση των εκπομπών SO₂ και της συχνότητας των αρμονικών δονήσεων είναι σχεδόν σίγουρη ένδειξη ενός επερχόμενου γεγονότος.

Το πρόβλημα της πρόγνωσης

Οι ηφαιστειολόγοι έχουν καταφέρει να μπορούν να προβλέψουν την πιθανότητα μιας ηφαιστειακής έκρηξης. Υπάρχουν όμως κάποια προβλήματα τα σημαντικότερα από τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- Επιτυχημένη πρόγνωση σημαίνει να προσδιοριστεί με ακρίβεια ο χρόνος και η σχετική σφοδρότητα της έκρηξης. Κάτι τέτοιο είναι ακόμη πολύ δύσκολο να γίνει με μεγάλη ακρίβεια.
- Το μάγμα που ανέρχεται από το εσωτερικό της γης στην επιφάνεια σε αρκετές περιπτώσεις δεν οδηγεί απαραίτητα σε βίαιη έξοδό του. Μπορεί να ψυχθεί στο εσωτερικό της γης κάτω από το ηφαίστειο. Σε μια τέτοια περίπτωση όλα τα πρόδρομα σήματα δείχνουν ότι κάτι πρόκειται να συμβεί, τελικά όμως η έκρηξη δεν γίνεται ποτέ.
- Η παρακολούθηση της ηφαιστειακής δραστηριότητας ενός ηφαιστείου έχει μεγάλο κόστος με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η παρακολούθηση όλων των ηφαιστείων που μπορούν να ενεργοποιηθούν. Εξάλλου αρκετά ηφαίστεια δίνουν καταστροφικές εκρήξεις μια φορά κάθε μερικές χιλιάδες χρόνια. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι είναι αδύνατη η παρακολούθηση κάθε ηφαιστειακής περιοχής και συνεπώς γίνεται επιλογή του ποια ηφαίστεια θα παρακολουθηθούν.

Μετρίαση του κινδύνου

Για την αντιμετώπιση των ηφαιστειακών κινδύνων τέσσερις είναι γενικά προσεγγίσεις:

- Προσπάθεια αποφυγής της καταστροφής. Σχεδόν πάντα κάτι τέτοιο είναι αδύνατο.
- Προσπάθεια αλλαγής της πορείας της καταστροφής και περιορισμού των αρνητικών της επιπτώσεων.
- Ενέργειες που αποσκοπούν στην προστασία από τη μελλοντική εξέλιξη της καταστροφής.
- Προσπάθειες οργάνωσης σχεδίων αντίδρασης στην καταστροφή για την εκάστοτε περιοχή πριν την εκδήλωση της καταστροφής.

Είναι προφανές ότι δεν υπάρχει τρόπος να σταματήσει κανείς μια επερχόμενη ηφαιστειακή έκρηξη. Υπάρχει όμως η δυνατότητα περιορισμού των αρνητικών της

αποτελεσμάτων με διάφορους τρόπους όπως η ενίσχυση των κατασκευών. Οι ενέργειες αυτές περιλαμβάνουν την ενίσχυση των οροφών των κτιρίων ώστε να αντέχουν σε μεγάλο βάρος ηφαιστειακής στάχτης καθώς και την κατασκευή έργων προστασίας όπως τοιχία με σκοπό την αλλαγή της πορείας των ροών λάβας και την απομάκρυνσή της από κατοικημένες περιοχές. Τέτοιες ενέργειες έχουν κατά καιρούς γίνει με επιτυχία αλλά έχουν περιορισμένα αποτελέσματα σε μεγάλης κλίμακας εκρήξεις.

Η προστασία των μελλοντικών πόλεων από τον ηφαιστειακό κίνδυνο είναι περισσότερο εύκολη και αποτελεσματική ενέργεια. Πριν το χτίσιμο μιας πόλης σε οποιαδήποτε ηφαιστειακή περιοχή είναι απαραίτητη η εκτίμηση του κινδύνου ώστε αν κριθεί αναγκαίο να βρεθεί μια πιο ασφαλής τοποθεσία. Αυτός ο τρόπος σχεδιασμού είναι πολύ αποτελεσματικός για την μετρίαση του κινδύνου.

Όταν αναμένεται μια ηφαιστειακή έκρηξη το χρονικό διάστημα μερικών εβδομάδων θεωρείται αρκετός χρόνος για την αποφυγή μιας τραγωδίας. Όπως ήδη αναφέρθηκε ο σχεδιασμός είναι το κλειδί για την αποφυγή απώλειας ανθρώπινων ζώων. Σημαντικό ρόλο παίζει η εκπαίδευση των πολιτών που ζουν κάτω από την απειλή των ηφαιστειακών κινδύνων. Η εκπαίδευση πρέπει να είναι συνεχής και φυσικά πολύ πριν την εμφάνιση των σημάτων προειδοποίησης. Είναι αναγκαία η σύνταξη και οργάνωση σχεδίων εκκένωσης πολύ πριν την εκδήλωση της καταστροφής. Η σωστή οργάνωση απαιτεί την επικοινωνία και το συντονισμό μεταξύ επιστημόνων, πολιτών, φορέων και MME.

Δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα που δείχνουν τη σημασία της οργάνωσης και του συντονισμού είναι τα ακόλουθα:

Το 1985 μια ηφαιστειακή τραγωδία που προκλήθηκε από την έκρηξη του Nevado del Ruiz προκάλεσε το θάνατο 22000 ανθρώπων στην πόλη Armero. Το ηφαίστειο Nevado del Ruiz εξεράγη στις 13 Νοεμβρίου του 1985. Υπήρχαν συστήματα παρακολούθησης του ηφαιστείου τα οποία λειτούργησαν και οι επιστήμονες είχαν προειδοποιήσει ότι ήταν πιθανό να λάβει χώρα μια μεγάλη έκρηξη. Επιπλέον για την περιοχή είχε σχεδιαστεί ένας χάρτης τρωτότητας, όπου πολύ σωστά η πόλη Armero είχε συμπεριληφθεί στις περιοχές υψηλής τρωτότητας. Για την πόλη υπήρχε ήδη ιστορικό καταστροφής όταν το 1845 προκλήθηκε μια ηφαιστειακή λασποροή (lahar) που κινήθηκε κατά μήκος των πλαγιών του βουνού και σκότωσε 1000 ανθρώπους στην θέση της σημερινής πόλης Armero. Η έκρηξη του 1985 προκάλεσε μια ηφαιστειακή λασποροή (lahar) που κινήθηκε ταχύτατα κατά μήκος του ποταμού Lagunillas προκαλώντας το θάνατο του 90% των κατοίκων της πόλης Armero. Η αιτία της τραγωδίας ήταν μια αστοχία στις επικοινωνίες.

Αντίθετα παράδειγμα καλού συντονισμού και αποφυγής απώλειας ζώων αποτελεί η περίπτωση της έκρηξης του ηφαιστείου Vathajoekull στην Ισλανδία που πραγματοποιήθηκε στις 29 Σεπτεμβρίου του 1996. Το ηφαίστειο βρισκόταν κάτω από κάλυμμα πάγου και η έκρηξη προκάλεσε την τήξη περίπου 3 km³ πάγου. Οι εγκαταστάσεις παρακολούθησης του ηφαιστείου προέβλεψαν το περιστατικό και λόγω εμπειρίας από το παρελθόν οι επιστήμονες προέβλεψαν ότι θα προκαλούταν μια μεγάλη πλημμύρα στον ποταμό Skeidur από την πολύ μεγάλη ποσότητα νερού που θα αποδεσμευόταν. Πράγματι η πλημμύρα έγινε και στις 5 Νοεμβρίου του 1996 ο μικρός αυτός ποταμός έγινε ο δεύτερος σε παροχή μεγαλύτερος ποταμός της γης. Αν και οι υλικές ζημιές (σε γέφυρες, δρόμους, κτιριακές εγκαταστάσεις κα) ήταν τεράστιες

φθάνοντας σε κόστος τα 15000000 δολάρια, λόγω του καλού συντονισμού και της έγκαιρης προειδοποίησης δεν χάθηκαν ανθρώπινες ζωές.

Άλλη μια περίπτωση επιτυχημένης παρακολούθησης αποτελεί το ηφαίστειο της Αγίας Ελένης. Αρχικά ένας μικρός σεισμός στις 20 Μαρτίου του 1980 σηματοδότησε τη δραστηριοποίηση του ηφαιστείου. Οι ηφαιστειολόγοι ανταποκρίθηκαν με αύξηση της παρακολούθησης. Με την πάροδο του χρόνου η σεισμική δραστηριότητα, οι αυξημένες εκπομπές ηφαιστειακών αερίων και η εδαφική παραμόρφωση συνοδεύτηκαν από μικρές εκρήξεις με έκλυση στάχτης και ατμών οπότε τα συστήματα παρακολούθησης εντατικοποιήθηκαν και προσδιορίστηκαν ζώνες τρωτότητας γύρω από το ηφαιστειακό βουνό. Τότε πρόσφατα είχε ολοκληρωθεί ένας λεπτομερής χάρτης για την περιοχή και χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη πολλών αποφάσεων. Μερικές ζώνες εγκαταλείφθηκαν εντελώς ενώ μερικές περιορισμένες σε έκταση περιοχές θεωρήθηκαν ασφαλείς και δεν εκκενώθηκαν. Η καταστροφή από την έκρηξη που έγινε στις 18 Μαΐου προκάλεσε εκτεταμένες υλικές ζημιές που άγγιζαν τα 1,8 δισεκατ. δολάρια στοίχησε όμως τη ζωή μόνο σε 68 ανθρώπους. Χωρίς την αποτελεσματική παρακολούθηση του ηφαιστείου και του χάρτες τρωτότητας θα ήταν σίγουρα μεγαλύτερος ο αριθμός των ανθρώπινων ζωών που θα χάνονταν.

ΠΑΛΗΜΜΥΡΕΣ

Βασικές έννοιες

Ο κύκλος του νερού είναι ένας από τους σημαντικότερους που εξελίσσονται στη φύση. Στην πιο απλή του περιγραφή περιλαμβάνει την εξάτμιση του νερού από τους ωκεανούς, λίμνες, ποταμούς κ.α. (E), την μεταφορά και συμπύκνωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα, την επαναφορά του στην επιφάνεια της γης με τη μορφή βροχής, χιονιού ή πάγου (P) και τέλος την επιφανειακή (R) και υπόγεια ροή (I) του μέχρι το «βασικό» επίπεδο της θάλασσας ($P=E+I+R$). Ο τύπος αυτός ονομάζεται τύπος του υδρολογικού ισοζυγίου και αποτελεί τη μαθηματική έκφραση του κύκλου του νερού.

Οι περισσότεροι ποταμοί είναι μέρος ενός μεγαλύτερου υδρογραφικού δικτύου, το οποίο συνορεύει με το διπλανό του με την ενδιάμεση κορυφογραμμή (υδροκρίτης). Όλη η περιοχή αποστράγγισης ενός υδρογραφικού δικτύου καλείται λεκάνη απορροής. Μια λεκάνη απορροής μπορεί να έχει επιφάνεια από μερικά μέχρι και εκατοντάδες χιλιόμετρα. Την πορεία που θα ακολουθήσει ένας ποταμός καθορίζουν κύρια η μορφολογία της περιοχής (τοπογραφικές κλίσεις) και η δομή του υποκειμένου πετρώματος (λιθολογία και τεκτονική). Το κύριο χαρακτηριστικό κάθε υδρογραφικού δικτύου είναι οι δεκάδες των χειμάρρων και των παραποτάμων που ενώνονται για τον σχηματισμό των ποταμών.

Για την καλύτερη μελέτη των λεκανών απορροής ο Horton και μετέπειτα ο Strahler, πρότειναν ένα σύστημα διαβάθμισης – αρίθμησης των ρευμάτων (ή κλάδων του δικτύου). Έτσι ονομάζουμε πρώτης τάξης τα ρεύματα-κλάδους που βρίσκονται υψομετρικά στην κορυφή του όλου δικτύου και δεν δέχονται νερά από άλλους παραποτάμους, δεύτερης τάξης όταν έχουμε συνένωση δύο ρευμάτων πρώτης τάξης κ.ο.κ. σύμφωνα με την αρίθμηση αυτή όταν ένας κλάδος μικρότερης τάξης ενώνεται με έναν μεγαλύτερης τάξης κλάδο η τάξη δεν αλλάζει. Συμπεραίνουμε ότι τα κύρια ποτάμια είναι μεγαλύτερης τάξης απ' ό,τι τα δευτερεύοντα ρεύματα.

Τι είναι πλημμυρική παροχή

Παροχή είναι η ποσότητα του νερού που διέρχεται από τη διατομή της κοίτης ενός ποταμού στη μονάδα του χρόνου. Είναι προφανές ότι η παροχή στο υδρογραφικό δίκτυο μιας λεκάνης απορροής εμφανίζει μεταβολές τόσο στο χώρο όσο και στον χρόνο. Οι μεταβολές στον χώρο οφείλονται σε γεωλογικούς, μορφολογικούς καθώς και κλιματικούς παράγοντες. Οι γεωλογικοί παράγοντες σχετίζονται κυρίως με τη φύση των γεωλογικών σχηματισμών (διαπερατοί, ημιπερατοί ή αδιαπερατοί) που καταλαμβάνουν τα επιμέρους τμήματα της λεκάνης απορροής. Οι μορφολογικοί με την μορφολογική κλίση των κλιτύων (μεγάλες κλίσεις ευνοούν την επιφανειακή απορροή – παροχή και περιορίζουν την κατείσδυση) ενώ οι κλιματικοί με το ποσό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και τις απώλειες εξαιτίας της εξάτμισης που θα είναι μεγαλύτερες όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλή.

Οι μεταβολές της παροχής στο χρόνο είναι συνάρτηση της χρονοσειράς των κατακρημνισμάτων. Πράγματι όταν μια βροχόπτωση έχει μεγάλη ένταση και διάρκεια προκαλεί ραγδαία αύξηση της παροχής στις κοίτες των ποταμών του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης, προκαλεί δηλαδή πλημμυρικές παροχές των οποίων το σημείο αιχμής μπορεί υπό συνθήκες να παίρνει ακρότατες τιμές.

Σε αρκετές περιπτώσεις είναι αναγκαία η γνώση των ακραίων τιμών των πλημμυρικών παροχών τόσο για θεωρητικούς όσο και για πρακτικούς λόγους που σχετίζονται άμεσα με την αντιμετώπιση των πλημμύρων και τον περιορισμό των αρνητικών τους αποτελεσμάτων. Οι πρακτικοί λόγοι είναι η σχεδίαση αποχετευτικών συστημάτων, η διευθέτηση της κοίτης ποταμών και χειμάρρων που διέρχονται από κατοικημένες περιοχές ή από αγροτικές καλλιέργειες, η σχεδίαση υπερχειλιστών σε φράγματα κ.α.

Ανάλυση των πλημμυρικών φαινομένων

Όταν στην περιοχή μιας λεκάνης απορροής βρέχει τα νερά της επιφανειακής απορροής κινούνται βαθμιαία προς την έξοδο της λεκάνης (που μπορεί να είναι οι εκβολές του ποταμού ή η συμβολή ενός ποταμού με κάποιον άλλο). Πρώτα φθάνουν τα νερά που έρχονται από τα κοντινά προς την έξοδο σημεία της λεκάνης, μετά εκείνα που προέρχονται από τα ενδιάμεσα σημεία και τέλος φθάνουν εκείνα που έρχονται από τα πιο απομακρυσμένα (ακραία) σημεία της λεκάνης. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα χάραξης των ισόχρονων καμπυλών που είναι καμπύλες γραμμές στη λεκάνη απορροής που κάθε μια ενώνει σημεία που ανήκουν στον γεωμετρικό τόπο όπου τα νερά που απορρέουν επιφανειακά φθάνουν ταυτόχρονα στην έξοδο της λεκάνης. Για παράδειγμα η ισόχρονη της 1 ώρας σημαίνει ότι σε αυτά τα σημεία από τα οποία περνά η καμπύλη το νερό της επιφανειακής απορροής χρειάζεται 1 ώρα για να φθάσει στην έξοδο της λεκάνης.

Ο χρόνος που απαιτείται για το νερό που απορρέει επιφανειακά και βρίσκεται στα ανώτερα (πιο απομακρυσμένα) σημεία της λεκάνης απορροής για να φθάσουν στην έξοδο της ονομάζεται χρόνος μέγιστης διαδρομής ή χρόνος συγκέντρωσης ή χρόνος συρροής. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από την έκταση της λεκάνης, από το γεωμετρικό της σχήμα αλλά και από τη μορφολογία – κλίσεις του αναγλύφου της.

Αν μια βροχόπτωση έχει σταθερή ένταση σε όλη τη διάρκειά της (που μπορεί να είναι ίση ή και μικρότερη του χρόνου συρροής) και έχει ομοιόμορφη κατανομή σε όλη την έκτασή της λεκάνης τότε στην έξοδο της λεκάνης θα πάρουμε το μοναδιαίο υδρόγραμμα. Αυτό το υδρόγραμμα, που είναι ένα διάγραμμα χρόνου – παροχής δίνει ορισμένα στοιχεία όπως είναι η μέγιστη παροχή του ποταμού, ο χρόνος ανταπόκρισης, ο χρόνος συρροής κ.α. που εξαρτώνται τόσο από τα φυσικογεωγραφικά χαρακτηριστικά (γεωλογία, μορφολογία, γεωμετρία, έκταση) της εκάστοτε λεκάνης όσο και από τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης (π.χ. την ένταση) που θα προκάλεσε. Για να φθάσει η ακραία πλημμυρική παροχή στην έξοδο της λεκάνης θα πρέπει η βροχόπτωση να έχει διάρκεια ίση με το χρόνο συρροής. Αν η βροχόπτωση διαρκέσει περισσότερο από το χρόνο συρροής τότε δε θα υπάρξει αύξηση της μέγιστης πλημμυρικής παροχής αλλά απλά η μέγιστη τιμή δεν θα παρατηρηθεί στιγμιαία αλλά θα διαρκέσει για κάποιο χρονικό διάστημα που θα είναι αντίστοιχο προς τη διάρκεια της βροχόπτωσης.

Είναι προφανές ότι αυτά είναι πολύ θεωρητικά διότι είναι πιθανό (συνήθως έτσι συμβαίνει) η βροχόπτωση να λαμβάνει χώρα σε ένα μόνο τμήμα της λεκάνης και όχι σε όλη της την έκταση ή η έντασή της να είναι διαφορετική στα διάφορα τμήματα της λεκάνης.

Παράγοντες που ρυθμίζουν τις πλημμυρικές παροχές

Οι παράγοντες που ρυθμίζουν τις ακραίες τιμές των πλημμυρικών παροχών είναι οι εξής:

- Η ένταση και η διάρκεια της βροχόπτωσης,
- Το εμβαδόν της λεκάνης απορροής. Είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερη είναι η έκταση της λεκάνης τόσο μεγαλύτερη είναι η ακραία τιμή της πλημμυρικής παροχής. Αντίθετα η ειδική πλημμυρική παροχή που είναι η ανά μονάδα επιφάνειας (π.χ. ανά 1 km²) αντιστοιχούσα πλημμυρικής παροχής, με ίδιες τις άλλες συνθήκες είναι τόσο μικρότερη όσο μεγαλύτερη είναι η έκταση της λεκάνης. Μεταξύ της επιφάνειας της λεκάνης (A) και της παροχής (qM) υπάρχει η σχέση:

$$qM=CA^n$$

όπου C είναι παράμετρος που εξαρτάται από τη γεωμετρία, τη γεωλογία και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης και n είναι εκθέτης που παίρνει τιμή από 0,4 έως 0,8.

- Το γεωμετρικό σχήμα της λεκάνης που ουσιαστικά καθορίζει τον χρόνο συρροής,
- Τη γεωλογική σύσταση και τη μορφολογία που ουσιαστικά καθορίζουν το συντελεστή απορροής και
- Την επέμβαση του ανθρώπου που κυρίως αφορά τον περιορισμό των φυσικών κοιτών, τη στεγανοποίηση τμήματος των λεκανών απορροής, τον περιορισμό της φυσικής βλάστησης κ.α.

Πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι ορισμένες βροχοπτώσεις μεγάλης έντασης έχουν κάποια χρονική περίοδο επανάληψης (10, 50, 100, 500 ή ακόμη και 1000 έτη). Δηλαδή υπάρχει μια μέγιστη ένταση βροχόπτωσης που παρατηρείται ανά 10ετία, μια άλλη ανά 50ετία κ.ο.κ που προφανώς προκαλούν αντίστοιχες πλημμυρικές παροχές. Αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη όταν επιχειρείται η διεύθετη της κοίτης ενός ποταμού ή η οικοδόμηση των περιοχών εκατέρωθεν της κοίτης. Συνήθως οι ποταμοί έχουν διαμορφώσει τις κοίτες τους έτσι ώστε να παροχετεύεται μέσω αυτών η επιφανειακή απορροή των λεκανών που αποστραγίζουν. Τα μορφολογικά αυτά χαρακτηριστικά των κοιτών των ποταμών θα πρέπει να μπορούν να αναγνωριστούν και να σεβαστούν κατά την επέμβαση του ανθρώπου στις παραποτάμιες περιοχές.

Μέθοδοι υπολογισμού πλημμυρικών παροχών

Είναι πολύ δύσκολο να συνδυαστούν και να συνυπολογιστούν όλες οι παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η πλημμυρική παροχή ενός ποταμού. Η δυσκολία αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι οι παράμετροι αυτές μεταβάλλονται ποικιλοτρόπως και ευρύτατα.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι υπολογισμού της μέγιστης τιμής των πλημμυρικών παροχών τόσο εμπειρικές όσο και αναλυτικές. Οι εμπειρικές μέθοδοι αποτελούν σχέσεις μεταξύ διαφόρων χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής (όπως είναι η έκταση, η κλίση κ.α) ενώ οι αναλυτικές αναλύουν διάφορα υδρολογικά μεγέθη και διαδικασίες.

Μερικοί εμπειρικοί τύποι είναι οι ακόλουθοι:

Τύποι που στηρίζονται στην έκταση της λεκάνης απορροής (E). Μεταξύ αυτών η σχέση που φαίνεται να προσεγγίζει ικανοποιητικά τις πλημμυρικές παροχές λεκανών έκτασης μεταξύ 5 και 200 km² στον ελλαδικό χώρο είναι η εξής:

$$q_M = 14 \sqrt{E} \log E$$

Τύποι στους οποίους υπεισέρχεται και το ύψος βροχής (P).

$$q_M = \lambda m PE$$

όπου λ = συντελεστής χαρακτηριστικός της μορφολογίας της λεκάνης με τιμές από 0,017 μέχρι 0,80 που δίνονται από πίνακες,

m = συντελεστής που εξαρτάται από την έκταση της λεκάνης (με τιμές από 1 μέχρι 10).

$$q_M = \frac{I_\sigma \cdot P \cdot E}{t_c}$$

όπου I_σ = συντελεστής απορροής της λεκάνης για την εξεταζόμενη βροχόπτωση, και

t_c = ο χρόνος συγκέντρωσης που προκύπτει από επιτόπιες μετρήσεις - παρατηρήσεις.

Τύποι που υπεισέρχεται η περίοδος επανάληψης Τα των πλημμυρών που είναι 10, 20, 100 έτη.

Τέτοιος είναι ο τύπος του Fuller:

$$q_M = q_\mu (1 + 0,8 \log T) \left(1 + \frac{2,66}{E^{0,3}}\right)$$

όπου q_μ = η «μέση» πλημμυρική παροχή που αντιστοιχεί σε πλημμυρική παροχή με συχνότητα επανάληψης $T = 1$ έτος και δίνεται από τον τύπο

$$q_\mu = 1,8 E^{0,8}$$

Τύποι στους οποίους υπεισέρχονται τόσο η περίοδος επανάληψης όσο και τα χαρακτηριστικά (γεωμετρικά – μορφολογικά – γεωλογικά) της λεκάνης.

Οι τύποι αυτοί αποτελούν την ορθολογική μέθοδο. Ο γνωστότερος είναι ο τύπος του Gadotti:

$$q_M = 0,278 E \cdot P_i \cdot I_\sigma$$

όπου P_i = η ένταση της βροχόπτωσης που δίνεται από τον τύπο

$$P_i = (30 \log T + 15) t_c^{-0,60}$$

όπου t_c = ο χρόνος συγκέντρωσης που υπολογίζεται από τον τύπο

$$t_c = \frac{4 \sqrt{E} + 1,5 L}{0,8 \sqrt{z}}$$

Στον τελευταίο τύπο: L = το μήκος της μέγιστης διαδρομής δηλ. το μήκος του μεγαλύτερου μισχάγγειου και z = η υψομετρική διαφορά μεταξύ του σημείου εξόδου της λεκάνης (όπου και ο υπολογισμός της παροχής) και του μέσου υψόμετρου της λεκάνης. Ο τύπος αυτός συνδυάζει πολλούς παράγοντες που ρυθμίζουν τη μέγιστη πλημμυρική παροχή και δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Μέθοδος περιβαλλουσών καμπυλών

Ουσιαστικά η μεθοδολογία αυτή βασίζεται στην κατασκευή ενός διαγράμματος με λογαριθμικές κλίμακες που στον κατακόρυφο άξονα τοποθετούνται οι μέγιστες ειδικές παροχές που παρατηρήθηκαν και στον οριζόντιο οι εκτάσεις των αντίστοιχων λεκανών. Κάθε σημείο του διαγράμματος αντιστοιχεί σε λεκάνη που έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτή που μελετάμε. Το νέφος των σημείων δεν υπερβαίνει προς τα πάνω ένα συγκεκριμένο όριο. Αυτό το όριο είναι και η μέγιστη παροχή που ενδέχεται να παρατηρηθεί στη λεκάνη απορροής. Στη μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιούνται μετρήσεις πεδίου που έχουν πραγματοποιηθεί σε λεκάνες με παρόμοια χαρακτηριστικά με την μελετώμενη για την οποία δεν υπάρχουν καθόλου μετρήσεις πεδίου για τη μέτρηση της μέγιστης πλημμυρικής της παροχής. Είναι προφανές ότι το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι χρησιμοποιούνται στοιχεία από άλλες λεκάνες.

Στατιστικές μέθοδοι

Οι μέθοδοι αυτές στηρίζονται στην επεξεργασία ενός ορισμένου αριθμού αξιόπιστων μετρήσεων οι οποίες θα πρέπει να είναι μακροχρόνιες. Η επεξεργασία των μετρήσεων αυτών γίνεται με στατιστικές μεθοδολογίες. Εκτιμάται η πιθανότητα που υπάρχει σε ένα συγκεκριμένο ποτάμι η παροχή να είναι πάνω από μια δεδομένη τιμή. Μια τέτοια μέθοδος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε ποτάμια ρεύματα κατοικημένων περιοχών όπως για παράδειγμα ο Κηφισός όπου αξιόπιστες μετρήσεις παροχής είναι εύκολο να γίνουν σε τακτά χρονικά διαστήματα. Εντούτοις παρόμοιες μετρήσεις για τον Κηφισό δεν υπάρχουν.

Μέθοδοι Υδρομετεωρολογίας

Στηρίζονται στην ανάλυση βροχομετρικών δεδομένων που δίνουν συχνότητα ορισμένων εντάσεων και επίσης συχνότητες εντάσεων σε συνάρτηση με την αντίστοιχη διάρκεια των βροχοπτώσεων.

Διερεύνηση του ρόλου των φυσικών – γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του υδρογραφικού δικτύου και των ανθρωπογενών επεμβάσεων στην εκδήλωση πλημμυρών στον κάτω ρου του Κηφισού ποταμού

Περίπτωση μελέτης

Φυσικογεωγραφικά χαρακτηριστικά

Ο ποταμός Κηφισός είναι ο κυριότερος αποδέκτης των νερών του λεκανοπεδίου της Αττικής. Έχει λεκάνη απορροής συνολικής έκτασης 374.6 km² που οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους Αιγάλεω (468 m) στα δυτικά, Πάρνηθας (1413 m) στα βόρεια, Πεντελικού (1109 m) στα βορειοανατολικά και Υμηττού (1026 m) στα ανατολικά με συνολικό μήκος κεντρικής κοίτης 33.7 km, διεύθυνση ροής Β ΒΑ-N ΝΔ εκβάλλοντας στο Σαρωνικό κόλπο. Κυριότεροι παραπόταμοί του είναι τα ρέματα Βατουριώνας και Φλέβα Ρουβίκωνος που αποστραγγίζουν τις νότιες πλαγιές της Πάρνηθας και τα ρ. Φασιδέρι, Κοκκινάρα και Ποδονίφτης που αποστραγγίζουν τις δυτικές πλαγιές του Πεντελικού. Ο Ιλισός ποταμός αποτελούσε έναν από τους μεγαλύτερους παραποτάμους του μέχρι τις αρχές του προηγούμενου αιώνα οπότε διευθετήθηκε και αποκόπηκε από τη λεκάνη απορροής του.

Ενδεικτικά των κλιματολογικών συνθηκών της λεκάνης απορροής είναι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής των σταθμών Τατοΐου και Νέας Φιλαδέλφειας που ανέρχεται σε 430 mm και 414 mm καθώς και η μέση ετήσια θερμοκρασία που είναι 16.4 °C και 17.6 °C αντίστοιχα.

Μεθοδολογία που ακολουθήθηκε

Στα πλαίσια της μελέτης δίνεται ιστορικό των πλημμυρών που σημειώθηκαν στην ευρύτερη περιοχή του κάτω ρου του Κηφισού ποταμού με τη συλλογή και αξιολόγηση πληροφοριών σχετικά με τις καταγεγραμμένες πλημμύρες που έχουν συμβεί στο λεκανοπέδιο της Αθήνας κατά τη διάρκεια των τελευταίων 108 ετών (1896–2004). Για τις ημερομηνίες των σημαντικότερων πλημμυρών, μετά το 1961, συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν τα ύψη βροχής 24ώρου ή 48ώρου που καταγράφηκαν στους μετεωρολογικούς σταθμούς της ΕΜΥ στο Τατόι και τη Νέα Φιλαδέλφεια ενώ για τις πλημμύρες του διαστήματος 2002-2004 χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού Πεντέλης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών που λειτουργεί από το 1999.

Προκειμένου να διερευνηθεί η συμβολή των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών στη γένεση πλημμυρών υπολογίστηκαν οι ποσοτικές μορφομετρικές παράμετροι του υδρογραφικού δικτύου του Κηφισού ποταμού. Για την ποσοτική μελέτη του υδρογραφικού δικτύου και τις μετρήσεις των μορφομετρικών του παραμέτρων χρησιμοποιήθηκαν χάρτες κλίμακας 1:50000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού. Χαράχτηκαν οι υδροκρίτες των επιμέρους λεκανών απορροής και έγινε η αρίθμηση του υδρογραφικού δικτύου σύμφωνα με το σύστημα του Strahler. Εκτιμήθηκε ο αριθμός, το μήκος και το εμβαδόν των κλάδων που απορρέουν άμεσα σε κλάδους μεγαλύτερης τάξης. Σχεδιάστηκαν οι επιμήκεις τομές τόσο της κεντρικής κοίτης του Κηφισού ποταμού όσο και των έξι κυριότερων παραποτάμων του και εκτιμήθηκε η μέση κλίση κατά μήκος της διαδρομής τους.

Για την εκτίμηση των ανθρωπογενών επεμβάσεων συγκρίθηκε το υδρογραφικό δίκτυο από τη σειρά χαρτών των Curtius and Kaupert (1878-1894) κλίμακας 1:25000

με το δίκτυο των πρόσφατων χαρτών της ΓΥΣ (1988). Οι κοίτες του υδρογραφικού δικτύου διακρίθηκαν σε δύο κατηγορίες ήτοι σε κοίτες με ανοικτή διατομή και σε καλυμμένες κοίτες. Στην πρώτη κατηγορία ομαδοποιούνται οι φυσικές κοίτες και οι κοίτες που παρότι έχουν τεχνητά διευθετηθεί και περιορισθεί, εξακολουθούν να διατηρούνται ανοικτές. Στη δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται τόσο οι κοίτες που έχουν καλυφθεί και πιθανά αντικατασταθεί από υπόγειους αποστραγγιστικούς αγωγούς όσο και εκείνες που έχουν επιχωματωθεί ή μετατραπεί σε οδικούς άξονες. Οι κατηγορίες αυτές χαρτογραφήθηκαν σε κλίμακα 1:50000 μετά από εργασία υπαίθρου και υπολογίστηκε το συνολικό μήκος κοίτης κάθε κατηγορίας. Επιπλέον εκτιμήθηκε η οικιστική ανάπτυξη του λεκανοπεδίου κατά τις τελευταίες δεκαετίες και υπολογίστηκε το ποσοστό τσιμεντοποίησης της λεκάνης απορροής του Κηφισού ποταμού με τη χρήση χάρτη της Αττικής κλίμακας 1:60000 έτους έκδοσης 2004. Για την οργάνωση, επεξεργασία, αξιολόγηση και παρουσίαση των δεδομένων καθώς και τους ποσοτικούς υπολογισμούς οργανώθηκε ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών με τη χρήση του λογισμικού MapInfo.

Ιστορικό πλημμυρών

Οι περιοχές που επλήγησαν κατά τα τελευταία 108 έτη εντοπίζονται τόσο δυτικά όσο και ανατολικά της κεντρικής κοίτης του Κηφισού. Για την περίοδο των τελευταίων 45 ετών, που αναφέρονται τα βροχομετρικά δεδομένα, παρατηρείται άμεση συσχέτιση υψηλής βροχόπτωσης των σταθμών Ν. Φιλαδέλφειας και Τατοΐου με τις πληγείσες περιοχές που βρίσκονται δυτικά της κεντρικής κοίτης του Κηφισού ποταμού (Νίκαια, Χαϊδάρι, Περιστέρι, Αιγάλεω, Μενίδι κ.α.). Οι πλημμύρες που προκάλεσαν τα περισσότερα θύματα σχετίζονται με σημαντικά ύψη βροχής 24ώρου και για τους δύο σταθμούς με τιμές που ανέρχονται στο ένα τρίτο σχεδόν της ετήσιας βροχόπτωσης. Παρόμοια πλημμυρικά συμβάντα σχετίζονται με ανάλογα ύψη βροχής και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας. Η εμφάνιση μεγάλων πλημμυρών στην περιοχή Ν. Ιωνίας, Περισού, Ν. Φιλαδέλφειας, Αγ. Αναργύρων μπορεί να αποδοθεί στη συμβολή του ρέματος του Ποδονόφτη, που αποστραγγίζει τις δυτικές κλιτύες του Πεντελικού, πράγμα που γίνεται εμφανές από την πλημμύρα που συνέβη στις 10/12/1977, όπου με μηδενικά ύψη βροχής στους σταθμούς Τατοΐου και Ν. Φιλαδέλφειας, πλημμύρισε η περιοχή των Αγ. Αναργύρων και της Ν. Φιλαδέλφειας.

Σχέση αριθμού κλάδων, μήκους κοίτης και εμβαδού λεκανών ανά τάξη

Σημαντική είναι η διαπίστωση ότι στα ποσοστά των κλάδων κάθε τάξης που απορρέουν σε μεγαλύτερης τάξης κλάδους, στα αντίστοιχα μήκη κοιτών και στα εμβαδά λεκανών, παρατηρούνται ανωμαλίες στη διαδοχική κατά τάξη απορροή του υδρογραφικού δικτύου.

Ειδικότερα το 23.6 % των κλάδων πρώτης τάξης απορρέει κυρίως σε τρίτης και το 20 % των κλάδων τρίτης απορρέει απευθείας σε κλάδους πέμπτης και έκτης τάξης. Επίσης στα αντίστοιχα ποσοστά του συνολικού μήκους των κοιτών διαπιστώνεται ότι η κατάσταση στη διαδοχική κατά τάξη απορροή διαφοροποιείται και τα ποσοστά αυξάνονται σημαντικά. Ενδεικτικά για τους κλάδους τρίτης τάξης το 30.8 % του συνολικού μήκους τους απορρέει σε κλάδους πέμπτης τάξης. Μια από τις σημαντικές αιτίες για την εκδήλωση πλημμυρών στον κάτω ρου του Κηφισού ποταμού θεωρείται η ανωμαλία στη διαδοχική κατά τάξη απορροή του εμβαδού των λεκανών του

υδρογραφικού του δικτύου. Συγκεκριμένα οι εκτάσεις που αποστραγγίζονται από κλάδους τρίτης τάξης και προστίθενται άμεσα στις αντίστοιχες πέμπτης τάξης φθάνουν το 41,4 %. Το αυξημένο αυτό ποσοστό οφείλεται κυρίως στο ρέμα του Ποδονίφτη, η κεντρική κοίτη του οποίου αντιστοιχεί σε κλάδο τρίτης τάξης που απορρέει απευθείας στην κεντρική κοίτη του Κηφισού. Η άμεση απορροή του Ποδονίφτη στην κεντρική κοίτη του Κηφισού σημαίνει ότι η επιφανειακή απορροή που προκύπτει από την αποστράγγιση μιας σημαντικής έκτασης που φθάνει τα 77.75 km² προστίθεται άμεσα και ταχύτερα στην ήδη αυξημένη παροχή του Κηφισού. Το πρόβλημα εντείνεται δεδομένου ότι η συμβολή γίνεται στην περιοχή των Αγ. Αναργύρων, με ιδιαίτερα αυξημένη οικιστική ανάπτυξη ενώ ένα σημαντικό μήκος 2.9 km της κεντρικής κοίτης του ρέματος του Ποδονίφτη, κοντά στη συμβολή του με τον Κηφισό, στην ευρύτερη περιοχή της Ν. Ιωνίας καθώς και αρκετοί κλάδοι του υδρογραφικού του δικτύου έχουν εντελώς καλυφθεί.

Επιμήκεις τομές

Η κεντρική κοίτη του Κηφισού ποταμού παρουσιάζει στο κατώτερο τμήμα μικρή κλίση (0.94%) ενώ στο ορεινό τμήμα, μήκους περίπου 6 km, που διαρρέει τις νότιες πλαγιές της Πάρνηθας, η μέση κλίση είναι 6.53%.

Ο παραπόταμος που απεικονίζεται με τον αριθμό 5, που αποστραγγίζει το βόρειο τμήμα της λεκάνης, εμφανίζει μια σχεδόν ενιαία μέση κλίση (6.53%) χωρίς σημαντική διαφοροποίηση. Αντίθετα οι επιμήκεις τομές των παραποτάμων, που συμβάλλουν με την κεντρική κοίτη του Κηφισού νοτιότερα (ρέματα Κοκκινάρ, Τατοΐου, Βατουριώνας, Ποδονίφτης, Φλέβα Ρουβίκωνος), εμφανίζουν μεγάλη κλίση στα ανάντη (9.21% - 13.68%) και στα κατόντη σχετικά ήπια κλίση (1.61% - 5.31%) που αντιστοιχεί στο μισό περίπου του μήκους τους πριν τη συμβολή με τον Κηφισό. Οι μεγάλες κλίσεις στα ανάντη τμήματα συντελούν στην αύξηση της ταχύτητας ροής σε περιπτώσεις βροχοπτώσεων και επομένως σε μικρό χρόνο άφιξης της επιφανειακής απορροής στην πεδινή περιοχή. Παρά τις μικρές κλίσεις στα κατώτερα τμήματα εκτιμάται ότι οι ταχύτητες δεν περιορίζονται σημαντικά δεδομένου ότι οι κεντρικές κοίτες των κύριων αυτών κλάδων βρίσκονται εντός κατοικημένων περιοχών και σε ένα σημαντικό τους μήκος έχουν διευθετηθεί ή και αντικατασταθεί από υπόγειους αγωγούς στους οποίους η ροή κάθε άλλο παρά φυσική μπορεί να χαρακτηριστεί. Συνεπώς σε περιπτώσεις ραγδαίων βροχοπτώσεων οι μεγάλες ταχύτητες με τις οποίες τα νερά συγκεντρώνονται στην περιοχή του κάτω ρου του ποταμού είναι μια από τις φυσικές αιτίες για τις πλημμύρες.

Ανθρωπογενείς επεμβάσεις

Η σύγκριση των δομημένων περιοχών όπως αυτές απεικονίζονται σε χάρτες του 1878-1894 και του 2004 δείχνει μια σημαντική αύξηση της δόμησης στη λεκάνη απορροής του Κηφισού με συνέπεια η δομημένη περιοχή από 11.46 km² (3.1%) να έχει αυξηθεί σε 222.9

Ειδικότερα οι αστικές περιοχές διακρίθηκαν σε τρεις κατηγορίες: α) περιοχές πυκνής δόμησης (59.12 km², ποσοστό 15.8%), β) περιοχές αραιής δόμησης (163.8 km², ποσοστό 43.7%) και αστικές περιοχές με πράσινο που καλύπτουν μόλις 5 km² (ποσοστό 1.5%). Η αστικοποίηση σε συνθήκες τοπικά πυκνής δόμησης και ο δραστηκός περιορισμός των χώρων πρασίνου μείωσε σημαντικά το συντελεστή

κατείσδυσης και επέδρασε ιδιαίτερα αρνητικά στα μεγέθη των πλημμυρών. Εκτιμάται ότι ο χρόνος συρροής σε μια αστική λεκάνη όπως αυτή του Κηφισού είναι μικρότερος όταν αυτή είναι πυκνά δομημένη οδηγώντας σε υψηλότερες αιχμές. Ο μέσος συντελεστής απορροής ενώ σε φυσικές λεκάνες έχει τιμές 0.30 ή 0.35 σε πυκνά δομημένες αστικές λεκάνες φθάνει την τιμή 0.90 ή 0.95. Έτσι η αύξηση του ποσοστού του όγκου του νερού της βροχής που απορρέει επιφανειακά είναι πολύ μεγάλη.

Επιπλέον η αυξημένη επιφανειακή απορροή εντείνεται λόγω της διευθέτησης και της μείωσης της διατομής των φυσικών υδατορευμάτων τόσο κατά την οριζόντια όσο και την κατακόρυφη διάστασή τους. Από τη σύγκριση του υδρογραφικού δικτύου του Κηφισού ποταμού της σειράς χαρτών των Curtius and Kaupert (1878-1894) και πρόσφατων χαρτών της ΓΥΣ (1988) καθώς και την εργασία υπαίθρου, διαπιστώνεται ότι 113 km μήκους κοιτών (ποσοστό 19.32%), που διέρχονται από κατοικημένες περιοχές, έχει καλυφθεί ή αντικατασταθεί από υπόγεια ροή αλλοιώνοντας τις φυσικές συνθήκες αποστράγγισης, με συνέπεια οι διατομές των υπόγειων αγωγών να μη μπορούν να ανταποκριθούν στις πλημμυρικές παροχές.

Το δίκτυο ομβρίων της πρωτεύουσας δυστυχώς δεν αποτέλεσε ποτέ προτεραιότητα ενώ τα επί μέρους τμήματά του σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να εξυπηρετούν τοπικές ανάγκες χωρίς συλλογική στρατηγική. Σημαντικό μήκος καλυμμένων κοιτών εντοπίζονται στα δίκτυα που διατρέχουν τις περιοχές της Νίκαιας, του Κορυδαλλού και του Περιστερίου, στο νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης, καθώς και σε δομημένες περιοχές στις παρυφές των ορεινών όγκων που περιβάλλουν το λεκανοπέδιο. Είναι προφανές ότι η ραγδαία επέκταση της πόλης προς τις παρυφές των ορεινών όγκων, χωρίς στοιχειώδη προγραμματισμό, δεν επέτρεψε τη διαχείριση των περιστατικών υδατορευμάτων.

Επιπλέον ένα σημαντικό μήκος της κεντρικής κοίτης τόσο του κάτω ρου του Κηφισού ποταμού όσο και άλλων ποταμών με κυριότερο τον Ποδονίφτη, που περιλαμβάνονται στην κατηγορία κοιτών με ανοικτή διατομή, έχουν υποστεί σημαντικές επεμβάσεις με κυριότερες την τεχνητή διευθέτησή τους και τον περιορισμό της διατομής τους. Η αύξηση της στερεοπαροχής που προκαλείται λόγω επιχωμάτωσης και ρίψης απορριμμάτων εντός των κοιτών των ρεμάτων ή στον ευρύτερο χώρο των λεκανών απορροής ανάντη της αστικής περιοχής συνεπάγεται αντίστοιχη αύξηση του όγκου της επιφανειακής απορροής εντείνοντας τα προβλήματα που δημιουργούνται από τη συρροή στην πεδινή περιοχή του λεκανοπεδίου.

Εκτιμήσεις

Το λεκανοπέδιο της Αθήνας είναι μια περιοχή με υψηλό δείκτη επικινδυνότητας έναντι των πλημμυρών που εντοπίζονται κυρίως στον κάτω ρου του Κηφισού ποταμού. Για την αυξημένη συχνότητα αλλά και τη δριμύτητα των πλημμυρών ευθύνονται τόσο φυσικά όσο και ανθρωπογενή αίτια. Στις φυσικές αιτίες περιλαμβάνονται τα ακραία ύψη βροχής όπου οι τιμές 48ώρου αγγίζουν το ένα τρίτο της ετήσιας τιμής και τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου του Κηφισού ποταμού με σημαντικότερο την ανωμαλία στη διαδοχική κατά τάξη απορροή και κυρίως την άμεση απορροή των επιφανειακών νερών της λεκάνης τρίτης τάξης του Ποδονίφτη στην κεντρική κοίτη του Κηφισού επιβαρύνοντας σημαντικά

την επιφανειακή απορροή του κάτω ρου του. Μια άλλη σημαντική αιτία είναι οι μεγάλες μορφολογικές κλίσεις της κοίτης των παραποτάμων στο ορεινό τους τμήμα οι οποίες συντελούν στην αύξηση της ταχύτητας της επιφανειακής απορροής και τη μείωση του χρόνου άφιξης και συγκέντρωσης του νερού στην κεντρική κοίτη η οποία παρουσιάζοντας μικρότερη κλίση αδυνατεί να παροχετεύσει τον συνολικό όγκο της επιφανειακής απορροής. Στην εκδήλωση πλημμυρών σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν η μεγάλη αύξηση δομημένων περιοχών στη λεκάνη απορροής καθώς και η κάλυψη και επιχωμάτωση σημαντικού μήκους των κοιτών του υδρογραφικού δικτύου που διέρχονται από δομημένες περιοχές. Εκτιμήθηκε ότι 113 km που αντιστοιχούν στο 19.32% του συνόλου των κοιτών έχουν καλυφθεί χάνοντας τον φυσικό τους ρόλο.

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΟΔΟΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ

Γενικά

Η ακτογραμμή των παράκτιων περιοχών μεταβάλλεται συνεχώς σε συνάρτηση με το χρόνο. Η εξέλιξή της εξαρτάται από μια σειρά μη γραμμικών παραγόντων όπως οι ευστατικές κινήσεις, οι κατακόρυφες τεκτονικές κινήσεις, οι ισοστατικές κινήσεις, οι παλίρροιες, ο κυματισμός, η ιζηματογένεση, οι αιολικές διεργασίες και η ανθρώπινη δραστηριότητα. Γίνεται φανερό ότι η δημιουργία ενός μαθηματικού ομοιώματος, τόσο για την μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης κατά το παρελθόν, όσο και για τις μελλοντικές μεταβολές της αποτελεί μια ιδιαίτερα δύσκολη διαδικασία εξαιτίας των πολύ-παραγοντικών μεταβλητών που εμπλέκονται.

Για την αναπαράσταση παράκτιων παλαιο-περιβαλλόντων και των μεταβολών του επιπέδου της θαλάσσιας στάθμης, είναι αναγκαία η διεξαγωγή μιας σειράς από ερευνητικές εργασίες που σκοπό έχουν την αναζήτηση δεικτών παλαιών σταθμών θάλασσας. Δηλαδή ενδείξεων που αποδεικνύουν που βρισκόταν η στάθμη κατά το παρελθόν. Είναι αναγκαία η γνώση τόσο του υψομέτρου στο οποίο βρίσκονται αυτοί οι δείκτες σήμερα όσο και της ηλικίας τους (αυτό επιτυγχάνεται με διάφορες μεθόδους χρονολόγησης).

Για τις μελλοντικές μεταβολές της στάθμης της θάλασσας και συνεπώς της ακτογραμμής χρησιμοποιούνται δεδομένα τηλεπισκόπησης από δορυφόρους (Torrex Poseidon, Jason κ.α.) με χρονοσειρές εποχιακών μεταβολών των τελευταίων δεκαετιών, μετρήσεις παλιρροιακών ευρών σε τοπική και παγκόσμια κλίμακα και μαθηματικά ομοιώματα που βασίζονται κυρίως σε κλιματικές μεταβολές (αύξηση θερμοκρασίας, εκπομπές CO₂ σε παγκόσμια κλίμακα).

Ο συνδυασμός των επιστημονικών μεθοδολογιών και προσεγγίσεων σε κοινή βάση δεδομένων, για μια συγκεκριμένη περιοχή, μπορεί να οδηγήσει σε βελτιστοποίηση των μαθηματικών ομοιωμάτων και των επιστημονικών σεναρίων πρόβλεψης των μελλοντικών μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης, σε τοπική και παγκόσμια κλίμακα, έτσι ώστε να ανταποκρίνονται όσο γίνεται στην πραγματικότητα. Τα αποτελέσματα αυτής της συνδυαστικής επιστημονικής προσέγγισης μπορούν να αποτελέσουν πολύτιμα εργαλεία στη λήψη, στο σχεδιασμό και στην υλοποίηση αποφάσεων για μια ολοκληρωμένη (βιώσιμη) ανάπτυξη των παράκτιων ζωνών.

Ορισμός της στάθμης θάλασσας

Αρχικά θα πρέπει να προσδιορισθεί τι εννοούμε λέγοντας θαλάσσια στάθμη. Ο καθορισμός της θαλάσσιας στάθμης είναι πολύ δύσκολος διότι η επιφάνεια της θάλασσας δεν είναι επίπεδη και επηρεάζεται σημαντικά από πολλές διεργασίες τόσο μικρής όσο και μεγάλης περιόδου. Η θαλάσσια στάθμη ορίζεται σαν το μέσο υψόμετρο της επιφάνειας της θάλασσας. Δημιουργείται όμως το ερώτημα για ποια χρονική περίοδο θα πρέπει να εκτιμηθεί η μέση τιμή; Υπάρχουν διεργασίες με πολύ μικρή περίοδο, που μεταβάλλουν την επιφάνεια της θάλασσας, όπως ο κυματισμός του οποίου η περίοδος φθάνει τα 15 sec. Υπάρχουν όμως και διακυμάνσεις του επιπέδου της επιφάνειας της θάλασσας, όπως για παράδειγμα αυτές που οφείλονται στις παλίρροιες, που διαρκούν περισσότερο (από 4 ή 6 ώρες μέχρι 15 ημέρες, 3 μήνες ακόμη και 18,3 έτη). Οι διακυμάνσεις αυτές θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στον καθορισμό της θαλάσσιας στάθμης. Επίσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη

διακυμάνσεις που οφείλονται σε φαινόμενα όπως η είσοδος μεγάλης ποσότητας νερού των ποταμών στη θάλασσα που σε ορισμένες περιπτώσεις μεταβάλλει σημαντικά το επίπεδο της θαλάσσιας επιφάνειας. Για παράδειγμα ο ποταμός Γάγγης κατά τη διάρκεια των θερινών μουσώνων, που οι βροχοπτώσεις είναι ιδιαίτερα αυξημένες στη νοτιοανατολική Ασία, προκαλεί μια αύξηση της στάθμης της θάλασσας στην κόλπο της Βεγγάλης όπου εκβάλει κατά 1 m. Άλλοι μηχανισμοί μικρής περιόδου που προκαλούν διακυμάνσεις της θαλάσσιας επιφάνειας είναι τα ρεύματα επαναφοράς (upwelling) τα ρεύματα μεγάλου βάθους καθώς και τοπικές μεταβολές της αλατότητας του θαλάσσιου νερού. Συνεπώς γίνεται φανερό ότι όλες αυτές οι διακυμάνσεις του επιπέδου της θαλάσσιας επιφάνειας δημιουργούν πρόβλημα στον ακριβή καθορισμό της θαλάσσιας στάθμης. Μιλώντας λοιπόν για μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης εννοούμε τις μακράς διάρκειας διακυμάνσεις του επιπέδου της θάλασσας, που οφείλονται κυρίως σε ευστατικά και τοπικά αίτια (τεκτονισμός, ισοστασία) όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

Με τον όρο σχετική στάθμη θάλασσας εννοούμε το επίπεδο της θαλάσσιας επιφάνειας σε σχέση με την ξηρά. Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης ή η βύθιση της ξηράς θα είχε σαν αποτέλεσμα μια θετική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης δηλαδή την κατάκλιση τμήματος της ξηράς από τη θάλασσα. Αυτή η θετική μεταβολή ονομάζεται επίκλυση. Αντίθετα απόσυρση ονομάζεται η αρνητική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης που είναι αποτέλεσμα της πτώσης του επιπέδου της θάλασσας ή της τεκτονικής ή ισοστατικής ανύψωσης της ξηράς. Αποτέλεσμα της απόσυρσης είναι η ανάδυση μιας περιοχής.

Αίτια μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης

Κατά καιρούς έχουν διατυπωθεί αρκετές ερμηνείες για τις μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης. Μια από αυτές θεωρεί υπεύθυνη την ανύψωση του θαλάσσιου πυθμένα εξαιτίας της ιζηματογένεσης (της απόθεσης δηλαδή ιζημάτων στο δάπεδο των ωκεανών) που έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή των διαστάσεων των θαλασσίων λεκανών. Ερμηνείες αυτού του είδους δεν μπορούν από μόνες τους να εξηγήσουν ικανοποιητικά τις μεγάλης κλίμακας μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης που συνέβησαν κατά το παρελθόν και που αποδεικνύονται σήμερα από τα ίχνη που έχουν αφήσει (π.χ. απολιθωμένες ακτογραμμές, θαλάσσιες αναβαθμίδες) σε διάφορες παράκτιες περιοχές.

Σήμερα θεωρείται ότι η αιτία που ευθύνεται σχεδόν αποκλειστικά για τις μεγάλης κλίμακας παγκόσμιες μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης είναι η αυξομείωση του όγκου του θαλάσσιου νερού εξαιτίας των αλλαγών που σημειώθηκαν στις κλιματολογικές συνθήκες του πλανήτη.

Έχει αποδειχθεί ότι η ιστορία της γης χαρακτηρίζεται από εναλλαγές παγετωδών και μεσοπαγετωδών περιόδων. Κατά τη διάρκεια των παγετωδών περιόδων μεγάλη ποσότητα νερού των ωκεανών συσσωρεύεται και δεσμεύεται με τη μορφή πάγου στην επιφάνεια της ξηράς, προκαλώντας την πτώση της θαλάσσιας στάθμης. Αντίστροφα κατά τη διάρκεια των μεσοπαγετωδών περιόδων, που χαρακτηρίζονται από μια αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα σε παγκόσμια κλίμακα, οι πάγοι λιώνουν με αποτέλεσμα μεγάλη ποσότητα νερού να επιστρέφει από την ξηρά στη θάλασσα, ανεβάζοντας τη στάθμη. Η διεργασία αυτή ονομάζεται παγετο-ευστατισμός ή ευστατισμός. Οι μεταβολές του επιπέδου της θαλάσσιας στάθμης που παρατηρούνται

παγκοσμίως και οφείλονται στις μεταβολές της ποσότητας του νερού των ωκεανών ονομάζονται ευστατικές μεταβολές.

Σε τοπική κλίμακα οι μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης μπορεί να οφείλονται σε τοπικά αίτια που έχουν σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή (ανύψωση ή βύθιση) της επιφάνειας της ξηράς. Οι μεταβολές που οφείλονται στην ανύψωση ή βύθιση της ξηράς εξαιτίας τεκτονικών ή ισοστατικών ανοδικών ή καθοδικών κινήσεων θεωρούνται τοπικές μεταβολές. Ισοστασία είναι οι ανοδικές και καθοδικές κινήσεις της ξηράς που οφείλονται στην αυξομείωση του βάρους των πάγων που την καλύπτουν κατά τις παγετώδεις και μεσοπαγετώδεις περιόδους. Η μεταφορά νερού από τους ωκεανούς στην επιφάνεια της ξηράς με τη μορφή πάγου έχει σαν αποτέλεσμα (εκτός από την πτώση της θαλάσσιας στάθμης σε παγκόσμιο επίπεδο) την ταπείνωση της επιφάνειας της ξηράς λόγω του μεγάλου βάρους του πάγου. Έχει διαπιστωθεί ότι η ταπείνωση αυτή ισούται με το ένα τρίτο του μέγιστου πάχους του πάγου που δημιουργείται. Αντίστροφα κατά την τήξη των πάγων σημειώνεται μια ανύψωση της επιφάνειας της ξηράς λόγω της μείωσης του βάρους των πάγων που την καλύπτουν.

Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι δύσκολο να διευκρινιστεί αν οι παρατηρούμενες σε μια παράκτια περιοχή μεταβολές οφείλονται σε ευστατικά ή σε τοπικά αίτια. Συνήθως το αποτέλεσμα είναι συνδυασμός των δύο διεργασιών και δύσκολα απομονώνονται τα αποτελέσματα του ευστατισμού ή του τεκτονισμού και της ισοστασίας αντίστοιχα.

Η αστρονομική θεωρία (περί των παγετώνων)

Τα αίτια των αλλαγών των κλιματολογικών συνθηκών του πλανήτη που είχαν σαν αποτέλεσμα την εναλλαγή παγετωδών και μεσοπαγετωδών περιόδων είναι αστρονομικά και ερμηνεύονται με την "αστρονομική θεωρία (περί των παγετώνων)". Η θεωρία αυτή πρωτοδιατυπώθηκε το 1864 από το Σκωτσέζο James Croll. Σήμερα είναι γνωστή ως: "το μοντέλο τού Milankovic" από το όνομα τού Γιουγκοσλάβου αστρονόμου που βελτίωσε τη θεωρία αυτή, στη δεκαετία τού 1930. Στη δεκαετία τού 1980, αποδείχθηκε ότι οι ρυθμοί των εποχών των παγετώνων, συνδέονται με μεταβολές τού προσανατολισμού της γης κατά την κίνησή της γύρω από τον ήλιο.

Η μεταβολή στη διεύθυνση τού γήινου άξονα, είναι ένας πολύπλοκος συνδυασμός τριών κινήσεων. Συνδυάζοντας τις τρεις αυτές κινήσεις, μπορεί να βρεθεί σε ποιες εποχές συγκεκριμένα τμήματα της γης δέχονται λιγότερη ηλιακή ενέργεια, και είναι πιθανότερο να υπάρξουν παγετωνικές εξελίξεις.

- 1η κίνηση: Η κλόνιση της γης, κατά την οποία ο άξονάς της διαγράφει σε κάτοψη έναν κύκλο με περίοδο 19.000 ως 23.000 έτη. Οφείλεται στη βαρυτική έλξη τού Ηλίου και της Σελήνης, πάνω στο ισημερινό εξόγκωμα της γης. Δεν επηρεάζει σημαντικά τις εποχιακές εναλλαγές σε διάστημα ενός αιώνα, όμως γίνεται σημαντική επιρροή, σε διάστημα χιλιάδων ετών.
- 2η κίνηση: Μεταβολή της κλίσης τού γήινου άξονα. Η γωνία μεταξύ τού άξονα της γης και της κάθετης στο επίπεδο της γήινης τροχιάς, (επίπεδο της εκλειπτικής), μειώνεται ελαφρά και στη συνέχεια αυξάνει σε διάστημα 41.000 ετών. Η διαφορά μεταξύ των δύο ακραίων θέσεων, είναι μόνο 3 μοίρες περίπου, (από 21,8 ως 24,4 μοίρες), αρκεί όμως για να μεταβάλλει το ποσό της ηλιακής ενεργείας που φτάνει σε τμήματα της γήινης επιφάνειας. Σήμερα

βρισκόμαστε στο μέσο περίπου, (23,4), και ελαττώνεται, γι' αυτό έχουμε μικρότερες διαφορές μεταξύ Χειμώνα και Θέρους.

- 3η κίνηση: Κάθε 100.000 χρόνια, η τροχιά της γης γύρω από τον Ήλιο, μεταβάλλεται από ελλειπτική σε σχεδόν κυκλική, και στη συνέχεια ξαναγίνεται ελλειπτική, λόγω των επιρροών των γύρω πλανητών. Η διαφορά σήμερα είναι περίπου 3.000.000 έτη περίπου, ενώ στο παρελθόν ήταν μεγαλύτερη. Όταν η τροχιά είναι κυκλική, η γη δέχεται όλες τις μέρες του έτους το ίδιο ποσό ηλιακής θερμότητας. Όταν όμως είναι ελλειπτική, κάποιες ημέρες του έτους, ο πλανήτης δέχεται περισσότερη θερμότητα.

Μεταβολές θαλάσσιας στάθμης κατά το Ανώτερο Πλειστόκαινο

Τα ερωτήματα που απασχολούν τους ερευνητές σε ότι αφορά την ευστατισμό είναι πόσες φορές συνέβη η μεταφορά νερού από τους ωκεανούς στην ξηρά και το αντίστροφο και πόση ποσότητα νερού συμμετείχε στην μετακίνηση αυτή. Κατά τη διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας της γης υπήρξαν πολλές παγετώδεις περιόδους. Για τη μελέτη της γεωμορφολογίας των παράκτιων περιοχών το ενδιαφέρον εστιάζεται στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν δηλαδή στις παγετώδεις περιόδους που συνέβησαν κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς. Υπάρχουν αρκετές διαφωνίες για το χρονικό όριο μεταξύ του Τεταρτογενούς και της προηγούμενης περιόδου που είναι το Τριτογενές. Η μετάβαση από το Τριτογενές στο Τεταρτογενές χαρακτηρίστηκε από μια βαθμιαία επιδείνωση του κλίματος που αποδεικνύεται τόσο ιζηματολογικά όσο και παλυνολογικά (μελέτη γυρεοκόκκων). Το όριο αυτό τοποθετείται στα 2,5 εκατομμύρια έτη BP (πριν από σήμερα) ενώ κατά άλλους στα 1,8 εκατομμύρια έτη BP (πριν από σήμερα). Κατά τα τελευταία 1-2 εκατομμύρια έτη παρατηρήθηκε μια ακολουθία παγετωδών και μεσοπαγετωδών επεισοδίων - περιόδων που εναλλάσσονταν σε τακτά χρονικά διαστήματα των 100000 ετών περίπου. Το τελευταίο από τα παγετώδη διαστήματα τελείωσε περίπου 12000 έτη BP (πριν από σήμερα). Το χρονικό αυτό διάστημα από την αρχή του Τεταρτογενούς έως το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου αποτελεί την περίοδο του Πλειστοκαίνου. Το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου σηματοδοτεί την αρχή της περιόδου του Ολοκαίνου που φθάνει μέχρι σήμερα και θεωρείται ότι είναι μια μεσοπαγετώδης περίοδος. Υπάρχουν διαφωνίες μεταξύ των επιστημόνων για τον ακριβή αριθμό των παγετωδών επεισοδίων που συνέβησαν κατά τη διάρκεια του Πλειστοκαίνου. Έχουν πιστοποιηθεί 17 - 20 επεισόδια.

Κατά την τελευταία παγετώδη περίοδο ο όγκος των πάγων είχε προκαλέσει μια πτώση της θαλάσσιας στάθμης κατά 105 έως 123 m σε σχέση με τη σημερινή.

Περισσότερο λεπτομερή και ακριβή στοιχεία για τις μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης λόγω ευστατισμού προέκυψαν τη δεκαετία του 1970, από τα δεδομένα πυρήνων γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στον πυθμένα βαθιών θαλασσών. Δείγματα ιζημάτων που ελήφθησαν από τις γεωτρήσεις αυτές χρονολογήθηκαν με παλαιομαγνητικές μεθόδους, αναλύθηκαν και υπολογίστηκε η σχετική αναλογία των δύο ισοτόπων του οξυγόνου ^{16}O και ^{18}O στα κελύφη τρηματοφόρων (πρωτόζωων - μικροοργανισμών με ανθρακικό κέλυφος). Η σχετική αναλογία των δύο αυτών ισοτόπων στα κελύφη των τρηματοφόρων καθορίζει και την αναλογία τους στο θαλάσσιο νερό κατά την περίοδο που έζησαν. Ο κύριος καθοριστικός παράγοντας των αναλογιών των δύο αυτών ισοτόπων στο θαλάσσιο νερό είναι η θερμοκρασία του

νερού. Η απομάκρυνση του θαλάσσιου νερού από τους ωκεανούς και η δέσμευσή του με τη μορφή πάγου κατά τη διάρκεια των παγετωδών περιόδων άφηνε το νερό των ωκεανών περισσότερο πλούσιο στο ισότοπο ^{18}O . Έτσι η συγκέντρωση των ισοτόπων ^{18}O αποτελεί έναν άμεσο δείκτη της ποσότητας του νερού που απομακρύνθηκε από τους ωκεανούς κατά τη διάρκεια των παγετωδών περιόδων και της έκτασης της παγοκάλυψης της γήινης επιφανείας. Έχει διαπιστωθεί ότι μια διαφορά 0,1 % του ^{18}O ισοδυναμεί με όγκο νερού που οδηγεί σε μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης κατά 10 m. Φαίνεται ότι οι μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης σε παγκόσμιο επίπεδο κατά την ακολουθία παγετωδών - μεσοπαγετωδών επεισοδίων ήταν περίπου 100 m.

Μεταβολές θαλάσσιας στάθμης κατά το Ολόκαινο

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες σχεδίασης μιας ευστατικής καμπύλης για την περίοδο του Ολοκαίνου (των τελευταίων δηλαδή περίπου 10000 ετών). Όλες οι καμπύλες στάθμης θάλασσας (καμπύλες χρόνου πριν από σήμερα – ύψους σε σχέση με τη σημερινή στάθμη θάλασσας) που έχουν προταθεί για το Ολόκαινο έχουν παρόμοια μορφή. Κάποιες μικροδιαφορές σε λεπτομέρειες οφείλονται στις δυσκολίες διαχωρισμού των ευστατικών από τα τοπικά αίτια στις περιοχές που πραγματοποιήθηκαν οι μελέτες για τη συλλογή των στοιχείων που οδήγησαν στη σχεδίαση της κάθε καμπύλης. Η γενική μορφή της καμπύλης στάθμης θάλασσας - χρόνου δείχνει ότι κατά το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου 18000 έτη BP (πριν από σήμερα) η στάθμη της θάλασσας βρισκόταν περίπου 120 m χαμηλότερα από τη σημερινή. Το τέλος της περιόδου αυτής συνοδεύτηκε από μια γρήγορη άνοδο της παγκόσμιας θαλάσσιας στάθμης με ρυθμό περίπου 1 m/100 έτη μέχρι τα 7000-5000 έτη BP (πριν από σήμερα) και στη συνέχεια ο ρυθμός ανόδου ελαττώθηκε στα 2-3 cm/100 έτη περίπου.

Μελλοντική μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης

Έχει υπολογισθεί, βάσει παγκόσμιων κλιματικών δεδομένων της U.S. Environmental Protection Agency (EPA) και της χρήσης μαθηματικών μοντέλων (IPCC "Intergovernmental Panel on Climate Change", 2001), ότι μέχρι το έτος 2050, η μέση θερμοκρασία του αέρα του πλανήτη θα αυξηθεί κατά 1 °C ενώ έως το έτος 2100 η θερμοκρασία θα είναι κατά 2 °C υψηλότερη από τη σημερινή. Κύριος λόγος της αύξησης αυτής είναι η επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου λόγω των αυξανόμενων συγκεντρώσεων CO_2 στον ατμοσφαιρικό αέρα που οφείλεται κυρίως στις βιομηχανικές εκπομπές.

Η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας θα προκαλέσει το λιώσιμο των πάγων των πόλων και των ηπειρωτικών περιοχών και τη διαστολή των μαζών του νερού των ωκεανών με αποτέλεσμα την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης σε παγκόσμιο επίπεδο. Βάσει διαφόρων σεναρίων μελλοντικής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης που βασίζονται στην επεξεργασία τόσο στοιχείων του παρελθόντος όσο και σύγχρονων μετρήσεων, δορυφορικών παρατηρήσεων κ.α., εκτιμάται ότι η θαλάσσια στάθμη θα είναι κατά 15 cm υψηλότερη μέχρι το έτος 2050 ενώ θα έχει αυξηθεί κατά περίπου 50 cm έως το έτος 2100. Έτσι ο ρυθμός ανόδου της θαλάσσιας στάθμης θα είναι 4.2 mm/έτος το 2100.

Κοινωνικο - οικονομικές επιπτώσεις από την μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης

Οι κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις από την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης μπορούν να σκιαγραφηθούν ως εξής:

- Σημαντικές θα είναι οι αρνητικές επιπτώσεις σε διάφορες δραστηριότητες στην παράκτια ζώνη όπως ο τουρισμός, τα αποθέματα και η ποιότητα του γλυκού νερού, η αλιεία, η γεωργική δραστηριότητα σε παράκτιες περιοχές, οι οικισμοί και οι κατοικημένες περιοχές, οι οικονομικές υπηρεσίες, και η ανθρώπινη υγεία.
- Εξαιρετικά υψηλό είναι το κόστος για την προστασία και τη λήψη μέτρων ώστε να αποφευχθούν οι αρνητικές επιπτώσεις σε χαμηλές νησιωτικές περιοχές όπως είναι τα νησιά Marshal και οι Μαλδίβες, αλλά και σε ολόκληρες χώρες που φιλοξενούν εκτεταμένες δελταϊκές πεδιάδες χαμηλού υψομέτρου όπως είναι το Bangladesh, η Νιγηρία, η Αίγυπτος και η Κίνα.
- Ο αριθμός των ανθρώπων που υποφέρουν σήμερα από πλημμύρες στην παράκτια ζώνη εκτιμάται σε 40 εκατομμύρια, και αναμένεται να διπλασιαστεί ή ακόμη και να τριπλασιαστεί έως το έτος 2100.
- Οι προσπάθειες προσαρμογής στα νέα δεδομένα που προκύπτουν από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης θα πρέπει να συμπεριλάβουν την εκτίμηση των περιβαλλοντικών, οικονομικών, κοινωνικών και πολιτισμικών αξιών ανά τμήματα της παράκτιας ζώνης. Μια τέτοια εκτίμηση θεωρείται απαραίτητη διότι αρκετές χώρες θα βρεθούν στη δύσκολη θέση να πάρουν αποφάσεις σχετικά με το ποιες ακτές θα πρέπει να προστατέψουν και ποιες θα πρέπει να εγκαταλείψουν.

Μία ένδειξη των μεγάλων χρηματικών ποσών που απαιτούνται για την προστασία των παράκτιων περιοχών αποτελεί η εκτίμηση του Houghton (1994) σύμφωνα με τον οποίο μόνο για τις ΗΠΑ το οικονομικό κόστος για την προστασία των ακτών και των απωλειών σε γη θα φθάσει περίπου τα 7 δισεκατομμύρια δολάρια χωρίς στο ποσό αυτό να περιλαμβάνεται το κόστος από την υφαλμύρινη του υπόγειου νερού από τη θάλασσα, ο περιορισμός της γεωργικής γης και των αγροτικών δραστηριοτήτων στην παράκτια ζώνη και τα προβλήματα υγείας που πιθανά να προκαλέσει η μελλοντική άνοδος της θαλάσσιας στάθμης.

Δυστυχώς ανάλογη ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων για τον Ελλαδικό χώρο δεν έχει πραγματοποιηθεί σε εθνικό επίπεδο.

Εκτίμησης της τρωτότητας και επικινδυνότητας παράκτιων περιοχών σε μια ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θ.σ. που ακολουθούνται παγκοσμίως

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί μια ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, η οποία συνέβαλε αποτελεσματικά στην αντιμετώπιση διαφόρων γεωγραφικών προβλημάτων σχετικών και με φυσικές καταστροφές.

Κατά καιρούς έχουν εφαρμοστεί διάφορες μεθοδολογίες για την εκτίμηση της τρωτότητας παράκτιων περιοχών σε μια ενδεχόμενη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και σε κλίμακα κρατών. Η συχνότερα εφαρμοζόμενη μεθοδολογία είναι η ονομαζόμενη συνήθης (common methodology). Σκοπός των μεθοδολογιών που έχουν κατά καιρούς εφαρμοσθεί είναι η αναγνώριση και η εκτίμηση των οικολογικών φυσικογεωγραφικών και κοινωνικοοικονομικών

επιπτώσεων από την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης, η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η ανάπτυξη και άλλοι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες επιδρούν στην επικινδυνότητα, η ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση των αρνητικών αποτελεσμάτων και τελικά η λήψη μέτρων προστασίας.

Γίνεται σαφές ότι απαιτείται ο προσδιορισμός των παράκτιων περιοχών που αναμένεται να αντιμετωπίσουν μεγαλύτερο πρόβλημα. Προφανώς πρόκειται για τις περιοχές χαμηλού υψομέτρου. Καθορισμός τους λοιπόν από λεπτομερείς χάρτες.

Επιπλέον η γεωμορφολογική χαρτογράφηση (η απεικόνιση δηλαδή των παράκτιων γεωμορφών όπως είναι οι θίνες, οι αιγιαλοί, οι κρημνοί) βοηθά στην κατανόηση της μελλοντικής συμπεριφοράς της ακτογραμμής σε σχέση με την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης.

Η απεικόνιση της τάσης της ακτογραμμής (αν υποχωρεί έναντι της θάλασσας ή προελαύνει η ξηρά) και η ποσοτικοποίηση των ρυθμών αυτών όπως έχουν καταγραφεί στο παρελθόν. Μια πρώτη εκτίμηση των μεταβολών της ακτογραμμής και εκτίμησης των ρυθμών τους μπορεί να γίνει με τη χρήση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων διαφορετικών ετών λήψης.

Η εκτίμηση του σημαντικού ύψους των κυμάτων που πλήττουν την περιοχή.

Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας

Σημαντική για την εκτίμηση της τρωτότητας των παράκτιων περιοχών είναι η συνεισφορά του Δείκτη Παράκτιας Τρωτότητας (Coastal Vulnerability Index) (CVI).

Ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας αποτελεί μια μαθηματική έκφραση που έχει προταθεί από την διακυβερνητική επιτροπή για τις κλιματικές αλλαγές (IPCC) και περιλαμβάνει παραμέτρους σχετικές με την τοπογραφία (μορφολογική κλίση), τη γεωμορφολογία, τον κυματισμό, την παλίρροια και τις πρόσφατες μεταβολές της ακτογραμμής (προέλαση – υποχώρηση). Για την εκτίμηση της τρωτότητας από την άνοδο της θαλάσσιας στάθμης εφαρμόζεται ο μαθηματικός τύπος του δείκτη αξιοποιώντας την τεχνολογία των Γ.Σ.Π. Ο τύπος του δείκτη έχει την ακόλουθη μορφή:

$$C.V.I. = \sqrt{[(a*b*c*d*e*f*g)/7]}$$

Όπου:

- a: παράγοντας που αφορά τη γεωμορφολογία,
- b: παράγοντας που αφορά την παράκτια κλίση,
- c: παράγοντας που αφορά τα σενάρια ανόδου της θαλάσσιας στάθμης,
- d: παράγοντας που αφορά τη διάβρωση-υποχώρηση της ακτογραμμής,
- e: παράγοντας που αφορά το μέσο σημαντικό ύψος κυμάτων,
- f: παράγοντας που αφορά το μέσο εύρος παλίρροιας και τέλος
- g: παράγοντας που αφορά τη γεωλογία.

Όλες οι παραπάνω μεταβλητές λαμβάνουν ακέραιες τιμές που κυμαίνονται από 1 έως 5 με τις μεγαλύτερες τιμές να χαρακτηρίζουν τις περισσότερες τρωτές ως προς τη συγκεκριμένη παράμετρο περιοχές. Πραγματοποιείται δηλαδή μια βαθμονόμηση της ακτής σε πέντε κατηγορίες με συγκεκριμένα για κάθε παράμετρο του δείκτη παράκτιας τρωτότητας κριτήρια. Η χαρτογραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων του υπολογισμού του δείκτη βοηθά στον εντοπισμό των τρωτών περιοχών και

αποτελεί σημαντικό εργαλείο για το σχεδιασμό των μέτρων που πρέπει να ληφθούν καθώς και τον εντοπισμό τμημάτων της παράκτιας ζώνης που χρήζουν άμεσης προστασίας..

Οι επιπτώσεις από τη μελλοντική άνοδο της θαλάσσιας στάθμης στην Ελλάδα

Με δεδομένη την εξάπλωση των χαμηλών παράκτιων περιοχών στην ηπειρωτική Ελλάδα με τη μορφή δέλτα ποταμών, λιμνοθαλασσών, παράκτιων αλλουβιακών πεδιάδων και μικρών αιγιαλών και τη σημαντική τους εποίκιση, καθώς και την τουριστική και βιομηχανική τους ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες, εκτιμάται ότι οι επιπτώσεις από την αναμενόμενη άνοδο της θαλάσσιας στάθμης θεωρείται ότι θα είναι εξαιρετικά σημαντικές. Πρέπει να τονιστεί ότι δεν έχουν γίνει οργανωμένες προσπάθειες εντοπισμού των τρωτών περιοχών της χώρας παρά μόνο μεμονωμένες προσπάθειες καθαρά τοπικού χαρακτήρα.

Για την ηπειρωτική Ελλάδα τα παράκτια μήκη που αντιστοιχούν σε απόκρημνες ακτές και σε παράκτιες πεδιάδες είναι 48,04% και 38,27% αντίστοιχα ενώ σε δελταϊκές πεδιάδες, λιμνοθάλασσες και σε παραλίες αντιστοιχούν πολύ μικρότερα ποσοστά που ανέρχονται σε 6,39%, 3,73% και 3,57% αντίστοιχα. Η διανομή των πέντε τύπων ακτών ανά γεωγραφικό διαμέρισμα δεν είναι ομοιόμορφη παντού. Αξιοσημείωτη είναι η μεγάλη έκταση των χαμηλών παράκτιων περιοχών (δελταϊκές πεδιάδες και λιμνοθάλασσες) στην Θράκη (88%). Οι κύριες περιοχές που οι δελταϊκές πεδιάδες καταλαμβάνουν σημαντική έκταση και αναμένεται να πληγούν κοινωνικο-οικονομικά από την μελλοντική κατάκλιση λόγω της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης είναι η Ήπειρος (24,23%, με κυριότερα δέλτα του Κалаμά και του Αραχθού) και η Θράκη (25,69%, με σημαντικότερη χαμηλή περιοχή το δέλτα του Έβρου). Έχει υπολογισθεί ότι οι περιοχές των δελταϊκών πεδιάδων που θα κατακλυσθούν από θαλάσσιο νερό έως το 2100, θα καταλαμβάνουν κατά μέσο όρο το 13,16% της συνολικής τους έκτασης.

ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΕΞΩΓΗΙΝΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

Εκτός από τους ατμοσφαιρικούς, τους γεωλογικούς, τους υδρολογικούς και τους βιολογικούς φυσικούς κινδύνους υπάρχουν και οι εξωγήινοι. Όπως υποδηλώνει η ονομασία τους οι εξωγήινοι φυσικοί κίνδυνοι είναι αυτοί που η προέλευση τους βρίσκεται έξω από τον πλανήτη γη, προέρχονται δηλαδή από το διάστημα. Είναι μια κατηγορία κινδύνων που μπορεί να εξελιχτεί σε φυσική καταστροφή να προκαλέσει δηλαδή ζημιές σε ιδιοκτησίες ή τον τραυματισμό ή ακόμη και τον θάνατο ανθρώπων. Οι φυσικοί κίνδυνοι εξωγήινης προέλευσης δεν αναφέρονται συχνά αυτό όμως δε σημαίνει ότι δεν είναι υπαρκτοί. Πολλές φορές προκαλούν ή έχουν προκαλέσει κατά το παρελθόν τεραστίων διαστάσεων φυσικές καταστροφές πάνω στη γη.

Οι εξωγήινοι κίνδυνοι περιλαμβάνουν:

- Την πτώση μετεωριτών
- Την ακτινοβολία από το διάστημα και
- Την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία.

Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στους κινδύνους που σχετίζονται με την πτώση μετεωριτών.

Μετεωρίτες

Μετεωρίτης είναι κάθε αντικείμενο εξωγήινης προέλευσης το οποίο κατορθώνει να διαπεράσει την ατμόσφαιρα της γης και να φθάσει στην επιφάνειά της. Οι μετεωρίτες ουσιαστικά αποτελούν τμήματα – τεμάχια του ηλιακού συστήματος που έχουν πέσει στη γη και προέρχονται από αστεροειδή ή κομήτες. Έχουν πετρώδη σύσταση παρόμοια με αυτή των πετρωμάτων που συναντώνται στη γη. Η λάμψη που πολλές φορές βλέπουμε στον ουρανό προέρχεται από την είσοδο ενός αστεροειδούς στην ατμόσφαιρα της γης. Κατά τη διάρκεια μιας νύχτας μπορεί κανείς να δει μερικές τέτοιες πτώσεις ανά ώρα ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις βροχής μετεωριτών μπορούν να παρατηρηθούν περίπου 100 ανά ώρα.

Τα είδη των μετεωριτών είναι τα εξής:

- Σιδηρομετεωρίτες: που αποτελούνται κυρίως από σίδηρο και νικέλιο.
- Πετρώδεις μετεωρίτες: που αποτελούν ένα μίγμα σιδήρου και πετρωδών υλικών (πετρωμάτων).
- Χονδρίτες: είναι οι περισσότεροι σε αριθμό μετεωρίτες και έχουν σύσταση παρόμοια με αυτή του μανδύα και τον φλοιό των στερεών πλανητών (και της γης).
- Ανθρακικοί χονδρίτες: που αποτελούνται κυρίως από ανθρακικό υλικό.
- Αχονδρίτες: που έχουν σύσταση παρόμοια με αυτή του βασάλτη. Πιστεύεται ότι έχουν προέλευση κοινή με τη Σελήνη και τον Άρη.

Όπως ήδη αναφέρθηκε οι μετεωρίτες προέρχονται από αστεροειδής ή από κομήτες.

Οι αστεροειδείς θεωρούνται κατάλοιπα των αρχικών υλικών από τα οποία προήλθε ο ήλιος και οι άλλοι πλανήτες με τους δορυφόρους τους. Έχουν σχήμα ακανόνιστο και διαστάσεις από μερικές δεκάδες μέτρα μέχρι και εκατοντάδες χιλιόμετρα. Η θέση των αστεροειδών βρίσκεται μεταξύ των πλανητών Άρη και Δία κατά κύριο λόγο αλλά υπάρχουν και αστεροειδής που είναι διάσπαρτοι σε όλο σχεδόν το ηλιακό μας σύστημα (ονομάζονται και αλήτες του διαστήματος).

Κομήτες είναι παγωμένα σφαιροειδή σώματα (οι ονομαζόμενες κεφαλές κομητών) που αποτελούνται από πάγο νερού και/ή αμμωνίας αναμεμειγμένα με τεμάχια πετρωμάτων. Έχουν διάμετρο από 10 έως 20 χιλιόμετρα και βρίσκονται πέρα από τον Πλούτωνα σε μια περιοχή που ονομάζεται νέφος του Oort. Εξαιτίας των ελκτικών επιδράσεων που τους ασκεί ο ήλιος αλλά και οι πλανήτες μπορούν να εισέλθουν στο ηλιακό μας σύστημα και να τεθούν σε τροχιά γύρω από τον ήλιο. Οι πάγοι που περιέχουν εξαχνώνονται και τα αέρια που προκύπτουν σχηματίζουν την κόμη και την ουρά του κομήτη. Μετά από αρκετές περιφορές τους γύρω από τον ήλιο οι κομήτες διαλύονται σε κομμάτια τα οποία αν εισέλθουν στο βαρυτικό πεδίο ενός πλανήτη μπορεί να πέσουν στην επιφάνειά του. Συνεπώς αποτελούν ένα φυσικό κίνδυνο για τη γη.

Ο όρος πτώση μετεωρίτη σημαίνει ότι κάποιος άνθρωπος υπήρξε μάρτυρας της πτώσης του από τον ουρανό, ενώ εύρεση μετεωρίτη σημαίνει ότι δεν υπήρξε μαρτυρία για την πτώση του αλλά μεταγενέστερα βρέθηκαν ενδείξεις που αποδεικνύουν το συμβάν.

Όλοι οι γνωστοί μετεωρίτες που έχουν πέσει στη γη από το 1740 έως το 1990 έχουν συνολικό αριθμό 4660 και το συνολικό βάρος των υλικών που έφτασαν στην επιφάνεια του πλανήτη μας ήταν 494625 kg. Αρκετοί από αυτούς βρέθηκαν στην Ανταρκτική.

Μεγάλος αριθμός μετεωριτών εισέρχεται καθημερινά στην ατμόσφαιρα της γης που συνολικά ανέρχονται σε εκατοντάδες τόνους. Σχεδόν όλοι όμως είναι μικρών διαστάσεων και ζυγίζουν λίγα μόλις γραμμάρια ο καθένας. Μόνο οι μεγαλύτερων διαστάσεων μπορούν να φθάσουν στην επιφάνεια της γης. Ο μεγαλύτερος μετεωρίτης που βρέθηκε ποτέ (Hoba στη Namibia) ζυγίζει 60 τόνους.

Ο μέσος όρος των μετεωροειδών εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης με ταχύτητες μεταξύ 10 και 70 km/sec. Όλοι όμως, με εξαίρεση τους πολύ μεγάλων διαστάσεων, σύντομα λόγω της τριβής με τα μόρια της ατμόσφαιρας, επιβραδύνονται αποκτώντας ταχύτητα λίγων εκατοντάδων km/ώρα και κτυπούν την επιφάνεια της γης με πολύ μικρή ένταση. Μετεωρίτες όμως με βάρος μεγαλύτερο από λίγες εκατοντάδες τόνους επιβραδύνονται πολύ λίγο και συνήθως αυτοί είναι που δημιουργούν κρατήρες πάνω στην επιφάνεια της γης. Αυτοί είναι ευτυχώς πολύ λίγοι.

Ένα καλό παράδειγμα του τι συμβαίνει όταν ένα μικρό αστεροειδές χτυπά τη γη αποτελεί ο κρατήρας Barringer στην Arizona των ΗΠΑ. Ο κρατήρας αυτός δημιουργήθηκε περίπου 50000 χρόνια πια από σήμερα από έναν σιδηρομετεωρίτη με διάμετρο περίπου 30-50 μέτρων. Ο κρατήρας έχει διάμετρο 1200 m και βάθος 200 m. Περίπου 120 τέτοιοι κρατήρες πρόσκρουσης έχουν διαπιστωθεί στη γη ως σήμερα.

Ένα πολύ πρόσφατο συμβάν συνέβη το 1908 σε μια ακατοίκητη περιοχή της δυτικής Σιβηρίας την Tunguska. Ο μετεωρίτης αυτός είχε περίπου διάμετρο 60 m και πρέπει να αποτελούταν από περισσότερα χαλαρά συνδεδεμένα μεταξύ τους κομμάτια. Σε αντίθεση με το γεγονός που προκάλεσε τον κρατήρα Barringer στην Tunguska ο μετεωρίτης αποσυντέθηκε εντελώς πριν χτυπήσει στο έδαφος και έτσι δεν σχηματίστηκε κρατήρας. Όλα τα δένδρα όμως της περιοχής ισοπεδώθηκαν σε μια έκταση 50 km περιμετρικά του σημείου πρόσκρουσης ενώ ένδειξη της σφοδρότητας της έκρηξης είναι ότι ο ήχος της ακούστηκε μέχρι το Λονδίνο.

Υπάρχουν τουλάχιστον 1000 αστεροειδή με διάμετρο μεγαλύτερη από 1 km που διασχίζουν την τροχιά της γης. Κατά μέσο όρο ένας από αυτούς χτυπά τη γη περίπου μια φορά κάθε 1000000 έτη. Οι ακόμη μεγαλύτερων διαστάσεων αστεροειδής είναι λιγότεροι σε αριθμό και οι συγκρούσεις τους με τη γη είναι λιγότερο συχνές. Μερικές φορές όμως συμβαίνουν και έχουν πολύ καταστροφικές συνέπειες.

Η πρόσκρουση ενός κομήτη ή αστεροειδούς με μέγεθος παρόμοιο με αυτό του Herphaistus ή SL9 (είναι η ονομασία ενός γνωστού μεγάλου αστεροειδούς) έπεσε στη γη και η σύγκρουση θεωρείται υπεύθυνη για την εξαφάνιση των δεινοσαύρων περίπου 65000000 χρόνια πριν. Προκάλεσε έναν κρατήρα 180 km που σήμερα είναι θαμμένος κάτω από πυκνή βλάστηση στην χερσόνησο Yukatan στο Μεξικό.

Διάφοροι υπολογισμοί που βασίζονται στον αριθμό των παρατηρούμενων αστεροειδών υποστηρίζουν ότι πρέπει να αναμένονται να σχηματιστούν στη γη περίπου 3 κρατήρες διαμέτρου 10 Km ή και μεγαλύτερης κάθε 1000000 έτη. Η εκτίμηση αυτή βρίσκεται σε συμφωνία με τις γεωλογικές καταγραφές. Είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί η συχνότητα μεγαλύτερων συγκρούσεων σαν αυτή της χερσονήσου Yukatan αλλά φαίνεται λογική η υπόθεση ότι μπορεί να συμβεί μια φορά κάθε 100000000 έτη.

Μόλις πρόσφατα άρχισαν να θεωρούνται οι προσκρούσεις από κομήτες και αστεροειδή ως φυσικοί κίνδυνοι που απειλούν ζωές και περιουσίες. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος προέρχεται από την πρόσκρουση αστεροειδών. Οι κομήτες έχουν μικρή συνεισφορά. Αν και η ετήσια πιθανότητα η γη να χτυπηθεί από έναν μεγάλο αστεροειδή ή κομήτη είναι εξαιρετικά μικρή οι επιπτώσεις από μια τέτοια σύγκρουση θα είναι τόσο καταστροφικές ώστε να είναι αναγκαίο να ληφθεί υπόψη η φύση μιας τέτοιας απειλής και να υπάρξουν ενέργειες για την πρόληψη, την αποτροπή ή την αντιμετώπισή της.

Οι μελέτες της NASA δείχνουν ότι ο κίνδυνος από τέτοιες συγκρούσεις αυξάνεται με το μέγεθος του αντικείμενου εξωγήινης προέλευσης. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος συνδέεται με αντικείμενα αρκετά μεγάλων διαστάσεων τα οποία θα μπορούσαν να επηρεάσουν το παγκόσμιο κλίμα με την εισαγωγή μεγάλων ποσοτήτων σκόνης στην στρατόσφαιρα. Ένα τέτοιο συμβάν θα μείωνε τη θερμοκρασία του αέρα σε όλο τον πλανήτη οδηγώντας σε μαζική απώλεια τροφίμων και πιθανά σε κατάλυση των κοινωνιών. Τέτοιες παγκόσμιας κλίμακας καταστροφές είναι ποιοτικά διαφορετικές από άλλες συνήθεις φυσικές καταστροφές εξαιτίας των εκτεταμένων επιπτώσεων που προκαλούν σε ολόκληρο τον πλανήτη και στο σύνολο του πληθυσμού. Μελέτες δείχνουν ότι το ελάχιστο σώμα που μπορεί να προκαλέσει τέτοιες παγκόσμιας κλίμακας επιπτώσεις πρέπει να είναι μερικών δεκάεκατομμυρίων τόνων. Η σύγκρουση ενός τέτοιου σώματος με τη γη θα προκαλούσε μια έκρηξη ενέργειας ενός εκατομμυρίου μεγατόνων TNT. Η αντίστοιχη διάμετρος για έναν αστεροειδή είναι μεταξύ 1 και 2 km. Μικρότερης διαμέτρου αντικείμενα μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές τοπικής κλίμακας καταστροφές όχι όμως να αποτελέσουν παγκόσμια απειλή. Σήμερα υπάρχουν διάφορα προγράμματα παρακολούθησης των πιθανών απειλών λόγω πρόσκρουσης. Εκτελούνται τηλεσκοπικές παρατηρήσεις με σκοπό την ανίχνευση πιθανών καταστροφικών NEOs. Το πρόγραμμα αυτό τηλεσκοπικής παρακολούθησης ονομάζεται Spaceguard Survey και έχει ήδη οδηγήσει στην ανακάλυψη πάνω από των μισών NEOs με διάμετρο μεγαλύτερη από 1 km. Στόχος είναι η ανίχνευση του 90% των NEOs τέτοιου μεγέθους ως τα τέλη του 2008. Σήμερα

κανένας αστεροειδής δεν βρίσκεται σε τροχιά σύγκρουσης με τη γη και το πρόγραμμα αυτό δεν αναμένεται να ανακαλύψει κάποιον μεγάλο αστεροειδή που να απειλεί άμεσα τη γη. Αν ανακαλυφθεί κάτι τέτοιο δηλαδή σώμα που να βρίσκεται σε τροχιά σύγκρουσης με τη γη αναμένεται ότι θα είναι δυνατή η εφαρμογή της τεχνολογίας που απαιτείται για την εξολόθρευσή του πριν την πρόσκρουση. Πρέπει να σημειωθεί ότι η πρόσκρουση αστεροειδών στην γη είναι οι μόνοι φυσικοί κίνδυνοι που μπορεί ο άνθρωπος να εξαλείψει εντελώς.

Πληροφορίες από το site της NASA

Τι είναι NEO

NEO (Near Earth Objects) είναι μικρά αντικείμενα στο ηλιακό μας σύστημα (αστεροειδή και κομήτες) με τροχιές που τα φέρνουν κοντά στη γη και εξαιτίας αυτού είναι πιθανό κάποια μέρα να χτυπήσουν τον πλανήτη μας. Μερικές φορές τα NEO έχουν τροχιές που διασταυρώνονται με την τροχιά της γης οπότε αυτά ονομάζονται ECOs (Earth Crossing Objects).

Σε τι μέγεθος είναι επικίνδυνα

Η ατμόσφαιρα της γης μας προστατεύει από τα περισσότερα NEOs που είναι σε μέγεθος μικρότερα από αυτό ενός μέτριου δωματίου (διαμέτρου 40 m ή ενέργειας πρόσκρουσης περίπου 3 megatons).

NEO με μέγεθος μεγαλύτερο από αυτό και μέχρι διαμέτρου περίπου 1km αν χτυπήσουν τη γη θα προκαλούσαν τρομακτικές τοπικής όμως κλίμακας καταστροφές. Αντικείμενα διαμέτρου περίπου 2 km (ενέργεια πρόσκρουσης 1 εκατομμυρίου megatons) θα προκαλούσαν σοβαρές περιβαλλοντικές καταστροφές σε παγκόσμια κλίμακα με πιθανές επιπτώσεις την πτώση της θερμοκρασίας του αέρα και ακολούθως τον περιορισμό στα διαθέσιμα τρόφιμα με αποτέλεσμα πείνα και ασθένειες.

Προσκρούσεις ακόμη μεγαλύτερων σωμάτων μπορούν να προκαλέσουν μεγαλύτερες καταστροφές όπως αυτή που σηματοδότησε το έλος της εποχής των δεινοσαύρων περίπου 65000000 έτη πριν από σήμερα (εκτιμάται ότι ο αστεροειδής είχε διάμετρο 15 km και ενέργεια περίπου 100 εκατομμύρια megatons).

Πόσα NEOs υπάρχουν

Υπάρχουν αρκετά μικρά NEOs πολύ περισσότερα απ' ό,τι μεγάλα. Οι αστρονόμοι εκτιμούν ότι υπάρχουν περίπου 1100 NEOs με διάμετρο μεγαλύτερη από 1 km και πάνω από 1000000 με διάμετρο μεγαλύτερη από 40 m (η διάσταση αυτή θεωρείται ότι είναι το όριο για την είσοδο του αντικειμένου διαμέσου της γήινης ατμόσφαιρας). Τα μεγαλύτερα NEO έχουν διάμετρο μικρότερη από 25 km. Υπάρχουν προφανώς πολλοί περισσότεροι κομήτες αλλά περνούν το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους σε μακρινές αποστάσεις από τη γη και τον ήλιο με αποτέλεσμα να αποτελούν μόλις το 10% στην απογραφή των μεγάλων αντικειμένων που χτυπούν τη γη και λιγότερο από 1% των NEO με διάμετρο μικρότερη του 1 Km.

Ποιος αναζητά τα NEO

Υπάρχουν αρκετές ερευνητικές ομάδες αστρονόμων παγκοσμίως που ερευνούν τον ουρανό με ηλεκτρονικές κάμερες για την αναζήτηση NEO. Το σύνολο των

επιστημόνων αυτών είναι παγκοσμίως λιγότεροι από 100. Η περισσότερη αποδοτική έρευνα για NEO μέχρι σήμερα είναι το πρόγραμμα LINEAR search του MIT Lincoln Lab στο New Mexico που υποστηρίζεται από την US Air Force και τη NASA. Η ερευνητική αυτή ομάδα διαθέτει δύο τηλεσκόπια ανίχνευσης με διάμετρο φακού 1 m και ανακαλύπτει περισσότερα αστεροειδή από όλες τις υπόλοιπες ερευνητικές ομάδες μαζί. Άλλες ομάδες είναι το NEAT search program στη Hawaii.

Μέχρι το τέλος του 2004 οι αστρονόμοι ανακάλυψαν πάνω από τα δύο τρίτα των μεγαλύτερων NEO (με διάμετρο μεγαλύτερη από 1 km). Κανένα από τα γνωστά αστεροειδή δεν αποτελεί απειλή αλλά δεν αποκλείεται η πρόβλεψη μιας ενδεχόμενης πρόσκρουσης από ένα άγνωστο μέχρι στιγμής αντικείμενο.

Ποιος είναι ο κίνδυνος της πρόσκρουσης

Δεν γνωρίζει κανείς πότε θα γίνει η επόμενη πρόσκρουση NEO στη γη μπορούν όμως να υπολογιστούν οι πιθανότητες. Στατιστικά, ο μεγαλύτερος κίνδυνος προέρχεται από ένα NEO με διάμετρο περίπου 2 km (ενέργειας 1 εκατομμυρίου megatons). Μια τέτοια πρόσκρουση κατά μέσο όρο γίνεται μια ή δύο φορές ανά 1000000 έτη και θα προκαλούσε μια παγκόσμιας κλίμακας καταστροφή που θα σκότωνε ένα σημαντικό αλλά άγνωστο τμήμα του πληθυσμού της γης. Αυτό σημαίνει ότι κάθε ένας από εμάς έχει μια πιθανότητα στις 40000 να χάσει τη ζωή του εξαιτίας της σύγκρουσης της γης με κάποιο αντικείμενο. Αν και οι στατιστικές αυτές εκτιμήσεις έχουν ενδιαφέρον δεν αποτελούν πρόγνωση αφού δεν μας ενημερώνουν για το πότε θα λάβει χώρα η επόμενη σύγκρουση (θα μπορούσε να γίνει από την επόμενη χρονιά έως και μετά από 1000000 έτη). Σκοπός του προγράμματος Spaceguard Survey δεν είναι να βελτιώσει τις στατιστικές αυτές αλλά να εντοπίσει κάθε μεμονωμένο αντικείμενο εξωγήινης προέλευσης που μπορεί να είναι σε τροχιά σύγκρουσης με τη γη.

Πόσο θα έχουμε προειδοποίηση

Σήμερα υπάρχουν πολλά NEO που παραμένουν ανεξερεύνητα οπότε είναι πιθανό να γίνει μια πρόσκρουση και να την διαπιστώσουμε μόλις πραγματοποιηθεί. Αν όμως οι τρέχουσες έρευνες ανιχνεύσουν ένα NEO το οποίο βρίσκεται σε τροχιά σύγκρουσης θα υπήρχε η δυνατότητα προειδοποίησης αρκετές δεκαετίες πριν το συμβάν. Αυτό είναι εφικτό γιατί κάθε NEO που ενδέχεται να χτυπήσει τη γη θα περάσει κοντά από τον πλανήτη μας αρκετές φορές πριν συγκρουστεί μαζί του και συνεπώς θα ανιχνευτεί από τους ερευνητές που αναζητούν τέτοια αντικείμενα.

Υπάρχει πρόβλημα με τα blind spots

Μερικοί αστρονόμοι υποστηρίζουν ότι ένα αστεροειδές μπορεί να χτυπήσει τη γη αν έρχεται από τα blind spots που δημιουργούνται από το ηλιακό φως ή το φως της σελήνης ή αν προσεγγίζει τη γη από το νότιο ημισφαίριο όπου δεν υπάρχουν παρατηρήσεις. Συνήθως όμως όλα τα αντικείμενα ανακαλύπτονται με καθυστέρηση έστω μερικών ετών όταν αποκτήσουν σαφέστερη και πιο ορατή θέση στην τροχιά τους.

Πως μπορούμε να προστατευτούμε

Η αποτελεσματικότερη προστασία είναι η καταστροφή των NEO πριν συγκρουστούν με τη γη. Πρώτο βήμα βέβαια είναι η ανίχνευση ενός τέτοιου αντικειμένου διότι είναι

προφανές ότι δεν μπορείς να προστατευθείς από κάτι που δεν γνωρίζεις την ύπαρξή του.

Επιπλέον χρειάζεται μια μακρά περίοδος προειδοποίησης (τουλάχιστον μιας δεκαετίας) ώστε να υπάρχει ο χρόνος σχεδιασμού και οργάνωσης αποστολής διαστημοπλοίων με σκοπό τη διασταύρωσή τους με το NEO και τον εξοστρακισμό του. Έχουν μελετηθεί πολλά αμυντικά σχέδια σε προκαταρκτικό όμως στάδιο και χωρίς λεπτομέρειες. Η γνώση του τόπου και του χρόνου μιας ενδεχόμενης πρόσκρουσης θα επέτρεπε τουλάχιστον την εξοικονόμηση τροφών και προμηθειών καθώς και την εκκένωση των περιοχών περιμετρικά του σημείου πρόσκρουσης όπου η καταστροφή θα ήταν μεγάλη.

Τι γίνεται με τις μικρότερες περισσότερο συχνές προσκρούσεις

Οι περισσότεροι ερευνητές ασχολούνται με τα NEO με διάμετρο μεγαλύτερη από 1 km που θεωρούνται αρκετά μεγάλων διαστάσεων και ότι μια πρόσκρουσή τους θα προκαλούσε παγκόσμιας κλίμακας οικολογική καταστροφή. Υπάρχουν όμως πολύ μικρότερα ανεξερεύνητα NEO που είναι πιθανό να χτυπήσουν τη γη σε κάποιο σημείο, εκλύοντας ενέργεια ίση με αυτή που εκλύεται κατά την έκρηξη μιας μεγάλης πυρηνικής βόμβας, κάποια στιγμή τους επόμενους 2 αιώνες. Η τελευταία τέτοια πρόσκρουση ήταν το 1909 στην Tunguska με ενέργεια 15 megatons.