

**ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ**  
**ΠΡΟΛΗΨΗΣ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ**

**ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΣΤΟ ΠΑΚΙΣΤΑΝ**  
**Ο ΣΕΙΣΜΟΣ 7.6R ΤΗΣ 8ης ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2005**

**ΕΥΘΥΜΙΟΣ ΛΕΚΚΑΣ**  
**Καθηγητής**  
**Δυναμικής Τεκτονικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας**

**ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΣΚΟΥΡΤΣΟΣ**  
**Δρ. Γεωλόγος**

**ΑΘΗΝΑ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2005**



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΡΟΛΗΨΗΣ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ**

## **ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΣΤΟ ΠΑΚΙΣΤΑΝ**

### **Ο ΣΕΙΣΜΟΣ 7.6R ΤΗΣ 8ης ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2005**

#### **ΕΥΘΥΜΙΟΣ ΛΕΚΚΑΣ**

Καθηγητής  
Δυναμικής, Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας  
e-mail: [elekkas@geol.uoa.gr](mailto:elekkas@geol.uoa.gr), Δικτυακός τόπος: [www.elekkas.gr](http://www.elekkas.gr)

#### **ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΣΚΟΥΡΤΣΟΣ**

Δρ. Γεωλόγος  
e-mail: [eskourt@geol.uoa.gr](mailto:eskourt@geol.uoa.gr)

**ΑΘΗΝΑ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2005**

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρωί της 8ης Οκτωβρίου 2005 και 8:50 AM τοπική ώρα (03:50:38 UTC) σεισμός μεγέθους 7.6R έλαβε χώρα στο βόρειο Πακιστάν. Το επίκεντρο του σεισμού, που είναι ο ισχυρότερος που εκδηλώθηκε στη χώρα από το 1935, ήταν κοντά στην πρωτεύουσα του Πακιστανικού Κασμίρ, το Muzaffarabad και εκτός από το βόρειο Πακιστάν, έγινε πολύ αισθητός στη βόρεια Ινδία και στο βορειοανατολικό Αφγανιστάν, προκαλώντας απώλειες χιλιάδων ανθρώπων και εκτεταμένες καταστροφές στα οικιστικά κέντρα και στις υποδομές.

Οι αρχές του Πακιστάν ανάφεραν πάνω από 87.000 νεκρούς και πενταπλάσιο αριθμό τραυματιών, ενώ σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, οι άστεγοι ανέρχονται σε τέσσερα εκατομμύρια περίπου. Τουλάχιστον 11.000 άνθρωποι πιστεύεται ότι χάθηκαν στο Muzaffarabad, όπου το 50% των κτιρίων κατέρρευσε, μαζί με το τοπικό στρατιωτικό νοσοκομείο, ενώ το 30-40% υπέστη ανεπανόρθωτες βλάβες. Πολλές μικρότερες πόλεις κυριολεκτικά ισοπεδώθηκαν, όπως η Balakot βορειοδυτικά της πρωτεύουσας του Κασμίρ, η Batagram και το Bagh. Στην πρωτεύουσα του Πακιστάν, το Islamabad, δύο πολυώροφα κτίρια κατέρρευσαν με αποτέλεσμα 28 νεκρούς και 82 τραυματίες, ενώ άλλα 50 περίπου κτίρια υπέστησαν ανεπανόρθωτες ζημιές.

Σημαντικές ζημιές αναφέρονται και στη Βορειοδυτική Ινδία, όπου πάνω από 2.500 κτίρια κατέρρευσαν και τουλάχιστον 1.300 άνθρωποι σκοτώθηκαν. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι πάνω από το 80% της συνοριακής πόλης Udi καταστράφηκε.

Δύο εβδομάδες μετά το σεισμό, πολλά χωριά στο εσωτερικό του Κασμίρ, παρέμεναν αποκλεισμένα καθώς το επαρχιακό οδικό δίκτυο είχε σχεδόν πλήρως καταστραφεί από εκτεταμένες κατολισθήσεις και καταπτώσεις βράχων. Ακόμη και ο ορεινός εμπορικός δρόμος του Karakorum, που συνδέει το Πακιστάν με τη Κίνα, έκλεισε από τις κατολισθήσεις.

Τις αμέσως επόμενες μέρες χιλιάδες άνθρωποι από τις ανωτέρω περιοχές διέσχισαν πεζή μεγάλες αποστάσεις για να φτάσουν στις πιο κοντινές πόλεις για αναζήτηση στέγης και τροφής, αναφέροντας ότι καμιά βοήθεια δεν έφτασε στα χωριά τους. Αν και από τις πρώτες στιγμές μετά την εκδήλωση του σεισμού, η διεθνής κοινότητα διέθεσε πάνω από 50 ελικόπτερα, εκτιμάται ότι ακόμη και δέκα ημέρες μετά, καμιά βοήθεια δεν είχε φτάσει τουλάχιστον στο 20% της περιοχής που επλήγη, καθώς τα ελικόπτερα δεν μπορούσαν να προσεγγίσουν, λόγω του μεγάλου υψόμετρου, του έντονου ανάγλυφου και των κακών καιρικών συνθηκών. Πολλές φορές η έλλειψη συντονισμού και οργάνωσης είχε ως αποτέλεσμα τη καθυστερημένη παραλαβή της βοήθειας που προσέφεραν πολλά κράτη και οργανώσεις και ως εκ τούτου και τη καθυστέρηση στη διανομή της.

## 2. ΤΟ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η περιοχή του Κασμίρ αποτελεί τμήμα της εντυπωσιακότερης ορογενετικής αλυσίδας της γης, των Ιμαλαίων. Η οροσειρά αυτή εκτείνεται από το κεντρικό Αφγανιστάν στα δυτικά, μέχρι την νοτιοανατολική Κίνα στα ανατολικά, έχοντας μήκος περίπου 4.000 km, και πλάτος από 500 έως 2.000 km (**Εικ. 1**). Στην οροσειρά ανήκουν πέντε από τις υψηλότερες οροσειρές της Γης, τα Ιμαλαΐα (Himalayan), το Καρακόραμ (Karakorum), ο Ινδικός Καύκασος (Hindu Kush), η οροσειρά Κουν-Λουν (Kün-Lun) στη νοτιοδυτική Κίνα και το Παμίρ (Pamir) στα βόρεια σύνορα Πακιστάν και Ινδίας. Το έντονο ανάγλυφο, οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες, μαζί με τα πολιτικά προβλήματα που υφίστανται, έχουν ως αποτέλεσμα, η περιοχή αν και παρουσιάζει τεράστιο γεωλογικό ενδιαφέρον, να είναι η λιγότερη μελετημένη παγκοσμίως.

Ειδικότερα, η οροσειρά των Ιμαλαίων αποτελεί μία πολύπλοκη τεκτονική συρραφή που προήλθε από πολλαπλές προσαιξήσεις ηπειρωτικών τεμαχών και νησιωτικών τόξων στο νότιο περιθώριο της Ευρασίας (**Εικ. 1**), διαδικασία που ξεκίνησε στο Ανώτερο Παλαιοζωικό και συνεχίζεται μέχρι σήμερα με την προσαύξηση της πλάκας της Ινδίας (**Hodges 2000, Lozios et al. 2004**). Τα

διάφορα διακριτά ηπειρωτικά τεμάχια ή τεκτονοστρωματογραφικά πεδία, διαχωρίζονται μεταξύ τους από ζώνες οφιολιθικών ουλών. Δυτικά της Ινδίας, ο ωκεάνιος φλοιός του βορειοδυτικού Ινδικού Ωκεανού, συνεχίζει ακόμη και σήμερα να υποβυθίζεται κάτω από το πρίσμα προσαύξησης της οροσειράς Μακράν (Makran) του νοτιοδυτικού Πακιστάν και του Ιράν. Το ανατολικό περιθώριο της περιοχής θεωρείται ότι είναι η μεγάλης κλίμακας κάμψη του ορογενετικού συστήματος στη ζώνη πτυχώσεων και επωθήσεων του Nagaland (**Εικ. 1**).

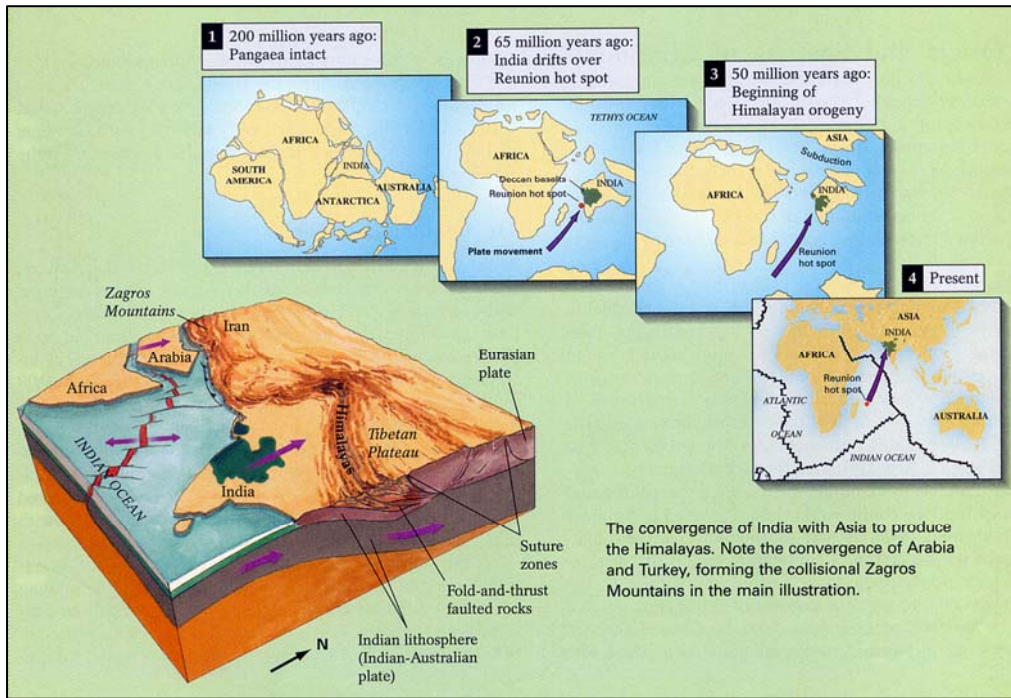
Από Βορρά προς Νότο τα κύρια τεκτονικά γνωρίσματα του κεντρικού και νότιου Θιβέτ είναι (**Hodges 2000, Banerjee & Bürgmann 2002**): **(i)** μία μικρο-ήπειρος ηλικίας Μέσου Παλαιοζωικού, γνωστή ως τέμαχος Κουν-Λουν (Kün-Lun), **(ii)** μία φλυσχική ακολουθία ηλικίας Περμίου – Κατωτέρου Ιουρασικού, η οποία αναφέρεται ως τεκτονοστρωματογραφικό πεδίο Σονγκπάν Γκανζί (Songpan Ganzi), **(iii)** μία μικρο-ήπειρος ηλικίας Μέσου Παλαιοζωικού – Ιουρασικού, γνωστή ως τέμαχος Γκουανγκτάνγκ (Quangtang) και **(iv)** η μικρο-ήπειρος Λάσα (Lhasa) ηλικίας Παλαιοζωικού – Μεσοζωικού.

Τα παραπάνω πεδία χωρίζονται από ασυνεχείς ζώνες υπερμαφικών πετρωμάτων, που θεωρείται ότι αντιπροσωπεύουν τμήματα ωκεάνιου φλοιού, που καλυμματοποιήθηκαν ορίζοντας σήμερα τις ζώνες συρραφής ανάμεσα στα προαναφερόμενα πεδία. Η ολοκλήρωση της συρραφής του Θιβέτ, έλαβε χώρα με την προσαύξηση του τεμάχους Λάσα στο Ανώτερο Ιουρασικό, το οποίο μαζί με τα νωρίτερα προσαυξημένα τεμάχια, αποτέλεσε το νοτιότερο περιθώριο της Ασίας πριν το πλησίασμα και την επακόλουθη σύγκρουση της πλάκας της Ινδίας, πριν από 60-50 Ma. Σήμερα, η πλάκα της Ινδίας χωρίζεται από τα προσαυξημένα τεμάχια του Θιβέτ από τη ζώνη συρραφής Ινδού – Γιαρλούγκ (Indus – Yarlung).

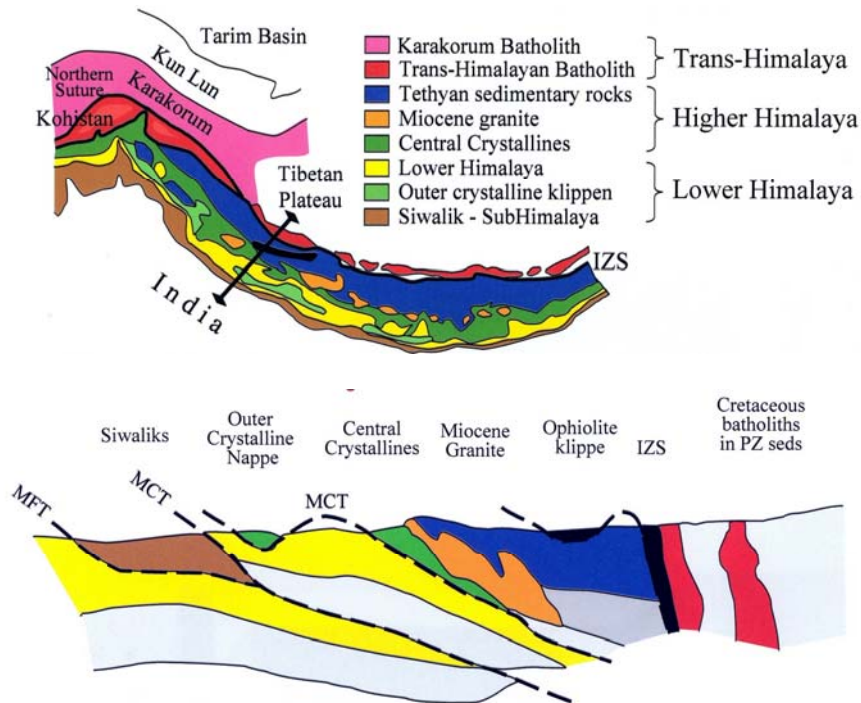
Τα Ιμαλάια απαντούν ανάμεσα στην ασπίδα της Ινδίας στα νότια και τη ζώνη συρραφής Ινδού – Γιαρλούγκ στα βόρεια (**Εικ. 1 & 2**). Αποτελούνται από τρεις τεκτονικές ενότητες, οι οποίες οριοθετούνται από τρία μεγάλα ρηξιγενή συστήματα (**Εικ. 2**) που κλίνουν προς Βορρά και είναι Καινοζωικής ηλικίας: **(i)** την Κύρια Περιθωριακή Επώθηση (Main Boundary Thrust-MBT), **(ii)** τη Κύρια Κεντρική Επώθηση (Main Central Thrust-MCT) και **(iii)** το Σύστημα Αποκόλλησης του Νότιου Θιβέτ (South Tibetan Detachment System-STDS).

Τα Χαμηλά Ιμαλάια (Lower Himalaya) συνιστούν το κατώτερο τεκτονικό κάλυμμα, το οποίο οριοθετείται στα νότια από την Κύρια Περιθωριακή Επώθηση και στα βόρεια από την Κύρια Κεντρική Επώθηση (**Εικ. 2**) και αποτελείται από μεταϊζηματογενή, ιζηματογενή και ηφαιστειακά πετρώματα, ηλικίας Μέσου Πρωτεροζωικού και γρανιτικά πετρώματα του Καμβρίου – Ορδοβισίου. Τα κρυσταλλικά πετρώματα των Μεγάλων Ιμαλαίων (Greater Himalaya) οριοθετούνται από την Κύρια Κεντρική Επώθηση και το Σύστημα Αποκόλλησης του Νοτίου Θιβέτ (**Εικ. 2**) και αποτελούνται από ιζηματογενή, γρανιτικά και ηφαιστειακά πετρώματα, ηλικίας Ανωτέρου Πρωτεροζωικού – Κατωτέρου Καμβρίου, που έχουν μεταμορφωθεί στο Τριτογενές. Τα Βόρεια Ιμαλάια ή Ιμαλάια της Τηθύος ή Θιβητιανά Ιμαλάια, (North Himalaya ή Tethyan Himalaya ή Tibetan Himalaya) κείτονται ανάμεσα στο Σύστημα Αποκόλλησης του Νοτίου Θιβέτ και τη ζώνη συρραφής Ινδού – Γιαρλούγκ (**Εικ. 2**). Αποτελούνται από ιζηματογενή και μεταϊζηματογενή πετρώματα, ηλικίας Ανωτέρου Προκαμβρίου – Κατωτέρου Παλαιοζωικού και από μεγάλο πάχος ακολουθίες των περιθωρίων, ηλικίας Πέρμιου -Κρητιδικού.

Η Ζώνη Πτυχώσεων και Εφιππεύσεων που απαντά νότια της MBT καλείται και Υπο-Ιμαλάια (Sub-Himalaya), δηλαδή πρόκειται για το τμήμα της νεογενούς και τεταρτογενούς λεκάνης προχώρας, που βρίσκεται ανάμεσα στα Χαμηλά Ιμαλάια και το ενεργό επωθητικό μέτωπο του ορογενούς (**Εικ. 2**). Η ζώνη αυτή έχει δημιουργηθεί ως αποτέλεσμα της υποβύθισης του κρατονικού τεμάχους της Ινδίας κάτω από το ίδιο το Φανεροζωικό του ιζηματογενές επικάλυμμα. Δύο μεγάλοι πάχους κλαστικές ακολουθίες διακρίνονται: μία κατώτερη ηλικίας Κατωτέρου Ηωκαίνου έως Κατωτέρου Μειοκαίνου από ιλυόλιθους και ψαμμίτες, η οποία καλείται Ομάδα Rawalpindi και μία ανώτερη από ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, ιλυόλιθους και αργίλους, ηλικίας Κατώτερου Μειόκαινου έως Πλειστόκαινου που καλείται Ομάδα Siwalik. Και στις δύο αυτές ομάδες το πάχος τους αυξάνει



**Εικ. 1.** Η σύγκρουση της πλάκας της Ινδίας με το νότιο περιθώριο της Ευρασιατικής πλάκας, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία της εντυπωσιακότερης οροσειράς στη γη, τα Ιμαλάια.



**Εικ. 2.** Τεκτονοστρωματογραφικός χάρτης των Ιμαλαίων και εγκάρσια τομή του ορογενούς με τις κυριότερες τεκτονικές επαφές.

προς τα βόρεια με αποτέλεσμα από 2 km κοντά στη μετωπική επώθηση της ζώνης, να φτάνει τα 10 km κοντά στα Χαμηλά Ιμαλαΐα. Το νότιο όριο των Υπο-Ιμαλαίων ορίζεται από την Κύρια Μετωπική Επώθηση (**Najman et al. 2001, 2002**).

### 3. ΤΑ ΠΑΚΙΣΤΑΝΙΚΑ ΙΜΑΛΑΪΑ

Στο βόρειο Πακιστάν, το ορογενές αποτελείται από τρία κύρια τεκτονοστρωματογραφικά πεδία (**Yeats & Hussain 1987, Butler et al. 1989, Chamberlain & Zeitler 1996, Wesnousky et al. 1999**): την πλάκα της Ασίας στα βόρεια, την πλάκα της Ινδίας στα νότια, και το νησιωτικό τόξο του Kohistan, συμπίεμένο ανάμεσα στα δύο προηγούμενα (**Εικ. 3**). Το τόξο του Kohistan διαχωρίζεται από την πλάκα της Ασίας από τη Βόρεια ή Shyok Ζώνη Ραφής και από την πλάκα της Ινδίας από την Κύρια Μανδυακή Επώθηση (Main Mantle Thrust). Η πλάκα της Ασίας, που αντιστοιχεί στην οροσειρά του Karakorum, διακρίνεται στο Βόρειο Ιζηματογενές Πεδίο (Northern Sedimentary Terrane) από σχηματισμούς ηλικίας Παλαιοζωικού - Μεσοζωικού, το Βαθόλιθο του Karakorum, ηλικίας Κρητιδικού έως Μειόκαινου και το Νότιο Μεταμορφικό Σύμπλεγμα (Southern Metamorphic Complex), από πετρώματα που έχουν υποστεί μεταμόρφωση, τόσο πριν όσο και μετά τη σύγκρουση, αλλά πριν από 37 Μα. Το τόξο του Kohistan αποτελείται από πλουτωνίτες Ανώτερου Κρητιδικού - Ηωκαίνου, πυροξενικούς γρανουλίτες, ασβεσταλκαλικούς ηφαιστίτες, αμφιβολίτες και λίγα μεταιζήματα.

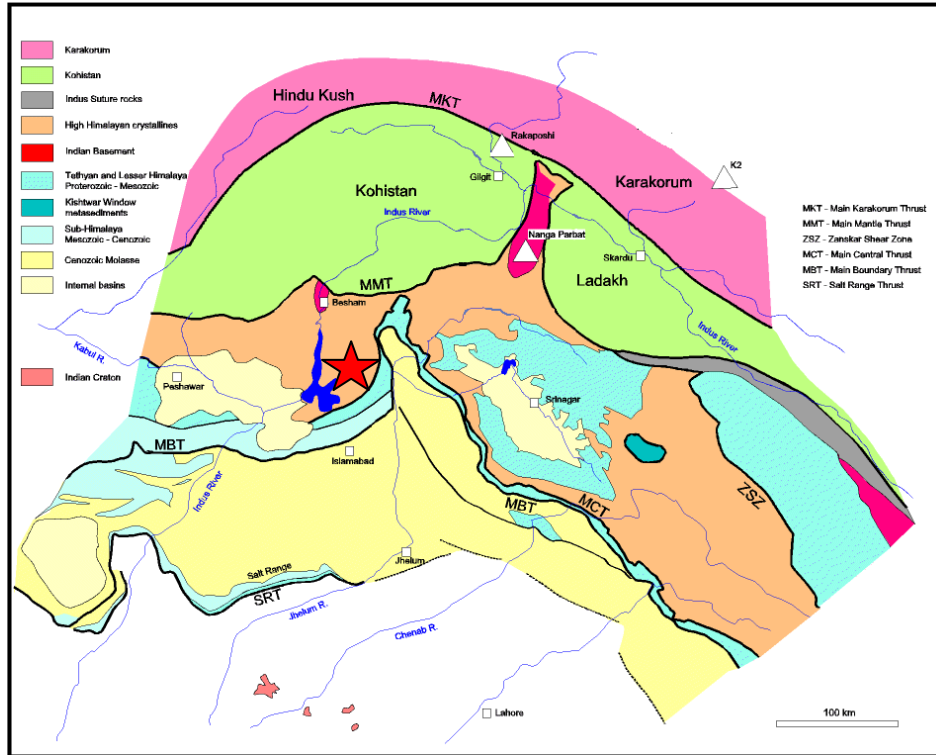
Η πλάκα της Ινδίας μπορεί να υποδιαιρεθεί σε τρεις κύριες τεκτονικές ενότητες, οι οποίες από το Βορρά προς το Νότο είναι: **(i)** η Εσωτερική μεταμορφωμένη Ενότητα, **(ii)** η Εξωτερική, αμεταμόρφωτη έως χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης Ενότητα και **(iii)** τα ιζήματα μίας λεκάνης προχώρας (**Εικ. 3**).

Η Εσωτερική Ενότητα αποτελείται από πετρώματα υποβάθρου μαζί με το υπερκείμενο ιζηματογενές επικάλυμμά τους. Τα πετρώματα υποβάθρου αποτελούνται από γνεύσιους, ενώ το ιζηματογενές επικάλυμμα χαρακτηρίζεται από μεταπηλίτες και μεταψαμμίτες πρασινοσχιστολιθικής έως αμφιβολιτικής φάσης μεταμόρφωσης. Παρατηρούνται επίσης, εκλογίτες και γρανιτικές διεισδύσεις ηλικίας Καμβρίου – Ορδοβισίου. Η Εσωτερική Ενότητα οριοθετείται από την Εξωτερική από την Επώθηση Pantzal, η οποία αντιστοιχεί στη MCT. Η Εξωτερική ενότητα αποτελείται από αμεταμόρφωτα και χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης ιζήματα, ηλικίας Προκάμβριου και από αποθέσεις της Τηθύος, ηλικίας Μεσοζωικού έως Ηώκαινου. Νοτιότερα, η MBT χωρίζει αυτά τα πετρώματα από τα τριτογενή ιζήματα της λεκάνης της προχώρας. Τέλος, η Κύρια Μετωπική Επώθηση (Main Frontal Thrust-MFT) ορίζει προς τα νότια τη Ζώνη Πτυχώσεων και Εφιππεύσεων της προχώρας.

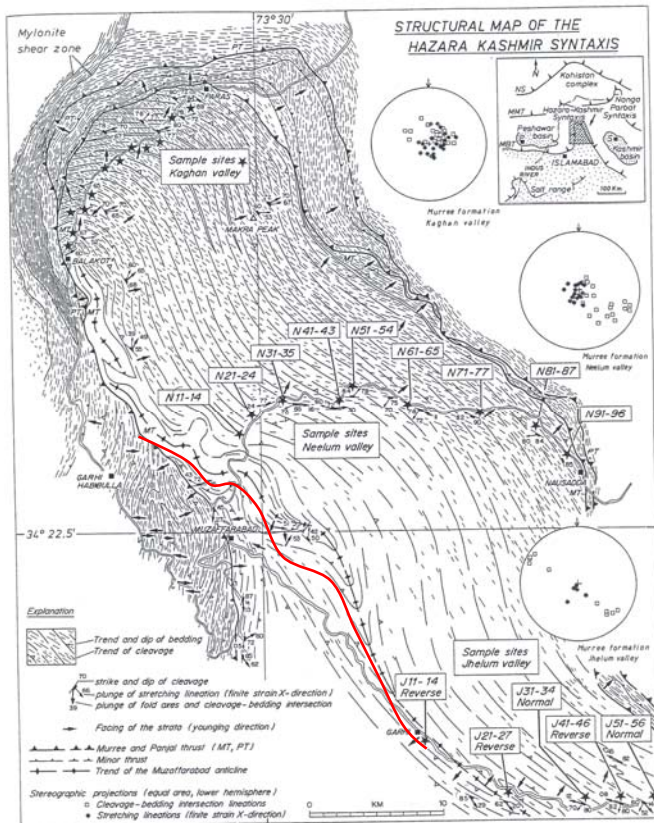
### 4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ HAZARA – KASHMIR SYNTAXIS

Η Hazara – Kashmir Syntaxis είναι μία τεκτονική δομή που δημιουργήθηκε λόγω της δεξιόστροφης περιστροφής της διεύθυνσης της επωθητικής κίνησης κατά 45° σχετικά με το κρατονικό τέμαχος της Ινδίας, κατά τη προοδευτική κάμψη του βορειοδυτικού άκρου της Ινδίας μέσα στην Ασία (**Critelli & Garzanti 1994, Najman et al. 2001, 2002**). Αποτελείται από μία καλυμματική στήλη από μεταιζήματα, ηλικίας Προκάμβριου – Μεσοζωικού των Χαμηλών Ιμαλαίων (Lesser Himalayan), τα οποία έχουν επωθηθεί προς τα νοτιοδυτικά πάνω στα ερυθρά στρώματα του σχηματισμού Murree, ηλικίας πιθανά Μειόκαινου (**Εικ. 3 & 4**).

Οι σχηματισμοί που βρίσκονται στο κάτω τέμαχος της επώθησης Murree αποτελούν τμήμα της Ζώνης Πτυχώσεων και Εφιππεύσεων της προχώρας της Ινδίας (**Baker et al. 1988, Jaune & Lillie 1988**). Η στρωματογραφία της ζώνης είναι από τα παλαιότερα προς τα νεότερα: **(i)** το Προκάμβριο υπόβαθρο από μεταμορφωμένα και ηφαιστειακά πετρώματα της ασπίδας της Ινδίας,



**Εικ. 3.** Γεωτεκτονικός χάρτης των Πακιστανικών Ιμαλαίων. Ο αστερίσκος αντιστοιχεί στο επίκεντρο του σεισμού της 8<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2005.



**Εικ. 4.** Τεκτονικός χάρτης της Hazara – Kashmir Syntaxis, στο βόρειο Πακιστάν. Η κόκκινη γραμμή αντιστοιχεί τη ρηξιγενή ζώνη που δραστηριοποιήθηκε την 8<sup>η</sup> Οκτωβρίου 2005, η οποία εντοπίζεται στο νοτιοδυτικό σκέλος της αντικλινικής δομής του Muzaffarabad.



(ii) ο σχηματισμός Salt Range, Κάμβριας ηλικίας από εβαπορίτες και ιζήματα με κυρίαρχη φάση τον υαλίτη, που συνιστά τη ζώνη αποκόλλησης της Ζώνης Πτυχώσεων και Εφιππεύσεων, (iii) πάνω από αυτόν απαντούν ιζήματα πλατφόρμας, ηλικίας Καμβρίου έως Ηωκαίνου με μεγάλες ασυμφωνίες στη βάση του Περμίου και στη βάση του Παλαιοκαίνου και τέλος (iv) μολασσικά ιζήματα (ηλικίας Μειοκαίνου – Πλειστοκαίνου) με ασυμφωνία πάνω στα ιζήματα της πλατφόρμας, που διακρίνονται σε δύο ομάδες, την Ομάδα Rawalpindi και την Ομάδα Siwalik. Ο σχηματισμός Murree ανήκει στην πρώτη Ομάδα.

Στο κάτω τέμαχος της επώθησης Murree, η οποία αντιστοιχεί στη Κύρια Περιθωριακή Επώθηση της Ινδίας, η δομή χαρακτηρίζεται από την αντικλινική δομή του Muzaffarabad (**Εικ. 4**). Στον πυρήνα του αντικλίνου, ανάμεσα στη Balakot και το Muzaffarabad, εμφανίζεται ο σχηματισμός Abbottabad, ο οποίος αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα με ενδιαστρώσεις πυριτιόλιθων και με στρωματολιθικούς ασβεστόλιθους, ηλικίας Ανώτερου Προκάμβριου – Κάμβριου (**Bossart et al. 1988**). Αυτός υπόκειται ασύμφωνα των ασβεστόλιθων Lockhart, πάχους 400 m που έχουν αποθεθεί σε περιβάλλον ρηχών νερών, ηλικίας Παλαιοκαίνου. Οι τελευταίοι μεταβαίνουν στον σχηματισμό Patala από κλαστικά ιζήματα με ενδιαστρώσεις μαργαϊκών ασβεστόλιθων, ηλικίας Παλαιοκαίνου – Κατώτερου Ηώκαινου. Στη συνέχεια μεταβαίνει στον σχηματισμό Murree από ερυθρά ιλυώδη στρώματα, στη βάση του οποίου παρατηρούνται και βιοκλαστικοί ασβεστόλιθοι με βενθονικά απολιθώματα, ηλικίας Κατωτέρου Ηώκαινου. Νεότερα δεδομένα από τον σχηματισμό Balakot, το κατώτερο τμήμα του Murree, δείχνουν ότι το τμήμα του αυτό είναι νεότερο των 37 Ma και οι προηγούμενες επαφές είναι τεκτονικής προέλευσης και μάλιστα επωθητικές με κίνηση προς τα νοτιοδυτικά (**Najman et al. 2000, 2001, 2002, 2004**).

## 5. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ – ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

Το Πακιστάν βρίσκεται σε μία περιοχή υψηλής σεισμικότητας, όπου ένας μεγάλος αριθμός σεισμών έχει προκαλέσει σημαντικές απώλειες και καταστροφές. Η σεισμική δραστηριότητα στη χώρα εντοπίζεται κυρίως στο βόρειο και δυτικό τμήμα της, κατά μήκος της ζώνης σύγκρουσης της Ινδίας και της Ευρασίας, όπου απαντούν αρκετά ενεργά ρήγματα. Τέτοια ρήγματα είναι του Chaman, στα δυτικά σύνορα του Πακιστάν με το Αφγανιστάν, το ρήγμα Allah Bund στο νότιο Πακιστάν, κοντά στο Karachi, το οποίο προκάλεσε την ισοπέδωση της πόλης Bhanbhor τον 13ο αιώνα και το ρήγμα Rubb κοντά στις ακτές του Makran. Οι παράκτιες περιοχές έχουν πληγεί κατά το παρελθόν και από μεγάλα θαλάσσια κύματα βαρύτητας (tsunamis), όπως το 1945, όταν μετά από έναν υποθαλάσσιο σεισμό μεγέθους 7.9, αναφέρθηκαν κύματα ύψους 12 m. Ο σεισμός αυτός εκδηλώθηκε στη ζώνη, όπου η πλάκα της Αραβίας υποβυθίζεται κάτω από τη μικροπλάκα του Ιράν (**Billham et al. 2001, Billham 2004**).

Στο πρόσφατο παρελθόν εκδηλώθηκαν μεγάλοι καταστροφικοί σεισμοί, όπως ο σεισμός Quetta το 1935, ο οποίος είναι ο μεγαλύτερος σεισμός που έχει σημειωθεί στη χώρα, μεγέθους Mw 8.1, με 35.000 θύματα και ο σεισμός Pattan του 1974, με περίπου 6.000 θύματα (**MonaLisa & Khwaja 2004**). Επίσης, ο σεισμός Darel Valley το 1981 προκάλεσε σημαντικές καταστροφές.

Το Πακιστάν έχει υποδιαιρεθεί από το Τμήμα Μετεωρολογίας σε τέσσερις σεισμικές ζώνες με βάση την αναμενόμενη επιτάχυνση. Οι πιο ευαίσθητες περιοχές είναι η επαρχία Balochstar στην ευρύτερη περιοχή της Quetta η οποία εκτείνεται μέχρι τα σύνορα με το Αφγανιστάν και το δυτικό τμήμα του Balochistan, που περιλαμβάνει και την ακτή του Makran. Στις περιοχές αυτές η μέγιστη επιτάχυνση εδάφους που αναμένεται είναι της τάξης 0.24g έως 0.4g. Ανάλογες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης αναμένονται και για την περιοχή της Northwest Frontier Province και γύρω από το Karachi. Τα μεγάλα αστικά κέντρα Islamabad, Peshawar και Rawalpindi ανήκουν στη Ζώνη 2 που χαρακτηρίζεται ως ζώνη σημαντικού σεισμικού κινδύνου με αναμενόμενο μέγεθος σεισμού 6.0 – 7.0 R και επιτάχυνση εδάφους 0.15 – 0.3g. Αυτές οι τιμές μειώνονται προς τα σύνορα με την Ινδία.



Στην ευρύτερη περιοχή που επλήγη από τον σεισμό της 8ης Οκτωβρίου 2005, δεν είχε κατά το ιστορικό ή πρόσφατο παρελθόν, καταγραφεί σεισμός μεγέθους μεγαλύτερου των 6.0 R. Σε σύγκριση μάλιστα με την οροσειρά του Ινδικού Καύκασου, περίπου 350 km βορειοδυτικά από το επίκεντρο, το Πακιστανικό Κασμίρ μπορεί να χαρακτηριστεί ως περιοχή χαμηλής σεισμικότητας. Ιστορικά αναφέρονται τρεις σεισμοί ανάλογου μεγέθους, το 1937 με μέγεθος 7.3 R, το 1928 με μέγεθος 6.8 R και αρκετά αργότερα, το 1974 με Mw 6.2. Από τότε μέχρι και σήμερα οι σεισμοί με μέγεθος μεταξύ 5.0 R και 6.0 R, ήταν μόλις πέντε (**Gahalaut 2005**).

Οι μηχανισμοί γένεσης των σεισμών της περιοχής δείχνουν ότι οι ενεργές δομές είναι ρήγματα ανάστροφα, οριζόντιας ολίσθησης και επωθήσεις (**Ambruster et al. 1978**) κάτι αναμενόμενο, καθώς, πρόκειται για μία περιοχή που χαρακτηρίζεται από σύγκρουση δύο πλακών.

## 6. Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΗΣ 8ης ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2005

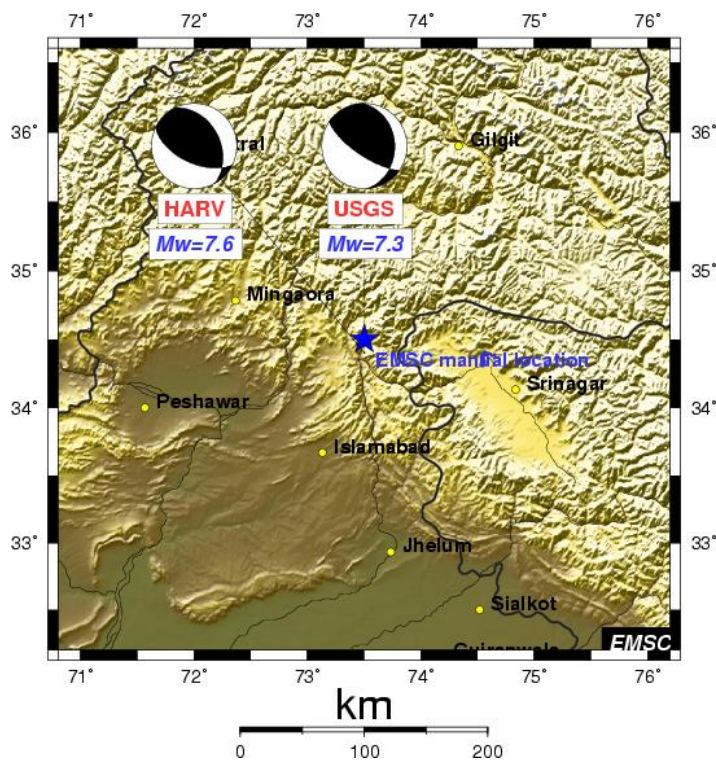
Το επίκεντρο του σεισμού της 8ης Οκτωβρίου τοποθετείται στο Πακιστανικό Κασμίρ, 19 km βορειοανατολικά του Muzaffarabad, της πρωτεύουσας του Πακιστανικού Κασμίρ και περίπου 90 km βόρεια της πρωτεύουσας του Πακιστάν, Islamabad (**Εικ. 5**). Το βάθος του σεισμού ήταν μόλις 25 km προερχόμενο από ένα επωθητικό ρήγμα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ (B333°) και κλίσης 37° προς τα ΒΑ. Η ολίσθηση του ρήγματος πάνω στη διάρρηξη κυμαίνεται ανώμαλα από 1-6 m, ενώ οι διαστάσεις του επιπέδου υπολογίζονται περίπου σε 90-100 km X 35-50 km (**Chen 2005**). Η στιγμιαία απελευθέρωση ενέργειας ήταν της τάξης  $2.1 \times 10^{27}$  dyne\*cm. Η μέση ολίσθηση, βάσει των γεωμετρικών διαστάσεων του ρήγματος και του μεγέθους του, είναι σχεδόν 2 m, αν και το Harvard CMT αναφέρει 1.4 m (**Εικ. 5**).

Στις επόμενες 15 ημέρες, μετά τον κύριο σεισμό, εκδηλώθηκε σημαντικός αριθμός μετασεισμών (μόνο την πρώτη ημέρα 147 μετασεισμοί έγιναν αισθητοί) από τους οποίους πάνω από 12 είχαν μέγεθος μεγαλύτερο των 5.5 R, ενώ τρεις σεισμοί είχαν μέγεθος μεγαλύτερο των 6.0 R, ο μεγαλύτερος από των οποίων ήταν 6.2 R και εκδηλώθηκε τη Δευτέρα 11 Οκτωβρίου. Επίσης, 978 μετασεισμοί είχαν μέγεθος πάνω από 4.0 R (**USGS 2005**). Ακόμη και σήμερα περίπου δύο μήνες μετά την εκδήλωση του σεισμού, η μετασεισμική δραστηριότητα συνεχίζεται. Η μετασεισμική ακολουθία εντοπίζεται σε μία εκτεταμένη περιοχή ΒΔ του κύριου σεισμού.

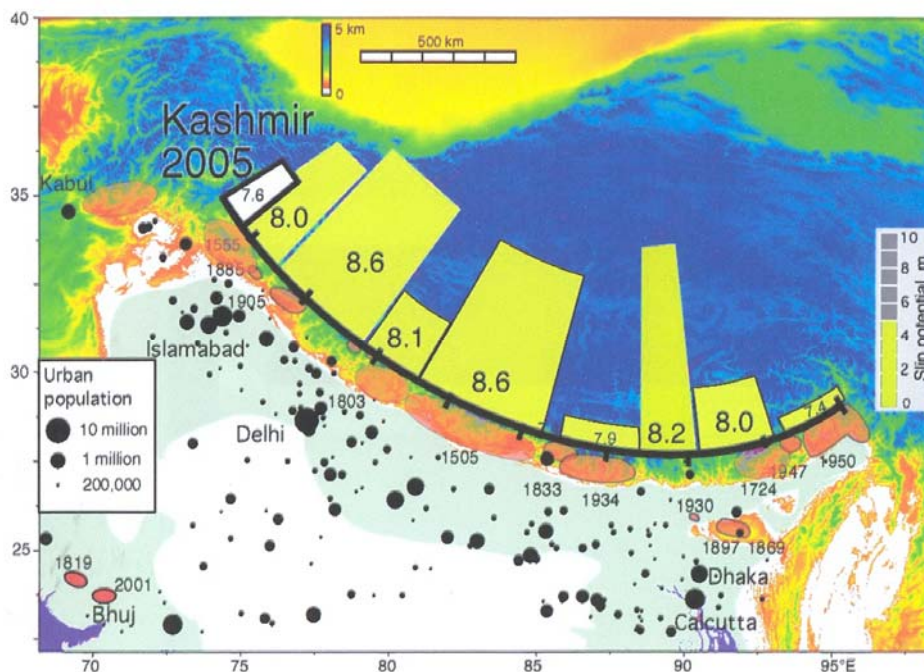
Επιφανειακές διαρρήξεις, που σχετίζονται με τον σεισμό της 8ης Οκτωβρίου 2005 παρατηρήθηκαν για ένα συνολικό μήκος της τάξης των 35-40 km, ανάμεσα στις πόλεις Balakot και Muzaffarabad. Οι επιφανειακές διαρρήξεις κατανέμονται σε μία ζώνη αρκετών δεκάδων μέτρων, κατά μήκος του δυτικού – νοτιοδυτικού σκέλους της αντικλινικής δομής του Muzaffarabad. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από σχετικά απότομες κλιτείς με πολλά αλλουβιακά ριπίδια, που διασχίζονται από πολλές, αλλά σχετικά μικρές, κοιλάδες. Επίπεδα διατμητικών ζωνών πάνω στις οποίες έλαβε χώρα η ολίσθηση, παρατηρήθηκαν σε μία μόνο θέση, καθώς στις περισσότερες των περιπτώσεων, αυτά καλύπτονταν από σημαντικού πάχους αλλουβιακά ριπίδια και πλευρικά κορήματα. Αντίθετα, σε πολλές περιπτώσεις παρατηρήθηκαν δομές πτυχωσιγενούς ολίσθησης (flexural-slip folding) στα αλλουβιακά ριπίδια και στις ποτάμιες αναβαθμίδες, όπου αποθέσεις ικανού πάχους κάλυπταν ασύμφωνα το αλπικό υπόβαθρο. Συχνή ήταν η παρουσία εφελκυστικών ρωγμών, οι περισσότερες από τις οποίες είχαν δημιουργηθεί στη κορυφαία περιοχή των δομών πτυχωσιγενούς ολίσθησης (**Εικ. 7 & 8**).

Ανάμεσα στις πόλεις Balakot και Muzaffarabad, δυτικά του επικέντρου του κύριου σεισμού και κατά μήκος των δυτικών και νοτιοδυτικών πλαγιών των ορεινών όγκων της περιοχής, παρατηρήθηκαν πολλοί νέοι κώνοι κορημάτων, οι οποίοι δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια της σεισμικής δόνησης (**Εικ. 8**). Αντίθετα, οι παλαιότεροι κώνοι του Πλειστοκαίνου παρουσιάζουν χαρακτηριστικά παραμόρφωσης και πτύχωσης, ως να έχουν διογκωθεί.

Στα βόρεια όρια της πόλης του Muzaffarabad η ρηξιγενής ζώνη που έδωσε το σεισμό της 8ης Οκτωβρίου 2005, προκάλεσε τη καταστροφή του οδικού άξονα, που είναι παράλληλος του



Εικ. 5. Το επίκεντρο του κύριου σεισμού και ο μηχανισμός γένεσης, σύμφωνα με το **USGS** και το **Harvard**.



Εικ. 6. Ο σεισμός της 8<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2005 στο Κασμίρ, έλαβε χώρα στο ΒΔ άκρο της Κύριας Περιθωριακής Επώθησης των Ιμαλαΐων, συμπληρώνοντας το σεισμικό κενό που υπήρχε στην περιοχή αυτή (**Bilham et al. 2001**).

**Εικ. 7.** Άποψη μέρους της σεισμικής ρηξιγενούς ζώνης. Στην πάνω φωτογραφία διακρίνονται εφελκυστικές ρωγμές στο κορυφαίο τμήμα της πτυχωσιγενούς παραμόρφωσης. Στη κάτω φωτογραφία διακρίνεται η μορφολογική ασυνέχεια στην ολοκαινική αναβαθμίδα που δημιουργήθηκε από πτυχωσιγενής ολίσθηση κατά μήκος του ρήγματος.



**Εικ. 8.** Άποψη μέρους του μετώπου της ρηξιγενής ζώνης, βόρεια του Muzaffarabad που συνοδεύτηκε από τη δημιουργία τεράστιων κώνων κορημάτων. Το πρηνές αποτελείται από ασβεστόλιθους, ηλικίας Κάμβριο (πάνω φωτογραφία). Άποψη από νοτιοδυτικά της ρηξιγενούς ζώνης που έδωσε το σεισμό της 8 Οκτωβρίου 2005 στο βόρειο Πακιστάν (κάτω φωτογραφία).



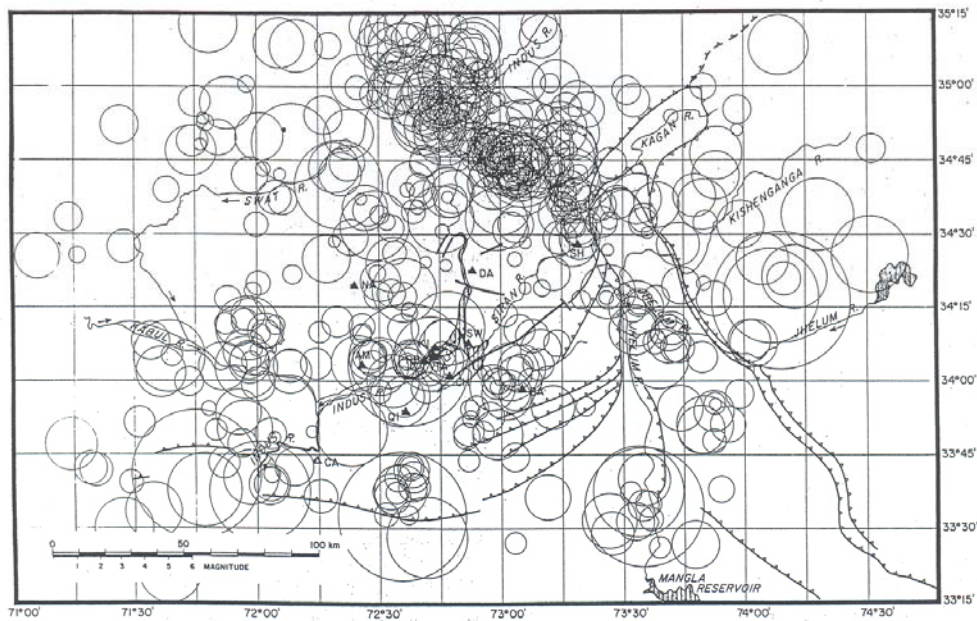
ποταμού Jhalum, έχει μετατοπίσει την επίπεδη επιφάνεια μίας ολοκαινικής αναβαθμίδας (**Εικ. 7**) και έχει καταστρέψει μία καλωδιωτή γέφυρα. Συγκεκριμένα ο δρόμος ακολουθώντας την παραμόρφωση του γεωλογικού του υποβάθρου, ανυψώθηκε περίπου 3.0-4.0 m. Η ανύψωση παρατηρείται σε μία ζώνη πλάτους 30 m, όπου στα πρώτα 20 m γίνεται χωρίς θραύση του, αντίθετα με τα τελευταία 10 m στα οποία διακρίνονται εφελκυστικές διαρρήξεις. Πρόκειται για ανοικτές ρωγμές κάθετες στο δρόμο, παράλληλες μεταξύ τους, πλάτους 15-20 cm, οι οποίες συνοδεύονται από κατακόρυφο άλμα 20-30 cm. Οι διαρρήξεις δημιουργήθηκαν στο κορυφαίο τμήμα της κάμψης του ασφαλτωμένου δρόμου και του γεωλογικού του υποβάθρου και έφτασαν σε βάθος περίπου μισού μέτρου. Στο δυτικό πρηνές του δρόμου διακρίνονται κατακερματισμένοι ασβεστόλιθοι του Καμβρίου, οι οποίοι στο εσωτερικό τους φέρουν πρόσφατες διαρρήξεις, ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης και κλίσης 30-35° προς τα ΒΑ, οι οποίες δεν συνοδεύονται πάντοτε από ολίσθηση.

Ανάλογες δομές με αυτές που παρατηρήθηκαν στο δρόμο, διακρίνονται και πιο ανατολικά, στην αναβαθμίδα του ποταμού Jhelum, οι οποίες είναι σαφώς πιο εντυπωσιακές (**Εικ. 7**). Κατά μήκος του ρήγματος η αναβαθμίδα διακόπτεται από μία μορφολογική ασυνέχεια ύψους περίπου 12-15 m. Οι δομές που έχουν δημιουργηθεί φέρουν καθαρά χαρακτηριστικά πτυχωσιγενούς ολίσθησης. Οι κροκάλες που σχηματίζουν την αναβαθμίδα έχουν υποστεί περιστροφή και ολίσθηση, ενώ και η βλάστηση που υπήρχε στις θέσεις αυτές ακολούθησε κι αυτή την πτύχωση του γεωλογικού υποβάθρου. Τα κορυφαία τμήματα των δομών έχουν διαρρηχθεί από ανοικτές εφελκυστικές ρωγμές, οι οποίες προκάλεσαν την πλήρη καταστροφή όλων των οικοδομημάτων που είχαν θεμελιωθεί στην αναβαθμίδα. Το μήκος των ρωγμών κυμαίνεται από 8-30 m, το άνοιγμά τους 5-30 cm, ενώ το βάθος στο οποίο έχουν διαδοθεί είναι μεγαλύτερο του ενός μέτρου. Το γεγονός ότι το ύψος της μορφολογικής ασυνέχειας της αναβαθμίδας, είναι αρκετά μεγαλύτερο, σχεδόν τριπλάσιο από το άλμα που παρατηρείται στο δρόμο και από αυτό που υπολογίζεται με τα χαρακτηριστικά του σεισμού, δείχνει ότι το ρήγμα πρέπει να έχει επαναδραστηριοποιηθεί κατά το πρόσφατο παρελθόν, καθώς η ηλικία της αναβαθμίδας είναι ολοκαινική. Η διαπίστωση αυτή ενισχύεται και από την ύπαρξη δύο μικρότερων μορφολογικών σπασιμάτων, μπροστά από το μέτωπο του ρήγματος, με ύψος περίπου ένα με ενάμισι μέτρο, τα οποία δείχνουν και είναι αρκετά παλαιότερα.

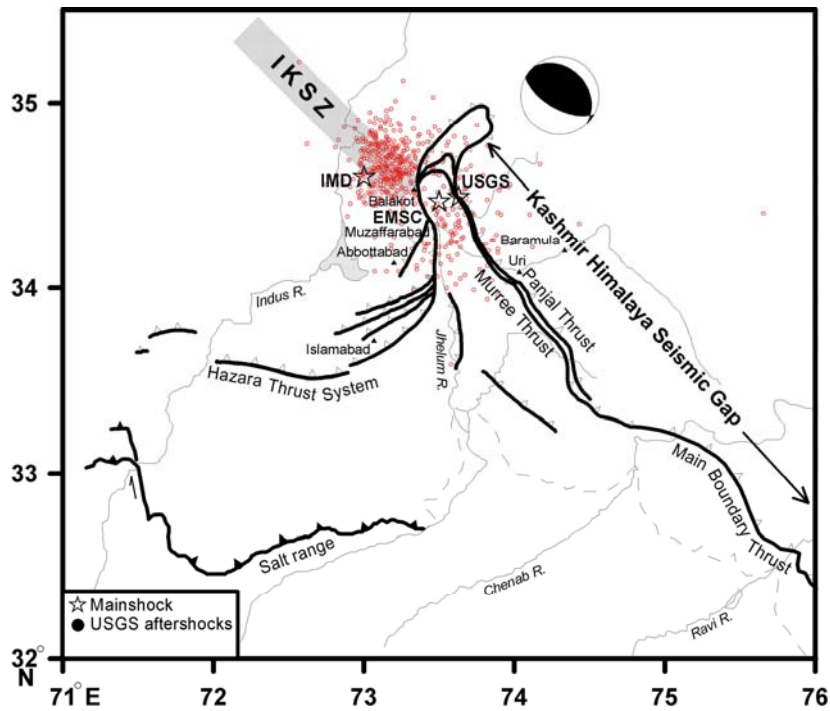
Όσον αφορά τη σεισμική ρηξιγενή ζώνη το γεγονός ότι το επίκεντρο του σεισμού τοποθετείται στον πυρήνα της Σύνταξης, πρακτικά σημαίνει ότι ο σεισμός δεν μπορεί να αποδοθεί στα μεγάλα ρηξιγενή συστήματα της περιοχής, ήτοι στη MBT και στη MCT, καθώς ο χώρος του επίκεντρου ανήκει στα Υπο – Ιμαλάια, που συνιστούν το κάτω τέμαχος της MBT. Επίσης, ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού, όπως δόθηκε από το USGS και το Harvard, αντιστοιχεί σε ένα ΒΔ διεύθυνσης ανάστροφο ρήγμα, που κλίνει προς τα ΒΑ και το οποίο παρουσιάζει και ελαφρά δεξιόστροφη οριζόντια κίνηση. Τα επίκεντρα της μετασεισμικής ακολουθίας, εντοπίζονται βορειοδυτικά της Σύνταξης και βορειοανατολικά μίας σεισμικής ζώνης που εντοπίστηκε από τους **Armbruster et al. (1977)** κατά τη διάρκεια μικροσεισμικής έρευνας και η οποία ονομάστηκε Σεισμική Ζώνη Ινδού – Κοχιστάν (Indus – Kohistan Seismic Zone) (**Εικ. 9 & 10**).

Η Σεισμική Ζώνη Ινδού – Κοχιστάν είναι μία ζώνη πλάτους 20-40 km και μήκους 100 km, η οποία εκτείνεται από τον ποταμό Kagan στα νοτιοανατολικά μέχρι τον ποταμό Swat στα βορειοδυτικά (**Εικ. 9 & 10**). Η Ζώνη διασχίζει τον Ινδό ποταμό εκεί όπου αυτός κάμπτεται απότομα προς τα ανατολικά και δημιουργεί ένα βαθύ φαράγγι ανάμεσα σε όρη που φτάνουν τα 3.000 m. Αυτά τα βουνά είναι μέρος ενός ευθύγραμμου τοπογραφικού μετώπου, που σχηματίζει την οροσειρά Pir Panjal και εκτείνεται από το Κασμίρ μέχρι το Swat ποταμό. Το τοπογραφικό αυτό μέτωπο συμπίπτει με το ανυψωμένο τέμαχος της MBT κατά μήκος του Κασμίρ και με τη Σεισμική Ζώνη Ινδού – Κοχιστάν βορειοδυτικά της Σύνταξης. Η σεισμική αυτή ζώνη μαζί τα υψηλά όρη, σχηματίζουν μία ευθεία προέκταση της MBT βορειοδυτικά του Κασμίρ, όπου αυτή κινείται κυκλικά της Σύνταξης και ενώνεται με το ρηξιγενές σύστημα της Hazara.

Η Σεισμική Ζώνη σχετίζεται με ένα επωθητικό ρήγμα, ή ομάδα επωθητικών ρηγμάτων, τα οποία είναι παράλληλα και ευθυγραμμισμένα με την MBT ανατολικά της Σύνταξης και επομένως, με μία



**Εικ. 9.** Η μικροσεισμική έρευνα έδειξε την ύπαρξη μίας σεισμικής ζώνης διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, η οποία ονομάστηκε από τους **Ambruster et al. (1978)**, Σεισμική Ζώνη Ινδού – Κοχιστάν.



**Εικ. 10.** Ο σεισμός της 8<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2005 στο Κασμίρ και η μετασεισμική ακολουθία του. Διακρίνεται η σχέση της μετασεισμικής ακολουθίας με την Σεισμική Ζώνη Ινδού – Κοχιστάν.

έννοια, η ζώνη αυτή αποτελεί συνέχεια της MBT. Ωστόσο, αυτές οι δύο δομές δε μπορούν να ταυτιστούν καθώς η τεκτονική τους εξέλιξη είναι τελείως διαφορετική, ακόμη και αν η Σεισμική Ζώνη και η MBT φαίνεται να αποτελούν μία ενιαία ενεργή ρηξιγενή ζώνη.

Οι **Seeber et al. (1981)** πρότειναν την ύπαρξη μίας βασικής επώθησης, η οποία χωρίζει τη μικρής κλίσης και σεισμικά ενεργή αποκόλληση, κάτω από τα Εξωτερικά και Χαμηλά Ιμαλάια, από την πιο μεγάλης κλίσης και σεισμικά ανενεργή, επώθηση κάτω από τα Υψηλά Ιμαλάια. Ακόμη βορειότερα, κάτω από τα Ιμαλάια εκτείνεται πέρα από τη Σύνταξη και ενώνεται με τη Σεισμική Ζώνη. Πρότειναν, επίσης, ότι η μικρής κλίσης επώθηση, στη βάση του Salt Range, εκτείνεται βορειότερα και συνδέεται με τη σεισμικότητα βόρεια του ρηξιγενούς συστήματος της Hazara, σχηματίζοντας μία τεράστια αποκόλληση σε όλη αυτή τη περιοχή. Αυτή η αποκόλληση, πλάτους 200-300 km, ενώνεται με τη Σεισμική Ζώνη και εκτείνεται πέρα από αυτήν. Η παρουσία του υαλίτη δημιούργησε τη κάμψη της Σύνταξης και το μεγάλο πλάτος της αποκόλλησης.

Αρκετοί σεισμοί ενδιάμεσου μεγέθους έχουν λάβει χώρα στη Σεισμική Ζώνη, από τους οποίους ο πιο καταστροφικός ήταν αυτός της 28 Δεκεμβρίου 1974, μεγέθους 6.0 R κοντά στο Pattan στο βόρειό της άκρο. Ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού και άλλων έξι ενδιάμεσου μεγέθους από το 1976, δείχνουν ανάστροφη κίνηση πάνω σε ένα επίπεδο που βυθίζεται προς τα βορειοανατολικά, με μία ελαφριά δεξιόστροφη πλευρική κίνηση, μηχανισμός που είναι ανάλογος με αυτούς της σεισμικής ακολουθίας της 8ης Οκτωβρίου 2005. Η σεισμική ζώνη χαρακτηρίζεται από μεγάλες κλίσεις της τάξης των 30-50°.

Από τη κατανομή των βλαβών φαίνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των καταστροφών κατανέμεται κατά μήκος μίας ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, που αρχίζει από το Uri στα σύνορα Ινδίας – Πακιστάν και φτάνει μέχρι το ανατολικό τμήμα της Σεισμικής Ζώνης Ινδού- Κοχιστάν, όπου και ταυτίζεται με τα επίκεντρα της μετασεισμικής ακολουθίας. Αυτό δείχνει ότι η διάρρηξη κατά τον κύριο σεισμό έγινε κατά μήκος του νοτιοδυτικού σκέλους της αντικλινικής δομής του Muzaffarabad, όπου και εμφανίζονται στην επιφάνεια ανθρακικά πετρώματα της προχώρας, ενώ ακολούθως η σεισμικότητα μετανάστευσε βορειοδυτικά στην Σεισμική Ζώνη Ινδού – Κοχιστάν.

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι η προέκταση αυτής της ζώνης προς τα νοτιοανατολικά δεν είναι η Κύρια Περιθωριακή Επώθηση αλλά η αντικλινική δομή του Muzaffarabad η οποία φαίνεται να βρίσκεται στο πάνω τέμαχος ενός επωθητικού ρήγματος με γεωμετρία και κινηματικά χαρακτηριστικά ανάλογα με αυτά που περιέγραψαν οι **Ambruster et al. (1977)** για την Σεισμική Ζώνη Ινδού – Kohistan. Η Ζώνη αυτή φαίνεται από τη Σύνταξη μέχρι τον ποταμό Swat να συνιστά μία τυφλή επώθηση κάτω από τα μεταμορφωμένα πετρώματα των Χαμηλών Ιμαλαίων, ενώ στην περιοχή των Υπο-Ιμαλαίων παύει να είναι ένα τυφλό ρήγμα και αποτελεί πλέον μία διακριτή δομή, η οποία δημιουργεί την αντικλινική δομή του Muzaffarabad. Κατά την άποψή μας, το επωθητικό αυτό ρήγμα ενώνεται στο βάθος με την αποκόλληση των **Seeber et al. (1981)**, η οποία φαίνεται πράγματι να επεκτείνεται κάτω αλλά και βορειότερα της Σύνταξης.

## 7. ΣΥΝΟΔΑ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Ταυτόχρονα με τη σεισμική δόνηση των 7.6 R, στην ευρύτερη περιοχή εκδηλώθηκαν γεωδυναμικά φαινόμενα, τα περισσότερα από τα οποία σχετίζονταν με τη γενικότερη αστάθεια των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής. Πρόκειται για κατολισθήσεις, καταπτώσεις βραχωδών μαζών, καθιζήσεις, ροές κορημάτων και πλευρικές εκτάσεις με ταυτόχρονη δημιουργία εδαφικών ρωγμών, ενώ παρατηρήθηκαν και αλλαγές στην κοίτη των ποταμών.

Ο μεγαλύτερος αριθμός κατολισθήσεων εκδηλώθηκε στο Πακιστανικό Κασμίρ σε μία έκταση εκατοντάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων, η οποία αντιστοιχεί στις εμφανίσεις των σχηματισμών που δομούν τα Υπο-Ιμαλάια. Πρόκειται για ασβεστόλιθους και πηλίτες, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από ισχυρή τεκτονική καταπόνηση, παχύ μανδύα αποσάθρωσης και έντονη κατά βάθος διάβρωση, με βαθιές και απότομες κοιλάδες, οι οποίες καλύπτονται κατά θέσεις από ποτάμιες



αναβαθμίδες και εντυπωσιακά πλευρικά κορήματα. Πολλές από τις κατολισθήσεις είναι συγκεντρωμένες σε μία ζώνη, πλάτους 10 km και μήκους 80 km, που αντιστοιχεί στην αντικλινική δομή του Muzaffarabad (**Εικ. 11, 12 & 13**). Οι μορφολογικές κλίσεις των κλιτύων που είχαν υποστεί κατολισθήσεις ποικίλουν από θέση σε θέση και ειδικά σε περιοχές έντονης αποσάθρωσης οι κλίσεις δεν υπερέβαιναν το 50%. Σε πολλές θέσεις ο όγκος των μετακινούμενων υλικών αντιστοιχούσε σε μερικά εκατομμύρια κυβικά μέτρα, όπως π.χ. στις επαρχίες Bagh και Muzaffarabad, όπου ολόκληρες πλαγιές, ύψους >2000 m και πλάτους 1000 m κατολίσθησαν φράζοντας προσωρινά την κοίτη των ποταμών Neelum και Jhelum. Ένας ειδικός τύπος κατολισθήσεων αναπτύχθηκε κατά μήκος της σεισμικής ζώνης, δίδοντας ένα εντυπωσιακό χαρακτήρα στη θραύση.

Οι καταπτώσεις εκδηλώθηκαν σε πρηνή με μορφολογική κλίση μεγαλύτερη από 120%, τα οποία δομούνταν από ασβεστόλιθους. Συνήθως περιλάμβαναν πτώσεις ογκολίθων (**Εικ. 13**), των 5-20 m<sup>3</sup>, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις έφτασαν και τις μερικές χιλιάδες κυβικά μέτρα. Σε αρκετές από αυτές τις θέσεις υπήρξε συνδυασμός κατολισθήσεων και καταπτώσεων.

Οι πλευρικές εκτάσεις και οι καθιζήσεις εδαφών παρουσίασαν μεγάλη ανάπτυξη σε περιοχές ποτάμιων αναβαθμίδων από ιλύ, αργίλους και κροκαλοπαγή, οι οποίες αναπτύσσονταν εκατέρωθεν της κοίτης των ποταμών. Η εκδήλωση των παραπάνω φαινομένων συνοδεύτηκε και από μία γενικευμένη αλλαγή στην επιφάνεια του εδάφους, όπως για παράδειγμα στην πόλη Muzaffarabad.

Τέλος, εντυπωσιακά ήταν τα φαινόμενα ρωών κορημάτων, τα οποία μετέβαλαν στην κυριολεξία το τοπίο, έχοντας μάλιστα διάταξη παράλληλη της σεισμικής ζώνης (**Εικ. 8**). Το ύψος των κώνων πολλές φορές υπερέβαινε τα 500 m, ενώ το μήκος σε μία από αυτές τις ζώνες που αναπτύχθηκαν, υπερέβαινε τα 4 km. Σε πολλές θέσεις τα φαινόμενα ήταν σε αργή εξέλιξη για αρκετές μέρες, ενώ κατά τη διάρκεια των μετασεισμών η κίνησή τους επιταχυνόταν. Σε όλες τις περιπτώσεις ένα σύννεφο καπνού κάλυπτε την περιοχή.

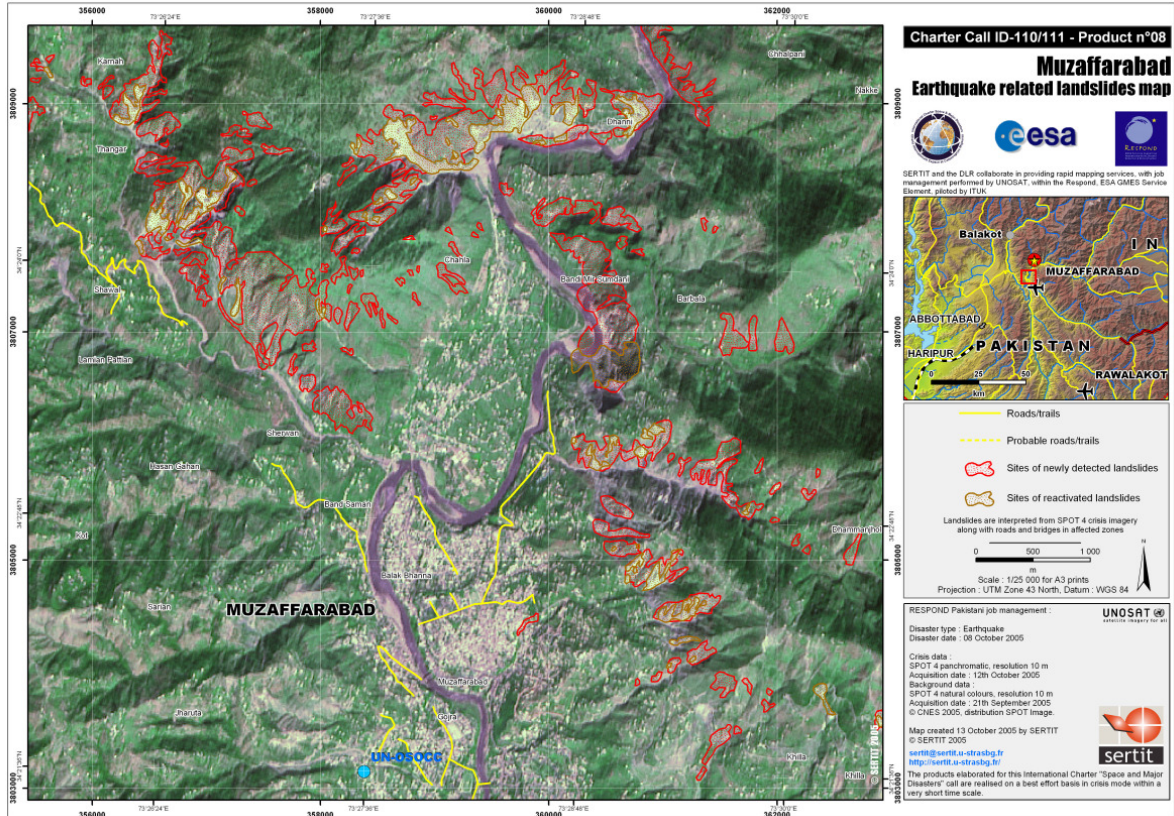
Οι ροές των κορημάτων και οι κατολισθήσεις που σημειώθηκαν δίπλα ή κοντά σε κοίτες του τοπικού υδρογραφικού δικτύου, απέκοψαν την πορεία του νερού των ποταμών. Το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία πρόσκαιρων λιμνών, οι οποίες στη συνέχεια εξαφανιζόντουσαν, καθώς η μεγάλη παροχή νερού παρέεργε τα εδαφικά υλικά που είχαν δημιουργήσει το φράγμα.

Συνολικά τα κατολισθητικά φαινόμενα είχαν τεράστιες επιπτώσεις στον ιστό των οικιστικών μονάδων και γενικότερα στην επίκεντρη περιοχή, δεδομένου ότι προκάλεσαν το 50% των καταστροφών στις κατασκευές. Μεγάλες επιπτώσεις είχαν και στο οδικό δίκτυο, όπου οι καταπτώσεις απομόνωσαν για μεγάλο χρονικό διάστημα, ολόκληρες περιοχές, στις οποίες η προσέγγιση γινόταν μόνο με ελικόπτερα (**Εικ. 13**). Σε ορισμένους κύριους και στους περισσότερους δευτερεύοντες οδικούς άξονες, ο όγκος των υλικών που κατολίσθησαν, αλλά και οι υφιστάμενες μορφολογικές και γεωτεχνικές συνθήκες, δημιούργησαν πολύ δύσκολες έως απαγορευτικές συνθήκες αποκατάστασης.

## 8. Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ

Ο σεισμός της 8ης Οκτωβρίου είχε σημαντικότερες επιπτώσεις στις κατασκευές και τα έργα υποδομής. Στις επαρχίες Dupatta, Muzaffarabad, Balakot, Bisham, Batagram, Bagh, οι ζημιές στις κατασκευές υπερέβησαν το 50%, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις έφτασαν και το 100%, αναπτύχθηκαν δε, όχι μόνο στις κεντρικές αστικές μονάδες, αλλά και σε εκατοντάδες οικισμούς (**Εικ. 14**)

Ουσιαστικά οι ζημιές μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: τις ζημιές σε κατασκευές, όπως κατοικίες και δημόσια κτίρια και τις ζημιές σε έργα υποδομής, όπως οδικό δίκτυο, γέφυρες, κλπ. Και για τις δύο κατηγορίες διαφαίνεται σαφώς μία ανάπτυξη με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, μήκους



Εικ. 11. Χάρτης κατολισθήσεων της ευρύτερης περιοχής του Muzaffarabad (από SERTIT 2005).



Εικ. 12. Δορυφορική εικόνα που δείχνει το μέγεθος της καταστροφής στη Balakot (από Unosat 2005).





**Εικ. 13.** Κατολίσθηση που παρέσυρε το οδόστρωμα του οδικού άξονα Islamabad – Muzaffarabad (α), κατολίσθησεις κατά μήκος του οδικού δικτύου που οδηγεί στο βόρειο Κασμίρ (β), χαρακτηριστική περίπτωση κατάπτωσης βραχώδους όγκου σε οδικό άξονα βόρεια του Muzaffarabad (γ) και προσπάθεια διάνοιξης δικτύου από στρατιωτικές δυνάμεις (δ).



**Εικ. 14.** Ολοκληρωτική καταστροφή οικισμού βόρεια του Muzaffarabad που είναι θεμελιωμένος σε κώνο κορημάτων.



περίπου 150 km και πλάτους 50-70 km. Η επιμήκης ανάπτυξη εκφράζεται έντονα από τα μεγάλα ποσοστά των ζημιών τα οποία υπερβαίνουν στο κεντρικό τμήμα το 70% με πλέον χαρακτηριστικές περιπτώσεις τις πόλεις Bagh, με ποσοστό 70%, το Muzaffarabad (**Εικ. 15**), με ποσοστό 90% και τη πόλη Balakot (**Εικ. 15 & 16**), με ποσοστό πάνω από 95%. Στις πόλεις αυτές οι εντάσεις εκτιμούνται ότι έφτασαν τους XI βαθμούς της κλίμακας EMS 1992 και τοπικά υπερέβησαν τους XII (EMS 1992). Η διάταξη αυτή, ουσιαστικά, συμπίπτει με τη διάταξη των επικέντρων της σεισμικής ακολουθίας, αλλά και της σεισμικής ζώνης, η οποία έχει και αυτή, όπως αναφέρθηκε, διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.

Εξαίρεση από τη γενική διάταξη των βλαβών και των εντάσεων αποτελούν ορισμένες οικιστικές μονάδες προς τα βορειοανατολικά και ειδικότερα στην περιοχή Althmugan, όπου οι βλάβες οφείλονται κυρίως στις ιδιαίτερες και πολύ αρνητικές μορφολογικές, γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες.

Μία επίσης αξιοσημείωτη εξαίρεση από τη γενική επιμήκη διάταξη των εντάσεων αποτελούν και οι ζημιές και καταρρεύσεις στην πρωτεύουσα του Πακιστάν, Islamabad, που βρίσκεται περίπου 100 km νοτιοανατολικά της επικεντρικής περιοχής. Στην πόλη του Islamabad έπαθαν σημαντικές ζημιές πάνω από 50 σύγχρονα κτίρια, μεταξύ των οποίων δύο πολυώροφα κτίρια που κατέρρευσαν. Οι συγκεκριμένες καταρρεύσεις και ζημιές οφείλονται κυρίως στον συντονισμό της εδαφικής κίνησης, που εμπεριείχε υψηλές περιόδους λόγω της απόστασης από το επίκεντρο και της ιδιοπεριόδου των κτιρίων από το ύψος τους.

Από την έρευνα που έγινε στην επίκεντρική περιοχή και κυρίως στην επιμήκη ζώνη των υψηλών εντάσεων, διαπιστώθηκε ότι οι βλάβες οφείλονται ουσιαστικά, στους ακόλουθους βασικούς λόγους:

Πρώτον στην ποιότητα των κατασκευών, οι οποίες δεν μπόρεσαν να ανταπεξέλθουν στη σφοδρή σεισμική κίνηση. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι κατασκευές δεν είχαν φέροντα οργανισμό ή είχαν ελάχιστα φέροντα στοιχεία, ενώ ακόμη και όπου υπήρχε φέρον οργανισμός, ο σχεδιασμός του ήταν ατελής και η ποιότητα των υλικών πολύ πτωχή. Δύσκολα θα μπορούσε να διακριθεί σε λίγες περιπτώσεις ο μηχανισμός κατάρρευσης δεδομένου ότι στην συντριπτική πλειοψηφία απέμεινε μονάχα ένας σωρός ερειπίων υπό μορφή ριπιδίου.

Δεύτερον και κυριότερον στις υφιστάμενες γεωλογικές και γεωτεχνικές και μορφολογικές συνθήκες. Οι περισσότερες οικιστικές μονάδες αναπτύσσονται πάνω σε ποτάμιες αναβαθμίδες (**Εικ. 15 & 16**) ή σε περιοχές πλευρικών κορημάτων (**Εικ. 14**), δηλαδή πάνω σε περιοχές με σημαντικές μορφολογικές κλίσεις αλλά αρκετά μικρότερες από αυτές που επικρατούν στις απότομες κλιθείς των αλπικών σχηματισμών που δομούν τα Ιμαλάια.

Στις περιοχές αυτές οι γεωτεχνικές συνθήκες είναι εξαιρετικά αρνητικές γιατί οι πρόσφατοι γεωλογικοί σχηματισμοί περιέχουν αδρομερείς φάσεις, είναι χαλαροί και υπόκεινται συχνά σε κατολισθήσεις, πλευρικές εκτάσεις, καθιζήσεις και γενικά φαινόμενα αστάθειας, με αποτέλεσμα οι κατασκευές να είναι εξαιρετικά ευάλωτες. Υπολογίζεται ότι σε ποσοστό πάνω από 70% των καταρρεύσεων στο Muzaffarabad και 90% στη Balakot, οφείλονται σε αστοχίες των σχηματισμών θεμελίωσης. Σε αυτές τις περιοχές ελάχιστα μόνο κτίρια διασωθήκαν, με σημαντικές ζημιές στον φέροντα οργανισμό από τις εδαφικές αστοχίες (**Εικ. 15 & 16**).

Τέλος, οι ζημιές στο οδικό δίκτυο και τα λοιπά έργα υποδομής, οφείλονται σχεδόν αποκλειστικά σε φαινόμενα αστοχίας των γεωλογικών σχηματισμών θεμελίωσης ή των παρακείμενων γεωλογικών σχηματισμών. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι τα δίκτυα αποχέτευσης, ύδρευσης, τηλεφωνίας και ηλεκτροδότησης στις επαρχίες Muzaffarabad και Balakot καταστράφηκαν ολοσχερώς.



**Εικ. 15.** Απόψεις ολοκληρωτικών καταστροφών στις πόλεις Balakot και Muzaffarbad.



**Εικ. 16.** Κατάρρευση κτιρίου στη Balakot λόγω αστοχίας του εδάφους θεμελίωσης και εμφανείς εδαφικές μεταβολές στο κοιμητήριο της πόλης Muzaffarabad.

## 9. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ

Η διαχείριση της καταστροφής του σεισμού των 7.6R στο Κασμίρ, όπως είναι φυσικό διαφέρει από αντίστοιχες καταστροφές ακόμη και από μέρη που βρίσκονται σε αντίστοιχη κατάσταση με το Πακιστάν (**Λέκκας 2002**).

Οι ιδιαίτερες συνθήκες οι οποίες υφίστανται δημιούργησαν και ειδικές συνθήκες διαχείρισης και επέμβασης, η οποία γενικά μπορεί να χαρακτηριστεί ως χαμηλής αποτελεσματικότητας (**Εικ. 17**). Οι ιδιαίτερες αυτές συνθήκες ήταν συνοπτικά, οι ακόλουθες:

- Οι υφιστάμενες γεωμορφολογικές συνθήκες και τα εκδηλωμένα συνοδά γεωδυναμικά φαινόμενα, ήταν απαγορευτικά για γρήγορη και εύκολη πρόσβαση, η οποία σε πολλές περιπτώσεις έγινε μόνο μετά τη πάροδο αρκετών ημερών ακόμη και εβδομάδων.
- Οι πολλές διάσπαρτες οικιστικές μονάδες σε μία περιοχή της τάξης των δέκα χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων. Εκτιμάται ότι υπάρχουν πάνω από 100 μεγάλοι και πάνω από 1000 μικροί οικισμοί που επλήγησαν, ενώ σε πολλές περιπτώσεις οι καταστροφές, από τη δράση εκτεταμένων κατολισθήσεων, ήταν καθολικές.
- Η αδυναμία της τοπικής και της κεντρικής διοίκησης να καταστρώσει και να εφαρμόσει ένα καλά δομημένο σχέδιο επέμβασης.
- Οι υφιστάμενες πολιτικές συνθήκες και οι διακρατικές σχέσεις μεταξύ του Πακιστάν και της Ινδίας που διεκδικούν εδάφη του Κασμίρ, με αποτέλεσμα η περιοχή να στρατοκρατείται και να υπάρχει καχυποψία ως προς την σκοπιμότητα της προσφοράς βοήθειας. Στη συνέχεια το κλίμα βελτιώθηκε και δόθηκε άδεια σε Ινδικές στρατιωτικές μονάδες να εισέλθουν στο Πακιστανικό Κασμίρ, ούτως ώστε να επέμβουν στους πληγέντες οικισμούς στους οποίους η πρόσβαση από το Πακιστάν ήταν αδύνατη. Πάντως ενδεικτικό της καχυποψίας που υπήρχε, ήταν το γεγονός ότι η Ινδική πλευρά πρόσφερε έναν αριθμό ελικόπτρων στο Πακιστάν, το οποίο αξίωσε να χειρίζονται και να επιβαίνουν στα ελικόπτερα μόνο Πακιστανοί πιλότοι, απαίτηση η οποία απορρίφθηκε.
- Οι ελλείψεις σε μέσα και υλικά πρώτης ανάγκης, κυρίως ιατρικά, και η καθυστερημένη άφιξη των διασωστικών συνεργείων και της διεθνούς βοήθειας.

Εκτός των ανωτέρω, εκτιμάται ότι αρνητικό ρόλο έπαιξε η στρατοκρατούμενη αντίληψη στη φάση της επέμβασης, όπως είναι φυσικό έχει διαφορετικές προσεγγίσεις στην όλη διαδικασία, καθώς επίσης, και οι υφιστάμενες πολιτικές και θρησκευτικές αντιλήψεις, πράγμα το οποίο έχει παρατηρηθεί και σε άλλες Μουσουλμανικές χώρες. Η όλη αντιμετώπιση της καταστροφής μπορεί να χαρακτηριστεί ως μία παθητική στάση παρά ως μία ενεργητική αντιμετώπιση και άρα αποτελεσματική προσέγγιση. Τα κύρια προβλήματα τα οποία καταγράφηκαν κατά το στάδιο της επέμβασης στη πληγείσα περιοχή ενδεικτικά είναι τα ακόλουθα:

- Η αδυναμία πλήρους και ολοκληρωμένης εικόνας της έκτασης αλλά και του βαθμού καταστροφής σε κεντρικό επίπεδο. Η προσοχή αρχικά στράφηκε στο Islamabad, όπου υπήρχαν καταρρεύσεις πολυώροφων κτιρίων ενώ η κύρια καταστροφή αναπτύχθηκε στο Πακιστανικό Κασμίρ, όπου οι εκτιμήσεις αρχικά υποβάθμιζαν κατά πολύ την κατάσταση.
- Η αδύνατη πολλές φορές πρόσβαση, όχι μόνο λόγω των ανύπαρκτων οδικών δικτύων και της αποκοπής του από τις κατολισθήσεις, αλλά και από το πλήθος των οχημάτων που κινούντο άσκοπα και πολλές φορές ακινητοποιούντο για ώρες.
- Η καταστροφή των νοσοκομειακών μονάδων που υπήρχαν στην περιοχή που επλήγη, συμπεριλαμβανομένου ακόμη και του στρατιωτικού νοσοκομείου του Muzaffarabad. Ταυτόχρονα παρατηρήθηκαν τεράστιες ελλείψεις σε προσωπικό και βασικά ιατρικά είδη και φάρμακα με αποτέλεσμα τα χειρουργεία, σε αρκετές περιπτώσεις, να λειτουργούν στην ύπαιθρο. Επόμενο αυτής της κατάστασης ήταν η εξάπλωση μολυσματικών ασθενειών σε





**Εικ. 17.** Πρόχειρη εγκατάσταση περίθαλψης και συνδρομής στη πόλη Muzaffarabad (α), άποψη του κέντρου επιχειρήσεων στο Muzaffarabad (β), άποψη του κέντρου παροχής βοήθειας στο Muzaffarabad (γ) και Balakot (δ).

μήμα του πληθυσμού. Η όλη κατάσταση βελτιώθηκε μετά από περίπου μία εβδομάδα, όταν και ανέλαβαν υπηρεσία ξένες αποστολές βοήθειας, που έφτασαν στην περιοχή.

## 10. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Οι οικονομικές επιπτώσεις του σεισμού της 8ης Οκτωβρίου ήταν τεράστιες. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το κόστος ανοικοδόμησης μόνο των κατασκευών μέσα στις κυριότερες πόλεις που επλήγησαν (Muzzaferabad, Balakot, Bach, κλπ), θα ανέλθει στο ποσό των 3 δισεκατομμυρίων δολαρίων, ενώ οι επιπτώσεις στις υποδομές και στα τεχνικά έργα θα απαιτήσουν ποσά της τάξης των 2,5 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Η μακροπρόθεσμη οικονομική επιβάρυνση, που θα προκύψει για την οικονομία του Πακιστάν, υπολογίζεται να υπερβεί τα 10 δισεκατομμύρια δολάρια, ενώ το αντίστοιχο για την Ινδική Κυβέρνηση είναι της τάξης του ενός δισεκατομμυρίου δολαρίων.

## 11. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι προοπτικές για τους κατοίκους του Πακιστανικού Κασμίρ φαίνεται να είναι δυσσώωνες, πιο πολύ από κάθε άλλη περίπτωση φυσικής καταστροφής. Το χαμηλό κατά κεφαλή εισόδημα των πληγέντων, οι δύσκολες καιρικές και γεωμορφολογικές συνθήκες και οι οικονομικές και πολιτικές συνθήκες, απομακρύνουν κάθε ενδεχόμενο ανεκτής διαβίωσης και δημιουργούν ελάχιστες προοπτικές ταχείας αποκατάστασης.

Η διεθνής οικονομική βοήθεια, οι υποσχέσεις χορήγησης υλικών ανάγκης και η παροχή διεθνούς συνδρομής για την αποκατάσταση, βρίσκουν δύσκολα το δρόμο για τις πληγείσες περιοχές και σε κάθε περίπτωση είναι πολύ μικρή για το μέγεθος της καταστροφής.

## 11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ambruster, J., Seeber, L. & Jacob, K.H., 1978.** The Northwestern termination of the Himalayan Mountain Front: Active tectonics from microearthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 83, B1, 269-282.
- Baker, D.M., Lillie, R.J., Yeats, R.S., Johnson, G.D., Yousof, M. & Zamin, A., 1988.** Development of the Himalayan frontal thrust zone: Salt Range, Pakistan. *Geology*, 16, 3-7.
- Banerjee, P. & Bürgmann, R., 2002.** Convergence across the northwest Himalaya from GPS measurements. *Geophysical Research Letters*, 29, no. 13, doi: 10.1029/2002GL015184.
- Bilham, R., 2004.** Earthquakes in India and the Himalaya: tectonics, geodesy and history. *Annals of Geophysics*, 47 (2), 839-858.
- Bilham, R., Gaur, V.K. & Molnar, P., 2001.** Himalayan Seismic Hazard. *Science*, 293, 1442-1444.
- Bossart, P., Ottiger, R. & Heller, F., 1990.** Rock magnetic properties and structural development in the core of the Hazara-Kashmir Syntaxis, NE Pakistan. *Tectonics*, 9 (1), 103-121.
- Butler, R.W.H., Prior, D.J. & Knipe, R.J., 1989.** Neotectonics of the Nanga Parbat Syntaxis, Pakistan and crustal stacking in the northwest Himalayas. *Earth and Planetary Science Letters*, 94, 329-343.
- Chen, J., 2005.** Finite-fault slip model. Preliminary result for the 05/10/08 Pakistan earthquake. <http://earthquake.usgs.gov>.
- Crittelli, S. & Garzanti, E., 1994.** Provenance of the Lower Tertiary Murree redbeds (Hazara-Kashmir Syntaxis, Pakistan) and initial rising of the Himalayas. *Sedimentary Geology*, 89, 265-284.
- Gahalaut, V., 2005.** Did 2005 Kashmir earthquake occur in Kashmir Himalaya seismic gap? <http://freewebs.com/vkgahalaut/pakistankashmirearthquake.htm>.
- Hodges, K.V., 2000.** Tectonics of the Himalaya and southern Tibet from two perspectives. *Geological Society of America Bulletin*, 112, no. 3, 324-350.

- Jaune, S.C. & Lillie, R., 1988.** Mechanics of the Salt-Range-Potwar Plateau, Pakistan: A fold-and-thrust belt underlain by evaporates. *Tectonics*, 7, no.1, 57-71.
- Λέκκας, Ε., 2002.** Διαχείριση έκτακτης ανάγκης σε μεγάλης κλίμακας σεισμικές καταστροφές. 6<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, Ελληνική Γεωγραφική Εταιρεία, τομ. 2, 400-407, Θεσσαλονίκη.
- Lozios, S.G., Lekkas, E.L., & Danamos, G.D., 2004.** The Qujarat, West India earthquake (26 January 2001): A geodynamic episode in an intra-plate compression regime. *Advances in Earthquake Engineering Earthquake Geodynamics – Seismic Case Studies*, ed. E.L. Lekkas, Wit Press, Vol. 12, 23-31.
- MonaLisa & Khwaja, A.A., 2004.** Structural trends and focal mechanism studies in the Potwar area with special emphasis on hydrocarbon exploration. *Pakistan Journal of Hydrocarbon Research*, 14, 49-59.
- Najman, Y., Bickle, M. & Chapman, H., 2000.** Early Himalayan exhumation: Isotopic constraints from the Indian foreland basin. *Terra Nova*, 12, 28-34.
- Najman, Y., Johnson, K., White, N. & Oliver, G., 2004.** Evolution of the Himalayan foreland basin, NW India. *Basin Research*, 16, 1-24.
- Najman, Y., Pringle, M., Godin, L. & Oliver, G., 2001.** Dating of the oldest continental sediments from the Himalayan foreland basin. *Nature*, 410, 194-196.
- Najman, Y., Pringle, M., Godin, L. & Oliver, G., 2002.** A reinterpretation of the Balakot formation: Implications for the tectonics of the NW Himalaya, Pakistan. *Tectonics*, 21, no. 5, doi: 10.1029/2001TC001337.
- Seeber, L., Armbruster, J.G. & Quittmeyer, R.C., 1981.** Seismicity and continental subduction in the Himalayan arc. In *Zagros, Hindukush, Himalaya, Geodynamic evolution, geodynamic Series, Maurice Ewing Series 3*, American Geophysical Union, Washington D.C., 215-242.
- Wesnousky, S.G., Kumar, S., Mohindra, R. & Thakur, V.C.,** Uplift and convergence along the Himalayan Frontal Thrust of India. *Tectonics*, 18, no. 6, 967-976.
- U.S. Geological Survey, National Earthquake Information Center, 2005.** Magnitude 7.6 – Pakistan, 2005 October 8 03:50:40 UTC, Preliminary Earthquake Report. <http://earthquake.usgs.gov>.
- Yeats, R.S. & Hussain, A., 1987.** Timing of structural events in the Himalayan foothills of northwestern Pakistan. *Geological Society of America Bulletin*, 99, 161-176.