

## 1.1. Γενικά για τη Νεοτεκτονική

Η Τεκτονική Γεωλογία, αντικείμενο της οποίας είναι η δομή, η κινηματική και εξέλιξη του γήινου φλοιού και η Σεισμολογία, που εξετάζει τις στιγμιαίες τεκτονικές κινήσεις (σεισμοί) και τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων στο εσωτερικό της Γης, ακολούθησαν ανεξάρτητους και διαφορετικούς δρόμους ανάπτυξης και εξέλιξης, παρόλο που είχαν ουσιαστικά κοινό αντικείμενο μελέτης, τις τεκτονικές διεργασίες του φλοιού της Γης, παλαιότερες η πρώτη και σύγχρονες η δεύτερη.

Η Τεκτονική Γεωλογία μελετά τις υπάρχουσες δομές του γήινου φλοιού και επεκτείνει τις ερμηνείες και υποθέσεις για διάφορες τεκτονικές φάσεις που καλύπτουν ολόκληρη τη γεωλογική ιστορία του πλανήτη μας. Στα εκατομμύρια χρόνια ζωής της Γης συνέβησαν «μεγάλης κλίμακας» διαταραχές του γήινου φλοιού σε πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, όπως οι ορογενέσεις, που αποτελούν το κύριο αντικείμενο της Τεκτονικής. Αντίθετα οι πρόσφατες (νεοτεκτονικές) και οι σημερινές (ενεργές) τεκτονικές διεργασίες, που θεωρούνται γενικά ως «μικρής κλίμακας» φαινόμενα, έχουν μάλλον μικρή σημασία στις ορογενετικές διεργασίες και δεν είχαν μέχρι πρόσφατα την ίδια βαρύτητα στις μελέτες της τεκτονικής. Τα τελευταία χρόνια αναγνωρίζεται η σημαντική σημασία των πρόσφατων τεκτονικών κινήσεων — μεταλλικών για τον ελλαδικό χώρο — αν και στην πραγματικότητα αποτελούν αδιαμφισβήτητη συνέχεια των διαχρονικών κινήσεων του φλοιού και ιδιαίτερα είναι μεγάλη η σημασία τους στη σύγχρονη σεισμογένεση.

Η Σεισμολογία ουσιαστικά ξεκίνησε στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα ως ξεχωριστή φυσική επιστήμη συνδυάζοντας τις θεωρίες της ελαστικότητας και των κυμάτων για να μελετήσει τις στιγμιαίες τεκτονικές διαταραχές του γήινου φλοιού με θεωρητικό (μαθηματικό) κυρίως τρόπο. Ταυτόχρονα έδωσε σημαντική ώθηση στις γεωεπιστήμες, αφού προσκόμισε πλήθος πληροφοριών για τη δομή του εσωτερικού της Γης και τις γεωδυναμικές διεργασίες του.

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μια διαρκώς αυξανόμενη προσέγγιση των δύο αυτών ανεξάρτητων επιστημονικών κλάδων, με αντικειμενικό σκοπό να μελετηθούν τα σεισμικά φαινόμενα μέσα στο πλαίσιο της τεκτονικής δομής του φλοιού της Γης (Σεισμοτεκτονική ή Ενεργός Τεκτονική).

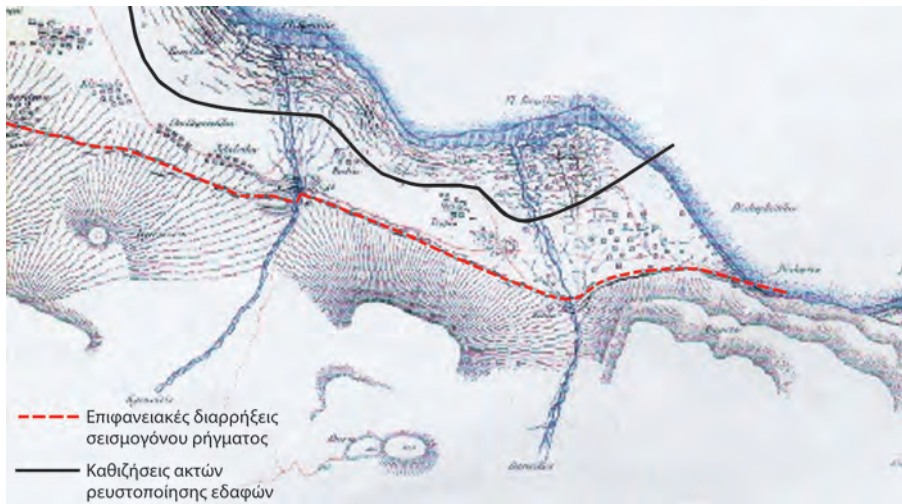
Στη σύγχρονη βιβλιογραφία απαντώνται οι όροι **Νεοτεκτονική** (Neotectonics), **Μορφοτεκτονική ή Τεκτονική Γεωμορφολογία** (Morphotectonics – Tectonic Geomorphology), **Σεισμοτεκτονική** (Seismotectonics), **Ενεργός Τεκτονική** (Active Tectonics), **Παλαιοσεισμολογία** (Palaeoseismology), **Γεωλογία των Σεισμών** (Geology of Earthquakes), όροι ουσιαστικά συνώνυμοι ή αλληλοεπικαλυπτόμενοι.

Η Νεοτεκτονική ως ευρύτερος επιστημονικός κλάδος αποτελεί σχετικά καινούργιο τομέα των γεωεπιστημών και ειδικότερα της Τεκτονικής Γεωλογίας,

που μελετά τις πιο «πρόσφατες» γεωλογικές δομές και διεργασίες. Ουσιαστικά η Νεοτεκτονική δεν διαχωρίζεται από την Τεκτονική Γεωλογία, αφού και οι δύο κλάδοι χρησιμοποιούν τις ίδιες ή ανάλογες μεθόδους. Η Νεοτεκτονική όμως χρησιμοποιεί και περισσότερο εξειδικευμένες μεθόδους τεκτονικής ανάλυσης, καθώς επίσης και τη διαρκώς αυξανόμενη πείρα της Σεισμολογίας, της Γεωμορφολογίας, της Γεωλογίας του Τεταρτογενούς, αφού προσπαθεί να συνδέσει την πρόσφατη με την ενεργό τεκτονική. Γενικά οι μελέτες της Νεοτεκτονικής προσπαθούν να συνδέσουν τα φαινόμενα των στιγμιαίων τεκτονικών κινήσεων (σεισμοί - ενεργός τεκτονική), με τις παρατηρήσεις των παλαιότερων τεκτονικών κινήσεων, που είναι εκφρασμένες με τους κλασικούς γεωλογικούς όρους (παραμένουσα παραμόρφωση). Με άλλα λόγια η Νεοτεκτονική μπορεί να χαρακτηριστεί ως η «ενδιάμεση γέφυρα» μεταξύ της Τεκτονικής Γεωλογίας και της Σεισμολογίας.

**Ως «νέα» ή «πρόσφατα» τεκτονικά γεγονότα, που αποτελούν το αντικείμενο της Νεοτεκτονικής και Ενεργού Τεκτονικής, θεωρούνται γενικά όλα εκείνα τα γεγονότα που έλαβαν χώρα κατά το Νεογενές και Τεταρτογενές.** Θα πρέπει πάντως να διευκρινιστεί ότι δεν υπάρχει μια γενική παραδοχή για τον καθορισμό του χρονικού ορίου έναρξης των νεοτεκτονικών γεγονότων. Μερικοί επιστήμονες μάλιστα υποστηρίζουν ότι ως νέα τεκτονικά γεγονότα πρέπει να αναφέρονται μόνο εκείνα του Τεταρτογενούς και ιδιαίτερα του Ύστερου (Ανώτερου) Πλειστόκαινου και Ολόκαινου, τα οποία έχουν και άμεση σχέση με την Ενεργό Τεκτονική.

Ο πατέρας της Γεωλογίας **Κάρολος Λυέλος ή Λάιλ** (Charles Lyell) στο κλασικό βιβλίο του **Αρχές της Γεωλογίας** (Principles of Geology, 1833) αναγνωρίζει τις απότομες αλλαγές που συμβαίνουν στο έδαφος κατά τη διάρκεια των σεισμών. Στο θεμελιώδες αυτό βιβλίο γεωλογίας ο Lyell περιγράφει μια σειρά σεισμών της εποχής του, όπου δίνει έμφαση στις καταστροφές και τις γεωμορφολογικές μεταβολές. Οι πρώτες σαφείς παρατηρήσεις συν-σεισμικών εδαφικών παραμορφώσεων υπάρχουν στο **Θουκυδίδη**, όταν περιέγραφε τη σεισμική ακολουθία της Φθιώτιδας-Βοιωτίας του **426 π.Χ.**, κατά τη διάρκεια του Πελοποννησιακού πολέμου. Επίσης αναφορές και περιγραφές σεισμών υπάρχουν στον Αριστοτέλη, στον Δημήτριο Καλλατιανό (Διογένης ο Λαέρτιος) στον Στράβωνα, στον Πλίνιο και άλλους. Ποτέ όμως δεν συνδέθηκαν άμεσα γεωλογικά ρήγματα με τους σεισμούς. Η πρώτη παγκόσμια χαρτογράφηση επιφανειακού ίχνους σεισμικού ρήγματος αφορούσε το σεισμό της Αιγιάλειας του **1861** (Ελίκη-Βαλιμνίτικα-Διακοφτό) στην Πελοπόννησο και πραγματοποιήθηκε από το διευθυντή του Αστεροσκοπείου Αθηνών **J. Schmidt** (εργασίες του 1864, 1867, Σχ. 1.1). Επίσης ο καθηγητής Γεωμορφολογίας του Πανεπιστημίου της Γιούτα (ΗΠΑ) **G.K. Gilbert** (1894) περιέγραψε ρήγμα που είχε δημιουργηθεί από το σεισμό του **1872** κοντά στην



**Σχήμα 1.1.** Η πρώτη παγκόσμια λεπτομερής χαρτογράφηση επιφανειακών διαρρήξεων σεισμικών ρηγμάτων και άλλων εδαφικών παραμορφώσεων μετά το σεισμό του 1861 (Ρήγμα Ελίκης, παραλία Αιγιαλείας, Πελοπόννησος, Schmidt 1864-67).

πόλη **Salt Lake City**. Το **1882** ο **Alexander Mckey** έδωσε γεωλογικές πληροφορίες για επιφανειακές διαρρήξεις που συνέβησαν μετά από σεισμό. Επίσης, ο **Bunjiro Koto** συσχέτισε επιφανειακά ρήγματα με το σεισμό του **Mino-Owari (1891)** της Ιαπωνίας. Έτσι τέθηκαν οι πρώτες βάσεις της Γεωλογίας των Σεισμών. Το **1894** χαρτογραφούνται λεπτομερώς οι επιφανειακές διαρρήξεις των σεισμικών ρηγμάτων της Αταλάντης από τον καθηγητή **Ν. Σκούφο** (βλ. και εξώφυλλο βιβλίου), ενώ τα ρήγματα του σεισμού των Σοφάδων (Δυτική Θεσσαλία **1954**) χαρτογράφησε ο **Ι. Παπασταματίου (1957)**.

Τέλος, μετά το μεγάλο σεισμό της Καλιφόρνιας (San Francisco **1906**) μετρήθηκαν συστηματικά οι επιφανειακές μετατοπίσεις του κλάδου του ρήγματος του Αγίου Ανδρέα (San Andreas), που ενεργοποιήθηκε στο μεγάλο και καταστροφικό σεισμό των αρχών του 20<sup>ου</sup> αιώνα, οπότε αναπτύχθηκε σε θεωρητική βάση η διάρρηξη του ρήγματος (Σαν Φραντζίσκο 1906-ρήγμα Αγίου Ανδρέα) με τη θεωρία του Reid (1910) της **ελαστικής επαναφοράς (Elastic Rebound)**. Ο **Richter** επίσης στο βιβλίο του «**Στοιχεία Σεισμολογίας**» (Elementary Seismology **1958**) περιγράφει τις επιφανειακές εκδηλώσεις (ρήγματα) πολλών μεγάλων σεισμών. Έτσι τα σεισμικά φαινόμενα έγιναν τμήμα της μελέτης της Γεωλογίας και ιδιαίτερα του κλάδου της Τεκτονικής Γεωλογίας. Ο καθηγητής σεισμολογίας Άγγελος Γαλανόπουλος στα βιβλία του «**Σεισμική Γεωγραφία της Ελλάδος**» (1955) και «**Στοιχεία Σεισμολογίας**» (1971) περιγράφει αρκετούς σεισμούς του ελληνικού χώρου με τα συνοδά τους

εδαφικά φαινόμενα. Παρ' όλα αυτά για αρκετά ακόμη χρόνια, μέχρι περίπου τη δεκαετία του '60, η μελέτη των σεισμικών ρηγμάτων ήταν έξω από τα ενδιαφέροντα της συντριπτικής πλειονότητας των γεωλόγων και σεισμολόγων.

Στο πλαίσιο της Νεοτεκτονικής μελετώνται οι τεκτονικές παραμορφώσεις που πραγματοποιήθηκαν σε σχετικά "σύντομο" (γεωλογικά) χρονικό διάστημα και μ' αυτό τον τρόπο μπορεί να γίνει μια καλύτερη προσέγγιση της σχετικής φυσικής παραμόρφωσης – γενεσιουργού τάσης, ειδικά για τις περιπτώσεις ρηξιγενών παραμορφώσεων σε ασυνεχές μέσο. Ουσιαστικά με τις νεοτεκτονικές μελέτες γίνεται λεπτομερής ανάλυση των νέων τεκτονικών παραμορφώσεων και χρονολόγηση αυτών σε σχέση με τις παλιότερες τεκτονικές δράσεις. Καλύτερες περιοχές για τη διαπίστωση και ερμηνεία των νεοτεκτονικών κινήσεων αποτελούν οι γεωλογικοί σχηματισμοί που βρίσκονται είτε στα όρια των σύγχρονων λιθосφαιρικών πλακών, είτε σε νεογενείς – τεταρτογενείς τεκτονικές τάφρους (λεκάνες) στο εσωτερικών των πλακών. Παρ' όλες τις διάφορες επιστημονικές απόψεις που έχουν εκφραστεί διεθνώς για το θέμα αυτό, μια πιο ολοκληρωμένη άποψη είναι το να θεωρήσουμε ως **αντικείμενο της νεοτεκτονικής έρευνας όλα τα τεκτονικά γεγονότα που συνέβησαν ή συμβαίνουν ακόμη σε ένα γεωλογικό χώρο μετά την τελική ορογένεσή του**. Με την έννοια αυτή η Νεοτεκτονική εξετάζει όλα τα τεκτονικά φαινόμενα και τις διεργασίες που συνέβησαν πρόσφατα μετά τη διαμόρφωση των σύγχρονων λιθосφαιρικών πλακών.

## 1.2. Ιστορία και εξέλιξη της Νεοτεκτονικής ως ιδιαίτερου επιστημονικού κλάδου

Όσον αφορά τις ιστορικές καταβολές της Νεοτεκτονικής θα μπορούσε να αναφερθεί ως ξεκίνημά της η αντίληψη, που επικράτησε από τη διαμάχη των γεωλόγων του 19<sup>ου</sup> κυρίως αιώνα, ότι η δράση του πλανήτη μας συνεχίζεται αμείωτη και δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ της γεωδυναμικής συμπεριφοράς του παρελθόντος και του παρόντος. Η παλαιότερη άποψη δεχόταν ότι η τεκτονική δομή του φλοιού της Γης ολοκληρώθηκε στο μακρινό γεωλογικό παρελθόν και σήμερα ο πλανήτη μας βρίσκεται σε εποχή σχετικής ηρεμίας.

Η επικράτηση της άποψης του **ακτουαλισμού**, της συνεχιζόμενης δηλαδή γεωδυναμικής δράσης, έδωσε ώθηση για να προσεχτούν και τα πρόσφατα τεκτονικά γεγονότα που συνέβησαν ή εξακολουθούν να συμβαίνουν στο φλοιό της Γης.

Παρ' όλα αυτά, για αρκετά χρόνια η μελέτη των φαινομένων που συνέβησαν στις πρόσφατες γεωλογικές περιόδους (Νεογενές και Τεταρτογενές) περιορίστηκε στη μελέτη του κλίματος, της πανίδας και χλωρίδας, της στρωματογραφίας, της μορφολογίας του γήινου ανάγλυφου και δεν επεκτάθηκε στα τεκτονικά γεγονότα

των περιόδων αυτών, είτε γιατί δε συνειδητοποιήθηκε από την αρχή η σημασία τους, είτε γιατί θεωρήθηκαν πολύ μικρής κλίμακας σε σχέση με τις παλιές μεγάλης κλίμακας τεκτονικές δομές. Παρόλο που η μελέτη των νέων τεκτονικών κινήσεων άρχισε στο τέλος του 19<sup>ου</sup> αιώνα, ο όρος **“Νεοτεκτονική”** χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε δημοσιευμένη εργασία το 1948 από το Ρώσο γεωλόγο **V.A. Obruchev** ή, σύμφωνα με άλλους, από τον επίσης Ρώσο γεωλόγο και γεωμορφολόγο **S. Schultz**, οι οποίοι αναγνώρισαν τη σημασία των πρόσφατων και ενεργών γεωλογικών διεργασιών και πρότειναν ένα νέο ανεξάρτητο κλάδο των Γεωεπιστημών. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν παρόμοιοι όροι όπως **“Ζώσα Τεκτονική”** (Wegmann 1955) ή **“Νεότατη τεκτονική”** (Schultz 1968). Ο **Mescherikov** (1968) χρησιμοποίησε πάλι τον όρο **“Νεοτεκτονική”** για να περιγράψει τη θεωρία ότι οι αρχαίες κρατονικές πλατφόρμες υπόκεινται σε κυκλική ή επεισοδιακή ανύψωση και καταβύθιση με ρυθμό μικρότερο από 1-10 mm/yr, πλάτος της τάξης των 10 ως 100 μέτρων και με μήκη κυμάτων των κινήσεων που φτάνουν τις εκατοντάδες με χιλιάδες χιλιόμετρα. Οι πρώτοι γενικευμένοι νεοτεκτονικοί χάρτες δημοσιεύθηκαν από τους N. Nikolaev και Schultz το 1960, για ολόκληρη την πρώην Σοβιετική Ένωση.

Παράλληλα άλλοι επιστήμονες, κυρίως γεωμορφολόγοι, προσπάθησαν να συνδυάσουν τις γεωμορφολογικές παρατηρήσεις (ποτάμιες-θαλάσσιες αναβαθμίσεις, παλιές ακτογραμμές, ανυψώσεις και καταβυθίσεις, πρηνή κλπ.) με τις πρόσφατες τεκτονικές διεργασίες και δομές και έδωσαν μ' αυτό τον τρόπο έμφαση στη νεοτεκτονική έρευνα, γνωστής σήμερα με τον όρο **“Μορφοτεκτονική”** ή **“Τεκτονική Γεωμορφολογία”**. Από τα γεωμορφολογικά φαινόμενα εκείνα που συνδέονται άμεσα με τα νεοτεκτονικά σήμερα χαρακτηρίζονται γενικά με τον όρο **μορφοτεκτονικά φαινόμενα**.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η «Γαλλική σχολή της Νεοτεκτονικής» (Mercier 1976, 1977, 1981, Angelier, 1979 κ.α.) έδωσε νέα και σημαντική ώθηση στη νεοτεκτονική έρευνα και την καθιέρωσε ως αυτόνομο επιστημονικό κλάδο. Σύμφωνα με τις απόψεις της σχολής αυτής, δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στις ποσοτικές μεθόδους του καθορισμού του πεδίου των τεκτονικών τάσεων με μαθηματική προσέγγιση του προβλήματος παραμόρφωση – γενεσιουργός τάση. Επίσης δίνεται βάρος στο λεπτομερή διαχωρισμό των νεοτεκτονικών φάσεων και ιδιαίτερη έμφαση στη σχέση νεοτεκτονικής και σεισμικότητας. Οι ερευνητές της Γαλλικής σχολής έχουν εργαστεί πολύ στον Ελλαδικό χώρο και έχουν δώσει τις βασικές γνώσεις της νεοτεκτονικής δομής και εξέλιξής του.

Ιδιαίτερη είναι η συμβολή της Αμερικανικής Σχολής Νεοτεκτονικής και Γεωλογίας των Σεισμών (Active Tectonics-Studies in Geophysics 1986, Crone & Omdahl 1987, Veuts et al., 1997, Mc Calpin 1996, Yeats et al., 1997, USGS US-Geophysics Study Committee, Yeats 2012).

**Πίνακας 1.1.** Γεωχρονολογικό βάθος έρευνας διαφόρων μεθόδων, τεχνικών και επιστημονικών κλάδων της «Γεωλογίας των Σεισμών».

Παραμόρφωση								
Κληρονομημένη				Σεισμικά ενεργή				
Πρόσφατη - Ενεργή								
Έτη	$10^7$	$10^6$	$10^5$	$10^4$	$10^3$	$10^2$	10	
	Τεκτονική Γεωλογία							
	Νεοτεκτονική							
	Γεωμορφολογία (μορφοτεκτονική)							
	Παραμορφωμένα ιζήματα							
	Παλαιοσεισμολογία							
	Αρχαιοσεισμικότητα							
	Κατεστραμμένα κτίρια							
	Ιστορική σεισμικότητα							
	Σεισμική (ενόργανη)							
	Γεωδαιτικά δεδομένα							
	Μετρήσεις τάσης (in situ)							

Σήμερα η Νεοτεκτονική και ιδιαίτερα η Τεκτονική των Σεισμών παρουσιάζονται με ανανεωμένο ενδιαφέρον λόγω της επικράτησης στις γεωεπιστήμες της θεωρίας των λιθοσφαιρικών πλακών και της ανάγκης για καλύτερο προσδιορισμό της σεισμικής επικινδυνότητας. Οι καινούργιες ιδέες έδωσαν την ώθηση για προσέγγιση της Τεκτονικής και της Σεισμολογίας (Σεισμοτεκτονική) και για τη χρησιμοποίηση νέων μεθόδων στη νεοτεκτονική έρευνα, όπως: ποσοτικές μέθοδοι τεκτονικής ανάλυσης, χρήση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων, τεχνικές γεωδαισίας, συμβολομετρία, νέες τεχνικές προσδιορισμού των ανυψώσεων και των καταβυθίσεων τμημάτων του γήινου φλοιού και μέθοδοι προσδιορισμού των τεκτονικών τάσεων, παλαιομαγνητικές μέθοδοι για τον καθορισμό περιστροφικών ή οριζόντιων μετακινήσεων μικροτεμαχών ή πλακών, γεωδυναμικά μοντέλα, αναλογικά μοντέλα, νέες μέθοδοι χρονολόγησης ( $C^{14}$ -AMS, Θερμοφωταύγεια-TL και OSL), εδαφοδυναμικής, μηχανικής της θραύσης των πετρωμάτων κ.α.

Νέες τεχνικές και νέοι κλάδοι προστέθηκαν στη νεοτεκτονική έρευνα, όπως η *Παλαιοσεισμολογία* (ουσιαστικά στη δεκαετία του 1980), η ποσοτική ανάλυση του γήινου ανάγλυφου, δορυφορικές (γεωδαιτικές) μετρήσεις μικρομετακινήσεων του φλοιού της Γης (GPS), Πειραματική Τεκτονική κ.α.

Αξιόλογη τέλος συμμετοχή στη νεοτεκτονική έρευνα έχει σήμερα και η τάση εκείνη που δίνει έμφαση στις γεωμορφολογικές μεθόδους (*Μορφοτεκτονική*),