

Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ. XIX	σελ. 59-76	Αθήνα 1987
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.	pag.	Athens

ΕΙΔΟΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΣΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ - ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΤΟΞΟ

Η. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ & Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ*

A B S T R A C T

The problem of dynamic interpretation of faults is stressed in view of the fact that: (i) normal and reverse faults can be produced not only by axial compression or axial extension but also by simple shear and torsion and (ii) earthquakes usually occur on pre-existing faults with slip in different directions according to the new stress field. The oversimplification of compression and extension is raised if the description of faults is based on their geometry plus their kinematics (Fig.4). The results of in situ stress measurements and of the paleomagnetic investigation of Neogene sediments show that there is a complicated distribution of horizontal stress components and also a need for block rotations around sub-vertical axes. The fault plane solutions of 128 earthquakes indicate that only 10% are pure normal faults, another 10% are pure thrust faults and another 12% are pure strike-slip faults. The rest 68% are oblique-slip faults whose overall distribution in the Hellenic arc defines two E-W trending zones with slip in the E-W direction. In between in the South Aegean there is a relatively aseismic area where NW-SE faults dominate. This aseismic behaviour might be attributed to the analysis of the regional stress field in normal component σ over the NW-SE faults in contrast to the shear component T_{α} which prevails in the E-W faults which occur in the two seismically active zones (Fig.9).

* I.MARIOLAKOS & D.PAPANIKOLAOU. Deformation pattern and relation between deformation and seismicity in the Hellenic Arc.

** Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής Εφομοσμένου, Γεωλογίας Παν/μιου Αθηνών, Πανεπιστημιακή Βιβλιοθήκη "Θεοφράστου" - Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. - Υπόληψη Ζωγράφου, 157 84 Αθήνα.

1. ΕΙΔΗ ΕΝΤΑΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΡΗΓΜΑΤΩΝ

1.1. Αντιστοιχία εντατικού πεδίου και ρηγμάτων

Οι απλούστερες περιπτώσεις εντατικού πεδίου που μπορεί να θεωρηθεί ότι επιδρούν πάνω σε ένα ομοιογενές γεωλογικό σώμα είναι: (α) συμπίεση, (β) εφελκυσμός, (γ) ζεύγος παράλληλων και αντίρροπων δυνάμεων ή διατμητικό ζεύγος ή απλά διάτμηση και (δ) δύο αντίρροπα ζεύγη διατμητικών ζευγών ή απλά στρέψη (Εικ.1). Από τα τέσσερα αυτά εντατικά πεδία μόνο τα γ και δ είναι υπαρκτά σε όλες τις κλίμακες παρατήρησης, ενώ τα α και β είναι αποδεκτά μόνο σε μικροσκοπική κλίμακα και συνήθως αποτελούν ιδεατές απλουστευμένες καταστάσεις αφού είναι δύσκολο να υπάρξουν στη λιθόσφαιρα χώροι με απόλυτα ίση κατανομή τάσεων σε ιδεατά ομοιογενή πετρώματα. Αντίθετα η χωροταξικά διαφοροποιημένη κατανομή των τάσεων αποκλείει την "σημείο προς σημείο" απόδοξη αξονικής συμπίεσης ή αξονικού εφελκυσμού.

Οι απλούστερες περιπτώσεις ρηγμάτων που έχουν καθιερωθεί σαν αντιπροσωπευτικές των συνήθων μορφών ρηξιγενούς παραμόρφωσης είναι: (α) τα κανονικά, (β) τα ανάστροφα και (γ) τα ρήγματα με οριζόντια μετάπτωση (Εικ.2). Με βάση τα πειραματικά δεδομένα από μοναξονική ή τριαξονική παραμόρφωση (η οποία όμως έχει δύο από τους τρεις κύριους άξονες τάσεως ίσους) έχει καθιερωθεί να θεωρείται ότι τα ρήγματα αναπτύσσονται σε γωνία μικρότερη από 45° προς τη διεύθυνση της κύριας τάσης σχηματίζοντας συνήθως συζυγή ζεύγη. Έτσι τα κανονικά ρήγματα θεωρούνται αποτέλεσμα κατακόρυφης συμπίεσης, δηλαδή επικράτησης της βαρύτητας, τα ανάστροφα ρήγματα αποτέλεσμα οριζόντιας συμπίεσης και τα ρήγματα με οριζόντια μετάπτωση επίσης αποτέλεσμα οριζόντιας συμπίεσης αλλά με ελάχιστη τάση κατά το οριζόντιο επίπεδο, ενώ στα ανάστροφα η ελάχιστη τάση είναι κατά το κατακόρυφο επίπεδο. Το γενικό αποτέλεσμα είναι η γενίκευση ανάμεσα στα είδη των ρηγμάτων και στα είδη των εντατικών πεδίων που αντιστοιχούν, με τις παραδοχές:

κανονικά ρήγματα - εφελκυσμός / ανάστροφα ρήγματα - συμπίεση.

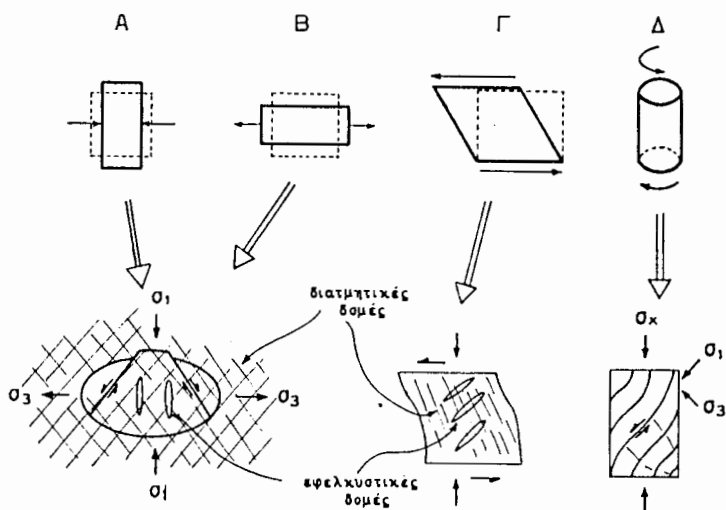
(Οι περιπτώσεις των ρηγμάτων με οριζόντια μετάπτωση εξετάζονται μόνο περιθωριακά δεδομένου ότι δύσκολα εντοπίζονται και συνήθως συγχέονται με τις δύο άλλες κατηγορίες λόγω του ότι συνήθως συνυπάρχει και κατακόρυφη συνιστώσα που δημιουργεί την εικόνα φαινομενικών κανονικών ή φαινομενικών ανάστροφων ρηγμάτων).

Οι παραπάνω γενικεύσεις δημιουργούν εσφαλμένες εντυπώσεις για την παραμόρφωση των ανωτέρων τμημάτων της λιθόσφαιρας και δεν λαμβάνουν υπόψη ότι:

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

(1) Μορφές κανονικών και ανάστροφων ρηγμάτων μπορούν να προκύψουν και από άλλα είδη εντατικού πεδίου όπως διατμητικό ζεύγος και ζεύγη

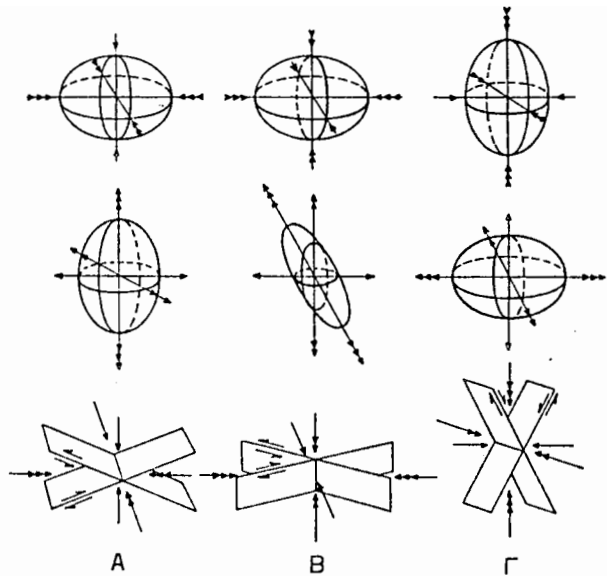
αντίρροπων διατμητικών ζευγών (Ramsay, 1967, Handin et al., 1960, 1967, Jaeger & Cook, 1971). Έτσι κατ'αναλογία με τις ζώνες πτεροειδών διακλάσεων δημιουργούνται κλιμακωτές διαρρήξεις υποπαράλληλες ανάμεσα στα δύο τεμάχια όπου εφαρμόζεται το ζεύγος των παράλληλων και αντίρροπων δυνάμεων. Εξ άλλου, στην περιστροφή αναπτύσσονται ελικοειδείς διαρρήξεις σε γωνία 45° ως προς τον άξονα αντίθετης περιστροφής (Εικ.1). Η γωνία μικραίνει όταν συνυπάρχει και αξονική συμπίεση εκτός από τα αντίρροπα ζεύγη της διάτμησης.



Εικόνα 1 Σχηματική απεικόνιση των ειδών εντατικού πεδίου (Α: συμπίεση, Β: εφελκυσμός, Γ: διάτμηση, Δ: στρέψη) και των διαρρήξεων που προκαλούνται σε κάθε περίπτωση.

(2) Οι τρεις κατηγορίες ρηγμάτων (Εικ.2), αποτελούν απλουστευμένη μορφή εντατικού πεδίου που δέχτηκε ο Anderson (1951) μόνο για την επιφάνεια του εδάφους όπου η διατμητική τάση είναι μηδενική και επομένως οι δύο από τις τρεις κύριες τάσεις περιέχονται στην επιφάνεια του εδάφους και η τρίτη είναι κάθετη σ'αυτές δηλαδή κατακόρυφη. Μόλις περάσουμε στο εσωτερικό της λιθόσφαιρας, οι προσανατολισμοί των ισοδυναμικών γραμμών μεταβάλλονται και γίνονται πολύπλοκοι με αποτέλεσμα τα συζυγή συστήματα των ρηγμάτων να κλίνουν διαγώνια και ασύμμετρα ως προς την επιφάνεια της Γης (Ramsay, 1967).

(3) Στις περισσότερες περιπτώσεις ρηγμάτων η ολίσθηση πάνω στη ρηγιγενή επιφάνεια μπορεί να αναλυθεί σε δύο συνιστώσες μία κατά κλίση και μία κατά παράταξη, που, εφόσον δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους, συνιστούν την κατηγορία των πλαγίων ρηγμάτων. Τα ρήγματα αυτά συνήθως προκύπτουν από ολίσθηση πάνω σε προϋπάρχοντα επίπεδα διάρρηξης ή

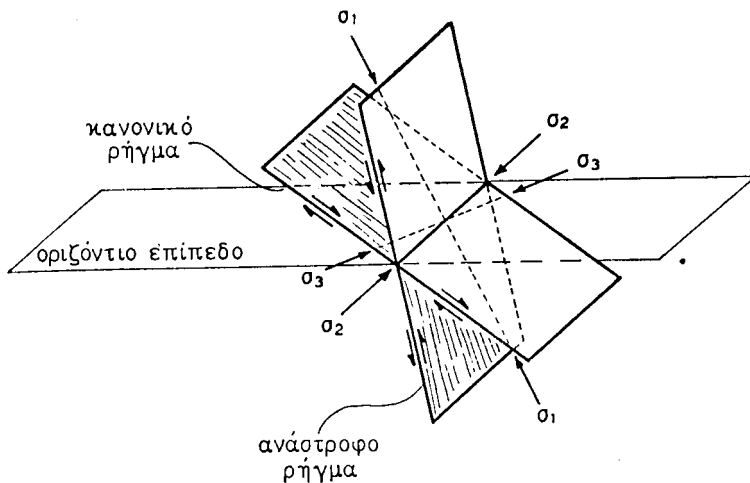


Εικόνα 2 Σχέση διατμητικών επιφανειών διάρρηξης (κάτω) με τα ελλειψοειδή τάσης (πάνω) και τα ελλειψοειδή παραμόρφωσης (μέσον) που χαρακτηρίζουν τα ανάστροφα ρήγματα (Α), τα ρήγματα με οριζόντια μετάπτωση (Β) και τα κανονικά ρήγματα (Γ).

από επαναπροσανατολισμό του εντατικού πεδίου και ολίσθηση σε νέα διεύθυνση (Bott, 1959). Ας σημειωθεί ότι όταν δεν υπάρχουν ενδείξεις κινηματικής πάνω στις επιφάνειες διάρρηξης ή όταν αυτές δεν λαμβάνονται υπόψη, τότε τα πλάγια ρήγματα θεωρούνται συλλήβδην σαν κανονικά ή ανάστροφα με βάση μόνο την κατά κλίση συνιστώσα της ολίσθησης, παρόλο που αν είναι μόνο 20% δημιουργεί φαινομενική εικόνα ταυτόσημη με τα κανονικά ή ανάστροφα. Στις περιπτώσεις αυτές είναι πιο σωστό να χρησιμοποιείται ο όρος φαινομενικά κανονικά και φαινομενικά ανάστροφα ρήγματα.

(4) Όλα τα μεγάλα ρήγματα συνήθως παρουσιάζουν δύο, τρεις ή και περισσότερες γενεές γραμμών προστριβής από αντίστοιχα επεισόδια ολίσθησης-ενεργοποίησης με διαφορετικές γωνίες ως προς την παράταξη της επιφάνειας διάρρηξής τους. Έτσι το ίδιο ρήγμα μπορεί να ήταν, από κινηματική άποψη, άλλοτε κανονικό με κατά κλίση ολίσθηση, άλλοτε ανάστροφο με πλάγια ολίσθηση και άλλοτε ρήγμα οριζόντιας μετάπτωσης.

(5) Το ίδιο εντατικό πεδίο με την ίδια κινηματική σε ένα συγκεκριμένο συζυγές ζεύγος ρηγμάτων μπορεί να δώσει ταυτόχρονα κανονικό και ανάστροφο ρήγμα εφόσον ο άξονας της σ_1 είναι σημαντικά κεκλιμένος (Εικ. 3). Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόδωρος" - Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ Ένα ρήγμα είναι αποτέλεσμα θλίψης και το συζυγές του αποτέλεσμα εφελκυσμού!



Εικόνα 3

Τέλος είναι σημαντικό ότι πολλές κατηγορίες συνήθων ρηγμάτων από άποψη γεωμετρίας και κινηματικής δεν μπορούν να προέλθουν από απλό εντατικό πεδίο παρά μόνο σαν επαναδραστηριοποίηση παλαιών επιφανειών, που δεν έχουν γενετική σχέση με το συγκεκριμένο εντατικό πεδίο στο οποίο οφείλεται κάποιο μικρό τμήμα της συνολικής κινηματικής τους ιστορίας. Τα παραπάνω προβλήματα αίρονται εν μέρει, εάν χρησιμοποιηθεί ένα δυαδικό σύστημα ταξινόμησης - ορολογίας των ρηγμάτων που να χρησιμοποιεί τη γεωμετρία της επιφάνειας διάρρηξης στο χώρο και την κινηματική τους, όπως προσδιορίζεται από τις γραμμές προστριβής και τη σχετικά ανοδική ή καθοδική κίνηση ανάμεσα στα δύο ρηξιτεμάχη (Εικ.4).

1.2. Γεωμετρική - Κινηματική ταξινόμηση ρηγμάτων

Τα ρήγματα με βάση τη θέση της επιφάνειας διάρρηξης στο χώρο διακρίνονται σε (Εικ.4):

- Κατακόρυφα ρήγματα (1,2,3)
- Οριζόντια ρήγματα (4)
- Κεκλιμένα ρήγματα (5,6,7,8,9)

ενώ με βάση το είδος της κίνησης πάνω στις επιφάνειες διάρρηξης διακρίνονται σε:

- Ρήγματα με ολίσθηση κατά κλίση (1,5,7)
- Ρήγματα με ολίσθηση κατά παράταξη (2,4,9)
- Ρήγματα με πλάγια ολίσθηση (3,6,8)

Αποκλίσει ηλεκτρονική βιβλιοθήκη Σερβίας 198, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΡΗΓΜΑΤΩΝ - FAULT CLASSIFICATION

επιφάνεια διαρρηξης fault plane		ΥΡΑΜΕΣ ΠΡΟΣΤΡΙΒΗΣ slickensides			1
κατακόρυφη vertical	κατά κλίση dip-slip	κατά παράταξη strike-slip	πλαγία oblique-slip		
		② παρα-κατακόρυφο strike-slip vertical	③ πλαγιο-κατακόρυφο oblique-slip vertical		
οριζόντια horizontal	οριζόντιο horizontal	④ οριζόντιο horizontal			
κεκλιμένη inclined	ορθοκανονικό dip-slip normal		⑤ πλαγιο-κανονικό oblique-slip normal		κανονικό normal
			⑦ ορθοαντίστροφο dip-slip reverse	⑧ πλαγιο-αντίστροφο oblique-slip reverse	
		⑨ παρα-κεκλιμένο strike-slip inclined			
		οριζόντιες μεταπτώσεις			

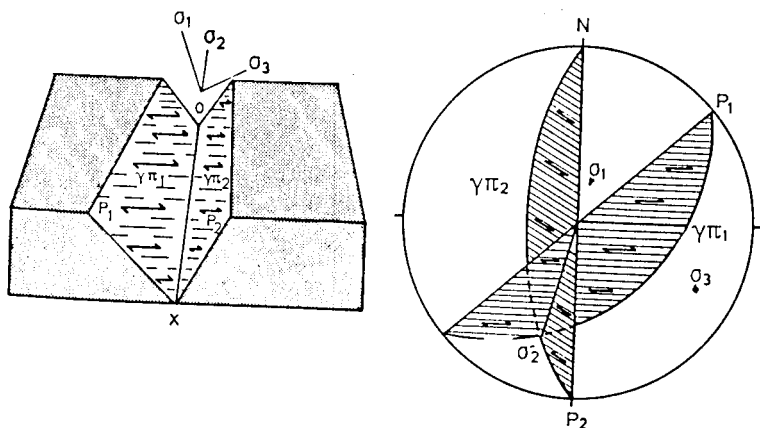
1-ΑΡΙΘΛΑΚΙΣ & ΠΑΠΑΝΚΩΛΑΟΥ, 1984

ματα.

Το πρόθεμα ορθο- για την κατά κλίση ολίσθηση, το πρόθεμα παρα- για την κατά παράταξη και το πρόθεμα πλάγιο- για την πλάγια ολίσθηση σε συνδυασμό με το συνθετικό -κατακόρυφο, -κανονικό, -ανάστροφο μπορούν να αποδώσουν τα διαφορετικά αυτά είδη ρηγμάτων.

Από τις εικονιζόμενες εννέα περιπτώσεις ρηγμάτων μόνον δύο αντιστοιχούν στα κανονικά (5) και τα ανάστροφα (7) ρήγματα και άλλες δύο (6,8) πλησιάζουν, εφόσον η οριζόντια συνιστώσα δεν είναι μεγαλύτερη ή ίση της κατακόρυφης. Δηλαδή μόνον αυτά μπορούν να θεωρηθούν αποτέλεσμα οριζόντιας θλίψης ή εφελκυσμού και πάλι χωρίς αυτό να σημαίνει ότι πράγματι το εντατικό πεδίο είναι αξονική θλίψη ή αξονικός εφελκυσμός, δεδομένου ότι ο συνδυασμός περισσότερων ρηγμάτων στο χώρο συνήθως αποδεικνύει την ύπαρξη διάτμησης ή στρέψης. Αντίθετα, οι υπόλοιπες κατηγορίες ρηγμάτων δεν μπορούν να αποδοθούν σε απλά πρότυπα εντατικών πεδίων.

Πιο συγκεκριμένα η θεωρητική προσέγγιση και τα πειραματικά δεδομένα σε μικροκλίμακα για ομοιογενές δοκίμιο, χωρίς προϋπάρχουσες επιφάνειες ασυνέχειας, απαιτούν συγκερασμό των στοιχείων της γεωμετρικής, κινηματικής και δυναμικής ανάλυσης με γραμμές προστριβής πάνω στις δύο συζυγείς διατμητικές επιφάνειες διάρρηξης που να είναι κάθετες προς τη γραμμή διατομής τους (Εικ.5). Στην προκειμένη περίπτωση η γραμμή διατομής αντιπροσωπεύει τον ενδιαμέσο άξονα κύριας τάσης σ_2 και οι γραμμές προστριβής καθορίζουν το κάθετο στον σ_2 επίπεδο που περιέχει τους δύο άλλους άξονες κύριας τάσης, δηλαδή το σ_1 στη διχοτόμο της οξείας δίεδρης γωνίας και το σ_3 στη διχοτόμο της



Εικόνα 5 Στερεοδιάγραμμα και αντίστοιχη στερεογραφική προβολή πάνω σε δίκτυο Schmidt συζυγούς ζεύγους ρηγμάτων που δείχνει την ταύτιση της γραμμής διάρρηξης με την οριζόντια σ_2 (από ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1984)

αμβλείας δίδεξης γωνίας.

Η παραπάνω απαραίτητη συνθήκη ισχύει σε ορισμένα μόνο συζυγή ζεύγη όπου και τα δύο ρήγματα μπορεί να ανήκουν στην ίδια κατηγορία του πίνακα 4. Αυτά είναι τα ορθοκανονικά (5), ορθοανάστροφα (7), παρακατακόρυφα (2), πλαγιοκανονικά (6) και πλαγιοανάστροφα (8). Αντίθετα, δεν μπορεί να υπάρχει συζυγές ζεύγος που και τα δύο ρήγματα να είναι ορθοκατακόρυφα (1) ή οριζόντια (4) ή πλαγιοκατακόρυφα (3) παρακεκλιμένα (9). Σε όλες τις περιπτώσεις όπου τα πιθανά συζυγή ζεύγη ρηγμάτων δεν τηρούν την παραπάνω συνθήκη είτε δεν είναι πραγματικά συζυγή ζεύγη ή, κατά κανόνα, πρόκειται για επαναδραστηριοποιήσεις παλαιότερων ρηξιγενών επιφανειών κάτω από νέο εντατικό καθεστώς. Έτσι, το υπό παραμόρφωση γεωλογικό σώμα περιέχει ασυνέχει που προκαθορίζουν την παραμόρφωσή του κάτω από δεδομένο εντατικό πεδίο ανεξάρτητα από τη γωνιώδη σχέση της σ_1 του εντατικού πεδίου με τη ρηξιγενή του επιφάνεια.

Συμπερασματικά, το θεωρητικό και πειραματικό πρότυπο των σχέσεων της γεωμετρίας, κινηματικής και δυναμικής κατά τη δημιουργία ενσυσζυγούς ζεύγους διατμητικών ρηξιγενών επιφανειών ισχύει μόνο στα πρώτα στάδια διάρρηξης ενώ μετά τη συνεχή επαναδραστηριοποίηση των ήδη υφισταμένων ρηξιγενών ασυνεχειών θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ανάλυση του γενικού εντατικού πεδίου πάνω στις ασυνέχειες σε ορθή διατμητική τάση. Η επαναδραστηριοποίηση ενός ρήγματος θα εξαρτηθεί από το πότε η διατμητική τάση θα υπερνικήσει την αντίσταση της εσωτερικής τριβής της επιφάνειας του ρήγματος (Scholz et al., 1972). Σε περιπτώσεις αυτές γίνεται λόγος για ολίσθηση κατά μήκος της συνδετικής κόλλας (stick-slip) του ρήγματος (Brace & Byerlee, 1966) δηλαδή της μυλονιτικής ζώνης.

2. ΡΗΞΙΓΕΝΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΤΟΞΟ ΚΑΙ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ

Οι κυριώτερες πρόσφατες συνθετικές εργασίες πάνω στη νεοτεκτονική του Ελληνικού τόξου έχουν αντιμετωπίσει τα ρήγματα και τις γραμμές προστριβής πάνω στις επιφάνειες διάρρηξης τους με την υπεραπλουστευμένη λογική της συμπίεσης ή του εφελκυσμού, χωρίς ταυτόχρονα να εξετάζουν τη σχέση των ρηγμάτων στο χώρο μιας περιοχής στο σύνολό τους, αλλά κάθε περίπτωση ξεχωριστά παρά τη στατιστική επεξεργασία (π.χ. Mercier et al., 1979, Mercier, 1981, Angelier, 1979, Angelier et al., 1982). Επιπλέον έχουν την τάση της χρονικής διαφοροποίησης του εντατικού πεδίου και της βραδύτητας της παραμόρφωσης σε περιόδους συμπίεσης και περιόδους εφελκυσμού στο εξελισσόμενο τόξο, με βάση στρωματογι-

φικούς προσδιορισμούς στις περιοχές των ρηγμάτων. Συνολικά μπορεί να θεωρηθεί ότι υποβαθμίζονται τόσο οι οριζόντιες μεταπτώσεις (παρακατόρυφα ρήγματα - strike-slip faults της εικόνας 4) και οι οριζόντιες συνιστώσες της κινηματικής (πλαγιοκανονικά και πλαγιοανάστροφα ρήγματα) όσο και τα συνθετότερα εντατικά πεδία της διάτμησης και της στρέψης, ενώ δεν λαμβάνεται ουσιαστικά υπόψη το φαινόμενο της επαναδραστηριοποίησης παλαιών ρηγμάτων. Έτσι, χωρίς να αμφισβητούνται τα επί μέρους στοιχεία των ερευνητών αυτών, αναζητείται από τους συγγραφείς της παρούσας ένας πληρέστερος στην πραγματικότητα τρόπος περιγραφής τόσο της ρηξιγενούς παραμόρφωσης με χρησιμοποίηση των εννέα κατηγοριών ρηγμάτων της εικόνας 4, αντί των 3 ή το πολύ 4, όσο και του εντατικού πεδίου με έμφαση στα ρεαλιστικά είδη της διάτμησης και της στρέψης, ιδιαίτερα σε μακρομεγασκοπική κλίμακα.

Σε παλαιότερες ανακοινώσεις μας έχουμε περιγράψει φαινόμενα διάτμησης και στρέψης τόσο σε μικρο- έως μεσοσκοπική κλίμακα παρατήρησης όσο και σε μακροσκοπική (Μαριολάκος, 1976, Mariolakos & Papanikolaou, 1981, Mariolakos et al., 1981, Παπανικολάου, 1984, Mariolakos et al., 1985). Ιδιαίτερη βέβαια περίπτωση αποτελεί το τεκτονικό πρότυπο στρέψης του Ισθμού της Κορίνθου, το οποίο έχει τεκμηριωθεί άριστα από τον Freyberg (1973), που πρώτος έδειξε ότι η δομή του Ισθμού δεν αντιστοιχεί σε ένα απλό τεκτονικό κέρασ. Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει ακόμη: (i) στην έννοια των τεκτονικών διπόλων σαν μεγασκοπικής κλίμακας μορφών περίπου κατακόρυφης διάτμησης (Μαριολάκος, 1976) (ii) στην τεκμηρίωση του πρότυπου ρηξιγενούς παραμόρφωσης σε ήδη διερευνημένη μάζα πετρώματος με ολίσθηση παράλληλα προς τις γραμμές διατομής των συζυγών ρηξιγενών επιφανειών στα μεταμορφωμένα της Ανδρου (Papanikolaou, 1978) και (iii) στην περιγραφή διάτμησης σε κάθε μια από τις δύο επαναδραστηριοποιημένες ρηξιγενείς ζώνες Καπαρελίου-Πλαταιών και Πισισίων-Περαχώρας, με συνολικό για την περιοχή πρότυπο στρέψης κατά τους σεισμούς του 1981 (Mariolakos et al., 1981).

Ιδιαίτερης σημασίας νέα δεδομένα για την ενεργό παραμόρφωση του Ελλαδικού χώρου που αξιολογούνται με λεπτομέρεια στη συνέχεια είναι: (i) οι επί τόπου μετρήσεις εντατικού πεδίου σε αβαθείς γεωτρήσεις (Paquin et al., 1982) (ii) παλαιομαγνητικά δεδομένα για το Νεογενές-Τεταρτογενές (Laj et al., 1982) και (iii) μηχανισμοί γένεσης σεισμών (McKenzie, 1972, 1978, Ritsema, 1974, Drakopoulos & Delibasis, 1982, Papazachos et al., 1984).

(i) Οι επί τόπου μετρήσεις του εντατικού πεδίου έδειξαν ότι στο οριζόντιο επίπεδο κυριαρχεί άλλοτε συμπίεση και άλλοτε εφελκυσμός χωρίς φυσικά να είναι η κατάσταση σε κάθε περίπτωση. Ωστόσο, οι μετρήσεις αντιστοιχούν στους άξονες κυρίων τάσεων σ_1 ή σ_2 (η σ_{Hmax}) ή στους σ_2

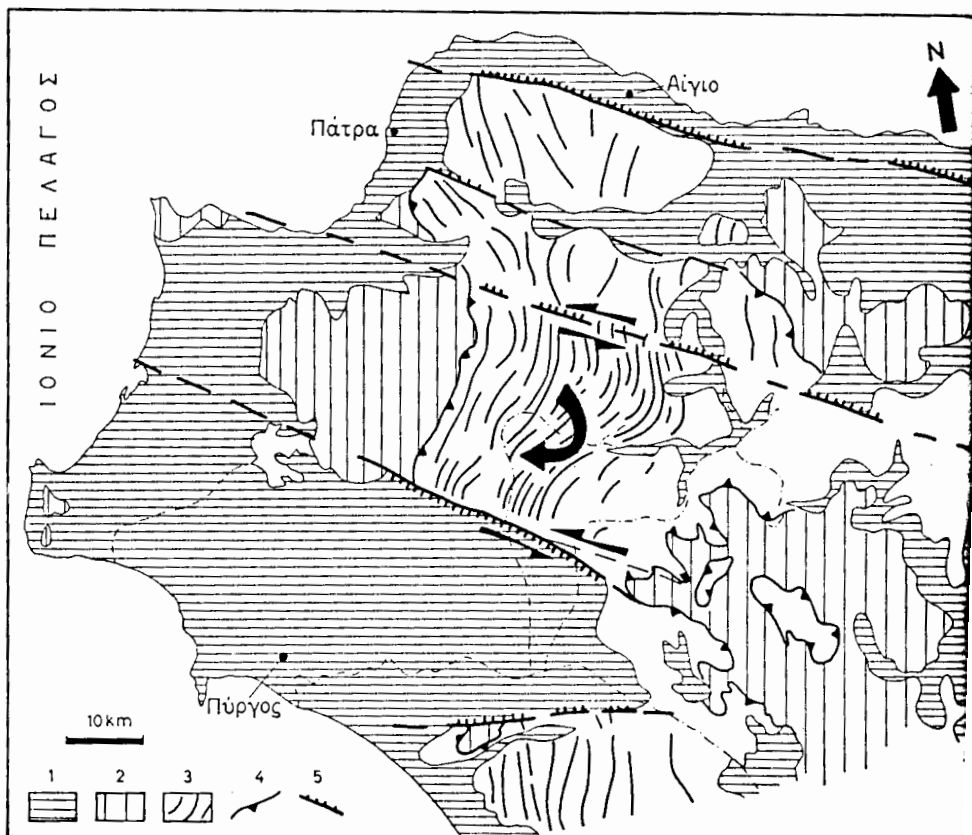
ή σ₃ (η σ_{Hmin}) ούτε τί ποσοστό των αξόνων αντιπροσωπεύουν (σαν συνιστώσες των στο οριζόντιο επίπεδο). Είναι χαρακτηριστικό ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων του εντατικού πεδίου δεν είναι συμβατά σε αρκετές περιπτώσεις με τα προταθέντα από την απλουστευμένη ερμηνεία συμπίεσης ή εφελκυσμού με βάση τη μελέτη των νεοτεκτονικών ρηγμάτων (Faquin et al., 1982). Εάν όμως αντί των απλουστευμένων προτύπων εντατικού πεδίου της θλίψης και του εφελκυσμού χρησιμοποιηθούν στην ερμηνεία των νεοτεκτονικών ρηγμάτων η διάτμηση και η στρέψη, τότε αναμένονται οι παραπάνω τιμές εντατικού πεδίου. Πάντως σε γενικές γραμμές τείνει να επικρατήσει μία εφελκυστική συνιστώσα σε διεύθυνση N-S ενώ η παρατηρηθείσα συμπίεση τείνει, όπου βρέθηκε, να εμφανίζεται σε διεύθυνση E-W. Δηλαδή, με δεδομένο ότι ο ηπειρωτικός χώρος του Ελληνικού τόξου συμπιέζεται προς τα δυτικά ωθούμενος από τη Μικρασία πάνω στον υποβυθιζόμενο φλοιό του Ιονίου (McKenzie, 1970, 1972, 1978) η γενική εικόνα του εντατικού πεδίου είναι περίπου η αναμενόμενη. Ας σημειωθεί ότι για μεν τη συμπίεση δυτικά - νοτιοδυτικά του τόξου μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί την αιτία εφίππεύσεων και ανάστροφων δομών για δε τη συμπίεση στο χώρο Ανατολικής Θεσσαλίας - Μακεδονίας μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιστοιχεί σε παρακατακόρυφα ρήγματα με οριζόντια μετάπτωση.

(ii) Οι παλαιομαγνητικές μετρήσεις στην περιοχή της Δυτικής Ελλάδας και των Ιονίων νησιών (Laj et al., 1982) έδειξαν μία δεξιόστροφη περιστροφή των ρηξιτεμαχών με τάση μεγαλύτερης προς τα δυτικά κίνησης του νότιου τμήματος από ότι του βόρειου, δηλαδή μία τάση ανάπτυξης της καμπυλότητας του Ελληνικού τόξου και μιας προέλασης του νοτιοδυτικού τμήματος του. Τούτο βρίσκεται σε συμφωνία με το πρότυπο ανάπτυξης της καμπύλης του Ελληνικού τόξου κατά τα τελευταία 13 Ma (Lichon & Angelier, 1979).

Εν τούτοις, τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι όλο το δυτικό τμήμα του Ελληνικού τόξου οφείλει να έχει κερματιστεί σε υποπαράλληλα τμήματα από ρήγματα διεύθυνσης περίπου E-W τα οποία να έχουν σημαντικά οριζόντια συνιστώσα. Δηλαδή, το προτεινόμενο πρότυπο προδικάζει την ύπαρξη εγκάρσιων προς το τόξο παρακατακόρυφων ή παρακεκλιμένων ή πλεγμένων δεξιόστροφων ρηγμάτων (κανονικών ή ανάστροφων), τα οποία θα δημιουργήσουν την απαραίτητη συνολική περιστροφή. Το πρότυπο αυτό δείχνει ότι πρέπει τα κυριώτερα ρήγματα να έχουν σημαντική ολίσθηση κατά παράταξη και φυσικά το εντατικό πεδίο δεν μπορεί να θεωρηθεί πλά σαν συμπίεση ή εφελκυσμός αλλά σαν ζώνες διάτμησης οι οποίες, λόγω διαφορικής κίνησης στα άκρα τους, δημιουργούν αντίρροπα ζεύγη διάτμησης που προκαλούν στα ενδιάμεσα των ζωνών ρηξιτεμαχική σιμύση.

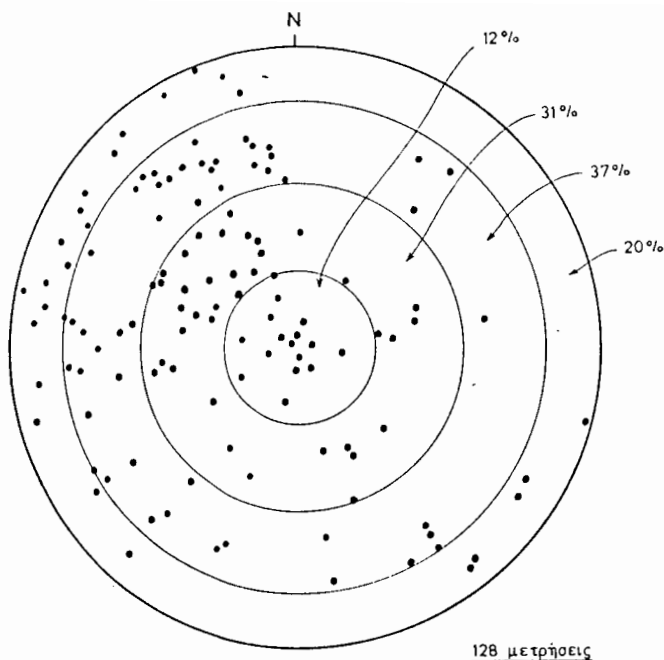
Τα παραπάνω συμφωνούν καταπληκτικά με το πρότυπο της νεοτεκτονικής δομής που έχουμε προτείνει για το Ελληνικό τόξο με βάση τα κυριώτερα περιθωριακά ρήγματα των μεταλπικών λεκανών (Mariolakos & Papani-kolaou, 1981). Σύμφωνα με αυτό η Στερεά Ελλάδα και το βορειοδυτικό τμήμα της Πελοποννήσου κυριαρχούνται από ρήγματα διεύθυνσης E-W, τα οποία έχουν αριστερόστροφη κίνηση οριζόντιας ολίσθησης προκαλώντας δεξιόστροφη περιστροφή των ενδιάμεσων ρηξιτεμαχών. Χαρακτηριστικότερη περίπτωση η περιοχή Ωλονού στη βορειοδυτική Πελοπόννησο (Εικ.6) όπου η στρέψη των αλπικών πτυχώσεων και εφιππεύσεων φθάνει τις 35°-45° ενώ η πάρελξη κατά μήκος των περιθωριακών E-W ρηγμάτων είναι σαφέστατη και ενδεικτική της φοράς οριζόντιας ολίσθησης.

(iii) Οι μηχανισμοί γένεσης 128 σεισμών κανονικού βάρους με γέθους άνω των 5.4 Richter στο διάστημα 1947-1980 (Drakopoulos & Delibasis, 1982) δείχνουν μια μεγάλη ποικιλία της θέσης στο χώρο των δύο επιφανειών διάρρηξης με ορισμένες μόνο περιπτώσεις τυπικών κανονικών ρηγμάτων (ορθοκανονικά), τυπικών ανάστροφων ρηγμάτων (ορθοανάστροφα) και τυπικών ρηγμάτων με οριζόντια ολίσθηση (παρακατακόρυφα), ενώ η πλειοψηφία αντιστοιχεί σε πλάγια ρήγματα τόσο πλαγιοκανονικά όσο και πλαγιοανάστροφα. Δεδομένου ότι ο άξονας B αποτελεί το πλέον αξιόπιστο στοιχείο της ανάλυσης και ταυτόχρονα περιγράφει τη γενική διάταξη στο χώρο του τριαξονικού ελλειψοειδούς τάσεων, μια και ταυτίζεται με τον άξονα σ_2 , έγινε προβολή των διαθέσιμων αξόνων B σε στερεογραφικό διάγραμμα Schmidt (προβολή στο κατώτερο ημισφαίριο) (Εικ.7). Σ' αυτό έχουν προστεθεί οι ομόκεντρες περιφέρειες γι βύθιση 20°, 45° και 70°. Ετσι φαίνεται ότι ποσοστό μόνο 20% των μηχανισμών γένεσης περιέχονται στο χώρο όπου ο B είναι οριζόντιος έως βυθιζόμενος με 20° και επομένως μόνο 20% των μηχανισμών γένεσης εντάσσονται στις κατηγορίες των πραγματικών κανονικών και πραγματικών ανάστροφων ρηγμάτων (και μάλιστα με αποδοχή απόκλισης 20°). Από τα υπόλοιπα στοιχεία της ανάλυσης των μηχανισμών γένεσης φαίνεται ότι το ποσοστό αυτό μοιράζεται περίπου στα δύο και έτσι περίπου 10% των μηχανισμών γένεσης μπορούν να θεωρηθούν ότι αντιστοιχούν σε ορθοκανονικά ρήγματα και άλλο 10% σε ορθοανάστροφα ρήγματα. Εξ άλλου στον κεντρικό χώρο του διαγράμματος όπου η βύθιση του B κυμαίνεται από 70° έως 90° παρατηρείται ποσοστό 12% που αντιστοιχεί στα παρακατακόρυφα ρήματα. Το υπόλοιπο 68% των μηχανισμών αντιστοιχεί σε πλάγια ρήματα και με βάση τα υπόλοιπα στοιχεία της ανάλυσης μοιράζεται σε ποσοστό 35% που είναι τα πλαγιοανάστροφα και 32% που είναι τα πλαγιοκανονικά. Εξ άλλου, το 68% των πλαγίων ρηγμάτων αναλύεται σε 37% με βύθιση B μεταξύ 20°- 45° δηλαδή πλησιέστερα στα ορθοκανονικά και τα ορθοανάστροφα και ποσοστό 31% με βύθιση μεταξύ 45°-70° δηλαδή πλησιέστερα στα παρακατακόρυφα.



Εικόνα 6 Σχηματικός χάρτης της ΒΔ Πελοποννήσου που δείχνει τη δεξιόστροφη στρέψη του ρηξιτεμάχου του Ωλονού ανάμεσα στα δύο αριστερόστροφα ρήγματα διεύθυνσης ESE-WNW που το οριοθετούν.

(1) Πλειοτεταρτογενή ιζημάτα, (2) Σχετικά αυτόχθονες αλπικές ενότητες Ιόνιας, Γαβρόβου-Τρίπολης, (3) Τεκτονικό κάλυμμα Πίνδου με κύριους άξονες πτυχών-λεπών, (4) Επώθηση Πίνδου, (5) Νεοτεκτονικά ρήγματα, με οδοντώση στο σκέλος που έχει σχετικά κατέλθει.

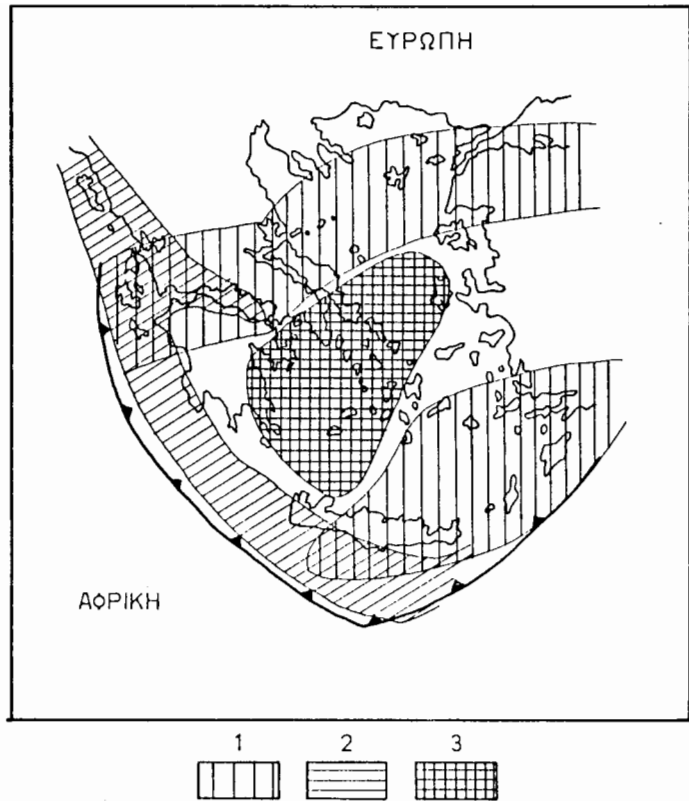


Εικόνα 7 Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt των αξόνων B των μηχανισμών γένεσης 128 σεισμών κανονικού βάθους, μεγέθους άνω των 5,3 Richter που έγιναν στον Ελλαδικό χώρο το διάστημα 1947-1980 (Τα στοιχεία σύμφωνα με τους Drakopoulos & Delibasis, 1982).

Τα παραπάνω αποτελέσματα επιβεβαιώνουν με εκπληκτικό τρόπο τα αναφερθέντα στο πρώτο μέρος της εργασίας, ότι δηλαδή η συντριπτική πλειοψηφία των ρηγμάτων είναι φαινομενικά κανονικά ρήγματα ή φαινομενικά ανάστροφα και δεν μπορούν να ενταχθούν στη λογική της υπερπλούστευσης θλίψη - εφελκυσμός.

Εκτός από τη συνολική στατιστική εικόνα ενδιαφέρον παρουσιάζει και η γεωγραφική κατανομή των παραπάνω ποσοστών των διαφόρων κατηγοριών ρηγμάτων στο Ελληνικό τόξο. Έτσι, το σύνολο σχεδόν των παρακατακόρυφων ρηγμάτων και των πλάγιων με βύθιση σ_2 άνω των 45° , δηλαδή με κυρίαρχη οριζόντια συνιστώσα ολίσθησης, εντοπίζεται σε δύο ζώνες με διεύθυνση ENE-WSW, μία στη βόρεια περιοχή του τόξου στην τάφο του βόρειου Αιγαίου (συνέχεια της ρηξιγενούς ζώνης της Ανατολίας στη Μικρασία) που συνεχίζεται δυτικά έως τα νησιά Λευκάδα - Κεφαλληνία - Ζάκυνθο και μία σχεδόν παράλληλή της στη νότια περιοχή του τόξου στην περιοχή Δωδεκανήσου Ανατολικής Κρήτης (Εικ.8).

Τα ρήγματα με μηχανισμό γένεσης που δείχνουν συμπίεση και άξονα $B = \sigma_2$ με βύθιση κάτω των 45° εντοπίζονται κατά μήκος του εσωτερικού



Εικόνα 8 Γεωγραφική κατανομή των μηχανισμών γένεσης των σεισμών στο Ελληνικό τόξο με βάση τη βύθιση του άξονα Β και το είδος της κίνησης (κανονικό ή ανάστροφο).

- 1: περιοχές όπου επικρατούν ρήγματα με σημαντική οριζόντια ολίσθηση (παρακατακόρυφα, παρακεκλιμένα, πλαγιοανάστροφα και πλαγιοκανονικά με $\sigma_2 > 45^\circ$)
- 2: περιοχές όπου επικρατούν ρήγματα ορθοανάστροφα ή πλαγιοανάστροφα με $\sigma_2 < 45^\circ$.
- 3: σχετικά ασεισμική περιοχή (με βάση τους 128 σεισμούς)

Στις υπόλοιπες περιοχές επικρατούν ορθοκανονικά ρήγματα ή πλαγιοκανονικά με $\sigma_2 < 45^\circ$.

Σημειώνεται ότι η σχετικά ασεισμική περιοχή απαντά ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις Ε-Ω ζώνες με οριζόντια ολίσθηση, όπου επικρατούν τα ρήγματα ΝW-SE διεύθυνσης.

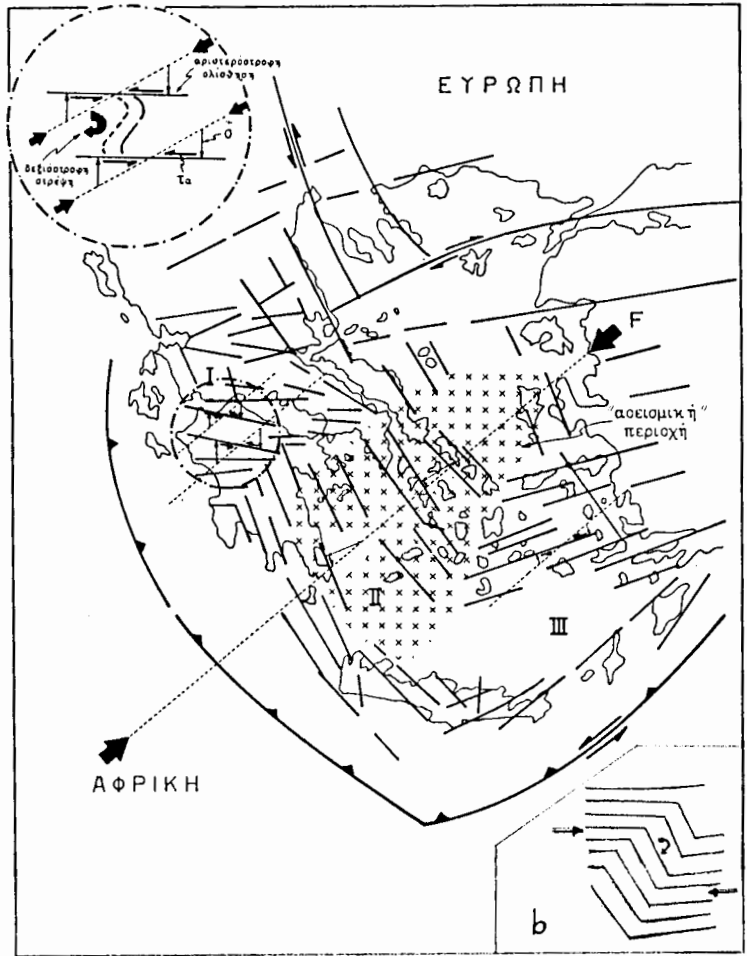
κού περιθώριου της Ελληνικής τάφρου κατά μήκος των Ιονίων νησιών έως νότια της Κρήτης με μία αξιοπρόσδεκτη προέκταση προς τα ανατολικά στο χώρο του Κορινθιακού Κόλπου.

Αντίθετα, τα ρήγματα με μηχανισμούς γένεσης που δείχνουν εφελκυσμό δεν είναι εντοπισμένα σε μία συγκεκριμένη περιοχή του Ελληνικού τόξου αλλά απαντούν κυρίως στην Ηπειρωτική Ελλάδα. Βεβαίως στο χώρο του Αιγαίου υπάρχει κενό παρατήρησης δεδομένου ότι δεν έχουν γίνει μεγάλοι σεισμοί των οποίων να προσδιοριστούν οι μηχανισμοί γένεσης. Ο χώρος αυτός συμπεριφέρεται κατά οριζοντιοειδή ασεισμικό τρόπο παρά το ότι υπάρχουν γεωλογικά και τεκτονικά στοιχεία που υποδηλώνουν σημαντική παραμόρφωση κατά το Τεταρτογενές (Papanikolaou et al., 1981). Η ερμηνεία που έχει προταθεί από τους Papanikolaou et al. (1981), είναι ότι έχουμε το φαινόμενο του ερπυσμού με ελάχιστη συνεχή ολίσθηση ή με μικροολισθήσεις που δίνουν μικρούς σεισμούς (2-3 Richter) λόγω κατακερματισμού ή ίσως λόγω λεπτού και θερμού φλοιού που συνοδεύει την πιθανή αναθόλωση του Αιγαίου (Makris, 1977).

Είναι ενδιαφέρον ότι η ενδιαμέση αυτή, σχετικά ασεισμική περιοχή, κυριαρχείται από ρήγματα διεύθυνσης NW-SE σε αντίθεση με τις γειτονικές περιοχές όπου η σεισμικότητα είναι μεγάλη και τα επικρατούντα ρήγματα έχουν διεύθυνση E-W (Παπανικολάου, 1984, Mariolakos et al., 1985).

3. ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΤΟΞΟΥ

Από το σύνολο των παραπάνω παρατηρήσεων προκύπτει ότι η παραμόρφωση του Ελληνικού τόξου είναι αρκετά πολύπλοκη και φαίνεται ότι επηρεάζει αποφασιστικά την ένταση της σεισμικής δραστηριότητας στις διάφορες περιοχές του. Παρά το ότι ικανοποιητική προσέγγιση μπορεί να γίνει μόνο όταν θα εκπονηθεί νεοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας σε κλίμακα τουλάχιστον 1:500.000 είναι δυνατόν να δοθεί μία προκαταρκτική ερμηνεία με βάση την ανάλυση του γενικού εντατικού πεδίου πάνω στις κυριώτερες ρηξιγενείς ζώνες (Εικ.9). Ως γνωστόν σαν γενική διεύθυνση της συμπίεσης, δηλαδή της σ_1 θεωρείται περίπου η NE-SW (McKenzie, 1978). Εάν αυτή αναλυθεί σε ορθή και διατμητική συνιστώσα πάνω στα κύρια ρήγματα του Ελληνικού τόξου σύμφωνα με τη γενική διάκριση σε τρεις νεοτεκτονικές ζώνες των Mariolakos & Papanikolaou, (1981) τότε προκύπτει σημαντική διατμητική συνιστώσα στα ρήγματα διεύθυνσης E-W έως ENE-WSW των τομέων I και III και ελάχιστη έως μηδενική διατμητική συνιστώσα στα ρήγματα διεύθυνσης NW-SE του ενδιαμέσου τομέα II. Αυτό πιθανόν να εξηγεί τη διαφορά στη σεισμική συ-



Εικόνα 9 Ανάλυση του γενικού εντατικού πεδίου F πάνω στα ρήγματα των τριών τομέων I, II, III των Mariolacos & Papanikolaou (1981) σε ορθή (σ) και διατμητική συνιστώσα (T_a). Σε μεγέθυνση αναλύεται η περιοχή ΒΑ Πελοποννήσου | ανάπτυξη ρηγμάτων με σημαντική οριζόντια αριστερόστροφη συνιστώσα και | ξιλόστροφη στρέψη του ενδιάμεσου ρηξιτεμάχους. Η σχετικά σεισμική περ | χή των Κυκλάδων κυριαρχείται από ρήγματα NW-SE διεύθυνσης, στα οποία η | ατμητική συνιστώσα T_a του γενικού εντατικού πεδίου είναι ελάχιστη.

μπεριφορά των μεν από τα δε, δηλαδή έντονη σεισμικότητα εκεί όπου διατμητική συνιστώσα είναι μεγάλη και μικρή σεισμικότητα εκεί όπου διατμητική συνιστώσα απουσιάζει ή είναι μικρή. Αυτό πιθανόν να οφλεται στα φηφιακή Βιβλιοθήκη Θεσσαλονίκης, τη διεύθυνση E-W, η οποία επιδιορθώνει τις πιφάνειες διάρρηξης των ρηγμάτων διεύθυνσης E-W σε αντίθεση με την | θή συνιστώσα σ που επιδρά στα ρήγματα με διεύθυνση NW-SE.

Εξ άλλου, η προκύπτουσα οριζόντια ολίσθηση πάνω στα ρήγματα, διεύθυνσης E-W είναι ακριβώς η παρατηρούμενη και περιγραφείσα από τους Mariolakos & Papanikolaou (1981) και Mariolakos et al. (1985) η οποία συμφωνεί και με τα νέα παλαιομαγνητικά δεδομένα των Laj et al. (1982). Δηλαδή, προκύπτουν ρήγματα ή ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης E-W με αριστερόστροφη ολίσθηση ενώ τα ενδιάμεσα οριοθετούμενα ρηξιτεμάχη αναγκάζονται σε δεξιόστροφη στρέψη. Βέβαια, παραμένει το ερώτημα ποίος μηχανισμός δημιούργησε τη διάταξη των τριών τομέων I, II, III στο νότιο τμήμα του Ελληνικού τόξου. Είναι γεγονός ότι η συνολική εικόνα πάνω στο χάρτη, θυμίζει μεγασκοπική λοξοζωνική πτυχή μορφής Z, η οποία προϋποθέτει ένα κατακόρυφο διατμητικό ζεύγος διεύθυνσης E-W με δεξιόστροφη στρέψη περί κατακόρυφο άξονα (Εικ.9b), το οποίο ουσιαστικά αποτελεί μεγαδομή της μακροδομής που περιγράφηκε στην περιοχή Ωλονού (Εικ.6). Τούτο αποτελεί προς το παρόν μία υπόθεση εργασίας η οποία οφείλει να διερευνηθεί στο μέλλον.

B I B Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

- ANDERSON, E.M., 1951. The Dynamics of faulting and dyke formation. *Oliver and Boyd Ltd*, 206p, Edinburgh.
- ANGELIER, J., 1979. Néotectonique de l'arc Egée. *Soc. Géol. Nord*, Publ. 3. 1-417.
- ANGELIER, J., LYBERIS, N., LE PICHON, X., BARRIER, E. & HUCHON, P., 1982. The tectonic development of the Hellenic arc and the Sea of Crete: a synthesis. *Tectonophysics*, **86**, 159-196.
- BADGLEY, P., 1965. Structural and tectonic principles. *Harper and Row*, 521 p.
- BOTT, M.H., 1939. The mechanics of oblique-slip faulting. *Geol. Mag.* **XCVI**, 109-117.
- BRACE, W.F. & BYERLEE, J.D., 1966. Stick-slip as a mechanism of earthquakes. *Science*, **168**, 1573-1575.
- CLOOS, E., 1955. Experimental Analysis of Fracture Patterns. *Bull. Geol. Soc. Am.*, **66**, 241-256.
- DRAKOPOULOS, J. & DELIBASIS, N., 1982. The focal mechanism of earthquakes in the major area of Greece for the period 1947-1981. *Seismol. Lab. Univ. Athens*, Publ. 2, 72p.
- FREYBERG, B., 1973. Geologie des Isthmus von Korinth. *Erlanger Geol. Abh.*, **95**, 1-183.
- HANDIN, J., HIGGS, D.V. & O'BRIEN, J.K., 1960. Torsion of Yule marble under continuing pressure. *Geol. Soc. Am. Mem.*, **79**, 245-274.
- HANDIN, J., HEARD, H.C. & MAGOURIK, J.N., 1967. Effects of the intermediate principal stress on the failure of Limestone, dolomite and glass at different temperatures and strain rates. *J. Geophys. Res.*, **72**, 2, 611-640.
- Φηφιάκη Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.
- JAEGER, J.C. & COOK, N.G.W., 1971. Fundamentals of Rock Mechanics. *Chapman and Hall Ltd*, 515 p., London.

- LAJ, C., JAMET, M., SOREL, D. & VALENTE, J.P., 1982. First paleomagnetic results from Miocene series of the Hellenic sedimentary arc. *Tectonophysics*, **86**, 45-67.
- LE PICHON, X. & ANGELIER, J., 1979. The Hellenic Arc and Trench system: a key to the neotectonic evolution of the Eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, **60**, 1-42.
- MAKRIS, J., 1977. Geophysical Investigations of the Hellenides. *Hamburger Geophys. Einzelsch.*, **34**.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η., 1976. Σκέψεις και απόψεις επί ωρισμένων προβλημάτων της Γεωλογίας και Τεκτονικής της Πελοποννήσου. *Ann. Géol. Pays Hellén.*, **27**, 215-313.
- MARIOLAKOS, I. & PAPANIKOLAOU, D., 1981. The Neogene Basins of the Aegean Arc from the Paleogeographic and the Geodynamic point of view. *Intern. Symp. Hell. Arc and Trench (HEAT)*, Athens 1981, *Proceedings I*, 383-399.
- MARIOLAKOS, I., PAPANIKOLAOU, D. & LAGIOS, E., 1985. A neotectonic geodynamic model of Peloponnesus based on morphotectonics, repeated gravity measurements and seismicity. *Geol. Jb.*, **B50**, 3-17.
- MARIOLAKOS, I., PAPANIKOLAOU, D., SYMEONIDIS, N., LEKKAS, S., KAROTSERIS, Z. & SIDERIS, CH., 1981. The deformation of the area around the eastern Korinthian Gulf, affected by the earthquakes of February-March 1981. *Intern. Symp. Hell. Arc and Trench (HEAT) April 1981*, Athens, *Proceedings I*, 400-420.
- McKENZIE, D.P., 1970. Plate tectonics in the Mediterranean Region. *Nature*, **226**, 239-243.
- McKENZIE, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean Region. *Geoph. J.R. astr. Soc.*, **30**, 109-185.
- McKENZIE, D.P., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and Surrounding regions. *Geoph. J.R. astr. Soc.*, **55**(1), 217-254.
- MERCIER, J.L., 1981. Extensional-compressional tectonics associated with the Aegean arc: comparison with the Andean cordillera of South Peru-North Bolivia. *Phil. Trans. R. Soc. London*, **300**, 337-355.
- MERCIER, J.L., DELIBASIS, N., GAUTHIER, A., JARRIGE, J.J., LEMEILLE, F., PHILIP, H., SEBRIER, M. & SOREL, D., 1979. La néotectonique de l'Arc Egée. *Rev. Geol. Dyn. Geogr. Phys.* **21**, 1, 67-92.
- PAPANIKOLAOU, D., 1978. Contribution to the Geology of Aegean Sea. The island of Andros. *Ann. Géol. Pays Hellén.*, **29/2**, 477-553.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ., 1984. Εισαγωγή στην Τεκτονική ανάλυση των ρηγμάτων της Ελλάδας. Συνέδριο "Σεισμοί και Κατασκευές", ΤΕΕ, Φεβρουάριος 1984, Πρακτικά 2, 1030-1044.
- PAPANIKOLAOU, D., SABOT, V. & PADOPOULOS, T., 1981. Morphotectonics and Seismicity in the Cyclades, Aegean Sea. *28th Int. Geol. Congress*, Abstracts, **I**, 372 and *Z. Geomorph. N.F.*, Suppl.-Bd40, 165-174.
- PAPAZACHOS, B.C., KIRATZI, A.A., HATZIDIMITRIOU, P.M. & ROCCA, A.C., 1984. Seismic faults in the Aegean area. *Tectonophysics*, **106**, 71-85.
- PAQUIN, C., FROIDEVEAUX, C., BLOYET, J., RICARD, Y. & ANGELIDIS, C., 1982. Tectonic stresses on the mainland of Greece: in-situ measurements by overcoring. *Tectonophysics*, **86**,
- PRICE, J.N., 1966. Fault and joint development in brittle and semibrittle rocks. *Pergamon Press*, 176p. London.
- RAMSAY, J.G., 1967. Folding and Fracturing of Rocks. *McGraw Hill Book Co.*, 568p.
- RITSEMA, A.R., 1974. The earthquake mechanisms of the Balkan region. *Roy. Netherl. Meteorol. Inst.*, De Bilt, *Scient. Rep.*, **74-4**, 36p.
- SCHOLZ, C.H., MOLNAR, P. & JOHNSON, T., 1972. Detailed studies of frictional sliding of granite and quartzite surfaces for different tectonic mechanisms. *J. Geophys. Res.*, **77**, 6392-6406.