ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Π. ΠΛΟΥΓΑΡΛΗΣ MSc Γεωλόγος

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΗΣ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ ΣΤΑ ΟΡΗ ΤΩΝ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ ΚΑΙ ΒΕΡΤΙΣΚΟΥ (ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ)

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2020

ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI FACULTY OF SCIENCES SCHOOL OF GEOLOGY

> ANASTASIOS P. PLOUGARLIS MSc Geologist

GEOLOGY AND DEFORMATION OF THE SERBOMACEDONIAN MASSIF IN THE KERDYLLION AND VERTISKOS MTS. (NORTHERN GREECE)

DISSERTATION THESIS

THESSALONIKI 2020

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Π. ΠΛΟΥΓΑΡΛΗΣ MSc Γεωλόγος

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΗΣ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ ΣΤΑ ΟΡΗ ΤΩΝ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ ΚΑΙ ΒΕΡΤΙΣΚΟΥ (ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ)

Εκπονήθηκε στον Τομέα Γεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ. Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. τον Δεκέμβριο του 2020

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 11/12/2020

Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής Επετηρίδας Τμήματος Γεωλογίας N°: 213

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Καθηγητής Μάρκος Τρανός Επιβλέπων

Επίκουρη Καθηγήτρια Λαμπρινή Παπαδοπούλου, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Αναπληρωτής Καθηγητής Μιχάλης Μπιζίμης Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

<u>Εξεταστική Επιτροπή</u>

Καθηγητής Μάρκος Τρανός, Τμήμα Γεωλογίας Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Λαμπρινή Παπαδοπούλου, Τμήμα Γεωλογίας Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Αναπληρωτής Καθηγητής Μιχάλης Μπιζίμης, Τμήμα Earth Ocean and Environment College of Arts and Sciences του University of South Carolina

Καθηγητής Ξυπολιάς Παρασκευάς, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών

Αναπληρωτής Καθηγητής Λόζιος Στυλιανός, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Αναπληρωτής Καθηγητής Κοκκάλας Σωτήριος, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών

Επίκουρος Καθηγητής Αθανασάς Κωνσταντίνος, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

© Αναστάσιος Π. Πλούγαρλης, MSc Γεωλόγος, 2020 Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΗΣ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ ΣΤΑ ΟΡΗ ΤΩΝ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ ΚΑΙ ΒΕΡΤΙΣΚΟΥ (ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ). – Διδακτορική Διατριβή

© Anastasios P. Plougarlis, MSc Geologist, 2020 All rightS reserved. GEOLOGY AND DEFORMATION OF THE SERBOMACEDONIAN MASSIF IN THE KERDYLLION AND VERTISKOS MTS. (NORTHERN GREECE) – *Ph.D.*

Thesis

Citation:

Πλούγαρλης Π. Α., 2020. – Διερεύνηση της γεωλογικής δομής και της τεκτονικής παραμόρφωσης της Σερβομακεδονικής Μάζας στα όρη των Κερδυλλίων και Βερτίσκου (Βόρεια Ελλάδα). Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής Επετηρίδας Τμ. Γεωλογίας Νο 213, 184 σελ.

Plougarlis P. A., 2020. – Geology and deformation of the Serbomacedonian massif in the Kerdyllion and Vertiskos Mts. (Northern Greece), Ph.D. Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, Annex Number of Scientific Annals of the School of Geology No 213, 184 pp.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ		17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	19
1.1.	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	19
1.2.	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	THΣ 20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΟΡΟΓΕΝΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΛΗΝΙΔΕΣ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ	25
2.1.	ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΟΡΟΓΕΝΟΥΣ	25
2.2.	ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΟΡΟΓΕΝΕΣ	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ	35
3.1.	ΓΕΝΙΚΑ	35
3.2.	ΝΕΟΤΕΡΕΣ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΜΑΖΑ	40
3.3.	ΜΑΓΜΑΤΙΣΜΟΣ	41
3.4.	Η ΕΠΑΦΗ ΤΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ	42
3.5.	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ	43
3.6.	ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ – ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΕΙΣ	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	55
5.1.	ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΒΕΡΤΙΣΚΟΥ	55
5.1.1.	Διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι	55
5.1.2.	Μοσχοβιτικοί γνεύσιοι-σχιστογνεύσιοι	56
5.1.3.		
	Διμαρμαρυγιακοι γρανατουχοι γνευσιοι	50
5.2.	Διμαρμαρυγιακοι γρανατουχοι γνευσιοι ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ	57 60
<i>5.2.</i> 5.2.1.	Διμαρμαρυγιακοι γρανατουχοι γνευσιοι ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ Βιοτιτικοί γνεύσιοι	50 57 60 60
<i>5.2.</i> 5.2.1. 5.2.2.	Διμαρμαρυγιακοι γρανατουχοι γνευσιοι ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ Βιοτιτικοί γνεύσιοι Ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι	57
5. <i>2.</i> 5.2.1. 5.2.2. 5.2.3.	Διμαρμαρυγιακοι γρανατουχοι γνευσιοι ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ Βιοτιτικοί γνεύσιοι Ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι Βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι – οφθαλμογνεύσιοι	50
5.2. 5.2.1. 5.2.2. 5.2.3. 5.2.4.	Διμαρμαρυγιακοι γρανατουχοι γνευσιοι ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ Βιοτιτικοί γνεύσιοι Ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι Βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι – οφθαλμογνεύσιοι Μάρμαρα	
5.2. 5.2.1. 5.2.2. 5.2.3. 5.2.4. 5.3.	Διμαρμαρυγιακοι γρανατουχοι γνευσιοι ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ Βιοτιτικοί γνεύσιοι Ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι Βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι – οφθαλμογνεύσιοι Μάρμαρα ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΝΕΑΣ ΜΑΔΥΤΟΥ	
5.2. 5.2.1. 5.2.2. 5.2.3. 5.2.4. 5.3. 5.4.	Διμαρμαρυγιακοι γρανατουχοι γνευσιοι ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ Βιοτιτικοί γνεύσιοι Ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι Βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι – οφθαλμογνεύσιοι Μάρμαρα ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΝΕΑΣ ΜΑΔΥΤΟΥ ΟΞΙΝΑ ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	
5.2. 5.2.1. 5.2.2. 5.2.3. 5.2.4. 5.3. 5.4. 5.4.1.	Διμαρμαρυγιακοι γρανατουχοι γνευσιοι ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ Βιοτιτικοί γνεύσιοι Ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι Βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι – οφθαλμογνεύσιοι Μάρμαρα ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΝΕΑΣ ΜΑΔΥΤΟΥ ΟΞΙΝΑ ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ Γρανίτης Αρναίας	
5.2. 5.2.1. 5.2.2. 5.2.3. 5.2.4. 5.3. 5.4. 5.4.1. 5.4.2.	Διμαρμαρυγιακοι γρανατουχοι γνευσιοι ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ Βιοτιτικοί γνεύσιοι Ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι Βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι – οφθαλμογνεύσιοι Μάρμαρα ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΝΕΑΣ ΜΑΔΥΤΟΥ ΟΞΙΝΑ ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ Γρανίτης Αρναίας Γρανίτης Ορέσκειας	
5.2. 5.2.1. 5.2.2. 5.2.3. 5.2.4. 5.3. 5.4. 5.4.1. 5.4.2. 5.4.3.	Διμαρμαρυγιακοι γρανατουχοι γνευσιοι ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ Βιοτιτικοί γνεύσιοι Ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι Βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι – οφθαλμογνεύσιοι Μάρμαρα ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΝΕΑΣ ΜΑΔΥΤΟΥ ΟΞΙΝΑ ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ Γρανίτης Αρναίας Γρανίτης Ορέσκειας Διορίτης έως Γρανοδιορίτης Φλαμουρίου	
5.2. 5.2.1. 5.2.2. 5.2.3. 5.2.4. 5.3. 5.4. 5.4.1. 5.4.2. 5.4.3. 5.4.4.	Διμαρμαρυγιακοι γρανατουχοι γνευσιοι ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ Βιοτιτικοί γνεύσιοι Ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι Βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι – οφθαλμογνεύσιοι Μάρμαρα ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΝΕΑΣ ΜΑΔΥΤΟΥ ΟΞΙΝΑ ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ Γρανίτης Αρναίας Γρανίτης Ορέσκειας Διορίτης έως Γρανοδιορίτης Φλαμουρίου Γρανίτης Μαυρούδας	
5.2. 5.2.1. 5.2.2. 5.2.3. 5.2.4. 5.3. 5.4. 5.4.1. 5.4.2. 5.4.3. 5.4.3. 5.4.4. 5.5.	Διμαρμαρυγιακοι γρανατουχοι γνευσιοι ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ Βιοτιτικοί γνεύσιοι Ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι Βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι – οφθαλμογνεύσιοι Μάρμαρα ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΝΕΑΣ ΜΑΔΥΤΟΥ ΟΞΙΝΑ ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ Γρανίτης Αρναίας Γρανίτης Ορέσκειας Διορίτης έως Γρανοδιορίτης Φλαμουρίου Γρανίτης Μαυρούδας ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΘΕΡΜΩΝ – ΒΟΛΒΗΣ – ΓΟΜΑΤΙΟΥ	
5.2. 5.2.1. 5.2.2. 5.2.3. 5.2.4. 5.3. 5.4. 5.4.1. 5.4.2. 5.4.3. 5.4.3. 5.4.4. 5.5. 5.5.1.	Διμαρμαρυγιακοι γρανατουχοι γνευσιοι ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ Βιοτιτικοί γνεύσιοι Ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι Βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι – οφθαλμογνεύσιοι Μάρμαρα ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΝΕΑΣ ΜΑΔΥΤΟΥ ΟΞΙΝΑ ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ Γρανίτης Αρναίας Γρανίτης Ορέσκειας Διορίτης έως Γρανοδιορίτης Φλαμουρίου Γρανίτης Μαυρούδας ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΘΕΡΜΩΝ – ΒΟΛΒΗΣ – ΓΟΜΑΤΙΟΥ	
5.2. 5.2.1. 5.2.2. 5.2.3. 5.2.4. 5.3. 5.4. 5.4.1. 5.4.2. 5.4.3. 5.4.4. 5.5. 5.5.1. 5.5.2	Διμαρμαρυγιακοι γρανατουχοι γνευσιοι ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ Βιοτιτικοί γνεύσιοι Ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι Βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι – οφθαλμογνεύσιοι Μάρμαρα ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΝΕΑΣ ΜΑΔΥΤΟΥ ΟΞΙΝΑ ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ Γρανίτης Αρναίας Γρανίτης Ορέσκειας Διορίτης έως Γρανοδιορίτης Φλαμουρίου Γρανίτης Μαυρούδας ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΘΕΡΜΩΝ – ΒΟΛΒΗΣ – ΓΟΜΑΤΙΟΥ Υπερμαφικά πετρώματα	

6.1.	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	75
6.1.1.	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ Α – Α΄	75
6.1.2.	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ Β – Β΄	80
6.1.3.	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ Γ – Γ΄	81
6.1.4.	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ Δ – Δ΄	83
6.1.5.	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ Ε – Ε΄	87
6.1.6.	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ Ζ – Ζ΄	90
6.2.	ΕΠΑΦΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ	91
6.3.	ΤΕΚΤΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΗΚΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ	94
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	7. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	97
7.1.	ΦΥΛΛΩΣΗ	97
7.2.	ΠΤΥΧΩΣΗ	
7.3.	ΓΡΑΜΜΩΣΗ	
7.4.	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ - ΜΙΚΡΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	99
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	
8.1	D1 Παραμορφωτικό Γεγονός	
8.2	D2 Παραμορφωτικό Γεγονός	
8.3	D3 Παραμορφωτικό Γεγονός	
8.4	D4 Παραμορφωτικό Γεγονός	
8.5	D5 Παραμορφωτικό Γεγονός	
8.6	D6 Παραμορφωτικό Γεγονός	
8.7	Σύνοψη Παραμορφωτικών Γεγονότων – Συζήτηση	
КЕФАЛАІ	О 9. ГЕΩХНМЕІА	143
9.1	Φασματοσκοπία με Φθορισμό των Ακτίνων Χ (XRF)	
9.1.1.	Μεθοδολογία	
9.1.2.	Αναζήτηση πρωτολίθων των δειγμάτων	
9.1.3.	Συμπεράσματα	156
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	ΙΟ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	159
ΠΕΡΙΛΗΨΗ		
SUMMARE		
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦ	ΡΙΑ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ	
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦ	РІА ЕЛЛНNІКН	

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1:	Χάρτης της ευρύτερης περιοχής έρευνας21
Σχήμα 1.2:	Χάρτης αναφοράς της ευρύτερης περιοχής έρευνας με υπόβαθρο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (από Κτηματολόγιο Α.Ε.) όπου διακρίνονται τα κυριώτερα γεωμορφολογικά και γεωγραφικά στοιχεία της περιοχής (προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ'87)
Σχήμα 2.1:	Γεωτεκτονικός χάρτης του Αλπικού ορογενούς όπου διακρίνονται οι εξωτερικές και εσωτερικές ζώνες, τα προ-αλπικά πετρώματα και οι ζώνες HP/LT (από Dewey et al. 1973, Smith and Woodcook 1982 και Coward and Dietrich 1989)
Σχήμα 2.2:	Απλοποιημένοι χάρτες στους οποίους απεικονίζονται οι σχετικές θέσεις και οι κινήσεις των πλακών κατά την Αλπική ορογένεση (Dercourt et al. 1986)27
Σχήμα 2.3:	Χάρτης της ανατολικής Μεσογείου όπου αποτυπώνεται η ενεργός γεωδυναμική κατάσταση και οι κινήσεις των μικροπλακών στην ευρύτερη περιοχή και η διαμόρφωση του Ελληνικού και κυπριακού τόξου (Παπαζάχος, 2002: διαμορφωμένο από Papazachos et al., 1998)
Σχήμα 2.4:	Γεωτεκτονικός χάρτης των Ελληνίδων (τροποποιημένο, κατά Kilias et al. 2002). 1. Μάζα Ροδόπης 2. Σερβομακεδονική Μάζα 3. Περιροδοπική 4. Ζώνη Αξιού 5. Πελαγονικό κάλυμμα 6. Αττικο-κυκλαδική μάζα 7. Οφιόλιθοι Υποπελαγονικής 8. Εσωτερική μεταμορφική ζώνη HP/LT 9. Ζώνη Πίνδου 10. Εξωτερικές Ελληνίδες 11. Εξωτερική μεταμορφική ζώνη HP/LT 12. Μεσοελληνική αύλακα 13. Επωθήσεις Ηωκαίνου-Μειοκαίνου και Μικρής γωνίας κανονικά ρήγματα αποκόλλησης 14. Ολιγοκαινικής – Μειοκαινικής ηλικίας and 15. Μειοκαινικής ηλικίας
Σχήμα 2.5:	Τεκτονο-στρωματογραφική στήλη και ηλικίες του Ελληνικού (Κίλιας 2001)32
Σχήμα 2.6:	Γεωτεκτονικός χάρτης των τεκτονοστρωματογραφικών πεδίων της Ελλάδας (από Papanikolaou 1997, 2009, 2013)34
Σχήμα 3.1:	Γενικευμένος γεωλογικός χάρτης των Εσωτερικών Ελληνίδων και των εσωτερικών τους τμημάτων, τα οποία αντιπροσωπεύονται από τη Σερβομακεδονική Μάζα και τη Μάζα της Ροδόπης. Στο πλαίσιο δίνεται η περιοχή μελέτης
Σχήμα 3.2:	Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη "Geological Map of the Chalkidiki Peninsula and adjacent areas (Greece)",κλίμακας 1:100.000 (Kockel et al. 1977)
Σχήμα 4.1:	Τρισδιάστατη απεικόνιση της τεκτονικής εξέλιξης του ιστού των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Σερβομακεδονικής στην περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής (Sakellariou 1989).
Σχήμα 4.2:	Σχηματική τομή της Σερβομακεδονικής και της δυτικής Ροδόπης όπου διακρίνονται οι σχέσεις μεταξύ των δύο κρυσταλλικών μαζών και οι κύριες τεκτονικές δομές (Kilias et al. 1999)51
Σχήμα 5.1:	(α — γ) Καλά φυλλωμένοι, μονότονοι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι, δ) διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι με απλιτικές φλέβες παράλληλες στη φύλλωση57

Σχήμα 5.2:	(α) και (β καλά φυλλωμένοι μοσχοβιτικοί γνεύσιοι που εντοπίζονται εντός των διμαρμαρυγιακών γνευσίων, (γ) και (δ) γρανατούχοι μοσχοβιτικοί γνεύσιοι που εντοπίζονται εντός των διμαρμαρυγιακών γνευσίων
Σχήμα 5.3:	Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης , τροποποιημένος από τους Kockel et al. (1977) .
Σχήμα 5.4:	α — γ) μονότονοι, καλά φυλλωμένοι βιοτιτικοί γνεύσιοι, δ και ε) βιοτιτικοί γνεύσιοι με λευκοσώματα, ζ και η) καλά φυλλωμένοι βιοτιτικοί γνεύσιοι, θ) οφθαλμοειδείς βιοτιτικοί γνεύσιοι
Σχήμα 5.5:	α — ε) Εικόνες ταινιωτών — αμφιβολιτικών γνευσίων, ζ) κεροστιλβικοί — βιοτιτικοί γνεύσιοι, η) γρανατούχοι κεροστιλβικοί — βιοτιτικοί γνεύσιοι, θ) οφθαλμοειδείς αστριούχοι κεροστιλβικοί — βιοτιτικοί γνεύσιοι
Σχήμα 5.6:	α – γ) Εικόνες μιγματιτικών, ταινιωτών - αμφιβολιτικών γνευσίων, δ – ζ) βιοτιτικοί γνεύσιοι με λευκοσώματα64
Σχήμα 5.7:	α-δ) Βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι – οφθαλμογνεύσιοι με έντονη διάτμηση
Σχήμα 5.8:	α) καλά φυλλωμένα μάρμαρα με γραφιτικές ενστρώσεις β) μαζώδεις μάρμαρα γ) εναλλαγές μαρμάρων, πιθανών ισοκλινών πτυχών με βιοτιτικούς και αμφιβολιτικούς γνευσίους, δ και ε) καλά φυλλωμένα μάρμαρα με γραφιτικές ενστρώσεις, ζ) ανακρυσταλλωμένα μάρμαρα όπου διακρίνεται πιθανή διασταυρωτή στρώση
Σχήμα 5.9:	Υπαίθριες φωτογραφίες των πετρωμάτων της Ενότητας Νέας Μάδυτου. α, β και γ) Μάρμαρα σε εναλλαγές με γνευσιωμένους μεταψαμμίτες, δ) μάρμαρα κοκκινωπού χρώματος, ε και ζ) γνευσιωμένοι μεταψαμμίτες στη βάση των μαρμάρων
Σχήμα 5.10:	α — γ) Χαρακτηριστικές εικόνες του γρανίτη τύπου Αρναίας, δ) γρανιτικά σώματα τύπου Αρναίας συμπτυχωμένα με τον βιοτιτικό γνεύσιο
Σχήμα 5.11:	α - δ) Χαρακτηριστικές εικόνες του γρανίτη Ορέσκειας
Σχήμα 5.12:	Έντονα σερπεντιωμένοι περιδοτίτες, οι οποίοι εντοπίζονται στην περιοχή ΝΔ του χωριού Θερμά (εικόνες α και β) και βόρεια του χωριού Σκεπαστό, (εικόνες γ και δ). 73
Σχήμα 5.13:	Επιδοτιτικοί ακτινολιθικοί σχιστόλιθοι έντονα φυλλωμένοι οι οποίοι εντοπίζονται στη βάση των οφιολιθικών σωμάτων73
Σχήμα 5.14:	Εικόνες μεταγάββρων – μαζωδών αμφιβολιτών από την περιοχή ανατολικά του χωριού Σκεπαστό74
Σχήμα 6.1:	Πετρώματα που εντοπίστηκαν κατά μήκος της τομής Α – Α΄, α) βιοτιτικοί γνεύσιοι με λευκοσώματα, β) γρανιτικά σώματα τύπου Αρναία συμπτυχωμένα με τον βιοτιτικό γνεύσιο, γ) διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι, δ) ταινιωτοί– αμφιβολιτικοί γνεύσιοι, μιγματίτες.
Σχήμα 6.2:	Γεωλογικές τομές Α – Α΄ και Β – Β΄. Οι θέσεις των τομών φαίνεται στο σχήμα 6.3. 78

- Σχήμα 6.4: Πετρώματα που εντοπίστηκαν κατά μήκος της τομής Β Β΄, α και β) μιγματιτικοί ταινιωτοί αμφιβολιτικοί γνεύσιοι, γ) κεροστιλβικός γρανίτης τύπου Μαυρούδας και δ) βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι οφθαλμογνεύσιοι......81
- Σχήμα 6.6: Γεωλογικές τομές Γ Γ΄ και Δ Δ΄. Οι θέσεις των τομών φαίνεται στο σχήμα 6.3.85

- Σχήμα 6.9: Γεωλογικές τομές Ε Ε΄ και Ζ Ζ΄. Οι θέσεις των τομών φαίνεται στο σχήμα 6.3.89

- Σχήμα 8.2: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης των αξόνων των πτυχών F2.....103
- Σχήμα 8.3: Εικόνες πτυχών F2, οι οποίες εντοπίζονται σε αποκομμένες χαλαζιακές φλέβες
 εντός των (α) μεταγάββρων μαζωδών αμφιβολιτών (β) έως (δ) βιοτιτικών
 γνευσίων και ε & ζ) διμαρμαρυγιακών γνευσίων......104

Σχήμα 8.4:	Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης της κύριας φύλλωσης όπως αναλύεται στην S2 και S3 και των κύριων γεωμετρικών στοιχείων των πτυχών F3
Σχήμα 8.5:	Απλοποιημένος χάρτης στον οποίο αποτυπώνεται η κατανομή της φύλλωσης S3 στην περιοχή έρευνας108
Σχήμα 8.6:	Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης των αξόνων των πτυχών F3
Σχήμα 8.7:	Εικόνες ισοκλινών πτυχών F3 που καταγράφηκαν α) σε βιοτιτικούς και χαλαζιοαστριούχους γνευσίους της Ενότητας Κερδυλλίων, ΒΔ του χωριού Μαυρούδα β) στους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους, της Ενότητας Βερτίσκου, Α του χωριού Σοχός, γ) σε μάρμαρα της Ενότητας Κερδυλλίων, ΒΑ του χωριού Στεφανινά και δ) στους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους της Ενότητας Βερτίσκου, ΒΑ του χωριού Σοχός
Σχήμα 8.8:	Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό μορφή πόλων των γραμμώσεων L3 που καταγράφηκαν στην περιοχή έρευνα. 111
Σχήμα 8.9:	Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης των γραμμώσεων L4 που καταγράφηκαν στην περιοχή έρευνα. 112
Σχήμα 8.10:	Εικόνες γραμμώσεων L4 εντός α & β) διμαρμαρυγιακών γνευσίων, γ) μοσχοβιτικών γνευσίων, δ) βιοτιτικών – αμφιβολιτικών γνευσίων, ε) χαλαζιοαστριούχων γνευσίων και ζ) σε αμφιβολιτικούς γνευσίους
Σχήμα 8.11:	Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας στον οποίο αποτυπώνεται η κατανομή της γράμμωσης L4
Σχήμα 8.12:	S- και Z- πτυχές σε βιοτιτικούς γνευσίους, βόρεια του χωριού Κρυονέρι115
Σχήμα 8.13:	Eye fold στους μεταγάββρους – μαζώδεις αμφιβολίτες, ΝΑ του χωριού Σκεπαστό. 116
Σχήμα 8.14:	Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης α) και β) των δύο πτερυγίων των πτυχών F4, γ) των αξόνων των πτυχών F4, BA — ΝΔ διεύθυνσης και δ) των κύριων γεωμετρικών στοιχείων των πτυχών F4117
Σχήμα 8.15:	Εικόνες ισοκλινών πτυχών F4, BA – ΝΔ διεύθυνσης που καταγράφηκαν α) σε αμφιβολιτικούς γνευσίους της Ενότητας Κερδυλλίων, Α του χωριού Σοχός, β) σε μάρμαρα με βιοτιτικούς–αμφιβολιτικούς γνευσίους της Ενότητας Κερδυλλίων, BA του χωριού Στεφανινά, γ) σε βιοτιτικούς - αμφιβολιτικούς γνευσίους της Ενότητας Κερδυλλίων, Α του χωριού Σκεπαστό και δ) στους βιοτιτικούς γνευσίους, της Ενότητας Κερδυλλίων, Β του χωριού Στεφανινά
Σχήμα 8.16:	α) C΄-type shear bands μεσοσκοπικής κλίμακας σε βιοτιτικούς γνευσίους – φυλλωνίτες όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, θέση βόρεια του χωριού Στεφανινά, β) C΄-type shear bands μεσοσκοπικής κλίμακας σε διμαρμαρυγιακούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, θέση ΒΔ του χωριού Σοχός, γ) C΄-type shear band από λεπτές τομές, σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται δεξιόστροφη κίνηση (υπερκείμενου

προς τα ΝΔ), δείγμα SK07 και δ) C΄-type shear band από λεπτές τομές, σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται δεξιόστροφη κίνηση (υπερκείμενου προς τα ΝΔ), δείγμα SK07......119

- Εικόνες μεσοσκοπικής κλίμακας από κινηματικούς δείκτες στην περιοχή έρευνας Σχήμα 8.17: α) Σιγμοειδής χαλαζιτικοί κλάστες σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται ΝΝΔ κίνηση του υπερκείμενου, θέση ΒΒΔ του χωριού Σκεπαστό, β) Σιγμοειδής χαλαζιοαστριούχοι κλάστες σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται ΝΔ κίνηση του υπερκείμενου, θέση ΒΒΔ του χωριού Σκεπαστό, γ) Σιγμοειδής χαλαζιοαστριούχοι κλάστες σε χαλαζιοαστριούχους - βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται ΝΝΔ κίνηση του υπερκείμενου, θέση ΝΔ του χωριού Θερμά, δ) Σιγμοειδείς χαλαζιοαστριούχοι κλάστες και S-C υφή σε βιοτιτικούς γνευσίους φυλλονίτες όπου προσδιορίζεται ΝΝΔ κίνηση του υπερκείμενου, θέση ΒΑ του Μαυρούδα, Σιγμοειδής χαλαζιοαστριούχοι χωριού ε) κλάστες σε χαλαζιοαστριούχους - βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται ΝΔ κίνηση του υπερκείμενου, θέση ΒΔ του χωριού Σοχός και ζ) Σιγμοειδείς χαλαζιαστριούχοι κλάστες σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται ΝΝΔ κίνηση του υπερκείμενου, θέση ΒΑ του χωριού Μαυρούδα.120
- Σχήμα 8.18: Εικόνες μεσοσκοπικής κλίμακας από κινηματικούς δείκτες στην περιοχή έρευνας α) Σιγμοειδής χαλαζιοαστριούχοι κλάστες σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα BA, θέση ανατολικά του χωριού Σοχός, β) Σιγμοειδής χαλαζιτικοί κλάστες σε διμαρμαρυγιακούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα BBA, θέση BA του χωριού Μαυρούδα, γ) Σιγμοειδής χαλαζιοαστριούχοι κλάστες σε βιοτιτικούς χαλαζιοαστριούχους γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα BBA, θέση ΝΔ του χωριού Θερμά, δ) Σιγμοειδής χαλαζιοαστριούχοι κλάστες σε χαλαζιοαστριούχους - βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα BA, θέση BΔ του χωριού Μαυρούδα............121
- Σχήμα 8.19: Εικόνες μικροσκοπικής κλίμακας με κινηματικούς δείκτες από λεπτές τομές από την περιοχή έρευνας α) Σιγμοειδής κλάστης χαλαζία σε βιοτιτικούς γνευσίους και C΄-type shear bands όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, β) Σιγμοειδής κλάστης χαλαζία σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, γ) Σιγμοειδής κλάστης χαλαζία σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, γ) Σιγμοειδής κλάστης χαλαζία σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, γ) Σιγμοειδής κλάστης χαλαζία σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, στο αριστερό τμήμα της εικόνας διακρίνεται μαρμαρυγίας από όπου προσδιορίζεται αντίστοιχη κίνηση, δείγμα SK03 δ) Mica fish σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK07, ε) Mica fish σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, κινηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK10 και ζ) Mica fish σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, κινηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, μο βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, κινηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, μο βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, μο βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, κοι το μαρασισι κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, μο βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, μο βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, μο βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, μο βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δε
- Σχήμα 8.21: Εικόνες της φύλλωσης S3 και της S5 η οποία αναπτύσσεται κατά τα αξονικά επίπεδα των πτυχών (F5) (α) , (β) σε βιοτιτικούς γνευσίους BA του χωριού Σοχός και ΒΔ του χωριού Μαυρούδα, αντίστοιχα, γ) σε αμφιβολιτικούς βιοτιτικούς

γνευσίους όπου εντοπίζεται η κύρια φύλλωση S3 πτυχωμένη από τις ασύμμετρες F5 πτυχές και κατά το αξονικό τους επίπεδο εντοπίζεται η φύλλωση S5 και δ) βιοτιτικός γνεύσιος πτυχωμένος από ασύμμετρες πτυχές στα αξονικά επίπεδα των Σχήμα 8.22: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) της Σχήμα 8.23: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης των γραμμώσεων L5 που καταγράφηκαν στην περιοχή έρευνα. Σχήμα 8.24: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης των αξόνων των πτυχών F5 που καταγράφηκαν στο σύνολο της Σχήμα 8.25: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης των πτερυγίων των πτυχών F5 αλλά και των κύριων γεωμετρικών στοιχείων των πτυχών F5 όπως προσδιορίστηκαν (α) από την περιοχή μεταξύ του χωριού Κρυονέρι έως και ανατολικά του Σκεπαστού και β) βόρεια του οικισμού Λογκάρι έως και την Ορέσκεια.....129 Σχήμα 8.26: Εικόνες α) ανοικτών πτυχών F5 σε βιοτιτικού - αμφιβολιτικούς γνευσίους BBΔ του χωριού Σκεπαστό, β) ανοικτή πτυχή σε βιοτιτικούς γνευσίους βόρεια του χωριού Μαυρούδας γ) ασύμμετρη πτυχή σε βιοτιτικούς γνευσίους ΝΔ της Νιγρίτας, δ) ασύμμετρων πτυχών F5 στους βιοτιτικούς γνευσίου BA του Σοχού και ε) ανοικτή Σχήμα 8.27: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης και μεγίστων κύκλων της σχιστότητα S6 της περιοχής έρευνας. Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη Σχήμα 8.28: μορφή πύκνωσης των γραμμώσεων L6 που καταγράφηκαν στην περιοχή έρευνας. Σχήμα 8.29: α) Πολύ ανοιχτή πτυχή (F6) σε βιοτιτικούς – αμφιβολιτικούς γνευσίους BA του χωριού Σοχός, β) πτυχές F6 τύπου chevron – kink σε βιοτιτικούς – κεροστιλβικούς γνευσίους, ΒΔ του χωριού Μαυρούδα, και γ) πτυχές F6 τύπου chevron σε Σχήμα 8.30: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) όπου διακρίνονται τα πτερύγια των πτυχών και τα κύρια γεωμετρικά στοιχεία των Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) όπου Σχήμα 8.31: διακρίνονται ανάστροφα ρήγματα με τις γραμμώσεις τους, τα οποία συνδέονται με την συμπίεση Β-Ν κατά το D6 παραμορφωτικό γεγονός......135 Σχήμα 8.32: Εξελικτική, σκαριφηματική απεικόνιση των παραμορφωτικών γεγονότων με τις μεταμορφικές τους φάσεις και την ηλικία τους.....136 Σχήμα 9.1: Σκαρίφημα με την πορεία κατασκευής υαλοποιημένων δισκίων (fused beads) για την ανάλυση με Φασματοσκοπία με Φθορισμό των Ακτίνων Χ (XRF)......143

Σχήμα 9.2:	Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας όπου αποτυπώνονται οι θέσεις των δειγμάτων στα οποία πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις
Σχήμα 9.3:	Διάγραμμα με την κατανομή των δειγμάτων από την εφαρμογή της μεθόδου Shaw (1972) για τον προσδιορισμό της προέλευσής τους149
Σχήμα 9.4:	Διάγραμμα si προς mg (σε τιμές Niggli) με τα πεδία και τις τάσεις όπως έχουν προταθεί από τους Evans and Leake (1960) στο οποίο προβάλλονται οι αναλύσεις των δειγμάτων από την περιοχή έρευνας
Σχήμα 9.5:	Διάγραμμα Ρ₂Ο₅/ΤiO₂ ως προς MgO/CaO (Werner, 1987) με την προβολή των δειγμάτων για τον προσδιορισμό της προέλευσής τους
Σχήμα 9.6:	Διαγράμματα si προς mg (σε τιμές Niggli) με τα πεδία και τις τάσεις για (α) πυριγενή και (β) ιζηματογενή πετρώματα όπως αυτά έχουν προταθεί από τους Leake and Singh (1986) στο οποίο προβάλλονται οι αναλύσεις των δειγμάτων από την περιοχή έρευνας
Σχήμα 9.7:	Διάγραμμα P₂O₅ προς mg (σε τιμές Niggli) όπου αποτυπώνεται το πεδίο του βαθύλιθου της Νέας Καλιφόρνιας, όπως έχει προταθεί από τους Leake and Singh (1986) στο οποίο προβάλλονται οι αναλύσεις των δειγμάτων από την περιοχή έρευνας
Σχήμα 9.8:	Διάγραμμα Ρ₂Ο₅ προς mg (σε τιμές Niggli) όπου αποτυπώνεται το πεδίο αρκοζών της Νέας Καλιφόρνιας, όπως έχει προταθεί από τους Leake and Singh (1986) στο οποίο προβάλλονται οι αναλύσεις των δειγμάτων από την περιοχή έρευνας156

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1:	Συγκεντρωτικός πίνακας με τα κύρια παραμορφωτικά και μεταμορφικά επεισόδια και τις ηλικίες τους που έχουν αναφερθεί για την Σερβομακεδονικής Μάζας53
Πίνακας 8.1:	Συγκεντρωτικός πίνακας με τις παραμορφωτικές δομές και μεταμορφικές φάσεις ανά παραμορφωτικό γεγονός και η χρονολογησή τους
Πίνακας 9.1:	Αποτελέσματα των αναλύσεων των κύριων χημικών στοιχείων που πραγματοποιήθηκαν με την μέθοδο Φασματοσκοπίας με Φθορισμό των Ακτίνων X (XRF)

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πορεία και η περαίωση μιας διδακτορικής διατριβής αποτελεί μια σκληρή αλλά συγχρόνως εποικοδομητική και μοναδική εμπειρία. Φθάνοντας στο τέλος της συγγραφής της παρούσας διατριβής, γίνεται αντιληπτό ότι αποτέλεσε τον καρπό προσωπικού αγώνα, αλλά συγχρόνως και της συνδρομής και υποστήριξης πολλών ανθρώπων, στους οποίους θέλω να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη και να απευθύνω ένα βαθύ και ολόψυχο ευχαριστώ που στάθηκαν δίπλα μου σ' αυτή την επίπονη προσπάθεια και με βοήθησαν να τη φέρω σε πέρας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω προς τον επιβλέποντα της διδακτορικής μου διατριβής και δάσκαλο μου όλα αυτά τα χρόνια, κ. Τρανό Μάρκο, Καθηγητή Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., για την εμπιστοσύνη του και την καθοδήγηση του από τα πρώτα μου ερευνητικά βήματα, για τις γεωλογικές γνώσεις που μου προσέφερε, την άριστη συνεργασία μας, την αδιάκοπη επιστημονική του συνεισφορά καθώς και την πολυδιάστατη στήριξη του όλα αυτά τα χρόνια.

Οφείλω να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως την κα. Παπαδοπούλου Λαμπρινή, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., για τη συμμετοχή της στην τριμελή επιτροπή, την υποστήριξη της στις εργαστηριακές αναλύσεις που πραγματοποιήσαμε και τις πολύτιμες επισημάνσεις και υποδείξεις της, οι οποίες υπήρξαν καθοριστικές για την ποιοτική αναβάθμιση και ολοκλήρωση της διατριβής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον κ. Μπιζίμη Μιχάλη, Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος Earth Ocean and Environment College of Arts and Sciences του University of South Carolina, για τη συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή και τις καίριες υποδείξεις και παρατηρήσεις του οι οποίες βοήθησαν στην βελτίωση της διδακτορικής διατριβής.

Επίσης, ευχαριστώ τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής κ. Ξυπολιά Παρασκευά, Καθηγητή Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών, κ. Λόζιο Στυλιανό, Αναπληρωτή Καθηγητή Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, κ. Κοκκάλα Σωτήριο, Αναπληρωτή Καθηγητή Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών και κ. Αθανασά Κωνσταντίνο, Επίκουρο Καθηγητή Σχολής Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την προθυμία τους και το χρόνο που διέθεσαν για τη μελέτη, διόρθωση και εξέταση της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

17

Θερμά ευχαριστώ τους συναδέλφους και φίλους Πέτρο Νεοφώτιστο, Γεώργιο Γεωργιάδη και Βαγγέλη Βλάχο για όλα αυτά τα χρόνια που συμπορευτήκαμε κατά την εκπόνηση των διδακτορικών μας διατριβών και μέσα από τις πολύωρες συζητήσεις μας μοιραστήκαμε τις σκέψεις μας, τους προβληματισμούς και τα όνειρά μας.

Επίσης, ιδιαίτερα ευχαριστώ τη σύντροφο της ζωής μου, Ταμτελέν Αναστασία για την παρότρυνση αλλά και την ανιδιοτελή και ανυπολόγιστη υποστήριξη που μου παρείχε, ενθαρρύνοντας και εμψυχώνοντας κάθε μου προσπάθεια έτσι ώστε να καταφέρω να ολοκληρώσω την παρούσα διδακτορική διατριβή.

Τέλος, θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου, Μαρία και Πέτρο Πλούγαρλη αλλά και τα αδέλφια μου Τραϊανό και Φανή για την συνεχή προτροπή τους για την ολοκλήρωση της διατριβής μου αλλά και την αμέριστη ηθική, ψυχική και οικονομική στήριξη τους κατά την διάρκεια όλων αυτών των ετών.

Αναστάσιος Π. Πλούγαρλης 11/12/2020 Θεσσαλονίκη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή με θέμα "Διερεύνηση της γεωλογικής δομής και της τεκτονικής παραμόρφωσης της Σερβομακεδονικής μάζας στα όρη των Κερδυλλίων και Βερτίσκου (Βόρεια Ελλάδα)" είναι το αποτέλεσμα ενός διαρκούς προβληματισμού για τον χώρο της Σερβομακεδονικής Μάζας, ο οποίος ξεκίνησε από τη μεταπτυχιακή μου εργασία στην περιοχή της νήσου Αμμουλιανής (Πλούγαρλης, 2011).

Ο προβληματισμός αυτός ξεκίνησε επειδή τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια να επιτευχθεί μια αναθεώρηση του χώρου της Ελληνικής Ενδοχώρας βασιζόμενη σε εργαστηριακά αποτελέσματα όπως γεωχημικές αναλύσεις, ραδιοχρονολογήσεις κ.ά. Αντίθετα, η τεκτονική ανάλυση πεδίου φαίνεται ως παρακολούθημα αυτής της προσπάθειας. Έτσι σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να συμβάλλει στην προσπάθεια αυτή με την παρουσίαση μιας λεπτομερούς τεκτονικής ανάλυσης που να συγκεντρώνει τα μεσοσκοπικής και χαρτογραφικής κλίμακας τεκτονικά στοιχεία της περιοχής.

Σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι ο αναλυτικός προσδιορισμός των γεωλογικών μονάδων που δομούν τα όρη Βερτίσκος και Κερδύλιον, της φύσης των επαφών τους, αλλά και των τεκτονικών δομών που έχουν αποτυπωθεί σε αυτές ως αποτέλεσμα της γεωδυναμικής εξέλιξης της περιοχής, έτσι ώστε να γίνει δυνατή η καλύτερη κατανόηση της πολύπλοκης δομής του κρυσταλλοσχιστώδους της Σερβομακεδονικής μάζας.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή βασίστηκε στο μεγαλύτερο της τμήμα, στις υπαίθριες εργασίες (γεωλογική χαρτογράφηση), που αφορούσαν κυρίως την κατασκευή λεπτομερών γεωλογικών τομών μεγάλης κλίμακας, αλλά και στην αναλυτική καταγραφή και συλλογή γεωλογικών και τεκτονικών στοιχείων όπως η φύλλωση, η γράμμωση, η πτύχωση των γεωλογικών μονάδων, οι διατμητικές ζώνες και η κινηματική τους, αλλά και τα ρήγματα.

Για την ολοκλήρωση της διδακτορικής διατριβής απαιτήθηκε η ολοκλήρωση τεσσάρων σταδιών:

 Το πρώτο περιλάμβανε τη συγκέντρωση των μελετών και ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή ενδιαφέροντος, αλλά και στον ευρύτερο χώρο αυτής, έτσι ώστε να τεθούν τα επιστημονικά ερωτήματα και ο προβληματισμός σχετικά με την γεωλογία της Σερβομακεδονικής Μάζας.

- Το δεύτερο και σημαντικότερο όπως προαναφέρθηκε, περιλάμβανε την υπαίθρια εργασία με την καταγραφή των στοιχείων αλλά και τη συλλογή δειγμάτων για το επόμενο στάδιο.
- Το τρίτο στάδιο περιελάμβανε την επεξεργασία των συλλεχθέντων στοιχείων κατά το στάδιο της υπαίθριας εργασίας, με την κατασκευή λεπτομερών συνθετικών γεωλογικών τομών και χαρτών και την κατασκευή στερεογραφικών προβολών και διαγραμμάτων για την επεξεργασία των τεκτονικών στοιχείων. Ακόμα, κατά το στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκε η κατασκευή και παρατήρηση λεπτών τομών σε πολωτικό μικροσκόπιο, αλλά και εργαστηριακές αναλύσεις δειγμάτων, με τη μέθοδο XRF.
- Το τέταρτο και τελευταίο στάδιο αφορούσε τη συγγραφή της διδακτορικής
 διατριβής και τη δημοσίευση μέρους αυτής.

1.2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στην κεντρική βόρεια Ελλάδα και περιλαμβάνει τους ορεινούς όγκους Βερτίσκου και Κερδυλλίων βόρεια της λίμνης Βόλβης και σε απόσταση περίπου 70-100km βορειοανατολικά από τη Θεσσαλονίκη (Σχ. 1.1). Η περιοχή περιλαμβάνει τα χωριά Σοχός, Κρυονέρι, Σεβάστεια, Θερμά, Ορέσκεια, Νέα Κερδύλια, Αρεθούσα και Σκεπαστό καταλαμβάνοντας έκταση περί τα 360km². Το υψόμετρο στη περιοχή έρευνας κυμαίνεται από τα +350m έως τα +1100m, δηλαδή διακρίνεται μία υψομετρική διαφορά +750m και χαρακτηρίζεται ημιορεινή έως ορεινή (Σχ. 1.2). Η μορφολογία της περιοχής περιγράφεται από ήπιες έως πολύ έντονες μορφολογικές κλίσεις.



Σχήμα 1.1: Χάρτης της ευρύτερης περιοχής έρευνας.

Το υδρογραφικό δίκτυο στην περιοχή έρευνας είναι πολύ καλά ανεπτυγμένο και χαρακτηρίζεται ως δενδριτικής μορφής, μολονότι στο σύνολό του, δεν εμφανίζει μόνιμη ροή. Τα κύρια υδατορέματα που αναπτύσσονται στην ευρύτερη περιοχή έχουν ABA – ΔΝΔ έως Α – Δ διεύθυνση. Ο κύριος αποδέκτης τους είναι ο ποταμός Στρυμόνας, ο οποίος με τη σειρά του εκβάλλει στον Στρυμονικό κόλπο. Η βλάστηση στην περιοχή έρευνας είναι πάρα πολύ ανεπτυγμένη, με την περιοχή να χαρακτηρίζεται ως πυκνή, δασώδης δυσχεραίνοντας σε μεγάλο βαθμό τις γεωλογικές παρατηρήσεις.

Τέλος, το οδικό δίκτυο στην περιοχή αποτελείται από επαρχιακούς και δασικούς δρόμους, που λόγω της έντονης βλάστησης είναι σε πολλές περιπτώσεις δύσκολα προσπελάσιμοι.



Σχήμα 1.2: Χάρτης αναφοράς της ευρύτερης περιοχής έρευνας με υπόβαθρο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (από Κτηματολόγιο Α.Ε.) όπου διακρίνονται τα κυριώτερα γεωμορφολογικά και γεωγραφικά στοιχεία της περιοχής (προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ'87).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΟΡΟΓΕΝΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΛΛΗΝΙΔΕΣ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ

2.1. ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΟΡΟΓΕΝΟΥΣ

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας εντοπίζεται στο εσωτερικό τμήμα του Ελληνικού ορογενούς, το οποίο αποτελεί τμήμα του νοτιοανατολικού άκρου του Αλπικού ορογενετικού συστήματος στην Ευρώπη και ειδικότερα στο τμήμα της Ανατολικής Μεσογείου.

Το Αλπικό ορογενετικό σύστημα αποτελείται από μια αλυσίδα οροσειρών που ξεκινώντας από τα Πυρηναία και τις Ισπανικές Βετίδες καταλήγει στα Ιμαλάια της Ινδίας. Οι οροσειρές αυτές διαμορφώνουν δύο κλάδους. Ο πρώτος, βόρειος κλάδος, περιλαμβάνει της Βετίδες οροσειρές, τα Πυρηναία, τις Δυτικές και βόρειες Άλπεις, τα Καρπάθια, τις Βαλκανίδες, τις Ποντίδες και τον Καύκασο και καταλήγει στην οροσειρά των Ιμαλαΐων (Σχ. 2.1). Ο δεύτερος, νότιος κλάδος, αποτελείται από τις οροσειρές του Άτλαντα, των Απέννινων, των νοτίων Άλπεων, τις Διναρίδες, τις Ελληνίδες, τις Ταυρίδες, την οροσειρά του Ζάρκου και τμήματα των οροσειρών των Ιμαλαΐων.

Το Αλπικό ορογενές, στο οποίο ανήκει και το Ελληνικό ορογενές είναι αποτέλεσμα της εξέλιξης και του κλεισίματος του ωκεανού της Τηθύος (Smith 1971, Dercourt 1972, Jacobshagen et al. 1978). Ειδικότερα, κατά το Άνω Ιουρασικό – Κάτω Παλαιοζωικό έχουμε τη λειτουργία του ωκεάνιου χώρου της Παλαιοτηθύος, ο οποίος εντοπίζεται μεταξύ της Ευρασιατικής ηπείρου και της Γκοτβάνας. Με τη απόσπαση ενός τμήματος από την Γκοτβάνα (Κιμμερικό τέμαχος) και την κίνηση του προς τα βόρεια (προς την Ευρασιατική πλάκα) πραγματοποιείται το κλείσιμο της Παλαιοτηθύος με την τελική σύγκρουση των δύο πλακών (Dewey et al. 1973, Mountrakis et al. 1987, Segnör 1984).



Σχήμα 2.1: Γεωτεκτονικός χάρτης του Αλπικού ορογενούς όπου διακρίνονται οι εξωτερικές και εσωτερικές ζώνες, τα προ-αλπικά πετρώματα και οι ζώνες HP/LT (από Dewey et al. 1973, Smith and Woodcook 1982 και Coward and Dietrich 1989).

Παράλληλα με την κίνηση της Κιμμερικής ηπείρου προς τα βόρεια, στα νότιά της ανοίγει και λειτουργεί ένας νέος ωκεάνιος χώρος, η Νεοτηθύος, ανάμεσα στην Κιμμερική και την επερχόμενη στα ΝΔ αυτής, Απουλία πλάκα (Dercourt et al., 1986). Η λειτουργία του ωκεάνιου αυτού χώρου τερματίζει με την καταστροφή του κάτω από την Ευρασία και τη σύγκρουση της Απουλίας πλάκας με την Ευρασία, κατά το Άνω Κρητιδικό-Ηώκαινο. Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής ήταν η δημιουργία του νότιου αλπικού κλάδου του Αλπικού ορογενούς (Schmid et al. 2008, Brown and Robertson 2004).

Κατά την περίοδο του Κρητιδικού το βόρειο τμήμα της Απουλίας βρισκόταν σε σύγκρουση με την Ευρασιατική πλάκα, με αυτήν να βυθίζεται κάτω από την Απουλία ενώ στις Διναρίδες και Ελληνίδες βυθιζόταν η Απουλία πλάκα (Dercourt et al., 1986) (Σχ. 2.2).





Σχήμα 2.2: Απλοποιημένοι χάρτες στους οποίους απεικονίζονται οι σχετικές θέσεις και οι κινήσεις των πλακών κατά την Αλπική ορογένεση (Dercourt et al. 1986).

Οι σημερινές γεωτεκτονικές συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου διαμορφώνονται από τις κινήσεις της Αραβικής μικροπλάκας προς τα βόρεια, αποτέλεσμα της οποίας είναι η δημιουργία του αριστερόστροφου ρήγματος

μετασχηματισμού της Νεκρής Θάλασσας. Συνέπεια της κίνησης της Αραβικής μικροπλάκας είναι η κίνηση της πλάκας της Ανατολίας προς τα δυτικά με τη δημιουργία του ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας. Επιπλέον, από τη σύγκλιση της Αφρικανικής πλάκας και την υποβυθισή της κάτω από την πλάκα του Αιγαίου δημιουργείται η Ελληνική Ζώνη υποβύθισης στην περιοχή του νοτίου Αιγαίου (Papazachos et al., 1998) (Σχ. 2.3).



Σχήμα 2.3: Χάρτης της ανατολικής Μεσογείου όπου αποτυπώνεται η ενεργός γεωδυναμική κατάσταση και οι κινήσεις των μικροπλακών στην ευρύτερη περιοχή και η διαμόρφωση του Ελληνικού και κυπριακού τόξου (Παπαζάχος, 2002: διαμορφωμένο από Papazachos et al., 1998).

2.2. ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΟΡΟΓΕΝΕΣ

Το Ελληνικό ορογενές έχει διακριθεί σε τρείς χώρους, από τα ανατολικά προς τα δυτικά (Μουντράκης, 2010) (Σχ. 2.4):

 Την Ελληνική Ενδοχώρα, η οποία καταλαμβάνει το χώρο της Θράκης μέχρι τη κεντρική Χαλκιδική και περιλαμβάνει τη Μάζα της Ροδόπης και τη Σερβομακεδονική Μάζα.

- Τις Εσωτερικές Ελληνίδες, οι οποίες καταλαμβάνουν το χώρο σε συνέχεια από την Ελληνική Ενδοχώρα μέχρι τη Στερεά Ελλάδα περιλαμβάνοντας την Κεντρική και Δυτική Μακεδονία, τη Θεσσαλία τη Στερεά Ελλάδα, την Εύβοια και τα νησιά του Αιγαίου. Στις Εσωτερικές Ελληνίδες ανήκουν οι: Περιροδοπική, η Ζώνη Αξιού, η Πελαγονική, η Αττικοκυκλαδική και η Υποπελαγονική Ζώνη και η Ενότητα Βοιωτίας.
- Οι Εξωτερικές Ελληνίδες οι οποίες εντοπίζονται στη συνέχεια προς τα δυτικά από τις Εσωτερικές Ελληνίδες και καταλαμβάνουν την Δυτική Στερεά Ελλάδα, την Ήπειρο, την Πελοπόννησο, τα Ιόνια νησιά, την Κρήτη και τη Ρόδο. Εδώ ανήκουν η Ζώνη Παρνασού Γκιώνας, η Ωλονού Πίνδου, η Γαβρόβου Τριπόλεως, η Αδριατικοϊόνιος και η Ζώνη Παξών.

Η ονοματολογία σε εσωτερικές και εξωτερικές Ελληνίδες είναι αποτέλεσμα της σχετικής τους θέσης μέσα στο Ελληνικό ορογενές, με τις εσωτερικές να καλύπτουν τον πυρήνα και τα καλύμματα του ορογενούς, ενώ οι εξωτερικές την πτυχο-εφιππευτική ζώνη της προχώρας του ορογενούς.

Τα κύρια στοιχεία στα οποία στηρίχθηκε η διάκριση των Ελληνίδων ζωνών είναι ότι οι Εσωτερικές Ελληνίδες υπέστησαν τη δράση της πρώιμης ορογένεσης, Άνω Ιουρασικής – Κάτω Κρητιδικής ηλικίας, σε αντίθεση με τις Εξωτερικές Ελληνίδες οι οποίες περιγράφουν μόνο την τελική ορογένεση του Τριτογενούς. Η Ελληνική ενδοχώρα έχει δεχθεί το σύνολο των ορογενετικών δράσεων, ωστόσο μέχρι και πριν μερικές δεκαετίες θεωρείτο ως μια περιοχή προγενέστερη των Μεσοζωϊκών και Καινοζωϊκών ορογενετικών διεργασιών και μάλιστα χωρίς να έχει επηρεαστεί από αυτές.

Στις Εσωτερικές Ελληνίδες, που συνιστούν τον πυρήνα του Ελληνικού ορογενούς υπάρχει μεγάλη εξάπλωση μεταμορφωμένων πετρωμάτων, τα οποία αντιπροσωπεύουν προ-αλπικά αλλά και αλπικά πετρώματα Τριαδικής – Ιουρασικής ηλικίας, όπως και μεγάλη εξάπλωση πυριγενών πετρωμάτων. Αντίθετα στις εξωτερικές Ελληνίδες απουσιάζουν τα μεταμορφωμένα πετρώματα, τα οποία όμως αποκαλύπτονται με την μορφή τεκτονικών παραθύρων στην Κρήτη και τη νότια Πελοπόννησο.



Σχήμα 2.4: Γεωτεκτονικός χάρτης των Ελληνίδων (τροποποιημένο, κατά Kilias et al. 2002). 1. Μάζα Ροδόπης 2. Σερβομακεδονική Μάζα 3. Περιροδοπική
 4. Ζώνη Αξιού 5. Πελαγονικό κάλυμμα 6. Αττικο-κυκλαδική μάζα 7. Οφιόλιθοι Υποπελαγονικής 8. Εσωτερική μεταμορφική ζώνη HP/LT 9. Ζώνη Πίνδου 10. Εξωτερικές Ελληνίδες 11. Εξωτερική μεταμορφική ζώνη HP/LT 12. Μεσοελληνική αύλακα 13. Επωθήσεις Ηωκαίνου-Μειοκαίνου και Μικρής γωνίας κανονικά ρήγματα αποκόλλησης 14. Ολιγοκαινικής – Μειοκαινικής ηλικίας and 15. Μειοκαινικής ηλικίας.

Η εξέλιξη του Ελληνικού ορογενούς είναι το αποτέλεσμα μιας έντονης και πολύπλοκης αλπικής αλλά και μεταλπικής παραμόρφωσης που συνεχίζεται μέχρι σήμερα με την υπό εξέλιξη Ελληνική ζώνη υποβύθισης κάτω από την Βαλκανική χερσόνησο. Στα ανώτερα τμήματα του αποτελείται από οφιολίθους και ωκεάνιες ακολουθίες Μεσοζωικής ηλικίας του Αξιού (Mercier, 1968) και της Πίνδου (Aubouin 1959; Migiros et al., 1993), οι οποίες εντοπίζονται τοποθετημένες πάνω στο ανατολικό και δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής Ζώνης και οι οποίες καλύφθηκαν από τα Κρητιδικά ανθρακικά και φλυσχικά ιζήματα.

Υποκείμενα, εντοπίζονται τα καλύμματα της Πελαγονικής τα οποία περιλαμβάνουν μία ηφαϊστειοκλαστική σειρά Περμοτριαδικής ηλικίας και νηριτικά ανθρακικά πετρώματα Τριαδικοϊουρασικής ηλικίας. Αυτά βρίσκονται πάνω στα προ-αλπικά κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα στα οποία διεισδύουν Άνω Παλαιοζωικά πλουτωνικά σώματα (Brunn, 1956; Mercier, 1968; Godfriaux, 1968; Yarwood and Dixon, 1977; Papanikolaou and Zambetakis-Lekkas 1980; Μουντράκης, 1983; Mountrakis et al. 1987a; Σπυρόπουλος et al., 1992).

Οι ζώνες των Εσωτερικών Ελληνίδων έχουν τοποθετηθεί τεκτονικά πάνω στις Εξωτερικές Ελληνίδες μεταξύ των οποίων υπάρχει μία ζώνη μεταμόρφωσης υψηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας (Godfriaudx, 1968; Schermer et al., 1990) και εντοπίζεται κυρίως στην περιοχή του Ολύμπου (Godfriaux, 1968; Schermer et al., 1990; Kilias et al., 1991; Faupl, 2002) και των Κυκλάδων (Dürr et al., 1978; Andriessen et al., 1979; Papanikolaou, 1984).

Οι Εξωτερικές Ελληνίδες χαρακτηρίζονται από ανθρακική νηριτική έως και πελαγική ιζηματογένεση και από φλυσχική ιζηματογένεση από το Τριαδικό έως και το Μειόκαινο (Aubouin 1959; Thiebault 1982; Fleury 1980).

Στα βαθύτερα αποκαλυμμένα τμήματα του Ελληνικού ορογενούς βρίσκονται η Σερβομακεδονική και η Μάζα της Ροδόπης, οι οποίες αποτελούν την Ελληνική Ενδοχώρα. Τα πετρώματα των μαζών αυτών εμφανίζουν μια πολύπλοκη τεκτονική και μεταμορφική δομή, αφού έχουν υποστεί παραμορφωτικά και μεταμορφικά γεγονότα της αλπικής αλλά και προγενέστερων ορογενέσεων σε συνθήκες υψηλής έως και χαμηλής μεταμόρφωσης (Kockel and Walter 1965, Kronberg et al. 1970, Papanikolau and Panagopoulos 1981), ενώ σε αυτές διεισδύουν συν- και μετά- κινηματικά Μεσοζωικά και Τριτογενή πυριγενή σώματα.



Σχήμα 2.5: Τεκτονο-στρωματογραφική στήλη και ηλικίες του Ελληνικού (Κίλιας 2001)

Η περιοχή έρευνας εντοπίζεται στην Ελληνική Ενδοχώρα η οποία δομείται από μεταμορφωμένα πετρώματα. Η Ελληνική Ενδοχώρα, αλλά και η συνέχεια της προς τα βόρεια στο αντίστοιχο τμήμα στη Βουλγαρία έχει αποτελέσει αντικείμενο έντονου γεωλογικού ερευνητικού ενδιαφέροντος. Οι πρώτες αναφορές περιγράφουν την Ελληνική ενδοχώρα ως μία ενιαία περιοχή, η οποία περιλάμβανε όλα τα κρυσταλλικά πετρώματα, του Προ-Κάμβριου υποβάθρου της Βαλκανικής με τον όρο Μάζα Ροδόπης ή Θρακική Μάζα (Kossmat, 1924). Οι αναφορές για διαφοροποιήσεις μεταξύ των πετρωμάτων δυτικά και ανατολικά του Στρυμόνα ποταμού προέχονται από τον Osswald (1931, 1938). Μεταγενέστερες έρευνες, κυρίως στο χώρο της Βουλγαρίας και της Γιουγκοσλαβίας διαχώρισαν το τμήμα δυτικά του Στρυμόνα ποταμού, δίνοντας σ΄ αυτό το όνομα "Σερβομακεδονική Μάζα" (Jaranov 1960, Dimitrievic and Ciric 1967). Στον Ελλαδικό χώρο μετά από έρευνες των Kockel and Walther (1965, 1968) και Mercier (1966)προτάθηκε ο όρος "Σερβομακεδονική Μάζα" για τα

κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα τα οποία καταλαμβάνουν με BΔ – NA διεύθυνση τα όρη της Κερκίνης στα βόρεια μέχρι και το Άγιο Όρος στη χερσόνησο Χαλκιδικής και τα διαχωρίζουν από τα πετρώματα ανατολικά του Στρυμόνα τα οποία συνιστούν τη Μάζα της Ροδόπης. Το δυτικό όριο της Σερβομακεδονικής Μάζας έρχεται σε επαφή με την Περιροδοπική Ζώνη, η οποία εμφανίζεται με BΔ – NA διεύθυνση και χαρακτηρίζεται ως πτυχο-εφιππευτική ζώνη (Circum-Rhodope Belt Thrust System, CRBTS) (Tranos et al., 1999).

Μία διαφορετική διάκριση για τις Ελληνίδες με τη χρήση του όρου των τεκτονοστρωματογραφικών πεδίων, σε ηπειρωτικά και ωκεάνια πεδία προτείνεται από τον Papanikolaou (1997, 2009, 2013). Με βάση τη διάκριση αυτή τα ηπειρωτικά πεδία δομούνται από ηπειρωτικό φλοιό με τις υπερκείμενες ανθρακικές πλατφόρμες ενώ τα ωκεάνια πεδία περιέχουν ωκεάνιο φλοιό με οφιόλιθους και αβυσσοπελαγικά ιζήματα.

Σύμφωνα με τη διάκριση αυτή η περιοχή έρευνας εντοπίζεται σε τμήμα του πεδίου Η9 Βερτίσκος / Σιδηρόνερο υπόβαθρο και ειδικότερα στο πεδίο Η9a Βερτίσκος υπόβαθρο, σε τμήμα του πεδίου Η7 ανθρακική πλατφόρμα του Παγγαίου και σε τμήμα του Η8 Βόλβη –ανατολική ωκεάνια λεκάνη Ροδόπης (Σχ. 2.6).



Σχήμα 2.6: Γεωτεκτονικός χάρτης των τεκτονοστρωματογραφικών πεδίων της Ελλάδας (από Papanikolaou 1997, 2009, 2013)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ

3.1. ГЕNIKA

Στα πετρώματα της Σερβομακεδονικής Μάζας αποτυπώνεται η γεωλογική ιστορία μίας πολύπλοκης τεκτονικής και μεταμορφικής εξέλιξης. Η βασική πληροφόρηση για την γεωλογία της περιοχής πηγάζει από τη βασική γεωλογική χαρτογράφηση που πραγματοποιήθηκε από τους Kockel et al., (1971, 1977). Επιπλέον πληροφορίες για τμήματα της Σερβομακεδονικής Μάζας προέρχονται από μεταπτυχιακές και διδακτορικές διατριβές που υλοποιήθηκαν σε τμήματά της, προσθέτοντας πληροφορίες τόσο για την γεωλογία όσο και για την τεκτονική εξέλιξη της εκάστοτε περιοχής (Sakellariou, 1989; Κούρου, 1991; Σιδηρόπουλος, 1991; Πλούγαρλης, 2011; Neofotistos, 2020). Τέλος, νεότερες έρευνες (Himmerkus et al., 2006; Burg, 2012), οι οποίες βασίζονται κυρίως σε νέες τεχνικές, όπως γεωχημικές αναλύσεις, ραδιοχρονολογήσεις κ.ά., χρησιμοποιώντας τα στοιχεία της προϋπάρχουσας βασικής γεωλογικής χαρτογράφησης που έχει πραγματοποιηθεί, προσανατολίζονται σε μία προσπάθεια να αναδιαμορφώσουν τον χώρο της Σερβομακεδονικής Μάζας, ενοποιώντας ή/και διαχωρίζοντας τα πετρώματα αυτής αντίστοιχα.

Μετά τη βιβλιογραφική ενημέρωση για τον χώρο της Σερβομακεδονικής Μάζας, κατά την παρούσα διδακτορική διατριβή, ως πληρέστερη περιγραφή των πετρωμάτων της, κρίνεται αυτή που έχει προκύψει από τη βασική γεωλογική χαρτογράφηση που πραγματοποιήθηκε από τους Kockel et al. (1971, 1977), ενώ επιπλέον στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν και από τη διδακτορική διατριβή του Sakellariou (1989), όπως προέκυψαν για την Σερβομακεδονική Μάζα, από το χώρο Νότια της Νέα Μάδυτου, δηλαδή νότια της λίμνης Βόλβης.

Θα πρέπει να καταστεί σαφές ότι η περιγραφή των πετρωμάτων της κάθε ενότητας που ακολουθεί είναι αποτέλεσμα της αρχικής διάκρισης, όπως αυτή έχει περιγραφεί από τους Kockel et al. (1971, 1977), ενώ έκτοτε έχουν υπάρξει σημαντικές αναθεωρήσεις των πετρωμάτων (Sakellariou, 1989; Burg et al., 1995; Himmerkus et al., 2006; Brun and Sokoutis, 2007; Burg, 2012; Plougarlis and Tranos, 2014; Neofotistos, 2020) που εντάσσονται στην εκάστοτε ενότητα με προσθήκες, αφαιρέσεις και μετακινήσεις πετρωμάτων μεταξύ των ενοτήτων αλλά και προτάσεις νέων ενοτήτων.



Σχήμα 3.1: Γενικευμένος γεωλογικός χάρτης των Εσωτερικών Ελληνίδων και των εσωτερικών τους τμημάτων, τα οποία αντιπροσωπεύονται από τη Σερβομακεδονική Μάζα και τη Μάζα της Ροδόπης. Στο πλαίσιο δίνεται η περιοχή μελέτης.

Σύμφωνα λοιπόν με τη γεωλογική χαρτογράφηση των Kockel et al. (1971, 1977), καθιερώνονται για τη Σερβομακεδονική Μάζα δύο ενότητες:

Η Ενότητα Κερδυλλίων, η οποία δομεί το ανατολικό τμήμα της Σερβομακεδονικής Μάζας (Σχ. 3.1) αναφέρεται ως η κατώτερη στρωματογραφική ενότητα της Σερβομακεδονικής Μάζας και αποτελείται κυρίως από βιοτιτικούς και μιγματιτικούς γνευσίους, αμφιβολίτες και μάρμαρα (Σχ.3.2). Καταλαμβάνει την ανατολική Χαλκιδική και με εκτιμώμενο συνολικό πάχος περίπου 3000m. Θεωρείται η κατώτερη και αρχαιότερη από την Ενότητα Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής Μάζας και δομείται κυρίως από βιοτιτικούς γνευσίους, μιγματίτες, αμφιβολίτες και μάρμαρα, Προ-Κάμβριας ηλικίας (Kockel et al., 1977). Η Ενότητα Κερδυλλίων περιγράφεται ως το αποτέλεσμα της μεταμόρφωσης μιας μεγάλου πάχους, μονότονης κλαστικής σειράς γραουβακών, αρκοζών και αργίλων με ενστρώσεις ανθρακικών πετρωμάτων (Kockel
et al., 1977; Sakellariou and Durr, 1993), ενώ ως αναφορά την προέλευση των αμφιβολιτών, έχει προταθεί η άποψη ότι προέρχονται από θολεϊιτικά μάγματα (Kockel et al., 1977, Kasoli-Fournaraki, 1981, Sakellariou 1989).

Η Ενότητα Βερτίσκου, η οποία καταλαμβάνει το δυτικό και μεγαλύτερο τμήμα της Σερβομακεδονικής Μάζας (Σχ. 3.1). Η Ενότητα Βερτίσκου θεωρείται η ανώτερη στρωματογραφική ενότητα της Σερβομακεδονικής Μάζας και αποτελείται κυρίως από διμαρμαρυγιακούς γνευσίους, σχιστολίθους και αμφιβολίτες (Σχ.3.2). Καταλαμβάνει το χώρο δυτικά της Ενότητας Κερδυλλίων και αποτελεί την ανώτερη ενότητα της Σερβομακεδονικής Μάζας (Kockel et al., 1977). Σε αντίθεση με την Ενότητα Κερδυλλίων, η Ενότητα Βερτίσκου περιγράφεται από τους Kockel et al. (1977) με μεγαλύτερη διαφοροποίηση ως προς τους λιθολογικούς τύπους που τη δομούν, εντάσσοντας σε αυτήν όλα τα πετρώματα που εντοπίζονται δυτικά του ανώτερου ορίζοντα μαρμάρου. Αντίθετα οι Plougarlis and Tranos (2014) και οι Neofotistos et al. (2020) μέσα από μία τεκτονική προσέγγιση της περιοχής περιγράφουν μια πιο περιορισμένη λιθολογική διαφοροποίηση για την Ενότητα Βερτίσκου. Γενικότερα, ως κύριο χαρακτηριστικό της Ενότητας Βερτίσκου αναφέρεται η απουσία μαρμάρων και άλλων ανθρακικών πετρωμάτων, καθώς και τα έντονα φαινόμενα ανάτηξης (Sakelariou et al., 1993; Plougarlis and Tranos, 2014; Neofotistos et al., 2020). H Ενότητα Βερτίσκου, και ειδικότερα οι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι, έχει ερμηνευτεί ότι αποτελούσε μια μεγάλου πάχους σειρά από γραουβάκες, αρκόζες και αργίλους (Kockel et al. 1977, Sakellariou, 1989). Ωστόσο, έχει διατυπωθεί η άποψη ότι αποτελεί μια ακολουθία ορθο-γνευσίων, αποτέλεσμα ενός ηπειρωτικού μαγματικού τόξου (Himmerkus et al., 2006; Himmerkus et al., 2009a).

Στο χώρο μεταξύ των δύο ενοτήτων έχουν χαρτογραφηθεί βασικά και υπερβασικά σώματα (Σχ. 3.1 & Σχ.3.2), τα οποία αναφέρονται αρχικά από τον Kossmat (1924) και που περιγράφονται στην Ενότητα Βερτίσκου. Αυτά αποτελούνται κυρίως από πυροξενικούς περιδοτίτες, οι οποίοι εμφανίζονται σερπεντινιωμένοι και βρίσκονται σε τεκτονική επαφή με τα περιβάλλοντά τους πετρώματα (Kockel et al., 1977).

Τα σώματα αυτά αναπτύσσονται με διεύθυνση βορά – νότο μεταξύ των Ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων και εκτείνονται από την λεκάνη του Στρυμόνα στα βορειοανατολικά και καταλήγουν στη χερσόνησο του Άθω (Himmerkus et al., 2005). Το σύνολο των οφιολιθικών σωμάτων αναφέρονται ως οφιολιθικό σύμπλεγμα Θερμά – Γομάτι – Βόλβη (Therma – Gomati – Volvi ophiolite complex) (Dixon and Dimitriadis, 1984), ή ως μια Μεσοζωικής ηλικίας οφιολιθική συρραφή καλούμενη ως Ζώνη Συρραφής Άθως – Βόλβη (Athos-Vovi Suture zone) (Himmerkus et al., 2005), η οποία και χαρακτηρίζεται από μεγάλα σώματα υπερβασικών πετρωμάτων, σερπεντινιτών και μεταγάββρους – μαζώδεις αμφιβολίτες τα οποία εμφανίζουν οφιολιθικά χαρακτηριστικά, ενώ κατά θέσεις έχουν υποστεί έντονη αμφιβολιτική μεταμόρφωση. Οι περιδοτίτες έχουν συχνά έντονη σερπεντινίωση, ενώ οι γάββροι εμφανίζουν μεταβατικές ζώνες και μεταμορφώνονται σε αμφιβολίτες, παράλληλα με τη διατήρηση των πρωτολίθων σε πολύ καλή μορφή (Dixon and Dimitriadis, 1984).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ



Σχήμα 3.2: Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη "Geological Map of the Chalkidiki Peninsula and adjacent areas (Greece)", κλίμακας 1:100.000 (Kockel et al. 1977).

3.2. ΝΕΟΤΕΡΕΣ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΜΑΖΑ

Ο χώρος της Σερβομακεδονικής Μάζας μετά τη βασική χαρτογράφηση που πραγματοποιήθηκε πριν το 1980, έχει αποτελέσει έντονο αντικείμενο γεωλογικής έρευνας (Sakellariou, 1989; Σιδηρόπουλος, 1991; Koύρου, 1991; Burg et al., 1995; Himmerkus et al., 2006, 2011; Brun and Sokoutis, 2007; Πλούγαρλης, 2011; Burg, 2012; Plougarlis and Tranos, 2014; Neofotistos 2020) και βάσει αυτών έχουν προταθεί αρκετές διαφοροποιήσεις σχετικά με το διαχωρισμό των πετρωμάτων στις υπάρχουσες ενότητες ή/και την ένταξή τους σε νέες.

Ο Sakellariou (1989), αναφέρει τη διάκριση μια νέας ενότητας για τη Σερβομακεδονική Μάζα, την Ενότητα Νέας Μαδύτου. Η ενότητα αυτή, όπως περιγράφεται, περιλαμβάνει μάρμαρα, γραφιτικούς γρανατούχους γνευσίους και αμφιβολίτες. Τα πετρώματα της Νέας Μάδυτου εντοπίζονται μέσα σε πτυχωσιγενείς δομές, αλλά και υπό τη μορφή λεπίων. Τα πετρώματα αυτά αρχικά αναφέρονταν ως τα αντίστοιχα με τα Άνω Τριαδικής – Κάτω Ιουρασικής ηλικίας πετρώματα της Σειράς Σβούλας, της Περιροδοπικής ζώνης (Kockel et al., 1977), ενώ η διαφοροποίηση τους προέκυψε από τον εντοπισμό αμφιβολιτών στην Ενότητα της Νέας Μάδυτου.

Οι Burg et al. (1995) διαφοροποιούν τα όρια της Σερβομακεδονικής Μάζας και της Μάζας της Ροδόπης διαχωρίζοντας την Ενότητα Βερτίσκου σε τρεις ενότητες και προσαρτώντας τμήματα αυτής, στη Μάζα της Ροδόπης. Ειδικότερα, περιγράφουν μια Ανώτερη, Μιγματιτική-Γνευσιακή Ακολουθία, η οποία περιλαμβάνει μιγματιτικούς παραγνευσίους και ορθογνευσίους με ορυκτά υψηλού βαθμού, μία Ενδιάμεση Μετα-οφειολιθική Μυλωνιτική Ζώνη, η οποία αποτελείται από αμφιβολίτες και υπερβασικά πετρώματα, και την Κατώτερη Γνευσιακή Ακολουθία. Αυτή αποτελείται από μονότονα τουρβιδιτικά μεταϊζήματα στα οποία περιλαμβάνονται σταυρολιθικός – γρανατούχος – βιοτιτικός μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος, μεταχαλαζίτες και γραουβάκες, ενώ εντοπίζονται και ορίζοντες μαρμάρου και μικρά σώματα αμφιβολιτών.

Αντίστοιχα, προτάθηκε για την Ενότητα Κερδυλλίων, ο διαχωρισμός της από τη Σερβομακεδονική Μάζα και η ενοποίησή της με τη Μάζα της Ροδόπης καθώς περιγράφεται ως η συνέχεια προς τα νότια, του μεταμορφικού συμπλέγματος (core complex) της Μάζας της Ροδόπης (Brun and Sokoutis, 2007), ενώ ο Burg (2012) συμπεριλαμβάνει τις ενότητες της Σερβομακεδονικής σε αυτές της Ροδόπης, διακρίνοντας τρια συνολικά πεδία.

Η Ενότητα Βερτίσκου, σύμφωνα με τους Himmerkus et al., (2009a) αναφέρεται ότι αποτελείται από μεγάλα γρανιτοειδή σώματα τα οποία μεταμορφώθηκαν σε

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ

ορθογνευσίους και βρίσκονται σε εναλλαγές με παραγνευσίους, μάρμαρα, αμφιβολίτες και λευκοκρατικούς γρανίτες, ενώ, κυρίως μέσα από γεωχημικές αναλύσεις και γεωχρονολογήσεις, η Σερβομακεδονική Μάζα περιγράφεται ως μη ομογενές σώμα και γίνεται διάκριση μίας νέας ενότητας, της Ενότητας Πυργαδίκια. Η ενότητα αυτή περιγράφεται από τους συγγραφείς ως τεκτονικά σώματα, ενός χαοτικού μείγματος (mélange) στο δυτικό όριο της Σερβομακεδονικής Μάζας. Αποτελείται από λευκοκρατικούς, λεπτόκοκκους και με εμφανή γράμμωση μυλωνιτικούς πάρα- και ορθο-γνευσίους οι οποίοι εμφανίζουν έντονη και ισχυρή διάτμηση (Himmerkus et al. 2004a, Himmerkus et al., 2006).

Οι Πλούγαρλης (2011) και Plougarlis and Tranos (2014) βασιζόμενοι σε λεπτομερή χαρτογράφηση η οποία πραγματοποιήθηκε στη νήσο Αμμουλιανή προτείνουν ότι η επαφή ανάμεσα στις Ενότητες Κερδυλλίων και Βερτίσκου είναι τεκτονική και ότι ανάμεσα στις δύο ενότητες υπάρχει μια νέα ενότητα, η Ενότητα Αμμουλιανής, η οποία αποτελείται από χαλαζιοαστριούχους γνευσίους και ανατηξίτες – γρανιτικούς γνευσίους. Η ενότητα Αμμουλιανής χαρακτηρίζεται από εκτεταμένη μιγματιτίωση – ανάτηξη και έντονη διάτμηση ως αποτέλεσμα της τοποθέτησης της Ενότητας Βερτίσκου επί της Ενότητας Κερδυλλίων.

Πρόσφατα, ο Νεοφώτιστος (2020) μετά από λεπτομερή χαρτογράφηση στην περιοχή του Αγίου Όρους αναφέρει ότι ως επαφή των Ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων δεν μπορεί να θεωρείται πια δεδομένη η οροφή του ανώτερου ορίζοντα των μαρμάρων αλλά καθοριστικό ρόλο στη διάκριση των δύο ενοτήτων έχουν τα ανατηκτικά, λευκογνευσιακά σώματα που βρέθηκαν εντός της Ενότητας Κερδυλλίων και τα οποία απουσιάζουν από την Ενότητα του Βερτίσκου.

3.3. ΜΑΓΜΑΤΙΣΜΟΣ

Σημαντικό χαρακτηριστικό της Σερβομακεδονικής μάζας αποτελεί η ύπαρξη μεγάλων πυριγενών σωμάτων, αποτέλεσμα διαφόρων μαγματικών επεισοδίων. Ο μαγματισμός στη Σερβομακεδονική μάζα έχει διακριθεί σε τέσσερις φάσεις (Kockel et al., 1977), με τις ηλικίες να διαφοροποιούνται ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι γεωχρονολογικών δεδομένων καθώς και την εκάστοτε μέθοδο χρονολόγησης.

Η πρώτη μαγματική φάση περιλαμβάνει τα πετρώματα που αναφέρθηκαν ανωτέρω και θεωρείται ότι είναι αποτέλεσμα ενός βασικού και υπερβασικού μαγματικού γεγονότος προαλπικής, πιθανότατα προ-Κάμβριας ηλικίας, τα οποία στη συνέχεια μεταμορφώθηκαν (Kockel et al., 1977; Kasoli – Fournaraki, 1981).

Η δεύτερη μαγματική φάση αφορά λευκοκρατικές γρανιτικές διεισδύσεις-σώματα, οι οποίες έχουν μεταμορφωθεί και έχουν χαρτογραφηθεί από τους Kockel et al. (1977) ως Πλαγιοκλαστικοί – Μικροκλινικοί γνεύσιοι, τόσο στην Ενότητα Βερτίσκου όσο και στην Ενότητα Κερδυλλίων. Η τοποθέτηση των γρανιτικών αυτών σωμάτων θεωρείται προ– ή συν–κινηματική της κύριας μεταμόρφωσης της Σερβομακεδονικής Μάζας, Ανωπαλαιοζωικής ηλικίας συνδεδεμένη με την Ερκύνια (Kockel et al., 1977). Αντίθετα, νεότερες ηλικίες, Ηωκαίνου – Ολιγοκαίνου, οι οποίες έχουν προσδιοριστεί με ραδιοχρονολόγηση K/Ar και Rb/Sr σε μοσχοβίτη και βιοτίτη (Harre et al., 1968) θεωρούνται ότι προσδιορίζουν μια ανάδρομη μεταμόρφωση, αποτέλεσμα ενός θερμικού γεγονότος από όξινες διεισδύσεις που έλαβαν χώρα στη Σερβομακεδονική Μάζα κατά το Τριτογενές (Kockel et al., 1977). Ωστόσο, από ραδιοχρονολογήσεις σε ζιρκόνια, η δεύτερη αυτή φάση είναι το αποτέλεσμα ενός ηπειρωτικού μαγματικού τόξου Σιλούριας ηλικίας, η οποία αντιπροσωπεύει την αρχική ηλικία διείσδυσης γρανιτοειδών της Ενότητας Βερτίσκου (Himmerkus et al., 2006; Himmerkus et al., 2009a).

Το τρίτο μαγματικό γεγονός που εντοπίζεται στη Σερβομακεδονική Μάζα συνδέεται με τη διείσδυση μεγάλων γρανιτικών όγκων, Μεσοζωικής ηλικίας όπως είναι ο γρανίτης της Αρναίας, του Φλαμουρίου, της Κερκίνης και του Μονοπήγαδου αλλά και με τη μορφή φλεβικών διεισδύσεων. Εμφανίζονται μεσοκρυσταλλικοί έως αδροκρυσταλλικοί, μονότονοι μοσχοβιτικοί βιοτιτικοί γρανίτες (Kockel et al., 1977). Η ηλικία των γρανιτών αυτών έχει προσδιοριστεί ως Άνω Ιουρασική με βάσει τον υπολογισμό της ηλικίας των μαρμαρυγιών (Dixon and Dimitriadis, 1984, Papadopoulos and Kilias, 1985; DeWet et al. 1989, Ricou et al. 1998, Christofides et al., 1999, Lips et al., 2000), και ως Τριαδικής ηλικίας από χρονολογήσεις σε ζιρκόνια (Himmerkus et al., 2009, Himmerkus et al., 2011).

Τέλος, στην τέταρτη μαγματική φάση καταγράφονται Τριτογενείς (Ηωκαινικής έως και Κάτω Ολιγοκαινικής ηλικίας) γρανίτες (De Wet et al., 1989, Christofides et al., 1990) στην περιοχή της Χαλκιδικής, όπως είναι οι γρανίτες της Σιθωνίας, της Ουρανούπολης, της Ιερισσού, του Στρατωνίου και του Γρηγορίου οι οποίοι διεισδύουν στα πετρώματα της Σερβομακεδονικής Μάζας.

3.4. Η ΕΠΑΦΗ ΤΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΛΟΝΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ

Όπως έχει προαναφερθεί η Σερβομακεδονική Μάζα διακρίνεται σε δύο κύριες ενότητες, την Ενότητα Βερτίσκου και την Ενότητα Κερδυλλίων. Ο προσδιορισμός του

ορίου της επαφής των δύο ενοτήτων, αλλά και της φύσης του, έχει αποτελέσει αντικείμενο έντονης έρευνας και διαφορετικών ερμηνειών.

Σύμφωνα με τους Kockel et al. (1977) το όριο μεταξύ των δύο ενοτήτων είναι μια κανονική επαφή, η οποία έχει διαταραχθεί μόνο από νεότερα κανονικά ρήγματα.

Αντίθετα, σύμφωνα με τον Sakellariou (1989), αλλά και Sakellariou and Durr (1993), η επαφή μεταξύ των Ενοτήτων Κερδυλλίων και Βερτίσκου είναι μια τεκτονική επαφή. Ειδικότερα, αναφέρουν ότι ο ανώτερος ορίζοντας μαρμάρου, της Ενότητας Κερδυλλίων, τον οποίο περιγράφουν ως Ανώτερη Ζώνη Διάτμησης Μαρμάρου, χαρακτηρίζεται ως ένας υπερ-μυλωνίτης. Ο υπερ-μυλωνίτης αυτός, έρχεται σε επαφή με διαφορετικούς λιθολογικούς σχηματισμούς της Ενότητας Βερτίσκου και ως εκ τούτου η επαφή μεταξύ των δύο ενοτήτων χαρακτηρίζεται ως τεκτονική. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η επαφή αυτή μεταξύ της Ενότητας Κερδυλλίων και της ανώτερης Ενότητας Βερτίσκου έχει περιγραφεί είτε ως ένα ανάστροφο ρήγμα (Burg et al., 1995) είτε ως ένα ρήγμα εκτατικής αποκόλλησης (Dinter, 1998, Krohe and Mposkos 2002, Brun and Sokoutis, 2007, Burg, 2012), χωρίς, ωστόσο, να γίνεται λεπτομερής μελέτη και περιγραφή της επαφής.

Η επαφή των Ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων στην περιοχή της νήσου Αμμουλιανής (Πλούγαρλης, 2011; Plougarlis and Tranos, 2014) χαρακτηρίζεται από εκτεταμένη μιγματιτίωση – ανάτηξη, και έντονη διάτμηση και επομένως χαρακτηρίζεται ως τεκτονική και μάλιστα μεταξύ των δύο αυτών ενοτήτων αναγνωρίζεται μια νέα ενότητα, η Ενότητα Αμμουλιανής, η οποία αποτελείται από χαλαζιοαστριούχους γνευσίους και ανατηξίτες – γρανιτικούς γνευσίους.

Ο Νεοφώτιστος (2020) και Neofotistos et al. (2020) βασιζόμενοι σε χαρτογράφηση σε τμήμα της Σερβομακεδονικής Μάζας στο Άγιο Όρος αναφέρουν ότι η προϋπάρχουσα άποψη της ύπαρξης της επαφής των Ενοτήτων Κερδυλλίων και Βερτίσκου στην οροφή του ανώτερου ορίζοντα των μαρμάρων δεν μπορεί να θεωρείται πλέον δεδομένη, όσον αφορά την τεκτονο-στρωματογραφία της ΣερβοΜακεδονικής μάζας αλλά καθοριστικό ρόλο για τη διάκριση των δύο ενοτήτων έχουν τα ανατηκτικά, λευκογνευσιακά σώματα που βρέθηκαν εντός της Ενότητας Κερδυλλίων και τα οποία απουσιάζουν από την Ενότητα του Βερτίσκου.

3.5. ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ

Η Σερβομακεδονική Μάζα στο σύνολό της έχει υποστεί πολλαπλά μεταμορφικά γεγονότα. Τα μεταμορφικά αυτά γεγονότα όπως περιγράφονται είναι τα ακόλουθα:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ

Το πρώτο μεταμορφικό γεγονός έχει προσδιοριστεί στην εκλογιτική φάση, βάσει του εντοπισμού τιτανίτη και ρουτιλίου σε αμφιβολίτες, βασαλτικής προέλευσης (Hellman and Green, 1979, Dimitriadis, 1974, Kassoli - Fournaraki, 1981, Neofotistos 2020) με την ηλικία του γεγονότος αυτού να αναφέρεται ως προ-Μεσοζωική (Sakellariou, 1989, Neofotistos 2020).

Ακόμα, από αναλύσεις σε αμφιβολιτικούς ξενόλιθους, εκλογιτικής μεταμορφικής φάσης που εντοπίστηκαν στον γρανίτη της Αρναίας προσδιορίστηκε ηλικία Λιθανθρακοφόρου (Kostopoulos, 2000). Επιπλέον, σε γρανατούχους – σταυρολιθικούς – μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, οι οποίοι αποτελούν το Παλαιοζωικό τμήμα της Σερβομακεδονικής (Kockel et al., 1977, Dixon and Dimitriadis, 1984), έχει προσδιοριστεί εκλογιτική φάση μεταμόρφωσης με την ηλικία τους να προσδιορίζεται στο Μεσοζωικό αντιπροσωπεύοντας μια υψηλής πίεσης μεταμορφική φάση (Kydonakis et al., 2015).

Το δεύτερο μεταμορφικό γεγονός το οποίο προσδιορίστηκε στα μετά-ιζήματα της Ενότητας Βερτίσκου χαρακτηρίζεται χαμηλού ως μέσου αμφιβολιτικού βαθμού (Sakellariou, 1989, Neofotistos, 2020) το οποίο χαρακτηρίζεται ως συν-τεκτονικό της Κιμμερικής ορογένεσης (Sengör 1984) ή ως νέο-παλαιοζωικό ορογενετικό γεγονός (Sakellariou, 1989), ενώ σύμφωνα και με τον Neofotistos (2020) το γεγονός αυτό λαμβάνει χώρα κατά το τέλος του Κιμμερικού ορογενετικού κύκλου και χρονολογείται πριν το Άνω Ιουρασικό.

Το τρίτο μεταμορφικό γεγονός περιγράφεται ως χαμηλού – μέσου βαθμού αμφιβολιτικής φάσης (Kockel et. al, 1977, Dixon and Dimitriadis, 1984; Sakellariou, 1989, Neofotistos, 2020). Η ηλικία του μεταμορφικού αυτού γεγονότος αναφέρεται είτε ως Μέσω – Άνω Ιουρασική (Dixon and Dimitriadis, 1984; Sakellariou, 1989) είτε ως Άνω Ιουρασική – Κάτω Κρητηδική (Neofotistos, 2020), ενώ από άλλους ερευνητές αναφέρεται ως Μέσω – Άνω Κρητιδικής ηλικίας (Papadopoulos and Kilias, 1985, Kilias et al., 1999). Το μεταμορφικό αυτό γεγονός είναι το κυρίαρχο στα πετρώματα της Σερβομακεδονικής Μάζας.

Το τέταρτο μεταμορφικό γεγονός που έχει διακριθεί, επηρεάζει την Ενότητα Βερτίσκου και Κερδυλλίων και χαρακτηρίζεται από υψηλή πρασινοσχιστολιθική μεταμορφική φάση (Sakellariou, 1989, Neofotistos, 2020). Από ραδιοχρονολογήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε μαρμαρυγίες (Harre et al., 1968; De Wet et al., 1989; Lips et al., 2000) η ηλικία του μεταμορφικού αυτού επεισοδίου υπολογίστηκε στο Άνω Κρητιδικό (De Wet et al., 1987, Sakellariou, 1989, Neofotistos, 2020). Το πέμπτο και τελευταίο μεταμορφικό γεγονός χαρακτηρίζεται ως μια ανάδρομη χαμηλού βαθμού πρασινοσχιστολιθική φάση (Sakellariou, 1989, Neofotistos, 2020). Η ηλικία του γεγονότος αυτού αναφέρεται ως Ηωκαινική (Kockel et al., 1977; Kassoli – Fournaraki, 1981; Dixon and Dimitriadis, 1984; Chatzidimitriadis et al., 1985; Papadopoulos and Kilias, 1985; Sakellariou, 1989) είτε ως Ηωκαινική – Ολιγοκαινική (Neofotistos, 2020). Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται και στους Ηωκαινικούς γρανίτες, όπως είναι αυτός της Σιθωνίας και της Ουρανούπολης (Harre et al. 1968).

Όσον αφορά τη μεταμόρφωση των οφιολιθικών πετρωμάτων, από μελέτη σε εκλογιτικά σώματα έχουν προσδιοριστεί τρία στάδια μεταμορφικής εξέλιξης (Dimitriadis and Godelitsas, 1991). Ένα εκλογιτικό στάδιο, το οποίο προσδιορίστηκε σε πίεση 12kbars και 530°C, ένα δεύτερο στάδιο αμφιβολιτικής φάσης, υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας, και τέλος ένα στάδιο ανάδρομης πρασινοσχιστολιθικής φάσης μεταμόρφωσης.

3.6. ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ – ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΕΙΣ

Στα πετρώματα της ενότητας Κερδυλλίων, με τη χρήση ραδιομετρικών μεθόδων έγινε προσδιορισμός της ηλικίας τους. Ειδικότερα, με την μέθοδο K / Ar και Rb / Sr σε βιοτίτες και κεροστίλβες προσδιορίστηκε ηλικία μεταξύ 31 και 78 εκατομμυρίων χρόνων (Kockel et al. 1977). Η ηλικία αυτή προφανώς φαίνεται να προσδιορίζει μια ηλικία μεταγενέστερη αυτής του σχηματισμού, ως το αποτέλεσμα ενός νεότερου θερμικού γεγονός (Kockel et al. 1977).

Σε αντίστοιχα πετρώματα με αυτά της Ενότητας Κερδυλλίων, στη νοτιοδυτική Βουλγαρία, αλλά και στη νότια Σερβία (Σειρά Vidovica) έχει προσδιοριστεί ηλικία νεότερου Προκάμβριου (Dimitrieviö and Ciric, 1966), ενώ σε αντίστοιχα πετρώματα με του Βερτίσκου στη νοτιοδυτική Βουλγαρία αλλά και στη νότια Σερβία έχει προσδιοριστεί ηλικία νεότερη Προκάμβρια (Dimitrievic 1974).

Στα πετρώματα της Ενότητας Βερτίσκου με την μέθοδο K/Ar και Rb/Sr σε μοσχοβίτες και κεροστίλβες προσδιορίστηκε ηλικία μεταξύ 300 και 108 εκατομμυρίων χρόνων (Kockel et al. 1977). Η ηλικία παρουσιάζει μεγάλο εύρος και δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια, ενώ προφανώς φαίνεται να προσδιορίζει μια μεταγενέστερη της ηλικίας του σχηματισμού ως το αποτέλεσμα κάποιου θερμικού γεγονότος (Kockel et al. 1977).

Σύμφωνα με τους Himmerkus et al. (2006, 2009a) στα κρυσταλλικά πετρώματα της Ενότητας Βερτίσκου (αδρόκοκκους βιοτιτικούς οφθαλμοειδείς γνευσίους, λευκοκρατικούς μοσχοβιτικούς γνευσίους και διμαρμαρυγιακούς γνευσίους) με τη μέθοδο ζιρκονίων Pb-Pb και U-Pb προσδιορίστηκε η ηλικία να κυμαίνεται από 425,9±4,2Ma έως 443,4±5,5Ma με μέσο όρο 432,2±3,2Ma. Οι ηλικίες αυτές ερμηνεύονται ως οι αρχικές ηλικίες κρυστάλλωσης γρανιτών ενός μαγματικού τόξου.

Ο πλαγιοκλαστικός – μικροκλινικός γνεύσιος θεωρείται προ- ή συν- τεκτονικός με το κύριο μεταμορφικό γεγονός της Σερβομακεδονικής Μάζας και σίγουρα παλαιότερος της διείσδυσης του γρανοδιορίτη της Σιθωνίας στον οποίο έχει εντοπιστεί με τη μορφή ξενολίθων (Kockel et al. 1977). Μέσα από ραδιομετρικές αναλύσεις με τη μέθοδο Κ / Ar και Rb / Sr σε μοσχοβίτες και βιοτίτες του σχηματισμού προσδιορίστηκε ηλικία 55,8 έως 33,9 εκατομμυρίων χρόνων.

Από χρονολογήσεις σε λευκοκρατικά γρανιτικά σώματα (Γρανίτης Αρναίας) που εντοπίζονται μέσα στους ορθογνευσίους της Ενότητας Βερτίσκου, με τη μέθοδο Pb-Pb σε ζιρκόνια προσδιορίστηκε Τριαδική ηλικία 240,7±2,6Ma και 221,7±1,9Ma (Himmerkus et al., 2009).

Οι Himmerkus et al., (2011) μέσω τις μεθόδου Pb-Pb- και U-Pb-SHRIMP για τη χρονολόγηση ζιρκονίων από γνευσίους και γρανίτες της χερσονήσου του ανατολικού Άθω σε συνδυασμό με γεωχημικές και ισοτοπικές αναλύσεις προσδιόρισαν ηλικίες οι οποίες σχηματίζουν τρεις ομάδες. Η ηλικία του υποβάθρου, η οποία από δύο δείγματα, προσδιορίστηκε στα 292,6±2,9Ma και 299,4±3,5Ma, στο Πέρμιο – Λιθανθρακοφόρο. Το κύριο μαγματικό γεγονός από το οποίο δημιουργήθηκαν οι γρανίτες που σχηματίζουν τώρα το γνευσιακό θόλο χρονολογείται με τη μέθοδο Pb-Pb μεταξύ 140,0±2,6Ma και 155,7±5,1Ma με μέση τιμή 144,7±2,4Ma, ενώ παρόμοια ηλικία προσδιορίστηκε με τη μέθοδο U-Pb-SHRIMP 146,6 ± 2,3 Ma. Τέλος, σε δείγματα από μικρά σώματα απαραμόρφωτων γρανιτών προσδιορίστηκε Άνω Κρητιδικής έως Κάτω Τριαδική ηλικία και συγκεκριμένα 66,8±0,8Ma και 68,0±1,0Ma με τη μέθοδο U-Pb-SHRIMP) και 62,8±3,9Ma με τη μέθοδο Pb-Pb.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Σύμφωνα με τους Kockel et al., 1977, δύο κύρια παραμορφωτικά γεγονότα έπληξαν τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας. Στο πρώτο γεγονός ανήκουν οι φυλλώσεις με ΝΔ – ΒΑ ή Α – Δ διεύθυνση, προαλπικής ηλικίας, ενώ στο δεύτερο γεγονός ανήκουν φυλλώσεις με ΒΒΔ – ΝΝΑ διεύθυνση, αλπικής ηλικίας.

Αργότερα οι Chatzidimitriadis et al., 1985 από τη μελέτη κυρίως της πτυχωσιγενούς παραμόρφωσης, περιγράφουν τρία κύρια παραμορφωτικά γεγονότα για τη Σερβομακεδονική μάζα. Στο πρώτο γεγονός περιγράφονται ισοκλινείς πτυχές, Ερκύνιας ηλικίας, στο δεύτερο γεγονός αναφέρονται υποϊσοκλινείς πτυχές Ιουρασικής – Κάτω Κρητιδικής ηλικίας, ενώ το τρίτο γεγονός περιλαμβάνει ανοικτές πτυχές Μετά Κρητιδικής ηλικίας.

Οι Papadopoulos and Kilias, 1985, για την κεντρική περιοχή της Σερβομακεδονικής, στα κρυσταλλικά πετρώματα περιγράφουν δύο παραμορφωτικά γεγονότα. Στο πρώτο γεγονός περιγράφονται ισοκλινείς πτυχές ολίσθησης με σχεδόν κατακόρυφους άξονες ενώ για το δεύτερο παραμορφωτικό γεγονός περιγράφονται κεκλιμένες πτυχές με άξονες BBΔ – NNA έως BBA – NNΔ διεύθυνσης.

Οι Πάτρας et al., 1988, αναφέρουν για τη Σερβομακεδονική μάζα πέντε κύρια παραμορφωτικά γεγονότα βασιζόμενοι στην γεωμετρία των πτυχών. Στο πρώτο περιγράφονται τέλεια ισοκλινείς πτυχές με αξονικές διευθύνσεις που κυμαίνονται από 135° έως 170°. Εντοπίζονται κυρίως στα γνευσιακά πετρώματα με τα αξονικά επίπεδα των πτυχών να είναι παράλληλα με την κύρια σχιστότητα S1 των πετρωμάτων. Το δεύτερο γεγονός περιγράφεται από υποϊσοκλινείς μέχρι κλειστές, ασύμμετρες πτυχές με αξονικό τους άξονες πτυχών να κυμαίνονται μεταξύ 125°-155°. Οι πτυχές αυτές συνδέονται με σχιστότητα ολίσθησης κατά αξονικό επίπεδο και γράμμωση διατομής. Το τρίτο γεγονός περιλαμβάνει πτυχές κυρίως μεγακλίμακας, ανοικτές έως κλειστές, αξονικής διεύθυνσης BBA-NNΔ, ασύμμετρες και φοράς προς τα NA. Το τέταρτο γεγονός περιλαμβάνει πτυχές έως πολύ ανοιχτές με αξονική διεύθυνση ΒΔ-NA, και τέλος το πέμπτο παραμορφωτικό γεγονός περιλαμβάνει kink πτυχές με αξονικές διευθύνσεις B-N.

Ο Sakellariou (1989) αναφέρει για την περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής έξι κύρια παραμορφωτικά επεισόδια (Σχ. 4.1), από τα οποία τα πέντε πρώτα συνδέονται με αντίστοιχα μεταμορφικά επεισόδια. Όπως αναφέρει, μόνο το πρώτο αναγνωρίζεται στα πετρώματα της Σερβομακεδονικής, δηλαδή στις Ενότητες Κερδυλλίων και Βερτίσκου,

ενώ το δεύτερο έχει επηρεάσει εκτός από τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας και τα πετρώματα της Ενότητας Νέας Μάδυτου. Τα τρία νεότερα εντοπίζονται στα πετρώματα όλων των ενοτήτων της περιοχής ενώ το τελευταίο αφορά την δημιουργία κανονικών ρηγμάτων που επηρέασαν όλα τα πετρώματα. Ειδικότερα:

Για το πρώτο παραμορφωτικό επεισόδιο που είναι και το αρχαιότερο δεν προσδιορίζεται την ηλικία του. Διασώζονται μόνο τα υπολείμματα μιας πρώτης παραμορφωτικής και μεταμορφικής φύλλωσης S₁ ή περισσοτέρων μη αναγνωρίσιμων.

Το δεύτερο επεισόδιο είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ισοκλινών πτυχών B2 μέσης διεύθυνσης B120° και φύλλωσης S2 κατά αξονικό επίπεδο, όσο και γράμμωσης L2. Ωστόσο, γίνεται λόγος ότι αυτή η φύλλωση είναι δύσκολο έως αδύνατο να διακριθεί, κατά την υπαίθρια παρατήρηση από την διάδοχη φύλλωση S3. Η ηλικία για το παραμορφωτικό αυτό επεισόδιο υπολογίζεται με την Κιμμερική ορογένεση, πιθανών έως και Νεοπαλαιοζωικό.

Το τρίτο χαρακτηρίζεται από ισοκλινείς κυρίως πτυχές με άξονες διευθύνσεων περίπου B130°, μια κύρια φύλλωση S3 κατά το αξονικό επίπεδο των πτυχών και πολύ ισχυρά αποτυπωμένη γράμμωση L3 (ορυκτολογική ή επιμύκυνσης), η ηλικία του οποίου είναι Μέσο – Άνω Ιουρασική.

Το τέταρτο, μολονότι έχει αποτυπωθεί σε όλα τα πετρώματα της περιοχής, είναι ασθενέστερο των προηγούμενων επεισοδίων. Σ' αυτό δημιουργούνται πτυχές κυρίως κλειστές, με άξονες διεύθυνσης B180°-200°. Οι πτυχές αυτές συνδέονται με την ανάπτυξη μιας νέας φύλλωσης S4 κατά το αξονικό επίπεδο και γράμμωση L4 και η ηλικία τους είναι Κάτω Κρητιδική.

Το πέμπτο δημιούργησε κυρίως ανοιχτές έως κλειστές πτυχές με μέση διεύθυνση αξόνων Α – Δ και συνοδεύονται από την ανάπτυξη φύλλωσης S5 που εμφανίζεται τοπικά και περιγράφεται ανάλογα με τη λιθολογία σαν ρηξισχιστότητα ή πτυχοσχιστότητα και αναφέρεται ως Ηωκαινικής ηλικίας. Στα τελευταία στάδια του παραμορφωτικού αυτού επεισοδίου δημιουργούνται kink πτυχές και μικροσκοπικές έως μακροσκοπικές ζώνες διάτμησης.

Το έκτο και τελευταίο παραμορφωτικό επεισόδιο αφορά τη μετέπειτα ρηξιγενή τεκτονική και συνδέεται με τη δημιουργία κανονικών ρηγμάτων τα οποία εντοπίστηκαν στο σύνολο των πετρωμάτων της υπό έρευνα περιοχής του.



Σχήμα 4.1: Τρισδιάστατη απεικόνιση της τεκτονικής εξέλιξης του ιστού των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Σερβομακεδονικής στην περιοχή της BA Χαλκιδικής (Sakellariou 1989).

Ο Σιδηρόπουλος (1991) για τη Σερβομακεδονική Μάζα περιγράφει τέσσερα παραμορφωτικά γεγονότα. Το πρώτο αναφέρεται σε μία μιγματιτική υφή, η οποία δεν μπορεί να προσδιοριστεί λόγω των μετέπειτα παραμορφωτικών επεισοδίων και η ηλικία του περιγράφεται ως Ερκύνια. Το δεύτερο παραμορφωτικό γεγονός συνδέεται με έντονη μυλωνιτίωση των πετρωμάτων, την δημιουργία ισοκλινών έως σφιχτών πτυχών και χρονολογείται στο Περμο-Τριαδικό. Το τρίτο αναφέρεται ως Άνω Ιουρασικής ηλικίας και προκάλεσε ασύμμετρες, σφιχτές πτυχές ΒΔ – ΝΑ και ΒΑ – ΝΔ διεύθυνσης και παράλληλη γράμμωση διατομής αλλά και ολίσθησης. Το τέταρτο παραμορφωτικό επεισόδιο συνδέεται με ορθές έως ελαφρά κεκλιμένες, ανοικτές πτυχές BBA – ΝΝΔ και ΑΒΑ – ΔΝΔ διεύθυνσης και την ανάπτυξη μίας γράμμωσης ολίσθησης. Το γεγονός αυτό χρονολογείται ως μετά-Ιουρασικό.

Σύμφωνα με τους Tranos et al. (1993) στο γρανίτη της Σιθωνίας, αλλά και στα περιβάλλοντα πετρώματά του, τα οποία ανήκουν στη Σερβομακεδονική μάζα, εντοπίζεται ένα κύριο παραμορφωτικό γεγονός το οποίο συνδέεται με μια ισχυρή πλαστική διάτμηση με την κίνηση του υπερκείμενου τμήματος να προσδιορίζεται προς τα ABA. Το παραμορφωτικό αυτό γεγονός συνδέεται με χαμηλού έως μέσου βαθμού μεταμόρφωση. Στα τελικά του στάδια συνδέεται με τη δημιουργία μυλωνιτικών ζωνών, BΔ – NA διεύθυνσης, σμίκρυνση και κίνηση του υπερκείμενου τμήματος προς τα NA. Το παραμορφωτικό αυτό γεγονός, σύμφωνα με τους συγγραφείς, λαμβάνει χώρα πριν έως και κατά την τοποθέτηση του γρανίτη της Σιθωνίας. Η ηλικία του γρανίτη της Σιθωνίας έχει προσδιοριστεί στο Ηώκαινο (Vergely 1984, De Wet et al. 1989, Christofides et al. 1990).

Οι Kilias et al. 1999, για το χώρο της Σερβομακεδονικής μάζας περιγράφουν δύο παραμορφωτικά γεγονότα (Σχ. 4.2). Το πρώτο περιγράφεται ως μια πλαστική παραμόρφωση (Dsrb) αποτέλεσμα του οποίου ήταν η δημιουργία ισοκλινών πτυχών και μια έντονη διάτμηση παρόμοια με αυτήν που αναφέρουν οι Tranos et al. (1993) και την οποία την ερμηνεύουν με άνοδο και έκταση του φλοιού, ενώ χρονικά την τοποθετούν πριν την τοποθέτηση των γρανιτών της Σιθωνίας και της Ουρανούπολης, οι οποίοι χρονολογούνται στο Ηώκαινο, και ειδικότερα την παραμόρφωση την τοποθετούν στα 120-90 Ma.

Το δεύτερο παραμορφωτικό γεγονός (D_e) το οποίο περιγράφουν για τη Σερβομακεδονική εμφανίζεται με πλαστικές αλλά και θραυσιγενείς δομές. Το επεισόδιο αυτό συνδέεται με έκταση του φλοιού και εμφανίζεται με μικρής γωνίας διατμητικές ζώνες και κίνηση είτε προς τα βορειοανατολικά είτε προς τα νοτιοδυτικά. Η χρονολόγηση του επεισοδίου αυτού αναφέρεται από το Ηώκαινο μέχρι το Μειόκαινο.



Σχήμα 4.2: Σχηματική τομή της Σερβομακεδονικής και της δυτικής Ροδόπης όπου διακρίνονται οι σχέσεις μεταξύ των δύο κρυσταλλικών μαζών και οι κύριες τεκτονικές δομές (Kilias et al. 1999).

Σύμφωνα με τους Plougarlis and Tranos (2014), οι οποίοι μελέτησαν την παραμόρφωση της Σερβομακεδονικής Μάζας στην περιοχή της Νήσου Αμμουλιανή διέκριναν πέντε παραμορφωτικά γεγονότα, τα οποία από τα παλαιότερα προς τα νεότερα είναι:

- Κατά τη διάρκεια του πρώτου παραμορφωτικού γεγονότος προκαλείται μία έντονη διάτμηση, η οποία γίνεται ιδιαίτερα εμφανής στα πετρώματα της Ενότητας Αμμουλιανής και η οποία συνδέεται με φαινόμενα ανάτηξης, με μία ισχυρή transposition, μυλωνιτίωση και τη δημιουργία τέλειων ισοκλινών πτυχών.
- Κατά το δεύτερο παραμορφωτικό γεγονός περιγράφονται η ανάπτυξη πτυχών ABA-ΔΝΔ έως Α-Δ αξονικής διεύθυνσης που επηρεάζουν όλες τις ενότητες της Σερβομακεδονικής Μάζας σχηματίζοντας σ' αυτές και μια κύρια φύλλωση (S2).
- Στο τρίτο παραμορφωτικό γεγονός αναπτύσσονται ABA-ΔΝΔ αξονικής διεύθυνσης πτυχές, οι οποίες επαναπτυχώνουν τις προηγούμενες πτυχές, ενώ παράλληλα, κατά το στάδιο αυτό διεισδύει ο γρανίτης Ουρανούπολης.
- Το τέταρτο παραμορφωτικό γεγονός, είναι μικρής έντασης και ουσιαστικά προκαλεί μια στολίδωση των χαρτογραφικών μονάδων με γωνιώδεις και kink μικροπτυχές.

Τέλος, στο πέμπτο παραμορφωτικό γεγονός δημιουργούνται ημιθραυσιγενείς
έως θραυσιγενείς δομές που προσδιορίζουν μια transpression - pure
compression παραμόρφωση και σμίκρυνση του χώρου σε διεύθυνση B-N.

Ακόμα, οι Kydonakis et al. (2015) οι οποίοι μελέτησαν την παραμόρφωση του κεντρικού τμήματος της Χαλκιδικής καταγράφουν μια γράμμωση έκτασης BA – ΝΔ διεύθυνσης. Κατά τη γράμμωση αυτή περιγράφουν κινήσεις και προς τις δύο κατευθύνσεις, μία προς τα ΝΔ και μία προς τα BA. Την διπλή αυτή κίνηση την αποδίδουν σε μια συμπιεστική τεκτονική και μια μεταγενέστερη εκτατική τεκτονική κατά την οποία επήλθε η εκταφή των μεταμορφικών μονάδων.

Ο Neofotistos (2020) στην περιοχή του Αγίου Όρους αναφέρει την αναγνώριση πέντε παραμορφωτικών γεγονότων. Ειδικότερα περιγράφει ότι τα δύο πρώτα παραμορφωτικά γεγονότα D1 και D2 αναγνωρίζονται με πολύ δυσκολία στο πεδίο, λόγω της εκτεταμένης επικάλυψης που έγουν υποστεί από το κύριο παραμορφωτικό γεγονός D3, που επηρέασε τα πετρώματα της περιοχής του Αγίου Όρους. Το κύριο για την περιοχή, D3 γεγονός, περιγράφεται ως αμφιβολιτικής φάσης και το οποίο γρονολογείται στο Άνω Ιουρασικό-Κάτω Κρητιδικό. Το γεγονός αυτό σχετίζεται με μια ισοκλινή πτύχωση και μια έντονη διάτμηση με κίνηση προς Ν, η οποία οδήγησε στη γένεση μιας μυλωνιτικής διατμητικής ζώνης στης επαφή των Ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων και τη δημιουργία, παράλληλα, της γεωμετρίας μιας sheath μεγαπτυχής. Το D3 γεγονός αναφέρεται ως το κυρίαρχο παραμορφωτικό γεγονός κατά τον Αλπικό ορογενετικό κύκλο. Η παραμόρφωση στην περιοχή συνεχίζεται με το D4 γεγονός, το οποίο χρονολογήθηκε κατά το Ηώκαινο. Το D4 γεγονός περιγράφεται ότι σχετίζεται με μια συμπίεση ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης, δημιουργώντας ασύμμετρες ως ανεστραμμένες πτυχές, οι οποίες επανα-πτυχώνουν ομοαξονικά τους προϋπάρχοντες παραμορφωτικούς ιστούς και τις αντίστοιχες δομές. Τέλος, αναφέρεται η διάκριση ενός ακόμα παραμορφωτικού γεγονότος, του D5, το οποίο περιγράφει μια συμπίεση διεύθυνσης B-N και εντάσσεται στις ύστερο-Αλπικές ορογενετικές διεργασίες.

Όπως προκύπτει από τις υφιστάμενες εργασίες, όπως αυτές περιγράφτηκαν ανωτέρω διαφορετικά παραμορφωτικά γεγονότα και ηλικίες προκύπτουν για τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής Μάζας, αποτυπώνοντας έτσι μια πολύπλοκη παραμορφωτική εξέλιξη στην πορεία της ιστορία της.

Πίνακας 4.1:	Συγκεντρωτικός πίνακας με τα κύρια παραμορφωτικά και μεταμορφικά επεισόδια και τις ηλικίες τους που έχουν
	αναφερθεί για την Σερβομακεδονικής Μάζας.

Sakellariou, 1989			ΣΙΔΗΡΟΠΟΥΛΟΣ, 1991			Plougarlis and Tranos, 2014		Neofotistos, 2020			
	Παραμόρφωση/ Μεταμόρφωση	Χρονολόγηση		Παραμόρφωση/ Μεταμόρφωση	Χρονολόγηση	Παραμόρφωση/ Μεταμόρφωση	Χρονολόγηση		Παραμόρφωση/ Μεταμόρφωση	Χρονολόγηση	
P1	51		- - D	M1	Όρια εκλογιτικής- γλαυκοφανιτικής φάση 500°C / >9-10kb			-	D1	Εκλογιτικού βαθμού	Προ- Μεσοζωικό
	Εκλογιτικού βαθμού (700 - 1000°C / 13-14kb)			M2/ D1	51 Όρια αμφιβολιτικής- γρανουλιτικής- εκλογιτικής φάσης 650-700°C / >6kb	Νέο- Παλαιοζωικό	-				
P2	F2 / BΔ - NA / Ενδοφυλλώδεις, ισοκλινείς χωρίς ρίζα πτυχές	Κιμμερική ορογένεση ή Νεοπαλαιοζωικό ορογενετικό επεισόδιο	M3/	Ενδοφυλλώδεις, ισοκλινείς χωρίς ρίζα πτυχές / Μυλωνιτίωση	Πρώιμο- Μέσο Τριαδικό	F1 / Ενδοφυλλώδεις, ισοκλινείς χωρίς ρίζα πτυχές / Μιγματίτες / Διάτμηση	Παλαιοζωικό ή παλαιότερο	D2	Ενδοφυλλώδεις, ισοκλινείς χωρίς ρίζα πτυχές	Πριν το Άνω Ιουρασικό	
	Μέσου αμφιβολιτικού βαθμού (600-6750°C / 5kb)		υz	Μέση-Άνω αμφιβολιτική φάση 540-690°C / 5-8kb					Αμφιβολιτικού βαθμού		
Р3	F3 / BΔ - NA / Ισοκλινείς πτυχές	Μέσο-Άνω Ιουρασικό	Μέσο-Άνω Μ4/ Ιουρασικό D3		Ισοκλινείς-σφιχτές πτυχές	Μέσο-Ύστερο Ιουρασικό	F2 / Α-Δ / Ισοκλινείς πτυχές	Μεσοζωικές	D3	Ισοκλινείς πτυχές	Άνω Ιουρασικό- Κάτω Κρητιδικό
	Κατώτερου αμφιβολιτικού βαθμού (550-600℃ / 5kb)			M4/ D3	Όριο αμφιβολιτικής- πρασινοσχιστολιθικής φάση 400-520°C / 6-9kb					Χαμηλού αμφιβολιτικού βαθμού	
P4	F4 / BA - ΝΔ / Ασύμμετρες πτυχές	Κάτω Κρητιδικό- Ηωελλινική ορογένεση	M5	Πρασινοσχιστολιθική φάση.	F3 ΒΔ-ΝΑ ε Ασύμμε πτυχ		ορογενετικες διεργασίες	D4	Ασύμμετρες πτυχές	Κάτω Κρητιδικό - Ηώκαινο	
	Ανώτερου πρασινοσχιστολιθικού βαθμο (500-550°C / 4kb)					F3 ΒΔ-ΝΑ έως Α-Δ Ασύμμετρες πτυχές			Πρασινοσχιστολιθικού βαθμού		
P5	F5 / Α - Δ / Ανοικτές - κλειστές πτυχές Κατώτερου πρασινοσχιστολιθικού βαθμο Ρήνματα	Ηώκαινο- Ολιγόκαινο	D4	Ανοικτές πτυχές	Μετά Ιουρασικό	Πλαστική - ημιπλαστική παραμόρφωση ΑΒΑ-ΔΝΔ	Ηώκαινο	D5	Ανοικτές πτυχές Χαμηλού πρασινοσχιστολιθικού βαθμού	Ηώκαινο- Ολιγόκαινο	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στην περιοχή έρευνας πραγματοποιήθηκαν οδεύσεις εγκάρσια στη γενική διάταξη των πετρωμάτων και κατασκευάστηκαν λεπτομερείς γεωλογικές τομές με σκοπό τον καλύτερο προσδιορισμό των εκτειθέμενων λιθολογικών τύπων, των μεταξύ τους σχέσεων και των δομικών τους στοιχείων, έτσι ώστε να γίνουν κατανοητές οι ομοιότητες και διαφορές ανάμεσά τους και η συσχέτισή τους με τα ήδη υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα. Μολονότι, τα τελευταία, σε σημαντικό βαθμό είναι ετερογενή και αρκετά διαφορετικά ανάμεσα στους ερευνητές, όπως ήδη έχει καταδειχτεί από την περιγραφή των προηγούμενων κεφαλαίων.

Με βάση αυτές τις υπαίθριες γεωλογικές εργασίες τα πετρώματα στα όρη Βερτίσκου και Κερδύλιον μπορούν να περιγραφούν ως ακολούθως:

5.1. ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΒΕΡΤΙΣΚΟΥ

Τα πετρώματα, τα οποία έχουν ενταχθεί στην Ενότητα Βερτίσκου είναι οι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι, οι οποίοι κατά θέσεις ανάλογα με τη σύστασή τους μεταπίπτουν σε μοσχοβιτικούς γνευσίους – σχιστογνευσίους και διμαρμαρυγιακούς γρανατούχους γνευσίους. Τα πετρώματα αυτά εντοπίζονται στο Όρος Βερτίσκος και στο δυτικό τμήμα της περιοχής διερεύνησης, και σ' αυτά, κύριο χαρακτηριστικό φαίνεται να είναι η απουσία των μαρμάρων, των φαινομένων ανάτηξης και της παρουσίας των αμφιβολιτικών – κεροστιλβικών γνευσίων.

5.1.1. Διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι

Οι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι καταλαμβάνουν σημαντική έκταση στην περιοχή έρευνας και εντοπίζονται βόρεια του χωριού Σοχός, βόρεια των χωριών Μαυρούδα και Σκεπαστό και ανατολικά του χωριού Σεβάστεια.

Οι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι εμφανίζονται με καστανό έως ανοικτό καστανό χρώμα και χαρακτηρίζονται λεπτο- έως και μεσοκρυσταλλικοί με πολύ καλή φύλλωση (Σχ. 5.1α-γ). Είναι μονότονοι και αποτελούνται κυρίως από μοσχοβίτη, βιοτίτη, πλαγιόκλαστα και χαλαζία, ενώ σε μικρότερο ποσοστό και κατά θέσεις εμφανίζονται χλωρίτης και επίδοτο. Οι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι σε λίγες θέσεις αποκτούν την εικόνα του οφθαλμοειδή γνευσίου, με οφθαλμούς από χαλαζία και πλαγιόκλαστα, μεγέθους ως λίγα εκατοστά. Ο μοσχοβίτης σχεδόν πάντα επικρατεί του βιοτίτη με αποτέλεσμα το πέτρωμα να μπορεί να χαρακτηριστεί και ως βιοτιτικός – μοσχοβιτικός γνεύσιος ή σχιστογνεύσιος γιατί στην τελευταία περίπτωση η φύλλωση του είναι μεταβατική μεταξύ σχιστότητας και γνευσιακής υφής.

Από τις υπαίθριες κυρίως παρατηρήσεις στο διμαρμαρυγιακό γνεύσιο προέκυψαν διαφορετικές γενιές μοσχοβιτών, οι οποίες εντοπίζονται να προσανατολίζονται σε διαφορετικές φυλλώσεις και ιδιαίτερα μπορούν να διακριθούν ευκολότερα στα κορυφαία των πτυχών.

Συχνά εντός των διμαρμαρυγιακών γνευσίων εντοπίζονται απλιτικές και χαλαζιακές φλέβες, κυρίως παράλληλα έως υποπαράλληλα, αλλά και εγκάρσια στη φύλλωση (Σχ. 5.1δ). Τα σώματα αυτά εμφανίζονται μεμονωμένα, δεν είναι διάχυτα μέσα στο πέτρωμα ενώ δεν αποτυπώνεται σε αυτά κάποια παραμόρφωση.

Επιπλέον, ένα ιδιαίτερο και πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των διμαρμαρυγιακών γνευσίων είναι η απουσία φαινομένων ανάτηξης και μιγματιτίωσης.

Από τις μικροσκοπικές παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε λεπτές τομές, ο ιστός των διμαρμαρυγιακών γνευσίων χαρακτηρίζεται ως λεπιδοβλαστικός, ενώ κατά θέσεις, σε περιοχές πλούσιες σε χαλαζιοαστριούχα συστατικά μπορεί να χαρακτηριστεί ως γρανοβλαστικός. Οι κρύσταλλοι χαλαζία εμφανίζονται ανακρυσταλλωμένοι με κυματοειδή κατάσβεση και παράλληλοι στην κυρίαρχη φύλλωση, ενώ τα πλαγιόκλαστα κατέχουν μεγάλο τμήμα του πετρώματος και εμφανίζουν διδυμίες παραμόρφωσης.

5.1.2. Μοσχοβιτικοί γνεύσιοι-σχιστογνεύσιοι

Οι μοσχοβιτικοί γνεύσιοι – σχιστογνεύσιοι είναι ανοικτού καστανού χρώματος και είναι κατά κανόνα λεπτοκρυσταλλικοί (Σχ. 5.2 α, β). Παρατηρούνται σε άμεση σύνδεση με τους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους με τους οποίους εμφανίζονται κατά θέσεις σε συχνές εναλλαγές και γενικά καταλαμβάνουν μικρή έκταση. Αποτελούνται σε μεγαλύτερο ποσοστό από μοσχοβίτη, χαλαζία και πλαγιόκλαστο, σε μικρότερο ποσοστό εντοπίζονται άστριοι, χλωρίτης και επίδοτο, ενώ απουσιάζει ο βιοτίτης.

Μικροσκοπικά, ο ιστός των μοσχοβιτικών γνευσίων χαρακτηρίζεται ως λεπιδοβλαστικός, με το χαλαζία να εμφανίζεται ανακρυσταλλωμένος και με κυματοειδή κατάσβεση. Επιπλέον, και σ' αυτούς έχουν εντοπιστεί τουλάχιστον δύο γενιές μοσχοβιτών, οι οποίοι διακρίνονται κυρίως στα κορυφαία των πτυχών.



Σχήμα 5.1: (α – γ) Καλά φυλλωμένοι, μονότονοι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι, δ) διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι με απλιτικές φλέβες παράλληλες στη φύλλωση.

5.1.3. Διμαρμαρυγιακοί γρανατούχοι γνεύσιοι

Οι διμαρμαρυγιακοί γρανατούχοι γνεύσιοι εμφανίζονται με καστανό έως ανοικτό καστανό χρώμα και χαρακτηρίζονται λεπτο- έως και μεσοκρυσταλλικοί (Σχ. 5.2 γ, δ). Εμφανίζονται σε ορίζοντες πάχους λίγων μέτρων έως λίγων δεκάδων μέτρων εντός των διμαρμαρυγιακών γνευσίων. Αποτελούνται από μοσχοβίτη, βιοτίτη, χαλαζία, πλαγιόκλαστα και γρανάτες, ενώ σε μικρότερο ποσοστό από χλωρίτη και επίδοτο, με το μοσχοβίτη να καταλαμβάνει μεγάλο μέρος του πετρώματος. Οι γρανάτες είναι γενικά μικροί σε μέγεθος, ωστόσο, φτάνουν έως και τα 2cm, όπως παρατηρήθηκε σε ορισμένες θέσεις.

Μικροσκοπικά, ο ιστός των γρανατούχων γνευσίων χαρακτηρίζεται ως λεπιδοβλαστικός, ενώ, σε λίγες περιπτώσεις όπου εμφανίζεται πλούσιος σε χαλαζιοαστριούχα ορυκτά, χαρακτηρίζεται ως γρανοβλαστικός. Ο χαλαζίας είναι ανακρυσταλλωμένος και εμφανίζει κυματοειδή κατάσβεση, ενώ τα πλαγιόκλαστα εμφανίζουν διδυμίες παραμόρφωσης. Τέλος, μπόρεσαν να διακριθούν δύο γενιές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

γρανατών, με την πρώτη να είναι προ-τεκτονική με τη φύλλωση να τους περιβάλει, ενώ η δεύτερη είναι συν-τεκτονική.



Σχήμα 5.2: (α) και (β καλά φυλλωμένοι μοσχοβιτικοί γνεύσιοι που εντοπίζονται εντός των διμαρμαρυγιακών γνευσίων, (γ) και (δ) γρανατούχοι μοσχοβιτικοί γνεύσιοι που εντοπίζονται εντός των διμαρμαρυγιακών γνευσίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



Σχήμα 5.3: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης, τροποποιημένος από τους Kockel et al. (1977).

5.2. ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΕΡΔΥΛΛΙΩΝ

Τα πετρώματα που έχουν ενταχθεί στην Ενότητα Κερδυλλίων είναι οι βιοτιτικοί γνεύσιοι, οι ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι και τα μάρμαρα. Τα πετρώματα αυτά εντοπίζονται πέρα από το Κερδύλιον Όρος, στα ανατολικά της περιοχής μελέτης, και στο Όρος Βερτίσκου (Σχ. 5.3), δυτικότερα από το όριο που είχε προσδιοριστεί κατά την χαρτογράφηση του Kockel et al. (1971, 1977). Επιπρόσθετα, η Ενότητα Κερδυλλίων φαίνεται να χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ποικιλομορφία στις λιθολογικές μονάδες από ότι η Ενότητα Βερτίσκου, σε αντίθεση με την άποψη που διατύπωσαν οι Sakellariou and Durr (1993) δηλαδή ότι η Ενότητα Βερτίσκου συγκεντρώνει μεγαλύτερες λιθολογικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με την Ενότητα Κερδυλλίων. Η περιγραφή των λιθολογικών τύπων είναι η ακόλουθη:

5.2.1. Βιοτιτικοί γνεύσιοι

Οι βιοτιτικοί γνεύσιοι εντοπίζονται στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής έρευνας, καταλαμβάνοντας το Κερδύλιον Όρος και μεγάλα τμήματα βόρεια του χωριού Μαυρούδα και των χωριών Σοχού και Κρυονερίου στο Όρος Βερτίσκος (Σχ. 5.3).

Οι βιοτιτικοί γνεύσιοι εμφανίζονται με τεφρό, σκούρο τεφρό έως πολύ σκούρο καστανό χρώμα. Αποτελούν την επικρατέστερη και πιο εκτεταμένη λιθολογική μονάδα στην περιοχή έρευνας. Εμφανίζονται μονότονοι, λεπτο- έως μεσοκρυσταλλικοί και πολύ καλά φυλλωμένοι (Σχ. 5.4α-γ).

Τα κύρια ορυκτά τα οποία αναγνωρίσθηκαν για τους βιοτιτικούς γνευσίους είναι βιοτίτης, χαλαζίας, πλαγιόκλαστα ενώ και κατά θέσεις εντοπίζονται χλωρίτης, γρανάτης, επίδοτο και απατίτης. Από μικροσκοπικές παρατηρήσεις ο ιστός των βιοτιτικών γνευσίων χαρακτηρίζεται ως λεπιδοβλαστικός, ενώ, σε λίγες περιπτώσεις όπου εμφανίζεται πλούσιος σε χαλαζιοαστριούχα ορυκτά χαρακτηρίζεται ως γρανοβλαστικός.

Διακρίνονται δύο γενιές βιοτίτη, με την παλαιότερη να αποτελείται από μεγαλύτερους κρυστάλλους και προσανατολισμένους με την κύρια φύλλωση του πετρώματος, ενώ η δεύτερη γενιά βιοτιτών χαρακτηρίζεται από μικρότερους κρυστάλλους, οι οποίοι διατάσσονται παράλληλα στη νεότερη φύλλωση, η οποία αναπτύσσεται κατά τα αξονικά επίπεδα και είναι ευκολότερο να τους παρατηρήσει κανείς στα κορυφαία των πτυχών. Συχνά, εντός των βιοτιτικών γνευσίων εντοπίζονται ορίζοντες πλούσιοι σε κεροστίλβη και ανάλογα με το ποσοστό τους το πέτρωμα μπορεί

να χαρακτηριστεί ως κεροστιλβικός – βιοτιτικός ή βιοτιτικός – κεροστιλβικός γνεύσιος.

Ακόμα, σε μεγάλα τμήματά τους, οι βιοτιτικοί γνεύσιοι εμφανίζουν λευκοσώματα και μιγματίτες ποικίλου μεγέθους (Σχ. 5.4δ&ε), γεγονός που υποδηλώνει μια εκτεταμένη μιγματιτίωση και ανάτηξη. Επιπλέον, εντοπίζονται περιοχές, κυρίως ανατολικά του Σκεπαστού, όπου οι βιοτιτικοί γνεύσιοι εμφανίζονται έντονα φυλλωμένοι, σχιστοποιημένοι και ευκολοδιάβρωτοι με έντονη διάτμηση και μπορούν να χαρακτηριστούν ως φυλλωνίτες – διαφθορίτες (Becke, 1909).

Συχνά, σε θέσεις οι βιοτιτικοί γνεύσιοι εντοπίζονται να διατρέχονται από απλιτικές ή χαλαζιακές φλέβες υποπαράλληλα ή και εγκάρσια στη φύλλωση. Οι φλέβες αυτές φαίνονται να διαφοροποιούνται σε σχέση με τα λευκοσώματα τα οποία είναι χαρακτηριστικά των πετρωμάτων των Κερδυλλίων. Έχουν μικρότερο μέγεθος, δεν εμφανίζουν παραμορφώσεις και φαίνεται να αποτελούν μια νεότερη γενιά φλεβών. Τέλος, στο ανατολικό τμήμα της περιοχής, δυτικότερα του χωριού Νέα Κερδύλια και ανατολικότερα των χωριών Στεφανινά και Σκεπαστό εντός των βιοτιτικών γνευσίων εντοπίζονται ορίζοντες και φακοειδή σώματα μαρμάρων, ποικίλου μεγέθους.

5.2.2. Ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι

Οι ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι εμφανίζονται με πράσινο έως σκούρο πράσινο χρώμα, χαρακτηρίζονται λεπτο- έως μεσοκρυσταλλικοί και είναι καλά φυλλωμένοι (Σχ. 5.5). Ορυκτολογικά αποτελούνται κυρίως από κεροστίλβη, πλαγιόκλαστο, χαλαζία, επίδοτο και σε μικρότερο ποσοστό από χλωρίτη. Τα πετρώματα αυτά είναι άμεσα συνδεδεμένα με τους βιοτιτικούς γνευσίους, αφού εμφανίζονται με τα τελευταία σε μορφή ενδιαστρώσεων ή φακοειδών στρωμάτων, ενώ το πάχος τους φτάνει τα μερικά δεκάδες μέτρα.

Αντίστοιχα με τους βιοτιτικούς γνευσίους και οι ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι φιλοξενούν λευκοσώματα και από περιοχή σε περιοχή εμφανίζονται ως μιγματιτικοί αμφιβολίτες-μιγματίτες υποδηλώνοντας μια εκτεταμένη μιγματιτίωση και ανάτηξη (Εικ. 5.6α-γ). Μάλιστα, εμφανίζεται σ' αυτά να έχει επέλθει διαχωρισμός των φεμικών και σαλικών ορυκτών σε διακριτά εναλλασσόμενα συνεχή επίπεδα σχηματίζοντας χαρακτηριστική ταινιωτή υφή (Σχ. 5.6γ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



Σχήμα 5.4: α – γ) μονότονοι, καλά φυλλωμένοι βιοτιτικοί γνεύσιοι, δ και ε) βιοτιτικοί γνεύσιοι με λευκοσώματα, ζ και η) καλά φυλλωμένοι βιοτιτικοί γνεύσιοι, θ) οφθαλμοειδείς βιοτιτικοί γνεύσιοι.



Σχήμα 5.5: α – ε) Εικόνες ταινιωτών – αμφιβολιτικών γνευσίων, ζ) κεροστιλβικοί –
βιοτιτικοί γνεύσιοι, η) γρανατούχοι κεροστιλβικοί – βιοτιτικοί γνεύσιοι,
θ) οφθαλμοειδείς αστριούχοι κεροστιλβικοί – βιοτιτικοί γνεύσιοι.



Σχήμα 5.6: α – γ) Εικόνες μιγματιτικών, ταινιωτών - αμφιβολιτικών γνευσίων, δ – ζ) βιοτιτικοί γνεύσιοι με λευκοσώματα.

5.2.3. Βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι – οφθαλμογνεύσιοι

Εμφανίζονται με καστανό έως τεφρό χρώμα και χαρακτηρίζονται μεσο- έως και αδροκρυσταλλικοί (Σχ. 5.7). Εμφανίζονται από λίγα μέτρα έως αρκετά δεκάδες μέτρα μαζί με τους βιοτιτικούς γνευσίους. Ορυκτολογικά αποτελούνται από βιοτίτη χαλαζία, αστρίους και κατά θέσεις από γρανάτη. Οι χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι ή οφθαλμογνεύσιοι, κατά θέσεις, εντοπίζονται με τη μορφή οφθαλμοειδών γνευσίων, όπου οι οφθαλμοί συνήθως είναι χαλαζίας ή/και άστριοι, και το μέγεθός τους φτάνει και τα 3cm. Το πέτρωμα συνολικά είναι λεπτοκρυσταλλικό και αποτελείται από χαλαζία, αστρίους, βιοτίτη και σπάνια από κεροστίλβη και επίδοτο. Η παρουσία των χαλαζιοαστριούχων - οφθαλμοειδών γνευσίων γίνεται εντονότερη πλησιάζοντας προς την επαφή με τους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους και εμφανίζουν έντονη διάτμηση σχηματίζοντας χαρακτηριστικούς σ- και δ- κλάστες αλλά και S – C υφές. Τα πετρώματα αυτά δείχνουν να είναι αποτέλεσμα της έντονης διάτμησης που υφίσταται η επαφή ανάμεσα στους βιοτιτικούς και διμαρμαρυγιακούς γνευσίους και ο σχηματισμός τους είναι συνδεδεμένος με το ορυκτό μοσχοβίτης που σχηματίζεται μέσα στη ζώνη διάτμησης.



Σχήμα 5.7: α-δ) Βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι – οφθαλμογνεύσιοι με έντονη διάτμηση.

5.2.4. Μάρμαρα

Αναγνωρίζονται περισσότεροι του ενός ορίζοντες μαρμάρων στο Κερδύλιον Όρος (ανατολικό τμήμα περιοχής μελέτης, Σχ. 5.3), αλλά ο κύριος ορίζοντας μαρμάρου εντοπίζεται ανατολικά των χωριών Αρεθούσα και Στεφανινά και εκτείνεται προς τα βόρεια, όπου κάμπτεται προς τα ανατολικά στο χωριό Ορέσκεια και χάνεται κάτω από

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

τα μετά-αλπικά ιζήματα. Ο ορίζοντας αυτός έχει αποτελέσει και το όριο μεταξύ των Ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων στη γεωλογική χαρτογράφηση των Kockel et al. (1977) και το οποίο ακολουθείται μέχρι σήμερα, μολονότι πρόσφατα οι Neofotistos et al. (2020) προσδιορίζουν ότι το λιθολογικό αυτό όριο δεν είναι και το πραγματικό όριο ανάμεσα στις δύο ενότητες.

Λιθολογικά, τα μάρμαρα είναι λευκού έως υπόλευκου – γκρίζου χρώματος, κατά θέσεις ελαφρού τεφρού έως σκούρου τεφρού και γαλαζωπού χρώματος (Σχ. 5.8). Εμφανίζονται να είναι μεσόκκοκα έως και αδρόκοκκα, καλά φυλλωμένα και συχνά κατά τη θραύση τους έχουν έντονη οσμή θειαφιού. Κύριο συστατικό ορυκτό είναι ο ασβεστίτης, ενώ κατά θέσεις παρουσιάζουν τεφρομέλανες ταινίες από γραφίτη, πάχους έως και λίγα εκατοστά, παράλληλα στην κύρια φύλλωση τους, ενώ σε ορισμένες θέσεις αναγνωρίζεται πιθανή υπολλειματική διασταυρωτή στρώση (Σχ. 5.8ζ). Πέρα από τον ασβεστίτη, αναγνωρίζονται σε μικρότερο ποσοστό χαλαζίας, βιοτίτης, επίδοτο και χλωρίτης.

Τα μάρμαρα εμφανίζονται στρωματογραφικά άμεσα συνδεδεμένα τόσο με τους βιοτιτικούς γνευσίους, όσο και με τους αμφιβολιτικούς – κεροστιλβικούς γνευσίους (Σχ. 5.8γ). Συγκεκριμένα, οι βιοτιτικοί γνεύσιοι βρίσκονται να είναι τόσο υποκείμενοι, όσο και υπερκείμενοι των μαρμάρων, αλλά και εμφανίζουν ενδιαστρώσεις και φακούς μαρμάρων μικρότερου πάχους, που συνηγορούν υπέρ της μεταξύ τους μεταβατικής σχέσης. Ακόμα, στα ανώτερα τμήματα του μαρμάρου εντοπίζονται ενδιαστρώσεις από ασβεστοπυριτικούς ορίζοντες με βιοτιτικούς και αμφιβολιτικούς γνευσίους. Ορίζοντες μαρμάρου, σαφώς μικρότερου πάχους του κύριου ορίζοντα, αλλά και υπό τη μορφή φακοειδών σωμάτων εντοπίζονται και σε άλλες θέσεις εντός των βιοτιτικών γνευσίων κυρίως στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του Όρους Κερδύλιον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



Σχήμα 5.8: α) καλά φυλλωμένα μάρμαρα με γραφιτικές ενστρώσεις β) μαζώδεις μάρμαρα γ) εναλλαγές μαρμάρων, πιθανών ισοκλινών πτυχών με βιοτιτικούς και αμφιβολιτικούς γνευσίους, δ και ε) καλά φυλλωμένα μάρμαρα με γραφιτικές ενστρώσεις, ζ) ανακρυσταλλωμένα μάρμαρα όπου διακρίνεται πιθανή διασταυρωτή στρώση.

5.3. ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΝΕΑΣ ΜΑΔΥΤΟΥ

Στην περιοχή έρευνας τα πετρώματα της Νέας Μάδυτου εντοπίζονται στην περιοχή ανατολικά του χωριού Σοχός και εμφανίζονται με ΒΔ – ΝΑ διεύθυνση, σε πολύ στενές επιμήκεις ζώνες δύσκολα αναγνωρίσιμες λόγω της πυκνής βλάστησης. Πρόκειται κυρίως για μάρμαρα στη βάση των οποίων, αλλά και σε εναλλαγές, εντοπίζονται λεπτοί ορίζοντες γνευσιωμένων μεταψαμμιτών-χαλαζιτών.

Τα μάρμαρα είναι συμπαγή και μαζώδη, λευκού έως γκρίζου χρώματος, τα οποία κατά θέσεις εμφανίζονται κιτρινωπά, αλλά και ροδόχροα. Είναι μεσόκκοκα έως αδρόκοκκα με ζαχαρώδη υφή (Σχ. 5.9α-δ). Επίσης, περιέχουν μοσχοβίτη και χαλαζία, αλλά σε πολύ μικρό ποσοστό.

Οι μεταψαμμίτες-χαλαζίτες έχουν τεφρό, σκούρο καστανό έως καστανό χρώμα και αποτελούνται από μοσχοβίτη, χαλαζία και αστρίους (Σχ. 5.9ε). Στην επαφή μεταξύ των μαρμάρων και των μεταψαμμιτών-χαλαζιτών παρατηρείται σταδιακή μετάβαση (Σχ. 5.9ζ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



Σχήμα 5.9: Υπαίθριες φωτογραφίες των πετρωμάτων της Ενότητας Νέας Μάδυτου. α, β και γ) Μάρμαρα σε εναλλαγές με γνευσιωμένους μεταψαμμίτες, δ) μάρμαρα κοκκινωπού χρώματος, ε και ζ) γνευσιωμένοι μεταψαμμίτες στη βάση των μαρμάρων.

5.4. ΟΞΙΝΑ ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

5.4.1. Γρανίτης Αρναίας

Ο γρανίτης της Αρναίας, μολονότι εμφανίζεται νότια της Μυγδόνιας λεκάνης σε ένα κύριο μεγάλο σώμα, στην περιοχή έρευνας, εντοπίζεται στο δυτικό τμήμα της περιοχής, βόρεια των χωριών Σοχός και Κρυονέρι, σε μικρά σώματα τα οποία εμφανίζονται είτε συμπτυχωμένα κυρίως με τους διμαρμαρυγιακούς και βιοτιτικούς γνευσίους, είτε κατά μήκος της επαφής τους.

Ο γρανίτης της Αρναίας εμφανίζεται με μπεζ, λευκό έως υπόλευκο γκρίζο χρώμα και χαρακτηρίζεται μεσο- έως αδροκρυσταλλικός (Σχ. 5.10). Αποτελείται κυρίως από χαλαζία, πλαγιόκλαστα και καλιούχους αστρίους και σε ποικίλο ποσοστό μοσχοβίτη και βιοτίτη. Τα γρανιτικά σώματα τύπου Αρναίας εμφανίζονται με πολύ καλά ανεπτυγμένη φύλλωση, η οποία είναι γενικά παράλληλη με την κύρια φύλλωση των περιβαλλόντων πετρωμάτων.



Σχήμα 5.10: α – γ) Χαρακτηριστικές εικόνες του γρανίτη τύπου Αρναίας, δ) γρανιτικά σώματα τύπου Αρναίας συμπτυχωμένα με τον βιοτιτικό γνεύσιο.

5.4.2. Γρανίτης Ορέσκειας

Ο γρανίτης Ορέσκειας εμφανίζεται στο Κερδύλιον Όρος να διαγράφει μια στενή επιμήκη λωρίδα νότια των χωριών Ορέσκειας και Δάφνης όπου και εκτείνεται προς τα νότια, μέχρι το BA τμήμα του χωριού Στεφανινά (Σχ.5.3). Επιπλέον, μικρότερης έκτασης εμφανίσεις του γρανίτη εντοπίζονται ανατολικότερα, στο κεντρικό και

ανατολικό τμήμα του Κερδύλιον Όρους, εντός του βιοτιτικού γνευσίου, αλλά και των μαρμάρων της Ενότητας Κερδυλλίων, στα οποία διείσδυσε.

Ο γρανίτης της Ορέσκειας εμφανίζεται με λευκό έως υπόλευκο, γκρίζο χρώμα ενώ και σε λίγες θέσεις εμφανίζεται με ελαφρό ρόδινο χρώμα. Χαρακτηρίζεται μεσο- έως αδροκρυσταλλικός, και καλά φυλλωμένος (Σχ. 5.11). Μακροσκοπικά διακρίνονται τα ορυκτά χαλαζίας, άστριοι, μοσχοβίτης και βιοτίτης. Ο γρανίτης της Ορέσκειας, μολονότι καλά φυλλωμένος, και χαρτογραφικά φαίνεται να είναι συμπτυχωμένος με τα περιβάλλοντα πετρώματα, δεν εμφανίζει πτυχές σε μεσοκλίμακα που να προσδιορίζουν την συμπτύχωσή του με τα περιβάλλοντα πετρώματα.



Σχήμα 5.11: α - δ) Χαρακτηριστικές εικόνες του γρανίτη Ορέσκειας.

5.4.3. Διορίτης έως Γρανοδιορίτης Φλαμουρίου

Ο γρανίτης Φλαμουρίου, έχει πολύ μικρή έκταση και δεν έχει καλές εμφανίσεις, γεγονός που δυσχεραίνει τη λεπτομερή διερεύνησή του. Παρατηρήθηκε σε λίγες μόνο θέσεις κοντά στο χωριού Σεβάστεια όπου εμφανίζεται με ΒΔ – ΝΑ διεύθυνση.

Πρόκειται για ένα τεφρού χρώματος, μεσόκοκκο διορίτη έως γρανοδιορίτη που αποτελείται από χαλαζία, αστρίους, πλαγιόκλαστα, βιοτίτη και επίδοτο.

Χαρακτηρίζεται από μια αραιή φύλλωση, ενώ δεν παρατηρήθηκαν μεσοσκοπικά άλλες παραμορφωτικές δομές.

5.4.4. Γρανίτης Μαυρούδας

Ο γρανίτης Μαυρούδας εμφανίζεται και αυτός σε μικρή έκταση στην περιοχή και εντοπίζεται ανατολικά του χωριού Σεβάστεια όπου εκτείνεται με BA – ΝΔ διεύθυνση και βόρεια του χωριού Μαυρούδα. Αποκαλύψεις του γρανίτη Μαυρούδας εντοπίστηκαν μόνο σε λίγες διαδρομές που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή και αυτές ήταν πολύ περιορισμένες μην επιτρέποντας την περαιτέρω διερεύνησή του.

Ο γρανίτης Μαυρούδας είναι γκρίζου, πρασινόγκριζου χρώματος, μεσόκοκκος με αραιή φύλλωση και αποτελείται από χαλαζία, πλαγιόκλαστο, κεροστίλβη, χλωρίτη και επίδοτο. Πέρα από τη φύλλωση, δεν παρατηρήθηκαν μέσα στον γρανίτη Μαυρούδας, άλλες παραμορφωτικές δομές.

5.5. $\Sigma YM\Pi \Lambda E \Gamma MA \Theta E PM \Omega N - BO \Lambda B H \Sigma - \Gamma OMATIOY$

5.5.1. Υπερμαφικά πετρώματα

Εντοπίζονται στην περιοχή βόρεια του χωριού Σκεπαστό έως και νότια του χωριού Θερμά. Σχηματίζουν μια επιμήκη ζώνη διεύθυνσης B-N, μήκους περίπου 12km και πλάτους περίπου 4km. Περιλαμβάνει πράσινου, σκούρου πράσινου έως ελαιοπράσινου χρώματος μαζώδη υπερμαφικά πετρώματα με κυρίαρχο λιθολογικό τύπο τους έντονα σερπεντινιωμένους πυροξενικούς περιδοτίτες (Σχ. 5.12). Μακροσκοπικά διακρίνονται τα ορυκτά πυρόξενοι, σερπεντίνης και τάλκης.

Στη βάση των υπερμαφικών αυτών πετρωμάτων που θεωρούνται οφειολιθικά σώματα και εντάσσονται στο σύμπλεγμα Θερμών-Βόλβης-Γοματίου (Dixon and Dimitriadis, 1984) και σε άμεση σχέση με αυτά, εντοπίζονται επιδοτιτικοί ακτινολιθικοί σχιστόλιθοι (Σχ. 5.13). Οι σχιστόλιθοι αυτοί εμφανίζονται στην περιοχή BBA του χωριού Σκεπαστό και είναι πράσινου, ανοικτού πράσινου έως ελαιοπράσινου χρώματος. Εμφανίζονται έντονα σχιστοποιημένοι με ελαφρά σαπουνοειδή υφή, ενώ μακροσκοπικά διακρίνονται τα ορυκτά κεροστίλβη, επίδοτο και ακτινόλιθος.


Σχήμα 5.12: Έντονα σερπεντιωμένοι περιδοτίτες, οι οποίοι εντοπίζονται στην περιοχή ΝΔ του χωριού Θερμά (εικόνες α και β) και βόρεια του χωριού Σκεπαστό, (εικόνες γ και δ).



Σχήμα 5.13: Επιδοτιτικοί ακτινολιθικοί σχιστόλιθοι έντονα φυλλωμένοι οι οποίοι εντοπίζονται στη βάση των οφιολιθικών σωμάτων.

5.5.2 Μεταγάββροι - Μαζώδεις αμφιβολίτες

Τα πετρώματα αυτά εντοπίζονται κυρίως στην περιοχή ανατολικά του χωριού Σκεπαστό να υπόκεινται των υπερμαφικών πετρωμάτων και των επιδοτιτικών ακτινολιθικών σχιστολίθων, ενώ εντοπίζονται και ανατολικότερα στο Κερδύλιον

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Όρος, αλλά σαφώς σε μικρότερης έκτασης σώματα, εντός των βιοτιτικών γνευσίων της Ενότητας Κερδυλλίων υπό τη μορφή τεκτονικών φακοειδών σωμάτων.

Οι μεταγάββροι – μαζώδεις αμφιβολίτες είναι συμπαγή, πράσινου έως πολύ σκούρου πράσινου χρώματος, κυρίως μεσο- έως και αδροκρυσταλλικά πετρώματα (Σχ. 5.14). Αποτελούνται κυρίως από κεροστίλβη, πλαγιόκλαστα, χαλαζία, γρανάτες και επίδοτο, ενώ συχνά εντοπίζονται αδιαφανή – μεταλλικά ορυκτά.



Σχήμα 5.14: Εικόνες μεταγάββρων – μαζωδών αμφιβολιτών από την περιοχή ανατολικά του χωριού Σκεπαστό.

6.1. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η γεωλογίας περιοχής όπως προαναφέρθηκε προσέγγιση της της πραγματοποιήθηκε μέσω οδεύσεων στους ορεινούς όγκους και λεπτομερή καταγραφή των δομικών στοιχείων έτσι ώστε να είναι δυνατή η κατασκευή γεωλογικών τομών εγκάρσια στη γενική διάταξη των πετρωμάτων και να δείχνουν τις μεταξύ τους σχέσεις. Κατασκευάστηκαν συνολικά 6 λεπτομερείς γεωλογικές τομές, γενικά εγκάρσιες στην διάταξη των πετρωμάτων, οι οποίες περιγράφονται στη συνέχεια. Τέλος κατασκευάστηκε μια απλοποιημένη συνθετική γεωλογική τομή για ολόκληρη την περιοχή έρευνας, στην οποία αποδίδονται τα βασικά στοιχεία δομής και παραμόρφωσης των ενοτήτων που δομούν τη Σερβομακεδονική μάζα στο Όρος Βερτίσκος και Κερδύλιον Όρος.

Οι έξι γεωλογικές τομές περιγράφονται στη συνέχεια με κατεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά και ουσιαστικά η μία αποτελεί συνέχεια της άλλης.

6.1.1. $\Gamma E \Omega \Lambda O \Gamma I K H T O M H A - A'$

Η γεωλογική τομή, Α – Α'(Σχ. 6.2), έχει ABA – ΔΝΔ διεύθυνση, μήκος περί τα 6km, και εντοπίζεται βόρεια των χωριών Κρυονέρι και Σοχός στο Όρος Βερτίσκος (Σχ. 6.3). Τα πετρώματα στη περιοχή αυτή εμφανίζονται με μια γενική κλίση προς τα ΔΝΔ και μέσες γωνίες κλίσης, μολονότι υπάρχει μια αρκετά μεγάλη διακύμανση στην κατεύθυνση από προς ΒΔ έως και προς ΝΔ. Στα πετρώματα της περιοχής αυτής καταγράφονται ισοκλινείς έως σφιχτές πτυχές, στις οποίες εμφανίζονται να συμμετέχουν και διεισδυτικά γρανιτικά σώματα που χαρακτηρίζονται τύπου γρανίτη Αρναίας.

Ειδικότερα, στο ΔΝΔ τμήμα της τομής εμφανίζονται βιοτιτικοί γνεύσιοι, εντός των οποίων παρατηρούνται λευκοσώματα (Σχ. 6.1α) και κατά θέσεις πολύ μικρού πάχους ορίζοντες ταινιωτών – αμφιβολιτικών γνευσίων, τα οποία προσανατολίζονται παράλληλα προς την κύρια φύλλωση. Προς το κεντρικό τμήμα της τομής, και σε θέσεις βορειότερα της τομής Α – Α΄, οι βιοτιτικοί γνεύσιοι έρχονται σε απευθείας επαφή με τους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους, ενώ στο ύψος της τομής στην μεταξύ τους επαφή παρατηρήθηκαν μικρά διεισδυτικά γρανιτικά σώματα τύπου γρανίτη της Αρναίας (Σχ.

6.1β). Τα πετρώματα εμφανίζονται συμπτυχωμένα από ισοκλινείς πτυχές σχηματίζοντας στην περιοχή ένα μεγάλο σύμμορφο, όπου οι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι εντοπίζονται στο εσωτερικό του. Η επαφή μεταξύ των βιοτιτικών και διμαρμαρυγιακών γνευσίων εμφανίζεται να είναι τεκτονική και ειδικότερα να αποτελεί μια μυλωνιτική ζώνη διάτμησης, στην οποία τα πετρώματα μεταπίπτουν σε βιοτιτικούς χαλαζιοαστριούχους γνευσίους – οφθαλμογνευσίους. Καταγράφηκε μια γράμμωση έκτασης BA – ΝΔ έως BBA – ΝΝΔ διεύθυνσης με κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ έως τα ΝΝΔ (Σχ. 6.2α1), αλλά σε λίγες θέσεις και προς τα BA.

Προς τα ABA, παρατηρούνται οι βιοτιτικοί γνεύσιοι να εναλλάσσονται με ταινιωτούς – αμφιβολιτικούς γνευσίους, συχνά δίνοντας της εικόνα του 'μεταβατικού περάσματος' από τον έναν λιθολογικό τύπο στον άλλο. Οι ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι μεταπίπτουν σε μιγματιτικούς ταινιωτούς αμφιβολίτες (Σχ. 6.1δ). Στα ανατολικό τμήμα της τομής οι ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι βρίσκονται σε επαφή με του διμαρμαρυγιακούς γνευσίους, οι οποίοι και πάλι εντοπίζονται στο εσωτερικό ενός σύμμορφου που διαμορφώνεται στην περιοχή όπως περιγράφηκε και ανωτέρω, με την επαφή τους να είναι επίσης τεκτονική, δηλαδή μια μυλωνιτική ζώνη διάτμησης στην οποία εντοπίστηκε κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ (Σχ. 6.2α2).



Σχήμα 6.1: Πετρώματα που εντοπίστηκαν κατά μήκος της τομής Α – Α΄, α) βιοτιτικοί γνεύσιοι με λευκοσώματα, β) γρανιτικά σώματα τύπου Αρναία συμπτυχωμένα με τον βιοτιτικό γνεύσιο, γ) διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι, δ) ταινιωτοί– αμφιβολιτικοί γνεύσιοι, μιγματίτες.



Σχήμα 6.2: Γεωλογικές τομές A - A' και B - B'. Οι θέσεις των τομών φαίνεται στο σχήμα 6.3.



Σχήμα 6.3: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης όπου φαίνονται οι θέσεις των τομών Α-Α΄ έως και Ζ-Ζ΄, τροποποιημένος από τους Kockel et al. (1977).

6.1.2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ B - B'

Η τομή B – B'(Σχ. 6.2) σε διεύθυνση σχεδόν A – Δ έχει μήκος περί τα 6km και διαγράφει τον ορεινό όγκο ανατολικά του χωριού Σοχός και βόρεια του χωριού Μαυρούδα (Σχ. 6.3). Η φύλλωση των πετρωμάτων στην περιοχή κλίνει σχετικά σταθερά προς τα NΔ και σε λίγες θέσεις κλίνει προς τα $\Delta - \Delta B\Delta$, με ενδιάμεσες γωνίες κλίσης και μικρή διακύμανση.

Στο δυτικό τμήμα της τομής B – B΄ εντοπίζονται διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι, οι οποίοι φαίνεται να βρίσκονται στο εσωτερικό ενός σφιχτού σύμμορφου με βύθιση προς τα ΝΔ. Μέσα στους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους παρατηρούνται με τη μορφή μικρών τεκτονικών φακόμορφων σωμάτων (tectonic slivers) λεπτές εμφανίσεις μαρμάρων και μεταψαμμιτών-χαλαζιτών της Ενότητας Νέας Μάδυτου (Σχ. 6.2).

Ανατολικότερα, οι υποκείμενοι βιοτιτικοί γνεύσιοι, κατά θέσεις μεταπίπτουν σε βιοτιτικούς χαλαζιοαστριούχους γνευσίους και σε συνέχεια, ανατολικότερα, εναλλάσσονται με τους ταινιωτούς αμφιβολιτικούς γνευσίους, οι οποίοι κατά θέσεις λόγω μιγματιτίωσης-ανάτηξης, εμφανίζονται ως μιγματιτικοί ταινιωτοί αμφιβολίτες (Σχ. 6.4α&β). Η επανάληψη των λιθολογιών, πέρα από πιθανά στρωματογραφικά αίτια, προκύπτει και από την ισοκλινή πτύχωση που αναγνωρίζεται χαρτογραφικά να έχουν υποστεί οι εν λόγω λιθολογικοί τύποι.

Επίσης, στα ανατολικά της τομής, μέσα στους βιοτιτικούς γνευσίους εντοπίζονται γρανιτικά σώματα με χαρακτηριστική την παρουσία της κεροστίλβης στην ορυκτολογική τους σύσταση, γεγονός που τα συνδέει με το γρανίτη τύπου Μαυρούδας (Σχ. 6.4γ), αλλά, το κύριο είναι ότι μέσα σ' αυτούς υπάρχουν λευκοσώματα και οφθαλμογνεύσιοι (Σχ. 6.4δ). Οι οφθαλμογνεύσιοι αυξάνονται σε παρουσία προς τα ανατολικά δηλαδή προς την επαφή των βιοτιτικών γνευσίων με τους υποκείμενους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους. Στους οφθαλμογνεύσιους, το χαλαζιοαστριούχο υλικό σχηματίζει ταινίες με πορφυροβλάστες μερικών εκατοστών σχηματίζοντας χαρακτηριστικές δομές σ- και δ-κλαστών και δείχνοντας έντονη ισχυρή διάτμηση με κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ.

Τέλος, στους υποκείμενους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους αναγνωρίζονται λιθολογικές διαφοροποιήσεις προς μοσχοβιτικούς γνευσίους.

80



Σχήμα 6.4: Πετρώματα που εντοπίστηκαν κατά μήκος της τομής Β – Β΄, α και β) μιγματιτικοί ταινιωτοί - αμφιβολιτικοί γνεύσιοι, γ) κεροστιλβικός γρανίτης τύπου Μαυρούδας και δ) βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι – οφθαλμογνεύσιοι.

6.1.3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ Γ – Γ'

Η γεωλογική τομή Γ – Γ΄ (Σχ. 6.6) με BA – ΝΔ διεύθυνση και μήκος περί τα 7km αποτελεί, στην πραγματικότητα, προέκταση της τομής B – Β΄ προς τα BA και περιγράφει τον κεντρικό ορεινό όγκο ανάμεσα στα χωριά Μαυρούδα και Θερμά (Σχ. 6.3). Στην περιοχή αυτή, τα πετρώματα που είναι παρόμοια μ΄ αυτά της προηγούμενης τομής B-Β΄ κλίνουν σταθερά προς τα ΝΔ. Ωστόσο, στην τομή αυτή εμφανίζονται υπερμαφικά πετρώματα, τα οποία εντάσσονται στο Σύμπλεγμα Θερμών-Βόλβης-Γοματίου, όπως προτάθηκε από τους Dixon and Dimitriadis (1984).

Ειδικότερα, από τα ΝΔ προς τα ΒΑ, εντοπίζονται οι βιοτιτικοί γνεύσιοι εντός των οποίων εντοπίζονται λευκοσώματα (Σχ. 6.5α), ενώ στη συνέχεια αυτών και με τεκτονική επαφή βρίσκονται υποκείμενοι οι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι. Τα πετρώματα εμφανίζονται συμπτυχωμένα διαμορφώνοντας στην περιοχή μια ασύμμετρη σύμμορφη πτυχή με την αξονική επιφάνειά της να κλίνει προς τα ΝΔ, όπου οι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι εντοπίζονται στο εσωτερικό της. Ομοίως, η επαφή μεταξύ των

διμαρμαρυγιακών και των βιοτιτικών γνευσίων εμφανίζεται ως μια μυλωνιτική ζώνη εντός της οποίας τα πετρώματα γίνονται οφθαλμογνεύσιοι (Σχ. 6.5γ) και χαρακτηρίζονται από έντονη και ισχυρή διάτμηση με κίνηση του υπερκείμενου τεμάχους προς τα ΝΔ (Σχ. 6.6γ1). Οι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι, γενικά όπως περιεγράφηκαν και ανωτέρω, εμφανίζονται μονότονοι (Σχ. 6.5δ), και μεταβαίνουν σε μοσχοβιτικούς σχιστογνεύσιους, και διμαρμαρυγιακούς γρανατούχους γνευσίους.

Στη συνέχεια της τομής προς τα BA, εντοπίζονται συνεχόμενες εναλλαγέςεπαναλήψεις, λόγω ισοκλινών σύμμορφων και αντίμορφων πτυχών, βιοτιτικών γνευσίων με τους ταινιωτούς αμφιβολιτικούς γνευσίους και μιγματίτες, με τα πετρώματα αυτά να βρίσκονται σε κανονική επαφή μεταξύ τους (Σχ. 6.5ε). Εντός των βιοτιτικών γνευσίων, στο BA τμήμα της τομής, κοντά στην επαφή με τους ταινιωτούς – αμφιβολιτικούς γνευσίους εμφανίζονται ορίζοντες πλούσιοι σε γρανάτες.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι βιοτιτικοί γνεύσιοι, αλλά και οι ταινιωτοί αμφιβολιτικοί γνεύσιοι, σε όλη την έκτασή τους χαρακτηρίζονται από ανάτηξη και μιγματιτίωση, με διαχωρισμό των σαλικών και φεμικών ορυκτών σε ταινίες-λωρίδες, σχηματίζοντας ταινιωτούς γνευσίους (Σχ. 6.5β). Σταθερά, μεταξύ των βιοτιτικών γνευσίων και των διμαρμαρυγιακών γνευσίων παρατηρείται έντονη διάτμηση με παρουσία οφθαλμογνεύσιων (Σχ. 6.5γ), στους οποίους παρατηρούνται σ- και δκλάστες, αλλά και S-C υφές με γράμμωση επιμήκυνσης σε BA – NΔ έως BBA – NNΔ διεύθυνση καταγράφοντας μία κίνηση προς τα NΔ.

Τέλος, οι ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι προς τα ΒΑ βρίσκονται σε επαφή με σερπεντινιωμένους περιδοτίτες του συμπλέγματος Θερμών – Βόλβης – Γοματίου μέσω μιας ζώνης διάτμησης με κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο τμήμα της επαφής αυτής στην περιοχή, επηρεάζεται από μια κανονική ζώνη ρήγματος μεγάλης γωνίας κλίσης, η οποία κλίνει προς δυτικά (Σχ. 6.6γ2).

82



Σχήμα 6.5: Πετρώματα που εντοπίστηκαν κατά μήκος της τομής Γ – Γ΄, α) βιοτιτικοί γνεύσιοι με λευκοσώματα, β) ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι, μιγματίτες, γ) βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι οφθαλμογνεύσιοι, δ) διμαρμαρυγιακός γνεύσιος, ε) όριο μεταξύ των βιοτιτικών και αμφιβολιτικών - κεροστιλβικών γνευσίων στο ανατολικό τμήμα της τομής.

6.1.4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ $\Delta - \Delta'$

Η τομή Δ – Δ΄ με μήκος περίπου 7,5km και ΒΔ – ΝΑ διεύθυνση περιγράφει την περιοχή μεταξύ του ορεινού όγκου Βερτίσκου και Κερδύλιον Όρους (Σχ. 6.3). Στο ΒΔ τμήμα της τομής (Σχ. 6.6), τα πετρώματα είναι αντίστοιχα με τα πετρώματα τα οποία ήδη έχουν περιγράφει στην τομή $\Gamma - \Gamma'$, όπως είναι οι βιοτιτικοί γνεύσιοι, οι ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι και οι μιγματίτες. Στην τομή $\Delta - \Delta'$, τα πετρώματα αυτά έρχονται σε επαφή με τα υπερμαφκά πετρώματα του συμπλέγματος Θερμά – Βόλβη – Γομάτι μέσω κανονικού ρήγματος το οποίο κλίνει με μεγάλη γωνία προς τα δυτικά (Σχ. 6.6δ1) και αποκρύπτει εντελώς την επαφή αυτή. Τα υπερμαφικά αυτά πετρώματα προς τα ανατολικά βρίσκονται τεκτονικά τοποθετημένα με ανάστροφα ρήγματα (Σχ. 6.6δ2&6.7α) πάνω σε πράσινους επιδοτικούς ακτινολιθικούς σχιστολίθους (6.7β) οι οποίοι με την σειρά τους είναι επίσης με ανάστροφα ρήγματα Τοποθετημένοι πάνω στους μεταγάββρους – μαζώδεις αμφιβολίτες, αποτέλεσμα μιας ΒΔ – ΝΑ συμπίεσης.

Προς τα ΝΑ, οι μεταγάββροι – μαζώδεις αμφιβολίτες (6.7γ) εντοπίζονται να υπέρκεινται τεκτονικά γνευσίων, οι οποίοι προγενέστερα είχαν χαρτογραφηθεί ως διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι της Ενότητας Βερτίσκου (Kockel et al., 1977). Αντίθετα, με βάση τις υπαίθριες παρατηρήσεις μας η γεωλογική αυτή μονάδα είναι ένας βιοτιτικός γνεύσιος, ο οποίος χαρακτηρίζεται από εκτεταμένη διάτμηση, όπως προκύπτει από τις συχνές και αλλεπάλληλες ζώνες διάτμησης ποικίλου πάχους που είναι παράλληλες προς την κύρια φύλλωση, με ενδιάμεσες γωνίες κλίσης προς τα Δ – ΝΔ και στις οποίες το πέτρωμα έχει υποστεί διαφθόριση (Becke, 1909). Ως αποτέλεσμα, ο βιοτιτικός γνεύσιος έχει μετατραπεί σε διαφθορίτη-φυλλωνίτη, ο οποίος αποχρωματίζεται και διαβρώνεται πολύ εύκολα (6.7δ). Η επαφή μεταξύ των βιοτιτικών γνευσίων και των μεταγάββρων – μαζωδών αμφιβολιτών, παρότι εμφανίζεται σε λίγες μόνο θέσεις λόγω και της έντονης διάβρωσης, προσδιορίζεται ως μία ζώνη διάτμησης με κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ (Σχ. 6.6δ3).

Ακόμα, οι βιοτιτικοί γνεύσιοι είναι πτυχωμένοι από ήπιες έως ανοικτές πτυχές, έτσι προς τα ανατολικότερα ένα τεκτονικό ράκος από τους μεταγάββρους – μαζώδεις αμφιβολίτες εντοπίζεται πάνω στους βιοτιτικούς γνευσίους (6.7ε) με πολύ μικρή έως υπό-οριζόντια γωνία υποδηλώνοντας ότι οι γωνίες κλίσεις των πετρωμάτων ποικίλουν καθώς ανήκουν σε διαφορετικά τμήματα ενός αντίμορφου του οποίου το κορυφαίο τμήμα πρέπει να εντοπίζεται ανατολικότερα.

Τέλος, οι βιοτιτικοί γνεύσιοι βρίσκονται υπερκείμενοι λευκόγκριζων μαρμάρων προς την επαφή των οποίων παρατηρούνται πολλαπλές εναλλαγές των δύο πετρωμάτων με επικράτηση τελικά των τελευταίων.

84



Σχήμα 6.6: Γεωλογικές τομές $\Gamma - \Gamma'$ και $\Delta - \Delta'$. Οι θέσεις των τομών φαίνεται στο σχήμα 6.3.



Σχήμα 6.7: Εντοπίστηκαν κατά μήκος της τομής Δ – Δ΄, α) ανάστροφο ρήγμα σε μεταμαφικά πετρώματα, β) επιδοτικοί – ακτινολιθικοί σχιστόλιθοι, γ) μεταγάββροι – μαζώδεις αμφιβολίτες πλησίον της επαφής με τους βιοτιτικούς γνευσίους, δ) ζώνη διάτμησης σε βιοτιτικούς γνευσίους, παράλληλα στην κύρια φύλλωση όπου προσδιορίστηκε κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ μετατρέποντας το πέτρωμα σε διαφθορίτη-φυλλωνίτη. ε) ράκος μεταγάββρων – μαζωδών αμφιβολιτών που εντοπίζεται πάνω στους βιοτιτικούς γνευσίους, ζ) ζώνη διάτμησης σε βιοτιτικούς ότου προσδιορίστηκε κίνηση του υπερκείμενου προς του βιοτιτικούς γνευσίους.

6.1.5. $\Gamma E \Omega \Lambda O \Gamma I K H T O M H E - E'$

Η τομή Ε – Ε'(Σχ. 6.9), μήκους περί τα 6,5km έχει ΒΑ – ΝΔ διεύθυνση και βρίσκεται στο Κερδύλιον Όρος, βόρεια του χωριού Στεφανινά (Σχ. 6.3). Η φύλλωση των πετρωμάτων στην περιοχή κλίνει προς τα ΝΔ με μέσες έως μεγάλες γωνίες κλίσης.

Στο ΝΔ τμήμα της τομής Ε – Ε΄, όπως έχει ήδη περιγραφεί στην τομή Δ-Δ΄, μεταγάββροι – μαζώδεις αμφιβολίτες (Σχ. 6.8α) υπέρκεινται των βιοτιτικών γνευσίων μέσω τεκτονικής επαφής (Σχ. 6.8β). Η επαφή μεταξύ των πετρωμάτων αλλά και οι βιοτιτικοί γνεύσιοι εμφανίζονται με ενδιάμεσες έως μεγάλες γωνίες κλίσης προς τα ΝΔ, με μικρές μεταξύ τους διαφοροποιήσεις στη γωνία κλίσης.

Οι βιοτιτικοί γνεύσιοι, ομοίως με την τομή $\Delta - \Delta'$, εμφανίζουν διάτμηση με κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ (Σχ. 6.9ε1) και ανατολικότερα με κανονική επαφή υπέρκεινται των μαρμάρων. Επιπλέον, στο τμήμα αυτό εντός των βιοτιτικών γνευσίων παρατηρήθηκαν και ενδιαστρώσεις από ασβεστοπυριτικούς ορίζοντες και μάρμαρα, το πάχος των οποίων, ποικίλει από λίγα εκατοστά έως και λίγα μέτρα (Σχ. 6.8γ&δ), ενώ σε θέσεις λίγο νοτιότερα της τομής εντοπίστηκαν σε εναλλαγές και λεπτοί ορίζοντες αμφιβολιτικών γνευσίων. Οι ασβεστοπυριτικοί ορίζοντες και τα μάρμαρα πυκνώνουν προς τον ορίζοντα των μαρμάρων δείχνοντας ότι η επαφή μεταξύ των βιοτιτικών γνευσίων και των μαρμάρων είναι μια κανονική – μεταβατική επαφή.

Και στα δύο πετρώματα εντοπίζεται να διεισδύουν όξινα γρανιτικά σώματα του γρανίτη Ορέσκειας, τα οποία εμφανίζονται ελαφρά φυλλωμένα, ενώ η επαφή διείσδυσης φαίνεται να κόβει τα περιβάλλοντα πετρώματα παρότι τείνουν να παραλληλίζονται, όπως φαίνεται στο κέντρο της τομής.

Υποκείμενα των μαρμάρων, στο κέντρο της τομής, εντοπίζονται σημαντικού πάχους μονότονοι βιοτιτικοί γνεύσιοι, εντός των οποίων και κατά θέσεις, εντοπίστηκαν λεπτοί ορίζοντες μαρμάρων με τη μορφή ενδιαστρώσεων, ενώ στο BA τέλος της τομής ακόμη μια διείσδυση του γρανίτη τύπου Ορέσκειας, διεισδύει εντός των βιοτιτικών γνευσίων.

87



Σχήμα 6.8: Πετρώματα που εντοπίστηκαν κατά μήκος της τομής Ε – Ε΄, α) μεταγάββροι – μαζώδεις αμφιβολίτες, β) βιοτιτικοί γνεύσιοι (διαφθορίτες-φυλλωνίτες), γ και δ) ενστρώσεις μαρμάρων μέσα σε βιοτιτικούς γνευσίους, ε) βιοτιτικοί γνεύσιοι με ασβεστοπυριτικές ενστρώσεις, ζ) γρανιτικά σώματα Ορέσκειας.



Σχήμα 6.9: Γεωλογικές τομές E - E' και Z - Z'. Οι θέσεις των τομών φαίνεται στο σχήμα 6.3.

6.1.6. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ Z - Z'

Η τομή Z – Z'(Σχ. 6.9), με μήκος περίπου 6,5km έχει BA – NΔ διεύθυνση και περιγράφει τον ορεινό όγκο Κερδύλιον δυτικά του χωριού Νέα Κερδύλια και βόρεια του οικισμού Λογκάρι (Σχ. 6.3). Στην τομή αυτή, η φύλλωση των πετρωμάτων κλίνει σε αντίθεση με τις προηγούμενες τομές προς τα BA με μέσες κυρίως γωνίες κλίσεις υποδηλώνοντας έτσι ότι το Κερδύλιον Όρος αποτελεί ένα μεγάλο, ανοικτό αντίμορφο.

Στο αρχικό, ΝΔ τμήμα, της τομής εμφανίζονται τα μάρμαρα (Σχ. 6.10α) να υπόκεινται των βιοτιτικών γνευσίων, οι οποίοι εμφανίζονται σχεδόν στο σύνολο της υπόλοιπης τομής. Οι γνεύσιοι αυτοί είναι χαρακτηριστικά μονότονοι και εναλλάσσονται με μικρούς ορίζοντες ή/και φακούς μαρμάρων, και οι οποίοι κατά θέσεις φαίνεται να συνδέονται μεταξύ τους με ισοκλινείς πτυχές δείχνοντας έτσι την έντονη παραμόρφωση που έχουν υποστεί τα πετρώματα αυτά (Σχ. 6.10ε). Ακόμα, εντός των βιοτιτικών γνευσίων, καταγράφονται μικρές ενδιαστρώσεις λευκοσωμάτων και μιγματιτών, ενώ κυρίως προς το ανατολικό τμήμα της τομής, εντοπίζονται διεισδύσεις, μικρής έκτασης, γρανιτικών σωμάτων τύπου Ορέσκειας (Σχ. 6.10β), με τα σώματα αυτά να κόβουν την κύρια φύλλωση των βιοτιτικών γνευσίων.

Στο κεντρικό τμήμα της τομής, οι βιοτιτικών γνεύσιοι μεταπίπτουν σε ταινιωτούς μιγματίτες και μιγματιτικούς γνευσίους - ανατηξίτες, εντός των οποίων αναπτύσσονται μεγάλα λευκοσώματα (Σχ. 6.10γ), προσδιορίζοντας συνολικά μια έντονη μιγματιτίωση-ανάτηξη.



Σχήμα 6.10: Πετρώματα που εντοπίστηκαν κατά μήκος της τομής Ε – Ε΄, α) μάρμαρα στο δυτικό τμήμα της τομής, β) γρανίτης τύπου Ορέσκειας, γ) ανατηξίτες με μεγάλου πάχους λευκοσώματα, δ) μάρμαρα στρωμένα μέσα στους βιοτιτικούς γνευσίους, ε) εναλλαγές μαρμάρων με βιοτιτικό γνεύσιο λόγο ισοκλινών πτυχώσεων.

6.2. ΕΠΑΦΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

Επαφή βιοτιτικών γνευσίων και ταινιωτών - αμφιβολιτικών γνευσίων

Οι βιοτιτικοί γνεύσιοι στο σύνολο της περιοχής έρευνας καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση και βρίσκονται, ιδιαίτερα κατά θέσεις, σε συχνή εναλλαγή με τους ταινιωτούς

αμφιβολιτικούς γνευσίους. Στην επαφή των βιοτιτικών γνευσίων με τους ταινιωτούς αμφιβολιτιτούς γνευσίους παρατηρείται συχνά μια μεταβολή των σχηματισμών σε βιοτιτικούς – κεροστιλβικούς γνευσίους και κεροστιλβικούς – βιοτιτικούς γνευσίους αποτυπώνοντας μια βαθμιαία μεταβολή από τον ένα σχηματισμό προς τον άλλον και υποδηλώντας την επαφή ως κανονική, ενώ επιπλέον κατά το ύπαιθρο, δεν εντοπίστηκαν τεκτονικά στοιχεία και παραμορφώσεις που να μπορούν να χαρακτηρίσουν την επαφή ως τεκτονική.

Επαφή βιοτιτικών γνευσίων και μαρμάρων

Η επαφή των βιοτιτικών γνευσίων με τα μάρμαρα εντοπίστηκε σε διάφορες θέσεις δυτικά και βόρεια του χωριού Στεφανινά. Η επαφή χαρακτηρίζεται από παρενστρώσεις μαρμάρων και βιοτιτικών γνευσίων που πυκνώνουν προς αυτήν, ενώ κατά θέσεις εντοπίζονται λεπτές αμφιβολιτικές και ασβεστοπυριτικές ενστρώσεις. Κατά μήκος της επαφής αυτής σε λίγες μόνο θέσεις εντοπίστηκαν εικόνες διάτμησης, οι οποίες έδειχναν κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ. Η επαφή χαρακτηρίζεται ως μία κανονική επαφή καθώς εμφανίζεται ως μια μεταβατική ζώνη από τους βιοτιτικούς γνευσίους προς τα μάρμαρα.

<u>Επαφή διμαρμαρυγιακών γνευσίων με βιοτιτικούς και ταινιωτούς –</u> <u>αμφιβολιτικούς γνευσίους</u>

Μέσα από τις τομές που κατασκευάστηκαν και από τη γεωμετρία η οποία αποτυπώνεται για την περιοχή έρευνας οι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι εντοπίζονται να βρίσκονται μέσα σε σύμμορφα και να έρχονται σε επαφή τόσο με τους βιοτιτικούς γνευσίους όσο και με τους ταινιωτούς – αμφιβολιτικούς γνευσίους. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει μια γεωμετρική ασυμφωνία καθιστώντας την επαφή ως μία μη κανονική επαφή, αφού η βάση των διμαρμαρυγιακών γνευσίων εντοπίζεται να υπέρκειται δύο διαφορετικών πετρωμάτων. Και στις δύο περιπτώσεις πλησιάζοντας προς την επαφή των διμαρμαρυγιακών γνευσίων εντοπίζονται ζώνες οφθαλμοειδών γνευσίων, στους οποίους καταγράφεται διάτμηση με χαρακτηριστικές εικόνες από σ- και δ- κλάστες, αλλά και S-C υφές. Οι εικόνες αυτές καταγράφονται σε διάφορες ζώνες, κυρίως εντός των βιοτιτικών γνευσίων, αλλά εμφανίζονται πιο έντονες πλησιάζοντας προς την επαφή είτε των βιοτιτικών γνευσίων, είτε των ταινιωτών αμφιβολιτικών γνευσίων με τους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους, χαρακτηρίζοντας την επαφή ως μια ζώνη διάτμησης. Στις διατμητικές αυτές ζώνες έχει ισχυρά αποτυπωθεί μια γράμμωση έκτασης, BA – NΔ έως BBA – NNΔ διεύθυνσης και με κίνηση του υπερκείμενου προς τα NΔ έως τα NNΔ, ενώ σε λίγες θέσεις και προς τα BA.

Επαφές υπερμαφικών πετρωμάτων

Τα υπερμαφικά πετρώματα εντοπίζονται στο χώρο μεταξύ των χωριών Θερμά και Σκεπαστό, με μεγάλο τμήμα του ορίου τους, προς τα βόρεια και ανατολικά, να καλύπτεται από μετα-αλπικά ιζήματα. Τα υπερμαφικά πετρώματα προς τα δυτικά βρίσκονται σε επαφή με τους βιοτιτικούς γνευσίους, αλλά και με τους ταινιωτούς – αμφιβολιτικούς γνευσίους, δείχνοντας μια γεωμετρική ασυμφωνία με τα πετρώματα αυτά. Η επαφή, βρέθηκε σε λίγες θέσεις να είναι μια τεκτονική επαφή με διάτμηση προς τα ΝΔ, γιατί στο μεγαλύτερό της τμήμα αποκρύπτεται από την ύπαρξη μιας μεταγενέστερης κανονικής ρηξιγενούς ζώνης, πολύ μεγάλης γωνίας.

Στα ανατολικά, νοτιοανατολικά, βρίσκονται σε επαφή με τους μεταγάββρους– μαζώδεις αμφιβολίτες, ενώ ανάμεσά τους παρεμβάλλονται επιδοτιτικοί ακτινολιθικοί σχιστόλιθοι. Οι επαφές αυτών χαρακτηρίζονται ως εφφιπεύσεις μέσης έως μικρής σχετικά γωνίας κλίσης που συνιστούν μια λεπιωμένη ζώνη, η οποία εμφανίζεται έντονα σχιστοποιημένη - μυλωνιτιομένη και με κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ (Σχ.6.6,δ2).

Επαφή Ενότητας Νέας Μάδυτου

Όπως έχει ήδη περιγραφεί τα πετρώματα της Ενότητας Νέας Μάδυτου στην περιοχή έρευνας έχουν πολύ περιορισμένη έκταση και σε συνδυασμό με την έντονη φυτοκάλυψη που υπάρχει καθίσταται πολύ δύσκολη η παρατήρησή τους και ιδιαίτερα οι επαφές τους. Παρόλα αυτά, στις λιγοστές θέσεις όπου η παρατήρηση ήταν δυνατή, τα πετρώματα της Ενότητας Νέας Μάδυτου βρίσκονται σε επαφή με τους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους της Ενότητας Βερτίσκου μέσω τεκτονικής επαφής και εντοπίζονται μέσα στα σύμμορφα που σχηματίζονται στην περιοχή με τη μορφή τεκτονικών φακόμορφων σωμάτων.

Επαφή γρανίτη τύπου Αρναίας

Τα γρανιτικά σώματα τύπου Αρναίας βρίσκονται στο δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας και σε επαφή τόσο με τους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους, όσο και με τους βιοτιτικούς γνευσίους, αλλά και κατά μήκος της επαφής των δύο αυτών πετρωμάτων. Η επαφή του γρανίτη τύπου Αρναία εμφανίζεται ως μια επανεπεξεργασμένη τεκτονικά επαφή διείσδυσης, με χαρακτηριστικά μιας ζώνης διάτμησης και μυλωνιτίωσης, η οποία συμπτυχώθηκε μαζί με τα περιβάλλοντα πετρώματα.

6.3. ΤΕΚΤΟΝΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΗΚΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ

Σύμφωνα με τις περιγραφές των πετρωμάτων και των γεωλογικών τομών που προηγήθηκαν για την περιοχή του Όρους Βερτίσκου και Κερδύλιον Όρος συμπεραίνουμε ότι οι βιοτιτικοί γνεύσιοι, οι ταινιωτοί – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι και τα μάρμαρα βρίσκονται σε συχνές εναλλαγές μεταξύ τους. Ειδικότερα οι βιοτιτικοί γνεύσιοι με τα μάρμαρα εντοπίστηκαν να εναλλάσσονται συχνά μεταξύ τους με μεταβατικό πέρασμα υποδηλώνοντας μια κανονική μεταξύ τους επαφή. Τα πετρώματα αυτά, σύμφωνα και με τις περιγραφές των Kockel et al. (1977) ταιριάζουν με τα πετρώματα της Ενότητας Κερδυλλίων τα οποία και χαρακτηρίζονται από εκτεταμένη μιγματιτίωση και ανάτηξη όπως αυτή αποτυπώνεται από τα λευκοσώματα και τους μιγματίτες που προσδιορίστηκαν στα πετρώματα στην περιοχή έρευνας, αντίστοιχα με πετρώματα τα οποία περιγράφονται για την Ενότητα Αμμουλιανής (Plougarlis and Tranos, 2014; Neofotistos et al., 2020). Ωστόσο, στην παρούσα περιοχή, λόγω των μη συνεχόμενων εμφανίσεων των λευκοσωμάτων και των μιγματιτών κατά μήκος της επαφής των δύο ενοτήτων, τα πετρώματα αυτά ενσωματώνονται στην Ενότητα Κερδυλλίων αντί της Ενότητας Αμμουλιανή.

Αντίστοιχα, οι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι μαζί με τους μοσχοβιτικούς γνευσίους και τους γρανατούχους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους κατέχουν μικρότερες περιοχές υπερκείμενες τεκτονικά από τα πετρώματα της Ενότητας Κερδυλλίων, με τα οποία μετέπειτα συμπτυχώθηκαν. Τα πετρώματα αυτά είναι αντίστοιχα με τα πετρώματα τα οποία περιγράφηκαν από τους Kockel et al. (1977) για την Ενότητα Βερτίσκου.

Η επαφή μεταξύ των δύο ενοτήτων είναι μια τεκτονική επαφή καθότι οι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι εντοπίζονται να βρίσκονται μέσα σε σύμμορφα και να έρχονται σε επαφή με διαφορετικά πετρώματα της Ενότητας Κερδυλλίων. Η επαφή εντοπίζεται να κλίνει προς τα ΝΔ ενώ εντοπίστηκε κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ όπως χαρακτηριστικά προσδιορίζεται και από τα S-C fabric και σ- and δ-κλάστες που καταγράφονται στην περιοχή. Η περιγραφή αυτή ταιριάζει με τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών όπου η επαφή αυτή περιγράφεται ως τεκτονική επαφή (Sakellariou, 1989; Sakellariou and Durr 1993; Burg, 1995, 1996; Plougarlis and Tranos, 2014; Neofotistos et. Al., 2020).



 Σχήμα 6.11: Απλοποιημένη συνθετική τομή διεύθυνσης Α – Δ στην περιοχή μελέτης, όπου παρουσιάζονται η σχέση των Ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων και του συμπλέγματος Θερμά – Βόλβη – Γομάτι (Θ-Β-Γ). Επεξήγιση συμβόλων: ΕΒ = Ενότητα Βερτίσκου, ΕΚ = Ενότητα Κερδυλλίων, ΣΘΒΓ = Σύμπλεγμα Θερμά – Βόλβη – Γομάτι. Τεκτονικές επαφές εμφανίζονται με παχιές συνεχείς γραμμές.

Συμπερασματικά διαπιστώνουμε ότι δεν μπορεί να αποτελεί η οροφή του ορίζοντα μαρμάρου το διακριτικό όριο μεταξύ των δύο ενοτήτων, όπως θεωρούταν από τους Kockel et al. (1977), καθότι οι βιοτιτικοί γνεύσιοι της Ενότητας Κερδυλλίων εντοπίζονται και δυτικότερα των μαρμάρων. Αντίθετα, διακριτικό χαρακτηριστικό μεταξύ των δύο ενοτήτων, θα πρέπει να αποτελεί η εκτεταμένη ανάτηξη και μιγματιτίωση η οποία εντοπίζεται στα πετρώματα της Ενότητας Κερδυλλίων και στην επαφή τους, αλλά απουσιάζει από τα πετρώματα της Ενότητας Βερτίσκου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η τεκτονική ανάλυση μιας περιοχής έχει ως σκοπό την κατανόηση και ερμηνεία της παραμόρφωσης που έχει υποστεί η περιοχή έρευνας στη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου. Γίνεται αντιληπτό ότι σε μεταμορφικά πεδία που έχουν μακρόχρονη γεωλογική ιστορία, η ανάλυση, αλλά κυρίως η κατανόηση και ερμηνεία της παραμόρφωσης είναι δυσκολότερη και τις περισσότερες φορές απλά ερμηνευτική.

Στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής, κατά τις εργασίες υπαίθρου που πραγματοποιήθηκαν ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στη λεπτομερή καταγραφή των δομικών και τεκτονικών στοιχείων των γεωλογικών μονάδων στην περιοχή έρευνας με κύριο δομικό στοιχείο τη μεταμορφική φύλλωση. Η καταγραφή της φύλλωσης συμπληρώθηκε σε αρκετές θέσεις με δειγματοληψία έτσι ώστε να γίνει εφικτή η μικροσκοπική παρατήρησή της. Επιπρόσθετα, καταγράφηκαν τεκτονικές δομές, όπως είναι οι πτυχές, οι γραμμώσεις, οι διατμητικές ζώνες μαζί με τους κινηματικούς τους δείκτες (π.χ. S-C υφές, σ- και δ- κλάστες, κλπ.).

7.1. ΦΥΛΛΩΣΗ

Η συστηματική καταγραφή των διαφορετικών τύπων ή ειδών φύλλωσης πραγματοποιήθηκε μέσω ενός πολύ μεγάλου αριθμού μετρήσεων (830 μετρήσεων φύλλωσης) που κάλυψε το σύνολο των πετρωμάτων και το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης της περιοχής έρευνας.

Με βάση τις υπαίθριες παρατηρήσεις και σε συνδυασμό με τον προσανατολισμό τους προσδιορίστηκαν περισσότερες από μία διαφορετικές φυλλώσεις, οι οποίες ταυτοποιήθηκαν ως S0-S1, S2, S3, S4, S5 και S6 από τις παλαιότερες προς τις νεότερες. Ωστόσο, δεν αναγνωρίζονται όλες σε όλα τα πετρώματα. Μόνο στις Ενότητες Κερδυλλίων και Βερτίσκου γίνεται δυνατό να αναγνωριστούν όλες οι φυλλώσεις και μάλιστα οι παλαιότερες εμφανίζονται ως υπολειμματικές και με αρκετή αβεβαιότητα ως προς την ύπαρξή τους. Σ' άλλα πετρώματα αναγνωρίζεται μόνο μία που είναι και η κύρια φύλλωση, όπως στα πετρώματα της Ενότητας Νέας Μάδυτου και στα γρανιτικά σώματα της περιοχής μελέτης. Επίσης, σε ορισμένες θέσεις, στα κορυφαία ή/και πυθμαία τμήματα πτυχών, αναγνωρίζονται δύο διαφορετικές φυλλώσεις με τη νεότερη να είναι παράλληλη προς την αξονική επιφάνεια των πτυχών αυτών. Σε άλλες θέσεις καταγράφεται μια φύλλωση η οποία αποκτά χαρακτηριστικά μυλωνιτικής φύλλωσης λόγω μιας εκτεταμένης διάτμησης που αναγνωρίζεται σε αυτές. Οι πιο πρόσφατες φυλλώσεις δεν αποτυπώνονται στα πετρώματα με την ίδια ένταση και προσδιορίζουν χαμηλότερες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας δείχνοντας μια ανάδρομη πορεία μεταμόρφωσης.

7.2. ΠΤΥΧΩΣΗ

Στην περιοχή έρευνας ο εντοπισμός πτυχών, εξαιτίας της έντονης φυτοκάλυψης της περιοχής ήταν ιδιαίτερα δυσχερής, με αποτέλεσμα να καταγραφεί ένας μικρός μόνο αριθμός πτυχών, οι οποίες, ωστόσο, διακρίθηκαν σε πέντε φάσεις πτύχωσης. Όπως γίνεται αντιληπτό, οι περισσότερες φάσεις πτύχωσης είναι αποτυπωμένες στα πετρώματα των Ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων που καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης, ενώ στα υπόλοιπα πετρώματα μόνο ορισμένες φάσεις πτύχωσης αναγνωρίστηκαν σε μεσοκλίμακα ή και καθόλου, όπως στα όξινα σώματα της Ορέσκειας, Μαυρούδας και Φλαμουρίου, στα οποία δεν κατέστει δυνατόν κατά την υπαίθρια εργασία να αναγνωριστούν πτυχές μεσοκλίμακας.

Οι κύριες πτυχές που επηρεάζουν και διαμορφώνουν τη γεωλογική δομή της περιοχής σχηματίζουν αντίμορφα και σύμμορφα χαρτογραφικής κλίμακας, ενώ λίγες εντοπίζονται στη μεσοκλίμακα. Οι πτυχές αυτές εμφανίζονται ισοκλινείς έως πολύ σφιχτές, ενώ εμφανίζονται με μεγάλο εύρος κατανομής στον χώρο λόγω των μετέπειτα παραμορφώσεων που τις επηρέασαν.

Στην περιοχή βρέθηκαν και ισοκλινείς θηκόμορφες (sheath) πτυχές οι οποίες εντοπίζονται σε μεσοκλίμακα ενώ ακόμη παρατηρήθηκαν ενδοφυλλώδεις, ισοκλινείς και αποκομμένες (χωρίς ρίζα) πτυχές που ο προσανατολισμός τους έχει επηρεαστεί από τις νεότερες παραμορφωτικές φάσεις. Τέλος, στην περιοχή αναγνωρίστηκαν πτυχές, πολύ ασθενέστερες της κύριας πτύχωσης, με χαρακτηριστικά ανοικτών ή και kink πτυχών, ενώ σε πολύ λίγες περιπτώσεις εμφανίζονται και ως κλειστές.

7.3. ΓΡΑΜΜΩΣΗ

Κατά τις εργασίες υπαίθρου αναγνωρίστηκαν γραμμώσεις είτε από προσανατολισμό ινωδών ορυκτών όπως οι αμφίβολοι (ορυκτολογική γράμμωση) είτε από τη συγκέντρωση ή επιμήκυνση ορυκτών σε επιμήκη συσσωματώματα (γράμμωση τάνυσης ή έκτασης), η οποία είναι και η κύρια στην περιοχή.

98

Βρέθηκε μία ασθενική γράμμωση η οποία εμφανίζεται παράλληλη με τους άξονες των κύριων χαρτογραφικών πτυχών, αλλά και μια έντονη γράμμωση η οποία συνδέεται με την μυλωνιτική φύλλωση που καταγράφεται στην περιοχή.

Οι γραμμώσεις αυτές καταγράφηκαν στο σύνολο των πετρωμάτων της περιοχής πλην των όξινων σωμάτων Ορέσκειας, Φλαμουρίου και Μαυρούδας.

Στην περιοχή αναγνωρίζεται επίσης μια γράμμωση ρυτίδωσης (crenulation lineation), σαφώς ασθενέστερη της κύριας, η οποία προκύπτει από τη διατομή δύο φυλλώσεων και η οποία είναι παράλληλα προσανατολισμένη με τους άξονες των ασύμμετρων πτυχών. Ακόμη, στην περιοχή καταγράφεται μία ακόμη γράμμωση ρυτίδωσης κυρίως συνδεδεμένη με τις kink πτυχές, αλλά αυτή καταγράφεται σε λίγες θέσεις και εμφανίζεται υπό-παράλληλη της κύριας γράμμωσης που αναπτύσσεται στην περιοχή, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολος ο εντοπισμός της και η διάκρισή της.

7.4. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ - ΜΙΚΡΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Στην περιοχή έρευνας αναγνωρίστηκε μια έντονη διάτμηση, ιδιαίτερα στα πετρώματα των Ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων, με σχηματισμό μυλωνιτικών διατμητικών ζωνών με ασαφή όρια, που γίνονται ιδιαίτερα εμφανείς στους χαλαζιαστριούχους γνεύσιους-οφθαλογνεύσιους, οι οποίοι εντοπίζονται κυρίως κατά μήκος του ορίου των δύο ενοτήτων. Η μελέτη της κινηματικής των διατμητικών αυτών ζωνών βασίστηκε στους κινηματικούς δείκτες και στις υφές που παρατηρήθηκαν τόσο μεσοσκοπικά, όσο και σε μικροκλίμακα και σε τομές παράλληλες ως προς τη γράμμωση και κάθετες ως προς τη σχιστότητα. Άλλωστε, οι κινηματικοί δείκτες είναι χαρακτηριστικές τεκτονικές μικροδομές από τις οποίες προκύπτει η φορά κίνησης όπως έχει επιβεβαιωθεί και από την πειραματική τεκτονική (Ramsey & Huber, 1983 &1987; Simpson & Schmid, 1983; Lister & Snoke, 1984; Passchier & Simpson, 1986; White et al., 1986; Hammer & Passchier, 1991).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η επεξεργασία των δομικών και τεκτονικών στοιχείων που συλλέχθηκαν κατά την υπαίθρια εργασία στην περιοχή μελέτης επέτρεψε το διαχωρισμό έξι παραμορφωτικών γεγονότων (D1 – D6), τα οποία έχουν επηρεάσει τα πετρώματα της περιοχής και τα οποία περιγράφονται παρακάτω μαζί με τις κύριες παραμορφωτικές δομές που παρατηρούνται σ' αυτά.

8.1 D1 Παραμορφωτικό Γεγονός

Το D1 παραμορφωτικό γεγονός είναι το παλαιότερο τεκτονικό γεγονός που επηρέασε τα πετρώματα της περιοχής και εντοπίζεται μόνο υπολειμματικά και μέσω παραδοχών στους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους της Ενότητας Βερτίσκου και στους βιοτιτικούς γνευσίους της Ενότητας Κερδυλλίων. Το μόνο στοιχείο, το οποίο φαίνεται να υποδηλώνει το D1 γεγονός είναι ορισμένα πηγματοειδή σώματα, αποκομμένα μεταξύ τους, τα οποία εμφανίζονται πτυχωμένα με ενδοφυλλώδεις, ισοκλινείς και χωρίς ρίζα πτυχές (rootless folds), να διαπερνώνται από την κύρια φύλλωση που αναπτύσσεται στην περιοχή (Σχ. 8.1). Τα σώματα αυτά θεωρούνται ότι κατά το σχηματισμό τους προσδιόριζαν μια αρχική φύλλωση S0-S1, η οποία, λόγω εκτεταμένης αναδιάταξης (transposition), όπως η τελευταία προσδιορίζεται από τις παραπάνω πτυχές εκατοστομετρικής–δεκατομετρικής κλίμακας, προσανατολίστηκε παράλληλα προς την αξονική φύλλωση των ισοκλινών, χωρίς ρίζα πτυχών (F2), την οποία ονομάζουμε φύλλωση S2, και η οποία μαζί με τις F2 πτυχές προσδιορίζει το επόμενο D2 παραμορφωτικό γεγονός που περιγράφεται παρακάτω.

Η δυσχερής αναγνώριση του D1 γεγονότος, φαίνεται και από το γεγονός, ότι δεν μπορούν να εντοπιστούν συναφείς τεκτονικές δομές, π.χ. η γράμμωση L0 - L1, που να βοηθούν στον προσδιορισμό του.



Σχήμα 8.1: Πηγματοειδή σώματα στον ορεινό όγκο μεταξύ Νιγρίτας και Σκεπαστού, ισοκλινώς πτυχωμένα και αποκομμένα, τα οποία διατάσσονται παράλληλα στην S2 προσδιορίζοντας την ύπαρξη μιας προγενέστερης διάταξης (S0-S1 φύλλωσης) μέσα στους βιοτιτικούς γνευσίους της Ενότητας Κερδυλλίων.

8.2 D2 Παραμορφωτικό Γεγονός

Οι παραμορφωτικές δομές του D2 γεγονότος αποτελούν τις πρώτες τεκτονικές δομές που εντοπίζονται στην περιοχή με ασφάλεια. Αυτές είναι οι ενδοφυλλώδεις, ισοκλινείς χωρίς ρίζα πτυχές (F2) και μια φύλλωση αναδιάταξης (transposition) (S2) μέσα στα πετρώματα των Ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων αλλά και στα πετρώματα του Συμπλέγματος Θερμά – Βόλβη – Γομάτι. Η παραμόρφωση αυτή δεν εντοπίζεται στα πετρώματα της Ενότητας Νέας Μαδύτου, ούτε στα γρανιτικά σώματα τύπου Αρναίας, Φλαμουρίου, Μαυρούδας και Ορέσκειας.

Το D2 παραμορφωτικό γεγονός χαρακτηρίζεται από πλαστικές συνθήκες παραμόρφωσης και συνδέεται με την έντονη αναδιάταξη (transposition) και ισοκλινή πτύχωση της φύλλωσης S0-S1. Ενδοφυλλώδεις, ισοκλινείς χωρίς ρίζα πτυχές (F2) αναγνωρίστηκαν στο σύνολο των πετρωμάτων των Ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων και κυρίως σε θέσεις όπου πτυχώνουν χαλαζιακά και πηγματιτικά σώματα (Σχ. 8.3), όμως έχουν βρεθεί και στους μεταγάββρους – μαζώδεις αμφιβολίτες (Σχ. 8.3α). Αντίθετα δεν βρέθηκαν στα πετρώματα της Ενότητας Νέας Μάδυτου, μολονότι κάθε συμπέρασμα φαίνεται αβάσιμο λόγω και της μικρής έκτασης των πετρωμάτων, ενώ δεν εντοπίστηκαν ούτε και στα όξινα σώματα της περιοχής.

Μολονότι, οι μετρήσεις των αξόνων των F2 πτυχών είναι πολύ λίγες σε αριθμό, φαίνεται να είναι οριζόντιες έως υπο-οριζόντιες με ελαφρά βύθιση προς τα BΔ (Σχ. 8.2).



Σχήμα 8.2: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης των αξόνων των πτυχών F2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



Σχήμα 8.3: Εικόνες πτυχών F2, οι οποίες εντοπίζονται σε αποκομμένες χαλαζιακές φλέβες εντός των (α) μεταγάββρων - μαζωδών αμφιβολιτών (β) έως (δ) βιοτιτικών γνευσίων και ε & ζ) διμαρμαρυγιακών γνευσίων.

8.3 D3 Παραμορφωτικό Γεγονός

Η φύλλωση S2, ωστόσο, δεν είναι η κυρίαρχη στα πετρώματα της περιοχής λόγω του μεταγενέστερου παραμορφωτικού γεγονότος D3, το οποίο χαρακτηρίζεται από επίσης πλαστικές συνθήκες παραμόρφωσης. Το D3 γεγονός επηρεάζει όχι μόνο τα πετρώματα των Ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων, αλλά και τα πετρώματα του Συμπλέγματος Θερμών-Βόλβης-Γοματίου, καθώς και τα γρανιτικά σώματα τύπου Αρναίας, ενώ δεν αναγνωρίστηκαν D3 μεσοσκοπικές δομές στα γρανιτικά σώματα τύπου Ορέσκειας, Φλαμουρίου και Μαυρούδας.

Στο D3 γεγονός περιλαμβάνονται μια πολύ ισχυρή, χαρτογραφικής κλίμακας ισοκλινή πτύχωση BΔ-NA διεύθυνσης (F3) με αξονική φύλλωση S3, η οποία είναι η κυρίαρχη στα πετρώματα και μια γράμμωση L3, BΔ-NA διεύθυνσης.

Αναλυτικότερα, ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, χαρτογραφικής κλίμακας, ισοκλινείς έως σφιχτές πτυχές (F3) πτυχώνουν τη φύλλωση αναδιάταξης S2 και την προσανατολίζουν παράλληλα ή υποπαράλληλα με την S3 φύλλωση που είναι η κυρίαρχη στα πετρώματα. Έτσι, η αναγνώριση της κύριας φύλλωσης ως S2 ή S3 είναι σχεδόν αδύνατη στις περισσότερες θέσεις, παρά μόνο στα κορυφαία ή πυθμαία τμήματα των F3 πτυχών, ενώ η γράμμωση L2 καθίσταται πλέον μη αναγνωρίσιμη. Στις λίγες θέσεις των F3 πτυχών, ενώ όπου ήταν δυνατή η παρατήρηση και των δύο φυλλώσεων, διακρίνεται ο προσανατολισμός ορυκτών σ' αυτές, όπως μαρμαρυγίας, κεροστίλβη, πλαγιόκλαστα και χαλαζίας, και σ' αυτές φαίνονται δύο γενεές αμφιβόλου και μαρμαρυγία. Η πρώτη γενεά προσανατολίζεται παράλληλα στην S3 φύλλωση.

Στους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους της Ενότητας Βερτίσκου, παράλληλα στη φύλλωση S3 αναπτύσσονται μοσχοβίτης, βιοτίτης, χαλαζίας, χλωρίτης, γρανάτης και σταυρόλιθος, στους βιοτιτικούς γνευσίους της Ενότητας Κερδυλλίων παρατηρούνται βιοτίτης, χαλαζίας, χλωρίτης, γρανάτης και σταυρόλιθος ενώ στους ταινιωτούς - αμφιβολιτικούς γνευσίους εντοπίζεται κυρίως κεροστίλβη και πλαγιόκλαστα ενώ συχνά παρατηρείται και γρανάτης.

Η S3 φύλλωση, στο σύνολο της περιοχής έρευνας, μολονότι κλίνει κυρίως προς τα Δ-ΝΔ, χαρακτηρίζεται από σημαντική διακύμανση στον προσανατολισμό της (Σχ. 8.4). Η διακύμανση αυτή οφείλεται στο ότι στο σύνολο των μετρήσεων της φύλλωσης S3 σε μεγάλο βαθμό υπεισέρχονται τιμές της υποπαράλληλης S2, η οποία είναι δύσκολο να διακριθεί από την S3. Βάσει αυτού, η μεγαλύτερη συγκέντρωση στα κεντρικά σημεία της προβολής των πόλων των μετρήσεων της φύλλωσης προσδιορίζουν καλύτερα την S3 φύλλωση, ενώ τα περιφερειακά τμήματα θα πρέπει να προσδιορίζουν σε μεγαλύτερο βαθμό θέσεις της S2 φύλλωσης (Σχ. 8.4). Η εικόνα αυτή είναι φυσικά υπεραπλουστευμένη αφού στην πραγματικότητα, η περιοχή έχει επηρεαστεί από φυλλώσεων S2 και S3 στην περιοχή, αλλά δεν επηρεάζει συνολικά τη γεωμετρική σχέση μεταξύ των S2 και S3.



Σχήμα 8.4: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης της κύριας φύλλωσης όπως αναλύεται στην S2 και S3 και των κύριων γεωμετρικών στοιχείων των πτυχών F3.

Παρόλα αυτά, λόγω της μεγάλης έκτασης της περιοχής και των διακυμάνσεων των τιμών της φύλλωσης σ' αυτή, κρίθηκε χρήσιμο τα δεδομένα να επιμεριστούν σε οκτώ μικρότερες περιοχές, έτσι ώστε να είναι δυνατός ο καλύτερος έλεγχος και ταυτόχρονα η κατανόηση της τρισδιάστατης γεωμετρίας που προσδιορίζουν (Σχ.8.5), και οι οποίες περιγράφονται παρακάτω:

- Το δυτικό τμήμα, στο όρος Βερτίσκος, από το χωριό Κρυονέρι μέχρι και το Σκεπαστό επιμερίστηκε σε τρεις περιοχές: (1) στην περιοχή μεταξύ των χωριών Κρυονέρι, Σοχός και Σεβάστεια, (2) στην περιοχή μεταξύ των χωριών Σοχός και Μαυρούδα, και (3) στην περιοχή μεταξύ της Μαυρούδας, του Σκεπαστού και της Νιγρίτας. Στα διαγράμματα της φύλλωσης, η S3 φύλλωση κλίνει προς τα ΝΔ με διακύμανση από τα ΝΝΔ έως και τα ΔΝΔ με μέσες έως μικρές γωνίες κλίσης. Μόνο στο ΒΔ άκρο της περιοχής έρευνας, βόρεια του χωριού Κρυονέρι, η φύλλωση στρέφεται προς ΒΔ.
- Το ενδιάμεσο τμήμα ανάμεσα στα όρη Βερτίσκου και Κερδυλίων, ανάμεσα στα χωριά Σκεπαστό, Θερμά, Στεφανινά και Ορέσκεια, η περιοχή διαχωρίστηκε σε

τέσσερεις περιοχές. Στο τμήμα αυτό φαίνεται μια προοδευτική μεταβολή της φύλλωσης, η οποία κλίνει με μέσες γωνίες κλίσης, προς τα ΒΔ στα βόρεια, ενώ κλίνει προς Δ και ΝΔ στα νότια.

Το ανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας, στο όρος Κερδύλιον (βόρεια του οικισμού Λογκάρι), το διάγραμμα της φύλλωσης S3 δείχνει την φύλλωση S3 να κλίνει κυρίως προς τα BA με μέση γωνία κλίσης, ενώ πολύ μικρότερος είναι ο αριθμός των μετρήσεων που κλίνουν προς τα ΝΔ – ΝΝΔ, με μέση ή/και με μικρή γωνία κλίσης.



Σχήμα 8.5: Απλοποιημένος χάρτης στον οποίο αποτυπώνεται η κατανομή της φύλλωσης S3 στην περιοχή έρευνας.
Οι F3 πτυχές χαρακτηρίζονται από μια πολύ ισχυρή, χαρτογραφικής κλίμακας, ισοκλινή πτύχωση (Σχ.8.7), ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης (F3) που έχουν άξονες οριζόντιους έως μικρής γωνίας βύθισης προς τα ΒΔ (Σχ. 8.4, 8.6). Στο όρος Βερτίσκος και τα δύο πτερύγια των πτυχών κλίνουν γενικά προς τα ΝΔ, και πιο συγκεκριμένα, κλίνουν προς τα ΝΔ με μια διακύμανση στην γωνία κλίσης από 25° έως και 50°, ενώ και τα αξονικά τους επίπεδα εμφανίζονται κεκλιμένα με μικρές έως και μέσες γωνίες κλίσεις προς τα ΝΔ (Σχ.8.4). Ομοίως, στο δυτικό τμήμα του Κερδύλιον Όρους, φαίνεται να είναι οι F3 αυτές που καθορίζουν τη διάταξη των πετρωμάτων της περιοχής σχηματίζοντας αντίμορφα και σύμμορφα με μια ελαφριά βύθιση αξόνων προς τα ΒΔ. Αντίθετα, στο ανατολικό τμήμα της περιοχή έρευνας, στο Κερδύλιον όρος και δυτικά των Νέων Κερδυλλίων, εντοπίστηκε μικρός αριθμός ισοκλινών F3 πτυχών. Οι λίγες αυτές πτυχές καταγράφονται με τον άξονα να βυθίζεται προς τα ΒΔ (Σχ. 8.6), με μια μικρή διακύμανση στον προσανατολισμό του και με πολύ μικρές γωνίες βύθισης ενώ, τα πτερύγια των πτυχών κλίνουν προς τα ΒΑ με μέσες γωνίες κλίσεις προς τα ΒΑ.



Σχήμα 8.6: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης των αξόνων των πτυχών F3.



Σχήμα 8.7: Εικόνες ισοκλινών πτυχών F3 που καταγράφηκαν α) σε βιοτιτικούς και χαλαζιοαστριούχους γνευσίους της Ενότητας Κερδυλλίων, ΒΔ του χωριού Μαυρούδα β) στους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους, της Ενότητας Βερτίσκου, Α του χωριού Σοχός, γ) σε μάρμαρα της Ενότητας Κερδυλλίων, BA του χωριού Στεφανινά και δ) στους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους της Ενότητας Βερτίσκου, ΒΑ του χωριού Στεφανινά και δ) στους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους της Ενότητας Κερδυλλίων, ΒΑ του χωριού Στεφανινά και δ) στους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους της Ενότητας Βερτίσκου, ΒΑ του χωριού Σοχός.

Παράλληλα στους άξονες των πτυχών αυτών καταγράφηκε μικρός αριθμός γραμμώσεων. Η γράμμωση αυτή ήταν πολύ δύσκολο να εντοπιστεί καθώς επηρεάστηκε πολύ έντονα από την γράμμωση της επόμενης παραμόρφωσης. Από τις λίγες σχετικά θέσεις που εντοπίζεται χαρακτηρίζεται όπως μια BΔ – NA διεύθυνση με βύθιση προς τα BΔ με μικρές γωνίες (Σχ.8.8).



Σχήμα 8.8: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό μορφή πόλων των γραμμώσεων L3 που καταγράφηκαν στην περιοχή έρευνα.

8.4 D4 Παραμορφωτικό Γεγονός

Το D4 γεγονός επηρεάζει τα πετρώματα των Ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων, αλλά και τα πετρώματα του Συμπλέγματος Θερμών-Βόλβης-Γοματίου, καθώς και τα γρανιτικά σώματα τύπου Αρναίας, ενώ δεν αναγνωρίστηκαν δομές του στα όξινα γρανιτικά σώματα τύπου Ορέσκειας, Φλαμουρίου και Μαυρούδας. Παραταύτα η σταθερή τους κλίση προς τα ΝΔ και η φύλλωση που είναι παράλληλη προς την μυλωνιτική (S4) συνηγορεί στην πιθανή επίδρασή τους από το γεγονός αυτό.

Στο D4 γεγονός περιλαμβάνονται μια έντονη διάτμηση με φορά κίνησης του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, εξαιτίας της οποίας δημιουργείται μια μυλωνιτική φύλλωση S4, παράλληλα στην S3 φύλλωση, στην οποία αποτυπώνεται με μια ισχυρά αποτυπωμένη γράμμωση τάνυσης ή έκτασης (L4) σε BA-ΝΔ διεύθυνση, ενώ παράλληλες προς αυτήν βρίσκονται οι F4 θηκόμορφες (sheath) πτυχές οι οποίες εντοπίζονται σε μεσοκλίμακα.

Όπως προαναφέρθηκε. η S4 φύλλωση καταγράφεται ως μία μυλωνιτική S4 φύλλωση λόγω της έντονης, γενικής διάτμησης που προκαλεί το D4 γεγονός. Έτσι παράλληλα στη κύρια S3 φύλλωση αναπτύσσονται ζώνες διάτμησης, οι οποίες αναγνωρίζονται ευκολότερα στους βιοτιτικούς χαλαζιοαστριούχους γνευσίους – οφθαλμογνευσίους από ότι στους βιοτιτικούς, αμφιβολιτικούς και διμαρμαρυγιακούς γνευσίους, πιθανά λόγω του μεγέθους των ορυκτών. Σ' αυτές τις ζώνες διάτμησης, ευδιάκριτο και κυρίαρχο είναι το ορυκτό μοσχοβίτης που αναπτύσσεται παράλληλα στις διατμητικές επιφάνειες. Παραταύτα, οι διατμητικές αυτές ζώνες γίνονται εντονότερες και σαφέστερες πλησιάζοντας προς τις επαφές ανάμεσα στους βιοτιτικούς και αμφιβολιτικούς γνευσίους της Ενότητας Κερδυλλίων με τους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους της Ενότητας Βερτίσκου.

Η έντονη αυτή διάτμηση αποτυπώνει έντονα στα πετρώματα μια γράμμωση (L4) σε BA-NΔ διεύθυνση, η οποία εμφανίζεται κυρίως ως μια γράμμωση τάνυσης ή έκτασης αλλά και ως ορυκτολογική, ανάλογα με τον τύπο του πετρώματος (Σχ.8.10).

Η γράμμωση αυτή καταγράφεται με πολύ μεγάλο αριθμό, ενώ από τη στερεογραφική προβολή της γράμμωσης L4 (Σχ.8.9), φαίνεται αυτή να προσανατολίζεται σε μια διεύθυνση BA-NΔ και να βυθίζεται κυρίως προς τα ΝΔ-ΝΝΔ με μικρές έως μέσες γωνίες. Η γράμμωση L4 φαίνεται να μεταβάλλεται σε συνδυασμό με την μυλωνιτική φύλλωση, όπως αυτή παρατηρείται στις επιμέρους περιοχές (Σχ.8.11).



Σχήμα 8.9: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης των γραμμώσεων L4 που καταγράφηκαν στην περιοχή έρευνα.



Σχήμα 8.10: Εικόνες γραμμώσεων L4 εντός α & β) διμαρμαρυγιακών γνευσίων, γ) μοσχοβιτικών γνευσίων, δ) βιοτιτικών – αμφιβολιτικών γνευσίων, ε) χαλαζιοαστριούχων γνευσίων και ζ) σε αμφιβολιτικούς γνευσίους.



Σχήμα 8.11: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας στον οποίο αποτυπώνεται η κατανομή της γράμμωσης L4.

Παράλληλα προς τις L4 γραμμώσεις παρατηρήθηκαν F4 ισοκλινείς πτυχές που φαίνεται να είναι αποτέλεσμα μιας sheathing πτύχωσης συνδεδεμένης με την κύρια διάτμηση. Σ' αυτό συνηγορεί η καταγραφή ταυτόχρονα s- και z-πτυχών ακόμα και στο ίδιο πρανές (Σχ. 8.12) αλλά και εικόνες eye fold (Σχ. 8.13). Ο αριθμός των BA - ΝΔ διεύθυνσης ισοκλινών πτυχών είναι μικρός και φαίνεται να διπλώνουν την κύρια S3 φύλλωση. Οι πτυχές βυθίζονται προς τα ΝΔ με μέσες γωνίες βύθισης (Σχ. 8.14γ, 8.15). Οι πυκνότητες της συγκέντρωσης των δύο πτερυγίων, λόγω του μικρού ανοίγματος των πτυχών, εμφανίζονται με αλληλοεπικαλύψεις. Ειδικότερα, τα ένα πτερύγιο εντοπίζεται με κλίση προς τα ΝΔ με μέση γωνία κλίσης (Σχ. 8.14α,δ) ενώ το δεύτερο προς τα ΝΝΔ επίσης με μέση γωνία κλίσης (Σχ. 8.14β,δ). Τα αξονικά επίπεδα των πτυχών αυτών είναι προς τα ΝΔ (Σχ. 8.14δ).



Σχήμα 8.12: S- και Ζ- πτυχές σε βιοτιτικούς γνευσίους, βόρεια του χωριού Κρυονέρι.



Σχήμα 8.13: Eye fold στους μεταγάββρους – μαζώδεις αμφιβολίτες, ΝΑ του χωριού Σκεπαστό.



Σχήμα 8.14: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης α) και β) των δύο πτερυγίων των πτυχών F4, γ) των αξόνων των πτυχών F4, BA – NΔ διεύθυνσης και δ) των κύριων γεωμετρικών στοιχείων των πτυχών F4.



Σχήμα 8.15: Εικόνες ισοκλινών πτυχών F4, BA – ΝΔ διεύθυνσης που καταγράφηκαν α) σε αμφιβολιτικούς γνευσίους της Ενότητας Κερδυλλίων, Α του χωριού Σοχός, β) σε μάρμαρα με βιοτιτικούς – αμφιβολιτικούς γνευσίους της Ενότητας Κερδυλλίων, BA του χωριού Στεφανινά, γ) σε βιοτιτικούς - αμφιβολιτικούς γνευσίους της Ενότητας Κερδυλλίων, Α του χωριού Σκεπαστό και δ) στους βιοτιτικούς γνευσίους, της Ενότητας Κερδυλλίων, B του χωριού Στεφανινά.

Κινηματική ανάλυση - Μικροτεκτονικοί δείκτες

Όπως προαναφέρθηκε, η S4 φύλλωση εμφανίζεται σε περιοχές ως μια μυλωνιτική φύλλωση αποτέλεσμα μιας εκτεταμένης διάτμησης που υπέστησαν τα πετρώματα της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, στην S4 αναγνωρίζονται ζώνες διάτμησης στις οποίες παρατηρούνται έντονα δομές διάτμησης (π.χ. S-C υφές, C' διατμητικές δομές), στις θέσεις όπου επικρατούν τα χαλαζιοαστριούχα ορυκτά (χαλαζίας, πλαγιόκλαστα και Kάστριοι) πορφυροκλάστες (π.χ., σ- και δ- κλάστες).

Οι S-C υφές αποτελούνται από τα επίπεδα S, τα οποία διατέμνονται από τα επίπεδα C (Berthé et al., 1979a, b; Vernon et al., 1983; Lister and Snoke, 1984; Krohe 1990; Toyoshima 1998), τα οποία βρίσκονται παράλληλα στη ζώνη διάτμησης και στις C'

διατμητικές δομές (C'-type shear bands), οι οποίες βρίσκονται υπό γωνία με τη ζώνη διάτμησης (Dennis and Secor, 1987, Passchier, 1991b, Blenkinsop & Treloar, 1995) και συχνά καλύπτουν τις S-C υφές (Berthé et al., 1979b, Passchier & Trouw, 2005).

Οι πορφυροκλάστες είναι οι μεγαλύτερου μεγέθους κόκκοι ορυκτών, οι οποίοι βρίσκονται μέσα σε μία μάζα υλικού, μικρότερης κοκκομετρίας και πιο ευάλωτης στην παραμόρφωση σε σχέση μ' αυτούς (Passchier & Trouw, 2005). Λόγω αυτής της διαφορετικής ρεολογικής συμπεριφοράς της περιβάλλουσας μάζας του υλικού και των πορφυροκλαστών δημιουργούνται περιμετρικά τους χαρακτηριστικές 'απολήξεις' με γεωμετρία και συμμετρία που τους διακρίνει σε φ-, σ- και δ-κλάστες (Hanmer, 1984b; Passchier and Simpson, 1986, Hooper and Hatcher, 1988).

Από την υπαίθρια παρατήρηση πολλών ζωνών διάτμησης και ιδιαίτερα των παραπάνω δομών προέκυψε μια κύρια κίνηση του υπερκείμενου τεμάχους προς τα ΝΔ (Σχ.8.16α), (Σχ.8.16ε-ζ), (Σχ.8.17) ενώ σε πολύ λίγες θέσεις παρατηρήθηκαν αντίθετες κινήσεις του υπερκείμενου προς τα ΒΑ (Σχ.8.16β) (Σχ.8.18). Επίσης, από την εξέταση των λεπτών τομών που κατασκευάστηκαν προσδιορίστηκε παρόμοια κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ (Σχ.8.19α-γ).



Σχήμα 8.16: α) C'-type shear bands μεσοσκοπικής κλίμακας σε βιοτιτικούς γνευσίους – φυλλωνίτες όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου

προς τα ΝΔ, θέση βόρεια του χωριού Στεφανινά, β) C'-type shear bands μεσοσκοπικής κλίμακας σε διμαρμαρυγιακούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, θέση ΒΔ του χωριού Σοχός, γ) C'-type shear band από λεπτές τομές, σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται δεξιόστροφη κίνηση (υπερκείμενου προς τα ΝΔ), δείγμα SK07 και δ) C'-type shear band από λεπτές τομές, σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται δεξιόστροφη κίνηση (υπερκείμενου προς τα ΝΔ), δείγμα SK07.



Σχήμα 8.17: Εικόνες μεσοσκοπικής κλίμακας από κινηματικούς δείκτες στην περιοχή έρευνας α) Σιγμοειδής χαλαζιτικοί κλάστες σε βιοτιτικούς

γνευσίους όπου προσδιορίζεται ΝΝΔ κίνηση του υπερκείμενου, θέση BBΔ του χωριού Σκεπαστό, β) Σιγμοειδής χαλαζιοαστριούχοι κλάστες σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται ΝΔ κίνηση του υπερκείμενου, θέση ΒΒΔ του χωριού Σκεπαστό, γ) Σιγμοειδής χαλαζιοαστριούχοι κλάστες σε χαλαζιοαστριούχους - βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται ΝΝΔ κίνηση του υπερκείμενου, θέση ΝΔ του χωριού Θερμά, δ) Σιγμοειδείς χαλαζιοαστριούχοι κλάστες και S-C υφή σε βιοτιτικούς γνευσίους – φυλλονίτες όπου προσδιορίζεται ΝΝΔ κίνηση του υπερκείμενου, θέση ΒΑ του χωριού Μαυρούδα, ε) Σιγμοειδής χαλαζιοαστριούχοι κλάστες σε χαλαζιοαστριούχους βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται ΝΔ κίνηση του υπερκείμενου, θέση ΒΔ του χωριού Σοχός και ζ) Σιγμοειδείς χαλαζιαστριούχοι κλάστες σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται ΝΝΔ κίνηση του υπερκείμενου, θέση ΒΑ του χωριού Μαυρούδα.



Σχήμα 8.18: Εικόνες μεσοσκοπικής κλίμακας από κινηματικούς δείκτες στην περιοχή έρευνας α) Σιγμοειδής χαλαζιοαστριούχοι κλάστες σε

βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα BA, θέση ανατολικά του χωριού Σοχός, β) Σιγμοειδής χαλαζιτικοί κλάστες σε διμαρμαρυγιακούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα BBA, θέση BA του χωριού Μαυρούδα, γ) Σιγμοειδής χαλαζιοαστριούχοι κλάστες σε βιοτιτικούς - χαλαζιοαστριούχους γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα BBA, θέση ΝΔ του χωριού Θερμά, δ) Σιγμοειδής χαλαζιοαστριούχοι κλάστες σε χαλαζιοαστριούχους βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα BA, θέση BΔ του χωριού Μαυρούδα.

Στο μικροσκόπιο έγινε δυνατή και η αναγνώριση παραμορφωτικών mica fish δομών, οι οποίες διακρίνονται ως παραμορφωμένοι κλάστες μαρμαρυγία με επιμήκη μορφή προσανατολισμό παράλληλα στη ζώνη διάτμησης (Passchier and Trouw, 2005). Οι mica fish δομές, όπως πειραματικά έχει δειχθεί, χαρακτηρίζονται από έντονη σταθερότητα σε οποιαδήποτε non-coaxial ροή ή διάτμηση (Grotenhuis et al., 2002; Mancktelow et al., 2002; Ceriani et al., 2003; Passhier & Trouw, 2005). Τα συνηθέστερα ορυκτά στα οποία παρατηρούνται δομές mica fish και εντοπίζονται στις λεπτές τομές που κατασκευάστηκαν από τις μυλωνιτικές ζώνες στην περιοχή έρευνας είναι κυρίως ο μοσχοβίτης δεύτερης γενεάς, αλλά και ο βιοτίτης μέσα σε διμαρμαρυγιακούς γνευσίους και βιοτιτικούς γνευσίους προσδιορίζοντας κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ (Σχ.8.19δ-ζ).



Σχήμα 8.19: Εικόνες μικροσκοπικής κλίμακας με κινηματικούς δείκτες από λεπτές τομές από την περιοχή έρευνας α) Σιγμοειδής κλάστης χαλαζία σε βιοτιτικούς γνευσίους και C'-type shear bands όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, β) Σιγμοειδής κλάστης χαλαζία σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΝΔ, δείγμα SK08, γ) Σιγμοειδής κλάστης χαλαζία σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, γ) Σιγμοειδής κλάστης χαλαζία σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08, γ) Σιγμοειδής κλάστης χαλαζία σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, στο αριστερό τμήμα της εικόνας διακρίνεται μαρμαρυγίας από όπου προσδιορίζεται αντίστοιχη κίνηση, δείγμα SK03 δ) Mica fish σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK07, ε) Mica fish σε βιοτιτικούς

γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK10 και ζ) Mica fish σε βιοτιτικούς γνευσίους όπου προσδιορίζεται κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK08.

Ιδιαίτερα σημαντική ήταν η αναγνώριση μέσα στα πετρώματα πορφυροβλαστών γρανατών γιατί τα ορυκτά αυτά προσδιορίζουν τη σχέση μεταξύ της παραμόρφωσης και της κρυστάλλωσής τους. Συγκεκριμένα, οι πορφυροβλάστες είναι μεμονωμένοι κρύσταλλοι, πολύ μεγαλύτερου μεγέθους που αναπτύσσονται σε μια μικροκρυσταλλική μάζα λόγω μεταμόρφωσης (Passchier & Trouw, 2005). Από τη παραμόρφωση των πορφυροβλαστών και της δομής των εγκλεισμάτων τους έχουν διακριθεί σε προ-, δια-, συν- και μετά- τεκτονικούς Zwart (1960, 1962) δίνοντας έτσι τη δυνατότητα μιας σχετικής χρονολόγησης της ανάπτυξης των ορυκτών και της μεταμορφικής και παραμορφωτικής εξέλιξης του πετρώματος.

Στις λεπτές τομές που μελετήθηκαν από δείγματα της περιοχής έρευνας οι πορφυροβλάστες γρανατών εμφάνιζαν εικόνες μιας συν-τεκτονικής ανάπτυξης σε σχέση με την μυλωνιτική S4 φύλλωση του πετρώματος κατά το D4 παραμορφωτικό γεγονός (Σχ.8.20α-γ), ενώ και αυτοί προσδιορίζουν μία κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ. Ακόμα, καταγράφηκαν γρανάτες με προ-τεκτονική ανάπτυξη, και οι οποίοι δεν αποτυπώνουν την S4 φύλλωση (Σχ.8.20δ). Γίνεται αντιληπτό ότι αυτοί οι γρανάτες έχουν κρυσταλλωθεί σε προηγούμενο μεταμορφικό γεγονός πιθανά συνδεόμενο με την D3 παραμόρφωση.



Σχήμα 8.20: Εικόνες πορφυροβλαστών από γρανάτες σε βιοτιτικούς γνευσίους από τους οποίους προκύπτει α) έως γ) μια συν-τεκτονική ανάπτυξή τους με την μυλωνιτική φύλλωση του πετρώματος ενώ αποτυπώνεται και με μία κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ, δείγμα SK07 και δ) μια προτεκτονική ανάπτυξή τους από την κύρια φύλλωση του πετρώματος, δείγμα SK07.

8.5 D5 Παραμορφωτικό Γεγονός

Το D5 παραμορφωτικό γεγονός αναγνωρίζεται στο σύνολο των πετρωμάτων της Σερβομακεδονικής, στον γρανίτη της Αρναίας καθώς και στα γρανιτικά σώματα της Ορέσκειας, του Φλαμουρίου και της Μαυρούδας που φαίνεται να είναι το πρώτο γεγονός που τα επηρεάζει. Είναι μικρότερης έντασης από τα προηγούμενα παραμορφωτικά γεγονότα και συνδέεται με το σχηματισμό κυρίως των F5 πτυχών, την ανάπτυξη της S5 φύλλωσης και της L5 γράμμωσης.

Η φύλλωση S5 εμφανίζεται ως αραιά σχιστότητα (spaced schistosity) υλοποιώντας τα αξονικά επίπεδα ασύμμετρων πτυχών, αλλά και ως σχιστότητα ρυτίδωσης (crenulation schistosity) (Σχ. 8.21). Ο εντοπισμός της γίνεται κυρίως στα κορυφαία η πυθμαία των F5 ασύμμετρων πτυχών. Στην περιοχή έρευνας η S5 εμφανίζεται με πολύ μεγάλη γωνία κλίσης προς τα ΒΔ αλλά και τα ΝΔ (Σχ. 8.22).



Σχήμα 8.21: Εικόνες της φύλλωσης S3 και της S5 η οποία αναπτύσσεται κατά τα αξονικά επίπεδα των πτυχών (F5) (α), (β) σε βιοτιτικούς γνευσίους BA του χωριού Σοχός και BΔ του χωριού Μαυρούδα, αντίστοιχα, γ) σε αμφιβολιτικούς – βιοτιτικούς γνευσίους όπου εντοπίζεται η κύρια φύλλωση S3 πτυχωμένη από τις ασύμμετρες F5 πτυχές και κατά το

αξονικό τους επίπεδο εντοπίζεται η φύλλωση S5 και δ) βιοτιτικός γνεύσιος πτυχωμένος από ασύμμετρες πτυχές στα αξονικά επίπεδα των οποίων αναπτύσσεται η S5 φύλλωση.



Σχήμα 8.22: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) της φύλλωσης S5.

Η L5 γράμμωση είναι άμεσα συνδεδεμένη και προσανατολισμένη με τους άξονες των πτυχών F5. Εμφανίζεται ως μία γράμμωση ρυτίδωσης (crenulation lineation) από την ρυτίδωση της κύριας S3 φύλλωσης στις F5 πτυχές, αλλά και ως γράμμωση διατομής μεταξύ της κύριας φύλλωσης S3 και της φύλλωσης S5. Η γράμμωση L5 εντοπίζεται σαφώς ασθενέστερη της L4 και σε καμία περίπτωση δεν μπόρεσε να την καλύψει.

Γεωμετρικά η L5 γράμμωση εμφανίζεται με μικρή έως μέση γωνία βύθισης και με κατεύθυνση βύθισης κυρίως προς τα ΒΔ έως και τα ΒΒΔ αλλά σε μικρότερες συγκεντρώσεις και προς τα ΝΑ (Σχ. 8.23).



Σχήμα 8.23: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης των γραμμώσεων L5 που καταγράφηκαν στην περιοχή έρευνα.

Οι F5 πτυχές χαρακτηρίζονται ως ασύμμετρες, ορθές (Σχ.8.26), και βυθιζόμενες με BΔ – ΝΑ διεύθυνση αξόνων, μικρής έως και πολύ μικρής γωνίας βύθισης (Σχ.8.24). Με βάση το άνοιγμα των πτερυγίων χαρακτηρίζονται κλειστές ως ανοικτές και σπάνια ως σφιχτές ενώ από την προβολή των πτερυγίων των F5 πτυχών προκύπτουν δύο ομάδες πτυχών (Σχ. 8.25).

Η πρώτη ομάδα πτυχών εντοπίζεται στο δυτικό τμήμα της περιοχής, από το χωριό Κρυονέρι έως και ανατολικά του Σκεπαστού, όπου καταγράφονται πτυχές στις οποίες το ένα πτερύγιο κλίνει προς τα Δ-ΝΔ με μεγάλες γωνίες κλίσης, ενώ το δεύτερο κλίνει προς τα BBA με μέσες γωνίες κλίσης. Οι πτυχές εμφανίζονται με τον άξονα βυθιζόμενο προς BΔ έως BBΔ με μέσες προς μικρές γωνίες βύθισης, ενώ τα αξονικά τους επίπεδα είναι με πολύ μεγάλη γωνία κλίσης προς τα BA έως και κατακόρυφα (Σχ. 8.25α).

Η δεύτερη ομάδα πτυχών F5 εντοπίστηκε στο ανατολικό τμήμα της περιοχής, δηλαδή στο Κερδύλιον όρος και στην περιοχή βόρεια του οικισμού Λογκάρι έως και την Ορέσκεια. Οι πτυχές αυτές εμφανίζουν ένα πτερύγιο το οποίο κλίνει προς τα BBA με μέσες γωνίες και το δεύτερο προς τα ΝΝΔ με μέσες προς μεγάλες γωνίες κλίσης, σχηματίζοντας ανοικτές πτυχές. Στις πτυχές αυτές ο άξονας εμφανίζεται με πολύ μικρές γωνίες βύθισης προς τα ANA, ενώ τα αξονικά τους επίπεδα είναι προς τα BBA με πολύ μεγάλη γωνία κλίσης έως και κατακόρυφα (Σχ. 8.25β).



Σχήμα 8.24: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης των αξόνων των πτυχών F5 που καταγράφηκαν στο σύνολο της υπό έρευνα περιοχής.



Σχήμα 8.25: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης των πτερυγίων των πτυχών F5 αλλά και των κύριων γεωμετρικών στοιχείων των πτυχών F5 όπως προσδιορίστηκαν (α) από την περιοχή μεταξύ του χωριού Κρυονέρι έως και ανατολικά του Σκεπαστού και β) βόρεια του οικισμού Λογκάρι έως και την Ορέσκεια.



Σχήμα 8.26: Εικόνες α) ανοικτών πτυχών F5 σε βιοτιτικού - αμφιβολιτικούς γνευσίους BBΔ του χωριού Σκεπαστό, β) ανοικτή πτυχή σε βιοτιτικούς γνευσίους βόρεια του χωριού Μαυρούδας γ) ασύμμετρη πτυχή σε βιοτιτικούς γνευσίους ΝΔ της Νιγρίτας, δ) ασύμμετρων πτυχών F5 στους βιοτιτικούς γνευσίου BA του Σοχού και ε) ανοικτή πτυχή σε βιοτιτικούς γνευσίους βόρεια των Στεφανινών.

8.6 D6 Παραμορφωτικό Γεγονός

Το D6 παραμορφωτικό γεγονός παρουσιάζει τοπικό χαρακτήρα, δεν εμφανίζει έντονη δράση και συνδέεται με την δημιουργία των πτυχών F6, την ανάπτυξη της φύλλωσης S6 και της γράμμωσης L6.

Η φύλλωση S6, η οποία αναπτύσσεται κατά το παραμορφωτικό αυτό γεγονός εμφανίζεται ως πτυχοσχιστότητα (crenulation cleavage) κατά τα αξονικά επίπεδα των F6 πτυχών. Χαρακτηρίζεται ως αραιή φύλλωση και εντοπίστηκε σε πολύ λίγες θέσης στην περιοχή έρευνας. Η S6 φύλλωση καταγράφεται γενικά με μεγάλη γωνιά κλίσης και εμφανίζεται με κατεύθυνση κλίσης προς τα B και σε λίγες περιπτώσεις προς τα N (Σχ. 8.27).



Σχήμα 8.27: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης και μεγίστων κύκλων της σχιστότητα S6 της περιοχής έρευνας.

Η γράμμωση L6 είναι το αποτέλεσμα της μικροπτύχωσης των παλαιότερων φυλλώσεων και καταγράφεται ως γράμμωση ρυτίδωσης κυρίως των kink πτυχών, αλλά και ως γράμμωση διατομής μεταξύ της S3 και της S6 φύλλωσης. Η γράμμωση L6 εμφανίζεται σε θέσεις όπου καταγράφηκαν οι πτυχές F6 και εμφανίζεται με μικρή γωνία βύθισης προς τα Δ (Σχ.8.28).



Σχήμα 8.28: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) υπό τη μορφή πύκνωσης των γραμμώσεων L6 που καταγράφηκαν στην περιοχή έρευνας.

Οι F6 πτυχές είναι κυρίως ανοικτές έως πολύ ανοικτές, σχεδόν ορθές πτυχές, ενώ στο γεγονός αυτό εντάσσονται και χαρακτηριστικές chevron – kink πτυχές (Σχ.8.29). Οι F6 πτυχές εμφανίζονται με τους άξονες να βυθίζονται με μικρές γωνίες προς τα Δυτικά (Σχ.8.30), και σε λίγες περιπτώσεις ως υπό-οριζόντιες και τα πτερύγια να κλίνουν με ενδιάμεσες γωνίες προς τα ΝΔ και BBΔ, αντίστοιχα.



Σχήμα 8.29: α) Πολύ ανοιχτή πτυχή (F6) σε βιοτιτικούς – αμφιβολιτικούς γνευσίους BA του χωριού Σοχός, β) πτυχές F6 τύπου chevron – kink σε βιοτιτικούς – κεροστιλβικούς γνευσίους, BΔ του χωριού Μαυρούδα, και γ) πτυχές F6 τύπου chevron σε χαλαζιοαστριούχους γνευσίους BA του Κρυονερίου.



Σχήμα 8.30: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) όπου διακρίνονται τα πτερύγια των πτυχών και τα κύρια γεωμετρικά στοιχεία των πτυχών F6.

Ακόμα, στην περιοχή καταγράφηκαν ρήγματα ΒΔ έως και ΒΒΔ κατεύθυνσης στα οποία εντοπίστηκε μία ανάστροφη κίνηση (Σχ.8.31). Αυτά φαίνεται να συνδέονται με μία συμπίεση B - N όπως αυτή που προκύπτει και από τις πτυχές του D6 παραμορφωτικού γεγονότος. Παρόμοιο τεκτονικό γεγονός περιγράφεται από τον Tranos (1998, 2011) για την Σιθωνία και από τους Georgiadis et al (2007) στο νότιο τμήμα του Αγίου Όρους αλλά και στην περιοχή της ΝΔ Βουλγαρίας από τους Tranos et al. (2008) οι οποίοι το χρονολογούν στο Άνω Ολιγόκαινο – Κάτω Μειόκαινο. Το γεγονός αυτό έχει αναγνωριστεί και ανατολικότερα στην περιοχή της Θράκης από τους Koukouvelas and Doutsos (1990).



- Σχήμα 8.31: Στερεογραφική προβολή σε δίκτυο Schmidt (προβολή κάτω ημισφαιρίου) όπου διακρίνονται ανάστροφα ρήγματα με τις γραμμώσεις τους, τα οποία συνδέονται με την συμπίεση B-N κατά το D6 παραμορφωτικό γεγονός.
- Πίνακας 8.1: Συγκεντρωτικός πίνακας με τις παραμορφωτικές δομές και μεταμορφικές φάσεις ανά παραμορφωτικό γεγονός και η χρονολογησή τους.

A/A	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ
D1	S0-S1	Εκλογιτική	προ-Μεσοζωικό
D2	S2 (Μιγματιτίωση – Ανάτηξη) F2 (ΒΔ - ΝΑ) Ενδοφυλλώδεις, ισοκλινείς χωρίς ρίζα πτυχές	Υψηλή - μέση αμφιβολιτική	Κάτω Μεσοζωϊκό
D3	S3 - L3 F3 (ΒΔ - ΝΑ) Ισοκλινείς πτυχές	Χαμηλή αμφιβολιτική - υψηλή πρασινοσχιστολιθική	Κάτω Μεσοζωϊκό
D4	S4 - L4 Διατμητικές ζώνες F4 (BA - NΔ) Θηκόμορφες (Sheath) πτυχές	Πρασινοσχιστολιθική	Κρητιδικό
D5	S5 - L5 F5 (BBΔ -NNA) Ανοικτές και kink πτυχές	Πρασινοσχιστολιθική	προ-συν-Ηώκαινο
D6	S6 - L6 F6 (Α - Δ) Ανοικτές και kink πτυχές Ανάστροφα ρήγματα	Χαμηλή πρασινοσχιστολιθική	μετά-Ηώκαινο προ-Άνω Μειόκαινο



Σχήμα 8.32: Εξελικτική, σκαριφηματική απεικόνιση των παραμορφωτικών γεγονότων με τις μεταμορφικές τους φάσεις και την ηλικία τους.

8.7 Σύνοψη Παραμορφωτικών Γεγονότων - Συζήτηση

Από τα προαναφερθέντα φαίνεται ότι έξι παραμορφωτικά γεγονότα D1-D6 αναγνωρίζονται να έχουν πλήξει τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας στα Όρη Βερτίσκου και Κερδυλλίων. Το D1 γεγονός δεν μπόρεσε να προσδιοριστεί άμεσα, αλλά αποδίδεται σε μια υπολειμματική φύλλωση S0-S1, η οποία αναδιατάσσεται κατά το επόμενο D2 παραμορφωτικό γεγονός, όπως φαίνεται από τις ενδοφυλλώδεις και χωρίς ρίζα, ισοκλινείς πτυχές που είναι παράλληλες στην S2 φύλλωση αναδιάταξης (transposition foliation). Το κύριο όμως γεγονός είναι το D3, το οποίο έχει επικαλύψει με επαναπτυχώσεις από ισοκλινείς ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης και χαρτογραφικής κλίμακας πτυχές την S2 φύλλωση σχηματίζοντας την κυρίαρχη (επικρατούσα) S3 φύλλωση στα πετρώματα της περιοχής, αλλά και μια γράμμωση L3, BΔ-NA διεύθυνσης. Το D4 γεγονός, αφορά μια έντονη διάτμηση με μυλωνιτική φύλλωση S4, παράλληλη στη φύλλωση S3 και μια γράμμωση τάνυσης (έκτασης) L3 σε BA-NΔ διεύθυνση, η οποία καθίσταται η επικρατούσα γράμμωση στα πετρώματα. Η γενική αυτή διάτμηση έχει φορά το υπερκείμενο προς τα ΝΔ, ενώ σε μεσοκλίμακα σχηματίζονται θηκόμορφες (sheath) πτυχές παράλληλες προς την L4. Το D5 γεγονός είναι μια πτύχωση με ανοικτές και κλειστές πτυχές σε ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση που οδηγεί σε μια ΒΑ-ΝΔ σμίκρυνση της περιοχής και τέλος, το D6 γεγονός εμφανίζεται επίσης με μια πτύχωση σε γενική διεύθυνση Α-Δ αλλά και με ανάστροφα ρήγματα ΒΔ έως και ΒΒΔ κατεύθυνσης προσδιορίζοντας μια Β-Ν σμίκρυνση.

Φαίνεται από τα παραπάνω, ότι ιδιαίτερα σημαντική για την κατανόηση της τεκτονοστρωματογραφικής ιστορίας της Σερβομακεδονικής μάζας είναι η σύνδεση αυτών των παραπάνω παραμορφωτικών γεγονότων με τα μεταμορφικά επεισόδια που αναφέρονται για τα πετρώματά της. Ξεκινώντας από το παλαιότερο προς το νεότερο φαίνεται ότι:

Δομές παρόμοιες με αυτές του παραμορφωτικού γεγονότος D2 έχουν περιγραφεί από τον Sakellariou (1989) (P2), τον Σιδηρόπουλο (1991) (D1), τους Plougarlis and Tranos (2014) (F1), και τον Neofotistos (2020) (D2). Η παραμόρφωση αυτή αποδίδεται σε μεταμορφικές συνθήκες HP-HT, και συγκεκριμένα μέσου αμφιβολιτικού βαθμού μεταμόρφωσης από τον Sakellariou (1989) και από τον Σιδηρόπουλο (1991) στα όρια της αμφιβολιτικής, γρανουλιτικής και εκλογιτικής φάσης μεταμόρφωσης (M3). Όλοι οι παραπάνω συγγραφείς την χρονολογούν πριν το Μεσοζωϊκό. Η μεταμόρφωση αυτή, ωστόσο, είναι μεταγένεστερη μιας εκλογιτικής φάσης μεταμόρφωσης, στην οποία αποδίδουμε το D1 γεγονός, όπως άλλωστε έχουν ήδη υιοθετήσει και οι παραπάνω

ερευνητές. Μάλιστα, οι Kostopoulos (2000) από αμφιβολιτικούς ξενόλιθους, εκλογιτικής μεταμορφικής φάσης που εντοπίστηκαν στο γρανίτη της Αρναίας προσδιόρισαν Λιθανθρακοφόρο ηλικία. Στο μεταμορφικό αυτό γεγονός, το συντεκτονικό με το D2 γεγονός, σχηματίζεται η πρώτη γενεά αμφιβόλων και μαρμαρυγία που παρατηρήθηκαν πάνω στην S2 φύλλωση, ενώ η μιγματιτίωση και η ανάτηξη που εμφανίζει η Ενότητα Κερδυλλίων συνδέεται επίσης με το γεγονός αυτό ή έχει ως καταληκτικό το μεταμορφικό αυτό γεγονός.

Δομές παρόμοιες με το τρίτο παραμορφωτικό γεγονός D3 και συγκεκριμένα με τις ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης δομές F3, S3, L3, αναφέρονται από τον Sakellariou (1989) (P3), τον Σιδηρόπουλο (1991) (D3), τους Plougarlis and Tranos (2014) (F2), και τον Neofotistos (2020) (D3). Η παραμόρφωση αυτή αποδίδεται σε μια χαμηλή πρασινοσχιστολιθική αμφιβολιτική-υψηλή μεταμόρφωση. Συγκεκριμένα, 0 Sakellariou (1989) αναφέρει μια κατώτερου αμφιβολιτικού βαθμού μεταμόρφωση και ο Σιδηρόπουλος (1991) την τοποθετεί στο όριο αμφιβολιτικής με την πρασινοσχιστολιθική φάση (M4) και σ' αυτήν σχηματίζεται η δεύτερη γενεά αμφιβόλων και μαρμαρυγία πάνω στην S3 φύλλωση. Η ηλικία του μεταμορφικού αυτού γεγονότος αναφέρεται είτε ως Μέσω – Άνω Ιουρασική (Dixon and Dimitriadis, 1984; Sakellariou, 1989) είτε ως Άνω Ιουρασική - Κάτω Κρητιδική (Neofotistos, 2020), ενώ από άλλους ερευνητές αναφέρεται ως Μέσω - Άνω Κρητιδικής ηλικίας (Papadopoulos and Kilias, 1985, Kilias et al., 1999). Επίσης, αντίστοιχες δομές με αυτές που καταγράφονται στο D4 παραμορφωτικό γεγονός, και ειδικότερα με την BA $- N\Delta$ διεύθυνσης L4 γράμμωσης και τις sheath πτυχές περιγράφονται από τον Burg et al. (1995), τον Kydonakis et al. (2015) και τον Neofotistos (2020) (D3) και την οποία γρονολογούν στο Κρητιδικό.

Δομές παρόμοιες με το πέμπτο παραμορφωτικό γεγονός D5 αναφέρονται από τον Sakellariou (1989) (P4), τον Σιδηρόπουλο (1991) (D4), τους Plougarlis and Tranos (2014) (F3), και τον Neofotistos (2020) (D4), οι οποίοι συνδέουν το γεγονός αυτό με μια πρασινοσχιστολιθική φάση μεταμόρφωσης. Ωστόσο, η χρονολόγηση γίνεται στο Μέσο-Ανω Ιουρασικό (Σιδηρόπουλος, 1991), στο Κάτω Κρητιδικό (Sakellariou, 1989) ή και στο Τριτογενές (Neofotistos, 2020).

Το παραμορφωτικό γεγονός D6 αφορά πλαστικές-θραυσιγενείς συνθήκες και συνδέεται με μια χαμηλού βαθμού πρασινοσχιστολιθική φάση μεταμόρφωσης (Sakellariou, 1989, Σιδηρόπουλος, 1991; Neofotistos, 2020).

Η Σερβομακεδονική μάζα με τις Ενότητες Βερτίσκου και Κερδυλλίων έχει μια πολύπλοκη μεταμορφική ιστορία και η χρονολόγηση των μεταμορφικών αυτών επεισοδίων δεν φαίνεται να είναι ικανοποιητική μέχρι σήμερα. Αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι η εκλογιτική φάση μεταμόρφωσης που αναφέρεται ως η πρώτη μεταμόρφωση, ενώ θεωρείται ότι είναι προ-Μεσοζωϊκή, σε πρόσφατη εργασία αναφέρεται ότι είναι Μεσοζωϊκής ηλικίας (Kydonakis et al., 2015).

Γίνεται αντιληπτό, ότι αυτή η μεγάλη διαφορά στο γεωλογικό χρόνο μας αναγκάζει να τοποθετήσουμε τα παραμορφωτικά αυτά γεγονότα με βάση τα μεταμορφικά επεισόδια και αυτό έχει οδηγήσει σε διαφορετικά μοντέλα και ερμηνείες εξέλιξης δείχνοντας πάντα το γενικότερο πρόβλημα του χρονικού προσδιορισμού της μεταμόρφωσης των πετρωμάτων, η οποία σε συνδυασμό με την ύπαρξη δύο ορογενετικών φάσεων, της Κιμμερικής στο Μεσοζωϊκό και της Αλπικής στο Τριτογενές καθιστούν το πρόβλημα ακανθώδες.

Ένα επιπρόσθετο πρόβλημα είναι ότι στην παρούσα έρευνα δεν βρέθηκε ισχυρή διάτμηση προς τα BA, όπως αναφέρουν οι Kilias et al. (1999) και Kydonakis (2015) και την οποία χρονολογούν στο Κρητιδικό-Τριτογενές (πριν από τους γρανίτες της Σιθωνίας και Ουρανούπολης) ο πρώτος και στο Κρητιδικό ο δεύτερος. Μάλιστα, την συνδέουν με μια εκταφική εκτατική διεργασία, η οποία κατά τον Kydonakis et al. (2015) ακολουθεί χρονικά μια προς τα ΝΔ κίνηση των μαζών, την οποία συνδέει με διεργασίες υποβύθισης. Τέτοια διατμητική κίνηση προς τα BA αναφέρεται από τους Tranos et al. (1993) για το γρανίτη της Σιθωνίας που τοποθετείται στο όριο της Σερβομακεδονικής με την Περιροδοπική ζώνη δηλαδή σε ανώτερο τεκτονικό επίπεδο. Έτσι, πιθανά η απουσία παρατήρησης της κίνησης αυτής στην περιοχή έρευνας της παρούσας διατριβής να οφείλεται στο ότι η περιοχή βρίσκεται σε βαθύτερο τεκτονικό επίπεδο που δεν έχει επηρεαστεί από την εκταφική αυτή εκτατική διεργασία.

Φαίνεται ότι, κομβικής σημασίας είναι η χρονολόγηση του D3 γεγονότος το οποίο περιλαμβάνει συνθήκες από χαμηλή αμφιβολιτική έως υψηλή πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση, αλλά και του D4 γεγονός το οποίο είναι σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής φάσης μεταμόρφωσης. Εντοπίζεται δηλαδή μεταξύ τους μια μεταμόρφωση όπου η πίεση μολονότι υψηλή, μειώνεται με αργό ρυθμό σε σχέση με τη θερμοκρασία και σίγουρα ο ρυθμός πτώσης της πίεσης είναι πολύ μικρότερος από αυτόν που συμβαίνει κατά το στάδιο μετάβασης από την εκλογιτική στην υψηλή αμφιβολιτική φάση μεταμόρφωσης.

139

Την υψηλή αμφιβολιτική την έχουμε συνδέσει με το D2 γεγονός και έτσι το στάδιο από την εκλογιτική ως την υψηλή αμφιβολιτική θα πρέπει να αφορά σίγουρα την παραμόρφωση πριν το D2 παραμορφωτικό γεγονός ή το D2 να είναι η κατάληξη αυτού του μεταμορφικού σταδίου. Έτσι, η μιγματιτίωση και ανάτηξη που εμφανίζουν τα πετρώματα της Ενότητας Κερδυλλίων μπορούν να εξηγηθούν με την πτώση της πίεσης που έχει συμβεί αφού και οι δύο ενότητες παραμορφώνονται από κοινού από το D2 γεγονός. Δηλαδή, η σύνδεση της Ενότητας Βερτίσκου με την Ενότητα Κερδυλλίων κατά το D2 γεγονός συνδέεται με την μιγματιτίωση και μερική ανάτηξη, η οποία αποδίδεται σε απότομη αποσυμπίεση της περιοχής. Δυστυχώς, δεν κατέστει δυνατόν να προσδιοριστεί η σχετική φορά μετατόπισης των μαζών κατά το D2, λόγω του μεταγενέστερου D3 γεγονότος. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι ότι το D2 αναγνωρίζεται στην παρούσα μελέτη και στα πετρώματα του Συμπλέγματος Θερμών-Βόλβης-Γοματίου δείχνοντας ότι τόσο οι δύο ενότητες της Σερβομακεδονικής μάζας, αλλά και το ωκεάνιο τμήμα του Συμπλέγματος Θερμών-Βόλβης-Γοματίου έχουν έρθει σε επαφή χρονικά κατά αυτό το γεγονός.

Το D3 παραμορφωτικό γεγονός προσδιορίζει μια έντονη, αλλά γενική ισοκλινής χαρτογραφικής κλίμακας πτύχωση που είναι κοινή στα πετρώματα των δύο ενοτήτων της Σερβομακεδονικής μάζας, αλλά και των πετρωμάτων του Συμπλέγματος Θερμών-Βόλβης-Γοματίου, η οποία φαίνεται να αφορά το τελευταίο στάδιο του ορογενετικού κύκλου σύγκλισης-σύγκρουσης που περιλαμβάνει τα D1, D2 και D3 γεγονότα και φαίνεται να συντελείται στο Κάτω Μεσοζωϊκό.

Το D4 γεγονός με την γενική διάτμηση προς τα NΔ φαίνεται να συνδέεται με μια αργή και σταθερή άνοδο της περιοχής που σχετίζεται με μια ζώνη υποβύθισης από τους Kydonakis et al. (2015) την οποία χρονολογούν στο Κρητιδικό. Η ζώνη υποβύθισης κατά αυτούς κλίνει προς τα BA και παράλληλα προς αυτήν η Σερβομακεδονική μάζα μαζί με το ωκεάνιο τμήμα Θερμών-Βόλβης-Γοματίου εξωθούνται προς τα NΔ. Έτσι, η διάτμηση αυτή συνδέεται με μια συμπιεστική καλυμματική τεκτονική, όπου το υπερκείμενο κινείται προς τα NΔ, παρόμοια σε κίνηση με την διατμητική ζώνη του Νέστου (Nagel et al., 2011). Ωστόσο, σήμερα τόσο η επαφή, όσο και τα πετρώματα κλίνουν στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής προς τα NΔ δείχνοντας μια σχετική κίνηση του υπερκείμενου προς τα κάτω (προς NΔ), γεγονός που πρέπει να οφείλεται στην επίδραση της μεταγενέστερης D5 πτύχωσης.

Εάν αυτή η ζώνη υποβύθισης αποδοθεί στον ορογενετικό κύκλο που αναφέραμε για το D2 και D3 γεγονός, τότε θα πρέπει να αποτελεί την παραπέρα εξώθηση των μαζών προς τα πάνω κατά το D4 και άρα θα αφορά την συνέχεια της εξέλιξης της περιοχής μετά την ορογένεση του Κάτω Μεσοζωϊκού, αφήνοντας την περιοχή να παραμένει σε βάθη που αντιστοιχούν στην πρασινοσχιστολιθική φάση από το Κρητιδικό μέχρι και το Ηώκαινο-Ολιγόκαινο, όπου έχουμε τη διείσδυση στη Σερβομακεδονική μάζα των πλουτωνικών σωμάτων Σιθωνίας, Ουρανούπολης, Γρηγορίου και Ιερισσού (Pe-Piper and Piper, 2002). Εάν αυτό ισχύει, τότε καθ΄ όλη τη διάρκεια του Κρητιδικού η περιοχή παραμένει στην πρασινοσχιστολιθική φάση μεταμόρφωσης και αντιβαίνει στην εκταφική άνοδο προς την επιφάνεια της Γης με έκταση που προτείνουν οι Kilias et al. (1999) και Kydonakis et al. (2015) ή αλλιώς δείχνουν ότι η άνοδος αυτή θα πρέπει να ήταν πάρα πολύ αργή και σίγουρα αφορούσε ανώτερους τεκτονικούς ορίζοντες και όχι αυτόν της περιοχής μελέτης αφού σ' αυτήν δεν έχει αποτυπωθεί η προς τα ΒΑ κίνηση. Αντίθετα, εάν θεωρήσουμε ότι η ζώνη υποβύθισης είναι αυτή της Απουλίας, η οποία στο Τριτογενές βρίσκεται στο χώρο των Κυκλάδων (Ring et al., 2010; Flansburg et al., 2019; Poulaki et al., 2019), τότε η κίνηση προς τα ΝΔ γίνεται νεότερη και τοποθετείται στο Άνω Κρητιδικό-Ηώκαινο, ενώ η εκταφική άνοδος προς τα BA τοποθετείται στο Ηώκαινο με την τοποθέτηση του γρανίτη της Σιθωνίας και της Ουρανούπολης που είναι συντεκτονικοί προς τη διάτμηση και κίνηση του υπερκείμενου προς τα BA (Tranos et al., 1993; Kilias et al., 1999).

Η χρονολόγηση αυτή φαίνεται να ταιριάζει περισσότερο αφού μ' αυτήν αποφεύγεται το μεγάλο χρονικό κενό του Κρητιδικού και η χρονική απόσταση ανάμεσα στο D4 και D5 παραμορφωτικό γεγονός, αλλά επιπλέον γίνεται πληρέστερη και η πλαστική παραμόρφωση του Κρητιδικού-Τριτογενούς που δεν αφορά τώρα μόνο τις πτυχές του D5 γεγονότος, αλλά συμπεριλαμβάνει και άλλες ουσιώδεις προς την ορογένεση τεκτονικές δομές όπως είναι π.χ. οι σμικρυντικές διατμητικές ζώνες. Παραταύτα, το πρόβλημα παραμένει και φαίνεται ότι χρειάζεται επιπλέον διερεύνηση που να στοχεύει στην χρονολόγηση των μεταμορφικών επεισοδίων.

Τέλος, το D6 παραμορφωτικό γεγονός φαίνεται να αφορά τις υστερο-ορογενετικές διεργασίες και χρονολογείται από συσχετισμό με παρόμοιες δομές μετά το Ηώκαινο και πριν το Άνω Μειόκαινο (Tranos et al., 1999, 2009; Georgiadis et al., 2007; Tranos, 2011).

141

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

9.1 Φασματοσκοπία με Φθορισμό των Ακτίνων Χ (XRF)

9.1.1. Μεθοδολογία

Για την ανάλυση των δειγμάτων με την μέθοδο της Φασματοσκοπίας Φθορισμού Ακτίνων X (XRF) πραγματοποιήθηκε η κατάλληλη προετοιμασία των δειγμάτων έτσι ώστε να κατασκευαστούν υαλοποιημένα δισκία (fused beads).

Ειδικότερα, τα δείγματα κονιορτοποιήθηκαν και μετατράπηκαν σε σκόνη. Στην συνέχεια, μετά από την προσθήκη ειδικών αντιδραστηρίων (συνήθως βορικές ενώσεις του Li) τα δείγματα υπόκεινται σε τήξη σε θερμοκρασίες 1100° – 1200°C σε ειδικές συσκευές από όπου και κατασκευάζεται ένα ομογενές υαλοποιημένο δισκίο.



Σχήμα 9.1: Σκαρίφημα με την πορεία κατασκευής υαλοποιημένων δισκίων (fused beads) για την ανάλυση με Φασματοσκοπία με Φθορισμό των Ακτίνων X (XRF).

Οι αναλύσεις των δειγμάτων – υαλοποιημένων δισκίων έγιναν σε φασματόμετρο μήκους κύματος φθορισμού ακτίνων-Χ, τύπου S4-Pioneer (Bruker-AMS, Deutschland) στο Διατμηματικό Εργαστήριο της Σχολής Θετικών Επιστημών του

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

Α.Π.Θ. Το φασματόμετρο χρησιμοποιεί λυχνία Rh, σύστημα 5 κρυστάλλων: LIF200, LIF220, LIF420, XS-55 και PET και δύο ανιχνευτές: έναν ανιχνευτή ροής αερίου (gas proportional counter) και έναν ανιχνευτή σπινθήρων (scintillation counter). Ο ανιχνευτής αερίου χρησιμοποιεί αέριο P10 που είναι μίγμα αερίων 90% αργό και 10% μεθάνιο. Τα κύρια στοιχεία υπό μορφή οξειδίων (Si, Ti, Al, Fe Mn, Mg, Ca, K, Na, P) αναλύθηκαν στα υαλοποιημένα δισκία σε συνθήκες λειτουργίας 60kV και 45mA. Για τη βαθμονόμηση του φασματόμετρου χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω πρότυπα: GSN (γρανίτης), MAN (γρανίτης), JG-2 (γρανίτης), RGM-1 (ρυόλιθος), JR-1 (ρυόλιθος), JG-3 (γρανοδιορίτης), ACE (γρανίτης), G2 (γρανίτης).

Για τη γεωχημική μελέτη των πετρωμάτων πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις σε 15 δείγματα για τον προσδιορισμό των κύριων στοιχείων τους με την μέθοδο XRF. Οι θέσεις των δειγμάτων δίνονται στο σχ.9.2 ενώ τα αποτελέσματά τους παρουσιάζονται στον πίνακα 9.1.

Η αναζήτηση της όρθο- ή πάρα- προέλευσης των πετρωμάτων της περιοχής είναι ένα θέμα το οποίο έχει απασχολήσει έντονα (Kockel et al., 1977; Sakellariou, 1989; Kούρου, 1991; Σιδηρόπουλος, 1991; Himmerkus et. al., 2006; Himmerkus et al., 2009a), ενώ η περιοχή με την έντονη πολυπλοκότητα, ποικιλομορφία και μεταμορφική ιστορία των πετρωμάτων της καθιστά δύσκολη την επίλυσή του. Τα πετρώματα της Ενότητας Βερτίσκου και Κερδυλλίων αρχικά περιγράφονται ως παρα-προέλευσης και ειδικότερα ως μία σειρά γραουβάκων (Kockel et al., 1977; Sakellariou, 1989) ενώ μία πάρα-προέλευση για τα πετρώματα του Βερτίσκου αναφέρεται και από την Κούρου (1991) και τον Σιδηρόπουλο (1991). Αντίθετα οι Himmerkus et. al. (2006) και Ηimmerkus et al. (2009a) αναφέρουν για τα πετρώματα της Ενότητας Βερτίσκου ότι αποτελούν μια ακολουθία ορθο-γνευσίων, αποτέλεσμα ενός ηπειρωτικού μαγματικού τόξου.
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ



Σχήμα 9.2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας όπου αποτυπώνονται οι θέσεις των δειγμάτων στα οποία πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις.

Πίνακας 9.1: Αποτελέσματα των αναλύσεων των κύριων χημικών στοιχείων που πραγματοποιήθηκαν με την μέθοδο Φασματοσκοπίας με Φθορισμό των Ακτίνων X (XRF).

Δείγμα (wt%)	SH02		SH	103	SHO	6	SHO	9
	Διμαρμαρυγιακός γνεύσιος		Μιγματίτης		Γρανίτης		Πυριγενές	
	wt%	Niggli	wt%	Niggli	wt%	Niggli	wt%	Niggli
SiO ₂	66,13	278,41	49,68	126,53	67,29	389,22	46,99	114,22
TiO ₂	0,72	2,28	0,43	0,83	0,43	1,87	0,99	1,80
Al ₂ O ₃	16,02	39,74	15,58	23,38	12,45	42,44	19,83	28,41
Fe ₂ O ₃	5,66		12,25		2,85		7,29	
MnO	0,08		0,18		0,03		0,13	
MgO	2,26	0,44	3,77	0,37	0,23	0,14	5,72	0,60
CaO	1,33		2,40		0,33		11,54	
Na ₂ O	3,25		8,74		4,14		2,78	
K ₂ O	3,22	0,39	6,36	0,32	4,82	0,43	0,43	0,09
P2O5	0,14		0,37		0,08		0,11	
SUM	98,79		99,75		92,64		95,80	

Πίνακας 9.1: συνέχεια

Δείγμα (wt%)	SH11 Διμαραμρυγιακός γνεύσιος		SH12 Διμαραμρυγιακός γνεύσιος		SK05 Μιγματίτης		SK07 Βιοτιτικός γνεύσιος	
	wt%	Niggli	wt%	Niggli	wt%	Niggli	wt%	Niggli
SiO ₂	46,40	109,54	70,06	319,69	65,09	259,59	62,18	241,26
TiO ₂	1,71	3,03	0,95	3,27	0,82	2,45	0,81	2,37
Al ₂ O ₃	15,56	21,65	12,73	34,23	13,56	31,87	14,79	33,82
Fe ₂ O ₃	11,51		6,21		6,13		6,81	
MnO	0,15		0,06		0,07		0,12	
MgO	7,23	0,55	2,54	0,45	3,54	0,53	2,99	0,46
CaO	10,08		1,65		2,64		4,01	
Na ₂ O	2,73		2,42		2,35		1,47	
K ₂ O	0,28	0,06	2,82	0,43	3,16	0,47	2,59	0,54
P ₂ O ₅	0,14		0,22		0,13		0,13	
SUM	95,78		99,65		97,50		95,90	

Δείγμα (wt%)	SK09		SK10		SK11		SK16	
	Μεταγάββρος – Μαζώδης αμφιβολίτης		Βιοτιτικός γνεύσιος		Αμφιβολιτικός γνεύσιος		Γρανατούχος βιοτιτικός γνεύσιος	
	wt%	Niggli	wt%	Niggli	wt%	Niggli	wt%	Niggli
SiO ₂	53,30	166,77	60,16	222,63	62,93	245,82	62,03	251,81
TiO ₂	0,46	1,09	0,85	2,36	0,83	0,44	0,83	2,55
Al ₂ O ₃	8,58	15,81	14,94	32,58	14,65	33,72	14,19	33,94
Fe ₂ O ₃	4,95		7,45		7,06		6,81	
MnO	0,23		0,11		0,07		0,14	
MgO	1,40	0,35	3,38	0,47	3,29	0,48	3,09	0,47
CaO	18,20		4,01		2,86		3,00	
Na ₂ O	0,43		1,36		1,53		1,59	
K ₂ O	1,54	0,70	2,93	0,59	3,37	0,59	2,61	0,52
P ₂ O ₅	0,09		0,16		0,12		0,15	
SUM	89,18		95,35		96,71		94,44	

Πίνακας 9.1: συνέχεια

Πίνακας 9.1: συνέχεια

Δείγμα (wt%)	SK18 Βιοτιτικός γνεύσιος		SK	19	SK20 Βιοτιτικός γνεύσιος	
			Βιοτιτικός – αμφιβο	ολιτικός γνεύσιος		
	wt%	Niggli	wt%	Niggli	wt%	Niggli
SiO ₂	62,40	181,06	67,26	241,80	63,28	202,26
TiO ₂	0,46	1,01	0,44	1,18	0,64	1,55
Al ₂ O ₃	8,97	15,34	7,78	16,48	10,68	20,12
Fe ₂ O ₃	7,15		5,45		6,37	
MnO	0,14		0,15		0,16	
MgO	10,90	0,75	8,18	0,74	6,90	0,68
CaO	4,76		5,66		7,45	
Na ₂ O	0,74		0,65		1,63	
K ₂ O	2,53	0,69	0,16	0,14	0,35	0,12
P ₂ O ₅	0,10		0,09		0,11	
SUM	98,15		95,83		97,57	

9.1.2. Αναζήτηση πρωτολίθων των δειγμάτων

Ο προσδιορισμός των πρωτολίθων σε μεταμορφωμένα πετρώματα και ειδικά σε αυτά με μακρόχρονες και πολυμεταμορφικές διεργασίες χαρακτηρίζεται από μεγάλη δυσκολία. Για των σκοπό αυτό έχουν προταθεί αρκετές μέθοδοι οι οποίες εξετάζουν διαφορετικά κριτήρια, αλλά σε κάθε περίπτωση χωρίς κάποια από αυτές να αποτελεί απόλυτα ασφαλής, για τον διαχωρισμό που προτείνει. Μια συνδυαστική εξέταση των δειγμάτων μέσα από πολλές μεθόδους, σε αντιπαραβολή πάντα με τα γεωλογικά κριτήρια φαίνεται να αποτελεί την πιο ασφαλή επιλογή.

Με την εφαρμογή μιας διαχωριστικής συνάρτησης (discriminant function) η οποία στηρίζεται στην αναλογία των οξειδίων ο Shaw (1972) μελετά την προέλευση των

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

πετρωμάτων. Ειδικότερα εφαρμόζοντας την συνάρτηση DF (1) περιγράφει ότι οι θετικές τιμές αποτελούν ένδειξη μίας πυριγενούς προέλευσης του πετρώματος ενώ αντίθετα, αρνητικές τιμές του DF αποτελούν ένδειξη μιας ιζηματογενούς προέλευσης του πετρώματος, ενώ όπως αναφέρει τιμές οι οποίες βρίσκονται μεταξύ -0,29 και +0,29 πιθανόν να μην αποτελούν σωστή ταξινόμηση.

(1)
$$DF = 10,44 - 0,21S1O_2 - 0,32Fe_2O_3 - 0,98MgO + 0,55CaO + 1,46Na_2O + 0,54K_2O$$

Εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία αυτή για τα δείγματα της περιοχής έρευνας (Σχ. 9.3) παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο πλήθος αυτών (11 δείγματα) δίνουν αρνητικές τιμές DF και εντάσσονται στο πεδίων των ιζηματογενών, δύο εκ των οποίων βρίσκονται κοντά στο όριο των δύο πεδίων και τέσσερα από τα δείγματα να κατατάσσονται στο πεδίο των πυριγενών πετρωμάτων. Η επιλογή των χρωμάτων (ιζηματογενή-πράσινα, πυριγενή-πορτοκαλί) σύμφωνα με την διαφοροποίηση που προέκυψε για τα δείγματα από την εφαρμογή της μεθόδου Shaw (1972), διατηρείται και στα επόμενα διαγράμματα έτσι ώστε να γίνεται μια καλύτερη σύγκριση μεταξύ τους.

Παρατηρώντας το σχ.9.4 και αντιπαραβάλλοντας τα αποτελέσματα αυτά με τις υπαίθριες παρατηρήσεις διαπιστώνουμε όντος ότι τα δείγματα SH06, SH09 και SK09 έχουν πυριγενή προέλευση. Το δείγμα SH03, για το οποίο προκύπτει ένας ισχυρός πυριγενής χαρακτήρας (Σχ. 9.3) προέρχεται από έναν μιγματίτη. Το αποτέλεσμα αυτό πιθανόν να οφείλεται στην έντονη ανάτηξη που έχει υποστεί το πέτρωμα με αποτέλεσμα την απώλεια των αρχικών ιζηματογενών χαρακτηριστικών του πετρώματος, από το οποίο προέκυψε. Αντίθετα, το δείγμα SK05 το οποίο προέρχεται επίσης από έναν μιγματίτη εμφανίζεται στο ιζηματογενές πεδίο. Η διττή αυτή συμπεριφορά μπορεί να θεωρηθεί αναμενόμενη λόγω την έντονης ανομοιογένειας την οποία παρουσιάζουν οι μιγματίτες. Αν το δείγμα προέρχεται από τα λευκοσώματα τότε επικρατεί ο πυριγενής χαρακτήρας ενώ αν προέρχεται από τα μελανοσώματα, επικρατεί η ιζηματογενή προέλευση του πετρώματος. Τέλος, τα δείγματα SH02 και SH11 δείχνουν μια μικτή προέλευση πυριγενή και ιζηματογενή.

Για όλα τα υπόλοιπα πετρώματα τα οποία προέρχονται από τους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους της Ενότητας Βερτίσκου και από τους βιοτιτικούς και αμφιβολιτιτκούς γνευσίους της Εντότητας Κερδυλλίων προκύπτει μια ιζηματογενής προέλευση η οποία βρίσκεται σε συμφωνία με τα δεδομένα υπαίθρου αλλά και με τις αναφορές των Kockel et. al. (1977) και του Sakellariou (1989) οι οποίοι με βάση την ορυκτολογική τους

σύσταση περιγράφουν τα πετρώματα αυτά ως παρα-γνεύσιους οι οποίοι προήλθαν από την μεταμόρφωση πηλιτών ή γραουβακών.





Μία άλλη μέθοδος διάκρισης των πετρωμάτων είναι αυτή των Evans and Leake (1960) η οποία χρησιμοποιεί το διάγραμμα si ως προς mg (σε τιμές Niggli), το οποίο χρησιμοποιήθηκε μεταξύ άλλων και από τους Van de Kamp et al. (1976), Van de Kamp and Beakhouse (1979) και Prabhu and Webber (1984).

Και σε αυτό το διάγραμμα (Σχ. 9.4) βλέπουμε ότι κάποια δείγματα δίνουν σαφείς ενδείξεις για την προέλευσή τους, ενώ τα περισσότερα δείγματα βρίσκονται πολύ κοντά στο όριο, με μία τάση προς την ιζηματογενή προέλευση. Ειδικότερα, διακρίνεται καθαρά ότι τα δείγματα SH03, SH06 καιSK09 προβάλλονται στο πεδίο των πετρωμάτων πυριγενούς προέλευσης δείχνοντας αρνητική συσχέτιση μεταξύ Niggli si και mg, όπως προέκυψε και από το προηγούμενο διάγραμμα και τα δεδομένα υπαίθρου. Τα δείγματα SH02, SK07, SK10, SK11 και SK16, αν και προβάλλονται στο πεδίο των πυριγενών, ακολουθούν την ιζηματογενή τάση μαζί με τα δείγματα SH12 και SK05. Το ίδιο ισχύει για τα δείγματα SH11 και SH09 που δείχνουν ιζηματογενή τάση μαζί με τα SK18, SK19 και SK20. (Σχ. 9.4).



Σχήμα 9.4: Διάγραμμα si προς mg (σε τιμές Niggli) με τα πεδία και τις τάσεις όπως έχουν προταθεί από τους Evans and Leake (1960) στο οποίο προβάλλονται οι αναλύσεις των δειγμάτων από την περιοχή έρευνας.

Ένα άλλο διάγραμμα διαχωρισμού πετρωμάτων ιζηματογενής και πυριγενής προέλευσης είναι αυτό του Werner (1987) στο οποίο εξετάζεται η σχέση των P2O5/TiO2 ως προς MgO/CaO. Από την προβολή των αναλύσεων των δειγμάτων από την περιοχή μελέτης (Σχ. 9.5) παρατηρούμε ότι προκύπτει μια σαφή πυριγενής προέλευση, όπως αναμενόταν για τα δείγματα SH03, SH06, SH09 και SK09 όπως προέκυψε και από τα προηγούμενα διαγράμματα. Όλα τα υπόλοιπα δείγματα κατανέμονται στο πεδίο των ιζηματογενών με κάποια από αυτά να είναι πολύ κοντά στο όριο διάκρισης, με χαρακτηριστικό το δείγμα SK10 το οποίο στα προηγούμενα διαγράμματα έδινε έναν σαφή ιζηματογενή χαρακτήρα.



Σχήμα 9.5: Διάγραμμα P₂O₅/TiO₂ ως προς MgO/CaO (Werner, 1987) με την προβολή των δειγμάτων για τον προσδιορισμό της προέλευσής τους.

Για των διαχωρισμό των πετρωμάτων σε πυριγενή και ιζηματογενή οι Leake and Singh (1986) χρησιμοποιούν μια σειρά διαγραμμάτων εξετάζοντας διαφορετικούς συνδυασμούς χημικών στοιχείων σε τιμές Niggli. Στα διαγράμματα αυτά σημειώνονται γνωστές χαρακτηριστικές τάσεις χημικής μεταβολής πυριγενών και ιζηματογενών πετρωμάτων. Ανάλογα με την ιζηματογενή ή πυριγενή προέλευση των πετρωμάτων, εμφανίζονται διαφορετικές τάσεις αν και όπως διακρίνεται, τα πεδία αλληλεπικαλύπτονται μειώνοντας έτσι την διακριτική αξία τους.

Στα διαγράμματα που παρατίθενται εξετάζεται η σχέση του si ως προς το mg, σε τιμές Niggli καθώς όπως επισημαίνεται, υπάρχει μια ισχυρά αρνητική σχέση ανάμεσα στα δύο αυτά στοιχεία στα πυριγενή πετρώματα. Στο πρώτο διάγραμμα αποτυπώνεται ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

η τάση μίας τυπικής πυριγενούς σειράς και ειδικότερα αυτή του βαθύλιθου της Ν. Καλιφόρνιας (Σχ. 9.6α), ενώ προβάλλονται μόνο τα δείγματα για τα οποία θεωρείται μια πυριγενής προέλευση. Αντίστοιχα, στο δεύτερο διάγραμμα (Σχ. 9.6β) αποτυπώνονται τα όρια συστάσεων διαφόρων ιζηματογενών σειρών, ενώ προβάλλονται μόνο τα δείγματα για τα οποία θεωρείται μια ιζηματογενής προέλευση. Συγκρίνοντας αυτά τα δύο διαγράμματα παρατηρούμε μια σημαντική αλληλοεπικάλυψη για τα δύο πεδία, των πυριγενών και ιζηματογενών μειώνοντας αρκετά την διακριτική αξία των διαγραμμάτων αυτών.

Παρόλα αυτά, διαπιστώνουμε ότι στο διάγραμμα των πυριγενών πετρωμάτων (Σχ. 9.6α) παρότι τα δείγματα προβάλλονται στο όριο και εκτός της καμπύλης του βαθύλιθου της Ν. Καλιφόρνιας φαίνεται να παρουσιάζουν μία σχετικά καλή συσχέτιση, παράλληλα σε αυτήν. Αντίθετα στο διάγραμμα των ιζηματογενών πετρωμάτων (Σχ. 9.6β) παρατηρείται μια καλύτερη κατανομή για το μεγαλύτερο πλήθος των δειγμάτων σε σχέση με το τυπικό πεδίο των αρκοζών της Καλιφόρνιας. Αντίθετα προβληματισμό προκαλούν τα δείγματα SK18, SK19 και SK20 τα οποία στα προηγούμενα διαγράμματα έδιναν μια καθαρά ιζηματογενή προέλευση η οποία συμφωνούσε και με την εικόνα υπαίθρου, ενώ από την προβολή τους σε αυτό το διάγραμμα φαίνεται να διαφοροποιούνται.



Σχήμα 9.6: Διαγράμματα si προς mg (σε τιμές Niggli) με τα πεδία και τις τάσεις για
 (α) πυριγενή και (β) ιζηματογενή πετρώματα όπως αυτά έχουν προταθεί
 από τους Leake and Singh (1986) στο οποίο προβάλλονται οι αναλύσεις
 των δειγμάτων από την περιοχή έρευνας.

Το δεύτερο διάγραμμα το οποίο προτείνεται από τους Leake and Singh (1986) εξετάζει στην σχέση της περιεκτικότητας του δείγματος σε P₂O₅ με το mg σε τιμές Niggli (Σχ. 9.7 & Σχ. 9.8). Σύμφωνα με τους συγγραφείς στα πυριγενή πετρώματα υπάρχει μία θετική συσχέτιση των δύο αυτών στοιχείων, δηλαδή μια μείωση στην τιμή του mg θα αντιστοιχεί και σε μία πτώση στην τιμή του P₂O₅ κάτι το οποίο δεν παρατηρείται για τα ιζηματογενή πετρώματα.

Εξετάζοντας το διάγραμμα των Leake and Singh (1986) με την προβολή των δειγμάτων μας από την περιοχή έρευνας τα οποία εμφανίζουν μια πυριγενή προέλευση (Σχ. 9.7) παρατηρούμε ότι, αν και τα δείγματα δεν πέφτουν όλα μέσα στο όριο του πεδίου του βαθύλιθου της Ν. Καλιφόρνιας, τα δείγματα SH06, SH09 και εν μέρη το SK09 εμφανίζουν μια σχετικά θετική συσχέτιση με την καμπύλη του πεδίου αυτού, δείχνοντας μια πιθανή πυριγενή προέλευση.

Από την άλλη, παρατηρώντας το διάγραμμα με την κατανομή για τα ιζηματογενή πετρώματα (Σχ. 9.8) παρατηρούμε ότι τα περισσότερα κατανέμονται εντός των ορίων του πεδίου των αρκοζών της Καλιφόρνιας. Μόνο τα δείγματα SK18 και SK19 αν και προβάλλονται εκτός του πεδίου των αρκοζών, δείχνουν να περιγράφονται καλύτερα από αυτήν δίνοντας μια ιζηματογενή προέλευση, η οποία συμφωνεί και με την εικόνα υπαίθρου.

Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα δύο αυτά διαγράμματα εμφανίζουν μεγάλες περιοχές αλληλοεπικάλυψης μεταξύ του πεδίου των πυριγενών και των ιζηματογενών πετρωμάτων μειώνοντας έτσι αρκετά την διακριτική αξία της μεθοδολογίας αυτής.



Σχήμα 9.7: Διάγραμμα P2O5 προς mg (σε τιμές Niggli) όπου αποτυπώνεται το πεδίο του βαθύλιθου της Νέας Καλιφόρνιας, όπως έχει προταθεί από τους Leake and Singh (1986) στο οποίο προβάλλονται οι αναλύσεις των δειγμάτων από την περιοχή έρευνας.



Σχήμα 9.8: Διάγραμμα P2O5 προς mg (σε τιμές Niggli) όπου αποτυπώνεται το πεδίο αρκοζών της Νέας Καλιφόρνιας, όπως έχει προταθεί από τους Leake and Singh (1986) στο οποίο προβάλλονται οι αναλύσεις των δειγμάτων από την περιοχή έρευνας.

9.1.3. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, από τη χρήση των διαφορετικών διαγραμμάτων για την εξέταση και αναζήτηση της αρχικής προέλευσης των μεταμορφωμένων πετρωμάτων παρατηρούμε ότι υπάρχουν αλληλοκαλύψεις μεταξύ των πεδίων, καθιστώντας αυτές τις μεθόδους όχι ασφαλείς για τη διάκριση της προέλευσης των πετρωμάτων. Μια πιθανή συνδυαστική εξέταση των δειγμάτων μέσα από πολλές μεθόδους, σε αντιπαραβολή πάντα με τα γεωλογικά κριτήρια φαίνεται να αποτελεί την πιο ασφαλή επιλογή. Εν κατακλείδι, από την χρήση συγκεκριμένων διακριτικών διαγραμμάτων για την πάρα- ή ορθο- προέλευση των πετρωμάτων, φαίνεται ότι ο αρχικός χαρακτηρισμός δειγμάτων από την υπαίθρια παρατήρηση ως πυριγενούς προέλευσης επιβεβαιώνεται. Ειδικότερα, για το δείγμα SH06, το οποίο προέρχεται από ένα γρανιτικό σώμα ο πυριγενής του χαρακτήρας φαίνεται σχεδόν σε όλα τα διαγράμματα. Για το δείγμα SK09, το οποίο προέρχεται από τους μεταγάββρους – μαζώδεις αμφιβολίτες, επιβεβαιώνεται η αρχική εκτίμηση για την βασική του προέλευση, η οποία προκύπτει και από τα περισσότερα διαγράμματα ενώ επιπλέον, από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων βλέπουμε ότι παρουσιάζει μεγάλο ποσοστό CaO, με χαμηλό Al2O3 και ενδιάμεσο SiO2.

Αντίθετα υπήρχαν δείγματα τα οποία προέρχονταν από παρόμοια πετρώματα όπως είναι οι μιγματίτες (δείγματα SH03 και SK05) και τα οποία σε πολλά από τα διαγράμματα φαίνεται να δίνουν αντίθετα μεταξύ τους αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, για το δείγμα SH03 συνήθως προκύπτει μια πυριγενής προέλευση ενώ αντίθετα για το δείγμα SK05 μια ιζηματογενή προέλευση. Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, η διττή αυτή συμπεριφορά των δειγμάτων από τους μιγματίτες πιθανόν να οφείλεται στην ανομοιογένεια την οποία παρουσιάζουν οι μιγματίτες σαν πετρώματα. Αντίστοιχη αναφορά δίνεται και από τους Σιδηρόπουλος (1991) και Κούρου (1991) οι οποίοι από γεωχημικές αναλύσεις σε αντίστοιχα μιγματιτικά πετρώματα στην Σερβομακεδονικής Μάζας, λίγο βορειότερα της περιοχής μελέτης αναφέρουν αντίστοιχα αποτελέσματα.

Ειδικότερα, ο Σιδηρόπουλος (1991) αναφέρει ότι στα μιγματιτικά αυτά δείγματα το αποτέλεσμα εξαρτάται από το αν το δείγμα προήλθε από το λευκόσωμα όπου πιθανόν επικρατεί ο πυριγενής χαρακτήρας ή από το μελανόσωμα ή το μεσόσωμα όπου επικρατεί ο ιζηματογενής χαρακτήρας του πετρώματος. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη ότι η ανάτηξη, την οποία έχει υποστεί το πέτρωμα, έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια των αρχικών χαρακτηριστικών του, πόσο μάλλον σε μεταμορφωμένα πετρώματα με μακρόχρονες και πολυμεταμορφικές διεργασίες όπως είναι αυτά της Σερβομακεδονικής Μάζας.

Τέλος, δείγματα από τους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους της Ενότητας Βερτίσκου και τους βιοτιτικούς, βιοτιτικούς - αμφιβολιτικούς γνευσίους της Ενότητας Κερδυλλίων, φαίνεται να παρουσιάζουν ιζηματογενή προέλευσης όπως ήδη έχει περιγραφεί για τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής Μάζας (Kockel et. al., 1977; Sakellariou, 1989; Σιδηρόπουλος, 1991; Κούρου, 1991).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή σε μία προσπάθεια να αποτυπώσει την γεωλογική και τεκτονική δομή της περιοχής έρευνας, βασιζόμενη σε νέα υπαίθρια δεδομένα καταλήγει στα εξής συμπεράσματα:

- Η Ενότητα Κερδυλλίων, η οποία καταλαμβάνει και το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής, περιλαμβάνει τους βιοτιτικούς γνευσίους, τα μάρμαρα και τους ταινιωτούς αμφιβολιτικούς γνευσίους. Στα πετρώματα αυτά, πλην των μαρμάρων, εντοπίστηκαν έντονα φαινόμενα ανάτηξης και μιγματιτίωσης, χαρακτηριστικό της Ενότητας Κερδυλλίων.
- Αντίθετα, η Ενότητα Βερτίσκου περιλαμβάνει μόνο διμαρμαρυγιακούς, μοσχοβιτικούς και γρανατούχους διμαρμαρυγιακούς γνευσίους, οι οποίοι καταλαμβάνουν μικρότερες περιοχές, τεκτονικά υπερκείμενες από τα πετρώματα της Ενότητας Κερδυλλίων και από τα οποία απουσιάζουν τα φαινόμενα ανάτηξης και μιγματιτίωσης.
- Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι τα πετρώματα της Ενότητας
 Βερτίσκου βρίσκονται σε επαφή με διαφορετικά πετρώματα της Ενότητας
 Κερδυλλίων, δείχνοντας έτσι ότι η επαφή είναι μη κανονική επαφή. Σ' αυτό
 συνηγορεί και η παρουσία κατά μήκος της επαφής πετρωμάτων όπως οι
 βιοτιτικοί χαλαζιοαστριούχοι γνεύσιοι οφθαλμογνεύσιοι, οι οποίοι
 συνδέονται με φαινόμενα ανάτηξης και μιγματιτίωσης.
- Επιπλέον, στην περιοχή βρέθηκαν πετρώματα όπως είναι οι έντονα σερπεντινιωμένοι περιδοτίτες και μεταγάββροι μαζώδεις αμφιβολίτες τα οποία ταιριάζουν με τις περιγραφές του Συμπλέγματος Θερμά Βόλβη Γομάτι (Dixon and Dimitriadis, 1984). Τα πετρώματα αυτά εντοπίστηκαν σε επαφή με τα πετρώματα της Ενότητας Κερδυλλίων, ενώ δεν βρέθηκαν σε επαφή με τα πετρώματα της Ενότητας Βερτίσκου. Η επαφή, στο μεγαλύτερο τμήμα της εντοπίζεται καλυμμένη από ιζήματα ή να έχει διαταραχθεί από μεγάλα κανονικά ρήγματα. Παρόλα αυτά, στις λίγες θέσεις που βρέθηκε έχει

επηρεαστεί από μια έντονη ζώνη διάτμησης με κίνηση του υπερκείμενου προς τα ΝΔ.

Τα πετρώματα της Ενότητας Κερδυλλίων στην περιοχή έρευνας εντοπίζονται και δυτικότερα από τα μάρμαρα τα οποία παραδοσιακά αποτελούσαν το όριο μεταξύ των Ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων. Άρα, βάσει της παρούσας εργασίας, το διακριτικό όριο μεταξύ των δύο ενοτήτων δεν είναι η οροφή του ορίζοντα μάρμαρου όπως καθιερώθηκε με τη χαρτογράφηση από τους Kockel et al. (1977), αλλά η εκτεταμένη ανάτηξη και μιγματιτίωση, η οποία εντοπίζεται στα πετρώματα της Ενότητας Κερδυλλίων και στην επαφή με τα πετρώματα της Ενότητας Βερτίσκου, αλλά απουσιάζει από τα τελευταία.

Από την τεκτονική ανάλυση των υπαίθριων δεδομένων που συλλέχθηκαν για την περιοχή έρευνας προσδιορίστηκαν έξι (D1 – D6) παραμορφωτικά γεγονότα:

- Το D1 παραμορφωτικό γεγονός συνδέεται με πτυχωμένα πηγματοειδή σώματα,
 τα οποία επηρεάζονται από το D2, καθιστώντας έτσι αυτά ως προϋπάρχων και
 τα οποία προσδιορίζουν μια αρχική S0-S1 φύλλωση. Το D1 παραμορφωτικό
 γεγονός συνδέεται με μεταμορφικές συνθήκες εκλογιτικού βαθμού και η ηλικία
 του D1 γεγονότος προσδιορίζεται ως προ-Μεσοζωική.
- Το D2 παραμορφωτικό γεγονός χαρακτηρίζεται από πλαστικές συνθήκες παραμόρφωσης και εμφανίζεται συμμεταμορφικό με μια μέσου-υψηλού αμφιβολιτικού βαθμού μεταμόρφωση. Συνδέεται με ισοκλινείς πτυχές οι οποίες εμφανίζονται ενδοφυλλώδεις και χωρίς ρίζα πτυχές. Στο D2 παραμορφωτικό γεγονός, οι Ενότητες Βερτίσκου και Κερδυλλίων έρχονται σε επαφή με αποτέλεσμα την δημιουργία των λευκοσωμάτων, μιγματιτών και των βιοτιτικών χαλαζιοαστριούχων γνευσίων– οφθαλμογνεύσιων. Επιπλέον, το D2 γεγονός χρονολογείται πριν από τη διείσδυση του γρανίτη της Αρναίας κατά το Κάτω Μεσοζωϊκό.
- Το D3 παραμορφωτικό γεγονός αποτελεί το κύριο γεγονός για την περιοχή έρευνας. Συνδέεται με μία χαμηλού αμφιβολιτικού έως υψηλού

πρασινοσχιστολιθικού βαθμού μεταμόρφωση, την ανάπτυξη της κύριας S3 φύλλωσης, των χαρτογραφικής κλίμακας ισοκλινών F3 πτυχών BΔ-NA διεύθυνσης και μιας παράλληλης στους άξονες των πτυχών αυτών γράμμωσης L3 και συνδέεται με το τελευταίο στάδιο του ορογενετικού κύκλου σύγκλισηςσύγκρουσης που περιλαμβάνει τα D1, D2 και D3 γεγονότα και φαίνεται να συντελείται στο Κάτω Μεσοζωϊκό.

- Το D4 παραμορφωτικό γεγονός συνδέεται με μία πρασινοσχιστολιθικού βαθμού μεταμόρφωση και συμπεριλαμβάνει μια έντονη διάτμηση με την ανάπτυξη μυλωνιτικής φύλλωσης S4, παράλληλη στη φύλλωση S3 και μια γράμμωση τάνυσης έκτασης L4 σε BA-NΔ διεύθυνση, η οποία είναι και η επικρατούσα γράμμωση στα πετρώματα. Η γενική αυτή διάτμηση έχει φορά με το υπερκείμενο προς τα NΔ, ενώ σε μεσοκλίμακα σχηματίζονται θηκόμορφες (sheath) πτυχές παράλληλες προς την L4. Η ηλικία του D4 χρονολογείται στο Κρητιδικό.
- Το D5 παραμορφωτικό γεγονός συνδέεται με πρασινοσχιστολιθικού βαθμού μεταμόρφωση προ-συν-Ηωκαινικής ηλικίας. Είναι αποτέλεσμα μιας ABA ΔΝΔ συμπίεσης με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ασύμμετρων, BBΔ NNA διεύθυνσης πτυχών, της S5 αραιής φύλλωσης και της γράμμωσης L5, ενώ είναι το πρώτο γεγονός που φαίνεται να επηρεάζει τα γρανιτικά σώματα της Ορέσκειας, Φλαμουρίου και Μαυρούδας.
- Το τελευταίο, D6 γεγονός είναι χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης και συνδέεται με μία B-N συμπίεση αποτέλεσμα της οποίας ήταν η δημιουργία ανοικτών πτυχών και πτυχών τύπου kink, με άξονες διεύθυνσης A Δ, της σχιστότητας ρυτίδωσης S6 (crenulation cleavage), της γράμμωσης L6 αλλά και ανάστροφων ρηγμάτων BΔ έως και BBΔ κατεύθυνσης. Η ηλικία του χρονολογείται μετά το Ηώκαινο και πριν το Άνω Μειόκαινο.

Τέλος από γεωχημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα της περιοχής με την μέθοδο της Φασματοσκοπίας Φθορισμού Ακτίνων X (XRF) προέκυψε ότι για τα μιγματιτικά πετρώματα θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη ότι λόγω της ανάτηξης που έχουν υποστεί και κατά συνέπεια της απώλειας των αρχικών χαρακτηριστικών τους δεν προσφέρουν ασφαλή γεωχημικά αποτελέσματα.

Επιπλέον, οι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι της Ενότητας Βερτίσκου και οι βιοτιτικοί, βιοτιτικοί - αμφιβολιτικοί γνεύσιοι της Ενότητας Κερδυλλίων, παρουσιάζουν ιζηματογενή προέλευση όπως ήδη έχει περιγραφεί για τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας (Kockel et. al., 1977; Sakellariou, 1989; Σιδηρόπουλος, 1991; Κούρου, 1991). Επιπλέον, για τα μιγματιτικά πετρώματα θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη ότι λόγω της ανάτηξης που έχουν υποστεί και της απώλειας των αρχικών χαρακτηριστικών τους να μην προσφέρουν γεωχημικά ασφαλή αποτελέσματα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιοχή έρευνας εντοπίζεται στη βόρεια Ελλάδα και περιλαμβάνει τους ορεινούς όγκους Βερτίσκου και Κερδύλιον, βόρεια της λίμνης Βόλβης. Γεωτεκτονικά εντοπίζεται στην Σερβομακεδονική μάζα της Ελληνικής Ενδοχώρας και ειδικότερα στην περιοχή όπου διέρχεται των όριο των δύο ενοτήτων της, Ενότητες Βερτίσκου και Κερδυλλίων. Τις τελευταίες δεκαετίες γίνεται μια προσπάθεια σε αναθεώρηση του χώρου της Ελληνικής Ενδοχώρας βασιζόμενη σε εργαστηριακά αποτελέσματα όπως γεωχημικές αναλύσεις, ραδιοχρονολογήσεις κ.ά. ενώ η κλασική γεωλογία πεδίου φαίνεται ως ακόλουθος αυτής της προσπάθειας. Έτσι σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να συμβάλλει στην προσπάθεια αυτή με την παρουσίαση μιας λεπτομερούς γεωλογικής καταγραφής υπαίθρου και τεκτονικής ανάλυσης που να συγκεντρώνει τα μεσοσκοπικής και χαρτογραφικής κλίμακας τεκτονικά στοιχεία της περιοχής που ως αποτέλεσμα είχε την αναθεώρηση και ερμηνεία κάποιων χαρτογραφικών μονάδων. Η περιοχή αποτελείται από βιοτιτικούς γνευσίους και μάρμαρα τα οποία αρχικά συνιστούσαν την Ενότητα Κερδυλλίων και από διμαρμαρυγιακούς και βιοτιτικούς γνευσίους που αποτελούσαν την Ενότητα Βερτίσκου τα οποία αρχικά θεωρήθηκαν ότι βρίσκονται σε κανονική επαφή μεταξύ τους. Εντός των πετρωμάτων αυτών περιγράφονταν αμφιβολίτες και υπερβασικά πετρώματα ενώ συνυπολογίζοντας και την έντονη τεκτονική που τα έχει επηρεάσει, γεωλογικά η περιοχή και ο προσδιορισμός της φύσης του ορίου μεταξύ των δύο ενοτήτων καθιστάτε έντονα πολύπλοκη.

Από τις εργασίες της παρούσας διδακτορικής διατριβής εντοπίστηκαν οι βιοτιτικοί γνεύσιοι μαζί με τα μάρμαρα και τους ταινιωτούς αμφιβολιτικούς γνευσίους, οι οποίοι αποτελούν την Ενότητα Κερδυλλίων, να εναλλάσσονται. Ενώ διμαρμαρυγιακοί, μοσχοβιτικοί και γρανατούχοι διμαρμαρυγιακοί γνεύσιοι που εντοπίστηκαν στην περιοχή αποτελούν την Ενότητα Βερτίσκου. Οι βιοτιτικοί και ταινιωτοί αμφιβολιτικοί γνεύσιοι εμφανίζουν έντονες εικόνες ανάτηξης και μιγματιτίωσης σχηματίζοντας λευκοσώματα, χαλαζιοαστριούχους αλλά και ταινιωτούς γνευσίους. Οι εικόνες αυτές γίνονται εντονότερες πλησιάζοντας προς τις επαφές των δύο ενοτήτων ενώ απουσιάζουν από τους διμαρμαριγιακούς γνευσίους. Τα ανατηκτικά αυτά πετρώματα συσχετίζονται, με αυτά όπως έχουν περιγραφή στην ενότητα Αμμουλιανής, λόγω όμως της μη συνεχής εμφάνισής τους κατά μήκος όλης της επαφής των δύο ενοτήτων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

εντάσσονται στην Ενότητα Κερδυλλίων. Επιπλέον, υπερμαφικά πετρώματα και μεταγάββροι – μαζώδεις αμφιβολίτες εντοπίστηκαν στην περιοχή και συνδέονται με το σύμπλεγμα Θερμά – Βόλβη – Γομάτι, το οποίο αποτελεί τμήμα ενός ωκεάνιου φλοιού.

Από την τεκτονική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην περιογή διακρίθηκαν έξι παραμορφωτικά γεγονότα. Το πρώτο, D1 παραμορφωτικό γεγονός διακρίνεται πολύ δύσκολα στην περιοχή και εντοπίζεται ως μια αρχική φύλλωση η οποία αποτυπώνεται από τις πηγματοειδείς φλέβες που παρατηρούνται στην περιοχή. Το γεγονός αυτό, συνδυαστικά και με βιβλιογραφικά δεδομένα συνδέθηκε με μία εκλογιτικού βαθμού μεταμόρφωση και η ηλικία του προσδιορίζεται ως προ-Μεσοζωική. Το δεύτερο παραμορφωτικό γεγονός D2 αποτυπώνεται στην περιοχή με ισοκλινής, ενδοφυλλώδης και αποκομμένες πτυχές. Συνδέεται με την ένωση των Ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων, την ανάτηξη και μιγματιτίωση που παρατηρείται στα πετρώματα της περιοχής και κατά μήκος της επαφής των δύο ενοτήτων αλλά και με την τοποθέτηση του ωκεάνιου τμήματος του Συμπλέγματος Θερμών-Βόλβης-Γοματίου. Το D2 συνδέεται με ένα συμμεταμορφωκό από υψηλού – μέσου αμφιβολιτικού βαθμού μεταμόρφωση και η ηλικία του υπολογίζεται στο Κάτω Μεσοζωικό. Το επόμενο, D3 γεγονός, συνδέεται στην περιοχή με την ανάπτυξη της κύριας S3 φύλλωσης, ισοκλινών χαρτογραφικής κλίμακας F3 πτυχών BΔ-NA διεύθυνσης και μιας παράλληλης στους άξονες των πτυχών αυτών γράμμωσης L3. Το D3 συνδέεται με ένα συμμεταμορφωκό γεγονός, χαμηλού αμφιβολιτικού έως υψηλού πρασινοσχιστολιθικού βαθμού μεταμόρφωση και χρονολογείται στο Κάτω Μεσοζωικό. Το D4 γεγονός περιλαμβάνεται μια έντονη διάτμηση με την ανάπτυξη μυλονιτικής φύλλωσης S4, παράλληλη στη φύλλωση S3, και μια γράμμωση τάνυσης έκτασης L4 σε BA-NA διεύθυνση, η οποία καθίσταται η επικρατούσα γράμμωση στα πετρώματα. Η γενική αυτή διάτμηση έχει φορά με το υπερκείμενο προς τα ΝΔ, ενώ σε μεσοκλίμακα σγηματίζονται F4 sheath πτυχές παράλληλες προς την L4. Το D4 συνδέεται με ένα συμμεταμορφωκό γεγονός, πρασινοσχιστολιθικού βαθμού μεταμόρφωση και χρονολογείται στο Κρητιδικό. Στην συνέχεια στην περιοχή ακολούθησαν δύο ακόμα παραμορφωτικά γεγονότα, ασθενέστερα από τα προηγούμενα. Το D5 γεγονός συνδέεται με ασύμμετρες κλειστές πτυχές BBΔ – NNA διεύθυνσης οι οποίες επαναπτυχώνουν της προηγούμενες δομές. Το D5 συνδέεται με πρασινοσχιστολιθικού βαθμού μεταμόρφωση και η ηλικία του υπολογίζεται ως προ συν- Ηωκαινική. Το D6 παραμορφωτικό γεγονός έγινε σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής

μεταμόρφωσης και συνδέεται με τις ανοικτές πτυχές που παρατηρούνται στην περιοχή, με την ηλικία του να υπολογίζεται μετά το Ηώκαινο έως και πριν το Άνω Μειόκαινο.

Από τις γεωχημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν σε πετρώματα της ενότητας Βερτίσκου και Κερδυλλίων προέκυψε μία ιζηματογενής προέλευση για αυτά, ενώ παρατηρήθηκε ότι η μιγματιτίωση και ανάτηξη, την οποία έχουν υποστεί κάποια από τα πέτρωμα, έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια των αρχικών χαρακτηριστικών τους με επακόλουθο να εμφανίζουν αντικρουόμενα αποτελέσματα.

Συμπερασματικά, από τις υπαίθριες παρατηρήσεις προκύπτει ότι το διακριτικό όριο μεταξύ των δύο ενοτήτων δεν μπορεί να αποτελεί η οροφή του ορίζοντα μάρμαρου όπως αρχικά θεωρούταν αλλά το χαρακτηριστικό διακριτικό μεταξύ των δύο ενοτήτων θα πρέπει να αποτελεί η εκτεταμένη ανάτηξη και μιγματιτίωση η οποία εντοπίζεται κυρίως στην επαφή των δύο ενοτήτων είτε στα πετρώματα της Ενότητας Κερδυλλίων αλλά όχι στα πετρώματα της Ενότητας Βερτίσκου.

SUMMARE

SUMMARE

The study area is located in central Macedonia, Northern Greece and occupies the Vertiskos and Kerdyllion Mountains, north of Volvi lake. It is built up by crystalline rocks belonging to the Vertiskos and Kerdyllion Units of the Serbo-Macedonian massif. The latter constitutes part of the Hellenic Hinterland and more specifically occupies the area where the contact of the two afore-mentioned units takes place. In recent decades, an effort has been made to review the area of the Hellenic Hinterland, based on laboratory results such as geochemical analyses, radio dating, etc., while classical field geology seems to follow this effort. Thus, the purpose of this thesis is to highlight and re-establish the importance of a detailed field geological data and tectonic analysis, which combines the mesoscopic and mapping scale tectonic elements of the area and results in the revision and re-interpretation of some mapping units. The study area, consists of biotite gneisses and marbles which constitute the Kerdyllion Unit and twomica and biotite gneisses of the Vertiskos Unit, whereas their contact was initially considered as a normal contact. Within these rocks, amphibolite and ultarmafic rocks are described, while taking into account the strong deformational and tectonic imprint imposed on them, it can be concluded that the area, both geologically and as far as the relationship of the boundary between the two units is concerned, is intensely complex.

Through field work, carried out in the area, biotite gneisses, marbles and amphibolite gneisses were identified alternating with each other and have been grouped in the Kerdyllion Unit. Two-mica gneisses, muscovite gneisses and garnet two-mica gneisses belong to the Vertiskos Unit. Anatexitic leucosome and migmatites have been found within the rocks of the Kerdyllion Unit which are more intense approaching the contact with the Vertiskos Unit, but not within the two-mica gneisses of the Vertiskos Unit. These anatexites can be correlated with the Ammouliani Unit. However, due to their non-continuous appearance along the entire contact of the two units, they are incorporated in the Kerdyllion Unit, for which corresponding rocks are described. Also, ultramafic rocks exposed in the area are considered as parts of the Therma-Volvi-Gomati complex, belonging to an oceanic crust.

After the tectonic analysis carried out in the area, six deformational events were distinguished. The first deformational event D1 is very difficult to distinguish in the

SUMMARE

area and has been identified as an initial foliation which is represented by the pegmatite veins observed in the study area. This fact, in combination with bibliographic data, was associated with an eclogite metamorphic grade and its age has been defined as pre-Mesozoic. The second deformation event D2 is imprinted in the area via isoclinal, intrafolial and rootless folds. It is related with the timing of the contact between the Vertiskos and Kerdyllion Units, the anatexis and migmatization, which is observed in the rocks of the area and along the contact of the two units, but also the placement of the ocean part of the Therma-Volvi-Gomati Complex. D2 is also associated with a syndeformational high- to medium-grade amphibolite metamorphic grade and its age is estimated to be in the Lower Mesozoic. The next, D3 deformational event, is associated in the region with the development of the main S3 foliation, isoclinal, cartographic scale, NW-SE trending, F3 folds and an L3 lineation parallel to the axes of these folds. D3 is associated with a metamorphic event, a low-grade amphibolite to high-grade greenschist facies metamorphism and dates back to the Lower Mesozoic. The D4 event includes a strong shearing, with the development of an S4 mylonititic foliation, parallel to the S3 foliation, and a stretching lineation L4 trending NE-SW, which becomes the predominant lineation observed in the rocks. Its general sense of shear is top-to-the SW, while mesoscale F4 sheath folds are formed parallel to L4 stretching lineation. D4 is associated with a syn-metamorphic event, a greenschist grade metamorphism and dates back to the Cretaceous. Proceeding, two more deformation events followed in the complex deformational history of the study area, less imprinted on the rocks' fabric than the previous ones. The D5 deformational event is associated with asymmetric closed folds of NNW - SSE direction which refolded the previous structures. D5 is associated with a greenschist metamorphic grade and is of pre-Eocene age. The D6 deformation event took place under conditions of low greenschist grade metamorphism and is associated with the open folds which are observed in the area, with a post-Eocene age and prior to the Upper Miocene.

From the geochemical analysis carried out on rocks of the Vertiskos and Kerdyllion Units, a sedimentary origin emerged for them, while it was observed that the migmatization and anatexis, which some of the rocks have undergone, resulted in the loss of their original protolith characteristics, thus showing conflicting geochemical results.

In conclusion, the field observations advocate that the distinctive boundary between the two units may not be the top of the marble horizon, as originally considered, but in

contrast, the characteristic distinction between the two units should be the extensive migmatization and anatexis, which is found mainly along the contact of the two units, solely within the rocks of the Kerdyllion Unit.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Andriessen, P.A.M, Boerlrijk, N.A.I.M., Hebeda, E.H., Priem, H.N.A., Verdurmen E.A.T. & Verschure, R.H., 1979. Dating the events of metamorphism and granitic magmatism in the Alpine orogen of Naxos (Cyclades, Greece). Contributions to Mineralogy and Petrology, 69, 215-225. Aubouin 1959
- Aubouin, J., 1959. Contribution a l'etude geologique de la Grece septentionale, les confines de l'Epire et de la Thessalie. Annales Géologiques des Pays Helléniques, 10, 526.
- Becke F., 1909. Über Diaphthorite. Tschermaks mineral. petrogr. Mitt., (2) 28, 369–375, Wien.
- Berthé D., Choukroune P., Jegouzo P., 1979a. Orthogneiss, mylonite and non-coaxial deformation of granites: the example of the South Armoricain shear zone. J Struct Geol 1:31–42
- Blenkinsop T.G., Treloar P.J., 1995. Geometry, classification and kinematics of S-C fabrics. J Struct Geol 17:397–408
- Borsi, S., Ferrara, G., Mercier, J., 1965. Détermination de l'âge des séries métamorphiques du Massif Serbomacédonien au Nord-Est de Thessalonique (grèce) par les methodes Rb/Sr et K/Ar. Ann. Soc. Géol. Nord 84, 223–225.
- Brown, S.A.M. & Robertson, A.H.F., 2004. Evidence for the Neotethys ocean rooted in the Vardar zone: evidence from the Voras Mountains, NW Greece. Tectonophysics, 381, 143-173.
- Brunn, J.H., 1956. Contribution a l'etude geologique du Pinde septentrional et d'une partie de la Macedoine centrale. Annales Géologiques des Pays Helléniques, 7, 1-358.
- Brun, J.-P., Sokoutis, D., 2007. Kinematics of the Southern Rhodope Core Complex (NorthGreece). International Journal of Earth Sciences 96, 1079–1099.

- Burg, J.P., Godfriaux, I., Ricou, L.E., 1995. Extension of the Mesozoic Rhodope thrust units in the Vertiskos-Kerdilion Massifs (northern Greece). Comptes Rendus de l' Académie des sciences, Paris 320, 889–896.
- Burg, J.-P., 2012. Rhodope: From Mesozoic convergence to Cenozoic extension. Review of petro-structural data in the geochronological frame, J. Virtual Explorer, 42(1), doi:10.3809/jvirtex.2011.00270.
- Ceriani S., Mancktelow N. S., Pennacchioni G., 2003. Analogue modelling of the influence of shape and particle/matrix interface lubrication on the rotational behaviour of rigid particles in simple shear. J Struct Geol 25:2005–2021
- Chatzidimitriadis, E., Kilias, A., Staikopoulos, G., 1985. Nouvi aspetti petrologici e tettonici del massiccio Serbomacedonne e delle regioni adiacenti, della Grecia del Nortd. Boll Soc Geol It 104 :515–526
- Christofides, G., D'Amico, C., Del Moro, A., Eleftheriadis, G., Kyriakopoulos, C., 1990. Rb-Sr-geochronology and geochemical characters of the Sithonia plutonic complex (Greece). Eur J Mineral 2:79–87
- Christofides, G., Koroneos, A., Pe-Piper, G., Katirtzoglou, K., Catzikirkou, A., 1999.Pre-Tertiary A-Type magmatism in the Serbomacedonian massif (N. Greece):Kerkini granitic complex. Bulletin of the Geological Society, Greece 33, 131–48.
- Coward, M. & Dietrich, D., 1989. Alpine tectonics- an overview. In: Coward M.P. & Dietrich D., Park P.G. (eds) Alpine tectonics. Geological Society, London, Special Publications, 45, 153–171.
- Dennis A. J., Secor D. T., 1987. A model for the development of crenulations in shear zones with applications from the Southern Appalachian Piedmont. J Struct Geol 9:809–817
- Dercourt, J., 1972. The Canadian cordillera, the Hellenides and the sea-floor spreading theory. Canadian Journal of Earth Sciences, 9, 709–743.
- Dercourt, J., Zonenshain, L.P., Ricou, L.E., Le Pichon, X., Knipper, A.L., Grandjaquet,C., Sbortshikov, I.M., Geussant, J., Lepvrier, C., Pechersku, D.H., Boulin, J.,

Bazhenov, M.L., Lauer, J.P. & Biju-Duval, B., 1986. Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias. Tectonophysics, 123, 241-315.

- De Wet, A.P. & Miller, J.A., 1987. 40Ar 33Ar data from some of the granitoids of the Chalkidiki peninsula, northern Greece. Joint Meeting EGS XII, Terra cognita.7, (2-3), S.107, Strasburg.
- De Wet, A.P., Miller, J.A., Bickle, M.J., Chapman, H.J., 1989. Geology and geochronology of the Arnea, Sithonia and Ouranoupolis intrusions, Chalkidiki peninsula, Northern Greece. Tectonophysics 161, 65–79.
- Dewey, J.F., Pitman, W.C., Ryan, W.B.F. & Bonnin, J., 1973. Plate tectonics and the evolution of the Alpine system. Geological Society of America Bulletin, 84, 3137-3180.
- Dimitriadis, S., 1974. Petrological study of the migmatitic gneisses and amphibolites of Rentina-Asprovalta-Stavros-Olympias: unpubl. Thesis, Univ. of Thessaloniki, 231pp.
- Dimitriadis, S. & Godelitsas, A. 1991. Evidence for high pressure metamorphism in the Vertiskos Group of the Serbomacedonian Massif. The eclogite of Nea Roda, Chalkidiki. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, XXV/2, 67-80, 1991.
- Dimitrijevic, M.D. and Ciric, B., 1967. Essai sur l'evolution de la masse SerboMacedoniene. Acta Geol. Acad. Sci. Hung., 11: 35-47.
- Dimitrievic, M. D., 1974: Sur l'äge du metamorphismeet des plissementsdans la masse serbo-macedonienne. Bull. VI Congr. Assoc. Geol. Carpato-Balkanique, 1 (3): 339–347, 1 Abb.; Warschau. έλεγχος αν υπάρχει αν είναι άλλη από την 1967
- Dixon, J.E., Dimitriadis, S., 1984. Metamorphosed ophiolitic rocks from the Serbo-Macedonian Massif, near lake Volvi, North-east Greece. In: Dixon, J.E., Robertson, A.H.F. (Eds.), The Geological Evolution of the eastern Mediterranean. Geol. Soc. London Special Publ., vol.17, pp. 603–618.

- Dürr, S., Altherr, R., Keller, J., Okrusch, M. & Seidel, E., 1978. The median Aegean crystalline belt: stratigraphy, structure, metamorphism, magmatism. In: Closs, H., Roeder, D., & Schmidt, K. (eds), Alps, Appenines and Hellenides. Schweizerbart, Stuttgart, 455-476.
- Evans, B. W. & Leake, B.E., 1960. The composition and origin of the striped amphibolites of Connemara Ireland. J. Petrol. 1, 337-368.
- Flansburg, M. E., Stockli, D. F., Poulaki, E. M., & Soukis, K., 2019. Tectono-magmatic and stratigraphic evolution of the Cycladic Basement, Ios Island, Greece. Tectonics, 38, 2291–2316. https://doi.org/10.1029/ 2018TC005436
- Faupl, P., Petrakakis K., Migiros, G. & Pavlopoulos, A., 2002. Detrital blue amphiboles from the western Othrys Mountain and their relationship to the blueschist terrains. International Journal of Earth Sciences, 91, 433-444.
- Fleury, J., 1980. Les zones de Gavrovo-Tripolitza et du Pinde-Olonos (Grece continentale et Peloponnese du Nord). Evolution d'une plateforme et d'un bassin dans leur cadre alpin. Memoire de la Societe Geologique du Nord, 4, 651p.
- Georgiadis G.A., Tranos M.D., Mountrakis D.M., 2007. Late-and post-alpine tectonic evolution of the Southern part of the Athos Peninsula, Northern Greece. Bulletin of the Geological Society of Greece. Vol. XXXVII, 2007, 309-320
- Godfriaux, I., 1968. Etude géologique de la région de l'Olympe (Grèce). Annales Géologiques des Pays Helléniques, 19, 1-271.
- Hanmer S., 1984b. The potential use of planar and elliptical structures as indicators of strain regime and kinematics of tectonic flow. Geol Surv Can Pap 84:133–142
- Hanmer, S. & Passchier, C., 1991. Shear sense indicators: a review. Geological Survey of Canada, paper 90, 1-71.
- Harre W., F. Kockel, H. Kreuzer, H. Lenz, P. Müller, and H. W. Walther 1968. Über Rejuvenationen im Serbo-Mazedonischen Massiv (Deutung radiometrischer Altersbestimmungen). Paper presented at 23rd International Geological Congress, Prague. 223-236.

- Hellman, P.L., Green, T. H., 1979. The role of sphene as an accessory phase in the high pressure partial melting of hydrous mafic compositions. Earth planet. Sci. Lett., 42: 191-201, California.
- Himmerkus, F., Reischmann, T., Kostopoulos, D.K., 2004a. The Pirgadikia Unit, the oldest crustal segment in the Serbo-Macedonian terrane assemblage. 5th ISMEG Conference Proceedings, 84–85.
- Himmerkus, F., Zachariadis, P., Reischmann, T., Kostopoulos, D.K., 2005. The mafic complexes of the Athos-Volvi-Zone—a suture zone between the Serbo-Macedonian Massif and the Rhodope Massif. Geophys Res Abstr 7:10240
- Himmerkus, F., Reischmann, T., Kostopoulos, D.K., 2006. Late Proterozoic and Silurian basement units within the Serbo-Macedonian Massif, northern Greece: the significance of terrane accretion in the Hellenides. In: Robertson, A.H.F., Mountrakis, D. (Eds.), Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region. Geol. Soc. London Special Publ., vol. 260, pp. 35–50.
- Himmerkus, F., Reischmann, T., Kostopoulos, D.K., (2009a). Serbo-Macedonian revisited: a Silurian basement terrane from northern Gondwana in the internal Hellenides, Greece. Tectonophysics. doi:10.1016/j.tecto.2008.10.016
- Himmerkus, F., Reischmann, T., & Kostopoulos, D., 2009. Triassic rift-related metagranites in the Internal Hellenides, Greece, Geological Magazine, 146(2), 252 265.
- Himmerkus F., Zachariadis P., Reischmann T., Kostopoulos D., 2011. The basement of the Mount Athos peninsula, northern Greece: Insights from geochemistry and zircon ages, Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch), 101(6), 1467–1485, doi:10.1007/s00531-011-0644-4.
- Hooper R.J., Hatcher R.D., 1988. Mylonites from the Towaliga fault zone, central Georgia: products of heterogeneous non-coaxial deformation. Tectonophysics 152:1–17
- Jacobshagen, V., Duerr, F., Kockel, K., Kopp, K.O., Kowalczyk, G., Berckhemer, H. & Buttner, D., 1978. Structure and geodynamic evolution of the Aegean region. In:

H. Cloos, D. Roeder. and K. Schmidt (eds), Alps, Apennines, Hellenides. E. Schweizerbart`sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 537-564.

Jaranov, D., 1960. La tectonique de la Bulgarie. Maison d'edition d'Etat, Sofia.

- Kassoli-Fournaraki, A., 1981. Contribution to the mineralogical and petrological study of amphibolitic rocks from the Serbo-macedonian massif. PhD thesis, Univ Thessaloniki, 231 pp (in Greek).
- Kilias, A. 1991. Transpressive Tecktonik in den zentralen Helleniden. Aenderung der Translationpfade durch die Transgression Nord-Zentral Griechenland). Neues Jahrbuch fuer Geologie und Palaeontologie Monatshefte, 5, 291-306.
- Kilias, A., Falalakis, G., Mountrakis, D., 1999. Cretaceous–Tertiary structures and kinematics of the Serbomacedonian metamorphic rocks and their relation to the exhumation of the Hellenic hinterland (Macedonia, Greece). Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.) 88 (3), 513–531.Kockel, F. & Walther, H. W. 1965: Die Strimonlinie als Grenzezwischen Serbo-Mazedoni-schem und Rila-Rhodope-Massiv in Ost-Mazedonien. Geol. Jb., 83: 575—602, 7 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Hannover.
- Kilias, A., Tranos, M.D., Orozco, M., Alonso-Chaves, F.M. & Soto, J.I., 2002. Extensional collapse of the Hellenides: A review. Revista de la Sociedad Geologice de Espana, 15, 129-139.
- Kockel, F. and Walther, H. W. 1965: Die Strimonlinie als Grenzezwischen Serbo-Mazedoni-schem und Rila-Rhodope-Massiv in Ost-Mazedonien. — Geol. Jb., 83: 575—602, 7 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Hannover.
- Kockel F., Walther H., 1968. Zur geologischen entwicklung des sublichen Serbo-Mazedonischen Massivs (Nord-Griechenland). Bull. of the Geol. Inst. ser geotact. strat. lithol. 17, 133-142.
- Kockel, F., Mollat, H., Walther, H.W., 1971. Geologie der Serbo-Mazedonischen Massivs und seines mesozoischen Rahmens (Nord griechenland).Geologisches Jahrbuch 89, 529–551.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Kockel, F., Mollat, H., Walther, H.W., 1977. Erlauterungenzur Geologischen Karte der Chalkidiki und angrenzender Gebiete 1:100000 (Nord-Griechenland). Bundesanstalt fur Geowisseschaften und Rohstoffe, Hannover, 119 pp.
- Kossmat F., 1924. Geologie der zentralen Balkanhakbindel. Mit einer Ubersight des Dinarischen Gebirgsbaues. In: Die Kriegschauplaetze 1914-1918 geologisch dargestellt, 12, 1, 198, Berlin.
- Kostopoulos, D., Ioannidis, N. M., and Sklavounos, S. A., 2000. A new occurrence of ultrahigh-pressure metamorphism, central Macedonia, northern Greece: Evidence from graphitized diamonds? Int. Geol. Rev., 42(6), 545-554.10.1080/00206810009465098
- Koukouvelas, I., Doutsos, T., 1990. Tectonic stages along a traverse cross cutting the Rhodopian zone (Greece). Geol. Rundschau, 79, 3, 753-776.
- Krohe A., 1990. Local variations in quartz (c)-axis orientations in non-coaxial regimes and their significance for the mechanics of S-C fabrics. J Struct Geol 12:995–1004
- Krohe A., and Mposkos E., 2002. Multiple generations of extensional detachments in the Rhodope Mountains (northern Greece): evidence of episodic exhumation of high-pressure rocks, in The timing and location of major ore deposits in an evolving orogen, edited by Blundell, D. J., Neubauer, F. and Von Quadt, A., pp. 151-178, Geological Society, Special Publication 204, London. 10.1144/GSL.SP.2002.204.01.10
- Kronberg P., Meyer W., and Pilger A., 1970. Geologie der Rila- Rhodope-Masse zwischen Strimon und Nestos (Nordgriechenland), Beihefte Geologisches Jahrbuch, 88, 133-180.
- Kydonakis, K., Moulas, E., Chatzitheodoridis, E., Brun, J.-P., Kostopoulos, D., 2015b. First report on Mesozoic eclogite-facies metamorphism preceding Barrovian overprint from the western Rhodope (Chalkidiki, northern Greece). Lithos 220–223, 147–163.

- Kydonakis, K., Brun, J.-P., Poujol M., Monié P., Chatzitheodoridis E., 2016. Inferences on the Mesozoic evolution of the North Aegean from the isotopic record of the Chalkidiki block. Tectonophysics 682 (2016) 65–84.
- Leake, B. E. & Singh, D., 1986. The Delaney Dome formation, Connemara, W. Ireland, and the geochemical distinction of ortho and para-quartzofeldspathic rocks. Min. Mag. 50, 205-215.
- Lips, A. L. W., White, S. H., Wijbrans, J. R., 2000. Middle-Late Alpine thermostatic evolution of the southern Rhodope Massif, Greece. Geodinamica Acta 13, 281–92.
- Lister G.S., Snoke A.W., 1984. S-C Mylonites. J Struct Geol 6:617-638
- Mancktelow N.S., Arbaret L., Pennacchioni G., 2002. Experimental observations on the effect of interface slip on rotation and stabilisation of rigid particles in simple shear and a comparison with natural mylonites. J Struct Geol 24:567–585
- Mercier, J., 1966-1968. Etude geologique des zones Internes des Helleniries en Macédoine Centrale. (Grece). Contribution a 1' etude du métamorphisme et de 1' «volution maamatiaue des zones Internes des Hellenides. Theses. Paris 1966, Ann. Geol. Pays. Hellen.. ?0. 1-79?.
- Migiros, G., Gartzos E. & Economou, G., 1993. Chromites from the ultramafic sequence of Dramala area North Pindos-Greece and their geotectonic significance.
- Mountrakis, D., Kilias, A., Pavlides, S., Patras, D. & Spyropoulos, N., 1987b. Structural geology of the Internal Hellenides and their role to the geotectonic evolution of the Eastern Mediterranean. Acta Naturalia de "L'Ateneo Parmense", 23/4, 147-161.
- Neofotistos P. G., 2020. Geology and deformation of the Northern part of the Athos Peninsula, Northern Greece. Ph.D. Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, Annex Number of Scientific Annals of the School of Geology No 205, 244 pp.
- Neofotistos G. P., Tranos D. M. and Heilbronner R., 2020. Geology and deformation of the Serbo-Macedonian Massif in the northern part of the Athos peninsula,

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Northern Greece: Insights from Two detailed Cross-sections. Bulletin Geological Society of Greece, 56

- Osswald K., 1931. Geologische ubersichtskarte von Mazedonien 1:300.000, 2Bl., ch. Geol. Land., Athen.
- Osswald K., 1938. Geologische Geschichte von Griechisch Nordmakedonien. Dankschr. Geol. Landesanst. Griechenland, 3, 141p., Athen.
- Papadopoulos C., Kilias A., 1985. Altersbeziehungen zwischen Metamorphose und Deformation imzentralen Teil des Serbo-mazedonischen Massivs (Vertiskos Gebirge, Nord-Griechen-land). GeolRundsch 74: 77–85
- Papanikolaou, D. & Zambetakis-Lekkas, A., 1980. Nouvelles observations et datations de la base de la série pélagonienne (s.s.) dans la région de Kastoria, Grèce. Comptes Rendus de l'Academie de Sciences Paris 291, 155–158.
- Papanikolaou, D. & Panagopoulos, A., 1981. On the structural style of the southern Rhodope. Geologica Balcanica, 11/3, 13–22.
- Papanikolaou, D., 1984. The three metamorphic belts of the Hellenides; a review and a kinematic interpretation. In: Dixon, J.E. & Robertson, A.H.F. (eds), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Geological Society of London, Oxford, 17, 551-561.
- Papanikolaou D., 1997. The tectonostratigraphic terranes of the Hellenides, Ann. Geol. Pays Hellen., 37, 495-514.
- Papanikolaou, D., 2009. Timing of tectonic emplacement of the ophiolites and terrane paleogeography in the Hellenides. Lithos, 108, 262-280.
- Papanikolaou, D., 2013. Tectonostratigraphic models of the Alpine terranes and subduction history of the Hellenides. Tectonophysics, 595–596, 1–24.
- Papazachos, B.C., Papadimitriou, E.E., Kiratzi, A.A., Papazachos, C.B. & Louvari, E.K., 1998. Fault plane solutions in the Aegean sea and the surrounding area and their tectonic implications. Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata, 39, 199-218.

- Passchier C.W., 1991b. Geometric constraints on the development ofshear bands in rocks. Geol Mijnb 70:203–211
- Passchier C.W., Simpson C., 1986. Porphyroclast systems as kinematic indicators. J Struct Geol 8:831–844
- Passchier C. W., and Trouw R. A. J., 2005. Microtectonics. Springer, Berlin.
- Pe-Piper, G. & Piper, D.J.W. 2002. The igneous rocks of Greece (The anatomy of an orogen), Contributions to the Regional Geology of the World). Gebrüder Borntraeger, 573 pp.
- Plougarlis, A.P., Tranos, M.D., 2014. Geological map of Ammouliani Island (Northern Greece). Implications for the tectono-magmatic evolution of the Serbo-Macedonian Massif. Journal of Maps, 11, 4, 552-560, doi: 10.1080/17445647.2014.948504.
- Poulaki, E. M., Stockli, D. F., Flansburg, M. E., & Soukis, K., 2019. Zircon U-Pb chronostratigraphy and provenance of the Cycladic Blueschist Unit and the nature of the contact with the Cycladic Basement on Sikinos and Ios Islands, Greece. Tectonics, 38. https://doi.org/10.1029/2018TC005403
- Prabhu, M.K. & Webber, G.R., 1984. Origin of quartzofeldspathic gneisses at Montanban-1es-Mines, Quebec. Can. J. Earth. Sci. 21, 336-345.
- Ramsay, J.G. & Huber, M.I., 1983. The Techniques of Modern Structural Geology. Volume 1: Strain Analysis, Volume 2: Folds and Fractures. Academic Press.
- Ramsey, J. G., Huber M. I., 1987. The Techniques of Modern Structural Geology, vol.2, 700 pp., Academic, London.
- Ricou, L.-E., Burg, J.-P., Godfriaux, I., Ivanov, Z., 1998. Rhodope and Vardar: the metamorphic and the olistostromic paired belts related to the Cretaceous subduction under Europe. Geodin. Acta 11, 285–309.
- Ring, U., Glodny, J., Will, T., and Thomson, S., 2010, The Hellenic Subduction System: High-Pressure Metamorphism, Exhumation, Normal Faulting, and Large-Scale Extension: Annual Review of Earth and Planetary Sciences, v. 38, p. 45-76. 1m 8s 9m 43s
- Sakellariou, D., 1989. The geology of the Serbomacedonian massif in the northeastern Chalkidiki peninsula, North Greece. Deformation and metamorphism. PhD thesis, Univ Mainz, 177 pp.
- Sakellariou, D., Dürr, S., 1993. Geological structure of the Serbo-Macedonian massif in NE Chalkidiki peninsula (in Greek with English abstract). Bull. Geol. Soc. Greece XXVIII (1), 179–193.
- Schermer, E, 1990. Mechanisms of blueschist creation and preservation in an A-type subduction zone, Mount Olympos region Greece. Geology, 18, 1130-1133.
- Schmid, S., Bernoulli, D., Fuegenschuh, B., Matenco L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M. & Ustaszewski, K., 2008. The Alpine-Carpathian-Dinaric orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. Swiss Journal of Geosciences, 101, 139-183.
- Sengör, A. M. C., Yilmaz, Y., Sungurlu, O., 1984. Tectonics of the Mediterranean Cimmerides: nature and evolution of the western termination of Paleo-Tethys. Geol Soc Lond Spec Publ 17 :77–112
- Shaw, D.M., 1972. The origin of the Apsley Gneiss, Ontario Can. Journ. Earth Sci. 9, 18-35.
- Simpson, C. & Schmid, S.M., 1983. An evaluation of criteria to deduce the sense of movement in sheared rocks. Geological Society of America Bulletin, 94, 1281– 1288.
- Smith, A.G., 1971. Alpine deformation and the oceanic areas of the Tethys, Mediterranean, and Atlantic. Geological Society of America Bulletin, 82, 2039– 2070.
- Smith, A. G. & Woodcock, N. H., 1982. Tectonic syntheses of the Alpine-Mediterranean region: A review. In: Alpine-Mediterranean Geodynamics, Geophysical Union, Geodynamics Series, 7, 15-39.
- Thiebault, F., 1982. Evolution geodynamique des Hellenides externs en Peloponnese meridional (Grece). Société geologique du Nord, 6, 1–574.

- Toyoshima T., 1998. Gabbro mylonite developed along a crustal-scale decollement. In: Snoke A, Tullis J, Todd VR (eds) Fault related rocks – a photographic atlas. Princeton University Press, New Jersey, pp 426–427
- Tranos, M.D., Kachev, V.N., Mountrakis, D.M., 2008. Transtensional origin of the NE– SW Simitli basin along the Strouma (Strymon) Lineament, SW Bulgaria. Journal of the Geological Society of London 165, 499–510.
- Tranos D.M, Kilias A.A, Mountrakis M.D., 1993. Emplacement and deformation of the Sithonia granitoid pluton (Macedonia, Greece). Bull Geol Soc Greece 28 :195–211
- Tranos, M.D., Kilias, A.A., Mountrakis, D.M., 1999. Geometry and kinematics of the Tertiary post-metamorphic Circum Rhodope Belt Thrust System (CRBTS) Northern Greece. Bulletin of Geological Society of Greece 33, 5–16. Vergely 1984
- Tranos, M.D., 2011. Strymon and Strymonikos Gulf basins (Northern Greece): Implications on their formation and evolution from faulting. Journal of Geodynamics. Volume 51, Issue 4, April 2011, Pages 285-305
- Van de Kamp, P.C. & Beakhouse, G.P., 1979. Paragneisses in the Pakwash Lake Area, English River Gneiss Belt, Northwest Ontario. Can, Journ, Earth Sci. 16, 1753-1763.
- Van de Kamp, P.C., Leake, B.E. & Senior, A., 1976. The petrography and geochemistry of some Californian Arkoses with application to identifying gneisses of metasedimentary origin. J. Geo!. 84, 195-212.
- Vergely, P. 1984. Tectoniques des ophiolites dans les Hellénides Internes déformation, métamorphisms et phenomenes sédimentaires). Consequences sur l^e èvolution des region Téthysiennes Occidentales. PhD Thesis, Universite de Paris - Sud, Orsay, 560p.
- Vernon R.H., Williams V.A., D'Arcy W.F., 1983. Grain-size reduction and foliation development in a deformed granitoid batholith. Tectonophysics 92:123–145
- Vital, C. 1987. Mineralogical and petrographical investigations of the area between Arnea and Megali Panagia Chalkidiki Peninsula (Northern Greece). Diploma Thesis, ETH Zuerich.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Werner, CD., 1987. Saxonian granul i tes-igneous or lithogenous. A contribution to geochemical diagnosis of the original rocks in high-metamorphic complexes. In: Gerstenberger, H. (ed). Contributions to the geology of the Saxonian granulite massif (Sachsisches Granulitgebirge). Zfl- Mitteilungen Nr 133, 221-250.
- White, S.H., Bretan, P.G. & Rutter, E.H., 1986. Fault-zone reactivation: kinematics and mechanisms. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 317A, 81-97.
- Winkler, H.G.F., 1979. Petrogenesis of metamorphic rocks, Springer-Verlag, New York, 348p.
- Yarwood, G.A. & Dixon, J.E., 1977. Lower Gretaceous and younger thrusting in the Pelagonian rocks of the High Pieria, Greece. In: Kallergis (ed.). Poceedings of the 6th colloquium on the geology of the Aegean region, Athens, 269-280.
- Zwart H.J., 1960. The chronological succession of folding and metamorphism in the central Pyrenees. Geol Rdsch 50:203–218
- Zwart H.J, 1962. On the determination of polymetamorphic mineral associations, and its application to the Bosost area (central Pyrenees). Geol Rdsch 52:38–65

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Κίλιας, Α., 2001. Βραδυ-ορογενετική έκταση στις Ελληνίδες οροσειρές. Δελτίο Ελληνικής ΓεωλογικήςΕταιρείας, 34, 31 – 46
- Κούρου Α., 1991. Λιθολογία, τεκτονική, γεωχημεία και μεταμόρφωση μέρους του δυτικού τμήματος της ομάδας Βερτίσκου. Η περιοχή Β.Α. από τη λίμνη Αγίου Βασιλείου (Κορώνεια)
- Μουντράκης, Δ., 1983. Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής Ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των εσωτερικών Ελληνίδων. Πραγματεία για Υφηγεσία, Αριστοτέλειο Πανεπιστείμιο Θεσσαλονίκης, 289σελ.
- Μουντράκης Δ., 2010. Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. University studio press, σελ.373.
- Παπαζάχος, Β., 2002. Ενεργός τεκτονική του Αιγαίου και των γύρω περιοχών. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, 34, 2237 – 2253.
- Πάτρας, Δ., Κίλιας, Α., Χατζηδημητριάδης, Ε. & Μουντράκης, Δ.,1988. Μελέτη των παραμορφωτικών φάσεων των Εσωτερικών Ελληνίδων στο χώρο της Βόρειας Ελλάδας. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, 201, 139 – 157.
- Πλούγαρλης Α., 2011. Γεωλογική και τεκτονική δομή της νήσου Αμμουλιανής (Χερσόνησος Χαλκιδικής). Μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 73σελ..
- Σιδηρόπουλος Δ., 1991. Λιθολογία, γεωχημεία, τεκτονική και μεταμόρφωση του βορειοδυτικού τμήματος της ομάδας Βερτίσκου. Η περιοχή του όρους Δύσωρο (Κρούσια), βόρεια από το Κιλκίς. Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ. σελ. 592
- Σπυρόπουλος Ν., 1992. Η γεωλογική δομή της Πελαγονικής Ζώνης στο όρος Άσκιο (Δυτική Μακεδονία). Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 251σελ.
- Τρανός Μ., 1998. Συμβολή στη μελέτη της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας και του Βορείου Αιγαίου. Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ.