

ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ
ΥΔΡΟΓΟΝΑΘΡΑΚΩΝ ΣΤΗΝ ΙΟΝΙΑ ΛΕΚΑΝΗ



Μιχάλης Αγγελόπουλος

1052514

Υπεύθυνος καθηγητής: Αβραάμ Ζελιλίδης

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η εμβάθυνση στη γεωλογία των πετρελαίων και τους μηχανισμούς λειτουργίας τους καθώς και έρευνα για τον εντοπισμό κοιτασμάτων υδρογονάνθρακα στη Ιόνια Λεκάνη.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ

2.1 Εισαγωγή

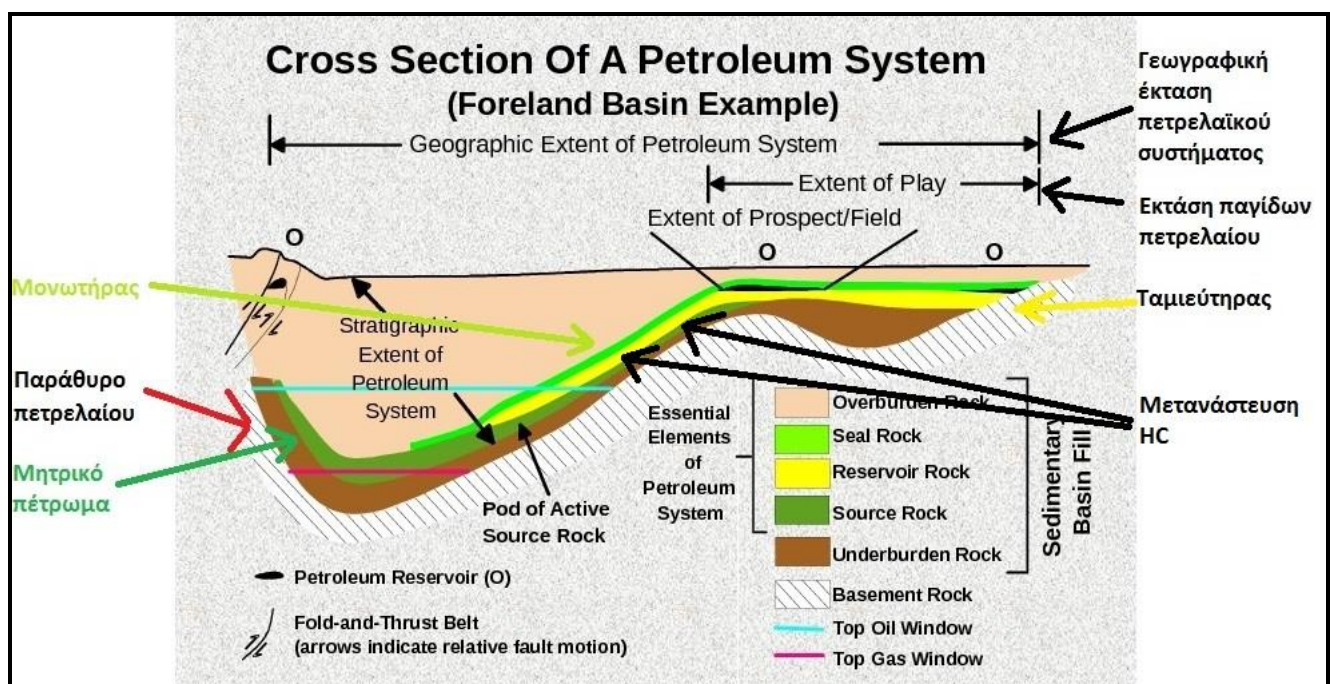
Η γεωλογία πετρελαίων αφορά στην έρευνα, αναζήτηση και εντοπισμό πεδίων υδρογονανθράκων. Κάθε έρευνα έχει ένα κορμό βημάτων, ξεκινώντας με την ανάλυση των ιζηματογενών λεκανών ώστε να κατανοηθούν δομικά και στρωματογραφικά η εξέλιξη της λεκάνης που στη συνέχεια φανερώνει τις συνθήκες για τη δημιουργία πεδίων υδρογονανθράκων. Βασική απαίτηση για τη δημιουργία πετρελαίου είναι τα **σημεία πετρελαϊκής φόρτισης** (εικόνα 1). Στο σύστημα αυτό έχουμε γένεση πετρελαίου σε ένα πέτρωμα πηγή (κουζίνα πετρελαίου), τη αποβολή του από εκεί (πρωτογενής μετανάστευση) και τη μεταφορά μέσω αλλού πετρώματος που λειτουργεί ως στρώμα μεταφοράς, ή μέσα από ρήγματα και διακλάσεις (δευτερογενής μετανάστευση), σε μια ταμιευτήρια μονάδα όπου θα αποθηκευτεί ενώ στην ταμιευτήρια αυτή μονάδα, μέσα από κάποιες τεκτονικές ή στρωματογραφικές διαδικασίες (παγίδες) θα εγκλωβιστεί , ενώ για να παραμείνει εκεί απαιτείται και ένα «σεντονι» προστασίας του πετρελαίου για να μην διαφύγει στην ατμόσφαιρα. Για τη δυνατότητα πετρελαιογένεσης υπάρχουν πέντε απαραίτητοι παράγοντες:

- A. **Ύπαρξη μητρικού πετρώματος (source rock):** Κατάλληλες συνθήκες (ανοξικές) για την γένεση υδρογονανθράκων, είναι κατά βάση λεπτόκοκκα ιζήματα που λόγω μεγάλου ποσοστού οργανικής ύλης που θάβεται γρήγορα και κάτω από συγκεκριμένες θερμοκρασίες ωριμάζει και οι παραγόμενοι υδρογονάνθρακες αποβάλλονται από το μητρικό πέτρωμα (πρωτογενής μετανάστευση).
- B. **Ύπαρξη ρηγμάτων - διακλάσεων και εναλλαγές στρωμάτων με διαφορετικές λιθολογίες για την μετανάστευση (migration):** Δρόμοι δευτερογενούς μετανάστευσης υδρογονανθράκων.
- Γ. **Ύπαρξη ταμιευτήρα (reservoir):** Συγκέντρωση κοιτάσματος σε πέτρωμα με μεγάλο πορώδες

και διαπερατότητα.

- Δ. **Ύπαρξη μονωτήρα (seal):** Προστασία των αποθηκευμένων υδρογονανθράκων.
- Ε. **Ύπαρξη παγίδων (traps):** Φυλάκιση οργανικού υλικού και αποτροπή διαφυγής του, είτε σε δομικές (δόμοι, ασυμφωνίες, ρήγματα) είτε σε στρωματογραφικές (φακοί, εναλλαγές στρωμάτων) είτε υδροδυναμικές παγίδες.

Εφόσον υπάρξει η σωστή σειρά όλων των παραγόντων στο γεωλογικό χρόνο, οδηγούμαστε στη δημιουργία και συγκέντρωση ικανών ποσοτήτων υδρογονάνθρακα.



Εικόνα 1 Πετρελαϊκό Σύστημα Φόρτισης (τροποποιημένη από Magroo&Dowetal. 1994)

2.2. Στάδια εξέλιξης πετρελαίου

Το πετρέλαιο βρίσκεται αρχικά ως οργανικό υλικό, που προέρχεται από χερσαία φυτά ή θαλάσσια φύκη, το οποίο είναι θαμμένο σε ιζήματα με ανοξικές συνθήκες, που αποτρέπουν τη καταστροφή του οργανικού υλικού από αερόβιους οργανισμούς. Το υλικό αυτό είναι σε αδιάλυτη μορφή μέσα στα ιζήματα και ονομάζεται **κηρογόνο**. Με την αύξηση της θερμοκρασίας ξεκινά η παραγωγή πετρελαίου από τη διάσπαση του κηρογόνου. Θερμοκρασιακά το πεδίο γένεσης πετρελαίου είναι στους 100-150°C, του φυσικού αερίου στους 150-180°C και τέλος τη δημιουργία ξερού αερίου στους 180-220°C. Το μητρικό υλικό αποτίθεται συνήθως σε θαλάσσιες λεκάνες, οι λίμνες και τα δέλτα ποταμών. Με τη πάροδο του χρόνου το οργανικό υλικό ωριμάζει στα **μητρικά πετρώματα**.

Τα μητρικά ορίζονται ως λεπτόκοκκα ιζήματα που είναι πλούσια σε οργανικό υλικό και απελευθερώνουν αρκετή ποσότητα αυτού για τη παραγωγή πετρελαίου ή φυσικού αερίου ενώ η εμπορική του αξία του καθορίζεται από οικονομικές μελέτες κυρίως.

Οι υδρογονάνθρακες αποτελούνται αποκλειστικά από άνθρακα και υδρογόνο. Το πετρέλαιο είναι μια ανάμειξη από συστατικά υδρογονάνθρακα και αλλά συνθετικά που περιέχουν σημαντικές ποσότητες όπως άζωτο, θείο, οξυγόνο. Έχουν βρεθεί τρεις κυρίες ομάδες συνθετικών: οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες, οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες και τα συνθετικά N-S-O. Το οργανικό υλικό αποτελείται χημικά από: α) ένυδρους άνθρακες β) πρωτεΐνες γ) ξυλίτες δ) λιπίδια. Από αυτά μόνο τα λιπίδια και οι ξυλίτες είναι ανθεκτικά στη διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα μέσα στα ιζήματα. Για να διατηρηθεί το οργανικό υλικό είναι απαραίτητες οι αναερόβιες συνθήκες. Το οργανικό υλικό στις πηγές πετρωμάτων των υδρογονανθράκων υποδιαιρείται σε 2 ομάδες: τη Πισσάσφαλτο και το Κηρογόνο. Η σύνθεση του Κηρογόνου καθορίζεται από τις συνθήκες ταφής του μητρικού πετρώματος και ταξινομείται σε τέσσερις τύπους: 1) τον λιπτινικό τύπο (τύπος κηρογόνου I), 2) τον εξινικό τύπο (τύπος κηρογόνου II) που αποτελείται από θαλάσσια ιζήματα που έχουν πολύ καλή δυνατότητα για τη γένεση πετρελαίου, συμπυκνωμάτων και υγρού αερίου, 3) τον βιτρινικό τύπο (τύπος κηρογόνου III) που προέρχεται κυρίως από ξυλώδη υλικά και έχει δυνατότητα γένεσης αερίων και λιγότερο πετρελαίου και τέλος 4) στον ινερτινικό τύπο (τύπος κηρογόνου IV) που δεν έχει καμία δυνατότητα ανάπτυξης πετρελαίου και αερίου.

Η αποβολή του πετρελαίου είναι αποτέλεσμα της υπερπίεσης που επικρατεί στο μητρικό πέτρωμα λόγω των παραχθέντων υδρογονανθράκων και της πίεσης που αναπτύσσεται εξ 'αιτίας της παραγωγής τους στα περιβάλλοντα πετρώματα. Έτσι, πραγματοποιείται και η **πρωτογενής μετανάστευση**, όπου γίνεται μέσα από τους πόρους του πετρώματος από τριχοειδή αγγεία και μικροσπασίματα στο πέτρωμα μέχρι να φτάσει στην επιφάνεια του μητρικού πετρώματος και από εκεί να μεταφερθεί σε γειτονικούς περατούς σχηματισμούς, δηλαδή τον **ταμιευτήρα**. Την πρωτογενή μετανάστευση θα ακολουθήσει η **δευτερογενής μετανάστευση** που οφείλεται στη διαφορά πυκνότητας των ρευστών νερού και υδρογονάνθρακα με αποτέλεσμα την άνοδο του πετρελαίου και έχει την εμφάνιση πολυφασικής ροής. Η κίνηση αυτή συνεχίζεται μέχρι οι HC να βρουν κάποιο πέτρωμα για να αποθηκευτούν.

Ο ταμιευτήρας πρέπει να έχει απαραίτητα καλό πορώδες και διαπερατότητα. Το πρώτο επηρεάζει

τα αποθέματα ενός πιθανού πετρελαϊκού πεδίου και το δεύτερο την ικανότητα που μπορούν να μετακινηθούν τα ρευστά, δηλαδή να αντληθούν εύκολα. Η διαγένεση επιδρά σημαντικά στη ποιότητα του ταμιευτήρα και τα είδη του είναι δύο (2), ανθρακικοί και κλαστικοί (κύρια αμμούχοι).

Οι ταμιευτήρες πρέπει να σκεπαστούν από πετρώματα ικανά να μονώσουν τον ταμιευτήρα για να μην διαφύγουν οι υδρογονάνθρακες, ενώ οι ίδιοι οι ταμιευτήρες είτε μέσα από την πρωτογενή τους ιζηματολογική σύνθεση είτε μέσα από τεκτονική δράση μπορούν να παγιδεύσουν τους υδρογονάνθρακες και να τους διατηρήσουν εκεί μέχρι την εμπορική τους εκμετάλλευση. Οι παγίδες αυτές μπορούν να είναι δομικές (λόγω τεκτονικής, κ.α), στρωματογραφικές ή υδροδυναμικές.

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ

3.1 Εισαγωγή στις λεκάνες ιζηματογένεσης

Στη περίπτωση εντοπισμού απόθεσης σημαντικής ποσότητας οργανικού υλικού κάτω από ανοξικές συνθήκες, πραγματοποιείται παλαιογεωγραφική, στρωματογραφική και τεκτονική ανάλυση της λεκάνης, έτσι ώστε να βρεθεί η πιθανή ύπαρξη πετρελαϊκών συστημάτων φόρτισης υδρογονανθράκων. Οι λεκάνες ιζηματογένεσης είναι θέσεις του φλοιού όπου συγκεντρώνονται και αποτίθενται ιζήματα. Οι λεκάνες αυτές είναι αποτέλεσμα τεκτονικών διεργασιών που σχετίζονται με τις κινήσεις μεταξύ των λιθοσφαιρικών πλακών, που δημιουργούν αρκετούς τύπους περιθωρίων, οι οποίοι χωρίζονται σε τριών ειδών: :

A) **Αποκλίνοντα:** Μεγάλα ρήγματα μετασχηματισμού και δημιουργία νέου φλοιού, οι λεκάνες ιζηματογένεσης σχηματίζονται σε ηπειρωτικές ζώνες διάνοιξης και σε διανοιγμένους ωκεανούς.

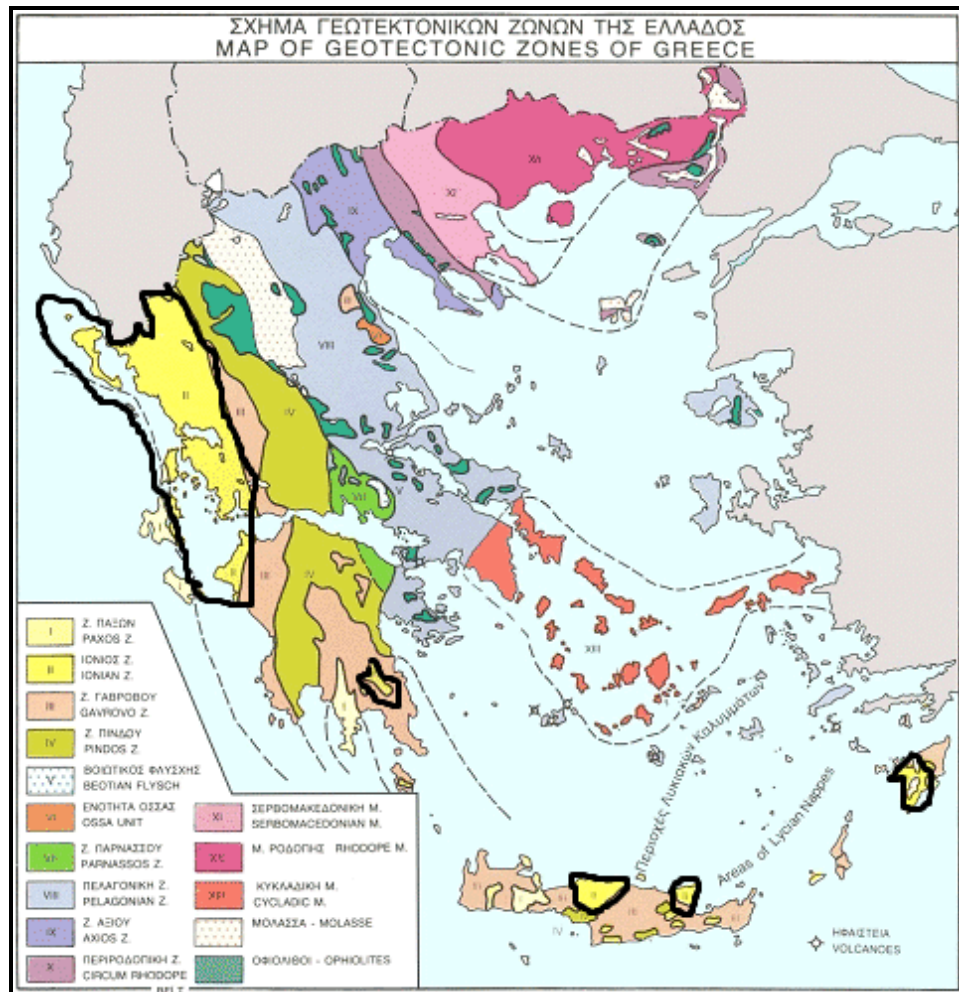
B) **Συγκλίνοντα:** Σε ζώνες καταβύθισης λιθοσφαιρικών πλακών όπου σχηματίζονται ηφαιστειακά τόξα. Λεκάνες ιζηματογένεσης σχηματίζονται εμπρός του τόξου (fore-arc), εντός αυτού (intra-arc) και στο οπισθότοξο (back-arc). Αν έχουμε περιθώρια σύγκρουσης ηπειρωτικών περιθωρίων, η λεκάνη σχηματίζεται στο foreland.

Γ) **Παθητικά:** Εμφανίζονται σε σημεία παράλληλης κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών.

3.2 **Ιόνια Λεκάνη**

3.2.1 *Τεκτονικό Καθεστώς*

Η Ιόνια ζώνη μαζί με την Προ-Απούλια, την ζώνη Γαβρόβου και την ζώνη της Πίνδου αποτελούν τις εξωτερικές Ελληνίδες που μαζί με τις εσωτερικές απαρτίζουν το γεωτεκτονικό καθεστώς της Ελλάδος. Η ζώνη αυτή εκτείνεται γεωγραφικά στα βόρεια από την Αλβανία και καταλαμβάνει την Ήπειρο, μέρος των νησιών του Ιονίου και της Πελοποννήσου και φτάνει έως και τα Δωδεκάνησα (εικόνα 2). Η Ιόνια λεκάνη, οριοθετείται στα δυτικά από την Ιόνια επώθηση και ανατολικά από τη επώθηση της ζώνης Γαβρόβου. Τα ιζηματογενή πετρώματα που μελετήθηκαν, των εξωτερικών Ελληνίδων της Ιόνιας λεκάνης, αποτέθηκαν από το Τριαδικό έως το Ηώκαινο, η οποία ήταν μέρος του παθητικού περιθωρίου του νότιου τμήματος της Νεο-Τυθύος που βρισκόταν ανατολικά της Απούλιας πλάκας.



Εικόνα 2 Γεωτεκτονικός Χάρτης Ελλάδας. Μαρκαρισμένες φαίνονται οι εμφανίσεις της Ιόνιας ζώνης στον ελληνικό χώρο (τροποποιημένη από Karakitsios et al. 2007)

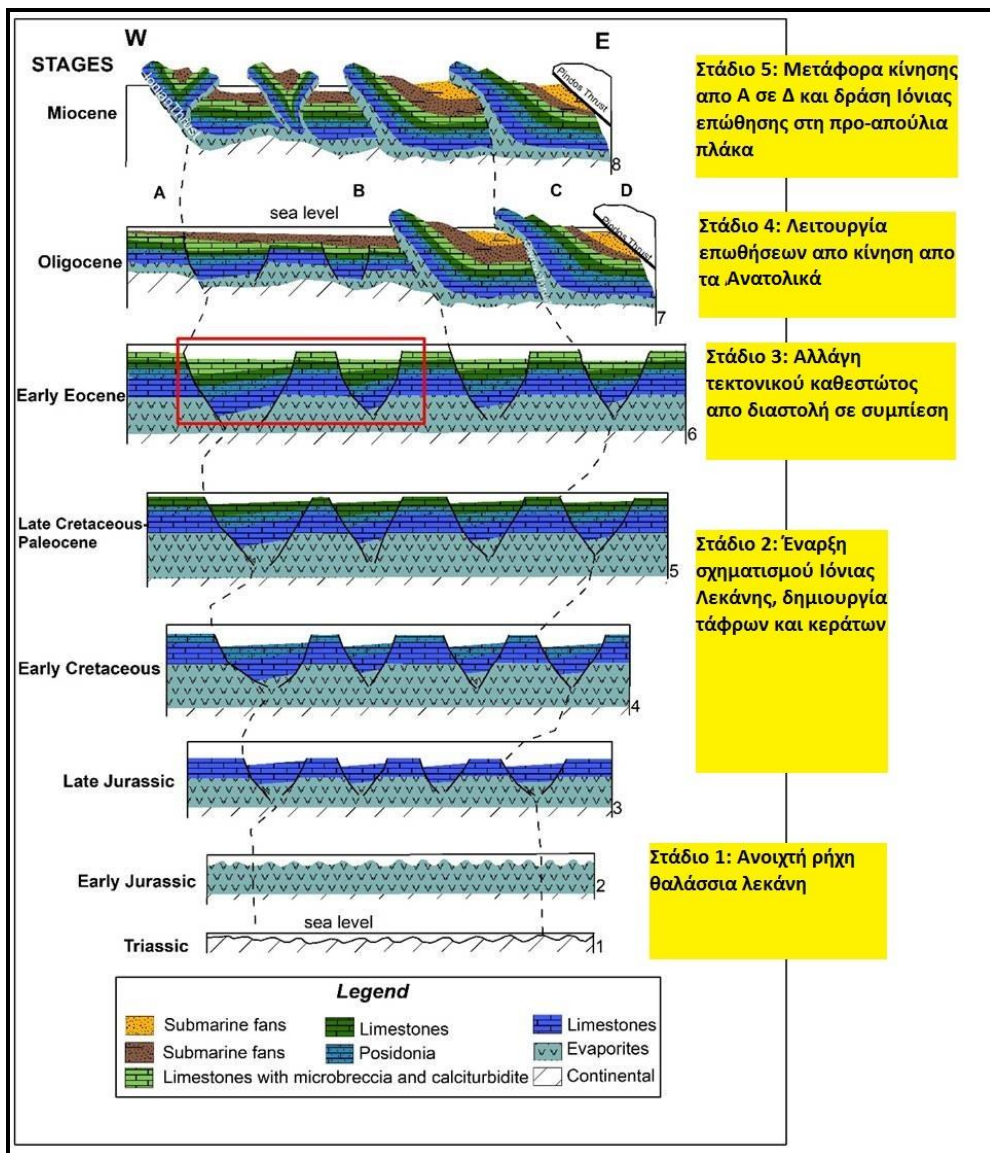
Η απόθεση των ιζημάτων στη λεκάνη χωρίζεται σε τρία τεκτονικά στάδια: Α) Το **pre-rift στάδιο** κατά το Τριαδικό-κατ. Ιουρασικό Β) Το **syn-rift** στάδιο κατά το Μέσο Ιουρασικό-Κατώτερο Ηώκαινο και Γ) Ένα **στάδιο συμπίεσης** κατά το Ανώτερο Ηώκαινο- Μέσο Μειόκαινο.

Σε όλο το Τριαδικό μέχρι και το Κ. Ιουρασικό η περιοχή φαίνεται τεκτονικά ανενεργή, χωρίς τη δράση ρηγμάτων. Η περιοχή ήταν μια ανοιχτή, θαλάσσια, ρηχή λεκάνη.

Από το Κ. Ιουρασικό έως το Μ. Ηώκαινο ξεκινούν αποκλίνοντα καθεστώτα με διαστολή και παρουσία κανονικών ρηγμάτων. Σε συνδυασμό με το άνοιγμα του ωκεανού της Νεο-Τυθός δημιουργείται η Ιόνια λεκάνη κατά το Α. Ιουρασικό. Η λεκάνη θα χωριστεί σε μικρότερα ασύμμετρα βυθίσματα με συνακόλουθα τη συγκέντρωση διαφορετικών παχών. Έτσι, στο Α. Ιουρασικό ξεκινάει και η ταφρογένεση δημιουργώντας τάφρους και κέρατα (εικόνα 3).

Από το Μ. Ηώκαινο το τεκτονικό καθεστώς της περιοχή αλλάζει από διαστολή σε πίεση, με

επωθήσεις καθώς η περιοχή της Πίνδου, η οποία δέχεται πίεση από τα ανατολικά, αρχίζει να κινείται προς τα δυτικά, συναντώντας πρώτα την ζώνη Γαβρόβου που αποτελεί μια πλατφόρμα με περιβάλλον ρηχό. Λόγω των υψηλών πιέσεων που επικράτησαν η σύγκρουση των 2 ζωνών ήταν έντονη και κατέληξε στο φαινόμενο εκτός από επωθήσεις με δυτική κίνηση να δημιουργούνται και προς τα πίσω, δηλαδή με ανατολική κίνηση, επωθήσεις (Back thrust), δημιουργώντας έτσι την Μεσοελληνική αύλακα. Αυτή η κύρια κίνηση προς τα δυτικά είχε σαν αποτέλεσμα την εξαφάνιση μεγάλου μέρους της ζώνης Γαβρόβου, αφού η ζώνη Πίνδου έρχεται και κάθεται πάνω σ' αυτήν. Η διαρκής και συνεχόμενη μετανάστευση του ορογενούς προς τα δυτικά κατά το Μ. Ηώκαινο, φέρνει την Ιόνια λεκάνη με περιβάλλον βαθιάς λεκάνης σε επαφή με την πλατφόρμα της προ-Απούλιας ζώνης.



Εικόνα 3 Στάδια εξέλιξη της Ιόνιας Λεκάνης (Bourli et al., 2019)

Οι επωθήσεις που δημιουργούνται είναι απόρροια της κίνησης προς τα δυτικά και έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία μιας σύνθετης γεωμετρίας λεκάνης Προχώρας όπου τα προϋπάρχοντα κανονικά ρήγματα με ανατολική κλίση επαναδραστηριοποιούνται ως επωθήσεις και μετακινούν ολόκληρα μπλοκ πάνω από τις υπάρχουσες πλατφόρμες (Εικόνα 3), ενώ κάθε φορά που μεταναστεύει το ορογενές δυτικά στην οροφή των επωθήσεων αναπτύσσονται ρήγματα διαστολής.

Σύμφωνα με προηγούμενους ερευνητές στη διάρκεια του Κρητιδικού-Κ. Ηωκαίνου υπήρχε ένα στάδιο μετά την ταφρογένεση το Post-rift στάδιο (εικόνα 4) που στη περιοχή δεν έχει παρατηρηθεί σύμφωνα με την Bourli et al. (2019) καθώς η λεκάνη εξακολουθεί να είναι ανοιχτή και την τεκτονική δράση να συνεχίζεται μέχρι το κατώτερο Ηώκαινο, αφού αυτό φαίνεται στη διακύμανση του βάθους της ιζηματογένεσης και συνακόλουθα του πάχους των ιζημάτων. Έτσι όλο αυτό το στάδιο εντάσσεται στο syn-rift καθεστώς.

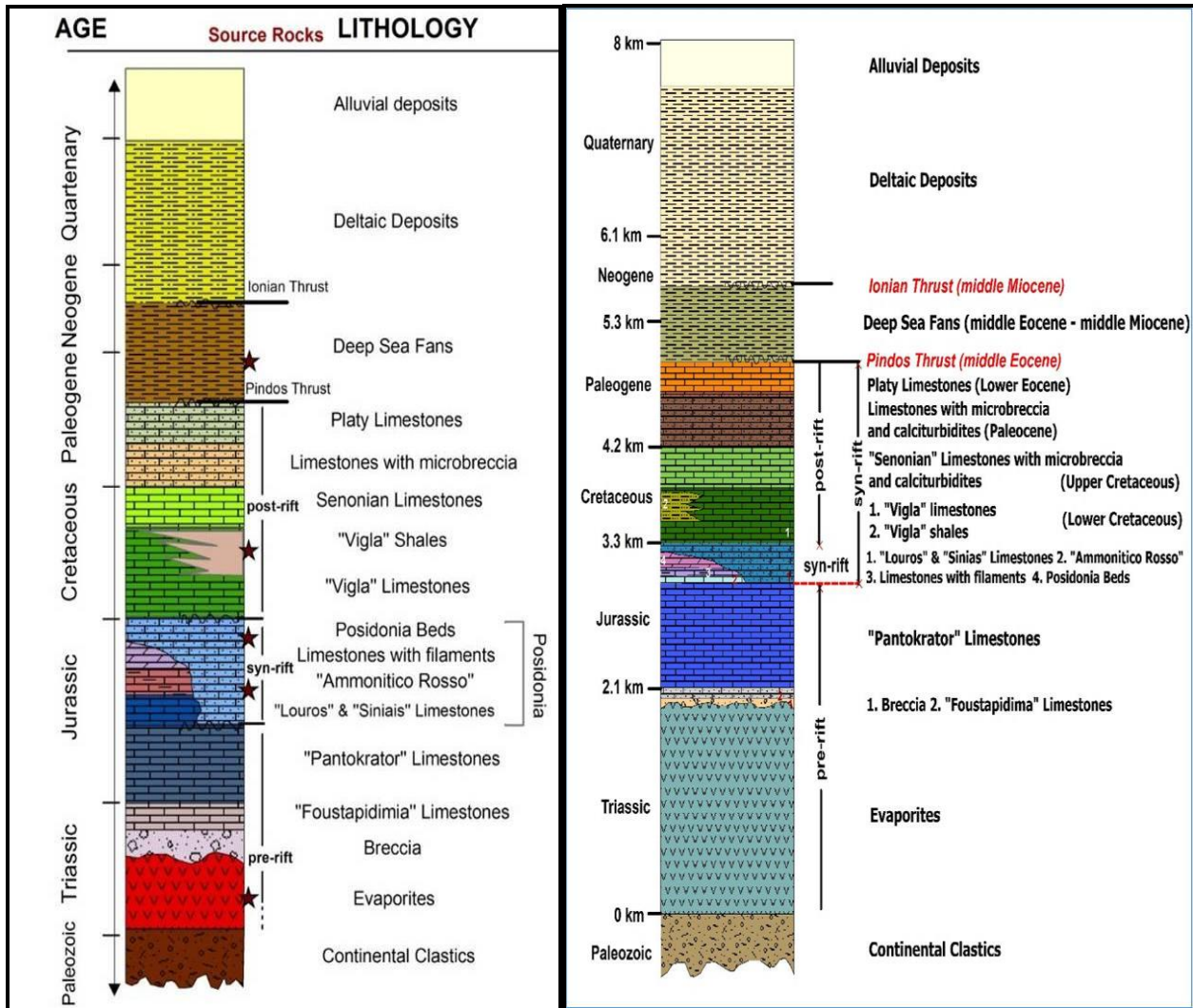
Στο τέλος της εξέλιξης της Ιόνιας λεκάνης στη διάρκεια του μέσου Μειόκαινου τα κανονικά ρήγματα με ανατολική κλίση στην περιοχή των περιθωρίων της Απούλιας πλατφόρμας επαναδραστηριοποιούνται δημιουργώντας την Ιόνια επώθηση που φέρνει ιζήματα της Ιόνιας λεκάνης πάνω από τα ιζήματα της Προ-Απούλιας πλατφόρμας. Το περιβάλλον εκεί είναι παρόμοιο με αυτό της Γαβρόβου, δηλαδή ρηχό, και για το λόγο αυτό το μεγάλο εμπόδιο της πλατφόρμας οδηγεί στο φαινόμενο Backthrust. Το φαινόμενο εδώ είναι λιγότερο έντονο γιατί η πίεση εξασθενεί από τα ανατολικά στα δυτικά. Η ρηχή θέση της Προ-Απούλιας εμπόδισε την πλήρη επώθηση της Ιόνιας πάνω σε αυτήν, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό υβωμάτων τύπου βεντάλιας (εικόνα 3). Από το Μ. Μείοκαινο ξεκινά πάλι το καθεστώς της διαστολής στο σύνολο της Ιόνιας λεκάνης εξαιτίας της μετανάστευσης του ορογενούς δυτικότερα και την μετατροπή της Ιόνιας λεκάνης σε λεκάνη οπισθοχώρας.

Συμπερασματικά έχουμε μια λεκάνη complex-τύπου που αποτελείται από επιμέρους λεκάνες λόγω δράσης διαφορετικών επωθήσεων ανά διαφορετικές περιόδους (Πίνδου, Γαβρόβου, Ιόνια).

3.2.2 Στρωματογραφία

Στην Ιόνιο λεκάνη έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες για την ανάλυση της στρωματογραφία της, (Karakitsios, 1995, 2013; Zelilidis et al., 2015). Όπως αναφέρθηκε και πριν, η ιζηματογενής ακολουθία (εικόνα 4) στην Ιόνιο λεκάνη χωρίζεται σε 3 στάδια ανάλογα την επικρατούσα

τεκτονική, το pre-rift, syn-rift και συμπίεσης. Ο χώρος της Ιόνιας λεκάνης αποτελούσε τμήμα μιας νηριτικής πλατφόρμας, στο Νότιο περιθώριο της Τηθύος, η οποία κάλυπτε σχεδόν όλη την Δυτική Ελλάδα.



Εικόνα 4 (α αριστερή, β δεξιά στήλη) Σύγκριση στρωματογραφικών στηλών Ιόνιας στήλης με τη post-rift φάση (Zelilidis, 2015) και με ενσωμάτωση της post στη syn-rift (Bourli, 2019) ενώ η εικόνα 4b περιέχει τα πραγματικά πάχη των στρωμάτων. Στην εικόνα 4a φαίνονται με αστεράκια οι πιθανές θέσεις των μητρικών πετρωμάτων.

Τα παλαιότερο γνωστό στρώμα της ακολουθίας είναι οι εβαπορίτες Μέσο-Αν. Τριαδικού πάχους πάνω από 2000 m . Υπερκείμενα τους είναι οι ασβεστόλιθοι “Φουσταπήδημα” του Α. Τριαδικού με μέσο πάχος 50-150 m, οι οποίοι είναι μαύροι υπολιθογραφικοί ασβεστόλιθοι και σημαδεύουν το τέλος για την απόθεση θειικών εβαποριτών και την έναρξη της θαλάσσιας ιζηματογένεσης στον Ιόνιο χώρο. Ακολουθούν οι ασβεστόλιθοι του Παντογκράτορα ηλικίας Κ. Ιουρασικού και πάχους πάνω 1000 m. Η ιζηματογένεση ήταν πολύ μικρού βάθους, ενδοπαλιρροϊκού περιβάλλοντος.

Η τεκτονική δράση αλλάζει και ξεκινά το syn-rift στάδιο με γενική βύθιση της περιοχής όπου δημιουργείται η Ιόνιος λεκάνη. Φαίνονται οι σχίστες με Ποσειδώνιες (20-200) και οι πελαγικοί ασβεστόλιθοι Σινιών και ημι-πελαγικοί ασβεστόλιθοι του Λούρου (50-150 m), Κατώτερου Ιουρασικού. Οι εναλλαγές στα πάχη των Ιουρασικών στρωμάτων οφείλονται στη ασύμμετρη γεωμετρία των τάφρων. Αυτών των στρωμάτων υπέρκεινται Κρητιδικά ιζηματογενή πετρώματα από πελαγικούς ασβεστόλιθους Βίγλας και σχιστάργιλους Βίγλας συνολικού πάχους 200-600 m, και Α. Κρητιδικού πελαγικούς Σενώνιους ασβεστόλιθους με μικρολατυποπαγή και τουρβιδίτες. Οι Κρητιδικές ακολουθίες διαφέρουν στις 3 λεκάνες της Ιόνιας ζώνης .

Η δράση της επώθησης της Πίνδου κατά το Κ. Ηώκαινο μετέτρεψε την Ιόνιο λεκάνη σε λεκάνη προχώρας, τροφοδοτώντας την με ιζήματα υπό την μορφή θαλάσσιων ριπιδίων έως το Α. Μειόκαινο. Με τη σειρά της η επώθηση της Ιονίου επέφερε δελταϊκές και αλλουβιακές αποθέσεις, πάχους πάνω από 2 χιλιομέτρων, κατά το Τεταρτογενές λόγω της διαστολής εξαιτίας της και την μετατροπή της Ιόνιας λεκάνης σε λεκάνη οπισθοχώρας.

3.2.3 Εξέλιξη Λεκάνης

Η Ιόνια ζώνη λοιπόν, είναι η μοναδική από τις μεγάλες ζώνες που έχει αλλάξει το βασικό παλαιογεωγραφικό της χαρακτήρα από νηριτική σε πελαγική κατά τη διάρκεια της προορογενετικής εξέλιξης του αλπικού κύκλου. Αυτή η διαφοροποίηση ήταν αποτέλεσμα ενός εφελκυστικού επεισοδίου από τα ανατολικά που έχει σχέση με το άνοιγμα του ωκεανού της Τηθύος. Πιο συγκεκριμένα, μέχρι το Κατώτερο Ιουρασικό οι ενότητες Παξών, Μάνης, Ιονίου, Γαβρόβου, Τρίπολης αποτελούσαν μια ενιαία ανθρακική πλατφόρμα όπου είχαν τα ίδια πετρώματα και ίδια φάση. Από το Μ. Ιουρασικό η Ιόνιας Λεκάνη βαθαίνει, ενώ οι Παξοί και το Γάβροβο συνεχίζουν να δέχονται νηριτικά ιζήματα. Στη συνέχεια η ενιαία πλατφόρμα έσπασε και βάθυνε, γεγονός που μάλλον συνδέεται με τη διάνοιξη του ωκεανού και τη δημιουργία τυπικών οφιολίθων στις πιο εσωτερικές ζώνες. Ο μηχανισμός της ταφρογένεσης έγινε με δημιουργία κάποιων ρηγμάτων που άρχιζαν σταδιακά να βυθίζουν ένα τμήμα της ενιαίας, ως τότε, πλατφόρμας. Η διαφορική αυτή βύθιση επιμέρους υπολεκανών της αύλακας σε συνδυασμό με φαινόμενα αλατοκίνησης των εβαποριτών στη βάση της ενότητας, οδήγησαν σε σημαντικές πλευρικές μεταβολές στη φάση των ιζημάτων και στο πάχος των σχηματισμών. Η Α. Ηωκαινική - Ολιγοκαινική συμπίεστική τεκτονική επαναδραστηριοποίησε τις παλιές εφελκυστικές δομές της

Μεσο-Ιουρασικής ταφρογένεσης της Ιόνιας και δημιούργησε ευνοϊκές συνθήκες για ύπαρξη κοιτασμάτων πετρελαίου.

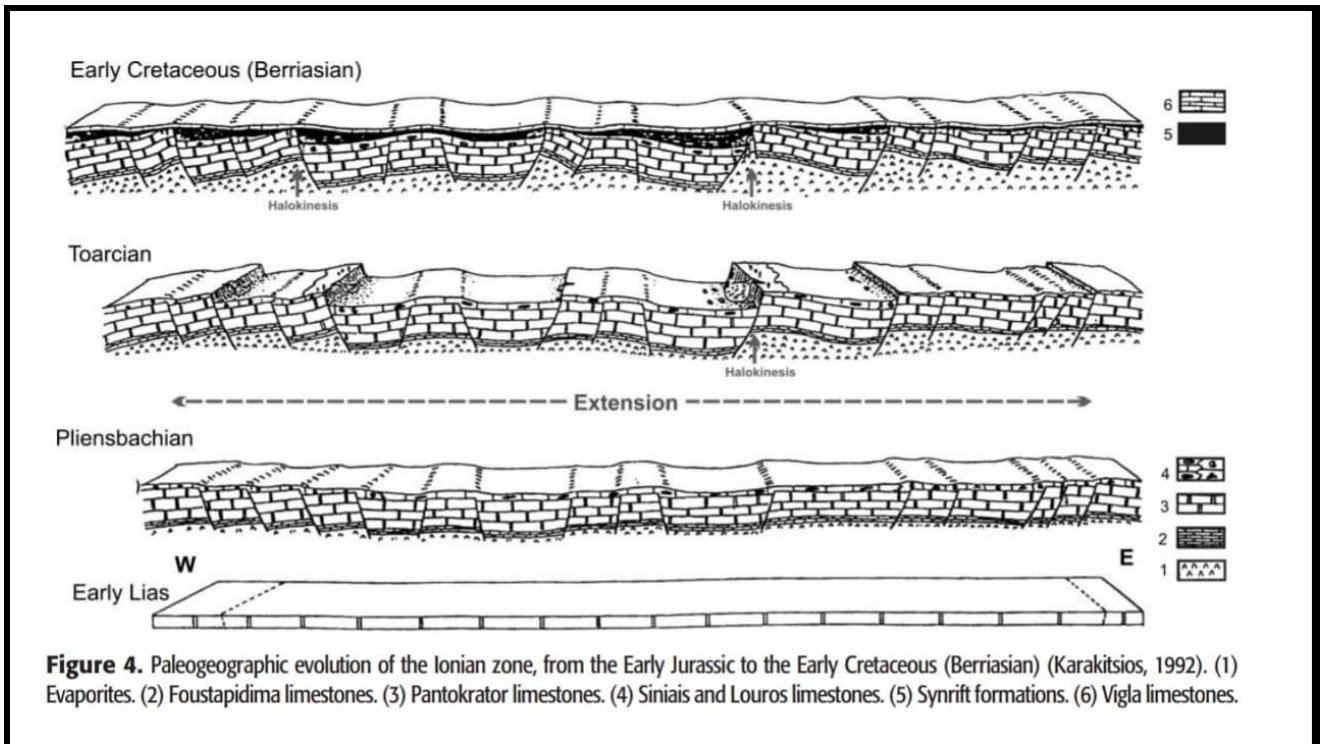


Figure 4. Paleogeographic evolution of the Ionian zone, from the Early Jurassic to the Early Cretaceous (Berriasian) (Karakitsios, 1992). (1) Evaporites. (2) Foustapidima limestones. (3) Pantokrator limestones. (4) Siniais and Louros limestones. (5) Synrift formations. (6) Vigla limestones.

Εικόνα 5 Παλαιογεωγραφική Εξέλιξη Ιόνιας Λεκάνης (Καρακίτσιος 2013)

4. ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΙΟΝΙΑ ΖΩΝΗ

4.1 Ιστορία της έρευνας στη Ιόνια Λεκάνη

Στον ελλαδικό χώρο και συγκεκριμένα στη Δυτική Ελλάδα, η έρευνα για κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου ξεκίνησαν από τις αρχές του 20ου αιώνα από ξένες εταιρίες. Στη δεκαετία του 60 άρχισαν οι πιο συστηματικές έρευνες, με έμφαση σε διαρροές κοντά στη επιφάνεια σε περιοχές όπως το Κερί στη Ζάκυνθο και στη Ήπειρο καθώς και επιφανειακές εμφανίσεις σε Κυλλήνη, Β.Δ Πελοπόννησο, κ.α. Μετά από πολλές γεωτρήσεις που έχουν διεξαχθεί το μόνο πετρελαϊκό πεδίο που έχει ανακαλυφθεί στη Δ. Ελλάδα, είναι στο Κατάκολο και έχει υδρογονάνθρακες σε ταμιευτήρα Ανώτερου Κρητιδικού έως Παλαιόκαινο/Ηώκαινο ανθρακικών πετρωμάτων της Ιόνιας ζώνης και έχουν για κάλυμμα τα αργιλικά στρώματα ηλικίας Πλείο-Τεταρτογενούς. Οι παγίδες δημιουργούνται είτε εξ 'αιτίας στρωματογραφικών ασυμφωνιών είτε λόγω διαπυρικών φαινομένων.

4.2 Ανάλυση του Πετρελαϊκού Συστήματος της Ιόνιας ζώνης

4.2.1 Μητρικά Πετρώματα

Σύμφωνα με (Manromatidis, 2009) υπάρχουν 4 ικανές μονάδες μητρικών πετρωμάτων της Ιόνιας Ζώνης(εικ 4a):

- i) Οι αργιλοί σχιστόλιθοι Viglas Μέσου Κρητιδικού(Άλβιου- Τουρώνιου)
- ii) Μέσου Ιουρασικού (Καλλόβιο) Posidonia στρώματα
- iii) Κατώτερου Ιουρασικού κατώτερα Posidonia στρώματα και μάργες στη βάση του Ammonitico Rosso
- iv) Αργιλοί ασχιστόλιθοι ρηχού νερού πλούσιοι σε οργανικά μέσα σε τριαδικούς εβαπορίτες

Τα μητρικά αυτά πετρώματα έχουν μεγάλη δυνατότητα για γένεση πετρελαίου(τύπος κηρογόνου I και II) και καλό δυναμικό παραγωγής υδρογονανθράκων. Τα κατώτερα Posidonia στρώματα είναι τα πιο σημαντικά μητρικά πετρώματα στην Ιόνια ζώνη. Το TOC περιεχόμενο τους φτάνει έως και 19.1%, με μέση τιμή 2.7% και δυναμικό παραγωγής πετρελαίου 125.85 mg HC/g πετρώματος. Οι σχιστόλιθοι της Viglas έχουν περιεχόμενο TOC έως και 6 wt% και δείκτη υδρογόνου περίπου 321 mg/g. Σύμφωνα με δεδομένα(Karakitsios and Rigakis, 2007), το παράθυρο πετρελαίου της Ιόνιας

λεκάνης βαθαίνει προς τα ανατολικά, με αποτέλεσμα οι Τριαδικοί σχιστόλιθοι να έχουν φτάσει στο παράθυρο του φυσικού αερίου στα βαθύτερα μέρη των υπο-λεκανών. Τα Posidonia στρώματα και οι μάργες βρίσκονται μέσα στο παράθυρο του πετρελαίου ενώ οι σχιστόλιθοι της Vigla παρουσιάζουν μεγαλύτερη ωρίμανση προς τα ανατολικότερα. Το μοντέλο της ωρίμανσης στη περιοχή ξεκινά με τους Τριαδικούς σχιστόλιθους να μπαίνουν στο παράθυρο του πετρελαίου στο ανώτερο Ιουρασικό, ακολούθησαν τα στρώματα Posidonia κατά το Σερραβάλλιο και οι σχιστόλιθοι της Viglas μετά το Σερραβάλλιο. Στις 2 τελευταίες περιπτώσεις η ωρίμανση έγινε μετά την Ιόνια ορογένεση και δημιουργία δομών παγίδας .

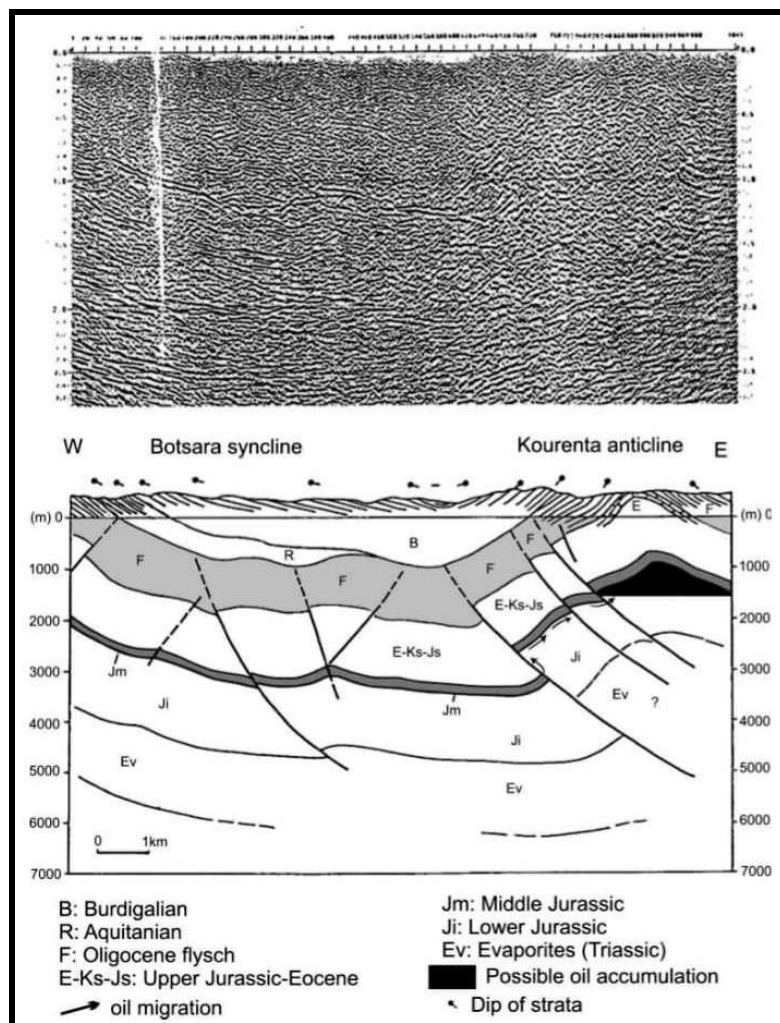
4.2.2 Ταμειυτήρια Πετρώματα

Τα ταμειυτήρια πετρώματα στη Δυτική Ελλάδα ανήκουν σε διάφορα επίπεδα των Μεσοζωϊκών-Παλαιογενούς ασβεστολιθικών ακολουθιών της Ιόνιας Ζώνης όπως i) οι ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα(μέσο πορώδες 10%, πάχος<1500 m) ii) Τριαδικό λατυποπαγές (πορώδες έως και 13%) iii) Ασβεστόλιθοι Vigla (πορώδες~1.7%) iv) Ασβεστόλιθοι Σενόνιου v) ασβεστόλιθοι Παλαιόκαινου-Ηώκαινου (πορώδες έως 8%, στη περιοχή του κοιτάσματος στο Κατάκολο), vi) στα ψαμμικά κυριώς διάκενα της ακολουθίας της λεκάνης προχώρας της Πίνδου Ηώκαινου-Ολιγόκαινου(πάχος έως 4 km), vii) ??ψαμμικά διάκενα σε πυριτικοπλαστικές ακολουθίες Νεογενούς??. Το πορώδες είναι μεγαλύτερο σε τεκτονικές ζώνες της Δυτ.Ελλάδας όπου πολλαπλά ρήγματα έχουν δημιουργήσει μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες, αυξάνοντας έτσι το δευτερογενές πορώδες και τη διαπερατότητα. Τα κοιτάσματα με μεγαλύτερο ενδιαφέρον έχουν παρατηρηθεί είναι οι ασβεστοτουρβιδίτες Ανώτερου Σενονίου, οι οποίοι έχουν μεγάλα αποθέματα αλλά δεν έχει διαξευχθεί εκτενής ερεύνα σε αυτούς.

4.2.3 Μετανάστευση, Μόνωση και Παγίδες

Οι Karakitsios and Rigakis (2007), περιέραψαν το μοντέλο της ωρίμανσης των μητρικών πετρωμάτων Μεσοζωϊκού της Ιόνιας λεκάνης. Οι Τριαδικοί σχιστόλιθοι ωρίμασαν την Ιόνια ορογένεση και δημιουργία δομών παγίδας, άρα υδρογονάνθρακες μπορεί να έχουν μεταναστεύει και παγιδευτεί σε δομές rift του Μεσοζωϊκού και στη συνέχεια έγινε επαναμετανάστευση και παγίδευση μέσα στο σύστημα επωθήσεων. Οριζόντια ρήγματα ΝΔ-ΒΑ διεύθυνσης, όπως της Αγίας Κυριακής, της βόρειας Κέρκυρας, Κεφαλονιάς κ.α. μπορούν να λειτουργούν ως μέσα μεταφοράς λόγω του δευτερογενούς πορώδους που έχουν δημιουργήσει . Οι ζώνες των ρηγμάτων

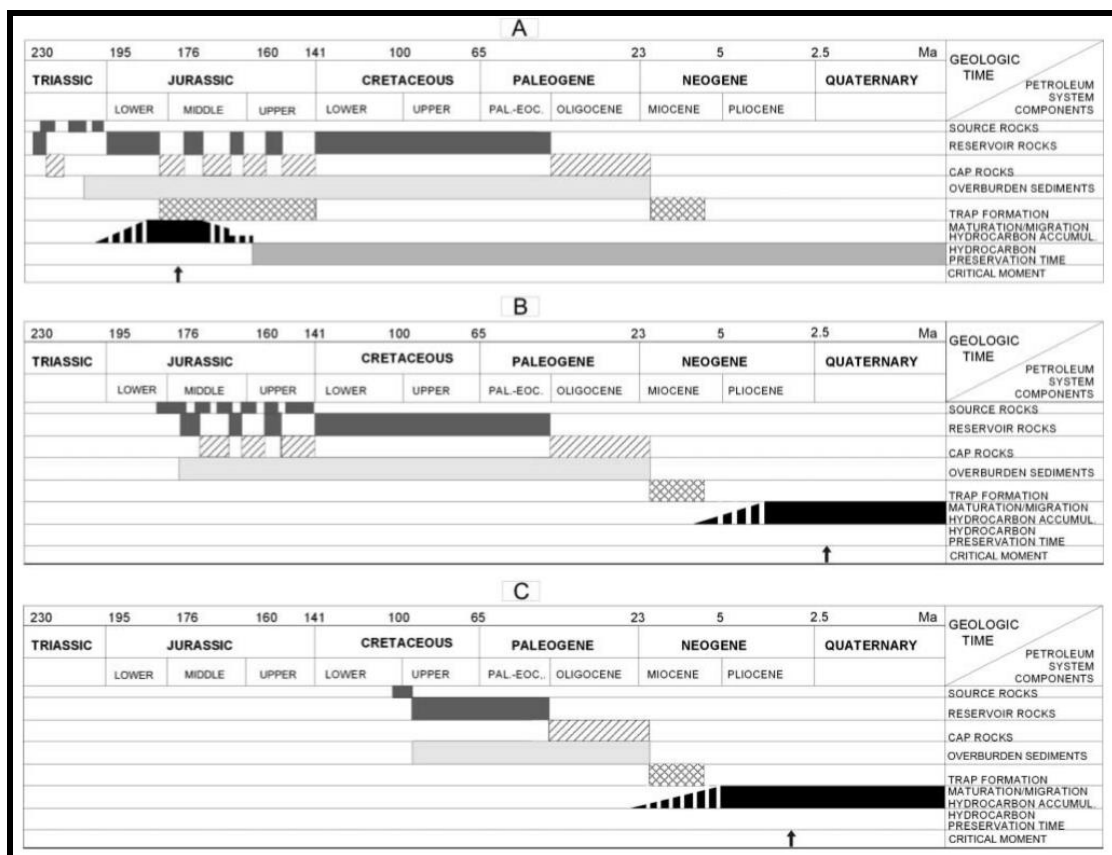
έχουν περίπλοκη αλλά κατανοήσιμη γεωμετρία που οδηγεί στη δημιουργία δομών παγίδας. Ο κύριος μονωτής στην Ιόνια ζώνη είναι ο Ολιγοκαινικός φλύσχος, παγιδεύοντας τους υδρογονάνθρακες σε ασβεστώδεις ακολουθίες. Άλλη περίπτωση είναι η μειοκαινική-Πλειοκαινική μάργα. Ο καλύτερος μονωτής είναι οι Τριαδικοί εβαπορίτες, για τις παγίδες κάτω από τις δομές επωθήσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις και τα μητρικά πετρώματα έχουν τον ρόλο του μονωτή. Στο αντίκλινα του φλύσχη που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια, τα κοιτάσματα έχουν φύγει εξαιτίας της διάβρωσης που επικράτησε στα αντίκλινα. Υπάρχουν όμως δομές συγκλίνων που απέφυγαν τη διάβρωση και διαθέτουν σειρές από μικρά αντίκλινα που λειτουργούν ως παγίδες (εικ 6). Πάντως οι τριαδικοί εβαπορίτες θεωρούνται να έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη της Ιόνιας λεκάνης. Η δημιουργία μικρών υπο-λεκανών κατά τη syn-rift φάση δημιούργησε τις κατάλληλες συνθήκες (ανοξικές) για τη διατήρηση του οργανικού υλικού. Στη συνέχεια οι επωθήσεις κατά το συμπιεστικό στάδιο επώθησαν τους εβαπορίτες, φτιάχνοντας έτσι ένα καλό σύστημα παγίδων. Άρα οι ίδιες οι επωθήσεις θεωρούνται παγίδες



Εικόνα 6 Σεισμικό προφίλ και γεωλογική τομή σε περιοχή στα ΒΔ της Ηπειρού (τροποποιημένη από Marnelis et al 2007)

4.3 Προτεινόμενες θέσεις κοιτασμάτων υδρογονάνθρακα

Στη Δυτική Ελλάδα οι περιοχές με τις μεγαλύτερες δυνατότητες για εκμετάλλευση υδρογονανθράκων είναι η Προ-απούλια και η Ιόνια ζώνη των εξωτερικών ελληνίδων. Στην Ιόνια ζώνη (εικ 7) βλέπουμε την ωρίμανση για μητρικά πετρώματα Τριαδικού, Ιουρασικού και Κρητιδικών πετρωμάτων. Στο πίνακα φαίνεται επίσης και το κρίσιμο σημείο (με βελάκι) όπου είναι το σημείο που δείχνει καλύτερα στο χρόνο την μετανάστευση και συγκέντρωση των υδρογονανθράκων στο πετρελαϊκό σύστημα. Η ωρίμανση των σχιστών του Τριαδικού (Εικ. 7-A) έγινε πριν το συμπίεστικό καθεστώς, άρα η διαφυγή των υδρογονανθράκων από το κροκαλοπαγές Τριαδικού είναι πιθανή και στη συνέχεια η παγίδευσή τους σε τεκτονικές δομές του Μεσοζωικού που σχετίζονται με την ταφρογένεση (ασβεστόλιθοι της Βίγλας και του Σενωνίου). Το καθεστώς συμπίεσης και η ενεργοποίηση των επωθήσεων θα μπορούσε να προκαλέσει επαναμετανάστευση των υδρογονανθράκων στις παγίδες κάτω από τις επωθήσεις με τους εβαπορίτες να λειτουργούν σαν κάλυμμα.



Εικόνα 7 : Τα πετρελαϊκά συστήματα φόρτισης της Ιόνιας ζώνης όπου Α) για μητρικά πετρώματα ηλικίας Τριαδικού, Β) για μητρικά πετρώματα ηλικίας Ιουρασικού και C) για μητρικά πετρώματα ηλικίας Κρητιδικού (Καρακίτσιος 2013)

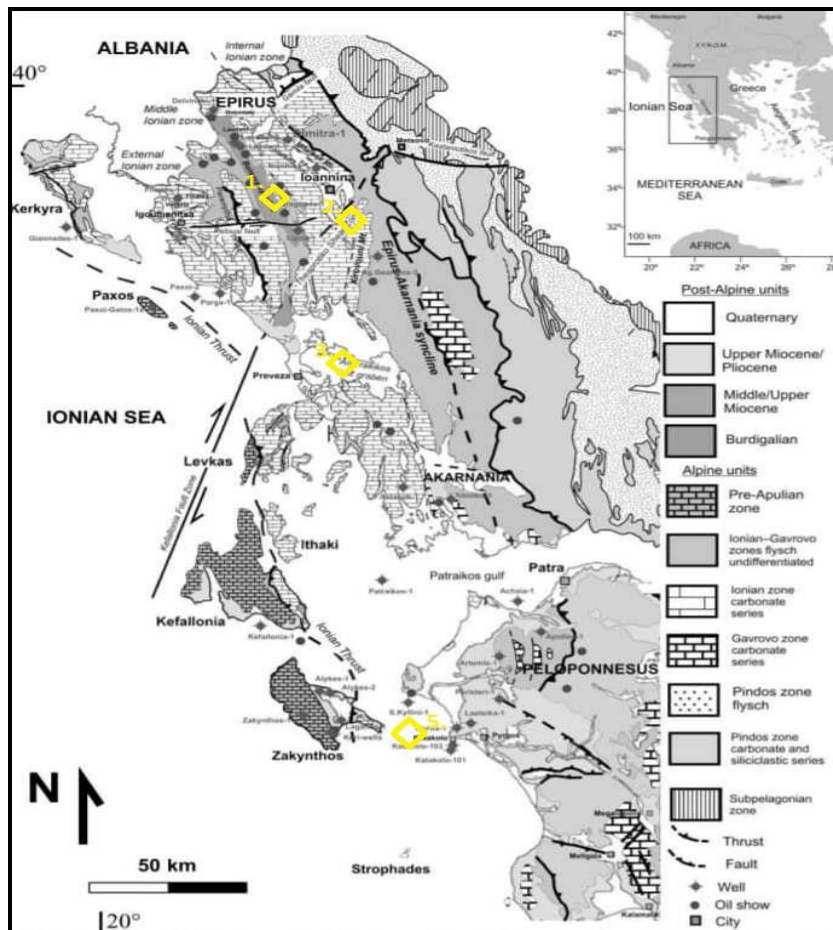
Τα στρώματα της Ποσειδόνιας (Εικ. 7-B) και οι σχίστες της Βίγλας (Εικ. 7-C) ώριμασαν μετά την ενεργοποίηση της Ιόνιας επώθησης και της ανάπτυξης των τεκτονικών παγίδων που δημιούργησαν οι επωθήσεις της Πίνδου και της εσωτερικής Ιόνιας αντίστοιχα. Εδώ ως ταμειυτήρες για τους υδρογονάνθρακες μητρικών πετρωμάτων είναι κυρίως οι ασβεστόλιθοι της Βίγλας και του Σενωνίου, καθώς και οι ασβεστόλιθοι Παλαιοκαίνου και Ηωκαίνου.

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι πιο ελπιδοφόρες περιοχές στην Ιόνια ζώνη για ανάπτυξη πεδίων υδρογονανθράκων

Παράκτιες θέσεις	
1. Σύγκλινο του Μποτσαρά	Βρίσκεται 25 km δυτικά των Ιωαννίνων, έχει έκταση έως και 300 km ² . Το σύγκλινο έχει μητρικά πετρώματα καθώς και επιφανειακές εκδηλώσεις στα όρια του. Προς τα ανατολικά μετατρέπεται σε αντίκλινο (Κουρέντα) και καλύπτεται από φλύσχη. Θεωρείται αρκετά ελπιδοφόρα περιοχή και είναι στόχος για περαιτέρω έρευνα (εικ 8)
2. Σύγκλινο της Ηπείρου	Είναι ανατολικά των βουνών Μιτσικέλι και Χιροβούνι, έχει όλα τα χαρακτηριστικά για παγίδευση εκμεταλλεύσιμων ποσοτήτων υδρογονάνθρακα. Μητρικά πετρώματα είναι σχιστόλιθοι Βίγλας που θεωρούνται ώριμα όπως και οι σχιστόλιθοι Ποσειδόνιας που βρίσκονται πιο βαθιά. Η γενική δομή του συγκλίνου κρύβει οποιαδήποτε αντικλινική δομή. Η επιφάνεια του αγγίζει τα 500 km ² . Όμως ένα μέρος του παραγόμενου υδρογονάνθρακα καταλήγει στη ασβεστώδη σειρά της γειτονικής λόγω πορώδους. (εικ 8)
3. Λεκάνη της Πρέβεζας	Μεγάλου πάχους Πλειστοκαινικά ιζήματα καλύπτουν πετρώματα Μειόκαινου και περιέχει πεδία φυσικού αερίου. (εικ 8)
4. Αντικλινικές Δομές	Ενδιαφέρον σε σημεία με εβαπορίτες, αντίκλινα κάτω από φλύσχη σε σημεία επωθήσεων όπως Φιλιατές-Βριτσέλα, Ηγουμενίτσα-Πλαταριά κ.α Ένα από τα προτεινόμενα μοντέλο αποτελείται από ανθρακικούς ταμειυτήρες Κρητιδικού-Ηώκαινου και μονωμένα από Ολιγοκαινικό-Μειοκαινικό φλύσχη.
Υπεράκτιες Θέσεις	
5. Δυτικά του Κατάκολου	Είναι η μόνη θέση στη θάλασσα πεδίου παραγωγής που έχει εντοπιστεί στην Δυτική Ελλάδα. Με δύο γεωτρήσεις έχει εντοπισθεί Μεσοζωικός ταμειυτήρας παραγωγής πετρελαίου και φυσικού αερίου. Αν και βρίσκεται σε βάθος έως 300 m στο νερό, η απόσταση από τη στεριά το καθιστά οικονομικά συμφέρον. (εικ 8)

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΩΝ

Λόγω της περιορισμένης ποσότητας συμβατικών υδρογονανθράκων, ενδιαφέρον παρουσιάζουν και μη συμβατικοί υδρογονάνθρακες όπως βαρύ πετρέλαιο, πισσώδης άμμοι, βιτουμενιούχοι σχίστες κ.α. σε θέσεις με μητρικά μαύρων σχιστών, σε περιοχές που οι σχίστες βρίσκονται κάτω από το επιφανειακό νερό με περιεχόμενο οργανικό υλικό πάνω από 1% (σε βάθη 5000-6000 m). Παράδειγμα μητρικών στη δυτική Ελλάδα είναι τα αργιλώδη μητρικά πετρώματα που έχουν φτάσει στο παράθυρο πετρελαίου .



Εικόνα 8 Γεωλογικός Χάρτης Δυτικής Ελλάδας. Με κίτρινα αστεράκια οι προτεινόμενες θέσεις έρευνας υδατανθράκων (τροποποιημένη από Karakitsios et al 2013)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bourli, N., Pantopoulos, G., Maravelis, A.G., Zoumpoulis, E., Iliopoulos, G., Pomoni-Papaioannou, F., Kostopoulou, S., Zelilidis, A., 2019: Late Cretaceous to early Eocene geological history of the eastern Ionian Basin, southwestern Greece: a sedimentological approach. *Cretaceous Journal* 98, 47-71.
- Bourli, N., Kokkaliari, M., Iliopoulos, I., Pe-Piper, G., Piper, D.J.W., Maravelis, A.G., Zelilidis, A., 2019: Mineralogy of siliceous concretions, Cretaceous of Ionian zone, western Greece: implication for diagenesis and porosity. *Marine and Petroleum Geology*, 105, 45-63.
- Karakitsios V. 2013: Western Greece and Ionian Sea petroleum systems. *The American Association of Petroleum Geologists*. No. 9, 1567-1595.
- Karakitsios V., Rigakis N., 2007: Evolution and Petroleum Potential of Western Greece. *Journal of Petroleum Geology*, Vol. 30, 197-218.
- Zelilidis, A. & Maravelis, A.G. 2015: Introduction to the Thematic Issue: Adriatic and Ionian Seas: Proven Petroleum Systems and Future Prospects. *Journal of Petroleum Geology*, vol. 38(3), 247-253.
- Zelilidis, A., Maravelis, A.G., Tserolas, P. & Konstantopoulos, P.A. 2015: An overview of the Petroleum systems in the Ionian zone, onshore NW Greece and Albania. *Journal of Petroleum Geology*, vol. 38 (3), 331-348.