

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΡΑΦΑΕΛΛΑ Χ. ΟΘΩΝΟΣ

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΤΥΠΟΥ ΖΟΡ ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020





ΡΑΦΑΕΛΛΑ Χ. ΟΘΩΝΟΣ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5565

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΤΥΠΟΥ ΖΟΡ ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-
Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων

ΑΝΔΡΕΑΣ ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ



© ΡΑΦΑΕΛΛΑ Χ. ΟΘΩΝΟΣ, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.,
Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, 2020
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΤΥΠΟΥ ΖΟΡ ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ,
Διπλωματική Εργασία

© RAFAELLA CHR. OTHONOS, School of Geology,
Department of Mineralogy-Petrology-Economic Geology, 2020
All rights reserved.
HYDROCARBON TYPE ZOHR IN THE EASTERN MEDITERRANEAN
Bachelor Thesis



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	5-6
----------------	-----

Εισαγωγή.....	7-8
---------------	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	9-11
---	-------------

1.1.Τεκτονική εξέλιξη Ανατολικής Μεσογείου	12-14
--	-------

1.2.Μεσόγειος Θάλασσα.....	15-16
----------------------------	-------

1.3.Τεκτονική εξέλιξη Ελληνικού χώρου	16-17
---	-------

1.4.Μεσογειακή Ράχη	18-19
---------------------------	-------

1.4.1.Τεκτονική εξέλιξη της Μεσογειακής ράχης	18
---	----

1.4.2.Στρωματογραφία της Μεσογειακής ράχης	18-19
--	-------

1.5.Τεκτονική εξέλιξη Κυπριακού χώρου	20-21
---	-------

1.6. Διαφορές μεταξύ Κυπριακού τόξου και Ελληνικού	22
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ	23-32
------------------------------	-------

2.1.Προδιαγραφές γένεσης υδρογονανθράκων.....	23
---	----

2.1.1. Μητρικά πετρώματα	24
--------------------------------	----

2.1.2. Πετρώματα ταμιευτήρες	24
------------------------------------	----

2.1.2.1.Πορώδες	24-25
-----------------------	-------

2.1.2.2.Περατότητα	26
--------------------------	----

2.1.3. Ανθρακικοί ταμιευτήρες	27
-------------------------------------	----

2.1.4. Ψαμμιτικοί ταμιευτήρες	28
-------------------------------------	----

2.1.5. Πετρώματα καλύμματα.....	28
---------------------------------	----

2.1.6. Δομές παγίδευσης	29-32
-------------------------------	-------

2.1.6.1.Στρωματογραφικές.....	29-30
-------------------------------	-------

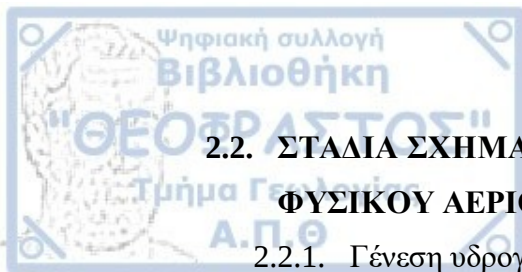
2.1.6.2.Τεκτονικές.....	31-32
-------------------------	-------

2.1.6.2.1.Αντικλινικές παγίδες	31-32
--------------------------------------	-------

2.1.6.2.2.Παγίδες που οφείλονται σε ρήγματα	31
---	----

2.1.6.2.3.Παγίδες που οφείλονται σε αλατούχους δόμους.....	32
--	----

2.1.6.2.4. Συνδυασμός των πιο πάνω.....	32
---	----



2.2. ΣΤΑΔΙΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ..... 33-38

2.2.1. Γένεση υδρογονανθράκων	33
2.2.1.1.Οργανικό υλικό	33
2.2.1.2.Κηρογόνο	34-35
2.2.1.2.1. Τύποι κηρογόνου	34-35
2.2.1.2.2. Σχηματισμός κηρογόνου.....	35
2.2.1.2.3. Σχηματισμός υδρογονανθράκων.....	36-37
2.2.2. Μετανάστευση υδρογονανθράκων	37-38
2.2.2.1.Πρωτογενής Μετανάστευση	38
2.2.2.2.Δευτερογενής Μετανάστευση.....	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

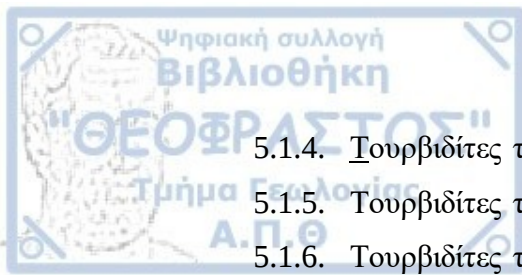
3. ΔΕΛΤΑ ΤΟΥ ΝΕΙΛΟΥ	39-45
3.1. Τεκτονική εξέλιξη του Νείλου.....	39-41
3.2. Στρωματογραφία.....	42
3.3. Υποθαλάσσιο Ριπίδιο του Νείλου	43-45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

4. ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΟ ΜΠΛΟΚ ΕΡΑΤΟΣΘΕΝΗ.....	46-51
4.1. Τεκτονική εξέλιξη.....	47-48
4.2. Το οροπέδιο του Ερατοσθένη	48
4.3. Σεισμικά δεδομένα	48-50
4.4. Λεκάνες εκατέρωθεν του	50-51
4.4.1. Δυτική Μειοκαινική ημιλεκάνη του Ερατοσθένη	50
4.4.2. Βόρεια λεκάνη μεταξύ Κύπρου και μπλοκ του Ερατοσθένη...	50-51
4.4.3. Νότια λεκάνη μεταξύ Ερατοσθένη και λεκάνη Λεβαντίνης.....	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

5. ΛΕΚΑΝΗ ΗΡΟΔΟΤΟΥ.....	52--55
5.1. Στρωματογραφία.....	52
5.1.1. Προ- Μεσσήνια ιζήματα	52
5.1.2. Μεσσήνια ιζήματα	52-53
5.1.3. Πλειο-Τεταρτογενή ιζήματα	53



5.1.4. Τουρβιδίτες τύπου Α: (ηλικία Μέσο Πλειστόκαινο – Ολόκαινο)...	53
5.1.5. Τουρβιδίτες τύπου Β: (ηλικία Ανώτερο Πλειστόκαινο).....	53
5.1.6. Τουρβιδίτες τύπου Γ: (ηλικία Άνω Πλειστόκαινο).....	53-54
5.2. Σεισμικά προφίλ.....	54
5.3. Προϋποθέσεις ανάπτυξης και διατήρησης υδρογονανθράκων.....	54-55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΛΕΚΑΝΗ ΛΕΒΑΝΤΙΝΗ.....56-64

6.1.Τεκτονική εξέλιξη.....	56
6.2.Σεισμικά προφίλ	57-58
6.3.Στρωματογραφία.....	59-62
6.3.1. Κρυσταλλικό υπόβαθρο.....	59
6.3.2. Πέρμιο-Μέσο Ιουρασική ακολουθία.....	59
6.3.3. Μέσο-Άνω Κρητιδική ακολουθία.....	59-60
6.3.4. Σενώνια-Κάτω Ολιγοκαινική ακολουθία.....	60
6.3.5. Ολιγοκαινική-Άνω Μειοκαινική ακολουθία.....	60-61
6.3.6. Μεσσηνιακή ακολουθία.....	61
6.3.7. Πλειοκαινική-Πλειστοκαινική ακολουθία.....	61-62
6.4.Υδρογονάνθρακες στη Λεβαντίνη λεκάνη.....	62-64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

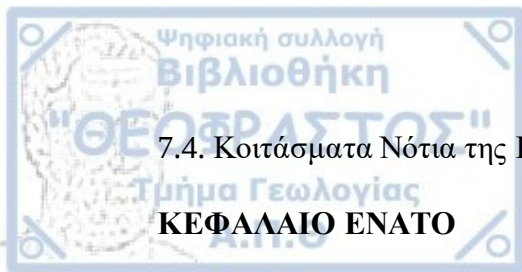
ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΖΩΝΗ (ΑΟΖ).....65-68

6.5.Ορισμός.....	65-66
6.6.Δραστηριότητες της Κυπριακής ΑΟΖ	66-68

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

7. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ.69-73

7.1. Κοίτασμα Ταμάρ.....	69
7.2.Κοίτασμα Λεβιάθαν.....	69-70
7.3.Κοίτασμα Αφροδίτη.....	70-71
7.3.1 Εργασίες εξόρυξης.....	71



7.4. Κοιτάσματα Νότια της Κρήτης.....	72-73
---------------------------------------	-------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

8. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΤΥΠΟΥ ΖΟΡ ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ...74-78

8.1.Πρόσφατες ανακαλύψεις ΦΑ στην Ανατολική Μεσόγειο.....	74
---	----

8.2.Καινοτόμες έρευνες κοιτάσματος Ζορ στην Ανατολική Μεσόγειο.....	75-76
---	-------

8.2.2. Αιγυπτιακό κοίτασμα Ζορ.....	75-77
-------------------------------------	-------

8.2.2.1.Σημερινά δεδομένα – Το έργο της εταιρείας ENI.....	76
--	----

8.2.2.2.Γεωλογικό πλαίσιο.....	76-77
--------------------------------	-------

8.2.3. Κυπριακό κοίτασμα τύπου Ζορ.....	78
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	79-80
----------------------	-------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΤΕΚΑΤΟ

10. ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	81-88
---------------------------------	-------

Περίληψη:

Η Ανατολική Μεσόγειος τα τελευταία χρόνια, επιδεικνύει μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον, αφού σε αυτή απαντώνται αρκετά γεωλογικά φαινόμενα. Η λεκάνη του Ηρόδοτου και η λεκάνη της Λεβαντίνης, οι δύο αυτές μεγάλες ιζηματογενείς λεκάνες νότια της Κυπριακής Δημοκρατίας, καθώς και η παρουσία του ηπειρωτικού μπλοκ του Ερατοσθένη και του κώνου του Νείλου, διαδραματίζουν το δικό τους ρόλο στην ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής της Ανατολικής Μεσογείου.

Με τη βοήθεια λοιπόν, των σεισμικών δεδομένων, της τεκτονικής εξέλιξης, της στρωματογραφίας των λεκανών και των υπόλοιπων γεωλογικών δομών της περιοχής, καθώς και την ανάλυση της γεωλογίας πετρελαίων, παρουσιάζεται το μέγεθος των κοιτασμάτων φυσικού αερίου (Ζορ, Αφροδίτη, Λεβιάθαν και Ταμάρ) που ανακαλύφθηκαν στις ιζηματογενείς λεκάνες της Κυπριακής ΑΟΖ, βόρεια της ΑΟΖ της Αιγύπτου, στο Ισραήλ καθώς και στην νότια περιοχή της Κρήτης, την τελευταία δεκαετία.

Σαφώς λοιπόν, και τα κράτη της Ανατολικής Μεσογείου (Κύπρος, Αίγυπτος, Ισραήλ, Ελλάδα) προχωρούν συνεχώς με γοργούς ρυθμούς, καθώς και σε ερευνητικές γεωτρήσεις και αδειοδοτήσεις, με απώτερο σκοπό την εκμετάλλευση και εμπορευσιμότητα τους.

Με βάση τα πιο πάνω, στην παρούσα πτυχιακή εργασία, μελετώνται τα πιο κάτω:

- (α) Η τεκτονική εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής της Ανατολικής Μεσογείου
- (β) Οι προδιαγραφές και τα στάδια δημιουργίας κοιτασμάτων
- (γ) Η ανάπτυξη πεδίων υδρογονανθράκων στις δύο λεκάνες της Κύπρου (Ηρόδοτου και Λεβαντίνης) με σύνορα Αιγύπτου
- (δ) Η ανάπτυξη και ο ρόλος του δέλτα του Νείλου και του ηπειρωτικού μπλοκ του Ερατοσθένη και
- (ε) Η ανάγκη δημιουργίας της Αποκλειστικής Οικονομικής Ζώνης της Κύπρου

Λέξεις – Κλειδιά:

Κοιτάσματα Ζορ, Ανατολική Μεσόγειος, Δέλτα του Νείλου, Λεκάνη Ηρόδοτου, Λεβαντίνη λεκάνη, ΗΜΕ



Abstract:

The Eastern Mediterranean in recent years has shown great scientific interest, since it is found in several geological phenomena. The Herodotus Basin and the Levantine Basin, these two large sedimentary basins south of the Republic of Cyprus, as well as the presence of the continental block of Eratosthenes and the Nile Basin, play their part in the development of the wider Eastern Mediterranean region.

With the help of seismic data, tectonic evolution, stratigraphy of basins and other geological structures of the region, as well as analysis of oil geology, the size of the natural gas deposits (Zohr, Aphrodite, Leviathan and Tamar) discovered in the sedimentary basins of the Cyprus EEZ, north of the EEZ of Egypt, in Israel as well as in the southern region of Crete is presented over the last decade.

Clearly, therefore, the Eastern Mediterranean states (Cyprus, Egypt, Israel, and Greece) are constantly progressing rapidly, as well as in research drilling and licensing, with the ultimate aim of their exploitation and merchantability.

On the basis of the above, in this graduate work, the following are studied:

- (a) The tectonic evolution of the wider Eastern Mediterranean region
- (b) Specifications and stages for the creation of deposits
- (c) The development of hydrocarbon fields in the two basins of Cyprus (Herodotus and Levantine) with the Egyptian border
- (d) The development and role of the Nile Delta and the continental bloc of Eratosthenes and
- (e) The need to create the Exclusive Economic Zone of Cyprus

Keywords:

Zohr, Eastern Mediterranean, Nile Delta, Herodotus Basin, Levantine Basin, Eratosthenes Continental Block (ECB)

Εισαγωγή

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η έρευνα και η ανάλυση των κοιτασμάτων τύπου Ζορ της Ανατολικής Μεσογείου, τόσο στον θαλάσσιο χώρο Νότια της Κύπρου, Βόρεια της Αιγύπτου, όσον και στον Ελληνικό χώρο Νότια της Κρήτης.

Για την σύνταξη της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν αγγλική βιβλιογραφία, αγγλικά άρθρα και δημοσιεύσεις διάφορων επιστημόνων που ασχολούνται με την μελέτη των φυσικών πόρων καθώς επίσης και ελληνική βιβλιογραφία εκ των οποίων βιβλία που διδάσκονται στα Ελληνικά Ανώτερα και Ανώτατα Εκπαιδευτικά Ιδρύματα της Ελλάδας.

Σημαντική ήταν η συμβολή του κ. Άγγελου Μουσουλιώτη, ο οποίος μου έχει παραχωρήσει βιβλιογραφικό υλικό και σεισμικά προφίλ της ευρύτερης περιοχής της Κυπριακής ΑΟΖ.

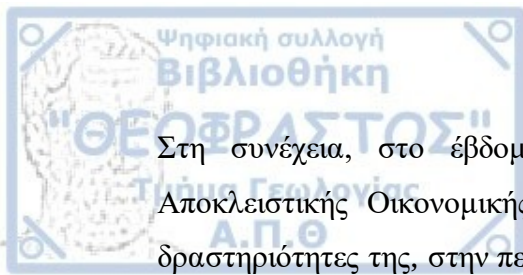
Η παρούσα εργασία αποτελείται από δέκα κεφάλαια. Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην γεωτεκτονική εξέλιξη του Κυπριακού Τόξου, της Μεσογείου θάλασσας και του Ελληνικού χώρου, τη δημιουργία του Ελληνικού Τόξου. Επίσης γίνεται αναφορά στα κυριότερα γεωτεκτονικά γεγονότα που συνέβησαν στην περιοχή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθενται, οι γενικοί ορισμοί της κοιτασματολογίας πετρελαίου σημαντικοί για την κατανόηση της γένεσης, ανάπτυξης, μετανάστευσης και δημιουργίας υδρογονανθράκων με τελικό σκοπό την ενεργειακή τους εκμετάλλευση από τον άνθρωπο.

Ακολούθως στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται ο σχηματισμός του δέλτα του Νείλου καθώς και η σημαντική συμβολή του στην εξέλιξη της περιοχής.

Στο τέταρτο και πέμπτο κεφάλαιο καταγράφεται η τεκτονική, στρωματογραφική εξέλιξη των ιζηματογενών λεκανών της Κύπρου, της λεκάνη του Ηρόδοτου και Λεβαντίνης λεκάνης αντίστοιχα, ενώ παρατίθενται και τα σεισμικά δεδομένα μέσω των οποίων προσδιορίζονται πιθανές θέσεις υδρογονανθράκων.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά για ένα εξίσου σημαντικό στοιχείο του Κυπριακού χώρου, το ηπειρωτικό μπλοκ του Ερατοσθένη. Καταγράφεται η τεκτονοστρωματογραφική εξέλιξη του, η στρωματογραφία του και η σημασία της υποβύθιση του κάτω από την Κύπρο καθώς και η σχέση του με τις γειτονικές σε αυτό λεκάνες.



Στη συνέχεια, στο έβδομο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στη δημιουργία της Αποκλειστικής Οικονομικής Ζώνης (ΑΟΖ) της Κυπριακής Δημοκρατίας και στις δραστηριότητες της, στην περιοχή.

Στο όγδοο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η ενεργειακή δυναμική της Ανατολικής Μεσογείου όπως έχει εξελιχθεί τη τελευταία δεκαετία, με αναφορά στα κοιτάσματα, Αφροδίτης, Ταμάρ, Λεβιάθαν και Νότιας Κρήτης, τα οποία είναι τύπου Ζορ.

Στο ένατο κεφάλαιο παρατίθενται πληροφορίες για τα κοιτάσματα τύπου Ζορ στην υπόλοιπη Ανατολική Μεσόγειο στις πιθανές θέσεις βόρεια της Αιγύπτου και νότια της Κρήτης.

Τέλος, στο δέκατο και εντέκατο κεφάλαιο αναλύονται τα συμπεράσματα και αναφέρεται η βιβλιογραφία αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

1. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Γνωρίζοντας ότι, η λιθόσφαιρα της γης αποτελείται από μεγάλες λιθοσφαιρικές πλάκες, οι σχετικές κινήσεις των οποίων ρυθμίζουν τα ενεργά τεκτονικά φαινόμενα, σε παγκόσμια και σε τοπική κλίμακα, μπορούμε να κατανοήσουμε τη δομή τόσο των ηπείρων όσο και των ωκεανών.

Στη διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας, ένας ωκεάνιος χώρος είναι δυνατόν να δημιουργηθεί, και να λειτουργήσει για ορισμένα εκατομμύρια χρόνια και ακολούθως να καταστραφεί κάτω από μια ηπειρωτική λιθοσφαιρική πλάκα. Από την αρχική δημιουργία ενός ωκεανού μέχρι την καταστροφή του, μεσολαβεί μία συγκεκριμένη διαδοχή γεωτεκτονικών φαινομένων, τα οποία με τις εντατικές καταστάσεις της λιθόσφαιρας, ρυθμίζουν τόσο τον ωκεάνιο χώρο όσο και τους γειτονικούς ηπειρωτικούς χώρους, την ανάπτυξη, την εξέλιξη και τη συμπλήρωση ενός πλήρους γεωτεκτονικού κύκλου.

Έτσι λοιπόν, ένας ωκεανός αρχίζει να δημιουργείται με ένα πανάρχαιο σχίσμο, την γνωστή αρχική ηπειρωτική διάρρηξη με την εκατέρωθεν απομάκρυνση των τεμαχίων των δύο ηπείρων.

Η υπερ-ήπειρος Παγγαία ([εικ.1](#)), αποτελούσε μία ενιαία μάζα ξηράς που περιβαλλόταν από μία ενιαία θάλασσα, την Παν-θάλασσα, πρόγονο του σημερινού Ειρηνικού. Κατά το Πέρμιο, (γύρω στο 290 Ma) ανατολικά της Παγγαίας, μία ωκεάνια λεκάνη σε σχήμα σφήνας, η Παλαιό- Τηθύος διευρύνθηκε προς τα ανατολικά μεταξύ της Ευρασίας και της Αφρικής – Αραβίας. Στη συνέχεια η αναδιάταξη των πλακών προκάλεσε την κατάρρευση του Ερκύνιου ορογενούς και συνέχισε την προς τα βόρεια υποβύθιση της Παλαιο-Τηθύος κάτω από την Ευρασιατική ήπειρο ([e.g Vai, 2003](#)).

Μία νέα ωκεάνια λεκάνη, η Νέο -Τηθύος, άρχισε να σχηματίζεται κατά μήκος της Γκοντβάνας. Το άνοιγμα της Νέο-Τηθύος είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία της Κιμερικής ηπειρωτικής πλάκας. Ακολούθως η Κιμερική ήπειρος παρασύρθηκε στα βορειοανατολικά, αφήνοντας στο πέρασμα της ένα νέο ωκεανό την Νέο-Τηθύος.

Κατά το Πέρμιο – Τριαδικό (251Ma), η βόρεια Γκοντβάνα χαρακτηρίστηκε από την ανάπτυξη ενός ώριμου παθητικού περιθωρίου κατά μήκος του ωκεανού Νέο -Τηθύος, ο οποίος άρχισε να ανοίγει στο λιθανθρακοφόρο. ([Muttoni, G, et. Al., 2009](#)).

Η σημερινή Βόρεια Αφρική, βρισκόταν κατά μήκος του νότιου παθητικού περιθωρίου της Νέο-Τηθύος και χαρακτηρίστηκε από την ανάπτυξη εκτατικών λεκανών στη Λιβύη και τη Λεβαντίνη.

Το όριο του Πέρμιου – Τριαδικού χαρακτηρίστηκε σε παγκόσμια κλίμακα από τη χαμηλή στάθμη της θάλασσας που αντανακλάται από τις ηπειρωτικές ή θαλάσσιες φάσεις. Η αρχή της Τριαδικής εποχής χαρακτηριζόταν από μία άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

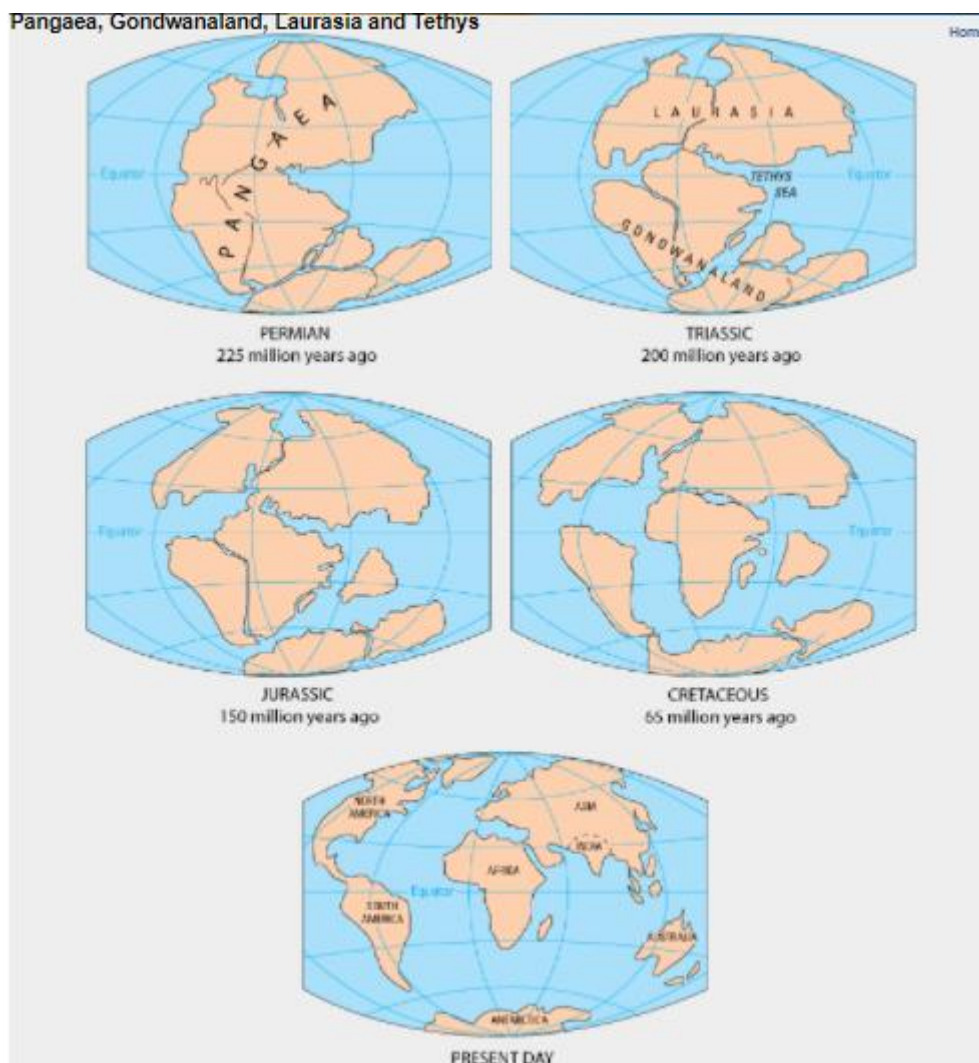
Κατά το Άνω Τριαδικό, η προοδευτική διεύρυνση της Νέο-Τηθύος και η ταυτόχρονη στένωση της Πάλαιο -Τηθύος, είχαν ως τελικό αποτέλεσμα την προσκόλληση του Κιμμερικού εδάφους κατά μήκος του Ευρασιατικού ηπειρωτικού περιθωρίου. Στο στάδιο αυτό, καταγράφηκε η πρώτη απόδειξη του κλεισίματος του ωκεανού της Παλαιό-Τηθύος, κατά μήκος του νότιου περιθωρίου της Ασίας. Όλες οι μικροπλάκες που αποσπάστηκαν από την Γκοντβάνα, πλησίασαν τη νότια Ασία. Ο ωκεανός της Νέο-Τηθύος ήταν ευρέως ανοικτός.

Κατά το Μέσο Ιουρασικό, στην περιοχή της Τηθύος, η κατάσταση ήταν πολύπλοκη, (Barier and Vrielynck, 2008), λόγω της ύπαρξης ενός εκτατικού καθεστώτος στα δυτικά (εξαπλώνεται στην Αλπική Τηθύος, γνωστή ως Πεννινικός ωκεανός) και στο νότο(εξαπλώνεται ο ωκεανός της Μεσογέας) και λόγω της έναρξης της υποβύθισης της Νέο-Τηθύος κατά μήκος του νότιου περιθωρίου της Λαυρασίας. Το άνοιγμα του ωκεανού της Μεσογέας διαχώρισε το περιθώριο της Αραβίας και της Βόρειας Αφρικής από το κύριο ηπειρωτικό μπλοκ, που αποτελείτο από μία μεγάλη ανθρακική πλατφόρμα και από τις λεκάνες που συνδέονται με την πλατφόρμα, οι οποίες αργότερα θα αποτελούσαν τμήμα του τουρκικού παζλ και των μπλοκ Διναριάδες και Πελαγονική.

Κατά το τέλος της Κρητιδικής εποχής (65.5 Ma), οι σημερινές ήπειροι καθορίστηκαν πλήρως. Μόνο ο βόρειος Ατλαντικός ωκεανός δεν άνοιξε πλήρως. Η Αφρική αποχωρίστηκε από την Ανταρκτική και την Ινδία.

Ακολούθως, κατά το Ηώκαινο – Ολιγόκαινο, συνδυάστηκε το άνοιγμα του Ατλαντικού και του Ινδικού ωκεανού με την κίνηση της Αφρικής προς το νότιο όριο της Ευρασίας και με το σταδιακό κλείσιμο του ωκεανού Νέο Τηθύος. Η ταχεία προς τα βόρεια κίνηση της Ινδίας ήταν υπεύθυνη για την ηπειρωτική σύγκρουση και την ανάπτυξη των Ιμαλάϊων, μετά το πλήρες κλείσιμο της ανατολικής Νέο-Τηθύος. Μετά τις συγκρούσεις που καταγράφηκαν από τις μικροπλάκες, το συνεχιζόμενο σύστημα συμπίεσης που

συνδέεται με την περιστροφή προς τα αριστερά της Αφρικής παρήγαγε την προς τα βόρεια υποβύθιση του ωκεανού της Μεσογέας κάτω από τα νεοσυσταθέντα εδάφη στη νότια Ευρασία. Η Βόρεια Αφρική εξακολουθούσε να χαρακτηρίζεται ως παθητικό περιθώριο που βρισκόταν νότια από την Ανατολική Μεσόγειο.



Εικόνα 1. Τεκτονική εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής από το Πέρμιο έως σήμερα ([Earthguide](#)).

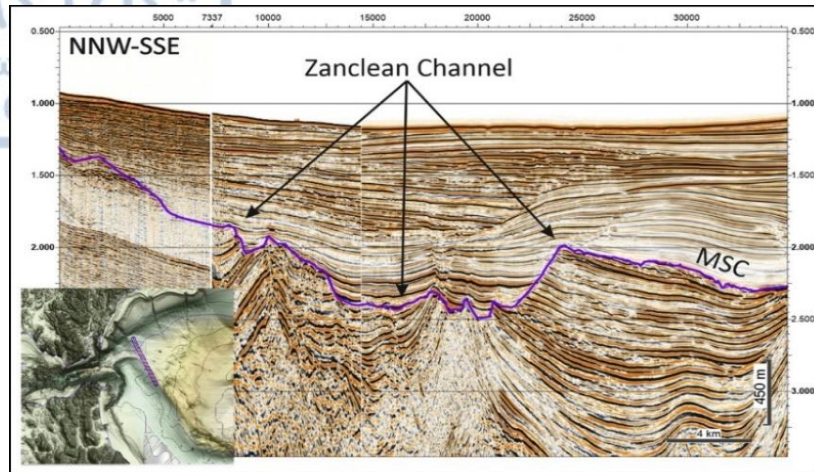
1.1. Τεκτονική εξέλιξη της Ανατολικής Μεσογείου

Με την αργή κίνηση των ηπειρωτικών πλακών της Αφρικής και της Ευρώπης να συγκλείουν, κινούμενες η μία προς την άλλη, με αρχικό σημείο επαφής την Ιβυρική Χερσόνησο και τη Βόρεια Ακτή της Δυτικής Αφρικής, σχηματίζεται η πρωτογενής Μεσόγειος Θάλασσα.

Η δράση των εφελκυστικών τάσεων στα περιθώρια της Ευρασίας και της Γκοντβάνας προκάλεσαν στο Άνω Κρητιδικό την λέπτυνση του φλοιού και το σχηματισμό της Μεσοπαρατηθύος στην Ευρώπη στα βόρεια, και της Μεσογέας στα νότια, ως πελαγικές λεκάνες. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό η Μεσόγειος είναι υπόλειμμα της Μεσογέας.

Αξιοσημείωτο το γεγονός είναι ότι, η θάλασσα της Μεσογείου περιορίστηκε πριν από 5,97 εκατομμύρια χρόνια (Manzi et al., 2013). Σύμφωνα με διάφορες μελέτες μετά το πέρας των κύριων αλπικών φάσεων και τον περιορισμό της διόδου της Μεσογείου με τον Ατλαντικό, αυτή αποξηράθηκε σε μεγάλο ποσοστό. Αποτέλεσμα αυτής της διεργασίας ήταν οι αποθέσεις μεγάλου πάχους αλατιού από διάσπαρτες λεκάνες με ύδατα υψηλής αλατότητας. Αυτός ο θάνατος της Μεσογείου ονομάστηκε από τους γεωλόγους ως «κρίση αλατότητας του Μεσσηνίου» - MSC (Messinian Salinity Crisis) (Hsü et al., 1973, 1977).

Η Μεσσηνια κρίση αλατότητας (MSC) όπως φαίνεται πιο κάτω (εικ.2) προκάλεσε τεράστια διάβρωση του ηπειρωτικού περιθωρίου της Μεσογείου, με την παρουσία κλαστικών ιζημάτων πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την απόθεση των εβαποριτών (Aal, A. et al., 2000; Bertoni and Cartwright, 2007; Loncke et al., 2006; Madof et al., 2019; Radeff et al., 2017). Οι σεισμικές έρευνες έδειξαν την απόθεση κλαστικών ιζημάτων, κατά τη διάρκεια της πτώσης της στάθμης της Μεσογείου και δημιουργία καταφερικών αποθετικών επιφανειών στην περιοχή όπου η υφαλοκρηπίδα υποχωρεί καθώς πέφτει η στάθμη της θάλασσας (clinoforms) (Bertoni and ;Cartwright, 2007; Gorini et al., 2015). Τέλος, οι έρευνες αναφέρουν ότι το στάδιο αυτό χαρακτηρίζεται από μια μετατόπιση ιζημάτων προς τις βαθύτερες λεκάνες (Gorini et al., 2015).



Εικόνα 2. Σεισμικό προφίλ που απεικονίζει την Μεσσηνιακή διαβρωσιγενή επιφάνεια (λιλά γραμμή) στο ανατολικό τμήμα του στενού του Γιβραρτάρ. Η ασυμφωνία ερμηνεύεται πάνω από τα Μειοκαινικά ιζήματα κατά την διάρκεια την Μεσσηνιακή κρίση αλατότητας της Μεσογείου (Daniel Garcia – Castellanos, et al., 2009).

Οι περίοδοι αποξήρανσης χαρακτηρίζονται από εναποθέσεις εβαποριτών (γύψου και άλλων αλάτων). Η διάνοιξη των στενών του Γιβλαρτάρ που συνέβη πριν από 5.33 εκατομμύρια χρόνια στα τέλη του Πλειόκαινου, αποτέλεσε το τεκτονικό γεγονός που μετέβαλε την παλαιογραφική εικόνα της Μεσογείου καθώς η πλημμύρα Zanclean (Zanclean flood) επέτρεψε την είσοδο υδάτων του Ατλαντικού στην λεκάνη.

Στην πιο κάτω εικόνα (εικ.3), φαίνεται η παλιρροιακή ανταλλαγή υδάτων μεταξύ της Μεσογείου και του Ατλαντικού Ωκεανού η οποία πραγματοποιείται μέσω ενός στενού διαδρόμου που διακόπτεται από την κορυφή του Camarinal Sill. Τα στάδια που παρατηρούνται είναι:

Στάδιο μηδέν (0): Αρχική κατάσταση της Μεσογείου πριν την εισροή των υδάτων από τον Ατλαντικό.

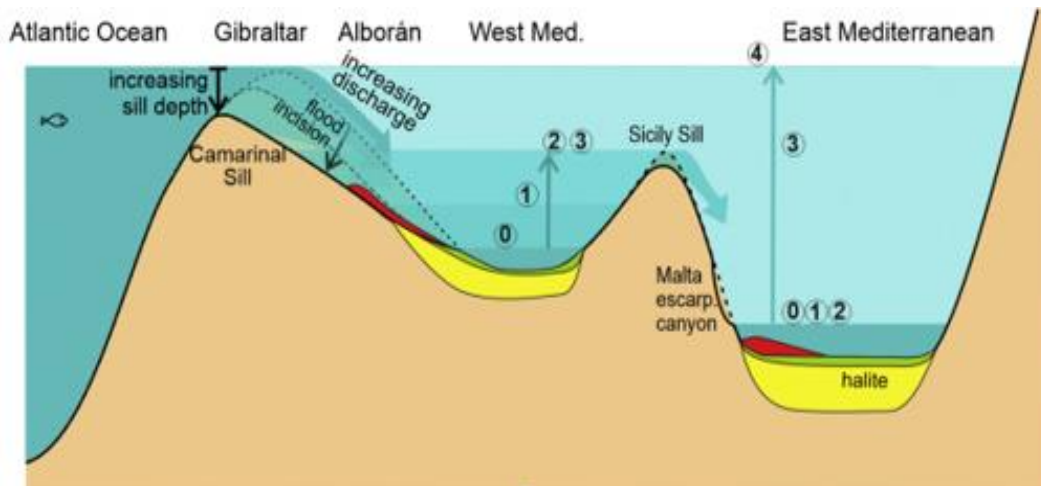
Στάδιο πρώτο (1): Αρχίζει η εισροή υδάτων από τον Ατλαντικό με προοδευτική διάβρωση του Camarinal sill και απόθεση αρχικά στο δυτικότερο κομμάτι της Μεσογείου την θάλασσα του Αλμπόρα (Albora) και στην συνέχεια στην Δυτική Μεσόγειο (Blanc, 2002).

Στάδιο δεύτερο (2): Μέγιστο επίπεδο στάθμης Δυτικής Μεσογείου που φτάνει μέχρι και την Σικελία (Sicily sill).

Στάδιο τρίτο (3): Στην Ανατολική Μεσόγειο το επίπεδο της στάθμης φτάνει μέχρι και την Σικελία (Sicily sill).

Στάδιο τέταρτο (4): Η Μεσόγειος πλέον έχει γεμίσει στο κανονικό επίπεδο των ωκεανών. Τα προϊόντα αυτά είναι υλικά διάβρωσης από τα υβώματα που επικοινωνούν με τις υποθαλάσσιες λεκάνες της Μεσογείου (Σικελία) και υλικά διάβρωσης.

Το κρυσταλλικό αλάτι, ή αλλιώς εβαπορίτες που παρέμειναν μετά από τις περιόδους ξηρασίας από τις μετέπειτα τεκτονικές διεργασίες, στα πλαίσια του γεωλογικού χρόνου, τα συναντάμε ως καλύμματα πάνω από κοιτάσματα υδρογονανθράκων.



Εικόνα 3. Η διάνοιξη των στενών του Γιβραλτάρ και η παλιρροιακή ανταλλαγή υδάτων Μεσογείου και Ατλαντικού (D. Garcia-Castellanos et.al., 2020).

1.2.Μεσόγειος Θάλασσα

Μεγάλα είναι τα ερωτήματα όμως που παραμένουν, εάν ο ωκεάνιος φλοιός της Μεσογείου θάλασσας είναι υπόλειμμα του παλαιού ωκεανού της Τηθύος που διέφυγε τον τεκτονισμό και της καταστροφής ή εάν πρόκειται για την δημιουργία ενός νέου ωκεάνιου φλοιού μετά το κλείσιμο της Τηθύος. Σύμφωνα με (Garfunkel, 2004) η λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου αποτελεί λείψανο του Μεσοζωικού ωκεανού της Τηθύος.

Διάφορες έρευνες που έγιναν στην Μεσόγειο, διαπιστώθηκε ότι σε ορισμένες περιοχές της, το πάχος του φλοιού είναι πολύ λεπτό (10-20 km) σε αντίθεση με τις ηπειρωτικές περι-μεσογειακές, όπου το πάχος κυμαίνεται από 24-50 km.

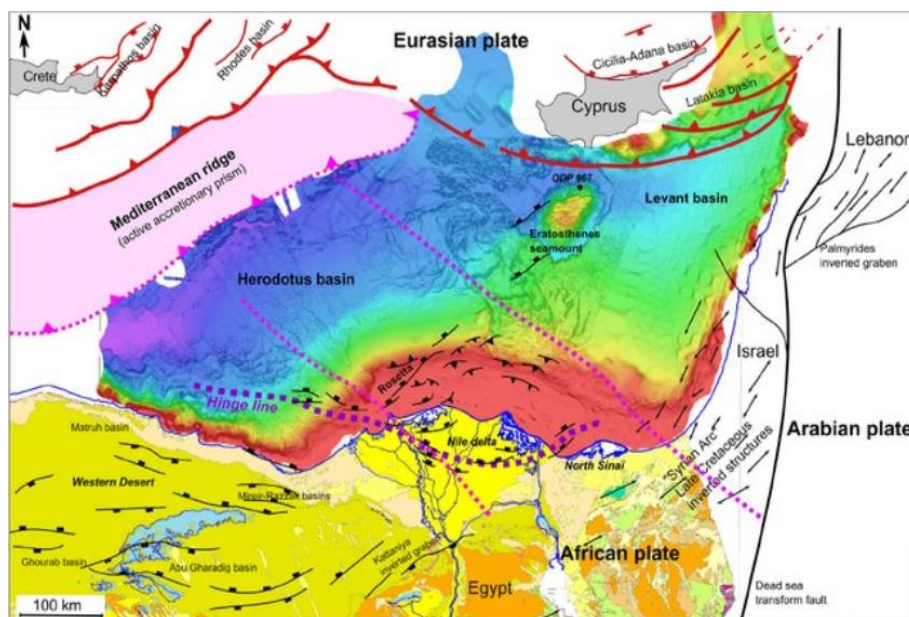
Η Μεσόγειος θάλασσα βρίσκεται ανάμεσα σε τρεις ηπείρους, την Ευρώπη, την Ασία, την Αφρική. Στα δυτικά συνδέεται με τον Ατλαντικό Ωκεανό διαμέσου του στενού του Γιβραλτάρ και στα ανατολικά με την Ερυθρά θάλασσα διαμέσου της διώρυγας του Σουέζ. Έχει μέγιστο μήκος 3,860χλμ από το Γιβραλτάρ μέχρι τις ακτές της Συρίας, μέγιστο πλάτος 1,800χλμ και μέγιστο βάθος 5,120μ. Τέλος έχει γεωγραφικό πλάτος 30° 15'Β έως 45° 50'Β και γεωγραφικό μήκος 05° 21'Δ έως 36 10'Δ, έτσι λοιπόν τοποθετείται στο βόρειο, στο ανατολικό και στο δυτικό ημισφαίριο της Γης.

Η Μεσόγειος θάλασσα χωρίζεται σε Ανατολική και Δυτική Μεσόγειο. Το ανατολικό της τμήμα, εκτείνεται από τα παράλια της Σικελίας στα ανατολικά, μέχρι τα παράλια της Συρίας, Ισραήλ και Λιβάνου. Το δυτικό της τμήμα εκτείνεται από το Γιβραλτάρ μέχρι και τη Σικελία.

Η Μεσόγειος θάλασσα και κυρίως η Ανατολική Μεσόγειος αποτελεί ένα από τα θέματα των πιο μεγάλων γεωλογικών μυστηρίων της γης, αφού σε αυτή συναντούμε πολλά γεωλογικά φαινόμενα καθώς επίσης συναντάμε τη γένεση και την ανάπτυξη κοιτασμάτων στην περιοχή. Όπως διαπιστώνεται στην πιο κάτω εικόνα (εικ.4) η Μεσογειακή ράχη, καθώς και η λεκάνη Λεβαντίνη, η λεκάνη του Ηρόδοτου, το Δέλτα του Νείλου και το Ηπειρωτικό Μπλοκ του Ερατοσθένη που υπάρχουν στην περιοχή, αποτελούν ένα σημαντικό τομέα στην εξέλιξη της περιοχής.

Η ανάλυση της παλαιογραφικής εξέλιξης των δύο μεγάλων αυτών λεκανών της Ανατολικής Μεσογείου, (Λεβαντίνη λεκάνη και η λεκάνη του Ηρόδοτου) είναι πολύ σημαντική για την κατανόηση του γεωλογικού μετασχηματισμού των κοιτασμάτων

υδρογονανθράκων. Επίσης η παρουσία του Ηπειρωτικού Μπλοκ του Ερατοσθένη και του Κώνου του Νείλου ή Δέλτα του Νείλου, έχουν τον δικό τους ρόλο στην ανάπτυξη των λεκανών και της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου.



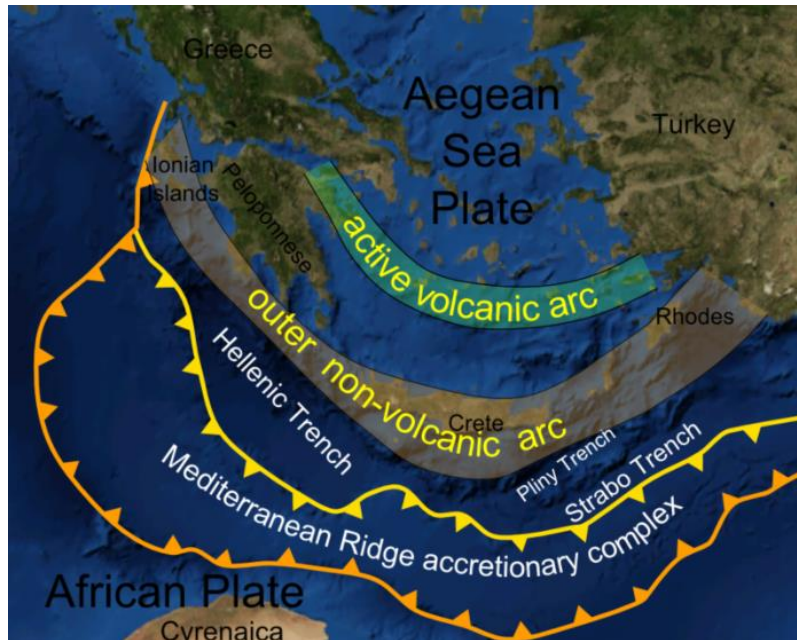
Εικόνα 4. Χάρτης αναπαράστασης των κύριων δομών της Ανατολικής Μεσογείου. Μεσογειακή ράχη, Λεβαντίνη λεκάνη, λεκάνη Ηρόδοτου, Ηπειρωτικό μπλοκ Ερατοσθένη (HME) και δέλτα του Νείλου ([researchgate, October 2015, Marine and Petroleum Geology](#)).

1.3. Τεκτονική εξέλιξη Ελληνικού τόξου

Τα αποτελέσματα πολλών σύνθετων φαινομένων που προέρχονται από την σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών Ευρασίας και Αφρικής, προσφέρουν την διάταξη του σημερινού Ελληνικού χώρου. Με την σύγκλιση αυτή, λαμβάνει χώρα η υποβύθιση της πλάκας της Αφρικής κάτω από την Ευρασία, της οποίας το ενεργό ηπειρωτικό περιθώριο αποτελεί τον Ελληνικό χώρο με κλίση 35° , σχηματίζοντας το ελληνικό τόξο ([εικ.5](#)). Έχει λοιπόν όλα τα χαρακτηριστικά ενός νησιώτικου τόξου:

- Την Ελληνική περιφερειακή τάφρο (Hellenic trench) που περιβάλλει από τα εξωτερικά, το ελληνικό τόξο από τα Ιόνια νησιά μέχρι και Νότια της Κρήτης και της Ρόδου και αποτελείται από ένα σύστημα βαθιών βυθισμάτων.
- Το πρίσμα επαύξησης που στην περίπτωση αυτή αντιπροσωπεύει η Κρήτη, η οποία αποτελείται από ένα σύστημα τεκτονικών καλυμμάτων και παραθύρων, που προκύπτουν από την συμπίεση που υφίσταται ο φλοιός στο νησιώτικο τόξο. Λόγω αυτών των ισχυρών τάσεων εμφανίζεται διόγκωση και παίρνει τριγωνική μορφή γνωστή και ως πρίσμα επαύξησης.
- Το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου.

- Τη λεκάνη πίσω από το τόξο (back-arc basin) που δημιουργείται από τις ακολουθούμενες της συμπίεσης εφελκυστικές τάσεις.
- Τη μεσογειακή ράχη, η οποία αποτελεί μια υποθαλάσσια έξαρση του φλοιού και διασχίζει την Ανατολική Μεσόγειο νότια της ελληνικής περιφερειακής τάφρου παράλληλα στο ελληνικό τόξο.



Εικόνα 5. Το Ελληνικό τόξο το οποίο προκύπτει από την υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασία και η παρουσία των χαρακτηριστικών του τα οποία είναι όμοια με εκείνα ενός νησιωτικού τόξου. ([Wikipedia.org/.../Mediterranean Ridge](https://en.wikipedia.org/wiki/Mediterranean_Ridge)).

1.4.Μεσογειακή ράχη

1.4.1. Τεκτονική εξέλιξη της Μεσογειακής ράχης

Η Μεσογειακή ράχη (εικ.6) θεωρείται ως το πιο εμφαντικό τμήμα της Μεσογείου θάλασσας και αποτελεί μία υποθαλάσσια έξαρση του βυθού η οποία ξεκινά από το Ιόνιο πέλαγος με νοτιοανατολική κατεύθυνση εξελισσόμενη νότια της Κρήτης με τελική κατάληξη στον υποθαλάσσιο χώρο νότια του Καστελόριζου και νοτιοδυτικά της Λατάκας στη Συρία. Επίσης, αυτό το πρίσμα που αποτελεί την Μεσογειακή ράχη έχει πλάτος πέρα των 300km και μήκος ~2000km (Chaumillon and Mascle, 1997). Στην κορυφογραμμή αυτή μεγάλος όγκος ιζημάτων, συγκεντρώθηκε με την μορφή πτυχώσεων και λιπιδώσεων. Η τροχιά της ακολουθεί τη ζώνη σύγκλισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την πλάκα του Αιγαίου και γενικότερα την Ευρασιατική πλάκα.

Η κορυφή της είναι ένα κυρτό τμήμα που φτάνει σε βάθος 2 – 2,5 km από την επιφάνεια της στάθμης της θάλασσας. Περικλείεται και από τις δύο πλευρές από πλαγιές με ανάγλυφο από 200 έως 600m και απότομες κλίσεις που οδηγούν σε τάφρο. Στα βόρεια υπάρχει η τάφρος Strabo και Pliny που λόγω μειωμένης τροφοδοσίας ιζήματος παρουσιάζουν λίγο αποθεματικό υλικό σε αντίθεση με την λεκάνη του Ηρόδοτου στα νότια, η οποία περιέχει υλικό από το ποταμό Νείλο, σχηματίζοντας έτσι μία ήπια πλαγιά του κώνου του Νείλου.

Το γενικό ανάγλυφο της Μεσογειακής λεκάνης, μας δίνει να κατανοήσουμε την τεκτονική της προέλευση, μεταξύ των σεισμικών ενεργών περιθωρίων της Νότιας Ευρώπης και των παθητικών περιθωρίων της Αφρικής.

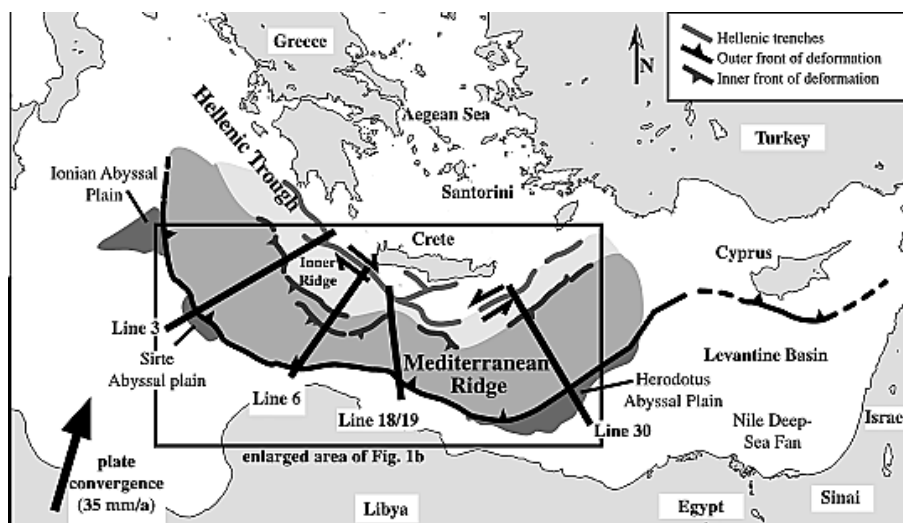
1.4.2. Στρωματογραφία της Μεσογειακής ράχης

Τα ιζήματα που εντοπίστηκαν στη Μεσογειακή ράχη, μετά από έρευνες και δείγματα από την ευρεία περιοχή είναι τα πιο κάτω:

- Ένα καφέ ασβεστούχο – ιλυούχο βιογενές ίζημα, με την ονομασία Globigerina, Καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του βορειοδυτικού αβυσσικού πεδίου του Ηρόδοτου και εμφανίζεται υπό μορφή στρωμάτων στο νότιο μέρος της ράχης
- Γκρίζος τετριμμένος λουτίτης, που παρουσιάζει ελασμάτωση και περιέχει στρώματα από άμμο και ιλύ., είναι το δεύτερο σε αφθονία ίζημα. Αποτελεί

μεγάλο μέρος των ιζημάτων στο αβυσσικό πεδίο του Ηρόδοτου καθώς και στο κώνο του Νείλου. Προέρχεται από τη χέρσο και η τροφοδοσία του οφείλεται στα ιζήματα του Νείλου. Πιθανό να αποτελεί τη θαλάσσια επέκταση του ηπλούχου πυθμένα πέρα από τη δελταϊκή ακτογραμμή.

- Μάυροι σαπροπηλικοί λουτίτες σε πιο μικρές ποσότητες. Θεωρούνται ιζήματα ικανά να δώσουν ποσότητες υδρογονανθράκων αφού είναι πλούσιοι σε οργανικό υλικό.
- Ιλιούχοι -αμμούχοι τουρβιδίτες, σε αφθονία. Αυτό υποδηλώνει ότι η πηγή τροφοδοσίας τους είναι ο ποταμός Νείλος, είτε άμεσα από τη απόθεση του ποταμού, είτε έμμεσα από τη διάβρωση του Δέλτα και την μετέπειτα απόθεση του υλικού.



Εικόνα 6. Χάρτης απεικόνισης της δημιουργίας της Μεσογειακής ράχης στο πεδίο σύγκρουσης Αφρικής και Ευρώπης (Huguen, 1998, Achim Kopf et.al., 2003).

1.5. Τεκτονική εξέλιξη του Κυπριακού τόξου

Καθώς η σύγκλιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασία συνεχίζεται νότια, δηλαδή προς τα εξωτερικά, σχηματίζεται το κυπριακό τόξο στο Άνω Κρητιδικό. Ακολούθως αναζωογονείται στο Καινοζωικό με τα χαρακτηριστικά του να εμφανίζονται στην Κύπρο, όπου οι οφιόλιθοι του Τροόδους βρίσκονται επί του παρόντος στα 1952m υψόμετρο. Έχει διάταξη Α-Δ, με φορά βύθισης από το νότο προς το βορρά (εικ.7).

Ανατολικά του νησιού το Κυπριακό τόξο, εμφανίζεται ευρέως ως οροπέδιο με δύο υποθαλάσσιες κορυφογραμμές, σε βάθος 1500m, οι οποίες αποτελούν τμήμα του συστήματος ρηγμάτων της Βόρειας Ανατολίας. Την κορυφογραμμή της Λάρνακας και την κορυφογραμμή της Λατάκας. Η πιο εξέχουσα κορυφογραμμή είναι όμως η κορυφογραμμή της Λατάκας, η οποία οριοθετεί νότια το τόξο. Είναι ένα οριζόντιας μετατόπισης ρήγμα, που χωρίζει το κυπριακό τόξο από τη λεκάνη της Λεβαντίνης σε απόσταση 500m. Είναι ηλικίας Άνω Μειόκαινου και Κάτω Πλειοκαίνου και δημιουργήθηκε λόγω της ρηγμάτωσης και της ανύψωσης που προκάλεσαν οι Μεσσήνιοι εβαπορίτες. Μεταξύ των δύο αυτών κορυφογραμμών, στα ανατολικά μία καινοζωική ιζηματογενής λεκάνη πάχους 4-5km συμπεριλαμβανομένων και των στρωμάτων του μεσσήνιου αλατιού, παραμορφώνεται από διάφορα επιμήκη αντίκλινα, όπως τεκμηριώθηκαν από PGS-MC3D-CYP2007.

Το Κυπριακό τόξο, σχηματίζει κανάλι μεταξύ Κύπρου και Ερατοσθένη, και στη συνέχεια σχηματίζει το θαλάσσιο πυθμένα της κορυφογραμμής Φλωρεντίας (Woodside et al., 2002) η οποία οριοθετεί τη Λεβαντίνη λεκάνη στο βόρειο τμήμα της Αφρικανικής πλάκας. Δυτικότερα το τόξο φτάνει σε μεγαλύτερα βάθη, μέχρι και το θαλάσσιο ύψωμα του Αναξιμάνδρου και της περιοχής της Αττάλειας δια μέσω της κορυφογραμμής της Φλωρεντίας. (Biju Duval et.al., 1978-1979, Stage and Letouzey, 1990, Zitter et al.2003).

Στην περιοχή του υβώματος του Hecataeus, και στο ανατολικό περιθώριο του Ερατοσθένη, η τεκτονική αλλάζει και γίνεται πιο συμπιεστική με πιθανά στοιχεία οριζόντιας μετατόπισης. Παρατηρούνται ανάστροφα ρήγματα, επιπτεύσεις, αντίκλινα και ανυψωτικές δομές. Στην εκεί περιοχή, το ηπειρωτικό μπλοκ έρχεται σε σύγκρουση με το κυπριακό τόξο. Η πρώτη μεγαδομή, στη βάση της κυπριακής κατωφέρειας είναι μία επιμήκη δομή ΑΔ διεύθυνσης, η οποία φτάνει μέχρι και το ύψωμα του

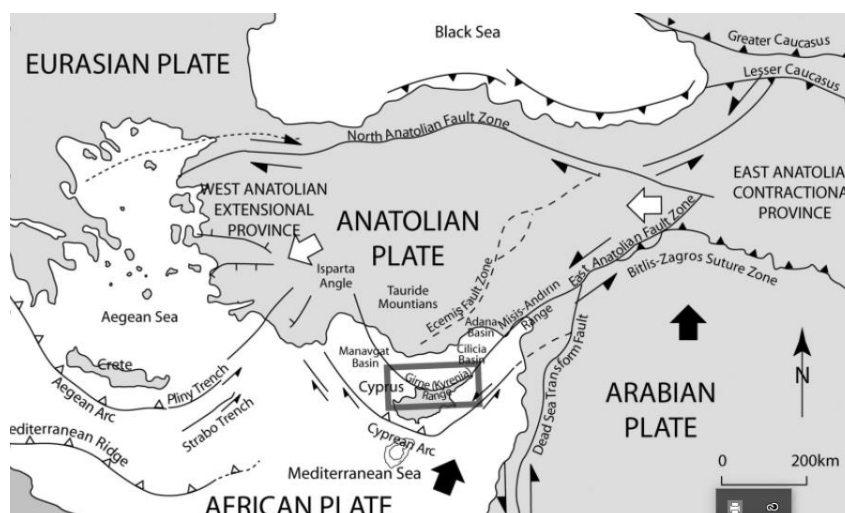
Αναξίμανδρου και στη συνέχεια στο βόρειο όριο της Μεσογειακής ράχης. Στα πιο νότια, η παραμόρφωση περιλαμβάνει το βόρειο μέρος του Ερατοσθένη, το οποίο βυθίζεται κάτω από το τόξο και τη λεκάνη του Ηρόδοτου, όπου το μέτωπο της παραμόρφωσης είναι σε συνέχεια με το νότιο όριο της Μεσογειακής ράχης.

Τα σεισμικά προφίλ δείχνουν ότι η παραμόρφωση κατά μήκος του κυπριακού τόξου, έχουν δημιουργηθεί ουσιαστικά στο Άνω Μειόκαινο - Κάτω Πλειόκαινο.

Επίσης, από τον προοδευτικό διαχωρισμό της Αραβίας από την Αφρική, από το Ολιγόκαινο είχε ως αποτέλεσμα την νοτιοδυτική απελευθέρωση της ανατολικής μικροπλάκας και της συνεχιζόμενης μείωσης της απόστασης μεταξύ Αφρικής και Ευρασίας. Συνοδεύτηκε με μία σημαντική αύξηση, στην εισροή των ιζημάτων, ιδίως με την ανάπτυξη του Δέλτα του Νείλου, τα ιζήματα του οποίου επηρεάζουν τις δομές και λεκάνες νότια της Κύπρου.

Τέλος, σημαντικό κομμάτι τόσο της γεωτεκτονικής εξέλιξης της Κύπρου, όσον και την ανακάλυψη υδρογονανθράκων στην υποθαλάσσια περιοχή του νησιού αποτελεί το υποθαλάσσιο ύβωμα του Ερατοσθένη, το οποίο υποβυθίζεται κάτω από την Κύπρο και προκαλεί την ανύψωση του όρους Τροόδους (Gass και Masson-Smith, 1963). Από άποψη στρωματογραφίας, είναι η συνέχεια του Κώνου του Νείλου ο οποίος προσχώνει υλικό και σχηματίζει το όρος αυτό.

Η περιοχή που εξετάζεται για την αξιολόγηση των πετρελαϊκών συστημάτων στον θαλάσσιο χώρο της Κύπρου, οριοθετείται από το Αιγυπτιακό περιθώριο στο νότο, το παθητικό ηπειρωτικό περιθώριο της Λεβαντίνης λεκάνης στην ανατολή, την Τουρκία στα βόρεια, την αββυσσική πεδιάδα του Ηρόδοτου στη δύση και το νησί της Κύπρου να βρίσκεται στο κέντρο.



Εικόνα 7. Χάρτης απεικόνισης της δημιουργίας του Κυπριακού τόξου (Geological Society, London, September 2012).

1.6. Διαφορές μεταξύ Ελληνικού και Κυπριακού τόξου

Το Κυπριακό τόξο παρουσιάζει όμως κάποιες διαφορές σε σχέση με το Ελληνικό τόξο οι οποίες είναι:

- Στο Ελληνικό τόξο γίνεται η υποβύθιση της Αφρικής κάτω από την Ευρασία ενώ στη περιοχή της Κύπρου αυτό φαίνεται να αλλάζει με το νησί να βρίσκεται επωθημένο πάνω στην Αφρική.
- Επίσης στην Κύπρο έχει αναλωθεί ο ωκεάνιος φλοιός και έχει αρχίσει ήδη η ηπειρωτική σύγκρουση των πλακών σε σχέση με τον Ελληνικό χώρο που ακόμα υπάρχει. Από αυτό εξηγείται και το βάθος της τάφρου της Κύπρου η οποία δεν είναι τόσο βαθιά όσο η Ελληνική τάφρος.
- Στην Κύπρο ακόμα παρατηρούνται δύο ανάστροφα ρήγματα ένα βόρεια με την Κερύνεια να υπέρκειται του Τροόδους και ένα νότια. Τα δύο αυτά ρήγματα προκύπτουν από το ρήγμα της Ανατολικής Ανατολίας, έτσι έχουμε ένα σύστημα ανάστροφο και αριστερόστροφο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

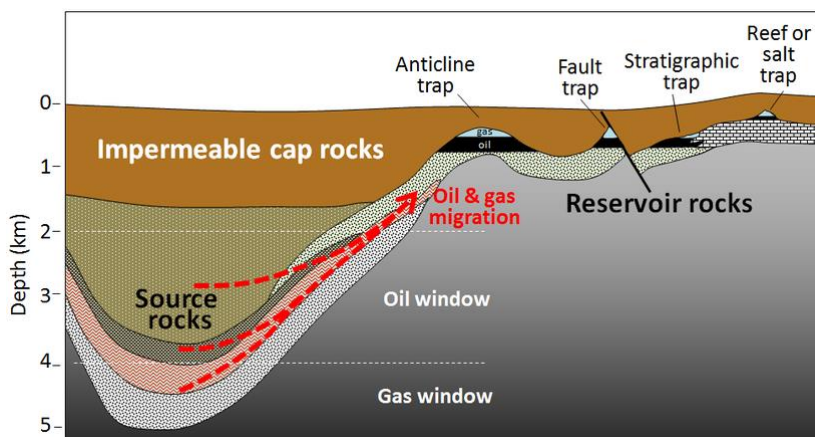
2. Γεωλογία Πετρελαίου

2.1. Προδιαγραφές γένεσης υδρογονανθράκων

Οι προϋποθέσεις (εικ.8) που πρέπει να τηρούνται για την παραγωγή υδρογονανθράκων σε μεγάλες συγκεντρώσεις σε διάφορα στρωματογραφικά επίπεδα, ούτως ώστε αυτές οι συγκεντρώσεις να μπορέσουν να θεωρηθούν οικονομικά εκμεταλλεύσιμες, είναι οι πιο κάτω:

1. Μητρικό πέτρωμα (source rock)
2. Ταμιευτήρας (reservoir)
3. Πέτρωμα κάλυμμα (cap rock or seal)
4. Δομή παγίδευση (trap)
5. Χρόνος (timing)
6. Ωρίμανση (maturation)
7. Μετανάστευση (migration)

Η απουσία ενός ή και περισσότερων από τους πιο παραπάνω παράγοντες καθιστά την δημιουργία κοιτασμάτων ακατόρθωτη, καθότι το μητρικό πέτρωμα αποτελεί τον κατάλληλο χώρο για την γένεση των υδρογονανθράκων, το πέτρωμα ταμιευτήρας αποθηκεύει τις ποσότητες υδρογονανθράκων διαμέσου των διακλάσεων/ρηγμάτων/πρωτογενούς πορώδους και τους προσφέρει συγκέντρωση και το πέτρωμα κάλυμμα λειτουργεί ως μονωτήριο στέγαστρο, προσφέροντας έτσι την διαφυγή των υδρογονανθράκων προς την επιφάνεια και τέλος η δομή παγίδευση (είτε στρωματογραφική, είτε τεκτονική).



Εικόνα 8. Παρουσία των σημαντικών παραγόντων που διέπουν ένα πετρελαϊκό σύστημα.-Μητρικό πέτρωμα, πέτρωμα ταμιευτήρας, πέτρωμα κάλυμμα και παγίδα (Steven Earle, 2012).

2.1.1. Μητρικά πετρώματα

Ως μητρικά πετρώματα υδρογονάνθρακων ορίζονται τα λεπτόκοκκα ιζήματα τα οποία θα απελευθερώσουν αρκετό υδρογονάνθρακα ούτως ώστε να σχηματιστεί μια ικανοποιητική συγκέντρωση πετρελαίου ή φυσικού αερίου (Brooks et al., 1987). Μέσα σε αυτά παρατηρείται ικανοποιητικό ποσοστό οργανικού υλικού και που κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας, έλλειψης οξυγόνου και χρόνου θα μετατραπούν σε υδρογονάνθρακες. Το περιεχόμενο οργανικό υλικό προέρχεται από νεκρούς θαλάσσιους οργανισμούς ή/και λιμναία φύκι των οποίων τα υπολείμματα τους κατακάθισαν στον πυθμένα των λεκανών και καλύφθηκαν από υπερκείμενα στρώματα. Κάτω από τις ανοξικές συνθήκες (αναπτύσσονται εκεί όπου το απαιτούμενο οξυγόνο, είναι περισσότερο από το παραγόμενο) σε περιβάλλοντα ιζηματογένεσης ένα μέρος του οργανικού αυτού άνθρακα θα μετατραπεί σε υδρογονάνθρακα. Το οργανικό υλικό που βρίσκεται σε μητρικά πετρώματα για να μετατραπεί σε Υ/Α πρέπει η θερμοκρασία να είναι μεγαλύτερη από 90°C και βάθος μεγαλύτερο των 3 χιλιομέτρων.

Οι κυριότερες θέσεις αποθέσεις μητρικών πετρωμάτων είναι λίμνες, δέλτα, θαλάσσιες λεκάνες και υφαλοκρηπίδες.

2.1.2. Πετρώματα ταμιευτήρες

Για την ανάπτυξη κοιτασμάτων, πολύ σημαντική είναι η παρουσία ταμιευτήρων (reservoir). Ο ταμιευτήρας είναι συνήθως μια πορώδης και διαπερατή λιθολογική ενότητα εντός της οποίας αποθηκεύονται οι υδρογονάνθρακες. Η συμπεριφορά ενός ταμιευτήρα αναφορικά με την συσσώρευση και την παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου εξαρτάται σίγουρα από το πορώδες και την περατότητα του.

Το πορώδες και η περατότητα επηρεάζεται από την αποθετική γεωμετρία των πόρων των ιζημάτων του ταμιευτήρα και τις διαγενετικές αλλαγές όπως επανακρυστάλλωση και δολομητίωση. Το πορώδες επηρεάζει τα αποθέματα ενός πιθανού ή υπαρκτού πετρελαϊκού πεδίου ενώ, η διαπερατότητα επηρεάζει τον ρυθμό με τον οποίο τα πετρελαϊκά ρευστά μπορούν να κινηθούν έξω από τον ταμιευτήρα, κατά την διάρκεια της παραγωγής του.

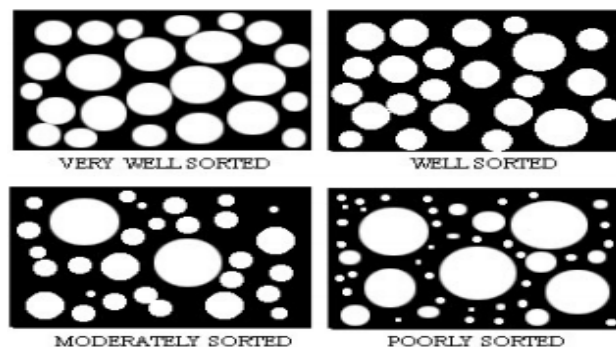
2.1.2.1. Πορώδες

Σημαντική ιδιότητα των πετρωμάτων ταμιευτήρων είναι το πορώδες, το οποίο ορίζεται ως ο συνολικός όγκος των πόρων του πετρώματος προς τον συνολικό όγκο του. Ένα

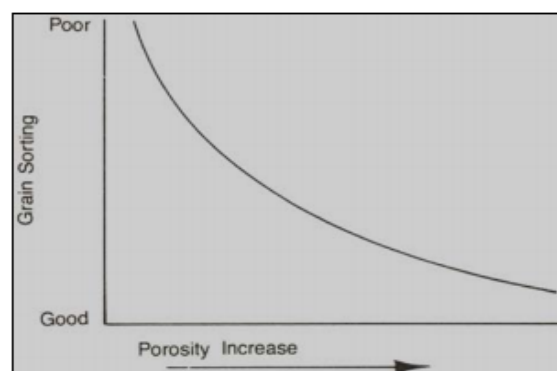
τέτοιο πέτρωμα πρέπει να έχει υψηλό πορώδες έτσι ώστε να αποτελέσει δεξαμενή πετρελαίου. Επίσης οι πόροι του να συνδέονται σε τέτοιο βαθμό ώστε τα ρευστά να ρέουν προς την γεώτρηση. Την ιδιότητα της περατότητας δίνει το ενεργό πορώδες το οποίο είναι το ποσοστό των πόρων που επικοινωνούν μεταξύ τους και συνεπώς καθίσταται δυνατή η ροή των ρευστών.

Τα κενά που υπάρχουν στο πέτρωμα κατά την απόθεση αποτελούν το πρωτογενές πορώδες, το οποίο μπορεί να μειωθεί από συμπίεση και διεργασίες που σχετίζονται με υπόγεια νερά. Ανακρυστάλλωση, δολομιτίωση, ρώγμωση και ρηγμάτωση προκαλούν το δευτερογενές πορώδες, το οποίο αναπτύσσεται μετά την απόθεση των ιζημάτων κατά τη διαγένεση.

Οι κόκκοι των πετρωμάτων ανάλογα με το πόσο καλά είναι ταξινομημένοι όπως παρουσιάζεται και στην πιο κάτω εικόνα (εικ.9) και διάγραμμα (εικ.10), προσδίδουν και καλύτερο πορώδες και στο πέτρωμα, δηλαδή κόκκοι ίδιου περίπου μεγέθους παρουσιάζουν και μεγαλύτερο πορώδες, ενώ φτωχά ταξινομημένοι κόκκοι, μικρότερο πορώδες καθώς οι μικρότεροι κόκκοι γεμίζουν τα διάκενα και μειώνουν την υδραυλική αγωγιμότητα του πετρώματος .



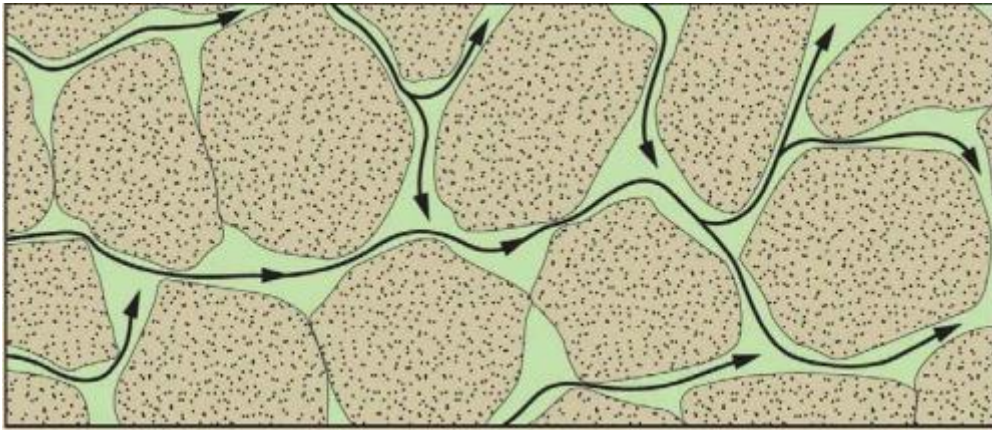
Εικόνα 9. Απεικόνιση πορώδους σύμφωνα με την ταξινόμηση των κόκκων. Ίδιου μεγεθους κόκκοι καλό πορώδες, παρουσία μικρών κόκκων φτωχό πορώδες (Πανεπιστημιακές σημειώσεις Α.Γεωργακόπουλου).



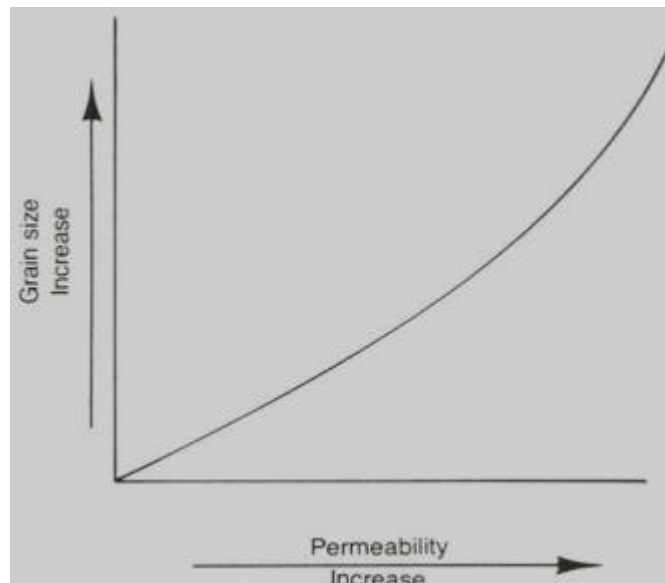
Εικόνα 10. Γραφική αναπαράσταση της σχέσης του πορώδους με την ταξινόμηση των κόκκων. Η σχέση αυτή είναι αντιστρόφως ανάλογη (Πανεπιστημιακές σημειώσεις Α.Γεωργακόπουλου).

2.1.2.2. Περαιτότητα

Η ύπαρξη ψηλού πορώδους, δεν είναι αρκετή. Τα ρευστά που βρίσκονται εγκλωβισμένα εντός των πόρων πρέπει να μπορούν να ρέουν μέσω αυτών ώστε να παραχθούν και να φτάσουν στην επιφάνεια. Η ιδιότητα της δυνατότητας ροής των ρευστών μέσα σε ένα πορώδες μέσο εκφράζεται με τη περαιτότητα (εικ.11). Εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων, όσον μεγαλύτεροι, τόσο μεγαλύτερη η διαπεραιτότητα (εικ.12). Επίσης εξαρτάται από τη διεύθυνση μέτρησης της. Τέλος, η επικάλυψη αργιλικού υλικού (cementation) επηρεάζουν τόσο την κάθετη όσο και την οριζόντια περαιτότητα.



Εικόνα 11. Κίνηση των ρευστών διαμέσου των κόκκων των πετρωμάτων (Richard Nolen-Hoeksema, 2015).



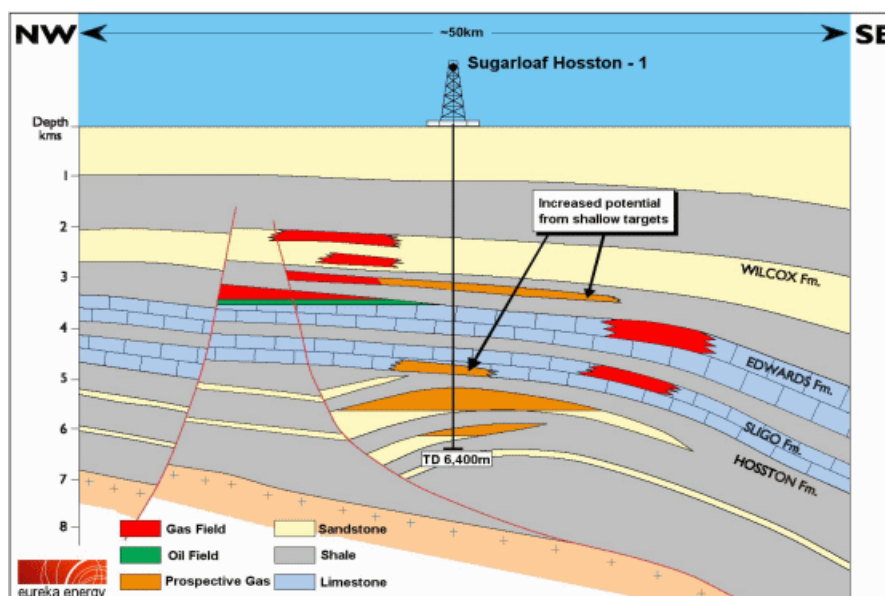
Εικόνα 12. Γραφική αναπαράσταση της σχέσης της διαπεραιτότητας με το μέγεθος των κόκκων (Πανεπιστημιακές σημειώσεις Α.Γεωργακόπουλου,).

2.1.3. Ανθρακικοί ταμιευτήρες

Οι ανθρακικοί ταμιευτήρες παράγουν περίπου το 38% του πετρελαίου και του φυσικού αερίου (εικ.13). Τέτοιου τύπου ταμιευτήρες τους συναντάμε συνήθως σε θαλάσσια ιζήματα σε διάφορα περιβάλλοντα απόθεσης όπως: παλιρροϊκά επίπεδα, ανθρακικά ρηχών υδάτων, υφάλους, πελαγική κρητίδα, calcareous debris flows και τουρβιδίτες.

Οι ανθρακικοί ταμιευτήρες χωρίζονται σε δύο γενετικούς τύπους: τα αυτόχθονα ανθρακικά πετρώματα (ύφαλοι – reefs) και τα αλλόχθονα από πλευρική μεταφορά υλικού (κλαστικοί ανθρακικοί ταμιευτήρες). Η ταξινόμηση τους καθορίζεται από την παρουσία μικρίτη, και σπαρίτη (συγκολλητικό υλικό) (Folk, R.L., 1962). Επίσης, εμφανίζουν δύο ειδών ανισοτροπίες, τις πρωτογενείς και τις δευτερογενείς, που δημιουργούνται από συγκεκριμένες συνθήκες ιζηματογένεσης ενός περιβάλλοντος απόθεσης και από διαγενετικές διεργασίες αντίστοιχα.

Πρωτογενές πορώδες, παρουσιάζεται σε αποθετικά περιβάλλοντα από ύφαλους μέχρι μεγάλες ανθρακικές πλατφόρμες, ενώ δευτερογενές πορώδες, δημιουργούν η ανακρυστάλλωση, η διεύρυνση του μικρίτη (μικροκρυσταλλική ασβεστική ύλη). Μεταγενέστερες διαδικασίες, όπως η έκπλυση, κατακερματισμός, ρωγμές, ή έχουν ως αποτέλεσμα να αυξάνουν το πορώδες και να ενισχύουν τη διαπερατότητα. Τέλος, οι μεγαλύτεροι ανθρακικοί ταμιευτήρες στον κόσμο βρίσκονται σε ασβεστούχες άμμους με καθόλου περίπλοκη διαγενετική ιστορία. Ως εκ τούτου στο στάδιο της αναζήτησης περιοχών για έρευνα υδρογονανθράκων είναι απαραίτητο να αναζητούμε περιοχές στις οποίες τα ιζήματα προφυλάχθηκαν και δεν υπέστησαν συμπαγοποίηση, συμπίεση και αντικατάσταση.



Εικόνα 13. Σχηματική τομή ΒΔ-ΝΑ που απεικονίζει ανθρακικούς ταμιευτήρες (Ζεληλίδης 2009).

2.1.4. Ψαμμιτικοί ταμιευτήρες

Ως επί το πλείστο, τα γιγαντιαία κοιτάσματα βρίσκονται περισσότερο από το 60% σε ψαμμιτικούς ταμιευτήρες. Η ταξινόμηση των ψαμμιτών στηρίζεται στη συμμετοχή του χαλαζία, των αστρίων, των θραυσμάτων των πετρωμάτων και του υλικού πλήρωσης και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται τριγωνικά διαγράμματα.

Όσον αφορά το υλικό πλήρωσης, (matrix) όταν είναι μικρότερο του 15% ($<15\%$), οι ψαμμίτες χαρακτηρίζονται αρενίτες ενώ εάν είναι μεγαλύτερο του 15% ($>15\%$) ως βάκες (F.J. Pettijohn, P.E. Potter, R. Siever, (1987). Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), και το οξείδιο του σιδήρου (Fe_2O_3), ως συγκολλητικό υλικό είναι σημαντικά τόσο για την διάκριση των ψαμμιτών όσον και για την ερμηνεία του περιβάλλοντος απόθεσης.

Γενικά οι ψαμμιτικοί ταμιευτήρες εκτείνονται περισσότερο στην οριζόντια κατεύθυνση από ότι στην κάθετη κατεύθυνση με πορώδες μικρότερο του 40%, με συνήθεις τιμές πορώδους μεταξύ 20% και 30% σε πετρελαϊκά κοιτάσματα Μεσοζωικού. Σημαντικό ρόλο κατέχει το περιβάλλον απόθεσης αυτών για την έκταση, το πάχος, το σχήμα, εσωτερικές δομές και τη φύση της επαφής τους με τα ιζήματα που περιέχουν. Είναι σπάνια ισότροποι, (λόγω συγκέντρωσης κόκκων διαφορετικού μεγέθους σε διαφορετικά στρώματα κατά την ιζηματογένεση) και συνήθως διαποτισμένοι με νερό.

Τέλος, η διαπερατότητα τους εξαρτάται από τη διαβάθμιση των κόκκων σε στρώσεις, την ύπαρξη κόκκων μεγέθους αργίλου, την καταστρώσεις συμπαγοποίηση και την επιλεκτική συγκέντρωση κάποιου μεγέθους κόκκων σε ορισμένα σημεία.

Ως πολύ καλοί ταμιευτήρες, θεωρούνται οι αιολικής προέλευσης οι οποίοι έχουν καλή γεωμετρία και συνήθως συνοδεύονται και από κατάλληλα πετρώματα – καλύμματα. Επίσης οι αποθέσεις αλλουβιακών ριπιδίων (προσοχή είναι ευαίσθητοι σε φαινόμενα συμπαγοποίησης και ελάττωσης του όγκου των πόρων λόγω της καταβύθισης), ψαμμίτες παλιρροϊκών επιπέδων, και δελταϊκών περιβάλλοντων.

2.1.5. Πετρώματα καλύμματα

Ακόμα ένας σημαντικός παράγοντας ενός πετρελαϊκού συστήματος είναι η παρουσία ενός πετρώματος καλύμματος. Ο ρόλος αυτού του πετρώματος είναι σαν περιφερειακός μονωτήρας έτσι ώστε να μονώσει τους υδρογονάνθρακες μέσα στην μονάδα αποθήκευσης. Πρέπει να είναι αδιαπέρατο, με λεπτόκοκκη λιθολογία εύπλαστο και πλευρικά συνεχές. Η πλαστικότητα είναι και αυτή μια σημαντική παράμετρος ιδιαίτερα στην περιοχή μελέτης μας, η οποία είναι τεκτονικά ενεργή. Το πάχος ενός πετρώματος καλύμματος δεν χρειάζεται να είναι μεγάλο αλλά να καλύπτει και να διατηρείται σε μεγάλες αποστάσεις.

Τα μοναδικά πετρώματα που είναι αδιαπέρατα στο νερό, είναι οι εβαπορίτες και τα διαρκώς παγωμένα πετρώματα. Επίσης και οι άργιλοι, αποτελούν πετρώματα καλύμματα με την πλειονότητα των ψαμμιτικών και πολλών ανθρακικών ταμιευτήρων να καλύπτονται από αυτά.

2.1.6. Δομές παγίδευσης

Τελευταία, αλλά εξίσου σημαντική παράμετρος για την σωστή λειτουργία των πετρελαϊκών συστημάτων, είναι η παρουσίας παγίδων. Λειτουργούν ως εμπόδια στην μετανάστευση των υδρογονανθράκων. Ο συνδυασμός ενός διαπερατού και ενός αδιαπέρατου πετρώματος, τα οποία συνδυάζονται με κατάλληλες φυσικές και χημικές ιδιότητες των υπεδάφιων ρευστών, επιτρέπουν στους υδρογονάνθρακες να συσσωρεύονται και να δημιουργούν κοιτάσματα. Μπορεί να είναι τεκτονικές (ρήγματα) ή στρωματογραφικές (κοραλλιογενή συμπλέγματα) ή και δομικές (αντίκλινα, δομή άλατος).

Μέσα σε μια δομή παγίδευσης, τα ρευστά κατατάσσονται σύμφωνα με την πιο κάτω εικόνα. Με τον όρο trap boundaries εννοούμε τα όρια μεταξύ των ρευστών δηλαδή το λεγόμενο OWC (oil water contact), OGC (oil gas contact), GWC (gas water contact) και τα όρια μεταξύ των πετρωμάτων δηλαδή τα όρια μεταξύ πχ. του πετρώματος ταμιευτήρα και καλύμματος.

2.1.6.1. Στρωματογραφικές παγίδες

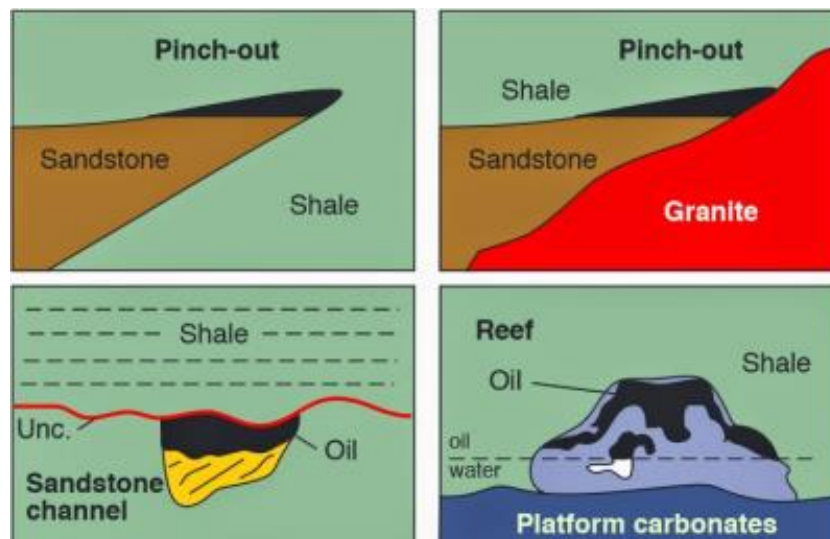
Στρωματογραφικές είναι αυτές που κληρονομήθηκαν από την πρωτογενή αποθετική μορφολογία ή από μεταγενέστερες διαγενετικές διαδικασίες ή από ασυνεχείς μέσα στην λεκάνη. Περιλαμβάνουν τους υφάλους, ασυμφωνίες και αποσφηνώσεις (εικ.14).

Χωρίζονται σε πρωτογενής και δευτερογενής και ο διαχωρισμός αυτός προκύπτει από το χρόνο που συμβαίνουν οι αλλαγές σε σχέση με την διαδικασία της ιζηματογένεσης.

‘Πρωτογενείς’ στρωματογραφικές παγίδες είναι αποτέλεσμα αλλαγών που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης και είναι οι εξής:

- οι παγίδες πρωτογενούς αποσφήνωσης των στρωμάτων (pinch-out traps) μέσα σε λιγότερο διαπερατά στρώματα όπως οι αργιλο-σχίστες,
- τα ποτάμια κανάλια ψαμμιτών τα οποία περιβάλλονται από αδιαπέρατα αργιλικά ιζήματα,
- τα υποθαλάσσια τυρβώδη ρεύματα και οι τουρβιδιτικοί ψαμμίτες μέσα σε στρώματα πλούσια σε αργιλο-σχίστες,
- οι πορώδεις ύφαλοι που περιβάλλονται από αργιλο-σχίστες

‘Δευτερογενείς’ στρωματογραφικές παγίδες είναι το αποτέλεσμα αλλαγών που συμβαίνουν μετά την ιζηματογένεση, κυρίως ως αποτέλεσμα διαγένεσης και συνδέονται με φαινόμενα ανύψωσης (hills), καταβύθισης (valleys) ενώ πολλές ελέγχονται από ασυμφωνίες (unconformities traps).



Εικόνα 14. Στρωματογραφικές παγίδες. Αποσφήνώσεις, ασυμφωνίες, ύφαλοι (<https://www.kau.edu.sa/Files/0054337/Subjects/types%20of%20oil%20traps.pdf>).

2.1.6.2. Τεκτονικές παγίδες

Οι τεκτονικές παγίδες είναι αποτέλεσμα τεκτονικής παραμόρφωσης εξαιτίας βύθισης ή κάμψης. Περιλαμβάνουν τα αντίκλινα, τους δόμους άλατος και τα ρήγματα.

2.1.6.2.1. Αντικλινικές παγίδες

Αυτού του είδους οι παγίδες είναι αποτέλεσμα από την πτύχωση του πετρώματος, όπως φέεται στο πιο κάτω εικόνα (εικ.15) οι υδρογονάνθρακες παγιδεύονται στην κορυφή, στο πάνω μέρος δηλαδή του αντικλίνου. Το πετρέλαιο ως βαρύτερο συγκεντρώνεται κάτω από το αέριο το οποίο βρίσκεται σε απευθείας επαφή με το πέτρωμα κάλυμμα. Επίσης το αλμυρό νερό που προκύπτει κατά την γένεση των Υ/Α και σχεδόν πάντοτε συνοδεύει το πετρέλαιο βρίσκεται στο κάτω μέρος του ταμιευτήρα. Μπορούν να προκύψουν από πλευρικές συμπίεσεις ή/και από συμπίεσεις ιζημάτων καθώς και επηρεάζονται από τεκτονικά αίτια. Η πλειοψηφία των παγίδων ανήκουν σε αυτή την κατηγορία (75%) και μπορούν να ανακαλυφθούν με γεωφυσικές μεθόδους.

Παγίδες που οφείλονται σε ρήγματα

Με την παρουσία ενός ρήγματος (εικ.16) να επηρεάζει την συνοχή του πετρώματος ταμιευτήρα σχηματίζεται αυτός ο τύπος παγίδας Υ/Α. Μεταξύ των τοιχωμάτων του ταμιευτήρα, οι μονωτές εμποδίζουν να διαφύγουν οι Υ/Α από την παγίδα. Μπορεί επίσης η διαφορά πίεσης στις δύο πλευρές του ρήγματος να εμποδίζει την μετανάστευση των ρευστών.

Οι παγίδες αυτές υποδιαιρούνται σε τέσσερις υποκατηγορίες:

- Παγίδες που οφείλονται σε κανονικά ρήγματα ή ρήγματα μετάπτωσης (normal faults). Συνδέονται με τεκτονικές τάφρους (graben(rift) structures).
- Παγίδες που οφείλονται σε ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης αριστερόστροφα ή δεξιόστροφα (strike-slip faults)
- Παγίδες που οφείλονται σε επωθετικά ρήγματα (thrust faults). Συνήθως συνδέονται με συμπιεστική τεκτονική.
- Growth faults. Πολλά κοιτάσματα Υ/Α ανήκουν σε αυτή την κατηγορία και για αυτό το λόγο οι πλείστες έρευνες για κοιτάσματα επικεντρώνεται πολύ κοντά σε τέτοιου είδους τύπου ρήγματα (ειδικά στο downthrown block). Ως growth faults ορίζεται ένα είδος κανονικού ρήγματος το οποίο αναπτύσσεται και εξακολουθεί να κινείται κατά την διάρκεια της ιζηματογένεσης

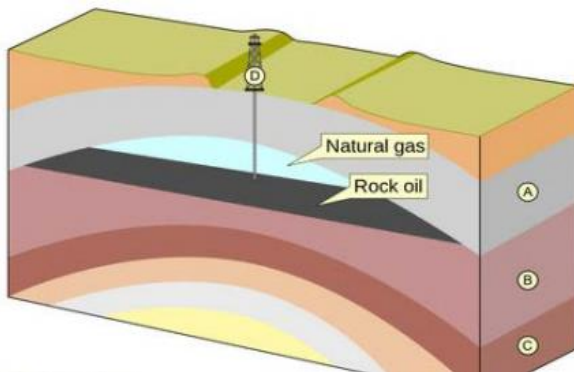
(συνιζηματογενή ρήγματα) και το οποίο έχει παχύτερα στρώματα στο κάτω έξω τμήμα που αποχωρίζεται. Αυτά τα ρήγματα σχηματίζονται σε ιζήματα δελταϊκών αποθέσεων.

2.1.6.2.2. Παγίδες που οφείλονται σε αλατούχους δόμους

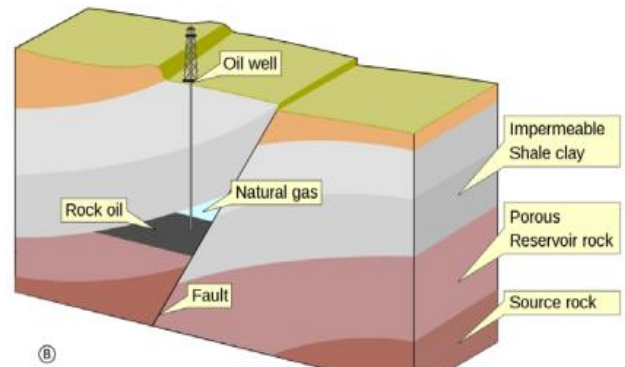
Αυτές οι παγίδες σχηματίζονται ως αποτέλεσμα της ύπαρξης στρώματος άλατος θαμμένων κάτω από το έδαφος, τα οποία είναι χαμηλότερης πυκνότητας από τα υπερκείμενα και τα οποία κινούνται αργά προς τα πάνω. Στην εικόνα (εικ.17) το φαινόμενο (salt tectonics) αυτό μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση ακόμα και σπάσιμο των υπερκείμενων στρωμάτων. Οι Υ/Α παγιδεύονται σε διάφορα σημεία γύρω από τον αλατούχο δόμο.

2.1.6.2.3. Συνδυασμός των πιο πάνω

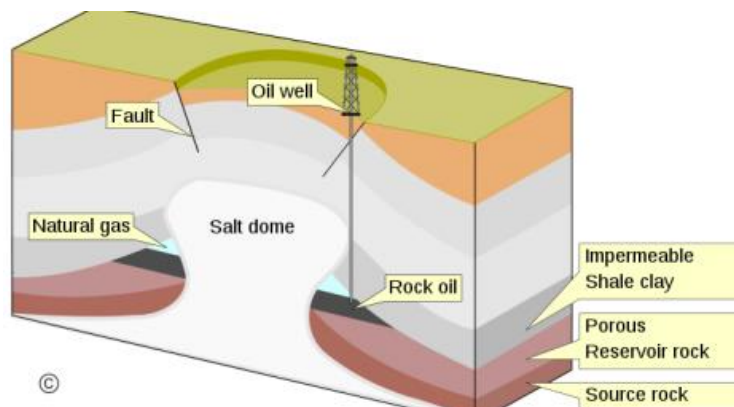
Αρκετές παγίδες έχουν τόσο στρωματογραφικά όσο και τεκτονικά χαρακτηριστικά (combination traps).



Εικόνα 15. Αντικλινική δομή παγίδευσης (Source: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anticlinal_Oil_trap.png).



Εικόνα 16. Ρηξηγενής δομή παγίδευσης (Source: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fault_line.svg).



Εικόνα 17. Παγίδες λόγω αλατούχων δομών (Source: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Salt_dome_trap.svg).

2.2.Στάδια σχηματισμού κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου

2.2.1. Γένεση υδρογονανθράκων

2.2.1.1.Οργανικό υλικό

Η πρώτη προϋπόθεση για την γένεση υδρογονανθράκων είναι η απόθεση εντός μιας ιζηματογενούς λεκάνης μεγάλου πάχους οργανικό υλικού. Εάν η πιθανότητα να έχουν αποτεθεί τέτοιου είδους υλικά είναι αυξημένη, τότε πρέπει να εξεταστεί ο βαθμός και ο χρόνος ωρίμανσης της. Η ωρίμανση αυτή της οργανικής ύλης εντός των μητρικών πετρωμάτων κατά την διάρκεια της διαγένεσης εξαρτάται από την θερμοκρασία.

Η χημική σύσταση της οργανικής ύλης παρουσιάζει πολλές διαφορές, δεδομένου ότι μπορεί να προέρχεται από διαφορετικούς οργανισμούς, οι οποίοι με την σειρά τους αποτελούνται αναλόγως από πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια και λιγνίνη. Γενικά η οργανική ύλη είναι διαλυτή μέσα στα ιζήματα. Η διατήρηση αυτής κάτω από την επαφή νερού/ιζήματος είναι συνάρτηση της ταχύτητας καταβύθισης και της οξυγόνωσης των υδάτων του πυθμένα. Ο συνδυασμός υψηλής παραγωγικότητας οργανικής ύλης και οι ανοξικές συνθήκες στα σημεία απόθεσης των ιζημάτων μπορεί να οδηγήσει στην διαμόρφωση εξαιρετικών μητρικών πετρωμάτων.

Τέλος περιβάλλοντα στα οποία συνυπάρχουν τόσο η παρουσία μεγάλου πάχους οργανικής ύλης όσο και απουσία οξυγόνου είναι: οι λίμνες, τα δελταϊκά περιβάλλοντα, τα ηπειρωτικά περιθώρια και οι παράκτιες λίμνες.

Επίσης η οργανική ύλη υποδιαιρείται σε δύο βασικά συστατικά το κηρογόνο που είναι το αδιάλυτο κλάσμα της οργανικής ύλης και το βιτουμένιο που είναι τα διαλυτά κλάσμα. Όταν οι διάφοροι τύποι κηρογόνου θερμανθούν στην σωστή θερμοκρασία απελευθερώνουν αργό πετρέλαιο ή φυσικό αέριο.

2.2.1.2.Κηρογόνο

2.2.1.2.1. Τύποι κηρογόνου

Στο πιο κάτω διάγραμμα (εικ.18), σύμφωνα με τον Van Krevelen, παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι κηρογόνου, στο οποίο με βάση τη σύγκριση των αναλογιών υδρογόνου/άνθρακα διακρίνονται τρεις τύποι κηρογόνου.

Τύπος .I:

- Αναλογία υδρογόνου/άνθρακα μεγαλύτερη από 1,25 ($>1,25$)
- Αναλογία οξυγόνου/άνθρακα μικρότερη από 0,15 ($<0,15$)
- Εμφανίζει μεγάλη τάση για εύκολη παραγωγή υγρών και αέριων υδρογονανθράκων
- Σχηματισμός από πρωτεΐνες και λιπίδια
- Δημιουργείται μόνο σε ανοξικά λιμναία περιβάλλοντα από κυρίως λιμναία φύκια

Τύπος II:

- Αναλογία υδρογόνου/άνθρακα μικρότερη από 1,25 ($<1,25$)
- Αναλογία οξυγόνου/άνθρακα 0,03 μέχρι 0,18
- Εμφανίζει τάση για παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου
- Εμφανίζει μέση έως ψηλή περιεκτικότητα σε θείο
- Προέρχεται συνήθως από οργανική ύλη θαλάσσιας προέλευσης που αποτέθηκε σε αναγωγικό περιβάλλον

Τύπος III:

Ο τύπος αυτός παρουσιάζει χαρακτηριστικά όμοια με τον τύπο 2 αλλά η περιεκτικότητα σε θείο είναι πολύ μεγάλη για αυτό και ονομάζεται θειούχο κηρογόνο.

Τύπος III:

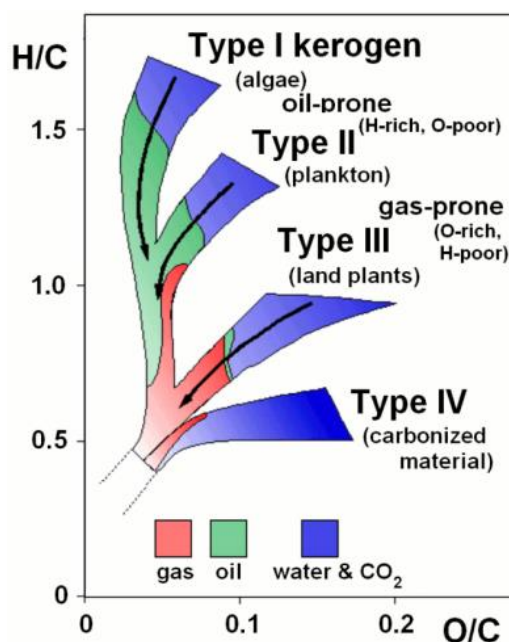
- Αναλογία υδρογόνου/άνθρακα μικρότερη από 1 (<1)
- Αναλογία οξυγόνου/άνθρακα 0,03 μέχρι 0,3
- Προέρχεται από χερσαία φυτική ύλη φτωχή σε λιπίδια
- Σχηματίζεται από κυτταρίνη (πολυσακχαρίτης των φυτών), μπορεί επίσης να σχηματιστεί και από λιγνίτη (μη υδατανθρακικό πολυμερές)

Τύπος IV:

Αυτός ο τύπος του κηρογόνου αποτελεί το υπόλειμμα της οργανικής ύλης και παρουσιάζει αναλογία υδρογόνου/άνθρακα μικρότερη από 0,5 ($<0,5$). Περιέχει οργανική ύλη που έχει αποσυντεθεί. Το κηρογόνο αυτού του τύπου δεν έχει την δυνατότητα να παράγει υδρογονάνθρακες.

2.2.1.2.2. Σχηματισμός του κηρογόνου

Σε αυτά τα στάδια σχηματισμού του κηρογόνου βασικοί παράγοντα είναι η οργανική ύλη η οποία αρχίζει να αποσυντίθεται. Τα μεγάλα βιοπολυμερή των πρωτεϊνών αρχίζουν να διαλύονται μερικώς ή ολικώς και τα οποία στην συνέχεια μπορούν να ενωθούν εκ νέου και να σχηματίσουν νέα πολυμερή, τα γεω-πολυμερή. Τα γεω-πολυμερή (φουλβικά οξέα, χουμικά οξέα, χουμίνες) είναι οι πρόδρομες ουσίες του κηρογόνου. Όταν αυτές οι ουσίες εκτεθούν για μεγάλο γεωλογικό χρόνο σε υψηλή γεωθερμική πίεση δημιουργούν το κηρογόνο. Αυτή η αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασία μπορεί να επιτευχθεί όταν το οργανικό υλικό αποτεθεί συγχρόνως με τα ιζήματα με σταδιακή καταβύθισης και φόρτωση από τα υπερκείμενα στρώματα. Τέλος οι σταδιακές αυτές αλλαγές είναι ενδεικτικές του βαθμού ωρίμανσης ενός συγκεκριμένου κηρογόνου και περιλαμβάνει την απώλεια υδρογόνου, αζώτου οξυγόνου και θείου.



Εικόνα 18. Στο διάγραμμα Van Krevelen παρουσιάζονται οι τύποι κηρογόνου και προϊόντα που σχηματίζονται από κάθε τύπο (Brooks et al., 1987).

2.2.1.2.3. Σχηματισμός υδρογονανθράκων

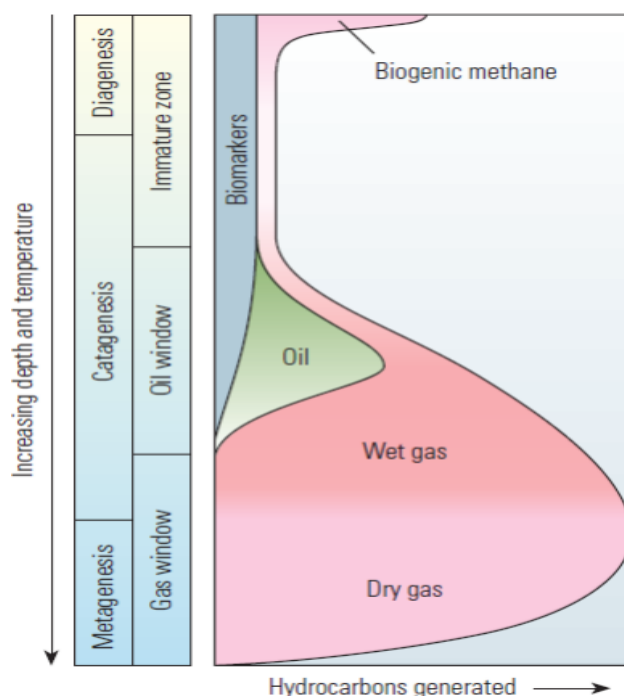
Ο σχηματισμός του πετρελαίου και/ή του φυσικού αερίου ξεκινάει από το κηρογόνο μέσα στα μητρικά πετρώματα και στη συνέχεια αυτά μεταναστεύουν και εφόσον συναντήσουν την κατάλληλη γεωλογική δομή, συσσωρεύονται. Στη συνέχεια παρεμποδίζεται η μετέπειτα συνέχεια τους από το πέτρωμα κάλυμμα ενώ η νεότερη δομή παγίδευσης εγκλωβίζει τους υδρογονάνθρακες και ως αποτέλεσμα έχουμε τη δημιουργία κοιτασμάτων. Η γένεση των υδρογονανθράκων εξαρτάται από την παρουσία οργανικής ύλης σε ικανοποιητική ποσότητα, ανοξικές συνθήκες, κατάλληλη θερμοκρασία και επαρκής χρόνος ώστε το μητρικό να οδηγηθεί στην ωρίμανση.

Σύμφωνα με την πιο κάτω εικόνα (εικ. 19) διαγένεση αποτελεί το αρχικό στάδιο αλλοίωσης των ιζημάτων και την ωρίμανση του κηρογόνου. Αρχίζει σε θερμοκρασίες κάτω από 50°C. Κατά την διάρκεια της πρόωρης διαγένεσης ένας βασικός παράγοντας που συμβάλλει στη διάσπαση της οργανικής ύλης είναι η μικροβιακή δραστηριότητα η οποία έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή βιογενούς αερίου (biogenic gas). Πρακτικά για τη γένεση των υδρογονανθράκων λαμβάνει χώρα μία ολόκληρη σειρά αντιδράσεων κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης της οργανικής ύλης, η οποία περιλαμβάνεται και η δευτερογενής διάσπαση του πετρελαίου σε φυσικό αέριο σε ψηλότερες θερμοκρασίες,

Στα πρώτα στάδια διάσπασης του κηρογόνου σε βαθμό μικρότερο του 1 Km σχηματίζονται διοξείδιο του άνθρακα και νερό από την ένωση του διαθέσιμου οξυγόνου με τις -COOH αλυσίδες. Σε βαθμό μεγαλύτερο των 2Km τα προϊόντα χαρακτηρίζονται από ένα μείγμα πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η παρουσίαση διοξειδίου του άνθρακα και νερού στα βάθη αυτά είναι σημαντικό δεδομένου ότι παραμένουν εγκλωβισμένα στους γεωλογικούς σχηματισμούς μαζί με τους υδρογονάνθρακες σε κατάσταση ισορροπίας των πιέσεων.

Η θέρμανση σε θερμοκρασίες 50°C έως 150°C σε βάθος 2 – 4 km (Oil Window) έχει ως αποτέλεσμα τη χημική και φυσική αλλοίωση των ιζημάτων και των ενδοπορικών ρευστών. Τούτο το στάδιο ονομάζεται καταγένεση και σε αυτό οι χημικοί δεσμοί του κηρογόνου αποδομούνται σχηματίζοντας αρχικά υγρούς υδρογονάνθρακες. Μετά τους 120°C σε βάθος 4 – 6 km (Gas Window), η δευτερογενής διάσπαση των μορίων του πετρελαίου οδηγεί στη δημιουργία μορίων αερίου.

Τέλος, η τελική ωρίμανση της οργανικής ύλης και η μετατροπή της σε υδρογονάνθρακες συμβαίνει σε θερμοκρασίες από 150°C έως πάνω 200°C. Αυτό το στάδιο ονομάζεται μεταγένεση. Στο τέλος της μεταγένεσης, καθώς τα μόρια του πετρελαίου διασπώνται σε μικρότερα μόρια αερίου δημιουργούνται μεθάνιο, ξηρό αέριο και αέρια όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), άζωτο (N_2) και υδρόθειο H_2S .



Εικόνα 19. Τα τρία στάδια σχηματισμού των υδρογονανθράκων. (McCarthy, et.al., 2011). Αρχικό στάδιο διαγένεσης (βιογενές αέριο), καταγένεσης (υγροί αέριοι Υ/Α) και τελικό στάδιο μεταγένεσης (ξηρό αέριο, μεθάνιο).

2.2.2. Μετανάστευση υδρογονανθράκων

Τα μόρια των υδρογονανθράκων μετά το σχηματισμό τους αρχίζουν να μεταναστεύουν από το μητρικό μέσα στο οποίο και σχηματίστηκαν, και μεταναστεύουν σε γειτονικά πετρώματα. Αφότου συναντήσουν πορώδη πετρώματα, μέσα στα οποία μπορούν να κυκλοφορούν ρευστά, οι υδρογονάνθρακες τείνουν να συσσωρευτούν σε μεγάλες ποσότητες. Αυτές οι συγκεντρώσεις καλύπτονται από ένα ή περισσότερα μονωτήρια πετρώματα τα οποία εμποδίζουν την ανοδική κίνηση τους.

Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αποτελούνται από μόρια υδρογονανθράκων τα οποία σχηματίστηκαν από το κηρογόνο. Ωστόσο οι υδρογονάνθρακες μέσα στο μητρικό

πέτρωμα καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο από το κηρογόνο. Ως αποτέλεσμα, οδηγούνται σε γεωλογικούς σχηματισμούς κορεσμένες με νερό. Ολισθαίνοντας λοιπόν, μεταξύ των κόκκων των πετρωμάτων, κινούνται προς τα πάνω. Αυτή η αδιάκοπη κίνηση είναι γνωστή ως μετανάστευση (migration) (εικ.20).

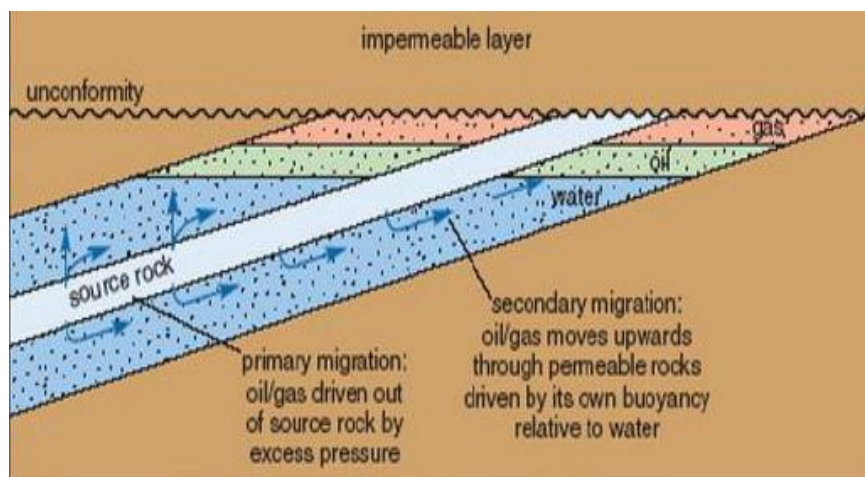
2.2.2.1.Πρωτογενής μετανάστευση

Με τον όρο αυτό εννοούμε, τη μετανάστευση και την απομάκρυνση των νεο-σχηματισμένων υδρογονανθράκων έξω από το πέτρωμα στο οποίο σχηματίστηκαν δηλαδή το μητρικό πέτρωμα.

2.2.2.2.Δευτερογενής μετανάστευση

Η περαιτέρω κίνηση των νεοσχηματισμένων υδρογονανθράκων από το μητρικό πέτρωμα μέσα στο ταμιευτήριο πέτρωμα, ονομάζεται δευτερογενής μετανάστευση.

Η μετανάστευση των υδρογονανθράκων και συγκεκριμένα η ταχύτητα με την οποία κινούνται διαμέσου των πόρων εξαρτάται από τη διαπερατότητα του κάθε σχηματισμού. Επίσης μερικές φορές, τα μόρια συναντούν εμπόδια όπως λιγότερα διαπερατά μόρια, έτσι αναγκάζονται να συνεχίσουν την πορεία τους διαμέσου γειτονικών πιο διαπερατών πετρωμάτων και διαμέσου ρωγμών. Τέλος παρόλα αυτά, υπάρχει το ενδεχόμενο ένα ποσοστό των υδρογονανθράκων να μην μπορέσει να κινηθεί προς τα πάνω λόγω του ότι παραμένουν κολλημένοι στους κόκκους του πετρώματος ή/και διαλύονται στο νερό που περιέχεται στους σχηματισμούς από τους οποίους διέρχονται. Το φαινόμενο αυτό ορίζεται ως διαλυτικά “απώλειες της μετανάστευσης” (migration losses).



Εικόνα 20. Πρωτογενής και δευτερογενής μετανάστευση των μορίων των υδρογονανθράκων (Ζεληλίδης, 2009).

Ο θαλάσσιος πυθμένας της Ανατολικής Μεσογείου χαρακτηρίζεται, από μεγάλες κλαστικές δελταϊκές αποθέσεις, οι οποίες οριοθετούνται από ένα τοξοειδές σχήμα (Loncke et.al.,2006). Αυτές οι δελταϊκές αποθέσεις αποτελούν το δέλτα του Νείλου και σχηματίζονται από τη ροή των ιζημάτων του ποταμού Νείλου, ο οποίος και εκβάλλει στην Μεσόγειο (Salem, 1976; Dolson et.al., 2000)

Το Δέλτα του Νείλου αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα δέλτα του κόσμου και σχηματίζεται λίγο πιο κάτω από το Κάϊρο. Από την Αλεξάνδρεια στα δυτικά μέχρι και το Πόρτ Σάϊντ στα ανατολικά, καλύπτει μια έκταση 240 χιλιάμετρα Μεσογειακής ακτογραμμής. Το δέλτα χωρίζεται σε δύο τμήματα μερικές φορές, με αποτέλεσμα και ο Νείλος να χωρίζεται σε δύο παραπόταμους, της Δαμιέτης και της Ροζέτας. Η γεωμορφολογική όψη του δέλτα έχει μεταβληθεί με το πέρασ του γεωλογικού χρόνου και αυτό εξαιτίας της εναπόθεσης φερτών υλικών. Τέλος οι εξωτερικές άκρες του, διαβρώνονται και κάποιες μικρές παράκτιες λίμνες που παρουσιάζουν αυξημένη περιεκτικότητα σε αλάτι.

3.1.Τεκτονική εξέλιξη του δέλτα του Νείλου

Το Δέλτα του Νείλου αποτελεί την πιο μεγάλη κλαστική συσσώρευση στην Ανατολική Μεσόγειο και έχει ενταχθεί μέσα σε μια περιοχή η οποία χαρακτηρίζεται από σημαντική Καινοζωική τεκτονική δραστηριότητα.

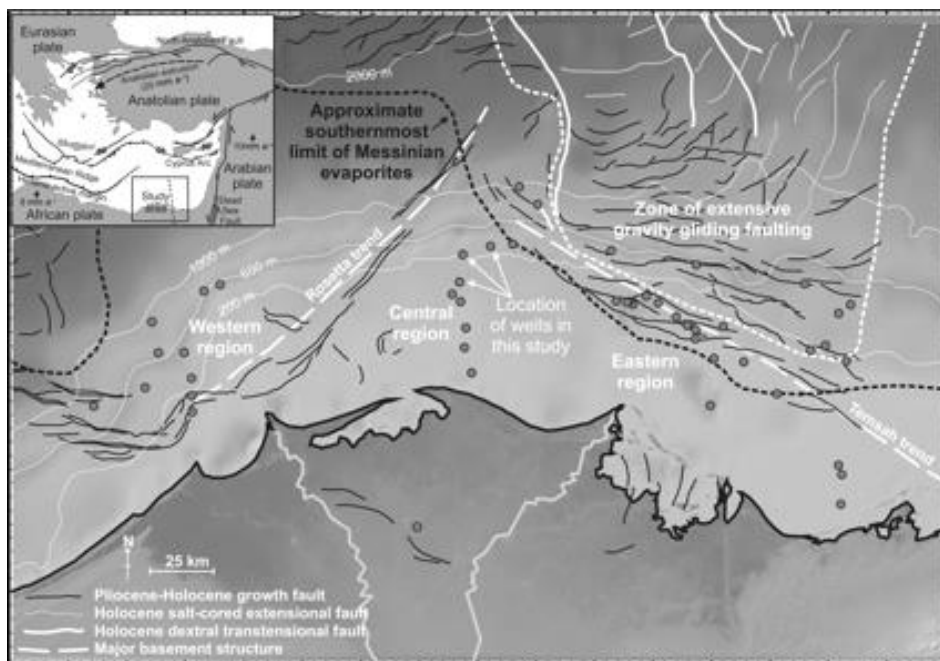
Η πίεση που δέχεται αυτή η περιοχή οφείλεται στην υποβύθιση η οποία γίνεται στην κεντρική Μεσόγειο ξεκινώντας πριν από 12 εκ. χρόνια μέχρι σήμερα και συμβάλλει στην εξέλιξη του δέλτα του Νείλου.

Η βορειοδυτική πλευρά του Νείλου χαρακτηρίζεται από παραμορφώσεις και μία σειρά από πτυχές, αναστροφes ρήγματα πάνω από τους Μεσσήνιους εβαπορίτες τα οποία συσχετίζονται με τη συμπίεστική εξέλιξη της γειτονικής μεσογειακής ράχης. Αυτές οι δραστηριότητες σχετίζονται με συμπλέγματα λασποηφαιστείων κατά μήκος του νότιου τμήματος του ελληνικού και κυπριακού τόξου. Τα επωθημένα στρώματα που καλύπτουν τους Μεσσήνιους εβαπορίτες χαρακτηρίζονται από δελταϊκή δομή και σχετίζονται με τις κινήσεις του αλατιού όπως: πτυχές, επεκτατικά και οριζόντια μετατόπισης ρήγματα, καταρρεύσεις μεγάλου πάχους ιζηματογενών δομών,

δημιουργία πολυγωνικών λεκανών (Loncke L. et. Al., (2006); Loncke L. et.al., (2009)) Από την άλλη τα στρώματα που υπόκεινται τους εβαπορίτες χαρακτηρίζονται από τα αποτελέσματα δελταϊκής τεκτονικής λόγω διάδοσης της βαρύτητας και παραμορφώσεις του υποβάθρου.

Σύμφωνα με Abdel Aal A, et. al., (2001), και Rashid A. et al., (2018) οι δομές που σχηματίζονται λόγω της παραμόρφωσης του πυθμένα στο Δέλτα του Νείλου έχουν ΒΔ-ΝΑ (Temsah) και ΒΑ-ΝΔ (Rosetta) διεύθυνση (εικ.21). Οι δύο αυτές μεγάλες ρηξιγενής δομές το Temsah και Rosetta σχετίστηκαν με δομές που αρχικά δημιουργήθηκαν από την παραμόρφωση του Συριακού τόξου ή μετατροπές του ηπειρωτικού φλοιού και Μεσοζωική διάρρηξη και ΒΔ μετάβαση από ηπειρωτικό σε ωκεάνιο φλοιό αντίστοιχα.

Επίσης το δέλτα του Νείλου βρίσκεται κοντά σε πολλαπλά όρια πλακών τα οποία μπορεί να επηρεάζουν περαιτέρω το καθεστώς πίεσης που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή του (Mascle et. al., 2000; McClisky et.al., 2000; Tenveen JH., (2004); Hamouda AZ (2006).



Εικόνα 21. Δομές σχηματισμών που δημιουργούνται από τις πιέσεις των τεκτονικών πλακών καθώς και από την πίεση που ασκούν τα εβαποριτικά στρώματα (Amr Hamouda, Suzan El-Gharabawy 2019).

Στις ζώνες αυτές συγκαταλέγονται οι εξής:

- Το Κυπριακό Τόξο. Συγκεκριμένα η υποβύθιση του Ηπειρωτικού Μπλόκ του Ερατοσθένη, το οποίο εκτελεί υποβύθιση κάτω από την Κύπρο.
- Ρηξιγενής ζώνη Ανατολικής Ανατολίας που σχετίζεται με την κίνηση της Αραβίας μικροπλάκας με σχετικά μεγάλη ταχύτητα μακριά από την Αφρική.
- Η ζώνη ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης της Νεκράς θάλασσας. Μια σειρά ρηγμάτων που ξεκινούν από το τριπλό σημείο διασταύρωσης του Αμάρ και τελειώνουν στην Ερυθρά θάλασσα.
- Νότια το σύστημα ρηγμάτων της Ερυθράς θάλασσας/Κόλπου της Διώρυγας του Σουέζ.
- Το Αιγυπτιακό παθητικό περιθώριο Μεσοζωικής ηλικίας το οποίο εν μέρει να ενεργοποιήθηκε λόγω της διάρρηξης του συστήματος Διώρυγας του Σουέζ και Ερυθράς θάλασσας.

Η πίεση που επηρεάζει το Νείλο μπορεί να αποδοθεί όμως, τόσο στις τεκτονικές πλάκες όσο και στους εβαπορίτες. Απαρτίζεται από δύο ιζηματογενή συστήματα τα οποία χωρίζονται από την μεγάλη Μεσσήνια ασυμφωνία. Κατά το Άνω Μειόκαινο, τα Στενά του Γιβραλτάρ έκλεισαν, με αποτέλεσμα την επακόλουθη εξάτμιση της Μεσογείου και την εναπόθεση στρωμάτων αλατιού μεγάλου πάχους, τα οποία σχημάτισαν κοιλάδες στην υφαλοκρηπίδα και στην ηπειρωτική κατωφέρεια. Οι Μεσσήνιοι εβαπορίτες έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην τεκτονική εξέλιξη του δελταϊκού συστήματος του Νείλου ([Abdel Aal A, et. al., \(2001\)](#); [Loncke L. et. al., \(2006\)](#)).

Επίσης οι αλλουβιακές αποθέσεις στην δυτική πλευρά του Νείλου βρίσκονται στην αββυσσική λεκάνη του Ηρόδοτου στην βάση του Αιγυπτιακού περιθωρίου νότια της Μεσογειακής κορυφογραμμής ([Loubrieu B., et.al., \(2006\)](#)).

Τέλος η σημαντικότητα της περιοχής σχετίζεται σε μια αναδυόμενη γιγαντιαία επαρχία πετρελαίου και αερίου ([Xiaodong P., et. al., \(2015\)](#); [Kafisanwo O. et. al., \(2018\)](#)). Κέρδισε το μεγάλο ενδιαφέρον αφού ανακαλύφθηκε το εξαιρετικά μεγάλο πεδίο φυσικού αερίου, το πεδίο κοιτάσματος τύπου Zor στην υπεράκτια περιοχή του. Αυτή η εκρηκτική ανάπτυξη οφείλεται στην έρευνα για Πλειοκαινικής ηλικίας ταμιευτήρες, σε ρηχά νερά, κάτω από 2000 μέτρα λάσπης. Αυτή η λεκάνη έχει ιζηματογενής αποθέσεις που αποτέλεσαν τα θεμέλια για τα πετρελαϊκά συστήματα.

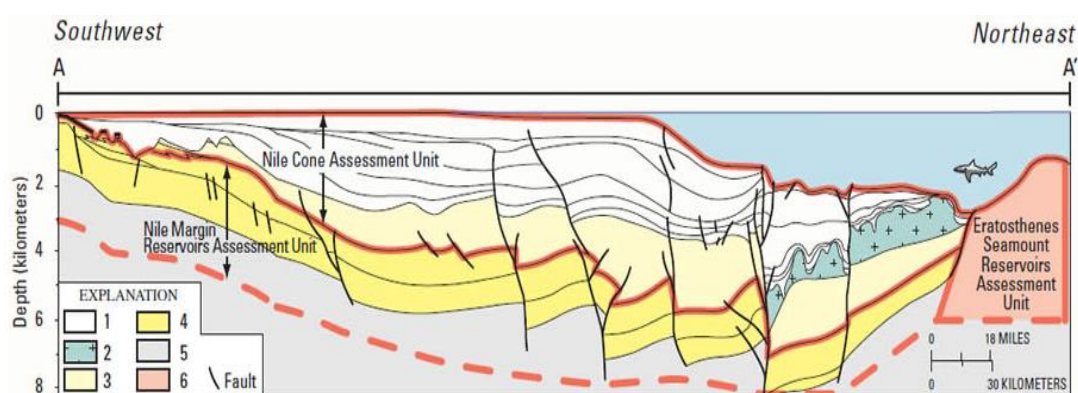
3.2.Στρωματογραφία του δέλτα του Νείλου

Όπως παρουσιάζεται πιο κάτω (εικ.22), ρηχά υποθαλάσσια ανθρακικά πετρώματα Ιουρασικής ηλικίας, αποτελούν τα παλαιότερα ιζήματα στο δέλτα του Νείλου, τα οποία καλύπτονται από ένα μίγμα ανθρακικών – κλαστικών ιζημάτων Κάτω Κρητιδικής ηλικίας.

Κατά το Κάτω Κρητιδικό, το δέλτα είχε εντελώς καλυφθεί από την Τηθύος, και τα ιζήματα Άνω Κρητιδικού να παρουσιάζονται ως όψεις ανοικτής θάλασσας. Στη συνέχεια κατά το Ολιγόκαινο – Μειόκαινο, η προοδευτική κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών, συρρίκνωσαν τον ωκεανό της Τηθύος στην ανατολική περιοχή, και ως αποτέλεσμα τα Ολιγοκαινικά προφίλ είχαν ως κυρίαρχο χαρακτηριστικό διασταυρώσεις λάσπης. Η Μειοκαινική ακολουθία ξεκινά με μία μεγάλη διάδοση αποθέσεων θαλάσσιων σχιστόλιθων, κάτω από τα ηπειρωτικά Ολιγοκαινικά προφίλ.

Στο Μειόκαινο παρατηρούνται δύο μεγάλες ασυμφωνίες με την πρώτη στο Τορτόνιο και τη δεύτερη στο Μεσσήνιο. Η πρώτη ασυμφωνία χωρίζει τις Μέσο και Άνω Μειοκαινικές ακολουθίες, ενώ η δεύτερη αντικατοπτρίζει τη Μεσσήνια κρίση αλατότητας της Μεσογείου και μία μεγάλη παλινδρόμηση που οδηγεί σε έκθεση και διάβρωση της υφαλοκρηπίδας και της κατωφέρειας .

Με το τέλος της Μεσσήνιας κρίσης, το δέλτα καλύπτεται από υποθαλάσσιους σχιστόλιθους, υλικά τα οποία προήλθαν από την πλημμύρα Zanclean.



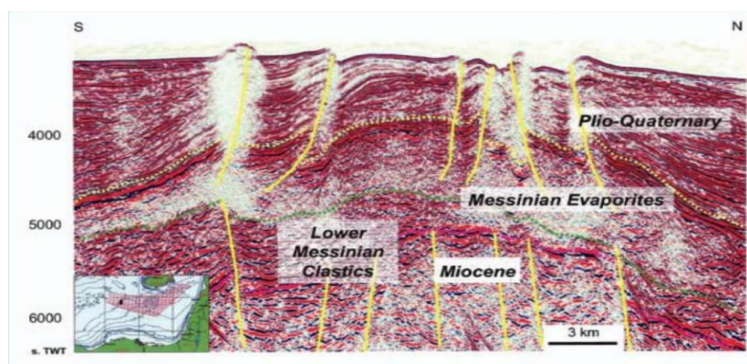
Εικόνα 22. Στρωματογραφική τομή του δέλτα του Νείλου, ΝΔ-ΒΑ. 1)Πλειστόκαινο-Τεταρτογενές 2)Εβαπορίτικες αποθέσεις (Μεσσηνίου) 3) Μειόκαινο (Προ- Μεσσηνίου) 4) Παλαιογαινές-Κρητιδικό 5) ~προ-Κρητιδικό 6) Ερατοσθένης (U.S. Geological Survey 2010).

3.3.Υποθαλάσσιο Ριπίδιο του Νείλου

Το αλλουβιακό ριπίδιο του Νείλου είναι μια μεγάλη ιζηματογενής σφήνα, που δημιουργήθηκε κατά το Ανώτερο Μειόκαινο στη λεκάνη της ανατολικής Μεσόγειου. Η μορφολογία του ριπιδίου είναι αποτέλεσμα της τοπογραφίας που επικρατούσε πριν από το Μεσσηνίο, της παραμόρφωσης που σχετίζεται με τις αποθέσεις των αλάτων του Μεσσηνίου καθώς και των διεργασιών βαρυτικής μετακίνησης των ιζημάτων. Οι διεργασίες αυτές (π.χ. διαπυρισμός και κατολισθήσεις) στο περιθώριο του Νείλου σχετίζονται με την παρουσία ενός στρώματος αλατιού Μεσσηνιακής ηλικίας μέσα στο ιζηματογενές οικοδόμημα. (Gaullier et al., 2000; Loncke et al., 2006; Mascle et al., 2000). Οι μετακινήσεις ιζημάτων (π.χ. υποθαλάσσιες κατολισθήσεις, ροές κορημάτων) έλαβαν χώρα σε ολόκληρο το αλλουβιακό ριπίδιο του Νείλου, ως αποτέλεσμα διαφόρων διαδικασιών, όπως ο αλατο-τεκτονισμός, το σύστημα ρηγμάτωσης - η υπερφόρτιση ιζημάτων, η κυκλοφορία ρευστών, και η αστάθεια των πλαγιών (εικ.23) (Loncke et al., 2004; Mascle et al., 2006).

Όσον αφορά τα ηφαίστεια λάσπης, αυτά βρίσκονται κατά μήκος της σημερινής ηπειρωτικής πλατφόρμας ή κοντά στο όριο της Μεσσηνιακής πλατφόρμας. Οι στενωποί διοχέτευσης αερίων υδρογονανθράκων (gas chimneys) στο αλλουβιακό ριπίδιο του Νείλου, που μερικές φορές βρίσκονται πάνω από τα συστήματα καναλιών/μικρών χαραδρώσεων (Loncke et al., 2004; Mascle et al., 2006).

Μεσσηνιακής ηλικίας, είναι συνήθως πάνω ή κοντά σε επανενεργοποιημένα υποβυθισμένα ρήγματα μαζί με επιφανειακά ρήγματα ή κατά μήκος του ανώτερου τμήματος της κατωφέρειας (Barsoum et al., 2000). Μέχρι τώρα έχουν ανακαλυφθεί πάνω από 150 κώνοι λάσπης και άφθονοι κρατήρες διαφυγής ρευστών (rockmarks) και θόλοι, στον πυθμένα αλλά και στο τουρβιδιτικό σύστημα του αλλουβιακού ριπιδίου του Νείλου. (Bellaiche et al., 2001, 1999; Mascle et al., 2000).

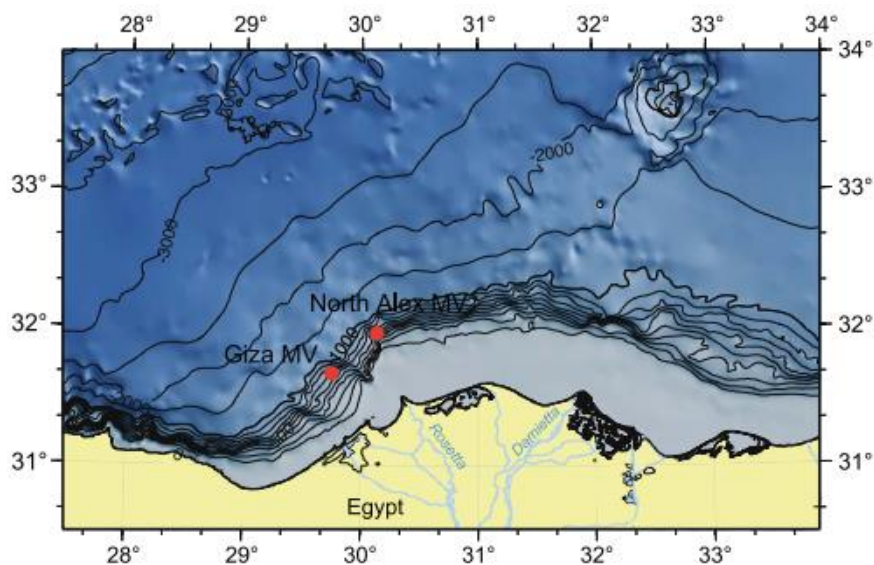


Εικόνα 23. Β-Ν αντικλινικές δομές στο δέλτα του Νείλου με παρουσία κάτω κλαστικών και ρηγματωμένα προ Μεσσηνία ιζήματα. Καμινάδες αερίων οι οποίες προδίδουν την ύπαρξη υδρογονανθράκων.(Motadert and Nicolaidis, 2010).

Επιπρόσθετα, αναφέρεται (Coleman & Ballard, 2001) η παρουσία ψυχρών κοιλοτήτων υδρογονανθράκων μέσα στο ανατολικότερο άκρο του κώνου, που σχετίζονται με μικρά (διαμέτρου μικρότερη από 10 m) λασπώδη αναχώματα και αυθιγενείς ανθρακικούς φλοιούς. Η ύπαρξη των κρατήρων διαφυγής ρευστών συνδέεται με τα ίχνη ρηγμάτων του υποθαλάσσιου όρους του Ερατοσθένη, που συνορεύει με το αλλουβιακό ριπίδιο του Νείλου στα βορειοανατολικά (Dimitrov and Woodside (2003). Το αλλουβιακό ριπίδιο του Νείλου διαχωρίζεται σε τρία κύρια ιζηματογενή μορφολογικά οικοδομήματα:

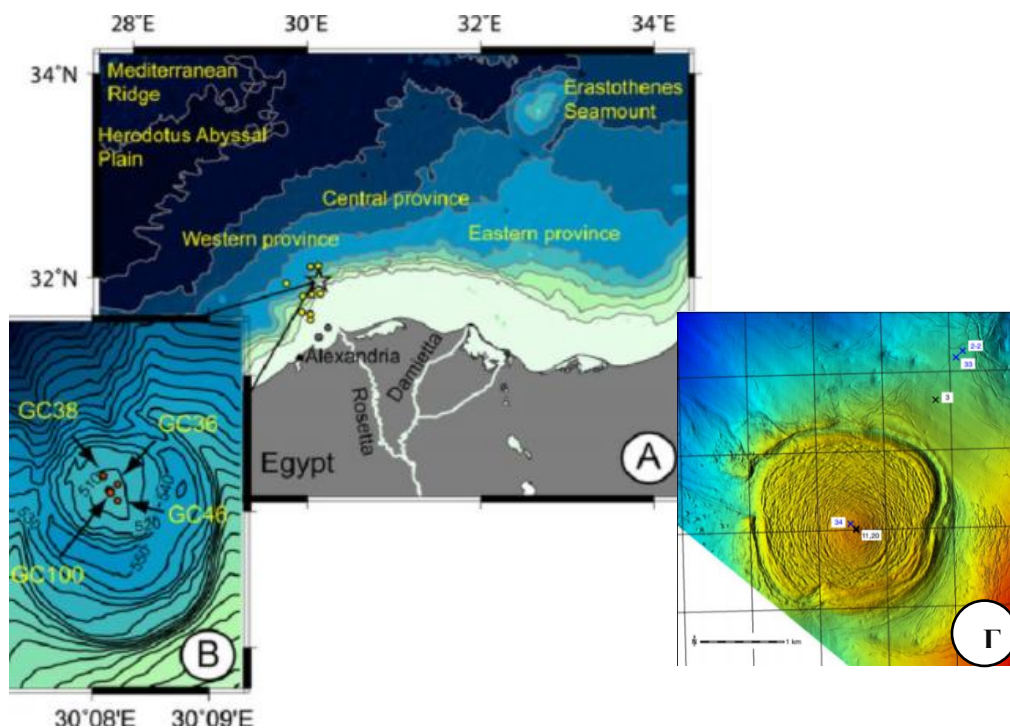
- τη Δυτική-Western Nile Deep Sea Fan όπου βρίσκεται και η περιοχή Menes caldera που φιλοξενεί αριθμό λασπο-ηφαιστειών,
- τη Κεντρική-Central Nile Deep Sea Fan και
- την Ανατολική Επαρχία – East Nile Deep Sea Fan. (Bellaiche et al., 2001; 1999; Loncke et al., 2004; Mascle et al., 2001).

Σύμφωνα με τις γεωφυσικές έρευνες, το λασπο-ηφαίστειο North Alex MV χαρακτηρίζεται σαν μια ενεργή δομή στενωπούς διοχέτευσης αερίων υδρογονανθράκων (gas chimney), γεγονός που πιθανόν να προκάλεσε την αποσταθεροποίηση της κατωφέρειας που σχετίζεται με σημαντικές βαρυτικές ροές ιζημάτων στο βορρά, ακολουθώντας την τοπική διαβάθμιση της πλαγιάς (Loncke et al., 2004). Τόσο το λασπο-ηφαίστειο Giza όσο και North Alex θεωρούνται ενεργά (εικ.24), (εικ.25). Επιπλέον, παρατηρήθηκε η παρουσία περισσότερων από 150 υποκυκλικών και κωνικών δομών, η διάμετρος των οποίων κυμαίνεται μεταξύ 100 m και 1 km, και το ύψος τους από 10 έως 60 m.



Εικόνα 24. Ενεργά λασποηφαίστεια στο Δέλτα του Νείλου (June 2010, Geo-Marine Letters).

Ως προς την δραστηριότητα τους τα λασπο-ηφαίστεια Amon, Isis θεωρούνται πολύ ενεργά, σε αντίθεση με το Osiris που θεωρείται λιγότερο ενεργό. Στην επαρχία του Κεντρικού Νείλου ο πυθμένας έχει διαταραχθεί τη διαφυγή ρευστών προς την υδάτινη στήλη με συνέπεια το σχηματισμό χιλιάδων κρατήρων (rockmarks) που σχετίζονται επίσης με το σχηματισμό αυθιγενών ανθρακικών φλοιών (Loncke et al., 2004). Η δραστηριότητα διαφυγής των ρευστών συνδέεται στενά με την αποσταθεροποίηση των ιζημάτων που εκφράζεται με πολυάριθμα κατολισθητικά φαινόμενα (Bayon et al., 2009). Όπως προκύπτει από την μελέτη όλης της διαθέσιμης βιβλιογραφίας, δεν έχει πιστοποιηθεί η παρουσία υδρίτων στην περιοχή του αλλουβιακού ριπιδίου του Νείλου. Ενδεχομένως, τα ιζήματα που αποτίθενται στην περιοχή να οδηγούν σε τοπική υπερφόρτιση, γεγονός που οδηγεί στην αποσταθεροποίηση των υδριτών (Loncke et al., 2004).



Εικόνα 25. Βαθυμετρικός χάρτης του δέλτα του Νείλου (Α) και βόρειο Alex MV (mud volcano). Οι κόκκινες κουκκίδες αποτελούν τις πυρηνολυψίες ενώ οι κίτρινες και γκρίζες δείχνουν κατά προσέγγιση γεωτρήσεις πετρελαίου και αερίου. Βαθυμετρικός χάρτης της Gizas MV (Γ) (Earth and Planetary Science Letters, researchgate, June 2012).

Σε αντίθεση με τα λασπο-ηφαίστεια που εντοπίζονται νότια της Κρήτης, τα λασπο-ηφαίστεια που παρατηρούνται στο αλλουβιακό ριπίδιο του Νείλου χαρακτηρίζονται από την παρουσία άλατος.

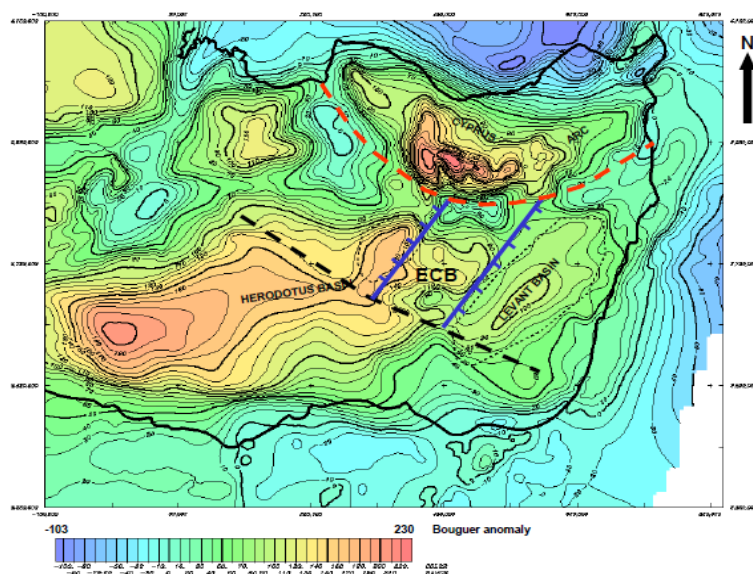
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

4. Ηπειρωτικό Μπλοκ του Ερατοσθένη

Ένα από τα πιο κυρίαρχα βαθυμετρικά χαρακτηριστικά της Ανατολικής Μεσογείου είναι το Ηπειρωτικό Μπλοκ του Ερατοσθένη. Το Ηπειρωτικό Μπλοκ του Ερατοσθένη, βρίσκεται γύρω στα 100km περίπου βόρεια της Κύπρου, και νοτιοανατολικά της Αφρικανικής πλάκας. Περιτριγυρίζεται από το Κυπριακό τόξο στα βόρεια, το Κώνο του Νείλου στα νότια νοτιοδυτικά, και τη Λεβαντίνη λεκάνη στα ανατολικά (εικ.26). Είναι ένα μεγάλο ύβωμα το οποίο ανυψώνεται ένα χιλιόμετρο από τον πυθμένα της θάλασσας χωρίς να ξεπερνάει την επιφάνεια του νερού, 2,3 χιλιόμετρα πάνω από μία παρακείμενη αβυσσική πεδιάδα και υψώνεται 1,5km πάνω από τα περιβάλλοντα του. (Galindo-Zaldivar et. Al., 2011)

Είναι μία πολύ μεγάλη δομή σχεδόν τετράπλευρη και είναι επιμηκυμένη σε διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.

Αυτή η ανθρακική πλατφόρμα δομείται από συσσώρευση ανθρακικών ιζημάτων ηλικίας Κρητιδικού και πιθανώς Μειόκαινου και υπερκαλύπτεται από ένα λεπτό Πλειοκαινικό κάλυμμα περίπου 100 μέτρων. Σεισμικές ερμηνείες της μικροπλάκας του Ερατοσθένη έδειξαν ότι τα Ηωκαινικά/Ολιγοκαινικά ιζήματα πιθανώς να είναι εξαιρετικά μικρού πάχους ή να απουσιάζουν τελείως.



Εικόνα 26. Βαθυμετρικός χάρτη όπου απεικονίζεται η θέση του ΗΜΕ νότια της Κύπρου. Ανατολικά αυτού βρίσκεται η Λεβαντίνη, δυτικά η λεκάνη του Ηρόδοτου και βόρεια το Κυπριακό τόξο. Μαύρη διακεκομμένη γραμμή: ένα ρήγμα μετασχηματισμού διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ, κόκκινη διακεκομμένη γραμμή: Κυπριακό τόξο, Μπλε γραμμές: Κανονικά ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης (Woodside, 1977).

4.1. Τεκτονική εξέλιξη του Ερατοσθένη

Κάτω από τον θαλάσσιο πυθμένα της Ανατολικής Μεσογείου, κατά το Μειόκαινο, ένα υποθαλάσσιο τμήμα, ο σημερινός Ερατοσθένης, αποσπάστηκε από την Αφρικάνικη πλάκα και ξεκίνησε να κινείται βορειότερα προς την περιοχή της σημερινής Κύπρου.

Η κίνηση αυτού του Ηπειρωτικού Μπλοκ διέπεται από ένα ρήγμα μετασχηματισμού διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ, το οποίο ξεκινά από το περιθώριο της Λεβαντίνης διαμέσου της λεκάνης της Λεβαντίνης και νότια του Ερατοσθένη μέχρι τη λεκάνη του Ηρόδοτου. Βρίσκεται σε συμφωνία με τη μετασχηματική δομή του βόρειου περιθωρίου της Αφρικής και την αριστερόστροφη κίνηση της, αντίθετα με την Ευρώπη. Ως αποτέλεσμα των δυτικών και ανατολικό περιθώριο του Ερατοσθένη να είναι παθητικό ενώ το νότιο να είναι ενεργό. Οι βαθιές δομές που είναι συνδεδεμένες με διάρρηξη είναι καλά ορατές στα νότια και δυτικά περιθώρια. Ένα μεγάλο ΝΔ - ΒΑ ρήγμα χωρίζει το κεντρικό τμήμα του Ερατοσθένη από το ανατολικό με τις αποθέσεις να είναι μεγάλου πάχους. Επίσης είναι το όριο μιας γνωστής μαγνητικής ανωμαλίας η οποία δεν εκτείνεται από την άκρη του Ερατοσθένη στη Λεβαντίνη ([Chamot-Rooke et al, 2005](#)).

Πριν από πέντε με έξι εκατομμύρια χρόνια, η χαμηλή στάθμη των υδάτων της Μεσογείου οδήγησε στην ανάδυση των ανωτέρων στρωμάτων του Ερατοσθένη. Ενώσω ο Ερατοσθένης ήταν εκτεθειμένος στην ατμόσφαιρα και τη δύναμη των κυμάτων, τα πετρώματα του διαβρώθηκαν, προκαλώντας την ισοπέδωση του αναγλύφου της επάνω επιφάνειας του. Κατά την περίοδο αυτή, εβαπορίτες συσσωρεύονται στις γύρω περιοχές και επίσης αποσφηνώνονται στις ανώτερες πλευρές του μπλοκ. Η άνοδος και πάλι της στάθμης της Μεσογείου και η συνεχής ώθηση της Αφρικανικής πλάκας βαθιά στην τάφρο νοτίως της Κύπρου, κατά το Ανω Μειόκαινο, ήταν καταδικαστικά στο Ανώτερο Πλειόκαινο να βυθιστεί και να παραμείνει ολόκληρη η γεωλογική δομή υποθαλάσσια ([Robertson, et. al., 1998](#)).

Τα βορειότερα όρια του Ερατοσθένη σήμερα βρίσκονται περίπου 20km πλησιέστερα στην Κύπρο από ότι οι κοντινότερες ακτές της Τουρκίας. Η οροσειρά στην κάτοψη της έχει ελλειπτικό σχήμα και οι μέγιστες διαστάσεις στη βάση της ανέρχονται σε 120km μήκος και 80km πλάτος. Το ψηλότερο σημείο του ξεπερνά τα 2000m (από τη βάση του που φτάνει τα -2700m) και βρίσκεται 690m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Καθώς τα μεγαλύτερα υψόμετρα της οροσειράς ήταν αναδυμένα, υπόγεια ποτάμια διάβρωσαν τα ασβεστολιθικά πετρώματα σχηματίζοντας αγωγούς και σπηλιές κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Με το πέρασμα εκατομμυρίων χρόνων και την επαναβύθιση του Ερατοσθένη, η οροφή αυτών των σπηλιών κατέρρευσε σχηματίζοντας καταβόθρες.

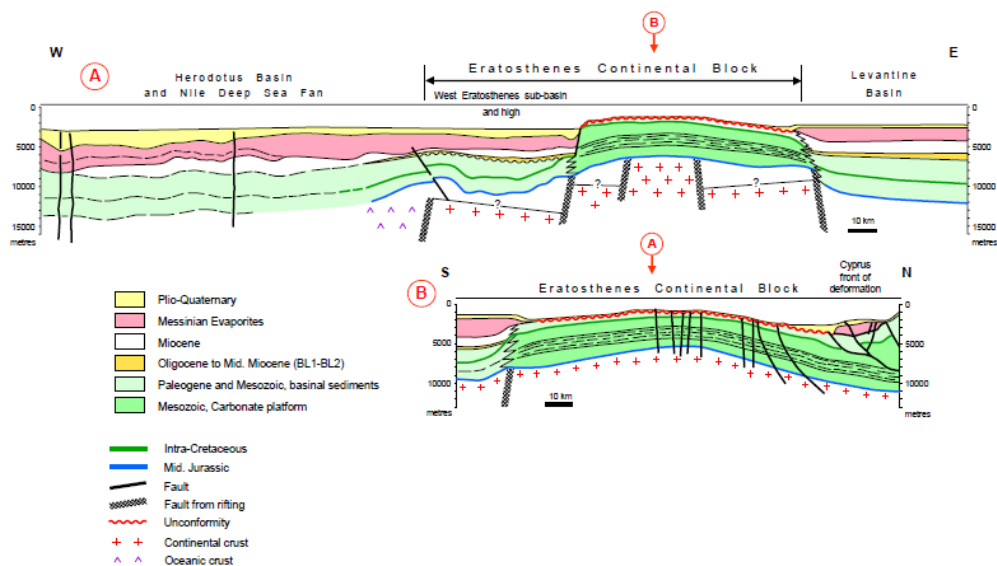
4.2. Το Οροπέδιο του Ερατοσθένη

Τα ιζήματα στο οροπέδιο του Ερατοσθένη, (εικ.27) είναι σχετικά ομοιόμορφα σε πάχος σε όλη την περιοχή και λεπταίνουν προς τις παρυφές του μπλοκ. Μεσσήνιο αλάτι διακρίνεται κατά μήκος των δύο λεκανών και όχι στο μπλοκ του Ερατοσθένη αλλά εκατέρωθεν των πλευρών του στη βάση των Πλειο – Τεταρτογενών ιζημάτων που φανερώνουν την έκτοτε επιφανειακή διάβρωση. Το οροπέδιο παρουσιάζει επίπεδη κορυφή η οποία διασπάται από ζώνες κανονικών ρηγμάτων ανατολής – δύσης. Επίσης, μικρής κλίμακας τοπικές ασυμφωνίες, οι οποίες καλύπτονται από τεταρτογενείς ιζήματα, μπορεί να εμφανιστούν στην περιοχή του οροπεδίου. Τα χαρακτηριστικά υποδηλώνουν της ταυτόχρονη ιζηματογένεση και παραμόρφωση. Τέλος, η παρουσία ζωνών κυκλικών ταπεινώσεων, ερμηνεύονται ως κατάρρευση δομών πάνω από μία Μεσσήνια καρστική επιφάνεια ή πάνω από διαπυρικές κινήσεις άλατος σχετιζόμενη με ρήγματα, που βρίσκονται σε βάθος ή και αποτέλεσμα διαφυγής αερίου.

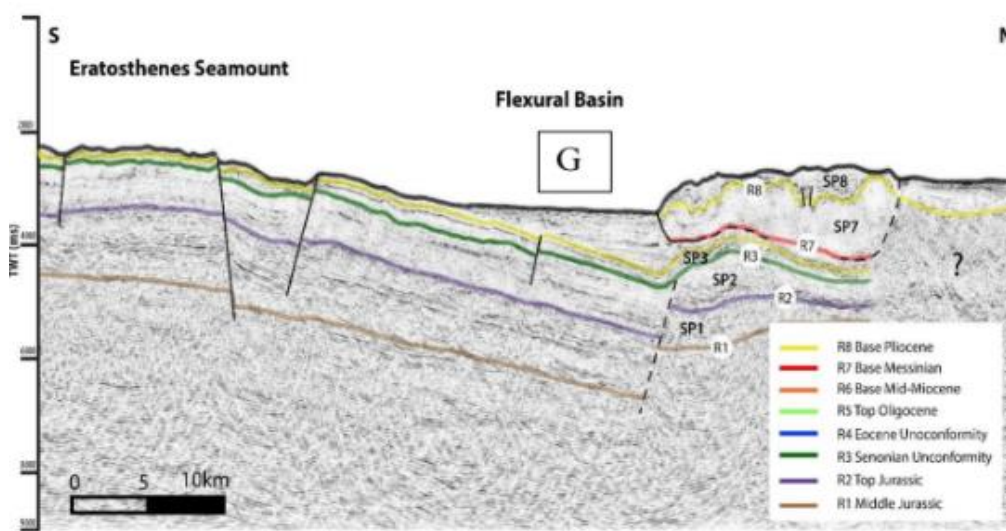
4.3. Σεισμικά προφίλ:

Η ηπειρωτική φύση του ηπειρωτικού μπλοκ του Ερατοσθένη έχει αποδειχθεί από σεισμικά δεδομένα. Στην περιοχή του Ερατοσθένη οι εφφιπεύσεις και οι flexural λεκάνες εντοπίζονται νότια και νοτιοανατολικά της Κύπρου. Όπως φαίνεται και στο πιο κάτω σεισμικό προφίλ BN (εικ.28), αυτή η flexural λεκάνη, η οποία δημιουργήθηκε από τη σύγκλιση της μικροπλάκας του Ερατοσθένη με τη Κύπρο λόγω της κίνησης της αφρικανικής πλάκας προς τα βόρεια, γέμισε Πλειο – Πλειστοκαινικά ιζήματα περίπου 1300 μέτρα. Αυτό το λεπτό κάλυμμα βόρεια της λεκάνης απεικονίζει τη μείωση λόγω της σύγκρουσης και υπερκαλύπτει ανθρακικές απωθήσεις ηλικίας Κρητιδικού. Η γεωμετρία αυτής της δομής, όπως προκύπτει την σχηματική απεικόνιση (εικ.29) συνδέεται με την υποκείμενη επίδραση των στρώσεων αλατιού – εβαποριτών.

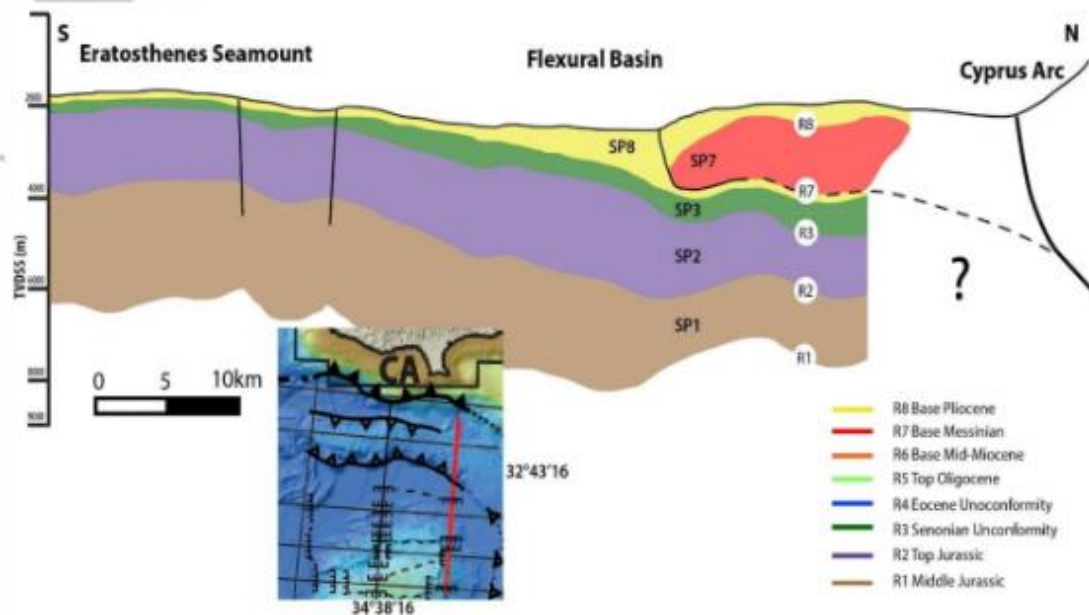
Η περιοχή του μπλοκ του Ερατοσθένη μπορεί με βάση την σεισμική ερμηνεία και τον προσδιορισμό των διαφορετικών οριζόντων και σεισμικών πακέτων, να καθορίσει την στρωματογραφία της.



Εικόνα 27. Α-Δ τομή που απεικονίζει την δομή και στρωματογραφία του ηπειρωτικού μπλόκ του Ερατοσθένη εκατέρωθεν των δύο ιζηματογενών λεκανών Ηρόδοτου και Λεβαντίνης (Montadert & Nicolaides, 2010)



Εικόνα 28. Σεισμικό προφίλ που απεικονίζει την δημιουργία μιας λεκάνης (G) η οποία δημιουργείται από την υποβύθιση του Ερατοσθένη κάτω από την Κύπρο και η οποία γεμίζει με Πλειστοκαινικά ιζήματα (Vasilis Symeou et.al., 2017).



Εικόνα 29. Σχηματική απεικόνιση B-N της στρωματογραφίας R1-R8. Λόγω της παρουσίας των στρωμάτων των εβαποριτών δημιουργείται η δομή των ιζημάτων στη flexural λεκάνη (Vasilis Symeou et.al., 2017).

4.4. Λεκάνες εκατέρωθεν

4.4.1. Δυτική Μειοκαινική Ημιλεκάνη του Ερατοσθένη

Το ηπειρωτικό μπλοκ του Ερατοσθένη, (εικ.30), οριοθετείται στα δυτικά από ένα σύστημα ρηγμάτων, το οποίο δημιουργεί την απότομη κατωφέρεια, που είναι ορατή στην τοπογραφία του θαλάσσιου πυθμένα.

Τα ιζήματα που παρατηρούνται, είναι ηλικίας μέσου Ιουρασικού – Κρητιδικού Μεσσηνίου και Πλείο – Τεταρτογενούς. Το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης, αποτελούν τα ιζήματα Προ-Μεσσηνίου, τα οποία και αποτελούν και τη βάση του άλατος. Αυτό δείχνει ότι η ημι-λεκάνη δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια του Μειοκαινίου πριν από το Μεσσηνίο, όπου και κατατέθηκαν 2-2,5s TWT, τα οποία αποτέθηκαν κατά τη διάρκεια της τεκτονικής παραμόρφωσης.

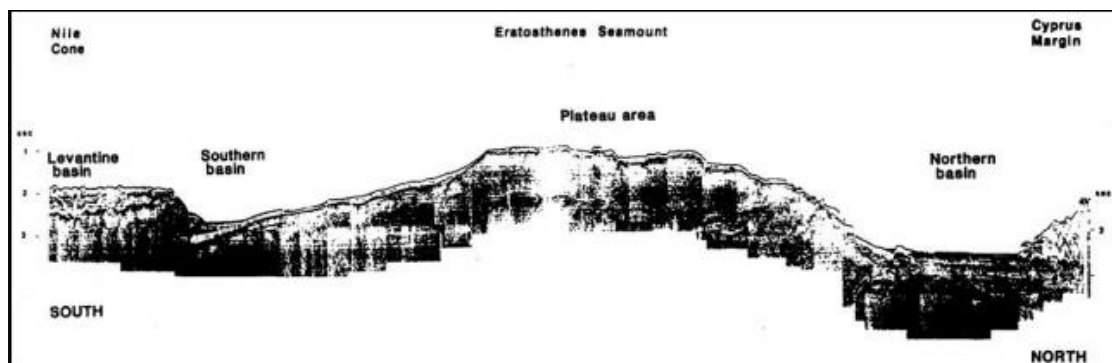
4.4.2. Βόρεια λεκάνη μεταξύ Κύπρου και Μπλοκ του Ερατοσθένη

Επίσης στα σεισμικά προφίλ, φαίνεται μία λεκάνη, η βόρεια λεκάνη, μεταξύ του ηπειρωτικού μπλοκ του Ερατοσθένη και του κυπριακού περιθωρίου. Το ανώτερο τμήμα αυτής της λεκάνης, χαρακτηρίζεται από σχεδόν οριζόντιες ανακλάσεις. Στο

ανώτερο τμήμα της λεκάνης εμφανίζεται μία πολύ λεπτή σφηνοειδής μονάδα. Η σφήνα παρουσιάζει παράλληλες διαφανείς ανακλάσεις. Τα ιζήματα μειώνονται σε πάχος προς τα νότια στον άξονα τα λεκάνης. Τα ιζήματα θεωρούνται κυρίως ως τουρβιδίτες Πλείο – Τεταρτογενούς, ενώ δεν εντοπίζονται εβαπορίτες.

4.4.3. Νότια λεκάνη μεταξύ Μπλοκ του Ερατοσθένη και λεκάνης Λεβαντίνης

Σε σύγκριση με τη βόρεια λεκάνη, στα νότια, ο χώρος που υπάρχει μεταξύ Ερατοσθένη και Λεβαντίνης είναι πιο ρηχός, στενός με ιζήματα να φτάνουν τα 300m πάχος. Η παρουσία άλατος εντοπίζεται κάτω από τις νότιες πλαγιές του μπλοκ μέχρι και κάτω από τη νότια λεκάνη και κάτω από το περιθώριο της Λεβαντίνης. Η περιοχή της Λεβαντίνης σε σχέση με τη βόρεια λεκάνη, έχει ανυψωθεί με το περιθώριο μεταξύ των δύο λεκανών να είναι απότομο και βαρυτικά ασταθές. Το μικρό πάχος του ιζήματος, υποδηλώνει ότι η ταπείνωση ήταν πρόσφατη και περιορισμένη έκταση. Το πάχος των ιζημάτων της είναι το ίδιο με τη λεκάνη της Λεβαντίνης, το οποίο υποδηλώνει γρήγορη και πρόσφατη βύθιση της νότιας λεκάνης. Ολόκληρη η ακολουθία είναι παραμορφωμένη από πολλές όρθιες πτυχές. Επίσης πολλές πτυχές διαχωρίζονται από απότομα ρήγματα. Τέλος, κατά τη διάρκεια του Πλείο – Τεταρτογενούς, η λεκάνη της Λεβαντίνης, ενήργησε ως μία ασταθής υφαλοκρηπίδα η οποία είχε παραμορφωθεί από τον εβαποριτικό διαφυρισμό και την επώθηση του Ερατοσθένη .



Εικόνα 30. Σεισμικό προφίλ που απεικονίζει την βόρεια και νότια λεκάνη του Ερατοσθένη (Robertson et al., 1995).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

5. ΛΕΚΑΝΗ ΗΡΟΔΟΤΟΥ

Η αβυσσική πεδιάδα του Ηρόδοτου αποτελεί μία επιμήκης λεκάνη της Κυπριακής ΑΟΖ, νοτιοδυτικά του νησιού της Κύπρου, στα σύνορα με τα εσωτερικά ύδατα της Ελλάδας,. Οριοθετείται βορειοδυτικά από τη Μεσογειακή ράχη, από την ηπειρωτική κατωφέρεια της Αφρικής στα νοτιοδυτικά και νοτιοανατολικά από το Κόνο του Νείλου. Σχηματίστηκε στο Μέσο Μειόκαινο ως αποτέλεσμα της υποβύθισης της Αφρικανική πλάκας, κάτω από την Ευρασία και καθορίζεται ως μία βαθιά λεκάνη με βάθος πάνω από 3km επίσης έχει μέσο μήκος γύρω στα 450km και μέσο πλάτος γύρω στα 255km. Καλύπτει μία περιοχή 113,000 Km² η οποία είναι δύο φορές μεγαλύτερη από τη Λεκάνη Λεβαντίνης. Σε σύγκριση με τη Λεβαντίνη Λεκάνη έχει διπλάσιο μέγεθος. Παρόλα αυτά, το μέγεθος της μειώνεται λόγω της αποθετικής ικανότητας του Νείλου να συσσωρεύει ιζήματα μέσα στη Λεκάνη.

Αποτελείται από ωκεάνιο φλοιό Τριαδικής ηλικίας και κατέχει ιζήματα Μεσοζωικού-Παλαιοζωικού, Προ-Μεσσηνία, Μεσσηνία και Πλείο –Τεταρτογενή ιζήματα. Το πάχος αυτών των ιζημάτων μπορεί να φτάσει και το πάχος των 15km. Είναι πλούσια σε ανθρακικό υλικό με πολλούς πελαγικούς οργανισμούς και βενθική πανίδα. Ατές οι εναποθέσεις είναι καφέ έως μαύρες, πλούσιες σε βιολογικά υλικά, σατροπέλες και θολίδες από άμμο.

5.1.Στρωματογραφία

Αναλυτικότερα οι λιθογραφικοί τύποι των ιζημάτων που εντοπίστηκαν στη Λεκάνη του Ηρόδοτου είναι τρεις και έχουν ως ακολούθως:

5.1.1. Προ-Μεσσήνια Ιζήματα

Τα Προ - Μεσσήνια ιζήματα καταλαμβάνουν πάχος μεγαλύτερο από 7,5km και χωρίζονται σε επτά λιθολογικούς τύπους: ασβεστόλιθοι ηλικίας κατώτερου Μειοκαίνου, πηλίτες, ασβεστούχοι πηλίτες Μειοκαινικής ηλικίας, απολιθωματοφόροι μικρίτες Μειοκαίνου, σαπρόλιθοι ηλικίας Ανώτερου Μειοκαίνου, βιομικρίτες ηλικίας Ανώτερου Μειοκαίνου και βιοαρενίτες ηλικίας Ανώτερου Μειοκαίνου.

5.1.2. Μεσσήνια Ιζήματα

Τα ιζήματα αυτά αντιπροσωπεύουν τους Μεσσήνιους εβαπορίτες, οι οποίοι έχουν πάχος που ξεπερνούν τα 2,500km, και τα οποία προέκυψαν με το κλείσιμο του στενού

του Γιβραλτάρ και την αποκοπή της Μεσογείου θάλασσας από τον Ατλαντικό ωκεανό. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, την απόθεση τέτοιου είδους ιζημάτων (αλίτη, γύψου και ανυδρίτη) στην Ανατολική Μεσόγειο, τα οποία στη συνέχεια αποτέλεσαν τα καλύμματα για τους μειοκαινικούς σχηματισμούς. Τέλος οι εβαπορίτες δημιουργούν διαπηρικά φαινόμενα στα βαθύτερα τμήματα της λεκάνης.

5.1.3. Πλειό – Τεταρτογενή ιζήματα

Αυτής της ηλικίας οι αποθέσεις, αποτελούνται από ιζήματα πλούσια σε ανθρακικό υλικό που αποτέθηκαν σε ανοικτή θάλασσα πλούσια βενθικής πανίδας και πελαγικούς οργανισμούς. Πρόκειται για πλούσιους σε οργανική ύλη σαπρόλιθους καθώς και αμμούχους τουρβιδίτες. Οι τουρβιδίτες χωρίστηκαν σε τρεις τύπους Α, Β, Γ. Οι τύποι διαφέρουν ως προς την σύνθεση και το πάχος.

5.1.4. Τουρβιδίτες τύπου Α: (ηλικία Μέσο Πλειστόκαινο – Ολόκαινο)

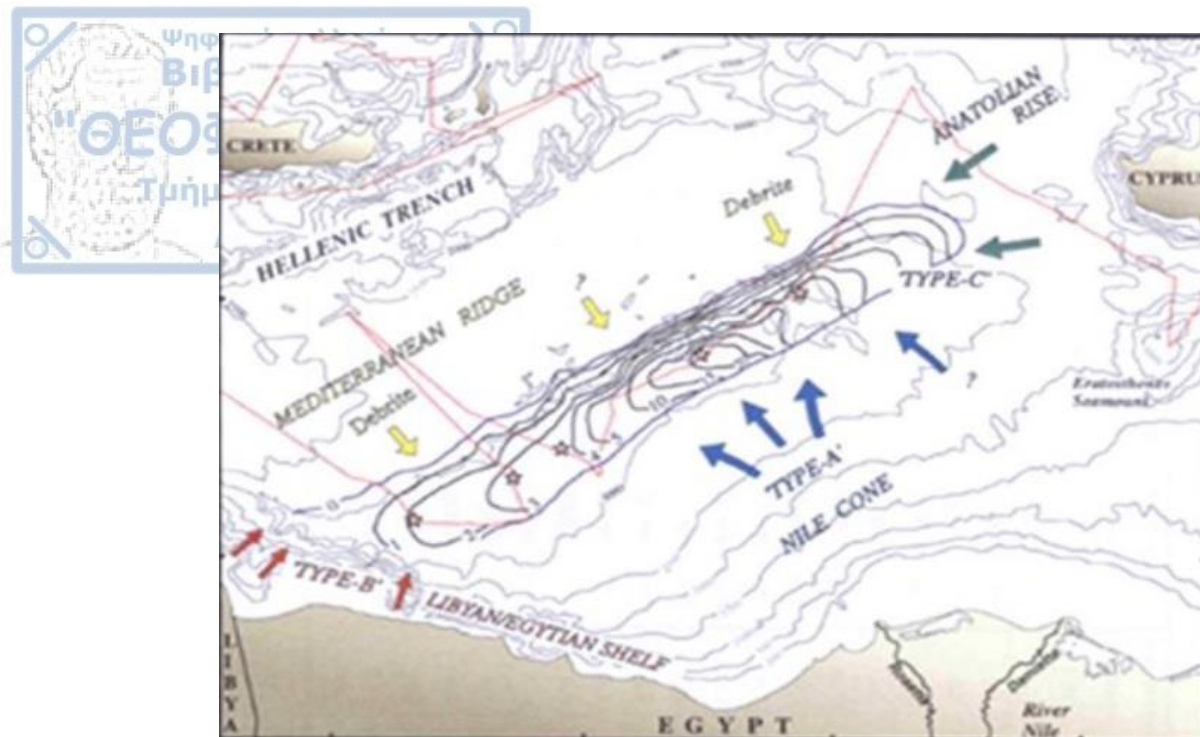
Πλούσιοι σε σμηκτίτη, γεγονός που φανερώνει την προέλευση των ιζημάτων αυτών από το Κώνο του Νείλου (εικ.31). Επίσης είναι πλούσιοι σε οργανική ύλη και το πάχος τους κυμαίνεται από 15cm έως 750cm.(Reeder et. al., 2000) .

5.1.5. Τουρβιδίτες τύπου Β: (ηλικία Ανώτερο Πλειστόκαινο)

Είναι πλουσιότεροι σε ανθρακικά άλατα που κυμαίνονται από 36% έως 84,5% και αυτό δείχνει ότι προέρχονται από την Αφρικανική ηπειρωτική κατωφέρεια (κόκκινο τόξο) (εικ.31). Η μεταφορά γίνεται μέσω υποθαλάσσιων καναλιών. Επίσης το πιο αξιοσημείωτο στρώμα αυτού του τύπου ονομάζεται «Beta». Η αλληλουχία "β" φτάνει τα 7m, πάχος. Τέλος το πάχος τους κυμαίνεται από 6 -1.570cm.(Reeder et. al., 2000)

5.1.6. Τουρβιδίτες τύπου Γ: (ηλικία Ανω Πλειστόκαινο)

Η προέλευση αυτού του τύπου είναι από το ύψωμα της Ανατολίας (εικ.31), τα οποία κατευθύνονται προς τα ανατολικά και βόρειανατολικά της λεκάνης (πράσινο τόξο). Τέλος οι δερβιτικές ροές προέρχονται από τη μεσογειακή ράχη και περιορίζονται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης (Stow & Piper, 1984; Stow et. at., 1996; Cita et. Al., 1984a; Lucchi & Camerlenghi, 1993).



Εικόνα 31. Χάρτης όπου απεικονίζονται οι τέσσερις πηγές τουρβιδιτικών αποθέσεων (Reeder et al., 2000).

5.2. Σεισμικά προφύλ:

Πρέπει να τονιστεί, ότι η λεκάνη Λεβαντίνης και η λεκάνη Ηρόδοτου ήταν πιθανώς πάντα ευνοϊκές για τη διατήρηση της οργανικής ύλης, επειδή ήταν πάντα περιορισμένες λεκάνες, ακόμη περισσότερο από το Υστερο Κρητιδικό όταν έκλεισαν στο Βορρά από το κυπριακό τόξο.

Αποτέλεσμα, να παραμένουν εξαιρετικά σημαντικές προοπτικές ύπαρξης αποθεμάτων φυσικού αερίου στην Λεκάνη του Ηρόδοτου η οποία έχει ίδια εξέλιξη με τη λεκάνη Λεβαντίνη, και φιλοξενεί τους ίδιους τύπους ιζημάτων. Ήδη στο χώρο αυτό, έχουν εντοπιστεί σημαντικές ενδείξεις υποθαλάσσιων αναθυμιάσεων φυσικού αερίου, ενώ παράλληλα έχουν χαρτογραφηθεί πολύ μεγάλοι ψαμμιτικοί στόχοι (δομές) υδρογονανθράκων.

5.3. Προϋποθέσεις ανάπτυξης και διατήρησης υδρογονανθράκων

Από τα πετρώματα που εντοπίζουμε στη λεκάνη του Ηρόδοτου, θεωρούμε ότι υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης και διατήρησης κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ταυτόχρονη ανάπτυξη μητρικών και αποταμιευτήριων πετρωμάτων, περιφερειακού μονωτήρα και παγίδων που να αποτρέπουν τη διαφυγή των υδρογονανθράκων. Καταλήγουμε λοιπόν ότι ως μητρικά πετρώματα μπορούν να



δράσουν οι σαπροπηλοί και πηλίτες Πλειστόκαινου, σαπροπηλοί και ασβεστούχοι πηλίτες Μειόκαινου (Βουρδιγάλιο με Τορτόνιο) και τα λεπτόκοκκα Ανώτερου Ιουρασικού και Κατώτερου Κρητιδικού.

Σαν αποταμιευτήρια πετρώματα θεωρούμε τους αμμούχους τουρβιδίτες και τους αμμούχους σχηματισμούς πλούσιους σε ανθρακικό υλικό του Πλειστόκαινου, τους τετριμμένους βιομικρίτες, τους βιοάσβεστο – αρενίτες, τους απολιθωματοφόρους μικρίτες και τους ασβεστολιθίτες Μειόκαινου, πορώδη ιζήματα Ιουρασικού και Κρητιδικού.

Ως μονωτήρια πετρώματα τους πηλίτες Πλειστόκαινου, μεσσήνιους εβαπορίτες, και πηλόλιθους Κατώτερου – Μέσου Μειόκαινου.

Τελική απαίτηση είναι η ύπαρξη παγίδων. Είτε είναι δομικές είτε είναι στρωματογραφικές (αντίκλινα, αποσφηνώσεις, ασυμφωνίες).

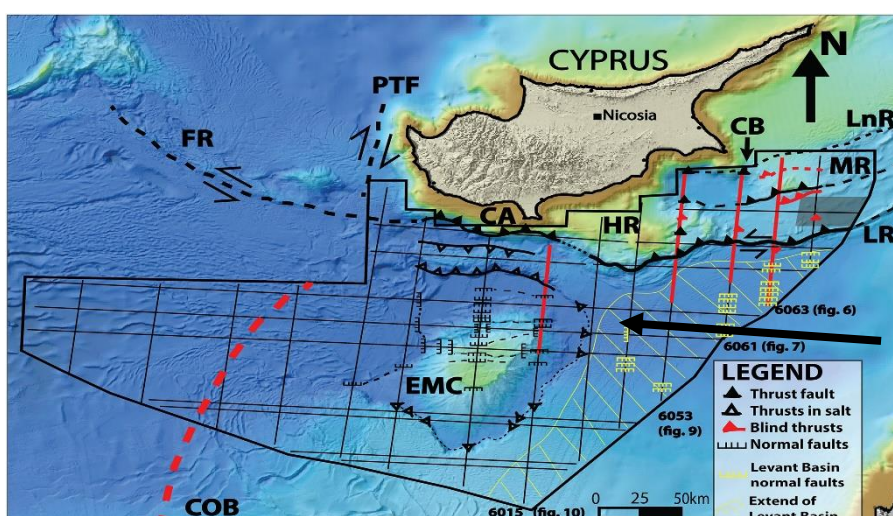
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

6. ΛΕΒΑΝΤΙΝΗ ΛΕΚΑΝΗ

6.1. Τεκτονική εξέλιξη της λεκάνης

Η Λεβαντίνη λεκάνη βρίσκεται ΝΑ της Κύπρου στην Μεσόγειο θάλασσα. Σχηματίστηκε κατά το Μέσο Μειόκαινο, και καταλαμβάνει έκταση 50,375km². Έχει μέσο μήκος γύρω στα 325km, μέσο πάχος γύρω στα 155km και βάθος νερού πάνω από 2km. Καλύπτει μία περιοχή 50,375km. Οριοθετείται στα βόρεια από το ανάστροφο ρήγμα της Λατάκια και στα βορειοδυτικά από το Ηπειρωτικό μπλοκ του Ερατοσθένη, ενώ το ανατολικό και νοτιοδυτικό περιθώριο της καταλαμβάνουν η ανατολική Μεσόγειο και ο κώνος του Νείλου αντίστοιχα (εικ.32). Η λεκάνη περιλαμβάνει Μεσοζωικά και Καινοζωικά κλαστικά ιζήματα με πάχος γύρω στα 14km (Roberts & Peace, 2007).

Το ανατολικότερο λοιπόν μέρος της Ανατολικής Μεσογείου το κατέχει η Λεβαντίνη λεκάνη, η οποία αντιπροσωπεύει ένα διακριτό κατάλοιπο του ωκεανού της Νέο-Τηθύος, αποτέλεσμα του κατακερματισμού της Παγγαίας κατά το Μεσοζωικό αιώνα στην Ανατολική Μεσόγειο. Τέλος, οι πολυάριθμες κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών καθώς και οι δυνάμεις της βαρύτητας έχουν ως αποτέλεσμα συμπιεστικά και επεκτατικά καθεστώτα να δημιουργούν στην λεκάνη συγκρότημα από δομές.



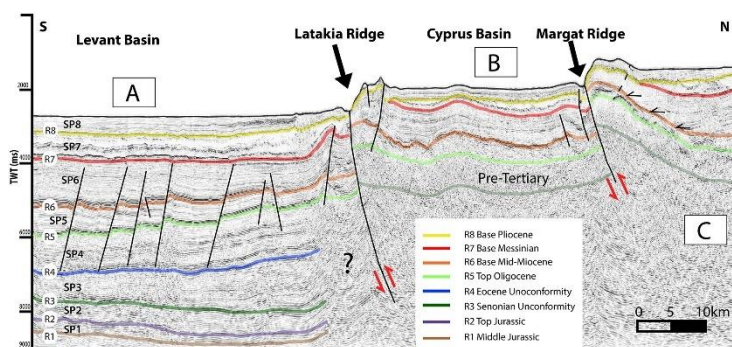
Εικόνα 32: Χάρτης της υπεράκτιας περιοχής της Κύπρου και παρούσες δομές. Λεπτές μαύρες γραμμές αντιστοιχούν στα διαθέσιμα σεισμικά δεδομένα, οι κόκκινες γραμμές στα σεισμικά προφίλ, το μαύρο βελάκι την Λεβαντίνη λεκάνη, CA:Cyprus Arc, CB:Cyprus Basin, COB:Continent-ocean boundary, ES:Eratosthenes microcontinent, FR:Florence Rise, HR:Hecataeus Rise, LnR:Larnaca Ridge, LR:Latakia Ridge, MR:Margat Ridge, PTF:Paphos Transform Fault (Vasilis Symeou et al., 2017).

6.2. Σεισμικά προφίλ

Σύμφωνα με τα σεισμικά προφίλ που έχουν παρθεί όπως φαίνεται και από το χάρτη (εικ.32), 6063, 6061, 6053 (κόκκινες γραμμές), προκύπτουν δεδομένα τόσο για τις τεκτονικές διαδικασίες εκατέρωθεν των λεκανών και γενικά για την ευρύτερη Μεσόγειο αλλά και δεδομένα για την στρωματογραφία.

Στην πιο κάτω εικόνα (εικ.33) φαίνεται το ρήγμα Λατάκια με διεύθυνση ΑΔ αντισταθμίζει το R7-με Πλειοκαινική βάση, R6 με Μεσσηνιακή βάση, R5 με Μέσο Μειοκαινική βάση, R4 με Ολιγοκαινική κορυφή και R2 με ορίζοντες ασυμφωνίας σε Σενωνίου. Στο σημείο Σ Α της πιο κάτω εικόνας, οι αποθέσεις Μέσο Μειοκαίνου είναι 1600m με 1800m, οι εβαπορίτες 1500m και τα ιζήματα Πλειοκαίνου είναι 500m-600m. Στο σημείο Β, τα ιζήματα είναι 1300-1500m περίπου 450m, 450m-50m αντίστοιχα. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι οι ιζηματογενείς ακολουθίες έχουν μικρότερο πάχος στη λεκάνη της Κύπρου σε αντίθεση με τη Λεβαντίνη λεκάνη. Τέλος, στη Λεβαντίνη λεκάνη παρουσιάζονται κανονικά ρήγματα με βύθιση προς βορρά ενώ υπάρχουν και άλλα με βύθιση προς νότο. Στα σημεία όπου δύο ρήγματα έχουν διάφορες κατευθύνσεις σχηματίζονται τεκτονικά κέρατα.

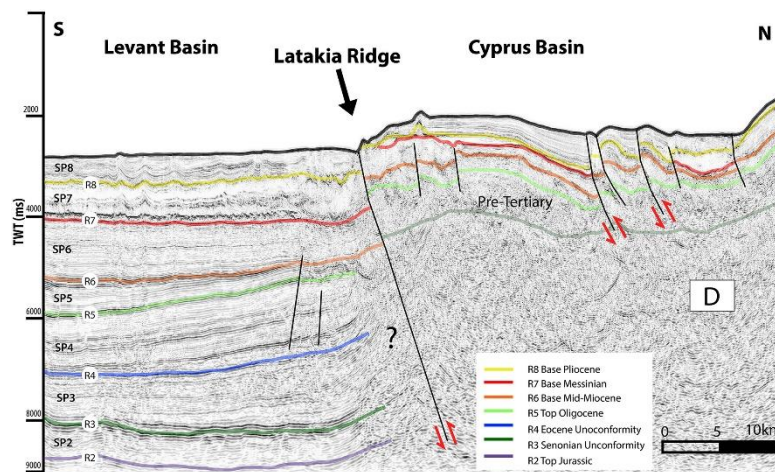
Όσον αφορά τη λεκάνη της Κύπρου είναι γεμάτη με ιζήματα Κάτω Μειοκαίνου, Μέσο Άνω Μειοκαίνου, Μεσσηνίου εβαπορίτες και Πλειοκαινικά – Πλειστοκαινικά ιζήματα. Ακόμα η σύγκρουση μεταξύ Αφρικής και Ευρασίας έχει ως αποτέλεσμα τη διαίρεση της λεκάνης της Κύπρου σε δύο μικρότερες από το ρήγμα Margat. Αυτή η δομή φαίνεται να είναι ενεργή κατά τη διάρκεια του Μειοκαίνου καθώς το πιο κάτω σεισμικό προφίλ φαίνεται ότι το πάχος διαφέρει στο SP5 νότια του Margat ρήγματος σε αντίθεση με βόρεια όπου η ακολουθία αυτή είναι πιο παχιά. Επίσης, το ρήγμα αυτό συνεχίζει να είναι ενεργό και στο Άνω Μειόκαινο καθώς τα στρώματα άλατος φαίνονται να είναι αποτεθειμένα στην αντικλινική πιο νότια του Margat (σημείο Γ).



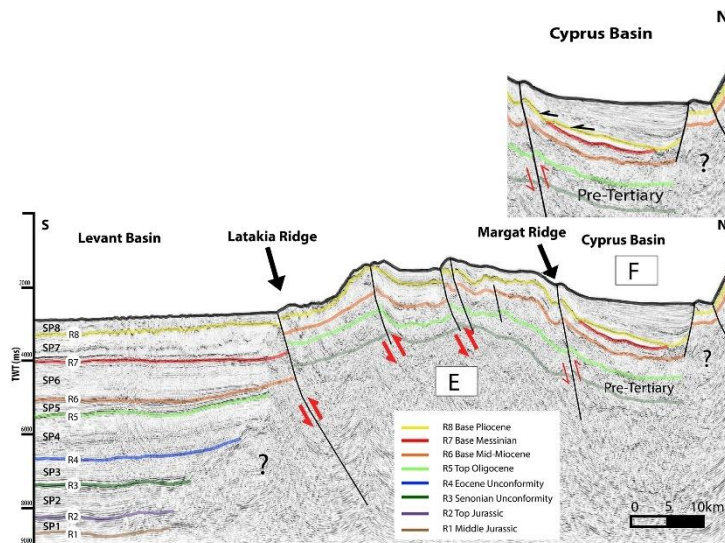
Εικόνα 33 ..Σεισμικό προφίλ BN 6063 (Vasilis Symeou et al., 2017).

Στο σεισμικό προφίλ 6061 (εικ.34), φαίνεται η ακολουθία Μέσο Μειοκαίνου (R6), να πτυχώνεται ενώ η παρουσία του άλατος είναι περιορισμένη.

Επίσης στο σεισμικό προφίλ 6053 (εικ.35) όπως φαίνεται στο χάρτη (εικ.32), δεν παρατηρούνται ουσιώδεις αλλαγές στο πάχος του SP5 και SP6 πράγμα που δείχνει την μειωμένη δραστηριότητα του Margat στην περιοχή εκείνη. Η διαφορά στο πάχος του SP7 νότια και βόρεια του ρήγματος κατά το Μεσσήνιο, δείχνει την κατακόρυφη κίνηση κατά μήκος του Margat. Η δραστηριότητα του ρήγματος της Λάρνακας κατά το Πλειόκαινο φαίνεται πιο κάτω (σημείο Φ) με την δημιουργία της flexural λεκάνης, η οποία γεμίζει με Πλειοκαινικά ιζήματα προς νότο. Αυτή η παρατήρηση ότι κατά το Πλειόκαινο κατά την δραστηριότητα του ρήγματος είχαμε και ταυτόχρονη απόθεση ιζημάτων.



Εικόνα 14: Σεισμικό προφίλ BN 6061 (Vasilis Symeou et al., 2017).



Εικόνα 35: Σεισμικό προφίλ BN 6053 (Vasilis Symeou et al., 2017)

6.3. Στρωματογραφία:

Σύμφωνα με τις σεισμικές ερμηνείες και προσδιορισμούς, η περιοχή μελέτης που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι η Λεβαντίνη λεκάνη, μπορεί να υποδιαιρεθεί σε οκτώ πακέτα (Gardosh & Druckman, 2006) (εικ.36). Οι στρωματογραφικές μονάδες ερμηνεύτηκαν ως κύκλοι απόθεσης και αναπτύχθηκαν ως απόκριση στις κύριες τεκτονικές διεργασίες που διαμόρφωσαν τη λεκάνη και το περιθώριο της.

6.3.1. Το κρυσταλλικό υπόβαθρο

Ο βαθύτερος σεισμικός ορίζοντας που ερμηνεύεται από τα σεισμικά προφίλ, θεωρείται ως η κορυφή του κρυσταλλικού υποβάθρου, πιθανόν Προκάμβιας ηλικίας. Η αντανάκλαση αυτή ορίζει μία μετάβαση προς τα πάνω από τις ανακλάσεις χαοτικού και χαμηλού πλάτους σε συνεχείς, παράλληλες έως αποκλίνουσες μεγάλου πλάτους.

6.3.2. Πέρμιο – Μέσο Ιουρασική ακολουθία (Α)

Η πιο πάνω υπερκείμενη ακολουθία είναι μία μονάδα πάχους 3-8km με σημαντικές διακυμάνσεις πάχους που ίσως οφείλεται σε δραστηριότητα των ρηγμάτων στον πυθμένα καθώς και στην τεκτονική απόθεση. Αλλαγή στο σεισμικό χαρακτήρα αιτιολογείται από τα δεδομένα της γεώτρησης Yam West 1, που δείχνουν ότι αυτή η αλλαγή αντιστοιχεί σε μία λιθολογική μετάβαση και αλλαγή του περιβάλλοντος απόθεσης.

Συμπερασματικά λοιπόν, ο ορίζοντας αυτός σχετίζεται με μετάβαση από ρηχά θαλάσσια τμήματα (πιθανώς με παρόμοια ανθρακικές πλατφόρμες) Τριαδικού και Κάτω Ιουρασικού σε βαθιά θαλάσσια τμήματα Μέσο Ιουρασικού. Αυτή η υπερκείμενη ακολουθία, αντιστοιχεί σε σχιστόλιθους, ασβεστόλιθους και ψαμμίτες που συσσωρεύονται στην κατωφέρεια και σε βαθύ θαλάσσιο περιβάλλον προς τα θαλάσσια τμήματα των λεκανών.

6.3.3. Μέσο Ιουρασική - Ανώ Κρητιδική ακολουθία (Β)

Η ακολουθία αυτή, αποτελεί μία μονάδα με πάχος από 3 περίπου km στο ανατολικό περιθώριο της λεκάνης σε περίπου 1,5km στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της λεκάνης. Ήδη από το Ιουρασικό, οι αποθέσεις μεταρρηγμάτωσης, οδήγησαν πελαγική ιζηματογένεση βαθέων υδάτων στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης και συνεχίζονται και στο Κρητιδικό, έτσι ώστε οι ανθρακικές πλατφόρμες περιορίστηκαν στα ηπειρωτικά περιθώρια και μόνο τοπικά μπορούσαν να δημιουργηθούν ανθρακικοί ύφαλοι. Τα

πελαγικά ιζήματα κατά τη διάρκεια του Κρητιδικού και Παλαιογενούς, αποτελούνται από ασβεστόλιθους, μάρμαρα και σχιστόλιθους.

6.3.4. Σενώνια – Κάτω Ολιγοκαινική ακολουθία (Γ)

Η ακολουθία αυτή, έχει πάχος από 2,5 -3 περίπου km στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης Λεβαντίνης και εμφανίζει έντονη λέπτυνση προς τα ανατολικά και δυτικά περιθώρια. Αυτός ο σεισμικός χαρακτήρας, βάση των δεδομένων των γεωτρήσεων, αντιστοιχεί σε κιμωλία (chalk) και λάσπη πελαγικής έως ημιπελαγικής προέλευσης, ([Almogi-Labin et al., 1993](#)).

Εντός της λεκάνης και στο ανατολικό περιθώριο παρατηρείται εκτεταμένη επικάλυψη των Σενώνιαν στρωμάτων στην Κρητιδική κατωφέρεια και στην ανθρακική υφαλοκρηπίδα. Μια διαβρωσιγενής ασυμφωνία που σχετίζεται με την επιφανειακή έκθεση της ανθρακικής πλατφόρμας αναγνωρίζεται στο όριο Τουρώνιο – Κονιάσιο σε επιφανειακές εκθέσεις πετρωμάτων σε όλο το εσωτερικό του Ισραήλ, ([Bentor & Vroman 1960](#), [Flexer 1968](#)).

Το άνω όριο της ακολουθίας Γ, συσχετίζεται με την κορυφή μίας σχετικά συνεχούς σειράς αντανάκλασης υψηλότερου πάχους και καμπυλωτών ανακλάσεων. Η αλλαγή του σεισμικού χαρακτήρα αντιστοιχεί σε μία επιφάνεια ασυμφωνίας στις υπεράκτιες γεωτρήσεις. Όπως υποδεικνύεται από έντονη λιθολογική διακοπή του Μέσο Ηωκαινικού και ενός υπερκείμενου τμήματος Ολιγοκαινικού έως Μειοκαινικού κλαστικών αποθέσεων, ([Saqiye, Druckman et al., 1994](#), [Gill et al., 1995](#)). Εξέχουσα ανυψωμένη δομή βρίσκεται στο κέντρο της λεκάνης όπου έχει πάχος μόνο 1500m.

6.3.5. Ολιγοκαινική – Άνω Μειοκαινική ακολουθία (Δ)

Η ακολουθία Δ, έχει πάχος από 0,5 -1 περίπου km και εκτείνεται σε όλο το πλάτος της λεκάνης. Το κατώτερο όριο της ακολουθίας είναι η ασυμφωνία στην βάση της Ολιγοκαινικής – Μειοκαινικής ηλικίας. Το ανώτερο όριο συσχετίζεται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης με μία αξιοσημείωτη μετάβαση στο σεισμικό χαρακτήρα. Στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης, όπου οι μεσσηνιακοί εβαπορίτες είναι είτε λεπτοί είτε απουσιάζουν εντελώς, το ανώτερο όριο της ακολουθίας αντιστοιχεί σε μια διακριτή επιφάνεια μίας διαβρωσιγενής ασυμφωνίας ([Gvirtzman & Buchbinder 1978](#), [Druckman et al. 1995](#))

Η ακολουθία Δ αποτελείται από πελαγική λάσπη και σχιστόλιθο Ολιγοκαινικής έως Άνω Μειοκαινικής ηλικίας (Druckman et al. 1994, Gill et al., 1995).

6.3.6. Μεσσηνιακή ακολουθία (Ε)

Η Μεσσηνιακή ακολουθία είναι ένα ξεχωριστό σεισμικό πακέτο σε ολόκληρη την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. Αποτελείται από παχιές εβαπορητικές σειρές Άνω Μειοκαινικής ηλικίας (Hsfi et al., 1973, Neev et al., 1976, Ryan 1978). Στη λεκάνη Λεβαντίνης αυτή η μονάδα έχει πάχος 1-2km και εκτείνεται στο μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης.

Η ακολουθία Ε εμφανίζει ένα χαοτικό σεισμικό χαρακτήρα που είναι χαρακτηριστικός του μαζόδους άλατος. Η περιοχή συσσώρευσης του εβαπορίτη εκτείνεται σε όλο το βαθύ τμήμα της λεκάνης σε περίπου 20-40km δυτικά της σημερινής ακτογραμμής.

Η κίνηση του άλατος εμφανίζεται σε ολόκληρη τη λεκάνη επηρεάζοντας το στρώμα άλατος και τα υπερκείμενα Πλείο – Πλειστοκαινικά στρώματα μέχρι την επιφάνεια της θάλασσας. Στο ανατολικό περιθώριο, η ροή του αλατιού είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη φυσιολογικών περιστασιακών ληστρικών ρηγμάτων, ενώ στο κεντρικό και βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης και κοντά στο υποθαλάσσιο μπλοκ του Ερατοσθένη στο στρώμα αλατιού επηρεάζεται από πολλά ανάστροφα ρήγματα και πτυχές.

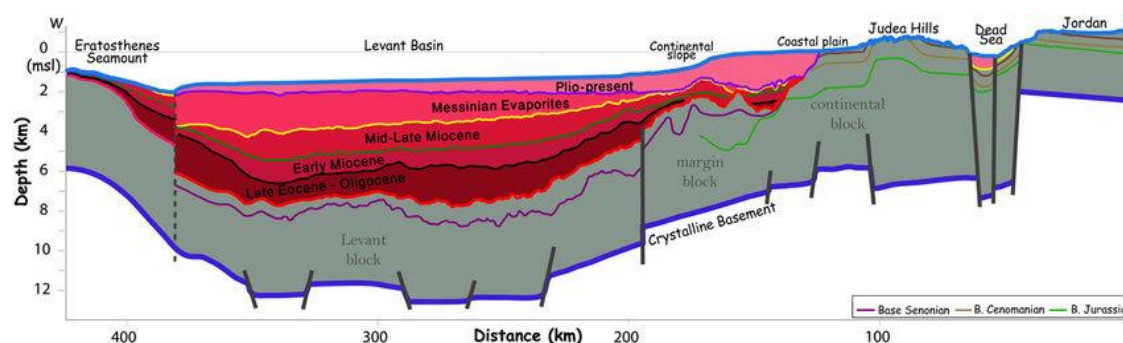
6.3.7. Πλειοκαινική – Πλειστοκαινική ακολουθία (Ζ)

Η Πλείο – Πλειστοκαινική ακολουθία επιτυγχάνει το μέγιστο πάχος του περίπου 1,6km κατά μήκος του ανατολικού περιθωρίου και μειώνεται σε αρκετές εκατοντάδες στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης και προς το υποθαλάσσιο μπλοκ του Ερατοσθένη. Το άνω όριο της ακολουθίας είναι ο θαλάσσιος πυθμένας. Το κατώτερο όριο είναι μία σύνθετη επιφάνεια ασυμφωνίας. Μέσα στη λεκάνη αυτό το όριο αντιστοιχεί στην κορυφή των μεσσηνιακών εβαποριτών. Στο ανατολικό περιθώριο, όπου λείπουν οι εβαπορίτες η σύνθετη επιφάνεια συμπίπτει με τη μεσσηνιακή ασυμφωνία της βάσης. Στο κεντρικό τμήμα οι ανακλάσεις είναι πολύ παραμορφωμένες ως αποτέλεσμα της υποκείμενης ροής αλατιού.

Το Πλείο – Πλειστοκαινικό τμήμα είναι μία μονάδα που κυριαρχείται από λάσπη και αποτελείται κυρίως από πηλόλιθους και ιλύολιθους (Gvirtzman & Buchbinder 1978). Μέρος του υλικού μεταφέρθηκε πιθανότατα μέσω ρευμάτων από το κώνο του Νείλου

που βρίσκεται περίπου 200 km στα ΝΔ (Gvirtzman & Buchbinder 1978, Ben-Gai, 1996).

Συμπερασματικά, τόσο η λεκάνη του Ηρόδοτου όσον και η Λεβαντίνη λεκάνη, σχηματίστηκαν στην ίδια ηλικία Άνω Κρητιδικό, και αναπτύχθηκαν ως ορεινές λεκάνες κατά τη διάρκεια του Μέσου Μειόκαινου. Έχουν την ίδια ιστορία εξέλιξης, και φιλοξενούν τους ίδιους τύπους ιζημάτων με περίπου το ίδιο πάχος. Ωστόσο η Λεκάνη του Ηρόδοτου, φαίνεται να έχει διπλάσια επιφάνεια από τη λεκάνη Λεβαντίνης. Η λεκάνη Λεβαντίνης διαθέτει, πιστοποιημένα αποθέματα φυσικού αερίου (122 tcf) και πετρελαίου (1,68 bbl). Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι η λεκάνη του Ηρόδοτου περιέχει τουλάχιστον την ίδια ποσότητα φυσικού αερίου και πετρελαίου όπως στη λεκάνη Λεβαντίνη.

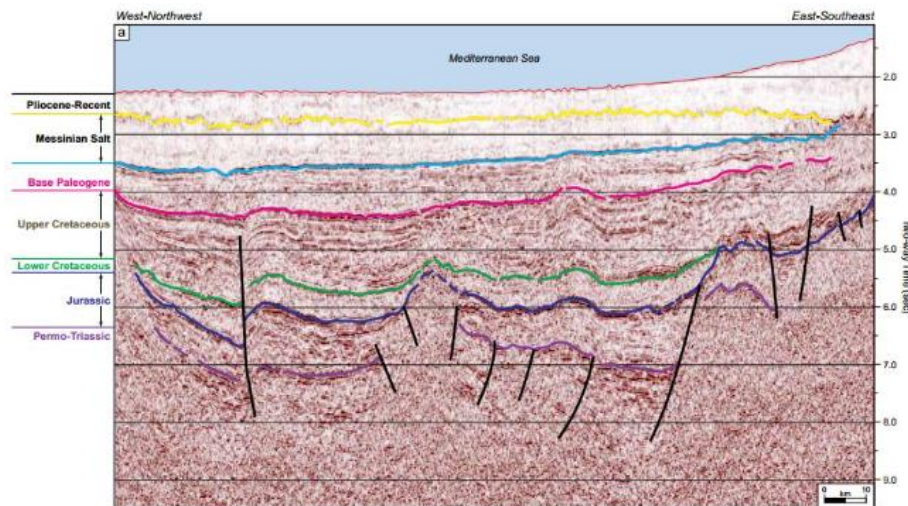


Εικόνα 36. Στρωματογραφική τομή Α-Δ της Λεβαντίνης λεκάνης (Steinberg et. Al., 2010) που απεικονίζει ηλιακά τα στρώματα της

6.4. Υδρογονάνθρακες στη Λεβαντίνη λεκάνη:

Τα μητρικά πετρώματα όπως απεικονίζονται στο πιο κάτω σεισμικό προφίλ (εικ.37), στη Λεβαντίνη λεκάνη είναι Πλειοκαινικής ηλικίας άργιλοι και είναι η πηγή ξηρού βιογενούς αερίου. Τα μητρικά πετρώματα που έχουν τη δυνατότητα να δώσουν φυσικό αέριο είναι ιζήματα Τριαδικής Ιουρασικής ηλικίας (Nader & Swennen, 2004). Σε αντίθεση τα μητρικά πετρώματα που έχουν δυνατότητα να δώσουν υγρούς υδρογονάνθρακες είναι ηλικίας Άνω Κρητιδικού. Συνεχίζοντας, παρουσιάζονται και τα πετρώματα ταμιευτήρες τα οποία είναι ψαμμίτες Πλείο – Πλειστοκαινικής, Μέσο – Μεσσηνιακής, Ολιγοκαινικής, Ηώκαινικής και Παλαιογενούς ηλικίας. ψαμμίτες και ασβεστόλιθοι Κρητιδικού καθώς και υφάλους. Οι ασβεστόλιθοι, οι ωολιθικοί ασβεστόλιθοι, οι δολομίτες, οι ψαμμίτες είναι ταμιευτήρες του Ιουρασικού με τον παλαιότερο ταμιευτήρα να αποτελούν ψαμμίτες τριαδικού. Το μονωτήριο πέτρωμα

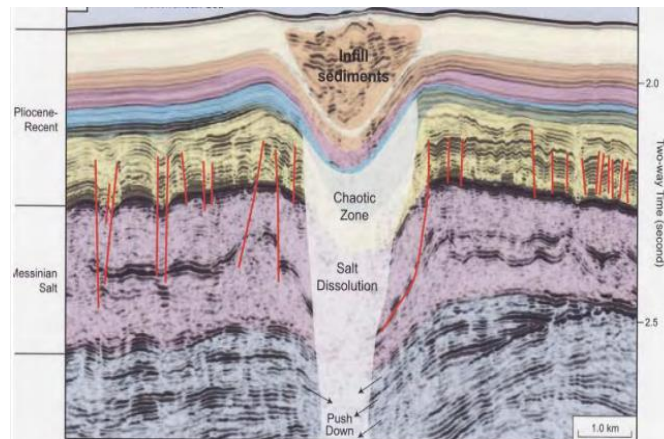
αποτελούν οι Μεσσηνιακοί εβαπορίτες, Παλαιογενούς, Νεογενούς και Κρητηδικής ηλικίας άργιλοι και marls. Τέλος, η μετανάστευση των υδρογονανθράκων γίνεται διαμέσου ρηγμάτων που παρουσιάζονται στη πιο κάτω εικόνα μέσα στη λεκάνη. Τα ρήγματα και τα αντίκλινα αποτελούν τις τεκτονικές παγίδες καθώς οι αποσφηνώσεις τις στρωματογραφικές.



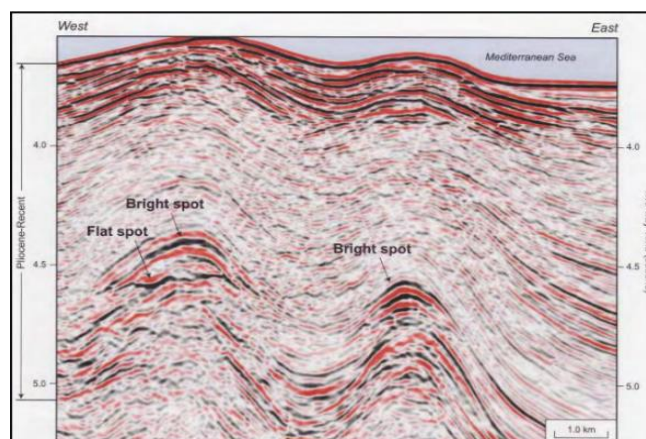
Εικόνα 37. Σεισμικό προφίλ στο νότιο μέρος της Λεβαντίνης λεκάνης που απεικονίζει την Τριαδική Ιουρασική διάρρηξη και την ηλικία των ακολουθιών (Robert & Peace, 2007).

Ως ένδειξη παρουσίας αερίου, αποτελούν οι καμινάδες αερίου όπως αυτές απεικονίζονται στα σεισμικά προφίλ (εικ.38). Η παρουσία αερίου δημιουργεί σεισμική ανάκλαση με αποτέλεσμα να εξασθενίσει ή να εξαφανιστεί εντελώς. Η μείωση της ταχύτητας διαμέσου της συσσώρευσης των υδρογονανθράκων επηρεάζει τις ανακλάσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί η συσσώρευση έχει χαμηλότερη σεισμική ταχύτητα. (Sheriff, 1995; Semb 2009) Όσον αφορά τις ενδείξεις, φωτεινών (bright spot) και επίπεδων σημείων (flat spot) στα σεισμικά προφίλ (εικ.39), μπορούν και αυτά να αποτελέσουν δείκτες παρουσίας υδρογονανθράκων. Ένα flat spot, μπορεί να απεικονίζει την ανάκλαση μίας καλά καθορισμένης επαφής κοινώς αερίου πετρελαίου ή αερίου νερού. (Sheriff, 1995).

Τέλος, ένα σεισμικό bright spot, είναι ένα μεγάλο εύρος ανακλάσεων που δημιουργείται από μεγάλες αλλαγές στην ακουστική σύνθεση. Προκαλούνται συνήθως από αλλαγές στη λιθολογία και από ψαμμιτικούς ταμιευτήρες κορεσμένους με αέριο. Όταν βρίσκονται στην κορυφή μίας δομής σχετίζονται συνήθως με παρουσία αερίου (Semb 2009).



Εικόνα 38. Σεισμικό προφίλ: ανώτερος ορίζοντας με πρόσφατα ιζήματα, μεσαίος ορίζοντας με απεικόνιση χαοτικής ζώνης και διάλυση εβαποριτών και κατώτερος ορίζοντας πιθανώς παρουσία καμινάδας αερίου (Semb, 2009).



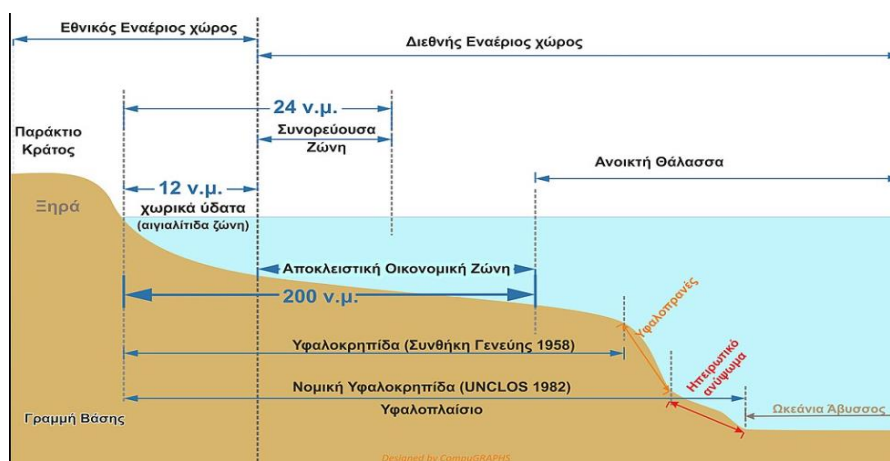
Εικόνα 39. Flat and bright spot. (Semb 2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

7. ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΖΩΝΗ (ΑΟΖ)

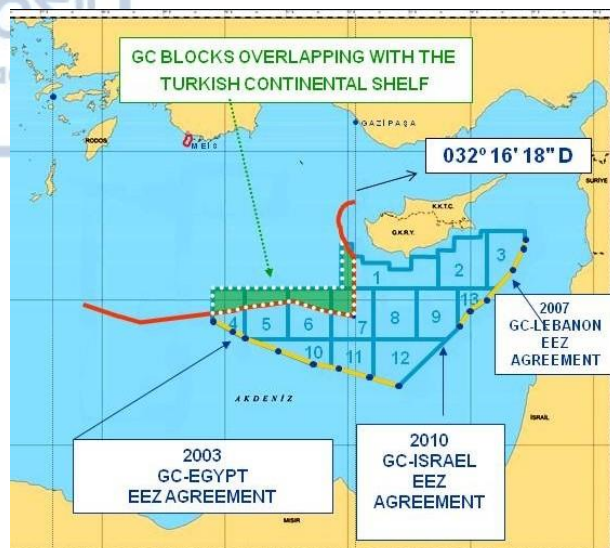
7.1.Ορισμός

Με τον όρο ΑΟΖ, εννοούμε την Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη ενός κράτους. Σύμφωνα με τη Διεθνή Συνθήκη του ΟΗΕ το 1982, η αποκλειστική οικονομική ζώνη, (ΑΟΖ) θεωρείται η θαλάσσια έκταση εντός της οποίας ένα κράτος έχει δικαίωμα έρευνας και εκμετάλλευσης των θαλάσσιων πόρων καθώς και της παραγωγής ενέργειας. Εκτείνεται πέραν των χωρικών υδάτων μίας χώρας (12 ναυτικά μίλια) στα 200 ναυτικά μίλια (370km) από την ακτογραμμή, τα οποία υπολογίζονται από τις γραμμές βάσης (εικ.40). Εξάιρεση, αποτελούν οι περιπτώσεις όπου τα ΑΟΖ δύο ή περισσότερων χωρών αλληλοεφάπτονται δηλαδή οι ακτογραμμές των εν λόγω χωρών απέχουν λιγότερο από 400 ναυτικά μίλια (740km). Ως αποτέλεσμα έγκειται στις χώρες αυτές να ορίσουν από κοινού τα θαλάσσια όρια, και σε περίπτωση που δεν συμφωνούν τα όρια είναι η μέση γραμμή (<https://el.wikipedia.org>).



Εικόνα 40. Σχηματική απεικόνιση του ορισμού της έννοιας της Αποκλειστικής Οικονομικής Ζώνης (ΑΟΖ) ([wikipedia](https://el.wikipedia.org)).

Όσον αφορά την Κυπριακή Δημοκρατία, αυτή κήρυξε Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (ΑΟΖ), με τη θέσπιση του Περί της Αποκλειστικής Ζώνης και Υφαλοκρηπίδας Νόμου, το 2004, όταν και εφόσον έγινε μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η Κυπριακή Δημοκρατία έχει υπογράψει συμφωνίες οριοθέτησης (ΑΟΖ), με την Αίγυπτο το 2003, με το Λίβανο το 2007, με το Ισραήλ το 2010 και το 2013 υπέγραψε συμφωνία κοινής χρήσης με την Δημοκρατία της Αιγύπτου (εικ.41).



Εικόνα 41.: Συμφωνίες οριοθέτησης των ΑΟΖ μεταξύ Κύπρου Αιγύπτου και Λιβάνου (Source: TRNC Ministry of Foreign Affairs; and Ergün Olgun, “Cyprus – Unilateralism on Hydrocarbons Will Result in Permanent Division”, 2018).

Η Κυπριακή Δημοκρατία ασκεί δικαιώματα αναφορικά με την εξερεύνηση και εκμετάλλευση των φυσικών πόρων, που βρίσκονται εντός της ΑΟΖ και της υφαλοκρηπίδας της. Στην εξερεύνηση και εκμετάλλευση των υδρογονανθράκων, κανένα πρόσωπο δεν δικαιούται να προβαίνει μέσα στην ΑΟΖ/υφαλοκρηπίδα, εκτός από τις περιπτώσεις κατά τις οποίες έχει λάβει σχετική άδεια. Επίσης εφαρμόζεται ο Περί Υδρογονανθράκων Νόμος του 2007. Βάση αυτού, η κυριότητα των υδρογονανθράκων, οπουδήποτε μέσα στη Κύπρο, περιλαμβανομένου της χωρικής θάλασσας, της υφαλοκρηπίδας και της ΑΟΖ της Κυπριακής Δημοκρατίας, ανήκει και θεωρείται ότι πάντοτε άνηκε στην Κυπριακή Δημοκρατία, ενώ τα δικαιώματα στην κυριότητα των υδρογονανθράκων που βρίσκονται στην ΑΟΖ, ασκούνται σε συνάρτηση με τα δικαιώματα στην υφαλοκρηπίδα όπως καθορίζονται στη Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της θάλασσας του 1982.

7.2. Δραστηριότητες στην Κυπριακή Αποκλειστικής Οικονομικής Ζώνης (ΑΟΖ)

Μετά τις πρόσφατες δραστηριότητες στην Ανατολική Μεσόγειο, με την Αίγυπτο και το Ισραήλ να αποτελούν ήδη παραγωγούς εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων, η Κύπρος βρίσκεται στο προσκήνιο και στη διαδικασία αξιοποίησης πλήρως της ενεργειακής δυναμικής της στο τομέα των ενεργειακών πόρων. Με δυναμικό τρόπο, ξεκίνησε να παραχωρεί άδειες έρευνας υδρογονανθράκων ανά τεμάχιο σύμφωνα με το

Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος της Κυπριακής Δημοκρατίας
(<http://www.mcit.gov.cy/mcit/hydrocarbon>), το Τμήμα Υδρογονανθράκων
παραχώρησε άδειες έρευνας (εικ.42) Μερικές από αυτές είναι:

Τεμάχιο 2 – Χορηγήθηκε τον Ιανουάριο του 2013

- ENI Cyprus Limited (60%) - «Διαχειριστής»
- KOGAS Cyprus Limited (20%)
- TOTAL E&P Cyprus BV (20%)

Τεμάχιο 3 – Χορηγήθηκε τον Ιανουάριο του 2013

- ENI Cyprus Limited (50%) - «Διαχειριστής»
- KOGAS Cyprus Limited (20%)
- TOTAL E&P Cyprus BV (30%)

Τεμάχιο 6 – Χορηγήθηκε τον Απρίλιο του 2017

- ENI Cyprus Limited (50%) - «Διαχειριστής»
- TOTAL E&P Cyprus BV (50%)

Τεμάχιο 7 – Χορηγήθηκε τον Σεπτέμβριο του 2019

- TOTAL E&P Cyprus BV (50%) - «Διαχειριστής»
- ENI Cyprus Limited (50%)

Τεμάχιο 8 – Χορηγήθηκε τον Απρίλιο του 2017

- ENI Cyprus Limited (60%) - «Διαχειριστής»
- TOTAL E&P Cyprus BV (40%)

Τεμάχιο 9 – Χορηγήθηκε τον Ιανουάριο του 2013

- ENI Cyprus Limited (60%) - «Διαχειριστής»
- KOGAS Cyprus Limited (20%)
- TOTAL E&P Cyprus BV (20%)

Τεμάχιο 10 – Χορηγήθηκε τον Απρίλιο του 2017

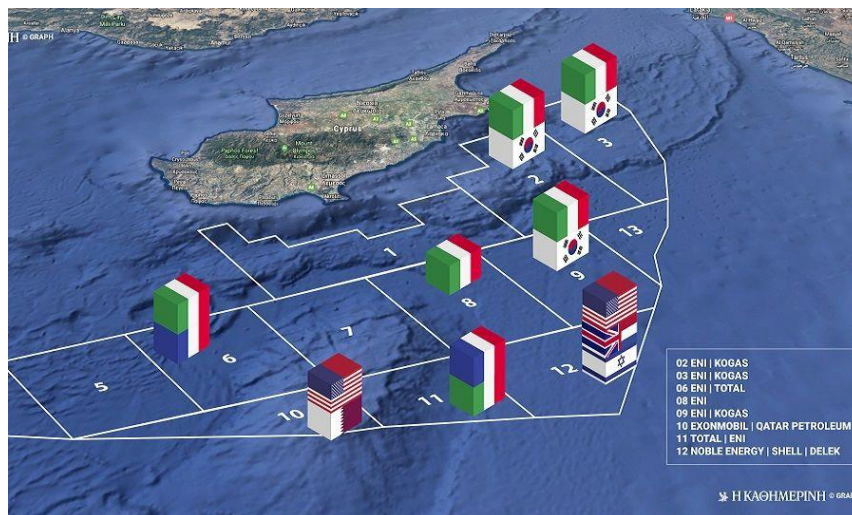
- ExxonMobil Exploration and Production Cyprus (Offshore) Limited (60%) - «Διαχειριστής»
- Qatar Petroleum International Upstream LLC (40%)

Τεμάχιο 11 – Χορηγήθηκε τον Φεβρουάριο του 2013

- TOTAL E&P Cyprus BV (50%) - «Διαχειριστής»
- ENI Cyprus Limited (50%)

Ακολούθως, όταν ο αδειούχος του τεμαχίου 12 (Αφροδίτη), ανακοίνωσε ότι το τεμάχιο είναι οικονομικά βιώσιμο, αφού καταδεικνύει ποσότητες φυσικού αερίου της τάξης των 4,5 τρισεκατομμυρίων κυβικών ποδιών, υπέβαλε Σχέδιο Ανάπτυξης και Παραγωγής. Έτσι η Κυπριακή Δημοκρατία χορήγησε τον Νοέμβριο του 2019 την πρώτη άδεια εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων στους

- Noble Energy International Ltd (35%) - «Διαχειριστής»
- Delek Drilling Limited Partnership (30%)
- BG Cyprus Limited (35%)



Εικόνα 42. Δραστηριότητες εντός της Κυπριακής ΑΟΖ (Source: Apostolis Tomaras, "Exxon - Total for Block 7", in KNEWS,2018).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΩΟ

8. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

8.1. Κοίτασμα Ταμάρ

Κατά το έτος 2009, στην Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη του Ισραήλ ([εικ.43](#)) έκανε την εμφάνιση του ένα νέο κοίτασμα, το Ταμάρ. Το κοίτασμα Ταμάρ βρίσκεται περίπου 90km δυτικά της Χάιφα, μέσα στη Λεβαντίνη στην Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (ΑΟΖ) του Ισραήλ, σε βάθος νερού 5000 πόδια. Θεωρείται ότι παράγει 7,1 έως 8.5 τρις κυβικά πόδια επιβεβαιωμένα αποθέματα φυσικού αερίου.

Το κοίτασμα ανακαλύφθηκε από την εταιρεία Noble Energy, και αποτέλεσε τη μεγαλύτερη ανακάλυψη φυσικού αερίου το έτος 2009 και η εκμετάλλευση του ξεκίνησε το έτος 2013.

Η έκταση του είναι 97 km² και το μέγεθος του καλύπτει μία περιοχή οποία έχει μήκος 120Km και μητρικά πετρώματα Ολιγοκαινικής ηλικίας. Παρουσιάζει πετρώματα ταμιεντήρες, πετρώματα καλύμματα και δομές παγίδευσης ίδια με αυτά του κοιτάσματος Λεβιάθαν, το οποίο ανακαλύφθηκε το 2010 ([Abd El-Halim et.al., 2019](#)).

8.2. Κοίτασμα Λεβιάθαν

Ακολούθως, κατά το έτος 2010, επίσης στην αποκλειστική οικονομική ζώνη του Ισραήλ ([εικ.](#)), 47 km βοριοδυτικά του Ταμάρ και εντός της Λεβαντίνης Λεκάνης, έκανε την εμφάνιση του ένα ακόμη κοίτασμα, το κοίτασμα Λεβιάθαν. Καταλαμβάνει έκταση 83,000 Km² και διαθέτει 33 τρις. κυβικά πόδια (Tcf) φυσικού αερίου με τα (20 με 22Tcf ανακτήσιμο).

Το κοίτασμα ανακαλύφθηκε από την εταιρεία Noble Energy, και αποτέλεσε τη μεγαλύτερη παγκοσμίως ανακάλυψη φυσικού αερίου το 2010, με πρώτη εκμετάλλευση του το έτος 2017. Η Noble Energy ξεκίνησε τις εργασίες χρησιμοποιώντας ημιβυθιζόμενη εξέδρα (semi-submersible platform). Σε πρώτο στάδιο, η γεώτρηση έφτασε σε βάθος 5,170m . Στο δεύτερο στάδιο, η γεώτρηση έφτασε σε επιπρόσθετο βάθος 2030 m όπου το εκτιμώμενο απόθεμα αναμενόταν να φτάσει τα 25Tcf.

Τον Μάιο όμως του 2012, οι εργασίες διακόπηκαν όταν έφτασαν σε βάθος περίπου 6522 m, λίγο πριν τον τελικό στόχο, λόγω υψηλής πίεσης και των μηχανικών περιορισμών του σχεδιασμού των οπών. (Abd El-Halim et.al., 2019).

Πρόκειται για ένα κοίτασμα βιογενούς αερίου, το οποίο σχηματίστηκε μέσα σε σχιστόλιθους Κατώτερου Μειοκαίνου κάτω από το εβαπορήτικο στρώμα του Μεσσηνίου. Όσον αφορά το πέτρωμα ταμιευτήρας ορίζεται ως μία ακολουθία τουρβιδιτικών ψαμμιτών βαθέων υδάτων με παρεμβολές λάσπης (siltstone and mud stones). Τους σχηματισμούς αυτούς καλύπτουν μεσσήνιοι εβαπορίτες που λειτουργούν ως περιφερειακά μονωτήρια πετρώματα με πάχος πάνω από 2,000m. Τέλος, τα κοιτάσματα φυσικού αερίου παγιδεύονται στην αντικλινική δομή που δημιουργεί το Συριακό τόξο καθώς και κανονικά ρήγματα.

Εκτός από το φυσικό αέριο, που εκτιμάται στο πεδίο του Λεβιάθαν, λέγεται ότι το πεδίο περιλαμβάνει 600 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου κάτω από το αέριο.

8.3. Κοίτασμα Αφροδίτη

Το οικόπεδο 12 (εικ.43), το οποίο καλύπτει έκταση 120km², είναι το πρώτο θαλάσσιο οικόπεδο που ανήκει στην ΑΟΖ της Κυπριακής Δημοκρατίας, στο οποίο βρέθηκε το κοίτασμα «Αφροδίτη». Βρίσκεται στα ανοικτά της νότιας ακτής της Κύπρου (160km νότια της Λεμεσού) και στη θαλάσσια Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (ΑΟΖ) της χώρας, 30 χιλιόμετρα βορειοδυτικά του κοιτάσματος φυσικού αερίου Λεβιάθαν (του μεγαλύτερου κοιτάσματος φυσικού αερίου που ανακαλύφθηκε την τελευταία δεκαετία) του Ισραήλ.

Πρόκειται για ένα βιογενές κοίτασμα το οποίο βρίσκεται μέσα σε μια αντικλινική δομή παγίδευσης κάτω από το εβαπορητικό στρώμα του Μεσσηνίου. Ο ταμιευτήρας του κοιτάσματος είναι ένας ψαμμίτης Κάτω Μειοκαινικής ηλικίας του οποίου το καθαρό πάχος είναι περίπου 120 μέτρα. Οι σχιστόλιθοι που βρίσκονται πάνω από αυτόν τον ψαμμίτη παρέχουν την κατάλληλη μόνωση ώστε το αέριο να μπορεί να συγκεντρωθεί σε μεγάλες ποσότητες.

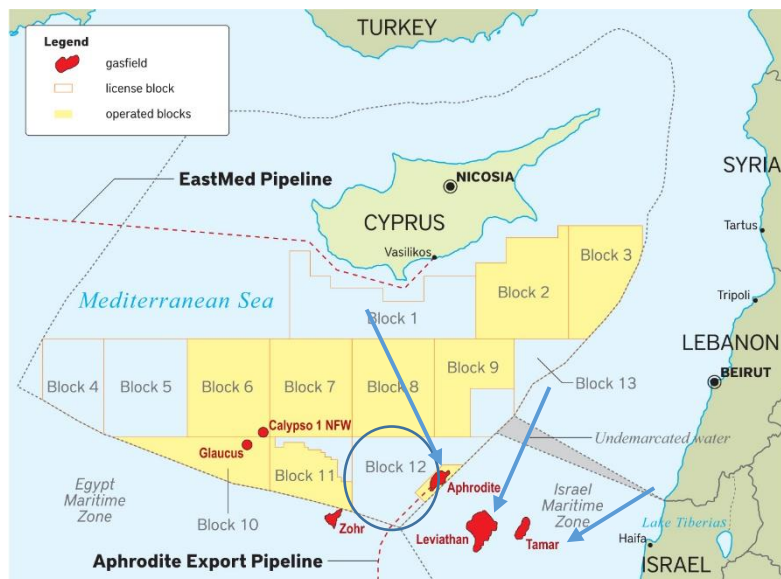
Το κοίτασμα Αφροδίτη έχει επιβεβαιωμένα 4,5 τρισεκατομμύρια κυβικά πόδια. Ωστόσο το μεγάλο βάθος του, (περίπου 1700 μέτρα), το δύσκολο είδος πετρώματος και η μεγάλη απόσταση από την Κύπρο, καθιστούν το κόστος εξόρυξης απαγορευτικό.

8.3.1. Εργασίες εξόρυξης

Οι εργασίες γεώτρησης στο οικοπέδο 12, ξεκίνησαν τον Σεπτέμβριο του 2011 και χρειάστηκαν 116 ημέρες για να ολοκληρωθούν. Η γεώτρηση έφτασε σε συνολικό βάθος 19.225 πόδια σε βάθος νερού 5.860 μέτρων. Οι δοκιμές των φρεατίων οδήγησαν στην εκτίμηση πέντε έως οκτώ τρισεκατομμύρια κυβικά πόδια (tcf) αποθεμάτων αερίου. Το κοίτασμα Αφροδίτη, έχει μέγιστο πάχος 320m και εκτιμάται ότι συγκρατεί περίπου 129 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (bcm) φυσικού αερίου.

Οι ιδιοκτήτριες εταιρείες του οικοπέδου 12, είναι η εταιρεία Noble Energy International (35%), η BG Κύπρος (35%), η Delek Drilling Limited Partnership (15%) και η Avner Oil Exploration Limited Partnership (15%). Το πρώτο φυσικό αέριο από το οικοπέδο αναμένεται μετά το 2023, με μέγιστη παραγωγική ικανότητα στην πρώτη φάση, να είναι περίπου 800 εκατομμύρια κυβικά πόδια την ημέρα (Mcf/d).

Το επεξεργασμένο φυσικό αέριο από τα εργαστήρια επεξεργασίας θα μεταφέρεται μέσω αγωγών σε μια προτεινόμενη εγκατάσταση υδροποίησης φυσικού αερίου στην ξηρά (www.offshore-technology.com/projects/aphrodite-gas-field).



Εικόνα 43. Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη της Κύπρου και blocks. Παρουσία των πεδίων αερίου υπεράκτια του νησιού (petroleum-economist).

8.4. Κοιτάσματα Νότια της Κρήτης

Σε παγκόσμια κλίμακα έχει διαπιστωθεί, ότι οι συγκλίνουσες λιθοσφαιρικές πλάκες φιλοξενούν κοιτάσματα υδρογονανθράκων (εικ.44). Σε αυτό εξάλλου το περιβάλλον, έχει ανακαλυφθεί το 20% του συνόλου των γιγαντιαίων υδρογονανθράκων (Wikipedia 2009). Εκτιμήσεις αναφέρουν ότι φτάνουν το κοιτάσμα στην περιοχή της Νότιας Κρήτης φτάνει τα 2,4 τρις m³. Ως εκ τούτου, υπάρχει επιτακτική ανάγκη να διερευνηθεί η δυνατότητα ύπαρξης ανάλογων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων στην υπεράκτια νότια της Κρήτης.

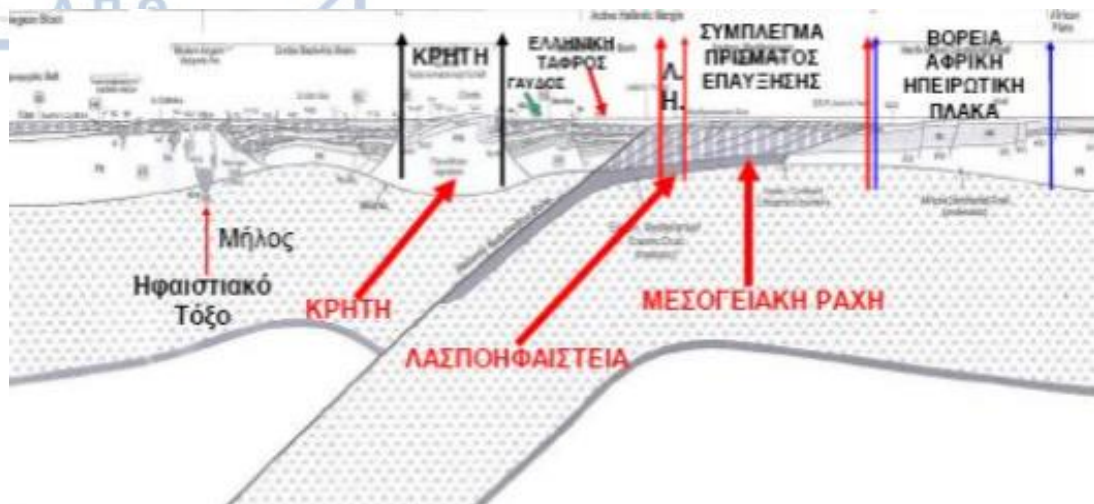
Τα ενεργά ηφαίστεια ροής λάσπης συνδέονται επίσης με ύπαρξη συγκεντρώσεων υδρογονανθράκων. Κάτω από την Κρήτη, υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός ενεργών λασποηφαιστείων (εικ.45). Επομένως, μία συστηματική έρευνα της περιοχής θα μπορούσε να αποκαλύψει τυχόν ύπαρξη κοιτασμάτων υδρογονανθράκων οικονομικού ενδιαφέροντος.

Η γεωχημική ανάλυση των εκπεμπόμενων φυσαλίδων μεθανίου από ενεργά ηφαίστεια λάσπης δείχνουν ότι η προέλευση τους είναι θερμογενής. Ως εκ τούτου αυτό αποδεικνύει ότι σε βάθος, υπάρχουν εν λειτουργία ενεργά συστήματα πετρελαίου.

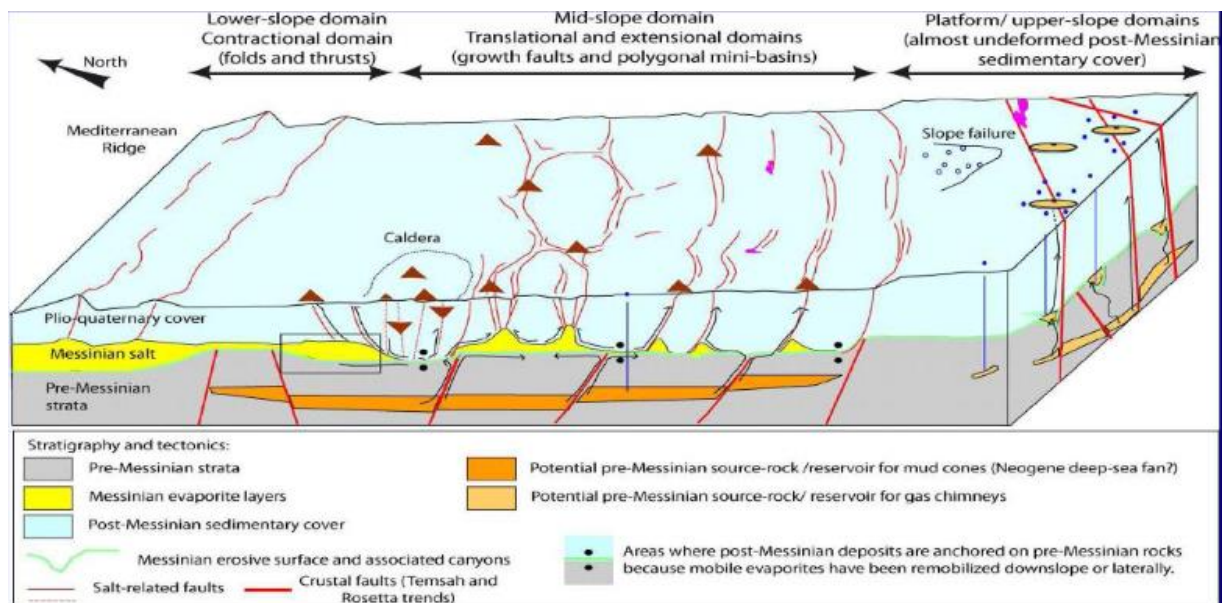
Με βάση τα γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα, επιστήμονες εντόπισαν στην υπεράκτια Νότια Κρήτη, δύο σημαντικά αντίκλινα, μία αβυσσαλέα πεδιάδα και επτά λεκάνες σε οπισθόταφρους (backstop basins) που θα μπορούσαν να περιέχουν συστήματα υδρογονανθράκων.

Μετά από μελέτη της ανεξερεύνητης περιοχής νότια της Κρήτης, στηριζόμενοι, πλέον στα γεωφυσικά δεδομένα, έχουν εντοπιστεί γεωλογικές ομοιότητες με τα δύο γνωστά γεωλογικά μοντέλα της Ανατολικής Μεσογείου, Λεβιάθαν και Ζορ.

Εχουμε υδρίτες στον πυθμένα της θάλασσας αμέσως βαθύτερα βιογενές φυσικό αέριο και πιο βαθιά πυρολιτικό φυσικό αέριο, υγρούς αέριους υδρογονάνθρακες, και ακόμα βαθύτερα αργό πετρέλαιο (εικ.45).



Εικόνα 44. Τομή που παρουσιάζει το πρίσμα επαύξης της Μεσογείου καθώς και της Κρήτης και την παρουσία λασποηφαιστειών (Παπανικολάου et al., 2004, από Gavazza et al., 2004).



Εικόνα 45. Ενεργά ηφαιστεια λάσπης (καφέ τρίγωνα), επιφανειακές διαρροές υδρογονανθράκων (καφέ δακτύλιοι) νότιας της Κρήτης. Παρουσία μητρικών και ταμιευτήριων πετρωμάτων προ Μεσσήνιας ηλικίας τα οποία τροφοδοτούν τα λασποηφαιστεια καθώς και μητρικά και ταμιευτήρια πετρώματα που τροφοδοτούν τα αέρια (L.Loncke et.al./Marine Petroleum Geology 21, (2004)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

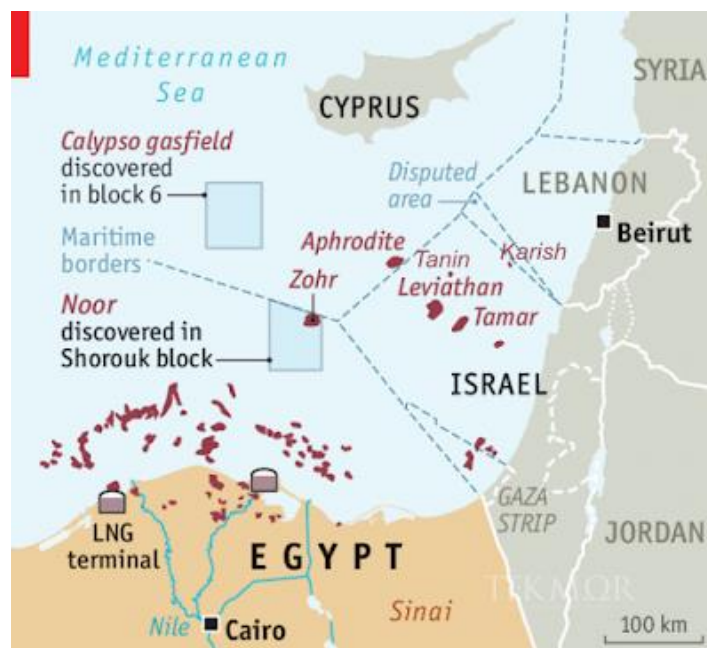
9.ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΤΥΠΟΥ ΖΟΡ ΣΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ

9.1. Πρόσφατες αποκαλύψεις φυσικού αερίου στην Ανατολική Μεσόγειο

Οι εκτιμήσεις της προοπτικής υδρογονανθράκων στην υπεράκτια περιοχή της Κύπρου αρκετά αισιόδοξες. Πρωτίστως, η ύπαρξη πολύ παχιών ιζηματογενών λεκανών Μεσοζωικών και Καινοζωικών πλούσιο σε οργανική ύλη. Ακολούθως, η παρουσία Μεσσήνιων εβαποριτών ως περιφερειακοί μονωτές, καθώς και η ύπαρξη κλαστικών ταμιευτήρων βαθιάς θάλασσας και ανθρακικών ταμιευτήρων ρηχών νερών.

Επίσης στην περιοχή κυριαρχούν μεγάλα κοιτάσματα, όπως εκείνο του Zor (30 τρισεκατομμύρια κυβικά πόδια), εκείνο του Λεβιάθαν (22 τρισεκατομμύρια κυβικά πόδια), του Ταμάρ και της Αφροδίτης (εικ.46). Η ύπαρξη δομικών ιζηματογενών συνδυασμών που καθορίζουν τη γεωγραφική επέκταση των υδρογονανθράκων και τέλος, από τα σεισμικά προφίλ, φανερώνεται η ύπαρξη καμινάδων αερίων, φωτεινά και επίπεδα σημεία δεδομένα τα οποία μας οδηγούν στην εκτίμηση των κοιτασμάτων.

Αυτά τα πεδία εξερεύνησης είχαν τεχνικά ποσοστά επιτυχίας πάνω από 60%, με αποτέλεσμα να καταστεί η περιοχή ελκυστική για τη βιομηχανία του πετρελαίου και η Ανατολική Μεσόγειος τα τελευταία χρόνια να καταστεί ένα σημείο εξερεύνησης, παραγωγής και μεταφοράς υδρογονανθράκων.



Εικόνα 46. Ανακαλυφθέντα κοιτάσματα στην ΑΟΖ του Ισραήλ, της Αιγυπτιακής και Κυπριακής ΑΟΖ.

9.2. Καινοτόμες έρευνες κοιτάσματος Ζορ στην Ανατολική Μεσόγειο

9.2.1. Αιγυπτιακό κοιτάσμα Ζορ

Μία πρωτόγνωρη ανακάλυψη από γεωλογικής άποψη και μία καινοτομία στην Ανατολική Μεσόγειο αποτελεί η ανακάλυψη του υπέρ-γιγάντιου κοιτάσματος βιογενούς φυσικού αερίου Ζορ, στο θαλάσσιο οικόπεδο 9 της ΑΟΖ της Αιγύπτου (εικ.47). Τα αποδεδειγμένα αποθέματα του Αιγυπτιακού κοιτάσματος έχουν ύψος 26-30 τρισεκατομμύρια κυβικά πόδια φυσικό αέριο, το οποίο δημιουργήθηκε σε ακτές παλαιολίμνης (ρηχά ανθρακικά νερά). Είναι σχεδόν γεμάτο με φυσικό αέριο σε όλο το ύψος της δομής του. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η οργανική ύλη που περιείχαν οι αλμυρές παλαιολίμνες της Μεσογείου δημιούργησαν τεράστιες ποσότητες καθαρού φυσικού αερίου, το οποίο εφοδίασε ικανοποιητικά τους ταμιευτήρες καρστικούς ασβεστόλιθους της Μειόκαινης περιόδου.



Εικόνα 47. Ανακάλυψη του Αιγυπτιακού Ζορ βόρεια της Αιγύπτου στο δέλτα του Νείλου στα σύνορα με την Κυπριακή ΑΟΖ.

Μια πιο λεπτομερής ματιά στα στοιχεία που προκύπτουν από τον ταμιευτήρα του κοιτάσματος Ζορ μας δίνει σημαντικές πληροφορίες. Τα στοιχεία δείχνουν υψηλή συνδεσιμότητα μεταξύ των πόρων του ταμιευτήρα, γεγονός που καταδεικνύει την καλή ποιότητα του και την ευκολία στην παραγωγή του. Από τα στοιχεία φαίνεται πως το φυσικό αέριο του κοιτάσματος Ζορ αποτελείται κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό από μεθάνιο, κάτι που μειώνει το κόστος επεξεργασίας σε περίπτωση που υπήρχαν άλλα αέρια. Όσο αφορά το αέριο που βρίσκεται εντός του ταμιευτήρα του κοιτάσματος Ζορ παρουσιάζονται ομοιότητες και με τα κοιτάσματα Αφροδίτη, Ταμάρ και Λεβιάθαν.

Σημερινά δεδομένα – Το έργο της εταιρείας ENI

Το 2015 η ENI πραγματοποίησε δύο αποτυχημένες γεωτρήσεις στην περιοχή της Κύπρου σε Μειοκαινικά ιζηματογενή πετρώματα που ανήκουν στην Λεβαντίνη λεκάνη. Το καλοκαίρι όμως του ίδιους έτους, η ENI πραγματοποίησε ακόμα μια γεώτρηση σε βάθος 1,500 μέτρων στα όρια της ΑΟΖ της Κύπρου/Αιγύπτου. Αυτή η νέα γεώτρηση αποκάλυψε την ύπαρξη ταμιευτήρων ασβεστολιθικών πετρωμάτων σε μια μεγάλη πλατφόρμα πετρωμάτων ανθρακικού άλατος.

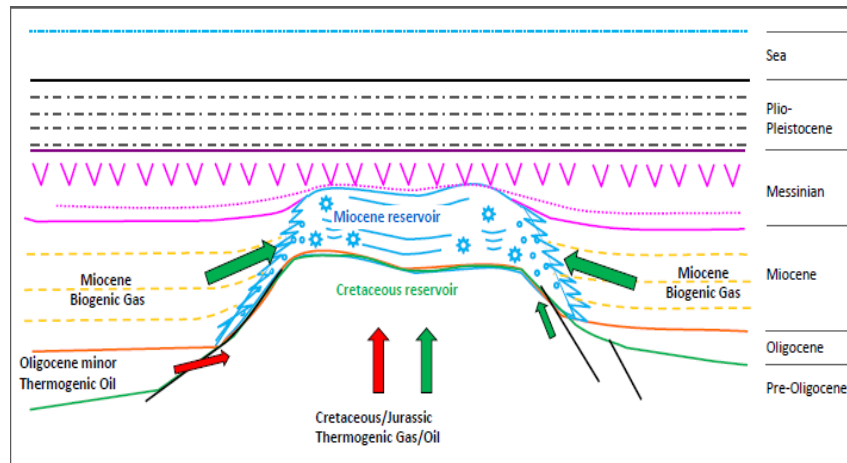
Η ανακάλυψη του κοιτάσματος Ζορ έγινε μετά την αλλαγή στο γεωλογικό μοντέλο από την ENI η οποία έψαξε σε υφάλους αντί της μέχρι τώρα ακολουθητέας πρακτικής της γεώτρησης σε αμμώδεις περιοχές με πετρώματα. Όσον αφορά το πετρελαιογεωλογικό κομμάτι μπορεί να έχουμε και άλλα κοιτάσματα μετά την ανακάλυψη του Ζορ. Επίσης το Λεβιάθαν παρουσιάζει πρόβλημα εμπορικοποίησης μετά την ανακάλυψη του Ζορ.

Γεωλογικό πλαίσιο

Το Shorouk, όπου η Eni, ανακάλυψε το γιγαντιαίο κοίτασμα φυσικού αερίου Ζορ, βρίσκεται το βορειότερο μέρος των Αιγυπτιακών Μεσογειακών νερών. Από γεωλογικής άποψης, το Shorouk, εντοπίζεται στη διασταύρωση της λεκάνης του Δέλτα του Νείλου και της Λεβαντίνης με τη δομή Ζορ να είναι σε βάθος νερού 1500m. Η γεώτρηση Ζορ 1, γεωτρήθηκε σε συνολικό βάθος 4,131m, όπου στα 630m βρήκε υδρογονάνθρακες σε μία ανθρακική ακολουθία Μειοκαινικής ηλικίας.

Μητρικά πετρώματα στα οποία δημιουργήθηκαν οι θερμογενείς υδρογονάνθρακες ήταν Ολιγοκαινικής ηλικίας (εικ.48). Οι υδρογονάνθρακες αυτοί μεταναστεύουν σε πετρώματα ταμιευτήρες εξαιρετικής ποιότητας, ανθρακικά τα οποία ερμηνεύονται ως

αντίκλινα με παρουσία βιοκλαστικών. Την περαιτέρω μετακίνηση των υδρογονανθράκων εμποδίζουν τα πετρώματα καλύμματα τα οποία στην περίπτωση αυτή είναι συμπυκνωμένοι πελαγικοί σχιστόλιθοι και λάσπη Κάτω Μειόκαινου. Το πετρελαϊκό σύστημα ολοκληρώνουν οι δομές παγίδευσης οι οποίες στην περίπτωση του Δέλτα του Νείλου, εμφανίζονται να είναι τόσο στρωματογραφικές όσον και τεκτονικές, με κύρια λειτουργία να παγιδεύουν τα κοιτάσματα.



Εικόνα 48. Γεωλογικό σκίτσο κοιτάσματος Ζορ το οποίο απεικονίζει τις προϋποθέσεις δημιουργίας και ανάπτυξης του (Francesco Bertello, Hamed Harby and Stella Brandolese 2016).

Βιογενούς προέλευσης αέριο βρίσκεται σε τριτογενή μητρικά πετρώματα ηλικίας Μειόκαινου (εικ.48). Τα πετρώματα ταμιευτήρες αποτελούν κοραλλιογενής ύφαλοι Μειόκαινου, οι οποίοι υποκείνται του καλύμματος, το οποίο αποτελούν το συγκρότημα των Μεσσήνιων εβαποριτών. Τέλος, στρωματογραφικές παγίδες και τεκτονικές (Rozetta) προκαλούν εγκλωβισμό στους υδρογονάνθρακες. (Abd El-Hamim, et.al., 2019).

9.2.2. Κυπριακό κοίτασμα τύπου Ζορ

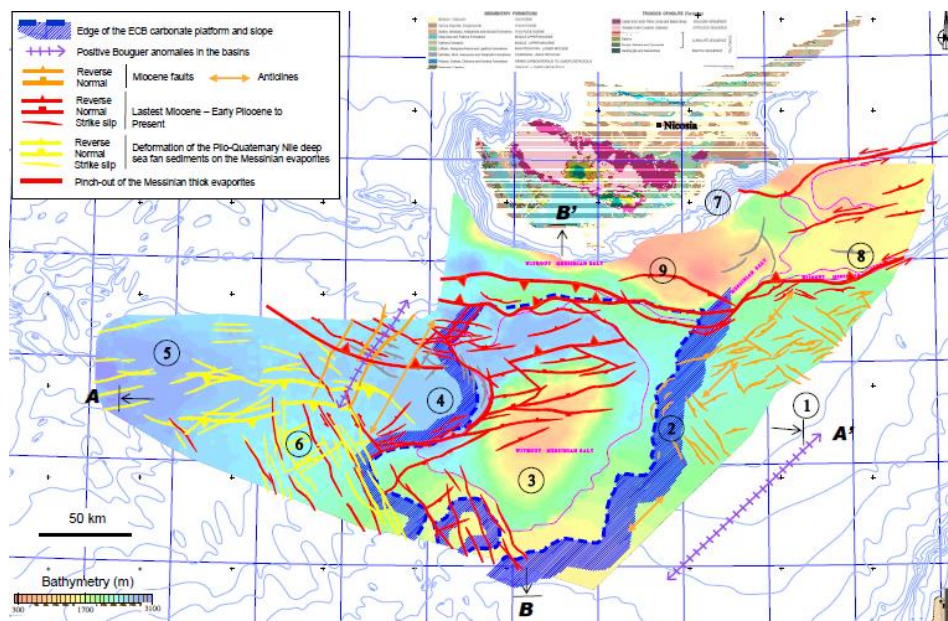
Νέοι υποσχόμενοι στόχοι γιγαντιαίων κοιτασμάτων καρστικού ασβεστόλιθου τύπου Ζορ είναι πιθανόν να παρουσιάζονται και στην ΑΟΖ της Κυπριακής Δημοκρατίας.

Το Κυπριακό κοίτασμα τύπου Ζορ βρίσκεται μέσα στο θαλάσσιο οικόπεδο 11 και απέχει μόλις 5 km από τη βάση του Αιγυπτιακού Ζορ. Ο στόχος αυτός θεωρείται σήμερα επιστημονικά ώριμος για διάτρηση.

Τέτοιες δομές υπάρχουν και περιμετρικά του όρους Ερατοσθένη, στην Κυπριακή ΑΟΖ (εικ.49). Η ύπαρξη του Ερατοσθένη λόγω και της τεκτονικής του εξέλιξης, καταδεικνύει την ύπαρξη και άλλων δομών από ανθρακικό άλας στην πλατφόρμα του που μπορούν να αποτελέσουν πρόδρομες δομές παρόμοιες με εκείνες στον Ζορ.

Από τα δεδομένα που προκύπτουν, φαίνεται πως οι γεωλογικές δομές ανθρακικού άλατος ανήκουν στα οικόπεδα 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12. Μερικά εξ αυτών ανήκουν στην λεκάνη του δέλτα και μερικά στην Λεβαντίνη λεκάνη.

Η ENI κάνει αναφορά για πιθανή ύπαρξη φυσικού αερίου στην περιοχή του Ερατοσθένη από 30-00 TCF. Ερώτημα παραμένει εάν οι ανθρακικές δομές στην Λεβαντίνη λεκάνη είναι εξίσου σημαντικές όπως εκείνες της λεκάνης του δέλτα του Νείλου.



Εικόνα 49. Παρουσία ανθρακικών δομών περιμετρικά του Ερατοσθένη που μπορεί να αποτελέσουν πρόδρομες δομές για την ανάπτυξη κοιτασμάτων τύπου Ζορ.

Βάση των σημερινών δεδομένων, στο τομέα της γεωλογίας, η Ανατολική Μεσόγειος κατέχει ένα εξαιρετικά σημαντικό ρόλο. Από όσα έχουν ειπωθεί στην πιο πάνω πτυχιακή εργασία, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η Ανατολική Μεσόγειος αποτελεί μια περιοχή με τεράστιες προοπτικές για εκμετάλλευση υδρογονανθράκων.

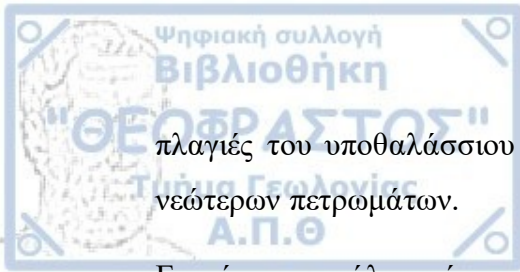
Αξιολογώντας λοιπόν όχι μόνο την τεκτονική εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής αλλά και τα επιμέρους τμήματα της και τα γειτονικά της σύνορα και πάντα στηριζόμενοι στα γεωφυσικά δεδομένα, καταλήξαμε ότι υπήρχαν οι κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη κοιτασμάτων στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου.

Κατά την διάρκεια του γεωλογικού χρόνου, ο χώρος της Ανατολικής Μεσογείου φαίνεται να διέπεται από πλήθος χαρακτηριστικών διεργασιών και δομών, οι οποίες αποτέλεσαν τις πρόδρομες συνθήκες των σημερινών εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων.

Η ύπαρξη του ποταμού Νείλου, ο οποίος απέθεσε τα ιζήματα του στην ιζηματογενή λεκάνη της Μεσογείου, με την ταυτόχρονη παρουσία μεγάλων ποσοτήτων οργανικής ύλης οδήγησε στο να προκύψουν τα μητρικά πετρώματα μέσα στα οποία γεννήθηκαν οι υδρογονάνθρακες. Η ισχυροποίηση της θεωρίας αυτής δεν αργεί να έρθει, καθώς έρχεται στο φως το γιγαντιαίο κοίτασμα τύπου Zor στον δελταϊκό κώνο του Νείλου στο οικόπεδο 9 της Αιγυπτιακής ΑΟΖ στα σύνορα με την Κύπρο.

Επίσης, τα υψηλά ποσοστά επιτυχίας των ανακαλύψεων βιογενούς αερίου στους γεωλογικούς σχηματισμούς ψαμμιτών στη λεκάνη της Λεβαντίνης που χρονολογούνται κυρίως από την εποχή της Παλαιογενούς περιόδου, οδήγησαν στην εντατική αναζήτηση αερίου σε κλαστικά περιβάλλοντα υδρογονανθράκων. Με την ένταξη της λιθολογίας των ανθρακικών πετρωμάτων στη λίστα των δυνητικών ταμιευτήρων στην Ανατολική Μεσόγειο και λόγω των υψηλών ποσοστών επιτυχίας, ένα δεύτερο σύστημα πετρελαίου προστέθηκε δίπλα σε αυτό των κλαστικών πετρωμάτων της Λεβαντίνης και του δέλτα του Νείλου.

Από το δεύτερο περιβάλλον γένεσης και συγκέντρωσης των υδρογονανθράκων συνέβαλε σημαντικά στην ελκυστικότητα της περιοχής. Αρχικά η βιομηχανία επικεντρώθηκε στην ιζηματογενή λεκάνη του Ηρόδοτου που περιλαμβάνει ανθρακικές δομές υφάλων γύρω από ακρογιαλιές ηλικίας εκατομμυρίων ετών και βαθύτερες



πλαγιές του υποθαλάσσιου όρους Ερατοσθένη θαμμένες κάτω από χιλιάδες μέτρα νεώτερων πετρωμάτων.

Εντούτοις, μεγάλου πάχους Μειοκαινικά και Κρητιδικά κοιτάσματα όπως αυτό του Ζορ αναμένονται και πιο δυτικά στη Μεσόγειο. Από την άποψη αυτή, η περιοχή δυτικά και νότια της Κρήτης, παρουσιάζουν μεγάλες γεωλογικές ομοιότητες με το υπέδαφος στο οποίο ανακαλύφθηκαν τα κοιτάσματα τύπου Ζορ. Υπάρχουν επίσης και άλλες γεωλογικές δομές που ομοιάζουν με εκείνες των ταμιευτήρων της Αφροδίτης ή του Λεβιάθαν που αντιστοιχούν σε διαφορετικό γεωλογικό περιβάλλον.

Παρόμοιες συνθήκες επικρατούν και στις ιζηματογενείς λεκάνες Ηρόδοτου και Λεβαντίνης της Κυπριακής ΑΟΖ, οι οποίες σε συνδυασμό με την παρουσία κατάλληλων παγίδων αλλά και την μόνωση που παρέχουν οι Μεσσήνιοι εβαπόριτες σχημάτισαν κοιτάσματα.

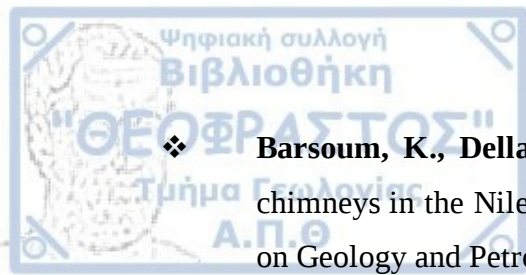
Η πρόσφατη ανακάλυψη στην Κύπρο φυσικού αερίου στον στόχο «Αφροδίτη» καθώς τα κοιτάσματα Ταμάρ και Λεβιαθάν στο Ισραήλ και τα κοιτάσματα Ζορ στην Αίγυπτο και Κύπρο, αναβάθμισε την θέση της Κύπρου στον ενεργειακό χάρτη στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου και προσέλκυσε εταιρείες που διαθέτουν διεθνή εμπειρία εξερεύνησης και παραγωγής, οικονομική επιφάνεια και έντονη περιβαλλοντική ευαισθησία σε θαλάσσια περιβάλλοντα βαθέων νερών.

Ελληνική βιβλιογραφία & Άρθρα

- ❖ **Ανδρέας Γεωργακόπουλος:** Έρευνα και εκμετάλλευση υδρογονανθράκων, Πανεπιστημιακές σημειώσεις
- ❖ **Αντώνιος Φώσκολος, Ηλίας Κονοφάγος και Alain Bruneton:** Οι συγκλίνουσες λιθοσφαιρικές πλάκες και η ταυτόχρονη ύπαρξη πρίσματος επαύξησης και λασποηφαιστείων στην υπεράκτιο Νότια Κρήτη. Νέες προοπτικές εντοπισμού κοιτασμάτων υδρογονανθράκων στην Ελλάδα.
- ❖ **Αντώνιος Φώσκολος, Ηλίας Κονοφάγος (15/3/2016):** Μετά τον Ερατοσθένη νέες προοπτικές φυσικού αερίου και στην κυπριακή λεκάνη Ηρόδοτου.
- ❖ **Μουντράκης Δημοσθένης:** Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας, Έκδοση: 1η έκδ./2010,
- ❖ **Foreign Affairs (The Hellenic edition):** Ο ρόλος των υδρογονανθράκων για την ελληνική οικονομία – 18/6/2020
- ❖ **OfflinePost (23/1/2020):** Κύπρος και φυσικό αέριο: Μία αναδρομή από το 1980 έως σήμερα

Ξένη βιβλιογραφία:

- ❖ **Abd El-Halim, M.A. Kababi, A.A. Mahmoud and N. Nabih (2019):** Exploration and development of siliciclastic and carbonate reservoirs in the Eastern Mediterranean
- ❖ **Abdel Aal A, El Barkooky A, Gerrits M, Meyer H, Schwander M, Zaki H. (2000):** Tectonic evolution of the eastern Mediterranean basin and its significance for hydrocarbon prospectively in the ultra-deep water of Nile Delta. The leading Edge 19(10):1086-1100:
- ❖ **Alexandros Konstantinou, Efthymios Efthymiou, Stelios Nicolaides, Konstantinos Nikolaou (2017):** Tectonostratigraphic evolution of the Eratosthenes Continental Block using seismic interpretation and subsidence modelling: Lessons learned from the Zohr discovery.
- ❖ **Amr Hamouda, Suzan El-Gharabawy (2019):** Impacts of Neotectonics and Salt Diaper on the Nile Fan Deposit, Eastern Mediterranean.



- ❖ **Barsoum, K., Della Martera, M., & Menardi Noguera, A. (2000):** Gas chimneys in the Nile delta slope and gas filed occurrence. EAGE Conference on Geology and Petroleum Geology, St Julians Malta.
- ❖ **Barrier E. and Vrielynck B. (2008):** Paleotectonic Maps of the Middle East, Middle East Basins Evolution.
- ❖ **Bayon, G.,L. Loncke, S. Dupré, J.-C. Caprais, E. Ducassou, S. Duperron, J.Etoubleau J.-P.Fouchera Y. Fouqueta, S .Gontharet, G.M. Henderson, C. Hugueni, Klaucke J. Mascle S.Migeon K.Olu-Le Royd H.Ondréa C.Pierre ...J. Woodside (2009):** Multi-disciplinary investigation of fluid seepage on an unstable margin: The case of the Central Nile deep sea fan
- ❖ **Bellaiche, G., Zitter, T., Droz, L., Gaullier, V., Mart, Y., Mascle, J. Prised II scientific parties, (1999):** Le cone sous- marin profond du Nil: principaux resultats de la campagne “Prised II” du N.O “L” Atalante”. Comptes Rendus Academy Scientific (Paris) 329, 727-733.
- ❖ **Bellaiche, G., Lonche, L., Gaullier, V., Mascle, J., Courp, T., Moreau, A., Radan, S., Sardou, O., (2001):**): Le cone sous- marin profond du Nil et son reseau de chenaux profonds:nouveaux resultats (campagne Fanil). CRAS, Paris 333, 399-404.
- ❖ **Bertoni, C., Cartwright, J.A., (2007):** Clastic depositional systems at the base of the late Miocene evaporites of the Levant region, Eastern Mediterranean, 285. Geological Society, London, Special Publication, pp. 37-52, 1.
- ❖ **B. Biju-Duval, J. Letouzey, L. Montadert (1978):** Structure and Evolution of the Mediterranean Basins.
- ❖ **Blanc, P.L., (2000): Of sills and straits:** a quantitative assessment of the messinian salinity crisis. Deep-sea Res. Part Oceanogr. Res. Pap. 47, 1429-1460.
- ❖ **Blanc, P.L., (2002):** The opening of the Plio-Quaternary Gibraltar Strait: Assessing the size of a cataclysm. Geodin. Acta 15, 303-317.
- ❖ **Chamot-Rooke, N., Rabaute, A., Kreemer, C., (2005):** Western Mediterranean Ridge mud belt correlates with active shear strain at the prism-backstop geological contact
- ❖ **Chaumillon, E., Mascle, J., (1997):** Pre-collisional geodynamics of the Mediterranean Sea: The Mediterranean Ridge and the Tyrrhenian Sea

- ❖ **Cita, M. B., Camlenghi, A., Erba, E., McCoy, F. W., Castadrori, D., Cazzani, A., Guasti, G., Gambastiani, M., Lucchi, R., Nolli, V., Pezzi, G., Redaelli, M., Rizzi, E., Torriceli, S., & Violanti, D. (1989):** Discovery of mud diapirism in the Mediterranean Ridge a preliminary report. Bollentino della Societa Geological Italiana, 108, 537-543.
- ❖ **Coleman, D.F., & Ballard, R. D. (2001):** A highly concentrated region of cold hudrocarbon seeps in the southeastern Mediterranean Sea. Geo-Marine Letters, 21,162-167.
- ❖ **Daniel Garcia – Castellanos, Aaron Micallef, Ferran Estrada, Angelo Camerlenghie Gemma Ercilla, Raúl Periañez, José María Abril (2020):** The Zanclean megaflood of the Mediterranean – Searching for independent evidence.
- ❖ **Dimitrov, L. I & Woodside, J. (2003):** Deep-sea pockmark environments in the Eastern Mediterranean. Marine Geology, 195 (1-4), 263-276.
- ❖ **Dolson J.C., Boucher, P.J., Shann. M.V., (2000):** Exploration potential in the offshore Mediterranean, Egypt: perspectives from the context of Egypt’s future resources and business challenges. EAGE Conference on Geology and Petroleum Geology, Malta.
- ❖ **Elia C., Konstantopoulos P., Maravelis A. and Zelilidis A. (2013):** The Tectono-Stratigraphic evolution of Eastern Mediterranean with emphasis on Herodotus basin prospectivity for the development of hydrocarbon fields.
- ❖ **Emery O., Heezen C. B., Allan D. T. (1965):** Bathymetry of the Mediterranean Sea. Deep-Sea Research, 1966, Vol. 13, p. 173-193.
- ❖ **Furstenau, J.Hawie, N.Comstock, J. and lowrey. C.J., (2013):** Aspects of the depositional history of the Levant Basin offshore Cyprus and Lebanon. In offshore Mediterranean Conference, Ravenna, Italy.
- ❖ **F. J. Pettijohn, P. E. Potter, R. Siever: Book:** Sand and sandstones, Springer-Verlag; New York, Berlin, Heidelberg, London, Paris, Tokyo, 1987
- ❖ **Galindo-Zaldívar et.. al. (2011):**Is there an active subduction beneath the Gibraltar orogenic arc? Constraints from Pliocene to present-day stress field
- ❖ **Gardosh, M. Druckman, Y.Buchbinder, B and Rybakov, M., (2008):** The Levant basin offshore Israel: stratigraphy, structure, tectonic evolution and implications for hydrocarbon exploration.

- ❖ **Garfunkel, Z., (1998):** Constrains on the origin and history of the Eastern Mediterranean basin. *Tectonophysics* 298(1-3):5-35.
- ❖ **Garfunkel, Z., (2004):** Origin of the eastern Mediterranean basin: a reevaluation. *Tectonophysics* 391(1), 11-34.
- ❖ **Gaullier V., Mart Y., Bellaiche G., Mascle J., Vendeville B., Zitter T., (2000):** Salt tectonics in and around the Nile Deep Sea Fan: Insights from the PRISMED II cruise.
- ❖ **Gorini, C., Montadert, L., Rabineau, M., (2005):** New imaging of the salinity crisis: dual Messinian lowstand megasequences recorded in the deep basin of both the eastern and western Mediterranean. *Mar. Petrol. Geol.* 66, 278-294.
- ❖ **Gradmann, S., C. Hubscher, Z. Ben-Avraham, D. Gajewski and G. Netzeband (2005):** Salt tectonics off northern Israel. *Marine and Petroleum Geology*.
- ❖ **Gvirtzman, Z., Manzi, V., Calvo, R., Gavrieli, I., Gennari, R., Lugli, S., Reghizzi, M., Roveri, M., 2017:** Intra – Messinian truncation surface in the Levant basin explained by subaqueous dissolution. *Geology* 45, 915-918.
- ❖ **Hsu, K.J., Montadert, L., Bernoulli, D., Gita, M.B., Erickson, A., Garrison. R.E., Kidd, R.B., Melieres, F., Muller, C., Wright, R., (1977):** History of the Mediterranean salinity crisis. *Nature* 267(5610), 399-403.
- ❖ **Hamouda AZ. (2006):** Numerical computations of 1303 tsunamigenic propagation towards Alexandria, Egyptian coast. *Journal of African Earth Science* 44.
- ❖ **Huahua Gao, Zhixin Wen, Buqing Shi, Zhaoming Wang (2020):** Tectonic characteristics of the Eratosthenes Seamount and its periphery: Implications for evolution of the eastern Mediterranean:37-44.
- ❖ **Ignat Nikolayevch Korchagin (2015):** Operative assessment of hydrocarbon potential of Zohr prospect in the Mediterranean Sea (Shorouk block, Egypt offshore) by the frequency – resonance method of the remote sensing data processing and interpretation.
- ❖ **Kafisanwo O, Falade A, Bakare O, Oresanya A. (2018):** Reservoir characterization and prospect identification in Onka field, offshore Niger Delta. *Environmental and Earth Sciences Research Journal* 5(4):79-86.

- ❖ **Loncke L., Virginie Gaullier, Jean Mascle, Bruno C. Vendeville (2006):** The Nile deep – sea fan: An example of interacting sedimentation, salt tectonics, and inherited subsalt paleotopographic features. *Mar. Petr. Geol.* 23(3):297-315.
- ❖ **Loncke L., Virginie Gaullier, Droz L. Ducassou E, Migeon S, Mascle J. (2009):** Multi-scale slope instabilities along the Nile deep-sea fan, Egyptian margin: A general overview. *Marine and Petroleum Geology* 26(5):633-646.
- ❖ **Loncke L., Mascle J. (2004):** Mud volcanoes, gas chimneys, pockmarks and mounds in the Nile deep sea fan (eastern Mediterranean): geophysical evidences.
- ❖ **Loubrieu, B., Huguen, C., Mascle, J., Chamot -Rooke, N., (2006):** Morphology of a Pre-collisional, Salt-bearing, Accretionary Complex: The Mediterranean Ridge (Eastern Mediterranean)
- ❖ **Madof, A.S., Bertoni, C., Lofi, J., (2019):** Discovery of vast fluvial deposits provides evidence for drawdown during the late Miocene Messinian salinity crisis. *Geology* 47(2), 171-174.
- ❖ **Manzi, V., Gennari, R., Hilgen, F., Krijgsman, W., Lugli, S., Roveri, M., Sierro, F.J., (2013):** Age refinement of the Messinian salinity crisis onset in the Mediterranean. *Terra Nova* 25(4), 315-322.
- ❖ **Mahmoud Leilaa, Andrea Moscariello Mahmoud Koraa, Ahmed Mohameda Elias Samankassou (2019):** Sedimentology and reservoir quality of a Messinian mixed siliciclastic-carbonate succession, onshore Nile Delta, Egypt.
- ❖ **Mascle, J., Benkhelil, J., Bellaiche, G. Zitter, T., Woodside, J., Loncke L., (2000):** Marine geologic evidence for a Levantine-Sinay plate, a missing piece of the Mediterranean puzzle. *Geology* 228, 779-782.
- ❖ **McClusky, S. Balassanian, S., Barka, A., Demir, C. Ergintav, S., Georgiev I., Gurka, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kadtens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, s., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M. Reilinger, R., Sanli, I., Seeger. H., Tealeb, A., Toksoz, M.N., Veis, G., (2000):** GPS constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research* 105., 5695-5719.
- ❖ **Michael D. Krom, Steven Groom (2020):** The Eastern Mediterranean.

- ❖ **M. Neumaier, Attila Bartha, B. Wygrala (2020):** The Zohr Biogenic Gas Discovery: An Initial Assessment of Controlling Factors in the Petroleum System.
- ❖ **Mohamed Ahmed Tolba, Muhammad Karam Omar, Ola Amr Hussein, Samir Zayed (2020):** The Flow Assurance Criticalities and Challenges Management of Zohr Deepwater Giant Gas Field.
- ❖ **Muttoni, G.; Maurizio Gaetani; Dennis V. Kent; Dario Sciunnach; Lucia Angiolini; Fabrizio Berra; Eduardo Garzanti; Massimo Mattei; Andrea Zanchi (2009):** Opening of the Neo-Tethys Ocean and the Pangea B to Pangea A transformation during the Permian
- ❖ **Nader, F., Swennen, R., (2004):** Petroleum prospects of Lebanon: some remarks from sedimentological and diagenetic studies of Jurassic carbonates.
- ❖ **OffshoreTechnology:** Aphrodite gas field - <https://www.offshore-technology.com/projects/aphrodite-gas-field>.
- ❖ **P. Filleaudeau, M. Dubille, P. Chavahnac and J. Baur (2019):** Methanogenesis in a Continuous Hydrocarbon Generation Process for 3D Migration Basin Model – Eastern Mediterranean Offshore.
- ❖ **P. Esestime, A. Hewitt, N. Hodgson (2016):** Zohr – A newborn carbonate play in the Levantine Basin, East-Mediterranean.
- ❖ **Radeff, G., Schildgen, T.F., Cosentino, D., Strecker, M.R., Cipollari, P., Darbas, G., Gurbuz, K., (2017):** Sedimentary evidence for the late messinian uplift of the SE margin of the central anatolian plateau: adana basin, southern Turkey, Basin Res.29,488-514.
- ❖ **Rashid A, El-Gharabawy S, Abou Shagar S. (2018):** Geological and structural evaluation on temsah gas field, ne-offshore Nile delta, Egypt. International Journal of Scientific Engineering and Applied Science 4(7):18-29.
- ❖ **Ray, W.B. F. (1978):** Messinian badlands in the southeastern margin of the Mediterranean Sea. Marine Geology, 27, 349-363.
- ❖ **Reeder S. M., Rothwell G. R., Stow A.V.D., (2000):** Influence of Sea Level and Basin Physiography on Emplacement of The Late Pleistocene Herodotus Basin Megaturbidite,

- ❖ **Reeder M., Rothwell G., Stow V.A. D., Kahler G. and Kenyon H. N:** Turbidite Flux, Architecture and Chemostratigraphy Of the Herodotus Basin, Levantine Sea,
- ❖ **Reeder M. S., (2000):** Megaturbidites and the Late Quaternary Regional Sedimentology of The Eastern and Central Mediterranean Sea.
- ❖ **Roberts G. and Peace D. (2007):** Hydrocarbon Plays and Prospectivity of Lebantine Basin, Off-shore Lebanon and Syria from modern seismic data, GeoArabia Vol.12, No.3
- ❖ **Roberton, (1998a):** Tectonic significance of the Eratoshenes Seamount: a continental fragment in the process of collision which a subduction zone in the eastern Mediterranean
- ❖ **Roberton, (1998b):** Mesozoic-Tertiary tectonic evolution of the Eastermost Mediterranean area: Integration of marine and land evidence
- ❖ **Salem, R., (1976):** Evolution of Eocene-Miocene sedimentation patterns in parts of northern Egypt. AAPG Bulletin 60, 34-64
- ❖ **Scalera G. (2006):** The Mediterranean as a slowly nascent ocean. Annals of Geophysics,
- ❖ **Sebastian Grohmann, Susanne W. Fietz, Ralf Littke, Samer Bou Daher, Maria Fernanda Romero-Sarmiento, Fadi Henri Nader and Francois Baudin (2018):** Source rock characterization of mesozoic to cenozoic organic matter rich marls and shales of the Eratosthenes Seamount, Eastern Mediterranean Sea
- ❖ **Semb H.P. (2009):** Possible Seismic Hydrocarbon indicators in offshore Cyprus and Lebanon, GeoArabia 14:49-66
- ❖ **Stage, L., & Letouzey, J. (1990).** Convergence of the Africa and Eurasian plate in the Eastern Mediterranean. In J.Letouzey (Ed), Petroleum and tectonics in mobile belts, Paris (pp. 49-68).
- ❖ **Tanner J. S., (1983):** A Detailed Survey in The Mediterranean Rise and Herodotus Basin Area
- ❖ **Varnavas S. Papaioannou, J. and Catani J., (1988):** A Hydrothermal Manganese Deposit from the Eratosthenes Seamount, Eastern Mediterranean Sea.
- ❖ **T. J. Calon, Jeremy Hall (2005):** Structural evolution of the Latakia Ridge and Cyprus Basin at the front of the Cyprus Arc, Eastern Mediterranean Sea



- ❖ **Vasilis Symeou, Catherine Homberg, Fadi H. Nader, Romain Darnault, Jean - claude Lecomte, Nikolaos Papadimitriou (2017):** Longitudinal and Temporal Evolution of the Tectonic Style Along the Cyprus Arc System, Assessed Through 2-D Reflection Seismic Interpretation: Tectonic Style of the Cyprus Arc System .
- ❖ **Xiaodong P, Xinguang W, Luyi t, Hua L, Hao L, Xindong L, Yuxi C. (2015):** A new method for deliverability evaluation of offshore gas reservoir with high temperature and pressure. Environmental and Earth Science Research Journal 2(1):1-6.
- ❖ **Zitter, T., J. L Charlou, J. P Donvala, N.Royb, P. Jean-Baptiste, J. P Fouchera J. Woodside (2003):** Evidence of methane venting and geochemistry of brines on mud volcanoes of the eastern Mediterranean Sea