Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Spring 2025, Vol. 15(1): 27 - 50

Research Article

# Investigating the diverse depositional environments in the Aghajari Formation in a part of the Bibi Hakimeh oil field

Mohammad Reza Zakerzadeh[1]*

1- Operation geology division NISOC

***Keywords***: *Aghajari Formation, Bibi Hakimeh Oil Field, Depositional Environment, Facies, Transitional Environments.*

## 1- Introduction

The Aghajari Formation, Miocene-Pliocene age, is the thickest in the Zagros sedimentary basin. The thickness of this formation has been measured at about 2966 meters in the type section, but its maximum thickness, which has been drilled so far, is about 4658 meters in Papileh#1 oil well, 35 km northeast of the Dezful city. The Aghajari Formation consists of sequences of thick-bedded red marls, siltstones, and sandstones. In many areas of the Zagros Basin, the depositional environments considered for the Aghajari Formation are fluvial, but on the shorelines of the Persian Gulf and Qeshm Island, it exhibits marine characteristics (Motiei, 1993). The main object of the present article is to investigate the depositional environment of the Aghajari Formation to introduce the fossil faunal and floral associations that dominated it and also to investigate and search for the presence of depositional environments other than the fluvial environment in this formation in a part of the Bibi Hakimeh oil field. Another purpose is to show that the Aghajari Formation can be very suitable for studying biostratigraphy, sedimentology, ichnology, paleobotany, palynology, paleoclimatology, and other geological aspects.

## 2- Material and methods

In the first step, the surface survey was carried out in the study area to select an appropriate section of the Aghajari Formation. After that, field works were carried out to evaluate the area's geological characteristics of the area, including surface survey, photographing, taking flown attributes and measurements, and collecting required hand samples. Nineteen samples were collected from the identified limestone and peat layers and veins. Twenty thin sections were prepared from them for laboratory studies. About 100 photomicrographs were taken from the microscopic characteristics of the identified facies. Data from 14 oil wells were used to identify the lithological features and other subsurface descriptions of the Aghajari Formation. Finally, the data was analyzed and interpreted based on the most recent and relevant domestic and foreign studies.

## 3- Results and discussions

The Aghajari Formation gradationally overlies the Mishan Formation and is mainly conformably overlain by the Bakhtiary Formation, with or without the Lahbary Member (James & Wynd 1965; Motiei 1993). The study area is located in the southeastern part of the Bibi Hakimeh huge anticline or giant oil field at 50°45', 50°50' E and 29°55' to 30°05' N. This oil field is located in the southern Dezful Embayment and is 84km long and 7km wide. Depositional environments describe the combination of physical, chemical, and biological processes associated with depositing a particular sediment type. Sedimentary facies is a body of rock, typically a sequence of several strata or beds, that is distinct from adjacent strata based on observable

* Corresponding author: mrz223.geo@gmail.com
DOI: 10.22055/aag.2024.46524.2448
Received: 2024-04-04
Accepted: 2024-12-05


ISSN: 2717-0764
CC BY

characteristics such as sedimentary structures and textures, fossil contents, lithology differences, etc., therefore, to interpret and analyze depositional environments, sedimentary facies and their changes should be investigated (Moussavi-Harami, 2013).
The following lithological and biological facies were identified to determine diverse depositional environments in the Aghajari Formation :

**3-1-Evaporites lithofacies:**
The study area has numerous layers and veins of gypsum and anhydrite. According to Motiei (1993), these layers are the possible result of evaporation and drying of seasonal lakes. Such lakes are created in the continent or inland and are enclosed basins or shallow depressions not connected to the sea waters. Lacustrine deposits can include evaporite and seasonal fine-grained detrital sediments. Lacustrine evaporites are usually dominated by gypsum and anhydrite with nodular and laminated textures rather than as bedded bottom nucleated layers on the subaqueous floors of perennial brine lakes or massive marine evaporites and, deposited in widespread evaporitic mudflats and saltpans (Rosell, 2007; Warren, 2016). The evaporite layers and veins are completely nodular in the study area and show nodular texture. There are also thin laminae or veins of laminated gypsum. According to the above studies, these lithofacies formed in shallow lacustrine environments where subaqueous sedimentation of primary gypsum laminae occurred.

**3-2- Plant remains biofacies:**
A thin layer of peat containing many carbonized floral remains was found in the study area. These Plant remains include pieces and fragments of various plants, most likely belonging to mangroves or mangrove-like plants. Various depositional environments for these plant remnants, such as flood plains, tidal flats, salt marshes, and estuaries, can be considered. The most important habitats in which mangroves and mangrove-like plants live are estuaries and salt marshes (Day et al., 2012). Estuaries are partly sheltered areas found near river mouths, where land freshwater mixes with seawater. Estuaries are transitional, dynamic, and sensitive environments. Estuaries could be considered transition zones between freshwater and marine water habitats and transitions from land to sea. Many of their physical and biological attributes are transitional and unique. This ecosystem comprises brackish water, which differs from freshwater and marine water. A salt marsh is a marshy area found near estuaries. The water quality in salt marshes varies from completely saturated with salt to fresh water (Day et al., 2012). The study area's river channels, ripple marks, and weak cross-bedding confirm the fluvial environment. It is assumed that along the entire shorelines of circum-Tethyan basins, including Iran, from the Cretaceous to recent, special mangrove genera such as Avicennia sp., Rhizophora sp., and Nypa sp. have been dominated (Srivastava and Prasad, 2019).

**3-3- Oyster reef biofacies:**
Another important facies in the studied area is the oyster reef biofacies, observed in massive colonies and large accumulations of oysters. The common oysters in this biofacies belong to Magallana gryphoides (Schlotheim, 1820) species, a distinct species with the age range of Miocene-Pliocene (Harzhauser et al., 2015). Other oysters present in this reef belong to the *Ostrea* genus. From the Miocene to the Quaternary, many species belonging to the genus *Magallana* left the shallow marine environments due to the increase in predator organisms and chose the soft and sandy substrate of the estuarine environments in all shorelines of the Circum-Tethys (Cuitino et al., 2013).

**3-4- Carbonate biofacies:**
**3-4-1- *Charophyte* algae carbonate facies:**
Charophyte algae are green algae and have many similarities with some land plants. These algae are reliable tools in biostratigraphical studies. Charophytes are usually found in very shallow environments up to 50 meters, such as marginal coasts with low energy conditions, coastal marginal brackish lakes up to 12 meters, and shallow freshwater lakes (Hughes, 2014). In the study area, Biofacies that only contain Charophyte algae indicate environments with relatively fresh to brackish waters, that is, the transitional environments. The biofacies that contain benthic foraminifers and Charophyte algae denote more water energy and the


ISSN: 2717-0764
CC BY

transformation of the transitional environments to shallow marine and marginal marine conditions. The presence of some Charophyte algae in a low amount associated with the thick carapace ostracods indicates the deepening of the water depth and increase in water salinity and energy (Perez-Cano, 2022).

**3-4-2- Foraminifera carbonate biofacies:**

Benthic foraminifera live in shallow, low-energy marine environments and lagoons. Usually, these organisms are very useful for interpreting the water depth, salinity, light penetration rate, water energy, and other environmental factors of different depositional environments (BouDagher-Fadel, 2017). Another carbonate biofacies identified in the Aghajari Formation in the study area is the benthic foraminifera-dominated biofacies. The foraminifera in this biofacies are Elphidium haueriunum (d'Orbigny, 1846), small rotalids, and rare Nonion sp.

This biofacies is equal to the Wynd (1965) Assemblage Zone number 66 as:

Elphidium-Rotalia-Ostracoda Assemblage zone (Wynd, 1965)

The Miocene-Pliocene is considered for this biozone. The depositional environment considered for this biofacies is the shallow and low-energy parts of the lagoon towards the coast. Elphiduim species with keel live epibenthic on muddy and sandy substrates near sea grasses and meadows up to 50 meters. Species with no keel live in shallower environments such as coastal lagoons (Hughes, 2014).

**3-4-3- Ostracoda carbonate biofacies:**

Ostracoda carbonate biofacies are found in thin-bedded limestone layers. Ostracods are one of the most important tools in paleontology for interpreting depositional environments. There are two categories of ostracods: the fresh and brackish water ostracods or non-cypridean and marine ostracods or cypridean (Danielopol et al. 2007). Ostracods mentioned for the Aghajari Formation by Wynd (1965) are all marine type or cypridean, including:

*Trachyleberis* sp., *Cytheridea* sp., *Bairdea* sp.,

Non-cyprians have smooth, thin, weak, and bean-shaped carapaces or valves without ornamentations, while cypridean ostracods have rough, thick, firm, elongated, and porous carapaces. In high-energy marine environments, many ornamentations are also seen on their valves. The ostracods in this biofacies have coarse and thick carapaces and irregular valve surfaces, therefore attributed to marine ostracods.

## 4- Conclusion

In the studied area, the Aghajari Formation includes various lithofacies and biofacies. The most important of these facies are Evaporites lithofacies, Plant remains biofacies, Oyster reef biofacies, Charophyte algae carbonate facies, Foraminifera carbonate biofacies, and Ostracoda carbonate biofacies. According to these identified facies, different depositional environments can be proposed for the Aghajari Formation in the region as follows: gypsum and anhydrite with nodular and laminated textures indicate the lacustrine environment. River channels, ripple marks around the channels, and weak cross-bedding confirm the fluvial environment. The abundant Plant remains in the peat vein, oyster reef, massive colonies, and copious Charophyte algae, which indicate possible transitional environments such as salt marshes and estuaries. Finally, abundant benthic foraminifera and ostracods with thick carapace and some algae and bryozoans denote a shallow marine environment. Therefore, like the northern coasts of the Persian Gulf, shallow marine conditions are also expected in the study area. In the study area, the Aghajari Formation is also rich in fossil plant remains, oysters, Charophyte algae, bivalves, gastropods, benthic foraminifera, and ostracods.

## References

BouDagher-Fadel, M.K., 2018. Evolution and geological significance of larger benthic foraminifera. Developments in Palaeontology and Stratigraphy, 1st edition. Elsevier, Amsterdam, p. 544, https://doi.org/10.2307/j.ctvqhsq3

Cuitino, J.I., Santos, R.V., Scasso, R.A., 2013. Insights into the Distribution of Shallow-Marine to Estuarine Early Miocene Oysters from Southwestern Patagonia: Sedimentologic and Stable Isotope Constraints. PALAIOS 28, 583–598. https://doi.org/10.2110/palo.2012.p12-105r



ISSN: 2717-0764

CC BY

Danielopol, D.L., Gross, M., Piller, W.E., 2007. Taxonomic diversity of middle Miocene ostracoda assemblages- A useful tool for palaeoenvironmental characterization of the Hainburg Area (Vienna Basin). Joannea Geologie und Paläontologie, Austria, 9, 25-30.

Day, J.W., Crump, B.C., Kemp, W.M., Yanez-Arancibia, A., 2012. ESTUARINE ECOLOGY, 2nd edition, John Wiley and Sons Publication, Singapore, p. 257

Harzhauser, M., Djuricic, A., Mandic, O., Neubauer T.A., Zuschin, M., Pfeifer, N., 2015. Age structure, carbonate production and shell loss rate in an Early Miocene reef of giant oyster Crassostrea gryphoides. Biogeosciences Discuss 12, 15867–15900. https://doi.org/ 10.5194/bgd-12-15867-2015

Hughes, G.W., 2014. Micropalaeontology and palaeoenvironments of the Miocene Wadi Waqb carbonate of the northern Saudi Arabian Red Sea. GeoArabia 19, 59-108. https://doi.org/10.2113/geoarabia190459

James, G.A., Wynd, J.G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. American Association Petroleum Geological Bulletin 49, 2182–2245.

Motiei, H., 1993. Geology of Iran, Stratigraphy of Zagros, 1st edition, Iranian Geological Survey Publications Tehran, p. 536

Moussavi-Harami, R., 2013. Sedimentology, 5th edition, Astan Quds publication, Tehran, Iran, p. 474

Perez-Cano, J., Bover-Arnal, T., Martin-Closas, C., 2022. Charophyte communities in Barremian Iberian wetlands. Facies 68, 13-51. https://doi.org/10.1007/s10347-022-00651-6

Rosell, L., 2007. Depositional models of lacustrine evaporites in the SE margin of the Ebro Basin (Paleogene, NE Spain). Geologica Acta 5, 19-34. https://www.reseafchgate.net/publication/28156654

Srivastava, J., Prasad, V., 2019. Evolution and Paleobiogeography of Mangroves. Marine Ecology 14, 1-19. https://doi.org/10.1111/maec.12571

Warren, J. K., 2016. Evaporites, 2nd edition, Springer cham, Switzerland, p. 1813. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39193-9_100-1

Wynd, J.G., 1965. Biofacies of the Iranian Oil Consortium Agreement Area. Iranian Oil Operation Companies. Geological and Exploration Division, Tehran, Report No. 1082.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Zakerzadeh, M., 2025. Investigating the diverse depositional environments in the Aghajari Formation in a part of the Bibi Hakimeh oil field. Adv. Appl. Geol. 15 (1). 27-50.
DOI: 10.22055/aag.2024.46524.2448, 27-50.
https://aag.scu.ac.ir/article_19844.html

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers


ISSN: 2717-0764

مقاله پژوهشی

# بررسی محیط‌های رسوبی متنوع در سازند آغاجاری در بخشی از میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه

**محمدرضا ذاکرزاده**

*اداره عملیات زمین شناسی، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب*

*mrz223.geo@gmail.com*

*تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۶ تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۰۹/۱۵*

## چکیده

سازند آواری آغاجاری با سن میوسن-پلیوسن، ضخیم‌ترین سازند نهشته شده در حوضه رسوبی زاگرس است که مشتمل بر رخساره‌های سنگی مارنی، سیلتستونی و ماسه‌سنگی است. عمده‌ترین محیط رسوبی در نظر گرفته شده برای این سازند در اغلب نقاط حوضه رسوبی زاگرس بویژه در نواحی شمالی و مرکزی فروافتادگی دزفول، محیط‌های رودخانه‌ای است. در بخش‌هایی از نواحی جنوبی فروافتادگی دزفول و در مجاورت سواحل خلیج فارس محیط رسوبی دریایی نیز برای این سازند ذکر شده است ولی مطالعات چندانی دراین باره صورت نپذیرفته است. در محدوده مورد مطالعه که در بخش‌هایی از جنوب شرق میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه واقع شده سازند آغاجاری افزون بر ماسه‌سنگ و مارن، حاوی لایه‌های نازک آهکی و انیدریتی نیز هست. با توجه به رخساره‌های زیستی و سنگی متنوع شناسایی شده از جمله رخساره کربناته استراکوددار، رخساره کربناته روزنبران کف‌زی و رخساره کربناته جلبک‌های کاروفیت، رخساره لایه‌های اویستردار، رخساره زیستی گیاهی یا رگه پیت، وجود کانال‌های رودخانه‌ای، چینه بندی‌های متقاطع و ریپل مارک و همچنین رخساره تبخیری شامل ژیپس و انیدریت‌های قلوه‌ای و لامینه‌ای، افزون بر محیط رودخانه‌ای می‌توان محیط‌های رسوبی دیگری را از قبیل محیط دریایی کم‌عمق، محیط‌های محتمل حدواسطی مانند باتلاق‌های نمکی و محیط‌های خلیج دهانه‌ای و همچنین محیط دریاچه‌ای را برای این سازند در محدوده مورد مطالعه در نظر گرفت. سازند آغاجاری در این ناحیه حاوی بایوتای متنوع و غنی سنگواره‌ای از جنس‌ها و گونه‌های مختلف استراکودها، روزنبران کف‌زی، جلبک‌های کاروفیت، اویسترها، گیاهان، دوکفه‌ای‌ها و شکم‌پایان است.

**واژه‌های کلیدی:** سازند آغاجاری، میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه، محیط رسوبی، رخساره، محیط‌های حدواسط

## ۱- مقدمه

سازند آواری آغاجاری ضخیم‌ترین سازند حوضه رسوبی زاگرس است که در پهنه وسیعی از این حوضه و فراتر از خاک ایران با تغییر رخساره در بخش‌هایی از کشورهای عراق، کویت، ترکیه و عربستان هم گسترش یافته است (Motiei, 1993). در مطالعات زمین‌شناسی زاگرس و به خصوص مطالعات زمین‌شناسی نفت، سازند آغاجاری در مقایسه با سازندهای دیگری همچون سازند آسماری، کمتر مورد توجه قرار گرفته و مطالعات اندکی بر روی این سازند انجام شده است که دلایل آن هم می‌تواند ضخامت بسیار زیاد، نداشتن جنبه اقتصادی در صنعت نفت، غیر مخزنی بودن این سازند، نبودن بایوتای مناسب و قابل قبول برای مطالعات زیست چینه‌نگاری در بسیاری از نقاط، عدم برداشت نمودارهای پتروفیزیکی درون چاهی از این سازند و همچنین مهم نبودن این سازند در نقاط حساس جداره‌گذاری (Casing point) و آستری‌گذاری (Liner point) در عملیات حفاری چاه‌های نفت باشد. در عملیات حفاری چاه‌های نفت نیز این سازند به دلیل ضخامت بسیار زیاد، ریزش دیواره چاه (Hole wash out) با توجه به نرم بودن سنگ‌شناسی غالب این سازند، تنگی‌های مکرر دیواره چاه (Tight hole)، شستشو و تراش دیواره چاه (Wash and Rim) به دفعات زیاد، سوراخ شدن و بریدن مکرر رشته لوله‌های حفاری (Pipes wash out and twist off) به سبب وجود ماسه‌سنگ‌های فراوان و مارن‌های چسبنده، گیر رشته لوله‌های حفاری (Pipe stuck) و بد بودن کیفیت نمونه‌های خرده‌های حفاری (Poor Drilling Cuttings)، جزو سازندهای دردسر ساز محسوب می‌شود. علیرغم تمامی این مشکلات، سازند آغاجاری برای مطالعاتی نظیر رسوب‌شناسی، ایکنولوژی، بررسی

ساخت‌های رسوبی و جنبه‌های دیگر زمین‌شناسی بسیار مناسب است. همزمان با کوهزایی آلپین، چرخهٔ رسوبی فارس که مشتمل بر یک چرخه زمین‌ساختی-چینه‌شناسی است در یک دریای پسرونده به سمت جنوب غرب تشکیل می‌گردد. در میوسن پایانی و پلیوسن، حرکات کوهزایی و پسروی دریا متاثر از چین خوردگی‌ها و راندگی‌ها سبب بوجود آمدن محیط‌های رسوبی کم عمق، قاره‌ای و حدواسط (Transitional Environments) نظیرخلیج‌های دهانه‌ای گردیدند که رسوبات آواری و تخریبی عمدتاً قرمز رنگ در آنها نهشته شد و منجر به تشکیل سازند آغاجاری گردید (Amiri Bakhtiar and Nouraei Nezhad, 2021). سازند آغاجاری یکی از سازندهای گروه فارس است که در ناحیه فروافتادگی دزفول احتمالاً به دلیل فرونشت تدریجی در هنگام رسوب‌گذاری، به ضخیم‌ترین سازند این ناحیه تبدیل شده است. بر اساس مطالعات Motiei (1993)، در حوضه رسوبی زاگرس، سازند آغاجاری با دو رخساره سنگی متفاوت قابل تشخیص و ردیابی است. اول رخساره سنگی ماسه‌سنگی که غالباً در نواحی فارس ساحلی و داخلی گسترش دارد و دیگری رخساره سنگی مارنی که در اکثر نواحی فروافتادگی دزفول و سواحل خلیج فارس توسعه یافته است. طبق نظر این محقق، سازند آغاجاری در کرانه‌های ساحلی خلیج فارس و جزیره قشم ویژگی‌ها و خصوصیات دریایی را از خود نشان می‌دهد و همچنین توالی رسوبی این سازند در حوالی میدان بی‌بی‌حکیمه دارای ژیپس است. بنا بر گفته این محقق سازند آغاجاری در نواحی خوزستان و لرستان غالباً از نوع رسوبات رودخانه‌ای (fluvial) است و در بخش‌های کوچکی از جنوب فروافتادگی دزفول شرایط دریایی را از خود نشان می‌دهد. سن سازند آغاجاری میوسن-پلیوسن تعیین شده است (James and Wynd, 1965). اپوک میوسن به عنوان یک دوره زمانی افزایش جهانی دمای هوا شناخته می‌شود و از لحاظ شرایط آب و هوایی در مقیاس جهانی، به جز در دوره‌های کوتاه مدت یخچالی، گرم‌ترین شرایط اقلیمی را در ۲۵ میلیون سال گذشته داشته است. در انتهای میوسن شرایط آب و هوایی، اندکی رو به خنک شدن گذاشت اما مهم‌ترین واقعه اقلیمی در انتهای میوسن و در اشکوب Messinian بوقوع پیوست که رویداد تبخیر دریای مدیترانه بود که به Mediterranean Salinity Crisis مشهور شده است (Bardshaw, 2021). اما در اپوک پلیوسن شرایط اقلیمی متفاوت و متغییری دیده می‌شود. ویژگی‌های آب و هوایی در این دوره زمانی از شرایط بسیار گرم با بروز دوره‌های گرمایش شدید بویژه در میانه‌های پلیوسن تا شرایط بسیار سرد یخچالی که به عصرهای یخبندان معروفند، متغیر بوده است. این تغییرات تقریباً در دوره‌های منظم حدوداً ۴۰ هزار ساله تکرار می‌شده است. در اپوک پلیوسن شرایط اقلیمی نسبت به اپوک میوسن خنک‌تر و خشک‌تر بوده، اما در مقایسه با شرایط اقلیمی عهد حاضر حدود ۲ الی ۳ درجه گرم‌تر و سطح متوسط آب دریاها حدود ۲۵ متر بالاتر بوده است (Steinthorsdottir et al., 2020). هدف این مقاله بررسی محیط‌های رسوبی سازند آغاجاری و معرفی جامعه سنگواره‌ای جانوری و گیاهی توسعه یافته در این محیط‌ها و همچنین بررسی و جستجوی وجود محیط‌های رسوبی غیر از محیط رسوبی رودخانه‌ای از این سازند در بخشی از میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه است. از سوی دیگر تاکید بر این مطلب که سازند آغاجاری نیز همچون بسیاری دیگر از سازندهای گسترش یافته در حوضه رسوبی زاگرس می‌تواند سازند مناسبی برای مطالعات گسترده زمین‌شناسی باشد. هر چند که نویسنده معتقد است که مطالعه پیش رو یک بررسی اولیه و به نوعی فاز اول و ابتدایی مطالعه‌ای گسترده در همین رابطه است، چه بسا که دسترسی به نتایج دقیق‌تر و کامل‌تر، نیاز به مطالعات دقیق چینه‌شناسی، دیرینه‌شناسی، رسوب‌شناسی، پالینولوژی، ایکنولوژی، گیاه‌شناسی‌دیرینه و بررسی دقیق‌تر رخساره‌های زیستی و سنگی سازند مورد مطالعه دارد.

## ۲- روش مطالعه

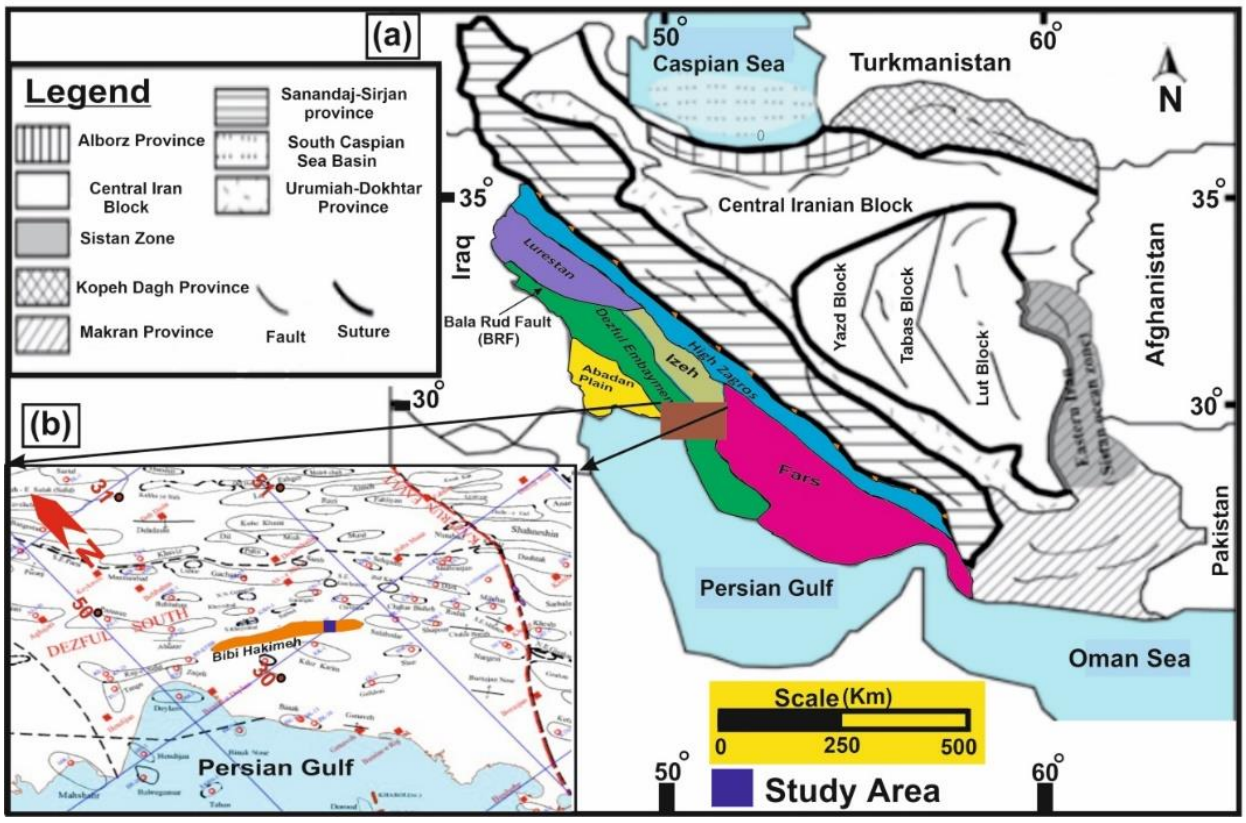
در گام نخست، پیمایش‌های سطحی و بررسی محدوده به منظور انتخاب برش مناسب بخشی از سازند آغاجاری برای مطالعه انجام گردید. از آنجایی که ضخامت سازند آغاجاری در محدوده مورد مطالعه به طور متوسط در حدود ۵۰۰ متر می باشد و از طرفی بیشتر قسمت‌های رخنمون یافته این سازند فاقد بایوتای مناسب و همچنین رخساره‌های مد نظر این پژوهش بودند، لذا یک برش چینه‌شناسی به ضخامت ۹۴ متر از قسمت‌های میانی سازند آغاجاری در میدان بی‌بی‌حکیمه در مجاورت چاه شماره ۱۰۰ انتخاب گردید که این برش شامل توالی کاملی از

رخساره‌های مورد بحث و همچنین مقطع عرضی یک رودخانه قدیمی است. پس از تعیین برش مناسب، عملیات صحرایی به منظور بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه شامل پیمایش‌های سطحی، عکس‌برداری، برداشت ویژگی‌های صحرایی و اندازه‌گیری‌های مد نظر و برداشت نمونه‌های دستی مورد نیاز صورت پذیرفت. حدود ۱۹ نمونه دستی از لایه‌ها و رگه‌های آهکی، ماسه سنگی و ذغالی گسترش یافته در برش انتخاب شده برداشت گردید و برای انجام بررسی‌های آزمایشگاهی از آنها ۲۰ مقطع نازک تهیه شد. لازم به ذکر است که نمونه برداری از لایه های مارنی و سیلتستونی این برش به دلیل اینکه عملاً فاقد بایوتای قابل توجهی بودند انجام نگردید. حدود ۱۰۰ عکس میکروسکوپی نیز از خصوصیات رخساره‌های شناسایی شده گرفته شد. برای شناسایی ویژگی‌های سنگ‌شناسی و سایر توصیفات سازند آغاجاری در حفاری‌های زیرسطحی، از اطلاعات ۱۴ حلقه چاه نفت حفاری شده در محدوده مورد مطالعه استفاده گردید. پس از جمع‌آوری داده‌های لازم، تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها، شناسایی مجموعه‌های سنگواره‌ای و توصیف محیط‌های رسوبی شناسایی شده بر مبنای جدیدترین و مشابه ترین مطالعات انجام شده داخلی و خارجی صورت گرفت.

## ۳- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

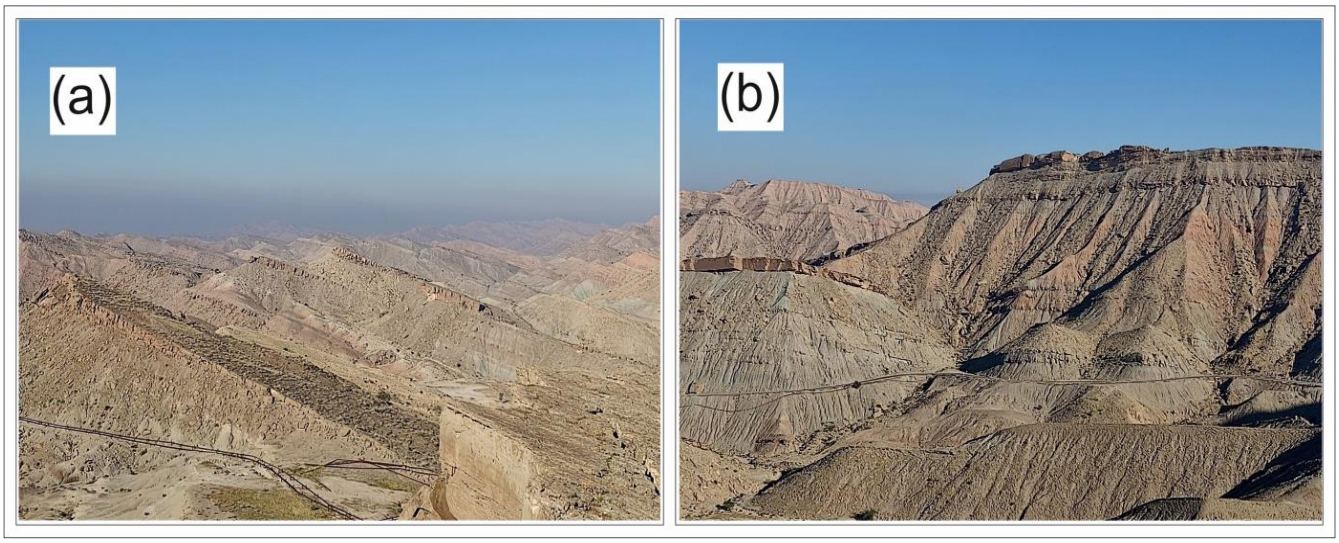
محدوده مورد مطالعه دربخش جنوب شرقی تاقدیس (میدان عظیم نفتی) بی‌بی‌حکیمه با مختصات جغرافیایی ′۴۵ °۵۰ الی ′۵۰ °۵۰ طول شرقی و ′۵۵ °۲۹ الی ′۰۵ °۳۰ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). در میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه با توجه به نبود و فرسایش سازند بختیاری، سازند آغاجاری غالباً به عنوان اولین سازند دارای رخنمون در منطقه گسترش یافته است (شکل ۲). در محدوده مورد مطالعه، سازند آغاجاری به صورت تدریجی بر روری سازند میشان قرارگرفته و از لحاظ سنگ‌شناسی شامل مارن‌ها و سیلتستون‌های قرمز رنگ ضخیم لایه، مارن‌های خاکستری و زیتونی رنگ ضخیم لایه، ماسه‌سنگ‌های ضخیم لایه قهوه‌ای و قرمز متمایل به قهوه‌ای، لایه‌های متوسط تا نازک آهکی و چندین لایه نازک و همچنین متوسط لایه انیدریتی است. یکی از تفاوت‌های سنگ‌شناسی سازند آغاجاری در میدان بی‌بی‌حکیمه با بسیاری دیگر از میادین جنوب غرب ایران و به ویژه ناحیه لرستان، گسترش فراوان مارن‌های خاکستری و زیتونی ضخیم لایه در توالی این سازند نسبت به سایر نواحی است. در شکل ۳ ستون سنگ‌شناسی سازند آغاجاری در برش برداشت شده نمایش داده شده است. ضخامت سازند آغاجاری در چاه‌های حفاری شده در میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه با توجه به موقعیت چاه بر روی تاقدیس و میزان عملکرد فرآیندهای فرسایشی، متغیر است و از کمتر از ۵۰ متر تا بیش از ۱۱۰۰ متر گزارش شده است. ضخامت حفاری شده این سازند در چاه‌های حفاری شده درمحدوده مورد مطالعه در جدول ۱ نمایش داده شده است. سازند آغاجاری در میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه در مقایسه با برخی دیگر از نواحی فروافتادگی دزفول، چندان هم ضخیم به نظر نمی‌رسد. در برش نمونه این سازند که توسط James و Wynd (۱۹۶۵) در اطراف شهر آغاجاری در استان خوزستان تعیین شده، ضخامت این سازند را ۲۹۶۶ متر اندازه‌گیری کرده‌اند، این در حالی است که ضخیم‌ترین توالی سازند آغاجاری در چاه شماره یک میدان پاپیله در ۳۵ کیلومتری شمال شرق دزفول به میزان ۴۶۵۸ متر حفاری و گزارش شده است، این در حالی است که میزان فرسایش یافته این سازند در این ناحیه مشخص نمی باشد.

میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه در ناحیه فروافتادگی دزفول و در بخش دزفول جنوبی واقع شده است. این میدان در مجاورت میادین نفتی معروف دیگری نظیر رگ‌سفید، پازنان، سیاه مکان، کیلورکریم، گرنگان و سولابدر قرار دارد. ابعاد این میدان به طول حدود ۸۴ کیلومتر و عرض ۷ کیلومتر می‌باشد. امتداد محوری تاقدیس بی‌بی‌حکیمه همچون بسیاری از ساختارهای زاگرس شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد. محدوده مورد مطالعه در بخش‌هایی از نواحی جنوب شرق میدان و محاط در محدوده چاه‌های شماره ۹۹، ۱۰۰، ۱۴۸ و ۱۵۸ واقع شده است. مسیر دسترسی به این محدوده از طریق جاده زیدون به بندر دیلم، سه راه کافه درویش به سمت چهارراه بی‌بی‌حکیمه و پس از ورود به میدان به سمت حرم بی‌بی‌حکیمه و واحد شماره یک بهره‌برداری میدان، سپس به سمت منطقه سنگ عروس و چاه‌های ذکر شده می‌باشد.



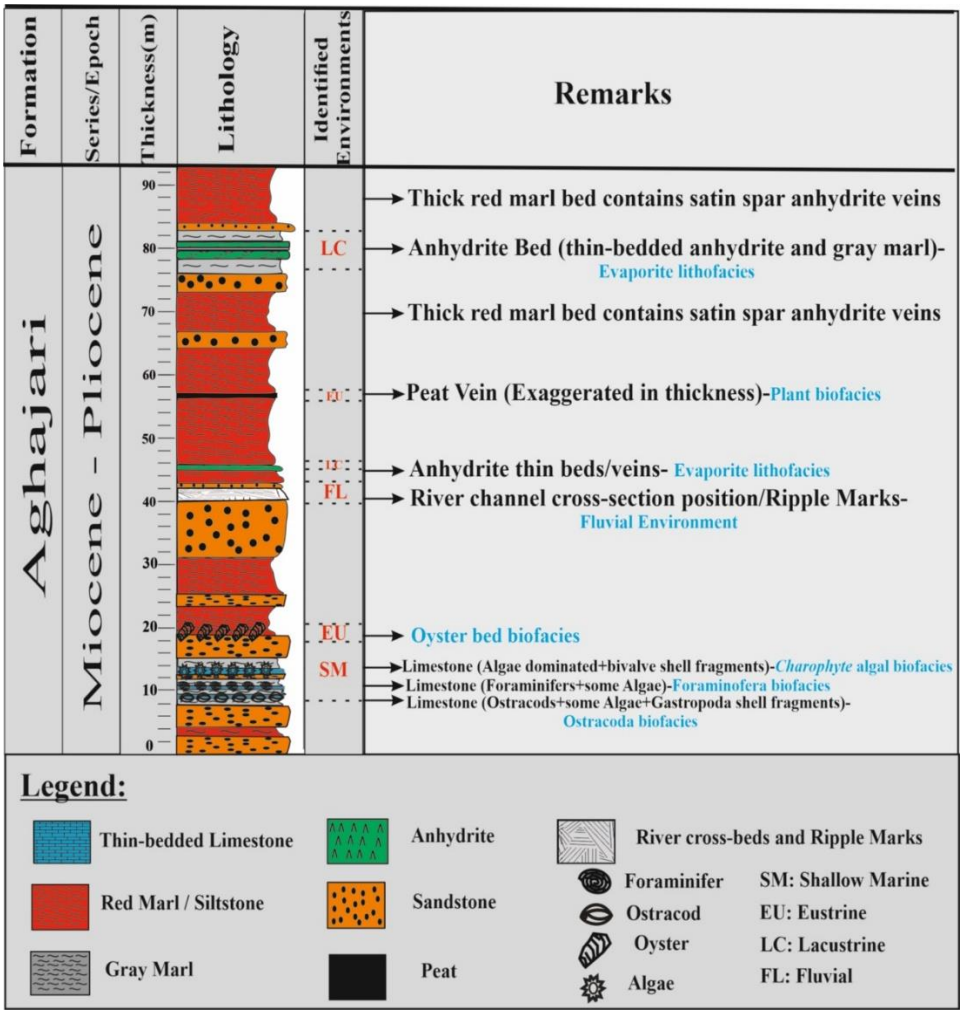

شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه، (a) در نقشه پهنه‌بندی ساختاری ایران با اندکی تغییرات از (Sherkati et al., 2006)، و (b) در میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه.

Fig. 1. Study area location, (a) in the structural division map of Iran (modified from Sherkati et al., 2006), and (b) in the Bibi Hakimeh oil field.




شکل ۲- نمایی از سازند آغاجاری (a) در بخشی از میدان بی‌بی‌حکیمه، دید به سمت شمال و (b) در محدوده مورد مطالعه، دید به سمت شرق. در هر دو تصویر خطوط لوله انتقال نفت به عنوان مقیاس می‌باشند.

Fig. 2. A view of the Aghajari Formation in (a) a part of the Bibi Hakimeh oil field, view towards the north, and (b) in the study area, view towards the east. In both pictures, oil pipelines are used as scales.




شکل۳- ستون سنگ چینه‌ای سازند آغاجاری در برش سطحی مورد مطالعه.

Fig.3. Lithostratigraphic column of the Aghajari Formation in the studied surface section.

جدول ۱- ضخامت حفاری شده سازند آغاجاری در چاه‌های نفتی موجود در محدوده مورد مطالعه.

Table 1. The drilled thickness of the Aghajari Formation in oil wells of the study area.

| No. | Well Code | Well Position | AJ. Thickness |
|---|---|---|---|
| 1 | BH#090 | North Flank | 354 |
| 2 | BH#099 | North Flank | 406 |
| 3 | BH#100 | North Flank | 314 |
| 4 | BH#114 | North Flank | 410 |
| 5 | BH#135 | North Flank | 380 |
| 6 | BH#151 | North Flank | 466 |
| 7 | BH#146 | Crest | 112 |
| 8 | BH#148 | South Flank | 830 |
| 9 | BH#154 | South Flank | 916 |
| 10 | BH#158 | South Flank | 740 |
| 11 | BH#166 | South Flank | 287 |
| 12 | BH#167 | South Flank | 416 |
| 13 | BH#173 | South Flank | 932 |
| 14 | BH#186 | South Flank | 423 |

## ۴- توصیف رخساره‌های رسوبی شناسایی شده و محیط رسوبی آنها

محیط‌های رسوبی، بخش‌های مختلف یک حوضه رسوبی هستند که دارای ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی مختص به خود می‌باشند و به واسطه این خصوصیات از سایر محیط‌های رسوبی اطراف خود متمایز می‌گردند. با مطالعه و بررسی محیط‌های رسوبی و خصوصیات رسوبات نهشته شده در آنها می‌توان اطلاعات مهمی را در زمینه نوع محیط رسوبی، تغییرات سطوح آب دریاهای دیرینه، جغرافیای دیرینه و همچنین الگوهای انتشار و توزیع بایوتاهای گوناگون و حتی فعالیت‌های تکتونیکی رخ داده در این حوضه‌ها به دست آورد (Rahimpour Bonab, 2020). محیط‌های رسوبی همچنان که عامل اصلی ایجاد رسوبات و سنگ‌شناسی‌های مختلف هستند، سبب تشکیل و پیدایش رخساره‌های سنگی و زیستی متنوع نیز می‌گردند و لذا برای تفسیر و تجزیه و تحلیل محیط‌های رسوبی باید رخساره‌های رسوبی و تغییرات آنها بررسی گردند (Moussavi-Harami, 2013). در این نوشتار نیز برای شناسایی تنوع محیط‌های رسوبی سازند آغاجاری، رخساره‌های رسوبی مختلفی شناسایی و بررسی شدند که به ترتیب از قاعده توالی بررسی شده به سمت راس آن عبارتند از:

### ۴-۱- رخساره‌های کربناته

در میادین مختلف واقع در فروافتادگی دزفول، لایه‌های آهکی متعددی در سازند آغاجاری مشاهده می‌گردد که البته بسیاری از این لایه‌ها در اعماق بوده و در حین حفاری تشخیص داده شده‌اند و در نمودارهای ترسیمی سرچاهی (Graphic well logs) ثبت شده‌اند. میادینی نظیر مارون، اهواز، رگ‌سفید، بی‌بی‌حکیمه و قلعه‌نار از این دسته‌اند. در بسیاری دیگر از میادینی که در آنها سازند آغاجاری رخنمون دارد این لایه‌های آهکی را می‌توان در سطح یافت و دنبال کرد. غالب این آهک‌ها از لحاظ تقسیم‌بندی آرچی در رده آهک‌های تایپ II و یا II/I قرار دارند و عمدتاً رسی هستند. در میدان بی‌بی‌حکیمه نیز لایه‌های آهکی متعددی در نواحی مختلف میدان در سازند آغاجاری یافت می‌شوند (شکل ۴). در محدوده مورد مطالعه، این لایه‌های نازک آهکی شامل رخساره‌های متفاوت روزنبران، جلبک‌ها و استراکودها می‌باشند که هر کدام از رخساره‌های فوق الذکر در بخشی از این لایه‌های آهکی، غالب هستند.

#### ۴-۱-۱- رخساره زیستی کربناته استراکودها

یکی از رخساره‌های زیستی کربناته‌ای که در قاعده توالی مورد مطالعه سازند آغاجاری مشاهده گردید، رخساره کربناته حاوی استراکودهاست. در محدوده مورد مطالعه این رخساره در لایه‌های آهکی نازکی به رنگ گرم متمایل به خاکستری روشن گسترش یافته است. ضخامت این لایه‌ها متغیر بوده و از چند سانتیمتر تا حدود نیم متر در سطح دیده می‌شوند. در برخی از چاه‌های منطقه لایه‌های آهکی با خصوصیات نسبتاً مشابهی تا ۲ متر هم گزارش شده‌اند. استراکودها یکی از ابزارهای مهم در دیرینه‌شناسی برای شناسایی و تجزیه و تحلیل اقیانوس‌نگاری قدیمه (paleoceanography)، تعیین محیط‌های رسوبی و شرایط حاکم بر آنها، بررسی شرایط اقلیمی دیرینه و مطالعات زیست‌چینه‌نگاری هستند که بسیاری از محققین در مطالعات چینه‌نگاری و دیرینه‌شناسی از این ابزار بهره می‌گیرند (Boomer et al., 2003; Danielopol et al., 2007; Hassani and Hossienpour, 2018; Gouramanis, 2020). استراکودها متعلق به رده Arthropoda و راسته Crustacea و شامل دو دسته هستند، استراکودهای آب‌های شیرین و لب‌شور (non-cypridean) و استراکودهای دریایی (cypridean). استراکودهای گزارش شده برای سازند آغاجاری توسط James (۱۹۶۵) همگی از نوع دریایی هستند، از جمله: Trachyleberis sp.، Cytheridea sp. و Bairdea sp. استراکودها می‌توانند هم به صورت کف‌زی و هم شناور زیست نمایند. معمولاً استراکودهای آب شیرین دارای کاراپاس‌های صاف، نازک و ضعیف و لوبیایی شکل هستند (Ruiz et al., 2013). استراکودهای شناور نیز پوسته‌ایی ظریف و نازک و صاف و زائده شناگری (Antennula) دارند. اما استراکودهای کف‌زی دریایی دارای صدف‌هایی نسبتاً زمخت، کشیده، ستبر و محکم و پر حفره هستند. در محیط‌های با انرژی بالا صدف‌های آنها دارای زوائد و تزئینات متعددی است (Ruiz et al., 2013; Alivernini et al., 2020). در شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی سه رخساره استراکودها، روزنبران کف‌زی و جلبکی در کنار هم نمایش داده شده‌اند. همانگونه که در شکل‌های ارائه شده دیده می‌شود، صدف‌های استراکودهای موجود در رخساره آهکی سازند آغاجاری در محدوده مورد مطالعه، ضخیم می‌باشد و حتی در برخی از تصاویر، مقاطع و اثراتی از تزئینات روی صدف هم مشاهده می‌گردد (شکل۵g)، که همگی دال بر دریایی بودن این

استراکودها هستند. ضخامت لایه‌های کربناته دربرگیرنده استراکودها در محدوده مورد مطالعه به طور متوسط بین ۰/۵ تا ۰/۷ متر می‌باشد و حدوداً در فاصله ۹ متری از قاعده برش مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

**۴-۱-۲- رخساره زیستی کربناته روزنبران کف‌زی**

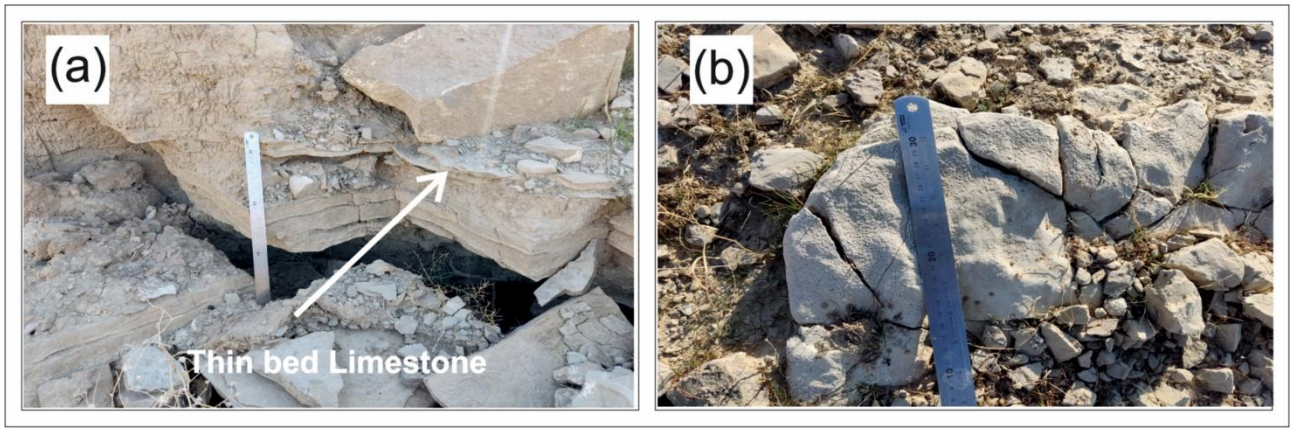
روزنبران کف‌زی به ویژه روزنبران با پوسته آهکی پورسلانوز (porcelaneous) در شرایط آب‌های کم‌عمق و کم انرژی کرانه‌ای و لاگون‌ها زیست می‌نمایند. معمولاً این جانداران برای تفسیر محیط‌های رسوبی دیرینه از لحاظ عمق، دما، شوری، میزان نفوذ نور، انرژی آب و دیگر فاکتورهای زیست محیطی آب دریاها بسیار کاربردی هستند (BouDagher-Fadel, 2018). یکی از رخساره‌هایی که در لایه‌های آهکی سازند آغاجاری محدوده مورد مطالعه توسعه یافته است، رخساره روزنبران غالب (foraminifera dominated) است که در آن روزنبران زیر گسترش یافته‌اند (شکل۵):

Elphidium haueriunum (d'Orbigny, 1846), small rotalids, rare Nonion sp.

این روزنبران به همراه مقادیر زیادی خرده‌های صدف دوکفه‌ای و مقادیر اندکی جلبک دیده می‌شوند. این رخساره معادل زون زیستی تجمعی شماره ۶۶ Wynd(۱۹۶۵) تحت عنوان:

Elphidium-Rotalia-Ostracoda Assemblage zone (Wynd, 1965)

می‌باشد که سن میوسن پسین-پلیوسن برای آن در نظر گرفته شده است. محیط رسوبی که برای این رخساره در نظر گرفته می‌شود معمولاً نواحی کم‌عمق و کم انرژی لاگون به سمت ساحل است (BouDagher-Fadel, 2018). نمونه‌های کارن (keel) دار جنس Elphidium بر روی سطح بسترهای نسبتاً نرم گلی و ماسه‌ای به صورت آزاد و در مجاورت علف‌های دریایی و تا عمق ۵۰ متری زیست می‌کنند. البته جنس‌های بدون کارن آنها می‌توانند در بسترهای گلی و ماسه‌ای نواحی حدواسطی همچون تالاب‌ها و لاگون‌های ساحلی نیز گسترش یابند (Hughes, 2014). در محدوده مورد مطالعه لایه‌های آهکی حاوی روزنبران کف‌زی از نیم متر تا حدود یک متر ضخامت دارند و این لایه‌ها در فاصله ۱۱ متری از قاعده برش مورد مطالعه قرار دارند.




شکل ۴: نمایی از آهک‌های نازک لایه توسعه یافته در سازند آغاجاری در محدوده مورد مطالعه، (a) آهک بسیار نازک لایه حاوی جلبک های کاروفیت، (b) آهک نازک لایه حاوی روزنبران کف‌زی.

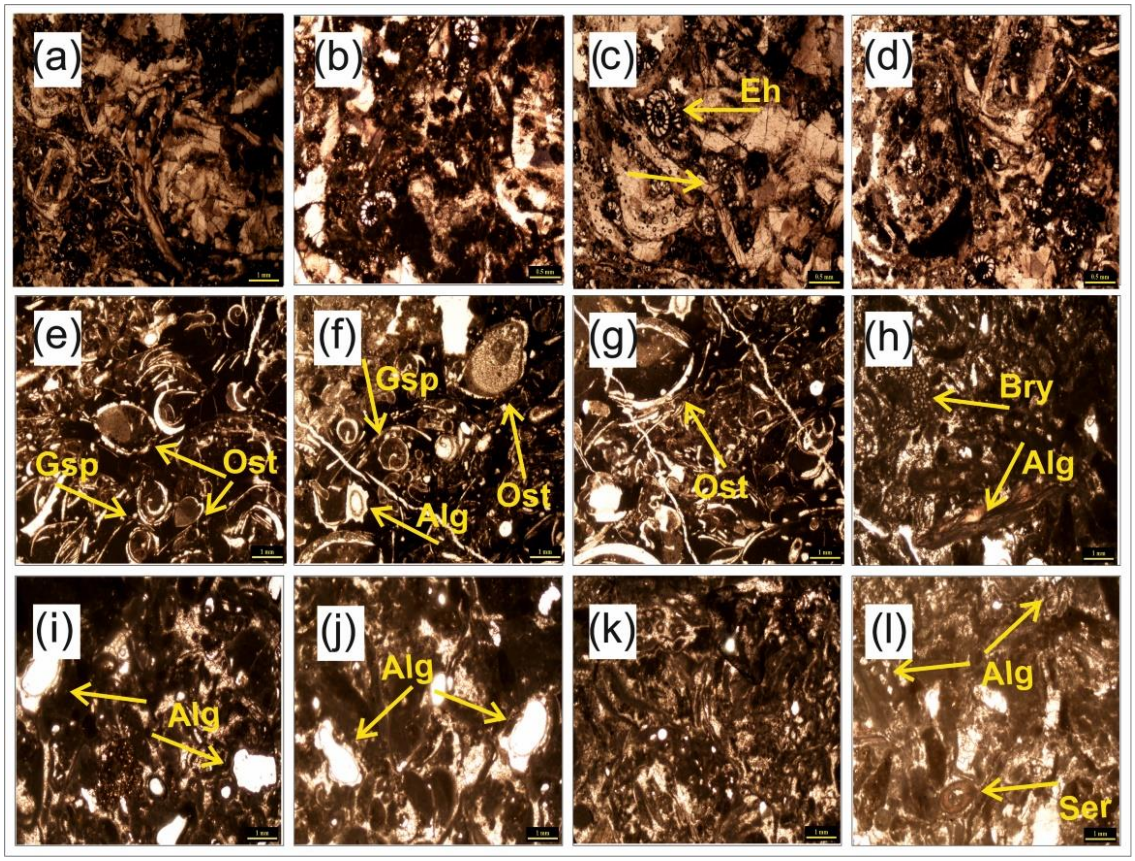
Fig.4. Views of the thin layer limestones dominated within the Aghajari Formation in the study area, (a) Very thin layer limestone containing the *Charophyte* algae, (b) Thin layer limestone containing benthic foraminifers.

**۴-۱-۳- رخساره زیستی کربناته جلبک‌های کاروفیت**

جلبک‌های مشاهده شده در این رخساره متعلق به رده کاروفیتا (Charophyta) می‌باشند. جلبک‌های کاروفیت از جلبک‌های سبز می‌باشند که شباهت‌های زیادی با برخی از گیاهان خشکی دارند. این جلبک‌ها بر روی بسترهای نرم محیط‌های مختلف آب‌های کم‌عمق ساحلی و درون خشکی زندگی می‌کنند و گونه‌های مختلف آنها توانایی سازگاری با شوری، قلیایی بودن، و عمق‌های متفاوتی را دارند. کاروفیت‌ها معمولاً در محیط‌های بسیار کم‌عمق تا ۵۰ متر با انرژی کم نظیر نواحی کرانه‌های حاشیه‌ای (marginal coasts)، دریاچه‌های لب‌شور ساحلی

(coastal brackish lakes) تا عمق حدوداً ۱۲ متری و دریاچه‌های کم‌عمق آب‌های شیرین و سایر محیط‌های آب شیرین درون خشکی یافت می‌شوند. (Hughes, 2014; Trabelsi et al., 2016).

در محدوده مورد مطالعه، این جلبک‌ها غالباً به صورت مجزا و یا به میزان کمتر همراه با روزنبران کفزی و استراکودها دیده می‌شوند. رخساره‌هایی که بیشتر جلبک‌های کاروفیت در آنها دیده می‌شود، مربوط به محیط‌های آب‌های نسبتاً شیرین تا لب‌شور نواحی نزدیک و مجاور کرانه‌های ساحلی هستند یعنی جایی که آب‌های شور دریایی به میزان کمتری آب‌های شیرین نزدیک به سواحل را تحت تاثیر قرار می‌دهند. رخساره‌هایی که حاوی روزنبران کفزی و جلبک‌های کاروفیت هستند، نشانگر انرژی نسبتاً بیشتر آب و تاثیر بیشتر محیط دریایی بر محیط خشکی و تغییر شوری آب از آب‌های نسبتاً شیرین و لب‌شور به آب‌های با شوری بالاتر و همچنین نشان دهنده تبدیل محیط‌های حدواسط به شرایط محیط‌های حاشیه‌ای دریایی (marginal marine conditions) هستند. در محیط‌های کم عمق حاشیه‌ای، وجود برخی از جلبک‌های کاروفیت به میزان اندک در کنار استراکودهای با کاراپاس ضخیم نشانگر افزایش عمق و بیشتر شدن میزان شوری و انرژی آب است (Perez-Cano et al., 2022). در محدوده مورد مطالعه ضخامت لایه‌های آهکی دربرگیرنده جلبک‌های کاروفیت نسبت به سایر رخساره‌های آهکی بسیار کمتر است و شامل لایه‌های نازک آهکی ۳ الی ۱۰ سانتیمتری می‌باشد. این لایه‌ها در فاصله حدوداً ۱۴ متری از قاعده برش مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.




شکل ۵: تصاویرمیکروسکوپی از رخساره‌های کربناته شناسایی شده (a الی c) رخساره کربناته روزنبران کفزی حاوی Elphidium haueriunum (Eh)، (d الی h) رخساره کربناته استراکود حاوی استراکودهای با کاراپاس ضخیم و شکم‌پا (i الی l) رخساره کربناته جلبک‌های کاروفیت حاوی جلبک‌های کاروفیت (Alg)، بریوزوآ (Bry) و سرپیولید (Ser).

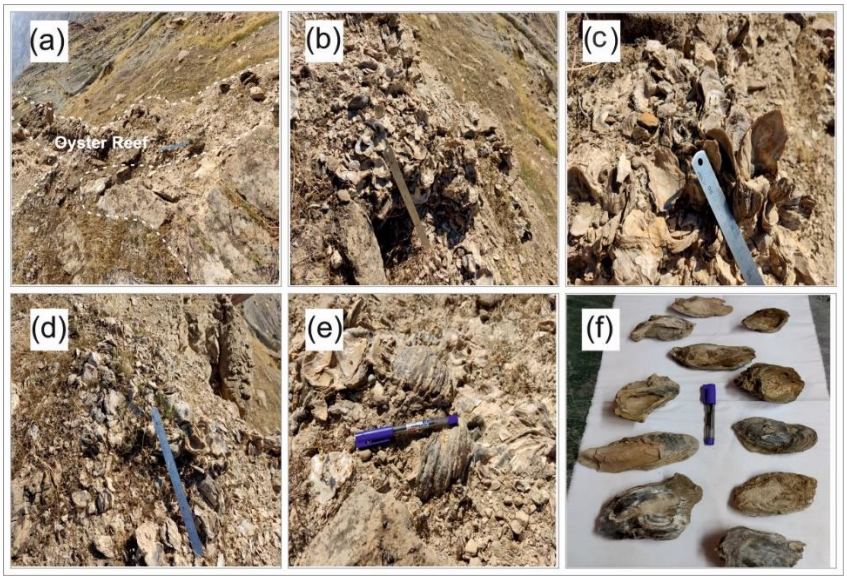
Fig .5. Photomicrographs of the identified carbonate facies, (a to c) Benthic foraminifera carbonate facies containing Elphidium haueriunum (Eh), (d to h) Ostracoda carbonate facies containing thick Carapace ostracods and gastropods, (i to l) Charophyte algae carbonate facies containing Charophyte algae (Alg), bryozoans (Bry), and Serpulids (Ser).

### ۴-۲- رخساره زیستی لایه‌های اویستردار

یکی دیگر از رخساره‌های مهمی که در محدوده مورد مطالعه در سازند آغاجاری مورد بررسی قرار گرفت، رخساره لایه‌های اویستردار است. در مناطق مختلف میدان بی‌بی‌حکیمه و برخی دیگر از میادین جنوب غرب ایران همچون میدان‌های رگ‌سفید، پازنان، نفت‌سفید و برخی دیگر از میادین، پوسته‌های صدف‌های اویستر عمدتاً به صورت مجزا و محدود و با ضخامت کم در سازند آغاجاری یافت می‌شوند، اما در محدوده مورد مطالعه کولونی‌ها و انباشته‌های بسیار پر حجمی از اویسترها مشاهده می‌گردد که قطعاً یک ریف اویستری در منطقه بوده است (شکل۶). ضخامت توده‌ها و انباشته‌های اویستری در محل نمونه برداری از حدود ۳۰ سانتیمتر تا کمی بیش از یک متر متغیر است. این انباشته‌های اویستری در فاصله حدوداً ۱۹ متری از قاعده برش مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که اجتماعات و توده‌های اویسترها را با اسامی مختلفی همچون مقرهای اویستری (oyster bottoms)، لایه‌های اویستردار (oyster beds)، پشته‌های اویستری (oyster banks) و ریف‌های اویستری (oyster reefs) می‌شناسند (Cuitino et al., 2013). عمده اویسترهای موجود در ریف اویستری بررسی شده در محدوده مورد مطالعه متعلق به گونه (Schlotheim, 1820) Magallana gryphoides می‌باشد که پیش از این در مطالعات فراوان گذشته تحت نام گونه Crassostrea gryphoides مورد مطالعه قرار می‌گرفته است. محدوده سنی این گونه منقرض شده میوسن تا پلیوسن پسین بوده است. این گونه اویستری دوکفه‌ای‌هایی چسبیده به کف بستر (sessile) با کفه‌هایی بسیار ضخیم بوده‌اند که کفه چپ بسیار بزرگتر از کفه راست است. از دیگر اویسترهای موجود در این ریف اویستری، جنس .Ostrea sp می‌باشد که به میزان کمتری مشاهده گردید. گونه و جنس اوسترهای فوق الذکر در ناحیه شمال بندرعباس در سازند میشان نیز گزارش شده‌اند (Hossienpour and Dastanpour, 2011). بسیاری از گونه‌های راسته Ostreridae در آب‌های ساحلی کم‌عمق در امتداد نواحی وسیعی از خطوط کرانه‌ایی زیست می‌نمایند. گونه Magallana gryphoides به زندگی و رشد و نمو در محیط‌های خلیج دهانه‌ای و محدوده میان جزر و مدی (intertidal) سازگار بوده است (Harzhauser et al., 2015; Santhi et al., 2022). بیشترین و سریع‌ترین گسترش و توسعه این دسته از اویسترها در میوسن و پلیوسن پیشین بوده است که جایگزین گونه‌های کوچکتر و ظریف‌تر شدند. طول صدف در این گونه تا ۸۰ سانتیمتر هم می‌رسد. در محدوده مورد مطالعه نمونه‌هایی تا حدود ۳۰ سانتیمتر یافت گردید. از میوسن تا کواترنر بسیاری از گونه‌های مرتبط با جنس Magallana محیط‌های کم‌عمق دریایی را به سمت محیط‌های حدواسط خلیج دهانه‌ای به دلیل افزایش شکارچیان دریایی ترک کردند و بسترهای نرم و ماسه‌ای را در این محیط‌ها در تمامی کرانه‌های دریاهای پیرامونی تتیس (Circum-Tethyan) برای زیست خود انتخاب کردند (Mandic et al., 2004; Cuitino et al., 2013).

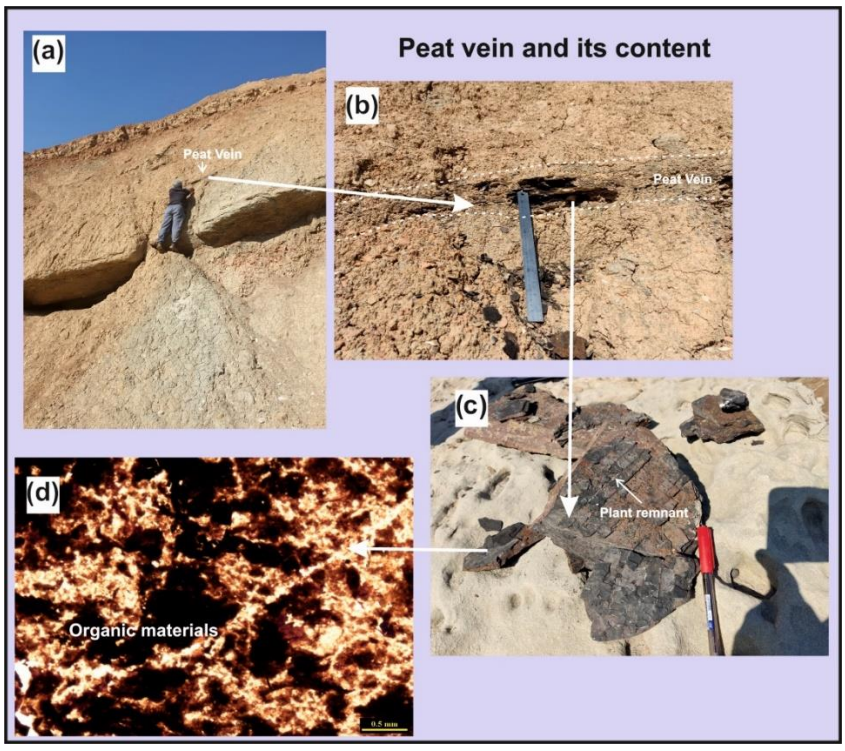
### ۴-۳- رخساره زیستی سنگواره‌های گیاهی

در محدوده مورد مطالعه یک لایه بسیار نازک (رگه) از سنگواره‌های گیاهان یافت شد که در بستری از رسوبات بسیار دانه‌ریز و گلی و کاملاً سیاه رنگ با بوی ملایم لجن قرار گرفته است (شکل ۷). این لایه نازک یک لایه پیت یا یک رگه ذغال‌سنگی است که اجزاء گیاهی درون آن کربونیزه شده‌اند. ضخامت این لایه نازک پیت تقریباً ۱۰ سانتیمتر بوده و در حدود ۵۷ متری از قاعده برش واقع شده است. این اجزاء شامل قطعاتی از برگ، ساقه و پوسته ساقه (bark) گیاهان می‌باشند. در برخی از میادین جنوب غرب ایران، از جمله میادین اهواز، کوپال، منصورآباد، مارون و زیلایی به هنگام حفاری سازند آغاجاری خرده‌هایی از ذغال در برخی از نمونه‌های حفاری مشاهده می‌گردد که باعث سردرگمی برخی از زمین‌شناسان سرچاهی می‌شود و معمولاً این خرده‌های ذغالی را مربوط به عوامل خارجی مانند مواد اولیه نامرغوب سیال حفاری و یا کثیف بودن مخازن گل حفاری می دانند، در صورتی که به احتمال فراوان این خرده‌های ذغالی متعلق به لایه‌های ذغالی مشابهی است که در اعماق و درون سازند آغاجاری این میادین گسترش یافته‌اند. متاسفانه وجود این خرده‌های ذغالی و یا داده‌هایی این چنین، در نمودارهای ترسیمی سرچاهی در سازند آغاجاری ثبت نشده و یا به ندرت ثبت شده‌اند.




شکل ۶: لایه اویستردار، (a) نمایی از بخشی از لایه اویستردار گسترش یافته در سازند آغاجاری در محدوده مورد مطالعه، (b الی d) کولونی‌های اویسترهای موجود در ریف اویستری، (e) جنس .Ostrea sp، (f) گونه Magallana gryphoides.

Fig.6. Oyster bed, (a) A view of the oyster bed extended in the Aghajari Formation in the study area, (b to d) Colonies of oysters in the oyster reef, (e) Genus Ostrea sp., (f) Species Magallana gryphoides.

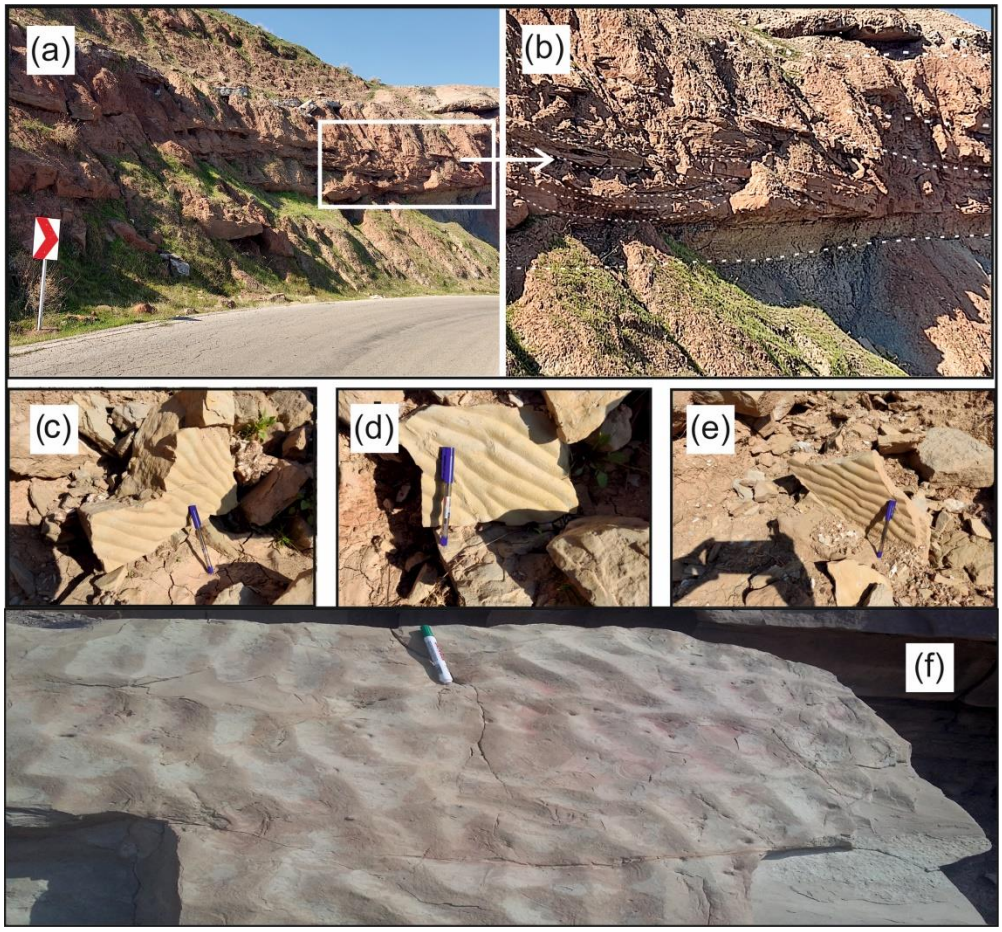



شکل ۷: نمایی از رگه پیت گسترش یافته در منطقه و محتویات آن (a) نمای دور از رگه پیت درون مارن‌ها و سیلتستون‌های قرمز رنگ، (b) رگه پیت به ضخامت حدود ۱۰ سانتیمتر (c) بخشی از رسوبات دانه‌ریز و تکه‌هایی از بقایای گیاهی درون رگه پیت و (d) تصویر میکروسکوپی از رسوبات درون رگه پیت که کاملاً ریزدانه و حاوی مقادیر زیادی مواد آلی است.

Fig. 7. A view of the dominated peat vein in the region and its contents (a) Distant view of the peat vein within the red marls and siltstones, (b) Peat vein about 10 cm. thick, (c) Part of fine grain sediments and pieces of plant remains inside the peat vein, and (d) Photomicrograph of the sediments within the peat vein, which are very fine-grained and contain large amounts of organic materials.

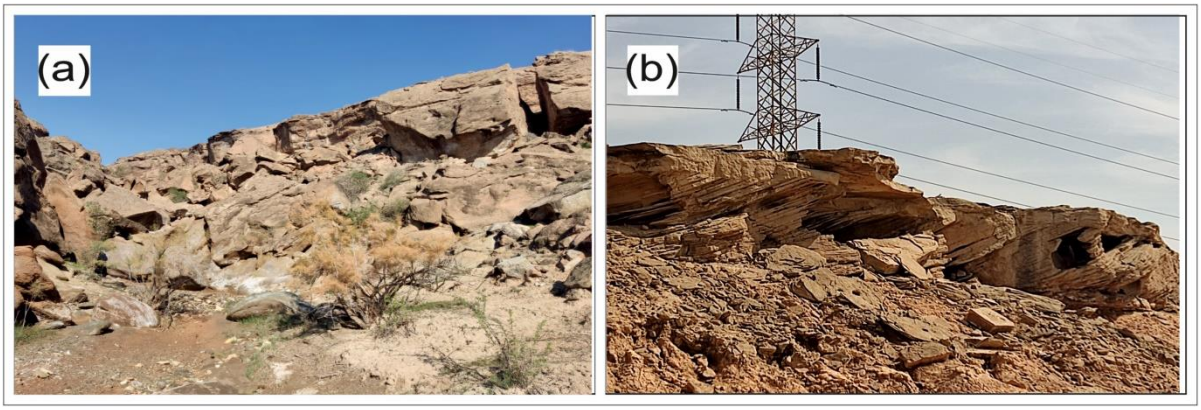
با توجه به اینکه در اکثر نواحی حوضه رسوبی زاگرس برای سازند آغاجاری محیط رسوبی رودخانه‌ای و در نواحی نزدیک به خلیج فارس، محیط رسوبی دریایی در نظر گرفته شده است، لذا برای سنگواره‌های گیاهی یافت شده در این سازند می‌توان زیستگاه‌های (habitats) متفاوتی نظیر دشت‌های سیلابی، باتلاق‌های نمکی، پهنه‌های جزر و مدی و محیط‌های خلیج دهانه‌ای را در نظر گرفت (Evans, 2016). برای متصور شدن اغلب محیط‌های رسوبی مذکور می‌بایست اثری از وجود رودخانه در محدوده مورد مطالعه یافت می‌شد، به همین خاطر اکثر لایه‌های ماسه‌سنگی برای یافتن لایه‌بندی متقاطع (cross-bedding) و لایه‌های مارنی و سیلیستونی برای وجود مقاطع کانال‌های رودخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت، که مقطعی از یک رودخانه متوسط و ریپل مارک‌های آن شناسایی گردید (شکل۸)، البته لایه‌های ضخیم و نازک ماسه‌سنگی در منطقه تقریباً فاقد لایه‌بندی متقاطع و یا دارای اثرات ضعیفی بودند. در برخی از نقاط میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه و در میادین و مناطق دیگری از جنوب فروافتادگی دزفول، در بسیاری از لایه‌های ماسه‌سنگی لایه‌بندی‌های متقاطع زیبایی مشاهده می‌گردد. در شکل ۹ مقایسه‌ای از وجود لایه‌بندی متقاطع در لایه‌های ماسه‌سنگی سازند آغاجاری درمیدان بی‌بی‌حکیمه و میدان مارون نمایش داده شده است. به منظور شناسایی نوع گیاهان و جنس‌های بقایای گیاهی (plant remains or remnants) یافت شده با چند منبع گیاه‌شناسی معتبر اروپایی و آمریکای جنوبی از طریق ایمیل مکاتبه گردید. هر چند از نظر این منابع برای شناسایی دقیق این گیاهان می‌بایست مطالعات دقیق پالینولوژی صورت گیرد ولی به طورکلی اتفاق نظر بر این بود که با توجه به فراوانی و ماهیت این سنگواره‌ها، این بقایای گیاهی احتمالاً می‌توانند متعلق به جنس‌های مختلف گیاهان مانگرو یا حرا و یا گیاهان شبه مانگرو باشند.

همچنین لازم به ذکر است که در مطالعات میکروسکوپی انجام شده توسط Lucena و همکاران (۲۰۱۱)، Chomicki و همکاران (۲۰۲۰) و Siddique و همکاران (۲۰۲۱) بر روی برگ‌ها و ساقه‌های چندین جنس و گونه از مانگروها، تصاویر متعددی از ساختار میکروسکوپی برگ و ساقه آنها ارائه شده‌اند که این ساختارها شباهت‌های بسیار زیادی با ساختارهای مشاهده شده از بخش‌هایی از بقایای گیاهی یافت شده دارند و احتمالاً متعلق به برگ و ساقه نوعی مانگرو و یا گیاهان شبه مانگرو (mangrove-like) باشند (شکل۱۰). پوشش‌های گیاهی حرا یا مانگروها (mangroves) به عنوان یک زیستگاه پویای حدواسط و تدریجی یا یک ecotone میان خشکی و دریا محسوب می‌شوند. اکوتون‌ها نواحی و محدوده‌هایی حدواسط و تدریجی هستند که در میان دو محیط یا زیستگاه متفاوت با جوامع زیستی متفاوت قرار می‌گیرند که در آنها این دو زیستگاه متفاوت به هم رسیده و با هم ادغام می‌شوند (Nieves-Rivera, 2007). محیط‌های رسوبی حدواسط، نواحی پر جنب و جوشی هستند که در بلافصل خشکی و دریا قرار گرفته‌اند. این محیط‌ها در نواحی جزر و مدی و در کرانه‌های ساحلی و محل ورود رودخانه‌ها (مصب) به دریا در نواحی استوایی و نیمه استوایی توسعه می‌یابند. مانگروها به عنوان یک کمربند تدریجی و انتقالی گسترده شده در نواحی با توپوگرافی پست میان خشکی و دریا در نظر گرفته می‌شوند. اکثر قریب به اتفاق مانگروها در بسترهای نرم گلی و گاه ماسه‌ای رشد و نمو می‌نمایند. این دسته از گیاهان توانایی تحمل جزر و مدهای شدید، بادهای تند، دماهای بالا و بسترهای گلی غیر هوازی را دارند (Kathiresan and Bingham, 2001). مانگروها از خانواده‌های گیاهی مختلف و متفاوتی مشتق شده‌اند و از نظر وابستگی به زیستگاه‌های ساحلی شرایط متفاوتی دارند. گونه‌های مختلف مانگرو در نواحی پایین دست و میانی مصب رودخانه، باتلاق‌های نمکی و در نواحی جزر و مدی یعنی محیط‌های حدواسط یافت می‌شوند. مانگروها انواع متنوعی دارند که شامل درختی، درختچه، نخلی شکل و بوته‌ای هستند. به دلیل شوری زیاد آب، در برگ‌های این گیاهان غده‌های بسیار زیادی وجود دارند که در اطراف روزنه‌های هوایی (stomata) قرار گرفته‌اند، لذا نمای میکروسکوپی برگ‌ها بسیار پیچیده با روزنه‌ها و سلول‌های بسیار زیاد کنار هم دیده می‌شوند. علاوه بر برگ گیاه، پوسته ساقه گیاه نیز خصیصه‌های (traits) مشابهی را ازخود نشان می‌دهد (Branoff, 2018). فرض بر این است که در تمامی طول سواحل تتیس، از جمله ایران، از کرتاسه به بعد گونه‌های مختلفی از جنس‌های Avicennia sp.، Rhizophora sp. و Nypa sp. وجود داشته و توسعه یافته‌اند (Srivastava and Prasad, 2019).



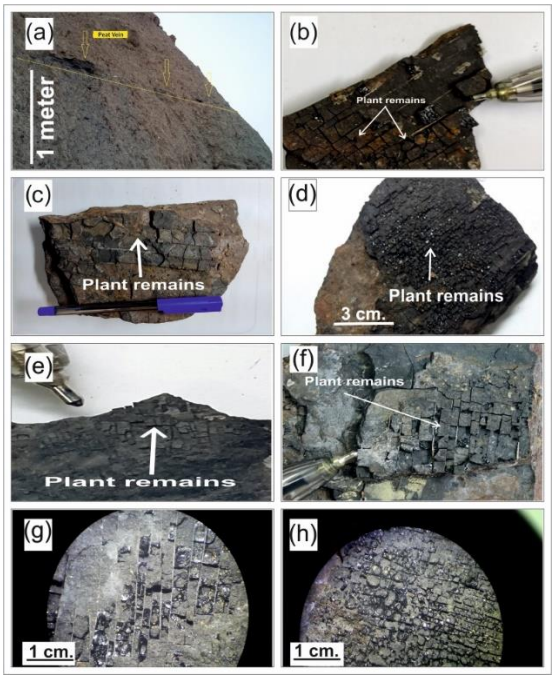

شکل ۸: تصاویری از وجود یک رودخانه قدیمی در محدوده مورد مطالعه، (a و b) مقطع عرضی از کانال یک رودخانه، (c، d و e) ریپل مارک‌های یافت شده در اطراف آن، و (f) ریپل مارک‌های موجود بر روی سطح یک لایه سیلتستون قرمز رنگ در نزدیکی کانال رودخانه.

Fig.8. Photographs of a paleo-river in the study area, (a and b) Cross section of a river channel, (c, d and e) ripple marks found around it, and (f) ripple marks on the layer surface of a red siltstone in the vicinity of the river channel.




شکل ۹: مقایسه ماسه‌سنگ‌های ضخیم لایه سازند آغاجاری در (a) میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه بدون لایه‌بندی متقاطع و یا اثرات بسیار ضعیف، و (b) میدان نفتی مارون با لایه‌بندی متقاطع بسیار بزرگ و گسترده.

Fig.9. Comparison of the thick layer sandstones within the Aghajari Formation in (a) Bibi Hakimeh oil field, with no cross-bedding or very weak effects, and (b) Marun oil field, very large and extensive cross-bedding.




شکل ۱۰: بقایای گیاهی کربونیزه شده، (a) نمای دیگری از رگه پیت گسترش یافته در منطقه، (b الی f) تصاویر بقایای گیاهی درون رگه پیت، (g و h) تصاویر میکروسکوپ باینوکولار تکه‌های احتمالی پوست ساقه (g) و برگ (h) نوعی مانگرو.

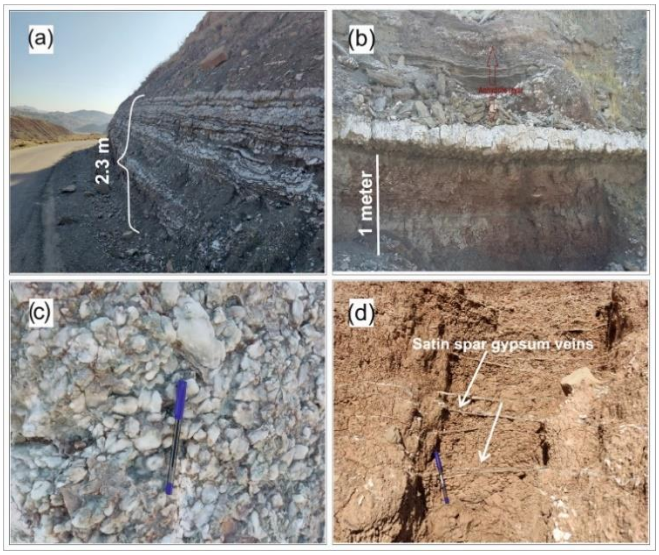
Fig.10. Carbonized plant remains, (a) Another view of the peat vein extended in the region, (b to f) Pictures of the plant remains within the peat vein, (g and h) Binocular microscope images of possible fragments of a mangrove bark (g) and leaf (h).

### ۴-۴- رخساره سنگی تبخیری

در محدوده مورد مطالعه لایه‌ها و رگه‌های متعدد ژیپس و انیدریت به صورت بارزی خودنمایی می‌کنند. طبق نظر Motiei (۱۹۹۳) وجود رگه‌ها و لایه‌های ژیپس در سازند آغاجاری به ویژه در محدوده میدان بی‌بی‌حکیمه، نتیجه احتمالی تبخیر و خشک شدن دریاچه‌های فصلی هستند. در همین راستا این رخساره سنگی را مختصراً مورد بررسی قرار می دهیم.

رسوب‌گذاری تبخیری‌ها در دو محیط دریایی(marine) و غیر دریایی (non-marine) صورت می پذیرد. در مقیاس جهانی بسیاری از تبخیری‌ها در شرایط دریایی نهشته شده‌اند و تبخیری‌های غیر دریایی بسیار کمتر و جدیدترند ( Forkner, 2010). تبخیری‌های دریاچه‌ایی نسبت به تبخیری‌های دریایی ضخامت و گسترش جانبی کمتری دارند. یکی از محیط‌های رسوبگذاری تبخیری‌های غیر دریایی در دریاچه‌های بسته و بدون هیچگونه گذرگاه یا مسیر تامین آب و در نواحی خشک و نیمه خشک تشکیل می‌گردد. چنین دریاچه‌هایی در حوضه‌های درون خشکی و محصور و یا در فروافتادگی‌های کم‌عمق ایجاد می‌گردند که با آب دریا ارتباط ندارند (Warren, 2010). یکی دیگر از محیط‌های نهشته شدن تبخیری‌ها، فرورفتگی‌های وسیع درون خشکی با عمق آب بسیار کم و یا غیر دائمی است که عمدتاً بیش از نیمی از سال خشک هستند و گهگاه توسط توفان‌ها آبگیری می‌شوند که اصطلاحاً پلایا (playa) و یا دریاچه پلایا (playa lake) نامیده می‌شوند (Arche, 2008). رسوبات دریاچه‌ای می‌توانند همچون پلایاها شامل تناوبی از رسوبات آواری دانه‌ریز و رسوبات تبخیری باشند. رسوبات آواری دانه‌ریز می‌توانند نشانگر دوره‌هایی از پر شدن دریاچه توسط باران‌های شدید و سیل‌آسا (pluvial periods)، یا تامین آب توسط روان‌آب‌های سطحی، گاه توسط آب‌های زیرزمینی و در مواردی هم توسط بالا آمدن سطح دریا باشند. رسوبات تبخیری نیز حاصل تبخیر شدید در دوره‌های گرم و بسیار گرم می‌باشند (Schnurrenberger et al., 2003). این نهشته‌ها غالباً با رسوبات آواری دانه‌ریز دریاچه‌ای، مخروط افکنه‌ها، رسوبات حمل شده توسط روان‌آب‌ها و رودخانه‌های فصلی و زودگذر، طغیان‌های فصلی، ماسه‌های بادی و لایه‌های سرخ رنگ رسی در برگرفته می‌شوند.(Warren, 2016). تبخیری‌های دریاچه‌ایی فقط در حوضه‌های درون خشکی با زهکشی بسیار

اندک آب، بویژه در حوضه‌های بسته و یا حوضه‌های درون‌ریز (endorheic) تشکیل می‌شوند که اغلب توسط آب‌های زیرزمینی تغذیه می‌شوند و گاه دارای نرخ‌های بسیار اندک فرونشست می‌باشند (Warren, 2010). در دریاچه‌های نمکی نهشته‌های تبخیری غالباً به صورت ژیپس تشکیل می‌شوند و به میزان کمتر انیدریت و سپس سایر کانی‌های تبخیری نهشته می‌شوند. لایه‌های ژیپس به صورت اولیه و در زمان حداکثر تبخیر تشکیل می‌شوند. مهم‌ترین ویژگی ژیپس‌ها و انیدریت‌های دریاچه‌ایی، برخلاف بسیاری از تبخیرهای دریایی، بافت قلوه‌ایی یا nodular texture آنهاست که عمدتاً در پهنه‌های گلی دریاچه و حوضچه‌های نمکی (salt pans) ایجاد می‌گردند (Warren, 2016). همانگونه که در تصاویر دیده می‌شود (شکل۱۱)، لایه‌های ژیپس و انیدریت موجود در محدوده مورد مطالعه کاملاً به صورت قلوه‌ای گسترش یافته‌اند و بافت قلوه‌ای را به خوبی نشان می‌دهند. این ویژگی در سطح لایه بوضوح دیده می‌شود. این قلوه‌ها اندازه‌هایی مختلف از کمتر از یک سانتیمتر تا بیش از ۱۶ سانتیمتر دارند. گاهی نیز در برخی رگه‌ها، ژیپس‌های بسیار نازک لایه ( laminated gypsum) دیده می‌شود. این رخساره سنگی نیز در یک محیط دریاچه‌ایی کم‌عمق به صورت اولیه در زیر سطح آب بسیار کم‌عمق به صورت لامینه‌های نازک تشکیل شده است (Rosell, 2007). رگه‌های نازکی از ژیپس نیز درون سازند آغاجاری دیده می‌شوند که اکثراً درون درزه‌ها تشکیل شده‌اند (گاه نسبتاً به موازات هم و گاه متقاطع). این رگه‌های ژیپس پس از فرآیندهای رسوبگذاری و در اثر فعالیت‌های تکتونیکی ناحیه‌ای، پس از چین‌خوردگی و تشکیل درزه‌ها و سپس ورود جریان‌های حاوی سولفات محلول به آنها، به صورت ثانویه تشکیل شده‌اند. ژیپس‌هایی که به صورت رگه‌ای در فضای میان درزه‌ها و شکستگی‌های کششی ایجاد می‌گردند ژیپس‌های ساتین اسپار (Satin Spar) نامیده می‌شوند. در این رگه‌ها بخش مرکزی یا محور رشد کانی ژیپس نشان دهنده محل اولیه شکستگی است. تبلور کانی ژیپس از محور به سمت دیواره‌ها، بر دیواره‌های شکستگی فشار وارد کرده و فضای لازم را برای رشد عرضی ایجاد می‌نماید (Philipp, 2008). در برش مورد مطالعه لایه‌ها و رگه‌های بسیار نازک انیدرت و مارل و همچنین انیدریت‌های با بافت قلوه‌ای در قسمت‌های فوقانی توالی سازند آغاجاری و در بازه ضخامتی ۷۸ الی ۸۱ متری از قاعده برش مورد مطالعه مشاهده می‌شوند. بارزترین مجموعه این رگه‌ها و لایه‌های نازک در حدود ۲/۳ متر ضخامت دارد. رگه‌های ژیپس ساتین اسپار نیز با ضخامت ۱ الی ۳ سانتیمتر درون دو لایه ضخیم مارن قرمز در قسمتهای فوقانی توالی مورد مطالعه دیده می‌شوند (شکلd۱۱).




شکل ۱۱- تبخیری‌های نهشته شده در محدوده مورد مطالعه: (a) توالی رگه‌ها و لایه‌های نازک تبخیری (انیدریت) با لایه‌های نازک آواری (مارن)، (b) لایه متوسط انیدریتی (۳۶ سانتی متر)، (c) نمای سطحی لایه‌های انیدریتی با بافت قلوه‌ای، (d) رگه‌های نازک ژیپس ساتین اسپار درون مارن‌های قرمز سازند آغاجاری.

Fig.11. Deposited evaporites in the study area (a) Alternation of the thin evaporite (anhydrite) and detrital (marl) veins and layers, (b) Medium bedded anhydrite layer (36 cm.), (c) The surface view of anhydrite layers that show the nodular texture exquisitely, and (d) Thin satin spar gypsum veins inside the Aghajari Formation red marls.

**۵- بحث**

برای سازند آغاجاری مدل‌های رسوبی متعددی ارائه شده که غالباً بر مبنای تشکیل رسوبات قاره‌ای می‌باشند. محیط‌های معرفی شده مشتمل بر مخروط افکنه‌های عظیم، رودخانه‌های بریده بریده (braided rivers)، رودخانه‌های مئاندری و دشت‌های سیلابی هستند. ریزی و درشتی دانه‌ها و قطعات رسوبات بر جای مانده نیز به قدرت و توان هیدرولیکی رودخانه‌ها نسبت داده شده است. به طور کلی برای سازند آغاجاری، اصلی‌ترین و محتمل‌ترین محیط رسوبی در نظر گرفته شده، محیط رودخانه‌ای است (Motiei, 1993). در این نوشتار سعی شده است که با توجه به حضور مستمر در میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه و بررسی سازند آغاجاری در بخش‌های مختلف این میدان و همچنین با توجه به نزدیکی این میدان به سواحل خلیج فارس، وجود محیط‌های رسوبی غیر رودخانه‌ای به ویژه محیط رسوبی دریایی در این میدان مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به مطالبی که در این پژوهش ارائه گردید، در محدوده مورد مطالعه تنوعی از محیط‌های رسوبی مشاهده می‌گردد. بر اساس نوع رسوبات و بایوتای شناسایی شده در این محیط‌ها، افزون بر محیط رسوبی رودخانه‌ای، محیط‌های رسوبی دیگری نیز در زمان تشکیل سازند آغاجاری در محدوده مورد مطالعه وجود داشته‌اند که شامل محیط دریایی کم‌عمق، محیط‌های حدواسط و محیط‌های دریاچه‌ای بوده‌اند.

نهشته‌های محیط دریاچه‌ای در محدوده مورد مطالعه به صورت رسوبات تبخیری با بافت قلوه‌ای و به صورت رگه‌ها و لایه‌های نسبتاً نازک انیدریت و ژیپس در میان لایه‌های نازک رسوبات ریزدانه آواری قرار گرفته‌اند. این پدیده نشان از فصلی بودن دریاچه و پر شدن و خشک شدن آن در زمان‌ها و فصول مختلف دارد. محیط دریایی کم‌عمق نیز بواسطه حضور روزنبران کف‌زی و همچنین استراکودهای دریایی و برخی از جلبک‌های آب شور در زمان رسوبگذاری سازند آغاجاری در محدوده مورد مطالعه، محتمل است. اما با توجه به مشاهدات و داده‌های یافت شده از بایوتای جانوری و گیاهی و همچنین نوع رسوبات موجود، یکی از محیط‌های رسوبی محتمل در زمان نهشته شدن سازند آغاجاری در محدوده مورد مطالعه، می‌توانسته محیط‌های رسوبی حدواسط و یا محیط‌های خلیج دهانه‌ای (Estuary) باشد. هر چند که تایید محیط رسوبی خلیج دهانه‌ای در منطقه نیازمند مطالعات جامع رسوب‌شناسی، ایکنولوژی و مطالعات رسوبات رودخانه‌ای است اما با توجه به مشاهدات و داده‌های بررسی شده و با مراجعه به تعاریف و ویژگی‌های محیط‌های خلیج دهانه‌ای و مقایسه و همخوانی با داده‌های به دست آمده، شاید بتوان محیطی حدواسط مشابه محیط‌های رسوبی خلیج دهانه‌ای را در محدوده مورد مطالعه برای سازند آغاجاری در نظر گرفت. در ابتدا بر اساس مطالعات انجام شده در مورد محیط‌های خلیج دهانه‌ای به توصیف و تشریح مختصر این محیط‌ها می پردازیم. محیط‌های خلیج دهانه‌ای عموماً محیط‌های بسته‌ای از آب هستند که در معرض هر دو جریان دریایی (جزر و مد، امواج، جریانات آب شور و رسوبات) و هم جریانات رودخانه‌ای قرار دارند، بدین معنی که آب‌های شیرین رودخانه‌ای و روان‌آب‌های سطحی جاری از سمت خشکی با آب‌های شور دریاها و اقیانوس‌ها به هم می رسند و در هم می‌آمیزند. محیط‌های خلیج دهانه‌ای ویژگی‌های زمین‌شناسی، بوم‌شناسی و زیست‌شناسی مختص به خود را دارا هستند (Fairbridge, 1980; Day et al., 2012). محیط خلیج دهانه‌ای به سه بخش یا زون تقسیم می‌شود: زون جزر و مدی (tidal zone)، زون اختلاط (mixing zone) و زون متلاطم یا گل آلود (turbid zone). این زون‌ها بر حسب اندازه، شکل، عمق، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و برخی دیگر از خصوصیات محیطی به انواع مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند (Perillo, 1995). خلیج‌های دهانه‌ای از لحاظ زمین‌ریخت‌شناسی (geomorphology) به انواع گوناگونی دسته‌بندی می‌شوند که شامل خلیج دهانه‌ای پهنه ساحلی، خلیج‌های دهانه‌ای Fjord و Rias که در محیط‌های یخچالی تشکیل می‌شوند، خلیج دهانه‌ای لاگونی یا سدی، خلیج دهانه‌ای تکتونیکی و خلیج دهانه‌ای دلتای رودخانه‌ای هستند (Perillo, 1995; Day et al., 2012). خلیج دهانه‌ای پهنه ساحلی (Coastal plain estuary) از طریق بالا آمدن سطوح آب بر روی پهنه‌های رودخانه‌ای که از قبل وجود داشته‌اند تشکیل می‌شود و عمدتاً در امتداد کرانه‌ها و پهنه‌های ساحلی توسعه می‌یابد. این دسته از خلیج‌های دهانه‌ای، محتمل‌ترین نوع از محیط‌های خلیج دهانه‌ای گسترش یافته در محدوده مورد مطالعه است.

در محیط‌های خلیج دهانه‌ای سکونت‌گاه‌ها و یا زیستگاه‌های متفاوتی وجود دارند که برحسب خصوصیت‌های فیزیکی،

شیمیایی و زیستی تعیین می‌گردند (Perillo, 1995). به طور کلی و عمومی این زیستگاه‌ها شامل موارد ذیل می‌باشند:

Salt marshes, Tidal marshes or Mangroves, Sea grass meadows, Mud and sand flats, Tidal flats, Channels and Tidal pools.

شایان ذکر است که زیستگاه‌های فوق در خلیج‌های دهانه‌ای مختلف متغیر بوده و نسبت به هم تفاوتهایی دارند. باتلاق‌های نمکی یا salt marsh ها، در پهنه‌های بالایی زون میان جزر و مدی و در آخرین بخش از محیط‌های جزر و مدی به طرف ساحل تشکیل می‌گردند (Moussavi-Harami, 2013) و همچنین شامل تالآب‌هایی هستند که در اطراف و مجاورت محیط‌های خلیج دهانه‌ای یافت می‌شوند و از زیستگاه‌های متداول این محیط‌های رسوبگذاری هستند که معمولاً باتلاق‌های نمکی خلیج دهانه‌ای (estuary salt marsh) نامیده می‌شوند. کیفیت آب این باتلاق‌ها از کاملاً اشباع از نمک تا شیرین متغیر است، به عبارت دیگر این باتلاق‌ها نواحی آبدار ساحلی (coastal wetlands) هستند که توسط جریان‌های جزر و مدی پر و خالی می‌شوند. باتلاق‌های نمکی محیط‌هایی با توپوگرافی پست و کم انرژی بوده و در محدوده‌های وسیعی گسترش می‌یابند که در بلافصل خشکی و آب‌های آزاد دریا قرار دارند و توسط رسوبات آواری دانه‌ریز (سیلت و رس) پر شده‌اند (Lenz et al., 2022). در باتلاق‌های نمکی نیز پوشش گیاهی متنوعی با منشا گیاهان نمک دوست خشکی یافت می‌شود که عمدتاً از نوع علفی و بوته‌ای و گاه برخی مانگروها هستند. به دلیل اینکه این گیاهان دائماً در معرض جزر و مد قرار دارند و در اثر بالا و پایین شدن مداوم سطح آب، مدهای شدید و همچنین توفان‌های قوی در زیر آب غرق می‌شوند و به سرعت از بین می‌روند، لذا کیفیت پیت یا ذغال به دست آمده از آنها به شدت پایین است (French, 2019). غالباً باتلاق‌های نمکی در عرض‌های جغرافیایی میانه و بالا، از جمله ایران، متداول هستند و یکی از زیستگاه‌های معمول در محیط‌های خلیج دهانه‌ای محسوب می‌گردند (Day et al. 2012). باتلاق‌های جزر و مدی یا tidal marshes که معادل زیستگاه Mangrove ها می‌باشند در کرانه‌های ساحلی دریاهای کم‌عمق و در محیط‌های کم انرژی ایجاد می‌گردند و اجازه ازدیاد، رشد و تجمع گیاهانی که قادرند محیط‌های آبی با شوری زیاد را تحمل کنند را می‌دهند.

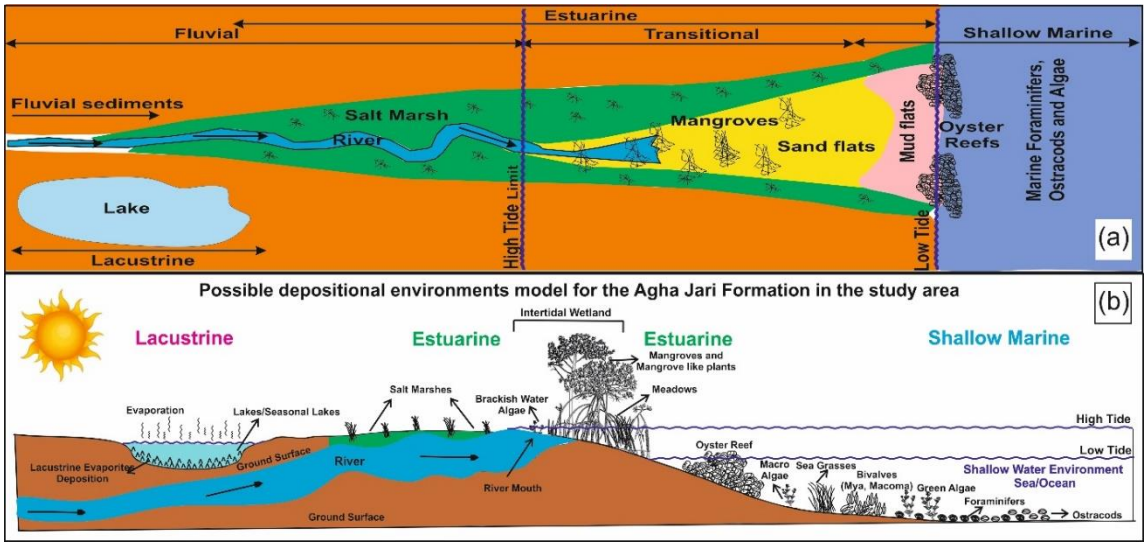
رسوبگذاری در این محیط‌ها شامل نهشته شدن رسوبات نرم و ریزدانه است. پهنه‌های جزر و مدی در محیط‌های خلیج دهانه‌ای عموماً توسط موجودات اتوژنیک (autogenic) روی سطح‌زی یا epifaunal نظیر اویسترها، دوکفه‌ای‌ها و کرم‌های حفار تونل ساز (tube-building, serpulids) اشغال می‌شود (Allee et al., 2000).

از دیدگاهی دیگر و بر اساس مطالعات Day و همکاران (۲۰۱۲) زیستگاه‌های محیط‌های خلیج دهانه‌ای را می‌توان در دو دسته تقسیم‌بندی کرد:

الف) از لحاظ غیر زیستی (abiotic) شامل: سواحل، گذرگاه‌های آبی، پهنه‌های زیر جزر و مدی و میان جزر و مدی، نواحی عمیق و دلتا.

ب) از لحاظ زیستی (biotic) یا موجودات ساکن شامل: در محدوده اختلاط، وجود مانگروها و گیاهان نمک دوست. در محدوده میان جزر و مدی شامل باتلاق‌های نمکی، حوضچه‌های جزر و مدی، پهنه‌های جلبکی، پهنه‌های گلی، ریف‌های اویستری و لایه‌های صدف‌دار (mussel beds)، و در محدوده زیر جزر و مدی شامل پهنه‌های علف‌های دریایی ( meadow flats)، پشته‌های ماسه‌ای (sand shoals)، بسترهای گلی نرم (soft muddy bottoms) و لایه‌های حاوی نرم‌تنان، می‌باشند.

با توجه به توصیفات فوق از محیط‌های خلیج دهانه‌ای و بر اساس مشاهدات موجود و شناسایی زیستگاه‌های مختلف در منطقه از قبیل وجود مقاطع عرضی رودخانه و ریپل مارک‌های آن، وجود لایه ذغالی غنی یا پیت مملو از آثار و بقایای گیاهی و رسوبات ریزدانه دربرگیرنده آنها، وجود لایه‌های غنی اویستردار و همچنین وجود جلبک‌های فراوان آبهای لب‌شور، می‌توان داده‌های فوق را نشانه‌هایی از وجود احتمالی محیط رسوبی خلیج دهانه‌ای برای رسوبگذاری بخشی از سازند آغاجاری، علاوه بر محیط‌های دریایی کم عمق، رودخانه‌ای و دریاچه‌ای، در محدوده مورد مطالعه در نظر گرفت. شکل۱۲ نمایی پیشنهادی از محیط‌های رسوبی سازند آغاجاری در بخش مورد مطالعه میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه را ارائه می‌دهد. تصویر a نمای از بالا و تصویر b نمای نیمرخ از محیط‌های رسوبی احتمالی و پیشنهادی برای سازند آغاجاری در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهند.




شکل ۱۲- مدل مفهومی و محیط‌های رسوبی پیشنهادی برای سازند آغاجاری در محدوده مورد مطالعه (a) مدل دید از بالا، و (b) مدل دید نیمرخی، بر گرفته از Day و همکاران (2012).

Fig.12. Proposed conceptual model and depositional environments for the Aghajari Formation in the study area, (a) Top view model, and (b) Cross-section view model, modified from Day et al. (2012).

## ۶- نتیجه‌گیری

سازند آواری آغاجاری در محدوده مورد مطالعه شامل توالی سنگ‌شناسی ضخیمی از مارن‌های قرمز و خاکستری، ماسه‌سنگ، سیلتستون‌های قرمز و لایه‌های نازک آهک و انیدریت می‌باشد. در برش مطالعه شده از قاعده به سمت راس، سازند آواری آغاجاری دربرگیرنده رخساره‌های زیستی و سنگی متعدد و متنوعی است. مهم‌ترین رخساره‌های زیستی این سازند عبارتند از رخساره زیستی کربناته استراکودها، رخساره زیستی کربناته روزنبران کف‌زی، رخساره زیستی کربناته جلبک‌های کاروفیت، رخساره زیستی لایه‌های اویستردار و رخساره زیستی گیاهی. مهم‌ترین رخساره سنگی این سازند نیز رخساره تبخیری شامل انیدریت‌های نازک تا متوسط لایه با بافت قلوه‌ای و لامینه‌ای است. با توجه به وجود رخساره‌های زیستی و سنگی فوق و همچنین وجود مقاطع کانال‌های رودخانه، ریپل مارک‌های مجاورکانال رودخانه و لایه‌بندی‌های متقاطع ضعیف، می‌توان محیط‌های رسوبی دریایی کم عمق، حدواسط، رودخانه‌ای و دریاچه‌ای را برای رسوبگذاری سازند آغاجاری در محدوده مورد مطالعه متصور بود. وجود استراکودهایی با کاراپاس ضخیم و روزنبران کف‌زی فراوان به همراه جلبک، بریوزوآ و سرپیولید موید محیط رسوبی دریایی کم‌عمق هستند. حضور لایه‌های اویستردار، بقایای فراوان گیاهی، رگه پیت، رسوبات ریزدانه و جلبک‌های کاروفیت آب‌های لب‌شور می‌توانند نشان دهنده وجود محیط‌های حدواسطی نظیر باتلاق‌های نمکی و یا محیط خلیج دهانه‌ای و احتمالاً نوعی محیط خلیج دهانه‌ای پهنه ساحلی باشند. کانال‌های رودخانه‌ای، ریپل مارک‌ها و لایه‌بندهای ضعیف متقاطع نیز بیانگر وجود محیط رودخانه‌ای هستند. وجود لایه‌های ژیپس و انیدریت با بافت قلوه‌ای و لامینه‌ای نیز می‌توانند نشانگر محیط دریاچه‌ای باشند. به طور کلی در محدوده مورد مطالعه از سمت یال شمالی به طرف یال جنوبی تاقدیس بی‌بی‌حکیمه، ابتدا رخساره‌های زیستی کربناته شامل رخساره‌های زیستی کربناته استراکودها، روزنبران کف‌زی و جلبک‌های کاروفیت دیده می‌شوند و پس از آنها به ترتیب رخساره لایه‌های اویستردار، اثرات محیط رودخانه‌ای شامل کانال‌های رودخانه‌ای، لایه‌بندی‌های متقاطع ضعیف و ریپل مارک‌ها ظاهر می‌شوند. سپس رگه پیت و بقایای کربونیزه شده گیاهی و در نهایت رخساره سنگی تبخیری‌ها قابل مشاهده هستند. به طور کلی رخساره‌های زیستی و سنگی شناسایی شده نشانگر وجود محیط دریایی کم‌عمق در بخش‌های شمالی و محیط‌های حدواسط، رودخانه‌ای و دریاچه‌ای در بخش‌های جنوبی محدوده مورد مطالعه می‌باشند. همچنین با توجه به داده‌های به دست آمده، محیط دریایی کم عمق در بخش‌های جنوب شرق میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه همچون نواحی ساحلی خلیج فارس و جزیره قشم تایید می‌گردد.

**تشکر و قدردانی**

از راهنمایی‌ها و مساعدت‌های ارزشمند آقای دکتر عبدالرضا باوی‌عویدی، از همکاری آقای دکتر محمدرضا طاهری در عکسبرداری‌های میکروسکوپی و از آقای مهندس محمد مهدی محمدی در همراهی عملیات صحرایی کمال تشکر و قدردانی را دارم.

**مراجع**

Alivernini, M., Wang, J., Frenzel, P., Mischke, S., 2020. Mio-Pleistocene Ostracoda from the Zhada Basin (western Tibetan Plateau). PalZ 95, 37-54. https://doi.org/10.1007/s12542-020-00523-w

Allee, RJ., Dethier, M., Brown, D., Deegan, L., Ford, RG., Hourigan, TF., Maragos, J., Schoch, C., Sealey, K., Twilley, R., Weinstein, MP., Yoklavich, M., 2000. Marine and Estuarine Ecosystem and Habitat Classification. USA, National Oceanic and Atmospheric Administration, Report No.1, p. 43

Amiri Bakhtiar, H., Nouraei Nezhad, MR., 2021. Stratigraphy of Zagros, volume 3 Cenozoic, 1st edition, Tarava publication, Ahwaz, Iran, p. 147.

Arche, A., 2008. Some precisions on the use of the term playa in the geologic literature. Journal of Iberian Geology 34, 5-9.

Bardshaw, CD., 2021. Encyclopedia of Geology, volume 5, 2nd edition. In: D., and Elias, S.A. (Eds.) Miocene. Science Direct, Alderton, Elsevier, Amsterdam, Netherland. pp. 263-371

Boomer, I., DJ. Horne, IJ. Slipper. 2003. The use of ostracods in palaeoenvironmental studies, or what can you do with an ostracod shell?. The Paleontological Society Papers 9, 153–180. https://doi.org/10.1017/s1089332600002199

BouDagher-Fadel, MK., 2018. Evolution and geological significance of larger benthic foraminifera. Developments in Palaeontology and Stratigraphy, 1st edition. Elsevier, Amsterdam, p. 544, https://doi.org/10.2307/j.ctvqhsq3

Branoff, B., 2018. Mangrove leaf and root traits and their relation to urbanization. bioRxiv, The preprint server for biology 37, 21-65. https://doi.org/10.1101/506196

Chomicki, G., Bidel, L., Baker, J., Jay-Allemand, C., 2020. Palm snorkelling: leaf bases as aeration structures in the mangrove palm (Nypa fruticans). Botanical Journal of the Linnean Society 174, 257–270. https://doi.org/hal.science/hal-01189916

Cuitino, JI., Santos, RV., Scasso, RA., 2013. Insights into the Distribution of Shallow-Marine to Estuarine Early Miocene Oysters from Southwestern Patagonia: Sedimentologic and Stable Isotope Constraints. PALAIOS 28, 583-598. https://doi.org/10.2110/palo.2012.p12-105r

Danielopol, DL., Gross, M., Piller, W.E., 2007. Taxonomic diversity of middle Miocene ostracoda assemblages- A useful tool for palaeoenvironmental characterization of the Hainburg Area (Vienna Basin). Joannea Geologie und Paläontologie, Austria, 9, 25-30.

Day, JW., Crump, BC., Kemp, WM., Yanez-Arancibia, A., 2012. ESTUARINE ECOLOGY, 2nd edition, John Wiley and Sons Publication, Singapore, p. 257

Evans, J., 2016. Encyclopedia of Engineering Geology. In: Bobrowsky, P.T., Marker, B. (Eds.) Fluvial Environments. Springer International. Netherlands, 747-795 PP. https://doi.org/ 10.1007/978-3-319-12127-7_129-1

Fairbridge, RW., 1980. The estuary: its definition and geodynamic cycle. In: Olausson, E., Cato, I. (Eds.) Chemistry and Biochemistry of Estuaries. USA, New York, John Wiley and Sons publication pp. 301-351

Forkner, R., 2010. An integrated system for macro-scale anhydrite classification. Geological Quarterly 54, 423-430. https:// www.reseafchgate.net/publication /288428975

French, J., 2019. Tidal Salt Marshes: Sedimentology and Geomorphology of Coastal Wetlands, 2nd edition, Elsevier, p. 517. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63893-5.00014-9

Gouramanis, C., 2020. Ostracoda in extreme-wave deposits. Geological Records of Tsunamis and Other Extreme Waves 13, 261-290. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815686-5.00013-4

Harzhauser, M., Djuricic, A., Mandic, O., Neubauer TA., Zuschin, M., Pfeifer, N., 2015. Age structure, carbonate production and shell loss rate in an Early Miocene reef of giant oyster Crassostrea gryphoides. Biogeosciences Discuss 12, 15867–15900. https://doi.org/ 10.5194/bgd-12-15867-2015

Hassani, MJ., Hosseinipour, F., 2018. Quantitative analysis, basin evolution and paleoecology of Early Miocene ostracods in the southwest of Kerman, Iran. Geopersia 8, 213-232. https://doi.org/10.22059/GEOPE.2018.224602.648295

Hosseinipour, F., Dastanpour, M., 2011. Lower Miocene oyster shells from the Southwest Zagros Basin (Zade Mahmud area, Iran) and their paleoecology. Scientific Quarterly Journal, Geosciences 91, 101-110. https://doi.org/ 0.1007/s12517-011-0493-2

Hughes, GW., 2014. Micropalaeontology and palaeoenvironments of the Miocene Wadi Waqb carbonate of the northern Saudi Arabian Red Sea. GeoArabia 19, 59-108. https://doi.org/10.2113/geoarabia190459

James, GA., Wynd, JG., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. American Association Petroleum Geological Bulletin 49, 2182–2245.

Kathiresan, K., Bingham, BL, 2001. Biology of Mangroves and Mangrove Ecosystems. Advances in Marine Biology 40, 181-251. https://doi.org/10.1016/s0065-2881(01)40003-4

Lenz, N., Lindhorst, S., Arz, HW., 2022. Determination and quantification of sedimentary processes in salt marshes using end-member modeling of grain-size data. The Depositional Record 9, 4-29. https://doi.org/10.1002/dep2.213

Lucena, I., Maciel, VEO., da Silva, JB., Galvincio JD., Pimentel, RMM., 2011. Leaf Structure of Mangrove Species to Understand the Spectral Responses. Journal of Hyperspectral Remote Sensing 2, 19-31. https://doi.org/10.5935/2237-2202.20110002

Mandic, O., Harzhauser, M., Schlaf, J., Piller, WE., Schuster, F., Wielandt-Schuster, U., Nebelsick, Bassant, P., J. H., Kroh, A., Rögl, F., 2004. Palaeoenvironmental Reconstruction of an epicontinental Flooding – Burdigalian (Early Miocene) of the Mut Basin (Southern Turkey). Courtesy of Forsch Institute Bulletin 248, 57–92.

Motiei, H., 1993. Geology of Iran, Stratigraphy of Zagros, 1st edition, Iranian Geological Survey Publications Tehran, p. 536

Moussavi-Harami, R., 2013. Sedimentology, 5th edition, Astan Quds publication, Tehran, Iran, p. 474

Nieves-Rivera, AM., 2007. Paleobotanical Notes on Mangrove-Like Plants of Puerto Rico. Interciencia 32, 175-179.

Perez-Cano, J., Bover-Arnal, T., Martin-Closas, C., 2022. Charophyte communities in Barremian Iberian wetlands. Facies 68, 13-51. https://doi.org/10.1007/s10347-022-00651-6

Perillo, GME., 1995. Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries. Developments in Sedimentology 53, 17-47. https://doi.org/10.1016/S0070-4571(05)80022-6

Philipp, SL., 2008. Geometry and formation of veins in mudstones at Watchet, Somerset, SW England. Geological Magazine 48, 1103-1119. https://doi.org/10.1017/s0016756808005451

Rahimpour Bonab, H., 2020. Carbonate Petrology, Diagenesis and Porosity Evolution, 1st edition, University of Tehran publications, Iran, Tehran, p. 250

Rosell, L., 2007. Depositional models of lacustrine evaporites in the SE margin of the Ebro Basin (Paleogene, NE Spain). Geologica Acta 5, 19-34. https://www.reseafchgate.net/publication/28156654

Ruiz, F., Abad, M., Bodergat, AM., Carbonel, P., Rodriguez-Lazaro, J., Gonzalez-Regalado, ML., Toscano, A., Garcia, E.X., Prenda, J., 2013. Freshwater ostracods as environmental tracers. International Journal of Environmental Sciences and Technology 10, 1115–1128. https://doi.org/10.1007/s13762-013-0249-5

Santhi, VV., Sreekanth, S., Sukumaran, M., Antony, MM., 2022. New distribution record of Crassostreine oyster Magallana gryphoides (Schlotheim, 1820) in Kerala, India. Iranian Society of Ichthyology 10, 364-369. https://doi.org/10.22034/ijab.v10i5.1672

Schnurrenberger, D., James Russell, J., Kelts, K., 2003. Classification of lacustrine sediments based on sedimentary components. Journal of Paleolimnology 29, 141–154.

Sherkati, S., Letouzey, J., de Lamotte. FD., 2006. Central Zagros fold–thrust belt (Iran): new insights from seismic data, field observation, and sandbox modeling. Tectonics 25, 1-27. https://doi.org/10.1029/2004TC001766

Siddique, MRH., Zuidema, PA., Sass-Klaassen, U., Chowdhury, MQ., 2021. Ring width and vessel features of the mangrove Excoecaria agallocha L. depend on salinity in the Sundarbans, Bangladesh. Dendrochronologia 68, 47-56. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125857

Srivastava, J., Prasad, V., 2019. Evolution and Paleobiogeography of Mangroves. Marine Ecology 14, 1-19. https://doi.org/10.1111/maec.12571

Steinthorsdottir, M., Coxall, HK., de Boer, AM., Huber, H., Barbolini, N., Bardshaw, CD., Burls, NJ., Feakins, SJ., Gasson, E., Henderiks, J., Holbourn, AE., Kiel, S., Kohn, MJ., Knorr, G., Kurschner, WM., Lear, CH., Liebrand, D., Lunt, DJ., Mors, T., Pearson PN., Pound, MJ., Stoll, H., Stromberg, CAE., 2020. The Miocene: The Future of the Past. Paleoceanography and Paleoclimatology 36, 41-83. https://doi.org/10.1029/2020PA004037

Trabelsi, K., Soussi, M., Touir, J., Houla, Y., Abbes, C., Martin-Closas, C., 2016. Charophyte biostratigraphy of the non-marine Lower Cretaceous in the Central Tunisian Atlas (North Africa): Paleobiogeographic implications. Cretaceous Research 67, 66-83. https://doi.org/10.1016/j.cretres.2016.07.004

Warren, JK., 2010. Evaporites through time: tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. Earth-Science Reviews 98, 217–268. https://www.reseafchgate.net/publication/312488903

Warren, J. K., 2016. Evaporites, 2nd edition, Springer cham, Switzerland, p. 1813. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39193-9_100-1

Wynd, JG., 1965. Biofacies of the Iranian Oil Consortium Agreement Area. Iranian Oil Operation Companies. Geological and Exploration Division, Tehran, Report No. 1082.