

Original Research Paper

# Investigation of sub-ichnofacies of the *Nereites* ichnofacies in the upper part of the Late Cretaceous flysch deposits in the Jolfa region, northwestern Iran, Alborz Basin

Samira Taghdisi Nibakht<sup>1</sup>, Mahdi Badpa<sup>2</sup>, Mir Amir Salahi<sup>3</sup>, and Yaghub Nasiri<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Gonabad, Gonabad, Iran

<sup>2</sup> Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>3</sup> Department of Biology, Faculty of Basic Science, University of Maragheh, Maragheh, Iran

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received: 2025 November 13

Accepted: 2026 February 28

Available online: 2026 June 22

### Keywords:

Trace fossil

Ichnofacies

*Nereites*

Turbidite

## ABSTRACT

A detailed study aimed at investigating the abundance of Late Cretaceous ichnofaunal assemblages in the Jolfa area, East Azerbaijan Province, indicates that these assemblages are reliable tools for interpreting the depositional environment of submarine fans. The types of trace fossils and their stratigraphic arrangement are related to favorable biotic zones; therefore, they are employed to infer information concerning the differentiation of sub-environments within the turbidite fan system, sedimentation rate, and substrate consistency. The proximal and axial parts of the sandy system in the studied section contain assemblages characterized by low diversity and low bioturbation intensity, which are mostly dominated by post-depositional trace fossil suites. However, the distal parts show an increase in both diversity and bioturbation intensity, displaying pre-depositional trace fossil assemblages. The identified ichnofossil assemblages in the studied section correspond to the *Nereites* ichnofacies. Five sub-ichnofacies of the *Nereites* ichnofacies were recognized in the studied deposits, which may indicate a trend toward increasing water depth. These include: (1) *Ophiomorpha rudis* sub-ichnofacies, (2) mixed *Ophiomorpha rudis*–*Paleodictyon* sub-ichnofacies, (3) *Paleodictyon* sub-ichnofacies, (4) mixed *Nereites*–*Paleodictyon* sub-ichnofacies, and (5) *Nereites* sub-ichnofacies.

## 1. Introduction

Commonly, a submarine fan system is characterized by a single feeder system and an overall fan-shaped geometry and consists mainly of channel-over bank deposits and


sheet-like turbidite sandstones interbedded with hemipelagic mudstones. Submarine-fan models based on lithofacies successions of ancient deep-water deposits in outcrops

\* Corresponding author: Yaghub Nasiri; E-mail: y.nasiri.1365@gmail.com

### Citation:

Taghdisi Nibakht, S., Badpa, M., Salahi, M.A., and Nasiri, Y., 2026. Investigation of sub-ichnofacies of the *Nereites* ichnofacies in the upper part of the Late Cretaceous flysch deposits in the Jolfa region, northwestern Iran, Alborz Basin. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 36(2), 140, 49-66. <https://doi.org/10.22071/gsj.2026.559536.2234>.

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/gsj.2026.559536.2234



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

and on morphological features of modern submarine fans have been widely used for the interpretation of ancient deep-water depositional systems. The use of trace fossils stems from the fact that variations in trace fossil assemblages and average bioturbation in fan and related environments reflect changes in such environmental parameters, among others, as substrate consistency (e.g. sand: mud ratio), energy conditions, rates of sediment accumulation and oxygenation. The Arsi stratigraphic section is accessible via the Jolfa–Siah Rud road. After traveling approximately 25 km along this route, the village of Arsi is reached, where an exposure of the Late Cretaceous flysch succession is observed. Proceeding nearly 2 km beyond Arsi toward the village of Daran, ridge-shaped valleys formed by fluvial networks are visible. These valleys not only provide pristine and ideal exposures of the flysch deposits but, in some cases, also facilitate sandstone extraction by local miners. The Cretaceous flysch unit in the Jolfa–Siah Rud area generally comprises a lithological assemblage of conglomerate, sandstone, siltstone, limestone, marl, and flysch-type shale. The lower part of this succession mainly consists of sandstone, flysch-type shale, and conglomerate, whereas the upper unit includes siltstone, sandstone, flysch-type shale, marl, and limestone. In the study area at the Arsi section, the succession is discontinuously and faulted over Triassic deposits, with an unconformity beneath the Eocene sediments. Since the basal portion of the Late Cretaceous flysch in this area is largely covered and, in many cases, only the upper bedding plane is visible, access to the base of these deposits—at least at this section—was not feasible. Therefore, the study focused on the upper part of the succession. It is noteworthy that, given the extensive outcrops of these deposits in the Jolfa–Siah Rud area, future studies could investigate the basal portion in more suitable stratigraphic sections within the region. The results of this study can provide a basic basis for investigating the conditions of the sedimentary environment and differentiation of facies and paleoecology of deep-sea basins in other parts of Iran. It is hoped that the abundance of this subsurface can help to understand the paleogeography of late Cretaceous to Paleocene Iran.

## 2. Research methodology

Based on field investigations in this measured section, the following features were examined: bedding thickness, stratification surfaces, sedimentary structures, fossil traces, and degree of bioturbation, grain-size variations, and bed relationships. Ichnological assemblages were analyzed following the approach of MacEachern et al. (2007c) to

evaluate pre- and post-depositional conditions of beds and stratigraphic surfaces within the Cretaceous flysch deposits.

## 3. Results and Discussion

The study of *Nereites* ichnofacies shows that this facies in deep sea basins does not show a uniform composition from the proximal parts towards the distal parts, but has many changes in the ichnological collections related to the sedimentation conditions of the environment. In this regard, considering the high frequency of trace fossils related to Nerite ichnofacies in the deposits of the Cretaceous Flysch Jolfa and its changes during the increase of the depth of the basin, it was necessary to divide the existing ichnological collections into the sub-facies related to sedimentation conditions for the interpretation of the basin.

Most researchers introduce the bathymetric distribution of the *Nereites* ichnofacies and its *Ophiomorpha rudis*-*Paleodictyon*-*Nereites* subichnofacies from the upper parts of the continental slope towards the lower parts of the basin. Based on this, 5 subichnofacies related to the turbidite deposits of the Cretaceous Flysch Deposits of the Jolfa Area have been identified. This collection includes the following subichnofacies:

- (1) *Ophiomorpha rudis* subichnofacies, (2) *Ophiomorpha rudis*-*Paleodictyon* subichnofacies, (3) *Paleodictyon* subichnofacies, (4) *Nereites* subichnofacies, (5) *Nereites*-*Paleodictyon* subichnofacies

## 4. Conclusion

In the deposits of the Cretaceous Flysch Jolfa, the diversity of trace fossils, the composition of ichnofauna, and the behavior and morphology of pre-depositional assemblages indicate the influence of the *Nereites* ichnofacies. However, the diversity, abundance, and intensity of bioturbation of the trace fossils related to the *Nereites* ichnofacies vary in different parts of the turbidity sequence of the Cretaceous Flysch Jolfa. Five sets of subfacies associated with *Nereites* ichnofacies have been determined in the deposits of Cretaceous Flysch Jolfa, which trend from the shallow to the deeper parts of the basin, including: (1) the subichnofacies of *Ophiomorpha rudis*, (2) the subichnofacies of mixed *Ophiomorpha rudis*-*Paleodictyon*, (3) *Paleodictyon* subichnofacies, (4) Mixed *Paleodictyon*-*Nereites* subichnofacies, and (5) *Nereites* subichnofacies. The central parts and close to the proximal of the Cretaceous Flysch Jolfa sequence contain a collection of trace fossils with low diversity and abundance, which mainly includes the R-selected strategy, which trace fossils with a behavioral

strategy of settlement are the most important trace fossils in this part of the basin. The collection of trace fossils in these sections is related to the subichnofacies of *Ophiomorpha rudis* and the mixed subichnofacies of *Ophiomorpha rudis-Paleodictyon*. Towards the end parts of the distal of the

basin, higher diversity and abundance in the assemblages before sedimentation increases with the behavior of grazing and shipping. The collection of trace fossils in these parts is related to *Nereites*, *Paleodictyon* subichnofacies and *Paleodictyon-Nereites* mixed subichnofacies.

# بررسی زیر اثر خساره‌های اثر خساره نریس در بخش بالایی نهشته‌های رسوبات فلیش کرتاسه پسین منطقه جلغا، شمال باختری ایران، حوضه البرز

سمیرا تقدیسی نیک بخت<sup>۱</sup>، مهدی بادپا<sup>۲</sup>، میر امیر صلاحی<sup>۳</sup>، یعقوب نصیری<sup>۱\*</sup>

<sup>۱</sup> گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران

<sup>۲</sup> گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۳</sup> گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

## چکیده

مطالعه تفصیلی جهت بررسی فراوانی مجموعه اثر فسیل‌های کرتاسه پسین منطقه جلغا در استان آذربایجان شرقی نشان می‌دهد که این مجموعه جهت تعیین محیط رسوبی مخروط‌های زیر دریایی ابزار مناسبی است. انواع اثر فسیل‌ها و ترتیب قرارگیری آن‌ها مرتبط با بخش‌های مساعد زیستی می‌باشد، از این رو، در استخراج اطلاعاتی در مورد تفکیک زیر محیط‌های سیستم مخروط توریدیتی، نرخ رسوب گذاری و تداوم بستر به کار برده می‌شود. بخش‌های نزدیک به منشا و محوری سیستم ماسه‌ای برش مورد مطالعه مجموعه‌ای با تنوع و شدت کم را دارا است. که به وسیله مجموعه‌ای پس از رسوب گذاری چیره می‌شوند. با این وجود بخش‌های دیستال، افزایشی در تنوع و شدت آشفتگی زیستی اثر فسیل‌ها با مجموعه‌های پیش از رسوب گذاری را نشان می‌دهند. مجموعه اثر فسیل‌های شناسایی شده برش مورد مطالعه مرتبط با زیر اثر خساره‌های نریس می‌باشند. پنج نوع زیر اثر خساره از نریس در نهشته‌های برش مورد مطالعه که می‌تواند گویای روند افزایش ژرفا باشد، تشخیص داده شده است، شامل: (۱) زیر اثر خساره اُفیومورفا رودیس، (۲) زیر اثر خساره مخلوط اُفیومورفا رودیس-پالئودیکتون، (۳) زیر اثر خساره پالئودیکتون، (۴) زیر اثر خساره مخلوط نریس-پالئودیکتون و (۵) زیر اثر خساره نریس است.

## اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:

اثر فسیل

اثر خساره

نریس

توریدایت

## ۱- پیش نوشتار

در دهه‌های اخیر، اثر فسیل‌ها یکی از ابزارهای مفید در مباحث تحلیل حوضه و به طور ویژه در شناسایی و تفسیر بسته‌های رسوبی است (Dorador and Rodríguez-Tovar, 2018; Harding and Ekdale, 2018; Kikichi et al., 2018; Dorador et al., 2019; Nasiri et al., 2018; 2019; 2020; Rodríguez-Tovar et al., 2019; Bayet-Goll et al., 2020; 2022). اثر فسیل‌ها (trace fossils) بقایای فعالیت‌های زیستی جانداران (گیاهان، جانوران و آغازیان) در رسوبات و سنگ‌های رسوبی هستند. از آنجا که اثر فسیل‌ها اطلاعات خوبی در مورد ژرفاسنجی، سطح انرژی، شرایط غذایی (پروتروفیک/کم‌غذایی (الگوتروفیک))، میزان اکسیژن، یکنواختی بستر رسوبی و نرخ رسوب گذاری/فوسایش ارائه می‌دهند، ابزارهای مناسبی برای بازسازی محیط دیرینه هستند (Budd and Jensen, 2017; Drage et al., 2018; Fürsich et al., 2018). مهم‌ترین استفاده از اثر فسیل‌ها این است که تغییر در مجموعه اثر فسیل‌ها

و شاخص زیست‌آشفتگی (Bioturbation index, BI) نشانه تغییر در پارامترهای زیست محیطی همچون پایداری بستر، شوری، انرژی محیط، نرخ رسوب گذاری، میزان مواد غذایی در دسترس و اکسیژن است (Nasiri et al., 2019; Villegas-Martin and Netto, 2019; Svennevig and Surlyk, 2019; Kesidis et al., 2019). در این راستا اگر داده‌های محیط‌های رسوبی بر پایه ادغام با اثرشناسی (ایکتولوژی) صورت گیرد، می‌تواند تصویر بهتری از شرایط محیط‌های رسوبی دیرینه را ارائه کند. با این وجود بر اساس مک ایچرن و همکاران (MacEachern et al., 2007a, b) کار آترین روش مطالعه اثر فسیل‌ها در محیط رسوبی، استفاده از نوع اثر خساره و اکتونوفابریک است. اثرشناسی فسیل (ایکتولوژی) به عنوان علمی میان‌رشته‌ای بین رسوب‌شناسی و دیرینه‌شناسی در نظر گرفته می‌شود و در هر دو بخش اطلاعات بسیاری را در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد. پایه و اساس کارآیی اثر فسیل‌ها در تفسیر محیط رسوبی

\* نویسنده مسئول: یعقوب نصیری؛ E-mail: y.nasiri.1365@gmail.com

## ماخذنگاری:

تقدیسی نیک‌بخت، س.، بادپا، م.، صلاحی، م.ا.، نصیری، ی.، ۱۴۰۵، بررسی زیر اثر خساره‌های اثر خساره نریس در بخش بالایی نهشته‌های رسوبات فلیش کرتاسه پسین منطقه جلغا، شمال باختری ایران، حوضه البرز. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۶(۲)، ۱۴۰-۴۹. <https://doi.org/10.22071/gsj.2026.559536.2234>

doi: 10.22071/gsj.2026.559536.2234

حقوق معنوی مقاله برای فصلنامه علوم زمین و نویسندگان مقاله محفوظ است.

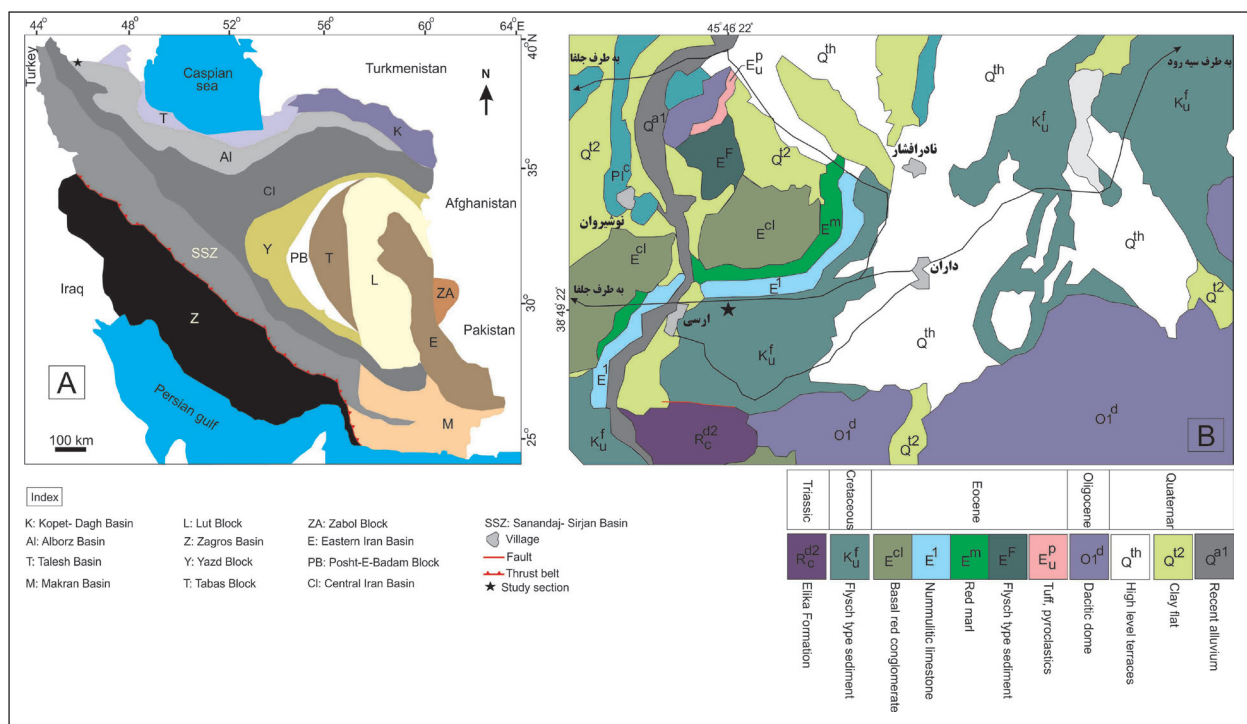


This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

## ۲- روش پژوهش

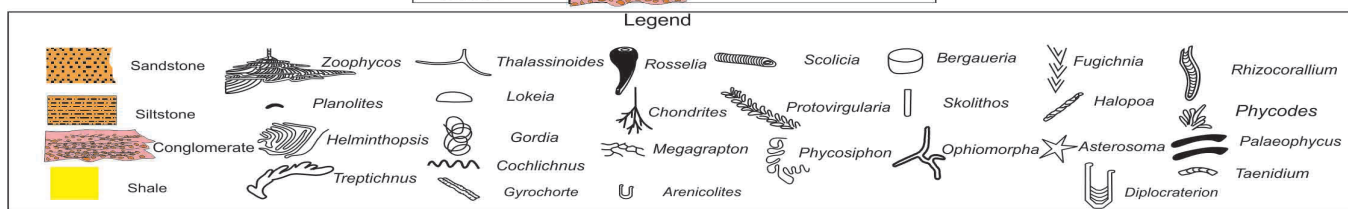
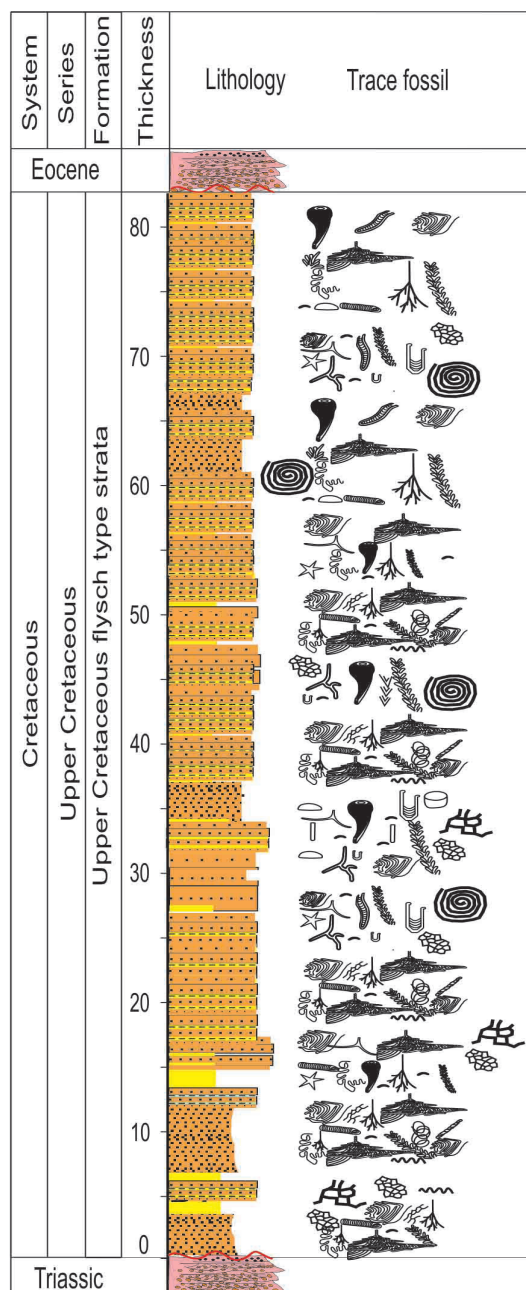
برش چینه‌شناسی ارسی از طریق جاده جلفا به سیه‌رود قابل دسترسی است. پس از پیمودن ۲۵ کیلومتر در این مسیر، روستای ارسی قرار دارد که رخنمونی از توالی نهشته‌های فلیشی کرتاسه پسین در آن دیده می‌شود. با عبور نزدیک به ۲ کیلومتر از روستای ارسی به سمت روستای داران (شکل ۱)، دره‌های یالی شکل گرفته توسط شبکه آب‌های روان قابل مشاهده است. واحد فلیش کرتاسه منطقه جلفا-سیه‌رود به صورت کلی دارای ترکیب سنگ‌شناختی کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلت‌سنگ، سنگ آهک، مارن و شیل نوع فلیش است. بخش زیرین توالی یاد شده، بیشتر شامل ماسه‌سنگ، شیل نوع فلیش و کنگلومرا بوده و واحد بالایی شامل سیلت‌سنگ، ماسه‌سنگ، شیل نوع فلیش، مارن و سنگ آهک است. در محدوده برش ارسی، توالی یاد شده به صورت ناپوسته و گسله بر روی نهشته‌های تریاس و با ناپوستگی در زیر رسوبات انوسن قرار گرفته است (شکل ۲). با توجه به این که بخش قاعده‌ای نهشته‌های فلیشی کرتاسه پسین در محدوده یاد شده به صورت پوشیده و همچنین بسیاری از موارد تنها به صورت سطح لایه بالایی دیده می‌شود، از این رو، دسترسی به قاعده این رسوبات، دست‌کم در برش یاد شده امکان‌پذیر نبوده و بنابراین بخش بالایی این رسوبات به ستبرای ۸۵ متر، مورد مطالعه قرار گرفته است. بر اساس مطالعات صحرایی در این برداشت ستبرای نهشته‌ها، سطوح لایه‌بندی، ساختارهای رسوبی، اثر فسیل‌ها، میزان زیست‌آشفته‌گی، تغییرات اندازه دانه‌ها و همچنین ارتباط لایه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. مجموعه‌های اثرشناختی (ایکونولوژیکی) بر اساس تجزیه و تحلیل اثر فسیل‌ها (ایکونوفسیل‌ها) (MacEachern et al., 2007c) شرایط پیش و پس از رسوب‌گذاری طبقات و سطوح چینه‌شناسی در نهشته‌های فلیشی کرتاسه مورد بررسی قرار گرفت.

عهد حاضر است (Pemberton and MacEachern, 1994). کنترل‌کننده‌های اصلی در نحوه پراکنش، الگوی رفتاری و فراوانی اثر فسیل‌ها در قلمروهای دریایی شامل درجه شوری، نرخ رسوب‌گذاری، انرژی هیدرولیکی، پایداری بستر، مواد غذایی، سطح اکسیژن ستون آب و ثبات بستر رسوبی است (Monaco and Checconi, 2008; Dorador and Rodríguez-Tovar, 2018; Harding and Ekdale, 2018; Kikichi et al., 2018; Dorador et al., 2019; Nasiri et al., 2018; 2019; Rodríguez-Tovar et al., 2010, 2019). تاثیر این عوامل در محیط رسوبی بر روی جانداران حفر (trace markers) در نهایت در نحوه پراکنش، فراوانی، تنوع، ارتباط بین اثرات فسیلی و حالت حفظ‌شدگی آن‌ها در زمان ایجاد در توالی‌های رسوبی بروز می‌کند (Nasiri et al., 2018; 2019; Rodríguez-Tovar et al., 2019). میکروفسیلی صورت گرفته، بخش بالایی نهشته‌های فلیشی گویای سن مائستریشین هستند (عبدالهی و حسینی، ۱۳۷۵؛ مهرپرتو، ۱۳۷۶). همچنین عباسی (۱۳۸۹) با مطالعه توالی یاد شده در برش آبشار آسیاب خرابه جلفا، بر اساس مطالعه اثر فسیل‌ها، رخساره اثر فسیلی نریس را شناسایی و تشکیل آن‌ها را مرتبط با محیط ژرف آبیال در نظر گرفته است. مطالعات نسبتاً محدودی در خصوص اثر فسیل‌های دریایی ژرف و پتانسیل بالای آن‌ها برای تفسیر محیط رسوبی و دیرین زیست‌شناسی حوضه‌های رسوبی ژرف در ایران صورت گرفته است (نصیری و همکاران، ۱۳۹۱؛ Crimes and McCall 1995; Uchman et al., 2005; Bayet-Goll et al., 2014). در بیشتر موارد در حوضه‌های رسوبی دریایی ژرف نهشته‌های رسوبی و رخساره‌های مرتبط با آن‌ها ویژگی‌های برشناختی (میکروفاسیس، پتروفاسیس و لیتوفاسیس) یکسانی دارند (Tunis and Uchman, 1996)، به گونه‌ای که تفکیک و تمایز آن‌ها کاری مشکل و دشوار است در این راستا استفاده از اثر فسیل‌ها می‌تواند ابزاری مناسب در نظر گرفته شود.



شکل ۱- a) نقشه کلی ایران که در آن حوضه‌های مختلف رسوبی- ساختاری نشان داده شده است (آقاناتی، ۱۳۸۵). ناحیه مورد مطالعه در پهنه زمین‌شناختی البرز- آذربایجان قرار دارد. b) بخشی از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ جلفا (عبدالهی و حسینی، ۱۹۹۶) که موقعیت ناحیه مورد مطالعه با علامت ستاره در آن مشخص شده است.

Figure 1- a) General geological map of Iran showing the main sedimentary-structural basins (Aghaei-Nabati, 2006). The studied area is located within the Alborz-Azerbaijan geotectonic zone. b) Part of the 1:100,000 geological map of Jolfa (Abdollahi and Hosseini, 1996), in which the location of the studied area is marked by a star.



شکل ۲- ستون چینه‌شناسی برش مورد مطالعه همراه با توزیع اثرفسیل‌های موجود در لایه‌ها.

Figure 2. Stratigraphic column of the studied section showing the distribution of trace fossils within the strata.

### ۳- داده‌ها و اطلاعات

#### ۳-۱- اثرخساره (ایکونوفاسیس) نریتس

(farming)، همزیستی شیمیایی (chemichinia)، تغذیه‌ای و حفاری توصیف می‌شود (Tunis and Uchman, 1996). اثر فسیل‌های این اثرخساره روند پراکنش یکنواختی را در طول حوضه‌های دریایی ژرف نشان نمی‌دهد. به طور معمول تاثیر نوسانات محیطی به‌ویژه در مخروط‌های توریدیتی موجب ایجاد راهبرد (استراتژی) رفتاری

اثرفسیل‌ها قابلیت حفظ‌شدگی بالایی را در محیط‌های دریایی ژرف دارند و در بیشتر موارد اثرفسیل‌های مناطق ژرف دریا مرتبط با اثرخساره نریتس می‌باشند. اثرخساره نریتس با مجموعه‌ای متنوع از ساختارهای زیستی چرایی، کشتی

**تفسیر:** ویژگی‌های رسوبی و بافتی مشاهده شده در رخساره مورد مطالعه نشان دهنده نقش چیره جریان‌های خرده‌دار یا آشفته با چگالی بالا در تشکیل این رسوبات است. این جریان‌ها به‌طور عمده به نهشت کنگلومراها و ماسه‌سنگ‌های دانه‌درشت انجامیده‌اند که درون کانال‌ها یا دره‌های ژرف زیردریایی نه‌نشست یافته‌اند. چنین جریان‌هایی به‌طور معمول در نواحی نزدیک به منبع رسوب، یعنی بخش‌های بالایی مخروط‌های زیردریایی، شکل می‌گیرند.

جریان‌های خرده‌دار یا آشفته قادرند مقادیر شایان توجهی ماسه درشت و گراول را به صورت معلق حمل کنند و آشفتنگی جریان، فشار ناشی از برخورد دانه‌ها و نیروی درونی یا شناوری زمینه، از مهم‌ترین سازوکارهای انتقال رسوب در بخش‌های بالایی مخروط به شمار می‌روند. حضور ماسه‌سنگ‌های توده‌ای و درشت‌دانه در این رخساره نیز گویای چگالی بالای جریان‌های توریدیتی و تشکیل آن‌ها در مجموعه رخساره‌های مخروط بالایی است. افزون بر این، قاعده‌های فرسایشی مشخص و ستبرای شایان توجه این ماسه‌سنگ‌ها بیانگر نرخ بالای رسوب‌گذاری از حالت معلق و عملکرد جریان‌های آشفته با چگالی زیاد در کانال‌های پرشیب زیردریایی بخش بالایی مخروط می‌باشد (Saller et al., 2004).

### ۳-۲-۲- قسمت میانی مخروط (mid fan)

**توصیف:** رسوبات رخساره دوم از نظر ستبرای، بخش عمده‌ای از نهشته‌های توالی مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. این رخساره از دیدگاه بافتی و ساختی شامل ۲ زیررخساره اصلی است: ماسه‌سنگ‌های دانه‌درشت تا پبلی با لایه‌های ستبر و توده‌ای که دارای قاعده فرسایشی بوده و روند ستبرشونده به سمت بالا را نشان می‌دهند. در این بخش، چرخه توالی بوما از پایین به بالا شامل ماسه‌سنگ‌های پبلی و دانه‌درشت با طبقه‌بندی تدریجی ( $T_p$ )، ماسه‌سنگ‌های متوسط‌دانه توده‌ای که به‌ندرت دارای چینه‌بندی موازی هستند ( $T_p$ ) و ماسه‌سنگ‌های ریزدانه با لامیناسیون ریلی جریانی ( $T_p$ ) می‌باشد. تناوب لایه‌های دانه‌ریز شیل و سیلتستون با ماسه‌سنگ‌های ریزدانه و نازک‌لایه که اغلب دارای قاعده فرسایشی هستند. در این زیررخساره نیز چرخه بوما از پایین به بالا شامل ماسه‌سنگ‌های نازک‌لایه با لامیناسیون موازی ( $T_p$ ) و لایه‌های دانه‌ریز سیلتی تا رسی با چینه‌بندی لامینه‌ای موازی ( $T_{de}$ ) است. در این رخساره، الگوی کلی نشان‌دهنده کاهش تدریجی ستبرای و فراوانی لایه‌های ماسه‌سنگی به سمت بالا است، در حالی که نسبت رسوبات دانه‌ریز شیلی در بخش‌های بالایی این مجموعه به‌طور شایان توجهی افزایش می‌یابد. مجموعه اثرات فسیلی موجود در این رخساره به ترتیب فراوانی شامل: *Ophiomorpha rudis*, *Thalassinoides*, *Planolites*, *Scolicia*, *Halopoa*, *Taenidium*, *Gordia*, *Helminthopsis*, *Nereites*, *Palaeophycus*, *Zoophycos*, *Cochlichmus*, *Megagraption*, *Chondrites*, *Spongiomorpha*, *Desmograption*, *Cosmorhapha*, *Circulichnus* می‌باشد (جدول ۱).

**تفسیر:** در مقایسه با رخساره نخست، رخساره دوم کاهش شایان توجهی در نسبت ذرات درشت کنگلومرا به ماسه‌سنگ پبلی نشان می‌دهد. با این حال، نسبت رسوبات ریزدانه شامل ماسه‌های ریز و لایه‌های شیل و سیلتی در این رخساره نسبت به بخش‌های درشت‌تر افزایش می‌یابد. افزون بر این، چرخه‌های توالی رسوبی و ساخت‌های موجود در این مجموعه (چرخه توالی بوما) تغییرات چشمگیری از بخش بالادستی به پایین‌دستی رخساره نشان می‌دهند. ویژگی‌های رسوبی و بافتی در این مجموعه گویای نقش جریان‌های توریدیتی با چگالی کمتر در شکل‌گیری رسوبات نسبت به رخساره اول است. این جریان‌ها به‌طور عمده در کانال‌های بریده‌بریده، زبانه‌های فعال و سطوح خاکریزهای بخش میانی مخروط رسوب کرده‌اند. همچنین، به‌هم‌پیوستگی لایه‌های صفحه‌ای شکل ماسه‌سنگ در چرخه‌های درشت‌شونده شیل و ماسه‌سنگ نشان‌دهنده جریان‌های باز کانالی (unconfined flows) در سیستم‌های توریدیتی است (Navarro et al., 2007).

متفاوت جانداران سازنده در حوضه‌های دریایی ژرف می‌شود. در محیط‌های دریایی ژرف افزون بر ژرفا، فرایند ته‌نشست رسوبات توریدیتی و رژیم جریان حاکم (انرژی هیدرودینامیکی)، مهم‌ترین فاکتورهای تاثیرگذار بر منش رفتاری جانداران اثرساز در اثررخساره نریتمس هستند. در این محیط‌ها به دلیل نوسانات در نرخ رسوب‌گذاری و شرایط انرژی و فرسایش در کف بستر، از بخش پروکسیمال تا دیستال حوضه تغییراتی در مجموعه اثرفیل‌ها مشاهده می‌شود. تغییر منش رفتاری اثرفیل‌های مرتبط با اثررخساره نریتمس موجب شده است که بسیاری از پژوهشگران اثررخساره نریتمس را به بخش‌های متفاوت در یک روند پروکسیمال-دیستال تقسیم کنند (Uchman and Demircan, 1999; Uchman, 2001, 2004; Uchman et al., 2010; Giannetti, 2010; Heard and Pickering, 2008; Uchman, 2007; 2004). با توجه به مطالعات صورت گرفته در بیشتر حوضه‌های رسوبی ژرف حاوی اثرفیل‌ها، اثررخساره نریتمس به ۳ بخش اصلی تقسیم شده است که شامل زیراتررخساره‌های *O. rudis*-*Paleodictyon-Nereites* (subichnofacies) می‌باشد. بر طبق آهمن (Uchman, 2001) اثررخساره نریتمس مرتبط با بخش‌های خارجی مخروط‌های زیردریایی و رسوبات کف حوضه است، در حالی که به سمت بخش‌های کم‌ژرف‌تر در رسوبات مرتبط با بخش‌های کانال و خاکریزهای مرتبط با بخش‌های میانی و بالایی مخروط‌های زیردریایی زیراتررخساره پالئودیکتون چیره می‌شود. در نهایت، در کم‌ژرف‌ترین بخش مخروط‌های زیردریایی در مناطقی با انرژی بالای جریان همچون کانال‌های زیردریایی بخش‌های بالایی مخروط و نهشته‌های شیب قاره زیراتررخساره آفیومورفا چیره می‌باشد.

### ۳-۲-۳- مجموعه رخساره‌های توریدیتی و پراکندگی محیطی اثرفیل‌ها

در این پژوهش، بر اساس مجموعه‌ای از شواهد صحرایی شامل ویژگی‌های لایه‌بندی، ساختارهای رسوبی، روابط جانبی رخساره‌ها، هندسه لایه‌ها، سطوح حدی، نوع و الگوی پراکنش اثرفیل‌ها، تغییرات اندازه دانه‌ها، روابط بین لایه‌ها و توزیع محیطی اثرفیل‌ها، ۳ مجموعه رخساره‌ای در توالی‌های رسوبی نهشته‌های فلیشی کرتاسه پسین منطقه جلفا شناسایی شد. این مجموعه‌های رخساره‌ای شامل رخساره‌های مخروط بالایی (upper fan)، مخروط میانی (mid fan) و مخروط پایینی (lower fan) هستند.

### ۳-۲-۱- قسمت بالایی مخروط (upper fan)

**توصیف:** بخش بالایی مخروط عمدتاً از کنگلومراها و ماسه‌سنگ‌های دانه‌درشت تشکیل شده است. این واحدها عموماً روند کاهش تدریجی اندازه دانه‌ها به سمت بالا را نشان می‌دهند و با سطوح فرسایشی مشخص، کنگلومرای کف کانال، ماسه‌سنگ‌های توده‌ای و به‌ندرت ساخت‌های طبقه‌بندی مورب ناودانی همراه هستند. در برخی بخش‌ها، لایه‌های دانه‌ریز با لامیناسیون موازی نیز مشاهده می‌شود. کنگلومراها غالباً فاقد چینه‌بندی مشخص بوده، دارای زمینه چیره و جورشدگی ضعیف هستند. قطعات تشکیل‌دهنده آن‌ها چندمنشا بوده و از نظر جورشدگی و گردشدگی وضعیت نامناسبی دارند. از ویژگی‌های شاخص این کنگلومراها، حضور قطعات درشت در زمینه‌ای رسی-سیلتی با دانه‌های ریز است. ماسه‌سنگ‌های مجموعه رخساره‌ای مخروط بالایی عمدتاً از نوع درشت‌دانه تا پبلی بوده و بیشتر به صورت لایه‌های ستبر و توده‌ای با قاعده فرسایشی مشاهده می‌شوند. این ماسه‌سنگ‌ها بیشتر دارای ساخت‌های حفرشده و پرشده و قالب‌های شیری هستند و در مواردی محدود، آثار طبقه‌بندی مورب ناودانی با میزان حفظ‌شدگی اندک در آن‌ها دیده می‌شود. همچنین در برخی بخش‌ها، لایه‌های دانه‌ریز با لامیناسیون موازی به‌طور همراه با این ماسه‌سنگ‌ها گسترش یافته‌اند. مجموعه اثرفیل‌های شناسایی شده در این رخساره، به ترتیب فراوانی شامل *Ophiomorpha*, *Thalassinoides*, *Palaeophycus*, *Scolicia*, *Halopoa*, *Arenicolites*, *Skolithos* است و به‌صورت فرعی *Gordia* نیز حضور دارند (جدول ۱).

جدول ۱- تلفیق داده‌های رسوب‌شناسی و اثرشناسی نهشته‌های کرتاسه پسین در برش مورد مطالعه (نوع حفظ شدگی، رفتار ایجاد کننده اثر فسیل‌ها، اثر خساره‌ها و طرح برانبارش لایه‌های رسوبی).

Table 1. Integration of sedimentological and ichnological data from the Upper Cretaceous deposits in the studied section (modes of preservation, tracemaker behavior, ichnofacies, and stacking pattern).

Facies Association	Facies	lithology	Primary sedimentary structures	Trace fossil	Type of preservation and behavior of trace fossil producers.	Ichnofacies
Upper fan	Grain-supported conglomerate	Clast-supported conglomerate, very coarse-grained sandstones	Distinct erosional basal surface with coarse basal lags in sandstones, including scour-and-fill structures.	<i>Ophiomorpha</i> , <i>Thalassinoides</i> ,	An increase in the ratio of the domichnia	<i>Ophiomorpha rudis</i> - <i>Ophiomorpha rudis</i> - <i>Paleodictyon</i> sub-ichnofacies,
	Thick to massive sandstones	Very coarse-grained sandstones and coarse-grained basal lags	Distinct erosional basal surface with load cast structures and tool marks (including flute marks and groove marks). Abundant intraclasts occur within the sandstone matrix. Thin-bedded turbidites are interpreted as natural levee deposits of proximal channel settings within the basin. Trough cross-stratification and scour-and-fill structures are also present	<i>Ophiomorpha</i> , <i>skolithos</i> , <i>Halopoa</i> . <i>H. storeana</i> , <i>Planolites</i> . <i>Zoophycos</i> , <i>Thalassinoides</i> , and <i>Scolicia</i> , <i>Palaeophycus</i> , <i>Arenicolites</i> ., <i>skolithos</i> in the sandstone. <i>Planolites</i> , <i>Helminthopsis</i> , <i>Gordia</i> in the shale	A decrease in the ratio of the dwelling (suspension-feeder) behavioral strategy, domichnia, and an increase in the ratio of deposit-feeding and grazing traces, fodinichnia, pascichnia.	<i>Ophiomorpha rudis</i> - <i>Ophiomorpha rudis</i> - <i>Paleodictyon</i> sub-ichnofacies,
Middle fan	Medium- to thick-bedded sandstones with evidence of graded bedding.	Medium to coarse-grained sandstones with relatively good sorting.	A succession of massive sandstones showing upward-fining or upward-coarsening trends, with scattered parallel lamination, ripple structures, and Bouma sequence divisions A and B.	Post depositional; <i>Ophiomorpha rudis</i> , <i>O. annulata</i> , <i>Halopoa</i> isp., <i>Planolites</i> isp., <i>Thalassinoides</i> , and <i>Scolicia</i> isp., <i>Taenidium</i> isp., <i>Palaeophycus</i> , <i>Phycodes</i> . Pre-depositional Poor preservation of fossil traces due to erosional currents and a high rate of sedimentation	This facies contains various ichnofossils, the presence of which is dependent on the strength of erosional currents. An increase in the ratio of deposit-feeding (fodinichnia) and dwelling (domichnia) trace fossils.	<i>Ophiomorpha rudis</i> - <i>Ophiomorpha rudis</i> - <i>Paleodictyon</i> - <i>Paleodictyon</i> sub-ichnofacies,
	Thin-bedded sandstone/ siltstone and shale turbidites	Siltstone and sandstone with moderate to high bioturbation, containing sandstone layers of variable thickness.	Massive sandstones with irregular internal fabric or lacking internal structures are intercalated with thin-bedded sandstone/siltstone turbidites and dominant shale. Asymmetric ripple lamination and planar parallel laminae are the prevalent sedimentary structures. The sequence exhibits a distinct erosional basal surface and includes Bouma sequence .divisions C, D, and E	Post depositional; <i>Ophiomorpha rudis</i> , <i>Planolites</i> isp., <i>Thalassinoides</i> , and <i>Scolicia</i> isp., <i>Palaeophycus</i> ; <i>Taenidium</i> , <i>Zoophycos</i> . Pre depositional: <i>Chondrites</i> , <i>Helminthopsis</i> , <i>Gordia</i> isp. <i>Scolicia</i> ( <i>strozzii</i> ), <i>Planolites</i> , <i>Circulichnus</i> , <i>Paleodictyon</i> , <i>Nereites</i> , <i>Cosmorhaphe</i> .	A decrease in the ratio of the dwelling (suspension-feeder) behavioral strategy, domichnia, and an increase in the ratio of deposit-feeding and grazing traces, fodinichnia, pascichnia. An increase in the ratio of the farming (agricrichnia) behavioral .strategy	<i>Ophiomorpha rudis</i> - <i>Ophiomorpha rudis</i> - <i>Paleodictyon</i> - <i>Paleodictyon</i> sub-ichnofacies,
	medium-bedded turbidites	A succession of upward-thickening sandstones with interlayered shales and siltstones.	Sedimentary structures include parallel, ripple, and convolute laminations. Different divisions of the Bouma sequence include massive sandstones (Tb) with parallel and convolute laminations (Tc). The absence of basal Bouma sequence divisions (Ta) indicates significant irregularity and changes in the bedding trend.	Post depositional; <i>Ophiomorpha rudis</i> , <i>O annulata</i> , <i>Halopoa</i> isp., <i>Planolites</i> isp., <i>Zoophycos</i> isp., <i>Thalassinoides</i> , and <i>Scolicia</i> isp., <i>Spongeliomorpha</i> isp. <i>Taenidium</i> isp. Pre depositional: <i>Chondrites</i> , <i>Helminthopsis</i> , <i>Gordia</i> isp. <i>Cochlichnus</i> , <i>Scolicia</i> ( <i>strozzii</i> ), <i>Megagraption</i> , <i>Desmograpton</i> , <i>Planolites</i> , <i>Nereites</i> .	Contains various ichnofossils, the presence of which is dependent on the strength of erosional currents and the activity level of mud dwellers. A decrease in the ratio of deposit-feeding and dwelling trace fossils, and an increase in the ratio of the farming (agricrichnia) behavioral strategy	<i>Ophiomorpha rudis</i> - <i>Ophiomorpha rudis</i> - <i>Paleodictyon</i> - <i>Paleodictyon</i> sub-ichnofacies,

ادامه جدول ۱- تلفیق داده‌های رسوب‌شناسی و اثرشناسی نهشته‌های کرتاسه پسین در برش مورد مطالعه (نوع حفظ شدگی، رفتار ایجاد کننده اثر فسیل‌ها، اثر رخساره‌ها و طرح برانبارش لایه‌های رسوبی).

Continued from Table 1. Integration of sedimentological and ichnological data from the Upper Cretaceous deposits in the studied section (modes of preservation, tracemaker behavior, ichnofacies, and stacking pattern).

Facies Association	Facies	lithology	Primary sedimentary structures	Trace fossil	Type of preservation and behavior of trace fossil producers.	Ichnofacies
Lower fan and distal basin-floor	Deposition of hemipelagic muds	limestone and siltstone.	Massive or with scattered parallel laminations; light-colored, structureless clay layers.	Without bioturbation in some cases, with traces of <i>Chondrites</i>	A decrease in the ratio of trace fossils, with deposit-feeding trace fossils of deep tier (deep feeding strategy) and a chemosymbiotic behavioral strategy.	<i>Nereites</i> ichnofacies
	thin-bedded turbidites	Siltstone and silty mudstone with interlayers of silty sandstone.	Mudstone and siltstone with parallel or massive, structureless laminations; sandstone beds featuring asymmetric ripple lamination, planar lamination, and Bouma sequence divisions .Td, e	Post depositional; <i>Ophiomorpha rudis</i> , <i>Chondrites</i> isp., <i>Planolites</i> isp., <i>Thalassinoides</i> , and <i>Zoophycos</i> isp. Pre depositional: <i>Chondrites</i> , <i>Helminthopsis</i> , <i>Gordia</i> isp. <i>Planolites</i> isp. <i>Lorenzina</i> , <i>Cochlichnus</i> , <i>Megagraption</i> , <i>Cosmorhapse</i> , <i>Desmograpton</i> , <i>Paleodictyon</i> .	A decrease in the ratio of dwelling traces, and an increase in the ratio of grazing (pascichnia), farming (agricichnia), and deposit-feeding trace fossils.	<i>Nereites</i> ichnofacies
	thin-bedded to medium-bedded turbidites	Siltstone and silty mudstone with interlayers of silty sandstone.	The layer surfaces are distinct and lack any structures. In most cases, they consist of the 'e' division of the Bouma sequence (Te), featuring beds with internal structures including asymmetric ripple lamination, planar lamination, and Bouma sequence divisions Tcde.	Post depositional; <i>Ophiomorpha rudis</i> , <i>Planolites</i> isp., <i>Thalassinoides</i> , and <i>Scolicia</i> isp., Pre depositional: <i>Chondrites</i> , <i>Helminthopsis</i> , <i>Circulichnus</i> , <i>Gordia</i> isp. <i>Scolicia (strozzi)</i> , <i>Megagraption</i> , <i>Fustiglyphus</i> , <i>Spirorhapse</i> , <i>Paleodictyon</i> , <i>Cosmorhapse</i> , <i>Desmograpton</i> , <i>Urohelminthoidia</i> , <i>Planolites</i> ,	A decrease in the ratio of dwelling traces, and an increase in the ratio of grazing, farming, and deposit-feeding trace fossils.	<i>Nereites</i> ichnofacies

تشکیل شده‌اند؛ به گونه‌ای که بخش‌های پایینی چرخه (T<sub>ab</sub>) در این رخساره مشاهده نمی‌شوند و تنها به ندرت ماسه‌های ریزدانه با لامیناسیون ریبلی جریانی (T<sub>c</sub>) در آن‌ها یافت می‌شود. مجموعه اثر فسیلی‌های موجود در این رخساره به ترتیب فراوانی شامل: *Ophiomorpha rudis*, *Thalassinoides*, *Planolites*, *Gordia*, *Helminthopsis*, *Nereites*, *Paleodictyon*, *Spirorhapse*, *Cosmorhapse*, *Megagraption*, *Desmograpton*, *Fustiglyphus*, *Urohelminthoidia*, *Scolicia*, *Zoophycos*, *Chondrites* و *Circulichnus* می‌باشد (جدول ۱).

- **تفسیر:** افزایش نسبت شیل به ماسه‌سنگ در رخساره سوم نشان‌دهنده تشکیل این رسوبات در بخش‌های پایینی مخروط تحت تاثیر جریان‌های توریدیتی با چگالی پایین است. ویژگی‌های دانه‌ریز و نوع ساختارهای رسوبی موجود گویای حضور جریان‌های رقیق و گلی با چگالی پایین است که عدم محدودیت چنین جریان‌هایی به کانال‌ها سبب کاهش سرعت جریان توریدیتی شده و رسوبات دانه‌ریز پهن و گسترده‌ای در بخش‌های پایینی مخروط ایجاد می‌کنند. افزون بر این، نبود قاعده فرسایشی در لایه‌های ماسه‌سنگی رخساره سوم بیانگر فقدان کانال‌های مشخص حمل‌کننده رسوب و حضور جریان‌های رقیق توریدیتی پهن و گسترده است. به دلیل نبود شواهد کانالی در این رخساره، نهشته‌های متناوب شیل و ماسه‌سنگی آن عمدتاً به

ماسه‌سنگ‌های ستر لایه در این بخش نیز دلالت بر چگالی بالای جریان توریدیتی نسبت به دیگر رخساره‌های موجود در همان محدوده و محدود شدن جریان‌ها در کانال‌های بریده‌بریده بخش میانی مخروط دارد. وجود تناوب منظم لایه‌های ماسه‌سنگ و شیل ریزدانه در زیر رخساره سوم نشان‌دهنده کاهش انرژی و چگالی جریان‌های توریدیتی است؛ چنین جریان‌هایی هنگام پر شدن کانال‌های بریده‌بریده و سرازیر شدن به بخش‌های حاشیه‌ای ایجاد می‌شوند. کاهش انرژی و چگالی جریان از کانال‌ها به سمت نواحی پیرامونی به شکل‌گیری تناوبی از لایه‌های دانه‌ریز شیل و ماسه‌سنگ انجامیده که بخش‌های بالایی چرخه توالی بوما را تشکیل می‌دهند (Navarro et al., 2007; Saller et al., 2004; Callow and McIlroy, 2011).

### ۳-۲-۳- قسمت پایینی مخروط (lower fan)

رسوبات رخساره سوم عمدتاً از لایه‌های دانه‌ریز شیل و سیلت تشکیل شده‌اند و نسبت شیل به ماسه در این رخساره نسبت به دو رخساره قبلی به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. ستر لایه‌ها و چرخه‌های توالی بوما در این رخساره نسبت به بخش‌های میانی و بالایی مخروط کاهش شایان توجهی نشان می‌دهد. همزمان با این تغییرات، مجموعه‌های توالی بوما در رخساره سوم به‌طور عمده از بخش‌های بالایی چرخه بوما

isp., *Thalassinoides horizontalis*, *Thalassinoides suevicus*, *Halopoa imbricata*, *Halopoa storeana*, *Nereites irregularis*, *Nereites loomisi*, *Phycodes* isp., *Planolites beverleyensis*, *Palaeophycus heberti*, *Palaeophycus tubularis*, *Spongeliomorpha* isp., *Protovirgularia* isp. and *Taenidium* isp.

در بررسی اثر رخساره نریتس مشخص شده است که این اثر رخساره در حوضه‌های دریایی ژرف ترکیب یکنواختی را از بخش‌های پروکسیمال به سمت بخش‌های دیستال نشان نمی‌دهد بلکه دارای تغییرات زیادی در مجموعه‌های اثر شناختی (ایکتولوژیکی) مرتبط با شرایط رسوب گذاری محیط دارد (Uchman, 2001, 2007). در این راستا با توجه به فراوانی بالا اثر فسیل‌های مرتبط با اثر رخساره نریتس در نهشته‌های رسوبی فلیشی کرتاسه پسین جلفا و تغییرات آن در طول افزایش ژرفای حوضه لازم شد که مجموعه‌های اثر شناختی موجود به زیر اثر رخساره‌های مرتبط با شرایط رسوب گذاری جهت تفسیر حوضه تقسیم شوند. بیشتر پژوهشگران روند ژرفاسنجی اثر فسیل‌های اثر رخساره نریتس را به صورت *O. Rudis-Paleodictyon* مرتبط با *Nereites-subichnofacies* از بخش‌های بالایی شیب قاره به سمت بخش‌های کف حوضه معرفی می‌کنند (Uchman, 2001, 2007). پنج زیر اثر رخساره مرتبط با نهشته‌های رسوبی فلیشی کرتاسه پسین جلفا شامل موارد زیر است (شکل ۳):

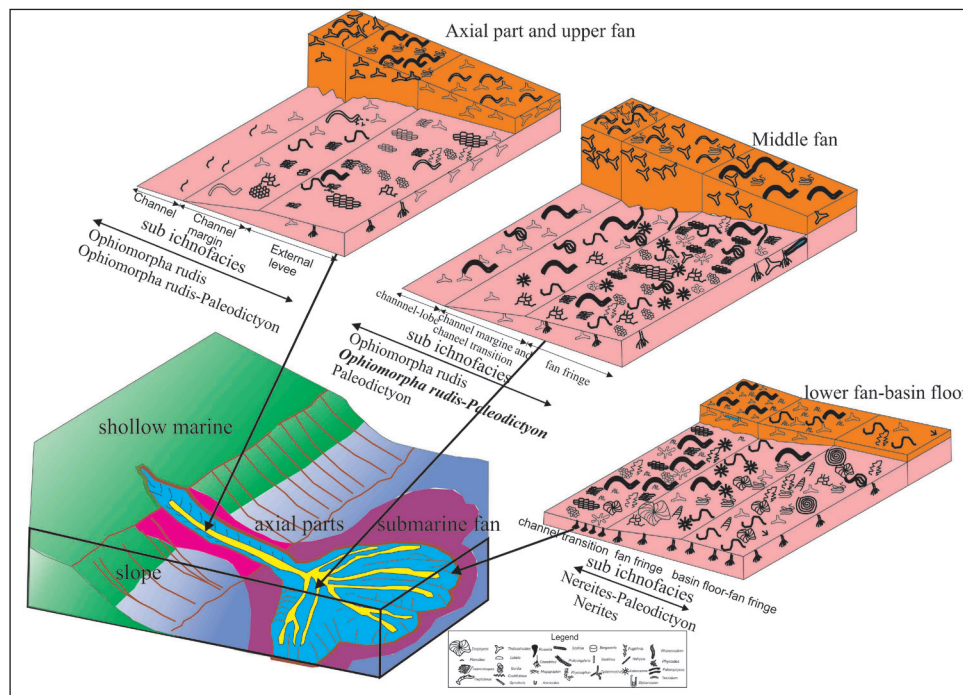
- (1) *Ophiomorpha rudis* subichnofacies
- (2) *Ophiomorpha rudis-Paleodictyon* subichnofacies
- (3) *Paleodictyon* subichnofacies
- (4) *Nereites* subichnofacies
- (5) *Nereites-Paleodictyon* subichnofacies.

مجموعه‌های شناسایی شده در تطابق با مطالعات دیگر پژوهشگران در حوضه‌های رسوبی است و از یافته‌های آنان در ارتباط با تغییرات اثر رخساره نریتس در طول افزایش ژرفای حوضه حمایت می‌کند (Heard and Pickering, 2008; Knaust, 2009a, b; Monaco et al., 2010; Phillips et al., 2011; Cummings and Hodgson, 2011).

بخش‌های پایینی مخروط نسبت داده می‌شوند و نه به سطوح خاکریز طبیعی یا حاشیه کانال‌های بخش میانی مخروط (Saller et al., 2004; Callow and McIlroy, 2011).

### ۳-۳- زیر اثر رخساره‌های نریتس در توالی رسوبی نهشته‌های فلیشی کرتاسه پسین جلفا

در محیط‌های توریدیتی با بستر رسوبی تحت تاثیر نوسانات نرخ رسوب گذاری، دو مجموعه اثرات فسیلی مشخص به وجود می‌آید که دلالت بر سبک الگوی زیستی متفاوت و زیستگاه‌های مختلف دارد. در این مطالعه نهشته‌های رسوبی فلیشی کرتاسه پسین جلفا مجموعه اثر فسیل‌ها به دو مجموعه پیش و پس از رسوب گذاری (pre/postdepositional) تقسیم می‌شوند. مجموعه پیش از رسوب گذاری در نهشته‌های رسوبی فلیشی کرتاسه پسین جلفا دارای الگوی رفتاری گریزینگ، تغذیه‌ای هستند و شامل مجموعه اثرات گرافو گلیپتیدها هستند که شامل اثر فسیل‌های *Desmograption ichthyforme*, *Helminthopsis abeli*, *Helminthopsis hieroglyphica*, *Cosmorhapha lobata*, *Nereites irregularis*, *Nereites loomisi*, *Paleodictyon stozzii*, *Paleodictyon majus*, *Paleodictyon italicum*, *Circulichnus* isp., *Cochlichnus* isp., *Fustiglyphus* isp., *Gordia* isp., *Helminthoidichnites* isp., *Megagraption submontanum*, *Bergaueria* isp., *Helminthorhapha flexuosa*, *Scolicia stozzii*, *Halopoa storeana*, *Protovirgularia* isp., *Spirophycus* isp., *Zoophycus* isp., *Phycosiphon* isp., *Protopaleodictyon submontanum*, *Protopaleodictyon incompositum*, *Spirorhapha involuta*, *Chondrites* isp., *Lorenzina* isp., *Hormosiroidea* isp., *Helicolithus* isp., *Chondrohapha* isp. and *Urohelminthoida* isp. می‌باشد. مجموعه پس از رسوب گذاری بر روی سطح بالایی طبقات با الگوی رفتاری حفاری، تغذیه‌ای و گریزینگ شامل: *Ophiomorpha rudis*, *Ophiomorpha annulata*, *Chondrites* isp., *Zoophycus*



شکل ۳- مدل محیط رسوبی به همراه زیر اثر رخساره (ساب ایکتوفاسیس‌های) مرتبط با نهشته‌های توریدیتی منطبقه مورد مطالعه در ۳ مجموعه رخساره‌های بخش‌های بالایی مخروط، میانی مخروط و بخش‌های پایینی مخروط با نهشته‌های کف حوضه. روند افزاینده ژرفای زیر اثر رخساره:

- (1) *Ophiomorpha rudis* subichnofacies
- (2) *Ophiomorpha rudis-Paleodictyon* subichnofacies
- (3) *Paleodictyon* subichnofacies
- (4) *Nereites-Paleodictyon* subichnofacies
- (5) *Nereites* subichnofacies.

Figure 3. Depositional model showing the sedimentary environments and related subichnofacies of the turbiditic deposits in the study section, represented across three ichnoassociation: upper fan, middle fan, and lower fan with basin plain deposits. The subichnofacies show an increasing depth trend as follows: (1) *Ophiomorpha rudis* subichnofacies (2) *Ophiomorpha rudis-Paleodictyon* subichnofacies (3) *Paleodictyon* subichnofacies (4) *Nereites-Paleodictyon* subichnofacies (5) *Nereites* subichnofacies.

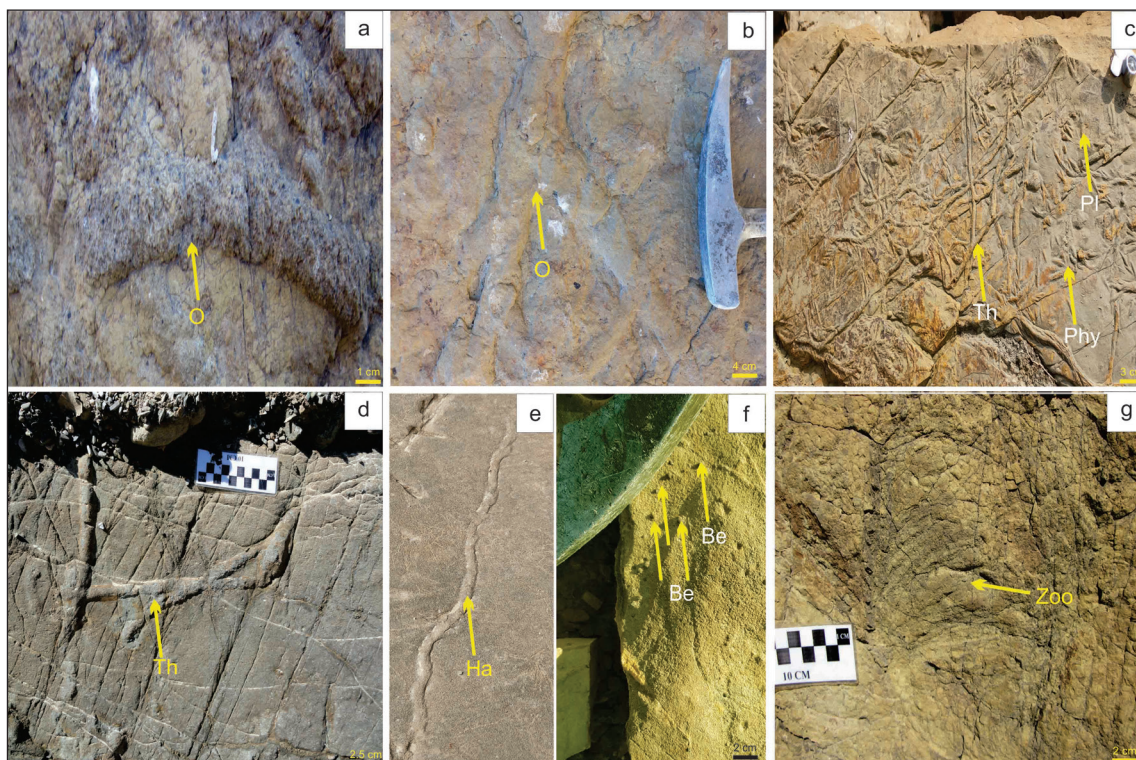
ژرف بخش‌های بالایی مخروط و وجود جریانات خرده‌دار و آشفته سبب ایجاد جریانات با چگالی بالا و شرایط زیستی نامتعادل در بستر رسوبی می‌شود. به دلیل وجود چنین شرایط چیره، اثرفسیل‌های موجود در این محیط‌ها رفتار پناهگاهی و راهبرد فرصت طلب (opportunistic) جهت تجمع زیستی بر روی بستر رسوبی را نشان می‌دهند. چنین رفتاری منطبق بر مجموعه‌های پس از رسوب گذاری و زیراتررخساره اُفیومورفا رودیس است (شکل ۳). اثرفسیل‌های موجود در این بخش شامل موارد زیر است (شکل ۴):

*Ophiomorpha rudis*, *Ophiomorpha annulata*, *Thalassinoides horizontalis*, *Thalassinoides suevicus*, *Halopoa annulata*, *Halopoa imbricata*, *Halopoa storeana*, *Nereites irregularis*, *Nereites loomisi*, *Phycodes* isp., *Palaeophycus heberti*, *Palaeophycus tubularis*, *Spongeliomorpha* isp., *Zoophycos* isp., *Protovirgularia* isp.

بیشتر ساختارهای تغذیه‌ای و کشتی به نرخ پایین رسوب گذاری در جریانات توریدیتی با چگالی پایین و بستری غنی از مواد غذایی نیاز دارند. عدم وجود چنین شرایطی سبب شده است که مجموعه‌های پیش از توریدیت در این بخش‌ها حفظ شدگی نداشته باشند.

### ۳-۴- زیراتررخساره اُفیومورفا رودیس (*Ophiomorpha rudis*) (subichnofacies)

در برش مورد مطالعه، بخش‌های نزدیک به منشأ در بخش‌های بالایی مخروط‌های زیر دریایی و بخش‌های شیب‌قاره مرتبط با محیط‌های پارانژی نزدیک به منشأ رسوبات از واحدهای کنگلومرایی و ماسنگی دانه‌درشت تشکیل شده‌اند. بیشتر واحدهای کنگلومرایی در این بخش‌ها به شکل کانال و غنی از قطعه (clast-supported) با جورشدگی پایین بدون دانه‌بندی و چینه‌بندی تشکیل شده‌اند. لایه‌های ماسه سنگی در این بخش‌ها نیز به صورت دانه‌درشت و غنی از قطعه بوده که بیشتر از بخش‌های پایینی توالی بوما ( $T_{ab}$ ) تشکیل شده است. در محدوده‌های خارج از کانال واحدهای هترولیک دانه‌ریز از ماسه و شیل با ستبرای کم دیده می‌شود که توالی بوما در آن‌ها از بخش‌های بالایی ( $T_{de}$ ) تشکیل شده است. مجموعه اثرفسیل در این بخش‌ها به طور چیره راهبرد (استراتژی) رفتاری پناهگاهی (Domichnia, 60%) دارند با این وجود راهبرد رفتاری تغذیه‌ای (Fodinichnia, 30%) نیز عمومی می‌باشد. در مقابل، اثرات گریزینگ (Pascichnia, 10%) فراوانی خیلی کمی را در این نهشته‌ها نشان می‌دهند و راهبرد رفتاری کشتی (Agrichnia, 0%) در این محدوده مشاهده نشده است. نرخ رسوب گذاری به دلیل بالا بودن انرژی جریان در کانال‌های زیر دریایی



شکل ۴- مجموعه‌های پس از رسوب گذاری از زیراتررخساره اُفیومورفا رودیس.

a) *Ophiomorpha rudis*, b) *Ophiomorpha annulata*, c) *Thalassinoides* isp. (Th), *Planolites* isp. (Pl), *Phycodes* isp. (Phy), d) *Thalassinoides* isp., e) *Halopoa annulata*, f) *Bergaueria* isp. (Be), g) *Zoophycos* isp. (Zoo).

Figure 4. Post-depositional assemblages from the *Ophiomorpha rudis* subichnofacies: a) *Ophiomorpha rudis*, b) *Ophiomorpha annulata*, c) *Thalassinoides* isp. (Th), *Planolites* isp. (Pl), *Sinusichnus* isp. (Si), *Phycodes* isp. (Phy), d) *Thalassinoides* isp., e) *Halopoa annulata*, f) *Bergaueria* isp. (Be), g) *Zoophycos* isp. (Zoo).

محدود شدن جریان به کانال‌های زیردریایی موجب بستری نامناسب برای زیست جانداران با راهبرد رفتاری منطبق بر گروه‌های کشتی، گریزینگ و تغذیه‌ای می‌شود، با این وجود پرشدن این کانال‌ها در طول جریانات توریدیتی با چگالی

### ۳-۵- زیراتررخساره مخلوط اُفیومورفا رودیس-پالئودیکتون (*Ophiomorpha rudis*-*Paleodictyon*) (subichnofacies)

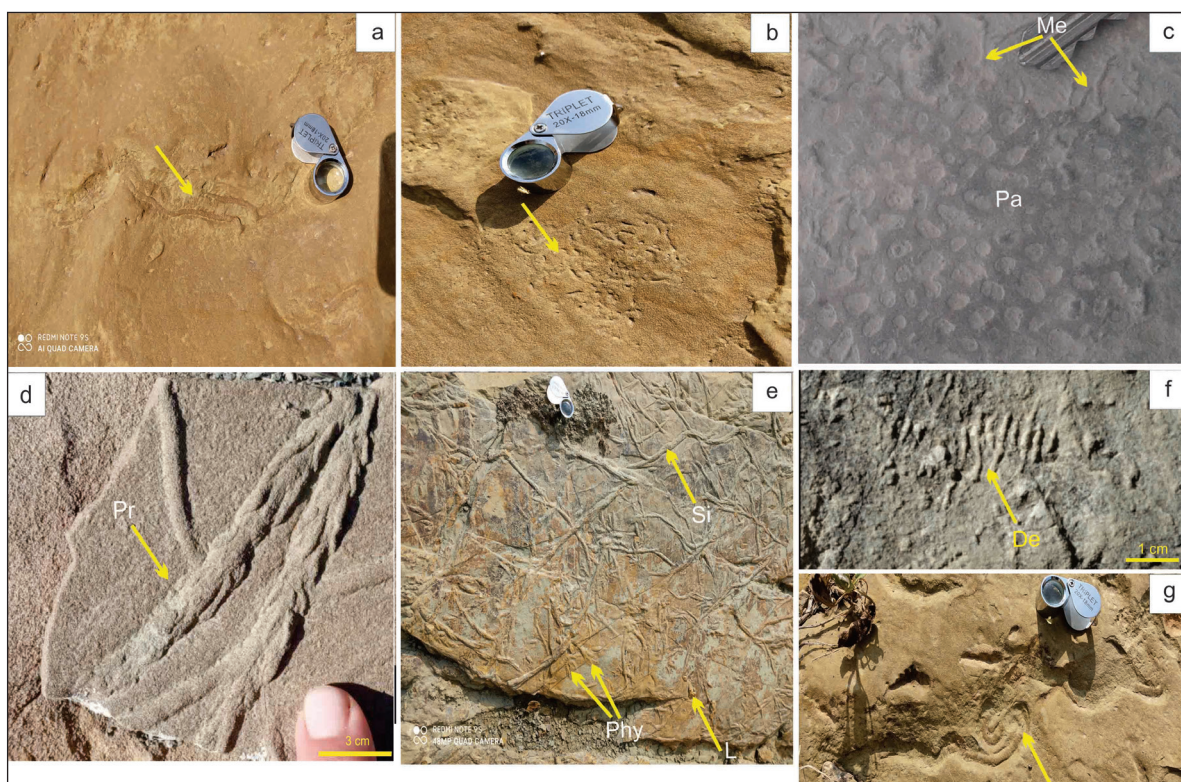
در بخش‌های بالایی و تا حد کمتری بخش‌های میانی مخروط‌های توریدیتی

رفتاری تغذیه‌ای (Fodinichnia, 25%) و گریزینگ (Pascichnia, 15%) نیز عمومی می‌باشند. در مقابل، راهبرد رفتاری کشتی (Agrichnia, 5%) در این محدوده فراوانی خیلی کمی دارند.

مجموعه اثر فسیل‌ها منطبق با زیر اثر رخساره مخلوط اُفیومورفا رودیس- پالئودیکتون است (شکل ۳). اثر فسیل‌های موجود در این بخش شامل موارد زیر هستند (شکل ۵):

*Ophiomorpha rudis*, *Ophiomorpha annulata*, *Thalassinoides* isp., *Halopoa annulata*, *Halopoa imbricata*, *Halopoa storeana*, *Nereites irregularis*, *Palaeophycus heberti*, *Palaeophycus tubularis*, *Spongeliomorpha* isp., *Protovirgularia* isp., *Desmograpton ichthyforme*, *Helminthopsis abeli*, *Helminthopsis hieroglyphica*, *Paleodictyon italicum*, *Helminthoidichnites*, *Bergaueria* isp., *Scolicia strozzii*, *Zoophycos* isp., *Chondrites* isp.

بالا سبب پخش شدگی جریان به صورت سطحی بر روی کانال‌های بخش بالایی و میانی مخروط می‌شود. همراه با توزیع رسوبات به صورت الگوی نامتمرکز شدت قدرت جریانات فرسایشی و چگالی جریان کاهش می‌یابد. این محیط‌ها منطبق بر خاکریزهای طبیعی و بخش‌های حاشیه‌ای کانال با لب (Channel-lobe transition) است. شرایط رسوب‌گذاری موجود در این بخش‌ها موجب بستر زیستی مساعدتر نسبت به بخش‌های کانال جهت تجمع زیستی جانداران سازنده مجموعه‌های پیش از رسوب‌گذاری می‌شود. با این وجود، این بخش هنوز نسبت به بخش‌های پایینی مخروط شرایط ایده‌آل جهت تجمع مجموعه‌های پیش از رسوب‌گذاری با تنوع و فراوانی بالا را ندارد. نزدیک بودن به بخش‌های محوری و پروکسیمال (proximal and axial parts) موجب شده است که این بخش‌ها هنوز دارای پس زمینه‌ای از چگالی بالای جریان توریدیتی را داشته باشد. مجموعه اثر فسیل‌ها در این بخش‌ها به طور چیره راهبرد رفتاری پناهگاهی (Domichnia, 55%) دارند با این وجود راهبرد



شکل ۵- مجموعه اثر فسیل‌ها منطبق با زیر اثر رخساره مخلوط اُفیومورفا رودیس- پالئودیکتون (مقیاس خطی ۱ سانتی متر است).

a) *Rhizocorallium* isp., b) *Nereites irregularis*, c) *Paleodictyon* isp. (Pa), *Megagraption* isp. (Me), d) *Protovirgularia* isp. (Pr), e) *Phycodes* isp. (Ph), *Sinusichnus* isp. (Si), *Lockeia* isp. (L), f) *Desmograpton* isp., g) *Scolicia strozzii*.

Figure 5. Trace fossil assemblage corresponding to the mixed *Ophiomorpha rudis*-*Paleodictyon* subichnofacies: a) *Rhizocorallium* isp., b) *Nereites irregularis*, c) *Paleodictyon* isp. (Pa), *Megagraption* isp. (Me), d) *Protovirgularia* (Pr), e) *Phycodes* isp. (Ph), *Sinusichnus* isp. (Si), *Lockeia* isp. (L), f) *Desmograpton* isp., g) *Scolicia strozzii*.

بوما) تغییرات زیادی از بخش کانال‌های میانی مخروط به سمت بخش‌های حاشیه‌ای کانال و حاشیه مخروط دیده می‌شود. به هم پیوستگی (amalgamated) لایه‌های صفحه‌ای شکل ماسه‌سنگ از چرخه‌های درشت‌شونده شیل و ماسه‌سنگ به عنوان جریان‌های باز کانالی (unconfined flow) در توریدایت‌ها از مهم‌ترین واحدهای رسوبی موجود در این بخش می‌باشند که به سمت بخش‌های حاشیه مخروط از نسبت به هم پیوستگی طبقات کاسته می‌شود و میزان شیل و ماسه‌سنگ‌های دانه‌ریز در آن‌ها

### ۳-۶- زیر اثر رخساره پالئودیکتون (Paleodictyon subichnofacies)

بخش‌های میانی مخروط‌های توریدیتی، کاهش زیادی را در نسبت ذرات دانه درشت کنگلومرایی به ماسه‌سنگ پبلی نسبت به بخش‌های بالایی مخروط نشان می‌دهند، با این وجود نسبت ماسه ریز و طبقات شیلی و سیلتی در این مجموعه رخساره‌ای نسبت ذرات دانه درشت کنگلومرایی و ماسه‌سنگ پبلی افزایش می‌یابد. به همراه این تغییرات توالی‌های رسوبی و ساخت‌های موجود در آن‌ها (چرخه توالی

**۳-۷- زیراتررخساره مخلوط نریتس-پالئودیکتون (Nereites -Paleodictyon subichnofacies)**

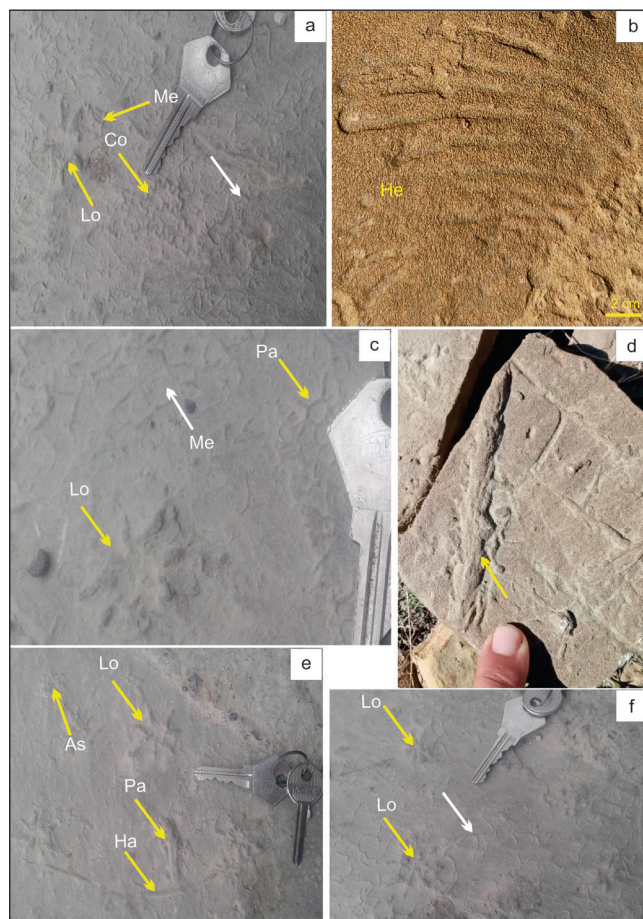
در بخش‌های میانی مخروط از سمت بخش‌های حاشیه کانال به سمت بخش‌های حاشیه مخروط (fan fringe) تنوع و فراوانی اثرفسیل‌ها مرتبط با مجموعه‌های پیش از رسوب گذاری افزایش می‌یابد. ماسه‌سنگ‌های نازک لایه در تناوب با لایه‌های دانه ریز شیلی نشان‌دهنده تشکیل آن‌ها در بخش‌های حاشیه مخروط از مخروط‌های توریدایتی است. وجود تناوب منظم از لایه‌های ماسه‌سنگی و شیلی دانه ریز در زیر این بخش گویای کاهش انرژی و چگالی جریان توریدایتی است که چنین جریاناتی در هنگام پر شدن کانال‌های بریده بریده و سرازیر شدن جریان به سمت بخش‌های حاشیه‌ای ایجاد می‌شود. مجموعه اثرفسیل در بخش‌های حاشیه مخروط به طور چیره راهبرد رفتاری کشتی (Agrichnia, 40%) و گریزینگ (Pascichnia, 30%) نشان می‌دهند. با این وجود راهبرد رفتاری تغذیه‌ای (Fodinichnia, 20%) نیز عمومی می‌باشند. در مقابل، راهبرد رفتاری پناهگاهی (Domichnia, 10%) در این محدوده فراوانی خیلی کمی دارند. مجموعه اثرفسیل‌ها در بخش‌های حاشیه مخروط منطبق بر زیراتررخساره مخلوط نریتس-پالئودیکتون است (شکل ۳). اثرفسیل‌های موجود در این بخش شامل مجموعه پیش از رسوب گذاری و تا حد کمتری پس از رسوب گذاری شامل (شکل ۶): *Desmograpton ichthyforme*, *Helminthopsis abeli*, *Helminthopsis hieroglyphica*, *Cosmorhapse lobata*, *Nereites isp.*, *Paleodictyon stozzii*, *Paleodictyon majus*, *Cochlichnus isp.*, *Fustiglyphus isp.*, *Gordia isp.*, *Megagraption submontanum*, *Helminthorhapse flexuosa*, *Scolicia strozzii*, *Spirophycus isp.*, *Zoophycos isp.*, *Protopaleodictyon submontanum*, *Chondrites isp.*, *Lorenzina isp.*, *Hormosiroidea isp.*, *Helicolithus isp.*, *Ophiomorpha isp.*, *Halopoa isp.*, *Nereites irregularis*, *Protovirgularia*

افزایش می‌یابد (نصیری و همکاران، ۱۳۹۱؛ Bayet-Goll et al., 2014). در این بخش نیز ماسه‌سنگ‌های ستر لایه دلالت بر وجود چگالی بالای جریان توریدایتی و محدود شدن جریان در کانال‌های بریده بریده بخش میانی مخروط است. ماسه‌سنگ‌های متوسط لایه در تناوب با لایه‌های دانه ریز نشان‌دهنده تشکیل آن‌ها در بخش‌های حاشیه مخروط میانی و زبانه‌های فعال در این بخش از توریدایت است.

مجموعه اثرفسیل در بخش‌های کانال و حاشیه کانال-لب (channel-lobe) به طور چیره راهبرد رفتاری پناهگاهی (Domichnia, 50%) دارند با این وجود راهبرد رفتاری تغذیه‌ای (Fodinichnia, 25%) و گریزینگ (Pascichnia, 15%) نیز عمومی می‌باشند. در مقابل، راهبرد رفتاری کشتی (Agrichnia, 10%) در این محدوده فراوانی خیلی کمی دارند. مجموعه اثرفسیل‌ها در بخش‌های کانال منطبق بر زیراتررخساره پالئودیکتون است (شکل ۳). اثرفسیل‌های موجود در این بخش شامل مجموعه پیش و پس از رسوب گذاری است (شکل ۵):

*Ophiomorpha isp.*, *Halopoa isp.*, *Nereites irregularis*, *Palaeophycus isp.*, *Spongeliomorpha isp.*, *Protovirgularia isp.*, *Desmograpton ichthyforme*, *Helminthopsis abeli*, *Gordia isp.*, *Paleodictyon stozzii*, *Paleodictyon italicum*, *Helminthoidichnites isp.*, *Scolicia strozzii*, *Zoophycos isp.*, *Chondrites isp.*, *Phycodes isp.*, *Planolites beverleyensis*, *Helminthorhapse flexuosa*, *Taenidium isp.*, *Protopaleodictyon isp.*, *Desmograpton isp.*, *Cosmorhapse isp.*, *Circulichnus isp.*, *Cochlichnus isp.*

لازم به یادآوری است که گاه بخش‌های مرکزی کانال اثرفسیل‌ها راهبرد چیره پناهگاهی را نشان می‌دهند و مجموعه پیش از رسوب گذاری به میزان کمتری مشاهده می‌شود. این بخش از کانال منطبق بر زیراتررخساره اُفیومورفا رودیس است.



شکل ۶- مجموعه اثرفسیل‌های موجود در بخش کانال منطبق بر زیراتررخساره اُفیومورفا رودیس. a) *Lorenzia* isp. (Lo), *Megageraption* isp. (Me), Hypichnial semicircular ridges forming the first- and second-order meanders from *Cosmorhapse* isp. (whit arrow), *Cosmorhapse lobata* (Co), b) *Helminthorhapse* isp., c) *Paleodictyon* isp. (Pa), *Lorenzia* isp. (Lo), *Megageraption* isp. (Me), مجموعه اثرفسیل‌ها در بخش‌های حاشیه مخروط منطبق بر زیراتررخساره مخلوط نریتس-پالئودیکتون d) *Protovirgularia* isp. and *Ophiomorpha* isp., e) *Astrosoma* isp. (As), *Lorenzai* isp. (Lo), *Halopoa* isp. (Ha), *Palaeophycus* isp. (Pa), f) *Helminthopsis* isp. irregular windings, with common alternation of winding and straight sections, *Lorenzia* isp. (Lo).

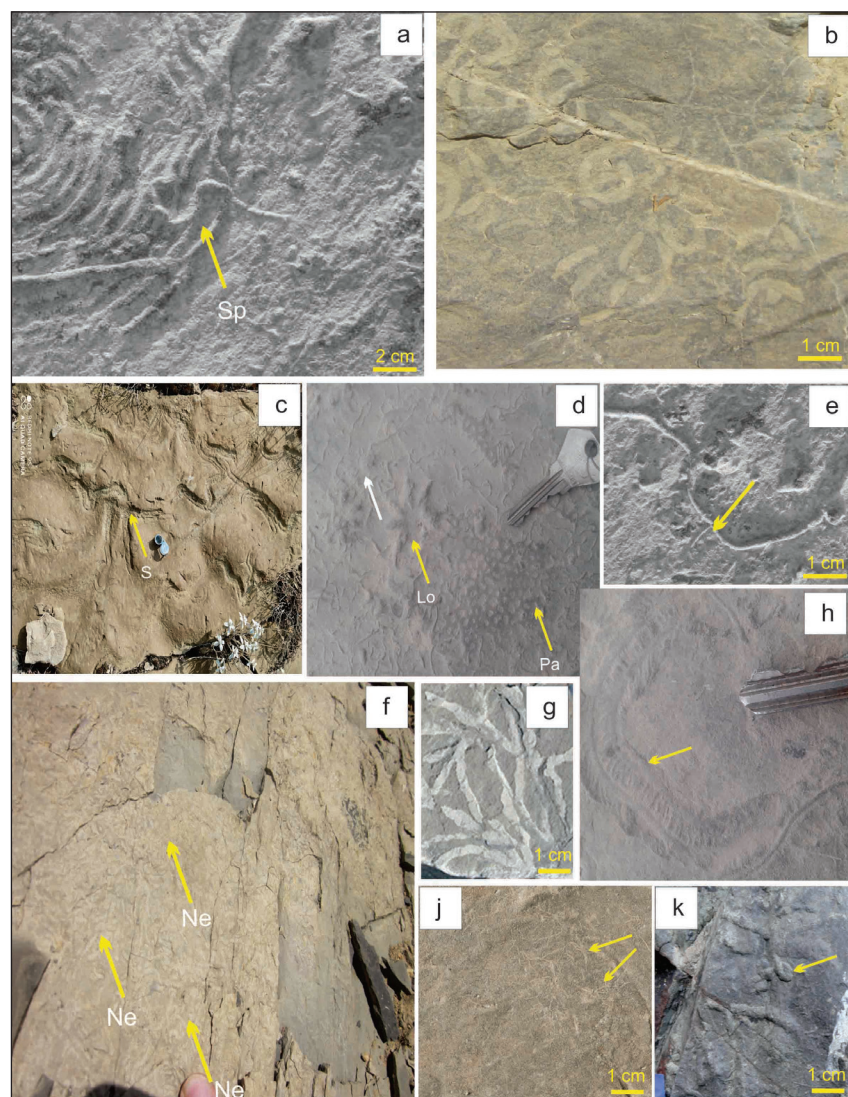
Figure 6. Trace fossil assemblage from the channel deposits corresponding to the *Ophiomorpha rudis* subichnofacies: a) *Lorenzia* isp. (Lo), *Megageraption* isp. (Me), Hypichnial semicircular ridges forming the first- and second-order meanders from *Cosmorhapse* isp. (whit arrow), *Cosmorhapse lobata* (Co), b) *Helminthorhapse* isp., c) *Paleodictyon* isp. (Pa), *Lorenzia* isp. (Lo), *Megageraption* isp. (Me) Trace fossil assemblage from the fan-margin deposits corresponding to the mixed *Nereites*-*Paleodictyon* subichnofacies: d) *Protovirgularia* isp. and *Ophiomorpha* isp., e) *Astrosoma* isp. (As), *Lorenzai* isp. (Lo), *Halopoa* isp. (Ha), *Palaeophycus* isp. (Pa), f) *Helminthopsis* isp. irregular windings, with common alternation of winding and straight sections, *Lorenzia* isp. (Lo).

۳-۸- زیر اثر رخساره نریتس (*Nereites subichnofacies*)

بیشترین تنوع و فراوانی اثرات فسیلی (به‌طور چیره با مجموعه‌های پیش از رسوب‌گذاری) در قسمت‌های حاشیه‌ای مخروط‌ها، حاشیه مخروط-کف حوضه (fan fringe-basin floor transition) از قسمت‌های پایینی مخروط توریدیتی مشاهده می‌شود. رسوبات این بخش بیشتر از نهشته‌های دانه ریز شیل و سلیت تشکیل شده‌اند. همچنین ستبرای لایه‌ها و چرخه‌های بوما در این رخساره نسبت به بخش‌های میانی و بالایی مخروط کاهش شدیدی دارد. همراه با این تغییرات مجموعه‌های توالی بوما در این رخساره نیز به‌طور چیره از بخش‌های بالایی توالی بوما تشکیل شده‌اند، به‌گونه‌ای که بخش‌های پایینی این توالی ( $T_{ab}$ ) در آن‌ها دیده نمی‌شود و به ندرت ماسه‌های ریزدانه با لامیناسیون ریپلی جریانی ( $T_c$ ) در آن‌ها وجود دارد. ماهیت دانه ریز و نوع ساختارهای رسوبی در این نهشته‌ها گویای وجود جریان‌های گلی و رقیق با چگالی پایین است که عدم محدود شدن چنین جریان‌هایی به کانال‌ها سبب کاهش سرعت جریان توریدیتی می‌شود و ایجاد رسوبات دانه‌ریز به شکل پهن و گسترده در بخش‌های پایینی مخروط حاصل از چنین جریان‌هایی می‌شود (Bayet-Goll et al., 2014).

مجموعه اثر فسیل در بخش‌های حاشیه مخروط و کف حوضه به‌طور چیره راهبرد رفتاری کشتی (*Agrichnia*, 60%) و گریزینگ (*Pascichnia*, 30%) نشان می‌دهند. با این وجود راهبرد رفتاری تغذیه‌ای (*Fodinichnia*, 8%) نیز عمومی می‌باشند. در مقابل، راهبرد رفتاری پناهگاهی (*Domichnia*, 2%) در این محدوده فراوانی خیلی کمی دارند. مجموعه اثر فسیل‌ها در بخش‌های مورد اشاره منطبق بر زیر اثر رخساره نریتس است (شکل ۳). اثر فسیل‌های موجود در این بخش به‌طور چیره شامل مجموعه پیش از رسوب‌گذاری شامل (شکل ۷):

*Desmograption ichthyforme*, *Helminthopsis* isp., *Cosmorhaphie lobata*, *Paleodictyon majus*, *Fustiglyphus* isp., *Gordia* isp., *Helminthoidichnites* isp., *Megagraption submontanum*, *Helminthorhaphie flexuosa*, *Scolicia strozzii*, *Spirophycus* isp., *Zoophycos* isp., *Phycosiphon* isp., *Protopaleodictyon (submontanum, incompositum)*, *Spirorhaphie (involuta)*, *Chondrites* isp., *Lorenzina* isp., *Hormosiroidea* isp., *Helicolithus* isp., *Chondrohaphie* isp., *Urohelminthoida* isp., *Nereites* isp., *Ophiomorpha* isp., *Halopoa* isp., *Protovirgularia* isp.



شکل ۷- مجموعه اثر فسیل‌های بخش حاشیه مخروط-کف حوضه منطبق بر زیر اثر رخساره نریتس.

a) *Spirohaphie* isp., b) *Nereites* isp., c) *Scolicia Prisca*, d) *Paleodictyon* isp. (Pa), *Lorenzia* isp. (Lo), *Protopaleodictyon submontanum* with irregularly distributed branches, e) *Protopaleodictyon incompositum* شبکه‌های چند ضلعی منظم از *Protopaleodictyon*, f) *Nereites irregularis*, g) *Chondrites* isp., h) *Scolicia Prisca*, j) *Chondrites* isp., k) *Gordia* isp.

Figure 7. Trace fossil assemblage from the fan-margin to basin-plain deposits corresponding to the *Nereites subichnofacies*: a) *Spirohaphie* isp. b) *Nereites* isp., c) *Scolicia Prisca*, d) *Paleodictyon* isp. (Pa), *Lorenzia* isp. (Lo), *Protopaleodictyon submontanum* with irregularly distributed branches, e) *Protopaleodictyon incompositum*, f) *Nereites irregularis*, g) *Chondrites* isp. h) *Scolicia Prisca*, j) *Chondrites* isp., k) *Gordia* isp.

#### ۴- بحث

رسوبی برش مورد مطالعه دارای الگوهای رفتاری گریزینگ، تغذیه‌ای و آثار گرافوگلیپتیدها است و شامل اثر فسیل‌های *Helminthopsis*, *Gordia*, *Scolicia*, *Cosmorhapha*, *Paleodictyon*, *Spirophycus*, *Desmograpton*, *Lorenzina*, *Megagrapton*, *Spirorhapha*, *Spirophycus*, *Fustiglyphus*, *Urohelminthoidia*, *Chondrites*, *Nereites*, *Circulichnus*, *Cochlichnus* می‌باشد. مجموعه پس از رسوب‌گذاری که روی سطح بالایی طبقات قرار دارد، با الگوهای رفتاری حفاری، تغذیه‌ای و گریزینگ مشخص می‌شود و شامل *Ophiomorpha*, *Taenidium*, *Skolithos*, *Phycodes*, *Chondrites*, *Scolicia*, *Zoophycos*, *Halopoa*, *Thalassinoides*, *Palaeophycus* است. برخی اثر فسیل‌ها مانند *Planolites* با فراوانی بالا در هر دو مجموعه دیده می‌شوند. تنوع، فراوانی و شدت آشفستگی زیستی در بخش‌های مختلف توالی تورییدی متفاوت است. بیشترین تنوع و فراوانی اثر فسیل‌ها، عمدتاً از مجموعه پیش از رسوب‌گذاری، در حاشیه مخروط‌ها (*fan-fringe*) و به‌ویژه در بخش پایینی مخروط (*lower fan*) مشاهده می‌شود. به تدریج، از حاشیه مخروط به سمت مناطق دورتر حوضه، تنوع، فراوانی و شدت آشفستگی زیستی کاهش می‌یابد. در بخش میانی مخروط (*mid fan*)، کانال‌های بریده‌بریده فراوان عمدتاً حاوی اثر فسیل‌های پس از رسوب‌گذاری هستند و بیشتر به صورت مجموعه‌های تک‌جنسی (*monospecific suites*) با میزان کم آشفستگی زیستی مشاهده می‌شوند. در مقابل، حاشیه کانال‌ها و خاکریزهای طبیعی موجود در ناحیه میانی مخروط، در مواردی که بر اثر حرکت جانبی کانال‌ها از بین نرفته‌اند، تنوع، فراوانی و شدت آشفستگی زیستی بالاتری نسبت به کانال‌های بریده‌بریده دارند و عمدتاً شامل مجموعه‌های پیش از رسوب‌گذاری هستند. بخش‌های دورتر حوضه عمدتاً شامل اثر فسیل‌های گرافولیت‌ها هستند که نسبت به سایر بخش‌های کانال، تنوع و فراوانی کمتری دارند.

#### ۵- نتیجه‌گیری

رسوبات فلیشی کرتاسه پسین منطقه جلغا دارای مجموعه گوناگونی از اثر فسیل‌ها با حفظ شدگی خوب است. مطالعه اثر فسیل‌ها در سیستم‌های آواری مناطق ژرف دریایی این منطقه نشان می‌دهد که اثر فسیل‌ها ویژگی خوبی جهت تفکیک مخروط‌های زیردریایی و زیرمحیط‌های مرتبط با آن هستند. در نهشته‌های فلیشی کرتاسه پسین جلغا تنوع اثر فسیلی، ترکیب ایکونوفونا، رفتارشناسی و ریخت‌شناسی مجموعه‌های پیش از رسوب‌گذاری نشان دهنده اثر رخساره نریس است با این وجود تنوع، فراوانی و شدت آشفستگی زیستی اثر فسیل‌های مرتبط با اثر رخساره نریس در بخش‌های مختلف توالی تورییدی مورد مطالعه متفاوت است. پنج مجموعه زیر اثر رخساره مرتبط با اثر رخساره نریس در نهشته‌های فلیشی کرتاسه پسین جلغا تعیین شده است که روند آن‌ها از سمت بخش‌های کم‌ژرفای حوضه به سمت بخش‌های ژرف‌تر حوضه شامل: (۱) زیر اثر رخساره اُفیومورفا رودیس، (۲) زیر اثر رخساره مخلوط اُفیومورفا رودیس-پالئودیکتون، (۳) زیر اثر رخساره پالئودیکتون، (۴) زیر اثر رخساره مخلوط نریس-پالئودیکتون و (۵) زیر اثر رخساره نریس.

بخش‌های محوری و نزدیک به منشأ توالی فلیشی کرتاسه پسین جلغا شامل مجموعه اثر فسیل‌های با تنوع و فراوانی کم هستند که به طور چیره شامل راهبرد *R-selected* است که اثر فسیل‌ها با راهبرد رفتاری پناهگاهی مهم‌ترین اثر فسیل‌های تشکیل دهنده این بخش از حوضه می‌باشد. مجموعه اثر فسیل‌ها در این بخش‌ها مرتبط با زیر اثر رخساره‌های اُفیومورفا رودیس و زیر اثر رخساره مخلوط اُفیومورفا رودیس-پالئودیکتون است. شرایط بالای جریان و ناپایداری محیط اثر فسیل‌های با راهبرد رفتاری گریزینگ و کشتی وجود ندارند. کاهش تنوع اثر فسیل‌ها و ایجاد الگوی رفتاری پناهگاهی با فراوانی بالا (مجموعه‌های پس از رسوب‌گذاری) در

در نهشته‌های فلیشی کرتاسه پسین جلغا تنوع اثر فسیلی، ترکیب ایکونوفونا، رفتارشناسی و ریخت‌شناسی مجموعه‌های پیش از رسوب‌گذاری نشان دهنده اثر رخساره نریس است. اثر فسیل‌های مرتبط با اثر رخساره نریس با طرح ریخت-شناسی گریزینگ متاندری و گریزینگ مدور در مناطق دریایی ژرف به همراه تورییدیت‌ها و رسوبات پلاژیک دیده می‌شوند. با این وجود تنوع، فراوانی و شدت آشفستگی زیستی اثر فسیل‌های مرتبط با اثر رخساره نریس در بخش‌های مختلف نهشته‌های فلیشی کرتاسه پسین جلغا متفاوت است. بیشترین تنوع و فراوانی اثرات فسیلی در قسمت‌های حاشیه‌ای مخروط‌ها (*fan-fringe*) به‌ویژه قسمت پایینی مخروط مشاهده می‌شود. کاهش تدریجی در میزان تنوع، فراوانی و آشفستگی زیستی اثرات فسیلی از بخش‌های حاشیه مخروط به سمت بخش‌های بالایی مخروط دیده می‌شود. همچنین راهبرد رفتاری اثر فسیل‌ها در توالی مورد مطالعه با توجه به بخش‌های مختلف مخروط تورییدی کاملاً متفاوت است، به گونه‌ای که بخش‌های پایینی مخروط و بخش‌های کف حوضه افزایش چشمگیری در نسبت اثرات کشتی و گریزینگ نشان می‌دهند، با این وجود به سمت بخش‌های میانی مخروط نسبت اثرات گریزینگ و کشتی کاهش می‌یابد و به همان ترتیب نسبت اثرات پناهگاهی و تغذیه‌ای افزایش می‌یابد. به سمت بخش‌های بالایی مخروط اثرات گریزینگ و کشتی به طور کامل حذف و یا فراوانی آن‌ها کاهش چشمگیری نشان می‌دهد، با این روند نسبت اثرات پناهگاهی در این بخش‌ها به راهبرد چیره جانداران سازنده اثر فسیل‌ها تبدیل می‌شود. این نتایج گویای آن است که اثر رخساره نریس در نهشته‌های دریایی ژرف یکنواخت نیست و بر اساس موقعیت آن در بخش‌های مختلف مخروط‌های زیردریایی مجموعه اثر شناختی متفاوتی را نشان می‌دهد. در این محیط‌ها به دلیل نوسانات در نرخ رسوب‌گذاری و شرایط انرژی و فرسایش در کف بستر، دو مجموعه اثر فسیل پیش از تورییدیت و پس از تورییدیت تشکیل می‌گردد (Wetzel and Uchman, 1997, 2001; Orr, 2001). مجموعه اثر فسیل‌های پیش از تورییدیت در بستری ساکن، آرام و متعادل از نظر شرایط انرژی و رسوب‌گذاری بدون هر گونه تاثیر جریانات ثانویه و فرسایشی ایجاد می‌شوند. این مجموعه شامل گرافوگلیپتیدها (*graphoglyptids*)، ساختارهای تغذیه‌ای ژرف (*deeper tier*) و ساختارهای کشتی هم‌نهش شیمیایی (*chemosymbiotic farming*) است. چنین مجموعه‌ای در نهشته‌های تورییدی مورد مطالعه منطبق بر زیر اثر رخساره‌های نریس و مخلوط نریس-پالئودیکتون است. آشفستگی آب و ایجاد جریانات فرسایشی در طی رسوب‌گذاری مجدد تورییدیت‌ها سبب می‌شود که مجموعه پیش از تورییدیت به وسیله مجموعه اثر فسیل‌های پس از تورییدیت، که نوع سبک رفتاری جاندار سازنده آن‌ها سازگاری بیشتر با چنین شرایطی دارد، جایگزین شود (Tunis and Uchman, 1996). به گونه‌ای که مجموعه پس از تورییدیت در شرایط پرانرژی و بستری درشت و جور شده با نسبت بالا در میزان رسوب‌گذاری و میزان زیاد مواد معلق در ستون آب (حاصل از آشفستگی جریان) ایجاد می‌شود. چنین مجموعه‌های در نهشته‌های تورییدی مورد مطالعه منطبق بر زیر اثر رخساره‌های اُفیومورفا رودیس و مخلوط اُفیومورفا رودیس-پالئودیکتون است.

#### ۴-۱- مجموعه‌های پیش و پس رسوب‌گذاری (pre/postdepositional)

بر اساس الگوی رفتاری اثر فسیل‌ها، نوع بستر و اندازه ذرات، ساخت‌های رسوبی فیزیکی و الگوهای ته‌نشینی مرتبط با جریان‌های تورییدی، اثر فسیل‌های بخش مورد مطالعه به دو مجموعه پیش و پس از رسوب‌گذاری (*pre- and post-depositional*) تقسیم شده‌اند. اثر فسیل‌هایی که به شکل ای‌ریف (*epirelief*) بر روی سطح لایه‌های تورییدی دیده می‌شوند، محصول فعالیت جاندار سازنده (*trace-maker*) پس از رسوب‌گذاری هستند. در مقابل، اثر فسیل‌های هیپورلیف (*hyporelief*) که در سطح زیرین طبقات تورییدی ایجاد می‌شوند، بخشی از مجموعه پیش از رسوب‌گذاری در بسترهای گلی را تشکیل می‌دهند. مجموعه پیش از رسوب‌گذاری در نهشته‌های

پیش از رسوب‌گذاری با الگوی رفتار گریزینگ و کشتی به سمت بخش‌های انتهایی مخروط و بخش‌های کف حوضه، تنوع و فراوانی بالاتری را نشان می‌دهند. مجموعه اثر فسیل‌ها در این بخش‌ها مرتبط با زیر اثر رخساره‌های نریتنس، پالئودیکتون و زیر اثر رخساره مخلوط نریتنس-پالئودیکتون است. بر اساس این مطالعات چنین روندی می‌تواند گویای کاهش در نرخ رسوب‌گذاری، اندازه ذرات، ستبری طبقات، قدرت جریان‌های فرسایشی و میزان انرژی همراه با شرایط متعادل زیستی باشد.

این رخساره‌ها گویای وجود جریان‌های گرانشی (گراوایته‌ای) با انرژی بالا و قدرت فرسایشی است. چنین جریان‌هایی با میزان نرخ بالای رسوب‌گذاری سبب عدم شرایط زیستی مناسب برای مجموعه پیش از رسوب‌گذاری، به‌ویژه گرافوگلیپتیدها که در نزدیک سطح مشترک آب-رسوب زیست می‌کنند، می‌شود. با این وجود به سمت بخش‌های حاشیه این کانال‌ها کاهش چگالی جریان‌ات توریدیتی سبب می‌شود که فراوانی راهبرد رفتاری گریزینگ و کشتی افزایش یابد. همچنین، مجموعه‌های

## کتابنگاری

- آق‌باتی، ع.، ۱۳۸۵، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۵۸۶ ص.
- عباسی، ن.، ۱۳۸۹، اثر فسیل‌های رسوبات فلیش کرتاسه آبشار آسیاب خرابه، منطقه جلفا، شمال باختری ایران. فصلنامه علوم زمین، سال ۲۰، شماره ۷۷، ص ۹-۱۶. [gsj.2010.55299/10.22071](https://doi.org/10.22071/gsj.2010.55299).
- عبدالهی، م.، حسینی، م.، ۱۳۷۵، گزارش نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ جلفا. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- مهرپرتو، م.، ۱۳۷۶، زمین‌شناسی ناحیه سیه‌رود، چهارگوش شماره ۵۲۶۷ سری ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نصیری، ی.، موسوی حرمی، ر.، مجوبی، الف.، بایت گل، الف.، ۱۳۹۱، مجموعه اثر فسیل‌های دریایی عمیق و اهمیت محیطی آنها در نهشته‌های پالنوسن سازند امیران در جنوب غرب لرستان، فصلنامه علوم زمین، سال ۲۲، شماره ۸۶ ص ۲۲۹-۲۴۴. [gsj.2012.54091/10.22071](https://doi.org/10.22071/gsj.2012.54091).

## References

- Abbassi, N., 2010. Trace fossils of the Cretaceous flysch deposits of the Asiab Kharabeh waterfall, Jolfa area, northwestern Iran. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, vol. 20, No. 77, 9–16. (In Persian). [10.22071/gsj.2010.55299](https://doi.org/10.22071/gsj.2010.55299).
- Abdollahi, M., Hosseini, M., 1996. 1:100,000-scale geological map of Jolfa. *Geological Survey of Iran*. (In Persian).
- Aghanabati, A., 2004. *Geology of Iran, Publications of the Geology Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran, 586 pp.* (In Persian).
- Bayet-Goll, A., Neto De Carvalho, C., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., and Nasiri, Y., 2014. Depositional environments and ichnology of the deep-marine succession of the Amiran Formation (upper Maastrichtian–Paleocene), Lorestan Province, Zagros Fold–Thrust Belt, Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 401, 13–42.
- Bayet-Goll, A., Daraei, M., Mousavi Taher, P., Etemad-Saeed, N., Neto de Carvalho, C., Zandkarimi, K., Monaco, P., Zohdi, A., Rabbani, J., and Nasiri, Y., 2020. Variations of the trace fossil Zoophycos with respect to paleoenvironment and sequence stratigraphy in the Mississippian Mobarak Formation, northern Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 109754.
- Bayet-Goll, A., Daraei, M., Sharafi, M., and Nasiri, Y., 2022. The influence of hybrid sediment gravity flows on distribution and composition of ichnological assemblages: Ordovician succession of the northeastern Alborz range of Iran. *Sedimentology*, [Doi: 10.1111/sed.13058](https://doi.org/10.1111/sed.13058).
- Budd, G. E., and Jensen, S., 2017. The origin of the animals and a ‘Savannah’ hypothesis for early bilaterian evolution. *Biological Reviews*, 92, 446–473.
- Callow, R. H. T., and McIlroy, D., 2011. Ichnofabrics and ichnofabric-forming trace fossils in Phanerozoic turbidites, *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*. DOI: [10.2113/gscpgbull.59.2.103](https://doi.org/10.2113/gscpgbull.59.2.103).
- Cummings, J. P., and Hodgson, D. M., 2011. Assessing controls on the distribution of ichnotaxa in submarine fan environments, the Basque Basin, Northern Spain. *Sedimentary Geology*, 239, 162–187.
- Crimes, T. P., and McCall, G. J. H., 1995. A diverse ichnofauna from Eocene-Miocene rocks of the Makran Range (S. E. Iran). *Ichnos*, 3, 231–258.
- Dorador, J., and Rodríguez-Tovar, F. J., 2018. High-resolution image treatment in ichnological core analysis: initial steps, advances and prospects. *Earth Sciences Reviews*, 177, 226–237.
- Dorador, J., Buatois, L.A., Mangano, M.G., and Rodríguez-tovar, F.J., 2019. Ichnology of the Winnipeg Formation, southeast Saskatchewan: a glimpse into the marine infaunal ecology of the Great Ordovician Biodiversification Event. *Lethaia* 52, 14–30.
- Drage, H. B., Holmes, J. D., Garcia-Bellido, D. C., and Daley, A. C., 2018. An exceptional record of Cambrian trilobite moulting behaviour preserved in the Emu Bay Shale, South Australia. *Lethaia*, 51, 473–492.
- Fürsich, F. T., Uchman, A., Alberti, M., and Pandey, D. K., 2018. Trace fossils of an amalgamated storm-bed succession from the Jurassic of the Kachchh Basin, India: The significance of time-averaging in ichnology. *Journal of Palaeogeography*, 7(1), 14–31.
- Giannetti, A., 2010. Influence of climate, sea-level changes and tectonics on ichnoassemblages distribution in a carbonate-dominated, deep-marine environment (Upper Paleocene, Zumaya section). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 285, 104–118.
- Harding, S. C., and Ekdale, A. A., 2018. Trace fossils and glauconitic pellets provide insight into Cambrian siliciclastic marine environments. *Palaios*, 33, 256–265.

- Heard, T. G., and Pickering, K. T., 2008. Trace fossils as diagnostic indicators of deep-marine environments, Middle Eocene Ainsa-Jaca basin, Spanish Pyrenees. *Sedimentology*, 55, 809–844.
- Kesidis, G., Budd, G. E., and Jensen, S., 2019. An intermittent mode of formation for the trace fossil *Cruziana* as a serial repetition of *Rusophycus*: the case of *Cruziana tenella* (Linnarsson 1871). *Lethaia*, 52, 133–148.
- Kikichi, K., Naruse, H., and Kotake, N., 2018. Evaluation of ichnodiversity by image-resampling method to correct outcrop exposure bias. *Palaios*, 33(5), 204-217.
- Knaust, D., 2009a. Ichnology as a tool in carbonate reservoir characterization: a case study from the Permian–Triassic Khuff Formation in the Middle East. *GeoArabia*, 14, 17–38.
- Knaust, D., 2009b. Characterisation of a Campanian deep-sea fan system in the Norwegian Sea by means of ichnofabrics. *Marine and Petroleum Geology*, 26, 1199–1211.
- MacEachern, J. A., Gingras, M. K., Bann, K. L., Pemberton, S. G., and Reich, L. T., 2007a. Application of ichnology to high-resolution genetic stratigraphic paradigms. In: Macheachern, J.A., Bann, K.L., Gingras, M.K., Pemberton, S.G. (Eds.), *Applied Ichnology: SEPM Short Course Notes*, 52, 95–129.
- MacEachern, J. A., Pemberton, S. G., Bann, K. L., and Gingras, M. K., 2007b. Departures from the archetypal ichnofacies: effective recognition of environmental stress in the rock record. In: Macheachern, J.A., Bann, K.L., Gingras, M.K., Pemberton, S.G. (Eds.), *Applied Ichnology: SEPM Short Course Notes*, 52, 65–93.
- MacEachern, J. A., Gingras, M. K., Bann, K. L., and Pemberton, S. G., 2007c. The ichnofacies paradigm: high-resolution palaeoenvironmental interpretation of the rock record. In: MacEachern, J.A., Pemberton, S.G., Gingras, M.K., Bann, K.L. (Eds.), *Applied ichnology: SEPM Short Course Notes*, 52, 27–65.
- Monaco, P., and Checconi, A., 2008. Stratigraphic indications by trace fossils in Eocene to Miocene turbidites and hemipelagites of the Northern Apennines (Italy). In: M. Avanzini and F.M. Petti (Eds), *Italian Ichnology, Proceedings of the Ichnology session of Geitalia 2007*, VI Forum italiano di Scienze della Terra, Rimini-September 12-14, 2007. *Studi Trentini di Scienze Naturali, Acta Geologica*, 83, 133-163.
- Mehr Parto, M., 1997. *Geology of Siah Rud area, quadrangle No. 5267, 1:100000. Geological Survey and Mineral Explorations of Iran. (In Persian)*.
- Monaco, P., Checconi, A., and Milighetti, M., 2010. Ichnocoenoses in the Oligocene to Miocene foredeep basins (Northern Apennines, central Italy) and their relation to turbidite deposition. *Acta Geologica Polonica*, 60, 53-70.
- Nasiri, Y., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., and Bayet Goll, A., 2014. *Deep marine trace fossil assemblages and their palaeoenvironmental significance from the Paleocene Amiran Formation in SW Lorestan. Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 22(86), 229-244. 10.22071/gsj.2012.54091. (in Persian).
- Nasiri, Y., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Olivero, D., and Mosaddegh, H., 2018. Zoophycos ichnogenus distribution and palaeoenvironmental analysis: examples from the Mississippian Mobarak formation (Alborz Basin, Iran). *Historical Biology*, <https://doi.org/10.1080/08912963.2018.1540614>.
- Nasiri, Y., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., and Mosaddegh, H., 2019. Sequence stratigraphic significance of shell concentrations in the Mobarak Formation (Mississippian), Alborz Zone, Northern Iran. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 2, 1-25.
- Nasiri, Y., Bayet-Goll, A., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., and Monaco, P., 2020. Palaeoenvironmental control on trace fossils across a Mississippian carbonate ramp succession, Mobarak Formation, east of Central and Eastern Alborz, Iran. *African Earth Sciences*, 165, 103800.
- Navarro, L., Khan, Z. A., and Arnott, R. W. C., 2007. Depositional architecture and evolution of a deep-marine channel-levee complex: Isaac Formation (Windermere Super-group), Southern Canadian Cordillera. In: Nilsen, T.H., Shew, R.D., Steffens, G.S., Studlick, J.R.J. (Eds.), *Atlas of Deep-Water Outcrops. AAPG Studies in Geology*, 56, 22.
- Orr, P. J., 2001. Colonization of the deep-marine environment during the early Phanerozoic: the ichnofaunal record. *Geological Journal*, 36, 265–278.
- Pemberton, S.G., and MacEachern, J.A., 1994. Carroll Lane Fenton and Mildred Adams Fenton: Pioneers of North American Neoichnology. *Ichnos*, 3, 145–153.
- Phillips, C., McIlroy, D., and Elliott, T., 2011. Ichnological characterization of Eocene/Oligocene turbidites from the Grès d’Annot Basin, French Alps, SE France. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 300, 67–83.
- Rodríguez-Tovar, F. J., Uchman, A., Payros, A., Orue-Etxebarria, X., Apellaniz, E., and Molina, E., 2010. Sea-level dynamics and palaeoecological factors affecting trace fossil distribution in Eocene turbiditic deposits (Gorrondatxe section, N Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 285, 50–65.
- Rodríguez-Tovar, F. G., Miguez-Salas, O., Dorador, J., and Duarte, L. V., 2019. Opportunistic behaviour after the Toarcian Oceanic Anoxic Event: The trace fossil *Halimedes*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 520, 240-250.
- Saller, A. H., Noah, J. T., Ruzuar, A. P., and Schneider, R., 2004. Linked lowstand delta to basin-floor fan deposition, offshore Indonesia: An analog for deep-water reservoir systems. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 88, 21-46.

- Svennevig, K., and Suryk, F., 2019. A high-stress shelly fauna associated with sponge mud-mounds in the Coniacian Arnager Limestone of Bornholm, Denmark. *Lethaia*, 52, 57-76.
- Tunis, G., and Uchman, A., 1996. Trace fossils and changes in Cretaceous-Eocene flysch deposits of the Julian Prealps (Italy and Slovenia): consequences of regional and world- wide changes. *Ichnos*, 4, 169–190.
- Uchman, A., 2001. Eocene flysch trace fossil from the Hecho Group of the Pyrenees, northern Spain. *Beringeria*, 28, 3– 41.
- Uchman, A., 2004. Deep-sea trace fossils controlled by palaeo oxygenation and deposition: an example from the Lower Cretaceous dark flysch deposits of the Silesian Unit, Carpathians, Poland. *Fossils and Strata*, 51, 39 – 57.
- Uchman, A., Abbassi, N., and Naejei, M., 2005. *Persichnus igennos* and associated ichnofossils from the Upper Cretaceous to Eocene deep-sea deposits of the Sanandaj Area, West Iran. *Ichnos*, 42, 141–149.
- Uchman, A., 2007. Deep-sea ichnology: development of major concepts. In: W. Miller III (Ed.), *Trace Fossils: Concepts, Problems, Prospects*, Elsevier; Amsterdam, P. 248-267.
- Uchman, A., Janbu, N. E., and Nemeč, W., 2004. Trace fossils in the Cretaceous–Eocene flysch of the Sinop-Boyabat Basin, Central Pontides, Turkey. *Annal es Societatis Geolo- gorum Poloniae*, 74, 197 –235.
- Uchman, A., and Demircan, H., 1999. Trace fossils of Miocene deep-sea fan-fringe deposits from the Cingöz Formation, southern Turkey. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 69, 125–153.
- Villegas-Martin, J., and Guimaraes Netto, R., 2019. Permian macroburrows as microhabitats for meiofauna organisms: an ancient behaviour common in extant organisms. *Lethaia*, 25, 31-43.
- Wetzel, A., and Uchman, A., 1997. Ichnology of deep-sea fan over-bank deposits of the Ganei Slates (Eocene, Switzerland)—A classical flysch trace fossil locality first studied by Oswald Heer: *Ichnos*, 5, 139–162.
- Wetzel, A., Uchman, A., 2001. Sequential colonization of muddy turbidites: examples from Eocene Beloveza Formation, Carpathians, Poland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 168, 171–186.