

# تطابق چینه‌ای زیرسطحی سازند آسماری در میدان آغاچاری و استفاده از آن در کنترل زون بندی مخزن

رضا فتحی ایسوند<sup>۱</sup> رضا موسوی حرمی<sup>۱\*</sup> اسدالله محبوبی<sup>۱</sup> و علی بهداد<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۲- شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۶

## چکیده

در این مطالعه، تطابق چینه‌ای زیرسطحی مخزن آسماری در میدان آغاچاری بر اساس یک چارچوب زمانی دقیق متشکل از ۹ خط زمانی ارائه شده است. خطوط زمانی با استفاده از نرم افزار سیکلولاگ به دست آمد که منطبق بر سطوح چینه‌ای مهم مانند مرزهای سکاسی و سطوح حداکثر پیشروی سطح آب بودند. تعیین سن خطوط زمانی با استفاده از جدیدترین جداول زون‌های زیستی سازند آسماری صورت گرفت. مرزهای زمانی منطبق بر مرزهای سکاسی بین آشکوب‌های روپلین-شاتین، شاتین، آکی تانین و بوردیگالین، به عنوان مرزهای زمانی اصلی و مرزهای منطبق بر سطوح حداکثر پیشروی سطح آب دریا به عنوان مرزهای زمانی فرعی در نظر گرفته شدند. بر اساس این چارچوب زمانی، چهار بسته یا واحد چینه‌ای با ویژگی‌های رخساره‌ای و زیستی خاص خود شناسایی و نام‌گذاری گردید. با استفاده از چارچوب زمانی و با توجه به مطالعات رخساره‌های رسوبی و چینه‌ای مرز سازندهای آسماری و پابده مورد بازنگری قرار گرفت و با دقت بیشتری تعیین گردید. همچنین زون بندی قبلی مخزن آسماری در میدان آغاچاری مورد بازنگری قرار گرفت و با در نظر گرفتن کیفیت مخزنی، زون بندی جدیدی پیشنهاد گردید. زون بندی قبلی متشکل از ۵ زون اصلی و ۷ زیر زون فرعی در زون بندی جدید به ۷ زون اصلی، بدون زیر زون فرعی تغییر یافت. عملکرد گسل پی سنگی هنديجان و بلندای دیرینه مرتبط با آن در شرق میدان آغاچاری، ضمن ایجاد تغییرات و حذف بخشی از ضخامت سازندهای زیرین، موجب تغییر ضخامت واحدهای چینه‌ای سازند آسماری و ایجاد پیچیدگی‌هایی در هندسه رسوبات این سازند شده است حاصل این اتفاق، به اشکالات ابهاماتی در زون بندی قبلی منتهی شده بود که با استفاده از زون بندی جدید بر مبنای چارچوب زمانی، رفع گردید.

**کلمات کلیدی:** تطابق چینه‌ای، چارچوب زمانی، واحد چینه‌ای، زون بندی مخزن، نرم افزار سیکلولاگ.

مقدمه

زون‌های مخزنی مرزهای زمانی را قطع می‌کنند. همچنین، مرز زون‌های مخزنی در تعدادی از چاه‌ها به طور صحیح تعیین نشده و اختلافاتی با چاه نمونه ۱۲۱ آغاچاری دارند. با توجه به اهمیت تطابق چینه‌ای و زون بندی مخزن، در کمک به انجام بهتر مدل‌سازی استاتیک زمین‌شناسی، و نیز جهت رفع مشکلات و ابهامات گفته شده در بخش شرقی میدان، ضرورت انجام بازنگری در تطابق چینه‌ای و نحوه زون بندی مخزن آسماری در این میدان بر اساس چارچوب زمانی دقیق احساس می‌شد.

استفاده از خطوط زمانی در تطابق چینه‌ای و کنترل زون بندی مخزن از چندین دهه گذشته مورد استفاده بوده است. زون بندی مخازن هیدروکربوری بر اساس دیدگاه و قوانین لیتواستراتیگرافیک که در گذشته رایج بوده است شاید در فواصل کم بین چاه‌ها مشکلی ایجاد نکند اما در مقیاس میدان‌های بزرگ، به علت تأثیر عوامل زمین‌شناسی مختلف اشکالات و ابهامات زیادی به وجود می‌آورد. بنابراین در مطالعات جدید چینه‌شناسی و مخزنی استفاده از روش‌های مبتنی بر خطوط زمانی در تطابق چینه‌ای و زون بندی مخازن امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در این راه، شناسایی و تطابق سطوح مهم چینه‌ای با سن تقریباً یکسان (مانند سطوح ناپیوستگی، مرزهای سکانسی و سطوح حداکثر پیشروی) می‌تواند بسیار کارآمد باشد [۴]. در دو دهه گذشته محققین مختلفی، از روش‌های مطالعه مبتنی بر خطوط زمانی (چینه‌نگاری سکانسی و چینه‌نگاری اقلیمی در قالب نرم‌افزار سیکلولاگ) در مطالعات سطح‌الارضی و زیرسطحی در مقیاس ناحیه‌ای بهره برده‌اند [۵-۱۰]. همچنین افراد مختلفی در مطالعات خود در مقیاس میدان، از روش‌های مبتنی بر خطوط زمانی در زون بندی مخزن استفاده نموده‌اند [۱۰-۱۸]. هدف اصلی این مطالعه، رفع ایرادات و ابهامات گفته شده در زون بندی قبلی مخزن، از طریق ایجاد یک چارچوب دقیق زمانی با استفاده از نرم‌افزار سیکلولاگ و برقراری تطابق چینه‌ای با کیفیت بالا

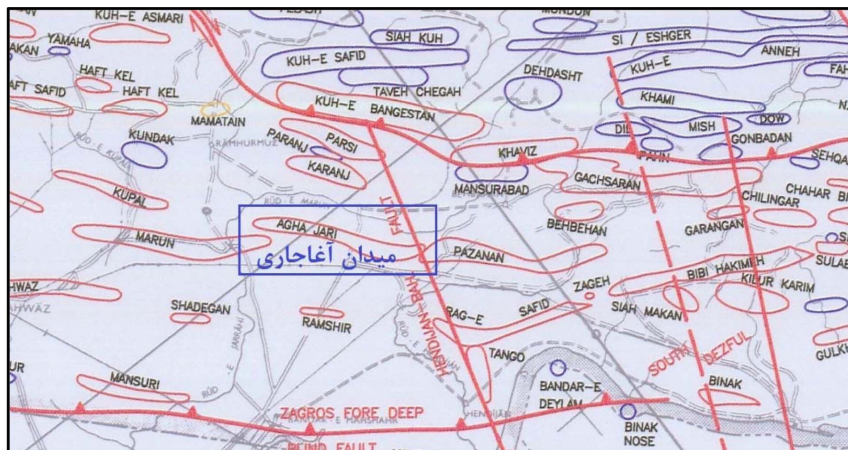
سازند آسماری در میدان آغاچاری از سنگ‌های کربناته شامل سنگ آهک، دولومیت و همچنین ماسه سنگ، شیل و مارن تشکیل شده است. شیل و مارن عمدتاً در بخش‌های قاعده سازند آسماری (زون تدریجی) در تناوب با سنگ آهک و گاه ماسه سنگ دیده می‌شود. مرز بالایی سازند آسماری با سازند گچساران به صورت ناگهانی و مرز پایینی با سازند پابده با واسطه لایه‌های متناوب شیل، مارن، سنگ آهک مارنی و ماسه سنگ فسیل‌دار به صورت تدریجی است. در بخش غربی میدان، در مجاورت میدان مارون، ماسه سنگ‌ها بخصوص در بخش‌های میانی و پایینی سازند آسماری گسترش بیشتری دارند. تاریخچه عملکرد گسل پی‌سنگی هنديجان واقع در مرز بین میدان آغاچاری و پازنان، باعث ایجاد بلندای دیرینه هنديجان شده است. نیمرخ‌های لرزه‌ای و اطلاعات چاه‌های حفاری شده بیانگر تغییرات ضخامت و گاه حذف قسمتی از سازندهای سروک، ایلام و گورپی در بازه زمانی کرتاسه میانی تا میوسن پایین در این منطقه است [۱-۳]. در مورد سازند آسماری، تغییرات ضخامت در میدان آغاچاری به نحوی است که از غرب به شرق میدان (به سمت مرز میدان‌های آغاچاری و پازنان، محل عبور گسل پی‌سنگی هنديجان و بلندای دیرینه حاصل از آن) کاهش می‌یابد به طوری که از حدود ۴۴۰ m در غرب میدان به حدود ۲۵۵ m در شرق میدان می‌رسد. این ویژگی، با ایجاد پیچیدگی‌های ساختمانی و تغییر در هندسه رسوبات و گسترش رخساره‌های رسوبی در شرق میدان آغاچاری، موجب بروز مشکلات و ابهاماتی در فرآیند انطباق چینه‌ای و زون بندی مخزن آسماری شده است. زون بندی قبلی مخزن آسماری در میدان مورد مطالعه، مشتمل بر ۵ زون اصلی و ۷ زیر زون فرعی، بدون در نظر گرفتن چارچوب زمانی و صرفاً بر اساس تطابق ویژگی‌های سنگ‌شناسی صورت گرفته است. در این بخش از میدان، تعدادی از

در مخزن آسماری میدان آغاچاری است.

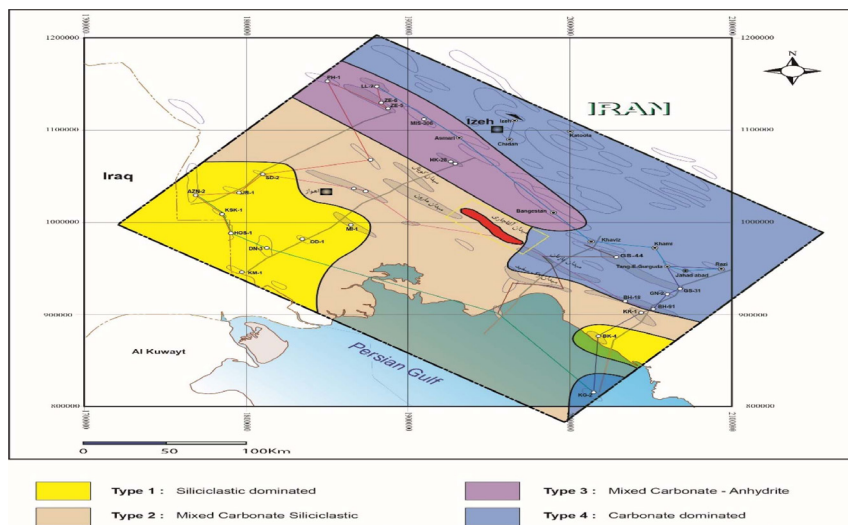
جایگاه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

کمر بند کوهزایی زاگرس به طول حدود ۲۰۰۰ km از همگرایی بین اوراسیا و قطعات مشتق شده از گندوانا حاصل شده است [۱۱۲]. گسل‌های پی‌سنگی عمیق نقش مهمی در کنترل چینه‌شناسی حوضه داشته و زاگرس چین خورده را به پهنه‌های ساختاری جداگانه با ویژگی‌های چینه‌شناسی و رئولوژیکی خاص خود (زون فارس، فروافتادگی دزفول و زون لرستان) تقسیم‌بندی کرده است [۱۱۳]. این گسل‌ها در طول زمان زمین‌شناسی، دوره‌های آرامش و تجدید فعالیت متعددی پشت سر گذاشته‌اند.

کرتاسه پسین مهم‌ترین دوره فعالیت مجدد این گسل‌ها بوده است که یکی از پیامدهای مهم آن ایجاد بلندهای دیرینه<sup>۱</sup> مرتبط به آنها است [۱-۳] و [۱۴]. منطقه مورد مطالعه، میدان آغاچاری، واقع در بخش مرکزی فروافتادگی دزفول است (شکل ۱) که همان‌طور که قبلاً گفته شد عملکرد گسل پی سنگی هندیجان و بلندای دیرینه مرتبط با آن باعث بروز تغییراتی در ضخامت سازندهای مختلف در آن شده است. این میدان از دیدگاه سیستم‌های رسوبی چهارگانه معرفی شده برای سازند آسماری [۷] در سیستم رسوبی مخلوط کربناته-سیلیسی آواری قرار گرفته است (شکل ۲).



شکل ۱ موقعیت میدان آغاچاری در فروافتادگی دزفول [۲۶]



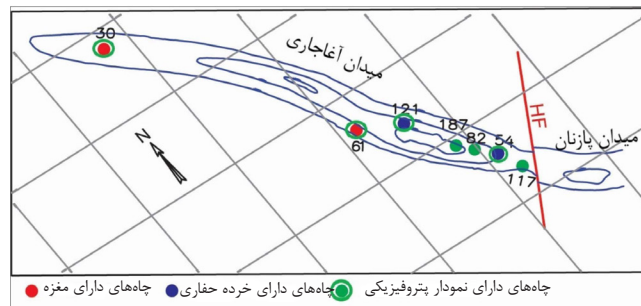
شکل ۲ موقعیت منطقه مورد مطالعه در فروافتادگی دزفول بر اساس گسترش سیستم‌های رسوبی [۷]

1. Paleo-high
2. Large Benthic Foraminifera (LBF)

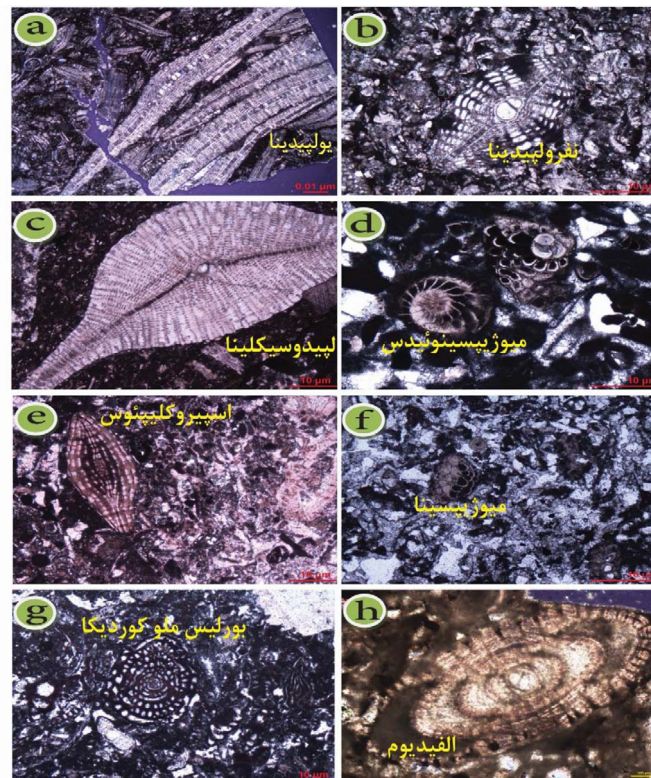
اینتراشلف آسماری [۱۷] تعداد ۳۵۰ مقطع نازک میکروسکوپی دیگر مربوط به چاه‌های آغاچاری ۵۴ و ۱۲۱ مورد مطالعه قرار گرفت. طبقه‌بندی اصلاح شده دانه‌ها [۱۸] توسط امبری و کلوان [۱۹] برای توصیف سنگ‌های کربناته مورد استفاده قرار گرفت. تفسیر رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی بر اساس تلفیق همه داده‌ها و مقایسه آنها با مقالات و گزارشات اخیر [۵ و ۱۰-۷] صورت گرفت. با استفاده از چارچوب زمانی و مطالعات رسوب‌شناسی و چینه‌شناسی، واحدهای چینه‌ای با ویژگی‌های زیستی خاص خود شناسایی گردید.

در این مطالعه، چارچوب زمانی دقیقی با استفاده از نمودار گامای مربوط به تعداد ۷ حلقه چاه در نرم‌افزار سیکلولاگ ایجاد گردید (شکل ۳). جهت تعیین سن خطوط زمانی، از جدیدترین جدول زون‌های زیستی الله کرم‌پور دیل و همکاران [۱۶] که حاصل کالیبره کردن سن فسیل‌های شاخص روزنداران بزرگ کفزی<sup>۲</sup> (LBF) با داده‌های سن سنجی ایزوتوپ استرانسیوم است استفاده گردید (شکل ۴).

در بخش مطالعه رخساره‌های رسوبی، ضمن استفاده از داده‌های آنالیز رخساره‌ای قبلی در یال جنوبی



شکل ۳ نقشه UGC افق آسماری میدان آغاچاری و موقعیت چاه‌های مورد مطالعه



شکل ۴ مجموعه فسیل‌های فرامینفرهای بزرگ شاخص (index LBF) سازند آسماری شناسایی شده در میدان آغاچاری

چارچوب زمانی

تغییر روند منفی<sup>۶</sup> به مثبت و نقطه تغییر روند مثبت به منفی<sup>۷</sup> می‌باشند (شکل ۵). به‌طور کلی، تغییرات روند مثبت (Pb) در مرزهای سکانسی<sup>۸</sup> (SB) رخ می‌دهد و تغییرات روند منفی (NB) سطوح حداکثر سیلابی<sup>۹</sup> (MFS) را نشان می‌دهند. نقاط چرخش و برگشت (NB و PB) منحنی‌های نمودار INPEFA، دارای ارزش زمانی، به عنوان خطوط زمانی در هر چاه به کار می‌روند. در این مطالعه، جهت تهیه چارچوب زمانی، تعداد ۴ مرز PB و ۵ مرز NB به عنوان خطوط زمانی در هر چاه مورد استفاده قرار گرفتند و از اتصال آنها به هم چارچوب زمانی به‌دست آمد (جدول ۱ و شکل ۵). با توجه به نبود داده‌های سن سنجی ایزوتوپ استرانسیوم برای میدان مورد مطالعه و این نکته که در مطالعه الله کرم‌پور دیل و همکاران [۱۶]، انطباق خوبی با دقت حدود نیم میلیون سال بین فسیل‌های روزن‌داران شاخص و سن سنجی به روش ایزوتوپ استرانسیوم (Sr) در مطالعات چینه‌شناسی سازند آسماری زون ایزده و فروافتادگی دزفول به‌دست آمده بود، در این مطالعه، جدیدترین جدول زون‌های زیستی الله کرم‌پور دیل و همکاران [۱۶] در تعیین سن خطوط زمانی اصلی مورد استفاده قرار گرفت.

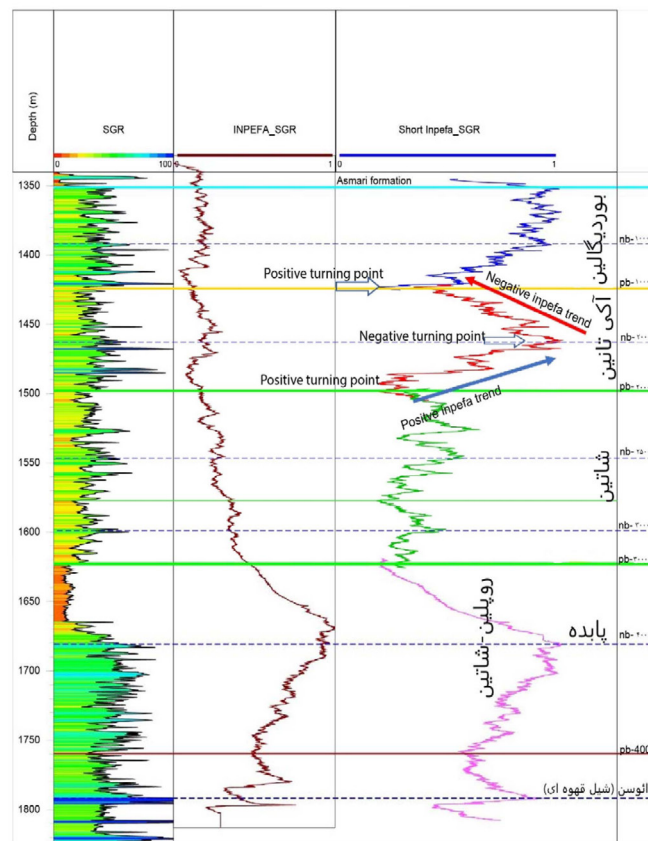
در سال‌های اخیر، استفاده از نرم‌افزار سیکلولاگ جهت بررسی رخدادهای تقریباً هم‌زمان، روندی روزافزون پیدا کرده است. این نرم‌افزار با استفاده از تئوری چرخه‌ای متأثر از اقلیم<sup>۱</sup> و استخراج سیگنال‌های اقلیمی از نمودارهای حساس به رخساره<sup>۲</sup> مانند لاگ گاما، امکان ساختن چارچوب چینه‌ای-زمانی برای تطابق چینه‌ای را فراهم می‌سازد [۲۱]. در این نرم‌افزار، با استفاده از داده‌های نمودار گاما (CGR/SGR)، نمودار INPEFA<sup>۳</sup> تولید می‌شود که الگوی ظاهری آنها در برقراری انطباق بین چاه‌ها اهمیت دارد [۲۱]. نقاط چرخش و برگشت منحنی‌های نمودار INPEFA ویژگی ارزشمندی است که ارزش زمانی داشته و معرف تغییرات مهم و هم‌زمان در رژیم رسوب‌گذاری ناشی از تغییرات اقلیمی، حوادث ناحیه‌ای بزرگ [۲۲] و یا تغییر در روندهای رسوب‌گذاری می‌باشد [۴] که بین چاه‌ها قابل انطباق می‌باشند. در نمودار INPEFA روند افزایشی رو به بالا را، روند مثبت و روند کاهشی را روند منفی می‌نامند. روند مثبت معمولاً معرف پیشروی دریا<sup>۴</sup> و روند منفی معمولاً معرف پسروی دریا<sup>۵</sup> است [۲۲] نقاط چرخش و برگشت منحنی‌های نمودار INPEFA شامل نقطه

جدول ۱ خطوط زمانی تعیین شده در این مطالعه و تعیین سن آنها با استفاده از جدول زون‌های زیستی

|       | سازند  | آشکوب        | سن    | Pb-Nb                         |
|-------|--------|--------------|-------|-------------------------------|
| سازند | آسماری | بوردیگالین   | ۲۰/۴۴ | Pb-1000<br>Nb-1000            |
|       |        | آکی تانین    | ۲۳/۰۳ | Pb-2000<br>Nb-2000            |
| سازند | پابده  | شاتین        | ۲۷/۸۵ | Pb-3000<br>Nb-2500<br>Nb-3000 |
|       |        | روپلین-شاتین |       | Pb-4000<br>Nb-4000            |

1. Theory of climate-driven Cyclicity
2. Facies-Sensitive Logs
3. Integrated Predicate Error Filter (INPEFA)
4. Transgressive
5. Regressive
6. Positive Turning Point
7. Negative Turning Point
8. Sequence Boundary (SB)
9. Maximum Flooding Surface (MFS)

Aj-187



شکل ۵. نمایی از تفسیر منحنی INPEFA در نرم‌افزار سیکلولاگ در چاه ۱۸۷ آغاچاری همراه با مرزهای زمانی اصلی و فرعی

#### چینه‌نگاری زیستی

#### استفاده قرار گرفتند (جدول ۲).

#### توصیف رخساره‌های رسوبی

در این تحقیق، با استفاده از داده‌های چاه‌های ۶۱ و ۳۰ میدان آغاچاری [۱۷]، و مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی مربوط به چاه‌های ۵۴ و ۱۲۱ از جنبه‌های مختلف خصوصیات سنگ‌شناسی، بافتی و اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات (روزنداران بنتیک، مرجان‌ها و جلبک‌ها)، تعداد ۱۲ رخساره شناسایی گردید (جدول ۳) که در ۴ زیرمحیط رمپ بیرونی، رمپ میانی، پشته کم عمق<sup>۱</sup> و رمپ داخلی قرار گرفتند (شکل‌های ۶ و ۷). رخساره‌های شناسایی شده در این مطالعه به صورت خلاصه در جدول ۳ (همراه با داده‌های چاه‌های ۳۰ و ۶۱ مربوط به مطالعات قبلی) آورده شده است.

در دهه‌های گذشته، زیست چینه‌نگاری رسوبات الیگومیوسن زاگرس توسط محققین مختلفی انجام گرفته است [۲۳ تا ۲۵] که مهم‌ترین ایراد آنها عدم تفکیک آشکوب‌های روپلین و شاتین بود. در سال‌های اخیر، محققین مختلفی از داده‌های سن سنجی ایزوتوپ استرانسیم در تعیین سن سازند آسماری استفاده نموده و ضمن انطباق آن با فسیل‌های روزنداران بزرگ (LBF) شاخص، زون‌بندی زیستی دقیق‌تری برای سازند آسماری ارائه نموده‌اند [۵، ۷، ۱۹]. در این مطالعه با بررسی فسیل‌های روزنداران بزرگ شاخص (شکل ۶) و استفاده از جدول زون‌بندی زیستی جدید الله کرم‌پور دیل و همکاران [۱۶] هفت زون زیستی (A، B، C، D، E، F، G) مربوط به آشکوب‌های روپلین-شاتین تا بوردیگالین تعیین گردید که در تعیین سن خطوط زمانی مورد

1. Shoal

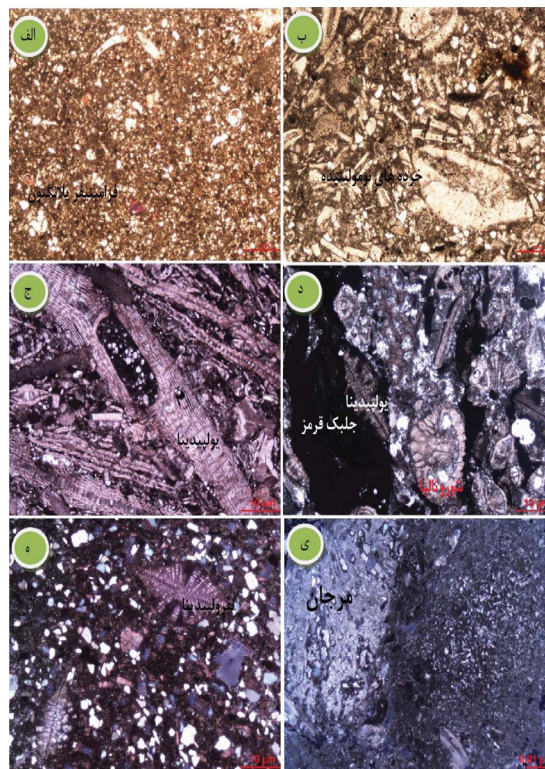
جدول ۲ زون‌های زیستی معرفی شده برای سازند آسماری میدان آغاچاری [۱۷] با اضافه نمودن چاه‌های ۵۴ و ۱۲۱.

| دوره  | آشکوب      | زون‌های زیستی الله کرم‌پور دیل (۲۰۲۰) | زون‌های زیستی (این مطالعه)            | چاه                                                                          |                     |                                  |        |                     |
|-------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------|--------|---------------------|
|       |            |                                       |                                       | Aj-54                                                                        | Aj-30               | Aj-61                            | Aj-121 |                     |
| شاتین | بوردیگالین | 10                                    | G                                     | زون زیستی بوریس ملو                                                          |                     |                                  |        |                     |
|       | آکی تانین  | 9                                     | F                                     | زون زیستی دندریتینا رنجی                                                     |                     |                                  |        |                     |
|       |            | 8                                     | E                                     | زون زیستی میوزیپسینا                                                         |                     |                                  |        |                     |
| اوسن  | شاتین      | 7                                     | D                                     | زون تجمعی آرکیاس کیرکونسیس، آرکیاس آسماریکوس، آرکیاس هنسونی، میوزیپسینوئیدس، |                     |                                  |        |                     |
|       |            |                                       | 6                                     | 6-B                                                                          | C                   | زون اسپروکلیئوس و میوزیپسینوئیدس |        | بیوفاسیس گلوبیژرینا |
|       | 6-A        | B                                     |                                       | زون اسپروکلیئوس و یولپیدینا                                                  |                     |                                  |        |                     |
|       | روپلین     | 5                                     | زون تجمعی لپیدوسیکلینا و نومولیتس     |                                                                              |                     |                                  |        |                     |
|       |            |                                       | زون لپیدوسیکلینا                      |                                                                              |                     |                                  |        |                     |
|       |            |                                       | زون نومولیتس و آرکیاس اپرکولینوفریمیس |                                                                              |                     |                                  |        |                     |
|       |            |                                       | زون نومولیتس                          |                                                                              |                     |                                  |        |                     |
|       | اوسن       |                                       | 1                                     | A                                                                            | بیوفاسیس گلوبیژرینا |                                  |        |                     |

جدول ۳- جدول پروژرسیانی شده مربوط به توصیف رخساره‌ها و محیط رسوبی سازند آسماری در میدان آغاچاری [۱۷] با اضافه نمودن چاه‌های ۵۴ و ۱۲۱

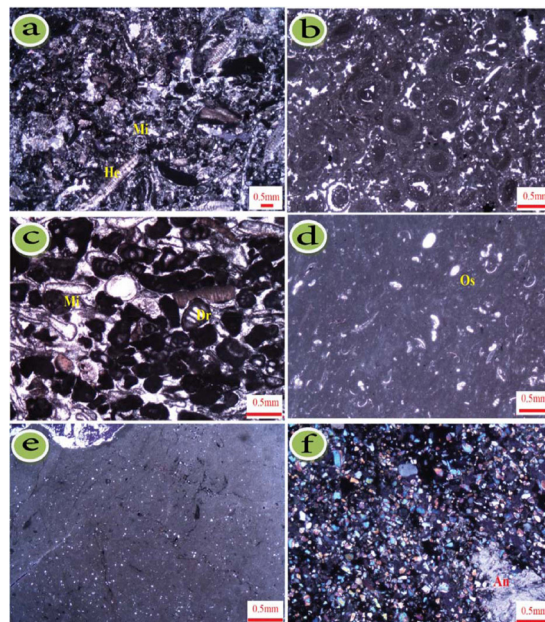
| رخساره | نام رخساره                                                                                      | اجزای اصلی                                                                                                                 | چاه   |       |        | سن    |              |       | محیط / زیر محیط رسوبی |                                 |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|--------|-------|--------------|-------|-----------------------|---------------------------------|
|        |                                                                                                 |                                                                                                                            | AJ-30 | AJ-61 | Aj-121 | Aj-54 | روپلین-شائین | شائین |                       | آکی تالین                       |
| ۱۲     | سیلستون و ماسه سنگ میکربیتی                                                                     | ذرات ماسه کوارتزی نیمه زاویه دار با زمینه میکربیتی و گاهی پتچ‌های انیدریتی                                                 | x     | x     |        | x     | x            | x     | x                     | محیط / زیر محیط رسوبی           |
| ۱۱     | مادستون حاوی ذرات ماسه                                                                          | مادستون حاوی ذرات ماسه ای                                                                                                  | x     | x     | x      |       | x            | x     | x                     | رمپ داخلی                       |
|        | مادستون (دولومادستون)                                                                           | مادستون حاوی پتچ‌های انیدریت                                                                                               | x     | x     | x      | x     | x            | x     | x                     | رمپ داخلی-لاگون حفاظت شده       |
| ۱۰     | وکستون حاوی فرامینیفرهای بدون منفذ                                                              | میلولید، استراکودا، نرم تان، روتالیای کوچک، اکتیونید و دیسکوریپس                                                           | x     | x     | x      | x     | x            | x     | x                     | رمپ داخلی-لاگون حفاظت شده       |
| ۹      | گرینستون-پکستون با تنوع بالای فرامینیفرهای بدون منفذ                                            | پنروپولیس، دندرتینا، استروتیریلینا، ولولینید، میلولید                                                                      | x     | x     | x      | x     | x            | x     | x                     | رمپ داخلی-لاگون باز             |
| ۸      | آبید گرینستون بیوکلیست و پلویید دار                                                             | بیوکلیت، پلویید، آبید                                                                                                      | x     | x     | x      | x     | x            | x     | x                     | رمپ داخلی-پشته‌های کم عمق (شول) |
| ۷      | پکستون حاوی کرایناسه آ و فرامینیفرهای بدون منفذ و منفذدار                                       | نئوروتالیا، میوزپیسینوئیدس، آمفیسترینا، آرکیاس، میلولید، جلبک قرمز                                                         | x     | x     | x      | x     | x            | x     | x                     | رمپ میانی                       |
| ۶      | پکستون تا فلوتستون / رودستون حاوی کرال کرایناسه آ                                               | مرجان، جلبک قرمز، بریوزوا، میلولید، آرکیاس، آمفیسترینا، روتالید                                                            | x     | x     | x      | x     | x            | x     | x                     | رمپ میانی                       |
| ۵      | وکستون حاوی لیدوسیکلیتیده و نومولیتیده با ذرات ماسه                                             | ذرات ماسه کوارتزی ریز تا متوسط دانه، خرده‌های نومولیتیده، لیدوسیکلیتیده، میلولیتیده، اکتیونید و دو کفدای                   | x     | x     | x      | x     | x            | x     | x                     | رمپ میانی                       |
| ۴      | گرینستون حاوی لیدوسیکلیتیده و نومولیتیده                                                        | نئوروتالیا، ایرکولینا، هترستزینا، دیتروپا، هترستزینا، میوزپیسینوئیدس، آمفیسترینا، نفرولیدینا، پلوییدینا، جلبک قرمز و مرجان | x     | x     | x      | x     | x            | x     | x                     | رمپ میانی                       |
| ۳      | فلوتستون/رودستون حاوی لیدوسیکلیتیده و نومولیتیده                                                | نئوروتالیا، ایرکولینا، هترستزینا، دیتروپا، هترستزینا، میوزپیسینوئیدس، آمفیسترینا، نفرولیدینا، پلوییدینا، جلبک قرمز و مرجان | x     | x     | x      | x     | x            | x     | x                     | بخش دورتر رمپ میانی             |
| ۲      | وکستون حاوی فرامینیفرهای پلاژیک و بیوکلیست همراه با خرده‌های حمل شده نومولیتیده و لیدوسیکلیتیده | فرامینیفرهای پلاژیک، دیتروپا، ایرکولینا، پلوییدینا، آمفیسترینا                                                             | x     | x     | x      | x     | x            | x     | x                     | رمپ نیرونی                      |
| ۱      | وکستون-پکستون حاوی فرامینیفرهای پلاژیک                                                          | فرامینیفرهای پلاژیک، دیتروپا، ایرکولینا                                                                                    | x     | x     | x      | x     | x            | x     | x                     | رمپ نیرونی-حوضه                 |





شکل ۶ رخساره‌های شناسایی شده ۱ تا ۶ میدان آجاجاری

الف) رخساره شماره ۱: وکستون با فرامینیفرهای پلانکتون (عمق ۷۱۵۰ فوت چاه ۵۴ آجاجاری) ب) رخساره شماره ۲: پکستون حاوی فرامینیفرهای پلاژیک و بیوکلیست همراه با خرده‌های حمل شده نومولیتیده و لپیدوسیکلینیده (عمق ۷۱۰۰ فوت چاه ۵۴ آجاجاری) ج) رخساره شماره ۳: رودستون حاوی لپیدوسیکلینیده و نومولیتیده (عمق ۹۶۳۶ فوت چاه ۶۱ آجاجاری) د) رخساره شماره ۴: گرینستون حاوی لپیدوسیکلینیده و نومولیتیده حاوی نئوروتالیا (عمق ۷۳۳۵ فوت چاه ۶۱ آجاجاری) ه) وکستون ماسه دار حاوی یولپیدینا (عمق ۹۵۶۵ فوت چاه ۶۱ آجاجاری) ی) پکستون / فلوتستون با خرده‌های مرجانی و فرامینیفرهای بدون منفذ (عمق ۶۸۶۶ فوت چاه ۳۰ آجاجاری)

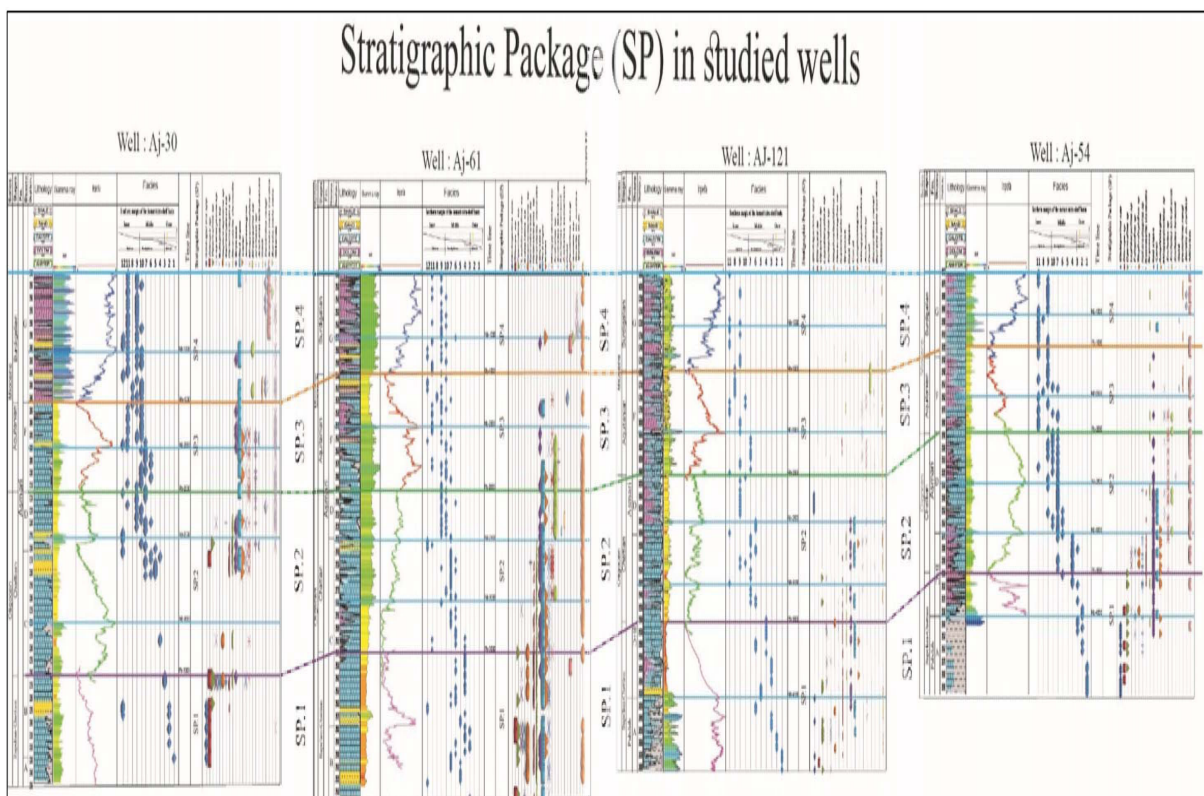


شکل ۷ رخساره‌های شناسایی شده ۷ تا ۱۲ میدان آجاجاری

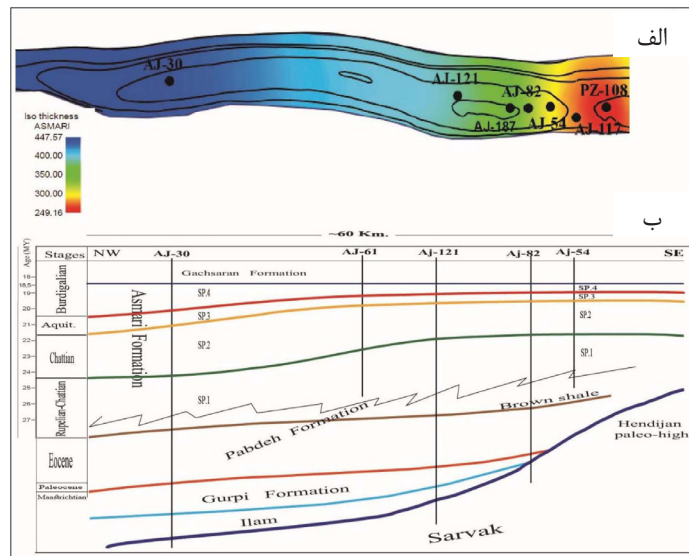
الف) رخساره شماره ۷: پکستون حاوی کرایناسه آ و فرامینیفرهای بدون منفذ همراه با فونای دریای باز (عمق ۹۳۶۹ فوت چاه ۶۱ آجاجاری) ب) پلویید ایید گرینستون همراه با دانه‌های ایید (عمق ۸۵۹۷ فوت چاه ۳۰ آجاجاری) ج) گرینستون با تنوع بالای فرامینیفرهای بدون منفذ (عمق ۶۳۹۴ فوت چاه ۳۰ آجاجاری) د) وکستون با فرامینیفرهای بدون منفذ (عمق ۸۴۱۴ فوت چاه ۶۱ آجاجاری) ه) دولومیت مادستون با پیچ‌های انیدریتی (عمق ۸۴۵۲ فوت چاه ۶۱ آجاجاری) ی) ماسه سنگ میکریتی با پیچ‌های انیدریتی (عمق ۸۴۱۶ فوت چاه ۶۱ آجاجاری)

**واحد چینه‌ای ۱:** ترکیب سنگ‌شناسی این واحد در برگرنده مخلوط کربنات/ سیلیسی آواری (سنگ آهک، شیل، سنگ آهک ماسه‌ای و سنگ آهک مارنی) مربوط به قاعده سازند آسماری (زون تدریجی) و بخش بالایی سازند پابده می‌باشد. مرز بالایی آن که معرف یک مرز سکانسی است (Pb-3000) منطبق بر مرز آشکوب روپلین-شاتین و از طرفی منطبق بر یک مرز زیست چینه‌نگاری مهم و قابل توجه نیز می‌باشد که تقریباً نزدیک به آخرین حد ظهور مجموعه فسیلی روزنداران بزرگ شامل *Lepidocyclus*، *Nephrolepidina*، *Operculina*، *Ditrupe* انتخاب شده است.

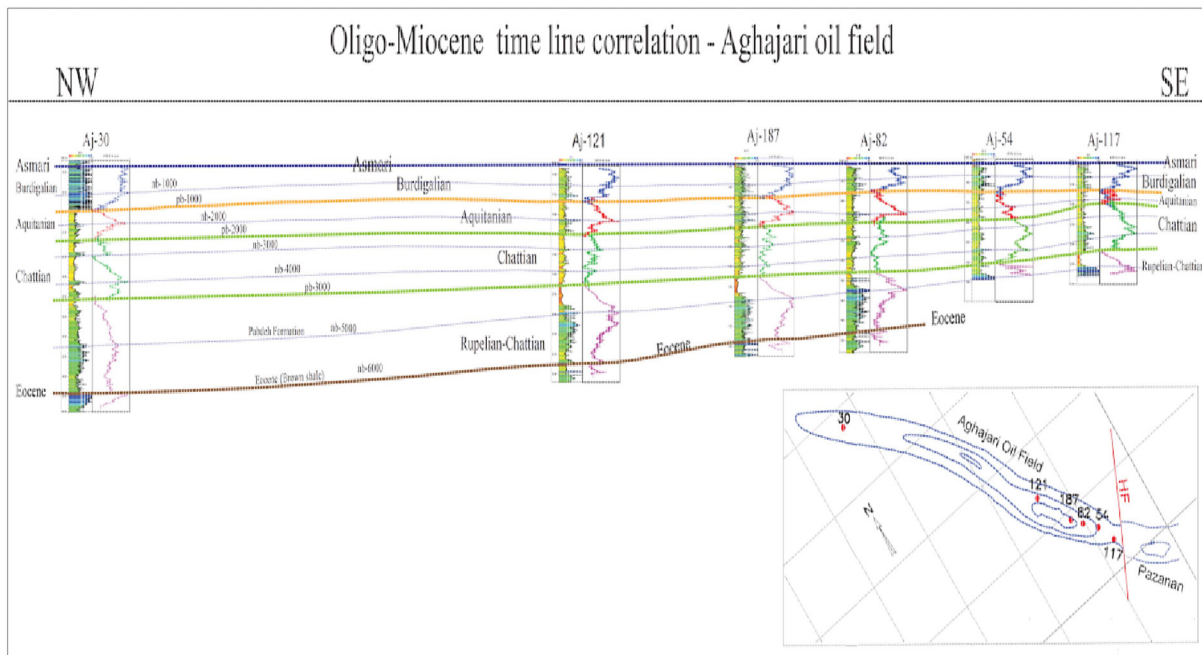
بسته‌های زمان-چینه‌ای سازند آسماری در میدان آغاچاری با بررسی الگوهای مشابه منحنی‌های نمودار INPEFA در چاه‌های مورد مطالعه و تلفیق آن با مطالعات رسوب‌شناسی و چینه‌شناسی، تعداد ۴ بسته یا واحد چینه‌ای<sup>۱</sup> با ویژگی‌های رسوبی و زیستی خاص خود شناسایی گردید. تغییرات جانبی در ضخامت، محتوای زیستی و رخساره‌ای این واحدها، قابل دنبال کردن در کل میدان می‌باشند (شکل‌های ۸ تا ۱۰). واحدهای چینه‌ای از پایین به بالا عبارتند از:



شکل ۸ تطابق واحدهای چینه‌ای سازند آسماری در چاه‌های مورد مطالعه. مرز بالایی سازند آسماری به گچساران به عنوان خط مبنا در نظر گرفته شده است.



شکل ۹ الف) نقشه تغییرات ضخامت سازند آسماری در میدان آغاچاری ب) طرح ساده از تطابق واحدهای چینه‌ای سازند آسماری در میدان آغاچاری و تغییرات ضخامت آنها. مرز بالایی سازند آسماری به گچساران به عنوان خط مبنا در نظر گرفته شده است.



شکل ۱۰ تطابق چینه‌ای-زمانی در میدان آغاچاری بر اساس خطوط زمانی. مرز بالایی سازند آسماری به گچساران به عنوان خط مبنا در نظر گرفته شده است.

خروج از آب پلتفرم کربناته آسماری و نیز جدا شدن مرکز حوضه آسماری از دریای آزاد همراه بوده است به نحوی که منجر به نهشته شدن انیدریت قاعده‌ای در مرکز حوضه (میدان نفتی پارسی) شده است [۷]. سن این واحد شاتین بوده و حاوی زون‌های زیستی C و D می‌باشد. الگوی خاص نمودار INPEFA با مقدار گامای تقریباً ثابت و یکنواخت در این واحد، معرف الگوی انباشتگی از نوع تجمعی<sup>۱</sup> است که بیانگر تجمع زیاد رخساره‌های مرجانی جلبک قرمز می‌باشد. محتوای زیستی این واحد عمدتاً شامل مرجان، جلبک قرمز، بریزوآ و به مقدار کمتر نئوروتالیا و هترستژینا می‌باشد که به سمت بالاتر، روزنداران بنتیک مانند آرکیاس غالب می‌شوند بنابراین رخساره‌های غالب رسوبی در این واحد شامل جلبک قرمز-مرجانی (Fa.6) و (Fa.7) است که به سمت بالا به رخساره‌های بنتیک (Fa.9، Fa.10) تبدیل می‌شوند. (شکل ۸). با توجه به تجمع اجزای اسکلتی سازنده این واحد (جلبک قرمز و مرجان) و انطباق آن با رخنمون‌های مجاور (مانند کوه خويز، تنگ گورگدا، کوه رازی و کوه خامی)، که توسط ون بوخسم و همکاران [۷] و شب افروز و همکاران [۸] گزارش شده‌اند می‌توان وجود ساختمان‌های مرجانی<sup>۲</sup> را برای این واحد چینهای نیز متصور بود. کاهش تدریجی ضخامت این واحد نیز به سمت ساختار بلندای دیرینه هنديجان در چارت تطابق چینهای میدان قابل مشاهده می‌باشد (شکل‌های ۹ و ۱۰).

**واحد چینهای ۳:** ترکیب سنگ شناسی این سکانس شامل کربنات با لایه‌های نازک سیلیسی-آواری است. مرز پایینی این واحد (Pb-2000) در بالا توضیح داده شد اما مرز بالایی آن (Pb-1000) منطبق بر مرز سکانسی بین آشکوب‌های آکی تانین و بوردیگالین می‌باشد (شکل‌های ۵ و ۸). بنابراین سن این واحد آکی تانین و حاوی زون‌های زیستی E و F می‌باشد. این واحد عمدتاً متشکل از رخساره‌های رمپ داخلی و پشته کم عمق (Fa.8 تا Fa.12) با

مرز پایینی آن، یک مرز سکانسی (Pb-4000)، درون سازند پاینده قرار دارد که بر روی نمودار گاما و INPEFA قابل تشخیص می‌باشد (شکل‌های ۵ و ۸). زون‌های زیستی A و B در این واحد گسترش دارند بنابراین سن آن روپلین-شاتین می‌باشد. روند افزایشی رو به بالا یعنی روند مثبت در نمودار INPEFA، که بیانگر پیشروی دریا است شامل رخساره‌های رو به بالا عمیق شونده (رخساره‌های رمپ بیرونی Fa.1 و Fa.2) مربوط به بخش بالایی سازند پاینده است که متشکل از شیل با فراوانی روزنداران پلانکتون (زون زیستی A) می‌باشد. نقطه برگشت منفی منطبق بر راس سازند پاینده (Nb-) 5000 و بیانگر حداکثر سطح پیشروی دریاست. روند کاهشی نمودار یعنی روند منفی که معرف پسروی دریا می‌باشد و شامل بخش قاعده سازند آسماری متشکل از تناوب سنگ آهک، مارن و شیل و گاهی ماسه سنگ زون تدریجی می‌باشد و رخساره‌های آن با روند کم عمق شونده به سمت بالا (Fa.1، Fa.2، Fa.3، Fa.6) مربوط به انتهای رمپ میانی و مرز رمپ بیرونی و میانی می‌باشند. محتوای زیستی این واحد نشان دهنده تمرکز بالایی از مجموعه فسیلی روزنداران بزرگ شامل Oper-، Nephrolepidina، Lepidocyclina، Ditrupa، culina است (شکل ۸). چارت تطابق چینهای میدان، کاهش تدریجی ضخامت واحد چینهای شماره ۱ به سمت ساختار بلندای دیرینه هنديجان را نشان می‌دهد (شکل‌های ۹ و ۱۰).

**واحد چینهای ۲:** ترکیب سنگ شناسی این واحد عمدتاً کربناته است، اما در غرب میدان، ماسه سنگ‌های ریزدانه در زمینه گل میکرایتی (Fa.12) و نیز رخساره وکستون با فسیل‌های نومولیتیده و لپیدوسیکلینینده حاوی دانه‌های زیاد ماسه (Fa.5) به صورت لایه‌هایی با حداکثر ضخامت ۱۵ m نیز در آن گسترش دارند. مرز پایینی واحد (Pb-3000) در بالا توضیح داده شد ولی مرز بالایی آن (Pb-2000) منطبق بر مرز سکانسی بسیار مهم الیگوسن-میوسن می‌باشد که پایین افتادگی شدید سطح آب دریا در مقیاس جهانی را در پی داشته است. در فروافتادگی دزفول این رخداد با شواهدی از

1. Aggradational Stacking Pattern

2. Coral Buildup

فراوانی روزن‌داران پرسلانوز است (شکل ۸). در چارت تطابق چینه‌ای میدان، کاهش تدریجی ضخامت به سمت ساختار بلندای دیرینه هنديجان در این واحد نیز دیده می‌دهد (شکل‌های ۹ و ۱۰).

**واحد چینه‌ای ۴:** این واحد معرف بالاترین قسمت سازند آسماری است که شامل کربنات و اندکی رخساره‌های سیلیسی آواری است. رخساره سیلیسی آواری (Fa.12)، شامل ماسه سنگ ریزدانه در زمینه گل میکرایتی است که معمولاً حاوی نودول‌های انیدریتی بوده و همراه با سایر رخساره‌های کم عمق رمپ داخلی (Fa.10، Fa.11) دیده می‌شود (جدول ۳ و شکل ۷). مرز پایینی این واحد (Pb-1000) در بالا توضیح داده شده است اما مرز بالایی آن در زیر اولین انیدریت پوش سنگ گچساران قرار دارد این واحد بیشتر از رخساره‌های مردابی رمپ داخلی (Fa. 8 تا Fa.12) تشکیل شده است که در شرایط کم انرژی و کم عمق دریایی نهشته شده‌اند. زون زیستی G با فراوانی روزن‌داران پرسلانوز از قبیل بورلیس مشخص می‌شود، بنابراین سن بوردیگالین دارد. این واحد نیز کاهش تدریجی ضخامت به سمت بلندای دیرینه هنديجان را نشان می‌دهد (شکل‌های ۹ و ۱۰).

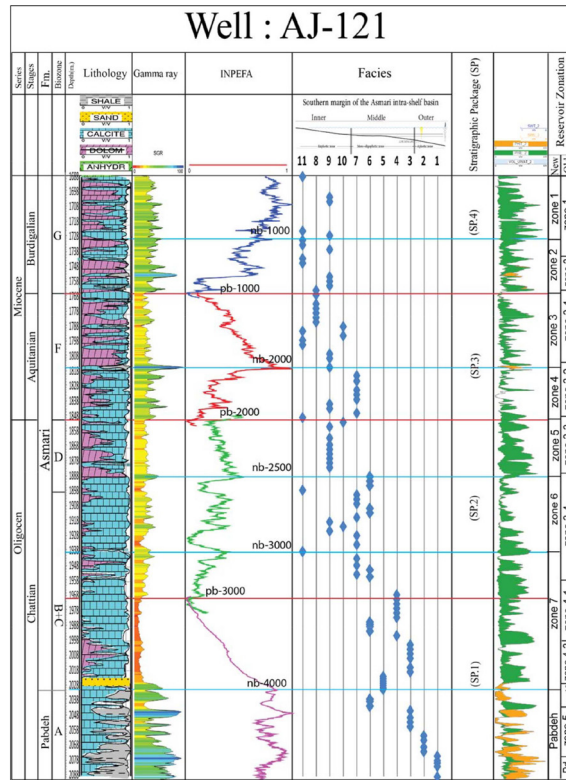
بحث و نتایج

در این مطالعه، از چارچوب زمانی متشکل از ۴ مرز زمانی (Pb) و ۵ مرز زمانی (Nb) (جدول ۱) در تطابق چینه‌ای سازند آسماری در کل میدان، بررسی تغییرات ضخامت واحدهای چینه‌ای-رسوبی و همچنین بررسی زون‌های مخزنی و ارائه زون‌بندی مخزنی جدید آسماری استفاده گردید (شکل‌های ۱۰ تا ۱۲). استفاده از این چارچوب زمانی دقیق در این مطالعه با هدف کنترل زون بندی مخزن نتایج متعددی در پی داشت. اولین نتیجه به دست آمده استفاده از مرزهای زمانی در بازنگری سرسازند پابده در میدان آغاجاری است. همان‌طور که قبلاً ذکر گردید زون‌بندی قبلی مخزن با دیدگاه

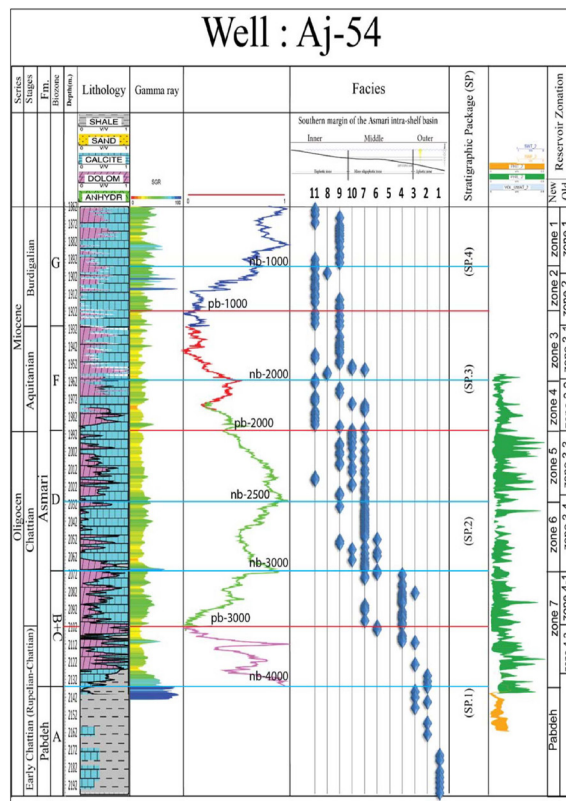
لیتواستراتیگرافیک صورت گرفته است و بنابراین راس سازند پابده نیز با همین دیدگاه لیتواستراتیگرافیک تعیین شده است. از طرفی با توجه به تدریجی و دو زمانه بودن<sup>۱</sup> سازند پابده، مرز سازندهای آسماری و پابده [۲۳، ۷، ۵] و سن سازند پابده به سمت مرکز حوضه جوان‌تر می‌شود بنابراین در این مطالعه با تطابق ناحیه‌ای داده‌های میدان گچساران [۸ و ۹] (نزدیک به خط ساحلی اینتراسلف آسماری) و میدان منصورآباد، مرز زمانی Nb-4000 به عنوان مرز سازندهای آسماری و پابده انتخاب گردید (شکل ۱۰). در زون‌بندی قبلی، مرز زون‌های مخزنی در چاه‌های مختلف نسبت به چاه نمونه ۱۲۱، گاهی تا ۱۰ m نیز با هم اختلاف داشتند این مقدار خطا در زون‌بندی بسیار مهم و قابل توجه است و به خصوص در زون‌های با کیفیت مخزنی بالا مانند زون‌های ۱ و ۳ باعث ایجاد خطاهای بزرگ در بخش مدل‌سازی خواص پتروفیزیکی مخزن<sup>۲</sup> و نهایتاً در حجم سنجی مخزن خواهد شد. در این مطالعه به کمک مرزهای زمانی در قالب نرم‌افزار سیکلولاگ، مرز زون‌های مخزنی با دقت بیشتری تعیین گردید. همان‌گونه که قبلاً نیز گفته شد تاثیر وجود بلندای دیرینه هنديجان باعث کاهش ضخامت واحدهای چینه‌ای در بخش شرقی میدان آغاجاری شده است این اتفاق باعث ایجاد پیچیدگی‌های ساختمانی و تغییر الگوی هندسه رسوبات شده است که اشکالات و ابهاماتی در زون‌بندی مخزن آسماری در این بخش از میدان را در پی داشته است به طوری که در زون‌بندی قبلی، در چاه‌های شرق میدان، تعدادی از زون‌های مخزنی، به خصوص زون‌های ۳ و ۴ (همراه با زیرزون‌های آنها) مرزهای زمانی را قطع می‌کردند که در این مطالعه، مرز زون‌های مذکور با مرزهای زمانی انطباق داده شد و این ایرادات و ابهامات رفع گردید و در نهایت با توجه به مرزهای زمانی، ویژگی‌های زمین‌شناسی و کیفیت مخزنی زون‌بندی جدید پیشنهاد شد.

1. Diachronus

2. Property Modeling



شکل ۱۱ استفاده از خطوط زمانی در زون بندی و ارائه زون بندی مخزن جدید در چاه نمونه ۱۲۱ آغاچاری



شکل ۱۲ استفاده از خطوط زمانی در زون بندی و ارائه زون بندی مخزن جدید در چاه- نمونه ۵۴ آغاچاری.

ضخامت با ایجاد پیچیدگی‌های ساختمانی و تغییر در الگوی هندسه رسوبات، موجب بروز ابهامات و دشواری‌هایی در تطابق چینه‌ای و زون‌بندی مخزن آسماری در بخش شرقی میدان شده است.

۵- با استفاده از چارچوب زمانی دقیق، ضمن بازنگری در تعیین مرز سازنده‌های آسماری و پابده، مرز زون‌های مخزنی با دقت بیشتری تفکیک گشته و زون‌بندی جدیدی ارائه گردید.

۶- زون‌بندی مخزنی جدیدی با ۷ زون مخزنی پیشنهاد گردید که با لحاظ نمودن ویژگی‌های زمین‌شناسی و کیفیت مخزنی، تطابق خوبی بین مرز زون‌های مخزنی و مرزهای زمانی در آن مشاهده می‌شود و استفاده از آن باعث رفع ابهامات زون‌بندی در بخش شرقی میدان شد.

۷- در زون‌بندی جدید، مطابق انتظار زون‌های مخزنی با کیفیت مخزنی بهتر در زیر مرزهای زمانی منطبق بر مرزهای سکانشی قرار دارند. همچنین واحد چینه‌ای شماره ۲ با سن شاتین به دلیل نوع اجزای سازنده که تمرکز بالایی از مرجان‌ها را شامل می‌شود کیفیت مخزنی نسبتاً خوب و یکنواختی در همه چاه‌ها دارند.

تشکر و قدردانی

نگارندگان برخود لازم می‌دانند از حمایت شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب برای انجام این پژوهش تشکر نمایند. همچنین از سردبیر محترم و داوران علمی مجله کمال تشکر و قدردانی را داریم.

در زون‌بندی جدید، همبستگی خوبی بین زون‌ها و ویژگی‌های زمین‌شناسی و کیفیت مخزنی مشاهده گردید که در چاه‌های نمونه ۱۲۱ و ۵۴ نشان داده شده است (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). مطابق انتظار، زون‌های مخزنی که زیر مرزهای زمانی (Pb) (زیر مرزهای سکانشی) قرار می‌گیرند از کیفیت مخزنی بهتری برخوردار هستند. همچنین به دلیل فراوانی و تمرکز اجزای سازنده ساختمان‌های مرجانی در واحد چینه‌ای ۲ با سن شاتین، کیفیت مخزنی نسبتاً خوب و یکنواختی در زون‌های مخزنی این واحد چینه‌ای مشاهده می‌گردد.

نتیجه‌گیری

۱- با استفاده از نرم‌افزار سیکلولاگ، چارچوب زمانی دقیقی متشکل از ۴ مرز Pb و ۵ مرز Nb ساخته شد و در چاه‌های مورد مطالعه اعمال گردید.

۲- تجزیه و تحلیل رخساره منجر به شناسایی ۱۲ رخساره شد که در چهار گروه رخساره‌ای رمپ داخلی، رخساره رمپ میانی، شول و رخساره رمپ بیرونی طبقه‌بندی شدند.

۳- با تلفیق داده‌های رسوبی و چینه‌ای در چارچوب زمانی تهیه شده، تعداد چهار بسته (واحد) چینه‌ای در سازند آسماری شناسایی گردید.

۴- ضخامت واحدهای چینه‌ای، به طور قابل توجهی از غرب به سمت شرق میدان تغییر کرده و نازک‌تر می‌شوند که متاثر از وجود بلندای دیرینه هندیجان در زمان رسوبگذاری آسماری می‌باشد. این کاهش

مراجع

- [1]. Sherhati S Letouzey J (2004) Variation of structural style and basin evolution in the Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Marine and Petroleum Geology, 21:535 – 554, doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2004.01.007.
- [2]. Abdollahie Fard I, Braathen A, Mokhtari M, Alavi SA (2006) Interaction of the Zagros fold-thrust belt and the Arabian type, deep-seated folds in the Arabian Plain and the Dezful Embayment, SW Iran. Pet Geosci, 12, 3:4 7 – 62, doi.org/10.1144/1354-079305-706.
- [3]. Farahzadi E, Alavi SA, Sherhati S, Ghasemi M.R (2019) Variation of subsidence in the Dezful Embayment, SW Iran: Influence of reactivated basement structures, Arabian Journal Geosci. 12, 616: doi.org/10.1007/s12517-019-4758-5.
- [4]. Embry A (2009) Practical Sequence Stratigraphy, Canadian Society of Petroleum Geologists' monthly magazine, The Reservoir, between May 2008 and September 2009.
- [5]. Ehrenberg S N, Pickard N A H, Laursen G V, Monibi S, Mossadegh Z K, Svånå T A, Aqrabi A A M, McArthur J M, Thirlwall M F (2007) Strontium isotope stratigraphy of the Asmari Formation (Oligocene-lower

- Miocene), SW Iran, *Journal of Petroleum Geology*, 30(2): 107–128, doi.org/10.1111/j.1747-5457.2007.00107.x.
- [6]. Laursen G V, Monibi S, Allan T L, Pickard N A, Hosseiney A, Vincent B, Hamon Y, Buchem, F S P V, Moallemi A, Druillion G (2009) In: The Asmari Formation revisited: changed stratigraphic allocation and new biozonation, First International Petroleum Conference and Exhibition, Shiraz, Iran, dx.doi.org/10.3997/2214-4609.20145919.
- [7]. Van Buchem FSP, Allan TL, Laursen GV, Lotfpour M, Moallemi A, Monibi S, Motiei H, Pickard NAH, Tahmasbi AR, Vedrenne V, Vincent B (2010) Regional stratigraphic architecture and reservoir types of the Oligo–Miocene deposits in the Dezful Embayment (Asmari and Pabdeh Formations) SW Iran, Geological Society, London, Special Publications, 329(1): 219–263, doi:10.1144/sp329.10.
- [8]. Shabafrooz R, Mahboubi A, Vaziri-Moghaddam H, Moussavi-Harami R, Ghabeishavi A, Al-Asam S, I (2015) Facies analysis and carbonate ramp evolution of Oligo-Miocene Asmari formation in the Gachsaran and Bibi-Hakimeh oil fields and the nearby Mish Anticline, Zagros Basin, Iran: *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen*, 276(1): 121–146.
- [9]. Shabafrooz R, Mahboubi A, Vaziri Moghaddam H, Ghabeishavi A, Moussavi Harami R (2015) Depositional architecture and sequence stratigraphy of the Oligo–Miocene Asmari platform, Southeastern Izeh Zone, Zagros Basin, Iran: *Facies*, 61, doi: 10.1007/s10347-014-0423-3.
- [10]. Allahkarampour Dill M, Vaziri-Moghaddam H, Seyrafian A, Behdad A (2018) Oligo-Miocene carbonate platform evolution in the northern margin of the Asmari intra-shelf basin, SW Iran, *Marine and Petroleum Geology*, 92, 437-461, doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.11.008.
- [11]. Daraei M, Bayet-Goll A, Ansari M (2017) An integrated reservoir zonation in sequence stratigraphic framework: a case from the Dezful Embayment, Zagros, Iran *Journal of Petroleum Science and Engineering*, doi.org/10.1016/j.petrol.2017.04.038.
- [12]. Agard P, Omrani, J, Jolivet L, Whitechurch, B, Spakman, W, Monie, E, Meyer, B, Wortel, R (2011) Zagros orogeny: a subduction-dominated process. *Geological Magazine* 148, 692e725, In: Allen, M.B., Budd, G.E., Leat, P.T., Whitham, A.G. (Eds.), *Geodynamic Evolution of the Zagros*, Cambridge University Press, doi.org/10.1017/S001675681100046X.
- [13]. Sepehr M, Cosgrove J W (2002) The major fault zones controlling the sedimentation, deformation, and entrapment of hydrocarbon in the Zagros fold-thrust belt, Iran, AAPG Annual Meeting: Houston, Texas, 10-13.
- [14]. Sepehr M, Cosgrove J W (2004) Structural framework of the Zagros fold-thrust belt, Iran, *Marine and Petroleum Geology*, 21:829 – 843, doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2003.07.006.
- [15]. Karimnejad Lalami H, Hajjalibeigi H, Shahram Sherkati Sh, Mohammad Hossein Adabi M H (2020) Tectonic evolution of the Zagros foreland basin since Early Cretaceous, SW Iran: Regional tectonic implications from subsidence analysis, *Journal of Asian Earth Sciences*, 204: 104550, doi.org/10.1016/j.jseaes.2020.104550.
- [16]. Allahkarampour Dill M, Vaziri-Moghaddam H, Seyrafian A, Behdad A, Shabafrooz R (2020) A review of the Oligo–Miocene larger benthic foraminifera in the Zagros basin, 3 Iran; New insights into biozonation and palaeogeographical maps, *Revue de micropaléontologie* 66(2020)100408, doi.org/10.1016/j.revmic.2020.100408.
- [17]. Fathi isvand R, Mussavi-Harami R, Mahboobi A, Behdad A (2022) Facies analysis and carbonate platform evolution of the Oligo-Miocene deposits in the Aghajari and Rag-e-Safid oil fields, Dezful Embayment, SW Iran. *Journal of African Earth Sciences*, doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104514.
- [18]. Dunham R J (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture, In: Ham, W.E. (Eds.), *Classification of Carbonate Rocks*. American Association of Petroleum Geologists Memoir 1, 108-121.
- [19]. Embry A F, Klovan J E (1971) A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, NWT, *Bulletin of Canadian Petroleum Geology* 19, 730-781, doi.org/10.35767/gscpgbull.19.4.730.
- [20]. Nio S, Djin Brouwer J, Smith D G, Jong M De, Böhm A (2005) Spectral trend attribute analysis: applications in the stratigraphic analysis of wireline logs, *First Break*, 23: 4, doi.org/10.3997/1365-2397.23.4.26503.
- [21]. De Jong M, Smith D, Djin Nio S, Hardy N (2006) Subsurface correlation of the Triassic of the UK southern central graben: new look at an old problem, 24: 9.
- [22]. De Jong M, Nio S D, Smith D, Böhm A R (2007) Subsurface correlation in the Upper Carboniferous (Westphalian) of the Anglo-Dutch Basin using the climate stratigraphic approach, *first break*, 25: 12, doi.org/10.3997/1365-2397.2007029.
- [23]. Thomas A N (1948) The Asmari Limestone of southwest Iran. NGLO -Iranian Oil Company Report, 706. Unpublished.
- [24]. Wynd J G (1965) Biofacies of the Iranian consortium- agreement area, Unpublished Report 1082: Iranian Offshore Oil Company, Tehran, 7: 2.
- [25]. Adams C, Bourgeois E (1967) Asmari biostratigraphy, Geological and Exploration Div. Iranian Oil Offshore Company. Report 1074: Unpublished, 5: 4.



# Sub-surface Stratigraphic Correlation of the Asmari Formation in the Aghajari Oilfield, using in Reservoir Zonation

Reza Fathi Isvand<sup>1</sup>, Reza Moussavi-Harami<sup>1\*</sup>, Asadollah Mahboubi<sup>1</sup> and Ali Behdad<sup>2</sup>

1. Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2. National Iranian South Oil Company (NISOC), Ahvaz, Iran.

moussavi@um.ac.ir

DOI:10.22078/PR.2023.4992.3226

Received: December/21/2022

Accepted: January/16/2023

## Introduction

The Asmari Formation, an intensely dolomitised fractured carbonate reservoir is the most important hydrocarbon reservoir in the Zagros Basin, deposited in the Oligo-Miocene carbonate-siliciclastic ramp in the Zagros foreland basin [1-4]. This formation has been studied extensively since the 1900s century to the present time due to its reservoir importance. The most recent studies are done by Ehrenberg et al. [3], Van Buchem et al. [4], Shabafrooz et al. [5, 6], and Allahkarampour Dill et al. [7]. The important aspect of these studies, is the application of strontium isotope stratigraphy method, calibrated with Large Benthic Foraminifera (LBF), to date the Asmari Formation.

Study area is located in the Dezful Embayment including the Aghajari oilfield. Thickness of the Asmari Formation, ranges from 440 to 250 meters, toward the east of the Aghajari oilfield. Interpreted seismic profile through the Hendijan fault between the Aghajari and

Pazanan oil fields shows clearly thickness changes during the Middle Cretaceous to Early Miocene time interval [8]. The Hendijan paleo-high, attributed to re-activation of pre-exist basement deep-seated Hendijan fault, is the most prominent structure between the Pazanan and Aghajari anticlines. This structure caused the considerable changes in sedimentary facies via changes in depth of the basin [9].

In this study, we focused on establish a more precise field scale time framework, using latest biozonation scheme to present a high-resolution stratigraphic correlation to controlling the reservoir zonation.

## Method and Data

In this study, all subsurface data, including cores, cuttings, and full-set wire-line logs and, used. Two cored-wells (Aj30, Aj61) and cutting samples of Two wells (Aj121, Aj54) were used (Figure1).

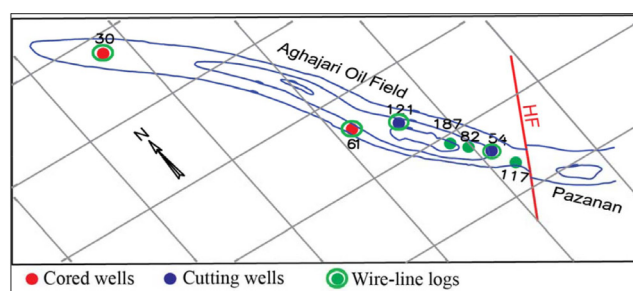


Fig. 1 UGC map of the Aghajari oilfield.

Recent biostratigraphic zonation scheme [7] which calibrated with strontium isotope stratigraphy, helped us to establish a more precise field scale time framework (Tables 1 and 2) for Oligo-Miocene sediments and correlated throughout the study area using Cyclog software, a new special method of log correlation, based on climate stratigraphy developed by ENRES. Cyclog, makes a new log based on gamma-ray, called INPEFA (Integrated Prediction Error Filter Analysis). INPEFA led us to establish a correlation, which used to interpret high resolution stratigraphic cycles based on climate changes. INPEFA shows the following features and events: retrogradational, progradational, aggradational depositional systems, sequence boundaries and flooding surfaces. The time framework contains nine-time lines which were correlated throughout the study area.

Detailed facies analysis, have been carried out on 350 thin sections. The modified Dunham's [10] classification by Embry and Klovan [11] was used for facies classification. Petrographic description led to the recognition of twelve facies, represent the main

depositional environments (inner ramp, shoal, middle ramp and outer ramp) (Table 3).

### Results and Discussion

Inegrated all sub-surface data led to recognition four stratigraphic packages according to their sedimentological and biological characteristics. Lateral changes in thickness, biological content and facies of stratigraphic packages can be followed throughout the study area (Figure 2 and 3). The thickness of four stratigraphic packages becomes thinner toward the east of the Aghajari oilfield, due to inherited Hendijan paleo-high structure during Asmari sedimentation.

Using the stratigraphic correlation in a precise time framework, helped us to control the reservoir zones boundaries more carefully and allowed to provide a new zonation according to the geological characteristics and reservoir quality. As expected, the reservoir zones that are placed under the sequence boundaries have better reservoir quality (Figure 4). Also, stratigraphic packages 2, Chattian in age, has good reservoir quality due to the abundance of coral facies and components.

**Table 1** Time-lines

|           | Formation | Stage       | Age                           | Pb-Nb              |
|-----------|-----------|-------------|-------------------------------|--------------------|
| Miocene   | Asmari    | Burdigalian | 20.44                         | Nb-1000<br>Pb-1000 |
|           |           | Aquitanian  | 23.03                         | Pb-2000<br>Nb-2000 |
| Chattian  |           | 27.82       | Nb-2500<br>Pb-3000<br>Nb-3000 |                    |
|           |           |             | Pb-4000<br>Nb-4000            |                    |
| Oligocene | Pabdeh    | .Rup-Chat   |                               |                    |

**Table 2** Proposed biozonation scheme (modified after Fathi Isvand et al.) [12].

| Epoch     | Age/Stage          | Biozonation (Allahkarampour Dill et al., 2020) |     | Biozonation (this study) | Asmari Formation biozonation                                                                   |                                                                     | Location                       |       |       |        |   |
|-----------|--------------------|------------------------------------------------|-----|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|-------|--------|---|
|           |                    |                                                |     |                          |                                                                                                |                                                                     | Aj-54                          | Aj-30 | Aj-61 | Aj-121 |   |
| Miocene   | Burdigalian        | 10                                             |     | G                        | Borelis melo group Taxon Range Zone                                                            |                                                                     | Globigerina spp. Biofacies (1) | ×     | ×     | ×      | × |
|           | Aquitainian        | 9                                              |     | F                        | Dendritina rangi Partial Range Zone                                                            |                                                                     |                                | ×     | ×     | ×      | × |
|           |                    | 8                                              |     | E                        | Miogypsina spp Interval Zone                                                                   |                                                                     |                                |       |       |        |   |
| Oligocene | Chattian           | 7                                              |     | D                        | Archaias kirkukensis, Archaias asmaricus Archaias hensoni, Miogypsinoidea spp. Assemblage Zone |                                                                     | ×                              | ×     | ×     | ×      |   |
|           |                    | 6                                              | 6-B | C                        | Spiroclypeus Sp. Miogypsino Sp Eulepidina Sp., assemblage zone                                 | Migypsnoides Sp., Spiroclypeus sp. Eulepidina sp., Spiroclypeus sp. | ×                              | ×     | ×     | ×      |   |
|           | 6-A                |                                                | B   | ×                        |                                                                                                |                                                                     | ×                              | ×     | ×     |        |   |
|           | Rupelian-Chattian. |                                                |     |                          | Lepidocyclus spp., N.fich/inter, N.vascus Assemblage Zone                                      |                                                                     |                                |       |       |        |   |
|           | Rupelian           | 5                                              |     |                          | Lepidocyclus spp. Interval Zone                                                                |                                                                     |                                |       |       |        |   |
|           |                    | 4                                              |     |                          | Archaias Operculiniformis, N.fich/inter, N.vascus Concurrent range Zone                        |                                                                     |                                |       |       |        |   |
|           |                    | 3                                              |     |                          | N.fich/inter, N.vascus Interval Zone                                                           |                                                                     |                                |       |       |        |   |
|           |                    | 2                                              |     |                          | Globigerina spp. Biofacies (1)                                                                 |                                                                     | ×                              |       | ×     | ×      |   |
|           | Eocene             |                                                | 1   |                          | A                                                                                              | Globigerina spp. Biofacies (1)                                      |                                | ×     |       | ×      | × |

Table 3 Facies data (modified after Fathi Isvand et al.) [12]

| Fa.no. | Facies name                                                                                   | Main Components                                                                                                                                         | Location |       |        |       | Time      |        |        |       | Depositional environment                      |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------|--------|-------|-----------|--------|--------|-------|-----------------------------------------------|
|        |                                                                                               |                                                                                                                                                         | AJ-30    | AJ-61 | Aj-121 | Aj-54 | Rup-Chat. | Chatt. | Aquit. | Burd. |                                               |
| 12     | Micritic sandstone /siltstone                                                                 | very fine to fine grain, sub angular to sub rounded quartz, muddy matrix, with evaporite patch                                                          | x        | x     |        |       | x         | x      | x      |       | Proximal inner ramp                           |
| 11     | b) High sandy mudstone                                                                        | some mudstone with anhydrite patches                                                                                                                    | x        | x     | x      |       |           | x      | x      |       | Proximal inner ramp                           |
|        | a) Mudstone(dolomudstone)                                                                     | fine- medium size quartz, some silt                                                                                                                     | x        | x     | x      |       |           | x      | x      |       |                                               |
| 10     | Imperforate foraminifera wackstone                                                            | Miliolid, Ostracoda, Mulusca, D.Rangi, Small Rotalia, Echinoid, Discorbis                                                                               | x        | x     | x      |       |           | x      | x      |       | protected (restricted) shallow marine(lagoon) |
| 9      | High diversity imperforate foraminifera grainsstone to packstone                              | Miliolid, Archaeas sp, Valvulina, Austrotrillina sp, D.Rangi, Peneroplis sp                                                                             | x        | x     | x      |       |           | x      | x      |       | shelf lagoon                                  |
| 8      | Bioclast peloid/ooid grainsstone                                                              | Bioclast, Peloid, Ooid grains (superficial, single, compound, distored)                                                                                 | x        | x     | x      |       |           | x      | x      |       | Inner ramp- mid ramp shoals                   |
| 7      | Corallinean perforate / imperforate foraminifera packstone                                    | Neorotalia sp, Miogypsinoidea sp, Amphistegina sp, Archaeas sp, Miliolids, Red algae                                                                    | x        | x     | x      |       |           | x      | x      |       | shelf lagoon                                  |
| 6      | Bioclastic coral corallineacean packstone/ floatstone rudsstone                               | Corals, Red algae, Bryozoa, Miliolids, Archaeas sp, Amphistegina sp, Borelis, rotalia                                                                   | x        | x     | x      |       |           | x      | x      |       | Distal inner ramp/ mid ramp                   |
| 5      | High sandy Nummulitidae-lepidocyclinids wackestone                                            | fine to medium, sub angular/sub rounded quartz, Nummulitidae, Lepidocyclinids, neorotalia, miliolids, echinoderms and bivalves,                         | x        | x     | x      |       |           | x      | x      |       | Distal mid ramp-slope front                   |
| 4      | Nummulitidae lepidocyclinids grainsstone                                                      | Neorotalia vienoti, Heterostegina sp, Miogypsinoidea sp, Amphistegina sp, Operculina sp, Ditrupa sp, Nephrolepidina sp, Eulepidina sp, Red algae, Coral | x        | x     | x      |       |           | x      | x      |       | Proximal mid ramp                             |
| 3      | Nummulitidae- lepidocyclinids rudsstone/ floatstone                                           | Neorotalia vienoti, Operculina sp, Ditrupa sp, Heterostegina sp, Miogypsinoidea sp, Amphistegina sp, Nephrolepidina sp, Eulepidina sp, Red algae, Coral | x        | x     | x      |       |           | x      | x      |       | Toe of slope (outer ramp)                     |
| 2      | Bioclast pelagic wackestone/packstone with reworked nummulites/nummulitidae/ lepidocyclinidae | Planktonic foraminifera, Ditrupa sp, Operculina sp, Eulepidina sp, Amphistegina sp,                                                                     | x        | x     | x      |       |           | x      | x      |       | Slope/ outer ramp                             |
| 1      | Planktonic foraminifera wackestone / packstone                                                | Planktonic foraminifera, Ditrupa sp, Operculina sp                                                                                                      | x        | x     | x      |       |           | x      | x      |       | Outer ramp                                    |

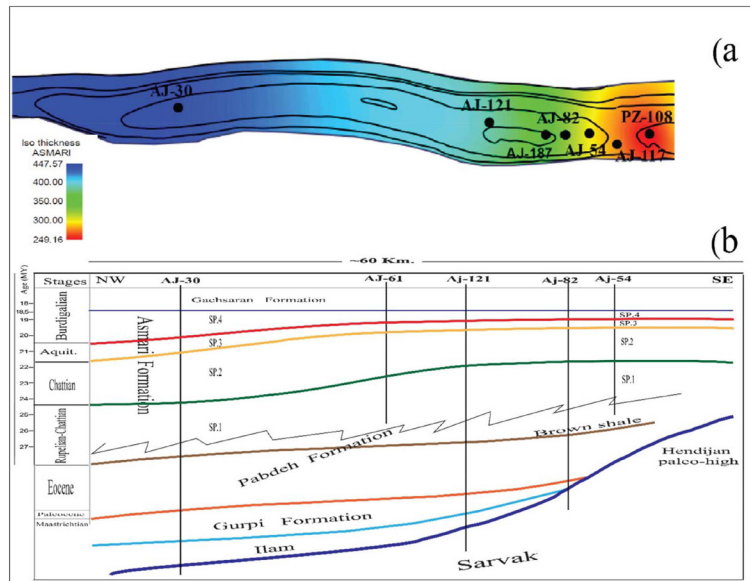


Fig. 2 Lateral thickness change in stratigraphic packages.

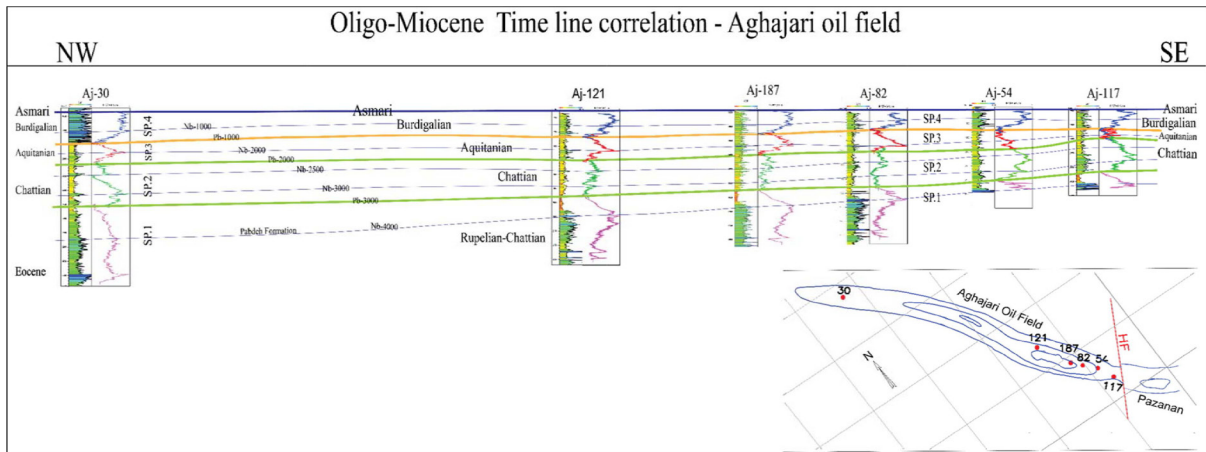


Fig. 3 Stratigraphic correlation in time framework.

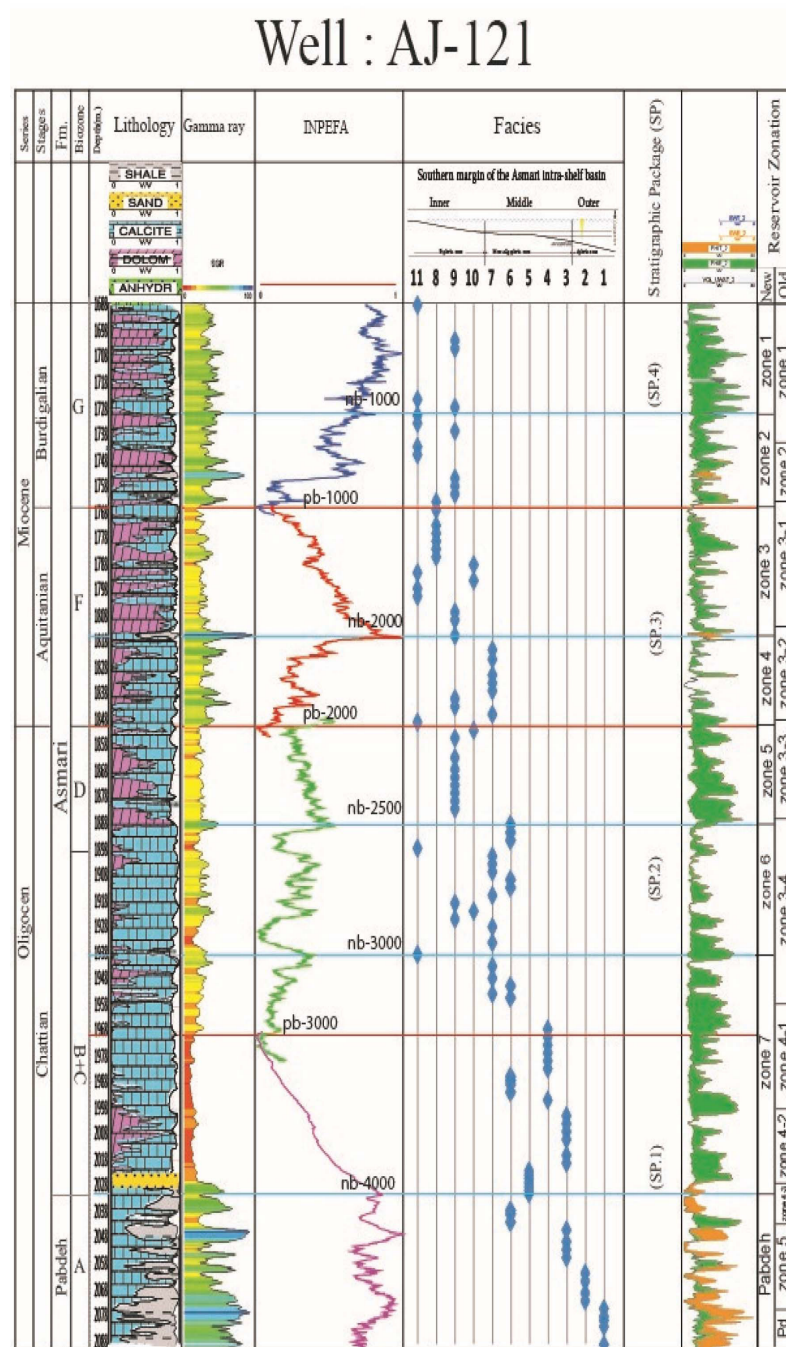


Fig. 4 Reservoir zonation based on time-lines in well Aj-121.

#### References

1. Aqrabi, A.A.M. A.A., Keramati, M. S. N. Ehrenberg, M.S.N., Pickard, N., Moallemi, A Svåná, T., G. Darke, G., Dickson J.A.D. and N.H. Oxtoby, N.H. (2006). The origin of dolomite in the Asmari Formation (Oligocene-lower miocene), Dezful Embayment, SW Iran, *Journal of Petroleum Geology*, 29(4): 381-402.
2. Allen, T., Azizzadeh, M., Daniel, J.m., Griffith, C., Laursen, G., Lopez, s., Tahmasbi, A.r., Bohem, F.V. & Vincent, B. (2006). Reservoir description of the Asmari Formation in the Dezful Embayment. – Final report Phase II, IOR-JSP report.
3. Ehrenberg, S. N., Pickard, N. A. H., Laursen G. V., Monibi S., Mossadegh Z. K., Svåná T. A., Aqrabi, A. A. M., McArthur J. M. & Thirlwall, M. F. (2007). Strontium isotope stratigraphy of the Asmari Formation (Oligocene–lower Miocene), SW Iran, *Journal of Petroleum Geology*, 30, 2: 107–128, doi.org/10.1111/j.1747-5457.2007.00107.x.

4. Van Buchem, F. S. P., Allan, T. L., Laursen, G. V., Lotfpour, M., Moallemi, A., Monibi, S., Motiei, H., Pickard N. A. H., Tahmasbi, A. R., Vedrenne, V., Vincent, B. (2010). Regional stratigraphic architecture and reservoir types of the Oligo–Miocene deposits in the Dezful Embayment (Asmari and Pabdeh Formations) SW Iran, Geological Society, London, Special Publications, 329(1): 219–263, doi:10.1144/sp329.10.
5. Shabafrooz, R., Mahboubi, A., Vaziri-Moghaddam, H., Moussavi-Harami, R., Ghabeishavi, A., S.Al-Asam, I. (2015a). Facies analysis and carbonate ramp evolution of Oligo-Miocene Asmari formation in the Gachsaran and Bibi-Hakimeh oil fields and the nearby Mish Anticline, Zagros Basin, Iran: *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen*, 276(1): 121–146.
6. Shabafrooz, R., Mahboubi, A., Vaziri Moghaddam, H., Ghabeishavi, A., Moussavi Harami, R. (2015b). Depositional architecture and sequence stratigraphy of the Oligo–Miocene Asmari platform, Southeastern Izeh Zone, Zagros Basin, Iran: *Facies*, 61, DOI 10.1007/s10347-014-0423-3.
7. Allahkarampour Dill, M., Vaziri-Moghaddam, H., Seyrafian, A, Behdad, A., Shabafrooz, R., (2020). A review of the Oligo–Miocene larger benthic foraminifera in the Zagros basin, 3 Iran; New insights into biozonation and palaeogeographical maps, *Revue de micropaléontologie*, 66, 100408
8. Sherkati, S., Letouzey, J. (2004). Variation of structural style and basin evolution in the Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment) Iran, *Marine and Petroleum Geology*, 21:535 – 554, doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2004.01.007.
9. Alipoor, R., Alavi, A., Abdollahie Fard, I, Ghassemi, M., Mohseni, H., Mokhtari, M. & Golalzadeh, A. (2019). Structural analysis of the Aghajari and Pazanan anticlines, Dezful Embayment, SW Iran, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 176, 27-42 <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.01.033>
10. Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture, In: Ham, W.E. (Eds.), *Classification of Carbonate Rocks*. American Association of Petroleum Geologists Memoir 1, 108-121.
11. Embry, A. F., Klovan, J. E. (1971). A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, NWT, *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 19, 730-781.
12. Fathi Isvand, R., Moussavi-Harami, R., Mahboubi A. & Behdad A. (2022). Facies analysis and carbonate platform evolution of the Oligo-Miocene deposits in the Aghajari and Rag-e-Safid oil fields, Dezful Embayment, SW Iran, *Journal of African Earth Sciences*, doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104514.