

## **Optimization of hydrocarbon resource by 3D modeling to conserve energy resources (Case study: Ilam reservoir located of Abadan plain)**

**Katayoon Rezaeeparto <sup>1\*</sup>; Hassan Bagheri <sup>2</sup>**

- \*1. Assistant professor, Geoscience Research Division, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran
  2. PhD Candidate of Petroleum Exploration Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
- \*Email Address: [rezaeepartok@ripi.ir](mailto:rezaeepartok@ripi.ir)

<b>Article Info</b>	<b>ABSTRACT</b>
<b>Article Type:</b> Research Paper	<p>The optimization of hydrocarbon resources has consistently been a fundamental goal, with reservoir evaluation being the first step in this direction. To better understand trap structures and manage them effectively for enhanced utilization, 3D modeling is employed. This study aims to optimize hydrocarbon resources through advanced 3D modeling techniques, ultimately contributing to energy conservation and improved resource management. Three-dimensional reservoir modeling can enhance the efficiency of hydrocarbon extraction and utilization, thereby minimizing waste and promoting sustainable energy practices. In this study, structural and petrophysical 3D modeling of the Ilam Formation was conducted in one of the oil fields of the Abadan Plain, encompassing six vertical wells and two horizontal wells. After constructing the 3D grid and performing petrophysical modeling, isoparametric maps of petrophysical properties, including porosity, water saturation, and net-to-gross thickness (N/G), were generated. The results indicate that the Ilam reservoir zones in this region exhibit varying reservoir quality. Among these, the main Ilam zone stands out as the best reservoir zone due to its superior porosity, permeability, and favorable water saturation. The oil-in-place volume of the Ilam Formation in this field was estimated to be 1,886.1 million barrels using volumetric calculations. The findings of this research not only provide valuable insights for planning future drilling operations in the field but also highlight innovative technologies for hydrocarbon resource optimization, steering the industry toward more efficient and environmentally responsible practices.</p>
<b>Article History:</b>	
Received Date: <b>2025/01/11</b>	
Revised Date: <b>2025/01/26</b>	
Accepted Date: <b>2025/04/19</b>	
Published Date: <b>2025/08/06</b>	
<b>Keywords:</b> 3D Modeling, Hydrocarbon reservoirs, Energy resources, Porosity, Water saturation .	
<b>Cite this article:</b>	Katayoon Rezaeeparto , Hassan Bagheri (2025). Optimization of hydrocarbon resource by 3D modeling to conserve energy resources (Case study: Ilam reservoir located of Abadan plain), Journal of Environmental Sciences Studies, 10(2), Pages 10301 – 10312.

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

The optimization of hydrocarbon resources in the world is considered as a basic goal and the first step in this direction is reservoirs evaluation. Having a plan in exploiting the country's oil reservoirs to increase the productivity and age of the wells is one of the important things that the lack of attention is felt in the country's oil industry. Considering the country's oil situation and the many years that have passed since the first oil wells were drilled in Iran, the move on to maintenance production will have significant effects in securing national interests. The goal of this study is to optimize hydrocarbon resources through advanced 3D modeling techniques, which will ultimately help conserve energy and improve resource management. In principle, using 3D modeling in hydrocarbon reservoirs can improve the efficiency of extraction and use of hydrocarbon resources, as a result of which waste is minimized and sustainable practices of energy can be expanded.

### Materials and methods

Current specialized software makes it possible to model complex and irregular geological buildings in three dimensions, which is done by using geological maps and building information to build a correct model. The effectiveness of modeling in the evaluation of oil reservoirs for reservoir studies has been proven and includes many cases of reservoir description. Reservoir description includes description of pore spaces and grain size, reservoir thickness, reservoir porosity and permeability, identification of facies and sedimentary environment. Accordingly, the modeling of hydrocarbon reservoirs is one of the most important studies and also considering the quantity and variety of data in the model, it is one of the most challenging discussions in oil companies. This knowledge generally covers a part of the oil industry's needs in field study and development. For this purpose, several softwares have been designed that perform the modeling process with high accuracy by using geostatistical methods. Among the modeling software, we can mention the three-dimensional geological modeling software, which in the present study, the Ilam reservoir formation and the petrophysical parameters of this reservoir are modeled by Petrel software. For using more benefits reservoir modeling performs to recognize more the geometry of oil traps and reservoir management.

### Results and discussion

In this study to provide the reservoir 3D structural and petrophysical modeling were used petrophysical evaluation logs of 6 vertical and 2 horizontal wells and UGC maps together in one of oil fields that located of Abadan plain. Ilam reservoir in the studied field is divided to several zones based on various petrophysical characteristics that after making the 3D gridding and petrophysical modeling, distribution maps of petrophysical properties such as porosity, water saturation and net to gross thickness N/G were constructed. The values related to water saturation and porosity have been calculated by applying the reservoir grade (N/G) based on  $Phie > 0.045$  and  $Swe < 0.56$ . After the reservoir properties are modeled, in the next step, volume calculations are performed based on the prepared models. In order to perform volume calculations, water saturation models, porosity, net to gross ratio, volume coefficient of oil and gas, depth of water and oil contact surface and depth of oil and gas contact surface are used.

### Conclusion

The use of advanced 3D modeling techniques in optimizing hydrocarbon resources significantly improves extraction efficiency and resource management while minimizing waste. These techniques not only enhance hydrocarbon extraction but also contribute to the development of sustainable, environmentally responsible practices in the energy sector. In this study, the Ilam Formation was evaluated petrophysically and divided into different zones based on key parameters such as porosity, permeability, water saturation, and net-to-gross ratio. The main zone of the Ilam Formation exhibited the highest reservoir quality, with a porosity of 19-20% and water saturation of 32%, making it optimal for hydrocarbon extraction. Volumetric calculations estimated the oil-in-place volume to be 1,866.1 million barrels, providing valuable insights for future drilling and extraction planning. These findings highlight the importance of advanced modeling in enhancing resource utilization and supporting more efficient, environmentally sustainable practices in hydrocarbon management.



## بهینه‌سازی منابع هیدروکربنی از طریق مدلسازی سه بعدی در راستای حفظ منابع انرژی ( مطالعه موردی: مخزن ایلام واقع در دشت آبادان )

کتایون رضایی پرتو<sup>۱\*</sup> ، حسن باقری<sup>۲</sup>

<sup>۱\*</sup> - استادیار پژوهشکده علوم زمین، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

<sup>۲</sup> - دانشجوی دکترا، مهندسی اکتشاف نفت، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

\* ایمیل نویسنده مسئول: rezaeepartok@ripi.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله علمی پژوهشی	
<b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۳/۱۰/۲۲	
<b>تاریخ بازنگری:</b> ۱۴۰۳/۱۱/۰۷	
<b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۴/۰۱/۳۰	
<b>تاریخ انتشار:</b> ۱۴۰۴/۰۵/۱۵	
<b>کلید واژه ها:</b> مدلسازی سه بعدی، مخازن هیدروکربوری، منابع انرژی، تخلخل، اشباع شدگی آب.	<p>بهینه‌سازی منابع هیدروکربنی در جهان به عنوان یک هدف اساسی همواره مطرح می باشد و اولین گام در این راستا ارزیابی مخازن هیدروکربنی است. به منظور شناخت بهتر ساختمان نفت گیرها و امکان مدیریت آنها برای بهره‌مندی بیشتر، مدل‌سازی آنها انجام می شود. هدف این مطالعه بهینه‌سازی منابع هیدروکربنی از طریق تکنیک‌های پیشرفته مدل‌سازی سه بعدی است که در نهایت به حفظ انرژی و بهبود مدیریت منابع کمک می کند. مدل‌سازی سه بعدی مخازن هیدروکربنی می تواند نهایتاً کارایی استخراج و استفاده از منابع هیدروکربن را بهبود بخشد، که در نتیجه آن ضایعات به حداقل رسیده و شیوه‌های پایدار در بخش انرژی را می توان گسترش بخشید. در این مطالعه مدل‌سازی سه بعدی ساختمانی و پتروفیزیکی سازند ایلام در یکی از میدانی نفتی دشت آبادان، در ۶ حلقه چاه عمودی و ۲ حلقه چاه افقی صورت گرفته است. پس از ساخت شبکه سه بعدی و مدل‌سازی پتروفیزیکی، نقشه‌های هم‌ضخامت توزیع خواص پتروفیزیکی شامل تخلخل، اشباع آب و ضخامت خالص به ناخالص (N/G)، تهیه گردید. نتایج نشان می دهد که زون‌های مخزن ایلام در این ناحیه از نظر کیفیت مخزنی متفاوت هستند و زون ایلام اصلی به دلیل تخلخل و تراوایی بهتر و اشباع آب مناسب‌تر بهترین زون مخزنی می باشد. حجم نفت در جای سازند ایلام در این میدان با روش محاسبه حجمی ۱،۸۸۶ میلیون بشکه تخمین زده شده است. یافته‌های این پژوهش علاوه بر اینکه در برنامه‌ریزی حفاری چاه‌های آتی میدان کمک شایانی می کند، فناوری‌های نوآورانه ای را در بخش بهینه‌سازی منابع هیدروکربنی نشان می دهد، که باعث تغییر به سمت شیوه‌های کارآمدتر و مسئولیت‌پذیر از نظر زیست محیطی می شود.</p>

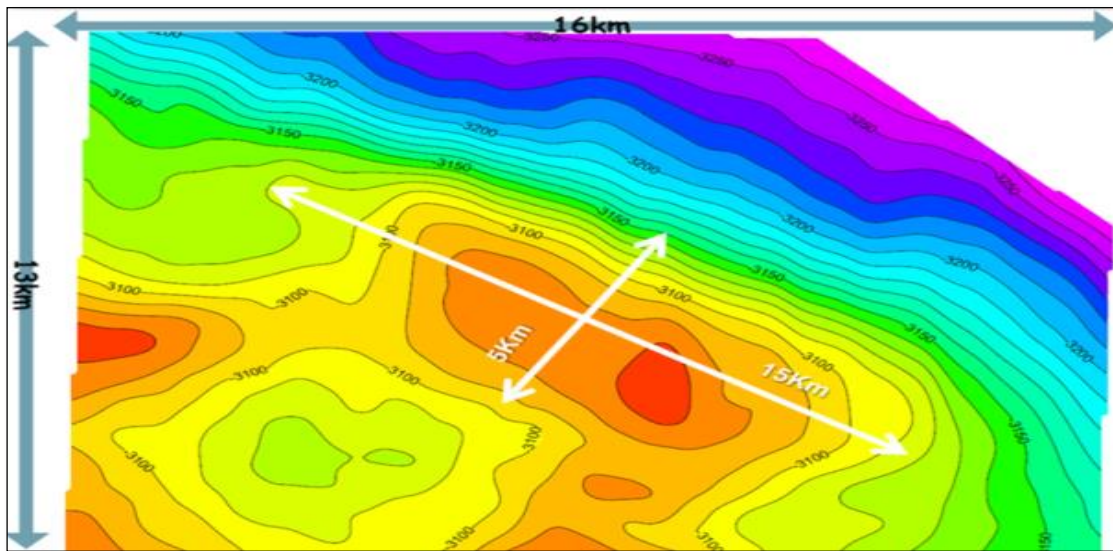
جست‌وجوی منابع انرژی یکی از مشخصه‌های تمدن مدرن بوده است، زیرا منابع هیدروکربنی - نفت و گاز طبیعی - نقشی محوری در تقویت اقتصاد، سوخت رسانی به سیستم حمل و نقل و تامین انرژی ضروری مورد نیاز برای فرآیندهای صنعتی را ایفا می‌کنند. داشتن برنامه‌ریزی در بهره‌برداری از مخازن نفتی کشور برای افزایش میزان بهره‌وری و طول عمر چاه‌ها از مواردی است که کمبود توجه به آن در صنعت نفت کشور به‌خوبی احساس می‌شود. با توجه به وضعیت نفتی کشور و سال‌های بسیاری که از حفر اولین چاه‌های نفت ایران می‌گذرد، حرکت به سمت داشتن تولید صیانتی تأثیرات قابل توجهی در تأمین منافع ملی خواهد داشت. با ادامه رشد جمعیت جهان و تلاش کشورهای در حال توسعه برای پیشرفت اقتصادی، پیش‌بینی می‌شود که تقاضا برای منابع انرژی افزایش یابد. با این حال، استخراج و استفاده از منابع هیدروکربنی مملو از چالش‌هایی از جمله نگرانی‌های زیست محیطی، کاهش منابع و نیاز مبرم به شیوه‌های پایدار است. تحقیقات اخیر در بهینه‌سازی منابع هیدروکربنی بر رویکردهای مختلف برای افزایش کارایی تولید و موفقیت اکتشاف تمرکز دارد. بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی منابع هیدروکربنی شامل رویکردهای مختلفی در بخش نفت و گاز است. بهینه‌سازی منابع هیدروکربنی شامل استراتژی‌های مختلفی برای افزایش اکتشاف، تولید و مدیریت زنجیره تامین است. افزایش استخراج هیدروکربن‌های غیر متعارف، ناشی از پیشرفت‌های تکنولوژیکی، دغدغه‌هایی را در مورد اثرات آن بر منابع آب، کیفیت هوا و تغییرات آب و هوایی جهانی ایجاد کرده. مدل‌سازی ریاضی و بهینه‌سازی سیستم‌های کاربردی انرژی می‌تواند مدیریت مصرف انرژی را بهبود بخشد و کارایی فنی و اقتصادی را افزایش دهد. دیجیتالی‌شدن و حفظ منابع نقش مهمی در دستیابی به عملکرد کارآمد انرژی در بخش نفت و گاز ایفا می‌کند که مقادیر بهینه از طریق توابع تولید و تحلیل رگرسیون تعیین می‌شود. مدل‌سازی سه بعدی (سه بعدی) نقش مهمی در بهینه‌سازی منابع هیدروکربنی و صرفه جویی در انرژی ایفا می‌کند. پارامترهای پتروفیزیکی / مخزنی در چاه‌های حفاری شده در یک میدان با استفاده از نمودارهای چاه پیمایی برداشت شده در هر چاه بدست می‌آیند. انواع مختلفی از نمودارهای چاه پیمایی از قبیل نمودارهای متداول مخزنی، نمودارهای تصویرگر، نمودارهای تشدید مغناطیس هسته‌ای، نمودارهای صوتی دوقطبی برشی و ... در توالی چاه‌ها برداشت می‌شوند که به روش‌های مختلف این داده‌ها ارزیابی و تفسیر می‌شوند و نتایج حاصل از آنها در مدل‌سازی‌های سه بعدی مخزن استفاده می‌شوند. روش‌های زمین‌آماري مانند گاوسی کوتاه با روندها و شبیه‌سازی گاوسی متوالی، برای پیش‌بینی توزیع رخساره‌ها و ویژگی‌های پتروفیزیکی استفاده می‌شوند که تخمین دقیق منابع را ممکن می‌سازد. مدل‌سازی مخازن هیدروکربنی به منظور پیش‌بینی تولید و بهینه‌سازی آن، پیش‌بینی رفتار مخزن و مدیریت تولید از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. در واقع مدل‌سازی باعث بهترین تکنیک برای پیوند دادن و ارتباط داده‌های برداشت شده از چاه‌ها و میدان می‌باشد. ارائه مدلی دقیق و مناسب از یک مخزن با هدف پیش‌بینی ویژگی‌های مخزن قبل از انجام عملیات بهره‌برداری و تولید به منظور تعیین قابلیت تولید و بهره‌دهی سیال مخزن و چگونگی حرکت سیال درون آن، تعداد و محل مناسب چاه‌های مورد نیاز جهت تولید بهینه از مخزن و در مجموع داشتن یک نگاه اقتصادی به منظور بهینه‌سازی تولید و بهره‌برداری از مخزن به نحوی که علاوه بر صیانت از مخزن و بالا رفتن ضریب بازیافت از آن مخزن، پاسخ منطقی نیز برای انجام سرمایه‌گذاری ارائه دهد و مقرون به صرفه نیز باشد، مد نظر است. امروزه شبیه‌سازی سه بعدی مخزن در تمام شرکت‌های بزرگ نفتی یکی از مطالعات رایج محسوب می‌شود و به بخشی ضروری از فعالیت‌های معمول اکتشاف و تولید تبدیل شده است. برای غلبه بر محدودیت ذاتی در مطالعات دو بعدی، لازم است داده‌ها و مدل‌های سه بعدی تعریف شود. شبیه‌سازی سه بعدی پدیده‌های زمین‌شناسی، امکان جمع‌آوری تمام داده‌های موجود برای یک پروژه معین را در یک مدل واحد فراهم می‌کند که با استفاده از آن می‌توان داده‌ها را در محیط نرم افزار تجزیه و تحلیل کرد. تولید صیانتی از میادین نفتی مستلزم مطالعه رفتار تولیدی میدان در خلال زمان می‌باشد. ارزیابی دقیق از خصوصیات طبیعی مخزن و بررسی رفتار مخازن مشابه در سایر نقاط جهان، طراحی مدل‌های ریاضی مخزن برای شبیه‌سازی جهت دستیابی به الگوی تولید بهینه، استفاده از این مدل‌ها برای پیش‌بینی عکس‌العمل مخزن نسبت به فرآیند تولید در خلال زمان، از شرایط لازم برای طراحی روش‌های مناسب جهت بهبود ضریب بازیافت است. بنابراین، مطالعه جامع مخازن همزمان با شروع بهره‌برداری از آنها آغاز می‌شود و تا پایان عمر مخازن ادامه می‌یابد. مدیریت منابع تجدیدناپذیر هیدروکربوری، بهینه‌سازی روش‌های بهره‌برداری را امری ضروری نموده و اولین گام در این راستا توصیف مخازن به منظور ارزیابی آنها است که نقش تعیین‌کننده‌ای در مدیریت مخزن ایفا می‌کند. نرم افزارهای تخصصی کنونی، مدل‌سازی ساختمانهای پیچیده و نامنظم زمین‌شناسی را در سه بعد ممکن می‌سازد که این عمل با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و اطلاعات ساختمانی جهت ساخت یک مدل صحیح صورت می‌پذیرد. کارایی مدل‌سازی در ارزیابی مخازن نفتی جهت مطالعات مخزن اثبات شده است و موارد متعددی از توصیف مخزن را در بر می‌گیرد. توصیف مخزن شامل توصیف فضای خالی و اندازه دانه‌ها، ضخامت مخزن، تخلخل و تراوایی مخزن، تشخیص رخساره و محیط رسوبی است. نرم افزار تخصصی برای تجسم چاه سه بعدی، با ترکیب داده‌های گزارش‌های مختلف، به افزایش بهره‌وری چاه، کاهش مصرف انرژی و به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی با امکان نظارت و پیش‌بینی بلادرنگ شرایط چاه کمک می‌کند. بر همین اساس، مدل‌سازی مخازن هیدروکربنی یکی از مهمترین مطالعات و در عین حال با توجه به حجم داده‌های موجود در مدل، یکی از چالشی‌ترین مطالعات در شرکت‌های نفتی است. این دانش به طور کلی بخشی از نیاز صنعت نفت را در امر مطالعه و توسعه میادین به خود اختصاص می‌دهد. به همین منظور نرم افزارهای متعددی هم طراحی

شده است که با به کارگیری روش‌های زمین‌آماری فرآیند مدل‌سازی را با دقت بسیار بالایی انجام می‌دهند. در بین نرم افزارهای مدل‌سازی، می‌توان به نرم افزار مدل‌سازی سه بعدی زمین‌شناسی اشاره کرد که در مطالعه حاضر، سازند مخزنی ایلام و پارامترهای پتروفیزیکی این مخزن توسط نرم افزار (petrel) مدل‌سازی می‌شود.

## ۲- روش انجام تحقیق

### • محدوده مورد مطالعه

میدان مورد مطالعه در بخش شمالی دشت آبادان، واقع در جنوب غرب ایران و در استان خوزستان، قرار دارد. این میدان با روند ساختاری WNW-ESE در ۹۵ کیلومتری شمال غرب خرمشهر واقع شده است. میدان از موقعیت جغرافیایی خاصی برخوردار است و در بین میادین نفتی آب‌تیمور، سوسنگرد، دارخوین، امیر، آزادگان و کوشک در ایران و همچنین میادین مجنون، نهر عمر و زبید در عراق قرار دارد. ساختار میدان به‌طور عمده به‌صورت یک سازه زینی‌شکل با محور WNW-ESE توسعه یافته است که در آن بخش‌هایی از ساختار به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر نیروهای کششی و فشاری قرار گرفته‌اند. در جنوب شرق میدان، بیشترین بستگی قائم مشاهده می‌شود، که به‌طور قابل توجهی بر ویژگی‌های مخزنی تأثیرگذار است. در بخش جنوب غرب میدان، یک بستگی کوچک‌تر وجود دارد که از بخش اصلی با یک فرو رفتگی زینی‌شکل جدا می‌شود و این ویژگی‌های ساختاری تأثیر زیادی بر تقسیم‌بندی و طبقه‌بندی زون‌های مخزنی دارد. طول و عرض میدان در بزرگ‌ترین حالت به ترتیب ۱۶ و ۱۳ کیلومتر است (شکل ۱).



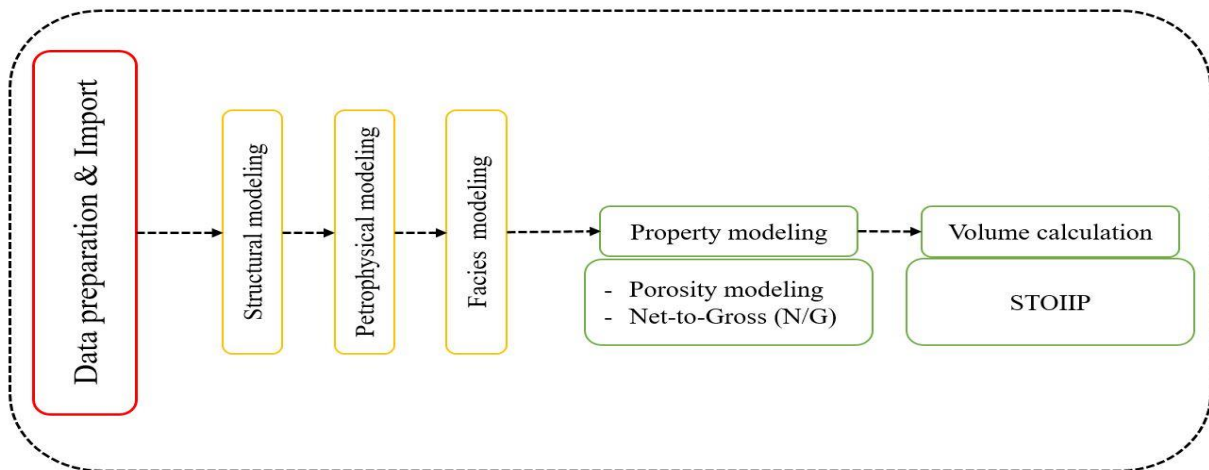
شکل ۱- نمایی از ساختار میدان مورد مطالعه و ابعاد آن

سازند ایلام در میدان مورد مطالعه به‌طور دقیق و علمی بر اساس حضور سدهای شیلی، ویژگی‌های پتروفیزیکی، فشار مخزن و سطوح آب-نفت در مخزن به زون‌های مختلف تقسیم‌بندی شده است. این زون‌ها به‌طور عمده به دو بخش اصلی تقسیم می‌شوند: ایلام بالایی و ایلام اصلی. این طبقه‌بندی بر اساس تغییرات عمودی در خصوصیات لیتولوژی و پتروفیزیکی سازند انجام گرفته است. سازند ایلام اصلی به‌ویژه در بخش‌های عمیق‌تر، ویژگی‌های متفاوت‌تری نسبت به ایلام بالایی دارد که منجر به تفاوت‌های عمده در ویژگی‌های مخزنی این دو بخش می‌شود. مخزن ایلام بالایی (Ilam-Upper) شامل یک ستون نفتی حداقل ۲۳ متر است که سطح تماس نفت-آب در عمق ۲۹۲۵٫۵ متر از سطح دریا قرار دارد. این مخزن در واقع بخش فوقانی سازند ایلام را شامل می‌شود که ویژگی‌های خاص پتروفیزیکی مانند تخلخل و تراوایی متفاوتی دارد و از دیگر بخش‌های مخزن تمایز دارد. مخزن ایلام اصلی (Ilam-Main) نیز به‌عنوان مخزن اصلی در این میدان شناخته می‌شود و شامل ستون نفتی به ارتفاع ۶۴٫۵ متر است. سطح تماس نفت-زون انتقالی در عمق ۲۹۸۸ متر از سطح دریا قرار دارد و این مخزن شامل ۳۳٫۵ متر زون انتقالی نفت-آب است که در عمق ۳۰۲۱ متر از سطح دریا با سطح تماس زون انتقالی آب قرار دارد. این ویژگی‌ها منجر به ایجاد ستون نفتی به ارتفاع ۹۸ متر برای سازند ایلام در میدان مورد مطالعه می‌شود که خود عامل مهمی در ارزیابی قابلیت‌های استخراج و مدیریت مخزن است.

### • داده‌ها و روش مطالعه

در این مطالعه، هدف اصلی مدل‌سازی مخزن ایلام در میدان مورد بررسی، تحلیل هندسه مخزن ایلام و توزیع پارامترهای پتروفیزیکی در بخش‌های مختلف مخزن است. این کار با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده از حفاری ۶ حلقه چاه عمودی و ۲ حلقه چاه افقی، و به‌کارگیری

نرم افزار Petrel انجام شد. در این فرآیند، مدل سازی ساختمانی مخزن با توجه به سطح تفسیری سر سازند ایلام و اطلاعات مربوط به عمق ورود به زون های مختلف مخزنی و مسیر حفاری چاه ها صورت گرفت. این اطلاعات به عنوان ورودی های اصلی در مدل سازی مخزن استفاده شده اند. نرم افزار Petrel که به عنوان یکی از پیشرفته ترین نرم افزارها در زمینه مدل سازی سه بعدی زمین شناسی و مخزن سازی شناخته می شود، امکانات گسترده ای را برای ساخت مدل های دقیق سه بعدی در اختیار می گذارد. این نرم افزار با توانمندی های بالا در پردازش داده ها، به ویژه داده های لرزه نگاری، به محققان این امکان را می دهد تا مدل های جامع و دقیقی از ساختار مخازن هیدروکربنی بسازند. برای ساخت مدل سه بعدی مخزن، از داده های متنوعی استفاده شده است که شامل مکعب داده لرزه ای سه بعدی (3D seismic cube) در حوزه عمق برای محدوده عمقی پوشش دهنده مخزن سازند ایلام، نقشه های ساختمانی تفسیر لرزه ای (seismic interpreted structural maps) در حوزه عمق برای افق سر سازند ایلام، و داده های نمودارهای پتروفیزیکی اولیه همراه با خواص پتروفیزیکی ارزیابی شده (petrophysically evaluated logs) از جمله تخلخل مؤثر (Phie) و اشباع آب مؤثر (Swe) می باشد. همچنین، نشانگرهای واحدها (zone markers) که بر اساس مطالعات زمین شناسی دقیق مشخص شده اند، نیز در فرآیند مدل سازی گنجانده شده اند. یکی از نکات کلیدی در این مطالعه، توجه به نحوه تغییرات ساختاری میدان است که به طور تدریجی از پایین به بالا، هم در بعد افقی و هم در بعد قائم، کاهش یافته و در نهایت به حالت تک شیب (monocline) در سازند مورد مطالعه تبدیل می شود. این ویژگی ساختاری می تواند تأثیر قابل توجهی بر فرآیندهای مدل سازی و تحلیل ویژگی های مخزنی داشته باشد و در نهایت به بهبود دقت مدل های پیش بینی کمک کند. مدل سازی سه بعدی مخزن با رعایت مراحل که در شکل ۲ ارائه شده است، به صورت گام به گام انجام گرفته است. این مراحل شامل پردازش داده های لرزه ای، استخراج ویژگی های پتروفیزیکی از نمودارها، ساخت شبکه های حجمی و اعمال شرایط مرزی به منظور شبیه سازی دقیق هندسه مخزن و توزیع ویژگی های آن بوده است.



شکل ۲: فلوچارت مراحل انجام مدل سازی سه بعدی در این مطالعه

#### • مدل ساختمانی (Structural Modeling)

اولین قدم در فرآیند ساخت مدل سه بعدی مخزن، طراحی چارچوب ساختمانی مخزن است. این چارچوب با استفاده از سطوح و گسل ها، اسکلت مدل هندسی مخزن را توصیف می کند که خواص مخزن در آن استقرار می یابد. مدل هندسی یا اسکلت مخزن شامل افق ها، لایه ها، شبکه سلول ها و مرزهای مدل است. این مدل هندسی نه تنها به عنوان مبنای محاسبات حجمی و طراحی چاه های جدید عمل می کند، بلکه در ایجاد شبکه های شبیه سازی مخزن نیز نقشی اساسی دارد. این اسکلت هندسی برای تعیین شرایط مرزی و شبکه بندی مخزن مورد استفاده قرار می گیرد و به عنوان ورودی در مدل سازی خواص مخزنی استفاده می شود. ایجاد مدل سه بعدی زمین شناسی برای زون بندی مخزن اهمیت زیادی دارد، زیرا هر زون به طور خاص به منظور تعیین محدوده ای که در آن شبکه سه بعدی ساخته خواهد شد، تعریف می شود. به منظور ایجاد مدل دقیق تر و محاسبات حجمی بهینه، حجم هر زون باید به سلول های کوچکی تقسیم شود که این سلول ها در نهایت شبکه سه بعدی (3D Grid) را تشکیل می دهند و نمایانگر ویژگی های مختلف ساختاری مخزن هستند. شاخص های ژئومورفیک به عنوان یکی از ابزارهای اساسی برای پی بردن به وضعیت و میزان تأثیر فعالیت های نئوتکتونیک حائز اهمیت هستند، در نتیجه توجه و شناخت پویایی و دینامیک محیط طبیعی با رویکرد سیستمی و حوضه ای از اهمیت و ضرورت بالایی برخوردار است (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۳).

#### • مدل پتروفیزیکی (Petrophysical Modeling)

مدل سازی پتروفیزیکی در نرم افزار Petrel یکی از مراحل اساسی در ساخت مدل استاتیکی مخزن است که به تحلیل توزیع سه بعدی خواص پتروفیزیکی مختلف مانند تخلخل (Porosity)، تراوایی (Permeability)، اشباع آب (Water Saturation) و حجم

شیل (Vsh) می‌پردازد. این مرحله نقش بسیار مهمی در تحلیل و پیش‌بینی رفتار مخزن ایفا می‌کند و اطلاعات ضروری را برای شبیه‌سازی دینامیکی مخزن فراهم می‌آورد. با استفاده از این داده‌ها می‌توان به صورت دقیق‌تر پیش‌بینی کرد که چگونه مخزن در طول زمان تحت تأثیر فرایندهای استخراج و فشار قرار می‌گیرد و این اطلاعات برای طراحی بهینه‌سازی فرآیندهای بهره‌برداری ضروری است. علاوه بر آن، مدل‌های پتروفیزیکی اطلاعاتی را در مورد قابلیت ذخیره‌سازی و انتقال هیدروکربن‌ها در مخزن ارائه می‌دهند که برای ارزیابی میزان بازیافت هیدروکربن از مخزن اهمیت دارند.

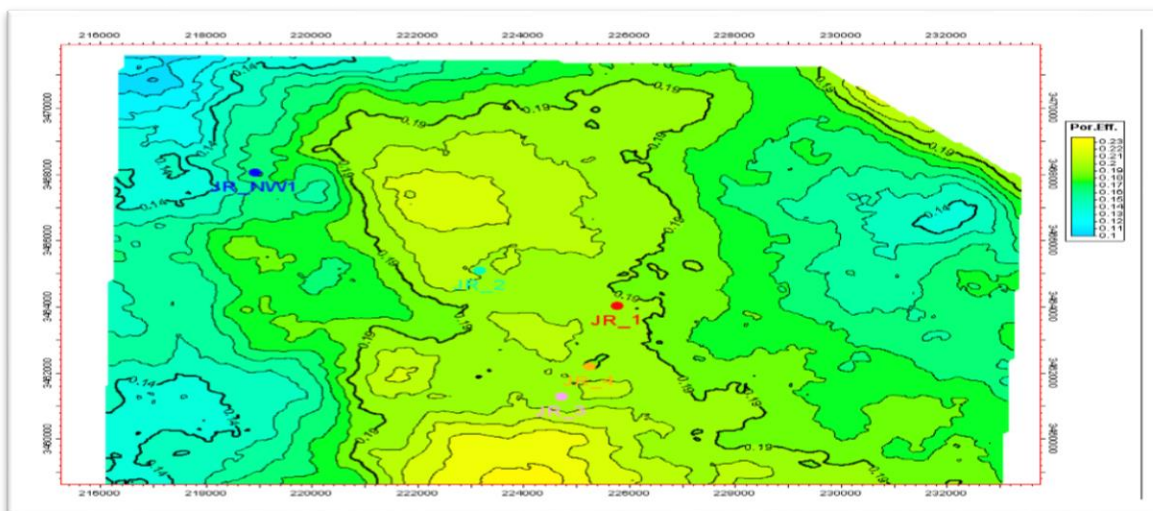
### • مدل‌سازی رخساره‌ای (Facies Modeling)

مدلسازی رخساره‌ای در نرم‌افزار Petrel یکی از مراحل کلیدی در ساخت مدل زمین‌شناسی است (موسوی جزایری، ۱۳۸۹). این فرآیند به شبیه‌سازی توزیع رخساره‌ها در زیرسطح می‌پردازد که برای توصیف دقیق‌تر مخزن و پیش‌بینی رفتار آن در مراحل مختلف استخراج ضروری است. رخساره‌ها به واحدهای سنگی یا رسوبی اطلاق می‌شوند که ویژگی‌های زمین‌شناسی مشابهی مانند، لیتولوژی، بافت یا محیط رسوبی دارند. این واحدها معمولاً از طریق داده‌های چاه‌پیمایی، نمونه‌های هسته‌ای و تفسیرهای زمین‌شناسی شناسایی می‌شوند. شبیه‌سازی دقیق رخساره‌ها به پژوهشگران این امکان را می‌دهد که رفتار مخزن را در شرایط مختلف استخراج پیش‌بینی کنند و به این ترتیب فرآیندهای بهره‌برداری را به طور بهینه‌تر طراحی نمایند. علاوه بر این، این مدل‌سازی به ایجاد یک تصویر دقیق‌تر از توزیع سنگ‌های مخزنی و ویژگی‌های محیط رسوبی کمک می‌کند که برای ارزیابی فرآیندهای تراوایی و پایداری مخزن بسیار حیاتی است.

### ۳- نتایج

#### • مدل‌سازی ویژگی‌ها (Property modeling)

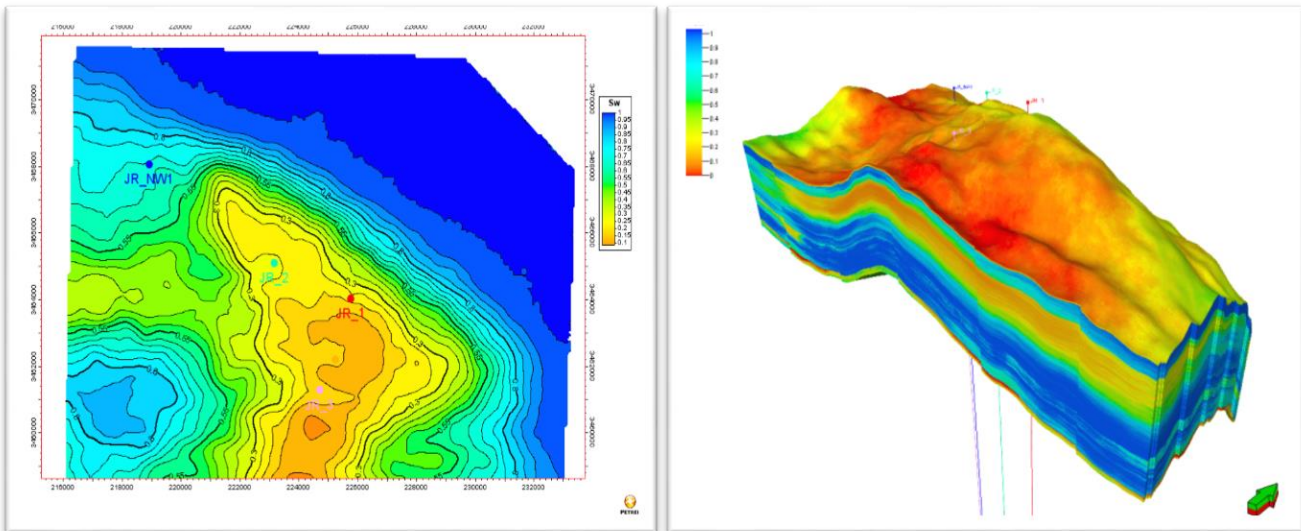
در مدل‌سازی پتروفیزیکی، داده‌های پتروفیزیکی مخزن یکی از مهم‌ترین منابع اطلاعاتی برای تحلیل عملکرد یک مخزن به شمار می‌آید. این داده‌ها معمولاً محدود به چاه‌های حفاری شده در مخزن هستند و به دست آوردن اطلاعات جدید در این زمینه تنها از طریق روش‌های تخمینی و شبیه‌سازی امکان‌پذیر است. یکی از این روش‌ها استفاده از روش زمین‌آماري است که در بسیاری از کشورهای پیشرفته به عنوان یک روش معتبر و قابل اعتماد در مدل‌سازی مخازن هیدروکربنی شناخته شده است. در تعریف تخلخل، می‌توان گفت که تخلخل ( $\phi$ ) بخشی از فضای خالی سنگ است که ممکن است حاوی سیال باشد. به طور معمول، ما به دنبال تخلخل مفید یا موثر هستیم که رفتار جریان‌های سیال بیشتر به آن وابسته است. در مقابل، تخلخل کل شامل منافذ غیر مرتبط است. توزیع فضایی تخلخل و حجم درجای هیدروکربن‌ها از جنبه‌های جذاب و کلیدی در ساخت مدل مخزن به شمار می‌آید. هدف از مدل‌سازی خواص، توزیع آن‌ها در بین چاه‌ها به گونه‌ای است که ناهمگنی‌های موجود در مخزن به طور واقع‌گرایانه حفظ شود و همچنین با داده‌های موجود در محل چاه‌ها انطباق کامل داشته باشد. مدل سه‌بعدی تخلخل موثر با استفاده از نمودارهای تخلخل موثر و افزایش مقیاس داده‌ها به درون شبکه سه‌بعدی تولید شد. این مدل به عنوان مدل نهایی تخلخل موثر در محاسبات بعدی استفاده شد. نقشه متوسط تخلخل ایلام اصلی در شکل ۳ نمایش داده شده است



شکل ۳- نقشه متوسط تخلخل موثر واحد مخزنی سازند مورد مطالعه

مدل‌سازی اشباع آب نیز از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا این پارامتر به طور مستقیم بر روی ارزیابی ظرفیت تولید مخزن تاثیرگذار است. در فرآیند شبیه‌سازی اشباع آب، استفاده از روش‌های پیشرفته مانند شبیه‌سازی گوسی ترتیبی (SGS) که یکی از روش‌های معتبر زمین‌آماري است، امکان تخمین دقیق‌تر توزیع اشباع آب در سراسر مخزن را فراهم می‌آورد. این روش با استفاده از واریوگرام‌های افقی همسانگرد، به تعیین ارتباطات مکانی میان داده‌های چاه‌ها پرداخته و بر اساس آن، توزیع اشباع آب در مدل سه‌بعدی شبیه‌سازی می‌شود.

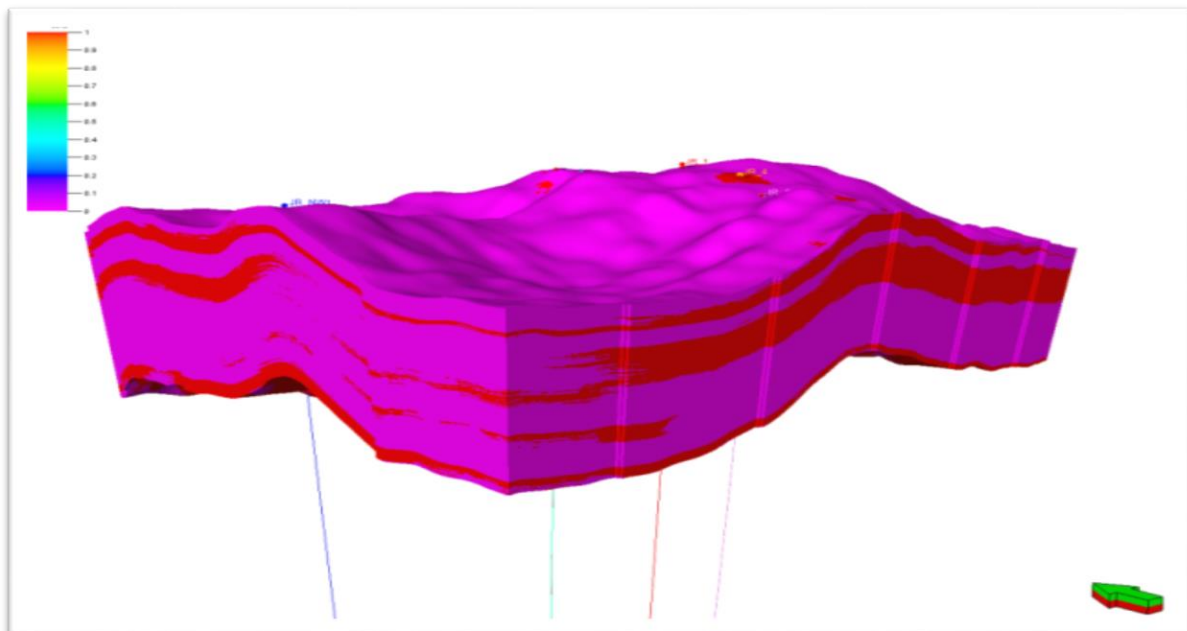
به کارگیری داده‌های اشباع آب لرزه‌ای در این شبیه‌سازی، علاوه بر افزایش دقت مدل، امکان به‌دست آوردن نتایج دقیق‌تری از توزیع آب در مخزن را فراهم می‌کند. در شکل ۴ نمای سه‌بعدی توزیع اشباع آب نهایی در مخزن و در شکل ۵ نقشه توزیع اشباع آب موثر واحد ایلام اصلی به‌طور واضح نمایش داده شده‌اند.



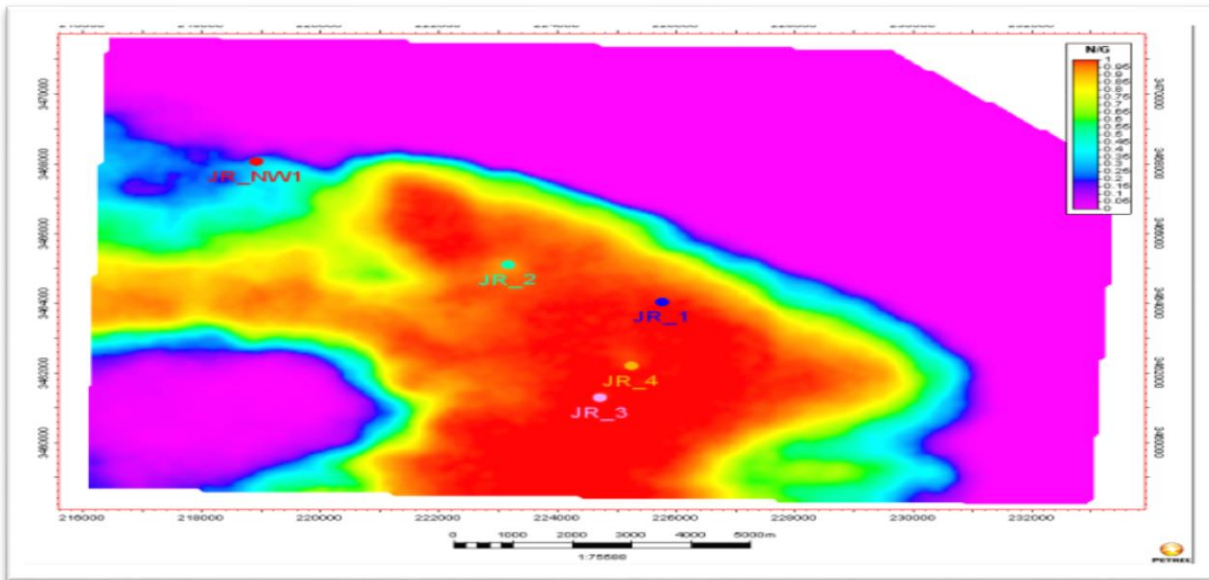
شکل ۵- نقشه توزیع اشباع آب واحد مخزنی سازند مورد مطالعه

شکل ۴- نمای سه‌بعدی توزیع اشباع آب در سازند مورد مطالعه

عیار مخزن (N/G) یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی کیفیت مخزن است که بر اساس آن می‌توان درصد مخزن‌های تولیدی از نواحی مختلف مخزن را تخمین زد. در مدل‌سازی عیار مخزن، استفاده از داده‌های چاه‌پیمایی برای تعیین میزان مخزنی یا غیرمخزنی بودن بخش‌های مختلف مخزن ضروری است. این ویژگی به‌صورت گسسته در هر عمق خاص قابل اندازه‌گیری است و می‌تواند در تشخیص مناطق با پتانسیل بالای تولید یا نواحی با کیفیت پایین مخزن موثر باشد. در مدل‌سازی سه‌بعدی، این داده‌ها برای تجزیه و تحلیل توزیع عیار مخزن و همچنین پیش‌بینی رفتار مخزن در زمان استخراج استفاده می‌شود. در شکل ۶ نمای سه‌بعدی توزیع عیار مخزن در میدان مورد مطالعه و در شکل ۷ نقشه توزیع عیار مخزن واحد ایلام اصلی نشان داده شده است. این نمایش‌ها به‌طور دقیق‌تر به ما کمک می‌کنند تا ویژگی‌های مخزن را از نظر کیفیت بررسی کنیم و تصمیمات بهتری در فرآیند استخراج اتخاذ نماییم.



شکل ۶- نمای سه‌بعدی توزیع عیار مخزن سازند مورد مطالعه



شکل ۷- نقشه توزیع عیار مخزن واحد ایلام اصلی

در محاسبات پتروفیزیکی، مقادیر تخلخل و اشباع آب با اعمال عیار مخزن (N/G) محاسبه شده‌اند که به‌طور خاص، مناطقی را که در آن‌ها خواص پتروفیزیکی موثر هستند، شبیه‌سازی کرده‌اند. مقادیر محاسبه‌شده با اعمال محدودیت‌های خاص ( $Phie > 0.045$ ) و  $Swe < 0.56$  به‌دست آمده‌اند و به‌طور خاص برای ارزیابی دقیق‌تر و شبیه‌سازی مدل‌های دینامیکی استفاده شده‌اند. این مقادیر در جدول ۱ برای زون‌های مختلف سازند ایلام در میدان مورد مطالعه نمایش داده شده است. از این اطلاعات می‌توان در مدل‌سازی‌های بعدی، مانند شبیه‌سازی دینامیکی مخزن و طراحی چاه‌های جدید، بهره‌برداری کرد.

جدول ۱- خواص پتروفیزیکی محاسبه شده زونهای مختلف سازند ایلام در میدان مورد مطالعه

Zone	Phie % (mean)	Sw % (mean)	N/G (mean)
Ilam-Top	0.10	0.37	0.20
Ilam-Upper	0.16	0.31	0.58
Ilam-Upper-B	0.09	0.48	0.08
Ilam-Main	0.19	0.32	0.40
Ilam-Poor	0.15	0.42	0.13
Ilam-Water	-	-	0.0

#### • محاسبات حجمی (Volume Calculation)

پس از مدل‌سازی خواص مخزنی، گام بعدی در فرآیند ارزیابی و تحلیل مخزن، انجام محاسبات حجمی است. در این مرحله، با استفاده از مدل‌های تهیه شده و داده‌های مختلف مخزنی، محاسبات مربوط به حجم‌های مختلف مخزن انجام می‌شود تا بتوان تخمین دقیقی از حجم هیدروکربن‌ها، ذخایر درجا و میزان بازیافت‌پذیری آن‌ها ارائه داد. این محاسبات با استفاده از روابط مختلفی که بر اساس ویژگی‌های مخزن از جمله تخلخل، اشباع آب، و ضریب حجمی نفت و گاز انجام می‌شود، صورت می‌گیرد. روابط محاسباتی مورد استفاده برای محاسبه حجم‌ها به شرح زیر است:

$$\text{Bulk Volume} = \text{Total Rock Volume}$$

$$\text{Net Volume} = \text{Bulk Volume} * \text{Net/Gross}$$

$$\text{Pore Volume} = \text{Bulk Volume} * \text{Net/Gross} * \text{Porosity}$$

$$\text{HCPV oil} = \text{Bulk Volume} * \text{Net/Gross} * \text{Porosity} * S_o$$

$$\text{HCPV gas} = \text{Bulk Volume} * \text{Net/Gross} * \text{Porosity} * S_g$$

$$\text{STOOIP} = \text{HCPV oil}/B_o + (\text{HCPV gas}/B_g) * \text{OGR gas}$$

$$\text{GIIP} = \text{HCPV gas}/B_g + (\text{HCPV oil}/B_o) * \text{GOR oil}$$

$$\text{Recoverable Oil} = \text{STOIP} * \text{RF oil}$$

$$\text{Recoverable Gas} = \text{GIIP} * \text{RF gas}$$

محاسبات حجمی بر مبنای مدل‌های تخلخل و اشباع آب و همچنین داده‌های زمین‌شناسی، ترسیم و محاسبه شده است. یکی از مهم‌ترین محاسبات در این مرحله، تخمین نفت استاندارد اولیه برجا (STOIP) است که با استفاده از روش‌های محاسبه حجمی برای واحدهای مخزنی سازند ایلام انجام گردید. این محاسبات شامل میزان نفت و گاز موجود در مخزن به صورت اولیه و محاسبات تخمینی برای سطوح تماس آب و نفت (OWC) و گاز و نفت است که به طور معمول برای تخمین حجم‌های قابل برداشت و بازیافتی به کار می‌روند. به علاوه، برای ارزیابی دقیق‌تر، عدم قطعیت حجم نفت درجا در سازندهای مختلف با در نظر گرفتن سطوح تماس پیش‌بینی شده و همچنین مقادیر ضریب حجمی نفت (Bo) در سه سطح مختلف (High case, Base case, Low case) محاسبه شد. این تخمین‌ها به طور خاص برای سازند ایلام و واحدهای مخزنی مختلف آن به کار رفته و نتایج آن در جدول شماره ۲ و جدول شماره ۳ ارائه شده است.

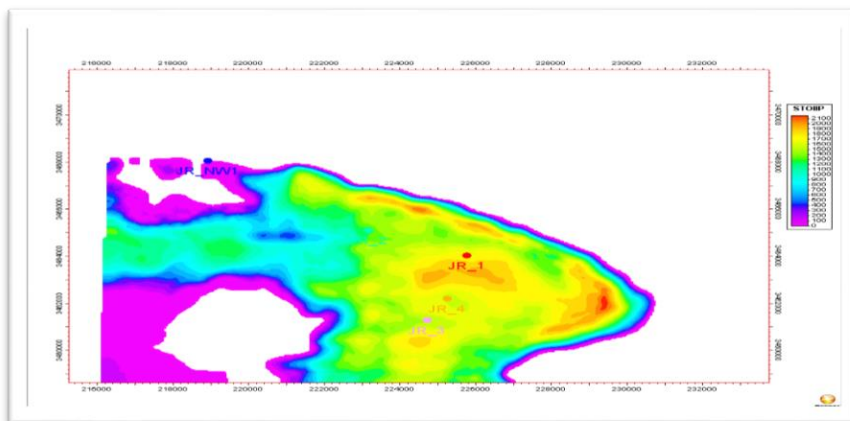
جدول ۲- نتیجه تخمین حجم نفت درجا به روش محاسبه حجمی برای واحدهای مخزنی ایلام در میدان مورد مطالعه

Case	Bulk volume	Net volume	Pore volume	STOIP	OWC	Bo
Ilam_Upper	139	138	25	102.6	2925.5	1.28
Ilam_Main	2325	2175	417	1576	2988	1.28
Ilam_Lower	677	430	64	187.5	3002	1.28

جدول ۳- نتیجه تخمین حجم نفت درجا به روش محاسبه حجمی برای واحد مخزنی ایلام در میدان مورد مطالعه

Case	Bulk volume	Net volume	Pore volume	STOIP
Ilam Formation	3141	2743	506	1866.1

در این فرآیند محاسباتی، بررسی حساسیت‌های مختلف از جمله تغییرات آستانه‌های تخلخل موثر (Phie) و اشباع آب (Swe) در ارزیابی حجم نفت درجا اهمیت دارد. این حساسیت‌ها به طور خاص برای هر واحد مخزنی و با توجه به ویژگی‌های خاص آن واحد، مانند عیار مخزن (N/G)، مورد بررسی قرار گرفته است. تغییرات در این پارامترها می‌تواند تأثیر زیادی بر تخمین‌های حجم نفت درجا و گاز درجا داشته باشد و به طور کلی می‌تواند در ارزیابی اقتصادی و فنی پروژه‌های استخراج هیدروکربن تأثیرگذار باشد. در نهایت، نقشه‌های توزیع نفت استاندارد اولیه برجا برای سازند ایلام در واحدهای مخزنی مختلف رسم شده است. این نقشه‌ها می‌توانند به عنوان مبنای دقیق برای شبیه‌سازی‌های دینامیکی و طراحی چاه‌های جدید و همچنین ارزیابی روش‌های بهینه استخراج از مخزن استفاده شوند. در شکل شماره ۸ نقشه توزیع نفت استاندارد اولیه برجا (STOIP) در واحدهای مخزنی مختلف برای سازند ایلام به طور گرافیکی نمایش داده شده است. این نقشه‌ها به طور دقیق موقعیت‌هایی را که بیشترین ذخایر نفت در مخزن موجود است، شبیه‌سازی کرده و می‌توانند به عنوان مبنای طراحی و تصمیم‌گیری در زمینه استخراج و بهره‌برداری از منابع هیدروکربنی در میدان ایلام استفاده شوند.



شکل ۸- نقشه میانگین توزیع نفت استاندارد اولیه برجا برای مخزن ایلام در محدوده مورد مطالعه

## ۴- نتیجه گیری

استفاده از تکنیک‌های پیشرفته مدل‌سازی سه‌بعدی به‌ویژه در فرآیند بهینه‌سازی منابع هیدروکربنی، علاوه بر افزایش دقت مدل‌ها، در نهایت به حفظ انرژی و بهبود مدیریت منابع کمک شایانی می‌کند. این تکنیک‌ها می‌توانند فرآیندهای استخراج را بهینه کرده و کارایی آنها را به طرز چشمگیری افزایش دهند. در نتیجه، ضایعات حاصل از فرآیند استخراج به حداقل می‌رسد و کارایی کلی استخراج و استفاده از منابع هیدروکربنی بهبود می‌یابد. همچنین، با توجه به روند جهانی حرکت به سمت توسعه شیوه‌های پایدار در صنعت انرژی، استفاده از این تکنیک‌ها می‌تواند گامی مؤثر در گسترش شیوه‌های پایدار و کم‌اثر در محیط‌زیست باشد. این دستاوردها نه تنها موجب کاهش مصرف منابع انرژی می‌شود بلکه به توسعه شیوه‌های استخراج مسئولانه و زیست‌محیطی‌تر کمک کرده و باعث تحول به سمت روش‌های کارآمدتر، اقتصادی‌تر و مسئولیت‌پذیرتر از نظر زیست‌محیطی در مدیریت منابع هیدروکربنی می‌گردد. در این مطالعه، سازند ایلام در میدان مورد مطالعه از نظر پتروفیزیکی به‌دقت ارزیابی شد که این ارزیابی در نهایت به تقسیم‌بندی این سازند به زون‌های مختلف بر اساس پارامترهای پتروفیزیکی مختلف منجر گردید. این تنوع پارامترهای پتروفیزیکی که شامل ویژگی‌هایی چون تخلخل، تراوایی، اشباع آب و نسبت خالص به ناخالص می‌شود، نشان‌دهنده وجود تفاوت‌های معنادار در ویژگی‌های مخزنی مختلف در زون‌های مختلف سازند است. به‌منظور افزایش دقت و کارایی مدل‌سازی، اطلاعات مربوط به هر یک از این زون‌ها به‌طور جداگانه در فرآیند مدل‌سازی استفاده شد. در نتیجه، این رویکرد توانست تصویری دقیق‌تر و به‌روزتر از ویژگی‌های مخزنی ارائه دهد که می‌تواند به بهبود برنامه‌ریزی‌های استخراج و مدیریت مخازن هیدروکربنی کمک کند. نتایج حاصل از مدل‌سازی خواص مخزنی سازند ایلام در میدان مورد مطالعه نشان می‌دهند که زون اصلی سازند ایلام، به‌ویژه در این میدان، دارای بهترین کیفیت مخزنی است. این ویژگی‌ها شامل تخلخل ۱۹ تا ۲۰ درصد و اشباع آب ۳۲ درصد می‌شود که این مقادیر نشان‌دهنده شرایط مناسب برای استخراج هیدروکربن‌ها از این بخش از سازند است. این زون به دلیل ترکیب مناسب از تخلخل و اشباع آب، برای بهره‌برداری از مخزن به‌طور مطلوب طراحی و آماده شده است. علاوه بر این، با انجام محاسبات حجمی و بررسی ویژگی‌های حجمی سازند، از جمله مدل‌های تخلخل مفید، اشباع آب و نسبت خالص به ناخالص، حجم نفت درجای سازند ایلام در این میدان به‌طور دقیق محاسبه شد و تخمین زده شد که حجم نفت موجود در این میدان برابر با ۱۸۶۶,۱ میلیون بشکه است. این تخمین‌ها نه تنها به‌منظور ارزیابی دقیق منابع هیدروکربنی موجود در میدان مفید هستند، بلکه در برنامه‌ریزی‌های آینده برای حفاری و استخراج نیز کمک‌های قابل‌توجهی خواهند داشت.

## منابع

- Abu-Abed, F., Pivovarov, K., & Zhironkin, S. (2024). Development of Software for 3D Well Visualization Modeling Using Acoustic, Gamma, Neutron and Density Logging for Fossil Energy Sources Sustainable Production. *Energies*.
- Arthur, M.A., & Cole, D.R. (2014). Unconventional Hydrocarbon Resources: Prospects and Problems. *Elements*, 10, 257-264.
- Azizzadeh Mehmandost Olya, B., Mohebian, R., Bagheri, H., Mahdavi Hezaveh, A. and Khan Mohammadi, A., 2024. Toward Real-Time Fracture Detection on Image Logs Using Deep Convolutional Neural Networks, Yolov5. *Interpretation* 12 (2), 1-10. <https://doi.org/10.1190/int-2022-0104.1>.
- Bagheri, H. and Rahimibahar, A.A., 2015. Using Log Clustering to Zone Fahliyan Limestone Formation Reservoir in One of Iran Southwest Reservoirs. *Journal of Petroleum Research*, Vol. 25(82), 45-55. <https://doi.org/10.22078/pr.2015.515>
- Bagheri, H., Khoshbakht, F. and Fazli, L., 2015. Electro-facies determined based on sedimentary facies and rock types using clustering methods, wire-line logs and core data in the Kangan and Dalan Formations. *Southern Pars gas field, Sedimentary Facies*, Vol. 7(2), 178-195. <https://doi.org/10.22067/sed.facies.v7i2.23589>
- Bagheri, H., Mohebian, R. Moradzadeh, A. and Azizzadeh mehmandost olya, B., 2024. Pore Size Classification and Prediction Based on Distribution of Reservoir Fluid Volumes Utilizing Well Logs and Deep Learning Algorithm in a Complex Lithology. *Artificial Intelligence in Geosciences*, Vol. 5, 100094. <https://doi.org/10.1016/j.aiig.2024.100094>
- Dolotovskij, I.V., Larin, E.A., & Lenkova, A.V. (2017). Energy utility system mathematic modelling and optimization at the hydrocarbon processing plant. 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 1-4.
- Emery, W., 2020, Reservoir Petrophysical Modelling from 3D Seismic Volumes, Paper presented at the SPWLA Asia-Pacific Regional Conference, physical event not held, SPWLA-APRC20-04.
- Ghanavati, K., 2001, Geocellular model of heavy oil of Khami group in Ferdows Field Full field study and master development of darquien oilfield, phase 3, 2010 by cape group.
- Holden, L., Mostad, P., Nielsen, B.F., Gjered, J., Townsend, C. and Ottesen, S., 2003 Stochastic Structural Modeling, *J. Mathematical Geology*, Vol.35, No. 8, pp. 899-914.

- Jones, R.R., McCaffery, K.J.W. and Clegg, P., 2009, Integration of regional to outcrop digital data: 3D visualisation of multi-scale geological models, Computers and Geosciences, vol. 35, no. 1, pp. 4–18.
- Kamali, M.R., Omidvar, A. and Kazemzadeh, E., 2013, 3D Geostatistical Modeling and Uncertainty Analysis in a Carbonate Reservoir, SW Iran, Journal of Geological Research, Article ID 687947, 7 pages.
- Kamanli, S.T., 2019, An Integrated 3D Geological Modeling Study of a Heavy Oil Field in Southeast Turkey, Paper presented at the SPE Annual Caspian Technical Conference, Baku, Azerbaijan, SPE-198369-MS.
- Kaufmman, o. and Martin, T., 2008, 3D geological modeling from boreholes, cross- sections and geological maps, applicationovar former natural gas storages in coal mines, J. computers & geosciences, Vol.34, pp. 278-290.
- Nicravesh, M., Kacprzyk, J. and Lotfizadeh, A. 2007, forging the new frontiers: Fuzzy pioneersII, springer, 460p.
- Ramli, T. (2023). Geostatistics Application in 3-D Reservoir Modeling for Calculation of Hydrocarbon Resources, Case Study: North Rembang Area. Radiant.
- Rezaeeparto, K. and Bagheri, H., 2023. Prediction of Total Organic Carbon (TOC) Utilizing  $\Delta\log R$  and Artificial Neural Network (ANN) Methods and Geochemical Facies Determination of Kazhdumi Formation in One of the Fields - Southwest of Iran. Advanced Applied Geology, 12 (4), 732-746. <https://doi.org/10.22055/AAG.2021.35538.2177>.
- Shinkevich, A.I., Kostyukhin, Y.Y., Savon, D.Y., Safronov, A.E., & Aleksakhin, A.V. (2021). Ootimization of Energy-Efficient Functioning of the Oil and Gas Sector of the Economy Througt Digitalization and Resource Conservation. International Journal of Energy Economics and Policy.
- Tanha, A.A., Pirzad, A.H., Shahbazi, KH. and Bagheri, H., 2022. Investigation of Trend Between Porosity and Drilling Parameters in one of the Iranian Undeveloped Major Gas Fields. Petroleum Research, 8 (1), 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2022.03.001>.
- Valcarce, G.Z., Zapata, T., Ansa, A. and Selva, G., 2006, Three-dimensional structural modeling and its application for development of the El Porton field, Argentina, AAPG Bulletin, vol. 90, no. 3, pp. 307–319.
- Xu, J., Chen, Z. and Li, R., 2014, 3D Geological Modeling and Uncertainty Analysis of Pilot Pad in the Long Lake Field with Lean Zone and Shale Layer, GeoConvention (FOCUS), Corpus ID: 163158719.
- Yeten, B. and Gumrah, F., 2000, The Use of Fractal Neural Networks Artificial Geostatistics for Carbonate Reservoir Characterization, J. Transport in Porous Media, Vol.41, pp,173-195.
- عابدینی، م، ایمانی، م.ر. و پاسیان، ا.ح، ۱۴۰۳. بررسی و ارزیابی فعالیت‌های نتوتکتونیک با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و بهره‌گیری از سامانه GIS (مطالعه موردی: حوضه دیزج صفر علی چای)، نشریه مطالعات علوم محیط زیست، دوره ۹ (۳)، ۹۲۱۰-۹۲۲۴.
- محمودآبادی، م.ر. و آرمون، الف.، ۱۴۰۲. شبیه سازی سه بعدی استاتیکی و تخمین پارامترهای مخازن کربناته به روش زمین آمار: مطالعه موردی مخزن بنگستان (سازندهای سروک و ایلام)، کرتاسه بالایی در میدان نفتی کبود جنوب غربی ایران، نشریه زمین شناسی کاربردی پیشرفته، دانشگاه چمران، دوره ۱۳ (۲)، ۳۸۴-۴۰۷.
- موسوی جزایری، ن.، ۱۳۸۹. مدل سازی سه بعدی استاتیکی مخزن خامی یکی از میادین نفتی جنوب.