

# مدلسازی هرزروی گل حفاری در سازند آسماری با استفاده از روش زمین آمار در میدان نفتی گچساران

کیومرث طاهری<sup>۱\*</sup>، فرهاد محمد تراب<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف نفت، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد  
<sup>۲</sup> استادیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

\*kio.taheri@yahoo.com, fmtorab@yazd.ac.ir

دریافت مهر ۱۳۹۵، پذیرش بهمن ۱۳۹۵

## چکیده

مطالعه هرزروی در سازند آسماری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا هزینه زیادی از حفاری چاه را شامل می‌گردد. با توجه به اینکه میدان مورد مطالعه با مشکل هرزروی‌های شدید در سازند آسماری مواجه است لذا هدف از انجام این مطالعه شناسایی مناطق دارای هرزروی و نمایش توزیع هرزروی در مخزن آسماری می‌باشد. ابتدا با مدلسازی مخزن در نرم افزار RMS و بکارگیری الگوریتم میانگین متحرک اقدام به رسم نقشه‌های هرزروی در مخزن آسماری شد. بدین منظور داده‌های مربوط به ۳۶۳ حلقه چاه در میدان گچساران پس از آماده‌سازی بصورت رقومی در آمده و جهت آماده‌سازی داده‌ها برای تهیه نقشه‌ها و مدل‌های سه بعدی یازده زون مختلف در مخزن آسماری، مراحل مختلفی همچون حذف داده‌های غیر معقول، نرمال سازی داده‌ها، رسم هیستوگرام و واریوگرافی داده‌ها و عملیات تخمین و مدلسازی انجام شده است. در این مطالعه همچنین از روش زمین آماری تخمین کریجینگ برای مدلسازی سه بعدی هرزروی مخزن آسماری در میدان نفتی مورد مطالعه، استفاده شده است که خروجی مدلسازی‌های انجام شده در روش زمین آماری تخمین کریجینگ متمرکزتر و نتایج بهتری بدست داده است. سپس با تجزیه و تحلیل اطلاعات، نقشه مدل‌های دو بعدی و سه بعدی هرزروی گل حفاری در سازند آسماری ارائه شده است. با شبیه‌سازی و مدلسازی هرزروی و تطبیق آن با مدل‌های گسلی مخزن و نمودارهای شاخص تولید مشخص شد که عمده هرزروی‌های موجود ناشی از شکستگی‌های گسلی بوده و تنها در موارد اندکی بالا بودن وزن گل موجب هرزروی شده است. بکارگیری روش‌های عملیاتی مناسب مانند مکان‌یابی مناسب چاه‌های جدید با بهره‌گیری از نقشه‌های هرزروی ارائه شده و به کارگیری روش‌های حفاری فروتعدالی و استفاده از سیال حفاری با وزن مخصوص و ترکیب مناسب مانند سیالات حفاری NIF و MMH در نقاط با هرزروی شدید و یا ترکیبی از این روش‌ها جهت کنترل هرزروی در نقاط بحرانی مخزن پیشنهاد می‌گردد.

**کلمات کلیدی:** هرزروی سیال حفاری، پیش بینی هرزروی، مدلسازی زمین آماری، محیط نرم افزار RMS.

## ۱- مقدمه

نخستین گام برای انجام این پژوهش، انتخاب میدان مورد مطالعه توسط اداره کل حفاری شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب بود. دلیل انتخاب این میدان، مشکلات ناشی از هرزروی، وسعت اطلاعات در دسترس از این میدان و مبالغ قابل توجهی هزینه اضافی است که بر روی دوش شرکت‌های نفتی می‌گذارد. شناخت روش‌های حفاری و کاهش مشکلات آن بویژه در زمینه هرزروی گل حفاری در بخش مخزنی که می‌تواند موجب از دست رفتن سرمایه و آسیب‌های جدی به مخزن و ایجاد مشکل در تولید نماید، ضروری به نظر می‌رسد [۸]. سازند آسماری با قرار گرفتن اکثر مخازن نفتی جنوب غرب در آن، حجم زیادی از هیدروکربن درجا، میزان نفت تولیدی بالا و هرزروی نسبتاً شدید گل حفاری در این سازند اهمیت مطالعاتی بسیاری دارد. با مطالعه و بررسی هرزروی و چگونگی انتشار آن در هر نقطه از مخزن، می‌توان بر کیفیت مخزن احاطه داشته و برنامه ریزی‌های توسعه میادین را در بخش‌های عملیات حفاری، مهندسی مخزن و ازدیاد برداشت از مخازن را کنترل کرد [۶]. مدل‌های سه بعدی زمین‌شناسی نقش مهمی در مهندسی نفت دارند. همچنین نرم‌افزارهای متعددی برای مدل‌سازی شکل‌های مختلف مخزن وجود دارد و نرم افزار مدل‌سازی RMS دارای قابلیت‌های زیادی از نظر تعداد بارگذاری داده‌ها و نمایش سه بعدی ساختاری دارد و کاربرد زیادی در مدل‌سازی مخازن نفت و گاز دارد [۱۳]. اکنون روش زمین آمار یک ابزار قدرتمند در مدل‌سازی است و به بررسی تغییرپذیری، مدل‌سازی و تخمین پارامترهایی می‌پردازد که در مکان و زمان تغییر می‌کنند [۹].

در سال ۲۰۰۸ از روش زمین آماری برای تهیه مدل سه بعدی مخزن نفتی میدان رامین در جنوب غرب ایران استفاده شد. در این مطالعه پارامترهای پتروفیزیکی مخزن از جمله تخلخل، اشباع و حجم هیدروکربن درجا مدل شد [۱۴]. در سال ۲۰۱۰ یک مدل جدید برای هرزروی سیالات حفاری غیر نیوتنی در سازندهای با شکستگی طبیعی ارائه شد. نتایج بدست آمده بر اساس راه حل نیمه عددی و رسم از نظر حجم هرزروی در برابر زمان به دست آمده است، که رئولوژی سیال حفاری و شکل‌گیری خواص سیال می‌تواند زیان‌های گل را تحت تاثیر قرار دهد [۵]. در سال ۲۰۱۲ از روش کریجینگ شاخص برای تهیه نقشه‌های احتمال نیترات آب زیرزمینی در دشت فوچینو در مرکز ایتالیا استفاده کردند. آن‌ها بیان کردند که این نقشه‌ها می‌توانند برای مشخص کردن مناطق مستعد به آلودگی نیترات آب زیرزمینی ابزار سودمندی باشند [۱۲]. در آخرین مطالعه میدان گچساران در سال ۲۰۱۲ مطالعه جامع میدان تحت عنوان فاز تعیین مشخصات مخزن (بخش زمین شناسی) انجام پذیرفت و از کلیه اطلاعات مناسب و مفید در ۳۶۳ چاه استفاده گردید [۲]. همچنین در سال ۲۰۱۳ برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی از نظر مناسب بودن برای آبیاری از روش کریجینگ شاخص چند متغیره استفاده کردند [۱۰].

میدان نفتی گچساران یکی از بزرگترین میادین نفتی ایران است که علیرغم وسعت و قدمت آن هنوز بررسی جامعی در مورد هرزروی‌های گل حفاری در آن، بخصوص در بخش‌های مخزنی آن انجام نشده است. در این مطالعه برای بالا بردن سطح دقت و پیش‌بینی دقیق‌تر، مخزن آسماری به تفکیک زون‌ها که شامل یازده زون است مدل‌سازی شده است. برای خروجی هرچه بهتر مدل، اطلاعات زمین شناسی و حفاری ۳۶۳ چاه حفر شده در این میدان به دقت مورد تجزیه و تحلیل و آنالیز قرار گرفت و با استفاده از روش زمین آماری تخمین کریجینگ و بکار بردن الگوریتم میانگین همگرا در نرم افزار RMS، یک مدل سه بعدی واقعی برای توزیع هرزروی در سازند آسماری ارائه شده است. در این تحقیق ابتدا کلیاتی از روند کار، موقعیت جغرافیایی میدان و همچنین زمین شناسی مخزن آسماری بررسی شده است. در ادامه به مدل‌سازی هرزروی سیالات حفاری که هدف اصلی تحقیق است پرداخته شده است. در پایان نقشه مدل‌سازی‌های هرزروی برای زون‌های مختلف سازند آسماری توسط نرم افزار RMS به دو روش میانگین متحرک و تخمین کریجینگ ارائه شد و نهایتاً منجر به ارائه روش تخمین بهینه در جهت کاهش و رفع هرزروی در این سازند مخزنی شده است.

مهمترین اهداف عبارتند از: ۱- تعیین میزان تغییرپذیری هرزروی در زون های مختلف مخزن آسماری ۲- دلیل عمده هرزروی در مخزن آسماری ۳- تعیین میزان تغییر پذیری هرزروی در دو جهت اصلی (محور تاقدیس) و فرعی (عمود بر محور تاقدیس) میدان ۴- تخمین و مدلسازی هرزروی در زون های مختلف مخزن آسماری ۵- تعیین محل هرزروی های مرتبط با گسل ها و شکستگی ها، نمودارهای شاخص تولید و دبی چاه های میدان گچساران ۶- تعیین میانگین هرزروی در یازده زون مخزن آسماری ۷- تخمین و مدلسازی وزن گل و همبستگی آن با هرزروی ها در میدان گچساران ۸- پیش بینی مناطق دارای هرزروی های شدید در حفاری های جدید میدان.

## ۲- موقعیت و زمین شناسی میدان مورد مطالعه

میدان گچساران یکی از بزرگترین و پیچیده ترین میداین کربناته جنوب غرب کشور است و در ۲۰۰ کیلومتری جنوب شرق شهرستان اهواز واقع شده است. ساختمان این میدان بر روی افق آسماری تاقدیسی کشیده و نامتقارن به طول ۶۳ کیلومتر و عرض متغیر بین ۶ تا ۱۲ کیلومتر است (شکل ۱). مقدار شیب بر روی یال جنوبی آسماری این میدان عمدتاً زیاد (بیش از ۵۰ درجه و حداکثر ۸۰ درجه در جنوب شرقی میدان) است، که نسبت به مقدار شیب در یال شمالی (متوسط ۴۰ درجه) بیشتر می باشد [۲]. ویژگی های ساختاری از قبیل تنوع شیب ساختمان، بروز گسلش متعدد، ایجاد و توزیع شکستگی ها، تأثیر بالآمدگی قدیمی در دماغه شرقی آن، میدان گچساران را به ساختمانی ویژه مبدل ساخته است که به دلایل فوق این میدان به مرور با افزایش اطلاعات جدید چاه های حفاری شده، بارها مورد مطالعه قرار گرفت.



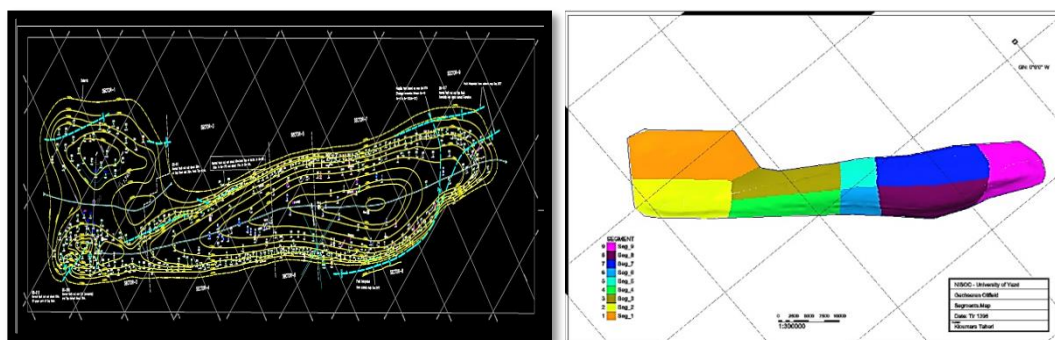
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی میدان نفتی مورد مطالعه در فروافتادگی دزفول [۷].

مخزن آسماری در میدان گچساران بر پایه تغییرات جنس سنگ ها، تغییرات تخلخل و با استفاده از نمودارهای چاه پیمایی به ۱۱ زون و زیر زون تقسیم شده است. این مخزن دارای ۴ زون اصلی A، B، C و D می باشد، که زون A خود به دو بخش A1 و A2 و زون B به پنج بخش B1، B2، B3، B4 و B5 و زون C به دو بخش C1 و C2 و زون D به دو بخش D1 و D2 تقسیم می شود. مخزن آسماری میدان مورد مطالعه، عمدتاً از سنگ های کربناته (دولومیت و سنگ آهک) تشکیل شده است بطوری که در بخش های بالایی سنگ مخزن، خصوصاً زون های A1 و A2 دولومیت و دولومیت آهکی است و بخش های پایینی آن خصوصاً زون های C1، D1 و D2 غالباً سنگ آهک می باشد. درصد بسیار کمی انیدریت و شیل در اکثر زون های آن وجود دارد ولی درصد ماسه سنگ بسیار ناچیز و در حد صفر است. برآوردهای اولیه نشان می دهد که زون B2 بیشترین سهم (حدود ۲۰٪) نفت درجا و پس از آن زون های A1، B4، C2 و A1 به میزان ۱۶٪، ۱۵٪ و ۱۳٪ از حجم نفت درجا را به خود اختصاص داده اند. سایر زون ها شامل C1، B5، B3، A2، B1 هر یک با سهم بین ۳/۶٪ تا ۹٪ در رده بعدی قرار دارند و زون های قاعده ای D1 و D2 مجموعاً حدود ۳٪ هیدروکربور را در خود ذخیره کرده اند [۱].

## ۳- روش کار

## ۳-۱- ساخت بانک اطلاعاتی

برای مدلسازی هرزروی و ویژگی‌های مورد نظر که نیاز بوده در نقشه‌ها اعمال شود، از قبیل مختصات جغرافیایی چاه‌ها، میزان هرزروی، عمق هرزروی و وزن گل، به صورت داده در نرم افزار اکسل وارد شده است. در این مرحله از گزارشات حفاری و زمین‌شناسی<sup>۱</sup> گزارش نهایی حفاری، اطلاعات مهندسی مخازن، اطلاعات CDR مربوط به حفاری و انحراف چاه‌ها، آزمایش چاه<sup>۲</sup>، نقشه‌ها و مدل سه بعدی استاتیک میدان مورد استفاده قرار گرفته است. در این مرحله جمع آوری، دسته بندی و سپس انتخاب داده‌های قابل استفاده و مفید صورت گرفته است. این مرحله بسیار حساس و وقت گیر بوده اما برای یک مدل هرزروی قابل قبول ضروری است. در فرآیند استخراج مختصات چاه‌ها<sup>۳</sup> نیاز بود مختصات یو تی ام شرق و شمال سر چاه<sup>۴</sup> برای تمامی زون‌های مخزن آسماری بدست آید. این فرآیند برای ۳۶۳ حلقه چاه موجود در مدل بدست آمد. مختصات بدست آمده برای یازده زون از ۳۶۳ حلقه چاه یکسان بوده و فقط مقدار آن برای چاه‌های انحرافی و افقی تغییر می‌کند که با توجه به میزان انحراف آنها و حرکت آنها در جهت افق، مختصات شرق و شمال سرچاهی آنها نیز تغییر می‌کند. برای شناسایی موقعیت چاه‌های حفاری شده در میدان (شکل ۲) ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود موقعیت قرارگیری چاه‌ها بر روی خطوط کانتوری و موقعیت قرارگیری آنها درون هر قطاع نمایش داده شده است.

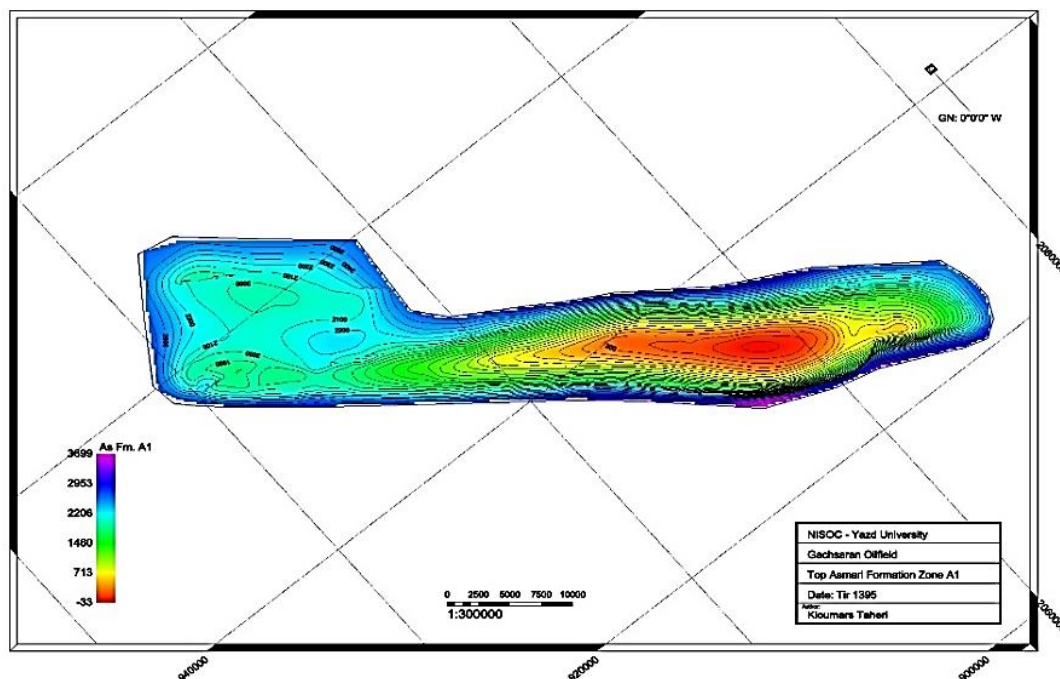


شکل ۲- مختصات و موقعیت چاه‌های حفاری شده بر روی خطوط هم عمق و قطاع بندی در میدان نفتی گچساران.

در فرآیند استخراج داده‌های میزان هرزروی و وزن گل باید فقط به هرزروی‌های در حین حفاری توجه گردد. هرزروی‌هایی که در حالت ساکن چاه اتفاق می‌افتد ارزش فنی خاصی ندارد. عمق هرزروی<sup>۵</sup>، میزان وزن گل حفاری، فواصل عمقی حفاری شده، میزان هرزروی گل در حین حفاری بر حسب بشکه در ساعت، میزان هرزروی انباشتی در سازند طی یک روز و مجموع ساعات حفاری شده در همین مدت، مواردی هستند که از گزارش‌ها برداشت و ثبت شده است. فرآیند تعیین عمق زون بندی به دلایل مختلفی انجام می‌شود از جمله اینکه در هر چاه با توجه به ضخامت هر زون و موقعیت قرارگیری زون‌ها، سرزون‌ها<sup>۶</sup> برای هر چاه در اعماق مختلفی قرار گرفته است. از همه مهمتر در برخی از چاه‌ها ممکن است تمامی این زون‌ها مورد حفاری قرار نگرفته باشد و تنها تعدادی از زون‌ها موجود باشد. به همین دلیل داده‌های هرزروی آنها موجود نمی‌باشد. لذا برای اختصاص دادن مقدار هرزروی و وزن گل مربوط به هر زون باید تعیین عمق

- 1 Drilling & Geology Reports
- 2 Well Test
- 3 Wells Coordinates
- 4 Wellhead East(x) & North(y) UTM
- 5 Depth Loss
- 6 Top Zones

زون‌بندی برای هر یک از چاه‌ها انجام می‌شد و برای انجام این کار سرسازند آسماری<sup>۷</sup> در هر چاه از جدول زون بندی استخراج شده، که این عمق در واقع برابر با سر زون A1 می‌باشد.



با استفاده از جدول زون‌بندی مخزن آسماری میدان مورد بررسی، سرسازند آسماری در هر چاه مشخص شده است. با داشتن جدول زون بندی مرز یازده زون سازند آسماری در ۳۶۳ حلقه چاه تفکیک گردید و با استفاده از ضخامت‌های بدست آمده از هر زون میزان هرزروی و وزن گل مربوط به آن تفکیک شد تا میزان هرزروی و وزن گل در هر زون و در هر چاه مشخص و متمایز گردد.

### ۳-۲- آماده سازی داده‌ها

پس از مشخص نمودن حجم هرزروی در هر یک از یازده زون مخزن آسماری، آماده‌سازی و میانگین‌گیری داده‌ها با یک فرمت استاندارد انجام شد. برخی از داده‌های هرزروی موجود در گزارشات بر حسب مقیاس بشکه در روز<sup>۸</sup> است که برای بالا بردن دقت مدلسازی، آنها را به مقیاس بشکه در ساعت<sup>۹</sup> تبدیل نموده که بدین منظور از رابطه زیر استفاده شده است:

$$\frac{\text{Volume Mud Loss (BPD)}}{24} = \text{Volume Mud Loss (Bbl/h)} \quad (1)$$

برای محاسبه میزان هرزروی مرتبط با هر زون، ابتدا حجم هرزروی بر حسب بشکه بر ساعت، برای هر بازه عمقی استخراج شده است. برای اینکه مشخص شود حجم هرزروی های بدست آمده مربوط به کدام زون است، از جدول زون بندی استفاده شده است. در این جدول بازه عمقی یازده زون در ۳۶۳ حلقه چاه مشخص گردید است، که در اینصورت میزان حجم هرزروی به زون مربوطه اختصاص داده شده است. در زون هایی که دارای هرزروی در چندین بازه عمقی بوده اند، با توجه به مترژ حفاری آنها و میزان هرزروی‌ها میانگین‌گیری حجمی صورت گرفت تا بتوان بطور دقیق‌تری به حجم هرزروی در هر زون دست پیدا کرد (فرمول ۲):

$$\frac{(\text{Volume M.L(A)} \times \text{Depth Drilled(A)}) + (\text{Volume M.L(B)} \times \text{Depth Drilled(B)})}{\text{Depth Drilled (A)} + \text{Depth Drilled (B)}} = \text{Bulk Mud Loss (Bbl/h)} \quad (2)$$

7 Top Formation Asmari  
8 Barrel Per Day  
9 Barrel Per Hour

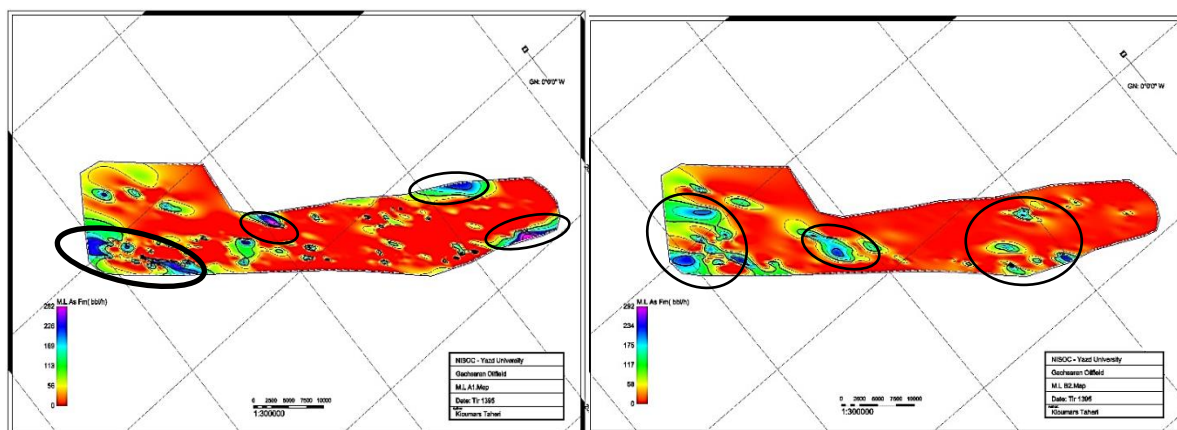
همچنین وزن گل حفاری مورد استفاده در هر عمق، با توجه به جدول وزن بندی بر حسب پوند بر فوت مکعب<sup>۱۰</sup> متناظر با هر زون استخراج شد. برخی از چاه‌ها بدلیل قدیمی بودن و عدم دسترسی به برخی از زون‌ها، فاقد اطلاعات هرزروی و وزن گل بودند و لذا بجای مقادیر هرزروی یا وزن گل برای این قبیل چاه‌ها، عدد ۹۹۹- قرار داده شد. در این حالت نرم افزار عدد ۹۹۹- را نامشخص فرض می‌کند.

### ۳-۳- مدلسازی دو بعدی و سه بعدی هرزروی و وزن گل با روش میانگین همگرا

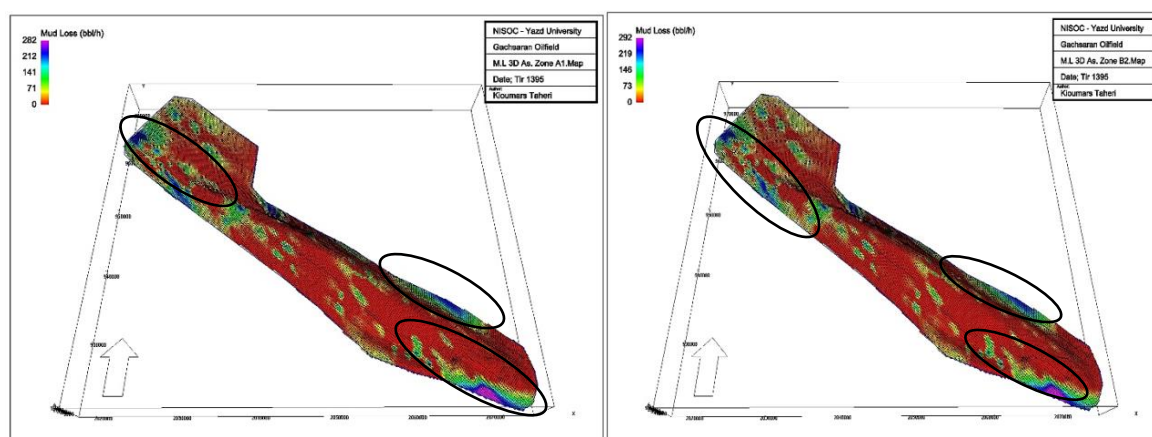
پس از آماده سازی داده‌های هرزروی و وزن گل، مدلسازی در محیط نرم افزار RMS صورت گرفت. در این مطالعه برای بالا بردن دقت تفسیر مدل‌های هرزروی، داده‌های وزن گل نیز استخراج شده است. تمامی مراحل را که برای آماده سازی داده‌های هرزروی انجام شده، در مورد داده های وزن گل هم صدق می‌کند. بنابراین با استفاده از داده‌های وزن گل و مدلسازی های شکستگی در تفسیر مدل‌های هرزروی با قطعیت بهتری می‌توان علت هرزروی در هر زون را مشخص کرد. تمامی مراحل انجام شده برای یک فرآیند مدلسازی انجام شده که نهایتاً منجر به تهیه نقشه هایی دو بعدی و سه بعدی از هرزروی و وزن گل در زون‌های A تا D شده است. به عنوان نمونه شکل ۴ نقشه دو بعدی هرزروی زون‌های A1 و B2 را نشان می‌دهد. انتخاب زون‌های A1 و B2 از بین یازده زون سازند آسماری بعنوان نمونه در مدلسازی‌های دو بعدی و سه بعدی، بدلیل دارا بودن حجم ذخیره بالای نفت در حدود ۱۵٪ و ۱۹٪ در A1 و B2 می‌باشد. که همین امر اهمیت آن‌ها را دو چندان کرده است. در شکل ۴ و ۵ مناطقی که مشخص شده است دارای هرزروی شدید و بالای ۲۰۰ بشکه در ساعت می‌باشند و این مسئله در بخش لیشر جنوبی در قطاع ۲ بیشتر دیده می‌شود. مدل سه بعدی زمین شناسی در حقیقت یک شبکه سلولی می‌باشد که دیگر فرآیندهای مدلسازی توسط نرم افزار RMS در آن اتفاق می‌افتد. این گرید در حقیقت شبکه‌ای از ۲۳۶۲۸۶۴۰ تعداد سلول و سلول‌های معین شده به تعداد ۱۶۰۲۶۴۳۷ سلول بندی درشت دانه با ستون‌ها<sup>۱۱</sup>، ردیف‌ها<sup>۱۲</sup> و لایه‌های<sup>۱۳</sup> با ابعاد ۴۸×۷۳×۲۷۰ در ۱۷ زون مخزن ایجاد گردیده است.

در مدلسازی هرزروی، هر سلول از گرید سه بعدی دارای یک ارزش عددی از نظر میزان هرزروی می‌باشد. با بدست آمدن نقشه‌های دو بعدی هرزروی و وزن گل، در مرحله بعد به تهیه مدل سه بعدی شبیه سازی شده ناشی از نقشه‌های دو بعدی اقدام گردید. در این مرحله در محیط نرم افزار RMS مدل سه بعدی هرزروی و وزن گل برای یازده زون تهیه شده است. به عنوان نمونه شکل ۵ نقشه‌های سه بعدی هرزروی زون‌های A1 و B2 را نشان می‌دهد، که دارای تفسیر یکسانی هستند و مدل‌ها بطور مشترک نواحی دارای هرزروی بالا را در بخش لیشر جنوبی (قطاع ۲) و یال شمالی میدان (قطاع ۷) با هرزروی نزدیک به ۲۱۲ بشکه در ساعت نمایش می‌دهند. همچنین در قسمت یال جنوبی (قطاع ۹) هرزروی بالایی در حدود ۲۸۰ بشکه در ساعت را نشان می‌دهد.



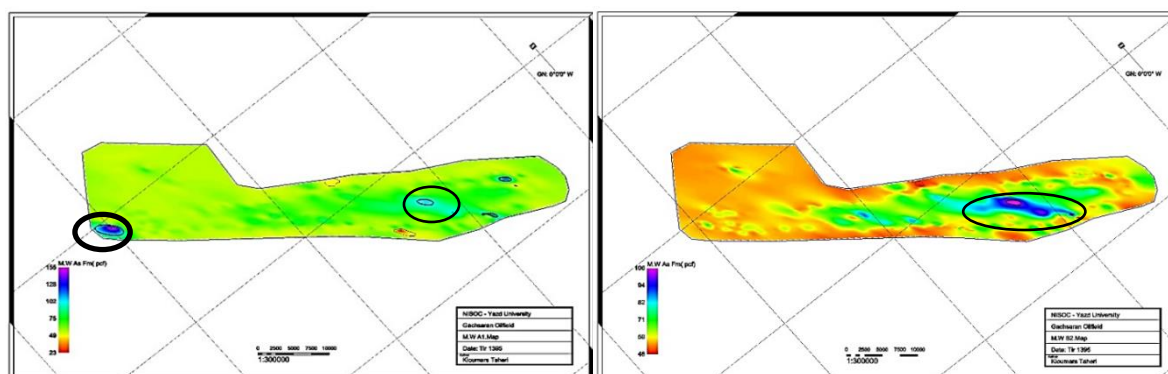


شکل ۴- نقشه دو بعدی هرزروی زون‌های A1 (سمت چپ) و B2 (سمت راست) مخزن آسماری میدان گچساران.

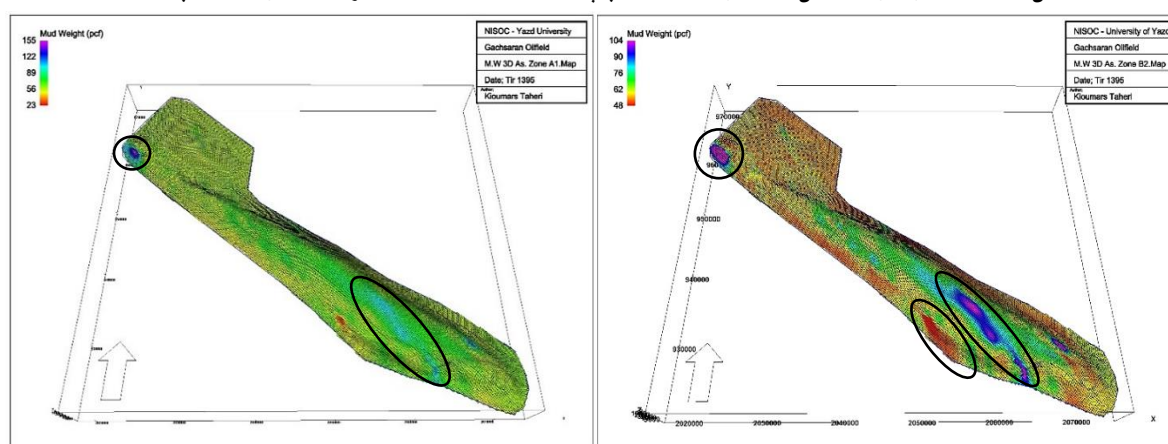


شکل ۵) نقشه سه بعدی هرزروی گل زون‌های A1 (سمت چپ) و B2 (سمت راست) مخزن آسماری میدان گچساران.

با توجه به تهیه نقشه‌های دو بعدی هرزروی، برای مقایسه و بررسی علت هرزروی در برخی از بخش‌های مخزن در زون‌های یازده‌گانه آن، تصمیم گرفته شد تا نقشه‌های دو بعدی و سه بعدی وزن گل یازده زون مخزن آسماری نیز تهیه شود. که به عنوان نمونه شکل ۶ نقشه دو بعدی وزن گل زون‌های A1 و B2 را نشان می‌دهد. در ادامه نقشه‌های سه بعدی وزن گل نیز تهیه گردید و بعنوان نمونه شکل ۷ نقشه‌های سه بعدی وزن گل زون‌های A1 و B2 را نشان می‌دهد. در مدل سه بعدی وزن گل، در شکل ۷ نشان داده شده است که در بخش لیشر جنوبی بیشترین وزن گل در زون A1 بین ۱۲۲ تا ۱۵۵ پوند بر فوت مکعب بکار رفته است و پس از آن در نزدیکی تاقدیس میدان وزن گل در حدود ۱۰۰ پوند بر فوت مکعب استفاده شده است که در این بخش جز ناحیه لیشر هرزروی قابل ملاحظه‌ای وجود نداشته است. همچنین وزن گل بکار رفته در زون B2 از تنوع زیادی برخوردار بوده است. این تنوع حاکی از آن است که در بخش‌های مختلف میدان برای حفاری این زون از وزن گل‌های مختلفی استفاده شده است. بیشترین وزن گل در حدود ۱۰۴ پوند بر فوت مکعب متعلق به محدوده‌های لیشر جنوبی و یال جنوبی در قطاع ۸ می‌باشد. همچنین در یال جنوبی میدان در محدوده قطاع ۶ وزن گل ۴۸ پوند بر فوت مکعب دیده می‌شود که حاکی از استفاده حفاری فروتعادلی در این بخش است.



شکل ۶- نقشه دو بعدی وزن گل زون‌های A1 (سمت چپ) و B2 (سمت راست) مخزن آسماری میدان گچساران.



شکل ۷- نقشه سه بعدی وزن گل زون‌های A1 (سمت چپ) و B2 (سمت راست) مخزن آسماری میدان گچساران.

### ۳-۴- مدل‌سازی دو بعدی و سه بعدی هرزروی با استفاده از روش تخمین کریجینگ

در این روش از قوانین زمین آمار برای پیش بینی و شبیه‌سازی هرزروی در سه بعد مخزن استفاده می‌شود. در اینجا از روش زمین آماری ابتدا اقدام به نرمال‌سازی داده‌های هرزروی شده است و با استفاده از نرم افزار زمین آماری SGeMS اقدام به رسم هیستوگرام و واریوگرام داده‌های هرزروی شده است. با بدست آوردن فرمت جدید از داده‌ها، آنها را جهت مدل‌سازی با استفاده از روش تخمین کریجینگ به نرم افزار RMS منتقل کرده و با الگوریتم کریجینگ به تخمین و مدل‌سازی‌های دو بعدی و سه بعدی هرزروی اقدام شده است.

ارزیابی اطلاعات<sup>۱۴</sup> قبل از اجرای مرحله مدل‌سازی هرزروی و به منظور شناسایی توزیع هرزروی درون مخزن ضروری است. در حقیقت بخش اعظم مدل‌سازی هرزروی طی مرحله‌ی ارزیابی اطلاعات انجام می‌شود و حذف داده‌های غیر معقول صورت گرفته و هیستوگرام و واریوگرام داده‌های باقی مانده محاسبه می‌گردد[۱۱]. مراحل محاسباتی زیر بر روی داده‌های هرزروی صورت پذیرفت:

- رسم هیستوگرام داده‌های هرزروی
- حذف داده‌های غیر معقول<sup>۱۵</sup> از مجموعه داده‌های هرزروی

<sup>14</sup> Data Analysis

<sup>15</sup> Truncate



## ➤ نرمال سازی داده‌های هرزروی

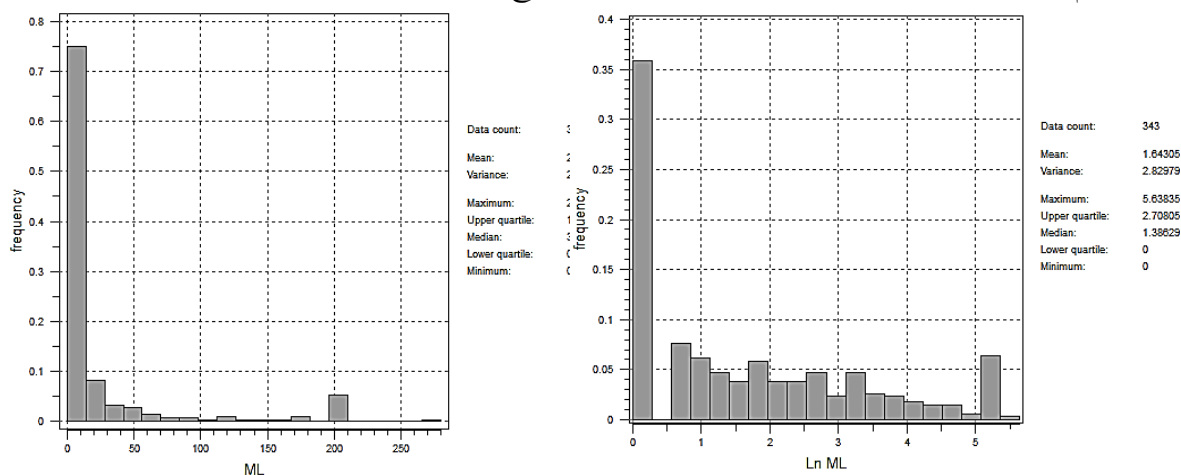
## ➤ رسم واریوگرام داده‌های هرزروی (واریوگرافی)

ارزیابی اطلاعات هرزروی بر اساس نمودارهای هیستوگرام کمک فراوانی به حذف داده‌های غیر معقول از جامعه‌ی آماری مورد نظر می‌کند. اگرچه در بسیاری از محاسبات و تخمین‌های آماری شرط نرمال بودن داده‌ها اساس کار را تشکیل می‌دهد اما ممکن است فرض نرمال بودن داده‌ها برقرار نباشد و یکی از دلایل آن وجود داده‌های غیر معقول است. دلیل وجود داده‌های غیر معقول می‌تواند به این دلیل باشد که ممکن است اطلاعات چاهی که دچار هرزروی شده نماینده مناسبی از هرزروی کل مخزن نباشد و کیفیت داده برداری از چاه‌ها مناسب نبوده باشد. در این صورت می‌توان با استفاده از روش‌های تبدیل<sup>۱۶</sup>، توزیع داده‌ها را به صورت نرمال درآورد [۳]. وجود ابزارهایی همچون هیستوگرام، تبدیل اطلاعات، پیش بینی و سپس مدل کردن واریوگرام در نرم افزار SGeMS، باعث بررسی و ارزیابی اطلاعات شده است. همانگونه که مشخص است یکی از راه‌های نرمال سازی داده‌ها، لگاریتم‌گیری از آنهاست، که در این تخمین با توجه به فرمت داده‌ها از این روش استفاده شده است. برای انجام فرآیند نرمال سازی با نوشتن کد دستوری برای داده‌های هرزروی در محیط اکسل، لگاریتم مقادیر برای زون A1 بدست آمده است، بگونه‌ای که داده‌های از جمله ۰ و ۹۹۹- دچار هیچ تغییری نشده‌اند. کد دستوری مذکور به شرح زیر است:

$$\text{if } (C1 = -999, -999, \text{Ln}(C1+1)) \quad (3)$$

که در اینجا C1 همان ستون داده‌های هرزروی است.

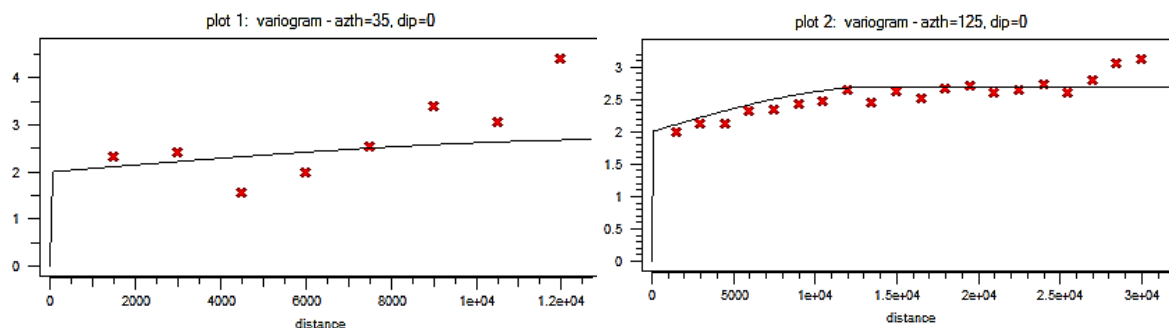
پس از نرمال سازی داده‌های هرزروی و تبدیل آنها به فرمت مناسب، جهت ورود به نرم افزار SGeMS آماده شده‌اند. در حال حاضر با بارگذاری داده‌ها در نرم افزار SGeMS در بخش آنالیز داده‌ها، هیستوگرام داده‌های نرمال و غیر نرمال مربوط به هر یازده زون را رسم کرده تا پارامترهای آماری بهینه شده خود را بهتر نشان دهند. به عنوان نمونه شکل ۸ هیستوگرام داده‌های نرمال و غیر نرمال هرزروی زون A1 را نشان می‌دهد. هر چه هرزروی سنگ مخزن مورد مطالعه، در داده برداری انجام شده دارای تغییر پذیری بیشتری باشد، تعداد داده‌های بیشتری برای توصیف جمعیت آماری هرزروی مورد نیاز است. بنابراین لازم است تعداد مناسبی از نمونه مورد نظر برای مطالعه صحیح و قابل اعتماد در اختیار باشد.



شکل ۸- هیستوگرام داده‌های نرمال (سمت راست) و غیر نرمال (سمت چپ) هرزروی زون A1 سازند آسماری.

برای تشخیص روند می‌توان از واریوگرام استفاده کرد. واریوگرام برای تشریح ارتباط فضای بین هر مشخصه در نقاط مختلف یک مخزن بکار می‌رود و یک ابزار اساسی در زمین آمار می‌باشد. پس از رسم هیستوگرام مربوط به هر زون،

واریانس داده‌های نرمال شده آن را یادداشت نموده تا در واریوگرافی داده‌ها از آن استفاده شود. در فرآیند واریوگرافی، واریوگرام داده‌ها در دو جهت اصلی، یکی در جهت آزیموت  $125^\circ$  (محور تاقدیس) و دیگری در جهت آزیموت  $35^\circ$  (عرض میدان) عمود بر محور تاقدیس رسم شده و با استفاده از مدل کروی<sup>۱۷</sup> مدل‌سازی شده است. در این بخش از یک فیلتر برای در نظر نگرفتن داده‌های تعریف نشده ۹۹۹- استفاده شده است. همچنین در بخش پارامترهای ورودی برای محاسبه واریوگرام با توجه به تعداد چاه‌ها و فاصله بین آنها، تعداد زوج نمونه‌ها<sup>۱۸</sup> را برابر ۲۰، فاصله زوج نمونه‌ها<sup>۱۹</sup> را برابر ۱۵۰۰ و تلورانس زوج نمونه‌ها<sup>۲۰</sup> برابر ۵۰۰ قرار داده شد. مقادیر شیب<sup>۲۱</sup>، تلورانس و پهنای باند<sup>۲۲</sup> بترتیب برابر ۰، ۲۵ و ۵۰۰۰ قرار داده شد. در بخش پایانی به مدل‌سازی واریوگرام پرداخته و مقدار اثر قطعه‌ای<sup>۲۳</sup> و سقف<sup>۲۴</sup> واریوگرام داده‌های نرمال بگونه‌ای انتخاب شده است که از مقدار واریانس داده‌های نرمال شده بیشتر نباشد. سپس مقادیر بدست آمده از شعاع تاثیر<sup>۲۵</sup> که شامل مینیمم و ماکزیمم است یادداشت شده است تا در روش تخمین کریجینگ از آنها استفاده شود. به عنوان نمونه شکل ۹ واریوگرام داده‌های نرمال هرزروی زون B2 را نشان می‌دهد. در این واریوگرام، بالا بودن اثر قطعه‌ای نشان دهنده تغییرپذیری بسیار شدید هرزروی حتی در فواصل بسیار کم از هم می‌باشد.



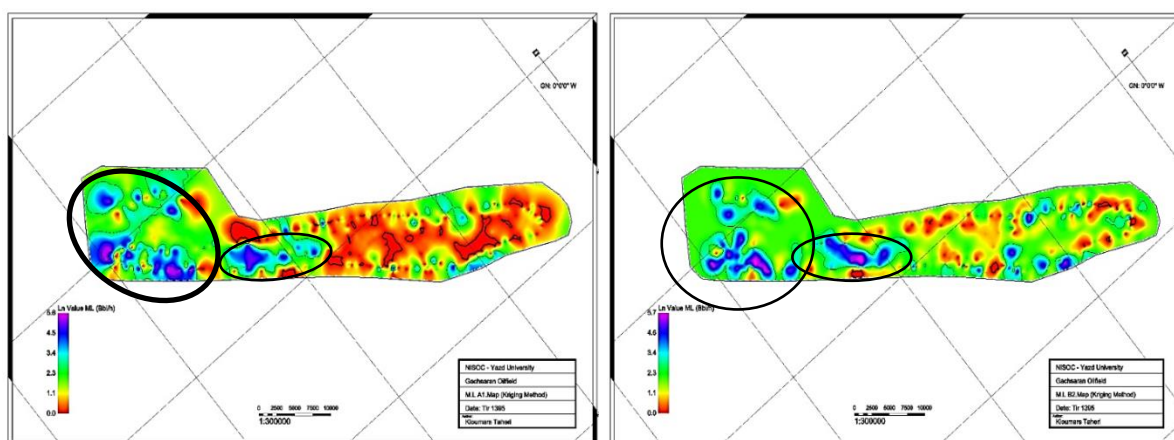
شکل ۹- واریوگرافی داده‌های نرمال هرزروی زون B2 سازند آسماری در دو جهت  $35^\circ$  و  $125^\circ$ .

پس از ارزیابی داده‌ها بوسیله نرم افزار SGeMS، اطلاعات بدست آمده از این مراحل را که از ناهمسانگردی بالایی در زون‌های مختلف برخوردار است را به همراه داده‌های نرمال شده با فرمت PRN به نرم افزار RMS وارد شده است. در این روش مراحل مورد نیاز جهت مدل‌سازی دو بعدی و سه بعدی شبیه سازی شده هرزروی، همانند مراحل مذکور در فرآیند مدل‌سازی با روش میانگین همگرا در نرم افزار RMS است، با این تفاوت که در این روش از داده‌های نرمال شده و تخمین کریجینگ استفاده می‌شود. در این روش تخمین، الگوریتم کریجینگ انتخاب شده است، نوع واریوگرام، ناهمسانگردی<sup>۲۶</sup> و سایر پارامترهای واریوگرام در نرم افزار وارد می‌شود تا تخمین کریجینگ با حداقل سازی واریانس یا خطای تخمین در اختیار قرار گیرد. به عنوان نمونه شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نقشه‌های دو بعدی و سه بعدی هرزروی را به کمک روش کریجینگ برای زون‌های A1 و B2 نمایش داده‌اند.

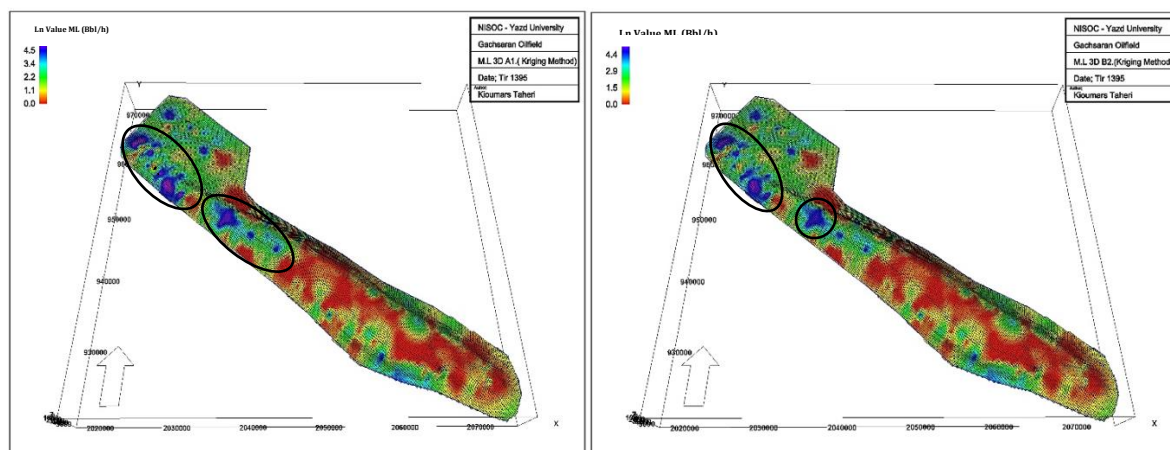
شکل‌های ۱۰ و ۱۱ که نقشه‌های دو بعدی و سه بعدی هرزروی در زون‌های A1 و B2 به روش کریجینگ را نشان می‌دهند از یک تفاوت قابل ملاحظه‌ای نسبت به نقشه‌های هرزروی دو بعدی و سه بعدی در روش میانگین همگرا در نرم افزار RMS برخوردار است. در روش تخمین کریجینگ توزیع هرزروی‌ها در نواحی دارای مشکل شدید هرزروی از تمرکز

- 17 Spherical
- 18 Number of Lags
- 19 Lag Separation
- 20 Lag Tolerance
- 21 Dip
- 22 Bandwidth
- 23 Nugget Effect
- 24 Sill
- 25 Ranges
- 26 Anisotropy

بیشتری برخوردار می‌باشند. همچنین برای تجسم و شناسایی بهتر هرزروی‌ها بر روی مدل ساختمانی میدان از مدل سه بعدی آن تهیه شده است که این تفسیرها برای آن مدل‌های دو بعدی و سه بعدی صدق می‌کند.



شکل ۱۰- نقشه دو بعدی هرزروی گل به روش تخمین کریجینگ زون‌های A1 (سمت چپ) و B2 (سمت راست).



شکل ۱۱- نقشه سه بعدی هرزروی گل به روش تخمین کریجینگ زون‌های A1 (سمت چپ) و B2 (سمت راست).

با توجه به نقشه‌های سه بعدی هرزروی بدست آمده در شکل‌های ۵ و ۱۱ بنظر می‌رسد هرزروی‌های موجود در بخش‌های شمال غربی، جنوب شرقی و یال جنوبی، ناشی از وجود شکستگی‌های کششی طولی در مخزن بوده و منطبق بر بیشترین انحناء گسل‌های موجود در یال جنوبی ساختار می‌باشند که شکل ۱۸ وجود روند این شکستگی‌ها را در مخزن تایید می‌کند.

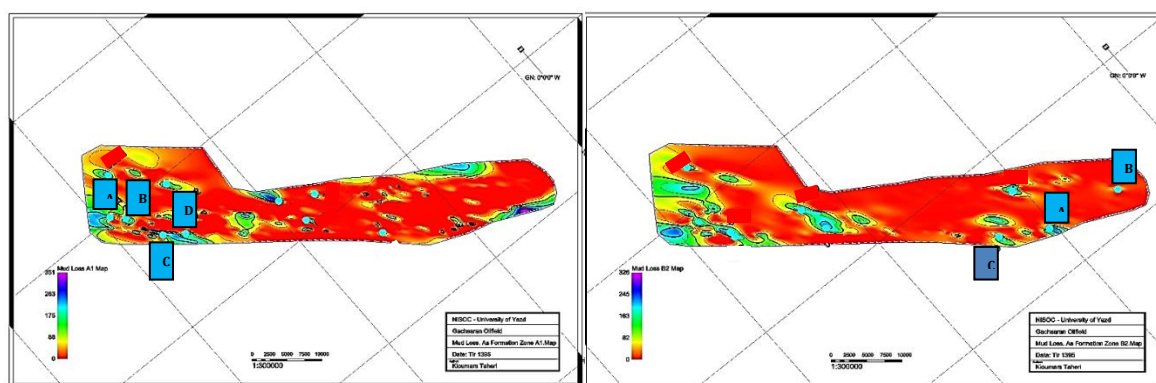
#### ۴- بحث و بررسی

##### ۴-۱- تطابق هرزروی با وزن گل

عوامل بسیاری می‌توانند باعث کاهش یا افزایش هرزروی شوند که یکی از آنها وزن گل است. بالا بودن وزن گل باعث افزایش فشار هیدرواستاتیک چاه شده و این خود باعث ایجاد شکستگی‌های القایی در درون مخزن و به تبع آن افزایش مصنوعی هرزروی گل می‌شود و در حین حفاری چاه‌های این میدان شاهد مقدار هرزروی بالا و حتی کامل گل بوده‌اند. به منظور استفاده بهینه از داده‌های هرزروی گل در این مطالعه، اطلاعات تمامی ۳۶۳ حلقه چاه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از آن بصورت نقشه‌های هم ارزش هرزروی گل (بشکه در ساعت) و نقشه‌های هم ارزش وزن گل برای یازده

زون آسماری توسط نرم افزار RMS ارائه شده است. با توجه به نقشه‌های تهیه شده، در زون‌های بالایی آسماری چند ناحیه مشخص دارای بیشترین مقادیر هرزروی تا بیش از ۲۰۰ بشکه در ساعت می‌باشند که بارزترین آن در زون A1 در چاه‌های A، B، C و D در بخش لیشر جنوبی و شمال غربی میدان وزون B2 در چاه‌های A، B و C در محدوده جنوب شرقی در یال جنوبی مشاهده می‌شود. در زون‌های پایینی C و D آسماری نیز همانند زون‌های بالایی چند ناحیه دارای بیشترین میزان هرزروی قابل مشاهده می‌باشند، ولی در مقایسه با آسماری بالایی در سایر نواحی مخزن میزان هرزروی بسیار کمتر می‌باشد که به بیان دیگر می‌توان گفت تراکم شکستگی‌ها در زون‌های پایینی آسماری نسبت به زون‌های بالایی آسماری کاهش یافته است.

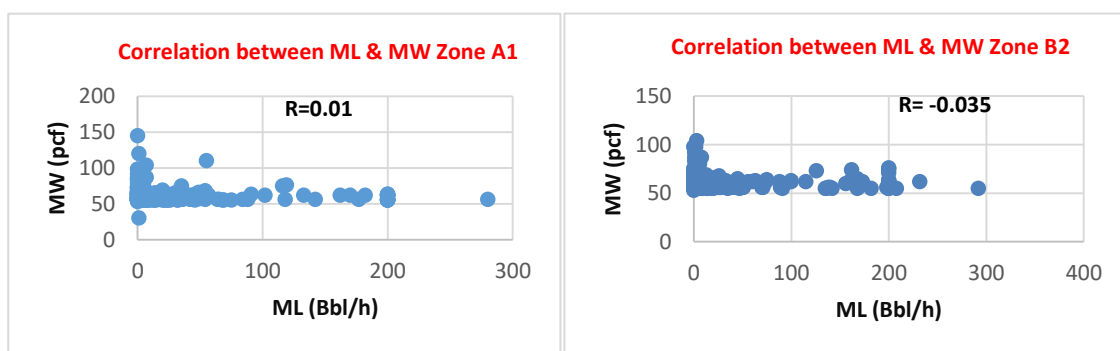
شکل‌های ۶ و ۷ نقشه‌های هم ارزش دو بعدی و سه بعدی وزن گل در زون‌های A1 و B2 را نمایش می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بازه وزن گل مورد استفاده در حین حفاری در زون A1 در چاه‌های مختلف بین ۲۳ تا ۱۵۶ پوند متغیر بوده است. حداکثر وزن گل، در زون A1 در چاه‌های واقع در ناحیه لیشر جنوبی و در قطاع ۲ بکار رفته است. در زون B2 حداکثر وزن گل بکار رفته در بخش مرکزی ستیغ دو کوهانک و یال جنوبی آن واقع در بین قطاع‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ می‌باشد. میزان وزن گل پایین در حدود ۲۳ و ۴۸ پوند حاکی از آن دارد که این میدان تحت حفاری فروتعدالی قرار گرفته است. با بررسی نقشه‌های دو بعدی و سه بعدی هرزروی زون‌های A1 و B2 واقع در شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که در زون A1 در بخش لیشر جنوبی بالاترین وزن گل در حدود ۱۵۶ پوند بر فوت مکعب مورد استفاده قرار گرفته است و دارای هرزروی در حدود ۲۵۰-۲۲۶ بشکه در ساعت است که خود می‌تواند دلیل محکمی بر تاثیر وزن گل در هرزروی این زون باشد. در زون B2 نیز با بررسی‌های انجام شده مشخص گردید که با توجه به داشتن هرزروی از ۱۷۰-۱۱۷ بشکه‌ای در محدوده بین قطاع‌های ۸ و ۷ می‌توان مشاهده کرد که بالا بودن وزن گل در هرزروی آن کم تاثیر بوده و عامل دیگری موجب این حجم از هرزروی شده است. تجزیه و تحلیل داده‌ها و مدل‌سازی‌های هرزروی و وزن گل مشخص نمود، بیشترین میزان هرزروی که در سازند آسماری رخ داده است تنها در مواردی، با داده‌های وزن گل همخوانی دارد و عامل مهمتری مانند شکستگی‌ها تاثیر مستقیمی بر این مسئله دارد. برای بررسی این تطبیق تعدادی از چاه‌هایی را که دارای هرزروی بیش از ۲۰۰ بشکه در ساعت در هر زون بوده‌اند انتخاب شده است. موقعیت ۹ حلقه چاه مخزن آسماری میدان گچساران در زون‌های A1 و B2 بر روی نقشه دو بعدی هرزروی در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲- نقشه دو بعدی هرزروی گل و موقعیت چاه‌های مورد بررسی در زون‌های A1 و B2

در شکل ۱۲ مناطقی که با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند، مناطق دارای هرزروی پائین یا فاقد هرزروی بوده و محدوده‌هایی که با رنگ زرد و سبز مشخص شده‌اند، مناطق دارای هرزروی متوسط و هرزروی بالا هستند و در نهایت مناطقی که با رنگ آبی و بنفش مشخص گردیده‌اند، مناطق با هرزروی بسیار بالا می‌باشند. بر اساس موقعیت قرارگیری چاه‌های دارای

هرزروی شدید بر روی مناطق تخمین زده شده در نقشه‌های دو بعدی هرزروی، می‌توان از خروجی مدل‌های هرزروی تخمین زده شده اطمینان حاصل نمود. برای بررسی بیشتر رابطه هرزروی با وزن گل در هر زون و دلیل اینکه رخ دادن هرزروی‌های با حجم بالا و متوسط در حین حفاری در هر زون، می‌تواند ناشی از چه عاملی باشد، به سراغ نمودار همبستگی برای داده‌های هرزروی و وزن گل در هر زون رفته و ضریب همبستگی وزن گل و هرزروی بدست آمده است که بعنوان نمونه در شکل ۱۳ نمودارهای همبستگی دو زون A1 و B2 با ضرایب همبستگی ۰/۰۱۵ و ۰/۰۳۵- نمایش داده شده است. در شکل ۱۳ با توجه به ضرایب همبستگی ضعیفی که در زون‌های A1 و B2 حاصل شده است و این ضریب در بیشتر زون‌ها حتی منفی هم بوده است، از بحث در مورد آنها صرف نظر کرده و این همبستگی بسیار ضعیف بین داده‌های وزن گل و هرزروی نشان می‌دهد که هرزروی در این زون‌ها نمی‌تواند ناشی از بالا بودن وزن گل باشد.

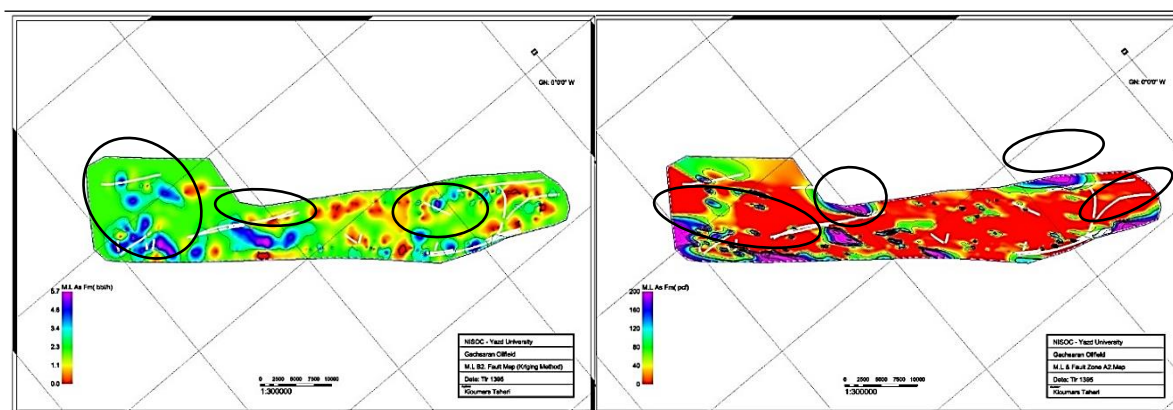


شکل ۱۳- نمودار همبستگی هرزروی و وزن گل در زون A1 و B2.

#### ۴-۲- تطابق هرزروی با شکستگی‌ها

بررسی هرزروی گل حفاری در درون مخزن، یکی از روش‌های مفیدی است که در مطالعه و تحلیل شکستگی‌های مخزنی از آن استفاده می‌شود اگر چه هرزروی گل حفاری امتداد، شیب و دیگر خصوصیات ساختاری شکستگی‌ها را مشخص نمی‌کند، اما با استفاده از آن می‌توان مکان‌هایی با تراکم شکستگی بالا، همچنین محل احتمالی گسل‌ها را تعیین نمود. همانطور که در بالا گفته شد، از آنجایی که عواملی مانند هرزروی به منظور مشخص نمودن مناطق شکسته شده و تجزیه و تحلیل شکستگی‌های سازندها می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند، تهیه نقشه‌های مدل دو بعدی و سه بعدی هرزروی میدان از اهمیت فراوانی برخوردار است. در ادامه سعی شده است نواحی از میدان که احتمال وقوع هرزروی در آنها وجود دارد شناسایی و معرفی گردد، بدین منظور برای بررسی بهتر نواحی دارای هرزروی از مدل گسل‌های تحت الارضی میدان گچساران در شکل ۱۴ استفاده شده است، تا هرزروی‌های ناشی از شکستگی‌های گسلی در هر زون بهتر مشخص گردد. در شکل ۱۴ موقعیت قرارگیری گسل‌ها و شکستگی‌ها بر روی نقشه دو بعدی هرزروی در میدان مورد بررسی نشان داده شده است تا موقعیت گسل‌ها در هر زون برای بررسی هرزروی‌ها بهتر مشخص شود.

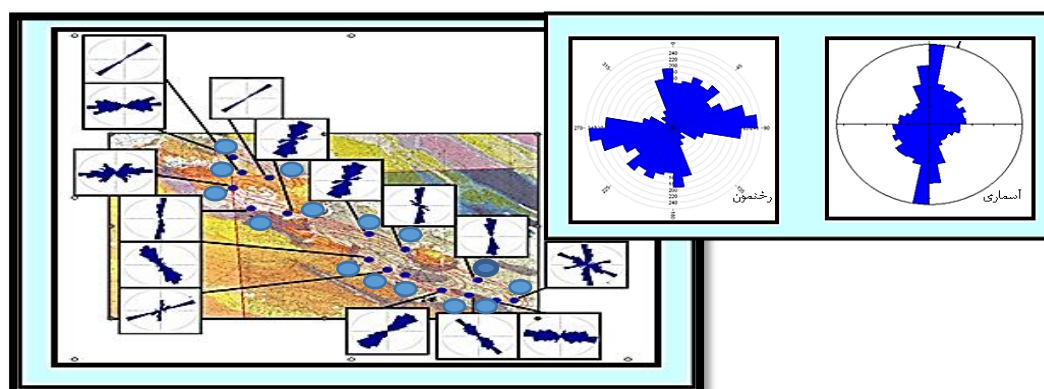




شکل ۱۴- انطباق خطوط گسلی بر هرزروی در زون A2 به روش میانگین همگرا (سمت راست) و زون B2 به روش تخمین کریجینگ (سمت چپ).

بدین صورت چاه‌های دارای هرزروی در هر زون مشخص و درصد هرزروی کل چاه‌های حفاری شده نیز محاسبه شده است. لذا با بررسی چاه‌های دارای هرزروی بالای ۲۰۰ بشکه در ساعت در هر زون مشخص شده است که در زون‌های A1 و B2 چاه‌های A, B, C و D در نواحی نزدیک و یا بر روی خط گسل و شکستگی‌های شدید واقع شده‌اند (شکل ۱۲). با انطباق نقشه دو بعدی موقعیت گسل‌ها و شکستگی‌ها در مخزن آسماری میدان گچساران و مدل دو بعدی هرزروی گل حفاری (شکل ۱۴)، مشخص شده است که عامل اصلی هرزروی در این چاه‌ها وجود شکستگی‌ها و گسل‌ها بوده است. در نقشه دو بعدی هرزروی در شکل ۱۴ می‌توان مشاهده نمود که در روش تخمین با الگوریتم کریجینگ، خطوط گسلی تا حد زیادی بر روی نواحی با هرزروی بالا منطبق شده‌اند و با مقادیر بالای هرزروی در این بخش‌ها همخوانی بیشتری را نسبت به الگوریتم میانگین همگرایی در نرم افزار RMS (شکل ۱۴) نشان می‌دهد و تمرکز هرزروی‌ها در نواحی با نفوذپذیری بالا را تأیید می‌کند.

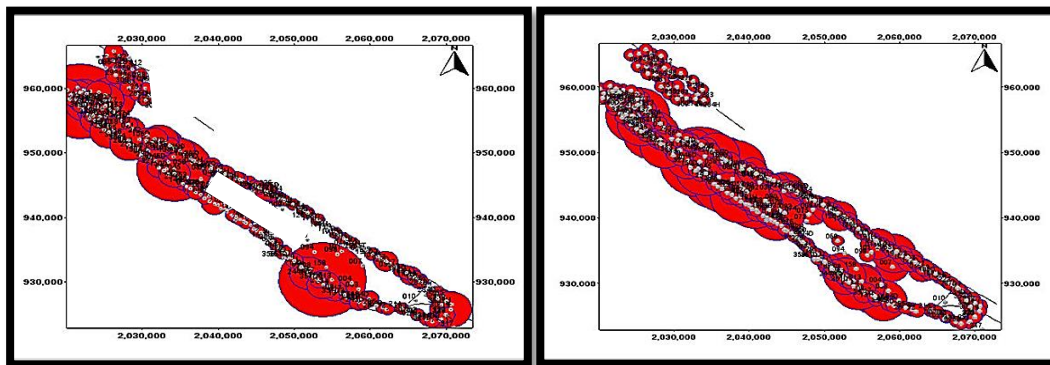
شکل ۱۵ رز دیاگرام روند شکستگی‌ها و جهت یافتگی آنها را در نقاط مختلف مخزن آسماری میدان مورد بررسی نشان می‌دهد که با انطباق آن با نمودارهای شاخص تولید و ماکزیمم دبی نفت (شکل ۱۶) در میدان می‌توان به نتایج خوبی رسید که در مکان‌هایی که جهت یافتگی شکستگی‌ها بیشتر است میزان دبی، شاخص تولید و هرزروی بیشتر است. که می‌توان به بخش جنوب غرب و شمال غربی میدان اشاره داشت و این خود تاییدی بر وجود تراکم شکستگی‌ها در این مخزن کربناته دارد.



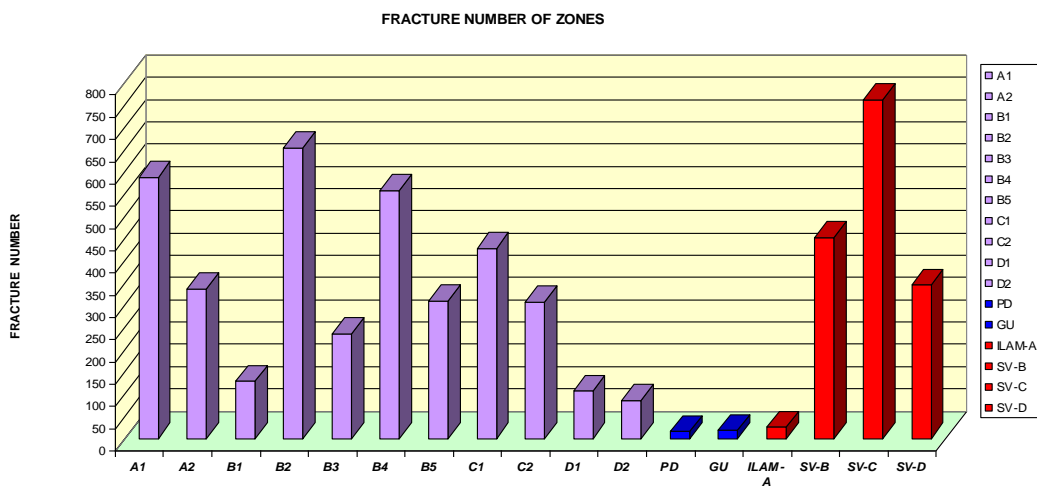
شکل ۱۵- نمودار رز دیاگرام مربوط به روند شکستگی‌های تفسیر شده مخزن آسماری و شکستگی‌های سطحی [۲].  
با توجه به انتشار و جهت یافتگی شکستگی‌ها در نمودار رز دیاگرام شکل ۱۵ می‌توان گفت که به طبع آن تخلخل و نفوذپذیری در این نواحی نیز بالا خواهد بود و این مسئله را نمودارهای شاخص تولید و ماکزیمم دبی نفت (شکل ۱۶) نیز



تائید می‌کند. وجود شکستگی‌های با نفوذپذیری بالا در حفاری هر چاه مشکلاتی را ایجاد خواهد کرد، که در نظر گرفتن این مسئله امری ضروری است.

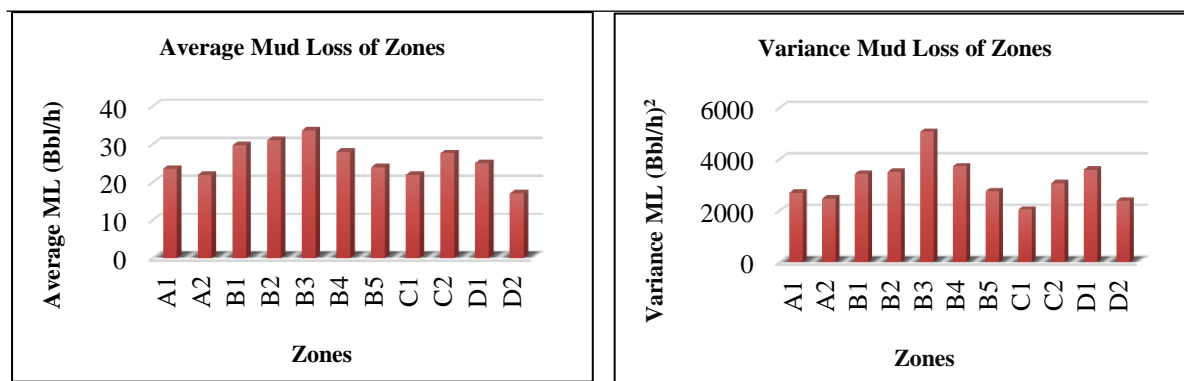


شکل ۱۶- (سمت چپ) نمودار حبایی شاخص تولید (PI) (سمت راست) بالاترین دبی (Qo max) در مخزن آسماری [۴].



شکل ۱۷- نمودار ستونی تعداد شکستگی‌ها به تفکیک زون‌های مخزن [۲].

نمودار میانگین هرزروی در شکل ۱۸ نشان داده شده، تجزیه و تحلیل‌های آماری توزیع هرزروی در زون‌های مختلف نشان داد که زون B دارای بالاترین میانگین هرزروی در مخزن آسماری و زون D دارای کمترین میانگین هرزروی در مخزن آسماری میدان گچساران می‌باشد. مقایسه‌ای از نمودارهای ستونی در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ نشان می‌دهد که زون B دارای تعداد شکستگی‌های بالا و میانگین هرزروی بالایی نیز می‌باشد و زون D دارای کمترین تعداد شکستگی و به طبع آن کمترین میانگین هرزروی را دارا می‌باشد. در شکل ۱۸ نمودار ستونی روند تغییرپذیری هرزروی در زون‌های مختلف مخزن آسماری نمایش داده شده است که توزیع هرزروی در زون‌های مختلف از تغییرپذیری بالایی برخوردار می‌باشد. بیشترین تغییرات هرزروی در زون B3 و کمترین تغییرات هرزروی با توجه به واریانس‌های محاسبه شده در زون C1 می‌باشد.



شکل ۲۱- نمودار ستونی میانگین و تغییرپذیری هرزروی‌ها به تفکیک زون‌های مخزن.

بنابراین با انجام مدل‌سازی‌های دو بعدی و سه بعدی می‌توان یک الگوی مناسب از مقدار هرزروی در زون‌های مختلف میدان مورد مطالعه را ارائه داد و برای مقابله با پدیده هرزروی قبل از انجام عملیات حفاری تمهیدات لازم را اندیشید.

## ۵- نتیجه گیری

- رسم هیستوگرام داده‌های خام در هر زون نشان داد که هرزروی در زون‌های مختلف از تغییرپذیری بالایی برخوردار بوده بگونه‌ای که شکل نمایی دارد. بیشترین تغییرپذیری هرزروی مربوط به زون B3 برابر با  $5000 \text{ (Bbl/h)}^2$  و کمترین تغییرپذیری هرزروی با توجه به واریانس‌های محاسبه شده در زون C1 برابر با  $2000 \text{ (Bbl/h)}^2$  می‌باشد.
- واریوگرافی داده‌های هرزروی در زون‌های مختلف نشان می‌دهد که تغییرپذیری هرزروی حتی در فواصل کم هم می‌تواند بالا باشد که این مسئله از بالا بودن اثر قطعه‌ای<sup>۲۷</sup> واریوگرام‌های ترسیمی مشخص گردیده است و در زون C1 با بیشترین مقدار و برابر با  $2/2 \text{ (Bbl/h)}^2$  و کمترین مقدار برابر با  $1 \text{ (Bbl/h)}^2$  است که مربوط به زون‌های دیگر است.
- واریوگرام‌های ترسیم شده در جهات مختلف (در امتداد و عمود بر جهت کشیدگی مخزن) نشان می‌دهد که تغییرپذیری هرزروی در جهات مختلف متفاوت است و نسبت آنیزوتروپی در زون‌های مختلف بعضاً بالا بوده، بگونه‌ای که بعنوان مثال این نسبت در زون A1 برابر  $2/56$  می‌باشد.
- تخمین و مدل‌سازی‌های انجام شده و مقایسه روش‌های مختلف نشان می‌دهد که تخمین به روش کریجینگ با توجه به در نظر گرفتن شعاع مناسب تخمین از دقت بیشتری برخوردار بوده، بگونه‌ای که نتوانسته است تخمین هرزروی را بصورت متمرکزتر و با تغییرپذیری واقعی‌تر ارائه دهد. این در حالی است که مدل‌سازی با روش میانگین در نرم افزار RMS منجر به هموارسازی بیشتر نتایج تخمین هرزروی شده است که از واقعیت تغییرپذیری هرزروی در زون‌های مختلف فاصله بیشتری دارد.
- با تجزیه و تحلیل‌های آماری انجام شده بر روی داده‌های هرزروی در هر زون مشخص گردید که بالاترین میانگین هرزروی به ترتیب مربوط به زون‌های B3, B2 و B1 با مقادیر ۳۳، ۳۰ و ۲۹ بشکه در ساعت بوده است و کمترین میانگین هرزروی در زون D1 با مقدار ۱۷ بشکه در ساعت می‌باشد.
- با تلفیق نقشه تراکم شکستگی‌ها و جهت گیری گسل‌های طولی و عرضی شناخته شده بر روی تاقدیس‌های آسماری در زاگرس، می‌توان مشاهده نمود که گسل‌ها و شکستگی‌های طولی و عرضی در هفت بخش از مخزن آسماری میدان مورد مطالعه شامل دو قطاع ۲و۱ در بخش لیشر شمالی و جنوبی، قطاع ۳ در شمال غربی در یال شمالی میدان اصلی،

<sup>27</sup> Nugget Effect

- قطاع ۶، ۷ و ۸ مرکزی با خمش ماکزیمم ساختار و قطاع ۹ جنوب شرقی در یال جنوبی، دارای تراکم بیشتری می‌باشند که نتایج حاصل از بررسی‌ها، شدت هرزروی گل در این نواحی را نشان می‌دهد.
- تجزیه و تحلیل اطلاعات حفاری شامل هرزروی و وزن گل در سازند آسماری میدان گچساران مشخص نمود که وزن گل سهم کمتری در میزان هرزروی سیال در سازند آسماری دارد. بیشترین هرزروی در ناحیه لیشر جنوبی و دماغه های شمال غربی و جنوب شرقی ساختار مورد مطالعه بوقوع پیوسته است که همخوانی تقریباً خوبی با گسل‌ها و شکستگی‌های ناشی از آن دارد. داده‌های وزن گل حفاری نشان می‌دهند که تنها در برخی چاه‌ها بدلیل بالا بودن وزن گل هرزروی بیشتری صورت گرفته است. بدین ترتیب در اکثر زون‌ها بیشترین میزان هرزروی گل را در نواحی لیشر جنوبی، نواحی مرکزی، کوهانه اصلی مخزن و همچنین نواحی نزدیک به دماغه جنوب شرقی مشاهده می‌شود.
  - با بررسی چاه‌های حفاری شده و دارای مشکل در هر قطاع نشان می‌دهد که قطاع‌های ۴ و ۵ (واقع در ناحیه مرکزی ساختار) نسبت به دماغه‌های شرقی و غربی دارای پتانسیل بیشتری از لحاظ بروز مشکل در حین حفاری می‌باشد. همچنین در قطاع‌های ۲ (واقع در ناحیه لیشر جنوبی) و ۷ (واقع در ناحیه یال شمالی جنوب شرق میدان) که در شمال غربی و جنوب شرقی میدان قرار دارند، دارای چاه‌های با هرزروی بالا می‌باشند.
  - با تحلیل نمودارهای شاخص تولید و دبی چاه‌ها در سازند آسماری میدان گچساران، مشاهده شده است که بالا بودن شاخص تولید و دبی نفت، درست در چاه‌هایی وجود دارد که بر روی خطوط گسلی یا در شعاع نزدیک آن واقع شده‌اند، که خود این مسئله می‌تواند دلیل محکمی بر وجود شکستگی‌های زیاد و نفوذپذیری بالا در این مناطق باشد و بررسی‌ها نشان داده است که هرزروی‌های شدید نیز در این چاه‌ها اتفاق افتاده است.
  - نمودارهای همبستگی ترسیمی بین هرزروی و وزن گل در زون‌های مختلف تماماً نشان می‌دهد محدوده همبستگی‌ها از ۰/۱- تا ۰/۱+ است که هیچگونه رابطه و همبستگی قابل توجهی بین میزان هرزروی و وزن گل آن وجود ندارد. لذا وزن گل در چاه‌های این مخزن نقش تعیین کننده‌ای در هرزروی نداشته و تنها در مواردی موجب افزایش و رخ دادن هرزروی شده است.
  - بکارگیری روش‌های حفاری فروتعدالی و استفاده از سیال حفاری با وزن مخصوص و ترکیب مناسب مانند سیالات حفاری NIF و MMH در نقاط با هرزروی شدید و یا ترکیبی از این روش‌ها جهت کنترل هرزروی در نقاط بحرانی مخزن پیشنهاد می‌گردد.

## سپاس و قدردانی

این مقاله بر اساس طرح پژوهشی با حمایت اداره پژوهش و فناوری شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب تهیه و تنظیم شده است. همچنین لازم است از آقای مهندس اشجعی مشاور صنعتی این طرح، بخاطر همکاری‌های بی شائبه در انجام این تحقیق قدردانی و سپاسگزاری گردد. از آقایان مهندس محمد مصدق، مهندس محمد حسن عزیزیان بخاطر داوری مقاله سپاسگزاری می‌گردد.

## منابع

- [۱] چیت فروش، ا.، مکوندی، ع.، همایی، م.، ۲۰۰۹، ساخت مدل سه بعدی زمین شناسی مخزن آسماری میدان گچساران، گزارش پ شماره ۶۶۲۱، مدیریت امور فنی، بایگانی زمین شناسی گسترشی، ص ۱۷۰.
- [۲] چیت فروش، ا.، مکوندی، ع.، همایی، م.، سراج، م.، ۲۰۱۲، مطالعه جامع مخازن آسماری و بنگستان میدان گچساران، بخش شکستگی‌ها، گزارش پ شماره ۸۰۶۲، مدیریت امور فنی - بایگانی زمین شناسی گسترشی، ص ۴۵۰.
- [۳] حسنی پاک، ع.، ا.، ۲۰۱۳، زمین آمار انتشارات دانشگاه تهران، ص ۳۲۸.

- [۴] گروه مطالعه جامع میدان گچساران، ۲۰۱۳، چاه آزمایشی (مخازن آسماری و بنگستان) میدان، فاز تعیین مشخصات مخزن گزارش پ شماره ۷۴۰۳، مدیریت امور فنی - بایگانی مهندسی نفت، عملیات چاه آزمایشی، ص ۱۷۴.
- [۵] مجیدی، ر.، استفان، ل.، جرارد، ت. ژ.، ۲۰۱۰، مدلسازی تلفات گل حفاری در سازند به طور طبیعی شکسته، کنفرانس سالانه انجمن نفت امریکا، دنور، کلرادو، ایالات متحده امریکا.
- [6] AHMED, T., 2010, Reservoir Engineering Handbook, Fourth Edition, Publishing Elsevier, 1454.
- [7] BEICIP FRANLAB, CO., and Tehran Energy, 2006, Study of the Asmari-Bangestan Res, Study Field: *Geology Report, Report P-Number 3185*, NISOC, 150.
- [8] CIVAN, F., 2000, Reservoir Formation Damage: *Gulf Publishing Company Huoston, Texas*, 745.
- [9] EDWARD HOHN, M., 2013, *Geostatistics and Petroleum Geology*, 224.
- [10] JANG, CH. SH., 2013, Use of multivariate indicator kriging methods for assessing groundwater contamination extents for irrigation: *Environmental Monitoring and Assessment*, **185**(5), 4049–4061.
- [11] LI, H., and WHITE, C. D., 2003, Geostatistical Shale Models for a Deltaic Reservoir Analog: From 3D GPR Data to 3D Flow Modeling: *The Department of Petroleum Engineering, Louisiana State University and Agriculture and Mechanical College*, May 11-14, 15.
- [12] PICCINI, C., MARCHETTI, A., FARINA, R., and FRANCAVIGLIA, R., 2012, Application of indicator kriging to evaluate the probability of exceeding nitrate contamination thresholds: *International Journal of Environmental Research.*, **6**(4), 853–862.
- [13] ROXAR, CO., 2008, Irap RMS Maintenance Release User Guide: *Roxar Software Solutions Gamle Forusvei*, 2335.
- [14] SOLEIMANI, B., NAZARI, K., BAKHTIAR, H.A., HAGHPARAST, G., and Zandkarimi, G., 2008, Three-Dimensional Geostatistical Modeling of Oil Reservoirs: A Case Study from the Ramin Oil Field in Iran: *Journal of Applied Sciences*, **8**, 4532- 4523.



## Modeling Mud Loss in Asmari Formation Using Geostatistics in Gachsaran Oil Field

K. Taheri<sup>1</sup>, F. M. Torab<sup>2</sup>

\*kio.taheri@yahoo.com<sup>1</sup>, fmtorab@yazd.ac.ir<sup>2</sup>

Received: October 2016, Accepted: February 2017

### Abstract

Studying of mud loss in Asmari formation is very important because it consists most of drilling expenses. Considering that studied oil field encounters severe mud loss in Asmari formation, therefore the purpose of this study is recognition of the lost circulation zones and illustrating the mud loss distribution in Asmari formation. The mud loss maps in Asmari field were plotted in RMS software using moving average algorithm method. For this purpose, the data of 363 wells in gachsaran oil field was processed after data preparation, for mapping and 3D modeling of 11 different zones in Asmari formation. The data processing includes different stages such as elimination of outliers, normal transformation, drawing the histogram, variography and estimation and modeling. In this research, the geostatistical kriging method was also used for estimation and 3D modeling of mud loss in Asmari formation so that the output of geostatistical modeling method shows the localized and better results. Consequently, by applying and analysis of results, the 2D and 3D models of mud loss in Asmari formation were demonstrated. By simulation and modeling of mud loss and its comparison with reservoir fault modeling and production indexes plots, it was identified that the dominant mud losses are related to fault zone fractures and in minor cases the increasing of mud weight is the reason of mud loss. Applying appropriate operations such as under balance drilling (UBD) and suitable well placement, use of drilling mud with proper mud weight in severe mud loss points, use of NIF and MMH especial drilling muds with lowest formation damage, or a combination of these methods are suggested for mud loss control in critical points of the oil field.

**Keywords:** Mud loss, Lost circulation prediction, Geostatistical modeling, RMS Software Environment.