



بیست و سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران ۲۰ و ۲۱ آبانماه ۱۳۹۹ The 23rd Symposium of Geological Society of Iran 10-11 November, 2020



ارزیابی و اعتبار سنجی آماری روش‌های متداول تعیین ناهمگنی در مخازن کربناته، مطالعه موردی

در بخش مرکزی خلیج فارس

عادله جمالیان، وحید توکلی

دانشجوی دکتری دانشکده زمین شناسی دانشگاه تهران، دانشیار دانشکده زمین شناسی دانشگاه تهران

نتیجه گیری

در روش FZI، هفت گونه سنگی توسط نمودارهای آنالیز احتمال نرمال و نمودار توزیع تجمعی تعیین شدند. در نمودار آنالیز احتمال نرمال، گونه سنگی RT5 بالاترین مقدار R^2 معادل ۰.۸۱ را نشان داد، همچنین مقادیر SE و CV در این گونه سنگی بسیار نزدیک به صفر بودند. از منظر مطالعات کیفی زمین‌شناسی فراوان‌ترین رخساره در این گونه سنگی بایوکست و کستون متعلق به محیط بالای جزرومدی بود. همچنین دولومیتی شدن از فراوان-ترین فرایندهای دیاژنزی این گونه سنگی است. فرایند دولومیتی شدن موجب همگن‌شدن بافت سنگ از نظر توزیع تخلخل و تراوایی شده و با کاهش اختلاف از مقدار میانگین تخلخل و تراوایی موجب بالا رفتن پارامتر R^2 و نزدیک به صفر شدن پارامتر SE شده است. در تفکیک گونه‌های سنگی حاصل از روش FZI به کمک نمودار توزیع تجمعی نیز ۷ گونه سنگی متمایز شد که مقایسه پارامترهای آماری در این نمودار نشان داد مقادیر CV در هر یک از گونه‌های سنگی نسبتاً مناسب است. مطالعات کیفی خصوصیات رسوبی و دیاژنزی توجیه زمین‌شناسی خاصی برای این موضوع ندارد اما به لحاظ آماری مطلوب بودن CV ناشی از این است که CV گونه سنگی از تقسیم انحراف معیار متغیر مورد نظر بر میانگین آن متغیر بدست می‌آید. پارامتر SE در هر دو نوع نمودار در روش FZI در گونه سنگی RT1 مناسب‌ترین مقدار را نشان داد. از نظر زمین‌شناسی این گونه سنگی با بافت الئید گربنستون از محیط سدی است. متداول‌ترین فرایند دیاژنزی در RT1 سیمایی شدن است. با توجه به اینکه پارامتر SE نتیجه تقسیم انحراف استاندارد بر تعداد نمونه است، توزیع رخساره‌های شول در RT1 تا حدودی مطلوب است و این گونه سنگی مقدار مطلوبی از SE را نشان می‌دهد.

در روش لورنز مقادیر پارامترهای آماری در هر ۸ واحد، درجات بالایی از ناهمگنی را نشان می‌دهد. R^2 و SE در همه واحدها مقادیر ضعیفی دارند. از نظر پارامتر CV واحدهای ۵، ۳ و ۶ به ترتیب مناسب‌ترین مقادیر CV را نشان می‌دهند. یکی از دلایل این امر این است که اساس روش لورنز به جای جداول نمونه‌ها، تعیین مرز بین واحدها است.

در روش لوسیا نامطلوب‌ترین و ضعیف‌ترین مقادیر مربوط به پارامتر R^2 و CV هستند. اما مقادیر محاسبه شده توسط SE بسیار مطلوب هستند. بر اساس پارامتر SE، کلاس ۱ بهترین واحد در طبقه‌بندی لوسیا است. از نظر خصوصیات کیفی زمین‌شناسی در کلاس ۱ دولومیتی شدن، انیدریتی شدن و نرخ تراکم بالا است. همچنین بیشترین لیتولوژی متعلق به دولومیت است. مجموع این فرایندها در مقایسه با فرایندهای مشابه در سایر کلاس‌ها موجب همگن‌تر شدن کلاس ۱ و در نتیجه بهتر شدن مقدار SE شده است.

در روش وینلند پارامتر R^2 مطلوب و در واحد ۲ بالاترین مقدار معادل ۰.۸ است. در این روش مقادیر SE و CV نامطلوب هستند. فرایندهایی نظیر دولومیتی شدن و انیدریتی شدن بر همگنی بافت رخساره و توزیع همگن تخلخل و تراوایی تأثیر گذاشته و با کاهش انحراف استاندارد بین پارامترهای تخلخل و نفوذ پذیری، منجر به مقادیر بالاتر R^2 شده است.

روش‌های متداولی برای کاهش ناهمگنی مخزن و تقسیم آن به واحدهای مخزنی (واحدهای سدی و جریان‌ی) وجود دارد که هر کدام پارامترهای مشخصی از مخزن را برای جداسازی انواع گونه‌های سنگی استفاده می‌کنند. در این مطالعه از ۵ روش تعیین گونه سنگی استفاده شده است که همه آنها در استفاده از پارامترهای تخلخل و نفوذ پذیری (مستقیم و غیرمستقیم) وجه اشتراک داشتند. ارزیابی صحت هر گونه سنگی تعیین شده توسط سه پارامتر آماری انجام شد که شامل پارامترهای R^2 ، SE و CV بودند. در روش تعیین گونه‌های سنگی با استفاده از نمودار آنالیز احتمال نرمال و نمودار توزیع تجمعی، سه پارامتر آماری ذکر شده در کنار هم بهترین نتایج را در مقایسه با سایر روش‌ها ارائه دادند. دلیل اثربخشی این روش نسبت به سایر روش‌ها، به تأثیر پارامترهای تخلخل و نفوذ پذیری در فرمول FZI مربوط می‌شود. از نظر پارامتر آماری مورد استفاده نیز به دلیل استفاده از میانگین و انحراف استاندارد در ساختار نمودار آنالیز احتمال نرمال، نیازی به محاسبه مجدد انحراف از معیار داده‌ها نیست و در نتیجه مطلوب‌ترین نتایج ارائه شد.

منابع

Olsen, T., 1995. Sequence stratigraphy, alluvial architecture and potential reservoir heterogeneities of fluvial deposits: evidence from outcrop studies in Price Canyon, Utah (Upper Cretaceous and Lower Tertiary). Norwegian Petroleum Society Special Publications, Volume 5, Pages: 75-88, 92-96

Sun, S., Shu, L., Zeng, Y., Cao, J., Feng, Z., 2007. Porosity-permeability and textural heterogeneity of reservoir sandstones from the Lower Cretaceous Putaohua Member Of Yaojia Formation, Weixing Oilfield, Songliao Basin, Northeast China. Marine and Petroleum Geology, Volume 24, Issue (2): Pages 109-127.

Issautier, B., Le Nindre, Y.M., Memesh, A., Dini, S. and Viseur, S., 2012. Managing clastic reservoir heterogeneity I: Sedimentology and sequence stratigraphy of the Late Triassic Minjur Sandstone at the Khashm al Khalta type locality, Central Saudi Arabia. GeoArabia 17 (2): 17– 56.

Alnazghah, M.H., Badenas, B., Pomar, L., Aurell, M. and Morsilli, M., 2013. Facies heterogeneity at interwell-scale in a carbonate ramp, Upper Jurassic, NE Spain. Marine and Petroleum Geology, Volume 44, Pages 140-163.

Medici, G., West, L.J. and Mountney, N.P., 2016. Characterizing flow pathways in a sandstone aquifer: Tectonic vs sedimentary heterogeneities. Journal of Contaminant Hydrology, Volume 194: Pages 36-58.

Veloso, F.M.L., Navarrete, R., Soria, A.R. and Meléndez, N., 2016. Sedimentary heterogeneity and petrophysical characterization of Barremian tsunami and barrier island/inlet deposits: The Aliaga outcrop as a reservoir analogue (Galve sub-basin, eastern Spain). Marine and Petroleum Geology, Volume 73: Pages 188-21.

Li, Z., Wu, S., Xia, D., Zhang, X. and Huang, M., 2017. Diagenetic alterations and reservoir heterogeneity within the depositional facies: A case study from distributary-channel belt sandstone of Upper Triassic Yanchang Formation reservoirs (Ordos Basin, China). Marine and Petroleum Geology, Volume 86, Pages: 950-971.

مواد و روش کار

در این مطالعه ۱۵۷۶ مقطع نازک از یک چاه از مخازن دالان و کنگان مطالعه میکروسکوپی شدند. ریزرخساره‌ها بر اساس دانام [23]آمکنذاری شدند. همچنین محیط رسوبی و فرایندهای دیاژنزی بر اساس مطالعات پتروگرافی تعیین شدند. علاوه بر مطالعه کیفی پارامترهای زمین‌شناسی به صورت کمی نیز ارائه شدند و فراوانی رخساره‌ها، محیط‌های رسوبی و فرایندهای دیاژنزی رقومی شدند. داده‌های تخلخل و تراوایی حاصل از مطالعات عادی مغزه (Routine Core Analysis) بودند. در این مطالعه گونه‌های سنگی با استفاده از شش روش لورنز، لوسیا، وینلند، شاخص منطقه جریان و مشخصه‌های رسوبی تفکیک شدند. در روش شاخص منطقه جریان، گونه‌های سنگی بر اساس نمودار آنالیز احتمال نرمال و نمودار توزیع تجمعی بر اساس نقاط عطف نمودار تفکیک شدند. جهت صحت‌سنجی تفکیک گونه‌ها و ارزیابی دقت عملکرد از سه پارامتر آماری شامل خطای استاندارد، ضریب تعیین و ضریب تغییرات استفاده شد. ضریب تغییرات بیانگر نسبت انحراف معیار به میانگین و خطای استاندارد بیانگر انحراف معیار به جذر تعداد کل نمونه‌ها است.

بحث

به منظور بررسی ناهمگنی مخزن خصوصیات گونه‌های سنگی با استفاده از پنج روش مذکور در بخش داده‌ها و روش‌ها در ادامه ذکر شده است.

با مطالعه ۱۵۷۶ مقطع نازک از یک چاه از سازندهای کنگان و دالان ۱۲ گروه رخساره‌ای شناسایی شد. به منظور بررسی روابط بین تخلخل و تراوایی در هر گروه رخساره‌ای این دو پارامتر در مقابل هم پلات شده‌اند. سپس به منظور صحت‌سنجی در هر گروه رخساره‌ای ۳ پارامتر آماری ضریب تغییرات، ضریب تعیین و خطای استاندارد محاسبه شد. لوسیا در سال ۱۹۹۵ [33]نموداری را برای تعیین گونه‌های سنگی و تخمین تراوایی با تخلخل بین دانه‌ای ارائه داد. از این نمودار کلاس‌های پتروفیزیکی و عدد فابریک سنگ قابل استخراج است [20]. توزیع تخلخل و تراوایی چاه مورد مطالعه نشان می‌دهد که عدد فابریک سنگ از کمتر از ۰.۵ تا بیش از ۴ تغییر می‌کند. بر این اساس ۵ کلاس پتروفیزیکی تعیین شد و در هر کلاس مقادیر سه پارامتر آماری ضریب تعیین، ضریب تغییرات و خطای استاندارد محاسبه شدند. روش شاخص زون جریان روشی برای ارزیابی کیفیت مخزنی است که روابط بین تخلخل و تراوایی را می‌تواند از مقیاس پلاگ تا چاه نمایش دهد. این روش توسط فرمول امافوله [19]محاسبه شده است. برای نمایش توزیع واحدها بر اساس فرمول شاخص زون جریان از دو نمودار آماری آنالیز احتمال نرمال و نمودار توزیع تجمعی استفاده شده است. بر اساس نقاط شکست، در هر دو نمودار ۷ واحد تفکیک شدند. یکی از روش‌های تعیین واحدهای مخزنی بر اساس روش لورنز اصلاح شده بر مبنای چینه نگاری است. در این روش که بر اساس ترسیم ظرفیت تجمعی جریان در مقابل ظرفیت تجمعی ذخیره می‌باشد، هشت واحد جریان‌ی تفکیک شدند و مشابه روش‌های سابق در هر یک از واحدها سه پارامتر آماری محاسبه شدند. وینلند برای مجموعه-ای از نمونه‌های آهکی و ماسه‌ای، رابطه‌ای را میان تخلخل، تراوایی و شعاع گلوگاه حفزه در ۳۵ درصد اشباع جیوه ارائه داد. بر اساس معادله وینلند [17] در چاه مورد مطالعه ۷ واحد مخزنی تفکیک شدند که واحد ۱ حاوی حفرات بسیار درشت (بزرگتر از ۶۰۰ میکرون) و واحد ۷ حاوی حفراتی در اندازه نانو است. در هر واحد مقادیر تخلخل در مقابل تراوایی ترسیم و ضریب تعیین محاسبه شد.

هدف از مطالعات مخزن پیش‌بینی خصوصیات و عوامل کنترل کننده مخزن بر اساس داده‌های محدود موجود از چاه‌های مورد مطالعه است [16]. در این مطالعه از پنج روش برای تعیین گونه‌های سنگی استفاده شد. به طور کلی در تحلیل پارامترهای آماری مورد استفاده در این تحقیق هر چه R^2 به مقدار ۱ نزدیکتر و پارامترهای SE و CV به صفر نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده کمتر بودن انحراف معیار و همگن‌تر بودن واحد تفکیک شده است.

در روش تعیین گروه‌های رخساره‌ای نمودار تخلخل در مقابل تراوایی ترسیم و محاسبه ضریب تعیین یا R^2 برای هر گروه مقادیر نامطلوبی ارائه داد. بیشترین مقدار R^2 معادل ۰.۲۷ و متعلق به کدرخساره ای MF7 یعنی بایوکست پکستون متعلق به محیط لاگون بود. بالاترین مقدار ضریب تغییرات یا CV معادل ۰.۴۵ برای رخساره پلویید الئید گربنستون (MF9) از محیط سدی بود. کمترین مقدار SE معادل ۰.۴ مربوط به رخساره انیدریت (MF1) در محیط بالای جزرومدی بود. به طور کلی R^2 و CV مقادیر قابل نامطلوبی ارائه دادند و SE نیز نسبتاً قابل قبول بود. این سه پارامتر در نشان دادن دقت تفکیک واحدها طی گروه‌بندی رخساره‌ای با همدیگر همخوانی نداشتند. دلیل این موضوع از لحاظ آماری و اثرگذار بر سه پارامتر مورد استفاده، متأثر از حضور انواع رخساره‌ها با مقادیر تخلخل و تراوایی متفاوت در یک گروه رخساره‌ای باشد؛ گرچه به لحاظ خصوصیات رسوبی نظیر بافت و آلومک، رخساره‌ها شباهت دارند و به لحاظ مطالعات کیفی دیاژنزی نیز متعلق به محیط دیاژنزی معین هستند.

Statistical evaluating parameters for FZI method	CV	RT based on FZI			Probability	Cumulative
		RT1	0.34	0.54		
		RT2	0.38	0.19		
		RT3	0.37	0.22		
		RT4	0.17	0.16		
		RT5	0.18	0.14		
		RT6	0.12	0.09		
	SE	RT7	0.07	0.12		
		RT based on FZI	Probability	Cumulative		
		RT1	0.00	0.01		
		RT2	0.01	0.02		
		RT3	0.04	0.04		
		RT4	0.08	0.09		
		RT5	0.19	0.17		
	R ²	RT6	0.34	0.27		
		RT7	0.42	0.53		
		RT based on FZI	Probability	Cumulative		
		RT1	0.48	0.26		
		RT2	0.43	0.6		
		RT3	0.45	0.61		
		RT4	0.67	0.52		
		RT5	0.81	0.82		
		RT6	0.71	0.63		
		RT7	0.73	0.69		

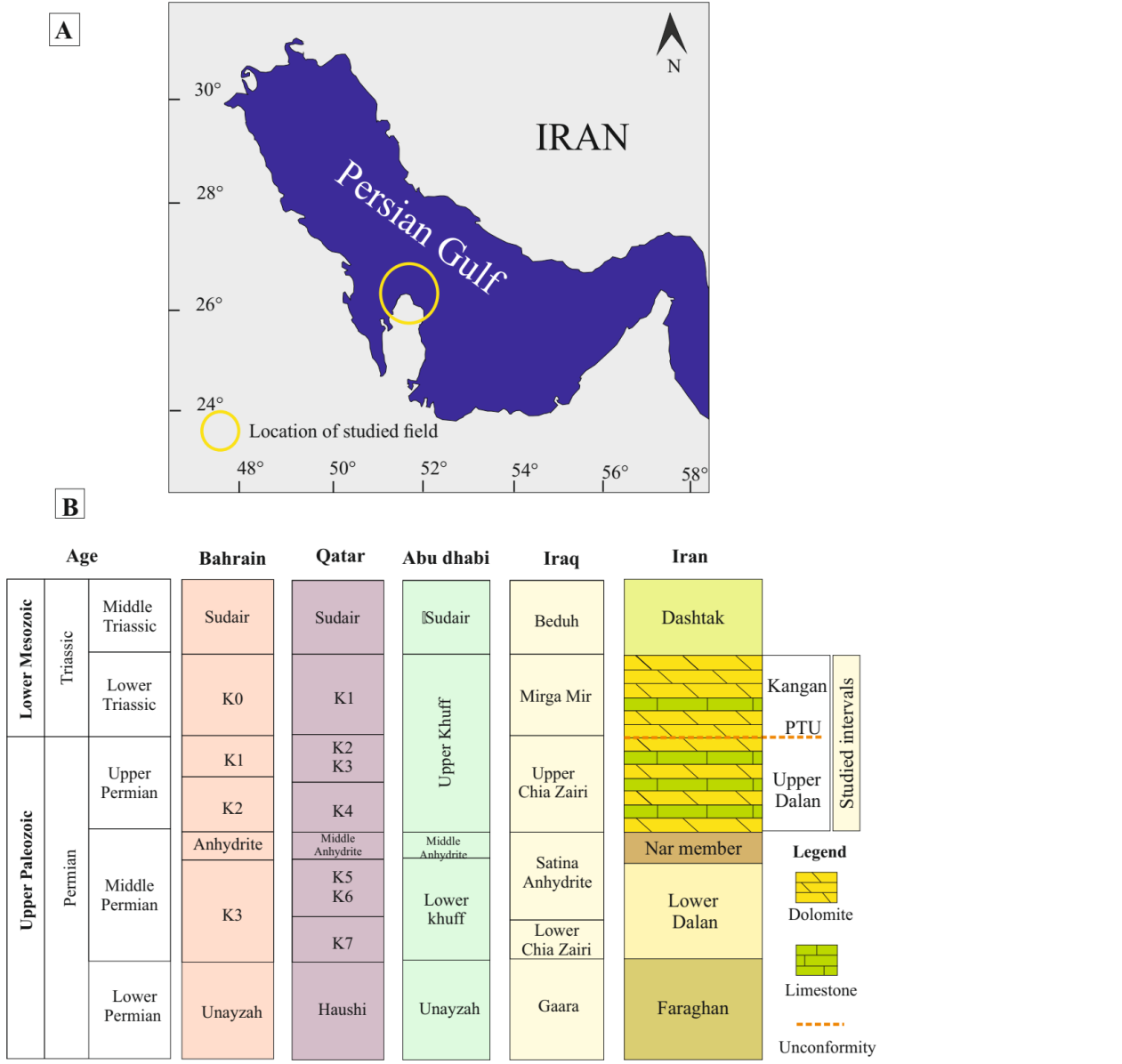
جدول محاسبه پارامترهای آماری در هر یک از گونه‌های سنگی تعیین شده در متد شاخص منطقه جریان را نشان می‌دهد.

چکیده

طبقه بندی ویژگی‌های مخزنی و تعیین گونه‌های سنگی با روش‌های مختلف منجر به ساده‌سازی تحلیل مخزن و کاهش ناهمگنی آن می‌شود. از خصوصیات مختلف مخزن در روش‌های مختلف تعیین گونه‌های سنگی و واحدهای مخزنی استفاده می‌شود. هرچند تعیین گونه‌های سنگی مخزنی در مطالعات مختلفی مورد بحث قرار گرفته است، اما مقایسه آماری و بررسی دقت و صحت آنان چندان مورد توجه نبوده است. هدف از این مطالعه در ابتدا تعیین واحدهای ناهمگنی به کمک روش‌های متداول تعیین گونه‌های سنگی و در مرحله بعد اعتبارسنجی هر یک از روش‌ها به کمک پارامترهای آماری در سازندهای کنگان و دالان در بخش مرکزی خلیج فارس است. به این منظور بر دو پارامتر تخلخل و تراوایی از میان مشخصه‌های مخزنی تمرکز شد. این پارامترها به صورت مستقیم و غیرمستقیم در روش‌های مورد نظر شامل تعیین گروه‌های ریزرخساره‌ای، شاخص منطقه جریان (FZI)، روش‌های لوسیا، لورنز و وینلند استفاده شده‌اند. برای تفکیک واحدهای مخزنی در روش‌های شاخص منطقه جریان و شاخص ناحیه جریان از آنالیز احتمال نرمال و نمودار توزیع تجمعی استفاده شد. همچنین گروه‌های ریزرخساره بر اساس فراوانی و توزیع تخلخل و تراوایی در هر گروه رخساره‌ای تفکیک شدند. ارزیابی دقت تفکیک واحدها و گونه‌های سنگی در هر یک از ۵ روش مذکور توسط سه معیار آماری خطای استاندارد (SE)، ضریب تعیین (R^2) و ضریب تغییرات (CV) انجام شد. سپس در هر یک از واحدهای تفکیک شده توزیع خصوصیات زمین‌شناسی نظیر رخساره‌ها و فرایندهای دیاژنزی بررسی شدند. آنالیز احتمال نرمال در روش شاخص منطقه جریان نشان داد که هر سه پارامتر آماری مذکور در مقایسه با سایر روش‌ها به استانداردترین مقدار خود نزدیک بودند. این موضوع ناشی از تأثیر مستقیم پارامترهای تخلخل و تراوایی مخزن بر فرمول تعیین شاخص منطقه جریان و از نظر آماری ناشی از به حداقل رساندن انحراف معیار طی آنالیز احتمال نرمال است.

مقدمه

مخازن کربناته ذاتاً ناهمگن هستند. به این معنی که خصوصیات پتروفیزیکی از جمله تخلخل و تراوایی توزیع متغیری در حجم مخزن دارند. برای افزایش بهره‌وری از مخازن هیدروکربوری شناخت متغیرهای مخزنی و بررسی دقیق ناهمگنی مخازن اهمیت دارد. عدم قطعیت در توسعه مخازن کربناته منجر به نیاز به درک ناهمگنی در مقیاس‌های مختلف (از مقیاس نمونه تا مقیاس میدان) می‌گردد. ناهمگنی در مخازن با ابزارها و روش‌های مختلف مشخص می‌شود. هدف از این تحقیق بررسی ناهمگنی سنگ مخزن مورد مطالعه توسط پنج روش متداول کمی در تعیین گونه‌های سنگی و سپس بررسی تأثیر پارامترهای آماری بر صحت‌سنجی گونه‌های سنگی تفکیک شده است. بررسی ناهمگنی از دیدگاه‌های مختلف با داده‌ها و روش‌های متفاوت توسط بسیاری از محققان انجام شده است. به عبارت دیگر، ناهمگنی از نظر رسوب شناسی، دیاژنزی، چینه‌نگاری سکناسی، تکنونیک و پتروفیزیکی مورد بررسی قرار گرفته است [1-15]. در هر روش گونه‌های سنگی با تقسیم مخزن به واحدهای مجزایی که در شرایط مشابه تشکیل شده‌اند، تعیین می‌شود. تعیین ریزرخساره و تحلیل دیاژنز با استفاده از مقاطع نازک اولین گام‌ها در تعیین گونه‌های سنگی هستند [16]. گونه‌های سنگی بر اساس روش‌های کیفی و کمی زمین‌شناسی قابل تفکیک هستند. بر اساس داده‌های پتروفیزیکی روش‌های متفاوتی ارائه شده است. به عنوان مثال بر اساس منحنی فشار موئینگی تزریق وینلند معادله‌ای را منتشر کرد که توسط کلدزی [17] منتشر شد. شاخص ناحیه جریان توسط رنسون [18] معرفی شده است. امافوله و همکارانش [19] شاخص منطقه جریان را بر اساس شاخص کیفیت مخزن و نسبت تخلخل به ماتریس تعریف کردند. روش تعیین عدد فابریک سنگ (RFN) توسط جینگ و لوسیا [20] بر اساس اندازه ذرات، جورشدگی، تخلخل بین دانه‌ای و واگی ساخته شد. بنابراین هر روش تعیین گونه سنگی می‌تواند مجموعه داده‌ها را به گروه‌های با ناهمگنی کمتر تقسیم کند. برای مقایسه دقیق واحدهای مخزنی، باید ناهمگنی واحدها را به صورت کمی ارزیابی کنیم [16]. بررسی صحت نتایج طبقه‌بندی کمی مخزن برای محققان یک چالش است. ارزیابی آماری نتایج گونه‌های سنگی ملایمی برای انتخاب مناسب‌ترین مدل است. برای این منظور، چندین پارامتر آماری تعریف شده است. اگر نتایج گونه‌های سنگی فقط بر اساس داده‌های طبقه‌بندی شده ارزیابی شود، به آن ارزیابی داخلی می‌گویند [21-22]. برای ارزیابی دقت روش‌های طبقه‌بندی، معیارهای آماری مختلفی معرفی شده است. در این مطالعه، سه معیار آماری متداول شامل ضریب تغییر، خطای استاندارد و ضریب تعیین استفاده و باهم مقایسه شده-اند. روشی که بیشترین شباهت در کلاس‌ها را با کمک هر سه شاخص نشان دهد، مناسب‌ترین روش تعیین گونه‌های سنگی و تفکیک واحدهای ناهمگن مخزنی محسوب می‌شود. همچنین در این مطالعه، توانایی روش‌های مختلف تعیین ناهمگنی در مخزن با تمرکز بر روی داده‌های تخلخل و تراوایی حاصل از مغزه بررسی می‌شود.



موقعیت منطقه و ستون چینه‌شناسی سازندهای مورد مطالعه و مقایسه با سازندهای همجوار