نشریه علمی– پژوهشی زمین شناسی نفت ایران
Iranian Joural of Petrolum Geology

سال پنجم، شماره ۱۰، پائیز و زمستان ۱۳۹٤ص٦٧-٨٦
No. 10, Autumn & Winter 2015, pp. 62-80

کاربرد روش های خوشه سازی (MRGC, AHC, DC, SOM) درتعیین تراوایی سنگ مخزن کربناته، سازند ایلام در جنوب غرب ایران

سید علی معلمی *[۱]، فرهاد خوشبخت[۲]، سکینه نقدی[۳]

[۱] عضو هیئت علمی دانشگاه پژوهشگاه صنعت نفت پژوهشکده ازیاد برداشت از مخازن نفت و گاز

[۲] پتروفیزیست و عضو هیئت علمی پژوهشگاه صنعت نفت , پژوهشکده مطالعات مخزن

[۳] کارشناس ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

moallemisa@gmail.com, khoshbakhtf@gmail.com, naghdi.sakineh @gmail.com

دریافت اردیبهشت ۱۳۹۵، پذیرش مرداد ۱۳۹۵

چکیده

تراوایی یکی از پارامترهای مخزنی مهم است که در محاسبات و مدل‌سازی‌های مخزن نقش موثری ایفا می‌کند .روش مستقیم اندازه گیری آن از طریق مغزه های گرفته شده از لایه های مخزنی حاصل می شود .ولی با توجه به محدود بودن مقدار مغزه های گرفته شده در یک میدان و همچنین هزینه های زیاد روش های آزمایشگاهی؛ استفاده از روش های غیرمستقیم در چاه های فاقد مغزه به منظور تعیین مقدار تراوایی ارزش به سزایی دارد .در این پژوهش با استفاده از روش های خوشه سازی با کمک لاگ های پتروفیزیکی مقدار تراوایی اندازه گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بدین منظور لاگ های پتروفیزیکی سازند ایلام از۸ حلقه چاه انتخاب و علاوه بر آن از داده های تراوایی اندازه گیری شده آزمایشگاهی ۳ حلقه برای مقایسه نتایج مورد استفاده قرار گرفته است. لاگ تراوایی ابتدا با استفاده از پارامتر تخلخل موثر در چاه A که دارای داده های تراوایی مغزه بود، تخمین زده شد و پس از بررسی میزان دقت تخمین، محاسبات در سایر چاه های مورد مطالعه نیز صورت گرفت. در گام بعدی، با استفاده از روش های خوشه بندی، تراوایی تخمین زده شد. سپس نتایج بدست آمده با داده های آزمایشگاهی و تعیین ضریب همبستگی، بهترین روش معرفی شده است. بدین ترتیب با مقایسه ۴ روش خوشه سازی SOM, MRGC, AHC & DC روش MRGC با ضریب همبستگی۰،۹۱پاسخ مناسبی نسبت به بقیه روش ها ارایه داده است.

کلمات کلیدی: خوشه سازی، تراوایی،سازند ایلام، نمودار های چاه پیمایی.

۱- مقدمه

تراوایی از مهمترین خصوصیات سنگ مخزن می باشد که در تمامی مراحل اکتشاف، تولید وتوسعه مخازن نفتی نقش تعیین کننده ای دارد .به دلیل اینکه هیچ روش مستقیمی برای تعیین این خصوصیت در مخازن نفت وجود نداردلذا روش های زیادی برای تخمین آن از سایر داده های حاصل از چاه پیشنهاد شده است که هیچ کدام قادر به ارایه راهکار جهان شمولی برای تعیین تراوایی نیستند. در این مطالعه تراوایی در یک مخزن کربناته با ۴ روش اصلی خوشه بندی شامل SOM, MRGC, AHC & DC انجام شده است .

برای یک سنگ مخزن صرف داشتن تخلخل پر از نفت یا گاز کافی نیست بلکه خلل و فرج باید به هم متصل باشند تابه هیدروکربن اجازه حرکت به داخل و خارج مخزن را بدهند .تراوایی در واقع توانایی محیط متخلخل برای انتقال سیال است. همچنین از مهمترین خصوصیات سنگ مخزن می باشد به طوری که در تمامی مراحل اکتشاف، تولید و توسعه مخازن نفتی نقش تعیین کننده‌ای دارد[۵].

آنالیز خوشه ای و خوشه سازی دسته بندی مشاهدات در زیر گروه هایی است که خوشه نامیده می-شود .تقسیم بندی مجموعه داده ها به گرو ه های مشخص بر اساس انداز ه گیری شباهت یا تفاوت بین گروه ها می باشد که داده‌های موجود در هر گروه بیشترین شباهت را با یکدیگر و بیشترین تفاوت را باداده های موجود در گروه های دیگر دارند .خوشه سازی یک روش آموزش با یادگیری است و یک روش معمول برای آنالیز داده های آماری در بسیاری از زمینه ها است .هریک ازخوشه های بدست آمده دارای ویژگی های خاص خود هست که هم آن را از خوشه های دیگر تفکیک می کند وهم تفسیر آن راحت تر آنجام می گیرد [۲۲].

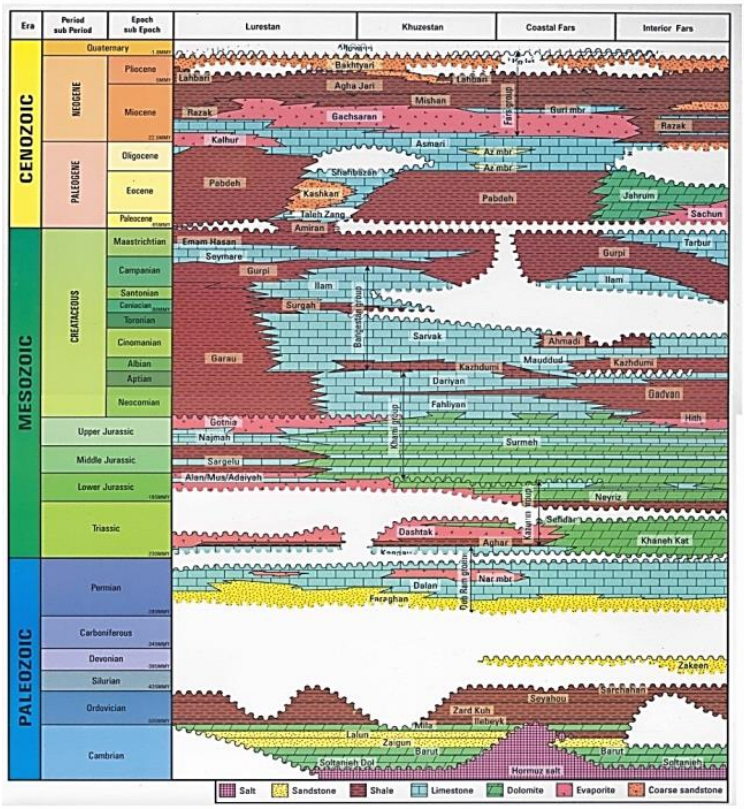
اصطلاح الکتروفاسیس اولین بار توسط سرا و ابوت[۲۰] معرفی و به صورت مجموعه ای از پاسخ لاگ ها که یک لایه را مشخص می کند و تشخیص آن لایه را ازدیگر لایه ها ممکن می سازد، تعریف گردید.الکتروفاسیس عبارت است از مجموع های ازپاسخ لاگ که مشخص کننده یک لایه یا چینه بوده و باعث تفکیک آن از لایه های (چینه های) دیگر می گردد.[۲۰] در چاه های بدون مغزه رخساره های رسوبی بصورت مستقیم قابل تفکیک و تشخیص نیستند و رخساره ها از داده های پتروفیزیکی استنباط می شوند[۲۱].

رخساره الکتریکی بر مبنای خوشه بندی (Clustering) داده ها تعریف می شود. خوشه سازی یک روش آموزش با یادگیری است و یک روش معمول برای آنالیز داده های آماری در بسیاری از زمینه ها است. خوشه بندی با یافتن یک ساختار درون یک مجموعه از داده های بدون برچسب دیگر می‌باشد. هدف یافتن خوشه هایی از داده ها در بین نمونه‌های ورودی می باشد، اما در واقع هیچ معیار مطلقی برای بهترین خوشه بندی وجود ندارد بلکه این بستگی به مسأله و نظر کاربر دارد که باید تصمیم بگیرد که آیا نمونه ها به درستی خوشه بندی شده‌اند یا خیر. با این حال معیار های مختلفی برای خوب بودن یک خوشه بندی ارائه شده است که می‌توانند کاربر را برای رسیدن یه یک خوشه بندی مناسب راهنمایی کند. یکی از مسائل مهم در خوشه بندی انتخاب تعداد خوشه می‌باشد. در بعضی از الگوریتم ها تعداد خوشه ها از قبل مشخص شده است و در بعضی دیگر خود الگوریتم تصمیم می‌گیرد که داده به چند خوشه تقسیم شود.خوشه بندی، اشیاء را براساس ویژگی‌هایی که با هم دارند گروه بندی می‌کند. هدف اصلی در خوشه بندی تقسیم بندی اشیاء به گونه‌ای است که بیشترین شباهت در یک گروه و بیشترین تفاوت با اشیاء گروه‌های دیگر را دارا باشد. بعنوان تعریف ساده‌تر می‌توان گفت که اشیاء در خوشه مخصوص خود دارای بیشترین شباهت و در برابر اشیای متعلق به خوشه‌های دیگر دارای بیشترین تفاوت هستند. در واقع خوشه‌بندی داده‌ها را از هم جدا می‌کند و هر خوشه داده‌های مخصوص خود را دارد و از تداخل داده در خوشه جلوگیری می‌شود.برای اولین بار در سال (۱۹۵۹) سیلنگر وکریشتون نام آهک بنگستان را به ردیفی اطلاق نمودند که قبلا به اسامی آهک کرتاسه میانی,آهک رودیست دار,آهک هیپوریت دارو یاآهک لشتگان خوانده می شد. James & wynd (1965) این نام را به گروه بنگستان ارتقاء داده و آن را شامل سازندهای سورگاه، سروک، کژدمی و ایلام دانستند.

هدف اصلی در این مطالعه بررسی و کاربرد روش های مختلف خوشه سازی، جهت تعیین نفوذ پذیری مخزنی در میدان مورد مطالعه است.

۲- موقعیت جغرافیایی

سازند ایلام به سن (سانتونین– کامپانین) مربوط به دوران مزوزییک بوده و.برش نمونه این سازند در تنگ گراب واقع در یال جنوب باختری کوه سورگاه و پلانچ شمال باختری کبیرکوه در ۱۲کیلومتری جنوب شهرستان ایلام انتخاب و اندازه گیری شده است و مختصات قاعده برش نمونه به ۰"۶ ′۱۹ °E:۴۶ و "۰۹′۳۵ °N:۳۳ است. جنس آن آهکی و شیلی است وتخلخل مفید ومهم این سازند از نوشکستگی است .این سازند دارای ذخایر فرعی و کوچک نفتی در میادین آب تیمور, اهواز, امام حسن ومنصوری و دارخوین و هم چنین دارای ذخایر گاز در میدان حلوش است[۹]. سازند ایلام روی سازند شیلی لافان یا به طور محلی روی سازند سورگاه ویا مستقیما روی سازند سروک قرارمی گیرند. این سازند معروفترین مخزن اواخر دوران کرتاسه در ایران است که اغلب با سازند سروک که در زیر آن قرار گرفته به صورت پیوسته می باشد[۱].



شکل ۱. چینه شناسی زاگرس(شولومبرگر).

۳- روش کار

داده های مورد استفاده در مطالعه حاضر، شامل اطلاعات نمودارهای چاه پیمایی در تعداد ۸ حلقه چاه است که سازند مخزنی و مورد مطالعه در این ۸ حلقه چاه، سازند کربناتی ایلام میباشد. از چاه های مورد مطالعه، تنها در ۳ حلقه چاه، علاوه بر اطلاعات

نمودارهای چاه پیمایی، داده های تراوایی حاصل از آنالیز مغزه در دسترس است. جدول (۱) داده های موجود در چاه های مورد مطالعه را نمایش می دهد.

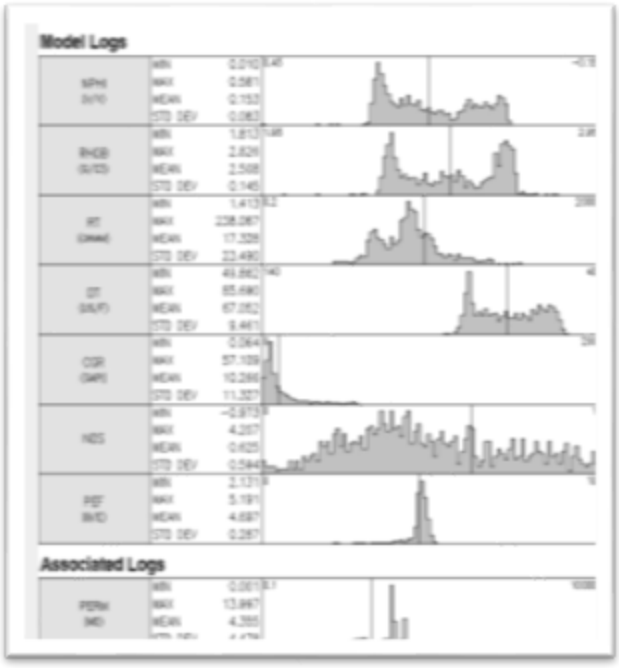
جدول ۱. اطلاعات موجود در چاه های مورد مطالعه.

	WELL-A	WELL-B	WELL-C	WELL-D	WELL-E	WELL-F	WELL-G	WELL-H
Wireline Log	Depth 3101-3293.5	Depth 3060-3264	Depth 3067-3197.5	Depth 3093-3315	Depth 3119-3320	Depth 3152-3356	Depth 3160-3361	Depth 3070-3285.5
	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS
	CALIPER	CALIPER	CALIPER	CALIPER	CALIPER	CALIPER	CALIPER	CALIPER
	CGR	CGR	CGR	CGR	CGR	CGR	CGR	CGR
	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT
	LLD	ILD	ILD	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
	LLS	ILS	ILS	LLS	LLS	LLS	LLS	LLS
	PEF	PEF	PEF	PEF	PEF	PEF	PEF	PEF
	RT	RT	RT	RT	RT	RT	RT	RT
	PHIE	PHIE	PHIE	PHIE	PHIE	PHIE	PHIE	PHIE
	NDS	NDS	NDS	NDS	NDS	NDS	NDS	NDS
	DRHO	_	_	_	DRHO	DRHO	DRHO	DRHO
	POTA	POTA	_	_	POTA	POTA	POTA	POTA
	THOR	THOR	THOR	_	THOR	THOR	THOR	THOR
	URA	URA	URA	_	URA	URA	URA	URA
	NPHI	NPHI	NPHI	NPHI	NPHI	NPHI	NPHI	NPHI
	RHOB	RHOB	RHOB	RHOB	RHOB	RHOB	RHOB	RHOB
Core	PERM	PERM	PERM	_	_	_	_	_

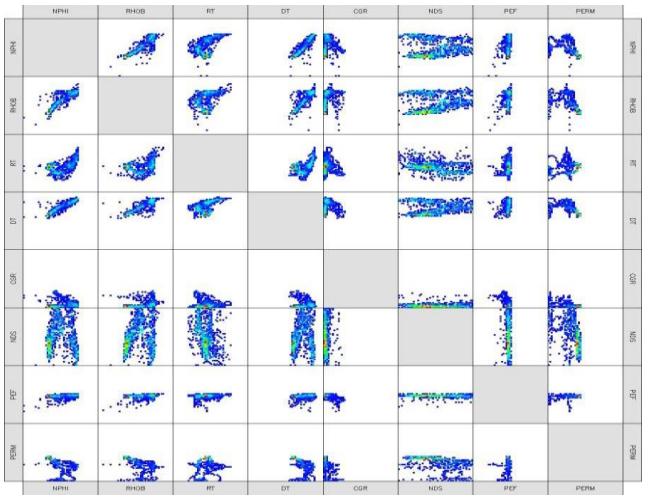
خوشه بندی داده ها پایه و اساس الگوریتم های مدلسازی و دسته بندی محسوب می شود(کدخدایی ایلخچی و همکاران ۱۳۸۴). روش های خوشه بندی بسیار زیاد استفاده می شوند برای آنالیزهای رخساره های الکتریکی (Electrofacies Analysis) و تخمین خصوصیات پتروفیزیکی. بوسیله یکپارچه سازی این روش ها با روش های هوشمند، برخی روش های جدید ازقبیل SOM و MRGC ساخته شدند (Kohonen 2001؛Ye and Rabiller 2000). در این مرحله از ۴ روش خوشه سازی Dynamic Clustering (DC)، Ascending Hierarchical Clustering (AHC)، Self Organizing Map (SOM) و Multi-Resolution Graph-Based Clustering (MRGC) برای تخمین تراوایی استفاده شد.

ابزار اصلی در اختیار گرفته برای انجام عملیات خوشه سازی، نمودارهای چاه پیمایی به همراه اطلاعات مغزه حفاری است. لاگ هایی که بعنوان ورودی مدل انتخاب می شوند، چون باید در تمام چاه های مورد مطالعه مدل ساخته شده اعمال گردد، درنتیجه این لاگ ها باید در تمامی چاه ها موجود باشند. لاگ های ورودی نیز بر اساس لاگ یا رخساره ای که باید تخمین زده شود و ارتباط آن با لاگ های این لاگ ها انتخاب می شوند. با این معنی که لاگ تراوایی، عموما با لاگ های تخلخل ارتباط معناداری دارد، درنتیجه انتخاب اول ما برای انتخاب لاگ، لاگ هایی خواهد بود که ارتباط نزدیک تری با لاگی که قرار است تخمین زده شود داشته باشند. در اینجا با توجه به جدول(۱)که اسامی لاگ های موجود در چاه های مورد مطالعه را نمایش می دهد، لاگ های نوترون (NPHI)، چگالی (RHOB)، مقاومت ناحیه دست نخورده سازند (RT)، صوتی (DT)، گاما (CGR)، تخلخل بدست آمده از سه لاگ تخلخل (NDS) و فتوالکتریک (PEF) بعنوان لاگ ورودی مدل انتخاب شدند. لاگ تراوایی مغزه نیز بعنوان ناظر عملیات خوشه سازی در

مدل وارد شد. شکل (۲) نمودار فراوانی و شکل (۳) نمودار متقاطع لاگ های ورودی مدل را به همراه لاگ تراوایی مغزه را در چاه A نمایش می دهد.



شکل ۲. نمودار فراوانی لاگ های ورودی و داده تراوایی مغزه.



شکل ۳. نمودار متقاطع لاگ های ورودی مدل و داده تراوایی مغزه در چاه A.

۴- بحث

۴-۱- تعیین تراوایی با استفاده از روش خوشه سازی چند تفکیکی گرافیکی(MRGC)[1]

الگوریتم خوشه بندی چند تفکیکی بر پایه گراف برای شناسایی خوشه ها در مجموعه ی داده ها، برای هر مشاهده اندیس همسایگی را محاسبه می کند .در ادامه، گروه های طبیعی کوچکی از نقاط که دسته های جذب نامیده می شوند، بر مبنای استفاده از نزدیکترین

[1] Multi resolution graph based clustering

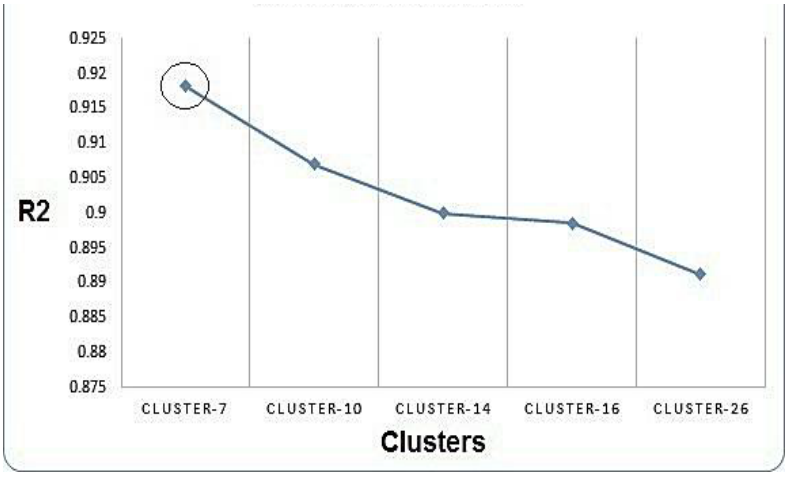
همسایه برای هر نقطه تشکیل می شود .مستقل از تشکیل گروههای K- اندیس همسایگی، به منظور تعیین جذب طبیعی، تعداد بهینه خوشه ها بر مبنای اندیس شاخص کرنل و دقت تعیین شده توسط کاربر محاسبه می شود .در نهایت، بر مبنای داده های محاسبه شده از مراحل قبل، با ادغام دسته های جذب خوشه های نهایی تشکیل می شوند. در واقع خوشه سازی براساس نمودار با تفکیک پذیری چندتایی (MRGC) یک روش آماری ناپارامتری است که مشکل وابستگی به بعد را از بین می برد و اطلاعات مفیدی در موردرخساره های زمین شناسی از ساختار خود داده به دست می آورد (شین جویه و رابیلر،2000)

با عبور ابزار نمودارگیری در امتداد یک توالی از چاه یک دسته اندازه‌گیری صورت می‌گیرد. هر سطح از این توالی یک نقطه برداشت (Sample Point) در فضای چند بعدی می‌باشد که توسط لاگ های مختلف تعریف می‌شود. مختصات نقطه برداشت تابعی از قرائت لاگ در آن سطح می‌باشد، بنابراین این نقاط برداشت بدست آمده یک نمودار پراکندگی را درون این فضای چند بعدی تشکیل می‌دهند. نقاط برداشت این دیاگرام برای شناخت یک سری مدهای شاخص بکار می‌روند، هر یک از این مدها به یک ناحیه با حداکثر چگالی در توزیع این نمونه ها منطبق می‌باشند و هر مد به عنوان شاخص خوشه مربوطه به می‌آید و نمونه های پیرامون این خوشه به آن مرتبط دانسته می‌شود. برای توصیف این مدها به هر یک رخساره ای (تیپ سنگی) نسبت داده می‌شود و می‌توان آن را به عنوان تابعی از عمق بصورت گرافیکی نشان داد. برای شناسایی خوشه ها در مجموعه داده ها برای هر نقطه اندازه گیری لاگ اندیس همسایگی محاسبه می‌شود. در ادامه، گروه های طبیعی کوچکی از نقاط (که دسته های جذب نامیده می شوند) بر مبنای استفاده از اندیس همسایگی به منظور تعیین جذب K نزدیکترین همسایه (KNN) برای هر نقطه تشکیل می‌شود. مستقلا از تشکیل گروه های طبیعی تعداد بهینه خوشه ها بر مبنای اندیس شاخص کرنل (KRI) و دقت تعیین شده توسط کاربر محاسبه می‌شود. در نهایت بر مبنای داده های محاسبه شده از مراحل قبل، با ادغام دسته های جذب (Attraction Sets) خوشه های نهایی تشکیل می‌شوند. الگوریتم‌های بسیاری برای خوشه بندی وجود دارد و تقریبا همه آنها نیازمند این هستند که داده ها نرمالیزه باشند. چندین راه برای نرمالیزه کردن داده‌ها وجود دارد یک روش کلاسیک که به فراوانی مورد استفاده قرار می‌گیرد، محدود کردن داده ها در یک هیپرکیوب (Hypercube) واحد می‌باشد. در هر بعد، حداقل مقدار بعد از داده ها کم می‌شود و این تفاضل به دامنه کلی داده ها در آن بعد تقسیم می‌شود. در روش دیگر مقدار متوسط هر خصوصیت از داده ها کم شده و حاصل این تفاضل به انحراف معیار داده ها تقسیم می‌شود. نرمال سازی (Normalization) فاصله بین نقاط داده را تغییر می‌دهد و بر جدایش طبیعی نقاط داده تأثیر می‌گذارد، اما برای ممانعت از انتخاب نامناسب مقیاس در یک بعد و غالب شدن اندازه گیری ها در ابعاد دیگر ضروری می‌باشد.الگوریتم های خوشه بندی را می‌توان به دو گروه پارامتری و ناپارامتری تقسیم کرد، غالبا الگوریتم های پارامتری مطلوبیت کمتری نسبت به الگوریتم های نا پارامتری دارند، زیرا الگوریتم های پارامتری بر مبنای برخی از مدل‌های داده‌ها هستند، درحالی‌که الگوریتم‌های ناپارامتری هیچ فرضی را درمورد الگوی داده‌ها نمی‌سازند. شناسایی خوشه هایی با اشکال متفاوت یکی از مزیت های الگوریتم های ناپارامتری است.

روش MRGC یکی از معدود روش های غیر پارامتریک و بسیارمناسب برای مطالعه و تحلیل خوشه ای داده های حاصل از چاه نگارها و مغزهای حفاری است .این روش مزیت های چندی همچون قدرت شناسایی الگوهای طبیعی موجود در نگارها، بی نیازی از دانش قبلی درمورد داده ها، پیشنهاد خودکار بهترین تعداد خوشه ها، کمترین پارامترها وعدم حساسیت به تغییرات آنها وعدم محدودیت در نوع و تعداد داده ها وخوشه ها را دارد. [۱۹] یک مثال از روش های ناپارامتری تقسیم فضای مشاهده به هیپرکیوب

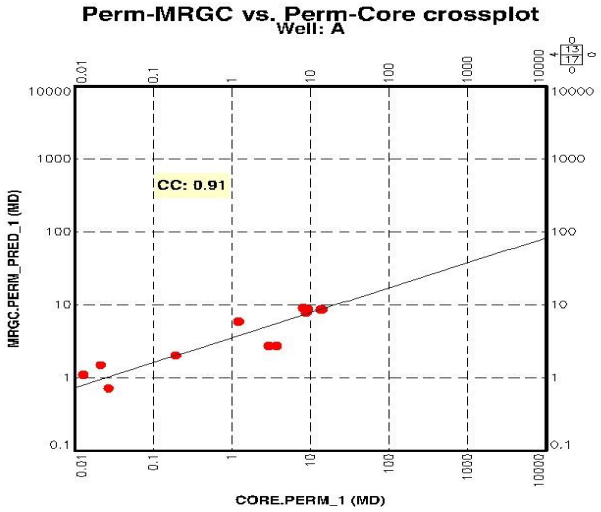
های منظم با اندازه ثابت و تخمین تابع چگالی بر مبنای تعداد نقاط اندازه‌گیری در هر هیپرکیوب می‌باشد.به علاوه هنگامی که خوشه های متراکم و یا خوشه هایی با ابعاد و چگالی های متفاوت در داده ها وجود داشته باشد این روش با مشکلات حادی روبرو می‌شود. مثال دیگر روش ناپارامتری روش K نزدیکترین همسایه یا روش KNN می‌باشد. در این روش به جای تخمین تابع چگالی احتمال، با تعیین تعداد نقاط موجود در حجم داده ها (Data Volume) با اندازه گیری حجمی که توسط داده ها اشغال شده است، تابع چگالی احتمال تخمین زده می‌شود. روش K نزدیک ترین همسایه تابع چگالی احتمال، پیرامون یک نقطه را با تعیین شعاع از آن نقطه تا K امین نزدیکترین همسایه برآورد می‌کند.

در اینجا علاوه بر لاگ های ورودی و داده مغزه بعنوان ناظر، حد بالا و پایین دسته ها به ترتیب ۵ و ۳۵دسته با حداقل ۵ مدل بهینه درنظر گرفته شد. در بین مدل های استفاده شده، مدل با ۷ خوشه، بهترین مطابقت را با داده های مغزه حفاری نشان داد. شکل زیر، میزان ضریب همبستگی لاگ های تخمین زده شده با خوشه های متفاوت را نشان می دهد که در شکل(۴) ملاحظه می شود میزان R2 (ضریب همبستگی)در لاگ تراوایی تخمین زده شده با ۷ خوشه بالاترین میزان را دارا است.



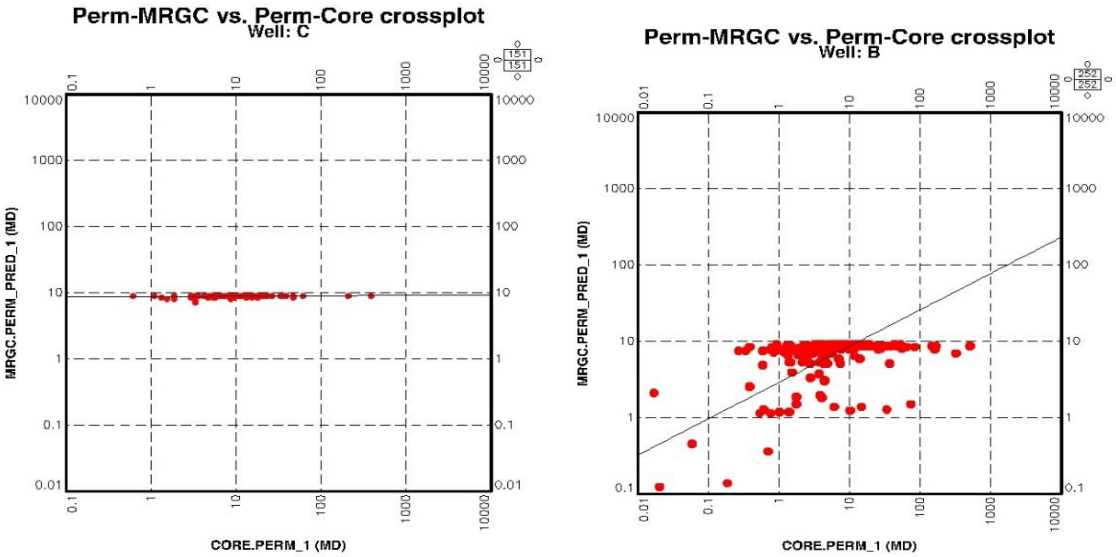
شکل ۴. میزان R2 در مدلهای مختلف MRGC با خوشه های متفاوت.

که درنهایت پس از پلات کردن لاگ تراوایی تخمین زده شده با تراوایی مغزه در چاه A، بیشترین میزان ضریب همبستگی (Coherence Coefficient) در لاگی که با ۷ خوشه تخمین زده شده بود نیز در شکل (۵) نشان داده شده است.

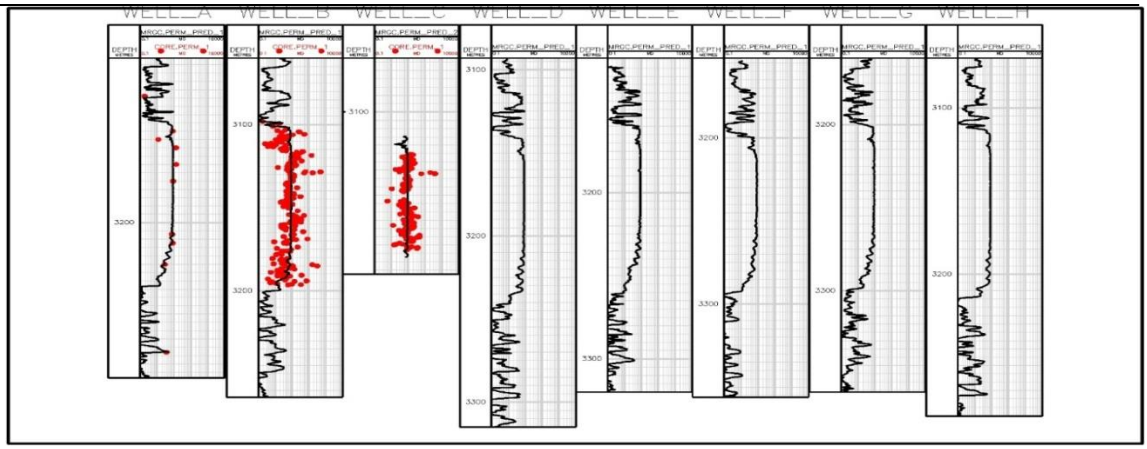


شکل ۵. نمودار متقاطع لاگ تراوایی تخمین زده شده به روش MRGC درمقابل تراوایی مغزه در چاه A.

درنتیجه ملاحظه شد که ضریب همبستگی (CC) بین لاگ تخمین زده شده به روش MRGC و تراوایی مغزه در حدود ۹۱ درصد بدست آمد که تخمین بسیار خوبی است. این مدل در چاه B نیز اعمال و سپس در چاه C اعمال شد. اعمال مدل در چاه C بدون نظارت داده مغزه صورت گرفت و پس از تخمین تراوایی که بصورت آزمایشی قبل از اعمال مدل در چاه های دیگر میدان در چاه C انجام شد، با داده مغزه در این چاه مقایسه و تخمین قابل قبولی مشاهده شد. شکل (۶)نمودار متقاطع تراوایی تخمین زده شده در مقابل تراوایی مغزه در چاه های B و C را نشان می دهد. همچنین لاگ تراوایی تخمین زده شده به روش MRGC نیز در کل چاه های مورد مطالعه نیز در شکل(۷)در توالی چاه ها نشان داده شده است.



شکل ۶. نمودار متقاطع تراوایی تخمین زده شده به روش MRGC در مقابل تراوایی مغزه در چاه B و C.



شکل ۷. تراوایی تخمین زده شده در چاه های مورد مطالعه به روش MRGC دوایر قرمز رنگ مربوط به نتایج تراوایی آزمایشگاهی است.

۴-۲- تعیین تراوایی با استفاده از روش خوشه سازی سلسله مراتب صعودی[۲](AHC)

هدف از آنالیز روش خوشه سازی سلسله مراتبی صعودی اندازه گیری شباهت ها و عدم شباهت ها بین داده ها و قرار دادن آنها در گروه هایی است که از لحاظ داخلی هموژن و از لحاظ خارجی جدا از گروه های دیگر هستند. خوشه سازی به روش AHC یک ابزار مفید و موثر برای زون بندی مخازن نفت و گاز و شناسایی زون های ژئوشیمیایی محسوب می‌شود و با استفاده از این روش می‌توان در ابعاد نامتناهی فضایی، خوشه ساخت. اما خوشه های ساخته شده حداکثر در سه بعد فضایی قابل مشاهده خواهند بود مثلا اگر لاگ نوترون و صوتی برای ساخت خوشه بکار ببریم فقط در دو بعد فضایی خوشه تشکیل می‌شود، اما اگر مجموعه کاملی از لاگ ها شامل نوترون، صوتی، اشعه گاما، چگالی و مقاومت را بکار ببریم در پنج بعد فضایی خوشه ها ساخته خواهند شد که بیش از سه بعد آن را نمی‌توان مشاهده کرد. خوشه سازی سلسله ای روشی برای گروه بندی داده ها به طور همزمان در مقیاس های مختلف با استفاده از درخت خوشه‌ای است این درخت یک مجموعه مستقل از داده ها نیست بلکه بیشتر به عنوان یک طبقه بندی چند سطحی است که خوشه ها در یک سطح پایین‌تر به خوشه های سطوح بالاتر متصل می‌شوند. این خاصیت به ما اجازه می‌دهد که تصمیم بگیریم کدام سطح یا مقیاس از خوشه سازی برای موضوع مورد نظر مناسب تر است

برای انجام تحلیل خوشه ای سلسله یا AHC لازم است مراتب زیر انجام گیرد:

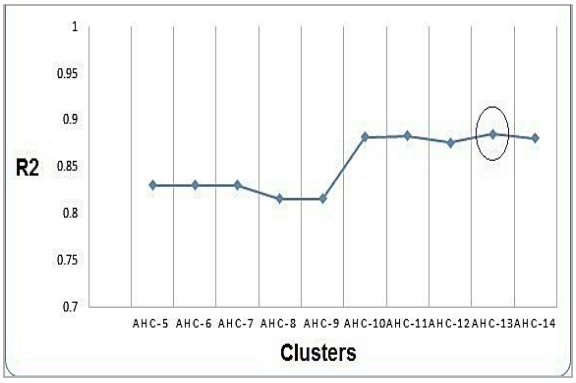
۱- پیدا کردن میزان شباهت میان بردارهای داده
۲- برقراری ارتباط میان شباهت ها
۳- ساخت درخت خوشه ها
٤- ارزیابی خوشه های تشکیل شده

یک روش دیگر برای شناسایی خوشه ها با استفاده از دندروگرام، مقایسه ارتفاع هر کدام داده های موجود در آن با ارتفاع مجاور آن می‌باشد.اگر ارتفاع یک گروه داده با داده مجاور آن برابر باشد دلالت بر نزدیکی داده ها داردو در یک سطح بالاتر این دو خوشه به هم متصل شده و یک خوشه واحد تشکیل می‌دهند.اگر ارتفاع دو خوشه مجاور با هم اختلاف داشته و فاصله آنها از هم زیاد باشد، بین آن دو ناسازگاری وجود دارد، یعنی بین داده های فوق اختلاف وجود دارد.بدین ترتیب هرچه ارتفاع داده ها به هم نزدیک

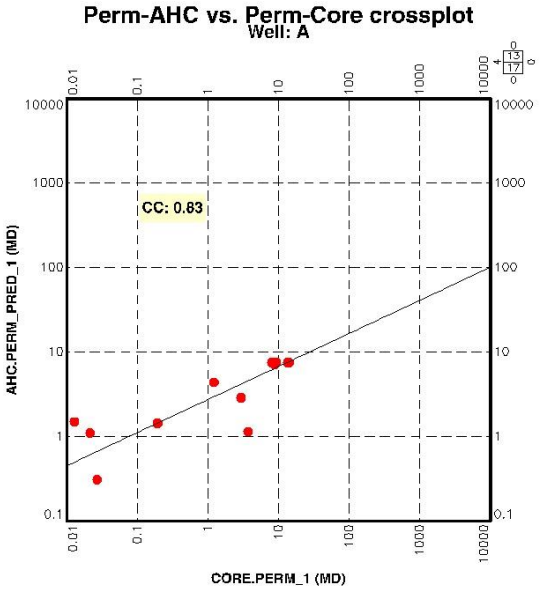
[2] Ascendant Hierarchical Clustring

یاشد سازگاری بهتری بین گروه داده ها وجود خواهد داشت و انتخاب دسته های خوشه بندی مناسب راحت خواهد بود. به طوری که هرچه ضریب همبستگی به عدد۱ نزدیک باشد خوشه بندی بهترین پاسخ رو خواهد داد.

روش خوشه سازی سلسله مراتبی صعودی (AHC) روشی آماری برای پیدا کردن ارتباط نسبی خوشه های همگن براساس خصوصیات اندازه گیری شده است [۱۶]. در این روش تعداد خوشه های مختلفی (تعداد ۱۰ خوشه) برای تخمین لاگ تراوایی استفاده و مورد آزمایش قرار گرفته شد که درنهایت بهترین میزان همبستگی بین لاگ تراوایی تخمین زده شده در چاه A با این روش و تراوایی مغزه در مدل دارای ۱۳ خوشه مشاهده شد (شکل ۸).



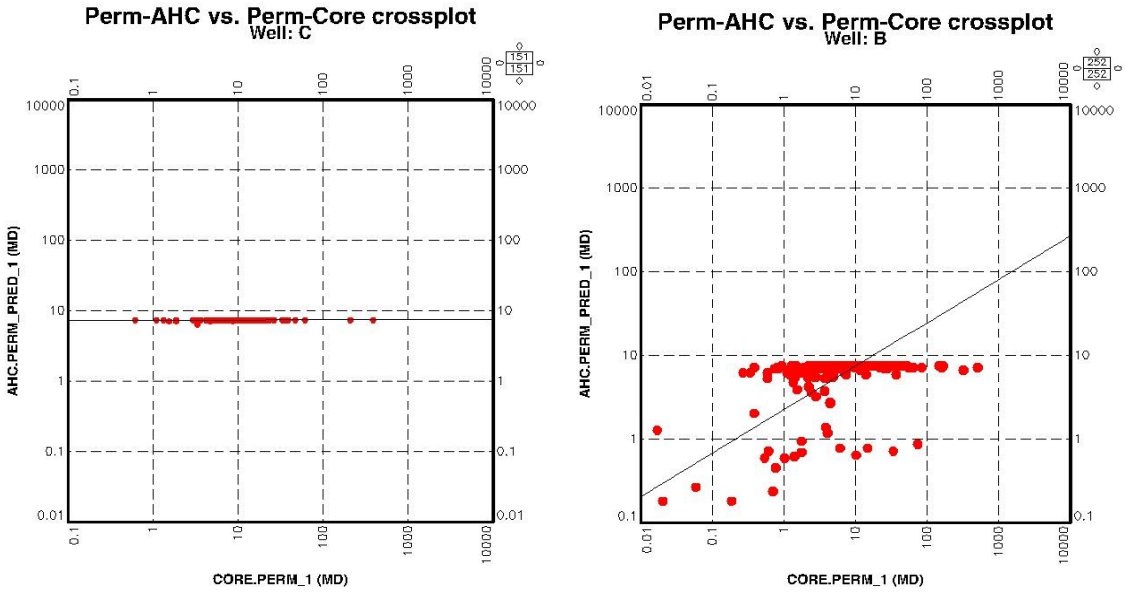
شکل ۸. نمودار متقاطع تراوایی تخمین زده شده با روش AHC در مقابل تراوایی مغزه را نمایش می دهد.



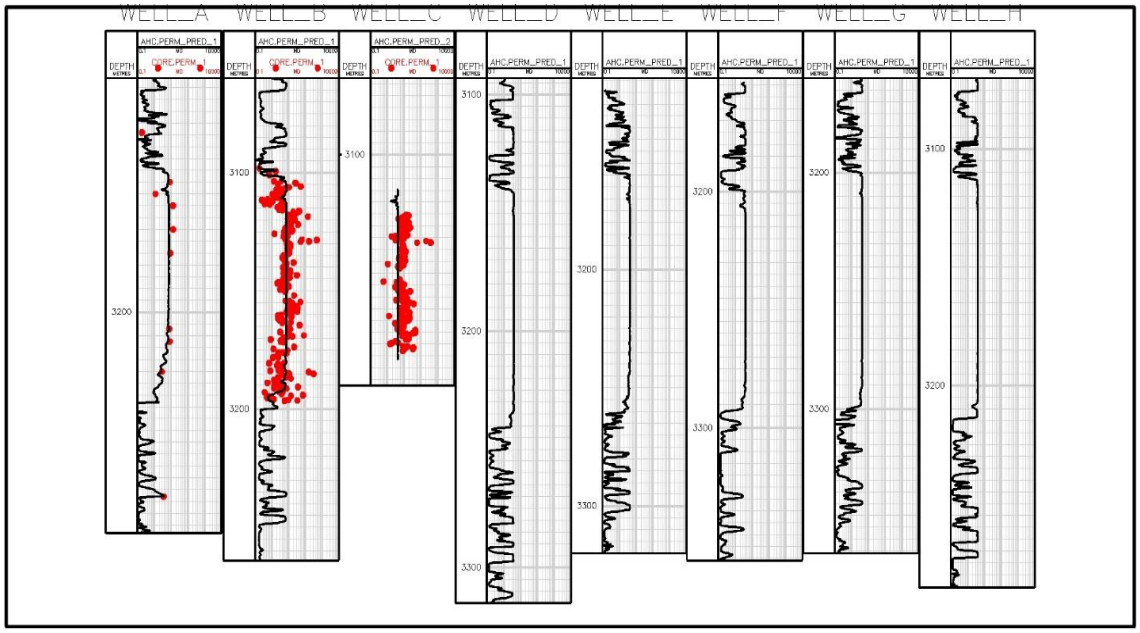
شکل ۹. نمودار متقاطع تراوایی تخمین زده شده به روش AHC در مقابل تراوایی مغزه در چاه A.

لذا ملاحظه می شود که تراوایی تخمین زده شده به این روش نیز قابل قبول ولی از روش های قبلی با اختلاف اندکی دقت پایین تری را نشان می دهد که ضریب همبستگی ۸۳ ٪ این مطلب را تایید می کند. در ادامه نیز مدل مورد نظر در چاه B اجرا و نتیجه آن

ملاحظه شد و همین مدل در چاه C بصورت آزمایشی مورد استفاده قرار گرفت. شکل(۱۰) نمودار متقاطع تراوایی تخمین زده شده به روش AHC را در مقابل تراوایی مغزه برای چاه های B و C نشان می دهد.همچنین لاگ تراوایی تخمین زده شده در تمام چاه های مورد مطالعه را در شکل (۱۱)در توالی چاه ها نشان داده شده است.



شکل ۱۰. نمودار متقاطع تراوایی تخمین زده شده به روش AHC در مقابل تراوایی مغزه در چاه های B و C.



شکل ۱۱. تراوایی تخمین زده شده در چاه های مورد مطالعه با استفاده از روش AHC دوایر قرمز رنگ مربوط به نتایج تراوایی آزمایشگاهی است.

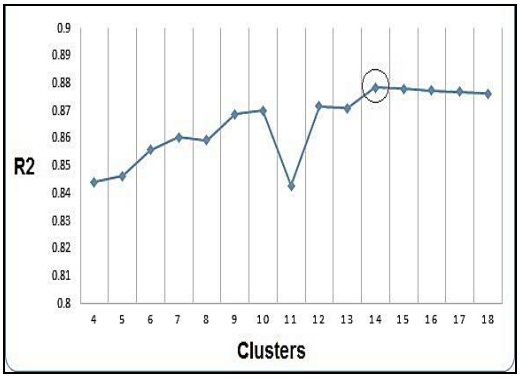
۴-۳- تعیین تراوایی با استفاده از روش خوشه سازی دینامیک(DC) [۳]

[3] Dynamic Clustering

در روش خوشه بندی پویا، از ابتدا تعداد خوشه ها مشخص بوده و با استفاده از مفهوم فاصله، داده ها در خوشه های مختلف قرار می گیرند .به عبارت دیگر در ابتدا نقطه ای به عنوان مرکز خوشه در نظر گرفته می شود .سپس فاصله تمام نقاط با نقطه مورد نظر محاسبه شده و نقطه جابه جا میگردد .این فرآیند آنقدر ادامه می یابد تا فاصله بین نقاط داخل یک خوشه به حداقل و فاصله بین خوشه های مجاور به حداکثر برسد .

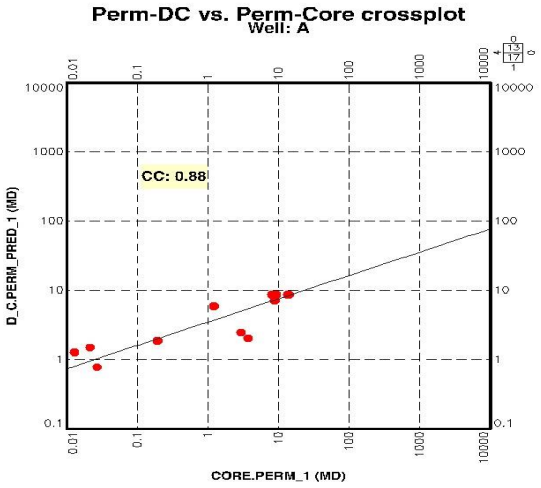
در واقع روش خوشه سازی پویا روشی غیر سلسله مراتبی که برای تقسیم بندی داده ها بر اساس تعیین تعداد خوشه های از پیش تعیین شده عمل می کند. [۱۴] در روش (DC) نیز خوشه های متفاوتی مورد آزمایش قرارگرفت و درنهایت مدل با ۱۴ خوشه بعنوان بهترین مدل برای تخمین لاگ تراوایی در چاه A معرفی شد .که ضریب همبستگی لاگ تراوایی تخمین زده شده در مقابل تراوایی مغزه نیز قابل قبول و در حدود ۸۸٪ است.

دقت این تخمین با استفاده از پلات کردن لاگ تراوایی تخمین زده شده در مقابل تراوایی مغزه مشخص شد. شکل(۱۲)میزان R2 لاگ تراوایی تخمین زده شده با استفاده از خوشه های مختلف در مقابل تراوایی مغزه و مشخص شدن بهترین تخمین با استفاده از مدل دارای ۱۴ خوشه را نمایش می دهد.



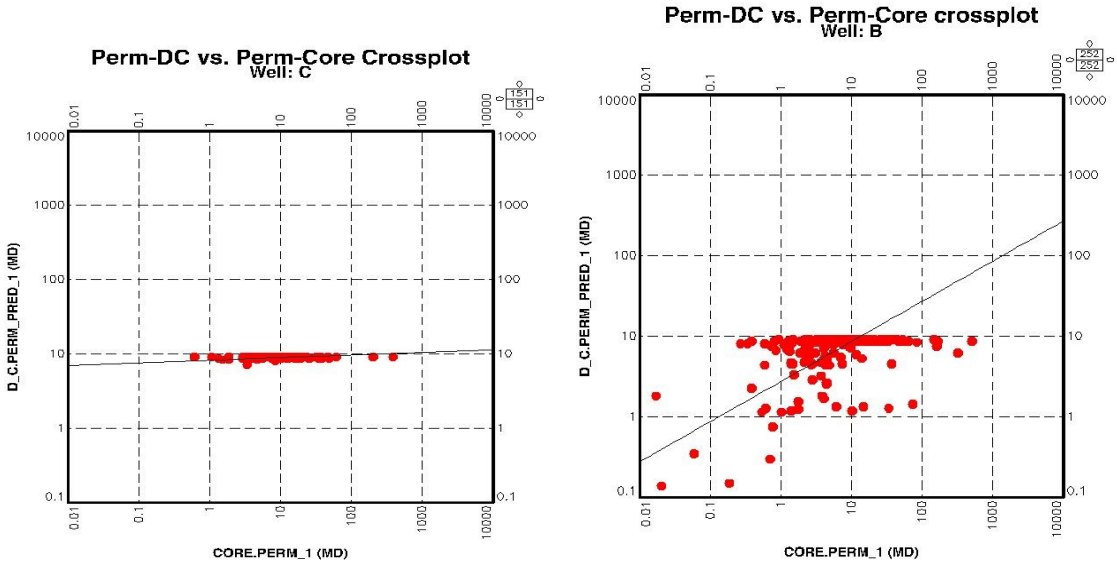
شکل ۱۲. میزان ضریب همبستگی لاگ تراوایی تخمین زده شده از خوشه های مختلف روش DC را نمایش می دهد.

نمودار متقاطع لاگ تراوایی تخمین زده شده با استفاده از مدل ۱۴ خوشه ای روش DC در مقابل تراوایی مغزه در شکل(۱۳) نشان داده شده است.

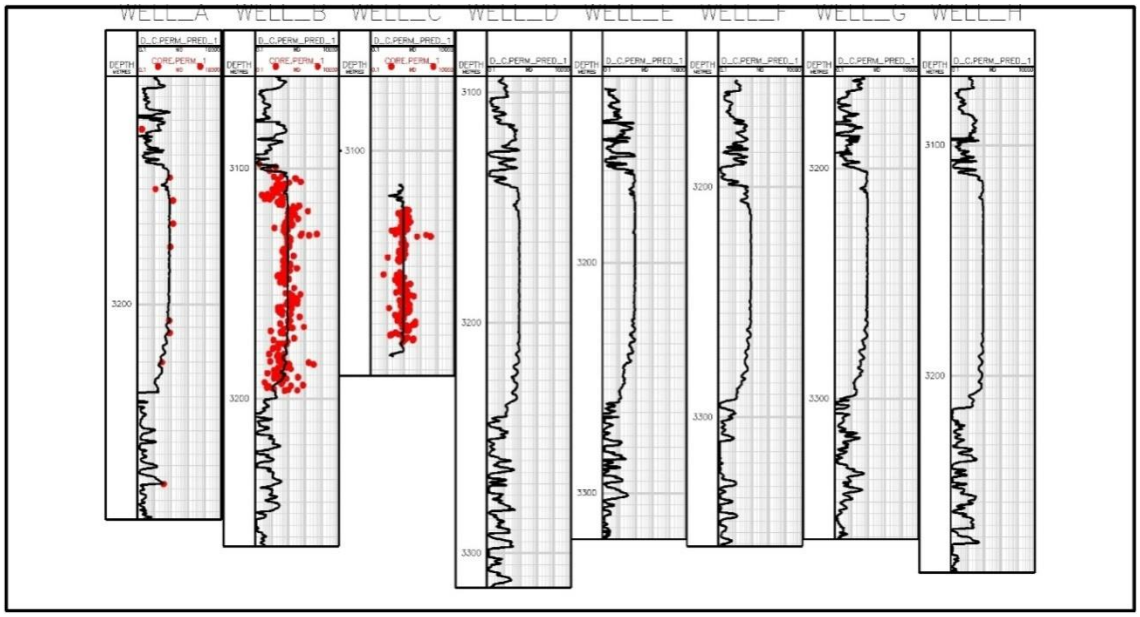


شکل ۱۳. نمودار متقاطع تراوایی تخمین زده شده از روش DC در مقابل تراوایی مغزه در چاه A.

در اینجا ملاحظه می شود که ضریب همبستگی لاگ تراوایی تخمین زده شده در مقابل تراوایی مغزه نیز قابل قبول و در حدود ۸۸ ٪ است. مدل استفاده شده در چاه A ابتدا در چاه B با همان سازوکار و سپس در چاه C بصورت آزمایشی بدون نظارت داده تراوایی اعمال شد و سپس با داده تراوایی مطابقت داده شد. شکل (۱۳)نمودار متقاطع لاگ تراوایی تخمین زده شده در مقابل تراوایی مغزه در چاه های B و C را نشان می دهد. همچنین پس از اعمال مدل در سایر چاه های مورد مطالعه، نتیجه تخمین لاگ تراوایی در سایر چاه ها در شکل(۱۴) در توالی چاه ها ارائه شده است.



شکل ۱۴. نمودار متقاطع تراوایی تخمین زده شده از روش DC در مقابل تراوایی مغزه در چاه های B و C.



شکل ۱۵. تراوایی تخمین زده شده در چاه های مورد مطالعه با استفاده از روش DC دوایر قرمز رنگ مربوط به نتایج تراوایی آزمایشگاهی است.

۴-۴- خوشه سازی به نقشه های خود سازمانده یا روش SOM[4]

شبکه‌های خود سازمانده از انواع شبکه های عصبی با یادگیری بدون ناظر می‌باشد که در تحلیل فضاهای پیچیده توانایی زیادی دارند. این مدل از شبکه عصبی اولین بار توسط کوهنن در سال (۱۹۸۱) و با الگوبرداری از عصب‌های شبکیه چشم، معرفی و نخستین بار در سال (۱۹۸۴) برای تشخیص صدا و تبدیل آن به متن به طور عملی مورد استفاده قرار گرفت. شبکه های خود سامانه از روش های خوشه بندی مبتنی بر مدل می‌باشد.اساس فلسفه شبکه های خود سازمانده، نگاشت فضاهای با تعداد ابعاد (مشخصه) بالا به فضایی دو یا سه بعدی است، به گونه‌ای که حداقل اطلاعات از بین رفته واطلاعات نهفته در ارتباط میان داده ها نیز قابل کشف و نمایش باشد. این روش توانایی نمایش همبستگی میان داده ها واطلاعات و اثرات متقابل و همزمان آن‌ها بر یکدیگر را دارد. این توانایی با نگاشت ارتباطات غیر خطی میان اطلاعات با استفاده از یک واسط هندسی بر روی یک شبکه دو یا سه بعدی از نورون ها حاصل می‌شود. یک شبکه دوبعدی از نورون ها را اصطلاحا یک نقشه از نورون ها می‌نامیم. نقشه، متشکل از مجموعه‌ای از نورون هاست که به طور قاعده مندی کنار هم پیچیده شده و ساختار شبکه را به گونه‌ای که نورون های شبیه تر کنار یکدیگر قرا گیرد شکل داده‌اند. در واقع خوشه سازی بر پایه نقشه خود سازمانده روشی برای نمایش بازه داده های با ابعاد کم می باشد .چنین داده های ورودی، ترکیبی و با ابعاد بالا می باشند و به صورت غیر خطی به یکدیگر مربوط می شوند .این روش از مطالعه بیوفیزیکی مغز و کارکرد آن مشتق شده است .در واقع واکنشی درونی است که منتج از یک کنش بیرونی می باشد.این ساختار به صورت الگوریتمی است که از یک شبکه عصبی مصنوعی پیروی می کند و به خودی خود سازماندهی شده است .عملکرد روش خوشه سازی بر پایه نقشه خود سازمانده مشابه عملکرد مغز انسان است [۱۲].

نگاشت های خودسازمانده با شبکه های عصبی مصنوعی دیگر از این جهت تفاوت دارد، که از یک تابع همسایگی برای حفظ کردن ویژگی فضای ورودی استفاده می کند .این خصوصیت باعث می شود که این نگاشت ها، برای دادن شهود از یک مجموعه ی داده ها با بعد زیاد مناسب باشند.این روش یک مدل بدون ناظر است و توانایی وسیعی در حل مسائل شناخت و طبقه بندی الگوها دارد.شبکه های بدون ناظر، فقط قادر به گروه بندی رخساره ها است و تشخیص یا نامگذاری آنها را انجام نمی دهد .این روش در مرحله اکتشاف میدان، درمناطقی که چاه های اکتشافی به تعداد زیاد وجود ندارد، به کارمیرود .اطلاعات اضافی میتواند به شناخت طبقات کمک کند . انطباق اطلاعات چاه و نقشه تغییر رخساره ها، تخمینی از کیفیت مخزن در نواحی مختلف ارائه میکند (Saggaf, 2003; Lippmann, 1989). در روش شبکه عصبی خود سازمانده SOM پس از آموزش دادن داده های لاگ، شبکه خود سازمانده SOM انتخاب گردید.

۴-۵- آموزش شبکه های خود سازمانده

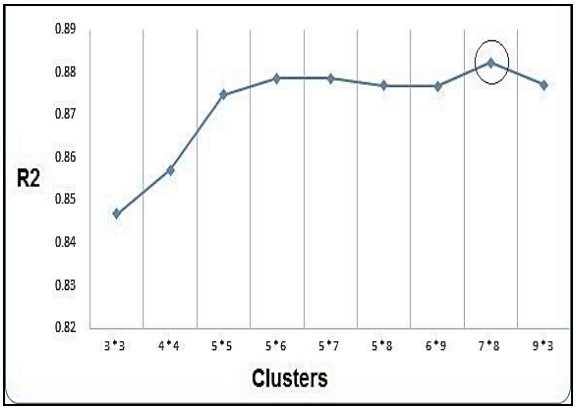
آموزش شبکه های خود سازمانده بدون ناظر و بر مبنای الگوریتم یادگیری رقابتی است. در ابتدا بردار وزنی متناظر با هر نورون به طور تصادفی تولید شده و ساختار اولیه شبکه شکل می‌گیرد و سپس در طول فرایند آموزش شبکه بردار وزنی متناظر با هر نورون به گونه ای تنظیم می‌شود که بتواند قسمتی از اطلاعات فضای مورد تحلیل را پوشش دهد.شبکه‌های خود سازمانده از انواع شبکه های عصبی با یادگیری بدون ناظر می‌باشد که در تحلیل فضاهای پیچیده توانایی زیادی دارند. این مدل از شبکه عصبی اولین بار توسط کوهنن در سال (۱۹۸۱) و با الگوبرداری از عصب‌های شبکیه چشم، معرفی و نخستین بار در سال (۱۹۸۴) برای تشخیص صدا و تبدیل آن به متن به طور عملی مورد استفاده قرار گرفت. شبکه های خود سامانه از روش های خوشه بندی مبتنی بر مدل می‌باشد. اساس فلسفه شبکه های خود سازمانده، نگاشت فضاهای با تعداد ابعاد (مشخصه) بالا به فضایی دو یا سه بعدی است، به

[4] Self organizing map

گونه‌ای که حداقل اطلاعات از بین رفته واطلاعات نهفته در ارتباط میان داده ها نیز قابل کشف و نمایش باشد. این روش توانایی نمایش همبستگی میان داده ها واطلاعات و اثرات متقابل و همزمان آن‌ها بر یکدیگر را دارد. این توانایی با نگاشت ارتباطات غیر خطی میان اطلاعات با استفاده از یک واسط هندسی بر روی یک شبکه دو یا سه بعدی از نورون ها حاصل می‌شود. یک شبکه دوبعدی از نورون ها را اصطلاحا یک نقشه از نورون ها می‌نامیم. نقشه، متشکل از مجموعه‌ای از نورون هاست که به طور قاعده مندی کنار هم پیچیده شده و ساختار شبکه را به گونه‌ای که نورون های شبیه تر کنار یکدیگر قرا گیرد شکل داده‌اند. در واقع خوشه سازی بر پایه نقشه خود سازمانده روشی برای نمایش بازه داده های با ابعاد کم می باشد .چنین داده های ورودی، ترکیبی و با ابعاد بالا می باشند و به صورت غیر خطی به یکدیگر مربوط می شوند .این روش از مطالعه بیوفیزیکی مغز و کارکرد آن مشتق شده است . در واقع واکنشی درونی است که منتج از یک کنش بیرونی می باشد.این ساختار به صورت الگوریتمی است که از یک شبکه عصبی مصنوعی پیروی می کند و به خودی خود سازماندهی شده است .عملکرد روش خوشه سازی بر پایه نقشه خود سازمانده مشابه عملکرد مغز انسان است[۱۲].

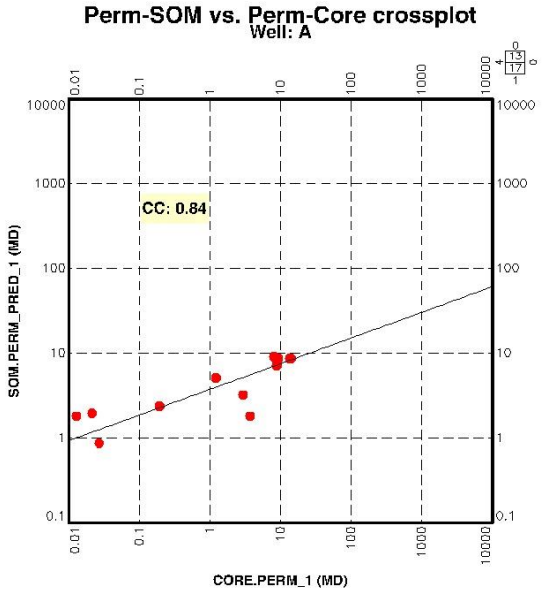
.نگاشت های خودسازمانده با شبکه های عصبی مصنوعی دیگر از این جهت تفاوت دارد،که از یک تابع همسایگی برای حفظ کردن ویژگی فضای ورودی استفاده می کند .این خصوصیت باعث می شود که این نگاشت ها، برای دادن شهود از یک مجموعه ی داده ها با بعد زیاد مناسب باشند.این روش یک مدل بدون ناظر است و توانایی وسیعی در حل مسائل شناخت و طبقه بندی الگوها دارد.شبکه های بدون ناظر، فقط قادر به گروه بندی رخساره ها است و تشخیص یا نامگذاری آنها را انجام نمی دهد .این روش در مرحله اکتشاف میدان، درمناطقی که چاه های اکتشافی به تعداد زیاد وجود ندارد، به کارمیرود .اطلاعات اضافی میتواند به شناخت طبقات کمک کند . انطباق اطلاعات چاه و نقشه تغییررخساره ها، تخمینی از کیفیت مخزن در نواحی مختلف ارائه میکند (Saggaf, 2003; Lippmann, 1989).

در روش شبکه عصبی خود سازمانده SOM پس از آموزش دادن داده های لاگ، شبکه خود سازمانده SOM انتخاب گردید.روش نقشه خود سامانده، یک روش محاسباتی برای آنالیز و تجسم داده های ابعاد بالای اطلاعات ویژه آزمایشی حاصل شده است[۱۷]. در اینجا شبکه های مختلف SOM با ابعاد متفاوت مورد آزمایش قرار گرفت که در حدود ۹ شبکه با ابعاد مختلف و درنهایت لاگ تراوایی با تمامی شبکه ها تخمین زده شد و میزان تطابق لاگ تخمین زده شده با داده تراوایی مغزه بررسی شد که در نهایت مدل شبکه SOM دارای ابعاد ۸×۷ بهترین تخمین را نسبت به سایر شبکه ها ارائه داد. شکل (۱۷) میزان R2 شبکه های متفاوت را ارائه می دهد و شبکه ۸×۷ با R2 بالا نیز مشخص شده است.



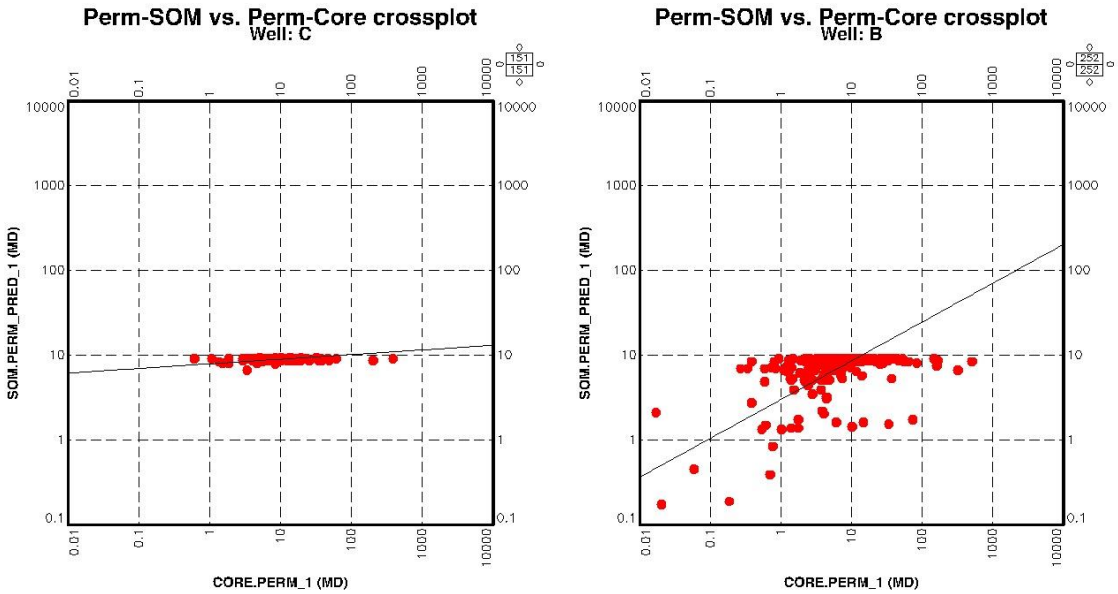
شکل ۱۶. میزان R2 در شبکه های مختلف در روش SOM برای تخمین لاگ تراوایی.

شکل (۱۶)نمودار متقاطع لاگ تراوایی تخمین زده شده به روش SOM دارای شبکه ۸×۷ در مقابل تراوایی مغزه در چاه A را نمایش می دهد.

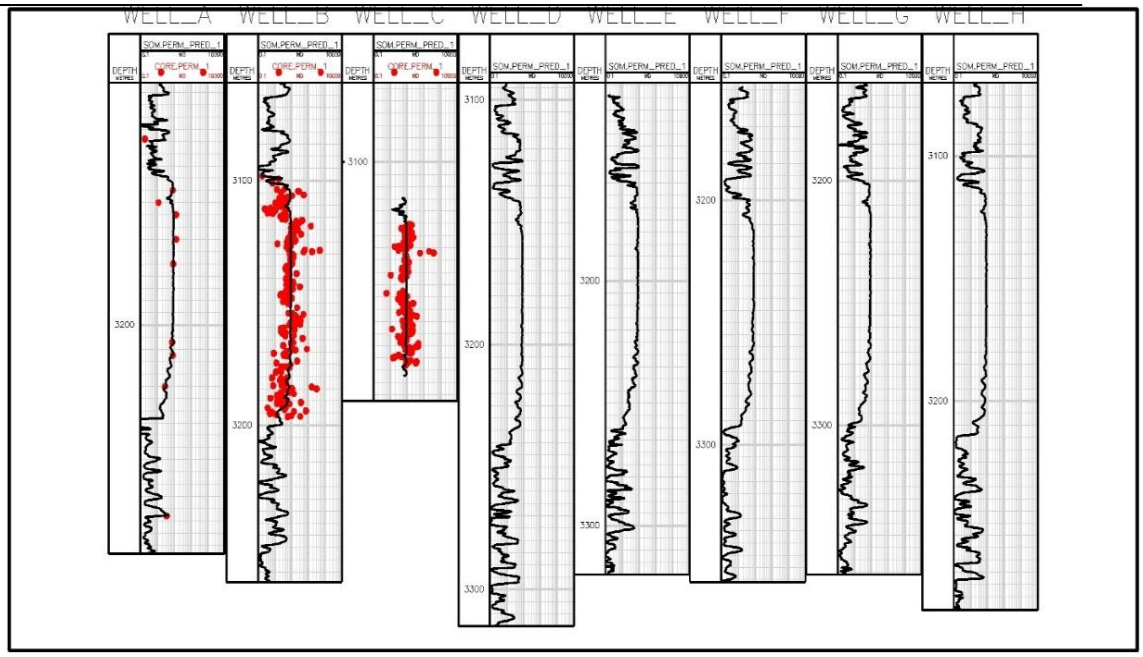


شکل ۱۷. نمودار متقاطع لاگ تراوایی تخمین زده شده به روش SOM در مقابل تراوایی مغزه در چاه A.

نمودار متقاطع و ضریب همبستگی لاگ تراوایی به روش SOM در مقابل تراوایی مغزه در چاه A درحدود ۸۴ درصد محاسبه شد. درنتیجه مدل اعمال شده در چاه B و سپس در چاه C بصورت آزمایشی اعمال شد که نتیجه آنها در شکل (۱۷)نشان داده شده است. سپس مدل اعمال شده در این سه چاه در سایر چاه های مورد مطالعه اعمال شد و نمای این لاگ در توالی چاه های مورد مطالعه در شکل (۱۸) ارائه شده است.



شکل ۱۸. نمودار متقاطع تراوایی تخمین زده شده به روش SOM در مقابل تراوایی مغزه در چاه های B و C.



شکل ۱۹. لاگ تراوایی تخمین زده شده در چاه های مورد مطالعه با استفاده از روش SOM.

۴-۶- مقایسه روشهای مختلف خوشه سازی :

در جدول (۲) میزان ضریب همبستگی (CC) بین لاگ تخمین زده شده به روش های مختلف را در مقابل تراوایی مغزه که با R2 نمایش می دهند در چاه A ارائه می شود. ملاحظه می شود بهترین دقت برای تخمین این لاگ در بین روش های خوشه سازی، MRGC است.

جدول ۲. میزان R2 در روش ها مختلف تخمین تراوایی.

روش های خوشه سازی			
MRGC	AHC	DC	SOM
0.91	0.83	0.88	0.84

۵- نتیجه گیری :

تراوایی را می توان گفت مهمترین پارامتر پتروفیزیکی مخزن است زیرا بصورت مستقیم با میزان تولید هیدروکربور مخزن سروکار دارد. محاسبه و تخمین این پارامتر مهم مخزنی بصورت مستقیم تنها از طریق آنالیز مغزه حفاری امکان پذیر می باشد که در توالی های محدودی هم این نتایج در دسترس خواهد بود. در بین لاگ های پتروفیزیکی نیز تنها ابزاری که توانایی ثبت این پارامتر را بصورت پیوسته در توالی مخزن خواهد داشت، ابزار تشدید مغناطیس هسته ای (NMR) است که در تعداد معدودی از چاه ها این اندازه گیری انجام شده است با دقت پایین تری نسبت به آنالیز مغزه های حفاری است. در این مطالعه پارامتر تراوایی با استفاده از روش های خوشه سازی تخمین زده شد و نتایج بدست آمده مقایسه و برای راستی آزمایی و دقت تخمین انجام شده، با داده های تراوایی مغزه تطابق داده شد. این فرآیند در ۸ حلقه چاه (۳ چاه A، B و C دارای داده های تراوایی حاصل از آنالیز مغزه و ۵ چاه

D، E، F، G و H فاقد تراوایی از آنالیز مغزه) به این صورت انجام گرفت که در چاه اول (چاه A) لاگ تراوایی با نظارت تراوایی مغزه تخمین و ضریب همبستگی (CC) لاگ تخمین زده شده و تراوایی مغزه اندازه گیری شد و پس از بدست آمدن نتیجه مطلوب در چاه اول، در چاه دوم (چاه B) نیز این عملیات صورت گرفته و دوباره نتایج بررسی گردید. سپس در چاه سوم (چاه C) این فرایند با همان مدل درنظر گرفته شده برای چاه های A و B بدون نظارت تراوایی مغزه صورت گرفته و ضریب همبستگی لاگ تخمین زده شده در این چاه (چاه C) را با تراوایی مغزه بررسی و درصورت ارائه نتیجه قابل قبول، مدل درنظر گرفته شده در ۳ چاه A، B و C که دارای اندازه گیری تراوایی مغزه بودند، در سایر چاه های موجود که فاقد اندازه گیری تراوایی مغزه بودند، اعمال گردید.

این لاگ توسط تعدادی از روش های معروف خوشه سازی شامل MRGC، AHC، SOM و DC تخمین زده شد که میزان ضریب همبستگی لاگ تخمین زده شده با استفاده این روش ها با تراوایی مغزه در چاه A به ترتیب ۰/۹۱ ، ۰/۸۳، ۰/۸۴ و ۰/۸۸ بدست آمد. لاگ های ورودی برای مدل های خوشه سازی شامل NPHI، RHOB، RT، DT، CGR، NDS و PEF بودند. در بین روش های خوشه سازی، روش خوشه سازی MRGC دقت بالاتری نسبت به سایر روش های خوشه سازی برای تخمین تراوایی داشت. درنهایت مشخص شد که بهترین تخمین را از بین روش های خوشه سازی روش MRGC دارا است . در این روش ها ضریب همبستگی لاگ تراوایی تخمین زده شده با تراوایی مغزه در چاه A بیش از ۹۰ درصد بود.

سپاس و قدردانی

از آقایان دکتر جلیلیان، مهندس نوری و مهندس مهرگینی بخاطر داوری مقاله سپاسگزاری می گردد.

منابع:

[۱] آقا نباتی، ع، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران:.انشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۳۹۱صفحه.

[۲] آغاجریان، م.، کمالی، م. ر.، کدخدایی، علی.، ۱۳۹۱، تخمین تراوایی و تخلخل مؤثر و تعیین واحدهای جریان هیدرولیکی با استفاده از شبکه ی عصبی مصنوعی در میدان نفتی مارون . فصلنامه زمین شناسی کاربردی .شماره ۳ . ۲۰۳-۱۹۳صفحه .

[۳] ا غار م.، کدخدایی، ع.، عزیز زاده، م.، نبی بید هندی، م.، ۱۳۹۲، تخمین تخلخل مؤثر و تراوایی به روش منطق فازی در مخزن آسماری، یکی از میادین نفتی خلیج فارس. اولین کنفرانس و نمایشگاه تخصصی نفت، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران. ۸۶-۷۹صفحه .

[۴] رستگارنیا، م.، روشندل کاهو، ا.، کدخدایی، ع.، لشکری، م.، فرامرزی، ع.، ۱۳۹۱، تعیین رخساره های تراوا با به کارگیری روش های خوشه بندی چند تفکیکی بر پایه گراف و ماشین بردار پشتیبان. مقاله‌های همایش‌های ایران .نخستین همایش ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری، علوم و صنایع وابسته . ۱۱-۱۴ صفحه .

[۵] رضایی، م. ر.. و چهرازی، ع.، ۱۳۸۹، اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه پیمایی ، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم ۵۶۹صفحه.

[۶]عادل زاده، م. ر.، ۱۳۸۷، خواص سنگ های مخازن نفت وگاز، انتشارات راه نوین ، جلد اول۲۵۹ صفحه .

[۷] کدخدایی، ع. کمالی، م. ر.، آقاجری، ن.، ۱۳۹۳، تخمین تراوایی مخزن کنگان واقع در میدان گازی کیش با استفاده از داده های پتروفیزیکی. . سومین همایش ملی مخازن هیدروکربنی و صنایع بالادستی، تهران، ایران۱۱ صفحه.

[۸] کیهانی، ح. ر.، ریاحی، م.ع.، نوروزی، غ. م.، ۱۳۹۳، تخمین تراوایی با استفاده از الکتروفاسیس ها دریکی از مخازن کربناته میادین جنوب غرب ایران .پژوهش نفت شماره ۸۰ . ۴۰-۲۸ صفحه .

[۹] مطیعی، ه.، ۱۳۷۲، زمین شناسی ایران، چینه شناسی زاگرس، چاپ اول، انتشارات سازمان زمین شناسی ۱۹۲صفحه .

[10] ALIZADEH, B., NAJJAN, S., and KADKHhODEI, A., 2012, Artificial neural network modeling and cluster analysis for organic facies and burial history estimation using well log data: A case study of the South Pars Gas Field, Persian Gulf, Iran: *Journal of Elsevier Computers & Geosciences*, **45**, 261–269.

[11] ANTEL, O. R., and AGUIRRE, O., 2001, Permeability calculations from clustering electrofacies technique for the petrophysical evaluation in LaPena and Tundy oil fields: *SPE No. 69400-MS*.

[12] BALDWIN, J., 1991, Using Simulated Bidirectional Associative Neural Network Memory with Incomplete Prototype Memories to identifye Facies from Intermittent Logging Data Acquried inSiliciclastic Depositional Sequence: *Paper presented at the 1991 Annual Technical Conference and Exhibition, October6-9,, Dalas, Texas.*

[13] CUDDY, S. J., 2000, Litho-Facies and Permeability Prediction from Electrical Logs Using Fuzzy Logic: *SPE Paper No. 65411*.

[14].KHOSHBAKHT F. M., MOHAMMADNIA, A. M., BAGHERI, A. A., RAHIMI B., and Beiraghdar, Y., 2010, Evaluatiy different approaches of permeability modeking in heterogeneous carbonate reservoirs (an example from fahliyan formation in SW of Iran): *72nd EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2010 Barcelona, Spain*, 14– 17.

[15] GHIASI-FRIZ, J., KADKHhODEI, A., and ZIAII, M., 2012, The application of committee Machine with Intelligent Systems to the prediction of permeability from petrographic image analysis and well logs data: a case study from the South Pars gas field, South Iran: *Petroleum Science and Technology Journal, Philadelphia, Taylor & Frsncis Group*, **30**, 2122-2136.

[16] LUKASOVA, A., 1979, Hierarchical Agglomerative Clustering Procedure: *Pattern Recognition*, **1**,365-381.

[17] KOHONENT, T., 2001, Self-Organizing Maps. Third, extended edition: *Springer*, 501.

[18] KUMAR, B., KISHOER, M., 2006, Electrofacies Classification – A Critical Approach: *6th International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics, New Delhi, India*, 822-825.

[19] RABILLER, PH., and YE, S. J., 2000, A New Tools for Electrofacies Analysis: Multi Resolution Graph-BasedClustering: *PWLA 41nd Annual Logging Symposium Transaction, June 4-7*.

[20] **S**ERRA, O., 1986, Fundamentals of well log interpretation: *The interpretation of logging data, Amesterdam, Elsevier*, **12**, 684.

[21] SFIDARI, E., KADKHHODEI-ILKHCHI, A., and NAJJARI, S., 2012, Comparison of intelligent and statistical clustering approaches to predicting total organic carbon using intelligent systems: *Journal of petroleum science and Engineering* 86-87, 190-205.

[22] TRAUTH, M. H., 2007, MATLAB Recipes for Earth Sciences: *University of Potsdam, Germany*, 288