(یادداشت فني)
تعیین تیپ سنگي با استفاده از دسته‌بندي چندبعدي داده‌هاي لاگ

وحید توکلي[۱] و عبدالحسین امیني[۲*]

[۱]دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسي - پردیس دانشکده علوم - دانشگاه تهران

[۲]عضو هیات علمی گروه زمین‌شناسي - پردیس دانشکده علوم - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۳/۱۲/۲۵ ، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۵/۸/۱ ، تاریخ تصویب ۸۵/۸/۲۰)

چکیده

زون‌بندي سازندهاي مخزني در میادین نفتي از اهمیت زیادي برخوردار است. به همین منظور تعیین تیپهاي سنگي[۱] با خصوصیات مخزني معین، از اولویتهاي مطالعه مخازن است. تعیین تیپ سنگي مي‌تواند بر اساس انواع داده‌هاي در دسترس صورت گیرد، اما از آنجا که داده‌هاي لاگ تقریباً براي همه چاهها وجود دارند، این امر بر مبناي داده‌هاي لاگ و با استفاده از سیستمهاي هوشمند متداول‌تر است. در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار MATLAB روش جدید استفاده از دسته‌بندي چند بعدي داده‌هاي لاگ براي تعیین تیپهاي سنگي در سازند آسماري مورد بررسي قرار مي‌گیرد که در آن از فرآیندهاي رياضي صرف استفاده گردیده و نیاز به هیچ نوع آموزش و یا تابع برازشي خاصي نیست و بر این اساس، روش مذکور بسیار دقیق عمل مي‌نماید. به دلیل وجود مغزه و مقاطع نازک از بخشهاي مختلف سازند آسماري، ضمن انطباق تیپهاي سنگي تعیین شده از روي داده‌هاي لاگ با انواع توصیف شده از مطالعه مغزه‌ها و مقاطع نازک، ضریب اطمینان این روش در تعیین تیپهاي سنگي سازند آسماري مورد ارزیابي قرار گرفته است. با استفاده از اعداد به دست آمده مربوط به تیپهاي سنگي، لاگ جدیدي رسم گردیده که خصوصیات همه لاگهاي ورودي به سیستم را در بردارد و لذا مي‌توان از آن به عنوان لاگ راهنماي سازند مورد نظر در میادیني که داراي خصوصیات سنگ‌شناسي مشابهي با میدان مارون باشند استفاده کرد. از آنجا که روش مورد بحث مي‌تواند لاگ راهنما را تنها با یك آنالیز رياضي در زماني بسیار کوتاه مشخص سازد، تهیه آن در هر میداني به‌سادگي امکان پذیر است.

واژه هاي کلیدي: تیپ سنگي - آنالیز خوشه‌اي - لاگ راهنما - سازند آسماري - میدان مارون

مقدمه

تعیین زونهاي مخزني سازندها در حفاریهاي نفتي یکي از کارهاي بسیار معمول و متداول مي‌باشد. اساس این زون‌بندي بر استفاده از داده‌هاي مغزه و خرده‌هاي حفاري و مقاطع نازك تهیه شده از آنها، تعیین لیتولوژي، داده‌هاي آزمایشات مغزه و لاگها استوار است. از آنجا که بسیاري از چاههاي حفاري شده داراي مغزه نمي‌باشند و یا مغزه‌گیري تنها در قسمتي از چاه صورت گرفته است، اصولاً این کار با استفاده از داده‌هاي لاگ صورت مي‌گیرد [۱]. داده‌هاي لاگ مي‌توانند مشخصاتي چون لیتولوژي، تخلخل، تراوایي، اشباع‌شدگي آب و بافت سنگي را به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در اختیار ما قرار دهند. تلفیق اطلاعات به دست آمده از لاگهاي گوناگون ما را قادر مي‌سازد تا پارامترهاي مخزني را به دست آوریم. تعیین مشخصات یك سنگ، تیپ سنگ را به وجود مي‌آورد. مشخصات اصلي در این تعریف شامل آن دسته از پارامترهاي سنگ است که مربوط به حرکت و ذخیره سیالات مي‌باشد. خصوصیات اصلي کنترل کننده حرکت و ذخیره یك سیال در سنگ نیز همان خصوصیات پتروفیزیکي سنگ مي‌باشند[۱]. این خصوصیات مواردي مانند تخلخل، تراوایي، لیتولوژي، اشباع آب قابل استحصال و یا غیرقابل استحصال را شامل مي‌گردد. هرچند که تیپ سنگي اطلاعات بیشتري را نسبت به لیتولوژي در بر دارد و استفاده از آن کاربردي‌تر از لیتولوژي مي‌باشد، این مهم کمتر مورد توجه قرار گرفته است [۲]. تیپ سنگي را مي‌توان با استفاده از داده‌هاي لاگ به دست آورد، زیرا پارامترهاي پتروفیزیکي با استفاده از لاگها قابل استنباط بوده و در نتیجه ترکیب مناسب لاگها منجر به تعریف تیپ سنگ مي‌گردد. با افزایش پارامترهایي که براي تعریف تیپ سنگ به کار مي‌رود، توانایي فرد براي تعریف آن تنها به صورت دستي بسیار کاهش یافته و حتي غیرممکن مي‌گردد.

طبیعي است که هرگاه یك تیپ سنگي بر اساس داده‌هاي لاگ تعریف گردد، داراي ارزش مخصوص به خود است. هرگاه این لاگها را در فضاهایي با ابعاد نامتناهي رياضیاتي

* نویسنده مسئول : تلفن : ۶۱۱۱۲۴۸۵ – ۰۲۱ , فاکس : ۶۶۴۰۵۱۴۱ – ۰۲۱ , Email: ahamini@khayam.ut.ac.ir

(با تعداد ابعاد مساوي با انواع لاگها) دسته‌بندي نماييم، هر دسته، تيپ سنگي خاصي را به وجود مي‌آورد (درست شبيه دسته‌بندي داده‌ها در فضاهاي دو بعدي دكارتي). از آنجا كه در رياضيات، دسته‌هاي يكسان براساس حداقل فاصله بين نقاط همان دسته تعيين مي‌گردند، با مشخص نمودن فواصل نقاط و قراردادن نقاطي با حداقل فاصله نسبت به يكديگر در يك گروه (در اينجا تيپ سنگي) مي‌توان گروهها را از يكديگر متمايز نمود. در اينجا هر نقطه به دسته خاصي منتسب مي‌گردد و در نتيجه تيپهاي سنگي با حدتفكيك بالا[۲] مشخص مي‌گردند. كافي است تا براي هر تيپ سنگي موجود، بر اساس داده‌هاي لاگ و مغزه خصوصيات زمين‌شناسي و پتروفيزيكي تعيين گردد. اين خصوصيات براي تمامي نقاط مربوط به آن نوع تيپ سنگي خاص در سراسر آن چاه و ساير چاههايي كه داراي تيپهاي سنگي يكسان با آن چاه هستند، صادق خواهد بود. عدم نياز اين روش به آموزش كه در روشهايي مانند شبكه عصبي و منطق فازي وجود دارد و دقت فوق‌العاده آن (چون از هيچ نوع تابع برازشي استفاده نكرده و تنها با داده‌هاي واقعي كار مي‌كند) آنرا به ابزاري نيرومند در آناليز داده‌هاي لاگ و تعيين تيپهاي سنگي تبديل مي‌سازد. در اين مقاله با استفاده از تعاريف جديد فاصله از نقطه نظر رياضياتي، دسته‌بندي داده‌ها در ابعاد چند بعدي برروي سازند آسماري در چاهي از ميدان مارون كه داراي بيشترين پوشش مغزه مي‌باشد صورت مي‌گيرد.

فاصله در ابعاد نامتناهي رياضياتي

برخلاف مفهوم فاصله در فضاهاي شناخته شده براي انسان كه تنها جذر حاصل‌جمع تفاضل مختصات نقاط در محورهاي مختصاتي دكارتي است، در علم رياضيات انواع فواصل بر اساس فرمولهاي رياضياتي بيان مي‌گردند. اين فواصل مي‌توانند در ابعادي به تعداد دسته داده‌هاي ورودي محاسبه شده و به كار گرفته شوند. سري داده‌اي خاصي كه داراي حداقل فاصله بين اجزاي خود باشند، يك مجموعه را به وجود مي‌آورند. از آنجا كه اين فاصله بايد بين تمام نقاط محاسبه گردد تا نقاطي با حداقل فاصله براي تشكيل يك دسته معرفي شوند، داده‌هاي ورودي به صورت ماتريسي (m*n) تعريف مي‌گردند كه در آن m تعداد فرائتها و n تعداد لاگها مي‌باشد. فاصله هر فرائت از همه فرائتهاي ديگر محاسبه شده و در ماتريسي با يك سطر و (m-1)m/2 ستون (به تعداد زوجهاي موجود) قرار مي‌گيرد. به عبارت ديگر هرگاه y بردار پاسخهاي فاصله باشد، آرايش آن به صورت زير خواهد بود [۲]:

$$y = d(1,1), d(1,2), d(1,3),\ldots, d(1,m), d(2,3), d(2,4),\ldots, d(m-1,m) \quad (1)$$

كه در آن d نشان‌دهنده فاصله نقاط است.

براي محاسبه فاصله d، روشهاي گوناگوني وجود دارد. در اين مقاله بر اساس تطابق داده‌ها با داده‌هاي واقعي، روش تعيين فاصله اقليدسي استاندارد شده[۳] انتخاب گرديده است. در اين روش فاصله بر اساس تفاضل فرائتها كه با استفاده از پراش[۴] همان داده‌ها وزن‌دهي شده‌اند محاسبه مي‌گردد. به بيان رياضياتي:

$$d_{rs}^2 = (x_r - x_s)D^{-1}(x_r - x_s)' \quad (2)$$

كه در آن:

x_r: قرائت نقطه r

x_s: قرائت نقطه s

$(x_r-x_s)'$: ترانهاده[۵] تفاضل قرائتها

d_{rs}: فاصله دو قرائت r,s

و D ماتريس قطري[۶] است كه عناصر قطري آن برابر پراش داده‌هاي قرائتهاي r,s مي‌باشند[۳]. وارون اين ماتريس D^{-1} است به طوري كه $DD^{-1}= I$ و I ماتريس واحد است.

بايد توجه نمود كه هيچ محدوديتي براي تعداد داده‌ها در بردارهاي x_r و x_s وجود ندارد. به بيان ديگر مي‌توان به تعداد دلخواه متغيرهاي تعريف كننده تيپ سنگي را تغيير داده و تيپهاي سنگي متفاوتي بر اساس نوع داده‌هاي ورودي تعيين نمود.

پس از آنكه فواصل نقاط مشخص گرديد، اين فواصل براي تشكيل دسته‌ها مورد استفاده قرار مي‌گيرند. به عبارت ديگر دو نقطه كه داراي حداقل فاصله نسبت به يكديگرند، تبديل به يك زوج مي‌گردند. سپس فواصل بين زوجها محاسبه گرديده و گروههاي بزرگتر تشكيل مي‌گردند. از آنجا كه همواره تعداد تيپهاي سنگي بسيار كمتر از فرائتهاي لاگ مي‌باشند، اين فرايند آنقدر ادامه مي‌يابد تا تمام فرائتهاي موجود در تعداد دسته‌ها (تعداد تيپهاي سنگي) كه به برنامه اعلام شده است، قرار گيرند و يا به عبارت ديگر هر فرائت به يك دسته متعلق باشد. براي

محاسبه فاصله بين دسته‌ها نيز روشهاي متفاوتي وجود دارد. مي‌توان كمترين فاصله بين دسته‌ها يا نزديكترين عضو هر دسته را براي تعيين فاصله مبنا قرار داد. به همين ترتيب دورترين فاصله نيز مي‌تواند مبنا قرار گيرد. منطقي‌ترين روش استفاده از فاصله متوسط بين تمام زوجهاي موجود در يك دسته است [۲]. به عبارت رياضياتي:

$$d(r,s)=\frac{1}{n_r n_s}\sum_{i=1}^{n_r}\sum_{j=1}^{n_s} dist(x_{ri},x_{sj})$$

(۳)

كه در آن:

r,s: دسته‌ها

n_r, n_s: تعداد اعضاء دسته‌ها

d: فاصله

x_{ri}: عضو i ام دسته r

x_{sj}: عضو j ام دسته s

بحث نتايج حاصل از اعمال روش در ميدان مارون

لاگهاي مورد استفاده جهت تعيين دو پارامتر تخلخل و ليتولوژي، لاگهاي GR (ميزان اشعه گاماي سنگها)، CGR (GR منهاي گاماي اورانيوم)، Sonic (ميزان سرعت صوت در سنگها)، LDL (لاگ چگالي) و CNL (لاگ تخلخل) بوده و از تخلخل مغزه نيز در كنار اين لاگها استفاده شده است. كليه لاگها در فواصل ۱۵ سانتي‌متري قرائت شده و جهت يكسان‌سازي عمقهاي قرائت شده توسط لاگها با عمقهاي موجود براي تخلخل، نرم‌افزار Terra مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از اين نرم‌افزار، ميزان تخلخل از روي قرائتهاي پراكنده مغزه (فواصل متغير) براي فواصل يكسان (۱۵ سانتي‌متر) محاسبه گرديده است. از آنجا كه لاگهاي به‌كار رفته داراي مقياسهاي متفاوت مي‌باشند، داده‌ها نرمالايز گرديد تا تأثير مقياس بر روي آنها حذف گردد. جهت نرماليزه كردن داده‌ها براي پردازش، ميانگين داده‌هاي يک لاگ از هر قرائت كسر گرديده و حاصل بر انحراف معيار داده‌ها تقسيم شده است:

Z = (V-mean (V))/std (V)

(۵)

كه در آن:

V= ستون قرائتهاي يک لاگ

std= انحراف از معيار

انواع تيپهاي سنگي

با توجه به انواع ليتولوژي و توزيع تخلخل در اين ليتولوژيها، تعداد ۱۲ تيپ سنگي براي اين چاه در نظر گرفته شد كه توصيف كمي دو تيپ براي مثال در جدول (۱) آمده است.

مقايسه تيپهاي سنگي به‌دست آمده بر اساس داده‌هاي مغزه با انواع تعريف شده در اين روش (شكل ۱) انطباق بسيار خوبي را نشان مي‌دهد. اين انطباق ضريب اطمينان بالاي روش مورد بحث را آشكار مي‌سازد.

جدول ۱ : نمونه‌اي از مشخصات اصلي (توصيف كمي) تيپهاي سنگي مورد مطالعه.

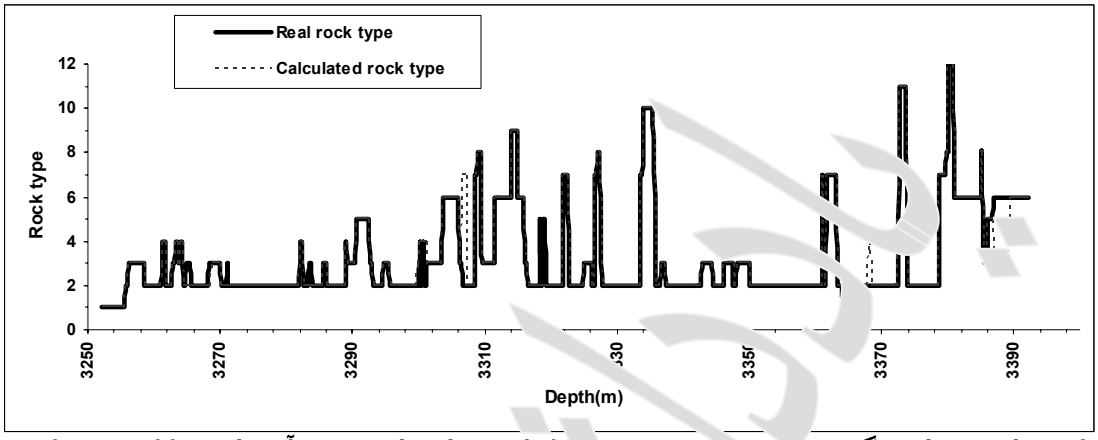
الف: تيپ سنگي شماره ۱

Log / Statistical Character	GR (API)	Sonic (ms/ft)	CNL (%)	LDL (gr/cm^3)	CGR (API)	Porosity (%)
Mean	7.66	52.05	0.001	2.91	2.61	2.21
Median	4.74	52.1	-0.27	2.94	1.63	2.2
Mode	3.07	52.1	-0.40	2.96	1.39	2.2
Standard Deviation	7.00	1.38	0.74	0.06	2.17	1.47
Sample Variance	49.13	1.91	0.55	0.004	4.72	2.18
Minimum	1.94	50.1	-0.46	2.73	0.068	0
Maximum	30.4	56.3	3.16	2.97	9.09	6.9

ب: تيپ سنگي شماره ۱۲

Log / Statistical Character	GR (API)	Sonic (ms/ft)	CNL (%)	LDL (gr/cm^3)	CGR (API)	Porosity (%)
Mean	104.42	73.68	16.12	2.42	76.86	20.86
Median	107	74	16.3	2.43	75.9	21.1
Mode	#N/A	#N/A	#N/A	2.43	#N/A	#N/A
Standard Deviation	15.37	1.51	1.60	0.01	8.14	0.92
Sample Variance	236.36	2.28	2.59	0.00	66.31	0.85
Minimum	80.8	71.5	13.9	2.4	66.2	19.5
Maximum	120	75.3	17.9	2.44	86.6	21.8

#N/A: داده وجود ندارد.



شكل۱ : مقايسه تيپهاي سنگي تعيين شده به صورت دستي (خط ممتد) با تيپهاي به دست آمده با روش ارائه شده در اين مقاله (خطچين).

نتيجه‌گيري

از آنجا كه تيپ سنگي همواره داراي اطلاعات بيشتري نسبت به ليتولوژي محض مي‌باشد، استفاده از آن كاربردي‌تر از ليتولوژي به نظر مي‌رسد. مطالعه حاضر نشان مي‌دهد با وجود آنكه تيپ سنگي دقيقاً بر اساس ليتولوژي موجود تعريف نمي‌گردد اما تأثير ليتولوژي بر تعيين تيپهاي سنگي انكارناپذير است. سيستمهاي هوشمند كه امروزه براي تعيين تيپهاي سنگي به كار مي‌روند، نيازمند آموزش بوده و مشكلاتي مانند شرايط جديد، عدم درك انسان از فرآيند به كار رفته، زمان تلف شده براي آموزش آنها و وجود خروجي جديد هنوز هم در مورد آنها وجود دارد. اين بررسي توانايي روش به‌كار رفته براي تعيين تيپهاي سنگي را به اثبات مي‌رساند. از آنجا كه اين روش تنها بر اساس فرمولهاي محض رياضي عمل مي‌كند، از دقت خوبي برخوردار است. استفاده از نرم‌افزار MATLAB كه به سادگي در دسترس است، و توابع موجود در اين نرم‌افزار باعث مي‌گردد تا همه افراد بتوانند به سادگي و به سرعت اين روش را به كار برده و نتيجه را ملاحظه نمايند، تا آنجا كه تمام اين فرآيند براي يك كامپيوتر معمولي بيش از چند لحظه طول نمي‌كشد. قابليت ورود انواع داده‌هاي لاگ و يا داده‌هاي عددي متناظر به برنامه، ما را قادر مي‌سازد تا تيپهاي سنگي با قابليتهاي دلخواه به دست آوريم. در هر يك از اين اعداد به صورت يك لاگ جديد نمايش داده شود را قادر مي‌سازد تا به سرعت و تنها بر اساس نظر يك لاگ، پارامترهاي مورد نظر خود را مشاهده و شناسايي نمايد.

تشكر و قدرداني

نويسندگان بر خود لازم مي‌دانند تا از شركت ملي مناطق نفت‌خيز جنوب به ويژه جناب آقاي مهندس حق‌پرست به دليل همكاري در تهيه داده‌ها و نيز جناب آقاي دكتر رضائي جهت مطالعه اين مقاله و ارائه نظرات و پيشنهادات ارزشمند، تشكر نمايند.

مراجع

1 - Elphic, R. Y. (2004). *Schlumberger oil field glossary.*

2 - Everitt, B. S. (1993). *Cluster analysis*, New York- Toronto, John Wiley and Sons, third edition.

3 - Granier, B. (2003). *A new approach in rock-typing, documented by a case study of layer-cake reservoirs in field "A",* offshore Abu Dhabi (U.A.E.), Notebooks on Geology, Article 2003/04 (CG2003_A04_BG), PP.1-13.

4 - RIPI, (2004). *Petrophysical analysis and sequence stratigraphy of the Asmari formation in the Marun well#A*, South west of Iran, NISOC Internal report, unpublished.

واژه هاي انگليسي به ترتيب استفاده در متن

1 - Rock Types
2 - High Resolution
3 - Standardized Euclidean Distance
4 - Variance
5 - Transpose
6 - Diagonal