

کاربرد منطق فازی در طراحی عملیات حفاری

رایامظوریان - محمدرضاملاپیری - محمدرنجبر

چکیده

این تحقیق حاوی روابط ریاضی جدیدی برای تعیین و انتخاب مناسب مسیر حفاری است. تعیین انحراف چاه نیازمند درک اختلافات فضایی بین مسیر واقعی و مسیر طراحی شده چاه می باشد. مولفه هایی که انحراف چاه را مشخص می کنند بر پایه اختلافات زاویه ای و خطی بین یک نقطه در مسیر واقعی چاه و نزدیک ترین نقطه متناظر با آن در مسیر طراحی شده روی نقشه و تغییرات نسبی آنها بنا شده است. داده های حاصل از چاه پیمایی و تعاریف ریاضی مسیر طراحی شده برای چاه اطلاعات مهمی برای محاسبه انحراف چاه دارد. در این تحقیق به بررسی کاربرد منطق فازی به عنوان روشی جدید در حل مسایل مربوط به انحراف چاه و حفاری هوشمند پرداخته می شود.

مقدمه

تئوری منطق فازی در سال ۱۹۶۵ توسط آقای لطفی زاده عرضه شد. این نوع مجموعه ها دربرگیرنده یک مفهوم جامع ریاضی می باشند که ارتباط یک عنصر با محدوده ای از مجموعه تعاریف را نشان می دهد. در تئوری های مربوط به مجموعه های بولی عضویت یک عنصر در این مجموعه یا کاملاً درست و یا کاملاً غلط است و حالتی بین این دو گزینه وجود ندارد اما در مجموعه فازی اصطلاحی تحت عنوان درجه عضویت مطرح می شود که می تواند حالت های نسبی را نیز اختیار کند [۱]. امروزه از منطق فازی به طور گسترده در حل مسایل کنترلی استفاده می شود. سیستم های فازی در صنعت نفت نیز کاربرد فراوان دارند.

حفاری جهت دار (Directional Drilling)، از اوایل قرن بیستم در حیطه کار معدن وارد شد. تحقیقات بسیار زیادی در نیمه دوم قرن بیستم در مورد مته های که در حفاری های جهت دار

مورد استفاده قرار می گیرند (شبه سازی (مونتاز) اتصالات داخل چاه (Bottom Hole Assembly) توسط (Arthur Lubinski)، برای اولین بار انجام شد [2].

THD (Technical Hole Deviation) چیست؟

THD ارتباط ریاضی مسیرهای طراحی شده و واقعی چاه را بیان می کند. در حفاری های جهت دار مطالعات سه گانه بازرشی از THD به دست آمده است که عبارتند از: Monitoring, Control و post-evaluation. با این ارتباط، تشخیص قسمت هایی از مسیر چاه که به مسیر طراحی شده نزدیک می شود و چگونگی تغییر حالت مسیر، به سادگی انجام می گیرد. THD گام مثبتی در کنترل منطقی سیستم حفاری جهت دار برداشته و به نظر می رسد تصور حفاری جهت دار که به طور خودکار غیرممکن بود، اکنون عملی شده است. THD نقش مهمی در هدایت خودکار سیستم حفاری دارد که در این مورد پردازش های فازی کمک به سزایی در نصب ابزارآلات مربوط به حفاری جهت دار دارند. از دید تخصصی THD دارای خصوصیات زیر است:

۱. توانایی کنترل عملیات حفاری جهت دار و ارزیابی خدمات ارائه شده توسط کمپانی ها و سیستم حفاری
۲. کاربرد در تمام حفاری های جهت دار
۳. انطباق با انواع سیستم های حفاری جهت دار
۴. قابل تعریف برای هر مقطع از مسیر طراحی شده چاه

یک راه مناسب و کاملاً شهودی برای نمایش THD استفاده از لاگ می باشد. در هر ایستگاه پیمایش، مولفه های THD محاسبه می شوند و نقشه هایی به طور استاندارد از پیمایش چاه ها به دست می آید که به صورت لاگ نشان داده می شود. به طور کلی THD را توسط دو لاگ (یک لاگ افقی و یک لاگ

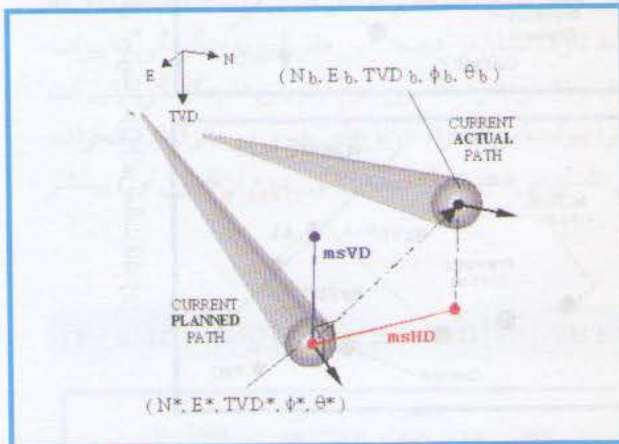


مختصات آن به صورت زیر است:

$(N^*, E^*, TVD^*) = \{P_1(MD^*), P_2(MD^*), P_3(MD^*)\}$ (۷)
 MD* با مساوی صفر قرار دادن مشتق معادله بالا برحسب MD* در سه جهت N, E, TVD به دست می آید. وقتی که MD* مشخص شد کار محاسبه مختصات و زوایا با استفاده از روابط ۱ تا ۵ انجام می شود.

مولفه های THD و تعریف ریاضی آنها [3]

در پرداختن به موقعیت واقعی چاه نقطه ای (MD*) در مسیر طراحی شده وجود دارد که فاصله سه بعدی میان مکان واقعی چاه و مکان طراحی شده را به حداقل می رساند. THD با یک معادله بسیار ساده تعریف می شود، اما برای تعیین مقادیر ستاره دار به Coding (نرم افزار طراحی شده در این زمینه) نیاز است. مجموعاً هشت پارامتر برای THD تعریف شده که بر



شکل ۱- مسیرهای طراحی شده و واقعی چاه [3]

پایه اختلاف زاویه ای و خطی مسیرهای واقعی و طراحی شده چاه می باشد.

۱- انحرافات خطی:

حالت اول: msHD/msVD

انحراف قائم (msVD) و انحراف افقی (msHD) دو پارامتر مهم THD هستند که موقعیت واقعی چاه را در مقایسه با موقعیت

$$3D(N_b, E_b, TVD_b, MD) = \sqrt{(N_b - N_{MD})^2 + (E_b - E_{MD})^2 + (TVD_b - TVD_{MD})^2} \quad (۶)$$

$$msVD = \cos\theta^* \cos\phi^* (N_b - N^*) + \sin\theta^* \cos\phi^* (E_b - E^*) - \sin\phi^* (TVD_b - TVD^*) \quad (۸)$$

$$msHD = \cos\theta^* (E_b - E^*) - \sin\theta^* (N_b - N^*) \quad (۹)$$

طراحی شده آن، با روابط ۸ و ۹ نشان می دهند.

حالت دوم: RCVD/RCHD

RCVD, RCHD تغییرات نسبی انحرافات قائم و افقی را نشان می دهند که نسبت به msVD, MsHD از اعتبار کمتری برخوردارند ولی حاوی اطلاعات مفیدی هستند ارتباط آنها به

قائم) نشان می دهند. در یک لاگ THD، تغییرات مولفه های مختلف انحراف چاه نسبت به عمق اندازه گیری شده واقعی بر روی نمودار نشان داده می شود. لاگ های THD را می توان قبل از حفاری، دقیقاً مانند نقشه های استاندارد چاه جهت دار، تهیه کرد و سپس با شروع عملیات حفاری مقادیر واقعی THD را نیز به نقشه درآورد تا عملیات حفر چاه جهت دار بهتر انجام گیرد. تکنولوژی THD به راندن وسایل اضافی به درون چاه نیاز ندارد بلکه از یک سری اطلاعات استاندارد استفاده می کند که از کنترل مسیر چاه برای توالی های کوچکتر یا مشابه حاصل می شود. THD با تطبیق واقعی و طراحی شده چاه داده های حاصله را هموار و قابل استفاده می سازد و سپس پروفیل های مربوط به این داده ها را با تعیین ارتباط تغییراتشان با خصوصیات زاویه ای و خطی مسیر متمایز می سازد. این مراحل مبنای پروژه های انحراف مسیر چاه در آینده می باشند.

تعریف ریاضی مسیر طراحی شده برای چاه [2]

بهترین روش برای نشان دادن کل مسیر حفاری آن است که مسیر بر روی نقشه مشخص شود و مختصات نقاط، شیب و آزیموت آنها برحسب عمق اندازه گیری شده (MD) به صورت یک پارامتر ریاضی نشان داده شود. تعریف ریاضی این پارامترها به صورت زیر است:

$$\phi(MD) = P_4(MD) \quad (۴) \quad N(MD) = P_1(MD) \quad (۱)$$

$$\theta(MD) = P_5(MD) \quad (۵) \quad E(MD) = P_2(MD) \quad (۲)$$

$$TVD(MD) = P_3(MD) \quad (۳)$$

توابع جزئی Pi برای بخشی از چاه که به صورت منحنی حفر شده به وسیله روش های درون یابی و در مورد قسمت هایی از چاه که به صورت مستقیم حفر شده اند، از کسینوس های هادی به دست می آید. مسیر حفاری طراحی شده شامل بخش های خطی و زاویه ای چاه، توسط فرمول هایی در معادلات ۱ تا ۵ و مشتقات آنها مشخص می شود. فاصله خطی بین موقعیت فعلی چاه (TVD_b, E_b, N_b) و یک نقطه

بر روی مسیر طراحی شده چاه از رابطه ۶ محاسبه می شود:

همواره نقطه ای در امتداد مسیر طراحی شده وجود دارد که فاصله سه بعدی (3D) میان موقعیت واقعی چاه و موقعیت طراحی شده آن را به حداقل می رساند. این نقطه را با MD* نشان می دهند که

صورت زیر می باشد:

طراحی ها، کاملاً مشابه RCVD, RCHD می باشد. روابط آنها با msAD, msID به صورت زیر است:

$$RCVD = 1000 \frac{msVD^n - msVD^{n-1}}{\Delta L^n} \quad (10)$$

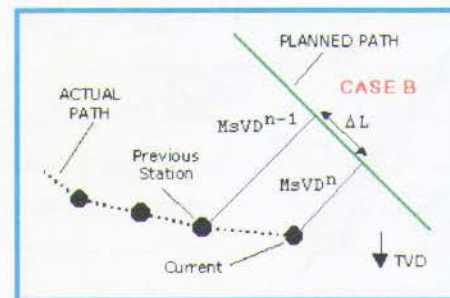
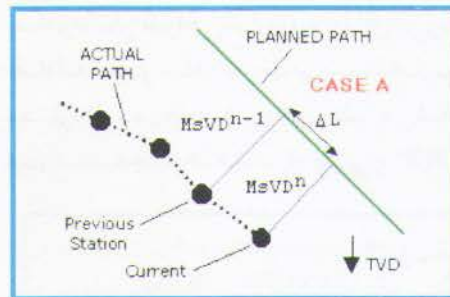
$$RCHD = 1000 \frac{msHD^n - msHD^{n-1}}{\Delta L^n} \quad (11)$$

$$RCID = 100 \frac{msID^n - msID^{n-1}}{\Delta L^n} \quad (14)$$

$$RCAD = 100 \frac{msAD^n - msAD^{n-1}}{\Delta L^n} \quad (15)$$

تذکره: در سیستم متریک به جای ۱۰۰۰ از ۳۰۴/۸ استفاده می شود. در شکل ۲، مثال هایی از THD در حالت قائم نشان داده شده است.

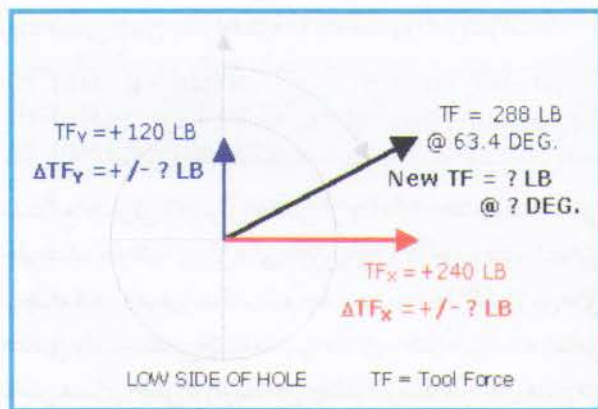
تذکره: در سیستم متریک به جای ۱۰۰ در معادلات فوق ۳۰/۴۸ قرار می دهیم.



شکل ۲- دو مثال از THD در حالت قائم [3]

کاربرد منطق فازی در حفاری جهت دار [4]

در سال ۱۹۹۶ شرکت مهندسی Stoner به طراحی کنترل کننده هایی برای حفاری جهت دار پرداخت. در این زمان سیستم های حفاری خودکار بسیار جدید بودند و کنترل مستقیم و غیرمستقیم بزرگی و جهت نیروهای جانبی اعمال شده بر مته را به عهده داشتند. یک سیستم حفاری جهت دار در تاثیر بزرگی و جهت نیروهای اعمالی تغییراتی نشان می دهد که برای رفع این مشکل به یک تثبیت کننده نیاز است.



شکل ۳- مولفه های نیروی اعمال شده به سر مته [4]

در هر دو حالت فوق msVD یکسان است و RCVD در هر دو حالت منفی است که بزرگی RCVD در حالت B بیشتر است. بنابراین مسیر حفاری در این حالت، سریع تر به مسیر طراحی شده چاه نزدیک می شود، که این موضوع تاثیر به سزایی بر نصب ابزارآلات حفاری دارد.

انحرافات زاویه ای:

حالت اول: msID/msAD

انحراف شیبی (msID) و انحراف امتدادی (msAD) اختلاف در زوایای چاه حفر شده و چاه طراحی شده را می رساند (مثلاً اگر شیب چاه حفر شده ۹۱/۶ درجه و طراحی چاه افقی باشد آنگاه msID=1.6 است) که فرمول آنها به فرم زیر است:

$$msID = \phi_b - \phi^* \quad (12)$$

$$msAD = \theta_b - \theta^* \quad (13)$$

حالت دوم: RCAD/RCID

تغییرات نسبی در انحراف شیبی (RCID) و تغییرات نسبی در انحراف آزمونوتی (RCAD) در

با توجه به شکل ۳، ΔTF_x و ΔTF_y مولفه های برداری در تثبیت نیروی ابزار می باشند Tool Force Magnitude-Orientation ($\Delta TFMO$ and همان نیروی ابزار است). پس از انتخاب یک سیستم حفاری جهت دار باید $\Delta TFMO$ که خروجی تثبیت کننده ها می باشد تعیین شود که این قسمت مشکل ترین بخش کار می باشد و توسط نرم افزار کامپیوتری انجام می گیرد.

دو نوع ورودی (ΔF_x و ΔF_y) و هشت نوع خروجی (msAD, RCHD, msHD, RCID, msID, RCVD, msVD) برای کنترل کننده فازی وجود دارد که این ورودی ها مربوط به THD می باشند. با استفاده از متغیرهای ورودی و خروجی،

Variable Description	Abbreviation	Fuzzy Set Naming				
		very low	low	right-on	high	very high
vertical deviation	msVD	VL	LO	RO	HI	VH
		neg. big	neg. small	zero	pos. small	pos. big
relative change in vertical deviation	RCVD	NB	NS	ZE	PS	PB
		very low	low	right-on	high	very high
inclination deviation	msID	VL	LO	RO	HI	VH
		neg. big	neg. small	zero	pos. small	pos. big
relative change in inclination deviation	RCID	NB	NS	ZE	PS	PB
		drop hard	drop soft	leave-alone	build soft	build hard
change in Tool Force (Y-direction)	ATF _y	DH	DS	LA-	BS	BH

قانون دوم فازی

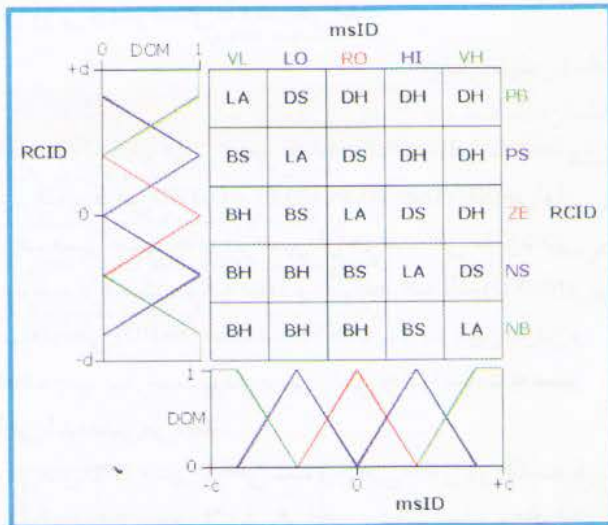
ماتریس شکل ۵ یک گروه از قوانین فازی را که به msID و RCVD و ارتباط دارد، نشان می دهد. این ماتریس به چگونگی تغییرات ΔTF_y نیز اشاره دارد. قانون دوم ماتریس ها چگونگی تغییرات ΔTF_y را بر اساس انحراف زاویه ای بدون در نظر گرفتن انحراف خطی نشان می دهد. اهمیت قانون دوم از قانون اول بیشتر است. مثال:

کنترل کننده فازی، نامگذاری می شود. از جدول ۱ برای نامگذاری مجموعه های فازی به طور قراردادی استفاده می شود.

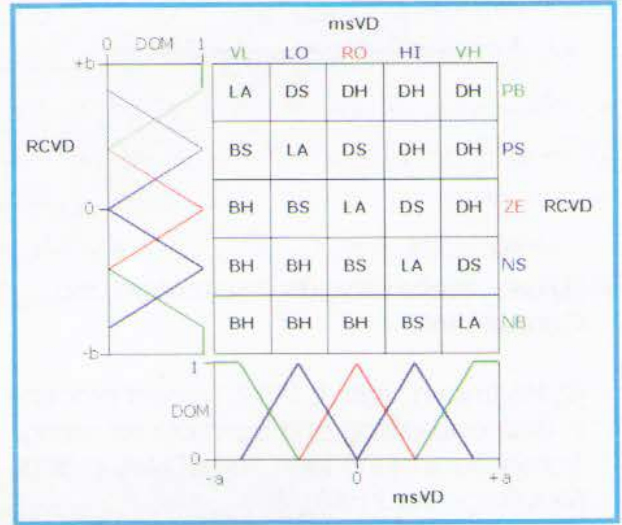
قانون اول فازی

ماتریس نشان داده شده در شکل ۴، یک گروه از قوانین فازی را که به طور ساده ارتباط msVD و RCVD را با تغییرات ΔTF_y می رساند، در بر می گیرد. قانون اول ماتریس ها چگونگی

IF <msID> is [HI] AND <RCID> is [PS], THEN < ΔTF_y > should be [DH].



شکل ۴- قانون دوم فازی [4]



شکل ۴- قانون اول فازی [4]

قانون سوم فازی

قانون سوم (شکل ۶) نشان دهنده یک گروه از قوانین فازی است

تغییرات ΔTF_y بر مبنای خطی را بدون در نظر گرفتن انحراف زاویه ای می رساند، مثال:

$$\text{IF } \langle \text{msVD} \rangle \text{ is } [\text{LO}] \text{ AND } \langle \text{RCVD} \rangle \text{ is } [\text{ZE}], \text{ THEN } \langle \Delta TF_y \rangle \text{ should be } [\text{BS}]. \quad (16)$$

شماره ۱۷- آذر ۱۳۸۳

علائم اختصاری

P_i : توابع وابسته به طراحی مسیر چاه

N : مختصات چاه در جهت شمال

E : مختصات چاه در جهت شرق

TVD : مختصات چاه در جهت عمق

Q : آزمون واقعی

Q : شیب واقعی چاه

N^* : مختصات مسیر طراحی شده در نقطه MD^* در جهت

شمال

E^* : مختصات مسیر طراحی شده در نقطه MD^* در جهت شرق

TVD^* : مختصات مسیر طراحی شده در نقطه MD^* در جهت

عمق

Q^* : شیب مسیر طراحی شده در نقطه MD^* (درجه)

Q^* : آزمون مسیر طراحی شده در نقطه MD^* (درجه)

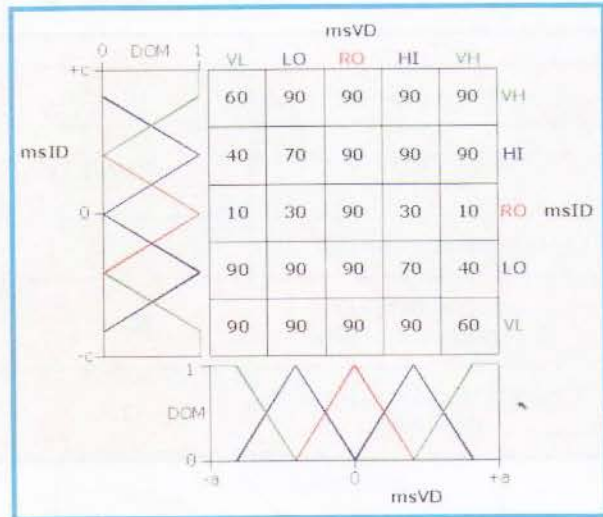
N_b : مختصات موقعیت فعلی ته چاه در جهت شمال

E_b : مختصات موقعیت فعلی ته چاه در جهت شرق

TVD_b : مختصات موقعیت فعلی ته چاه در جهت عمق

ϕ_b : شیب در موقعیت فعلی چاه (درجه)

θ_b : آزمون در موقعیت فعلی چاه (درجه)



شکل ۴- قانون سوم فازی [4]

که $msVD$ و $msID$ را با یک فاکتور وزنی مرتبط می سازد. برای تعیین بهترین فاکتور وزنی باید از منطق فازی کمک گرفت. کنترل انحرافات زاویه ای از انحرافات خطی آسان تر می باشد. زیرا لازمه کنترل انحرافات خطی مرتب کردن داده های مربوط به آن است.

مثال: اگر مسیر چاه نسبت به مسیر طراحی شده خیلی بالاتر (VERY HIGH) واقع شود و شیب چاه نیز نسبت به شیب طراحی شده بالا (HIGH) باشد از مینیمم کردن $msVD$ صرف نظر می شود و $msID$ را به حداقل می رساند که طبق قانون سوم یک فاکتور وزنی نو در صدی به دست می آید.

نتیجه گیری

با استفاده از متغیرهای اصلی ($msVD, msID, msHD, msAD$) و متغیرهای فرعی ($THD, RCAD, RCHD, RCID, RCVD$) می توان انحراف مسیر اصلی چاه را از مسیر طراحی شده اش نشان داد. دو مولفه از هشت مولفه THD بیانگر انحراف قائم ($msVD$) و انحراف افقی ($msHD$) هستند. $msVD$ ، بالا یا پایین بودن و $msHD$ ، چپ یا راست بودن مسیر واقعی چاه را نسبت به مسیر طراحی شده نشان می دهد.

نمودارهای THD مسیر طراحی شده و واقعی چاه را در مقایسه با جداول عددی و پلان های افقی و قائم مسیر به خوبی نشان می دهد.

با بکارگیری منطق فازی می توان بر مولفه های خطی و زاویه ای مسیر کنترل خودکار داشت و حفاری را در جهت از قبل تعیین شده آن پیش راند.

اتوماسیون حفاری توسط منطق فازی موجب کاهش نیروی انسانی، دقت بیشتر حفاری و کاهش هزینه های حفاری می شود.

منابع:

۱- دانشجویان کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- دانشیار بخش مهندسی معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان

[1] L.A.Zadeh, Fuzzy sets, Information and Control (1965)

[2] Hoffmann, John I. 1912. Recent practice in diamond drilling and borehole surveying. Transactions of the institution of Mining and Metallurgy, vol.21:481-505

[3] Dr.Michael S.Stoner, "Hole Deviation is Defined", Stoner Engineering Golden, Colorado, USA

[4] Dr.Michael S.Stoner, "Fuzzy Logic for Directional Steering", Stoner Engineering Golden, Colorado, USA