



# نرم افزار طراحی جداری به منظور بهینه سازی روش جداره گذاری در چاه های جنوب غرب ایران همراه با مطالعه موردی

محمدعلی تکالی، دانشگاه صنعت نفت-دانشکده نفت اهواز

رضا رفیعی فروشانی\*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه  
محمدرضا عادل زاده، شرکت نفت و گاز پارس

## چکیده

لوله های جداری با توجه به وظایف مهم و گوناگونی که بر عهده دارند و همچنین، قیمت بالا که حدود ۲۰ درصد از کل هزینه حفر و تکمیل یک چاه را شامل می گردد، در طراحی و مهندسی چاه های نفت و گاز از اهمیت ویژه ای برخوردارند. در نظر گرفتن عوامل مختلفی همچون بارگذاری، مچالگی<sup>۱</sup>، ترکیدگی<sup>۲</sup> و کششی<sup>۳</sup> در طراحی لوله های جداری منجر به محاسبات طولانی و نسبتاً پیچیده ای می شود که به منظور دقت و سرعت عمل محاسبات، لازم است به صورت نرم افزار رایانه ای مدل شوند. از آنجایی که مدل و روابط محاسباتی طراحی لوله های جداری در هر منطقه و میدان نفتی و گازی تابعی از شرایط خاص آن منطقه و همچنین تجربیات شرکت عامل در آنجا می باشد، لذا نرم افزارهای طراحی باید بر اساس روابط و ملاحظات خاص آن منطقه و شرکت، تهیه و بومی سازی شوند.

واژگان کلیدی: طراحی لوله های جداری، بارگذاری، مچالگی، ترکیدگی، کششی

## مقدمه

ثابت در طول عمر چاه فرض می شود که برای طراحی جداری در میدانی استثنایی که سازندهایی با لایه های روان دارند، مناسب نیست و باید به طور جداگانه از روش های تحلیلی و محاسبات پیچیده تر استفاده شود. همچنین، در این روش، برای تصحیح مقاومت مچالگی لوله های جداری در شرایط چاه، الگوی بیضی تنش دو محوری<sup>۵</sup> (شکل-۱) و برای محاسبه تنش محوری در هر عمق، برآیند وزن شناوری لوله های زیرین و فشار هیدروستاتیک ستون گل به کار گرفته می شود (روابط-۱ تا ۵).

$$A(\text{in}^2) = \frac{\pi}{4}(\text{OD} - \text{ID})^2 \quad (1)$$

$$K = 1 + \frac{0.3}{(\text{OD}/\text{ID})^2 - 1} \quad (2)$$

$$S_{\text{acpl}} = \frac{Wb @ \text{Dol} (\text{lb})}{A (\text{in}^2)} [\text{Dol} (\text{m}) \times 3.281 \times \text{MW}(\text{pcf}) \times k] \quad (3)$$

$$X = \frac{S_a}{Y_m} \quad (4)$$

$$\text{Collapse Correction Factor} = \frac{X - \sqrt{(4-3X^2)}}{2} \quad (5)$$

## ۱- معرفی نرم افزار

نرم افزار Select Casing در محیط برنامه نویسی Visual Studio 2010 #C نوشته شده است. با توجه به لزوم پیروی از روش به کار گرفته شده توسط شرکت های عامل در منطقه جنوب غرب در بحث طراحی جداری، روش کلی محاسبات نرم افزار نیز بر اساس آن چه در این منطقه مرسوم است، برنامه نویسی شده اما طبق اصول کلی، دو تغییر در نحوه محاسبات داده شده است:

یکی از روش های مهم طراحی لوله های جداری، روش گلف است که به دلیل تطابق با شرایط میدانی جنوب غرب در این منطقه، مورد استفاده قرار می گیرد؛ روشی ساده و رایج که بر اساس سه مؤلفه اصلی طراحی جداری یعنی مچالگی و ترکیدگی و کشش است. رشته جداری در ابتدا بر اساس مچالگی طراحی می شود و سپس، از نظر ترکیدگی و در نهایت، کششی بررسی و در صورت لزوم اصلاح می شود. معمولاً بحرانی ترین شرایط را برای هر کدام از مؤلفه ها فرض می کنند؛

الف- برای طراحی از نظر مقاومت مچالگی، فرض می شود که هرزروی کامل رخ می دهد و درون لوله های جداری تهی از سیال است. ب- در مرحله ترکیدگی، فرض می شود فشار پشتیبان سیالات سازندی روی بدنه خارجی جداری اعمال نمی شود.

ج- در مرحله کششی فرض می شود اثر نیروی شناوری وجود ندارد. اما طبق روش گلف اگر اطمینان حاصل شود سازندهای حاوی آب پرفشار، فشار پشت لوله های جداری را تأمین می کنند، آن فشار به عنوان پشتیبان باید در نظر گرفته شود. از آنجایی که در اکثر میدانی جنوب غرب ایران سازندهای حاوی آب نمک پرفشار (مخصوصاً سازندگان گچساران) وجود دارد، لذا این فشار در مرحله ترکیدگی لحاظ می شود. مبنای محاسبه ی حداکثر فشار مچالگی در هر عمق بر اساس فشار هیدروستاتیک ستون گل حاصل از حداکثر وزن گل استفاده شده در زمان جداره گذاری است، از این رو فشار مچالگی در هر عمق مقداری

\*نویسنده ی عهده دار مکاتبات ( reza.rafaei2000@gmail.com )

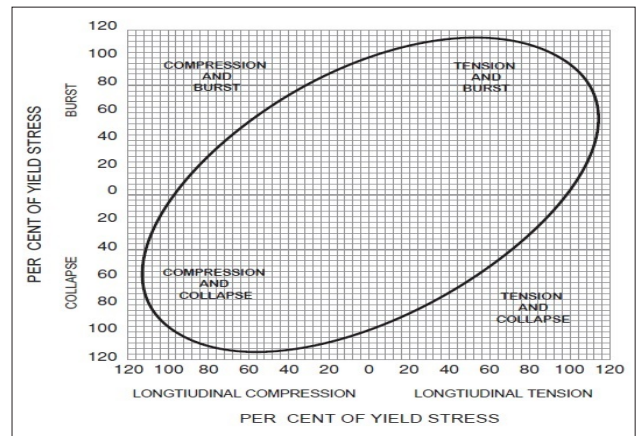
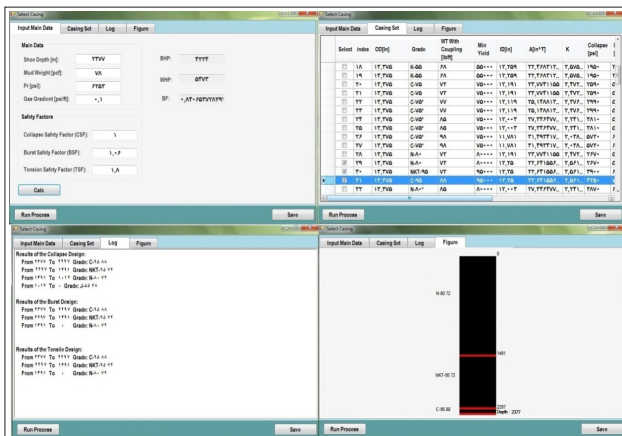
مذکور از روابط ۱- تا ۴ استفاده می شود اما در نهایت، برای به دست آوردن ضریب اصلاح مقاومت ترکیبگی، به جای رابطه ۵-، رابطه ۶- به کار می رود.

$$\text{Burst Collapse Correction Factor} = \frac{X + \sqrt{4 - 3X^2}}{2} \quad (6)$$

در صفحه اول نرم افزار اطلاعات ورودی شامل عمق جداره گذاری، وزن گل، ضرایب ایمنی و ... دریافت می گردد (شکل ۲-). و با فشردن دکمه calc حداکثر فشارهای مجالگی و ترکیبگی محاسبه و نمایش داده می شوند. در صفحه دوم، از میان لیست لوله های جداره موجود، تعدادی انتخاب می شود و نرم افزار با الگوریتم هایی آن ها را برای استفاده در مراحل مختلف مرتب سازی می کند. اگر در بین جداره های انتخابی هیچ کدام از لحاظ حداکثر فشارهای مجالگی و ترکیبگی مقاومت لازم را نداشته باشد، هشدار مبنی بر اضافه کردن جداره قوی تر به لیست انتخابی می دهد. در نهایت، در صفحه سوم پس از فشردن دکمه Run Process، رشته جداره طراحی شده در هر مرحله نمایش داده می شود.

الف- در هر عمق بررسی که همان نقاط تعویض انواع جداره در رشته است، با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی عددی، عمق بهینه ای محاسبه می شود که ضریب ایمنی در عمق بررسی دقیقاً برابر با ضریب ایمنی تعیین شده است، چرا که در روش های محاسبات دستی، به دلیل محدودیت در طولانی شدن محاسبات از الگوریتم هایی استفاده می شود که جواب تقریبی نزدیکی به دست می آید.

ب- در مرحله دوم طراحی که بررسی و اصلاح از نظر مقاومت ترکیبگی است، طبق الگوی بیضی تنش دو محوری، مقاومت ترکیبگی جداره اصلاح می شود. افزایش وزن لوله های زیرین در قسمت های بالایی رشته باعث افزایش تنش محوری می شود و در نتیجه اثر افزایش بر مقاومت ترکیبگی لوله های جداره دارد. همچنین، حداکثر فشار ترکیبگی در سطح است و در روند طراحی بسیاری از مواقع به دلیل عدم تحمل فشار ترکیبگی توسط رشته طراحی شده در مرحله مجالگی مجبور به تعویض جداره های ضعیف تر با انواع قوی تر در قسمت های بالای رشته می شوند، لذا تعبیه الگوی بیضی تنش محوری می تواند باعث بهینه سازی شود. برای اصلاح مقاومت ترکیبگی جداره طبق الگوی



شکل ۲ | نمای کلی نرم افزار Select Casing

شکل ۱ | نمودار بیضی تنش دومیاری الگوی تغییر مقاومت مجالگی و ترکیبگی تحت تنش محوری

SIZE	OD in	GRADE	Weight with Coupling lb/ft	min Yield	ID in	A in <sup>2</sup>	K	Coll psi	Burst psi	BODY YIELD lbs	Joint strength lbs BUTTRESS
۱۳	۳۷۵	J-55	۶۱	۵۵۰۰۰	۱۲/۲۵	۲۲/۶۴۱۵۶	۲/۵۶۱۶۲۶	۱۹۵۰	۳۴۵۰	۱۰۶۹۰۰۰	۱۱۴۲۰۰۰
۱۳	۳۷۵	N-80	۷۲	۸۰۰۰۰	۱۲/۲۵	۲۲/۶۴۱۵۶	۲/۵۶۱۶۲۶	۲۶۷۰	۵۳۸۰	۱۶۶۱۰۰۰	۱۶۶۱۰۰۰
۱۳	۳۷۵	NKT-95	۷۲	۹۵۰۰۰	۱۲/۲۵	۲۲/۶۴۱۵۶	۲/۵۶۱۶۲۶	۳۹۰۰	۶۳۹۰	۱۹۷۳۰۰۰	۱۹۷۳۰۰۰
۱۳	۳۷۵	C-95	۸۸	۹۵۰۰۰	۱۲/۲۵	۲۲/۶۴۱۵۶	۲/۵۶۱۶۲۶	۴۲۵۰	۷۶۳۰	۲۴۲۵۰۰۰	۱۸۸۵۰۰۰



## ۲- مقایسه عملکرد نتایج روش محاسبات دستی و نرم افزار

در یک میدان مفروض، طراحی دو رشته جداری  $13 \times 8$  اینچی در دو چاه-A و B با توجه به موجودی انبار (جدول-۱) طبق روش دستی و نرم افزار در جدول-۲ و ۳ نشان داده شده است.

در چاه-A عمق جداره گذاری ۲۳۷۷ متر و وزن گل ۷۸pcf است. پیش بینی می شود در فاز بعدی، حفاری با لایه پرفشار آب نمک در عمق ۳۰۹۰ متری با فشار ۷۲۵۵psi و با گرادیان سیال ۰/۴۳۳psi/ft مواجه شود.

ضرایب ایمنی به این شرح است:  $CSF=1$ ,  $BSF=1.66$ ,  $TSF=1.8$  (برای طراحی ترکیدگی، فشار لایه پرفشار در عمق جداره گذاری محاسبه و فرض می شود. بدین ترتیب، فشار در زیر کفشک<sup>۶</sup> بر اساس افت فشار، ۶۲۵۳ psi فرض می گردد).

در چاه-B عمق جداره گذاری ۱۹۰۰ متر و وزن گل ۹۰pcf است. پیش بینی می شود در فاز بعدی، حفاری با لایه پرفشار آب نمک در عمق ۲۷۰۱ متری با فشار ۵۵۰۵ psi و با گرادیان سیال ۰/۴۳۳psi/ft مواجه شود. ضرایب ایمنی به این شرح است  $CSF=1.8$ ,  $BSF=1.1$ ,  $TSF=0.97$  (برای طراحی ترکیدگی، افت فشار لایه پرفشار در عمق جداره گذاری محاسبه و فرض می شود. بدین ترتیب فشار در زیر کفشک ۴۳۶۷psi فرض می گردد)

نتایج طراحی در دو چاه گفته شده طبق شرایط مذکور بر اساس شرایط

زیر در جداول-۲ و ۳ به تفکیک نشان داده شده است.

با نگاهی به نتایج، مشاهده می شود که در روش نرم افزاری، ضرایب ایمنی مُچالگی (CSF) در عمق های تعویض برابر ضریب ایمنی تعیین شده هستند که باعث شده در چاه-A عمق تعویض جداری C95 و NKT95 از ۲۱۹۴/۵ متری به ۲۲۹۷ متری جابه جا شود. این امر به مفهوم جایگزینی ۱۰۲/۵ متر C95 با NKT95 و صرفه جویی اقتصادی مترترب بر آن است.

در چاه-B عمق تعویض N80 و J55 از ۱۳۰۲ متری به ۱۳۶۳/۵ متری تغییر کرده و در نتیجه، ۶۱/۵ متر J55 با N80 جایگزین و باعث صرفه جویی در هزینه ها شده است.

## ۲-۱- بررسی شرایط سیال گازی پرفشار

برای بررسی اثر تصحیح مقاومت ترکیدگی جداری ها در شرایط چاه طبق الگوی بیضی تنش دومی محوری، سیال سازندی به جای آب نمک، گاز با گرادیان ۰/۱psi/ft فرض می شود (فشار بلافاصله بعد از عمق کفشک در چاه-A برابر با ۶۲۵۳psi و در چاه-B برابر با ۴۳۶۷psi در نظر گرفته می شود). نتایج روش دستی و نرم افزاری در دو چاه مذکور بر اساس شرایط جدید در جدول های-۴ و ۵ آورده شده است.

با بررسی نتایج تفاوت های قابل توجه، علاوه بر آن چه در بررسی قبلی گفته شد، مشاهده می شود که در چاه-A در روش نرم افزاری، جداری

۲ | مقایسه نتایج چاه A

محاسبات دستی					محاسبات نرم افزاری					
Type	C95	NKT95	N80	J55	C95	NKT95	N80	J55		
DOI(m)	2377/00	2194/45	1491/10	1012/26	0/00	2377/00	2297/00	1491/62	1014/95	0/00
CSF	1/0584	1/0396	0/9990	0/9999		1/0584	1/0000	1/0000	1/0000	
BSF	3/5287	3/0521	2/2948	1/3717	1/1996	3/5287	2/9375	2/3110	1/4560	1/3550
TSF		37/4337	7/5893	3/2201	1/9997		85/4178	7/7852	3/2796	2/0204

۳ | مقایسه نتایج چاه

محاسبات دستی				محاسبات نرم افزاری				
Type	NKT95	N80	J55	NKT95	N80	J55		
DOI(m)	1900/00	1302/04	950/93	0/00	1900/00	1363/55	951/79	0/00
CSF	1/0494	1/0107	0/9708		1/0494	0/9700	0/9700	
BSF	13/5723	6/3481	3/2283	2/0687	12/8030	6/5417	3/3164	2/2916
TSF		11/7587	4/7680	2/5789		13/1069	4/7724	2/5791

و ارضای ضرایب ایمنی تعیین شده توانست مقادیر قابل توجه جداری ضعیف تر و ارزان تر را جایگزین انواع گران تر و قوی تر نماید. در چاههایی که سیال پرفشار دارند و فشار سرچاه در آنها به حدی است که نیاز است رشته جداری طراحی شده در مرحله مچالگی، در مرحله ترکیبگی اصلاح شود، استفاده از الگوی بیضی تنش دو محوری در اصلاح مقاومت جداری می تواند منجر به صرفه جویی قابل توجهی شود. طراحی روند محاسبات به صورت نرم افزاری، علاوه بر سرعت و دقت بالا می تواند منجر به بهینه سازی و صرفه جویی در هزینه ها شود. ■

N80 تا سطح جوابگو بوده و نسبت به روش دستی ۲۷۴/۵ متر NKT95 صرفه جویی شده است. در چاه B-جداری N80 در روش نرم افزاری از عمق ۱۷۹ متری و در روش محاسبات دستی از ۳۵۲/۵ متری تا سطح امتداد دارد، در نتیجه در روش نرم افزاری ۱۷۳/۵ متر جداری J55 با N80 جایگزین شده که باعث صرفه جویی و کاهش هزینه ها می گردد.

#### نتیجه گیری

نرم افزار با استفاده از روش های بهینه سازی عددی در عین رعایت

۴ | مقایسه نتایج چاه-A در شرایط گازی

Type	محاسبات دستی					محاسبات نرم افزاری			
	C95	NKT95	N80	NKT95		C95	NKT95	N80	
DOI(m)	2377/00	2194/45	1491/10	274/40	0/00	2377/00	2297/00	1491/63	0/00
CSF	1/0584	1/0396	0/9990	4/7749		1/0584	1/0000	1/0000	
BSF	3/7613	2/7866	1/6242	1/0600	1/1675	3/5287	2/8177	1/6360	1/0863
TSF		37/4337	7/5893	3/2808	3/4547		85/4178	7/7852	2/9361

۵ | مقایسه نتایج چاه-B در شرایط گازی

Type	محاسبات دستی					محاسبات نرم افزاری				
	C95	NKT95	J55	N80		NKT95	N80	J55	N80	
DOI(m)	1900/00	1302/04	950/93	352/51	0/00	1900/00	1363/55	951/79	179/00	0/00
CSF	1/0494	1/0107	0/9708	2/4015		1/0494	0/9700	0/9700	4/5912	
BSF	13/5723	3/5847	1/6385	1/1000	1/4371	12/8030	3/7929	1/6835	1/1000	1/5539
TSF		11/7587	4/7680	3/1078	3/8877		13/1069	4/7724	2/8231	3/9458

#### پانویس ها

- 1: Loadings
- 2: Collapse
- 3: Burst
- 4: Tensile

- 5: Biaxial Loading ellipse
- 6: Numerical optimization
- 7: Casing shoe

#### منابع

- [1] محمدرضا عادلزاده، اصول طراحی لوله های جداری، چاپ اول، تهران، راه نوین، ۱۳۹۲، ۳۸۰.
- [2] Rahman, S.S., Chilingarian, G.V., (2002), "Casing design theory and practice", Elsevier Science Ltd, Amsterdam.
- [3] Schulmberger, "Casing design Manual".
- [4] Heriot Watt Institute of petroleum engineering, (2005), "Drilling Engineering", Heriot Watt University.
- [5] Jorge Nocedal, Stephen J. Wright, (2006), "Numerical optimization", 2nd edition, Springer.