

# طراحی بهینه لخته‌گیر دو فاز میدان پارس جنوبی

فرشاد عسگری<sup>۱</sup>، احسان خامه‌چی<sup>۱\*</sup> و فریبرز رشیدی<sup>۲</sup>

۱- دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران

۲- دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۳۰

## چکیده

در بسیاری از مخازن گازی، از جمله مخزن عظیم پارس جنوبی، که در دسته مخازن گاز-گاز مایع قرار می‌گیرند، بسیاری از تجهیزات سطحی تولید گاز، گاز را به‌همراه میعان‌ات هیدروکربن‌ها و آب دریافت می‌کنند. میعان‌ات سبب ایجاد لخته‌ها در خطوط لوله می‌شوند. لخته‌ها که توده‌ای از مایع هستند در خطوط لوله جریان چندفازی بسیار مشکل‌ساز می‌شوند. برای جداسازی میعان‌ات از لخته‌گیرها استفاده می‌شود. لخته‌گیر ابزاری ضروری در پایانه ورودی یک کارخانه پردازشگر جریان چندفازی است. عملکرد خاص یک لخته‌گیر جدایش فازهای مایع و گازی از یکدیگر و ذخیره موقت مایعات است. در این مقاله، براساس اصول جریان دوفازی حاکم در لخته‌گیر، روشی برای طراحی لخته‌گیر انگشتی پیشنهاد خواهیم نمود. سپس با استفاده از این روش به طراحی لخته‌گیر دو فاز میدان پارس جنوبی خواهیم پرداخت. در نهایت به کمک بررسی میزان بازیابی میعان‌ات و بررسی اقتصادی لخته‌گیرهای پیشنهادی، لخته‌گیر بهینه برای این دوفاز را انتخاب خواهیم کرد. از مهم‌ترین نتایج این پژوهش می‌توان به ارائه الگویی کارآمد برای طراحی لخته‌گیرهای انگشتی و انتخاب بهینه آن اشاره کرد. استفاده از این الگو برای طراحی مناسب لخته‌گیر و صرفه‌جویی در زمان و هزینه بسیار مناسب است.

**کلمات کلیدی:** جریان دوفازی، رژیم‌های جریان، جریان لخته‌ای، لخته‌گیر، لخته‌گیر چندلوله‌ای.

## مقدمه

شکل‌گیری جریان لایه‌ای در انگشتی<sup>۱</sup>، با استفاده از روش تعیین رژیم جریان تایتل و داکلر ارائه کرد [۱ و ۲]. در سال ۲۰۱۳ فالومی روشی برای طراحی لخته‌گیر پیشنهاد کرد که انتخاب قطر همانند روش سارسیا براساس روش تایتل و داکلر صورت می‌گرفت و از رابطه پیشنهادی خود برای تعیین حجم ذخیره‌سازی مورد نیاز لخته‌گیر استفاده می‌کرد [۳ و ۴].

با توجه به نقش حیاتی لخته‌گیر<sup>۱</sup> در ورودی واحد فراورش گاز، طراحی مناسب آن برای داشتن کارایی بالا بسیار مهم است. لخته‌گیر باید بتواند با جداسازی میعان‌ات از گاز، نوسانات جریان لخته‌ای<sup>۲</sup> وارده به سیستم را از بین ببرد. سارسیا در سال ۱۹۹۰ روشی برای انتخاب قطر لخته‌گیر بر مبنای

1. Slug Catcher

2. Slug Flow

3. Finger

لخته‌گیر، به عوامل مختلفی بستگی دارد که عبارتند از:

- ۱- دبی جریان گاز در لوله
- ۲- حجم مورد نیاز لخته‌گیر برای ذخیره‌سازی مایع
- ۳- اندازه فضای سایت برای نصب لخته‌گیر (طول در دسترس برای انگشتی‌ها)
- ۴- قطر انگشتی‌ها
- ۵- شیب انگشتی‌ها

۶- انتخاب بین لخته‌گیر با یک شیب<sup>۱</sup> یا دو شیب<sup>۲</sup> انتخاب تعداد انگشتی‌ها برای انجام جدایش کارآمد بسیار حائز اهمیت است. در این انتخاب باید احتمال افزایش دبی در آینده نیز در نظر گرفته شود. بنابراین باید با دست باز تعداد انگشتی‌ها انتخاب شود، اما تعداد آن برای توزیع بهتر جریان، نباید بیشتر از ۸ عدد شود. برای طراحی لخته‌گیر باید بدترین وضعیت ممکن<sup>۳</sup> در نظر گرفته شود. باید توزیع غیر یک نواخت لخته مایع بین انگشتی‌ها مد نظر قرار گیرد. باید فرض شود که سنگین‌ترین باری که یک انگشتی متحمل می‌شود، ۲۰٪ بیشتر از زمانی است که جریان به صورت یکسان توزیع شود ( $\eta_p/120$ ) [۷].

#### انتخاب قطر انگشتی

لخته‌گیر چند لوله‌ای<sup>۴</sup> معمولاً به صورت چند انگشتی با شیب رو به پایین طراحی می‌شود که دارای قطری هستند که با هدف شکل‌گیری جریان لایه‌ای در آن انتخاب شده است [۸]. ما برای تعیین رژیم جریان در لخته‌گیر و تعیین حداقل قطر آن از رابطه گاز و همکاران<sup>۵</sup> استفاده می‌کنیم، مزایای این رابطه در این خصوص عبارتند از:

استفاده از روش تایتل و داکلر برای شناسایی رژیم جریان در انگشتی، محاسبات پیچیده دوفازی را به‌همراه دارد. در سال ۲۰۱۵ کلات روشی براساس نشست ثقلی، سقوط قطرات مایع درون گاز و اندازه قطرات مایع، برای طراحی قطر و طول لخته‌گیر ارائه کرد [۵]. قطر محاسبه شده از روش کلات باید برای برقراری رژیم جریان لایه‌ای چک شود، چراکه مکانیسم اصلی جداسازی در لخته‌گیر انگشتی<sup>۱</sup> (لخته‌گیر چند لوله‌ای<sup>۲</sup>)، شکل‌گیری رژیم جریان لایه‌ای در انگشتی است. علاوه بر عملکرد لخته‌گیر در جداسازی مایع و گاز، هزینه‌های ساخت و نصب آن نیز باید مورد بررسی قرار گیرد. لخته‌گیرهای انگشتی وظیفه جداسازی میعانات و نگهداری موقت آن‌ها را بر عهده دارند، به همین منظور هر انگشتی از سه بخش جدایش<sup>۳</sup>، میانی<sup>۴</sup> و ذخیره‌سازی<sup>۵</sup> تشکیل شده است.

#### روش طراحی لخته‌گیر انگشتی

برای طراحی مناسب لخته‌گیر انگشتی، اطلاعات جریان ورودی در هر دو حالت جریان پایدار و گذرا نیاز است. این اطلاعات با تجزیه تحلیل جریان در لوله‌ها، در ورودی لخته‌گیر به دست می‌آیند. مهم‌ترین اطلاعات مورد نیاز برای طراحی، که از تجزیه تحلیل خط لوله قابل دست‌یابی هستند عبارتند از [۶]:

- دبی‌های جریان واقعی، که برای طراحی بخش جداسازی مورد نیاز است.

- اندازه بزرگ‌ترین لخته مایع که طی جریان گذرا به لخته‌گیر می‌رسد، که برای طراحی بخش ذخیره‌سازی مورد نیاز است.

برای طراحی لخته‌گیر انگشتی پس از مشخص کردن تعداد انگشتی، قطر آن باید به صورت صحیح انتخاب شود، در نهایت با مشخص کردن شیب و طول هر بخش، طراحی لخته‌گیر انجام می‌شود.

#### تعیین تعداد انگشتی

انتخاب تعداد انگشتی‌های ( $\eta_p$ ) مورد استفاده در

1. Finger Type Slug Catcher
2. Multi Pipe Slug Catcher
3. Separation Section
4. Intermediate Section
5. Storage Section
6. Single Slope
7. Dual Slope
8. Worst Case
9. Multi-Pipe Slug Catcher
10. Guzhave et. Al.

که  $N_{FR} < L_p$  باشد جریان لایه‌ای است، در غیر این صورت جریان قالبی (متناوب) است [۱۰]. برای تعیین حداقل قطر لخته‌گیر، به ترتیب وجود رژیم جریان لایه‌ای را در قطرهای استاندارد (قطرهای ۱۶، ۲۰، ۲۴، ۳۰، ۳۶، ۴۲، ۴۶ و ۴۸ in [۱۱])، به کمک رابطه گاژو و همکاران بررسی می‌کنیم. الگوریتم بررسی رژیم جریان برای هر قطر استاندارد در شکل ۱ ارائه شده است.

### تعیین طول و شیب بخش‌های انگشتی بخش جداسازی

در بخش جداسازی تفکیک فاز مایع و گاز انجام می‌شود. این بخش دارای شیب رو به پایین است تا جریان لایه‌ای راحت‌تر شکل بگیرد. معمولاً شیب بالاتر از ۲/۵٪ تأثیر مثبت محسوسی ندارد [۷]. اما شیب ۲/۵ تا ۵٪ برای این بخش معمول است [۵]. طول بخش جداسازی بر اساس زمان ماند مایع<sup>۲</sup> در این بخش تعیین می‌شود. استاندارد API 12 J زمان ماند را براساس دانسیته نفت به صورت جدول ۱ پیشنهاد داده است [۱۲].

$$L_{sep} = \frac{Q_L T_R}{\left(\frac{\pi}{4} D^2\right) f} \quad (3)$$

در معادله ۳  $T_R$  زمان ماند (min)،  $Q_L$  دبی مایع (فوت مکعب در دقیقه)،  $D$  قطر (فوت) و  $f$  کسر حجمی مایع در انگشتی است.

۱- روابط روش گاژو و همکاران برای خطوط لوله با شیب کم ( $0 \pm 9^\circ$ ) مناسب هستند (با توجه به اینکه حداکثر شیب لخته‌گیر در بخش جداسازی ۵٪ (حدود  $3^\circ$ ) است، این روش بسیار مناسب است).  
۲- این روش به صورت مشخص به بررسی وقوع رژیم جریان لایه‌ای می‌پردازد (تنها رژیم جریان لایه‌ای و متناوب را مدنظر قرار داده است، و از آنجایی که وقوع رژیم جریان لایه‌ای برای انتخاب قطر اهمیت دارد، می‌تواند به سهولت وجود و یا عدم وجود رژیم جریان لایه‌ای را بررسی نماید).

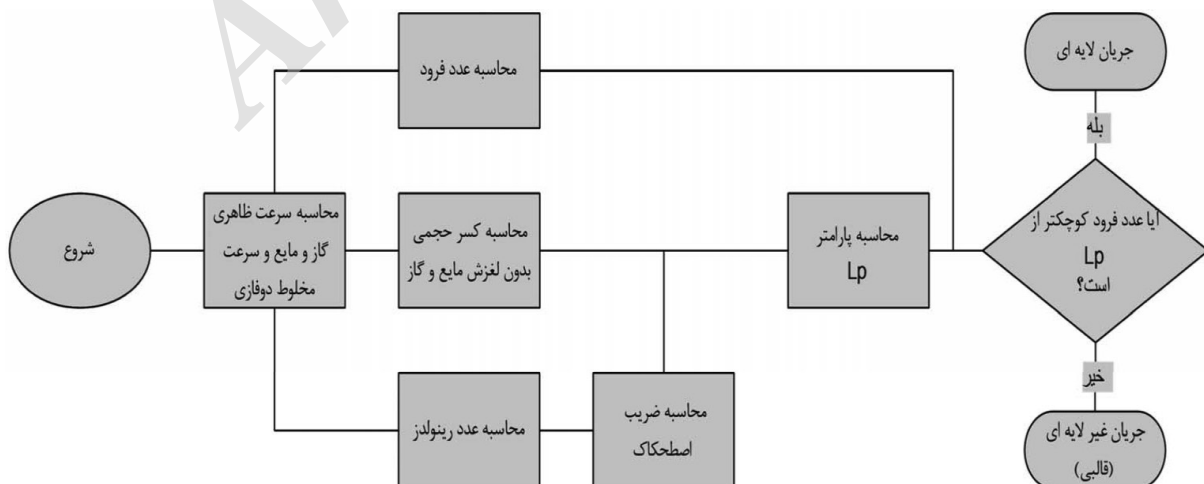
۳- در این روش رژیم جریان و پس‌ماند مایع به صورت تابعی از شیب لوله محاسبه می‌شود [۹].

تعیین رژیم جریان با روش گاژو و همکاران به کمک دو پارامتر صورت می‌گیرد که عبارتند از:

$$N_{FR} = \frac{V_m^2}{g d} \quad (1)$$

$$L_p = 0.2 + \frac{2 \sin \phi}{f L} \frac{\text{Exp}(-2.5 \lambda_g)}{\lambda L} \quad (2)$$

در معادلات ۱ و ۲،  $V_m$  سرعت مخلوط دوفازی (مجموع سرعت ظاهری فاز گاز و مایع) (ft/sec)،  $g$  ثابت شتاب گرانش ( $\text{ft/sec}^2$ )،  $d$  قطر (ft)،  $\phi$  زاویه لوله نسبت به سطح افق (مقادیر مثبت استفاده می‌شود)،  $f_1$  ضریب اصطحکاک مودی و  $\lambda_1$  و  $\lambda_g$  به ترتیب مقادیر پس‌ماند بدون لغزش<sup>۱</sup> مایع و گاز هستند. در این روش زمانی



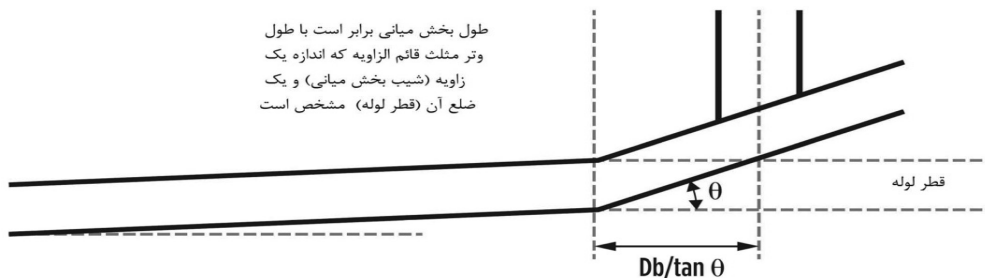
شکل ۱ الگوریتم تشخیص رژیم جریان برای هر قطر استاندارد، با کمک روش گاژو و همکاران.

1. No Slip Holdup  
2. Retention Time

## طراحی بهینه لخته‌گیر دو فاز پارس جنوبی

کاربرد بهینه‌سازی در مهندسی نفت را می‌توان به سه بخش کلی تقسیم کرد که عبارتند از زمان‌بندی تولید، تعیین محل چاه‌ها و طراحی تجهیزات بهره‌برداری. بهینه‌سازی در تجهیزات بهره‌برداری به افزایش کارایی تجهیزات و کاهش هزینه آن‌ها توجه دارد [۱۴]. با توجه به فضای در دسترس در سایت پارس جنوبی، مشخصات سیالات و دبی جریان سیالات این میدان، استفاده از دو لخته‌گیر موازی و کنار هم، با ۶ انگشتی، برای دوفاز مرسوم است. در شرایط عادی یکی از دو لخته‌گیر در مدار قرار می‌گیرد، و در شرایطی همچون افزایش دبی جریان و یا توپکرانی، از هر دو لخته‌گیر استفاده می‌شود. اطلاعات میدانی برای طراحی لخته‌گیر دو فاز پارس جنوبی در جدول ۲ ذکر شده است [۱۵]. لازم به ذکر است که برای سهولت شکل‌گیری جریان لایه‌ای، شیب بخش جدایش برابر با ۵٪ (۲/۸۶ درجه)، و شیب بخش ذخیره‌سازی برای استفاده از حداکثر ظرفیت برابر با ۱٪ (۰/۵۷ درجه) در نظر گرفته شده است. با استفاده از اطلاعات میدانی جدول ۲ و روشی که برای انتخاب حداقل قطر انگشتی در لخته‌گیر چند لوله‌ای ارائه گردید، حداقل قطر برای انگشتی ۳۴ in تخمین زده می‌شود. با توجه به قطرهای استاندارد لوله (قطرهای ۱۶، ۲۰، ۲۴، ۳۰، ۳۶، ۴۲، ۴۶ و ۴۸ in)، لوله ۳۶ in اولین لوله استاندارد بعد از ۳۴ in هست. لذا لوله‌های ۳۶، ۴۲، ۴۶ و ۴۸ in می‌توانند در ساخت این لخته‌گیر استفاده شوند.

طول بخش میانی برابر است با طول وتر مثلث قائم الزاویه که اندازه یک زاویه (شیب بخش میانی) و یک ضلع آن (قطر لوله) مشخص است



شکل ۲ شیب و طول بخش میانی [۵].

جدول ۱ زمان ماند مایع در جداساز دوفازی.

زمان ماند (min)	دانسیته نفت (درجه API)
۱	بالای ۳۵
۱-۲	۲۰-۳۰
۲-۴	۱۰-۲۰

## بخش میانی

بخش میانی بخش بین بخش جداسازی و ذخیره‌سازی است، شیب این بخش برابر با شیب بخش جدایش است و طول آن با توجه به زاویه بخش جداسازی ( $\theta_2$ ) و قطر (d) از رابطه ۴ محاسبه می‌شود شکل ۲.

$$\sin \theta_2 = \frac{d}{L_{\text{int}}} \rightarrow L_{\text{int}} = \frac{d}{\sin \theta_2} \quad (۴)$$

## بخش ذخیره‌سازی

بخش ذخیره‌سازی وظیفه ذخیره موقت مایعات را بر عهده دارد. شیب این بخش ( $\theta_1$ ) معمولاً ۱٪ در نظر گرفته می‌شود. طول این قسمت براساس حجم بزرگ‌ترین لخته مایع که به لخته‌گیر می‌رسد تعیین می‌شود. به کمک رابطه ۵ و پسماند مایع (HI) و نیز آنالیز خط لوله به کمک نرم‌افزار OLGA می‌توان این حجم را محاسبه کرد.

$$V_L = A_p \int_0^L H_L dL \cong A_p \sum_{i=1}^n (\overline{H_L} \Delta L)_i \quad (۵)$$

در معادله ۵  $A_p$  مساحت سطح مقطع و  $\Delta L$  طول خط لوله قبل از لخته‌گیر است. طول بخش ذخیره‌سازی با محاسبه حجم مورد نیاز برای ذخیره‌سازی مایع و با توجه به قطر انگشتی قابل محاسبه است [۱۳].

### انتخاب طول و قطر بهینه برای لخته‌گیر دو فاز پارس جنوبی

انتخاب لخته‌گیر بهینه از میان ۴ لخته‌گیر پیشنهادی در بخش قبل را در این مقاله از دو منظر مورد بررسی قرار داده‌ایم، دیدگاه اول به انتخاب لخته‌گیری اشاره دارد که حداکثر بازیابی را داشته باشد و بتواند حداکثر مقدار میعانات ارزشمند را تحویل دهد. دیدگاه دوم به بررسی مسائل اقتصادی می‌پردازد و به دنبال لخته‌گیری است که در عین کارایی مناسب، از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد.

#### بازیابی میعانات در لخته‌گیر

برای مدل‌سازی لخته‌گیر انگشتی می‌توان از نرم‌افزار HYSYS استفاده کرد [۱۶]. در این مقاله ما برای مدل‌سازی بخش جدایش یک انگشتی، از نرم‌افزار HYSYS استفاده کردیم تا بتوانیم مقدار میعانات خروجی از هر یک از ۴ لخته‌گیر پیشنهادی را تخمین بزنیم. اطلاعات میدانی ترکیب خوراک ورودی به لخته‌گیر در جدول ۴ ارائه شده است. دو فاز پارس جنوبی، دارای دو سکوی سرچاهی به نام‌های SPD5 و SPD6 است که در آن‌ها نمونه‌گیری سیال خروجی از سر چاه به صورت مستقل برای نظارت بر چاه‌ها و جداسازی گاز، انجام می‌شود [۱۷]. اطلاعات جدول ۴ نیز با استفاده از اطلاعات نمونه‌گیری‌های میدانی انجام شده در همین دو سکو به دست آمده‌اند. در خصوص جدول شماره ۴ باید توضیح داد که جریان جرمی ورودی به هر یک از ۶ انگشتی، براساس ۱۲۰٪ جریان ورودی محاسبه شده و به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار HYSYS استفاده می‌شود.

جدول ۲ اطلاعات میدانی برای لخته‌گیر دو فاز.

پارامتر (واحد)	مقدار پارامتر
دبی جرمی میعانات (kg/h)	۱۹۴۰۷۲
دبی جرمی گاز (kg/h)	۹۰۱۸۲۲
تعداد انگشتی‌ها	۶
دانسیته میعانات (kg/m <sup>3</sup> )	۶۵۹/۷
دانسیته گاز (kg/m <sup>3</sup> )	۶۸/۴
گرانروی میعانات (cP)	۰/۳۹۳
شیب بخش جدایش انگشتی (درجه)	۲/۸۶
ضریب زبری لوله	۰/۰۰۱۹۶۸

برای بخش جداسازی انگشتی، با کمک تکنیک زمان ماند، حجم این بخش  $13/33 \text{ m}^3$  تخمین زده می‌شود. به کمک آنالیز خط لوله و مدل‌سازی دینامیک آن به کمک نرم‌افزار OLGA مشخص شده است که هر لخته‌گیر ۶ انگشتی باید ظرفیت ذخیره‌سازی  $2000 \text{ m}^3$  میعانات را داشته باشد ( $4000 \text{ m}^3$  برای مجموع ۲ لخته‌گیر کنار هم). بنابراین این با کمک این اطلاعات و با توجه به شیب بخش جداسازی (۲/۸۶ درجه) می‌توان با استفاده از روش ارائه شده برای تعیین طول هر بخش از انگشتی، برای هر کدام از قطرهای مجاز برای لخته‌گیر که مشخص شده‌اند، طول بخش‌های مختلف انگشتی را محاسبه کرد. نتایج این محاسبات در جدول ۳ ارائه شده است. هر کدام از قطرهای ارائه شده در جدول ۳، به همراه طول بخش‌های مختلف انگشتی مربوط به آن قطر، می‌توانند برای ساخت لخته‌گیر ۶ انگشتی دو فاز استفاده شوند. با این وجود در ادامه به بررسی انتخاب قطر و طول بهینه خواهیم پرداخت.

جدول ۳ طول بخش‌های مختلف انگشتی برای لخته‌گیرهای پیشنهادی دو فاز پارس جنوبی.

قطر (in)	طول بخش جداسازی (m)	طول بخش میانی (m)	طول بخش ذخیره‌سازی (m)
۳۶	۲۲	۱۸	۵۳۹
۴۲	۱۶	۲۱	۳۹۶
۴۶	۱۳	۲۳	۳۳۰
۴۸	۱۲	۲۴	۳۰۴

جدول ۴ اطلاعات میدانی خوراک ورودی به لخته گیر.

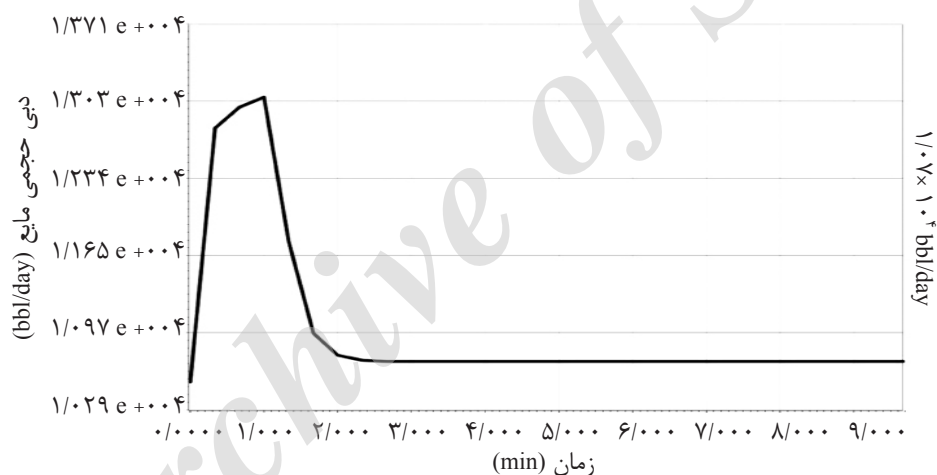
دبی جرمی کل ورودی به لخته گیر (kg/h)	دبی جرمی ورودی به هر انگشتی (kg/h)	جزء
۶۱۸۳۶۱/۳۱	۱۲۳۶۷۲/۲۶	C <sub>1</sub>
۶۹۸۶۴/۱۵	۱۳۹۷۲/۸۳	C <sub>2</sub>
۳۹۷۸۸/۳۷	۷۹۵۷/۶۸	C <sub>3</sub>
۱۰۷۲۵/۳۳	۲۱۴۵/۱	IC <sub>4</sub>
۱۶۰۱۹/۵۵	۳۲۰۳/۱	NC <sub>4</sub>
۹۲۰۸/۴	۱۸۴۱/۶۸	IC <sub>5</sub>
۸۵۹۴/۱۴۶	۱۷۱۸/۸۳	NC <sub>5</sub>
۱۹۰۱۰/۸۳	۳۸۰۲/۱۷	C <sub>6</sub>
۲۸۷۵۹/۳۸	۵۷۵۱/۸۸	C <sub>7</sub>
۳۵۱۵۲/۶۵	۷۰۳۰/۵۳	C <sub>8</sub>
۲۷۴۸۲/۸۳	۵۴۹۶/۵۶۷	C <sub>9</sub>
۳۱۹۳۷/۴۷	۶۳۸۷/۴۹	C <sub>10</sub>
۱۷۷۱۸/۷۷	۳۵۴۳/۷۵۱	C <sub>11</sub>
۱۴۱۸۶/۶۶	۲۸۳۷/۳۳	C <sub>12</sub>
۱۱۹۷۴/۲۴	۲۳۹۴/۸۵	C <sub>13</sub>
۸۱۷۰/۴۳	۱۶۳۴/۰۹	C <sub>14</sub>
۶۶۱۷/۸۶	۱۳۲۳/۵۷	C <sub>15</sub>
۴۳۸۶/۰۳	۸۷۷/۲۱	C <sub>16</sub>
۳۰۲۷/۵	۶۰۵/۵	C <sub>17</sub>
۲۴۸۴/۱۲	۴۹۶/۸۲	C <sub>18</sub>
۱۴۱۶/۷۳	۲۸۳/۳۵	C <sub>19</sub>
۶۲۱/۰۳	۱۲۴/۲۱	C <sub>20</sub>
۵۴۳/۴	۱۰۸/۶۸	C <sub>21</sub>
۵۷۴۴/۶	۱۱۴۸/۹۲	H <sub>2</sub> S
۴۵۹۳۸/۸	۹۱۸۷/۷۶	N <sub>2</sub>
۴۴۱۰۸/۱۱	۸۸۲۱/۶۲	CO <sub>2</sub>
۲۲۱۲/۴۲	۴۴۲/۴۸	Benzene
۴۱۱۴/۳	۸۲۲/۸۷	Toluene
۷۹۵/۷	۱۵۹/۱۴	Ethylbenzene
۶۹۲۸/۳۷	۱۳۸۵/۶۷	Xylene
۱۰۹۵۸۹۴	۲۱۹۱۷۸/۸	مجموع
		فشار جریان ورودی: ۱۱۴/۱ barg دمای جریان ورودی: ۶۰/۵°C

است و پس از برقراری جریان پایدار، عملکرد هر چهار لخته‌گیر در بازیابی میعانات یکسان است. در واقع تفکیک فازها تحت تأثیر فشار بخش جداسازی قرار دارد و از آنجایی که تغییر ابعاد انگشتی تأثیر چندانی بر فشار ندارد، عملکرد هر چهار لخته‌گیر یکسان است. لذا با توجه به عملکرد یکسان بخش جداسازی هر انگشتی، در هر چهار لخته‌گیر، هیچ‌کدام از لخته‌گیرها از نظر بازیابی میعانات، به دیگری ارجعیت ندارد.

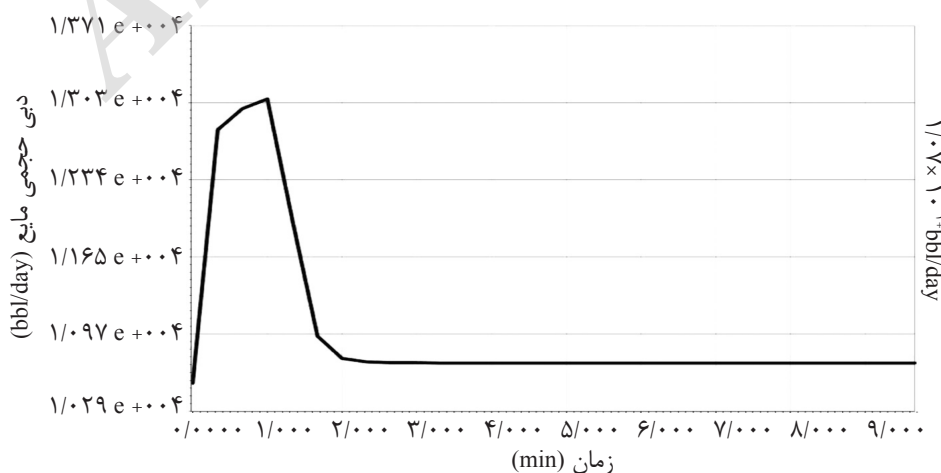
#### بررسی اقتصادی لخته‌گیر

ارزش لوله‌ها برای ساخت لخته‌گیر انگشتی براساس وزن آن‌ها محاسبه می‌شود.

در مرحله بعدی با استفاده از اطلاعات جدول ۴، بخش جداسازی لخته‌گیرهای پیشنهادی در جدول ۳ را، برای مشخص شدن مقدار گاز و مایع خروجی از این بخش مدل‌سازی کردیم. نتایج مدل‌سازی دینامیکی<sup>۱</sup> بخش جداسازی، در شکل‌های ۳ تا ۶ ارائه شده است (فشار بخش جدایش برابر با ۷۴ barg است). با توجه به شکل‌های ۳ تا ۶، می‌توان دریافت که پس از لحظات اولیه جریان، دبی حجمی مایع برای هر چهار لخته‌گیر، بر روی مقدار ۱۰۷۱۰ bbl/day ثابت می‌شود. یا به بیان دیگر، دبی حجمی مایع جریان پایدار<sup>۲</sup>، برای هر چهار لخته‌گیر یکسان است. همان‌طور که ملاحظه شد، تغییر ابعاد لخته‌گیر تنها در لحظات اولیه جریان تأثیرگذار

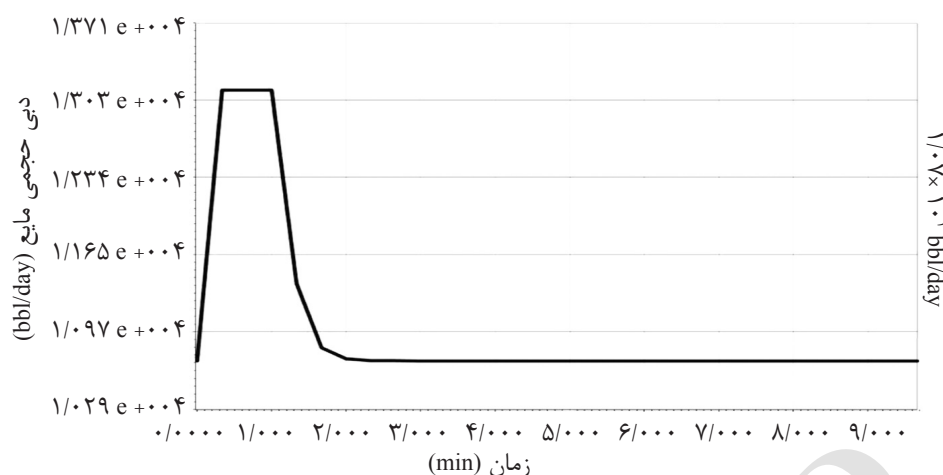


شکل ۳ دبی حجمی مایع خروجی از از بخش جدایش برحسب زمان، برای لخته‌گیر ۳۶ in

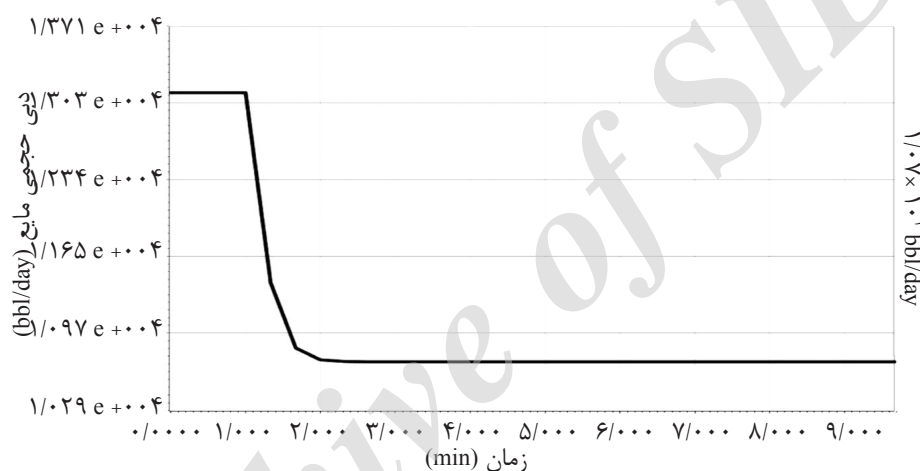


شکل ۴ دبی حجمی مایع خروجی از از بخش جدایش برحسب زمان، برای لخته‌گیر ۴۲ in

1. Dynamic Simulation
2. Steady State



شکل ۵ دبی حجمی مایع خروجی از از بخش جدایش برحسب زمان، برای لخته‌گیر ۴۶ in.



شکل ۶ دبی حجمی مایع خروجی از از بخش جدایش برحسب زمان، برای لخته‌گیر ۴۸ in.

در واقع با یک مسأله بهینه‌سازی تک هدفه خطی، با مجموعه متغیرهای تصمیم گسسته روبرو هستیم. برای کمینه کردن تابع  $W_f$ ، به کمک آنالیز حساسیت<sup>۱</sup>، به بررسی مقدار تابع  $W_f$  برای چهار لخته‌گیر پیشنهادی خواهیم پرداخت.

لوله‌ها طبق استاندارد ASME، درجه‌بندی می‌شوند، برای استفاده در لخته‌گیر لوله‌های کربن استیل<sup>۲</sup> با درجه XS<sup>۳</sup> مناسب هستند [۱۹]. با استفاده از وزن واحد طول لوله‌های XS [۲۰]، می‌توان مقدار تابع  $W_f$  را برای هر یک از لخته‌گیرها محاسبه کرد. نتایج در جدول ۵ ارائه شده است.

بخش اعظم هر لخته‌گیر را انگشتی‌های آن تشکیل می‌دهند، لذا با مقایسه مجموع وزن ۶ انگشتی هر لخته‌گیر می‌توان متوجه شد که کدام لخته‌گیر هزینه کمتری را به دنبال دارد. سازندگان مختلف، ابعاد و وزن لوله‌های مختلف را براساس استاندارد ASME/ANSI تولید می‌کنند [۱۸]. وزن واحد طول هر لوله، به‌عنوان یکی از مشخصات لوله ارائه می‌شود. بنابر این وزن هر انگشتی برابر است با:

$$W_f = L_f M_p \quad (۶)$$

در معادله ۶ داریم:

$W_f$ : وزن کل یک انگشتی (kg)،  $L_f$ : مجموع طول سه بخش یک انگشتی (m)،  $M_p$ : وزن واحد طول لوله (kg/m)، برای بهینه‌سازی هزینه لخته‌گیر درواقع  $W_f$  تابع هدف است که باید کمینه شود.

1. Sensitivity Analysis  
2. Carbon Steel  
3. Extra Strong



جدول ۵ وزن لخته گیرهای پیشنهادی.

قطر (in)	$M_p$ (kg/m)	$L_f$ (m)	$W_f$ (kg)	وزن ۶ انگشتی (kg)
۳۶	۲۸۲/۲۹	۵۷۹	۱۶۳۴۴۵/۹۱	۹۸۰۶۷۵/۴۶
۴۲	۳۳۰/۲۱	۴۳۳	۱۴۲۹۸۰/۹۳	۸۵۷۸۸۵/۵۸
۴۶	۳۵۱/۸۲	۳۶۶	۱۲۸۷۶۶/۱۲	۷۷۲۵۹۶/۷۲
۴۸	۳۷۷/۸۱	۳۴۰	۱۲۸۴۵۵/۴	۷۷۰۷۳۲/۴

## نتایج و بحث

بازیابی میعانات و هزینه‌های اقتصادی، لخته گیر مناسب از میان این چهار لخته گیر انتخاب می‌شود. ۳- با مدل‌سازی بخش جدایش هر انگشتی، برای هر یک از چهار لخته گیر پیشنهادی، می‌توان دریافت که قطر و طول این قسمت، تأثیر محسوسی بر دبی حجمی مایع و گاز خروجی از این بخش در حالت جریان پایدار ندارند.

۴- با توجه به تأثیر نامحسوس ابعاد در بازیابی میعانات، انتخاب از میان چهار لخته گیر پیشنهادی براساس هزینه آن‌ها انجام می‌شود. تخمین هزینه براساس وزن لوله‌های مورد استفاده در لخته گیر صورت می‌گیرد. تابع هدف وزن لوله‌ای، در لخته گیر با قطر ۴۸ in حداقل می‌شود.

۵- در لخته گیر انگشتی با قطر ۴۸ in، سرعت جریان به علت قطر بزرگ‌تر، کمتر است و می‌تواند شرایط شکل‌گیری رژیم جریان لایه‌ای را بهتر فراهم کند. از سوی دیگر به علت سبک‌تر بودن، هزینه کمتری نیز در پی دارد. لذا می‌توان گفت بهتر می‌بود که به جای لخته گیر ۴۶ in دو فاز پارس جنوبی، از لخته گیر ۴۸ in برای این فازها استفاده می‌شد.

با توجه به جدول ۵، مشخص است لخته گیر با قطر ۴۸ in، سبک‌تر از سایر لخته گیرهای پیشنهادی است. در لخته گیر انگشتی با قطر ۴۸ in، سرعت جریان به علت قطر بزرگ‌تر، کمتر است و می‌تواند شرایط شکل‌گیری رژیم جریان لایه‌ای را بهتر فراهم کند. از سوی دیگر به علت سبک‌تر بودن، هزینه کمتری نیز در پی دارد. لذا با توجه به مباحث بخش بازیابی میعانات، لذا لخته گیر بهینه برای دو فاز پارس جنوبی، لخته گیر با قطر ۴۸ in تشخیص داده می‌شود.

## نتیجه گیری

۱- در این مقاله، دستورالعمل طراحی یک لخته گیر دوفازی به صورت یک الگو ارائه شد. استفاده از این الگو در کاهش زمان لازم برای طراحی یک لخته گیر دوفازی و همچنین طراحی لخته گیر کارآمد و بهینه، مؤثر خواهد بود.

۲- با استفاده از الگوی انتخاب و طراحی لخته گیر، می‌توان چهار لخته گیر نوع انگشتی، با چهار قطر ۳۶، ۴۲، ۴۶ و ۴۸ in را پیشنهاد داد. با بررسی میزان

## مراجع

- [1]. Sarica C., Shoham O. and Brill J. P., "A New approach for finger storage slug catcher design," This paper was presented at the 22<sup>nd</sup> Annual OTC in Houston, Texas, May 7-10, 1990.
- [2]. Taitel, Y. and Dukler A. E., "A model for predicting flow regime transition in horizontal and near horizontal gas - liquid flow," AIChE Journal, Vol. 22, Issue 1, pp. 47-55, January 1976.

- [3]. Faluomi V., Sodini S. and Di Benga C., "Optimization of finger type slug catcher design through rigorous transient multiphase flow analysis," Offshore Mediterranean Conference and Exhibition in Ravenna, Italy, March 20-22, 2013.
- [4]. Faluomi V., Dellarole S., Sodini S., Bonuccelli M. and Fratini M., "Oil/Gas field feasibility evaluation: a fast running tool for flow assurance analyses," OMC 2011, Ravenna, March 2011.
- [5]. Kalat H. R., Khomarloo P. and Assa K., "A new approach for sizing finger-type slug catcher," Gas Processing, MAY/JUNE 2015.
- [6]. Bonuccelli M., Mazzoni A., Aprile G., Ghiselli P. W. and Granato M., "Guidelines for design deep water multiphase transportation system," Offshore Mediterranean Conference OMC 1999, Ravenna, 24-26 March, 1999.
- [7]. Shell, "Design of Multiple-Pipe Slug Catchers," 1998.
- [8]. Kimmitt R. P., Root C. R. and Rhinesmith R. B., "Proven methods for design and operation of gas plant liquid slug catching equipment," 78<sup>th</sup> Annual Convention and in Various Regional GPA Forums, 2001.
- [9]. Brill J. P. and Beggs H. D., "Two phase flow in pipes," 6<sup>th</sup> Edition, 1991.
- [10]. Guzhov A. L., Mamayev V. A. and Odishariya G. E., "A study of transportation in gas liquid systems," 10<sup>th</sup> International Gas Union Conference Hamburg, Germany, June 6-10, 1967.
- [11]. Arnold K., "Surface Production Operartion," Second Edition, 1999.
- [12]. American Petroleum Institute, "Specification for oil and gas separators," API Spec 12J, 1989.
- [13]. Petronas Technical Standards, "Guidelines for hydraulic design of multipipe pipe slug catchers," 1984.
- [14]. Haavardsson N. F., "Hydrocarbon production optimization in multi-reservoir fields – tools for enhanced value chain analysis", Philosophiae Doctor thesis, Department of Mathematics, University of Oslo, 2008.
- [15]. NIOC, Eni Group, Petropars Ltd, "Process specification for slug catcher, Iran– South Pars Gas Field," SPP 2017 100 X 101, 2001.
- [16]. Bhran A., Hassanean M. H. and Helal M., "Maximization of natural gas liquids production from an existing gas plant," Elsevier, 2015.
- [17]. <http://WWW.Parsproje.com/articles/119-ksh>.
- [18]. American National Standards institute, "Welded and seamless wrought steel pipe," ASME/ANSI B36.10M, 2004.
- [19]. Iranian Petroleum Standards, "Engineering standard for Piping Material Selection," IPS-E-PI-221, 2012.
- [20]. ArcelorMittal, "Pipe Schedules (according to ASME/ANSI B36.10M)," Projects Oil and Gas, 2006.