

## افزایش بازیابی آب در تیکنر باطله خط چهارم تولید کنسانتره معدن گل گهر با استفاده از بهینه‌سازی سیستم خوراک‌دهی به تیکنر

سید علیرضا عقیلی<sup>۱</sup>، نادر منتظرین<sup>۱\*</sup> و شهرام هاشمی مرغزار<sup>۲</sup>

۱. گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
۲. رییس هیئت مدیره شرکت مهندسی مشاور آتیس رابین، تهران، ایران

### مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۲۷ مرداد ۱۳۹۷

دریافت پس از اصلاح: ۱۳ دی ۱۳۹۷

پذیرش نهایی: ۲۰ اسفند ۱۳۹۷

### کلمات کلیدی:

بازیابی آب

چاهک تغذیه

لخته سازی

بهینه‌سازی تیکنر

دینامیک سیالات محاسباتی

### چکیده

بازیابی و صرفه‌جویی در مصرف آب، که متأثر از محدودیت منابع آبی و نیز هزینه‌های انباشت باطله و در کنار آن تبعات زیست‌محیطی رهاسازی باطله‌های تر می‌باشد، اکنون به‌عنوان یک الزام در احداث و توسعه صنایع فراوری معدنی به‌حساب می‌آید. یکی از مهم‌ترین عناصر در فرایند بازیابی آب از باطله‌های تر فراوری تیکنر می‌باشد. در این مطالعه نخست وضعیت کارکرد شرایط حاضر تیکنر باطله خط چهارم تولید کنسانتره شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر بررسی گردیده است. با رویکرد افزایش بازیابی آب و نیز بهبود عملکرد تیکنر باطله یادشده، از دینامیک سیالات محاسباتی برای شبیه‌سازی استفاده‌شده و با انجام آزمایش‌های متعارف روی تیکنر در حال کار، این شبیه‌سازی اعتبار سنجی گردیده است. نارسایی دستگاه در عدم توانایی چاهک خوراک در مخلوط کردن جریان‌ها و فلوکولانت و در نتیجه کاهش ظرفیت فرایند تیکنراسیون ناشی از تغییر شرایط کارکرد طراحی و تغییر خوراک، با این شبیه‌سازی شناسایی و به‌تناسب با آن‌ها دو راهکار کوتاه‌مدت بر مبنای تغییر میزان فلوکولانت زنی و بلندمدت بر مبنای طراحی چاهک‌های متناسب با شرایط کارکرد جدید، که با شرایط طراحی اولیه متفاوت می‌باشند، به‌منظور بهینه‌سازی معرفی گردیدند. چاهک‌های جدید با ویژگی ایجاد سیستم ساده رقیق‌سازی در سطح (چاهک شماره ۳) و نیز ایجاد سیستم رقیق‌سازی زیرسطحی (چاهک شماره ۴) به‌عنوان چاهک‌های بهینه معرفی شده‌اند که در صورت استفاده از هر یک از آن‌ها به ترتیب بازیابی آب سالیانه به ۱۰۷ و ۱۰۳۴ میلیون مترمکعب بالغ خواهد شد. از خصوصیات دیگر این چاهک‌ها افزایش شفافیت آب در شرایط خروجی با غلظت بالای جامد در خروجی تهریز است.

حقوق ناشر محفوظ است.

\* عهده دار مکاتبات

mntzrn@aut.ac.ir

## ۱- مقدمه

معدن گل‌گهر، یک معدن شناخته‌شده در سطح جهانی می‌باشد که بازیابی آب به دلایل حجم بالای مصرف آب، هزینه زیاد خرید آب و کمبود منابع آب زیرزمینی به‌خصوص در منطقه معدن مذکور در سطوح مختلف آن از اهمیت به خصوصی برخوردار است. تیکنر یکی از عناصر اصلی بازیابی آب به کمک نیروی ثقلی در معادن است.

در اثر افزایش تولید کارخانه و تغییر دانه‌بندی ذرات ورودی، آب سرریز تیکنر باطله خط چهارم تولید کنسانتره شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر (پلی‌کام) دچار کدورت و در نتیجه باعث نارسایی در بازیافت آب شده است.

به‌منظور شناسایی نارسایی تیکنر در شفاف‌سازی آب سرریز (که به‌عنوان اولین نشانه عملکرد ناقص تیکنر است) در گام نخست بررسی عملکرد تیکنر در شرایط طراحی و بهره‌برداری در دستور کار قرار گرفته است. تحلیل عملکرد تیکنر و افزایش کارایی آن به جهات مختلف مورد توجه محققان بوده است و مطالعه این موارد پیشینه شبیه‌سازی و انتخاب روش تحقیق و بررسی جریان‌های درون تیکنر می‌باشد.

وایت در سال ۲۰۰۳ چاهک تغذیه دارای جریان مماسی را بررسی نمود. وی به‌منظور شبیه‌سازی جریان تک فاز سه‌بعدی مدل‌های توربولانس کی-اِپسیلون<sup>۱</sup> برای توصیف مدل دو فاز و توربولانس رینولدز<sup>۲</sup> برای توصیف میدان سرعت پیشنهاد داد و توسط آزمایش در یک مدل نیمه‌صنعتی اعتبار سنجی کرد. وی استفاده از مانع شعاعی را برای جلوگیری از خروج مخلوط از چاهک بررسی کرد و این مشخصه را به دلیل افزایش زمان ماند درون چاهک به‌عنوان یک معیار مقایسه مناسب دانست و افزایش زمان ماند را معادل با افزایش به هم چسبیدگی ذرات در نظر گرفت [۱].

هیت در سال ۲۰۰۳ با استفاده از مدل توربولانس کی-اِپسیلون و موازنه جمعیتی برای توصیف لخته سازی و شکست استفاده کرد وی با استفاده از داده‌های تجربی مدل را برای شکست غیرقابل برگشت توسعه داد و با استفاده از این مدل مکان مناسب برای فلوکولانت زنی را نزدیک ورودی چاهک تغذیه به دلیل داشتن بیشینه انرژی جنبشی تشخیص داد و استفاده حداکثری از انرژی جنبشی را به‌عنوان معیار کارایی چاهک بیان

نمود. وی این موارد را توسط یک مدل نیمه‌صنعتی اعتبار سنجی نمود [۲].

در سال ۲۰۰۶ نگوین از مدل پایای دو فاز اوپلرین<sup>۳</sup> اوپلرین و مدل توربولانس کی-اِپسیلون برای توصیف یک تیکنر ثقلی نیمه‌صنعتی استفاده کرد. شبیه‌سازی‌ها نشان دادند که چاهک رفتارهای متفاوت قابل توجهی در اثرات تغییرات دبی ورودی دارد به‌گونه‌ای که در دبی‌های پایین ذرات به‌اندازه کافی با فلوکولانت مخلوط نشده و در دبی‌های بالا ذرات برخورد زیادی با یکدیگر داشته که در نتیجه باعث شکست لخته‌ها می‌شود؛ بنابراین در چاهک با افزایش دبی تقابلی میان لخته سازی و شکست ذرات به وجود می‌آیند که تأثیر مستقیم (مثبت یا منفی) روی ته‌نشینی می‌گذارد. وی اندازه ذرات در سطوح متفاوت را به‌عنوان معیار در نظر گرفت و با استفاده از این معیار تغییرات ته‌نشینی درون بدنه تیکنر را نیز بررسی کرد [۳].

موهانرنگام در سال ۲۰۰۹ به بررسی مدل ۴ فاز آب، خاک رس، شن و یک‌فاز شناور را با مدل اوپلرین اوپلرین برای هر فاز و مدل توربولانس رنز<sup>۴</sup> پرداخت و نشان داد که این مدل برای توصیف جریان دو فاز با یک‌فاز شناور جواب مناسبی را می‌دهد اما با افزودن فازهای دیگر مسئله واگرا می‌شود [۵]؛ و به همین دلیل با ایجاد اصلاحیه‌هایی مدل ته‌نشینی را توسعه داد.

اوون در سال ۲۰۰۹ به بررسی شرایط متفاوت و محل پاشش فلوکولانت و ایجاد مانع به‌منظور یافتن بهترین وضعیت پرداخت و نتایج بر این اساس بود که افزودن مانع باعث بهبود کارایی چاهک تغذیه می‌شود و بهترین مکان برای پاشش فلوکولانت در نزدیک‌ترین مکان به ورودی چاهک و با عمق نسبی ۱ متری از ورودی و مناسب‌ترین جهت به سمت بالا و رو به دیواره می‌باشند و افزایش فلوکولانت از یک حد ثابت باعث افزایش لخته سازی نمی‌شود [۶].

نگوین در سال ۲۰۱۲ طراحی جدیدی از چاهک تغذیه را ارائه داد و معیارهای زیر را به‌عنوان ملاک طراحی معرفی کرد: ایجاد بیشترین اتلاف انرژی درون چاهک، کمترین میزان استفاده از فلوکولانت، افزایش زمان ماند درون چاهک و هزینه کم در ساخت. وی استفاده از خطوط جریان را برای بررسی تغییرات فیزیکی درون چاهک و به‌علاوه شناسایی تغییرات مورد نیاز پیشنهاد داد. وی نهایتاً سه مدل چاهک تغذیه با ورودی مماسی، دارای قفسه و دارای چاهک بسته را به‌عنوان مناسب‌ترین مدل‌ها

<sup>۱</sup> Eulerian  
<sup>۲</sup> RANS

<sup>۱</sup> k-ε  
<sup>۲</sup> Reynolds

شبهه‌سازی تک فاز توربولانس کی-اپسیلون و آزمایش برای دو چاهک تغذیه بدون مانع و دارای مانع اعتبار سنجی نمود [۴]. در این تحقیق از جمع‌بندی مطالعات گذشته در فاز نخست به‌منظور ایجاد شالوده کلی شبکه‌بندی و شبهه‌سازی (مدل‌های توربولانس کی-اپسیلون، تقابل میان دو فاز اوپلرین-اوپلرین، موازنه جمعیتی برای ۱۵ اندازه ذره، لخته سازی توربولانت و شکست لخته قدیری) استفاده شده است. در فاز دوم با ترکیب معیارهای مقایسه جریان‌ها، معیارهای جدیدی مانند سرعت آگیری بدون بعد در بررسی دبی‌های متفاوت و اقطار مختلف چاهک و میزان رقیق‌سازی بدون بعد به‌منظور یافتن ایده‌های کلی بهینه‌سازی تهنشینی ایجاد شده است. در فاز سوم پس از شناسایی مشکلات اصلی تیکنر (که در نارسایی چاهک تشخیص داده شده است)، چاهک‌های جدیدی طراحی و معیارهای دیگری برای ارزش‌دهی میان چاهک‌ها (زمان‌ماند، خط گل، ناحیه پفکی و نهایتاً میزان صرفه‌جویی در مصرف آب) استفاده شده است.

شکل شماره ۱ نمای کلی تیکنر پلی‌کام گل‌گهر را نشان می‌دهد. تیکنر پلی‌کام گل‌گهر دچار کدورت آب بازیابی و در نتیجه کاهش عملکرد شده است. به‌منظور شناسایی جریان‌های حائز اهمیت درون تیکنر و چاهک ابتدا عملکرد تیکنر در شرایط بهره‌برداری شبهه‌سازی و اعتبار سنجی شده است. در گام بعد به بررسی مسئله در دو بعد متقارن محوری به‌منظور یافتن مشخصه‌های مهم تهنشینی برای شرایط و قیود موجود و کاهش زمان شبهه‌سازی پرداخته شده است. در گام سوم شرایط بهره‌برداری در سه بعد مورد بررسی قرار گرفته است و ایراد موجود در تیکنر عدم کارایی مناسب چاهک تغذیه پس از افزایش دبی ورودی از شرایط طراحی به بهره‌برداری شناسایی شده است. در گام نهایی با ترکیب مشخصه‌های به‌دست‌آمده و مشخصه‌های طراحی موجود تکنولوژی روز چند چاهک تغذیه طراحی شده‌اند و معیار متناسب با مشخصه‌ها به‌منظور مقایسه میان چاهک‌ها ارائه شده است و نهایتاً ۴ چاهک برتر در این تحقیق بررسی شده‌اند که ۲ چاهک برای ساخت به شرکت گل‌گهر پیشنهاد شده است.

در مباحث آکادمیک پیرامون تیکنر تحقیقات بی‌شماری صورت گرفته است و شالوده کلی بررسی و طراحی تیکنر را به‌صورت علمی، عملی و یا صحیح و خطا شکل داده‌اند. در این مقاله موارد نوآوری‌های زیر ارائه شده‌اند:

- ضمن توجه به ساختار در حال تغییر باطله ورودی به تیکنر (ناشی از تغییرات در بار ورودی به کارخانه) اثرات

ارائه داد. در چاهک با ورودی مماسی زمان‌ماند درون تیکنر با ایجاد تغییرات هندسی اندک افزایش می‌یابد؛ چاهک دارای قفسه باعث به دام انداختن جریان درون چاهک می‌شوند و چاهک بسته بر اساس افزایش زمان‌ماند طراحی شده است اما افزایش تهنشینی روی بدنه عیب این چاهک می‌باشد و هر یک از چاهک‌ها برای شرایط متفاوت متناسب با دبی و اندازه ذرات می‌باشند [۷].

گوبهوا در سال ۲۰۱۲ به تغییر ساختار جریان درون بدنه تیکنر با تغییر در خروجی چاهک و ایجاد مانع منحرف‌کننده جریان زیر چاهک پرداخت. وی با استفاده از مدل توربولانس آر ان جی<sup>۱</sup> و مدل دو فاز میکسچر<sup>۲</sup> شبهه‌سازی را انجام داد و با توجه به نیاز به شبهه‌سازی جریان درون بدنه تیکنر، چاهک از شبهه‌سازی حذف کرد و مدل خود را توسط آزمایش سرعت‌سنج اعتبار سنجی نمود. وی در بدنه تیکنر معیار یکدست‌سازی تهنشینی را به‌عنوان هدف ارائه کرد و ایجاد مانع مخروطی را عامل مثبتی در این جهت تهنشینی ارزیابی نمود. یکی از ارزش‌های این تحقیق جداسازی چاهک و ساده‌سازی شبهه‌سازی و در نتیجه کاهش زمان شبهه‌سازی است [۸].

ابراهیم‌زاده در سال ۲۰۱۴ تغییرات در ورودی چاهک تغذیه و جهت آن را در مدل توربولانس کی-اپسیلون و موازنه جمعیتی به همراه شکست و تشکیل ذرات مطالعه نمود. تغییرات دبی از دو دیدگاه بررسی شدند یکی تغییر دبی با ثابت نگه‌داشتن غلظت جامد ورودی که افزایش دبی باعث افزایش خط گل شد و دیگری تغییر در غلظت جامد ورودی که افزایش غلظت باعث افزایش ارتفاع خط گل شد و نهایتاً تغییرات در ورودی چاهک تغذیه را به‌صورت موازی با چاهک و عمود بر آن بررسی کرد که عملکرد بهتر حالت موازی را نتیجه گرفت [۹].

تیان در سال ۲۰۱۴ رقیق‌سازی در ورودی تیکنر را بررسی نمود و نشان داد که برای ذرات با اندازه بزرگ رقیق‌سازی عامل مناسبی برای تهنشینی است. وی از مدل‌های توربولانس کی-اپسیلون و دو فاز اوپلرین اوپلرین و تراکم جمعیتی به همراه شکست و تشکیل ذرات استفاده کرد و نشان داد که مدل میکسچر توانایی نشان دادن پدیده تهنشینی را به‌خوبی ندارد [۱۰].

موهانرنگام در سال ۲۰۰۹ به‌طور عمده بررسی انواع شبکه‌بندی‌ها را برای جریان شناسی تیکنر به همراه چاهک در تحقیقی بررسی کرده است و شبکه‌بندی ۴ وجهی-منشوری را به‌عنوان بهترین روش ارائه داده است و از طریق معادل‌سازی

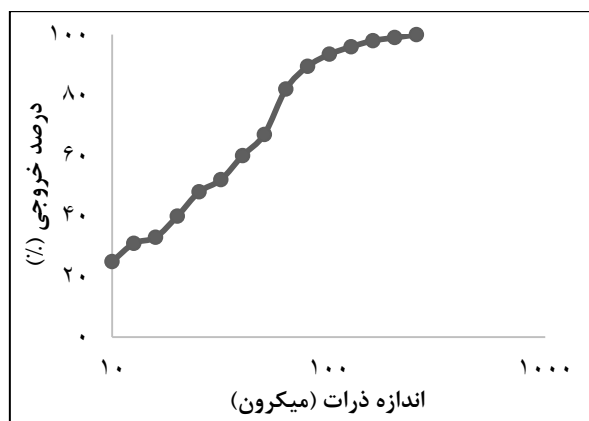
<sup>۱</sup> RNG

<sup>۲</sup> Mixture

## ۲- روش تحقیق

در شرایط طراحی تیکنر، دوغاب ورودی از دو فاز جامد و مایع با دبی جرمی ۴۸ کیلوگرم بر ثانیه جامد و درصد جرمی جامد ۱۰٪ تشکیل شده است. تهریز خروجی نیز با درصد جرمی جامد ۵۰٪ و سرریز آب شفاف بدون جامد می‌باشد. در شرایط کارکرد فعلی با افزایش ظرفیت تحمیلی به تیکنر دبی جامد به ۷۲.۲ کیلوگرم بر ثانیه جامد و درصد جرمی جامد ۹٪ تغییر یافته و تهریز دارای غلظت جرمی ۴۸٪ بوده و سرریز نیز دارای کدورت با درصد جامد ناچیز است. دبی ورودی شرایط کارکرد فعلی حدود ۱.۵ برابر دبی طراحی است.

چگالی آب برابر با ۹۹۸.۲ کیلوگرم بر مترمکعب و چگالی جامد ۳.۵۵ برابر چگالی آب در پژوهشکده آهن و فولاد گل‌گهر اندازه‌گیری شده است. آزمایش آنالیز سرنندی به‌منظور دستیابی به بازه اندازه ذرات توسط شرکت مهندسی مشاور آماتیس رابین در پژوهشکده آهن و فولاد شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر صورت گرفته است که نتایج آن در شکل شماره ۲ ارائه شده است.

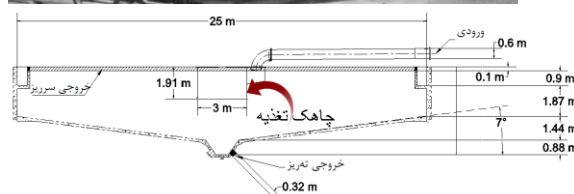


شکل شماره ۲- منحنی لگاریتمی نتایج داده بندی حاصل از آنالیز سرنندی

شبیه‌سازی عملکرد تیکنر با حذف پارو به‌صورت پایا صورت گرفته است [۲، ۶]. برای دسته‌های کلی شبیه‌سازی پدیده‌های متفاوت با اشتراک‌گیری از تجربیات گذشته از مدل توربولانس کی-اِپسیلون استاندارد [۱، ۳]، [۹-۱۱]، مدل اوپلرین-اوپلرین برای شبیه‌سازی تقابل دو فاز [۶، ۱۰، ۱۶] و مدل موازنه جمعیتی برای شبیه‌سازی بازه ذرات با مدل لخته‌سازی توربولانت و مدل شکست لخته قدیری استفاده شده است [۹، ۱۵، ۱۸]. ذرات به‌صورت دانه‌ای در نظر گرفته شده‌اند و مدل‌سازی قطر ذرات را

دانه‌بندی و نیز رقیق‌سازی به شکل هم‌زمان مرور شده است.

- از آنجا که ورودی به تیکنرهای باطله کارخانجات فراوری آهن به دلیل ماهیت جدایش مغناطیسی با درصد جامد پایین همراه است تصحیح در داخل چاهک تغذیه و ورود جریان بسیار مؤثرتر از پارامترهای دیگر در بهینه‌سازی بوده است. بر این اساس بهینه‌سازی چاهک تغذیه به شکل مبنایی متفاوت با بهینه‌سازی سیستم خوراک‌دهی به چاهک‌های تغذیه در مدار معمول فراوری مس است که متأثر از مدار فلوتاسیون و درصد جامد ورودی بالاتر به تیکنر (در مقایسه با مدار جدایش مغناطیسی) می‌باشند.
- مطالعات با توجه به ساختار باطله خط چهار و ترکیب نامتعارف درشت‌دانه حاصله از فرایند کوپر و ریزدانه ناشی از خردایش مجدد و آبیگری توسط جداکننده‌های مغناطیسی صورت گرفته است.
- به‌عنوان راهکار دو راه‌حل کوتاه‌مدت و بلندمدت ارائه شده است.
- طراحی‌های چاهک تغذیه با بهره‌گیری از استانداردهای روز و مطالعات گذشته گام‌به‌گام با توجه به نیاز مسئله صورت گرفته است.

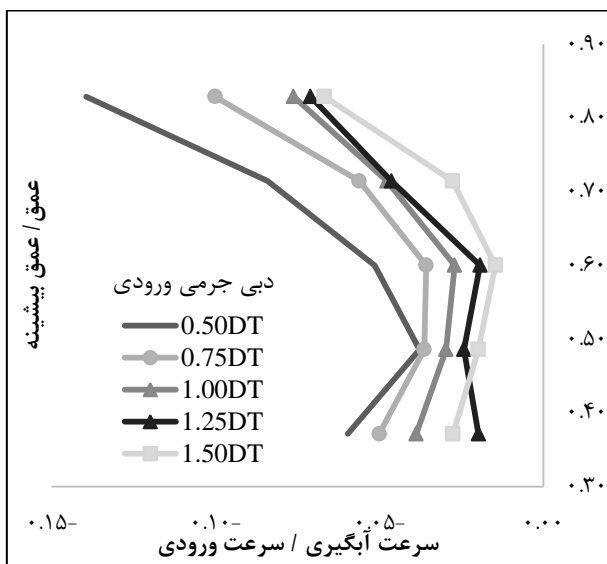


شکل شماره ۱- نمایی از تیکنر در حال کار و شماتیک اجزای کلی تیکنر باطله خط ۴ کنسانتره گل‌گهر

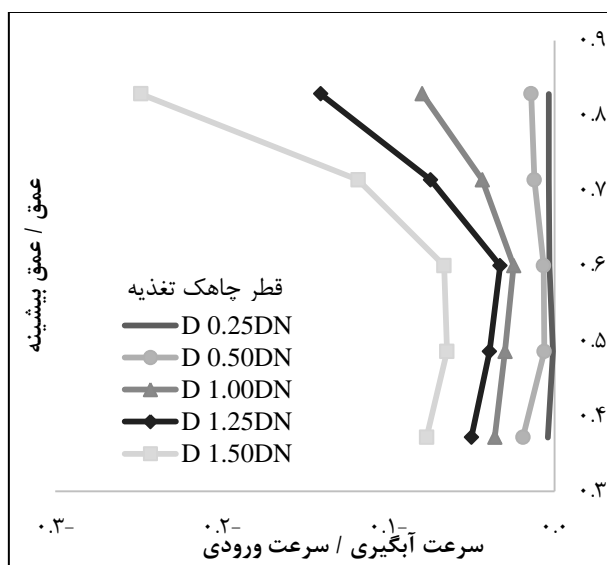
متراکم تقسیم‌شده‌اند. تغییرات این نواحی به‌عنوان معیار ثانویه در شبیه‌سازی‌های سه‌بعدی موردبررسی قرار گرفته است.

#### ۴-۱- سرعت آبیگری (جدایش مایع و جامد<sup>۴</sup>)

به‌عنوان اختلاف سرعت عمودی هم‌جهت با جاذبه فاز اول (آب) و فاز دوم (پلی‌کام) تعریف شده است. شکل‌های شماره ۴ تغییرات سرعت آبیگری میانگین سطحی برحسب تغییرات دبی، قطر و غلظت جامد در اعماق متفاوت (ارتفاع از سطح آزاد تیکنر) را نشان می‌دهد و در تمامی موارد نسبت به‌سرعت ورودی بی‌بعد شده‌اند.



الف



ب

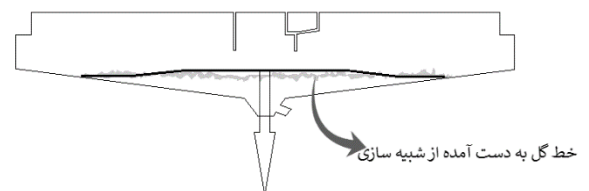
<sup>۴</sup> Rise rate

به‌اجبار مدل تراکم جمعیتی از مدل ساتر-مین<sup>۱</sup> استفاده شده است. در تقابل میان فازها نیروی درگ را با مدل گیداسپو<sup>۲</sup> و فاکتور درگ بروکاتو<sup>۳</sup> در نظر گرفته شده است [۱۹، ۱۴].

#### ۳- اعتبار سنجی مدل

در شرایط اولیه ثابت، آزمایشی با عنوان اندازه‌گیری عمق خط گل به‌منظور اعتبار سنجی شبیه‌سازی صورت گرفت. در این شرایط عمق گل با چگالی ۱.۲ برابر چگالی آب درون تیکنر شناسایی و اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج آزمایش پارامترهای جزئی شبیه‌سازی مانند ضرایب شکست و پیوستگی ذرات به‌گونه‌ای که خط گل شبیه‌سازی شده با خط گل آزمایش مطابقت داشته باشد، تعیین و نهایتاً شبیه‌سازی برای شرایط کارکرد کنونی تیکنر صورت گرفته و آزمایش مذکور نیز برای همین شرایط انجام و نتایج این دو حالت با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

شکل شماره ۳ اختلاف خط گل آزمایش شده و خط گل حاصل از شبیه‌سازی برای شرایط کنونی تیکنر را نشان می‌دهد که به‌طور میانگین دارای ۲.۷ درصد خطا نسبت به عمق ماکزیمم (۱۳.۸۷ سانتی‌متر) است.



شکل شماره ۳- مقایسه خط گل با چگالی ۱.۲ S.G به‌دست آمده از آزمایش و شبیه‌سازی سه‌بعدی

#### ۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها

با توجه به هندسه کلی دارای تقارن محوری تیکنر و برای تسریع در شبیه‌سازی اولیه تیکنر با مدار کوتاه در نظر گرفتن چاهک تغذیه مطالعه تأثیر تغییرات دبی، اندازه ذرات و رقیق‌سازی نخست در مدل دوبعدی با تقارن محوری انجام شده است که بر مبنای این رویکرد، عوامل مناسب به‌منظور بهینه‌سازی تیکنر شناسایی شده‌اند. با توجه به نتایج این قسمت نواحی تیکنر از نقطه‌نظر وجود ذرات و نیز چگالی به سه بخش شفاف، پفکی و

<sup>۱</sup> Sauter-mean

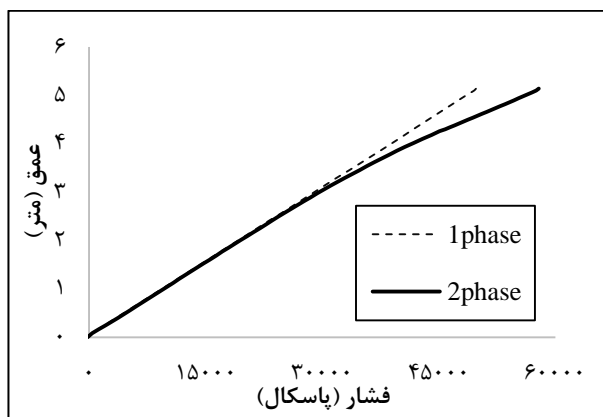
<sup>۲</sup> Gidaspow

<sup>۳</sup> Brucato

## ۴-۲- تقسیم‌بندی نواحی تیکنر

بررسی‌های بخش قبل مشخص نمودند که سرعت آگیری با افزایش عمق ثابت نبوده و تغییر سرعت نیز رفتار ثابتی را نشان نمی‌دهد اما با تغییر یکی از مشخصه‌های دبی، قطر و غلظت روند کلی تغییرات سرعت آگیری فرم یکسانی دارد. با در نظر گرفتن چنین رفتاری، رویکرد این بخش یافتن یک خاصیت از تهنشینی برای مقایسه تأثیر چاهک‌های متفاوت است. عامل ایجاد سرعت آگیری و تهنشینی اضافه شدن فاز دوم است و با توجه به این که روند کلی تغییرات این دو مشخصه دارای فرم یکسانی است، برای بررسی تأثیر تغییرات فاز دوم از اختلاف فشار بین شبیه‌سازی تک فاز و دو فاز استفاده شده است.

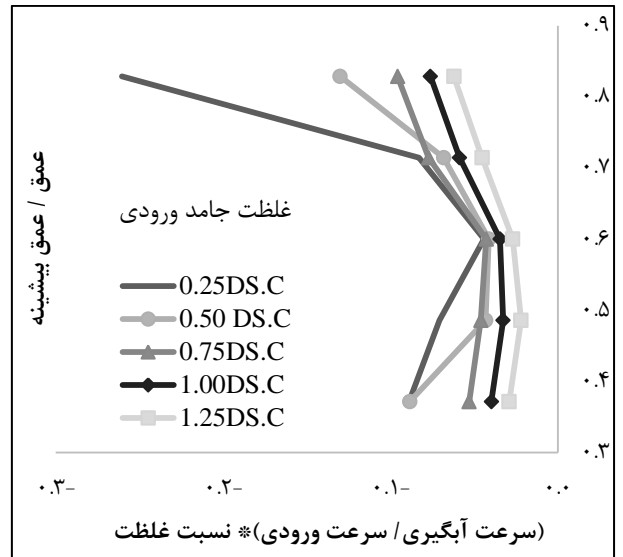
شکل شماره ۵ مقایسه فشار میان شبیه‌سازی تک فازی و دوفازی برحسب عمق در شرایط طراحی را نشان می‌دهد و شکل شماره ۶ بیانگر اختلاف فشار میان این دو حالت شبیه‌سازی است.



شکل شماره ۵- مقایسه فشار مدل ۲ فاز و تک فاز برحسب عمق در شرایط طراحی

همان‌گونه که مشاهده می‌شود از عمق حدود ۲.۵ متری به بعد شیب افزایش فشار زیادتر می‌شود. این افزایش فشار با وجود کم بودن اثر فشار دینامیک در نتیجه افزایش چگالی و تهنشینی مؤثر است و تقریباً مقارن با تغییرات شیب در شکل‌های سرعت آگیری و تهنشینی است پس می‌توان نواحی داخل تیکنر را به دو قسمت تهنشین شده (بخش گل) و قسمت تهنشین نشده (ساختارهای پفکی و شفاف) تقسیم نمود. با بررسی دقیق‌تر این شکل می‌توان از منظر تهنشینی نواحی را به سه قسمت تقسیم نمود [۱۰، ۱۸]:

۱- ناحیه شفاف (حدوداً از سرریز تا عمق ۲.۵ متری): در این ناحیه غلظت جامد بسیار کم است و تغییرات فشار خطی است و



ج

شکل‌های شماره ۴- تغییرات سرعت آگیری برحسب الف) تغییر دبی (ب) تغییر قطر چاهک تغذیه ج) تغییر در غلظت جامد ورودی (DD): قطر چاهک طراحی، DT: دبی ورودی طراحی، DS.C: غلظت جامد ورودی طراحی)

در یک دبی و قطر چاهک ثابت سرعت آگیری با افزایش عمق ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. دلیل این رفتار وجود ناحیه‌های متفاوت تهنشینی در تیکنر است که در بخش آتی بررسی خواهد شد.

آنچه از مقایسه میان شکل‌ها مشخص می‌شود این است که افزایش دبی به‌عنوان یک عامل منفی، کاهش غلظت و افزایش قطر چاهک به‌عنوان عوامل مثبت در آگیری بیان شده‌اند. باید در نظر داشت که پارامترهای سرعت نسبت به سرعت ورودی بی‌بعد شده‌اند. با افزایش دبی به طبع قانون پیوستگی سرعت آگیری نیز افزایش خواهد یافت اما شیب افزایش این مشخصه با توجه به شکل ۴-الف رو به کاهش خواهد بود و یا به تعبیری بازدهی آگیری با افزایش دبی، کاهش می‌یابد.

با توجه به تغییر بار تیکنر از حالت طراحی به کارکرد به‌منظور افزایش محصول، افزایش دبی اجتناب‌ناپذیر است و بازدهی آگیری کاهش می‌یابد و این مهم باید با تغییر موارد دیگر جبران شود. با توجه به شکل‌های ۴-ب و ج، افزایش قطر با اهداف کاهش سرعت ورودی به ناحیه بدنه تیکنر، افزایش زمان ماند درون چاهک و استفاده حداکثری انرژی جنبشی درون چاهک و کاهش غلظت جامد ورودی به‌عنوان عوامل مثبتی در بهبود تهنشینی است.

بازه نسبت حجمی جامد ۰.۰۱-۰.۰۵ ۰.۰۱-۰.۰۵ ۰.۰۵-۰.۲۵

در یک دبی ثابت کاهش ناحیه ته‌نشینی هم‌ارز با افزایش دبی با ناحیه ته‌نشینی ثابت یا افزایش غلظت خروجی با ناحیه ته‌نشینی ثابت است و کاهش ناحیه پفکی به معنای عملکرد بهتر ته‌نشینی برای ذرات آزاد و افزایش شفافیت آب است. بدین منظور در بررسی تغییرات متفاوت روی تیکنر تغییرات عمق این نواحی را به‌عنوان مشخصه‌های اصلی با تعریفی که از غلظت جامد این نواحی به‌دست‌آمده است بررسی خواهند شد در نتیجه هدف از بهینه‌سازی با این معیار کاهش ناحیه متراکم و پفکی است. سرعت آگیری در ناحیه پفکی دارای کمینه مقدار خود است بنابراین در این ناحیه ته‌نشینی ضعیفی صورت می‌گیرد و کاهش ضخامت این ناحیه از این دیدگاه حائز اهمیت است و کاهش ناحیه متراکم نیز به معنای افزایش ته‌نشینی و در یک عمق ثابت به معنای افزایش آگیری و بار ورودی است.

#### ۵- بهینه‌سازی تیکنر

به‌منظور تسریع در فرایند ته‌نشینی از فلوکولانت باهدف چسبیدن ذرات به یکدیگر و نیز تشکیل لخته استفاده می‌شود. با توجه به حجم قابل‌توجه تیکنر (شکل شماره ۱) و درصد پایین جامد ورودی (حدود ۳٪ حجمی) راه‌حل کوتاه‌مدت افزایش اندازه ذرات از طریق افزایش فلوکولانت زنی خواهد بود. در بلندمدت و با توجه به هزینه بالای استفاده از فلوکولانت، لازم است که عملیات لخته‌سازی درون محفظه‌ای کنترل‌شده و سرعت مناسب ته‌نشینی ایجاد گردد که این موضوع با حذف اغتشاشات سطحی و نیز ورود ذرات به داخل تیکنر در ابعاد بزرگ‌تر است. این فرایند در محفظه‌ای به نام چاهک خوراک (feedwell) صورت می‌پذیرد. به‌عبارت‌دیگر چاهک خوراک به منزله قلب تیکنر عمل می‌کند و لازم است به‌خوبی در شرایط متفاوت ورودی عمل بهینه داشته باشد.

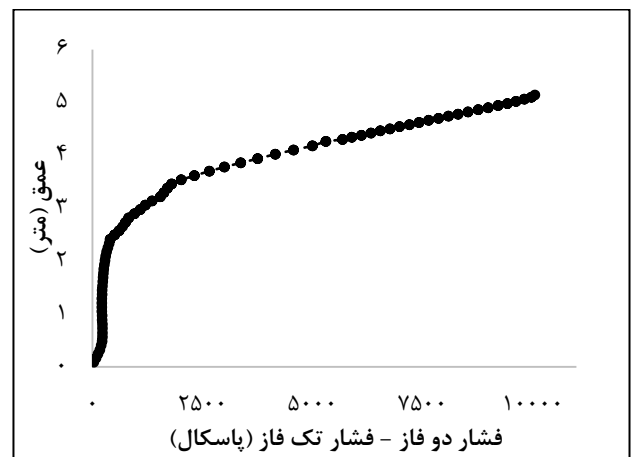
#### ۵-۱- تغییر میزان فلوکولانت زنی

همان‌گونه که بیان شد افزایش میزان فلوکولانت زنی به‌عنوان راه‌حل کوتاه‌مدت در نظر گرفته شده است. این مهم با اندازه‌گیری سرعت ته‌نشینی از آزمایش جار تست استاندارد<sup>۱</sup> برای انواع میزان فلوکولانت (گرم بر تن) و محاسبه سرعت ته‌نشینی در شرایط کارکرد با اندازه ذرات متفاوت از شبیه‌سازی و مقایسه اندازه ذرات

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود اختلاف چندانی با فشار ستون آب ندارد.

۲- ناحیه میانی (حدوداً از عمق ۲.۵ متری تا عمق ۳.۵ متری): در این ناحیه سرعت تغییر فشار بیشتر می‌شود و در نتیجه‌ی افزایش عمق، چگالی مخلوط افزایش می‌یابد اما افزایش چگالی به نسبت به ناحیه زیرین آن کمتر است. در این ناحیه غلظت مواد جامد به حدی نیست که توانایی ته‌نشینی را داشته باشد و از طرفی نیروهای درگ و بویانسی از طرف مایع نیز به حدی نیستند که بتوانند جامد را به سمت بالا ببرد و بنا به این ماهیت ناحیه دوم، ناحیه پفکی نام‌گذاری شده است.

۳- ناحیه ته‌نشینی (متراکم، حدوداً از عمق ۳.۵ متری تا ته‌ریز): در این ناحیه شیب تغییر فشار بسیار زیاد است و نیروی جاذبه ذرات جامد به دلیل تجمع این ذرات بر نیروهای جانبی غلبه پیدا کرده و ذرات جامد به‌سرعت ته‌نشین می‌شوند.



شکل شماره ۶- اختلاف فشار مدل ۲ فاز و تک فاز برحسب عمق در شرایط طراحی

با مشاهده رفتار فشار و با توجه به رابطه مستقیم غلظت با تغییرات فشار در این قسمت بررسی نواحی که معرفی شدند مدنظر قرار خواهند گرفت. نسبت حجمی جامد بیانگر غلظت جز مذکور در مخلوط است. جدول شماره ۱ بیانگر مشخصات این نواحی است.

جدول شماره ۱- نواحی تیکنر برای دبی طراحی و اندازه ذرات میانگین ۵۰ میکرون (میانگین اندازه ذرات آزمایش شده)

نواحی	ناحیه شفاف	ناحیه پفکی	ناحیه متراکم
بازه عمق	سرریز - ۲.۵ متری	۲.۵ متری - ۳.۵ متری	۳.۵ متری - ته‌ریز

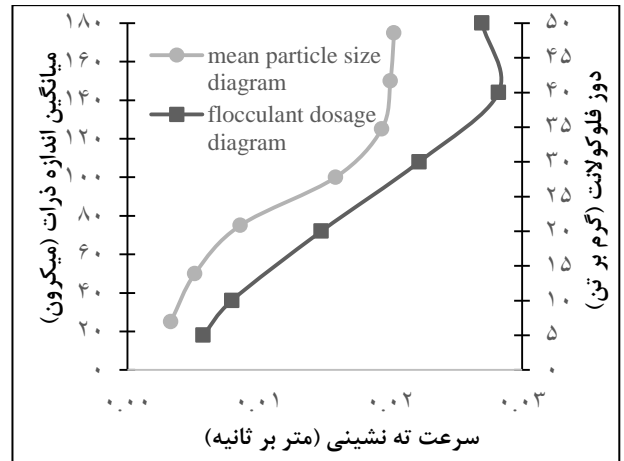
<sup>۱</sup> Standard jar test

گرم بر تن غلظت فلوکولانت می‌باشد و یا به عبارتی راه‌حل کوتاه‌مدت برابر با تغییر دبی فلوکولانت به این حد است.

با میزان فلوکولانت زنی توسط عامل مشترک (سرعت ته‌نشینی) صورت گرفته است. نمودار شماره ۷ به‌دست‌آمده از این عملیات است.

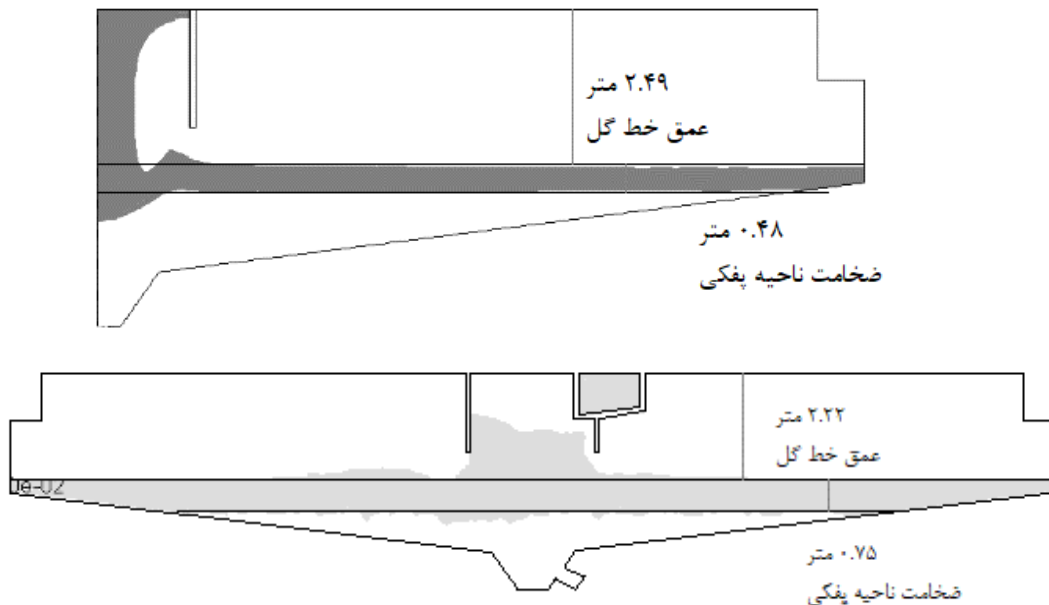
#### ۵-۲- تغییر ساختار چاهک تغذیه

در شبیه‌سازی دوبعدی متقارن محوری چاهک تغذیه به‌عنوان مدار کوتاه (بی‌اثر در جریان سیال-شکل شماره ۹) در نظر گرفته‌شده است و عملاً نقشی در به هم چسبیدگی و شکست ذرات ندارد. خط گل نیز در قسمت قبل به‌عنوان عامل ته‌نشینی در نظر گرفته شد. با ترکیب این دو مشخصه و مقایسه خط گل میان شبیه‌سازی دوبعدی متقارن محوری و سه‌بعدی عملکرد چاهک موردبررسی قرار می‌گیرد. شکل شماره ۸ مقایسه خط و ناحیه پفکی میان این دو شبیه‌سازی را نشان می‌دهد و در بیشینه‌ی مقدار حدود ۲۷ سانتی‌متر با یکدیگر اختلاف دارند که این اختلاف عمق نشان‌دهنده عملکرد چاهک تغذیه است و افزایش آن به‌عنوان یک هدف نهایی در نظر گرفته می‌شود. مسئله حائز اهمیت دیگر در چاهک تغذیه اختلاط درون چاهک و پیوستگی ذرات در این ناحیه است که بررسی خطوط جریان درون چاهک به‌واسطه خروج دو جریان بدون اختلاط (شکل شماره ۹) نشان‌دهنده عملکرد نامناسب چاهک کنونی است.



شکل شماره ۷- اندازه ذرات و دبی فلوکولانت برحسب سرعت ته‌نشینی

در اندازه ذره حدود ۱۰۰ میکرون بیشترین شیب سرعت ته‌نشینی (نقطه عطف نمودار) وجود دارد و برای این اندازه ذره سرعت ته‌نشینی ۰.۰۱۵۸۳ متر بر ثانیه است که معادل با ۲۲.۵

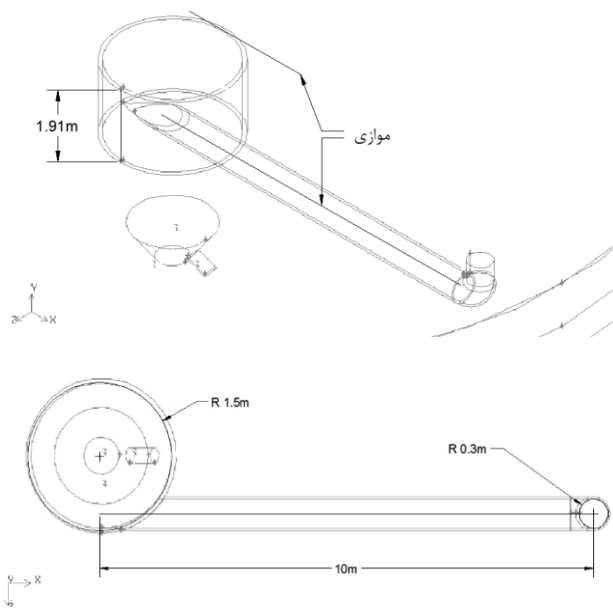


شکل شماره ۸- خط گل و ناحیه پفکی در دبی طراحی (شکل بالا مدل دوبعدی متقارن محوری و شکل پایین مدل سه‌بعدی)



۵-۲-۲- چاهک تغذیه شماره ۲ (این چاهک نسبت به چاهک اولیه با تغییرات زیر همراه بوده است):

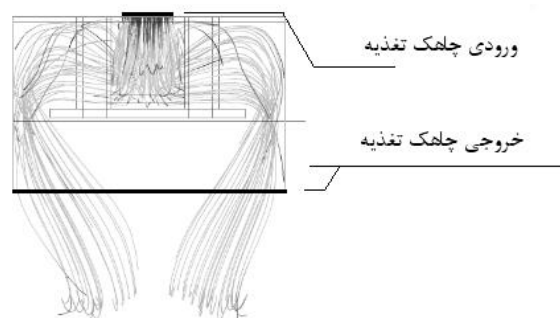
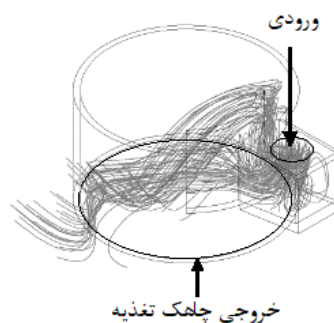
۱- ایجاد ساختار مماسی ورودی و شکل سیکلونی ۲- ورودی لوله تغذیه زیر سطح ۳- طول لوله ورودی به چاهک بیشتر از حداقل طول گسترش‌یافتگی جریان. شکل‌های شماره ۱۱ نشان‌دهنده این تغییرات هستند.



شکل‌های شماره ۱۱- چاهک تغذیه شماره ۲ - شکل بالا نمای ایزومتریک، شکل پایین نمای از بالا

۵-۲-۳- چاهک تغذیه شماره ۳ (این چاهک نسبت به چاهک اولیه با تغییرات زیر همراه بوده است):

۱- ایجاد ساختار مماسی ورودی و شکل سیکلونی ۲- ورودی لوله تغذیه زیر سطح ۳- ساختار ایداک<sup>۱۲</sup> و وانتوری برای افزایش میزان رقت جامد ورودی و مکش آب در سطح ۴- مساحت ۴ برابر سطح کانال به جت ورودی به منظور ایجاد رقت ۰.۲۵ (شکل ۴-ج) ۵- طول لوله ورودی به چاهک بیشتر از حداقل طول گسترش‌یافتگی جریان. شکل‌های شماره ۱۲ نشان‌دهنده این تغییرات هستند.

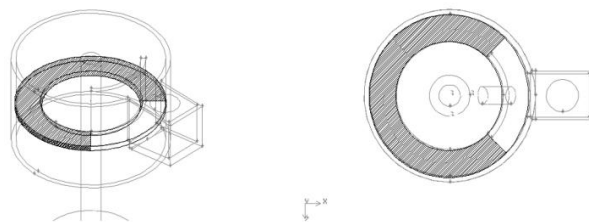


شکل‌های شماره ۹- خطوط جریان در ورودی چاهک تغذیه (شکل بالا نمای ایزومتریک شکل پایین نمای روبرو YZ)

با توجه به عملکرد نامناسب چاهک تغذیه، چاهک‌های تغذیه متفاوت و معیارهایی برای مقایسه آن‌ها ارائه شده است.

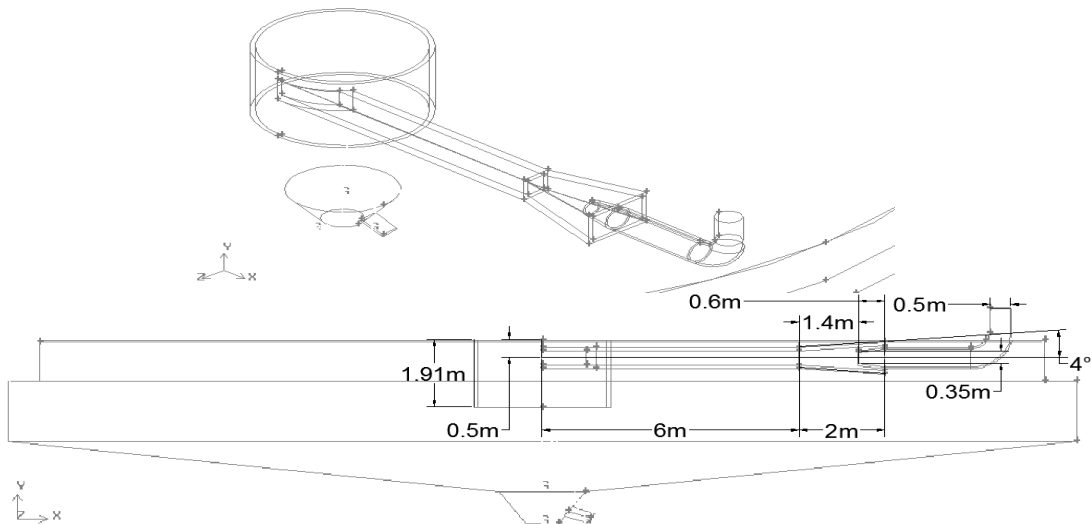
۵-۲-۱- چاهک تغذیه شماره ۱ (این چاهک نسبت به چاهک اولیه با تغییرات زیر همراه بوده است):

۱- ایجاد صفحه به منظور تغییر جریان‌های درون چاهک و جلوگیری از خروج سریع جریان از چاهک ۲- برای ایجاد صفحه، از صفحه زیر مانع استفاده شده است به این صورت که این صفحه دورتادور بدنه چاهک گسترش یافته است. شکل‌های شماره ۱۰ نشان‌دهنده این تغییرات هستند.

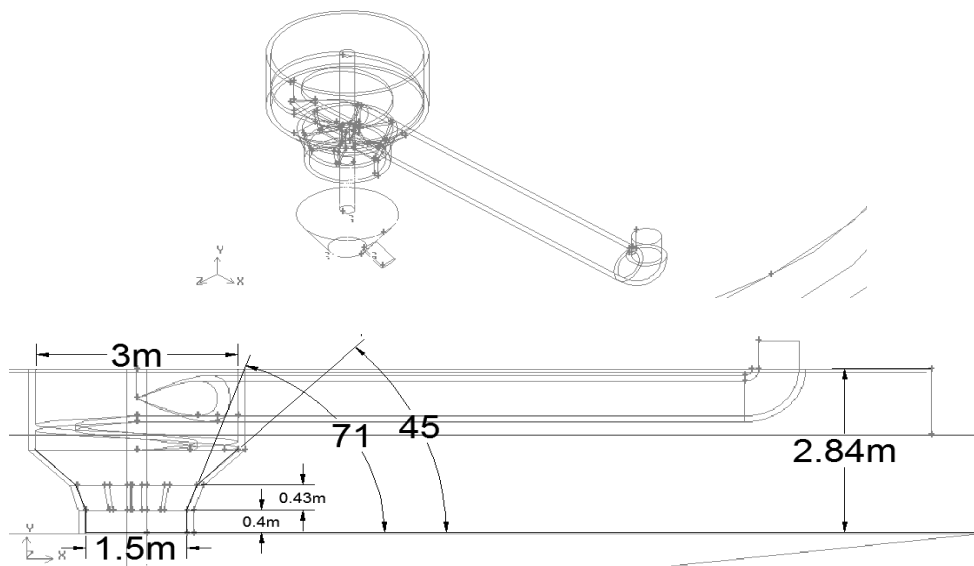


شکل‌های شماره ۱۰- چاهک تغذیه شماره ۱- سمت راست نمای ایزومتریک، سمت چپ نمای از بالا

۵-۲-۴- چاهک تغذیه شماره ۴ (این چاهک نسبت به چاهک اولیه با تغییرات زیر همراه بوده است):  
 ۱- ایجاد ساختار مماسی ورودی و شکل سیکلونی ۲- ورودی لوله تغذیه زیر سطح ۳- ایجاد مانع هلیکال ۳۶۰ درجه با ارتفاع ۰.۵ متر برای افزایش زمان ماند در چاهک ۴- ایجاد ۶ پره برای کاهش انرژی جنبشی و یکنواختی جریان خروجی از چاهک ۵- ساختار وین<sup>۱</sup> در زیر چاهک برای افزایش رقیق‌سازی و جداسازی بهتر جامد از مایع. شکل‌های شماره ۱۳ نشان‌دهنده این تغییرات هستند.



شکل‌های شماره ۱۲- چاهک تغذیه شماره ۳ شکل بالا نمای ایزومتریک، شکل پایین نمای روبرو



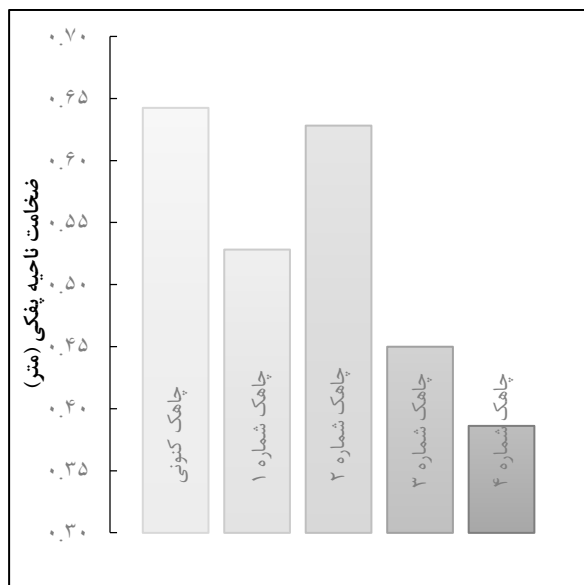
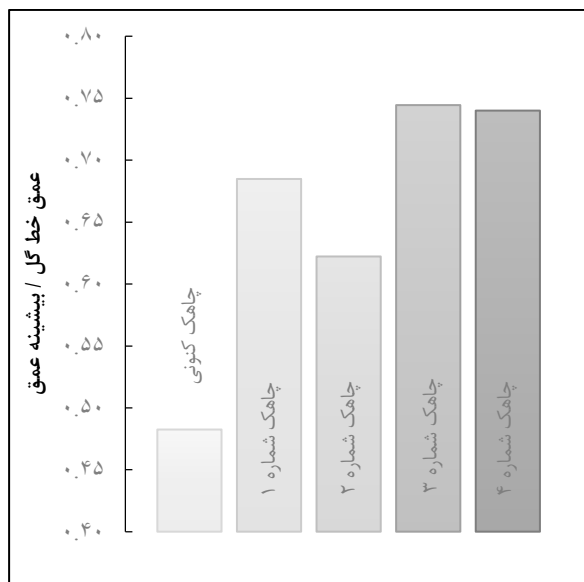
شکل‌های شماره ۱۳- چاهک تغذیه شماره ۴ شکل بالا نمای ایزومتریک، شکل پایین نمای روبرو

### ۳-۵- زمان ماند

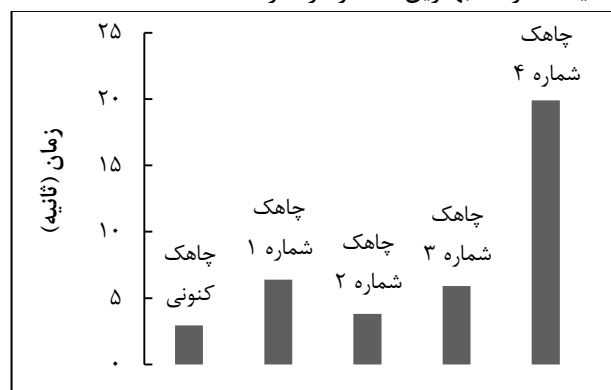
عمده لخته سازی، تشکیل و شکست ذرات در چاهک تغذیه صورت می‌پذیرد و از این رو و در صورت خروج ذره از چاهک تغذیه با توجه به حجم قابل‌ملاحظه تانک نسبت به آن (که در تیکنر مورد بررسی این نسبت ۲۵۰ برابر است) انتظار قابل‌ملاحظه‌ای برای افزایش اندازه ذره را در این ناحیه نبوده و چنانچه ذره‌ای از چاهک تغذیه خارج شود کنترل آن برای این منظور بسیار دشوار خواهد بود؛ بنابراین زمان ماندن ذرات درون چاهک تغذیه به‌منظور فرایندهای لخته سازی و نیز استفاده حداکثری انرژی جنبشی درون چاهک برای ته‌نشینی یکنواخت بسیار حائز اهمیت است.

زمان ماند در این فرایند به معنای زمان شروع ورود ذره به چاهک تغذیه تا خروج آن از چاهک تغذیه بوده، که متفاوت با تعریف متعارف تقسیم دبی حجمی بر حجم چاهک است که خود در قطر و ارتفاع یکسان چاهک مشابه است. شکل شماره ۱۴ نشان‌دهنده زمان ماند در چاهک تغذیه‌های متفاوت است و چاهک تغذیه شماره ۴ بهترین عملکرد را دارد.

جامد خاص خط گل از یک حد معین پایین‌تر نرفته و برای مقداری بیش از این مقدار باید ضخامت ناحیه پفکی به‌عنوان مبنای مقایسه عملکرد میان چاهک‌ها قرار گیرد.



شکل‌های شماره ۱۵- شکل بالا خط گل و شکل پایین ناحیه پفکی در تیکنر با چاهک‌های تغذیه‌ی متفاوت



شکل شماره ۱۴- زمان ماند چاهک‌های تغذیه

### ۴-۵- خط گل و ناحیه پفکی

این دو مشخصه در شکل‌های شماره ۱۴ قابل‌مشاهده هستند. چاهک‌های تغذیه شماره ۳ و ۴ از لحاظ عمق خط گل عملکرد مناسب‌تری را نشان می‌دهند و با توجه به ناکارآمدی ناحیه پفکی در ته‌نشینی، چاهک تغذیه شماره ۴ عملکرد بهتری را نشان می‌دهد. مقایسه چاهک‌های تغذیه شماره ۳ و ۴ نشان می‌دهد که هر دو دارای یک عمق خط گل هستند اما در مقایسه بقیه پارامترها چاهک تغذیه شماره ۴ عملکرد به‌مراتب بهتری را دارد. دلیل این موضوع تأثیرپذیری جریان از پایین‌دست یعنی پمپ ته‌ریز است. به این معنا که با یک مقدار خروجی دوغاب و درصد

### ۵-۵- بیشینه درصد آگیری و صرفه‌جویی مصرف آب

همان‌گونه که اشاره شد خطوط گل و ضخامت نواحی پفکی نسبت به عملکرد چاهک تغذیه چاهک تغذیه تغییر می‌کنند؛ این تغییرات در یک دبی ثابت برابر با تغییر میزان آگیری در یک خط گل ثابت است. با ترکیب این مسئله و یک عمق ثابت

چاهک‌های خوراک‌دهی شماره ۳ و ۴ که با ویژگی رقیق‌سازی در سطح و عمق شناخته می‌شوند به‌عنوان چاهک‌های مناسب‌تر معرفی شده‌اند و به نظر می‌رسد با استفاده از هر یک از آن‌ها آب سرریز با دبی ۱.۵ برابر طراحی بسیار شفاف‌تر خواهد بود. به‌علاوه در چاهک تغذیه شماره ۳ تا ۶۵ درصد و در چاهک تغذیه شماره ۴ تا ۷۸ درصد جامد خروجی ته‌ریز با شرط وجود آب شفاف در سرریز می‌تواند محقق گردد که این مهم به معنای توانایی افزایش دبی با درصد جامد خروجی ته‌ریز ۵۰ درصد و کاهش مصرف فلوکولانت و در کنار همه آن‌ها صرفه‌جویی در مصرف آب و بازیابی کلی آب به ترتیب برابر با ۱.۰۷ و ۱.۳۴ میلیون تن در سال است. چاهک تغذیه شماره ۳ به دلیل هزینه پایین ساخت و استفاده از یک تکنیک ساده رقیق‌سازی به‌عنوان چاهک تغذیه نهایی معرفی می‌گردد.

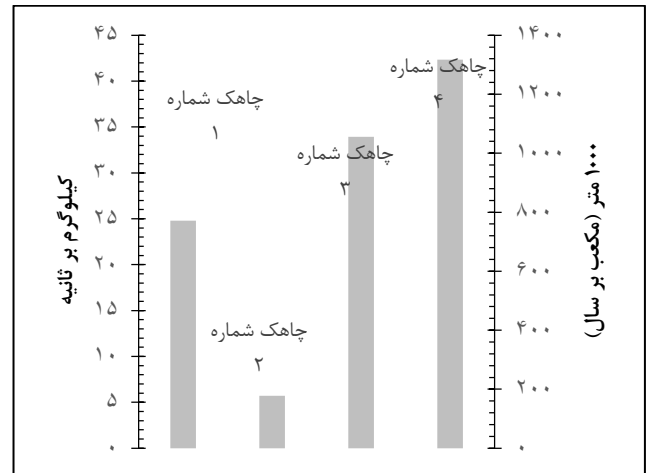
### تقدیر و تشکر

مؤلفین این مقاله لازم می‌دانند از مدیران محترم شرکت گل‌گهر و همچنین آقایان مهندسین محمدصادق عارفی و سروش عربزاده بابت حمایت‌های مربوط به انجام این تحقیق سپاسگزاری و تشکر نمایند.

### مراجع

- [1] R. B. White, I. D. Sutalo, T. Nguyen, Fluid flow in thickener feedwell models, *Mineral Engineering*, vol. 16, No. 2, pp. 145–150, February, 2003.
- [2] R. Heath, P. T. L. Koh, Combined population balance and CFD modelling of particle aggregation by polymeric flocculant, *3rd Int. Conf. CFD in Mineral and Process Industries.*, No. 3, pp. 339–344, 2003.
- [3] T. Nguyen, A. R. Heath, P. J. Witt, Population balance – CFD modelling of fluid flow, solids distribution and flocculation in thickener feedwells, *5th International Conference of CFD in Mineral and Process Industries.*, No.5, pp. 1–6, 2006.
- [4] K. Mohanarangam, T. V. Nguyen, D. W. Stephens, Evaluation of Two-Equation Turbulence Models in a Laboratory-Scale Thickener Feedwell, *7th International Conference of CFD in Mineral and Process Industries*. Melbourne, Aust., pp. 1–7, December, 2009.
- [5] K. Mohanarangam, D. Stephens, CFD Modelling of Floating and Settling Phases in Settling Tanks, *7th International Conference of CFD in Mineral and Process Industries*. Melbourne, Aust., pp. 1–7, December, 2009.
- [6] A. T. Owen, T. V. Nguyen, P. D. Fawell, The effect of flocculant solution transport and addition conditions on feedwell performance in gravity thickeners, *International Journal of Mineral Processing.*, Vol. 93, No. 2, pp. 115–127, 2009.
- [7] T. V. Nguyen, J. B. Farrow, J. Smith, P. D. Fawell, Design and development of a novel thickener feedwell using computational fluid dynamics., *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol.112, No.11, p. 17, November, 2012.

به‌عنوان عمق بحرانی (عمق شروع قسمت مخروطی تیکنر) میزان بیشینه درصد آبیگری در صورت استفاده هر یک از چاهک‌های تغذیه و در نتیجه میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در شرایط عملکرد نسبت به چاهک تغذیه کنونی در شکل شماره ۱۶ بررسی شده است.



شکل شماره ۱۶- میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در صورت استفاده از هر یک از چاهک تغذیه‌ها نسبت به چاهک تغذیه کنونی

### ۶- نتیجه‌گیری

کدورت آب سرریز در تیکنر باطله خط چهارم کنسانتره شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر عامل اولیه تشخیص عملکرد نامناسب تیکنر بوده است. پس از بررسی‌های اولیه مشخص گردید که به دلیل تغییر کارکرد در مدار فراوری کارخانه، ناشی از مشخصات و میزان خوراک، دبی ورودی به تیکنر تقریباً به ۱.۵ برابر مقدار طراحی افزایش یافته است و در کنار آن اندازه ذرات ورودی نیز تغییر کرده است. به‌منظور یافتن نارسایی تیکنر در شفافیت آب سرریز در شرایط کارکرد و طراحی شبیه‌سازی و اعتبار سنجی لازم صورت پذیرفت و نهایتاً مشکل اصلی در کم بودن میزان فلوکولانت و عدم کارایی چاهک خوراک‌دهی در ترکیب فلوکولانت و ذرات و عدم استفاده از حداکثری انرژی جنبشی در چاهک تشخیص داده شد که تغییرات در این دو مورد به‌عنوان راه‌حل‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت ارائه شدند.

راه‌حل کوتاه‌مدت عبارت است از تغییر میزان دبی فلوکولانت به ۲۵ گرم بر تن و به‌عنوان راه‌حل بلندمدت، به دلیل ثابت بودن اندازه تیکنر چندین چاهک با اهداف متفاوت تعیین شده طراحی گردیده و در این تحقیق ۴ چاهک مناسب‌تر از سایر چاهک‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

- [13] D. W. Stephens, D. Gorissen, K. Crombecq, T. Dhaene, Surrogate based sensitivity analysis of process equipment, *Journal of Machine Learning Research.*, Vol. 35, No. 4, pp. 2051–2055, 2011.
- [14] D. R. Lester, M. Rudman, P. J. Scales, Macroscopic dynamics of flocculated colloidal suspensions, *Chemical Engineering Science*, Vol. 65, No. 24, pp. 6362–6378, 2010.
- [15] A. R. Heath, Polymer Flocculation of Calcite: Population Balance Model, *AIChE Journal*, pp. 1641–1653, 2006.
- [16] A. M. Goula, M. Kostoglou, T. D. Karapantsios, A. I. Zouboulis, A CFD methodology for the design of sedimentation tanks in potable water treatment Case study : The influence of a feed flow control baffle, *Chemical engineering journal*, vol. 140, pp. 110–121, 2008.
- [17] B. J. Gladman, S. P. Usher, P. J. Scales, Understanding the Thickening Process, *Paste 2006*, pp. 5–23, 2006.
- [18] P. D. Fawell, J. B. Farrow, A. R. Heath, 20 Years of AMIRA P266-Improving Thickener Technology How has it Changed the Understanding of Thickener Performance, *Paste 2009*, pp. 59–68, April, 2009.
- [19] L. Svarovsky, D. Ing, *solid-liquid separation*, University of Pradubice. Czech Republic, 2000.
- [8] G. Zhu, Y. Zhang, J. Ren, T. Qiu, T. Wang, Flow Simulation and Analysis in a Vertical-Flow Sedimentation Tank,” *International Conference on Future Energy, Environment and Material*, Vol. 16, pp. 197–202, China, 2012.
- [9] M. E. Gheshlaghi, A. S. Goharrizi, A. A. Shahrivar, Simulation of a semi-industrial pilot plant thickener using CFD approach, *International Journal of Mining Science and Technology*, Vol. 23, No. 1, pp. 63–68, 2013.
- [10] T. Zhou, M. Li, C. Q. Zhou, J. M. Zhou, Numerical simulation and optimization of red mud separation thickener with self-dilute feed, *Journal of Central South University*, Vol. 21, No. 1, pp. 344–350, 2014.
- [11] S. Das et al., Mechanics Improving the performance of industrial clarifiers using three-dimensional computational fluid dynamics, *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, vol. 10, January, 2016.
- [12] A. S. Alireza, S. G. Ataallah, E. G. Majid, S. Amir, R. Mohammad, A. Hadi, Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modeling the influence of some operating variables of the lab scale thickener performance, *International Journal of Mining Science and Technology*, Vol. 23, No. 5, pp. 717–724, 2013.

## Water Recovery Improvement at GOLEGOHAR Line 4 (POLYCOM) Tailing Thickener Using Feed System Optimization

Sayed Alireza Aghili<sup>1</sup>, Nader Montazerin<sup>1\*</sup>, Shahram Hashemi Marghzar<sup>2</sup>

1- Department of Mechanical Engineering, Amirkabir University of technology, Teheran, Iran

2- Chairman of the Board of Amatis Rabin consultant Engineers Co., Teheran, Iran

---

### ABSTRACT

Currently water saving and recycling is necessary for construction and development of mineral processing industry, affected by water resources restriction, the cost of waste accumulation and environmental consequences. Thickener is one of the most important elements at water recovery from waste water. In this study, first operating thickener condition is investigated. Computational fluid dynamics is used to simulate thickener operation with the approach of water saving increasement and the simulation is validated by conventional experiments. Devise's failure is detected in inability of feedwell at mixing the fluid currents and flocculants. Thickeners capacity increasement due to changes in feed load from design to operating condition is discussed and two short term solution based on flocculant dosage change and long term solution based on feedwell design are presented. 4 new feedwells are designed compatible with operating condition in order to optimize the thickener. The new feedwells by properties of surface dilution (feedwell No.3) and underground dilution and converging output current (feedwell No.4) are introduced as optimized feedwells. In order to deployment any of them respectively, water saving will be more than 1.07 and 1.34 million m<sup>3</sup> per a year. One of the other advantages of these feedwells is overflow discharge water clarification or in other words high solid concentration at underflow discharge.

---

### ARTICLE INFO

Article history:

Received: August 18, 2018

Received in revised form: January 3, 2019

Accepted: March 11, 2019

---

Key words:

Water recovery

Feedwell

Flocculation

thickener optimization

CFD

\* Corresponding author

mntzrn@aut.ac.ir

---

All right reserved.