

تحلیل هیدرودینامیک جریان در نمک‌زدا با ابعاد صنعتی جهت طراحی واحد جدید و رفع مشکلات عملیاتی واحد موجود با استفاده از شبیه سازی CFD

حسین عباسی^۱، سورن نوروزی^۲، سید حسن هاشم آبادی^{۳*}

تهران، قیطریه، خیابان شب افروز، پلاک ۵، واحد پژوهش و توسعه، شرکت مهندسی و ساخت چمان^۱،

تهران، نارمک، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی شیمی، آزمایشگاه تحقیقاتی دینامیک سیالات محاسباتی^۲

چکیده:

امروزه دستگاههای نمک‌زدا در صنعت به دلیل حذف نمک از جریان نفت و کاهش ریسک خوردگی تجهیزات در پایین دست بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. در این تحقیق شبیه‌سازی نمک‌زداهای جداسازی نفت از آب با استفاده از تکنیک عددی در مقیاس صنعتی انجام شده است. مسأله به شکل تک-فازی انجام شده و جریان سیال توربولانت در نظر گرفته شده است. برای حل میدان آشفتگی از مدل k-ε استاندارد استفاده شده است. در این تحقیق تاثیر میدان سرعت ایجاد شده در مقاطع مختلف نمک‌زدا مورد بررسی قرار گرفته است. بعلاوه میزان دبی ورودی به دستگاه نمک‌زدا در سه دبی متفاوت مورد بررسی قرار گرفت و نتایج با یکدیگر از نظر یکنواختی جریان در دو سمت الکترودها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به دلیل اهمیت پارامتر اتلاف انرژی جنبشی در طراحی نمک‌زداها این پارامتر در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نتایج، دیده می‌شود که میزان آشفتگی جریان در توزیع کننده بسیار بالاتر از نواحی دیگر دی‌سالتر بوده و بهینه‌سازی طراحی آن در جهت افزایش اتلاف انرژی ورودی جریان می‌تواند منجر به بهبود نتایج جداسازی گردد.

کلمات کلیدی: نمک‌زدا، جداسازی نفت-آب، CFD، مدل k-ε استاندارد،

مقدمه

امروزه به دلیل هزینه‌های زیاد اندازه‌گیری‌های تجربی، ترجیح داده می‌شود آزمایش‌ها بر روی مدلی با مقیاس کوچک‌تر از نسخه اصلی انجام پذیرد. حذف پیچیدگی‌ها و ساده‌سازی آزمایش‌ها، خطای دستگاه‌های

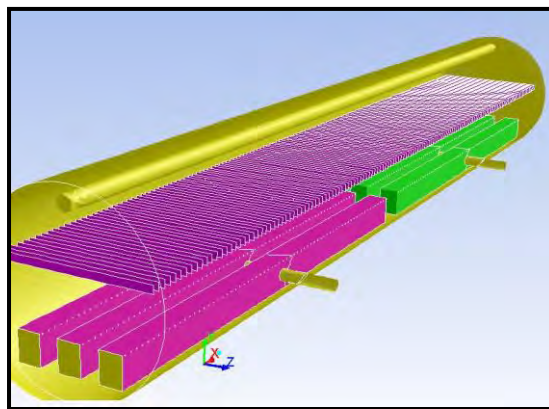
اندازه گیری و بعضی موانع در راه اندازه گیری از جمله مشکلاتی هستند که روش‌های عملی با آن‌ها رو به رو هستند و کارآیی این حالت‌ها را در بعضی موارد دچار اشکال می‌کنند [۲۱].

کاربردهای زیاد و حیاتی نمک زداها در صنعت نفت مانند حذف نمک و آب از جریان نفت برای جلوگیری از آسیب‌های جدی مانند خوردگی در پایین دست سبب شده است که این دستگاهها در صنعت نفت بویژه صنعت نفت کشورمان از اهمیت بسزایی برخوردار باشند. تا امروز تحقیقات اندکی بر روی نمک زداها به خصوص در مقیاس صنعتی انجام شده است. محمدی و همکاران با استفاده از مدل VOF سعی بر استخراج رابطه‌ایی برای چسبندگی ذرات در حالت دوتایی کرده‌اند [۳]. بانسال و آمنسایال [۴] سعی کردند تا با استفاده از CFD به بررسی رفتار سیال در نمک زداهای آزمایشگاهی بپردازند.

علی‌رغم اهمیت‌های نمک زداها در صنعت نفت تا امروز هیچ کار جدی بر روی این دستگاهها در مقیاس صنعتی چه با استفاده از روشهای آزمایشگاهی و چه با استفاده از CFD انجام نشده است. در این تحقیق سعی شده است که با استفاده از روش CFD یک نمک زدا در مقیاس صنعتی شبیه سازی و گلوگاههای موجود در این دستگاهها با توجه به هیدرودینامیک دستگاه پیدا شود.

تعریف مسئله

در این تحقیق پارامترهای مربوط به جریان سیال درون جداساز ثقلی بررسی شده است. شکل (۱) طراحی مورد بررسی ساخته شده بر اساس داده‌های صنعتی در نرم افزار Gambit را نشان می‌دهد.



شکل ۱: ساختار هندسی مخزن نمک زدا ایجاد شده در نرم‌افزار گمبیت

جدول ۱: خصوصیات سیال و جریان ورودی

	Density (Kg/m ³)	Viscosity (c.St)	Flow Rate (kg/h)
Case 1	855.7	4.6	523684
Case 2	845.7	3.4	458052.8

در این تحقیق برای بررسی میدان سرعت از سیال مخلوط استفاده شده است که خصوصیات آن در جدول (۱) آمده است. در این تحقیق دو سیستم متفاوت (جدول ۱) از نظر نوع سیال و میزان دبی مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات هر یک از سیستمهای ذکر شده در جدول ۱ آمده است.

روش تحقیق

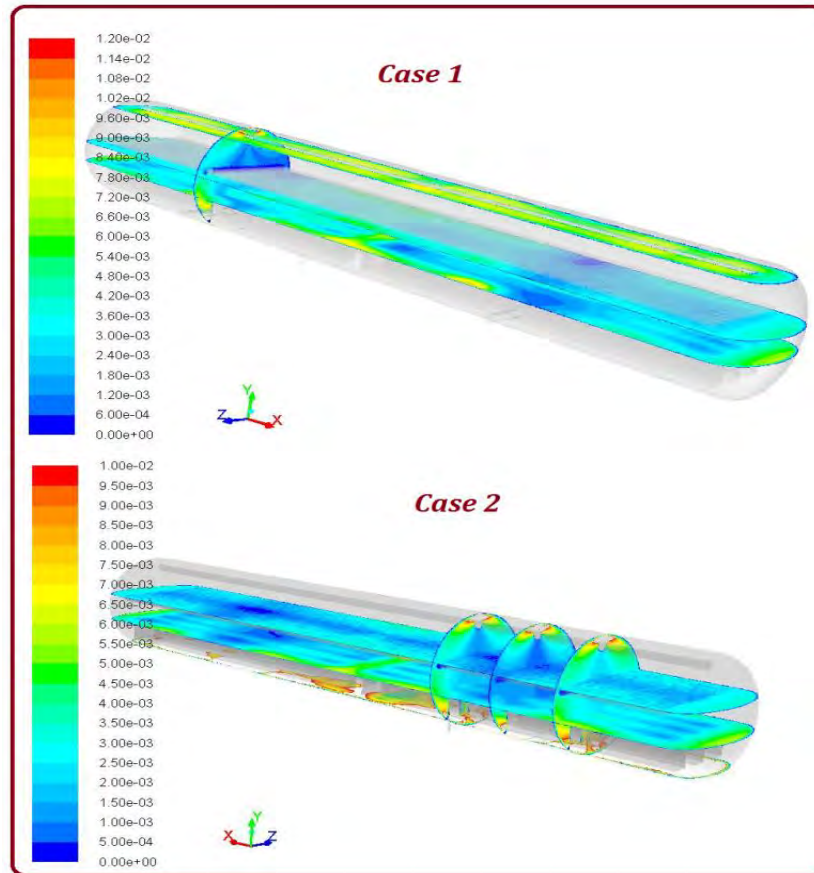
شمای مخزن مورد نظر برای شبیه‌سازی‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. در این شبیه‌سازی از مدل Standard k-ε برای شبیه‌سازی جریان آشفته استفاده شده است [۴-۸]. معادلات حاکم بر شبیه‌سازی در شرایط پایا در نظر گرفته شده است. برای انفصال‌سازی ترم‌های جابجایی در معادله مومنتوم از روش بالادست ۱ درجه دو استفاده شده است. و به منظور حل معادلات حاکم از الگوریتم SIMPLE استفاده شد [۴]. در این تحقیق برای ایجاد مش از مش با ساختار نامنظم و با تعداد ۲۳۰۰۰۰۰ سل استفاده شده است. همچنین برای شبیه‌سازی رفتار سیال در کنار دیواره از مدل تابع دیواره (standard wall Function) استفاده شده است. بعلاوه در تمام موارد میزان y^+ در کنار دیواره در محدوده ۶۰-۳۰۰ کنترل شده است. تمام ضرایب زیر تخفیف برابر ۰/۱ در نظر گرفته شده‌اند. شرایط مرزی دبی جرمی ورودی مشخص در ورودی و در خروجی فشار مشخص اعمال شده است. دیواره‌ها بدون لغزش در نظر گرفته شده‌اند. شرایط مرزی دبی جرمی برای ورودی و فشار مشخص در خروجی برای شبیه‌سازی استفاده شده است. تمام شبیه‌سازی‌ها با یک سیستم کامپیوتری دارای ۸ پردازنده ۲/۶۷ گیگاهرتز و ۸ گیگابایت حافظه انجام شد. لازم به ذکر است که طول مدت محاسبه برای هر مورد ۳ روز می‌باشد.

¹Second Order Upwind

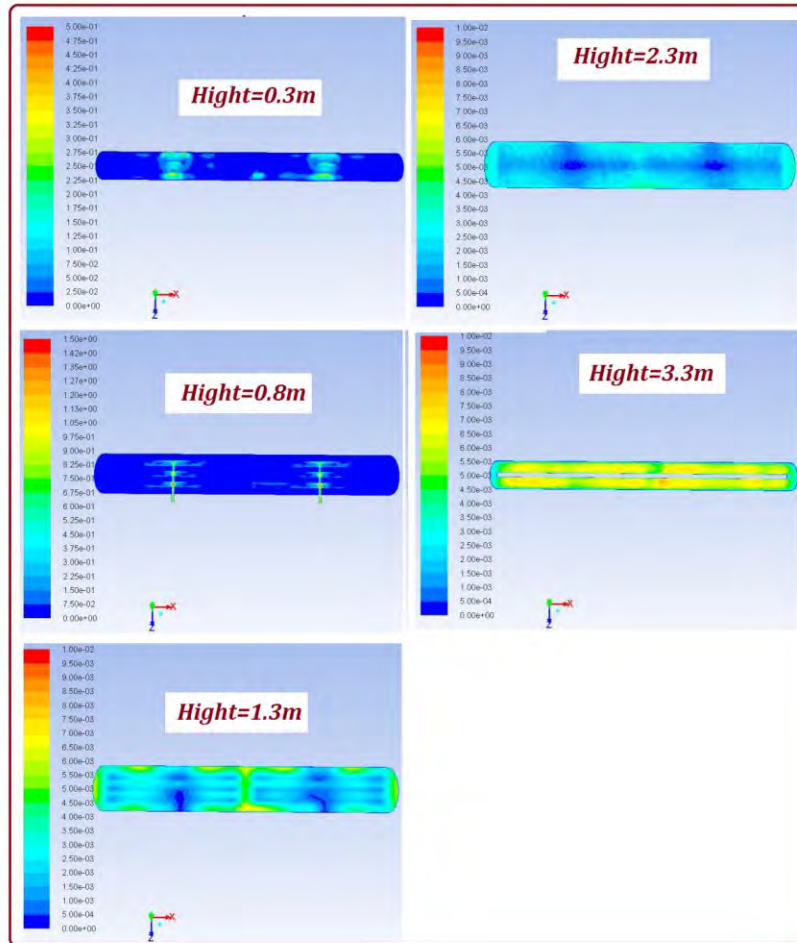
تجزیه و تحلیل نتایج

۴-۱- بررسی وکتور و کانتور سرعت

در طراحی مخازن ثقلی سعی بر این است که پروفایل سرعت قبل از وارد شدن به منطقه الکترودها دارای سرعت یکنواخت در تمام سطح مقطع طولی در جهت ارتفاع مخزن باشد. از این رو در این مطالعه بیشتر تمرکز در این مورد می‌باشد. شکل ۲ کانتور سرعت را در داخل تانک ته‌نشینی در جهت شعاعی و طولی نشان می‌دهند برای دو سیستم متفاوت نشان می‌دهد. با توجه به شکل دیده می‌شود که مقادیر سرعت تقریباً در بالای مخزن مقدار قابل توجهی را دارا نمی‌باشند. حال آنکه این مقدار فقط در قسمت‌های پایین و در قسمت خروجی تانک مقدار قابل توجهی را دارا می‌باشند. این روند در درون هر دو سیستم به وضوح قابل رویت می‌باشد. بدیهی است که اگر چه مقدار سرعت در قسمت بالای داخل مخزن مقدار زیادی ندارد اما میزان سرعت در تمام نواحی مقدار یکسانی را دارا نمی‌باشد. با توجه به شکل مقدار سرعت در نواحی موازی با ناحیه خروج سیال از کانال‌های توزیع کننده بیشتر از دیگر نواحی است. همچنین بعد از عبور سیال از ناحیه الکترودها به دلیل کاهش سطح مقطع تانک و نزدیک شدن سیال به خروجی سرعت زیاد می‌شود. این نواحی به شکل دو بعدی نیز در شکل ۳ در مقاطع طولی بر اساس ارتفاع از کف مخزن نشان داده شده‌اند. همچنین شکل ۴ نشان دهنده سرعت عمودی در مقاطع متفاوت مخزن می‌باشد. با توجه به شکل دیده می‌شود که در مقاطع پایینی به علت وجود گردابه سرعت در بعضی از نقاط منفی و در نقاط دیگر مثبت (به سمت بالا) می‌باشد. در حالی که این مقادیر در مقاطع بالا فقط مقادیر مثبت را شامل شده که نشان‌دهنده حرکت سیال به سمت بالا و عدم وجود گردابه می‌باشد.



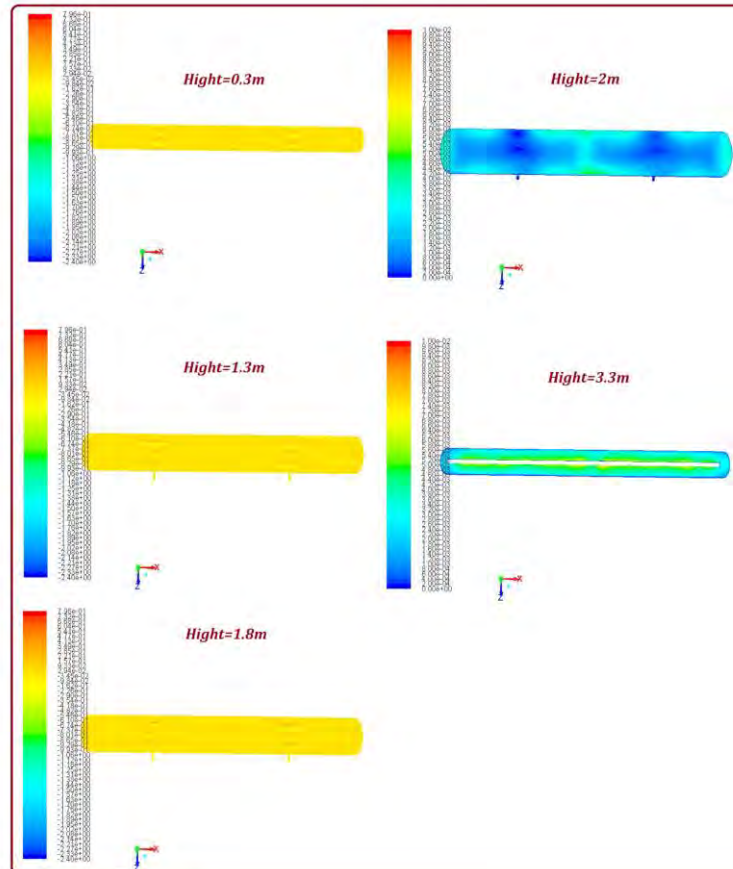
شکل ۲- کانتور اندازه سرعت (m/s) در مقاطع طولی و شعاعی در مخزن جداساز در دو سیستم مختلف



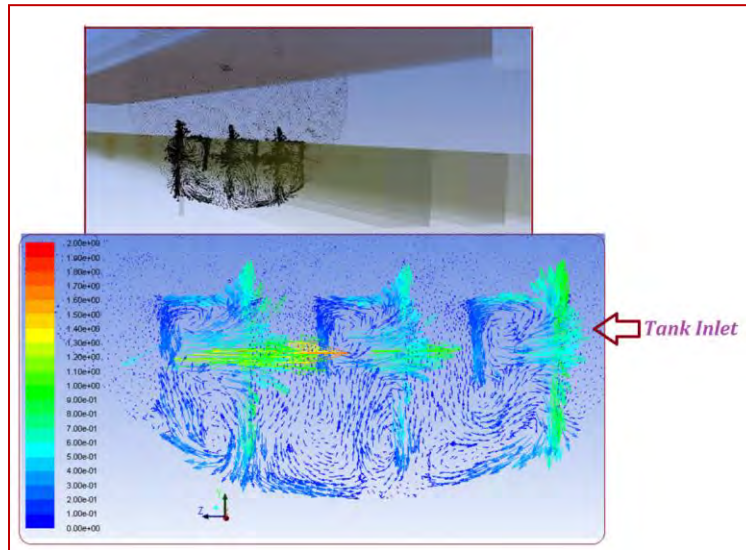
شکل ۳ کانتور سرعت (m/s) در مقطع طولی در مخزن جداساز در فواصل متفاوت از کف مخزن

شکل ۵ بردار سرعت را در داخل تانک ته‌نشینی در جهت شعاعی نشان می‌دهند. با توجه به شکل دیده می‌شود که مقادیر بردار سرعت تقریباً در بالای کانالهای توزیع کننده مقدار قابل توجهی را دارا نمی‌باشند. حال آنکه این مقدار فقط در قسمتهای پایین و در قسمت خروجی تانک مقدار قابل توجهی را دارا می‌باشند. همانطور که دیده می‌شود در داخل کانال و در قسمت پایین مخزن جریان گردابه‌ای بوجود آمده است که سبب کاهش راندمان دستگاه و افزایش اختلاط آب و نفت می‌شوند. بدیهی است که ارائه راهکاری مناسب به منظور کاهش دادن این جریانهای گردابه‌ای می‌تواند باعث افزایش راندمان در جداسازی نمک زدا گردد. شکل ۶ کانتور سرعت را در داخل تانک ته‌نشینی در جهت شعاعی و طولی در داخل کانالهای توزیع کننده نشان می‌دهد. با توجه به شکل دیده می‌شود که مقادیر سرعت تقریباً در قسمت ورودی به هر کانال زیاد بوده و رفته رفته از مقدار آن در

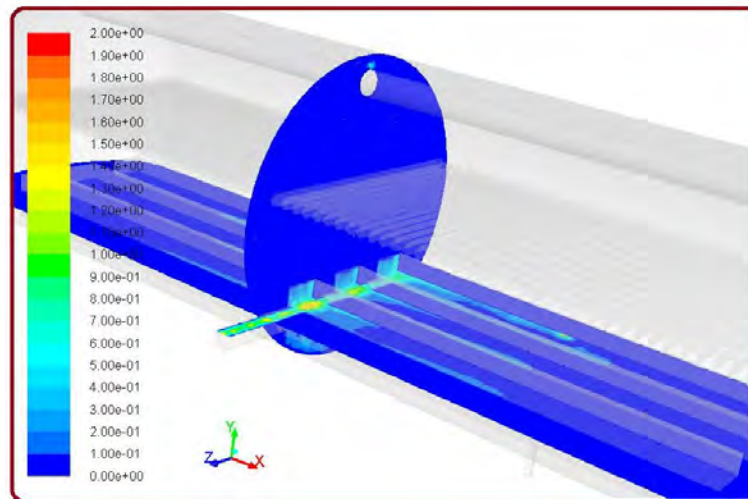
انتهای کانال کمتر می‌شود. همچنین دیده می‌شود که میزان سرعت در کانال انتهایی که دارای لوله اتصال نمی‌باشد بیشتر می‌باشد.



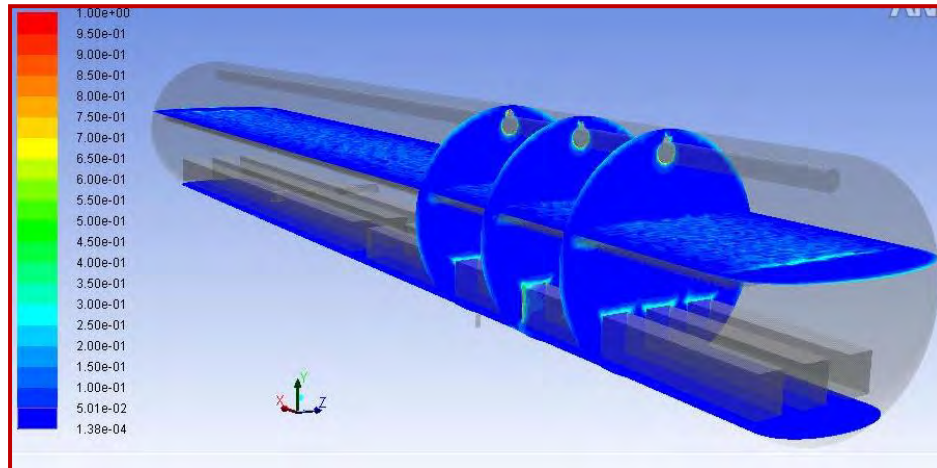
شکل ۴ کانتور مولفه عمودی سرعت (V_y) (m/s) مقطع طولی در مخزن جداساز در فواصل متفاوت از کف مخزن بدیهی است که ارائه راهکاری برای کاهش سرعت درون کانال بعد از برخورد جت به دیواره‌های کانال می‌تواند باعث کم شدن سرعت درون کانال و کاهش تاثیر گردابه‌ها بر پراکندگی فاز آب درون نفت گردد. شکل ۷ کانتور در داخل مخزن ثقلی را نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رود بیشترین اتلاف در نقاط اتلاف انرژی جنبشی برخورد جت آب با دیواره کانالهای توزیع کننده می‌باشد. همچنین کنار دیواره و در ناحیه الکترودها نیز اتلاف افزایش پیدا می‌کند. شکل ۸ نمودار سرعت میانگین در مقاطع مختلف در جهت ارتفاع را بر انرژی جنبشی حسب ارتفاع از ته تانک برای دو شرایط عملیاتی متفاوت نشان می‌دهد.



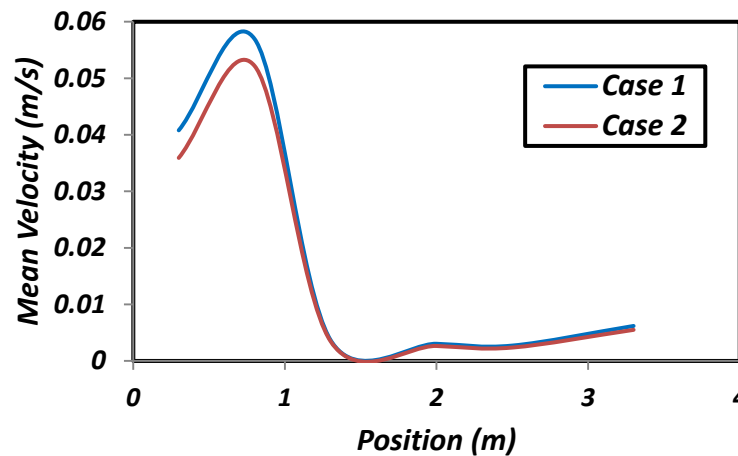
شکل ۵: بردار سرعت (m/s) در جهت شعاعی در مخزن جداساز



شکل ۶: کانتور اندازه سرعت (m/s) در مقطع شعاعی و طولی در مخزن جداساز در کانالهای توزیع کننده خصوصیات مربوط به شرایط به هر یک از شرایط عملیاتی در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به شکل دیده می شود که در ته مخزن سرعت زیاد می باشد که به علت نزدیکی به ورودی است. سپس سرعت کاهش پیدا کرده که این کاهش به دلیل اتلاف انرژی جنبشی و افزایش سطح مقطع تانک می باشد. در قسمت بالای نمک زدا نیز به دلیل کاهش سطح مقطع سرعت دوباره افزایش پیدا می کند.



شکل ۷: کانتور اتلاف انرژی جنبشی (m^2/s^3) در مقطع شعاعی و طولی در مخزن جداساز



شکل ۸: سرعت متوسط جریان تک فازی در مخزن نمک زدا در مقاطع مختلف

جدول ۲ افت فشار درون نمک زدا را نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رود افت فشار در مورد شرایط عملیاتی ۱ بیشتر است. بدیهی است که این افت فشار به سبب دبی بالاتر جریان و در نتیجه سرعت بیشتر در خروجی است.

۴-۲- بررسی کمی یکنواختی سرعت

در این تحقیق میزان تغییرات دبی بر روی تغییرات توزیع میدان سرعت در داخل دستگاه نمک‌زدا مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۲ سه حالت مورد بررسی در این کار را نشان می‌دهد.

جدول ۲: خصوصیات سیال در سه حالت مورد بررسی

میانگین وزنی انرژی جنبشی اغتشاش (m ² /s ²)		انحراف معیار سرعت (mm/s)		Re	
بالای الکتروود	زیر الکتروود	بالای الکتروود	زیر الکتروود		
۰,۰۰۰۴۱	۰,۰۰۰۴۵	۲۲,۶	۲۳,۲	14961	Case1
۰,۰۰۰۱۲	۰,۰۰۰۱۳	۱۰,۲	۱۰,۵	0463	Case2
۰,۰۰۰۰۳	۰,۰۰۰۰۷	۲	۲,۱	466	Case3

سرعت عبور سیال از الکتروودها از پارامترهای کلیدی در طراحی نمک زداهاست. پایین بودن سرعت عبور نفت حین عبور از الکتروودها شرایط را برای بهم پیوستن قطرات بهتر می‌کند. بنابراین در یک نمک‌زدا ایده آل سرعت در زیر الکتروودها کاملاً یکنواخت است تا کمترین سرعت برای یک دبی ورودی مشخص امکانپذیر گردد. یکنواخت بودن سرعت قبل از ورود به ناحیه الکتروودها برای ۳ کیس مطرح شده با استفاده از پارامتر انحراف معیار^۲ سرعت در راستای Y در یک سطح با فاصله 100 میلی‌متر زیر الکتروود و یک سطح با فاصله 100 میلی‌متر بالای الکتروودها اندازه‌گیری شده است. نتایج بدست آمده در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج دیده می‌شود که میزان تغییرات سرعت در بالا و پایین الکتروودها از یکنواختی مناسب برخوردار می‌باشد.

آرام بودن نفت حین گذر از الکتروودها نیز پارامتر دیگری است که با استفاده از پارامتر میانگین وزنی انرژی جنبشی اغتشاش^۳ برای ۳ کیس و در دو سطح ذکر شده اندازه‌گیری شده اند. یکی از پارامترهای مهم در طراحی نمک‌زدا میزان نفتی است که همراه با آب از زیر نمک‌زدا خارج می‌شود. مقدار نفت خروجی همراه با

² Standard deviation

³ Mass weighted Turbulent kinetic energy

آب ارتباط مستقیمی با میزان اغتشاش در قسمت زیر پخش کننده ها دارد. از اینرو میزان اغتشاش از طریق متغیر میانگین وزنی انرژی جنبشی اغتشاش در سطح زیر پخش کننده ها برای ۳ کیس اندازه گیری و در جدول ۳ نشان داده شده اند. از آنجاییکه هدف اصلی مقایسه این ۳ کیس است، می توان برای مقایسه اثر رینولدزهای مختلف در اغتشاش پایین مخزن از این نتایج استفاده کرد.

جدول ۲: خصوصیات سیال در سه حالت مورد بررسی

میانگین وزنی انرژی جنبشی اغتشاش (m ² /s ²)	
۰,۰۱۷۴	Case1
۰,۰۰۵۷	Case2
۰,۰۰۲۳	Case3

نتیجه گیری

در این تحقیق شبیه سازی نمک زدهای جداسازی نفت از آب با استفاده از تکنیک CFD در مقیاس صنعتی انجام شده است. مسأله به شکل تک فاز انجام شده است. برای حل میدان آشفتگی از مدل k-ε استاندارد استفاده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده میتوان مشاهده کرد که بیشتر اتلاف انرژی در نمک زدها در قسمت ورودی اتفاق افتاده و با استفاده از تمهیدات مناسب میتوان این میزان اغتشاش ایجاد شده در کانالهای ورودی را کنترل کرده و به ته نشینی سیال در کف مخزن کمک کرد. بیشترین عامل کاهش راندمان این دستگاهها را میتوان نحوه طراحی کانال ورودی دانست. در این تحقیق همچنان میزان دبی ورودی به دستگاه نمک زدا در سه دبی متفاوت مورد بررسی قرار گرفت و نتایج با یکدیگر از نظر یکنواختی جریان در دو سمت الکترودها مورد بررسی قرار گرفت.

مراجع

- [1] H.K.Versteeg, W.Malalasekera, "An intruduction to computational fluid dynamics the finite volume method", 3rd ed, Springer (2008)
- [2] S.V. Patankar, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", 1st ed, Hemisphere Books, (1980).

- [3] M. Mohammadia, S. Shahhosseinia, M. Bayat, Numerical prediction of the electrical waveform effect on electrocoalescence kinetic, chemical engineering research and design Vol. 91, 904–918 (2013)
- [4] H. Bansal, A. Sayal, CFD analysis of horizontal electrostatic desalter influence of header obstruction plate design on crude-water separation, Proceedings of IRF International Conference, Goa, (2014).
- [5] Documentation of Commercial package Ansys FLUENT 13.
- [6] V. V. Ranade, “Computational Flow Modeling for Chemical Reactor”, 3rd ed, (2002)
- [7] J. Aubin, D.F. Fletcher, C. Xuereb, Modeling turbulent flow in stirred tanks with CFD: the influence of the modeling approach, turbulence model and numerical scheme, Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 28, 431–445 (2004).
- M. Rahimi and A. Parvareh, “CFD study on mixing by coupled jet-impeller mixers in a large crude oil storage tank” Computers & Chemical Engineering, Vol. 31, Issue 7, 737-744 (2007).



Hydrodynamics Survey of Desalter using CFD simulation

H.Abbasi¹, S.Noroozi² and S.H. Hashemabadi^{2*}

¹ R&D Department, Chamaan Engineering and Fabrication Company, Floor 1, No. 5, Shab Afrooz St., Qeytarieh Ave., Tehran, Iran

²CFD lab, School of Chemical Engineering, IUST, Narmak, Tehran, Iran,

: hashemabadi@iust.ac.ir

Abstract

Nowadays, Desalters are of great significance in many industrial applications since they remove salt, which leads to eliminate corrosion in downward equipments. In current study, CFD simulation of industrial De-Salter type for removing salt and water from oil was conducted. In simulation, the hydrodynamics of oil-water mixture as a single phase through the desalter was considered. The Standard k- ϵ model was used to simulate the turbulent flow through the tank. The effects of design parameter were also considered in different cross section of desalter. Moreover, the effect of flow uniformity was considered over the electrodes cross sections in three different flow rates. The dissipation rate of kinetic energy over the electrodes and desalter's wall was considered as it is a very important parameter in desalters design. According to the results, It is observed that turbulence kinetic energy in flow distributor is much higher compared to other regions and therefore the optimum efficiency can be attained by optimizing the design parameters of inlet distributors.

Key Words: Desalter, oil-water separation, CFD, Standard k- ϵ .