## شبیهسازی عددی توزیع دمای مخازن نفت

عليرضا مجيديان*	استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری، ساری، ایران
سيروس موحدى	دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری، ساری، ایران

#### چکیدہ

در این مقاله توزیع دما در مخزن ذخیره نفت خام استوانهای دارای گرمکننده و همزن، که از سطوح بیرونی، در معرض انتقال گرمای همرفتی و تابشی قرار دارد، با استفاده از شبیه سازی عددی، مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور کل محیط مخزن شبکه گذاری شده و با اعمال شرایط مرزی حاکم بر مسئله، با استفاده از روش حجم محدود، مخزن شبیه سازی گردیده است. تأثیر روشن بودن همزنِ مخزن، بر توزیع دما بررسی شده و همان گونه که انتظار می فت، با روشن شدن همزن، توزیع دما در داخل مخزن به صورت همگن در میآید. در صورت خاموش بودن همزن، با وجود چهار دستگاه گرمکننده، جریان لایه ای همرفتی سیال از نواحی اطراف گرمکننده، به سوی آن جریان یافته و از آنجا به سمت بالا و سقف مخزن ادامه می یابد ولی توزیع دما در داخل مخزن به صورت همگن نمی باشد. در حالت کلی با افزایش ارتفاع مخزن، دمای مخزن افزایش پیدا نموده ولی در مجاورت سقف ِ مخزن، با توجه به اتلاف گرما از سقف، دمای این ناحیه کاهش می یابد. در حالت کلی با افزایش ارتفاع مخزن افزایش پیدا نموده ولی در مجاورت سقف ِ مخزن، با توجه به اتلاف گرما از سقف، دمای این ناحیه کاهش می یابد.

واژههای کلیدی: توزیع دما، مخازن نفت، شبیهسازی عددی.

### Numerical Simulation of Oil Tank Temperature Distribution

A. Majidian S. Movahedi Mechanical Engineering Department, Islamic Azad University, Sari Branch, Sari, Iran Mechanical Engineering Department, Islamic Azad University, Sari Branch, Sari, Iran

#### Abstract

In this paper temperature distribution of oil in cylindrical tank with heater and mixer was studied by numerical simulation. All three heat transfer mechanisms in the outer surfaces were considered. Mesh was generated around the tank and after applying boundary conditions the temperature distribution was simulated by finite volume method. The effect of mixer on temperature distribution was investigated. As it is expected, when mixer was working the temperature distribution was uniform. Without mixer, there was a laminar flow from heated region to colder region and to the roof of tank and temperature distribution wasn't uniform. In general, temperature was increased with elevation but in near of the roof the temperature is decreased since heat loss from roof. **Keywords:** Temperature distribution, oil tank, Numerical distribution.

#### ۱– مقدمه

واحدهای نفت و گاز برای نگهداری نفت خام و گاز و نیز انبار کردن فرآوردههای نفتی گوناگون، نیاز به تعداد بسیار زیادی مخزن دارند. تعداد این مخازن به عواملی چون فاصله واحد با منابع تأمین کننده نفت خام، تعداد و ظرفیت واحدهای پالایش، تنوع فرآوردههای تولیدی و سرانجام چگونگی انتقال و پخش فرآوردهها بستگی دارد. در صنایع شیمیایی، مواد ارزشمند مانند بنزین یا گاز مایع، طی فرآیندهای مختلفی از مواد شیمیایی خام، مانند نفت خام جدا می شوند یا از آنها به وجود می آیند. چند راه برای انتقال مواد خام از منابع تأمین کننده به واحد فرآیندی وجود دارد که بر حسب مورد و شرایط، از روش مناسب مانند خطوط انتقال یا تانکر استفاده می گردد. همچنین محصولات تولیدی نیز به روشهای مختلف به بازار مادخلی یا خارجی عرضه می شوند.

به دلایل زیادی از جمله یکسان کردن کیفیت محصول، اندازه گیری حجم محصول جهت فروش، امکان بارگیری و انتقال به تانکر یا کشتی در حداقل زمان ممکن و ... سبب می شود تا مواد محصول را بعد از تولید، در مخازن مناسب ذخیره نمایند.

می گیرند. به طور کلی مخازن بر اساس فشار و دمای کاری مخزن، محل قرارگیری و نوع سقف طبقهبندی می شوند [۱]. در طول سالیان گذشته محققین زیادی در زمینه بررسی وضعیت جریان سیال و گرما داخل مخزن تحقیق نمودهاند. تعدادی از این مطالعات روی مخازن واقعی و تعداد دیگر روی مخازن نمونه انجام گردیده است. لین ونیکسین و همکارانش [۲] در سال ۲۰۰۶ در تحقیقی، رفتار بلندمدت سیال داخل مخزن استوانهای که در حالت اولیه، ساکن هست و تحت انتقال گرمای همرفتی سرد می شود، مورد عددی حل گردیده و نتایج این دو روش مورد مقایسه قرار گرفته است. ایوانسیک و همکارانش [۳] در سال ۱۹۹۸، انتقال گرما در یک

مخازن جهت نگهداری و ذخیره سازی شارهها مورد استفاده قرار

است. ایوانسیک و همکارانش[۳] در سال ۱۹۹۸، انتقال گرما در یک استوانه عمودی که از قسمت پایین گرم میگردد را مورد مطالعه قرار دادهاند. عدد پرانتل، عدد رایلی، نسبت ارتفاع به قطر مخزن و شرایط دیواره مخزن برای مقادیر مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. برای جریان همرفتی پایدار هیچ وابستگی بین ساختار جریان و عدد ناسلت مشاهده نگردیده است. مطالعه تأثیر عدد پرانتل بر انتقال گرما، نشان داد که فقط برای پرانتل بالای۵/۰، پرانتل بر انتقال گرما تاثیر دارد. برای اعداد پرانتل کوچکتر از ۱/۰، عدد ناسلت، به شدت وابسته به

<sup>&</sup>lt;sup>®</sup> نويسنده مكاتبه كننده، آدرس پست الكترونيكى: a\_majidian@iausari.ac.ir تاريخ دريافت: ۹۴/۰۹/۱۰ تاريخ پذيرش: ۹۵/۰۳/۱۸

عدد پرانتل بوده و رفتارهای مختلفی از خود نشان میدهد. اشمر [۴] در سال ۲۰۱۳ ارزیابی کمی عددی و تجربی لایهبندی گرمایی یک مخزن نفت عایق نشده که در طول بارگیری در معرض اتلاف حرارتی قرار گرفته را انجام داد. او توانست مدلی برای شبیه سازی توزیع دما در مخزن ارائه نماید. نتایج ناشی از شبیهسازی با استفاده از مدل فوق، شباهت خوبی با نتایج تجربی داشته است. اولیوسکی و همکارانش[۵] در سال ۲۰۰۲، تحلیل عددی و تجربی میدانهای سرعت و دما داخل مخزن ذخیره که در معرض انتقال گرمای همرفتی گذرا قرار گرفته است، را ارائه دادهاند. کورونو و همکارانش [۶] در سال ۲۰۱۰، مخازن در حال اختلاط تک فازی را به صورت عددی و با روش ميانگين گيري رينولدز مطالعه نمودهاند. آنان تاثير اندازه شبكه و روش گسسته سازی معادلات بر پارامترهای اساسی مثل سرعت متوسط، نرخ پراکندگی اغتشاش و همگنسازی را بررسی نمودند. در سال ۲۰۱۴، توسط جین ژائو و همکارانش [۷] سرد شدن گذرای نفت خام داخل یک مخزن با سقف شناور واقعشده در منطقه آلپاین را با استفاده از شبیهسازی عددی و مدل دوبعدی در مختصات استوانهای و با استفاده از روش حجم محدود مورد تحقیق قرار دادند و میزان انتقال گرمای همرفتی و توزیع دمای مخزن را بررسی نمودند.

### ۲-۱- بیان مسئله و هدف تحقیق

در این تحقیق، گرمایش مخازن نفت خام بررسی گردید. مخازن نفت خام مورد تحقیق دارای ظرفیت بیست و پنج هزار متر مکعب و سقف آن از نوع شناور خارجی میباشند. قطر این مخازن ۵۰ متر و ارتفاع آنها ۱۰ متر بوده و هر مخزن دارای چهار دستگاه گرم کن و دو عدد همزن در دیواره میباشد.



شکل ۱- هندسه مسئله

در این تحقیق، با داشتن دادههای مسئله از جمله دمای محیط، مقدار شار گرمایی گرم کنندهها، شرایط ورودی و خروجی نفت به مخزن و یافتن نوع جریان سیال درون مخزن، با حل معادلات حاکم بر مسئله، توزيع دما درون مخزن مشخص و ميانگين واقعي دماي مخزن محاسبه و پاسخ سوالات زیر مشخص گردید:

 ۲- توزیع دمای نفت در ارتفاع مختلف داخل مخزن به چه شکل مىباشد؟

۲- روشن و یا خاموش بودن همزن چه تأثیری بر توزیع دمای داخل مخزن دارد؟

برای انجام این تحقیق ابتدا مخزن مورد نظر به همراه متعلقات مؤثر در مسئله، شبکهبندی گردید. سپس شرایط مرزی و مشخصات مسئله

وارد نرمافزار ANSYS گردید و با استفاده از نرمافزار، حل معادلات حاکم بر مسئله بدست آمد.

معادلات حاکم بر مسئله به صورت زیر بیان می گردند:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \mathrm{diV}(\rho \vec{V}) = 0 \tag{1}$$

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial_x} \left[ 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda div \vec{V} \right] + \frac{\partial}{\partial_x} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial_z} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + s_{mx}$$
(7)

$$\frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial_x} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial_y} \left[ 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda div \vec{V} \right] + \frac{\partial}{\partial_z} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + s_{my}$$
 (7)

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial_x} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] \\ + \frac{\partial}{\partial_y} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \\ + \frac{\partial}{\partial_z} \left[ 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda div \vec{V} \right] \\ + s_{mz}$$
(\*)

(۵)

## ۲-۲- فرضيات مسئله

۱. دمای محیط اطراف مخزن در مدت شبیهسازی، ثابت و برابر  $15^{
m o}{
m C}$  در نظر گرفته شد و سرعت باد 2.5 m/s فرض شد.

 $\rho c_p \ \frac{dT}{dx} = \ k \nabla^2 T + \ \emptyset$ 

- ۲. با توجه به فونداسیون، کف مخزن از نظر انتقال حرارت بی دررو در نظر گرفته شد.
- از تغییرات شدت گرمادهی گرمکنندهها در طول ۳. مدت شبیهسازی صرفنظر گردید.
- نفت خام داخل مخزن با API 35 و چگالی نفت ۴. خام در دمای ۴<sup>° 6</sup>0، برابر 850 kg/m<sup>3</sup> میباشد.
- ۵. در طول مدت شبیهسازی، شیرهای ورودی و خروجی مخزن بسته فرض شد.

## ۲–۳– مدل سازی مخزن

با استفاده از شکل هندسی پروانه همزن، سطوح خارجی آن به صورت سه بعدی شبکه گذاری گردید(شکل ۲).

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> RANS



شکل ۲- شبکه گذاری بیرونی یک پره

برای شبیهسازی حرکت پروانه، روش شبکه لغزنده به کار گرفته شد. بر اساس مدل شبکه لغزنده، نخست اطراف پروانهها استوانهای به شعاع ۰/۶ متر و طول ۱ متر ایجاد گردید و داخل آن شبکه بندی صورت گرفت (شکل ۳).



شکل ۳- استوانه دور پروانه جهت مدل سازی

سپس حجم پروانه از حجم استوانه کسر گردید و داخل این استوانه شبکه بندی شد به گونه ایی که حجم پروانه به عنوان یک حفره، داخل استوانه میباشد. در شکل ۴ نمایی از هندسه مخزن پس از ترسیم و شبکه بندی مشاهده می گردد.



شکل ۴– نمایی از مخزن در گمبیت با شبکه اعمالشده



شکل ۵- تغییر چگالی نفت با تغییرات دما

### ۲-۳- شرایط مرزی مسئله

دیوارههای مخزن از سمت خارج با محیط بیرون به صورت همرفتی و تابشی انتقال گرما داشته و فرض گردید که سرعت باد در محیط اطراف، ۲/۵ متر بر ثانیه است. ضریب انتقال گرمای محیط محاسبه و شرایط مرزی به صورت رابطه ۶ فرض شده بود:

$-k \left( \frac{\partial I}{\partial x} \right)_{x=0}$	(6)
$= h [T_{\infty} - T_{w}]$	(7)
$+ \epsilon_{\text{ext}} \sigma(T_{\infty}^{4} - T_{w}^{4})$	
کف مخزن با توجه به این که با زمین در تماس بوده به صورت	
رو در نظر گرفته شد و شرایط مرزی مربوط به آن، به صورت زیر	بی در
ی گردد.	بيان م
$\frac{\partial T}{\partial \mathbf{v}} = 0$	(Y)
- )	

#### ۳- نتايج

### ۳-۱- تغییرات دما متناسب با سطوح

در صورت روشن بودن همزن، جریان چرخشی در مخزن ایجاد شده که باعث یکنواختی دما در سطوح مختلف می گردد. شکل (۶)، میانگین دمای در چهار ارتفاع متفاوت درون مخزن و با اختلاف یک متر از یکدیگر، وقتی که همزن روشن می باشد، را نشان می دهد. گرچه در این نمودار، دمای نفت خام در ارتفاع بالایی مخزن بیشتر می باشد ولی همان گونه که در نمودار مشاهده می گردد این اختلاف کم و در حد نیم درجه می باشد.



شکل۶- تغییرات دما نسبت به ارتفاع مخزن با همزن روشن

## ۲-۲-تغییرات در سطوح با همزن خاموش

با خاموش شدن همزن، حرکت نفت خام در داخل مخزن کم می گردد. از سطوح پایین مخزن که توسط گرم کننده، گرم می گردند، گرما به سمت بالا حرکت کرده و سطوح بالایی گرمتر از سطوح پایین مخزن می باشند. همان گونه که در شکل ۷ نشان داده شده است، اختلاف در تغییرات دما بسیار فاحش نبوده ولی نسبت به وقتی که همزن خاموش می باشد، این اختلاف بیشتر است.



شکل ۷- تغییرات دما نسبت به ارتفاع مخزن با همزن خاموش

برای مشخص شدن توزیع دما در هر ارتفاعی در داخل مخزن، شماره گر دما در چهار سطح افقی مخزن که در ارتفاع ۲،۳،۱ و ۴ متری، قرار دارند مشخص گردیده که در شکلهای ۸ –۱ الی ۸–۶ نشان داده شده است. همان گونه مشاهده می گردد، در ارتفاع ۴ متری که زیر سقف مخزن می باشد، دمای نفت به شدت افت پیدا نموده و دلیل آن اتلاف حرارتی ناشی از انتقال گرما در سقف مخزن می باشد.

## ۳-۳- توزیع سرعت سیال برای همزن روشن

وقتی همزن مخزن روشن می گردد، حرکت چرخشی در داخل مخزن تشکیل شده که روند توزیع سرعت سیال در مخزن تحت تأثیر این جریان همزن قرار می گیرد و جریان همرفتی به علت این که مقدار آن ناچیز می باشد، تأثیری برروی آن ندارد. برای بررسی این موضوع همانند بخش قبلی، در چهار ارتفاع مختلف توزیع سرعت ترسیم، که در شکلها ۹-۱ الی ۹-۴ نشان داده شده است.

## ۳-۴- استقلال از شبکه

هنگامی که شبکه کوچک تر می شود، نتایج باید به مقدار واقعی نزدیک تر شود. در روش عددی معمولاً کار با شبکه درشت آغاز می شود و به تدریج شبکه ریز تر می شود تا این که تغییراتی که در نتایج مشاهده می شود از مقدار خطایی که از پیش تعیین می شود، کوچک تر شود. در شکل ۱۰ سه اجرای<sup>۱</sup> با شرایط یکسان ( از نظر هندسه و نوع مش بندی در یک ارتفاع مشخص و ثابت از مخزن نفت خام را در یک زمان) ولی اما با شبکه های متفاوت ارائه شده است.







شکل ۸-۲- توزیع دما در سطح افقی به ارتفاع ۲ متر



شکل ۸-۳- توزیع دما در سطح افقی به ارتفاع ۳ متر



شکل ۸-۴-توزیع دما در سطح افقی به ارتفاع ۴ متر

با افزایش تعداد شبکه، الگوی جریان تغییر میکند ولی با کوچکتر کردن مش از یک اندازه خاص، تغییری در الگوی جریان مشاهده نمیشود.



شکل ۹–۱–توزیع سرعت در ارتفاع ۱ متری با همزن روشن



شکل ۹–۲– توزیع سرعت در ارتفاع ۲ متری با همزن روشن



شکل ۹–۳–توزیع سرعت در ارتفاع ۳ متری با همزن روشن



شکل ۹- ۴- توزیع سرعت در سطح زیر سقف مخزن با همزن روشن

گام دیگر در امر شبیه سازی بررسی دقت و اعتبارسنجی نتایج حاصله از شبیه سازی است. به دلیل محدودیت، امکان بدست آوردن نتایج آزمایشگاهی در این خصوص مشکل میباشد. لذا به منظور راستی آزمایی نتایج شبیه سازی از نتایج محققین قبلی در این خصوص استفاده گردید.





برای تایید دقت نتایج حاصل برای این مخزن که درون آن نفت خام ذخیره می شود، پارامترهای مهمی که در صحت و دقت شبیه سازی عددی موثر است، بررسی شد تا دقت نتایج حاصل را تا حد ممکن افزایش یابد به گونهای که هم به لحاظ محاسباتی هزینه زیادی پرداخته نشود و هم دقت محاسبات در محدوده قابل تائید قرار گیرد. از جمله تحقیقات مشابه بر روی مخازن ذخیره نفت خام کار بین زائو [۸] در سال ۲۰۱۱ است. او تغییرات دمای مخزن ذخیره نفت خام را که در معرض سرد شدن همرفتی قرار داشت، مطالعه نموده است. ارتفاع نفت در مخزن فوق ۵ متر بوده که تقریباً نزدیک به ارتفاع مخزن مورد مطالعه میباشد. مخزن مبنا در شرایط محیطی با دمای اولیه ۴۲/۵ درجه سلسیوس و باد ۲/۵متر بر ثانیه قرار داشت. نتایج شبیه سازی عددی و نتایج آزمایشگاهی کار مزبور، مورد بررسی و تغییرات دمای داخل مخزن نسبت به زمان (ساعت) رسم گردیده است. برای اعتبار سنجی شبیه سازی عددی کار حاضر، شرایط مخزن مقاله فوق را در نرم افزار اعمال شد. به همین منظور شار حرارتی گرم کنندهها را برابر صفر و همزنها خاموش شدهاند. دمای اولیه مخزن را برابر ۳۱۵/۵ درجه کلوین (۲۲/۵ + ۲۷۳) تنظیم و شرایط مرزی دیوار خروجی را نوع همرفتی و مقدار ضریب انتقال حرارت طوری در نظر گرفته شده که با درجه حرارت محیط اطراف مخزن و باد با سرعت ۲/۵ متر در ثانیه مطابقت داشته باشد.



با اعمال شرایط فوق در نرم افزار، شبیه سازی انجام گردید و دمای متوسط مخزن در زمانهای مختلف رسم و با نتایج بدست آمده در تحقیق قبلی با هم مقایسه شد(شکل۱۲). همانگونه که در شکل ۱۲ مشاهده می گردد، مشخص می گردد که نتایج به دست آمده از شبیه سازی عددی در تحقیق کنونی با نتایج حاصل از نتایج عددی انجام شده برای مخزن نفت خام مشابه، مطابقت مناسبی دارد. لذا می توان از این روش برای شبیه سازی مخزن نفت خام موجود استفاده نمود.



## ۴- نتیجهگیری

در این تحقیق با استفاده از شبیه سازی عددی، توزیع دما در مخزنِ نفت خام دارای گرمکننده، مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از این شبیه سازی می توان نتیجه گرفت که دمای مخزن از پایین به بالا افزایش یافته ولی در نقاط نزدیک به سقف، در اثر انتقال حرارت سقف مخزن، این دما کاهش می یابد. با خاموش بودن همزنهای مخزن، جریان همرفتی در داخل مخزن شکل گرفته که تا حدودی، باعث همگن شدن دمای مخزن می گردد ولی تأثیر آن به اندازه جریان ناشی از بکارگیری همزنها نمی باشد. با توجه به انتقال حرارت در دیواره های مخزن، دمای نزدیک به دیواره های جانبی از دمای میانگین مخزن، کمتر می باشد.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Bin Zao

للانہ	ست ء	فد	-۵
یر یم		~	

چگالی سیال	ρ
زمان	Т
فشار	Р
رسانایی گرمایی	K
ضریب انتقال گرمای همرفت	h
دمای نفت	Т
دمای دیواره بیرونی مخزن	T <sub>wo</sub>
دمای دیواره درونی مخزن	$T_{wi}$
دماي محيط اطراف مخزن	T ∞
مختصههای دستگاه	Х
مختصههای دستگاه	Y
مختصههای دستگاه	Z
سرعت در راستای محور x	u
سرعت در راستای محور y	v
سرعت در راستای محور z	w
گرمای ویژه	$C_p$
لزجت	μ
شتاب گرانش	g
تنش برشی	τ
شار گرمایی	q
مقدار کار	W
منبع انرژی	$\mathbf{S}_{mx}$
بردار سرعت	$\overrightarrow{V}$

Ċ

# 8- مراجع

[1] American Petroleum Institute, Design and construction of large welded low pressure storage tanks, API standard press, Tenth Edition, 2002

[2] Wenxian lin, S.W. Armfield, "Long-term behavior of cooling fluid in a vertical cylinder", International Journal of Heat and Mass Transfer 48 pp. 53–66, 2005.

[3] Ivancic A., A.Oliva C. D., PerezSegarra Costa M., Heat transfer simulation in vertical cylindrical enclosures for supercritical Rayleigh number and arbitrary sidewall conductivity, International Journal of Heat and Mass Transfer 31 "0888# pp.212\_232

[4] Ashmore Mawire, Experimental and simulated thermal stratification evaluation of an oil storage tank subjected to heat losses during charging, Applied Energy 108 (2013) 459–465

[5] Oliveski R.D., Krenzinger A., Cooling of cylindrical vertical tanks submitted to natural internal convection, International Journal of Heat and Mass Transfer 46 pp.2015–2026, 2003.

[6] Coroneo M., Montante G., Paglianti A., Magelli F., CFD prediction of fluid flow and mixing in stirred tanks: Numerical issues about the RANS simulations, Computers and Chemical Engineering 35 pp.1959–1968, 2011,

[7] Jian Zhao, Yang Liu, LiXinWei, and Hang Dong, Transient Cooling of Waxy Crude Oil in a Floating Roof Tank, Journal of Applied Mathematics, Volume 2014, Article ID 482026, 12 pages

[8] Zhao B., Numerical simulation for the temperature changing rule of the crude oil in a storage tank based on the wavelet finite element method, Therm. Anal. Calorim, pp. 107 : 387-393, 2012.