

بررسی تأثیر بافل عمودی بر رفتارهای هیدرودینامیکی مخازن همزن‌دار

شعیب غلامی^۱، سعید مینائی^{۲*} و علیرضا مهدویان^۳

چکیده

مخازن همزن‌دار دارای کاربردهای وسیعی در صنایع غذایی، شیمیایی و معدنی هستند. بنابراین شناخت دقیق رفتار هیدرودینامیک سیال موجود در این مخازن امری ضروری محسوب می‌گردد. از جمله مشکلاتی که در مخازن همزن‌دار به وجود می‌آید می‌توان به ایجاد گرداب درون مخزن به هنگام کار در سرعت‌های بالا اشاره کرد که موجب عدم اختلاط مناسب می‌شود. در این پژوهش با اضافه نمودن بافل به جداره داخلی مخزن، میدان جریان و پدیده گرداب مورد بررسی قرار گرفت. هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر بافل بر تغییرات سرعت شعاعی و انرژی جنبشی آشفته به کمک دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) است. در این بررسی مشاهده شد که اضافه نمودن بافل به دیواره مخزن، موجب می‌شود تا جریان شعاعی گسترش یافته و امکان همزنی تا دیواره مخزن را فراهم آورد. افزون بر آن، مشاهده شد که جریان عمودی نیز به طور مشخص گسترش یافته است که افزایش آشفتگی در سیال را به دنبال دارد. بر اساس نتایج، انرژی جنبشی آشفته برای مخازن بافل‌دار و بدون بافل به ترتیب $0.0957 \text{ m}^2/\text{s}^3$ و $0.112 \text{ m}^2/\text{s}^3$ بوده و نرخ اتلاف انرژی به ترتیب $0.955 \text{ m}^2/\text{s}^3$ و $0.805 \text{ m}^2/\text{s}^3$ به دست آمد. با افزایش سرعت در نزدیکی پره، میزان آشفتگی افزایش یافته که موجب فراهم نمودن انرژی لازم برای اختلاط هرچه بیشتر مواد اولیه گردید و همچنین از حرکت دورانی سیال که موجب کاهش کیفیت همزنی است، جلوگیری شده است.

واژه‌های کلیدی: مخزن، همزن، دینامیک سیالات محاسباتی، بافل، انرژی.

ارجاع: غلامی ش.، مینائی س. و مهدویان ع. ۱۴۰۲. بررسی تأثیر بافل عمودی بر رفتارهای هیدرودینامیکی مخازن همزن‌دار. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۹: ۴۳-۴۴. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2023.14113.630>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

* نویسنده مسئول: minaee@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۲

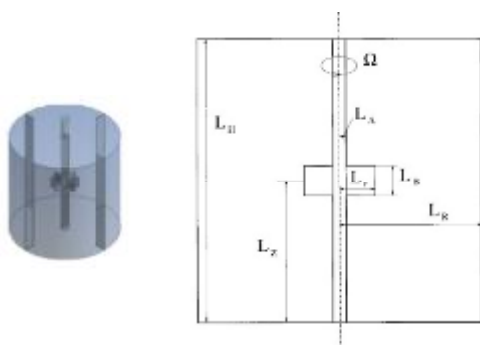
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۳

مقدمه

مخازن همزن‌دار یکی از پرکاربردترین اجزای صنایع غذایی، کشاورزی، شیمیایی، داروسازی و معدنی است (Mingyi *et al.*, 2019). به همین دلیل مطالعه ویژگی‌های جریان سیال در این مخزن‌ها مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است. به عنوان مثال می‌توان به مخلوط‌سازی جامد در مایع، تفرق گازها در مایعات، کریستال‌سازی و مواردی از این قبیل اشاره نمود. فرآیندهای مذکور عموماً به صورت عملیات ناپیوسته در مخازن مجهز به بافل و تحت جریان متلاطم صورت می‌گیرد (Ameur & Bouzit, 2013). به تیغه‌های عمودی نصب شده در دیواره مخزن بافل گفته می‌شود و ویژگی هیدرودینامیکی پدیده‌هایی که در این مخازن به وجود می‌آید به طور مستقیم تحت تأثیر شکل پره، ویژگی‌های مایع، هندسه مخزن و بافل‌های درون آن است (Torre *et al.*, 2007). تحقیقات تجربی گوناگون درباره مشخصات هیدرودینامیکی سیال‌ها در مخازن همزن‌دار با شکل‌های مختلف انجام شده است. امروزه این مطالعات تجربی، به کمک مدل‌سازی عددی پیشرفته بر پایه روش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) نیز انجام می‌شوند (Ammar *et al.*, 1985; Datta & Das, 2011). با توجه به اینکه همزن می‌بایست به گونه‌ای عمل همزنی را انجام دهد که فازها به میزان کافی در حالت مخلوط شده باقی بمانند و عملیات انتقال جرم گونه‌های با ارزش از یک حالت به حالت دیگر انجام شود لذا، شناخت ویژگی‌های مخازن اختلاط، همزن و سایر شرایط هیدرودینامیکی حاکم بر این مخازن به منظور انتقال جرم بیشتر ضروری است (de Lamotte *et al.*, 2017). سرعت همزن، شکل همزن، ارتفاع از کف مخزن، شکل بافل، تعداد بافل و زاویه قرارگیری بافل و بسیاری از ویژگی‌های دیگر مواردی هستند که با بهینه‌سازی آن‌ها می‌توان، شرایط حاکم بر عملکرد مخازن همزن‌دار را بهبود بخشید (Dickey, 2015). فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی که در مخازن همزن‌دار رخ می‌دهد، بسیار پیچیده بوده و با فرآیندهای انتقال به ویژه میدان سرعت در ارتباط هستند. بنابراین شناخت دقیق هیدرودینامیک سیال موجود در این مخازن یعنی بردارهای سرعت، میزان تلاطم، میدان تنش و غیره برای طراحی بهینه این مخازن مفید است (Ghanem *et al.*, 2014). علاوه بر هیدرودینامیک سیال، هندسه مخزن و

همزن نیز از عوامل مهم شناخت و بهینه‌سازی جریان درون مخزن و فرآیند اختلاط هستند. یکی از مهم‌ترین عوامل پیشرفت یک واکنش شیمیایی و انجام بهتر آن پخش یکنواخت مواد شرکت کننده در واکنش‌ها است (Kashid & Kiwi-Minsker, 2009). عملیات همزنی و مخلوط کردن مواد در مخازن همزن‌دار با استفاده از به حرکت درآوردن و آشفته کردن سیال در محیط صورت می‌گیرد (Atiemo-Obeng *et al.*, 2004). این امر باعث اعمال تنش برشی بر سیال شده و گرداب‌ها را به وجود می‌آورد. از آنجایی که سرعت اختلاط در مایعات به صورت طبیعی کند و یا غیرممکن است، مخلوط کردن مایعات به طور معمول، توسط چرخش یک همزن و یا هر وسیله دیگری که خطوط جریان و گرداب‌ها را ایجاد کند صورت می‌پذیرد (Satjaritanun *et al.*, 2016). در تحقیقی، با افزایش بافل‌ها از صفر تا چهار عدد، باعث کاهش زمان اختلاط از ۱۸/۸ به ۱۱/۱ ثانیه شدند. افزایش تعداد بافل‌ها باعث افزایش تلاطم بیشتر در داخل مخزن و به دنبال آن کاهش زمان اختلاط می‌شود. در این پژوهش، زمان اختلاط را در حالتی که مخزن دارای دو بافل، عدد رینولدز ۳۰۰۰ و فاصله از کف یک سوم قطر مخزن بود، ۱۳ ثانیه محاسبه کردند. با افزایش تعداد بافل‌ها در مخزن، به دلیل فضاهای جدید اضافه شده، جریان متلاطم افزایش یافته و به دنبال آن زمان اختلاط کم می‌شود (Lu *et al.*, 1997). در پژوهشی، با هدف اندازه‌گیری انرژی مصرفی و اندازه گرداب آزاد، مخزنی تحت تأثیر زاویه‌های مختلف بافل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج استخراج شده به کمک روش CFD با داده‌های تجربی اعتبارسنجی گردید. اندازه زاویه‌های بافل در پنج زاویه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد در حالت، سرعت و تعداد بافل برابر، کمترین میزان مصرف انرژی و میزان بالاترین تلاطم و آشفته‌گی در زاویه ۷۰ درجه به دست آمده است (Kamla *et al.*, 2017). در تحقیقی دیگر با هدف حفظ میزان بالای تلاطم و بررسی اثر شکل بافل‌ها بر روی میدان جریان، اندازه و شکل بافل بررسی شد. نتایج نشان داد، در حالت بافل مثلثی از پایین، مصرف انرژی ۴۲ درصد حالت بافل مستطیلی و ۹۰ درجه است و در حالت‌های دیگر تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد (Atibeni *et al.*, 2013). در پژوهشی تأثیر طول بافل بر رژیم آشفته جریان مخازن همزن‌دار در سه سامانه بررسی گردید. این سه حالت

ترسیم شد (شکل ۱).



شکل ۱- مشخصات هندسه و شکل نهایی مخزن

شبکه‌بندی هندسه

هندسه ایجاد شده شامل ۲ قسمت پره و سیال است که برای شبکه‌بندی قسمت سیال از یک شبکه ریزتر و لایه مرزی در نزدیکی دیواره و پره بهره گرفته شد تا دقت نتایج افزایش یابد و رفتار جریان با جزئیات دقیقی ثبت شود. برای سیال، ۱۰ لایه شبکه با نرخ رشد ۱/۳ استفاده شد که در شکل ۲ شبکه بندی نهایی با تعداد اجزای سیال ۱۰۴۳۹۳۵ و پره ۲۲۸۹۶۹ قابل مشاهده است. همچنین به منظور بررسی شبکه بهینه و استقلال نتایج از شبکه، شبکه‌های ریزتر و درشت‌تر مورد بررسی و در آخر شبکه بهینه برای هندسه انتخاب گردید.



شکل ۲- مشخصات هندسه و شکل نهایی مخزن

گسسته سازی معادلات حاکم

روش CFD بر اساس روش حجم محدود (Shekhar & Jayanti, 2002) برای گسسته کردن معادلات پیوستگی، تکانه و آشفتگی بهره‌وری می‌گردد که برای جریان داخل مخزن همزن‌دار نوشته شده است. معادله آشفتگی به صورت معادله (۱) نوشته می‌شود. که در این معادله ρ برابر چگالی سیال، $\vec{u}$ نشان دهنده سرعت سیال و t برابر با زمان است. همچنین معادله تکانه در معادله (۲) و (۳)

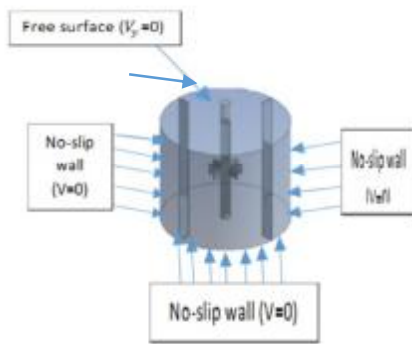
شامل مخزن بدون بافل، بافل نیمه و بافل کامل بود. در این تحقیق به کمک روش CFD میدان‌های جریان مورد بررسی قرار گرفته و با نتایج تجربی اعتبارسنجی گردید. سامانه‌های مورد بررسی از لحاظ متغیرهای مصرف انرژی و میزان تلاطم بررسی گردید. نتایج نشان داد که وجود بافل و اندازه آن، تأثیر به‌سزایی بر انرژی مصرفی و ایجاد جریان‌های متلاطم دارد و سامانه دارای بافل کامل، دارای نقاط بهینه در مصرف انرژی و میزان تلاطم است (Ammar et al., 2011).

با توجه به پیشینه پژوهش می‌توان دریافت که رفتار سیال در مخزن به عوامل زیادی از جمله وجود بافل بستگی دارد. پیشرفت‌های قابل توجه در فرآیند اختلاط و رفتار جریان مخزن‌های همزن‌دار تحت تأثیر متغیرهای هندسی، از جمله تعداد بافل، ضخامت بافل، ضخامت دیسک همزن، عرض بافل، ارتفاع بافل، زاویه عمودی بافل، فاصله بین پروانه و پایین مخزن همزن‌دار و غیره صورت گرفته است. مقایسه مخزن‌های بافل‌دار و بدون بافل جنبه نوآوری در پژوهش حاضر است. در مرحله دوم، روش CFD سه بعدی برای تحلیل عددی هیدرودینامیک سیال در مخزن استفاده می‌شود. نمودار سرعت شعاعی در پژوهشی که مخزن آن مجهز به همزن ۸ پره بود به صورت عددی برای تأیید نتیجه مخزن بدون بافل بررسی شده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات سرعت شعاعی و انرژی جنبشی آشفته و نرخ اتلاف انرژی جنبشی آشفته، ارزیابی و مقایسه بین مخازن بافل‌دار و بدون بافل به کمک CFD انجام خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

هندسه مدل

به منظور بررسی هیدرودینامیک سیال در این پژوهش از یک مخزن استوانه‌ای به ارتفاع $LH=10$ و شعاع $L_R=5$ سانتی‌متر و یک همزن توربینی ۸ پره با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه و مشخصات هندسی به طول $L_r=1/25$ و ارتفاع $LB=1$ سانتی‌متر در میانه مخزن به ارتفاع $L_z=5$ سانتی‌متر استفاده گردید. همچنین از یک محور به شعاع $L_A=0/4$ سانتی‌متر و به ارتفاع مخزن استفاده شد (شکل ۱). سپس به منظور بررسی هیدرودینامیک سیال، یک نوع بافل مستطیلی شکل (Kamala et al., 2017) به ارتفاع مخزن و به عرض ۱ سانتی‌متر در نرم افزار ANSYS 18.2



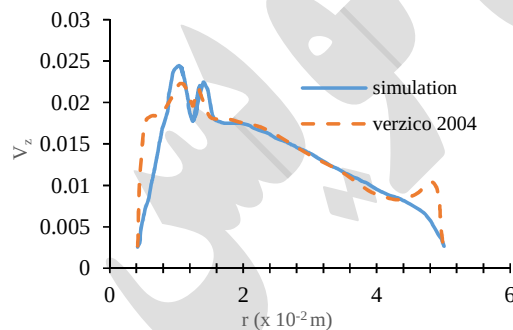
شکل ۳- شرایط مرزی مخزن همزن

تحلیل نتایج

در این بخش به بررسی و تحلیل اثر بافل بر رفتارهای هیدرودینامیکی مخزن همزن‌دار پرداخته شده است.

اعتبار سنجی مدل

نتایج استخراج شده از مدل شبیه سازی شده با نتایج حاصل از پژوهش (Verzicco et al. 2004) مقایسه گردید. در شکل ۴ سرعت شعاعی در راستای محور Z توسط (Verzicco et al. 2004) استخراج گردید و با نتایج به دست آمده در این تحقیق اعتبار سنجی شد. مقایسه نتایج عددی پژوهش حاضر و شبیه سازی (Verzicco et al. 2004) نشان می‌دهد که تطابق خوبی بین نتایج وجود دارد.



شکل ۴- نمودار مقایسه سرعت شعاعی

اثر بافل بر کانتور میانگین سرعت در راستای عمودی

شکل ۵ توزیع میانگین سرعت را در راستای عمودی حاوی پره‌ها نشان می‌دهد. در مخزن بدون بافل مشاهده گردید که یک جریان گریز از مرکز قوی توسط پره‌ها ایجاد شده است. همچنین در این مخزن جریان توسعه‌یافته توسط پره‌ها بسیار ناچیز است و جریان در

آورده شده است. که در این معادله P برابر فشار استاتیکی، τ نشان دهنده تانسور تنش رینولدز، $\rho \vec{g}$ برابر نیروی گرانشی بدنه و F برابر نیروی وارد به حجم دوار سیال است. از ANSYS CFX 18.2 به عنوان یک بسته نرم‌افزاری تجاری CFD برای حل عددی معادلات حاکم استفاده شد. در پژوهش حاضر حوزه محاسباتی شامل دو بخش محور و پره (حجم دامنه دوار) و قسمت سیال (شامل بقیه حجم مخزن همزن) است. معادلات میانگین رینولدز ناویر استوکس (RANS) با مدل آشفتگی k-ε با تقریب حجم محدود گسسته شده و در حوزه محاسباتی حل شد. تمام معادلات حاکم با حجم محدود مرتبه دوم و همچنین معادلات آشفتگی با حجم محدود مرتبه اول گسسته شدند. خطای باقیمانده حل کننده ماتریس جبری برای همه معادلات ۱۰^{-۴} تنظیم شد. مجموع مدت زمان برای شبیه سازی ۱۰ دقیقه و گام زمانی ۰/۲۴ ثانیه در همه اجراها در نظر گرفته شد. کل زمان شبیه سازی برای هر اجرا حدود ۷۲ ساعت بر روی یک رایانه شخصی (پردازنده AMD، مدل Ryzen7 3700 U و فرکانس کاری ۲/۳ گیگاهرتز) بود.

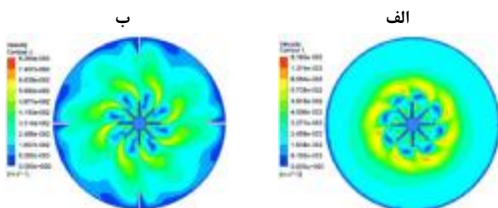
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \text{div}(\rho \vec{u}) \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \vec{u})}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u} \vec{u}) = -\text{div}(P) + \text{div}(\tau) + \rho \vec{g} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho \vec{u})}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u} \vec{u}) = -\text{div}(P) + \text{div}(\tau) + \rho \vec{g} + F \quad (3)$$

شرایط مرزی

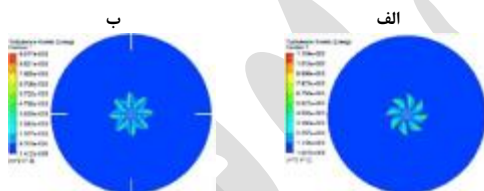
آب با خواص $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$ و $\mu = 0.0008899 \text{ kg/m.s}$ به عنوان سیال استفاده شد. سرعت معمول صفر، $V_y = 0$ ، برای سطح آزاد سیال و شرایط مرزی بدون لغزش، $V_z = 0$ ، در دیواره بیرونی و پایینی مخزن همزن در نظر گرفته شد. شرایط مرزی جسم صلب برای محور و پره تنظیم و سرعت چرخش ۱۰۰ دور در دقیقه برای قطعه چرخشی در نظر گرفته شد. شرایط مرزی تنظیم در حوزه محاسباتی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۶- کانتور میانگین سرعت در راستای محوری الف)
مخزن بدون بافل ب) مخزن بافل‌دار.

اثر بافل بر انرژی جنبشی آشفته

توزیع انرژی جنبشی آشفته در شکل ۷ قابل مشاهده است. انرژی جنبشی آشفته نقش مهمی در زمان اختلاط و متغیرهای آشفته‌گی یک مخزن همزن‌دار دارد (Hoseini *et al.*, 2021). نتایج نشان داد که بیشینه سطح انرژی جنبشی آشفته در نزدیکی پره قرار دارد و با خارج شدن از محدوده توسعه یافته، انرژی جنبشی آشفته به میزان قابل توجهی کاهش داشته است. به علت بالا بودن سرعت سیال در نزدیکی پره‌ها، میزان اغتشاش نیز افزایش می‌یابد. با افزایش انرژی جنبشی آشفته، زمان اختلاط و سایر متغیرهای آشفته‌گی بهبود می‌یابد، اگرچه، مقادیر زیاد انرژی جنبشی متلاطم می‌تواند احتمال آسیب و خرابی پروانه‌های همزن را افزایش دهد. بنابراین، این موضوع باید در طراحی مخزن مورد توجه قرار گیرد.

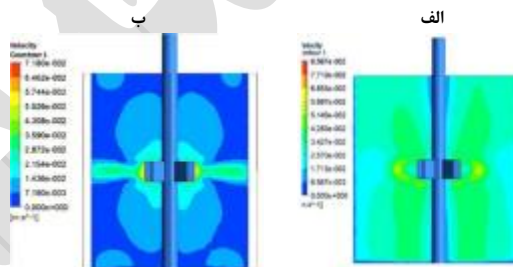


شکل ۷- کانتور انرژی جنبشی آشفته در راستای محوری.
الف) مخزن بدون بافل ب) مخزن بافل‌دار.

اثر بافل بر نرخ اتلاف انرژی جنبشی آشفته

شکل ۸ توزیع نرخ اتلاف انرژی جنبشی آشفته را نشان می‌دهد. نرخ اتلاف انرژی جنبشی آشفته نشان دهنده مقدار انرژی جنبشی آشفته تبدیل شده به گرما در واحد زمان است (Cousteix *et al.*, 2003). در نتایج مشاهده شد که مساحت حداکثر مقادیر در ناحیه توسعه یافته و انتهای پره‌های همزن قرار دارد. این مشاهدات با تبدیل انرژی جنبشی آشفته به گرما از طریق اصطکاک چگال بین پره و سیال قابل توجیه است. با این وجود نرخ اتلاف انرژی جنبشی آشفته در خارج از ناحیه جریان چرخشی

راستای شعاعی به دیواره‌ها نمی‌رسد. وجود بافل در مخزن باعث ایجاد جریان شعاعی تا دیواره‌ها و همچنین ایجاد جریان در راستای عمودی شده است که یکی از مهم‌ترین متغیرهای مخازن همزن‌دار جریان شعاعی است. جریان محوری عمودی موجب ایجاد یک حلقه چرخش سیال و بازگشت به طرف پره‌ها شده است. بنابراین، نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که استفاده از بافل در ارتفاع مخزن، جریان‌های محوری را در دو طرف پره افزایش می‌دهد و علاوه بر این، گردش سیال را در کل حجم مخزن افزایش می‌دهد. (Kamla *et al.*, 2017). در پژوهشی تأثیر بافل در مخازن بدون بافل و دارای بافل ۹۰ درجه را بررسی کردند و به نتایج مشابهی با پژوهش حاضر دست یافتند و نشان دادند که بافل موجب ایجاد جریان محوری در دو جهت می‌گردد.



شکل ۸- میانگین سرعت در راستای عمودی الف) مخزن بدون بافل و ب) مخزن با بافل ۹۰ درجه

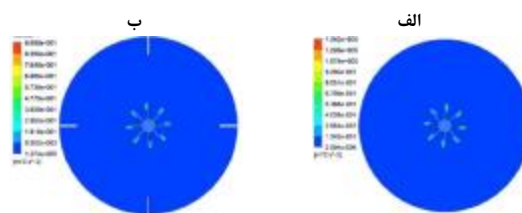
اثر بافل بر کانتور سرعت در راستای افقی

شکل ۹ توزیع میانگین سرعت در راستای افقی را نشان می‌دهد. در هر دو مخزن مشاهده می‌شود که اثر سرعت میانگین در راستای افقی در میدان سرعتی که توسط پره‌ها ایجاد شده است گسترش می‌یابد؛ اما وجود بافل باعث کاهش سرعت میانگین شده است. همچنین در خارج از منطقه‌ای که پره‌ها باعث چرخش سیال شده بودند، سرعت متوسط سیال کاهش یافته و در نزدیکی دیواره به صفر رسیده است. به‌ویژه در مخزن بافل‌دار، می‌توان نتیجه گرفت که میدان سرعت کم نزدیک دیواره‌های جانبی و اطراف بافل‌ها بود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که وجود بافل در دیواره جانبی مخزن باعث کاهش میانگین سرعت در مجاورت دیواره جانبی می‌شود. (Ammar *et al.*, 2011) سه مخزن بدون بافل، بافل تا نیمه مخزن در راستای عمودی و بافل کامل را بررسی کردند و به نتایج مشابهی رسیدند.

منابع

- Ameur, H., & Bouzit, M. (2013). Power consumption for stirring shear thinning fluids by two-blade impeller. *Energy*, 50: 326-332.
- Ammar, M., Driss, Z., Chtourou, W., & Abid, M. S. (2011). Effects of baffle length on turbulent flows generated in stirred vessels. *Central European Journal of Engineering*, 1, 401-412.
- Atibeni, R., Gao, Z., & Bao, Y. (2013). Effect of baffles on fluid flow field in stirred tank with floating particles by using PIV. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 91(3): 570-578.
- Atiemo-Obeng, V. A., Penney, W. R., & Armenante, P. (2003). Solid-liquid mixing. *Handbook of industrial mixing: Science and practice*, 543-584.
- Cousteix, J. (2003). Aircraft Aerodynamic Boundary Layers. In R. A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Physical Science and Technology* (3rd ed., pp. 301-317).
- Datta, N., & Das, S. K. (1985). Axially symmetrical jet mixing of an incompressible dusty fluid. *Acta mechanica*, 55: 111-122.
- de Lamotte, A., Delafosse, A., Calvo, S., Delvigne, F., & Toye, D. (2017). Investigating the effects of hydrodynamics and mixing on mass transfer through the free-surface in stirred tank bioreactors. *Chemical Engineering Science*, 172: 125-142.
- Dickey, D. S. (2015). Fluid Mixing Equipment Design. *Pharmaceutical Blending and Mixing*, 311-344.
- Ghanem, A., Lemenand, T., Della Valle, D., & Peerhossaini, H. (2014). Static mixers: Mechanisms, applications, and characterization methods-A review. *Chemical engineering research and design*, 92(2): 205-228.
- Hoseini, S. S., Najafi, G., Ghobadian, B., & Akbarzadeh, A. H. (2021). Impeller shape-optimization of stirred-tank reactor: CFD and fluid structure interaction analyses. *Chemical Engineering Journal*, 413: 127497.
- Kamla, Y., Bouzit, M., Ameur, H., Arab, M. I., & Hadjeb, A. (2017). Effect of the inclination of baffles on the power consumption and fluid flows in a vessel stirred by a Rushton turbine. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 30(4): 1008-1016.
- Kashid, M. N., & Kiwi-Minsker, L. (2009). Microstructured reactors for multiphase reactions: state of the art. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(14): 6465-6485.

ایجاد شده توسط پره‌ها بسیار کم است. بنابراین نتایج نشان داد که بافل تأثیری بر نرخ اتلاف انرژی جنبشی آشفته ندارد.



شکل ۸ - توزیع نرخ اتلاف انرژی جنبشی آشفته. الف) مخزن بدون بافل ب) مخزن بافل دار

نتیجه‌گیری

یک سیستم اختلاط مجهز به همزن ۸ پره‌ای و سیال آب به صورت عددی در پژوهش حاضر بررسی شد. اعتبار نتایج در این مطالعه، با نتایج پژوهش محققان اعتبار سنجی گردید و میزان خطا ۱۰ درصد و کمتر به دست آمد. بنابراین روش پیشنهادی معتبر بوده و قابل قبول است. هندسه مخزن با توجه به نتایج در پیشینه پژوهش اصلاح و ۴ عدد بافل مستطیلی با زاویه ۹۰ درجه نسبت به مخزن به دیواره درونی اضافه گردید و هیدرودینامیک سیال با حالت مخزن بدون بافل مقایسه شد. نتایج مقایسه حالت بافل دار و مخزن ساده به صورت زیر است:

- توزیع میانگین سرعت در راستای عمودی نشان داد که جریان شعاعی تا دیواره می‌رسد و موجب افزایش آشفتگی می‌گردد که مطلوب است.
- انرژی جنبشی آشفته در نزدیکی همزن مکانیکی قرار دارد و به دلیل اصطکاک بین سیال و همزن است که با دور شدن از ناحیه توسعه یافته به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد.
- نرخ اتلاف انرژی جنبشی آشفته در مخزن بافل دار کاهش یافت، اما به دلیل کم بودن مساحت سطح انرژی جنبشی آشفته این میزان کاهش اثر معنی‌داری نداشت.
- با افزودن بافل به مخزن، سرعت در نزدیکی پره‌های همزن افزایش یافت و موجب بالا رفتن آشفتگی در مخزن گردید.

- Lu, W. M., Wu, H. Z., & Ju, M. Y. (1997). Effects of baffle design on the liquid mixing in an aerated stirred tank with standard Rushton turbine impellers. *Chemical Engineering Science*, 52(21-22): 3843-3851.
- Mingyi, Y., Belwal, T., Devkota, H. P., Li, L., & Luo, Z. (2019). Trends of utilizing mushroom polysaccharides (MPs) as potent nutraceutical components in food and medicine: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 92: 94-110.
- Satjaritanun, P., Khunatorn, Y., Vorayos, N., Shimpalee, S., & Bringley, E. (2016). Numerical analysis of the mixing characteristic for napier grass in the continuous stirring tank reactor for biogas production. *Biomass and Bioenergy*, 86: 53-64.
- Shekhar, S. M., & Jayanti, S. (2002). CFD study of power and mixing time for paddle mixing in unbaffled vessels. *Chemical Engineering Research and Design*, 80(5): 482-498.
- Torré, J. P., Fletcher, D. F., Lasuye, T., & Xuereb, C. (2007). An experimental and computational study of the vortex shape in a partially baffled agitated vessel. *Chemical Engineering Science*, 62(7): 1915-1926.
- Verzicco, R., Fatica, M., Iaccarino, G., & Orlandi, P. (2004). Flow in an impeller-stirred tank using an immersed-boundary method. *AIChE journal*, 50(6): 1109-1118.

Research paper

Effects of vertical baffle on the hydrodynamic behavior of stirred tanks

Sh. Gholami¹, S. Minaei^{2*} and A. Mahdavian³

Abstract

Stirred tanks have a wide range of uses in food, chemical, and mineral industries. As a result, accurate knowledge of the hydrodynamic behavior of the fluid in these tanks is essential. One of the issues that arises in stirred tanks when working at high speeds is the vortex inside the tank, which inhibits appropriate mixing. In the current numerical study, the flow field and vortex phenomena were evaluated by attaching vertical baffles to the inner wall of the tank. Computational Fluid Dynamics (CFD) was employed to explore the influence of wall baffles on variations in radial velocity and turbulent kinetic energy. Based on the numerical results, it was discovered that adding baffles to the tank wall enables the radial flow to be extended, providing better mixing inside the stirred tank. Moreover, adding the baffles improves vertical flow, enhancing the agitation inside the tank. According to the results, the turbulent kinetic energy for tanks with and without baffles is $0.00957 \text{ m}^2/\text{s}^3$ and $0.0112 \text{ m}^2/\text{s}^3$, respectively, while the energy dissipation rates were $0.955 \text{ m}^2/\text{s}^3$ and $0.805 \text{ m}^2/\text{s}^3$, respectively. By increasing the speed in the vicinity of the blade, the amount of turbulence increases, which provides the necessary energy to mix the raw materials as much as possible and also prevents the rotational movement of the fluid, which reduces the mixing quality.

Keywords: Tank, Stirrer, CFD, Baffle, Kinetic energy.

Citation: Gholami Sh. Minaei S. and Mahdavian A. 2023. Effects of vertical baffle on the hydrodynamic behavior of stirred tanks. Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery. 29: ??-??. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2023.14113.630>

1- M.Sc., Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University (TMU), Tehran, Iran.

2- Professor, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University (TMU), Tehran, Iran.

3- Assistant Professor, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University (TMU), Tehran, Iran.

*Corresponding Author: minaee@modares.ac.ir

Received: 2022/11/01

Accepted: 2023/03/03

<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2023.14113.630>