

بررسی اثر مدل اغتشاش بر هیدرولیک سینی غربالی

نورالله کثیری^{۱*}، محمد ذات خواهی^۲، محمد حسن خان اف^۳، جواد ایوک پور^۴

| اطلاعات مقاله | چکیده |
|--|--|
| دریافت مقاله: اسفند ۱۳۹۱ پذیرش مقاله: | |
| واژگان کلیدی: CFD، دینامیک سیالات محاسباتی، سینی غربالی، برج تقطیر، مدل های اغتشاش، مدل RNG | برج تقطیر یکی از قدیمی ترین و مهمترین تجهیزات جداسازی است که هنوز هم برای بالا بردن عملکرد آن طراحی ها و تغییرات متنوعی در تجهیزات درونی آن صورت می گیرد. در این پژوهش به کمک دینامیک سیالات محاسباتی، هیدرولیک سینی غربالی در ابعاد آزمایشگاهی (سوراخ های ۵ mm و سطح مقطع ۲۲ cm × ۳۹ cm و ارتفاع بند ۱۲ cm) به صورت دو فازی و سه بعدی و در چارچوب اویلرین- اویلرین با استفاده از نرم افزار FLUENT 6.3 شبیه سازی شده است. نتایج این شبیه سازی با استفاده از داده های تجربی کریشنا و همکارانش (۱۹۹۹) صحت سنجی شده است. سپس با استفاده از مدل های اغتشاش RSM و $k - \epsilon$ در سه حالت Realizable، Standard و RNG نتایج هیدرولیک با یکدیگر مقایسه شده اند و مشاهده شده است که مدل RNG ارتفاع زلال مایع برابر ۴/۷ سانتی متر پیش بینی کرده است که نسبت به سایر مدل ها به نتایج تجربی که برابر ۴/۶ سانتی متر بوده است نزدیک تر است. |

۱- مقدمه

صنعت گران به آن ها در طول سالیان شده است. در سال های اخیر با پیشرفت کامپیوترها پژوهش های علمی و صنعتی قابل توجهی برای شبیه سازی دو فازی در تجهیزات فرایندی به وسیله دینامیک سیالات محاسباتی صورت گرفته است.

استفاده از دیدگاه اویلرین-اویلرین در شبیه سازی مایع-گاز بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. در سال های اخیر برای شبیه سازی هیدرودینامیک سینی با استفاده از دینامیک سیال محاسباتی چندین مورد صورت گرفته است. فیشر و همکارانش مدل دو فازی و دو بعدی جریان روی سینی را استفاده نموده اند. آن ها بیشتر تمرکز خود را بر هیدرودینامیک مسیر جریان مایع معطوف کردند و از حرکت در جهت جریان گاز به سمت بالا صرف نظر نمودند. فیشر و همکارانش شبیه سازی سه بعدی جهت

تقطیر یکی از مهمترین فرایندهای جداسازی است. اگرچه هزینه انرژی آن زیاد است به این دلیل که در مقیاس های بزرگ امکان جداسازی را فراهم می کند هنوز هم یکی از اولویتهای اول در فرایند جداسازی است. اجزای داخلی برج تقطیر از اجزای پرهزینه سیستم های فرایندی محسوب می شوند. ارتباط مستقیم این تجهیزات در خلوص و مقدار محصول تولیدی واحدهای پالایشگاهی و پتروشیمی، سبب توجه بسیار زیاد پژوهشگران و

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: capepub@cape.iust.ac.ir

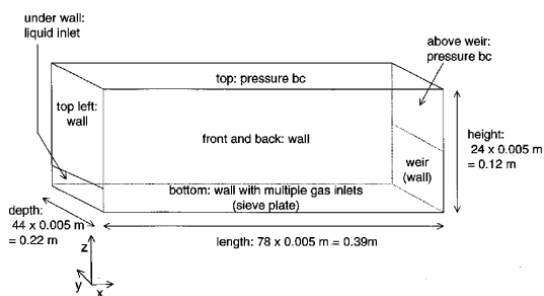
۱. دانشیار، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت
۲. مهندس، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت
۳. مهندس، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت
۴. استادیار، پژوهشگاه صنعت نفت

مجموع مساحت‌های سوراخ‌های سینی واقعی در آزمایش (که به صورت دایره‌ای بوده است) در نظر گرفته شده است؛ چرا که شکل سوراخ‌ها در روش اولیرین - اولیرین تاثیری در نتایج محاسبات ندارد و در روش حجم سیال شکل سوراخ روی محاسبات تاثیر می‌گذارد [۶]. در سال ۲۰۰۳ جسیت و همکارانش در پژوهشی [۷] سینی غربالی در مقیاس صنعتی را شبیه سازی نمودند. در این شبیه سازی نیز که با استفاده از نرم‌افزار CFX 5.4 صورت گرفته است، مدل سه بعدی و دو فازی در چارچوب اولیرین - اولیرین با استفاده از انتقال مومنتوم بین فازی در مرجع [۳] مورد استفاده قرار گرفته است. در نهایت توزیع سرعت، ارتفاع زلال مایع و ارتفاع سرکف پیش بینی شده و با نتایج تجربی سولاری و بل [۸] اعتبارسنجی شده است و در پایان این نتیجه حاصل شده است که دینامیک سیالات محاسباتی می‌تواند به عنوان یک ابزار برای طراحی و پیش بینی در سینی‌های صنعتی مورد استفاده قرار بگیرد. در سال ۲۰۰۵ رحیمی و همکارانش [۹] سینی غربالی در مقیاس صنعتی را با استفاده از مدل دوفازی و سه بعدی در چارچوب اولیرین - اولیرین شبیه سازی نمودند. در این شبیه سازی معادلات انرژی و انتقال جرم در نظر گرفته شده است. برای انتقال مومنتوم بین دو فازی از رابطه‌ی کریشنا [۳] استفاده شده و ویسکوزیته اغتشاش توسط مدل اغتشاش $k - \epsilon$ به سرعت‌های متوسط ارتباط پیدا کرده است. و از تئوری نفوذ هیگبی^۳ نیز برای توصیف انتقال جرم بین گاز و مایع استفاده شده است. نتایج حاصل از شبیه سازی با نتایج تجربی توافق خوبی داشته است و این نتایج نشان داده است که دینامیک سیالات محاسباتی می‌تواند به عنوان یک ابزار قوی در طراحی و آنالیز و محاسبه بازده‌ای سینی به عنوان یک روش جدید جایگزین روش‌های قدیمی مورد استفاده قرار گیرد. در سال ۲۰۱۰ تلکن و همکارانش [۱۰] با

توصیف هیدرودینامیک مایع گاز در حالت دینامیک را نیز انجام داده‌اند. مهمترین فرض اصلی در این شبیه سازی در نظر گرفتن ضریب پسا^۱ ثابت و برابر ۰/۴۴ در انتقال مومنتوم بین دو فازی است. که این ضریب پسا برای توصیف هیدرودینامیک سینی که در گستره پاششی^۲ یا کف کار می‌کند مناسب نیست [۱]. شبیه سازی دو بعدی دیگری نیز توسط لی و همکارانش [۲] در سال ۱۹۹۹ ارائه شده است. در این شبیه سازی که با هدف ارزیابی توزیع سرعت مایع روی سینی غربالی انجام شده است، مدل دو معادله‌ای ارائه شده است که تاثیر گاز به صورت دو عبارت مقاومت و صعود حبابی (Bubbling effect) در معادلات مومنتوم مایع در نظر گرفته شده است. و در آخر مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی با نتایج تجربی قابل قبول بوده است. کریشنا و همکارانش [۳] شبیه سازی سه بعدی و دو فازی با استفاده از دیدگاه اولیرین - اولیرین در حالت دینامیکی به منظور توصیف هیدرودینامیک یک سینی مربعی انجام دادند. در این شبیه سازی از رابطه کریشنا [۴] برای محاسبه ضریب انتقال مومنتوم بین فازی برای صعود تعداد زیادی حباب بزرگ گاز استفاده شده است. همچنین در این محاسبات از رابطه بنت [۵] جهت تخمین ماندگی استفاده شده است. نتایج حاصل از این شبیه سازی که با استفاده از نرم افزار CFX 4.2 صورت گرفته، با نتایج آزمایشگاهی منتشر شده توسط نویسنده اعتبارسنجی شده است. در پایان این پژوهش ارتفاع زلال مایع و ماندگی در ارتفاعات مختلف سینی گزارش شده است. در پژوهش دیگری [۶] شبیه سازی سینی برج تقطیر به طور مشابه صورت گرفته است. با این تفاوت که سینی شبیه سازی شده دایره‌ای بوده و سوراخ‌های سینی مربعی در نظر گرفته شده‌اند، به طوری که مجموع مساحت‌های سوراخ‌های سینی برابر

¹ Drag² Spray regime³ Higbie penetration theory

کل مش ۴۱۱۸۴ سلول محاسباتی است. که البته در برخی از شبیه‌سازی‌ها در انتهای کار نزدیک دیوارها و شرایط مرزی ریزتر شده و تا حدود ۷۰ هزار سلول نیز افزایش پیدا کرده است. همان طور که در شکل ۱ مشخص است در این سیستم گاز از پایین از سواخ‌های سینی وارد می‌شود و از صفحه بالایی خارج می‌شود. مایع نیز که در ناودان جمع شده است از صفحه‌ای به ارتفاع ۰/۱۵ متر و عرض ۰/۲۲ متر وارد سینی می‌شود و از بالای بند ثابت از سمت راست تصویر نشان داده شده خارج می‌شود.



شکل ۱ - مشخصات فضای محاسباتی مورد استفاده در شبیه سازی‌های سینی غربالی [۳]

در کلیه‌ی شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، شرایط مرزی ورودی مایع و گاز به صورت سرعت ثابت در نظر گرفته‌اند. همچنین خروجی مایع از روی بند و خروجی گاز از بالا به صورت فشار استاتیک ثابت و برابر یک اتمسفر در نظر گرفته شده است. از آن جایی که از پایین سینی فقط گاز وارد می‌شود، کسر گاز ورودی برابر ۱ و در ورودی مایع نیز کسر مایع ورودی برابر ۱ در نظر گرفته شده است. شرایط مرزی روی دیوارها با شرط عدم لغزش در نظر گرفته شده است که سرعت ثابت و برابر صفر روی دیوار برای هر دو فاز در نظر می‌گیرد. برای شرایط مرزی اغتشاش نیز در کنار دیواره از گزینه Standard Wall Functions در نرم‌افزار فلونت استفاده شده است که با استفاده از این تابع کنار دیوارها باید y^+ بین ۳۰ و ۳۰۰ باشد.

با توجه به این که مقدار k و ϵ در شرایط مرزی در

استفاده از مدل دوفازی و سه بعدی در چارچوب اویلرین - اویلرین سینی غربالی همراه لوله‌های گرم‌کننده الکتریکی روی سینی را شبیه‌سازی نمودند. در این شبیه سازی اثر مقاومت‌های حرارتی بر الگوی جریان بررسی شد و نشان داده شد که این سیستم حرارتی توزیع یکنواخت - تری از کسر گاز روی سینی ایجاد می‌کند و در نتیجه بازده‌ای بهتری خواهد داشت. با توجه به این که در بیشتر پژوهش‌های منتشر شده مدل اغتشاش $k - \epsilon$ مورد استفاده قرار گرفته است، نیاز برای مقایسه مدل‌های اغتشاش دیگر و انتخاب مدل دقیق‌تر وجود دارد، که در این پژوهش به این مهم پرداخته شده است.

۲- مدل دینامیک سیالات محاسباتی

در چارچوب اویلرین - اویلرین معادلات اصلی یک معادله پیوستگی برای هر فاز، سه معادله مومنتوم در سه بعد برای هر فاز و معادلات اغتشاش (براساس نوع نوع مدل انتخاب شده) است. در مدل اویلرین برخلاف مدل مخلوط معادلات پیوستگی و مومنتوم برای هر فاز به صورت مجزا حل می‌شود. در این مدل سازی که مشابه شبیه سازی در مرجع [۳] صورت گرفته، از این معادلات استفاده شده است.

۳- شکل هندسی و شرایط مرزی حاکم

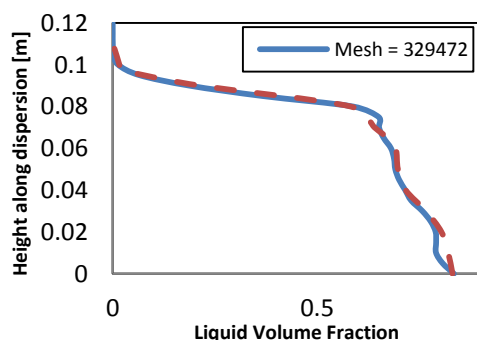
سینی غربالی با ابعاد ۰/۳۹ m در ۰/۲۲ m به شکل مستطیل و سوراخ‌های مربعی به ضلع ۵ میلی متر است. ارتفاع بند همواره ثابت و برابر ۰/۰۸ متر در نظر گرفته شده است، و با توجه به شرایط شبیه‌سازی برای دامنه محاسباتی تا ارتفاع بیشتر از ۰/۱۲ متر لازم نبوده است.

بنا به تقارنی که در سینی وجود دارد، فقط نصف سینی شبیه سازی شده است. کل مش ایجاد شده به صورت مربعی و به اندازه ۵ میلی متر است روی هر ضلع سلول است و با توجه به این که ارتفاع نیز ۱۲ سانتی متر است،

های صورت گرفته ۷ الی ۱۰ ثانیه واقعی زمان برای پایا شدن هیدرودینامیک سینی لازم بوده است. معیار پایا شدن در سینی برج تقطیر ثابت شدن میزان کل مایع در دامنه محاسباتی است. هر یک از شبیه سازی‌ها با مش حدود ۷۰ هزار نقطه روی یک سیستم Intel Core i7 @ ۳/۰۷ GHz تقریباً دو الی سه هفته به طول انجامیده است.

۵- استقلال از مش

سینی بیان شده با مش ۸ برابر (یعنی در هر بعد ضلع‌ها نصف شده‌اند) به صورت مربعی در کل دامنه و برابر ۳۲۹۴۷۲ سلول نیز شبیه سازی شده است. ارتفاع زلال مایع در این حالت برابر با ۶/۱۵۰۵ سانتی متر محاسبه شده است، در حالی که در شبیه‌سازی‌های انجام شده با مش ۵۳۱۹۶ سلول ارتفاع زلال مایع ۶/۱۴۹۷۸ سانتی متر بوده است و تفاوت چندانی مشاهده نمی‌شود. نمودار توزیع کسر مایع در دو حالت در شکل زیر نشان داده شده است که نشان می‌دهد که مش ریز در دقت محاسبات تاثیر چندانی ندارد.



شکل ۲- توزیع کسر مایع روی سینی در دو حالت با مش ۳۲۹۴۷۲ سلول و ۵۳۱۹۶ سلول

۶- صحت سنجی نتایج

شکل ۳ میزان کل مایع روی سینی را در حالت دینامیک پس از گذشت حدود ۳ ثانیه از ورود گاز با سرعت ظاهری

دسترس نیست، می‌توان مقدار شدت آشفتگی^۱ را تخمین زد و با استفاده از آن مقادیر k و ε را تنظیم نمود [۱۱]. برای لوله در حالت توسعه یافته شدت اغتشاش را می‌توان از رابطه‌ی زیر محاسبه نمود:

$$I = 0.16 Re_{dh}^{-\frac{1}{8}} \quad (۱)$$

$$k = \frac{3}{2} (u_{avg} I)^2 \quad (۲)$$

$$\varepsilon = C_{\mu}^{\frac{3}{4}} \frac{k^{\frac{3}{2}}}{l} \quad (۳)$$

به طوری که C_{μ} یک ثابت تجربی بوده و در مدل‌های اغتشاش حدود ۰/۰۹ است. و l هم مقیاس طول اغتشاش است.

۴- شبیه سازی

برای شرایط اولیه در این شبیه‌سازی ابتدا کل فضای محاسباتی تا ارتفاع بند با مایع خالص پر شده است. سپس با در نظر گرفتن عدم ورود و خروج گاز و تنها خروج مایع از بالای بند شبیه سازی صورت گرفته تا به حالت پایا برسد. سپس گاز از سوراخ‌های پایین با سرعت کم وارد سینی می‌شود و طی گام‌های مختلف سرعت گاز به سرعت تعیین شده ۰/۵ m/s و ۰/۷ m/s می‌رسد. با ورود گاز با سرعت بالا به صورت دفعی در ابتدای شبیه سازی (بدون تغییر پله‌ای آن) باعث واگرایی جواب‌ها می‌شود. همچنین در کلیه شبیه‌سازی‌ها ضرایب زیر تخفیف^۲ برای کلیه معادلات (فشار، دانسیته، مومنتوم و ...) از ۰/۵ تجاوز نکرده است. در صورت استفاده از ضرایب بالاتر واگرایی در پاسخ‌ها مشاهده شده است.

همچنین در کلیه شبیه‌سازی‌ها نیروی جاذبه نیز در نظر گرفته شده است.

کلیه شبیه سازی‌ها در حالت دینامیک برای رسیدن به حالت پایا صورت گرفته است و بزرگترین گام زمانی از ۱ میلی ثانیه تجاوز نکرده است. و عموماً در شبیه سازی

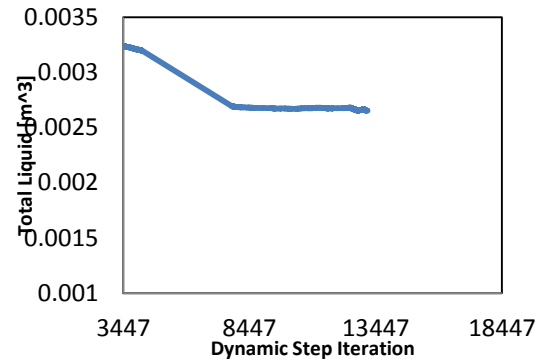
^۱ Turbulent Intensity

^۲ Under-relaxation factor

سرعت، میزان مایع در قسمت پایین سینی (کمتر از ارتفاع زلال مایع) بیشتر است و در قسمت بالای سرکف میزان مایع کمتری محاسبه شده است. دلیل این اختلاف این است که در مدل کریشنا [۳] فقط مایع دارای مدل اغتشاش است و برای فاز گاز مدل اغتشاش در نظر گرفته نشده است (صرف نظر شده است). در حالی که در این پژوهش مدل اغتشاش برای مخلوط در نظر گرفته شده است. در نظر گرفتن معادله اغتشاش برای مخلوط باعث شده است که میزان کل مایع تقریباً یکسان باشد ولی میزان مایع بیشتری روی سینی در ارتفاع کمتر از بند جمع شده و مقدار کمتری توسط گاز به سمت بالا پراکنده شود. دلیل این مسئله را می توان این طور بیان کرد که با در نظر گرفتن اغتشاش گاز ضریب پसार کمتر می شود. زیرا در مقایسه جریان های مغشوش و آرام می دانیم که با افزایش اغتشاش نقطه جدایش جریان روی کره کم می شود و پसार در جریان های آرام بیشتر است. کم شدن ضریب پसार یعنی میزان کمتری از مایع به سمت بالا حمل می شود. از این رو میزان مایع بیشتری در زیر ارتفاع بند جمع خواهد شد و در قسمت بالای سرکف نیز مایع کمتری نفوذ می کند.

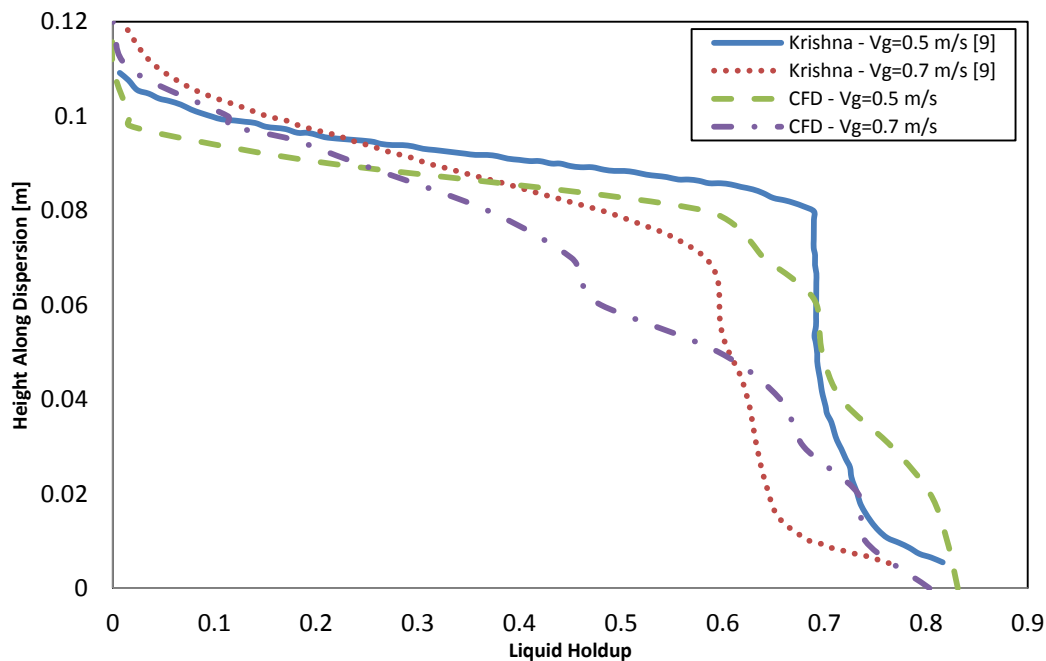
۰/۵ m/s نشان می دهد. هر گام دینامیک حدود ۱ میلی ثانیه است.

مقدار ارتفاع زلال مایع نیز توسط کریشنا [۳] هم به صورت داده تجربی و هم با شبیه سازی CFD گزارش شده است. معادله تجربی بنت نیز [۵] برای تخمین ارتفاع زلال مایع در سینی غربالی جهت مقایسه نتایج گزارش شده که در ۰ قابل مشاهده است.



شکل ۳- میزان کل مایع روی سینی در حالت دینامیک پس از حدود ۳ ثانیه از ورود گاز به سینی

در شکل ۴ نشان داده شده است که نتایج شبیه سازی این پژوهش تقریباً با نتایج شبیه سازی های کریشنا منطبق است و یک روال را نشان می دهد. اما همان طور که از مقایسه دو نمودار هم سرعت مشخص است در هر دو



شکل ۴- توزیع کسر مایع روی سینی غربالی در سرعت های ظاهری ۰/۵ و ۰/۷ m/s گاز

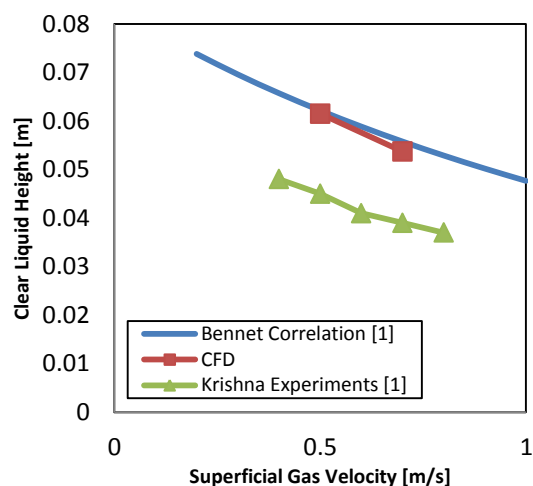
وسیله اصلاحات انجام شده در عبارت های آن، در بین این سه مدل بیشترین مقدار را پیش بینی می کند. همان طور که شکل های اتلاف در شکل ۶ نشان می دهند، مدل RNG نرخ اتلاف انرژی جنبشی در کل دامنه محاسباتی را بیشتر پیش بینی کرده است. در حالی که مدل Standard و Realizable فقط در کناره های دیوارها اتلاف بیشتری محاسبه کرده اند. همین امر باعث شده است که در نهایت توزیع کسر مایع و ارتفاع زلال مایع دقیق تری نسبت به دیگر معادلات داشته باشد. چرا که طبق معادله زیر افزایش اتلاف نشان گر کاهش ویسکوزیته اغتشاش است:

$$\mu_{t,m} = \rho_m C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (5)$$

در نتیجه، با کاهش ویسکوزیته اغتشاش نوسانات کمتری در سطح بین دو فاز پیش بینی می شود و میزان بالا رفتن مایع توسط گاز کمتر می شود و در نتیجه ارتفاع زلال مایع کمتری پیش بینی می شود.

یکی دیگر از نتایج مشاهده شده از مقایسه این مدل ها این است که فقط در مدل RNG شکل های توزیع سرعت مایع و کسر مایع در بالای ارتفاع سر کف (تقریباً بیشتر از ۹ سانتی متر) دقیق تر (تقریباً صفر) حاصل شده است. با توجه به این که در این ناحیه مایعی وجود ندارد و از لحاظ محاسباتی باید صفر محاسبه شود، اما عوامل مختلف مانند خطای عددی و دقت محاسباتی باعث می شود که کسر فاز مایع در این قسمت با دقت حدود ۰/۰۰۰۱ باشد در حالی که در روش RNG دقت تقریباً تا 10^{-10} محاسبه می شود شکل ۸ بردار سرعت مایع را نشان می دهد که اندازه بردارها میزان سرعت مایع و رنگ آن ها کسر مایع را نشان می دهد.

با توجه به نتایج تجربی شکل ۵ که ارتفاع زلال مایع کمتر از شبیه سازی های انجام شده است، به نظر می رسد که در این شبیه سازی با در نظر گرفتن اغتشاش مخلوط و کاهش ارتفاع زلال مایع نتایج دقیق تری حاصل شده است.



شکل ۴- ارتفاع زلال مایع بر حسب تغییرات سرعت ظاهری گاز

۷- بحث و نتایج

مدل های اغتشاش $k - \epsilon$ در حالت های Standard, Realizable و RNG و هم چنین مدل RSM شبیه سازی شده اند و نتایج آن ها بررسی می شود.

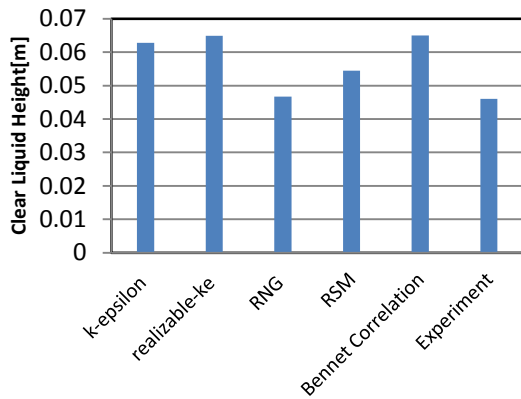
در مدل RNG عبارت های بیشتری برای معادله ϵ (نرخ اتلاف) در معادلات اغتشاش در نظر گرفته شده است و تاثیر چرخش بر اغتشاش نیز در نظر گرفته شده است. ϵ نرخ اتلاف انرژی جنبشی اغتشاش به واسطه تنش های ویسکوزیته در واحد جرم است:

$$\epsilon \equiv 2\nu \langle S_{ij} S_{ij} \rangle \quad (6)$$

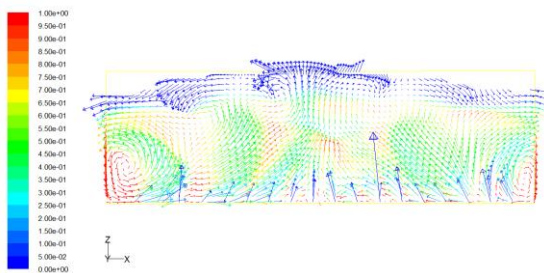
عموما مقدار نرخ اتلاف در نزدیک های دیوار مقدار محسوسی است. در جریان های دو فازی برخورد دو فاز نیز در این مقدار تاثیر دارد.

به گفته بوت [۱۲] مدل استاندارد در پیش بینی مقدار اتلاف تخمین دست پایینی دارد. در حالی که RNG به

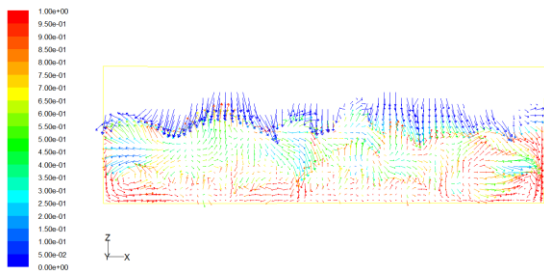
می‌دهد که مدل RNG در الگوی جریان اسپری روی سینی غربالی جواب های مناسب تری بدست می دهد.



شکل ۶ - مقایسه ارتفاع زلال مایع محاسبه شده با استفاده از مدل های اغتشاش مختلف



(الف) بردار سرعت مایع در صفحه تقارن با استفاده از مدل $k - \epsilon$ استاندارد

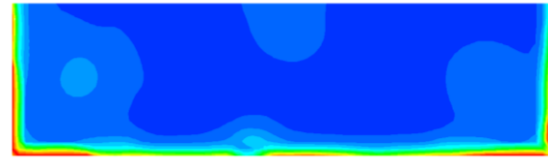


(ب) بردار سرعت مایع در صفحه تقارن با استفاده از مدل RNG $k - \epsilon$

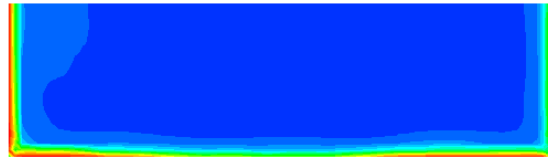
شکل ۷ - مقایسه بردارهای سرعت در مدل Standard k-ε و RNG

۸ - نتیجه گیری

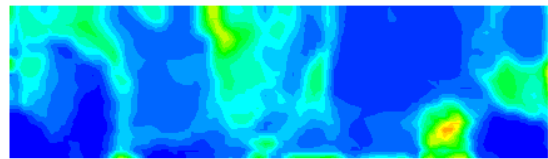
با استفاده از مدل اوپلرین - اوپلرین هیدرولیک سینی غربالی در حالت دو فاز و سه بعدی با در نظر گرفتن



(الف) مدل $k - \epsilon$ استاندارد



(ب) مدل Realizable $k - \epsilon$



(ج) مدل RNG $k - \epsilon$

شکل ۵ - شکل نرخ اتلاف (ϵ) از نمای بالا در ارتفاع ۸ سانتی متر با استفاده از ۳ مدل اغتشاش، رنگ آبی نشانه مقدار ۰ و رنگ قرمز مقدار ۴ است.

همان طور که ملاحظه می شود، در نمودار RNG در قسمت بالا کسر مایع تقریباً صفر محاسبه شده است. که این، دقت بیشتر RNG در محاسبه سرعت را نشان می دهد.

هم چنین شکل ۹ توزیع کسر مایع روی سینی را نشان می دهد که در مدل RNG در ارتفاع ۹/۵ سانتی متر مقدار مایع به $1.32e-5$ می رسد و در ارتفاع ۱۱/۵ سانتی متر کسر مایع $5.37e-10$ می شود.

با توجه به نتایج حاصل شده مشخص است که مدل RNG نسبت به سایر مدل ها جواب های دقیق تری در ارتفاع زلال مایع، توزیع سرعت و نرخ اتلاف در اغتشاش بدست می دهد. شبیه سازی های انجام شده در پژوهش مشابهی روی ستون حباب [۱۲] نشان می دهد که بین ۳ مدل RNG، Standard و Realizable فقط مدل RNG توانسته است الگوی جریان گردابه ای صعود حباب هوا به سمت بالا را پیش بینی نماید و دو مدل دیگر نتایج مناسبی را ارائه نداده اند. این شبیه سازی نیز نشان

داشته باشد که نیاز به بررسی بیشتری دارد. با توجه به این پژوهش پیشنهاد می شود در راستای تکمیل این پژوهش کارهای زیر می تواند صورت گیرد:

- بررسی اثر ترم های مختص چرخش در مدل RNG
- بررسی و مقایسه مدل های اغتشاش به طوری که معادلات در هر فاز جداگانه (Per-Phase) نوشته می شوند در مقابل مدل های مخلوط
- بررسی و مقایسه مدل های اغتشاش $k - \omega$ و LES
- شبیه سازی مدل RSM در مش های ریزتر

مدل اغتشاش $k - \varepsilon$ استاندارد شبیه سازی شده است. همچنین نتایج این شبیه سازی با نتایج تجربی و شبیه سازی کریشنا و همکارانش [۳] مقایسه شده است و نتایج منطبق بر شبیه سازی مرجع بوده و نسبت به نتایج تجربی دقت مناسبی داشته است. همچنین اثر ۴ مدل اغتشاش $k - \varepsilon$ در حالت های Standard, Realizable, RNG و مدل RSM بر نتایج هیدرولیک بررسی و تحلیل شده اند. نتایج نشان می دهد که مدل RNG بین این ۴ مدل به نتایج تجربی نزدیک تر و دقیق تر بوده است. هرچند انتظار می رود که مدل RSM دقت بیشتری داشته باشد، اما به نظر می رسد که مدل RSM برای دقت بیشتر نیاز به مش ریزتری

۹- مراجع

- [1] Fischer, C.H., Quarini, G.L. (1998), "Three-dimensional heterogeneous modelling of distillation tray hydraulics", *AICHE annual meeting, 15-20 November 1998, Miami Beach, USA*.
- [2] Krishna, R., Van Baten, J.M., Ellenberger, J., Higler, A.P., Taylor, R. (1999). "CFD SIMULATIONS OF SIEVE TRAY HYDRODYNAMICS". *Institution of Chemical Engineers*. Vol. 77, pp. 639-646.
- [3] Liu, C.J., Yuan, X.G., Yu, K.T., Zhu, X.J. (1999). "A fluid-dynamic model for flow pattern on a distillation tray". *Chemical Engineering Science*. Vol. 55, pp. 2287-2294.
- [4] Krishna, R., Urseanu, M.I., Van Baten, J.M., Ellenberger, J. (1999). "Rise velocity of a swarm of large gas bubbles in liquids". *Chemical Engineering Science*. Vol. 54, pp. 171-183.
- [5] Bennett, D.L., Agrawal, R., Cook, P.J. (1983). "New Pressure drop correlation for sieve tray distillation columns". *AICHE*, Vol. 29, pp. 434-442.
- [6] Van Baten, J.M., Krishna, R. (2000), "Modeling sieve tray hydraulics using computational fluid dynamics". *Chemical Engineering Research and Design*. Vol. 81, pp. 27-38.
- [7] Gesit, G., Nandakumar, k., Chuang, K.T. (2003). "CFD Modeling of Flow Patterns and Hydraulics of Commercial-Scale Sieve Trays". *AICHE*. Vol. 49, pp. 910-924.
- [8] Solari, R.B., Bell, R.L. (1986). "Fluid Flow Patterns and velocity Distribution on Commercial-Scale Sieve Trays". *AICHE*. Vol. 32, pp. 640-649.
- [9] Rahimi, R., Rahimi, M.R., Shahraki, F., Zivdar, M. (2006). "Efficiencies of Sieve Tray Distillation Columns by CFD Simulation". *Chemical Engineering & Technology*. Vol. 29, pp. 326-335.
- [10] Teleken, J.G., Werle, L.O., Parisotto, I.G.B, Marangoni, C., Meneguelo, A.P., Machado, R.A.F. (2010). "Fluid-Dynamics Study of Multiphase Flow in a Sieve Tray of a Distillation Column". *ESCAPE20*.
- [11] Ansys, Inc. FLUNET 6.3.26 User guides, Section 6.2.2. (2006).
- [12] Laborde-Bouteta, C., Larachia, F., Dromardb, N., Delsartb, O., Schweich, D. (2009). "CFD simulation of bubble column flows: Investigations on turbulence models in RANS approach". *Chemical Engineering Science*. Vol. 64, pp. 4399-4413.