

شبیه‌سازی پدیده‌های تبخیر و میعان در مبدل Plate-Fin فرایند LNG با استفاده از روش CFD و ارزیابی عملکرد نرم‌افزار Aspen muse

محمد ایرانی^{۱*}، رضا حیاتی^۱، مهران سرمد^۱، پیمان معین^۱

*ایران، تهران، پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده گاز، صندوق پستی ۱۴۶۶۵-۱۳۷

نویسنده مسئول ایمیل: iraniam@ripi.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۱

چکیده

در این مقاله، پدیده‌های انتقال و الگوی جریان پیچیده و دما جهت فرایند LNG در مبدل حرارتی Plate-Fin بررسی شده است. برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی جریان سیال و انتقال حرارت، از نرم‌افزار ANSYS FLUENT استفاده شده است. برای شبیه‌سازی جریان دوفازی و چندجزئی، این نرم‌افزار محدودیت‌هایی دارد که البته با الصاق کدهای کمکی این نقص برطرف شده است. از مدل دوبعدی برای شبیه‌سازی پدیده‌های انتقال در یک کانال از مبدل استفاده شده است. برای محاسبه نرخ میعان و تبخیر، غلظت‌های تعادلی از نرم‌افزار ترمودینامیکی HYSYS استخراج گردیده و توسط UDF به نرم‌افزار CFD الصاق شده است. مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی CFD با نتایج نرم‌افزار Aspen Muse نشان داده که ضریب انتقال حرارت دوفازی، کسر جرمی بخار و ترکیب درصد اجزا با هم مطابقت دارند، در صورتی که افت فشار محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار Aspen Muse نسبت به CFD بیشتر است. با استفاده از مدل توسعه‌داده‌شده، اطلاعات زیادی در خصوص پدیده‌های انتقال و الگوی جریان به دست آمد که با استفاده از نرم‌افزارهای موجود ممکن نیست.

کلمات کلیدی: ال‌ان‌جی، مبدل فین-صفحه، سی‌اف‌دی، اسپن میوز

۱- مقدمه

ولی برای مصارف داخلی و ظرفیت‌های کوچک، مقیاس‌های بزرگ کارایی نداشته و مقرون‌به‌صرفه نیست؛ از این رو، در این بخش‌ها از مینی‌ال‌ان‌جی استفاده می‌شود. دیگر کاربردهای مینی‌ال‌ان‌جی عبارت است از: گازرسانی به مناطق دوردست که از طریق خط لوله امکان‌پذیر نیست و همچنین تولید ال‌ان‌جی برای مصرف خودروها و اتوبوس‌ها. فرایند تولید ال‌ان‌جی از جمله فرایندهای پیچیده و پُرهزینه است و بیش از نیمی از هزینه‌های آن در بخش مایع‌سازی مصرف می‌شود. مبدل‌های حرارتی فشرده از مهم‌ترین اجزای بخش مایع‌سازی است. در این تحقیق، پس از معرفی انواع مختلف مبدل‌های حرارتی، پدیده‌های موجود در مبدل فین-صفحه با استفاده از روش سی‌اف‌دی به‌طور کامل بررسی شده است.

ال‌ان‌جی (LNG) یکی از روش‌های مطمئن صادرات گاز طبیعی به حساب می‌آید و امروزه با توجه به قوانین و مقررات موجود در زمینه محیط‌زیست، یکی از سوخت‌های متداول و قابل‌اعتماد برای خریداران و فروشندگان این محصول است. با توجه به اینکه ایران از دارندگان عمده گاز طبیعی است، بنابراین وزارت نفت توسعه دانش فنی ال‌ان‌جی در کشور را در دستورکار قرار داده است. ال‌ان‌جی مورد استفاده در دنیا سه مقیاس کوچک^۱، متوسط^۲ و بزرگ دارد که شرکت‌های صنعتی بزرگ در دنیا عمدتاً از مقیاس‌های بزرگ برای فعالیت‌های خود استفاده می‌کنند.

بازار مصرف مقیاس‌های بزرگ عمدتاً برای صادرات است

1. Mid-Scale
2. Based Load



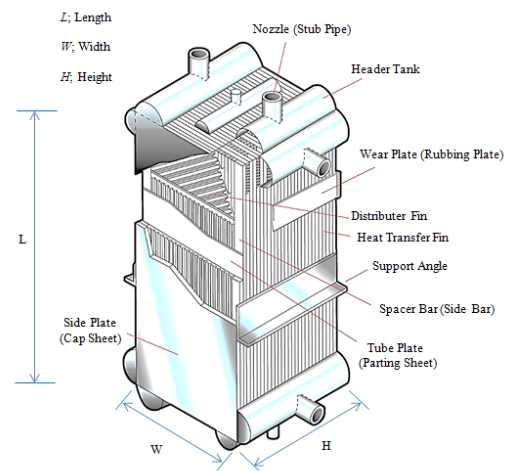
۱-۱- مبدل Plate-Fin

به کمک سردسازی^۷، واحد مایع سازی هلیوم) می توانند به کار روند. در ذیل به بعضی از این کاربردها اشاره شده است [۸-۵]:
در این مبدل ها دو یا چند جریان می توانند با هم تبادل حرارت کنند که جهت جریان ها نسبت به هم می تواند موازی یا عمود باشد. فین ها می توانند طوری تنظیم شوند که چیدمان کلی فین ها به حالت های cross flow، counter flow، cross-counter flow or parallel flow در آید. از چیدمان woff lellarap خیلی استفاده نمی شود چون کمترین تبادل حرارت را در این حالت داریم.

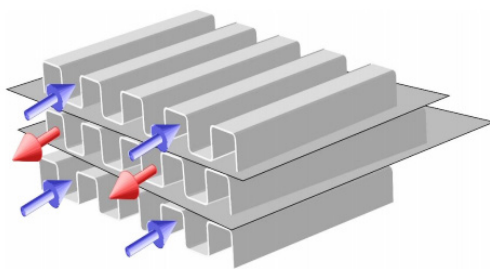
این مبدل یکی از انواع مبدل فشرده است. همان طور که در شکل های ذیل نشان داده شده است، در این مبدل ها از لایه هایی از فین های موج دار^۳ استفاده شده که این فین ها با یک سری صفحات فلزی مسطح^۴ جدا شده است. همچنین این مبدل ها در لبه ها محصور شده تا سری هایی از محفظه های فین دار ایجاد کنند. ساختار اصلی مبدل های فین-صفحه در شکل ۱ و یک بلوک از محفظه های فین دار در (شکل ۲) نمایش داده شده است [۴-۱].

۲-۱- Counter flow

در این چیدمان (شکل ۳)، جریان های سرد و گرم در جهت های مخالف ولی موازی هم حرکت می کنند. از لحاظ ترمودینامیکی، در این حالت بیشترین تبادل حرارت صورت می گیرد؛ بنابراین این نوع مبدل برای انتقال حرارت مؤثر و کارآمد توصیه می شود. برای کاربردهای دمپایین این نوع مبدل بازده خوبی دارد و می تواند برای سیکل های سردسازی دمپایین و تجهیزات مایع سازی استفاده شود [۶-۱، ۱۰-۳].



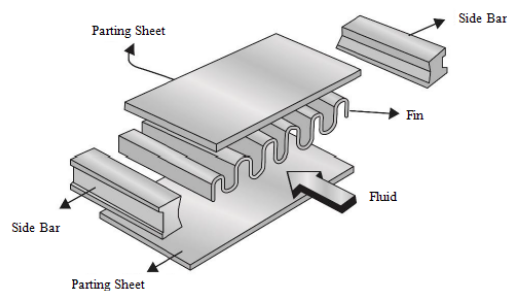
شکل ۱: ساختار اصلی مبدل های فین-صفحه [۳-۱]



شکل ۳: الگوی Counter flow [۷و۲]

۳-۱- Cross flow

در این چیدمان (شکل ۴)، جهت جریان های سرد و گرم همدیگر را در جهت عمود برهم قطع می کنند. این الگو برای انتقال حرارت کم و متوسط بین جریان سرد و گرم است. معمولاً در این آرایش، دو جریان تبادل حرارت می کنند بنابراین نیازی به توزیع کننده نیست. معمولاً از این الگو در رادیاتور ماشین استفاده می شود [۱۰-۶، ۳-۱].



شکل ۲: یک بلوک از محفظه های فین دار [۴]

۴-۱- Counter-Cross flow

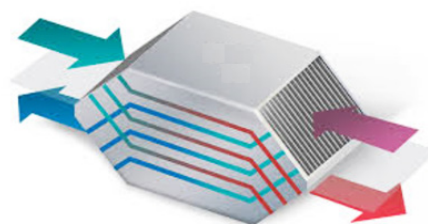
در این نوع هندسه ترکیبی از هندسه counter flow و cross flow استفاده شده که هندسه منتج همه خواص انتقال حرارت مؤثر counter flow و برتری های cross flow را با هم

مبدل های فین-صفحه در فرایندهایی برای تبادل مایع به گاز یا گاز به گاز کاربرد دارند. این نوع مبدل ها در گستره وسیعی از کاربردها به خصوص فرایندهای دمپایین^۵ (مانند واحد مایع سازی گاز طبیعی، واحد فراورش گاز، واحد جداسازی هوا

3. Corrugated Fins
4. Parting Sheets
5. Cryogenic Refrigeration
6. Gas Treatment

7. Cryogenic Air Separation

دارد (شکل ۵). در این الگو، یک جریان مسیر مستقیم دارد و مسیر جریان دیگر به صورت زیگزاگ و عمود بر مسیر اول است. از این الگو در کاربردهایی مشابه cross flow و جایی که دبی حجمی جریان‌ها متفاوت باشد استفاده می‌شود (افت فشارها در دو جریان بسیار متفاوت است).

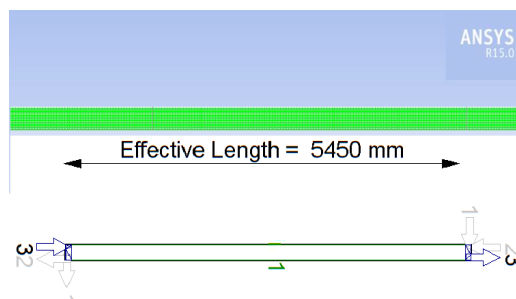


شکل ۵: الگوی Counter-Cross flow [۷]

برای اطلاع از پدیده‌هایی که در این مبدل‌ها اتفاق می‌افتد، چون عملکرد کانال‌های موازی مشابه است و همچنین حجم محاسبات CFD خیلی زیاد است، بنابراین یک کانال از مبدل Plate - Fin را که در نرم‌افزار Aspen Muse طراحی شده است، شبیه‌سازی می‌کنیم.

۲- تعریف مسئله

هندسه در نظر گرفته شده برای شبیه‌سازی پدیده‌های تبخیر و میعان در مبدل فرایند ال‌ان‌جی به صورت (شکل ۶) است. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، سیال از قسمت ورودی (سمت چپ) وارد مبدل می‌گردد و پس از تبادل حرارت از طریق بدنه فلزی با سیال مبرد، از قسمت خروجی (سمت راست) خارج می‌شود.



شکل ۶: هندسه مسئله

شرایط سیال مبرد ورودی به مبدل جهت سردسازی گاز از

نرم‌افزار HYSYS استخراج شد (شکل ۷).

Material Stream: 19		Mole Fractions
Conditions	Methane	0.3910
Properties	Ethane	0.3215
Composition	Propane	0.0000
Oil & Gas Feed	Isobutane	0.0000
Petroleum Assay	n-Butane	0.1978
K Value	Nitrogen	0.0897
User Variables		

Material Stream: 19		Stream Name	19
Conditions	Vapour / Phase Fraction		0.0823
Properties	Temperature [C]		-154.4
Composition	Pressure [kPa]		420.0
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/s]		2.922e-002
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]		3151
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [USGPM]		33.68
User Variables	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]		-1.032e+005
Notes	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]		-274.5
Cost Parameters	Heat Flow [kW]		-3016
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]		9.991

شکل ۷: خصوصیات ترمودینامیکی سیال ورودی به مبدل

۲-۱- معادلات حاکم بر مسئله

در مکانیک سیالات، معادلات حاکم بر جریان و معادلات بقای جرم و اندازه حرکت در راستاهای مختلف انرژی هستند که با کمک روابط ترمودینامیک موجود برای مواد مختلف امکان حل آن‌ها وجود دارد.

۲-۱-۱- معادله پیوستگی (بقای جرم)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q v) = m \quad (1)$$

معادله (۱) شکل کلی معادله قانون پیوستگی است که در صورت وجود واکنش در سیستم، مقدار سمت راست معادله با توجه به سینتیک واکنش غیرصفر خواهد بود. در صورت وجود چند جزء مختلف در سیستم و با در نظر گرفتن تأثیرات انتقال جرم، این رابطه برای هر جزء به صورت رابطه (۲) نوشته خواهد شد.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_q \gamma_i^q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \gamma_i^q \rho_q v) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + S_i \quad (2)$$

که مقدار Y_i برابر کسر جرمی هر جزء است و S_i نرخ تولید این جزء در اثر انتقال جرم بین‌فازی است که در قسمت‌های

بعد در مورد تعیین آن بیشتر توضیح داده خواهد شد. با توجه به رابطه فوق، اگر در یک سیستم فیزیکی N جزء مختلف وجود داشته باشد، تنها کافی است این معادله برای N-1 جزء مشخص شود و برای جزء آخر با توجه به رابطه $\sum Y_i = 1$ مقدار Y_i مشخص می‌شود. اینکه کدام جزء به‌عنوان جزء پایانی از این رابطه محاسبه شود، بستگی به مقدار کسر جرمی اجزا داشته و جزء با کمترین کسر جرمی، به‌عنوان آخرین جزء انتخاب می‌شود.

همچنین در رابطه (۲) مقدار \vec{J}_i شار نفوذپذیری هر جزء است و از رابطه زیر مشخص می‌شود:

$$\vec{J}_i = \rho D_{i,m} \nabla Y_i \quad (3)$$

که $D_{i,m}$ ضریب نفوذپذیری هر جزء بوده و از رابطه استفان-ماکسول تعیین می‌شود.

۲-۱-۲- معادله بقای اندازه حرکت

شکل کلی معادلات بقای اندازه حرکت به صورت زیر است:

$$\frac{\partial(\rho \vec{v})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (4)$$

که در این رابطه $\vec{\tau}$ تانسور تنش و \vec{F} نیروهای حجمی وارد بر المان سیال است.

$$\vec{\tau} = \mu \left[\left(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T \right) \right] - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \quad (5)$$

در معادلات بقای اندازه حرکت، انجام واکنش‌ها به صورت مستقیم تأثیرگذار نبوده است.

۲-۱-۳- معادله بقای انرژی

بقای انرژی برای یک المان سیال با رابطه زیر مدل‌سازی می‌شود:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v} (\rho E + p)) = \nabla \cdot \left(k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\vec{\tau}_{eff} \cdot \vec{v}) \right) + S_h \quad (6)$$

که K_{eff} ضریب انتقال حرارت هدایت مؤثر بوده و $E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2}$ انرژی کل سیال در المان بوده و برای یک سیال چندجزئی، آنتالپی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$h = \sum_j h_j Y_j \quad (7)$$

همچنین برای توضیح کامل‌تر، ذکر این نکته لازم است که $\nabla \cdot \sum_j h_j \vec{J}_j$ ترم انتقال حرارت ناشی از اثرات انتقال جرم است.

۳- شرایط مرزی مسئله و تعیین خصوصیات فیزیکی

پس از تعیین معادلات حاکم بر مسئله با آگاهی و شناخت کامل از مسئله در شرایط پایدار لازم است شرایط مرزی مسئله مشخص شود. در واقع، تعیین شرایط مرزی صحیح و چگونگی اعمال آن‌ها بر معادلات حاکم یکی از مراحل بسیار مهم و کلیدی انجام کارهای عددی است. این مدل‌سازی با توجه به هندسه موجود، شامل چهار شرط مرزی است.

۳-۱- شرط مرزی ورودی

با توجه به شرایط عملیاتی و ترکیب درصد اجزا در رآکتور، دانسیته مخلوط در طول رآکتور متغیر بوده، لذا دبی جرمی سیال در دهانه ورودی رآکتور ثابت است و به‌عنوان شرط مرزی ورودی در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر دبی جرمی سیال ورودی، لازم است نسبت جرمی مواد واکنش‌دهنده در قسمت ورودی رآکتور تعیین شود. علاوه بر این، تعیین دمای سیال مخلوط همگن ضروری است.

$$\dot{m} = \frac{10^{-6}}{60} \dot{v} * nP / (ZRT) \quad (8)$$

که در این رابطه v دبی حجمی سیال ورودی برحسب P, \min (فشار) برحسب پاسکال، T (دما) برحسب کلوین و R ثابت جهانی گازها و n جرم مولکولی سیال ورودی است. در نرم‌افزار Fluent برای مدل‌سازی این مرز از شرط مرزی Mass Flow Inlet استفاده می‌شود.

۳-۲- شرط مرزی خروجی

سیال درون رآکتور یک سیال تراکم‌پذیر است، لذا لازم است شرط مرزی خروجی از رآکتور با توجه به رژیم جریان درونی تعیین شود. در نرم‌افزار Fluent، برای مدل‌سازی مرز خروجی از شرط مرزی Pressure Outlet استفاده شده است.

۳-۳- شرط مرزی دیواره

دو شرط مرزی دیواره داریم: یک دیواره با شار صفر و یک دیواره با شار ثابت که مقدار شار ثابت از روی مقدار سرد سازی توسط سیال مبرد محاسبه شده است.

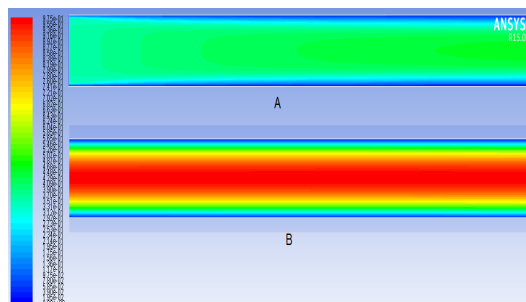
۳-۴- تعیین خصوصیات فیزیکی

ظرفیت گرمایی، ویسکوزیته، دانسیته و ضریب هدایتی

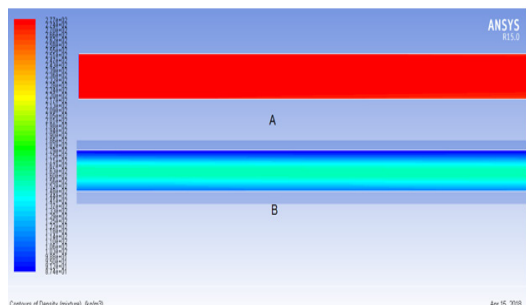




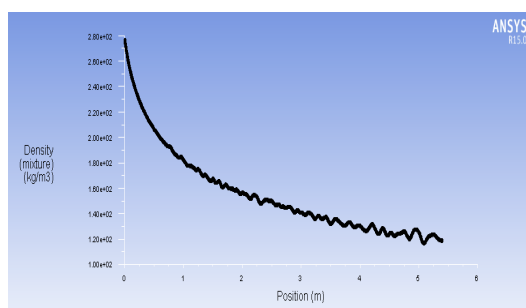
نشان داده شده است. با توجه به طول زیاد کانال نسبت به قطر آن، فقط قسمت ابتدایی (A) و قسمت انتهایی (B) نمایش داده شده است. با توجه به تولید بخار در طول کانال و کم شدن دانسیته مخلوط (شکل ۱۰)، در قسمت انتهایی سرعت افزایش قابل توجهی می‌یابد.



شکل ۸: کانتور سرعت قسمت ابتدایی (A) و قسمت انتهایی (B) بر حسب m/s



شکل ۹: کانتور دانسیته قسمت ابتدایی (A) و قسمت انتهایی (B) بر حسب kg/m³



شکل ۱۰: پروفایل دانسیته بر حسب kg/m³

در (شکل ۱۱)، کانتور کسر حجمی گاز نشان داده شده است. با توجه به طول زیاد کانال نسبت به قطر آن، فقط قسمت ابتدایی (A) و قسمت انتهایی (B) نمایش داده شده است. با توجه به اینکه هدف مایع میرد سردسازی گازی است که در طرف دیگر مبدل جریان دارد به همین منظور، شار گرمایی روی دیواره لحاظ شده است. بنابراین با اعمال شار حرارتی به سیال دوفازی ورودی به مبدل حرارتی، مایع بیشتری به بخار تبدیل می‌شود؛ پس کسر حجمی بخار در طول کانال افزایش می‌یابد.

فازهای گاز و مایع تابعیتی به صورت چندجمله‌ای توانی متغیر با دما دارند که از نرم‌افزار HYSYS استخراج شده است.

۳-۵- چگونگی حل معادلات حاکم

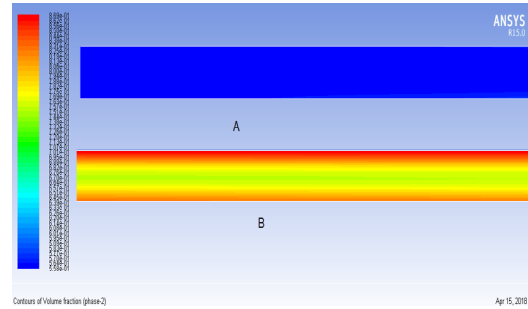
حل معادلات حاکم بر مسئله با گسسته‌سازی دامنه فیزیکی مسئله و تبدیل آن به یک دامنه محاسباتی آغاز می‌شود. برای ایجاد شبکه‌بندی شکل هندسی رآکتور از نرم‌افزار Gambit استفاده شده است.

پس از ایجاد دامنه محاسباتی لازم است هریک از معادلات ارائه‌شده روی المان‌های تولیدشده اعمال شوند. روش حل مورد استفاده در نرم‌افزار Fluent، حجم محدود (Finite Volume) است. در این روش، از معادلات بقای حاکم بر مسئله در هر المان انتگرال‌گیری شده و پس از خطی‌سازی این دستگاه معادلات برای هر المان با روش مناسب حل می‌شوند. برای محاسبات تعادلی از نرم‌افزار HYSYS استفاده شده و غلظت‌های تعادلی و خصوصیات فیزیکی به خصوص گرمای نهان تبخیر و میعان به صورت رابطه و با کدنویسی به زبان C++، به نرم‌افزار Fluent الصاق شد. گفتنی است که در این کد، تمام روابط مربوط به انتقال جرم و حرارت بین‌فازی با جزئیات کامل وارد شده است. با استفاده از اطلاعات جریان ورودی به مبدل، مقدار دبی جرمی برای یک کانال، کسر مولی اجزا و دما در ورودی دامنه مسئله اعمال شد. شبیه‌سازی به صورت دینامیکی انجام گرفت. حل معادله ادامه یافت تا به حالت Steady state رسید. با توجه به آرایش مبدل فراتر از مقدار طراحی‌شده و تعداد لایه‌ها مقدار دبی گذرنده از یک کانال محاسبه شد:

mass-flow [kg/hr]	3150.827
exchanger-width[cm]	22.518
fin-frequency[1/m]	787
fin-num	177.21666
nu-of-layers-for-strem3	7
mass-flow-for-each-fin[kg/hr]	2.539931307

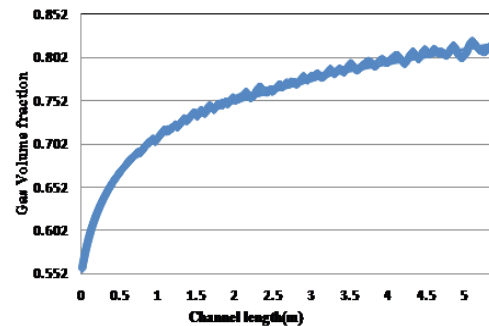
۴- نتایج

نتایج بعد از رسیدن به حالت پایا به شرح زیر است: با گذشت زمان، اجزا بین فازها منتقل می‌شوند. اجزا با توجه به شرایط ترمودینامیکی از فاز مایع به فاز گاز یا بالعکس منتقل می‌شوند. در ابتدا به دلیل گرادین زیاد، بیشترین مقدار انتقال جرم وجود دارد، که البته رفته‌رفته به دلیل کم شدن گرادین‌ها این انتقال جرم کم و کمتر می‌شود. در (شکل ۸) کانتور سرعت



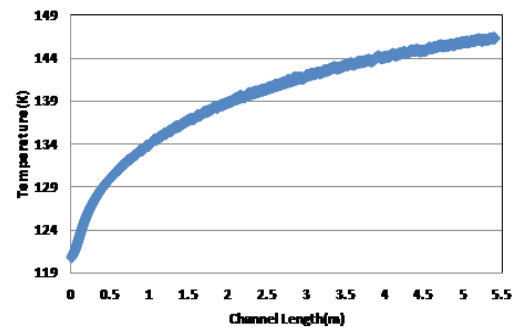
شکل ۱۱: کسر حجمی بخار قسمت ابتدایی (A) و قسمت انتهایی (B)

در (شکل ۱۲)، پروفایل متوسط کسر حجمی بخار در طول کانال لوله گاز نشان داده شده است.



شکل ۱۲: پروفایل کسر حجمی بخار

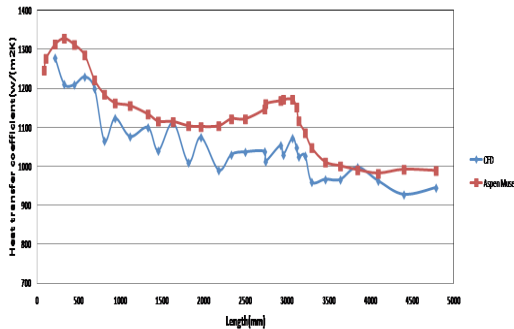
در (شکل ۱۳)، پروفایل دما نشان داده شده است. قسمتی از شار حرارتی اعمال شده به سیال دوفازی ورودی به مبدل حرارتی صرف تبدیل مایع به بخار و باقی مانده آن صرف بالابردن دمای مخلوط مایع و گاز می شود؛ بنابراین همان طور که در (شکل ۱۳) نشان داده شده دما در طول کانال افزایش می یابد.



شکل ۱۳: پروفایل دما

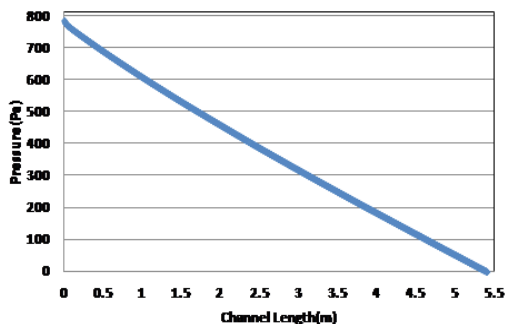
علاوه بر این، با استفاده از نتایج CFD مقدار ضریب انتقال حرارت در طول کانال استخراج و با مقادیر محاسبه شده توسط Aspen Muse مقایسه شد. همان طور که در (شکل ۱۴) نشان

داده شده، مقدار ضریب انتقال حرارت در طول کانال کاهش یافته است. با توجه به افزایش میزان بخار در طول کانال این نتیجه منطقی است. همچنین همان طور که در شکل مشاهده می شود، نتایج حاصل از CFD و Aspen Muse با هم تطابق دارند (مقدار خطا کمتر از ۱۰ درصد است).



شکل ۱۴: پروفایل ضریب انتقال حرارت در طول کانال

در (شکل ۱۵)، پروفایل فشار در طول کانال ترسیم شده است. با توجه به نتایج این شکل، افت فشار در طول کانال حدوداً یک کیلوپاسکال محاسبه شده است.

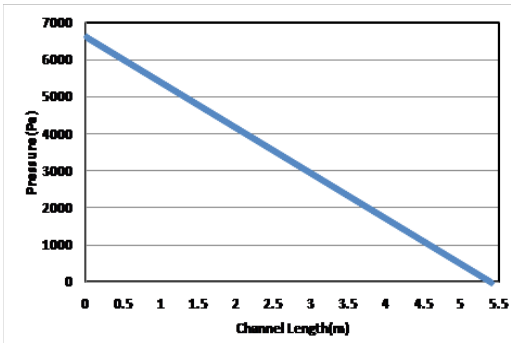


شکل ۱۵: پروفایل فشار در طول کانال (مدل دوبعدی)

با توجه به اینکه مقدار محاسبه افت فشار با نرم افزار Aspen muse متفاوت بود (در این نرم افزار مقدار افت فشار ۲۰ کیلوپاسکال است)، دلیل این تفاوت به دوبره بودن شبیه سازی برمی گردد. با توجه به اینکه در هیچ منبعی در ارتباط با افت فشار در مجرای غیرلوله ای بحث نشده، بنابراین یک مورد شبیه سازی سه بعدی انجام گرفت. با توجه به حجم زیاد محاسبات در این شبیه سازی سه بعدی فقط مباحث هیدرولیکی مدنظر بود؛ بنابراین از یک سیال دقیقاً مشابه سیال مبرد موجود با دانسیته و ویسکوزیته متوسط استفاده شد. از نتایج شبیه سازی فوق الذکر، مقدار افت فشار حدود ۷ کیلوپاسکال به دست آمد (شکل ۱۶).

۶- مراجع

- [1] Thulukkanam, K., Heat Exchanger Design Handbook, 2nd Edition, CRC Press, 2013.
- [2] Zohuri, B., Compact Heat Exchangers: Selection, Application, Design and Evaluation, Springer, 2016.
- [3] Hesselgreaves, J.E., Compact Heat Exchangers: Selection, Design and Operation, Elsevier science Ltd, 2001.
- [4] Guo, K., "Optimization of Plate/Plate-Fin Heat Exchanger Design", PhD Thesis, School of Chemical Engineering and Analytical Science, Manchester University, 2015.
- [5] Aluminium Plate-Fin Heat Exchangers, Linde Group.
- [6] Kakac, S., M.R., Avelino, H.F., Smirnov, Low Temperature and Cryogenic Refrigeration, Springer, 2003.
- [7] Mudgala, S., "Numerical Analysis of Plate Fin Heat Exchanger at Cryogenic Conditions", MS Thesis, Department of Mechanical Engineering National Institute of Technology Rourkela, 2015.
- [8] Alur, S., "Experimental Studies on Plate Fin Heat Exchangers", PhD Thesis, Mechanical Engineering Department National Institute of Technology Rourkela, 2012.
- [9] Dewatwal, J., "Design of compact plate fin heat exchanger", BS Thesis, Department of Mechanical Engineering National Institute of Technology Rourkela, 2009.
- [10] Pandey, A., "Performance Analysis of a Compact Heat Exchanger", MS Thesis, Department of Mechanical Engineering National Institute of Technology Rourkela, 2011.



شکل ۱۶: پروفایل فشار در طول کانال (مدل سه بعدی)

این اختلاف به نحوه محاسبه افت فشار مربوط می شود. هندسه موردنظر، یک کانال با طول ۱۵ میلی متر و عرض ۱ میلی متر است. از طرفی، روابط برای محاسبه افت فشار جریان دوفازی فقط برای لوله موجود است و در نرم افزار، ابتدا قطر معادل برای این کانال محاسبه شده که حدود ۲ میلی متر است. با استفاده از روابط موجود جهت محاسبه افت فشار دوفازی، مقدار افت فشار برای این سائز لوله حدوداً ۲۰ کیلوپاسکال است که از افت فشار واقعی ۸ کیلوپاسکال فاصله زیادی دارد. البته این مقدار از افت فشار فراتر از طراحی است که قابلیت اطمینان را بالا می برد.

۵- نتیجه گیری

مدل دوعدی CFD برای شبیه سازی جریان سیال، انتقال حرارت و جرم بین فازی در مبدل Plate-Fin توسعه داده شد. رفتار ترمودینامیکی غیرایده آل با استفاده از معادله Peng-Robinson در نظر گرفته شد. برای محاسبه انتقال جرم بین فازی، غلظت های تعادلی و گرمای نهان تبخیر از نرم افزار HYSYS استخراج شد. پس از حل معادلات پروفایل سرعت، دما، غلظت اجزا و کسر حجمی بخار در طول مبدل محاسبه شد. مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی CFD با نتایج نرم افزار Aspen Muse نشان داد که ضریب انتقال حرارت، کسر حجمی بخار و ترکیب درصد اجزا با هم مطابقت دارند، در صورتی که افت فشار محاسبه شده توسط نرم افزار Aspen Muse نسبت به CFD بیشتر است. با استفاده از مدل توسعه داده شده، اطلاعات ارزشمندی در خصوص پدیده های انتقال و الگوی جریان به دست آمد که با استفاده از نرم افزارهای موجود ممکن نیست.



Simulation of Evaporation and Condensation Phenomena in the Plate-Fin Converter of the LNG Process Using the CFD Method and Assessing Aspen Muse Software Performance

Mohammad Irani^{1*}, Reza Hayati¹, Mehran Sarmad¹, Peiman Moeen¹

1-Iran, Tehran, Research Institute of Petroleum Industries (RIPI), Gas Division, 137-14665

Corresponding Author, Email:iranim@ripi.ir

Abstract

In this paper complex fluid flow and transport phenomena in plate-fin heat exchanger for LNG process are investigated. Modeling and simulation of heat transfer and fluid flow has been done using ANSYS Fluent software. This software has limitation in simulation of multispecies biphasic flow; therefore, UDF.A 2D model was used for modeling aforementioned phenomena in one channel of heat exchanger. HYSYS software was used for calculation of species equilibrium concentration and it was linked to ANSYS using UDF. Results shows that vapor volume fraction, species composition and heat transfer coefficient for CFD and Aspen muse are in good agreement, but pressure drop is over predicted by Aspen Muse. Using the developed model, a good deal of information was obtained about transport phenomena and fluid flow in cryogenic heat exchangers, while other software packages could not provide that much information.

Keywords: LNG, Plate-fin heat exchanger, CFD, Aspen muse

