

بررسی مدل‌های پیش‌بینی‌کننده جریان سیال درون اکسترودر؛ بخش اول: مدل کاستر

Models for Predicting Fluid Flow in Extruders; Part I: The Koster's Model

چکیده:

اکسترودر به عنوان یک ابزار شکل‌دهی مواد، تجهیزاتی اساسی و مهم در فرایند تولید در صنایع مختلف پلیمری از جمله صنعت لاستیک، صنایع مبتنی بر شکل‌دهی پلاستیک‌ها، صنایع غذایی و... محسوب می‌شود. از آنجا که در اغلب صنایع اکسترودرها به عنوان تجهیزاتی میانی و به صورت سری با سایر تجهیزات عمل می‌کنند ظرفیت تولید محصول می‌تواند وابسته به میزان تولید در اکسترودر باشد که خود به نوعی همان دبی سیال خروجی از اکسترودر است. عوامل مختلفی بر الگوی جریان و در نتیجه دبی خروجی از اکسترودر اثرگذار هستند. شناخت این عوامل و نحوه اثرگذاری آن‌ها در پیش‌بینی عملکرد و تعیین نقاط بهینه کارکرد این نوع از تجهیزات بسیار موثر است. از این رو، در پژوهش حاضر و در دو بخش به بررسی دو مورد از مهم‌ترین روش‌های مدل‌سازی جریان سیال درون اکسترودرها پرداخته می‌شود و نقاط ضعف و قوت هر یک در پیش‌بینی پروفایل جریان و همچنین دبی خروجی از اکسترودر مشخص می‌شود. در بخش اول مدل کاستر مورد بررسی قرار گرفته است و در بخش دوم مدل تدمور و گاگس مورد بررسی قرار خواهد گرفت. نکته حائز اهمیت که تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است، این است که علی‌رغم ساده‌سازی‌های مختلف، می‌توان از نتایج حاصل از این مدل‌ها برای پیش‌بینی قابل قبولی از عملکرد اکسترودرهای مختلف در صنایع استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: اکسترودر، مدل‌سازی، سیال، ظرفیت تولید

نوع مقاله: پژوهشی

محمد مهدی کامیابی*

دکترای تخصصی، استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان، ایران

ایمیل نویسندگان و عهده‌دار مکاتبات:

*mm.kamyabi@vru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰

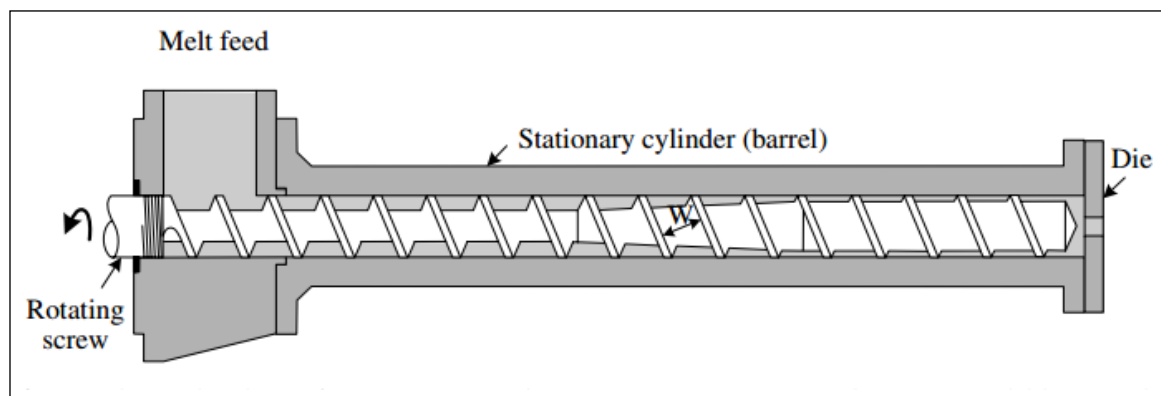
مقدمه

مواد و افزایش فشار از طریق حرکت چرخشی یک یا چند پیچه (اسکرو^۳) درون یک پوسته استوانه‌ای ثابت (برل^۴) صورت می‌گیرد (مطابق شکل ۱). پیچه، متشکل از یک هسته است که دور تا دور آن یک مارپیچ پیچیده شده است. به فاصله بین دو پیچ متوالی از پیچه یک گام^۵ گفته می‌شود. همانطور که از شکل ۱ مشخص است شعاع هسته‌ی پیچه و در نتیجه عمق پیچه‌ها ممکن است در طول اکسترودر تغییر کند. زاویه‌ای که مارپیچ بر روی هسته می‌سازد نیز که زاویه باله^۶ نام دارد و پارامتر هندسی مهم و اثرگذاری است. این زاویه با فاصله گرفتن از هسته پیچه (در راستای عمق پیچه‌ها) تغییر می‌کند.

می‌توان گفت که نحوه انتقال مواد در اکسترودر در واقع بصورت پمپ اسکرو با مارپیچ ارشمیدسی^۷ به عنوان عامل جلو برنده است [۲]. مواد به صورت مماس بر اسکرو از طریق یک قیف (هاپر^۸) به سر ابتدایی اکسترودر وارد می‌شوند و با حرکت پیچه به جلو رانده می‌شوند تا در نهایت به صورت پروفایل‌دار یا بدون پروفایل به صورت محوری^۱ از سر انتهایی اکسترودر خارج شوند. در طول عبور ماده از ورودی تا خروجی، و بسته به نوع ماده و طراحی انجام شده برای پیچه و پوسته، مواد تحت یک فرایند مخصوص به خود قرار می‌گیرند. خواص و رفتار اکستروژنی مواد و کاربرد موردنظر برای محصول خروجی از اکسترودر براساس نوع و سایز اکسترودر و ابعاد

اکسترودرها در صنایع لاستیک تجهیزاتی هستند که تولید پیوسته^۱ استریپ‌های مجزا یا چندگانه (متشکل از چند آمیزه مختلف) را انجام می‌دهند [۱]. بسته به هدف، خروجی از اکسترودر می‌تواند به عنوان محصول نهایی یا محصول میانی (ورودی مراحل بعدی) باشد. در صورتی که خروجی از اکسترودر محصول نهایی لاستیکی باشد (مثل آب‌بندها) فرایند پخت بصورت همزمان انجام می‌شود. در صورتی که محصول میانی باشد (مثل تایرسازی) فرایند پخت در مراحل بعدی انجام می‌شود [۲]. فرایند اکستروژن در مورد لاستیک‌ها کاملاً با این فرایند بر روی سایر مواد -مثل پلاستیک‌ها- متفاوت است. چرا که لاستیک‌ها ویسکوزیته به مراتب بالاتر و در نتیجه گشتاور و توان مصرفی بیشتری نیاز دارند. همچنین، تشکیل اتصالات عرضی ناشی از پخت در لاستیک، فرآیندپذیری آن‌ها را متفاوت از سایر پلیمرها می‌نماید.

با این حال آنچه که در همه فرایندهای اکسترودری مشترک است این است که مواد از درون یک ابزار شکل‌دهنده و تحت فشار به نام قالب^۲ عبور می‌کنند به گونه‌ای که یک یا چند پروفایل شکل‌گرفته به صورت جریان پیوسته تولید می‌شوند. از این رو اکستروژن یک فرایند معمول پیش فرم‌دهی در بسیاری از صنایع محسوب می‌شود. علاوه بر این، در تمام فرایندهای مختلف اکستروژن، حرکت



شکل ۱- شماتیک اکسترودر تک پیچه به همراه اجزا آن

1. Continuous 2. Die 3. Screw 4. Barrel 5. Pitch 6. Flight angle 7. Archimedes' screw 8. Hopper 9. Axial

در مورد سیال نیز نکته حائز اهمیت این است که سیالیت مواد پلیمری (در اینجا آمیزه که شامل پلیمر و مواد افزودنی است) به سادگی سیالات نیوتونی قابل توصیف نیست. در سیالات نیوتونی تابعیت تنش برشی (نیروی برشی بر واحد سطح) به صورت خطی از نرخ برش است و این تابعیت توسط قانون نیوتون به صورت رابطه زیر توصیف می‌شود:

$$(1)$$

$$\tau = \mu \dot{\gamma}$$

که μ ویسکوزیته سیال، خاصیت ثابت سیال نیوتونی است. $\dot{\gamma}$ تنسور نرخ کرنش است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$(2)$$

$$\dot{\gamma} = (\nabla V) + (\nabla V)^T$$

که در آن V سرعت جریان سیال، ∇ عملگر ریاضی بیانگر گرادبان و T بیانگر معکوس ماتریس است.

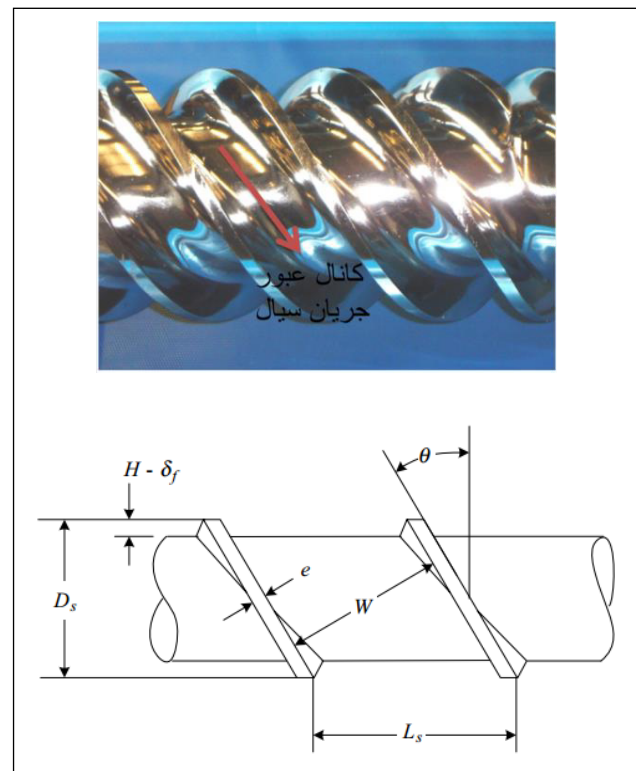
این در حالی است که پلیمرها اغلب سیالاتی ویسکوالاستیک هستند، یعنی رئولوژی حاکم بر آنها مبتنی بر برآیند رفتارهای ویسکوز و الاستیک و در نتیجه غیرنیوتونی است [۳]. از این رو ویسکوزیته آمیزه به‌عنوان ماده‌ای با اساس پلیمری، تابع نرخ برش نیز هست و در نتیجه پارامتری غیرثابت است. علاوه بر این، از آنجا که در اغلب اکسترودرها المان‌های گرمایی تعبیه شده در دیواره مسئولیت گرم کردن آمیزه را در حین حرکت در طول اکسترودر برعهده دارند، اثر دما بر ویسکوزیته نیز می‌تواند قابل توجه باشد.

بر طبق مدل کاستر، جریان سیال در فضای بین دو پیچ همانند جریان سیال درون یک کانال^۱ است که در آن هسته‌ی پیچه (در محل کمترین شعاع پیچه) و بدنه‌ی پوسته به صورت دو صفحه مستقیم موازی در نظر گرفته می‌شوند که صفحه بالایی (یعنی اسکرو) با سرعت مشخص حرکت می‌کند (شکل ۲). دو وجه دیگر این کانال در واقع صفحات جانبی دو پیچ پشت سر هم اسکرو هستند که ماده مورد نظر (آمیزه) بین این چهار صفحه و در یک جهت (به صورت یک بعدی و در راستای پیچش مارپیچ) جریان

هندسی و نوع طراحی پیچه و سایر پارامترهای طراحی اکسترودرها تعیین می‌شود [۲].

مدلسازی جریان

جریان آمیزه درون اکسترودر بسیار پیچیده است. پیچیدگی این جریان ناشی از دو عامل بسیار مهم هندسه‌ی پیچیده‌ی اسکرو و طبیعت پیچیده‌ی سیال اکسترودر شده است. هندسه اکسترودر یک پیچه مطابق شکل زیر به گونه‌ای است که محل عبور جریان بین صفحات محصور بین دو پیچ متوالی، هسته‌ی پیچه و بدنه پوسته می‌باشد. زاویه باله (θ در شکل ۲) نیز در راستای عمق پیچ کانال متغیر است. جریان چرخشی اسکرو منجر به حرکت چرخشی زاویه‌دار مواد می‌شود که نهایتاً اثر خود را به صورت حرکت محوری در راستای طول اکسترودر نشان می‌دهد.



شکل ۲- شماتیکی از فضای عبور جریان سیال از بین دو پیچ متوالی (چپ) و فضای واقعی عبور جریان (راست)

دارد. یک بعدی در نظر گرفتن این جریان برای کانال‌های با عمق کم معتبر است [۴]. در این مدل، به عنوان یک فرض ساده‌کننده، دیگر سیال با رفتار نیوتونی در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه با حل معادلات جریان و به خاطر چسبندگی آمیزه به پوسته و پیچه (شرط مرزی عدم لغزش^۱ برقرار است) پروفایل سرعت خطی نسبت به ارتفاع کانال (h) برقرار است. بنابراین:

دارد. یک بعدی در نظر گرفتن این جریان برای کانال‌های با عمق کم معتبر است [۴]. در این مدل، به عنوان یک فرض ساده‌کننده، دیگر سیال با رفتار نیوتونی در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه با حل معادلات جریان و به خاطر چسبندگی آمیزه به پوسته و پیچه (شرط مرزی عدم لغزش^۱ برقرار است) پروفایل سرعت خطی نسبت به ارتفاع کانال (h) برقرار است. بنابراین:

$$V = V_{max} \left(\frac{y}{h} \right) \quad (3)$$

اگر شعاع خارجی پوسته R و شعاع پیچه در کمترین حالت خود r باشد، $h=R-r$ است (شکل ۳).

سرعت حرکت آمیزه در راستای چرخش ماریج است. حال با داشتن مدل جریان و پروفایل سرعت در اکسترودر می‌توان دبی جریان را بدست آورد.

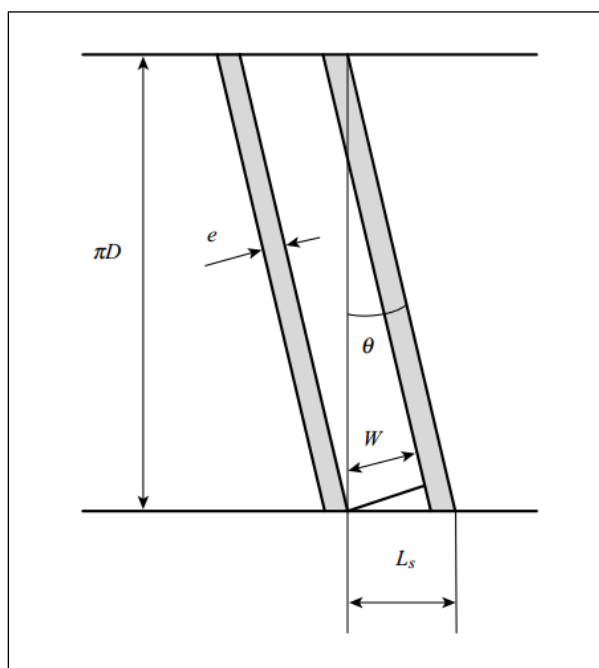
همان‌طور که بیان شد، جریان بین دو پیچ متوالی اسکرو را می‌توان بصورت جریان داخل یک کانال در نظر گرفت که یک

$$V_{max} = r\omega \cos\theta \quad (4)$$

$$V(h) = \frac{\omega r h \cos\theta}{R-r} \quad \text{for } 0 < h < R-r$$

اگر فرکانس چرخش اسکرو N دور بر ثانیه باشد می‌توان نوشت $\omega = 2\pi N$ که واحد آن رادیان بر ثانیه است.

سرعت به‌دست آمده از رابطه ۴ در راستای طول کانال (راستای چرخش ماریج) است. برای اینکه سرعت در راستای محور



شکل ۳- تصویر باز شده‌ی ماریج اسکرو

1. No slip boundary condition

قرار دادن آن زاویه باله ای که بیشترین میزان سرعت محوری (و در نتیجه بیشترین دبی) را موجب می شود چنین بدست می آید:

$$\frac{dV_x}{d\alpha} = 0 \rightarrow \sin^2 \theta = \cos^2 \theta \rightarrow \theta_{opt} = 45^\circ \quad (7)$$

بنابراین مطابق مدل کاستر بیشترین دبی اکسترودر وقتی بدست می آید که زاویه باله اسکرو برابر ۴۵ درجه باشد.

همان گونه که قبل تر نیز ذکر شد، زاویه باله در ارتفاع های مختلف کانال h (فواصل مختلف از سطح داخلی پوسته) متفاوت است. شکل ۳ نمای باز شده ی اسکرو در فاصله بین دو پیچ متوالی را نشان می دهد. مطابق این شکل رابطه θ با L_s و h بدین صورت است:

$$\theta = \arctan\left(\frac{L_s}{2\pi(R-h)}\right) \quad (8)$$

با داشتن سرعت در کانال می توان دبی حجمی خروجی ماده را از طریق حاصل ضرب سرعت در سطح جریان بدست آورد. اما همان طور که در قسمت قبل بدست آمد، سرعت در کانال وابسته

اکسترودر (V_x) بدست آید لازم است که تصویر سرعت بدست آمده در معادله قبل در راستای محور اکسترودر به دست آید، این سرعت در راستای محور اکسترودر به صورت زیر محاسبه می شود:

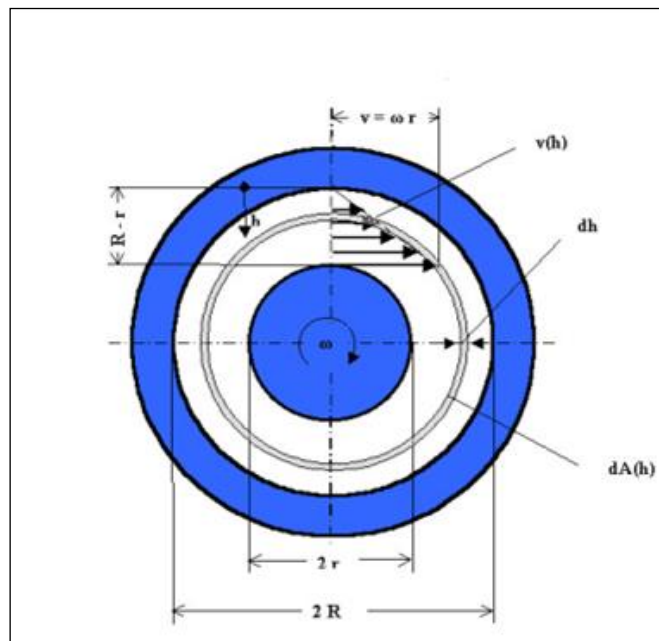
$$V_x = V \sin \theta$$

بنابراین:

$$V_x = \frac{\omega r h \cos \theta \cdot \sin \theta}{(R-r)} \quad (6)$$

نتیجه به دست آمده از مدل کاستر در رابطه ۶ خلاصه شده است. مطابق این رابطه در حالت های حدی $\theta=0^\circ$ و $\theta=90^\circ$ میزان خروجی محوری اکسترودر برابر با صفر خواهد بود. این نتیجه قابل انتظار است، چرا که در حالتی که $\theta=0^\circ$ باشد، در واقع باله ها کاملاً عمود بر محور اسکرو هستند و طول کانال $L_s=0$ است (شکل ۳)، و در حالتی که $\theta=90^\circ$ باشد، باله ها به صورت موازی با محور اسکرو هستند و طول کانال در واقع بی نهایت است.

با مشتق گیری از میزان سرعت محوری نسبت به θ و برابر با صفر



شکل ۴- نمای روبرو از کانال عبور جریان

که در آن γ دانسیته آمیزه بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب است. ضریب پشت رابطه به جهت یکسان سازی واحدها لحاظ شده است. دانسیته معمول آمیزه $\gamma = 1.1-1.2 \text{ g/cm}^3$ است.

محدودیت های مدل

محدودیت های هر مدل ریاضی در واقع به فرض های ساده کننده ای برمی گردد که در حین توسعه معادلات یا حل آن ها صورت گرفته است. در مورد مدل کاستر مهم ترین این فرض ها به اختصار عبارتند از:

۱- جریان پایا (صفر در نظر گرفتن جملات مشتقات زمانی در معادلات)

۲- سیال نیوتونی (ثابت فرض نمودن ویسکوزیته سیال)

۳- شرایط همدمای (عدم در نظر گرفتن معادلات انرژی و تأثیر دما بر ویسکوزیته)

۴- جریان یک بعدی (در نظر گرفتن جریان تنها در راستای طول کانال)

۵- یکنواختی اسکرو از لحاظ فاصله گام ها و عمق مارپیچ در طول اکسترودر (ثابت در نظر گرفتن پارامترهای هندسی مثل ارتفاع کانال)

۶- در نظر نگرفتن وجود لقی (فاصله بسیار کوچک بین پوسته و نوک باله ها)

۷- در نظر نگرفتن گرادیان فشار در طول کانال و اکسترودر

فرضیات یک تا سه مربوط به شرایط عملیاتی اکسترودر هستند و فرضیات چهار تا شش به هندسه و در نتیجه طراحی اکسترودر برمی گردند. شرط چهار در صورتی که نسبت عرض به ارتفاع (W/h) کانال زیاد باشد معتبر است.

در مورد فرض هفتم نکته بسیار مهم این است که دبی بدست آمده از مدل کاستر بدون در نظر گرفتن فشار و جریان برگشتی در کانال و صرفا با در نظر گرفتن جریان رو به جلو (جریان درگ)، ناشی از چرخش اسکرو و آن هم به صورت خطی است. این در حالی

به ارتفاع کانال بوده و ثابت نیست. بنابراین، برای بدست آوردن دبی کل باید از حاصلضرب سرعت در المان سطح انتگرال گرفت. مطابق شکل ۴ مساحت المان سطحی با عرض dh برابر است با $dA = 2\pi(R-h)dh$. بنابراین:

(۹)

$$dQ = V_x \cdot dA = \frac{2\pi h \omega r (R-h)}{R-r} \cos \theta \sin \theta dh$$

و در نتیجه:

$$Q = \frac{2\pi \omega r}{R-r} \int_0^{R-r} h(R-h) \sin \theta \cos \theta dh \quad (10)$$

دلیل عدم خروج زاویه باله θ از انتگرال همانطور که قبلا بیان شد این است که، زاویه مورد نظر خود تابعی از h است (رابطه ۸). به عنوان یک ساده سازی و به دلیل اینکه تغییرات زاویه باله با ارتفاع کانال زیاد نیست، از مقدار متوسط زاویه باله (θ_m) که به صورت زیر تعریف می شود، برای ادامه محاسبات استفاده می شود:

$$\theta_m = \frac{(\theta_j + \theta_i)}{2} \quad (11)$$

که θ_j و θ_i به ترتیب کمترین و بیشترین زاویه باله در ارتفاع کانال هستند.

بنابراین معادله دبی حجمی به صورت زیر ساده می شود:

(۱۲)

$$Q = \frac{2\pi \omega r \sin \theta_m \cos \theta_m}{R-r} \int_0^{R-r} h(R-h) dh$$

با حل این انتگرال خواهیم داشت:

(۱۳)

$$Q = 2\pi \omega r (R-r) \sin \theta_m \cos \theta_m \left[\frac{R}{2} - \frac{R-r}{3} \right]$$

این رابطه دبی حجمی را محاسبه می کند. دبی جرمی بر حسب کیلوگرم بر ساعت از رابطه زیر بدست می آید:

(۱۴)

$$G = 3.6 \times 10^6 Q \cdot \gamma$$

همراه است، هرچند این فرضیات مدل را تا حدی از واقعیت دور می‌کند، اما می‌توان با اصلاحاتی آن را برای کاربردهای واقعی به خوبی بکار برد [۴]. به عنوان مهمترین اثر جریان برگشتی (ناشی از فشار برگشتی) در معادلات قبلی به دست آمده لحاظ نگردیده است. در صورتی که فشار برگشتی لحاظ شود، دبی خروجی اکسترودر طبیعتاً کمتر از مقدار بدست آمده در قسمت قبل خواهد بود. تفاوت بین مقدار تئوری محاسبه شده و مقدار واقعی دبی با در نظر گرفتن ضریب عملکرد واقعی η بصورت زیر لحاظ می‌شود:

$$\eta = \frac{Q_{real}}{Q_{theory}} \quad (15)$$

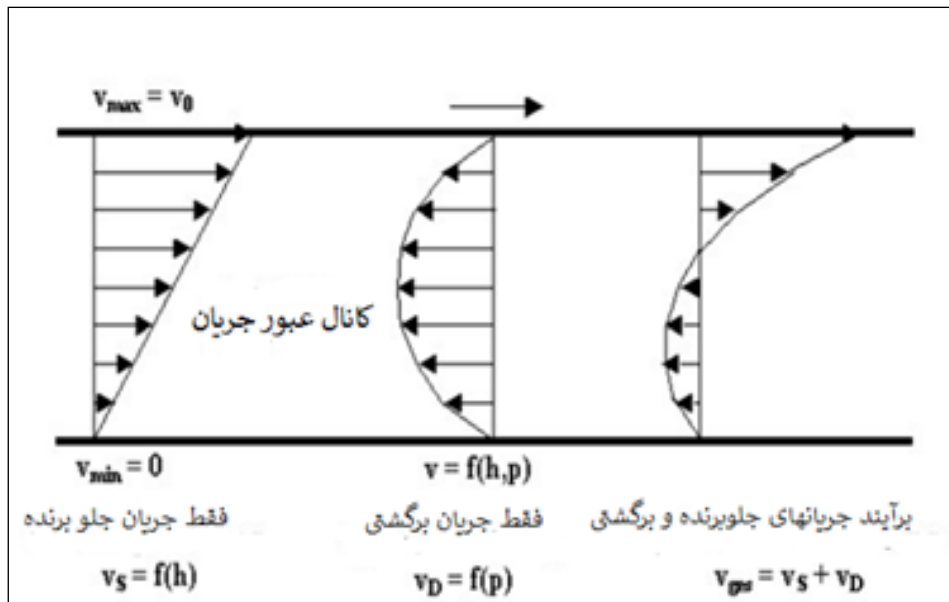
ضریب عملکرد به نوع اکسترودر، نوع طراحی اسکرو و خواص ماده وابسته و معمولاً مقداری در حد ۰/۷ (برای اکسترودرهای گرم) و ۰/۹ (برای اکسترودرهای سرد پین‌دار بازده بالا) دارد. به عنوان یک راهکار دقیق‌تر می‌توان با انجام تست‌های عملی بر روی یک اکسترودر و مقایسه دبی با دبی بدست آمده از مدل کاستر اثر تمامی پارامترهای در نظر گرفته نشده در این مدل را در بطن این

است که در واقعیت، فشار برگشتی به دلیل گرادیان فشار وجود دارد. در واقع در صورتی که، ماکزیمم جریان توسط مقاومت‌هایی نظیر یک ابزار شکل‌دهنده^۱ با سطح مقطع کمتر محدود شود، یک جریان برگشتی با پروفایل سهموی نیز به دلیل فشار برگشتی^۲ ایجاد شده به جریان اصلی جلوبرنده (جریان خطی) اضافه می‌شود. در شکل ۵ شماتیکی از پروفایل‌های سرعت درون کانال ناشی از حرکت چرخشی اسکرو و جریان برگشتی، به صورت کیفی مشخص شده است. همان‌طور که مشخص است جریان کل بصورت برآیند جریان رفت و برگشت خواهد بود.

علاوه‌براین، محدودکننده‌های جریان مثل پین‌های^۳ تعبیه شده در بدنه پوسته و طراحی‌های مختلف اسکرو، که به عنوان مثال عمق متغیر کانال یا طول گام‌ها در طول اسکرو راموجب می‌شوند، بر روی پروفایل جریان اکسترودر نیز تاثیرگذار هستند.

اصلاح مدل جهت کاربردهای واقعی

همان‌طور که بیان شد مدل کاستر با فرضیات نسبتاً زیادی



شکل ۵- شماتیک پروفایل سرعت درون کانال تحت اثر نیروی درگ (سمت چپ)، گرادیان فشار (وسط) و هر دو (سمت راست)

ضریب بدست آورد، و از آن برای پیش‌بینی اثر شرایط عملیاتی مختلف کارکرد اکسترودر بر دبی مورد انتظار استفاده نمود.

نتیجه‌گیری

مدل کاستر به عنوان یکی از اولین مدل‌هایی است که توصیف جریان داخل اکسترودرهای تک پیچه را ممکن ساخته است. در واقع در مورد مدل کاستر آنچه که واضح است، سادگی آن هم در اثبات و هم در کاربرد است. این سادگی به فرض‌های ساده‌کننده نسبتاً زیادی برمی‌گردد که در نظر گرفته شده است. با وجود تمام این فرض‌ها استفاده از نتایج این مدل، اولاً برای شناخت و درک پارامترهای اثرگذار (پدیدار شناختی^۱) بر جریان در اکسترودرها و ثانیاً با درصد خطای نه‌چندان زیاد در کاربردهای خاص موفقیت‌آمیز است. بخصوص با معرفی ضریب عملکرد اکسترودر و احتساب آن برای اکسترودرها، می‌توان انتظار داشت تا کاربرد

مراجع

1. Giles Jr, Harold F., Eldridge M. Mount III, and John R. Wagner Jr. Extrusion: the definitive processing guide and handbook. William Andrew, 2004.
2. Tadmor, Zehev, and Costas G. Gogos. Principles of polymer processing. John Wiley & Sons, 2013
3. Lakes, Roderic,. Viscoelastic materials. Cambridge university press, 2009.
4. Li, Yi, and F. Hsieh. "Modeling of flow in a single screw extruder." Journal of Food engineering 27.4 (1996): 353-375.
5. Rowell, H. S. & Finlayson, D. (1928). Screw viscosity pumps. Engineering, 126, 249-387.

این مدل در واقعیت را به خوبی مشاهده نمود. بر طبق مدل کاستر پارامترهای شعاع پیچ (r)، شعاع پوسته (R)، ارتفاع کانال عبور جریان (همان عمق مارپیچ) ($R-r$)، زاویه متوسط باله (θ_m)، سرعت زاویه‌ای چرخش پیچه (ω) و البته دانسیته سیال (γ) پارامترهایی هستند که به صورت مستقیم بر دبی آمیزه گذرنده از اکسترودر اثر می‌گذارند. آنچه که در عمل از اکسترودرها می‌دانیم، اگرچه موید اثر این پارامترهاست ولی پارامترهای دیگری نظیر ویسکوزیته، دما، گرادیان فشار، غیرنیوتونی بودن سیال و سایر پارامترهای هندسی اکسترودر مثل عرض کانال پیچ (W) و ضخامت پیچ (e) و لقی ... را نیز شامل می‌شود. اثر این پارامترها در مدلی که در قسمت دوم این مقاله خواهد آمد شناخته خواهد شد.

سپاسگزاری

IRM ...



M

Models for Predicting Fluid Flow in Extruders; Part I: The Koster's Model

M.M. Kamyabi

PhD, Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
Vali-e-Asr University, Rafsanjan, Iran

*Corresponding author Email: mm.kamyabi@vru.ac.ir

Abstract: Extruder as a material forming tool, is a basic and important equipment in the production process in various polymer industries, including rubber industry, industries based on plastic forming, food industry, etc. Since in most industries, extruders act as intermediate equipment and in series with other equipment, the production capacity of the product can depend on the amount of production in the extruder, which is a kind of flow rate of the extruder. Various factors affect the flow pattern and consequently the discharge output of the extruder. Knowing these factors and how they affect them is very effective in predicting the performance and determining the optimal operating points of this type of equipment. Therefore, in the present study and in two parts, two of the most important methods of modeling the fluid flow inside the extruders are investigated and the strengths and weaknesses of each in predicting the flow profile as well as The output flow of the extruder is determined. In the first part, Custer model is examined and in the second part, Tadmor and Gags model will be examined. The important point that has not been explored so far is that despite the various simplifications, the results of these models can be used to give an acceptable prediction of the performance of various extruders in industry.

Keywords: Extruder, Modeling, , Fluid, Production capacity