



بررسی عددی استفاده از نانوذرات بر کیفیت سطح برش و شدت خوردگی در برش کاری واتر جت

احمد علوی^۱، حسن کاوسی بلوتکی^{۱*}

۱. گروه مهندسی مکانیک، واحد ایذه، دانشگاه آزاد اسلامی، ایذه، ایران

* نویسنده مسئول: Hakavoosi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۶

چکیده

همگام با پیشرفت صنعت و تکنولوژی، نیاز به دستگاه‌ها و تجهیزات متنوع و تک منظوره افزایش می‌یابد. استفاده از نانوذرات فلزی از قبیل ذرات فولادی برای برش کاری در واتر جت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و سرعت برشکاری را افزایش خواهد داد. در این پژوهش نتایج مربوط به پارامترهای مختلف جریان از قبیل توزیع فشار استاتیک و توزیع سرعت، در واتر جت و اطراف آن با تغییر پارامترهای مختلف مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. همچنین با بحث درباره ناحیه مناسب برای برش کاری، هر کدام از پارامترهای جریان واتر جت بر این ناحیه تحلیل شده است. هرچه آشفته‌گی جریان کمتر باشد کیفیت برشکاری بهتر و خروجی سرعت نیز یکنواختی بهتری دارد و میزان افت سرعت کمتر خواهد بود. در نهایت مشخص گردید انرژی جنبشی و شدت آشفته‌گی با افزایش قطر ذرات از 10×10^{-5} تا 10×10^{-4} متر در دبی جریان 0.2 کیلوگرم بر ثانیه به ترتیب $8/73$ و $4/60$ درصد کاهش و شدت خوردگی و فشار عمودی ناشی از ذرات به ترتیب $737/20$ و $334/45$ درصد افزایش خواهند شد.

کلمات کلیدی: واتر جت، حل عددی، شدت آشفته‌گی، خوردگی

مقدمه

همگام با پیشرفت صنعت و تکنولوژی، نیاز به دستگاه‌ها و تجهیزات متنوع و تک منظوره روز بروز افزایش می‌یابد. علاوه بر این تنوع، سلیقه‌های گوناگون استفاده کنندگان و روند به سوی تکامل صنعت، موجب شده‌اند که دیگر سیستم‌های تولیدی قدیمی مانند ماشین‌های تراش معمولی، جوابگوی تغییرات مداوم در تقاضاهای بازار نباشند. در نتیجه، با تنگ‌تر شدن عرصه رقابت، تولیدکنندگان در سال‌های اخیر به ابداع سیستم‌های تولیدی پیشرفته روی آورده‌اند تا بتوانند هم قادر به ارضای نیازهای مشتری باشند و هم بقای خود را تضمین نمایند. در طی این تغییر و تحول سیستم‌های تولیدی، رایانه‌ها نقش بسیار مهمی را در هدایت، کنترل و پیگیری عملیات مختلف دستی یا ماشینی به‌عهده گرفته‌اند. از طرفی، به منظور کاهش خطاهای انسانی و ارتقای سطح تکرارپذیری و دقت عمل، ربات‌های گوناگونی طراحی و ساخته شده‌اند تا محصولات تولیدی از کیفیت و قابلیت اطمینان بالایی برخوردار شوند. یکی از این دستگاه‌های پیشرفته و کارآمد دستگاه برش بوسیله جت آب می‌باشد. دستگاه واتر جت یا برش با آب وسیله‌ای است که برای برش فلزات یا دیگر مواد مثل سنگ و گرانیت به کار برده می‌شود. در دستگاه واتر جت از یک جریان نازک آب معمولی یا مخلوطی از آب و مواد ساینده با سرعت و فشار بسیار بالا که از داخل یک روزنه کوچک خارج می‌شود، استفاده می‌گردد. زمانی که مواد مورد نظر برای برش دادن حساس به حرارت باشند استفاده از برش آب ارجحیت دارد در بعضی از واتر جت‌ها از آب خالی (بدون مواد ساینده) برای برش استفاده می‌کنند که این دستگاه‌ها برای بریدن مواد نرم‌تر مثل مواد غذایی، لاستیک و فوم مناسب هستند. ماشین‌های برش واتر جت در اوایل سال ۱۹۷۰ برای برش مواد چوبی و پلاستیکی شروع به کار کردند [۱]. برش به وسیله واتر جت ساینده در ابتدا به‌صورت تجاری در اواخر سال ۱۹۸۰ به عنوان یک موفقیت جدید در حوزه فن‌آوری فرآیندهای غیرمتمعارف شناخته شده بود [۲]. همچنین از دیگر مزایای واتر جت عبارتند است از تطبیق پذیری بالای ماشین‌کاری (انعطاف پذیری در ماشین‌کاری) نیروی برش کم، انعطاف پذیری بالا و بدون اعوجاج حرارتی. درمقایسه با دیگر فرآیندهای ماشین‌کاری، در هیچ منطقه‌ای تنش حرارتی ایجاد نمی‌گردد [۳]. سرعت بالا و قابلیت برش چند جهت، راندمان بالای برش، توانایی در برش اشکال پیچیده حتی سطوح غیرمسطح و بسیار

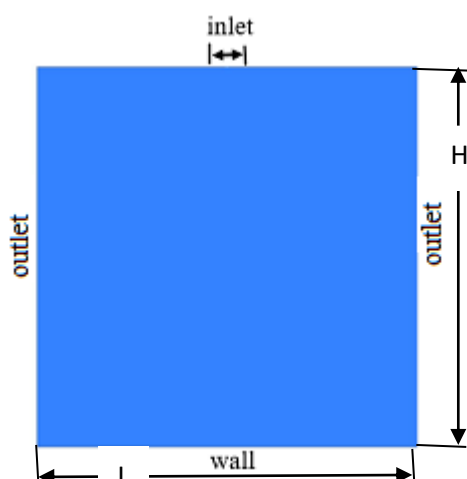


موثر در تله‌رانس‌های کوچک، ایجاد حداقل حرارت، تنش‌های تغییر شکل کم در قطعه ماشین‌کاری شده، اجرای آسان تغییرات الگوهای برش در کنترل کامپیوتری، تعدادی از مزایای ارایه شده توسط این فرآیند هستند که آن را برای اتوماسیون ایده‌آل می‌سازند. واتر جت بطور گسترده در تولید و فرآوری مواد از قبیل تیتانیوم، فولاد، برنج، آلومینیوم، سنگ، اینکونل و هر نوع شیشه و کامپوزیت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴]. یک جت آب ساینده یک جریان سریع آب که شامل اندکی مواد ساینده می‌باشد. مواد ساینده ذرات مواد خاصی مانند اکسید آلومینیوم، سیلیون کربید، بی‌کربنات سدیم، دولومیت و یا ذرات شیشه با اندازه دانه مختلف هستند [۵]. برشکاری جت آب ساینده فشار بالا اساساً یک فرآیند سایشی است که شامل دومکانیزم مجزا بسته به اینکه آیا فرسایش مواد ذرات ترد یا چکش خوار است شامل می‌شود [۶]. با کنترل فشار برش عمودی جت و نرخ جریان جداکننده، اثبات شده که سوراخ با کیفیت بالا می‌تواند توسط واتر جت ایجاد گردد. ژانگ و همکاران [۷] به بررسی عددی تاثیر مشخصات نازل بر سرعت و دبی جریان پرداختند. نتایج شبیه‌سازی آنها نشان داد که سرعت جریان با افزایش قطر خروجی به صورت غیرخطی کاهش یافته و نرخ جرمی جریان افزایش می‌یابد. تاثیر قطر داخلی کمتر نسبت به قطر خارجی کمتر مشهود بود. نتایج مدل با نتایج آزمایش مطابقت خوبی داشت و خطای نسبی بین ۰/۴ تا ۱۳/۳ درصد برآورد گردید. پارامترهای طراحی بهینه برای نازل جت از قطر داخلی و قطر خارجی به ترتیب ۱ و ۱ میلی‌متر و برای دستیابی به بالاترین نرخ مصرف نیتروژن ۰/۶ و ۰/۸ میلی‌متر برای داشتن بالاترین توانایی در برش خاک بوده است. ماروم و همکاران [۸] یک مدل ریاضی یک بعدی تقریبی را به صورت عددی مدل‌سازی کردند. با استفاده از داده‌های به دست آمده از شبیه‌سازی‌های عددی، مدل ریاضی برای محاسبه ضرایب افت اصطکاک اجزای واتر جت، پیش بینی نقطه حداکثر بازده آن و تعیین محدوده عملکرد آن به کار گرفته شد. نتایج ایشان نشان داد که مدل آشفتگی $k-\omega$ SST برای مدل‌سازی جریان واتر جت در تمام شرایط عملیاتی مناسب‌ترین مدل است. علاوه بر این، برای مقادیر بالاتر نسبت اختلاط، همبستگی احتمالی بین چگونگی حل لایه مرزی و چگونگی توانایی مدل برای ثبت منحنی بازده انژکتور بدست آمد. میلانی و همکاران [۹] یک رویکرد ترکیبی بین مدل‌سازی عددی و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی برای تحلیل یک سیستم تولید همزمان مبتنی بر واکنش آلومینیوم مایع و بخار آب پیشنهاد دادند. آنها از ضایعات آلومینیوم برای تولید هیدروژن استفاده نمودند و از دوربین‌های حرارتی با فرکانس بالا برای ارزیابی کیفی رفتار حرارتی جت آلومینیوم مایع به کار گرفتند. از تکنیک‌های تصویربرداری سریع برای ثبت الگوی جریان چندفازی جت فلز مایع در طول فاز تزریق استفاده شد و به طور خاص، تاثیر قطرهای مختلف نازل و فشارهای تزریق متفاوت بر جت آلومینیوم مایع بررسی گردید. برای نمایش دقیق تمام ویژگی‌های هندسی، رویکرد مدولار برای تقسیم بندی ناحیه اتخاذ نمودند، در حالی که از روش حجم محدود برای مدل‌سازی توزیع جریان چندفازی در هندسه واقعی تحت شرایط عملیاتی واقعی استفاده می‌گردد. در نهایت، تطابق خوبی بین اندازه‌گیری‌ها و محاسبات به دست آمد.

هدف از این پژوهش، شبیه‌سازی عددی سیستم واتر جت و پارامترهای موثر بر آن می‌باشد. از آب به همراه ذرات ساینده جهت برش‌کاری استفاده می‌گردد و به بررسی قطر ذرات و دبی جرمی بر برش‌کاری پرداخته می‌شود. برای مدل‌سازی جریان متلاطم، معادلات حاکم بر جریان متلاطم سیال در واتر جت از نرم افزار انسیس فلونت استفاده می‌شود و مدل توربولانس مورد استفاده $k-\epsilon$ می‌باشند. در نهایت تاثیر اثر قطر ذرات بر میزان سایش ایجاد شده در قطعه کار محاسبه می‌گردد.

هندسه و شرایط مرزی واتر جت

پارامترهای هندسی که در طراحی هندسه عمومی در نظر گرفته شده‌اند، فاصله قطعه کار (H) ۲۰ میلی‌متر و طول ناحیه سیال (L) ۲۰ میلی‌متر می‌باشد. جریان مورد بررسی بصورت پایا، تراکم ناپذیر، آرام و نیوتنی در نظر گرفته شده است. همچنین ویژگی‌های ترموفیزیکی برای سیال آب ثابت است و فرض می‌شود تمامی دیواره‌ها به صورت ثابت و با فرض عدم لغزش می‌باشند. در هندسه حاضر یک شرط ورودی، دو شرط خروجی و یک دیواره در نظر گرفته شده است. هندسه و شرایط مرزی در شکل (۱) آورده شده است.



شکل ۱: هندسه و شرایط مرزی

روش مدل‌سازی جریان

شبیه‌سازی عددی به شکل دو بعدی با کمک نرم‌افزار انسیس فلوئنت از روش حجم محدود حل شده است. برای حل معادلات از الگوریتم سیمپل استفاده شده است. با توجه به اینکه جریان تراکم ناپذیر است، از حل‌کننده فشار محور جهت حل مسئله و برای گسسته‌سازی معادلات ممنتوم و انرژی از گسسته‌سازی مرتبه دوم استفاده شده است. مقادیر زیر تخفیف^۱ برای مقادیر فشار، سرعت، انرژی و کسر حجمی مایع به ترتیب ۰/۳، ۰/۶، ۱ و ۰/۹ می‌باشد معیار همگرایی برای معادلات پیوستگی و ممنتوم ۱۰^{-۳}، و معادله انرژی ۱۰^{-۶} در نظر گرفته شده است. تمام تنظیمات صورت گرفته در نرم افزار در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱: تنظیمات حل مسئله در نرم افزار فلوئنت

فشار مبنا	نوع حل گر
ضمنی	نحو حل
دو بعدی	نوع مدل
پایدار	نوع جریان
k-ε استاندارد	مدل آشفتگی
آهن	جنس ذرات ساینده
۹۹۸	چگالی آب
۰/۰۰۱۱	ویسکوزیته آب
سیمپل	روش کوپل معادلات

معادلات حاکم بر رژیم جریان

با در نظر گرفتن مدل آشفتگی k-ε معادلات حاکم را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

معادله پیوستگی:

$$\nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (1)$$

معادله ممنتوم:

$$\rho U \cdot \nabla U = -\nabla P + \nabla \cdot (\mu_{eff} \nabla U) \quad (2)$$

¹ Under-Relaxation



که در آن $\mu_{eff} = \mu + \mu_1$.

انرژی جنبشی آشفته‌گی k

$$\rho \frac{\partial k u_i}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu + \frac{\mu_i}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} + \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho \varepsilon \quad (3)$$

پراکنش آشفته‌گی ε

$$\rho \frac{\partial (\varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu + \frac{\mu_i}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} + \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - c_\gamma \rho \frac{\varepsilon^\gamma}{k} \quad (4)$$

که در آن μ_t ویسکوزیته آشفته‌گی است که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\mu_t = \frac{C_\mu \rho k^\gamma}{\varepsilon} \quad (5)$$

در روابط (۱) تا (۵)، ρ ، U ، P ، μ_{eff} ، ε ، k ، به ترتیب چگالی، سرعت، فشار، ویسکوزیته موثر، پراکنش آشفته‌گی و نیروی جنبشی آشفته‌گی موثر هستند. در مدل آشفته‌گی، C_1 ، C_2 ، σ_k ، σ_ε و C_μ مقادیر ثابت هستند، $C_1=1/44$ ، $C_2=1/92$ ، $\sigma_k=1$ ، $\sigma_\varepsilon=1$ ، $C_\mu=0.09$ و $1/3$.

معادلات حاکم بر فاز گسسته جامد

معادله حاکم بر حرکت ذره در سیال بر اساس قانون دوم نیوتن:

$$\frac{d\vec{u}_p}{dt} = \vec{F}_D (\vec{u} - \vec{u}_p) + \frac{\vec{g}(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + \vec{F}_A + \vec{F}_P \quad (6)$$

در معادله بالا $\vec{F}_D (\vec{u} - \vec{u}_p)$ نیروی درگ بر واحد جرم ذره است و برابر است با:

$$\vec{F}_D = \frac{180}{\rho_p d_p^\gamma} \frac{C_D Re}{24} \quad (7)$$

که در اینجا \vec{u} سرعت فاز سیال، \vec{u}_p سرعت ذره، μ ویسکوزیته سیال، ρ چگالی سیال، ρ_p چگالی ذره و d_p قطر ذره می‌باشد. C_D ضریب نیروی درگ می‌باشد و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$C_D = \frac{24}{Re} (1 + 0.15 Re^{0.687}) \quad (8)$$

Re عدد رینولدز نسبی ذره است و بدین ترتیب تعریف می‌گردد.

$$Re = \frac{\rho |\vec{u}_p - \vec{u}| d_p}{\mu} \quad (9)$$

نیروی گرادیان فشار، نیروی مورد نیاز برای شتاب دادن سیالی است که در صورت غیاب ذره، حجمی معادل ذره را اشغال می‌کند. این نیرو به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\vec{F}_p = \left(\frac{\rho}{\rho_p} \right) \vec{u}_p \nabla u \quad (10)$$

نیروی جرم اضافه شده به علت اختلاف شتاب بین سیال و ذره بوجود می‌آید. در هنگام شتاب گرفتن ذره، سیال یک جرم مجازی بر روی ذره وارد می‌کند. این نیروی زمانی اهمیت پیدا می‌کند که اختلاف چگالی سیال و ذره قابل توجه باشد.



$$\vec{F}_A = \frac{1}{2} \frac{\rho}{\rho_p} \frac{d}{dt} (\vec{u} - \vec{u}_p) \quad (11)$$

ردیابی ذره

شبیه‌سازی ردیابی ذره پس از بدست آوردن حل جریان سیال حامل، انجام می‌گردد. در این تحقیق از روش ردیابی ذره به صورت اویلری - لاگرانژی استفاده می‌شود. در این روش جریان سیال بر روی یک شبکه ثابت حل می‌شود و ذرات به صورت لاگرانژی دنبال می‌شوند. معمولاً این روش‌ها مدل ذره گسسته (DPM) یا مدل جزء گسسته (DEM)^۲ نیز نامیده می‌شوند. در این روش‌ها اثر متقابل ذره - ذره، ذره - دیوار و ذره - سیال می‌تواند در نظر گرفته شود. در اینجا از اثر ذره - ذره صرف‌نظر شده است.

مدل پیش‌بینی فرسایش

اطلاعات برخورد مانند سرعت برخورد و زاویه برخورد به عنوان ذراتی که به دیوار ضربه می‌زنند، جمع‌آوری می‌شود. با استفاده از این اطلاعات نرخ فرسایش محاسبه می‌گردد. در اینجا از مدل پیش‌فرض فلوننت استفاده می‌شود. در رابطه زیر ER نرخ فرسایش برحسب kg/m^2s می‌باشد.

$$ER = \sum_{p=1}^{N \text{ particles}} \frac{\dot{m}_p C(d_p) f(\alpha) v^{b(v)}}{A_{face}} \quad (12)$$

که در آن $C(d_p)$ تابعی از قطر ذره، $f(\alpha)$ تابع زاویه برخورد و $b(v)$ تابعی توانی سرعت نسبی ذره می‌باشد. این مقادیر از مدل هاسر و کاورنولد استفاده می‌شود. a زاویه برخورد مسیر ذره با سطح دیوار و v سرعت نسبی ذره می‌باشد. A_{face} مساحت سطح سلول در دیواره می‌باشد. \dot{m}_p نیز دبی جرمی ذرات می‌باشد. رابطه (۱۳) را می‌توان با تقسیم بر دبی جرمی شن و ماسه و چگالی دیواره لوله برحسب mm/kg نیز نوشت:

$$ER = \sum_{p=1}^{N \text{ particles}} \frac{1000(d_p) f(\alpha) v^{b(v)}}{A_{face} \rho_w} \quad (13)$$

در رابطه فوق ۱۰۰۰ برای تبدیل به mm می‌باشد.

بررسی اندازه شبکه و اعتبار سنجی نتایج

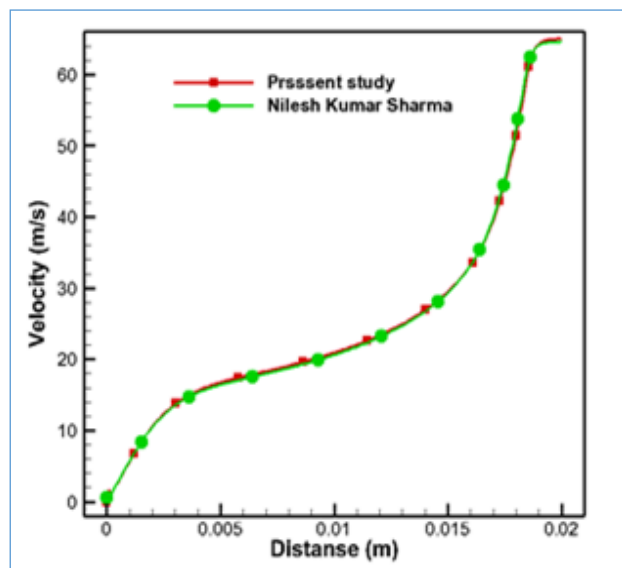
بررسی استقلال شبکه بندی هندسه جریان برای تحلیل معادلات از اهمیت زیادی برخوردار است. شبکه ایجاد شده در جریان با سازمان بوده و در ناحیه تزریق جریان از تعداد سلول بیشتری استفاده شده است و تعداد سلول‌های حل ۷۵۰۳۰ می‌باشد. در شکل (۲) نمودار توزیع سرعت خط مرکزی تحقیق حاضر با نتایج عددی کومار و همکاران [۱۰] مقایسه شده است که نشان می‌دهد نتایج از دقت خوبی برخوردار می‌باشد.

نتایج عددی بررسی قطر ذرات در عملکرد واتر جت

یکی از پارامترهای موثر در میزان خوردگی قطر ذرات ساینده می‌باشد لذا در این بخش به بررسی اثر قطر ذرات در میزان خوردگی و مشخصات آشفته‌گی جریان بررسی خواهد شد. قطر ذرات در نظر گرفته شده شامل 10×10^{-5} ، 10×10^{-4} و 10×10^{-5} می‌باشد.

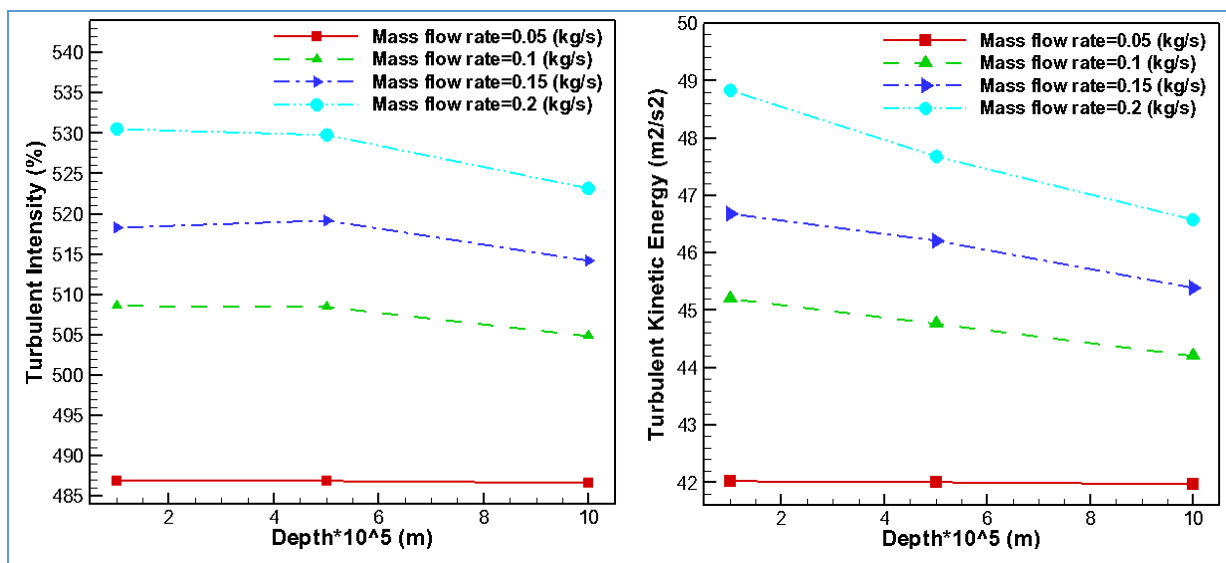
¹ Discrete Particle Model

² Discrete Element Model



شکل ۲: نمودار توزیع سرعت در خط مرکزی

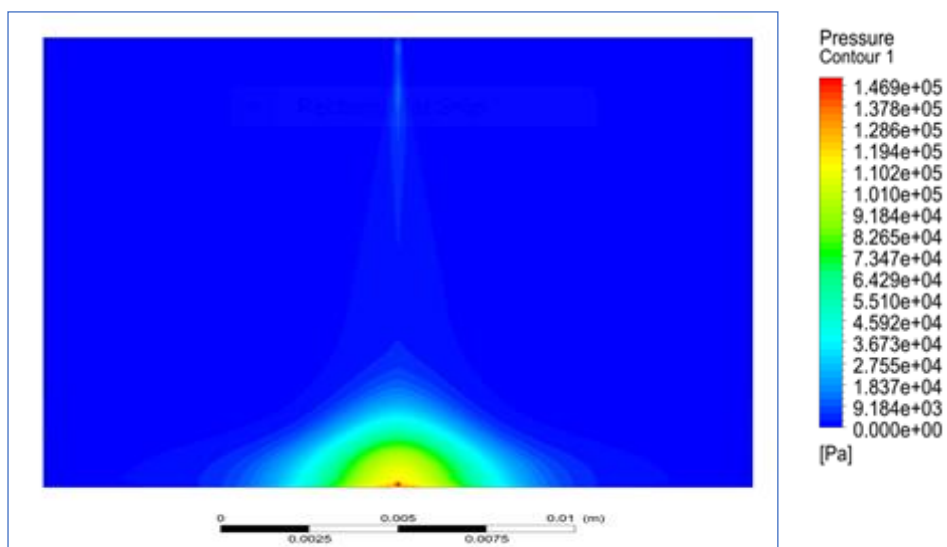
در تحلیل میزان اثر قطر ذرات بر خوردگی، یکی از مشخصات مهم در کیفیت برش کاری میزان شدت آشفته‌گی و انرژی جنبشی آشفته‌گی جریان می‌باشد. با افزایش قطر ذرات ساینده شدت آشفته‌گی و انرژی جنبشی آشفته‌گی جریان کم شده ولی با افزایش دبی جریان میزان شدت آشفته‌گی و انرژی جنبشی آشفته‌گی جریان افزایش می‌یابند. در شکل (۳) تاثیر قطر ذرات بر میزان شدت آشفته‌گی و انرژی جنبشی آشفته‌گی در دبی جریان مختلف و همچنین در شکل‌های (۴) و (۵) کانتور سرعت و فشار نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد با افزایش قطر ذرات، انرژی بیشتری جهت به حرکت درآوردن ذرات نیاز می‌باشد. لذا انرژی جنبشی و شدت آشفته‌گی جریان کم خواهند شد. با توجه به نمودار انرژی جنبشی و شدت آشفته‌گی با افزایش قطر ذرات از 10×10^{-5} تا 10×10^{-4} متر در دبی جریان 0.2 کیلوگرم بر ثانیه میزان هر دو مشخصه به ترتیب $8/73$ و $4/60$ درصد کاهش می‌یابند.



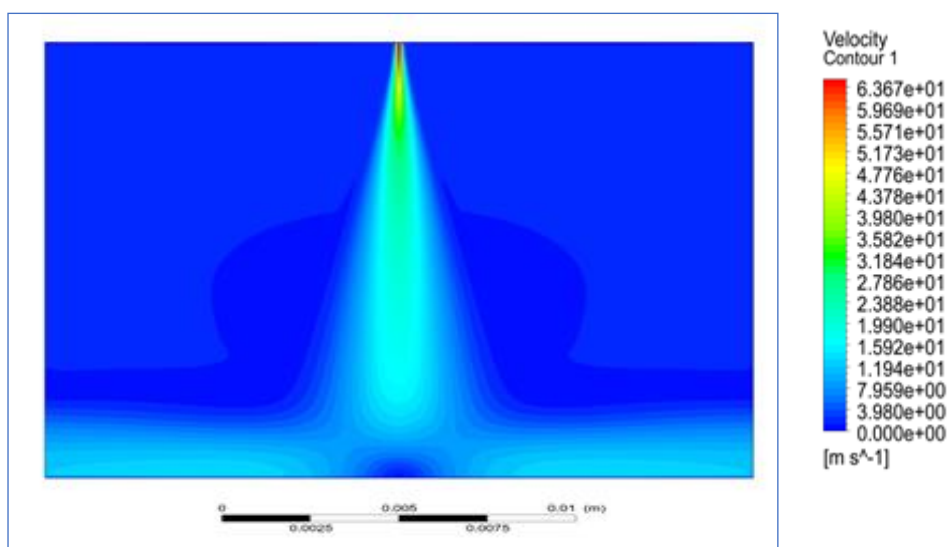
ب: شدت آشفته‌گی

الف: شدت انرژی جنبشی آشفته‌گی

شکل ۳: تاثیر قطر ذرات بر میزان شدت آشفته‌گی و انرژی جنبشی آشفته‌گی

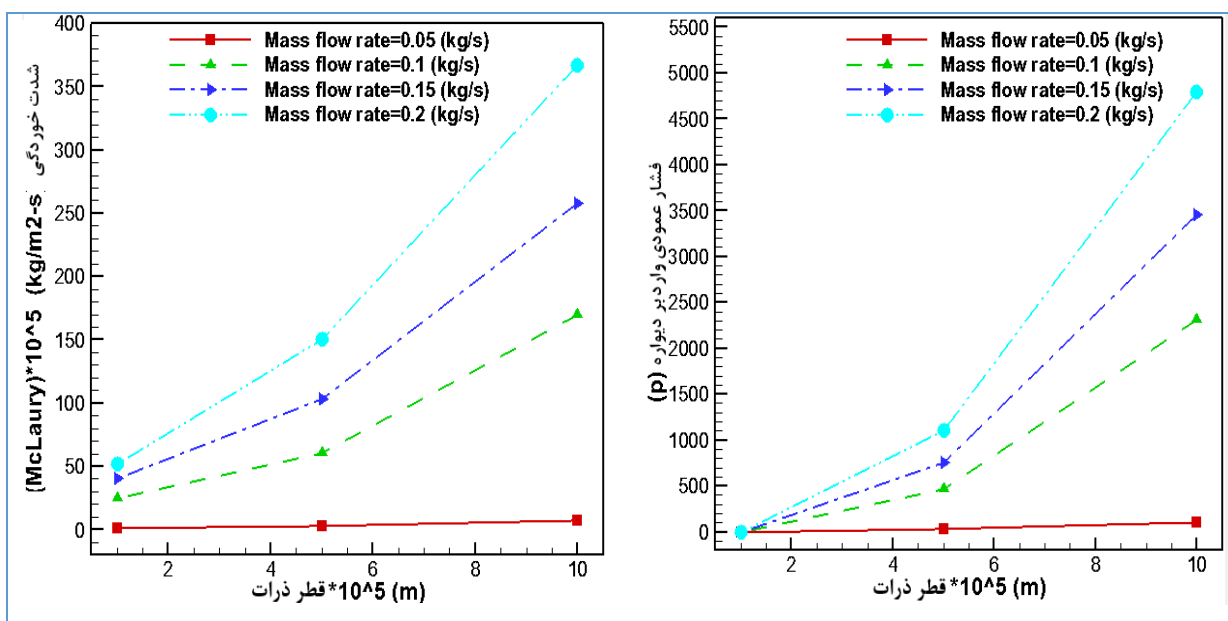


شکل ۴: کانتور فشار

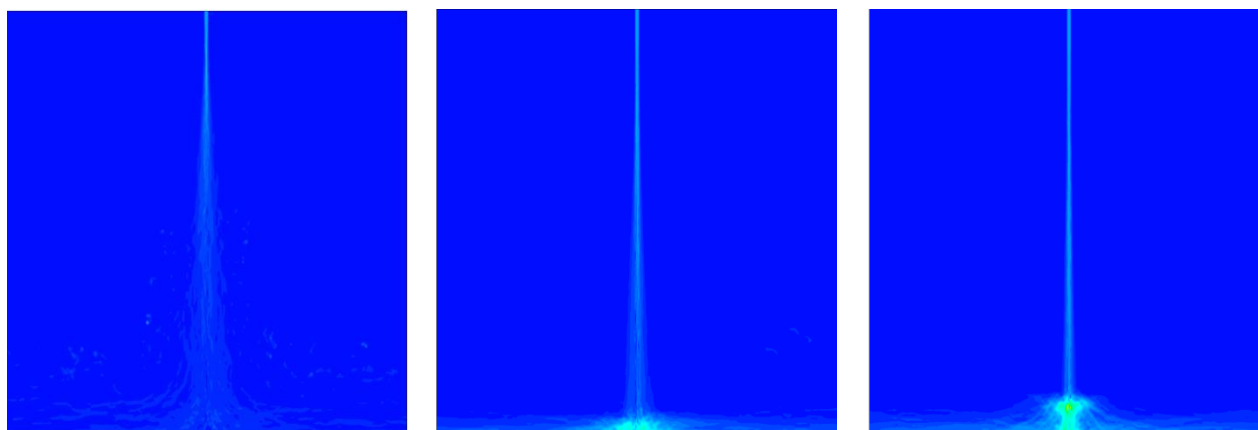


شکل ۵: کانتور سرعت

همانطور که بیان گردید میزان قطر ذرات بر خوردگی اثر گذار می باشد. با افزایش قطر ذرات ساینده شدت فشار ایجاد شده در ناحیه برشکاری بیشتر شده و اثر خوردگی جریان بر سطح قطعه کار بیشتر خواهد شد. در شکل (۶) تاثیر قطر ذرات بر میزان شدت خوردگی و فشار عمودی ناشی از ذرات در دبی جریان مختلف و همچنین در شکل (۷) کانتورهای توزیع ذرات ارایه شده است. کاهش قطر ذرات باعث پخش ذرات سیال برنده در آب می شود و ناحیه برش کاری از حالت یکنواختی در خواهد آمد زیرا میدان سرعت توزیع گسترده تر خواهد شد. ناحیه مناسب برای برش کاری ناحیه ای می باشد که میدان سرعت ذرات در آن یکنواخت باشد. همانطور که در کانتورها مشاهده می شود با افزایش قطر ذرات به هم پیوستگی ذرات بیشتر خواهد شد و پراکندگی ذرات کمتر خواهد شد. یکی از علت های کاهش پراکندگی، افزایش اینرسی ذرات در حرکت می باشد با افزایش قطر ذرات وزن ذرات بیشتر شده و در نتیجه تاثیر مستقیم در اینرسی ذرات خواهند داشت. همچنین با افزایش قطر ذرات تخریب و خوردگی جریان نیز افزایش می یابد. با توجه به نمودارها شدت خوردگی و فشار عمودی ناشی از ذرات با افزایش قطر ذرات از 10×10^{-5} تا 10×10^{-4} متر در دبی جریان $0/2$ کیلوگرم بر ثانیه میزان هر دو مشخصه به ترتیب $737/20$ و $334/45$ درصد افزایش می یابند.



شکل ۶: تاثیر قطر ذرات بر میزان شدت خوردگی و فشار عمودی

قطر 10×10^{-5} قطر $5 \times 10 \times 10^{-5}$ قطر 10×10^{-4}

شکل ۷: کانتورهای توزیع ذرات

نتیجه‌گیری

با افزایش قطر ذرات انرژی بیشتری جهت به حرکت درآوردن ذرات نیاز می‌باشد، لذا انرژی جنبشی و شدت آشفته‌گی جریان کم خواهند شد. همچنین هرچه آشفته‌گی جریان کمتر باشد کیفیت برش‌کاری بهتر و خروجی سرعت نیز یکنواختی بهتری دارد و میزان افت سرعت کمتر خواهد بود. انرژی جنبشی و شدت آشفته‌گی با افزایش قطر ذرات از 10×10^{-5} تا 10×10^{-4} متر در دبی جریان 0.2 کیلوگرم بر ثانیه میزان هر دو مشخصه به ترتیب $8/73$ و $4/60$ درصد کاهش می‌یابند. دبی جریان ورودی و هم قطر ذرات ساینده هر دو عامل مهمی در سایش سطح قطعه کار دارند. شدت خوردگی و فشار عمودی ناشی از ذرات با افزایش قطر ذرات از 10×10^{-5} تا 10×10^{-4} متر در دبی جریان 0.2 کیلوگرم بر ثانیه میزان هر دو مشخصه به ترتیب $737/20$ و $334/45$ درصد افزایش یافته‌اند.



مراجع

- [1] Kovacevic, R., Hashish, M., Mohan, R., Ramulu, M., Kim, T.J., Geskin, E.S., (1997). State of the art of research and development in abrasive waterjet machining. Transactions of ASME. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 119, pp 765-785.
- [2] Selvan, M.C., Raju, N.M., Sachidananda, H.K., (2012). Effects of process parameters on surface roughness in abrasive waterjet cutting of aluminum. Frontiers of Mechanical Engineering 7(4), pp 439-444.
- [3] Jurisevic, B., Brissaud, D., Junkar, M., (2004), Monitoring of abrasive water jet (AWJ) cutting using sound detection. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 24, 733-737.
- [4] Kechagias, J., Petropoulos, G., Vaxevanidis, N., (2012). Application of Taguchi design for quality characterization of abrasive water jet machining of TRIP sheet steels. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 62, pp 635-643.
- [5] Parikh, P.J., Lam, S.S., (2009). Parameter estimation for abrasive waterjet machining process using neural networks. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 40, pp 497-502 .
- [6] Chen, F.L., Siores, E., (2003). The effect of cutting jet variation on surface striation formation in abrasive water jet cutting. Journal of Materials Processing Technology, 135, pp 1-5.
- [7] Sharma, N. K., Dewangan, S. K., Gupta, P. K., (2023). CFD analysis of slurry jet behavior after striking the target surface and effect of solid particle concentration on jet flow. Materials Today: Proceedings, 80, pp 1737-1741.
- [8] Oliveira Marum, V. J., Reis, L. B., Maffei, F. S., Ranjbarzadeh, S., Korkischko, I., Rafael dos S., G., Meneghini, J. R., (2021), Performance analysis of a water ejector using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations and mathematical modeling, Energy, 220 ,119779.
- [9] Milani, M., Montorsi, L., Storch, G., Venturelli, M., (2021), CFD analysis and experimental measurements of the liquid aluminum spray formation for an Al-H₂O based hydrogen production system, International journal of hydrogen energy , 46(3), 30615-30624.
- [10] Nilesh Kumar S. , Satish Kumar D., Pankaj Kumar ., (2023), CFD analysis of slurry jet behavior after striking the target surface and effect of solid particle concentration on jet flow, Materials Today: Proceedings, pp 1737-1741.