



بررسی عددی جریان نانوسیال نیوتونی و غیرنیوتونی در یک میکروکانال تحت تأثیر چرخش و EDL

بهنازار جمندکرمانی | یونس بخشان* | سعید نیازی

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، هرمزگان

چکیده: در این پژوهش، سیال خون به دو صورت با در نظر گرفتن نیوتونی و غیرنیوتونی با درصدهای غلظت ذرات متفاوت در داخل یک میکروکانال مستطیلی سه بعدی که در محفظه حول محور عمودی با سرعت زاویه‌ای ثابت دوران می‌کند. تحت تأثیر جریان الکتریکی مستقیم قرار دارد، بررسی عددی شده است. نتایج عددی در تعداد نانوذرات متفاوت در سیال نیوتنی و غیر نیوتنی استخراج و مشاهده شد که افزایش تعداد ذرات، افزایش سرعت سیال در جهات متفاوت را نشان می‌دهد. با افزایش کسر حجمی، فشار در امتداد کانال بیشتر می‌شود. همچنین، با بررسی عددی سرعت و نحوه توزیع ذرات نتیجه‌گیری شده است که تغییرات سرعت در سیال غیر نیوتنی بسیار کمتر از سیال نیوتنی بوده و عملاً جریان سیالات غیر نیوتنی به میدان الکتریکی قوی‌تر نیازمند است.

واژگان کلیدی: نانوذرات، سیال غیرنیوتونی، میکروکانال، نیروی الکتریکی، سرعت دورانی.

bakhshan@hormozgan.ac.ir

| | | |
|--|---|--|
| μ : گرانروی | \mathcal{E} : ثابت دی الکتریک متوسط | \mathcal{E}_f : ثابت دی الکتریک سیال |
| μ_{EV} : گرانروی نانوسیال در اثر جریان edl | \mathcal{E}_0 : ثابت دی الکتریک فضای آزاد | k_B : ثابت بولتزمن |
| Ω : سرعت زاویه‌ای | $k^{-1} = \sqrt{\frac{\epsilon\epsilon_0 k_B T}{2nz^2 I}}$: ضخامت دبی هوکل | $\frac{1}{k}$: پارامتر دبی-ها کل |
| I : قدرت یونی | ρ : چگالی شارژ سیستم | V_m : حجم مخلوط |
| P : ضریب گرانروی اولیه سیال | E_x : پتانسیل الکتریکی در راستای x | $N_{p,v}$: تعداد ذرات |
| σ : مقاومت الکتریکی نانو سیال بدون حضور edl | | |

۱- مقدمه

بررسی جریان آرام نانوسیال غیرنیوتنی کربوکسی متیل با غلظت و ذرات متفاوت ($0 < \phi < 10\%$) و ($10^3 < R_{nf} < 10^6$) در داخل یک محفظه مکعبی پرداخته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در غلظت‌های بیشتر عدد پرانتل کاهش می‌یابد.

در سال ۲۰۱۰ تانگ و همکارانش [۶] به حل عددی پتانسیل الکتریکی حاصل از جریان الکتروگرانو یک سیال غیرنیوتنی در داخل یک میکرو کانال با مدل لاتیک-بولتزمن پرداخته است، نشان می‌دهد که تاثیر ویگرانروی سیال برشی نازک $n < 1$ در نزدیکی دیواره کوچکتر از تاثیر الکتروگرانروی است ولی در سیال غیرنیوتنی $n > 1$ الکتروگرانروی تاثیر بسیار کمی دارد و قابل چشم-پوشی است.

در سال ۲۰۰۹ جانگ به همراه یو [۷] به بررسی تاثیر جریان edl بر ضریب انتقال حرارت هدایتی نانوسیال پرداخته است. در سال ۲۰۰۸ سی تی جیون و همکارش [۸] این مقادیر فیزیکی برای نانو سیال آب-آلومینیم به دست آمده است.

در این پژوهش، به بررسی میدان جریان با در نظر گرفتن میدان الکتریکی و چرخش در یک میکروکانال به صورت عددی پرداخته شده است و رفتار سیالات به دو صورت نیوتنی و غیرنیوتنی همراه با نانوذرات در نظر گرفته شده است.

۲- محاسبات

۲-۱- بیان مسئله

سیال به دو صورت نیوتنی و غیرنیوتنی با درصد غلظت ذرات متفاوت در داخل یک میکروکانال با ابعاد ورودی 0.2 در 0.2 میلی متر و با طول 4 میلی متر در نظر گرفته شده است. سیال داخل میکروکانال خون در نظر گرفته شده و محفظه حول محور Z با سرعت زاویه‌ای ثابت Ω دوران می‌کند. دو وجه موازی که عمود بر محور X ها قرار دارند به جریان الکتریکی مستقیم وصل می‌شوند. جریان سیال و نانوذرات آلومینیم اکسید هر دو آرام و پایدار در نظر گرفته شده‌اند. برای شبیه‌سازی سیال از فرمول بندی اویلری و شبیه‌سازی نانوذرات از روش لاگرانژی استفاده شده است. طرح-واره مسئله در شکل شماره (۱) نشان داده شده است.

با توجه به استفاده‌هایی که از نانوسیالات برای داشتن تبادل حرارت بهتر و همین‌طور، نانوسیال زیستی مثل خون که در طبیعت وجود دارد، لازم است به بررسی جریان نانوسیالات پرداخته شود. نانوسیال اگر بطور یکنواخت ذرات در داخل آن قرار نگیرند، به‌عنوان یک نانوسیال غیرنیوتنی شناخته می‌شود و اما جدا کردن ذرات در داخل نانوسیال یکی از کاربردهای جریان الکتریکی دوگانه (EDL) است. به‌عنوان مثال خون که یک نانوسیال است از جریان EDL برای جدا کردن پلاکت خون استفاده می‌شود. جریان چرخشی در محفظه‌ها افزون بر اینکه باعث افزایش دمای سیال می‌شود، در کنار جریان EDL به جداسازی جریان کمک بهتری می‌کند. که کاربردهای آن در دستگاه تشخیص هویت، دستگاه جداسازی پلاکت خون است.

در اینجا به بررسی تاثیر دوران و جریان EDL به‌طور همزمان بر رفتار نانوسیال نیوتنی و غیرنیوتنی و مقایسه آنها با یکدیگر پرداخته شده است. سرعت نانوذرات، سرعت و فشار سیال در راستای X, Y, Z در صفحات متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته است.

در سال ۲۰۱۰ یانگ و همکارانش [۲] به مطالعه تجربی و تئوری جریان اسموز سیال غیرنیوتنی در داخل یک میکرو کانال مربعی و بررسی تاثیر ابعاد کانال بر روی پروفیل سرعت پرداخته است.

در سال ۲۰۱۴ میلاد تاجیک و همکارانش [۳] به بررسی گرانروی و شکل ذرات، Al_2O_3, TiO_2, CuO را در داخل روغن از کارخانه بهران با غلظت 1% تا 2% در دمای $15/6$ پرداخته و قطر ذرات، درصد غلظت و شکل ذرات به‌طور کامل مشخص شده است. این داده‌ها با داده‌هایی که از طریق دستگاه گرانروی به دست آمده، مقایسه شده و کلیه بررسی‌ها در حالت دائم است. این رابطه مقادیری که برای گرانروی می‌دهد در مقایسه با گرانروی در گستره وسط به‌طور کامل تطبیق دارد اما در مقادیر کم یا زیاد از مقدار واقعی فاصله می‌گیرد.

سیمنگچن و همکارانش [۴] در سال ۲۰۱۴ با استفاده از مدل ریاضی (روش لاتیک بولتزمن) به بررسی جریان در داخل کانال که در راستای X جریان edl وجود دارد پرداخته و نیروی دراگ را محاسبه کرده‌اند و سپس، به بررسی تاثیر ولتاژ بر سرعت سیال در طول کانال پرداخته است. ترنیک و ادولف [۵] در سال ۲۰۱۳ به

اگر نیرو بصورت برداری نوشته شود خواهیم داشت:

$$m \left(\frac{d^2 x}{dt^2} \right) = \bar{F} - m \bar{\Omega} \times (\bar{\Omega} \times x) - 2m \bar{\Omega} \times \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

که در آن:

$$F = -2m \bar{\Omega} \times \frac{dx}{dt} \quad \text{نیروی سانتریفیوژ:}$$

$$F = -m \bar{\Omega} \times (\bar{\Omega} \times x) \quad \text{نیروی کریولیس:}$$

نیروی سانتریفیوژ ایجاد نیروی جاذبه کرده و باعث ایجاد یک گرادیان پتانسیل می شود و فشار موثر بصورت زیر در می آید.

$$P^* = P - \frac{1}{2} \rho (\Omega \times x)^2 - \frac{1}{2} \rho (\Omega \times y)^2 \quad (3)$$

در این مسئله که سرعت زاویه ای ثابت است شتاب زاویه ای صفر است و عدد رینولدز به صورت زیر تعریف می شود:

$$Re = \frac{uL}{\nu} \quad (4)$$

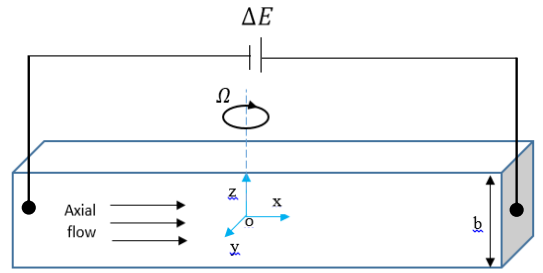
که در معادله بالا L طول و V سرعت سیال است. اگر عدد رینولدز بزرگ باشد ترم حرکت سیال نزدیک جداره جایی که ویسکوزیته زیاد است یک کمیت مهم به نام راسبی که نسبت شتاب جابجایی و شتاب کریولیس است اهمیت پیدا می کند.

$$Ro = \frac{|v \cdot \nabla v|}{|2\Omega \times v|} \approx \frac{v^2/L}{2\Omega v} = \frac{v}{2\Omega L} \quad (5)$$

در جایی که رینولدز کوچکتر از ۱ باشد، شتاب کریولیس اهمیتی ندارد و می توان از آن صرف نظر کرد. عدد اکمن به صورت نسبت نیروی گرانروی به نیروی کریولیس است، که داریم:

$$Ek = \frac{v \nabla^2 v}{2\Omega \times v} \approx \frac{v^2/L^2}{2\Omega v} = \frac{v}{2\Omega L^2} = \frac{Ro}{Re} \quad (6)$$

$$\frac{\eta - \eta_\infty}{\eta_0 - \eta_\infty} = \frac{1}{(1 + m(\dot{\gamma})^n)} \quad (7)$$



شکل ۱- میکروکانال مورد بررسی (میدان حل)

چون از خون به عنوان سیال غیرنیوتنی استفاده شده است. خواص آن در جدول شماره (۱) آمده است.

جدول ۱- خواص خون

| پارامتر | مقدار | مرجع |
|---------------------------------------|------------|------|
| چگالی (kg/m ³) | ۱۰۵۰ | [۲] |
| ویسکوزیته نیوتنی kg/(m.s) | ۰,۰۰۳۵ | [۲] |
| ویسکوزیته غیرنیوتنی | مدل توانی | [۱۰] |
| نفوذپذیری مغناطیسی h/m | ۰,۰۰۰۰۰۲۸۸ | [۵] |
| هدایت حرارتی w/(m.k) | ۰,۵۲ | [۵] |
| ظرفیت حرارتی ویژه J/kg ^o K | ۴۲۰۰ | [۵] |

در این پژوهش، از نانوذرات آلومینیوم اکسید در سیال پایه استفاده می شود. به دلیل وجود این نانو ذرات در داخل سیال بسیاری از ویژگی سیال تغییر می کند که می توان با روش های تحلیلی و تجربی آنها را بدست آورد که در اینجا ویژگی نانوسیال با استفاده از محاسبات به دست می آید.

۲-۲- معادلات حاکم

چرخش پایدار با توجه به شکل (۱) یک مختصات کارتیزین فرض می کنیم با سرعت زاویه ای Ω و که چرخش حول محور z است. دستگاه مختصات مرجع ما می باشد. مختصات یک نقطه به مقدار جابجایی بستگی دارد. نیرویی که نسبت به محور مرجع ایجاد می شود بصورت زیر است:

$$\begin{aligned} F'_x &= F_x \cos(\Omega t) - F_y \sin(\Omega t) \\ F'_y &= F_x \sin(\Omega t) + F_y \cos(\Omega t) \\ F'_z &= F_z \end{aligned} \quad (1)$$

معادلات جریان حاکم بر فاز اوپلری و سیال معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی هستند که معادله پیوستگی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (13)$$

معادله مومنتوم به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + (U \cdot \nabla)U + 2(\bar{\Omega} \times U) \\ = -\nabla P + \nabla \cdot (\eta D) \\ + \rho_e E \end{aligned} \quad (14)$$

و در نهایت معادله انرژی که تعریفی مطابق معادلات زیر دارد:

$$\rho c_p \frac{DT}{Dt} = \nabla \cdot (K \nabla T) + \mu \phi + s \quad (15)$$

$$S = \frac{E_x^2}{\sigma} \quad (16)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_{nf}}{\cosh\left(\frac{ez\Psi}{k_B T_{ave}}\right)} \quad (17)$$

در معادله بالا $\mu\phi$ گرمای تولید شده در اثر گرانیروی سیال و S گرمای ژول است، در واقع گرمایی است که در اثر جریان الکتریکی در سیال ایجاد می‌شود.

با توجه به اینکه در کسر حجمی‌های متفاوت مسئله را حل می‌کنیم، روش رهاسازی ذرات به این صورت است که فرض می‌شود ذرات از ابتدا در تمام طول کانال با توزیع یکنواخت وجود دارند. کسر حجمی به صورت حجم فاز گسسته به حجم کل طبق معادله زیر تعریف می‌شود:

$$\xi = \frac{\sum_{K=1}^{N_p} N_{p,v}}{V_m} \quad (18)$$

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اعتبارسنجی داده‌های موجود در مقاله

برای اعتبارسنجی از داده‌های موجود در مقاله کاوشیک و همکارانش [۱] استفاده شده است. این مقاله مسئله را برای یک میکروکانال که یک سیال درون آن جریان دارد و حول محور خود که در مرکز کانال قرار دارد، می‌چرخد و دو سمت

که در آن ثابت‌های η_0 و η_∞ به ترتیب، ویسکوزیته‌های برشی صفر و بینهایت هستند. برای $n < 1$ این مدل نیز رفتار نازک برشی از خود نشان می‌دهد. همچنین، گستره نیوتنی در این مدل $m \rightarrow 0$ واقع است. اگرچه در ابتدا کراس پیشنهاد کرد که $n=2/3$ باشد.

یک مدل دیگر برای سیالات برشی نازک بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد، بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\frac{\eta - \eta_\infty}{\eta_0 - \eta_\infty} = (1 + (\lambda\gamma)^2)^{(n-1)/2} \quad (8)$$

که در آن ثابت‌های η_0 و η_∞ ، به ترتیب، ویسکوزیته‌های برشی صفر و بینهایت بوده و λ ثابت زمانی است. برای سیالات برشی نازک، n کوچکتر از یک است [۹]. برای استفاده از این مدل در مورد خون داریم:

$$\begin{aligned} \eta_0 &= 0.056 \text{ pa.s} & \eta_\infty &= 0.0345 \text{ pa.s} \\ n &= 0.3568 & \lambda &= 3.313 \text{ sec} \end{aligned}$$

تاثیر جریان EDL با پارامتر زیر تعریف می‌شود:

$$P = \frac{(1+K^{-1})^3 - r^3}{r^3} \quad (9)$$

$$[\mu]_{EV} = [\mu] (1 + P) \quad (10)$$

با وجود جریان edl تابع پتانسیل Ψ که ایجاد نیرویی حجمی F بنام لورنز در راستای x می‌کند، از رابطه زیر بدست می‌آید.

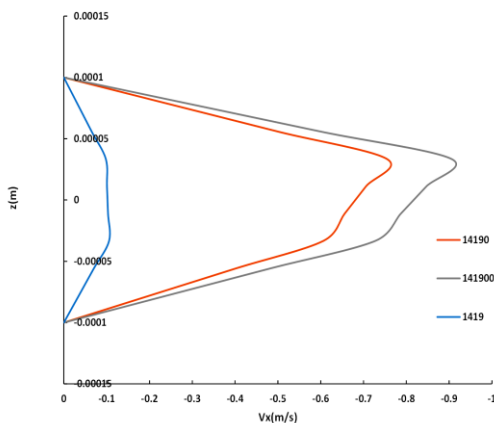
$$\nabla^2 \Psi = \frac{d^2 \Psi}{dy^2} + \frac{d^2 \Psi}{dz^2} = -\frac{\rho_e}{\epsilon_f} \quad (11)$$

$$F = \rho_e E_x \quad (12)$$

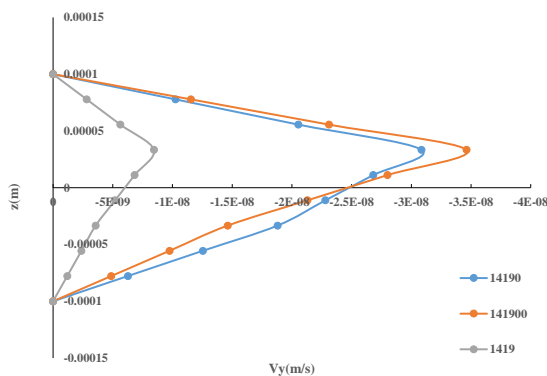
در نتیجه $\nabla^2 \Psi = \Psi_{ref} k^2 \sinh\left(\frac{ez\Psi}{k_B T}\right)$ که شرایط مرزی آن:

$$\Psi(\pm b, z) = \zeta_1, \Psi(y, \pm h) = \zeta_2$$

نانوسیال خواهند شد که اینکار و چرخش باعث افزایش آشفستگی جریان نانو سیال درون میکروکانال خواهد شد و از تغییرات سرعت می توان نتیجه گرفت که افزودن نانوذرات به سیال پایه در به جریان انداختن آن نقش مهمی دارد البته افزایش نانوذرات دارای محدودیت است و اگر بیش از اندازه افزوده شود موجب رسوب و افت فشار خواهد شد. البته به دلیل داشتن سرعت دورانی و در نتیجه نیروی گریز از مرکز بر نانوذرات در جهت های متفاوت افزایش فشار مشاهده می شود.



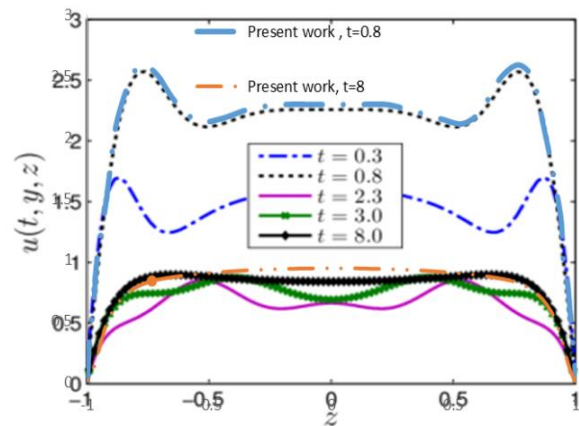
شکل ۳- سرعت V_x در مرکز کانال در جهت Z



شکل ۴- سرعت V_y در مرکز کانال در جهت z

در سه نمودار ۵ و ۶ و ۷ پروفیل سرعت برای سه کسر حجمی متفاوت و در جهت Y عمود بر کانال مورد مطالعه قرار می گیرد. در نمودارها می توان دریافت که سرعت سیال در جهت X با افزایش

میکروکانال تحت جریان قرار دارد. برای اعتبارسنجی برنامه تهیه شده، ابتدا با داده های این مقاله برای سیال معمولی تأیید شده است و پس از آن برای نانوسیال مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل شماره (۳) نمودار اعتبارسنجی برای سرعت سیال در مرکز میکروکانال و در جهت Z در دو زمان ۰/۸ و ۸ ثانیه آورده شده است که نشان دهنده درستی تحلیل با کد تهیه شده است.



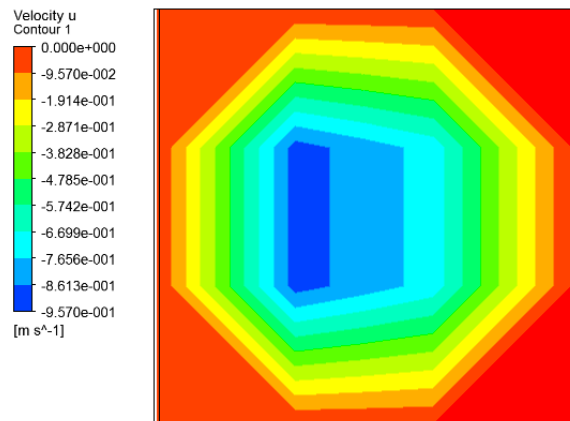
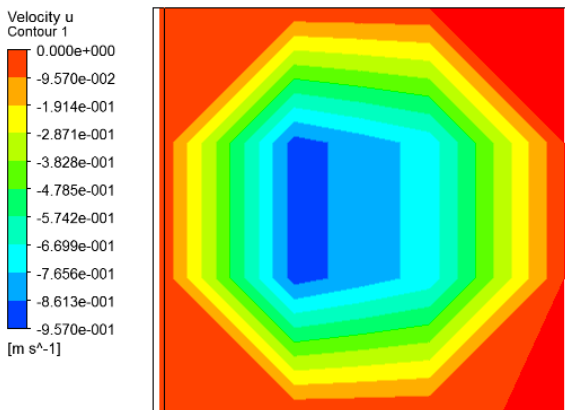
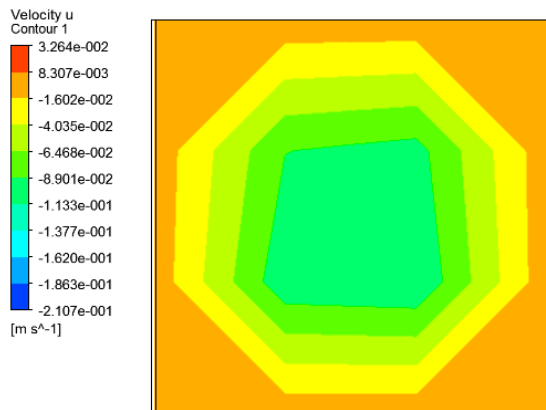
شکل ۲- مقایسه سرعت سیال در مرکز میکروکانال در جهت Z برای تحلیل حاضر و داده های موجود.

در این پژوهش، مطالعه عددی با توجه به ثابت بودن ابعاد میکروکانال، با افزایش کسر حجمی نانوذرات، افزایش تعداد نانوذرات انجام شده که در سه حالت در جدول شماره (۲) آمده، مطالعه انجام شده است.

جدول ۲- کسر حجمی های مختلف بررسی شده در این مطالعه

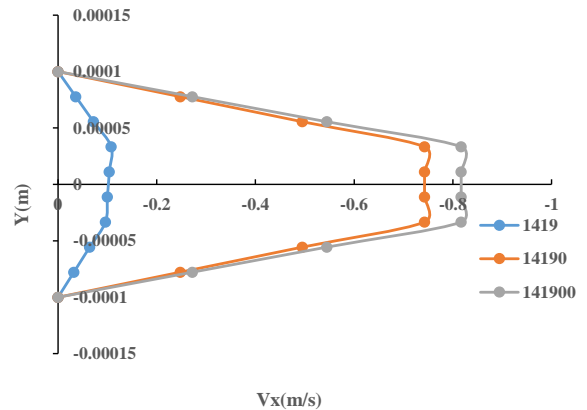
| حجم سیال | تعداد ذرات | کسر حجمی |
|-----------------------------------|------------|------------------------------|
| $0.16 \times 10^{-9} \text{ m}^3$ | ۱۴۱۹ | $\xi = 0.46 \times 10^{-12}$ |
| $0.16 \times 10^{-9} \text{ m}^3$ | ۱۴۱۹۰ | $\xi = 0.46 \times 10^{-12}$ |
| $0.16 \times 10^{-9} \text{ m}^3$ | ۱۴۱۹۰۰ | $\xi = 0.46 \times 10^{-12}$ |

در شکل های ۳ و ۴ پروفیل سرعت نانوسیال در مرکز میکروکانال و در جهت عمود بر محور افقی رسم شده است. تغییرات سرعت در جهت X و Y نشان می دهند که با افزایش تعداد نانوذرات نیروی الکتروگرانروی در جهت X افزایش یافته و باعث جریان

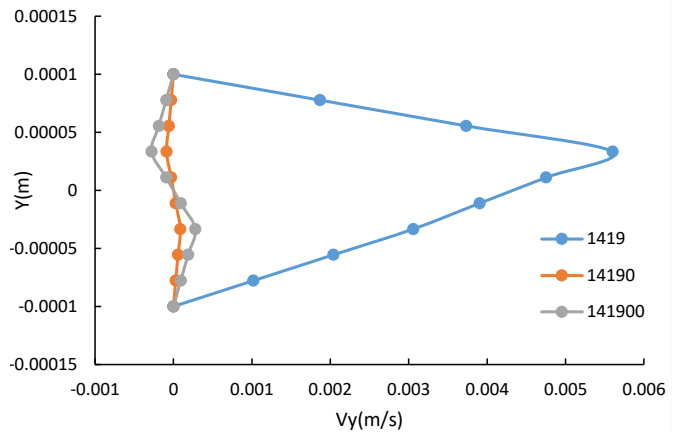


شکل ۷- کانتور سرعت ذرات در مرکز کانال برای سیال نیوتونی در سه کسر حجمی مختلف: الف) ۱۴۱۹ ذره، ب) ۱۴۱۹۰ ذره، ج) ۱۴۱۹۰۰ ذره.

ذرات افزایش می‌یابد که به دلیل جریان edl که در این راستا وجود دارد، ایجاد شده است. در جهت Y افزایش ذرات موجب کاهش سرعت ذرات در جهت Y می‌شود. شاید علت اصلی آن را شتاب سانتریفیوژ بتوان گفت که با افزایش تعداد ذرات نیروی بیشتر و سرعت کاهش می‌یابد. این مورد در جهت Z کمی متفاوت‌تر است و برای تعداد ذرات ۱۴۱۹ یک سیر نزولی و صعودی را در امتداد کانال نشان می‌دهد که تاثیر سرعت زاویه ای بر سرعت در راستای Z را نشان می‌دهد که به لیل عدم برخورد ذرات با یکدیگر هرچه تعداد ذرات کمتر است این تغییرات مشهودتر است.



شکل ۵- سرعت V_x در مرکز کانال در جهت Y

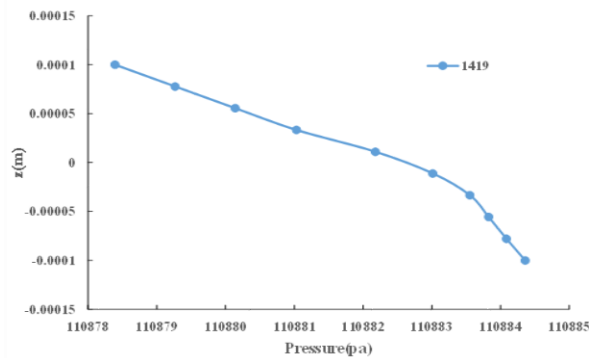


شکل ۶- سرعت V_y در مرکز کانال در جهت Y

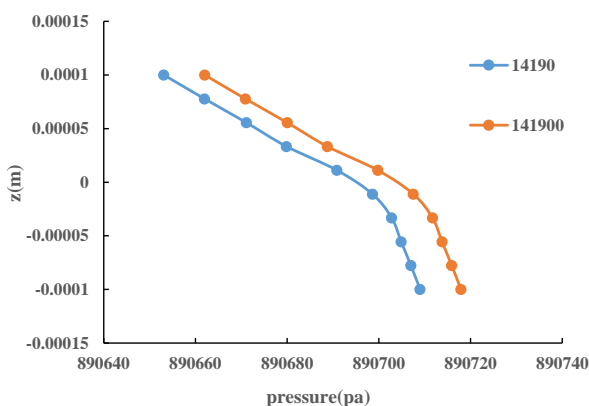
در اشکال ۸، ۹، ۱۰ مشخص است که تغییرات سرعت در سیال غیرنیوتونی بسیار کمتر از حالت نیوتونی است. که این خود دلیل بر نیاز به جریان الکتریکی بیشتر به منظور مشاهده تغییرات بیشتر در سیال غیرنیوتونی است. این تغییرات برای ۱۴۱۹ ذره انجام شده است. البته سرعت در جهت X تغییرات بیشتری را به لیل جریان edl دارد ولی سرعت در دو جهت دیگر بسیار تفاوت دارد.

در کانتورهای شکل ۷ سرعت سیال در مرکز کانال و عمود بر محور x در حالتی که سیال نیوتونی است، آورده شده است. در این کانتورها حالت چرخشی سیال مشخص است که بیشترین سرعت در نقطه مرکزی کانال اتفاق می‌افتد و مشخص است که افزایش تعداد ذرات تاثیر زیادی بر افزایش سرعت سیال به خصوص در مرکز کانال دارد.

سیال غیرنیوتونی با گرانیروی توانی مدل شده، فشار در دو جهت Z و x در امتداد کانال به دست آمده و نمودارهای فشار در اشکال ۱۱ و ۱۲ رسم شده‌اند. در این نمودارها می‌توان دریافت که باتوجه به اینکه نیروی اعمال شده بر ذرات افزایش می‌یابد، فشار برای ۱۴۱۹ ذره بسیار کمتر از ۱۴۱۹۰ و ۱۴۱۹۰۰ ذره است و در امتداد کانال این فشار کاهش می‌یابد که علت اصلی آن نیروی گریز از مرکز است که با افزایش تعداد نانوذرات مقدار آن نیرو افزایش یافته است.

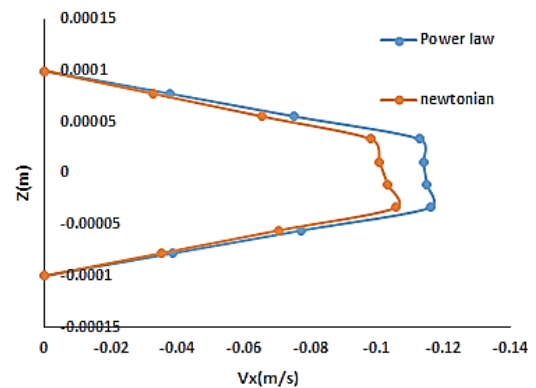


شکل ۱۱- نمودار فشار برای ۱۴۱۹ ذره در جهت Z

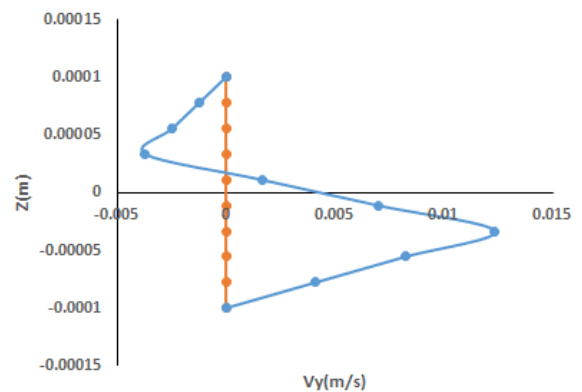


شکل ۱۲- نمودار فشار برای ۱۴۱۹۰ و ۱۴۱۹۰۰ ذره در جهت Z

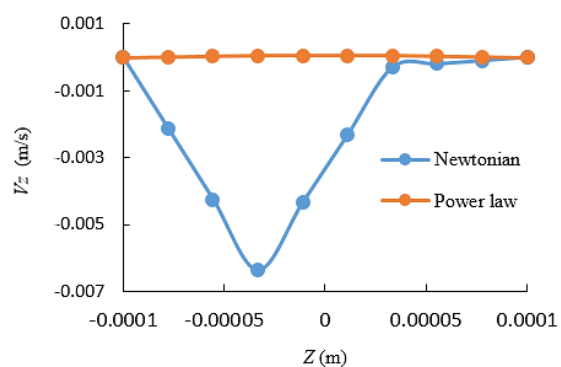
در شکل ۱۳، نمودار فشار در امتداد x رسم شده است. مشخص است که فشار در امتداد کانال افزایش می‌یابد و برای کسر حجمی‌های بزرگتر این اختلاف فشار بسیار بیشتر است. که این ناشی از سرعت دورانی و اختلاف پتانسیل موجود است



شکل ۸- سرعت V_x در مرکز کانال در جهت Z در دو حالت غیرنیوتنی و نیوتنی

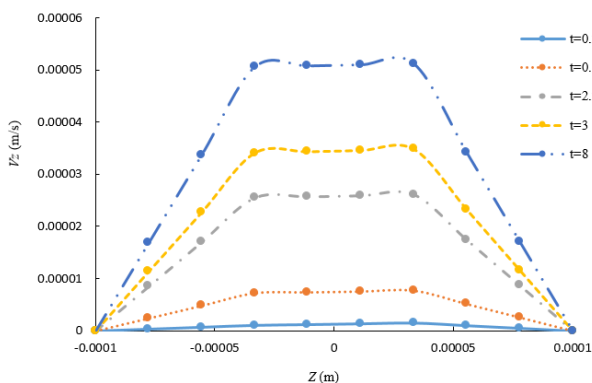


شکل ۹- سرعت V_y در مرکز کانال در جهت Z در دو حالت غیرنیوتنی و نیوتنی.



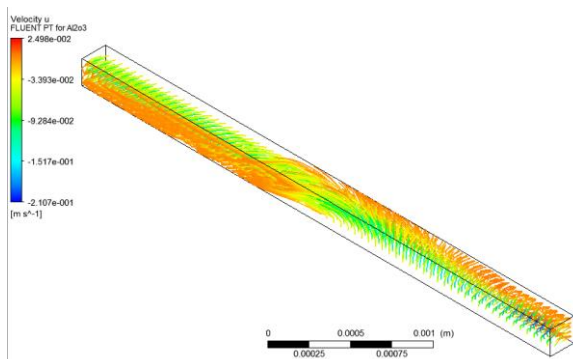
شکل ۱۰- سرعت V_z در مرکز کانال در جهت Z در دو حالت غیرنیوتنی و نیوتنی

می‌یابد. مقدار افتی که در مرکز وجود دارد بدلیل دوران و نیروی گریز از مرکز است.

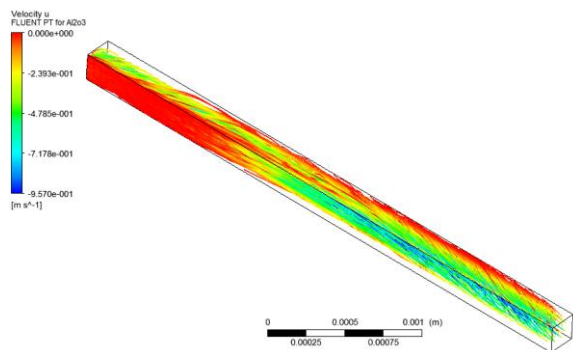


شکل ۱۵- سرعت V_z در مرکز کانال در گام‌های زمانی مختلف در جهت Z

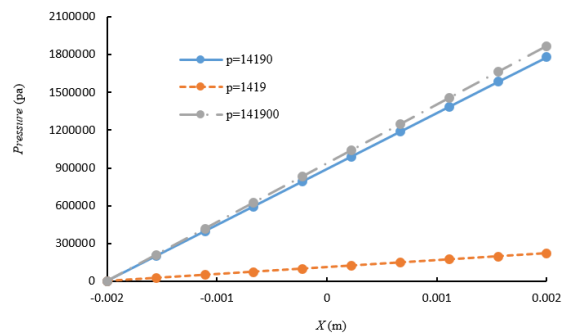
حال به بررسی سرعت نانوذرات می‌پردازیم. اشکال ۱۶، ۱۷ و ۱۸ خطوط سرعت برای نانوذرات Al_2O_3 را نشان می‌دهند. با افزایش تعداد ذرات سرعت ذرات در امتداد کانال بدلیل افزایش آشفتگی، افزایش می‌یابد. خطوط جریان جهت‌گیری و چرخش ذرات با چرخش میکروکانال را نشان می‌دهد که با جهت سرعت زاویه ای همخوانی دارد.



شکل ۱۶- خطوط سرعت نانو ذرات برای ۱۴۱۹ ذره

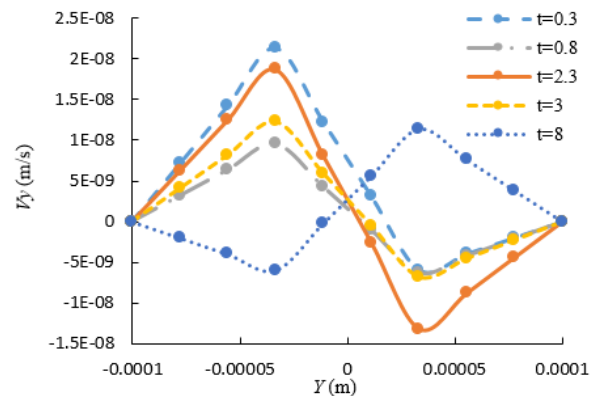


شکل ۱۷- خطوط سرعت نانو ذرات برای ۱۴۱۹۰ ذره



شکل ۱۳- نمودار فشار برای ۱۴۱۹۰، ۱۴۱۹۰۰ و ۱۴۱۹۰۰ ذره در جهت X

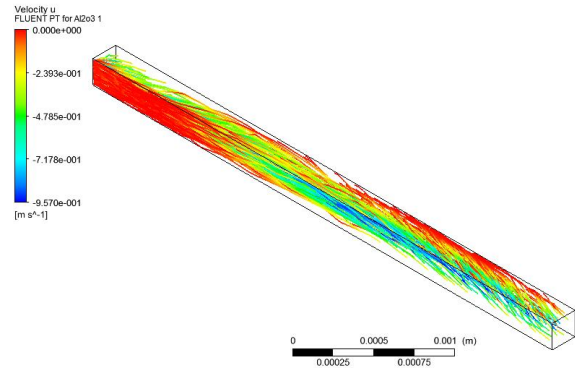
در شکل ۱۴ سرعت سیال در مرکز کانال در زمان‌های مختلف رسم شده است. در ۵ گام زمانی ۰/۳، ۰/۸، ۲/۳، ۳ و ۸ ثانیه این سرعت‌ها بررسی شده‌اند. مشاهده می‌شود که سرعت سیال در لب دیواره‌ها به دلیل برخورد با جداره صفر بوده سپس، به دلیل وجود سرعت دورانی افزایش یافته و دوباره در مرکز کانال به صفر رسیده و دوباره با فاصله گرفتن از مرکز و سرعت دورانی موجود سرعت تا دیواره افزایش نشان می‌دهد. در زمان ۰/۳ بیشترین مقدار سرعت را نشان می‌دهد و زمان ۰/۸ کمترین مقدار سرعت را دارد و جهت چرخش و جهت‌گیری ذرات در زمان‌های متفاوت بر این افزایش و کاهش سرعت تاثیر زیادی داشته است.



شکل ۱۴- سرعت V_y در مرکز کانال در گام‌های زمانی مختلف در جهت Y

شکل ۱۵ سرعت سیال در امتداد محور Z کانال را نشان می‌دهد در این نمودار سرعت سیال در لبه دیواره‌ها برابر با صفر بوده آغاز به حرکت کرده و افزایش می‌یابد تا مرکز کانال به یک مقدار به نسبت ثابتی رسیده و دوباره تا دیواره شروع به کاهش کرده و به صفر می‌رسد. با افزایش گام زمانی سرعت سیال نیز افزایش

- بیشترین سرعت در نقطه مرکزی کانال اتفاق می‌افتد و مشخص است که افزایش تعداد ذرات تاثیر زیادی بر افزایش سرعت سیال به خصوص در مرکز کانال دارد.
- سیال غیرنیوتونی با گرانیوی توانی مدل شده، فشار در دو جهت Z و X در امتداد کانال بدست آمده است. فشار برای ۱۴۱۹ ذره بسیار کمتر از ۱۴۱۹۰ و ۱۴۱۹۰۰ ذره است. و به دلیل وجود نیروی گریز از مرکز در امتداد کانال این فشار کاهش می‌یابد.



شکل ۱۸- خطوط سرعت نانو ذرات برای ۱۴۱۹۰۰ ذره

- سرعت سیال در مرکز کانال در ۵ گام زمانی ۰/۳، ۰/۸، ۲/۳، ۳ و ۸ ثانیه بررسی شده‌اند. مشاهده شد که سرعت سیال در لب دیواره‌ها صفر بوده سپس، افزایش یافته و دوباره در مرکز کانال به صفر رسیده و دوباره تا دیواره افزایش نشان می‌دهد. در زمان ۰/۳ بیشترین مقدار سرعت و زمان ۰/۸ کمترین مقدار سرعت را دارد. جهت چرخش و جهت‌گیری ذرات در زمان‌های متفاوت بر این افزایش و کاهش سرعت تاثیر زیادی داشته است.
- خطوط سرعت برای نانوذرات Al_2O_3 نشان داد که با افزایش تعداد ذرات سرعت ذرات در امتداد کانال افزایش می‌یابد. خطوط جریان جهت‌گیری و چرخش ذرات با چرخش میکروکانال را نشان داد.
- سرعت سیال در لبه‌های نزدیک به ورودی و خروجی کانال بیشتر از وسط کانال است. که حالت متقارنی را از مرکز کانال دارد. و با افزایش کسر حجمی افزایش می‌یابد.
- تغییرات سرعت در سیال غیرنیوتونی بسیار کمتر از حالت نیوتونی است.

مراجع

[1] P. Kaushik, P. Abhimanyu, P.K. Mondal, S. Chakraborty, "Confinement effects on the rotational microflows of a viscoelastic fluid under electrical double layer phenomenon. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 244, 123-137, 2017.

۴- نتیجه‌گیری

- برای اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی از داده‌های موجود استفاده شده‌است. که اعتبار خوبی را نشان داد.
- سرعت سیال در مرکز کانال با سرعت دورانی ثابت rpm ۱۸۰۰ به دست آمده است. با افزایش ذرات سرعت سیال در هر سه جهت افزایش می‌یابد. گرچه هر سه در دیواره‌ها یک مقدار ثابت صفر دارند ولی با رسیدن به مرکز کانال دچار آشفتگی شده و افزایش می‌یابند که این افزایش با افزایش ذرات زیاد می‌شود. البته برای تعداد ذرات ۱۴۱۹۰ و ۱۴۱۹۰۰ این اختلاف بسیار کمتر است ولی برای ۱۴۱۹ نسبت به سایر کسر حجمی‌ها افزایش سرعت قابل توجه است. می‌توان دریافت که افزایش تعداد ذرات برخورد سیال با ذرات افزایش یافته و آشفتگی و تلاطم درون سیال بسیار بیشتر می‌شود.
- نمودار سرعت برای سه کسر حجمی متفاوت و در جهت Y عمود بر کانال مورد مطالعه قرار گرفته شد. در نمودارها می‌توان دریافت که به دلیل وجود جریان الکتریکی در راستای X افزون بر نیروی گریز از مرکز، سرعت سیال در جهت X با افزایش تعداد نانوذرات افزایش می‌یابد. اما در جهت Y بدلیل وجود نیروی گریز از مرکز و برخورد ذرات به یکدیگر و رسوبات ایجاد شده با افزایش بیش از حد تعداد نانوذرات ممکن است موجب کاهش سرعت ذرات در جهت Y شود. این مورد در جهت Z کمی متفاوت‌تر است و برای تعداد ذرات ۱۴۱۹ یک سیر نزولی و صعودی را در امتداد کانال نشان می‌دهد.

- [10] M.M.Cross, "Rheology of non-Newtonian fluids: a new flow equation for pseudoplastic systems," *J. Colloid Interface Sci*, 20, 417-437, 1965.
- [11] M.R. Bown, C.D. Meinhart, "AC electroosmotic flow in a DNA concentrator," *Microfluidics and Nanofluidics*, 2, 513-523, 2006.
- [2] Y. Huang, J. Chen, T. Wong, J.L. Liow, "Experimental and theoretical investigations of non-Newtonian electro-osmotic driven flow in rectangular microchannels." *Soft matter*, 12, 6206-6213, 2016.
- [3] M. Tajik Jamal-Aba, M. Dehghan, S. Saedodin, M. Sadegh Valipour, A. Zamzamian, "An experimental investigation of rheological characteristics of non-Newtonian nanofluids," *Journal of Heat and Mass Transfer Research (JHMTR)*, 1, 17-23, 2014.
- [4] S. Chen, X. He, V. Bertola, M. Wang, "Electro-osmosis of non-Newtonian fluids in porous media using lattice Poisson-Boltzmann method," *Journal of colloid and interface science*, 436, 186-193, 2014.
- [5] P. Ternik, R. Rudolf, "Laminar natural convection of non-Newtonian nanofluids in a square enclosure with differentially heated side walls," *International Journal of Simulation Modelling*, 1, 5-16, 2013.
- [6] G.H. Tang, P. X. Ye, W. Q. Tao, "Electroviscous effect on non-Newtonian fluid flow in microchannels," *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 165, 7-8, 435-440, 2010.
- [7] J. Y. Jung, J. Y. Yoo, "Thermal conductivity enhancement of nanofluids in conjunction with electrical double layer (EDL)," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52, 1-2, 525-528, 2009.
- [8] C.T., Nguyen, F. Desgranges, N. Galanis, G. Roy, T. Maré, S. Boucher, H.A. Mintsa, "Viscosity data for Al₂O₃-water nanofluid—hysteresis: is heat transfer enhancement using nanofluids reliable?," *International Journal of Thermal Sciences*, 47, 103-111, 2008.
- [9] R.A. Shankaran, "Numerical simulation of flow of shear-thinning fluids in corrugated channels," *Doctoral dissertation, Texas A & M University*, 2008.

Numerical Investigation of Non-Newtonian Nano fluid flow in the rotational rectangular and subjected to Electrical flow

Behnaz Arjomand Kermani[‡], Younes Bakhshan*, Saeed Niazi

Department of Mechanical Engineering, Hormozgan University, Bandar-Abbas

Abstract: In this research, the blood as a fluid is assumed to be by considering Newtonian and non - Newtonian with different particle concentration in a three-dimensional rectangular microchannel rotating in a chamber around a vertical axis at a constant angular velocity. Affected by direct current, numerical investigation. Numerical results on the number of different nanoparticles in Newtonian and non-Newtonian fluids were extracted and it was observed that increasing the number of particles indicates an increase in fluid velocity in different directions. With increasing volume fraction, the pressure increases along the channel. Also, numerical investigation of particle velocity and particle distribution has shown that velocity changes in non-Newtonian fluids are much less than in Newtonian fluids. In fact, the flow of non-Newtonian fluids requires a stronger electrical field.

Keywords: Nanoparticle, Non-newtonian fluid, Microchannel, Electrical force, Angular velocity.