J. Energy Conversion
Volume: 11, Issue: 1, 2024: 49-58

نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)

دوره ۱۱، شماره ۱، بهار۱۴۰۳، ص: ۴۹-۵۸

شبیه‌سازی دوبعدی جریان سیال غیرنیوتنی با مدل تیکسوتروپیک در میکروپمپ هیدرومغناطیسی

پریماه سلیمی[۱]، سیده سوده جهانی[۲] و هامون پورمیرزاآقا[۳و*]

۱- دانشجو، گروه مکانیک، دانشکده مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رامسر، رامسر. Salimi.parimaaah@yahoo.com
۲- دانشجو، گروه مکانیک، دانشکده مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رامسر، رامسر. Jahanyswdh@gmail.com
*۳- استادیار، گروه مکانیک، دانشکده مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رامسر، رامسر. Hamoon.pourmirzaagha@iau.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۵، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۲۱، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۸

چکیده

امروزه ا ستفاده از میکروپمپ‌های هیدرومغناطی سی به دلیل عدم وجود قطعه متحرک در آن از جاذبه‌های زیادی برخوردار ا ست. طراحی و ساخت این نوع از پمپ‌ها به دلیل ظرافت‌ها و پیچیدگی‌های خاص خود همچنان به عنوان موضوع تحقیقات امروزی بشمار می‌رود، و با توجه به هزینه ساخت و روش های تجربی برای بررسی این پمپها، تحلیل عددی این نوع از پمپ‌ها می‌تواند کمک بزرگی در مسیر طراحی و ساخت آنها باشد. در تحقیق حاضر جریان یک سیال غیرنیوتنی از نوع تیکسوتروپیک در یک میکروپمپ هیدورمغناطیسی به‌صورت دوبعدی شبیه سازی شده و تأثیر پارامترهای مختلفی چون میدان الکتریکی، طول الکترودهای ایجاد کننده میدان الکتریکی سیال بر دبی و هد پمپ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان دادند که پارامتر بی‌بعد هارتمن دارای یک مقدار بهینه است که در آن دبی پمپ به ماکزیمم مقدار خود می ر سد. دبی پمپ در عدد هارتمن ۴۰ به ماکزیمم مقدار خود می‌ر سد در حالی که هد پمپ در عدد هارتمن ۱۰۰ ماکزیمم می شود. نتایج نشان داد به منظور افزایش همزمان دبی و هد در میکروپمپ می‌توان طول الکترود را افزایش داد یا اختلاف پتانسیل دو سر الکترود را بالا برد همچنین با افزایش نسبت لزجت، دبی پمپ کاهش یافته ولی هد آن افزایش می‌یابد و با افزایش این نسبت میزان تاثیرپذیر دبی و هد پمپ از این نسبت به شدت کاهش می یابد، بطوریکه در نسبت لزجت ۴ به بالا تاثیر این فاکتور بسیار کم می‌شود.

* **عهده‌دار مکاتبات:** Hamoon.pourmirzaagha@iau.ac.ir

کلمات کلیدی: میکروپمپ، سیال تیکسوتروپیک، شبیه‌سازی دوبعدی، جریان گذرا

نحوه استناد به این مقاله: پریماه سلیمی، سیده سوده جهانی و هامون پورمیرزاآقا. شبیه‌سازی دوبعدی جریان سیال غیرنیوتنی با مدل تیکسوتروپیک در میکروپمپ هیدرومغناطیسی. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۳; ۱۱ (۱) : ۴۹-۵۸

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۱- مقدمه

در دو دهه‌ی اخیر، میکروسیال‌ها و به دنبال آن میکروپمپ‌ها که وسیله‌ای برای انتقال آنها محسوب می‌شوند از اهمیت زیادی برخوردار شده‌اند. میکروپمپ‌ها انواع مختلفی دارند که میکروپمپ هیدرومغناطیسی جزو مهمترین آنها به‌شمار می‌رود. در این دسته از میکروپمپ‌ها میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی عامل حرکت سیال هستند و در زمینه مگنتو هیدرودینامیک بررسی می‌شوند و دینامیک شاره‌ای رسانای الکتریکی همانند پلاسما و فلزات مایع را مورد مطالعه قرار می‌دهد. نظریه MHD یک نظریه‌ای شاره‌ای است که بر حسب پارامترهای ماکروسکوپی نظیر چگالی، فشار، دما، میدان سرعت شاره، و میدان مغناطیسی آن بیان می‌شود. هارتمن نخستین فردی بود که در اوایل ۱۹۳۷ تحقیقاتی وسیعی به صورت نظری و آزمایشگاهی در مورد پدیده MHD انجام داد [۱, ۲]. از پدیدهٔ MHD استفاده‌های مختلفی میگردد که یکی از آن ها ایجاد نیرو و به وجود آوردن حرکت است. در دههٔ ۱۹۶۰ از MHD برای ایجاد نیروی رانش در کشتیها و قایقها با توجه به رسانایی آب دریا استفاده شد [۳]. همچین در سالهای اخیر تحقیقات تجربی و عددی در زمینه میکروپمپ مغناطیسی صورت گرفته است. در سال ۲۰۰۰ جانگ و لی[۴] آزمایشاتی بر روی میکروپمپ هیدرومغناطیسی از نوع جریان مستقیم انجام داده‌اند. آنها آب دریا را به عنوان سیال کاری در نظر گرفته و قدرت پمپاژ پمپ را با اندازه‌گیری اختلاف فشار و دبی پمپ مشخص نمودند. در سال ۲۰۰۰هانگ و همکاران [۵] عملکرد پمپ‌های MHD را بر روی محلول‌های آب بررسی کردند. مطالعات آنها نشان داد که اختلاف فشار و دبی ایجاد شده در سیال متناسب با اختلاف ولتاژ اعمالی می‌باشد اما داده‌های تجربی نشان داد که با الکترولیت آب در اطراف الکترودها، حباب تولید شده و با جلوگیری از حرکت سیال تاثیر بسزایی در کاهش عملکرد این پمپ‌ها دارند. در سال ۲۰۰۵هامسی و همکاران[۶] نمونه ای از یک میکروپمپ هیدرومغناطسی از نوع جریان مستقیم با چگالی جریان بالا را که نسبت به تولید حباب‌های گاز مقاوم است ارائه کرد. در سال ۲۰۰۷ دوواری و عبداله [۷] یک میکروپمپ هیدرومغناطیسی را به صورت دو بعدی درحالت گذرا به روش سیمپل مدل‌سازی کرده و تاثیر عدد هارتمن را بر پروفیل سرعت در نواحی درحال توسعه و توسعه یافته پیش‌بینی نمودند. در سال ۲۰۰۷ دوواری و عبداله [۸] با انجام شبیه سازی عددی توزیع دما را در یک میکروپمپ هیدرومغناطیسی در جریان کاملا توسعه یافته و نیز در حالت گذرا بررسی کردند. آنها تاثیر پارامترهای بی بعد مختلف مانند عدد هارتمن، پرانتل را بر روی سرعت و دما بررسی کردند. در سال ۲۰۰۷ پاتل و کاسیگنه [۹] معادلات سه بعدی میکروپمپ هیدرومغناطیسی را به صورت عددی با استفاده از روش حجم کنترل حل کردند. آنها در این مقاله دو مقطع مستطیلی و ذوزنقه‌ای را بررسی کرده و در حل معادلات اثر Joule heating را بر سرعت سیال کاری نیز بررسی کردند. در سال ۲۰۰۷ هو [۱۰] تحقیقاتی مبتنی بر کارهای آزمایشگاهی انجام داد. وی بر کارایی پمپاژ و میکرو پمپ هیدرومغناطیسی از نوع جریان مستقیم تمرکز کرده و مدلی تحلیلی نیز برای جریان کاملا توسعه یافته، آرام، غیرقابل تراکم و حالت دائم در کانال مستطیلی یافته است.

در سال ۲۰۱۱مورنو [۱۱] یک تحقیق تجربی به منظور بررسی رفتار الکتروشیمیایی و خواص الکترودها در سیستم هیدرودینامیک مغناطیسی با هدف افزایش هدایت الکتریکی انجام داد. در سال ۲۰۱۴ جمال آبادی [۱۲] به مطالعه تحلیلی پایداری سیستم رانش هیدرودینامیک در حضور میدان الکترومغناطیسی دارای نوسان عرضی پرداخت. معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم بر جریان سیال با در نظر گرفتن نیروی الکترومغناطیسی بیان و با استفاده از روش عددی حل شد. سرعت بیشینه در کانال رانش بر اساس پارامترهای مختلفی نظیر عدد رینولدز جریان، شدت میدان مغناطیسی، فرکانس میدان الکتریکی و مغناطیسی بیان و پایداری جریان بررسی شد.

در سال ۲۰۱۷ سبرون و همکارانش[۱۳] به تحلیل تئوری و تجربی یک مدل کشتی هیدرودینامیک مغناطیسی برای اثبات نیروی لورنتز و رانش جریان سیال پرداختند. تحلیل آنها برای مقایسه و تائید بین نتایج تئوری و تجربی ارائه شد. آنها اثرات پارامترهای مختلفی نظیر هدایت الکتریکی، میدان مغناطیسی و ... را بر نیروی رانش و بازده بررسی کردند. در سال ۲۰۱۸ آوکی و همکاران [۱۴] به تحلیل جریان سیال در کانال رانش هیدرومغناطیسی با مقطع مستطیل پرداختند. آنها روابط ناویر-استوکس برای سیال را با روابط ماکسول ترکیب نمودند و نیروی لورنتز تحت اثر میدان الکترومغناطیسی را در حالت سه بعدی مدل‌سازی کردند. در سال ۲۰۱۸ بانسال و بیریاولا [۱۵] به کاربرد سیستم رانش هیدرومغناطیسی برای ربات‌های زیردریایی هوشمند پرداختند.

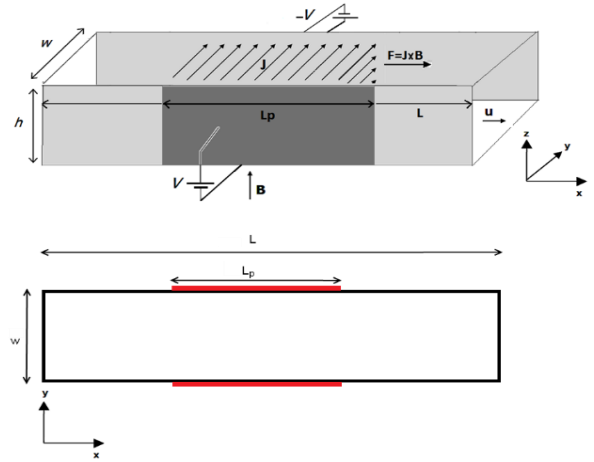
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

معادلات اساسی سیستم رانش با در نظر گرفتن اثر متقابل الکترومغناطیسی برای محاسبه نیروی لورنتز بیان شد و آب دریا به عنوان سیال جاری در کانال در نظر گرفته شد. در سال ۲۰۱۹ چیت‌ساز و فتحعلی [۱۶] به بررسی تأثیر میدان مغناطیسی ثابت و یکنواخت خارجی بر خصوصیات اختلاطی یک جریان همسانگرد دوبعدی هیدرومغناطیس و مشخصه‌های دینامیکی و ساختاری آن پرداختند. آنها برای این منظور از شبیه‌سازی عددی مستقیم به روش شبه طیفی جهت حل معادلات هیدرومغناطیس دوبعدی تراکم‌ناپذیر بهره گرفتند. محاسبات آنها نشان داد که میدان مغناطیسی خارجی ثابت و یکنواخت، سبب تغییر شکل گردابه‌ها در راستای خطوط میدان می‌شود و با افزایش شدت میدان مغناطیسی این تغییر شکل افزایش می‌یابد.

از دیگر کاربردهای MHD پمپاژ سیالات در ابعاد ماکرو و میکرو است. به علت عدم وجود قطعات متحرک، استفاده از میکروپمپ هیدرومغناطیسی به سرعت در حال گسترش است و کاربردهای مختلفی یافته است. در این رابطه می‌توان به عنوان مثال به تزریق دارو به بدن، کاربردهای بیوتکنولوژی، سیستم های میکرو الکترومکانیک و میکرو میکسرها اشاره نمود. با این که اصول MHD بیش از نیم قرن است که معرفی شده است اما میکرو پمپهای مغناطیسی- هیدرودینامیکی برای پمپ کردن سیال های با رسانائی بالا تنها در سال‌های اخیر توسعه یافته است. علاوه‌بر سیالات فیزیولوژیک، در پمپاژ نفت خام و دوغاب‌های صنعتی نیز از پمپ‌های هیدرومغناطیسی استفاده می‌شود. باتوجه به اینکه نفت خام، دوغابهای صنعتی و سیالات فیزیولوژیک دارای رفتار غیرنیوتنی هستند در نتیجه نیاز است که در مدل‌سازی‌های عددی اثرات غیرنیوتنی بودن سیال نیز بررسی شود. رفتار بسیاری از سیالات کاربردی در صنایع به گونه ای است که لزجت آنها نه تنها وابسته به نرخ تنش برشی است بلکه با زمان نیز تغییر می‌کند. این سیالات به دو دسته تقسیم می‌شوند: سیالات تیکسوتروپیک که در این نوع از سیالات با گذشت زمان، ویسکوزیته کاهش می‌یابد و سیالات رئوپکتیک که در این نوع از سیالات با گذشت زمان، ویسکوزیته افزایش می‌یابد. به همین علت در این تحقیق جریان یک سیال غیرنیوتنی از نوع تیکسوتروپیک در یک میکروپمپ هیدورمغناطیسی به‌صورت دوبعدی شبیه‌سازی شده و تأثیر پارامترهای مختلفی چون میدان الکتریکی، طول الکترودهای ایجاد کننده میدان الکتریکی و ... بر دبی و هد پمپ مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در این تحقیق تاثیر پارامترهای مختلف بر رفتار هد پمپ نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌است.

۲- مدلسازی ریاضی

جریان گذرا، آرام و توسعه‌یافته یک سیال غیرقابل تراکم و رسانای الکتریکی در یک پمپ هیدرومغناطیسی برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است. هندسهٔ این پمپ در شکل ۱ نشان داده شده است. مقطع پمپ به صورت مستطیلی با عرض w، ارتفاع h و طول L است. صفحات فوقانی و تحتانی این پمپ به یک اختلاف پتانسیل با شدت V متصل شده است که توسط دو الکترود به طول L_p که در راستای x قرار دارند، ایجاد می‌گردد. در عمل، ولتاژ مذکور سبب به‌وجود آمدن چگالی الکتریکی J در سیال خواهد شد. بطور همزمان، میدان مغناطیسی یکنواخت با شدت B در راستای جهت z از خارج به سیال اعمال می‌گردد. اندرکنش بین این دو میدان منجر به بروز نیروی لورنتز می‌گردد که وظیفه پمپاژ سیال را به‌عهده دارد.



شکل ۱- هندسه و پارامترهای هندسی میکروپمپ هیدرو مغناطیسی مورد مطالعه

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

معادلات حاکم بر جریان سیال شامل معادله پیوستگی و معادلات حرکت کوشی هستند. معادله پیوستگی به‌صورت زیر است:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(\rho u)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho v)=0 \quad (۱)$$

و معادلات ممنتوم نیز به‌صورت زیر هستند:

$$\rho\frac{\partial u}{\partial t}=-\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}+f_x \quad (۲)$$

$$\rho\frac{\partial v}{\partial t}=-\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y}+f_y \quad (۳)$$

در معادلات فوق

$$\begin{cases} f_x=\left(\vec{j}\times\vec{B}\right)L_p \\ f_y=0 \end{cases} \quad (۴)$$

که در این معادله، $\left(\vec{j}\times\vec{B}\right)$ همان نیروی لورنتز است. بردارهای چگالی الکتریکی و میدان مغناطیسی نیز توسط قانون اهم به هم مربوط می‌گردند:

$$\vec{j}=\sigma\left(E+\vec{U}\times\vec{B}\right) \quad (۵)$$

میدان الکتریکی نیز توسط رابطهٔ زیر به ولتاژ اعمالی بستگی دارد:

$$E=\frac{2V}{w} \quad (۶)$$

بنابراین معادلات حاکم به‌صورت زیر خواهند شد:

$$\rho\frac{Du}{Dt}=-\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}-\frac{L_p\sigma B^2}{L}u+\frac{2L_p\sigma BV}{Lw} \quad (۷)$$

$$\rho\frac{Dv}{Dt}=-\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} \quad (۸)$$

شرایط مرزی برای حل معادله ی بالا شرط عدم لغزش روی دیواره است:

$$\begin{cases} \vec{U}=(x=0,y,t)=\vec{U}(x=L,y,t)=0 \\ \vec{U}=(x,y=0,t)=\vec{U}(x,y=w,t)=0 \end{cases} \quad (۹)$$

که در آن

$$\vec{U}=u\vec{\imath}+v\vec{\jmath} \quad (۱۰)$$

و به‌عنوان شرط اولیه نیز سرعت سیال برابر با صفر فرض می‌شود:

$$\vec{U}(x,y,t=0)=0 \quad (۱۱)$$

در صورت معلوم شدن پروفیل سرعت، دبی بر واحد عمق نیز به صورت زیر بدست می‌آید:

$$q=\int_0^w u(y,t)dy \quad (۱۲)$$

روابط فوق برای هر سیالی (اعم از نیوتنی و غیر نیوتنی) برقرار هستند.

در مواردیکه سیال از نوع تیکسوتروپ است معادله اساسی سیال شبیه به معادله اساسی سیالات نیوتنی است با این تفاوت که داریم:

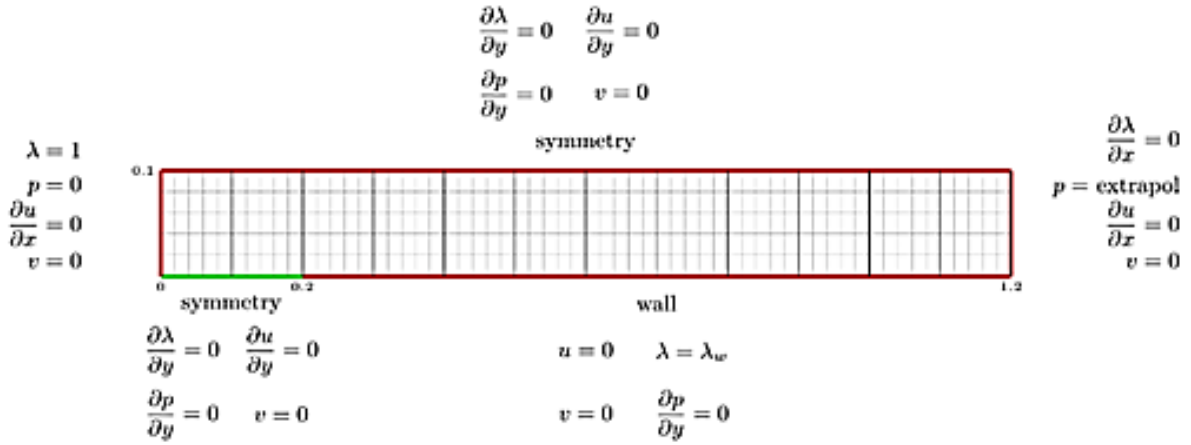
$$\mu(t)=\mu_\infty+c\lambda(t) \quad (۱۳)$$

که در آن $c=\mu_0-\mu_\infty$ و μ_0 لزجت سیال در زمان $t=0$ و μ_∞ لزجت سیال در زمان $t\to\infty$ و λ پارامتر ساختاری سیال می‌باشد. در زمان صفر، مقدار λ یک بوده و مقدار آن با زمان کاهش می‌یابد بطوریکه در $t\to\infty$ مقدار آن به صفر می‌رسد.

۳-روش عددی و شرایط مرزی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

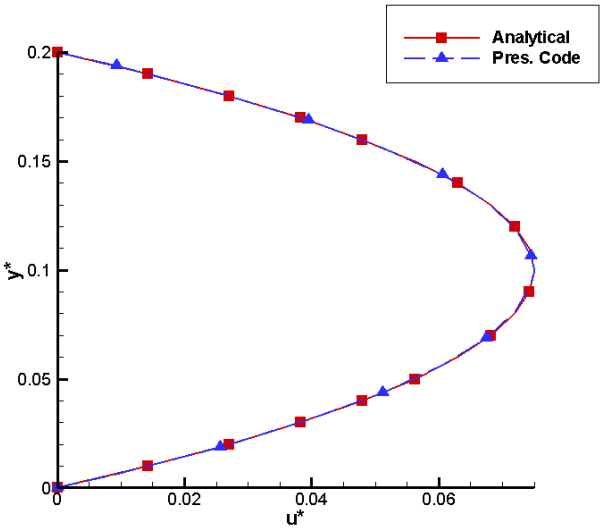
برای شبیه‌سازی عددی معادلات حاکم از روش حجم محدود استفاده شده است. در مسئله حاضر با توجه به وجود تقارن می‌توان به جای حل کل عرض کانال فقط نصف آن را حل کرد تا در هزینه محاسباتی صرفه‌جویی گردد. لذا دامنه محاسباتی ایجاد شده طبق شکل ۲ خواهد شد که در آن خط بالایی خط مرکزی کانال است و در طول آن شرط مرزی تقارن وجود دارد بدین معنی که مشتق همه کمیت‌ها در راستای y صفر بوده و سرعت عرضی نیز صفر است به‌منظور مشاهده ناحیه توسعه‌یافته و اثرات لبه کانال فرض شده یک مرز تقارن قبل از دیواره کانال وجود داشته باشد که این مرز با رنگ سبز مشخص شده است.



شکل۲-دامنه محاسباتی و شرایط مرزی

۴-نتایج

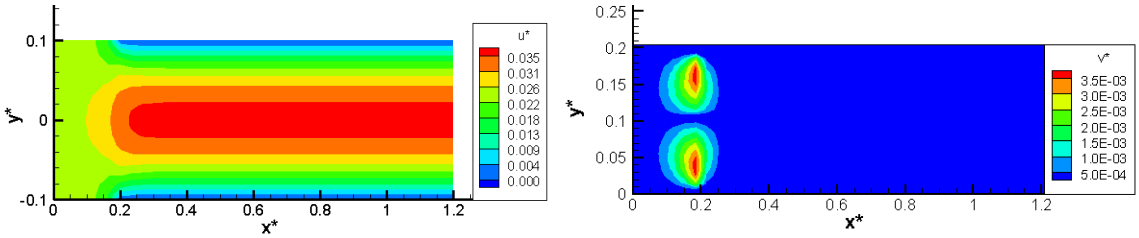
برای صحه‌گذاری و اطمینان از درست بودن کد از جریان پوازی استفاده شد، که یکی از حل‌های دقیق معادله ناویر – استوکس می‌باشد. در شکل ۳ ملاحظه می‌شود که نتایج کد با نتایج حل تحلیلی جریان پوازی کاملاً بر هم منطبق هستند.



شکل۳- صحه‌گذاری کد با نتایج جریان پوازی

در شکل ۴ خطوط همتراز سرعت x رسم شده‌اند. همانطور که ملاحظه می‌شود به‌دلیل پایین بودن عدد رینولدز جریان قبل از رسیدن به لبه کانال از وجود آن باخبر شده و خطوط جریان از مسیر مستقیم منحرف شده‌اند. علاوه بر آن سرعت در راستای مرکز کانال نیز از قبل از رسیدن به ورودی کانال شروع به تغییر مسیر کرده است. لازم به ذکر است که به‌دلیل پایین بودن عدد رینولدز ناحیه درحال توسعه کوتاه بوده و جریان سریعاً به حالت توسعه یافته می‌رسد.

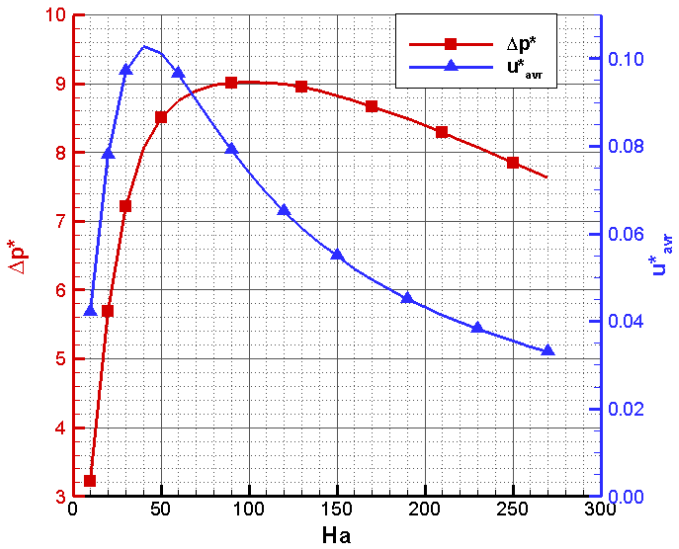
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل۴- خطوط همتراز سرعت در حالت پایا برای شرایط استاندارد

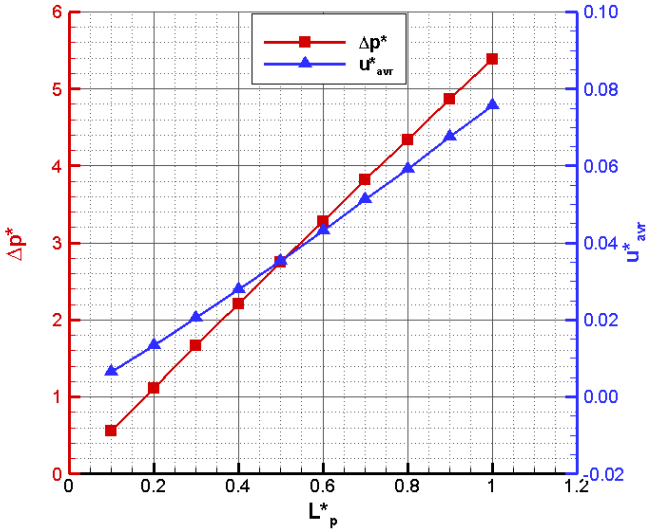
در شکل ۵ تغییرات هد و دبی بر حسب عدد هارتمن (عدد هارتمن یک کمیت بدون بعد است که به صورت نسبت نیروی الکترومغناطیس به نیروی ویسکوزیته تعریف می‌شود: $Ha = BL\sqrt{\frac{\sigma}{\mu}}$) رسم شده است. در این شکل ملاحظه می‌شود که دبی پمپ در عدد هارتمن ۴۰ ($\mathrm{Ha}_q^* = 40$) به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد در حالی که هد پمپ در $\mathrm{Ha}_h^* = 100$ ماکزیمم می‌شود. لازم به ذکر است که علامت بالانویس ستاره در اینجا برای نشان دادن نقاط بهینه، اندیس h برای هد، و اندیس q برای دبی به کاربرده شده است. با کمی دقت در این شکل می‌توان دریافت بازه کاری $\mathrm{Ha}_q^* \le \mathrm{Ha} \le \mathrm{Ha}_h^*$ بازه کاری مناسب برای میکروپمپ است چرا که به ازای $\mathrm{Ha} < \mathrm{Ha}_q^*$ شیب تغییرات هر دو گراف زیاد است برای یک نقطه کاری پایدار مناسب نیست و به ازای $\mathrm{Ha} > \mathrm{Ha}_h^*$ دبی پمپ از مقدار ماکزیمم خود بسیار دور می‌شود اما در بازه $\mathrm{Ha}_q^* \le \mathrm{Ha} \le \mathrm{Ha}_h^*$ شیب نمودار هد کم بوده و دبی پمپ به دبی بهینه نزدیک است.

تأثیر طول الکترود بر عملکرد میکروپمپ در شکل۶ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش طول الکترود دبی و هد پمپ هر دو افزایش می‌یابند. همچنین تأثیر اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سر الکترود بر عملکرد میکروپمپ در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش اختلاف پتانسیل دبی و هد پمپ هر دو افزایش می‌یابند. همانطور که مشاهده می‌شود تغییرات اختلاف پتانسیل بصورت خطی هد و دبی میکرو پمپ را تغغیر می دهد که علت این اتفاق را می وان در ترم چشمه معادله (۷) یعنی $\frac{2L_p\sigma BV}{Lw}$ یافت. همچنین میزان اثرپذیری هد و دبی با افزایش عدد هارتمن به‌شدت کاهش می یابد.

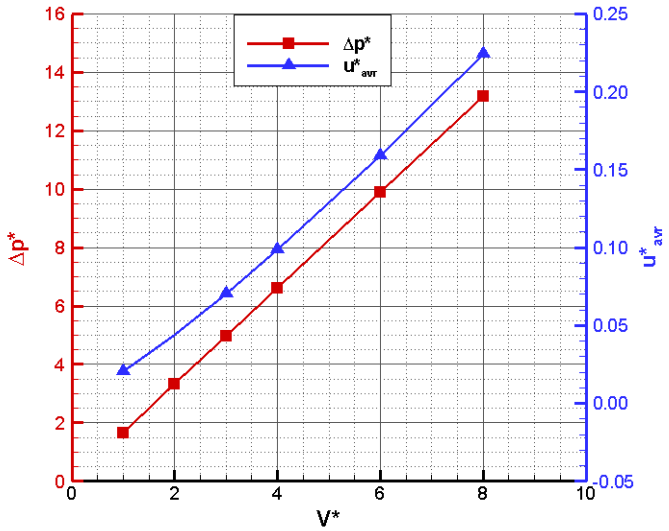


شکل۵-تغییرات هد و دبی میکرو پمپ بر حسب عدد هارتمن

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل۶- تغییرات هد و دبی میکرو پمپ بر حسب طول الکترود در حالت پایا

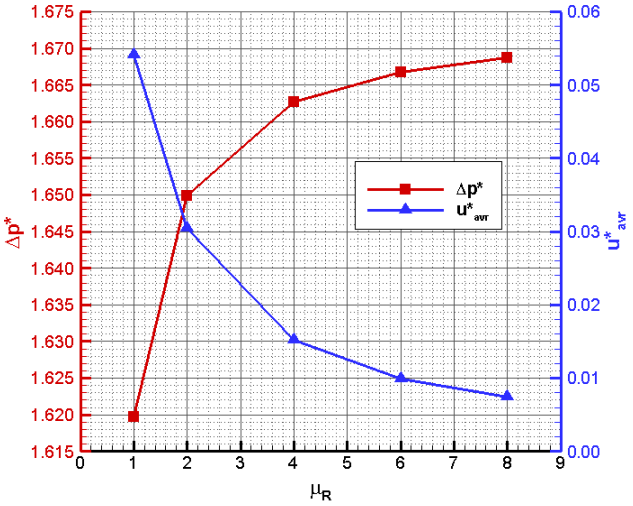


شکل۷- تغییرات هد و دبی میکرو پمپ بر حسب اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سر الکترود در حالت پایا

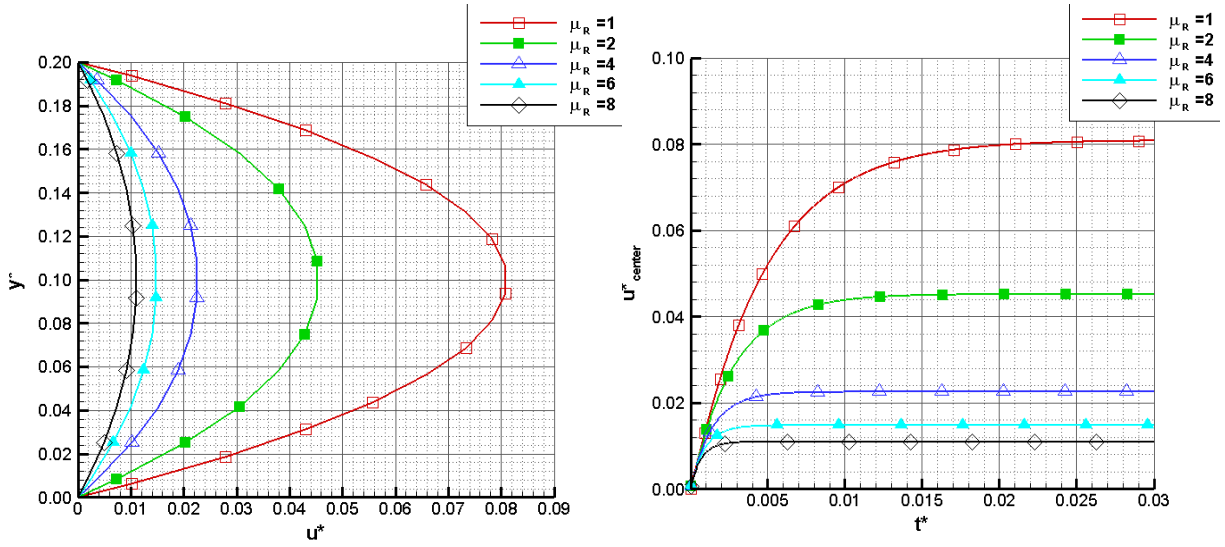
۴-۱ تأثیر نسبت لزجت(μ_R)

در شکل ۸ دبی و هد پمپ بر حسب نسبت لزجت، μ_R، در حالت پایا رسم شده است. همانطور که ملاحظه می شود با افزایش این نسبت دبی پمپ کاهش یافته ولی هد آن افزایش می‌یابد. این امر به این دلیل است که با افزایش نسبت لزجت، لزجت اولیه سیال زیاد بوده و نیروی مقاوم بزرگتری در مقابل حرکت ایجاد می‌کند که نتیجه آن کاهش سرعت و دبی پمپ خواهد بود. کاهش سرعت در اثر افزایش نسبت لزجت در نمودارهای (الف) و (ب) شکل ۹بهتر قابل مشاهده می‌باشد. بنابراین میزان دبی کاهش خواهد یافت و چون رابطه میان دبی و هد پمپ یک رابطه کاملا معکوس است که با افزایش هرکدام دیگری کاهش خواهد یافت. همچنین با توجه به شکل (۸) مشخص است که با افزایش نسبت لزجت میزان تاثیرپذیر دبی و هد پمپ از این نسبت به شدت کاهش می یابد، بطوریکه در نسبت لزجت ۴ به بالا تاثیر این فاکتور بسیار کم می‌شود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل۸- پروفیل سرعت در راستای عرض کانال برای نسبت لزجت‌های مختلف در حالت پایا



(ب) (الف)

شکل ۹ -(الف) نمودار سرعت در خط مرکزی کانال بر حسب زمان برای μ_R–های مختلف ، (ب) پروفیل سرعت در راستای عرض کانال در حالت کاملاً توسعه یافته برای μ_R–های مختلف

۵-نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر جریان یک سیال غیرنیوتنی از نوع تیکسوتروپیک در یک میکروپمپ هیدورمغناطیسی به‌صورت دوبعدی (یک بعد در راستای جریان و بعد دیگر عمود بر آن) شبیه‌سازی شده و تأثیر پارامترهای مختلفی چون میدان الکتریکی، عرض و ارتفاع کانال، طول الکترودهای ایجاد کننده میدان الکتریکی، پارامترهای تیکسوتروپیکی سیال و ... بر دبی و هد پمپ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان دادند که پارامتر بی‌بعد هارتمن دارای یک مقدار بهینه است که در آن دبی پمپ ماکزیمم مقدار خود را دارد. البته دبی و هد پمپ هر یک در هارتمنی مشخص و متفاوت از هم ماکزیمم می‌شود و لذا در انتخاب بازه کاری و هدف طراحی باید به این مهم توجه شود. به منظور افزایش همزمان دبی و هد در میکروپمپ می‌توان طول الکترود را افزایش داد یا اختلاف پتانسیل دو سر الکترود را بالا برد. نتایج تحقیق نشان داد با افزایش نسبت لزجت، دبی پمپ کاهش یافته ولی هد آن افزایش می‌یابد. این امر به این دلیل است که با افزایش نسبت لزجت، لزجت اولیه سیال زیاد بوده و نیروی مقاوم بزرگتری در مقابل حرکت ایجاد می‌کند که نتیجه آن کاهش سرعت و دبی پمپ خواهد بود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۶. مراجع

[1] Hartmann, Julius, and Freimut Lazarus. *Experimental investigations on the flow of mercury in a homogeneous magnetic field*. Munksgaard, 1937.

[2] Hartmann, Julius. *Theory of laminar flow of an electrically conductive liquid in a homogeneous magnetic field*. Munksgaard, 1937.

[3] Hartmann, Julius, and Freimut Lazarus. *Experimental investigations on the flow of mercury in a homogeneous magnetic field*. Munksgaard, 1937.

[4] Way, Stewart, and C. Devlin. "Prospects for the electromagnetic submarine." *1967 AIAA/SNAME Advance Marine Vehicles Meeting*. 1967.

[5] Jang, Jaesung, and Seung S. Lee. "Theoretical and experimental study of MHD (magnetohydrodynamic) micropump." *Sensors and Actuators A: Physical* 80.1 (2000): 84-89.

[6] Huang, L., et al. "LIGA fabrication and test of a DC type magnetohydrodynamic (MHD) micropump." *Microsystem technologies* 6 (2000): 235-240.

[7] Homsy, Alexandra, et al. "A high current density DC magnetohydrodynamic (MHD) micropump." *Lab on a Chip* 5.4 (2005): 466-471.

[8] Duwairi, H. M. "Numerical computation of fluid flow in a magnetohydrodynamic micropump." *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 32.1 (2008): 1-5.

[9] Duwairi, Hamzeh, and Mustafa Abdullah. "Thermal and flow analysis of a magneto-hydrodynamic micropump." *Microsystem technologies* 13 (2007): 33-39.

[10] Patel, Vaibhav, and Samuel Kinde Kassegne. "Electroosmosis and thermal effects in magnetohydrodynamic (MHD) micropumps using 3D MHD equations." *Sensors and Actuators B: Chemical* 122.1 (2007): 42-52.

[11] Moreno, Juan E. *Electrochemical aspects of magnetohydrodynamic thrusters*. Florida Atlantic University, 2011.

[12] Abdollahzadeh Jamalabadi, M. Y. "Analytical study of magnetohydrodynamic propulsion stability." *Journal of Marine Science and Application* 13 (2014): 281-290.

[13] Cébron, David, et al. "Experimental and theoretical study of magnetohydrodynamic ship models." *PloS one* 12.6 (2017): e0178599.

[14] Aoki, Luciano Pires, Michael George Maunsell, and Harry Edmar Schulz. "A magnetohydrodynamic study of behavior in an electrolyte fluid using numerical and experimental solutions." *Revista de Engenharia Térmica* 11.1-2 (2012): 53-60.

[15] Bansal, Parth, and Stefano Brizzolara. "Application Perspectives of Magneto-Hydro-Dynamics To Propel Autonomous Underwater Vehicles." *SNAME Maritime Convention*. SNAME, 2018.

[16] Chitsaz, Mahzad, and Mani Fathali. "Impact of an initial random magnetic field on the evolution of two-dimensional shearless mixing layers." *Physical Review E* 100.4 (2019): 043106.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

چکیده انگلیسی:

Two-dimensional Simulation of non-Newtonian Fluid Flow with Thixotropic Model in Hydromagnetic Micro Pump

Parimiah Salimi[1], Seyydeh Soodeh Jahani[1], Hamoon pourmirzaagha[1*]
[1]Department of Mechanical Engineering, Ramsar Branch, Islamic Azad University, Ramsar, Iran.

Received: February 2024 Accepted: May 2024

Abstract
Nowadays, the use of hydromagnetic micro pumps has gained a lot of attraction due to the lack of moving parts. The design and construction of this type of pump has its own subtleties and complexities, which is still the subject of today's research, so the numerical analysis of this type of pump can be a great help in designing and manufacturing them. In this research, the flow of a thixotropic non-Newtonian fluid in a hydromagnetic micropump is simulated in two dimensions and the effect of various parameters such as magnetic field intensity, electric field, channel width and height, the length of the electrodes that create the electric field of the fluid on the flow rate and the pump head have been investigated. The results showed that the dimensionless Hartmann parameter has an optimal value where the pump discharge has its maximum value. The flow rate and head of each pump in Hartmann are specified and maximized differently, The flow rate reaches its maximum value at Hartmann number 40, while the pump head reaches its maximum value at Hartmann number 100. The results showed that in order to simultaneously increase the flow rate and head in the micropump, the length of the electrode can be increased or the potential difference between the two ends of the electrode can be increased. Also, with the increase of the viscosity ratio, the flow rate of the pump is reduced, but its head is increased, and with the increase of this ratio, the effective amount of flow rate and the pump head are greatly reduced from this ratio, so that the effect of this factor is very less in the viscosity ratio of 4 and above.

Keywords: Micropump, Thixotropic fluid, Two dimentional simulation, Transient flow
*corresponding author: hamoon.pourmirzaagha@iau.ac.ir

Cite this article as Parimiah Salimi, Seyydeh Soodeh Jahani, Hamoon pourmirzaagha. Two-dimensional Simulation of non-Newtonian Fluid Flow with Thixotropic Model in Hydromagnetic Micro Pump. Journal of Energy Conversion, 2024, 11(1), 49-58.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]