

القای نیروی هیدرودینامیکی به یک مایع با استفاده از میدان‌های مغناطیسی سیار برای ساخت پمپ مغناطیسی در سمپاش‌های کشاورزی

علی جعفری*

محمود رضا حقی فام**

چکیده

در این تحقیق با استفاده از تئوری عمل ماشین‌های خطی القایی (LIM) نیروی هیدرودینامیکی به یک مایع اعمال شده است. هدف از این تحقیق، بررسی امکان القای جریان الکتریکی و به تبع آن القای نیروی هیدرودینامیکی به درون یک مایع به منظور ساخت پمپ مغناطیسی بوده است. برای این منظور از چندین مایع شیمیایی و سموم و کودهای مایع کشاورزی، با خاصیت‌های هدایت الکتریکی گوناگون، در برابر میدان‌های مغناطیسی دوار استفاده شده است. (در موتورهای القایی الکتریکی، میدان‌های مغناطیسی دوار میدان‌هایی هستند که با اتصال جریان متناوب سه فاز به استاتور موجب حرکت چرخشی یک آهنربای فرضی درون آن می‌شود) نتایج آزمایشات انجام شده نشان می‌دهد که عملکرد یک مایع در برابر میدان مغناطیسی دوار شباهت‌های لازم را با عملکرد روتور جامد (در موتورهای القایی) دارد. همچنین طی بررسی‌های به عمل آمده مشخص شده است که هر قدر هدایت الکتریکی یک سیالی بیشتر باشد، نیروی هیدرودینامیکی بیشتری را می‌توان به آن اعمال نمود.

واژه‌های کلیدی: موتورهای خطی، مگنتوهیدرودینامیک، القای مغناطیسی، پمپ مغناطیسی

*- دانشگاه تربیت مدرس - گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی (دانشجوی دکتری)

** - دانشگاه تربیت مدرس بخش مهندسی برق (استادیار)

محل پژوهش: کارگاه مکانیک ماشین‌های کشاورزی - دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت مقاله: ۸۰/۸/۷ تاریخ دریافت نسخه نهایی مقاله: ۸۱/۵/۱۶

مقدمه و سابقه تحقیق

انسان برای بهره مندی از انرژیهای گوناگون نیازمند تبدیل صورتهای مختلف انرژی به یکدیگر است. یکی از مهمترین این موارد تبدیل انرژی الکتریکی به مکانیکی است که این تبدیل با موتورهای الکتریکی صورت می پذیرد. در بین موتورهای الکتریکی، موتورهای الکتریکی از جایگاه خاصی برخوردار بوده و بیشترین کاربرد را در بخشهای صنعتی و کشاورزی دارند. موتورهای القایی موتورهای هستند که جریان AC بطور مستقیم استاتور را تغذیه نموده و روتور با عمل القای عمل ترانسفورماتوری از طریق استاتور، انرژی دار می گردد [۳]. هر چند مبنای کار موتورهای القایی برگرفته از اولین موتور الکتریکی است که در سال ۱۸۳۱ توسط فارادی ساخته شد، اما اختراع اولین موتور القایی در سال ۱۸۹۱ توسط فلمینگ به ثبت رسیده است [۸]. از آن زمان تا کنون به تدریج اینگونه موتورها جایگزین نیروی انسانی، دام، باد و همچنین موتورهای احتراق داخلی در عملیات کشاورزی و صنایع تبدیلی کشاورزی می شوند [۱۶]. همچنین در کارخانجات و فرایند اتوماسیون تولیدات صنعتی نقش موتورهای القایی روز به روز در حال تزايد است. بطور کلی موتورهای الکتریکی القایی را به دو نوع عمومی و مخصوص تقسیم بندی می نمایند.

نوع عمومی که ممکن است دارای روتور قفسه سنجابی و یا روتور سیم پیچی شده باشند، بر مبنای تئوری میدانهای دوار مغناطیسی عمل می نمایند [۲]. این نوع موتورها بیشترین کاربرد را در بخشهای مختلف صنعت و کشاورزی دارند [۱۶]. اما نوع مخصوص ماشینهای القایی کاربردهای ویژه ای دارند. هر چند مبنای تئوری کار آنها با سایر موتورهای القایی یکسان است، اما برخی ویژگیها در رفتار آنها موجب شده تا نام مخصوص بر روی آنها گذاشته شود. این موتورها انواع گوناگونی دارند که توضیح در خصوص تعاریف و نحوه عمل هر یک از آنها خارج از حوصله این مقاله بوده و برای توضیحات بیشتر می توان به منابع [۱] و [۹] مراجعه نمود. اما بعلاوه ارتباط تحقیق حاضر با یکی از موتورهای مخصوص به نام موتورهای خطی (بخصوص موتورهای القایی خطی)، ضمن معرفی اجمالی آن، اشاره ای کوتاه به سابقه و کاربردهای آن می نمایم.

در تعریف موتورهای خطی بیان شده که دسته ای از موتورهای مخصوص الکتریکی هستند که در آن انرژی الکتریکی مستقیماً به حرکت مستقیم الخط مکانیکی تبدیل می شود [۵]. بعبارت بهتر موتورهای خطی، نوعی موتور دورانی هستند که استاتور آن بصورت مسطح در آمده باشد. تقسیم بندیهای مختلفی برای این موتورها ارائه شده است. یکی از ساده ترین این تقسیمات عبارت است از: ۱- موتورهای DC خطی (LDM) ۲- موتورهای القایی خطی (LIM) ۳- موتورهای سنکرون خطی (LSM) (شامل نوع رلوکتانسی و پله ای) ۴- موتورهای نوسانی خطی ۵- موتورهای هیبریدی. برای شناخت بهتر انواع فوق می توان به مراجع [۵] و [۶] مراجعه نمود.

در اینجا لازم به توضیح است که مشهورترین نوع موتور خطی، نوع القایی آن است (یعنی LIM). پیشنهاد

ساخت موتور القایی خطی اولین بار توسط وتستون^۱ در سال ۱۸۴۱ ارائه شده است [۱۸]. ساخت اولین LIM نیز در سال ۱۸۹۰ به ثبت رسیده است [۱۱]. از آن زمان تا کنون کاربردهای بسیار زیادی برای موتورهای خطی ارائه شده است. برای نمونه می توان به کاربردهایی همچون قطارهای مغناطیسی [۸]، پرواز دهنده های سریع هواپیماها [۷]، [۸] نقاله ها، بالابرها، آسانسورها، دستگاههای تمیزش (جداکننده ها)، آسیابهای برقی، چکش های برقی، سیستمهای اتوماتیک صنعتی، اره های برقی، رباتها، آزمایشگاههای تست شتاب بالا، شیکرها و ارتعاشگر و... اشاره نمود [۱۸].

حال این سؤال اساسی مطرح می شود که آیا با موتورهای القایی خطی می توان همانند یک جسم جامد حرکت مستقیم الخط را به یک مایع نیز وارد نمود؟ پاسخ به این پرسش موضوع تحقیق حاضر است. بدیهی است که در صورت امکان، کاربردهای بسیار گوناگون و جدیدی برای آن نیز متصور می گردد که از آن جمله: پمپاژ مایعات خورنده مانند سموم و یا کودهای مایع کشاورزی، اسیدها، بازها و همچنین پمپاژ مایعات خوراکی در کارخانجات تبدیل محصولات کشاورزی (همانند پمپاژ آبلیمو، آب سرکه و...) می باشد. برای بررسی این موضوع لازم است تا ابتدا نگاهی به سابقه تحقیقات مرتبط با ویژگیهای رفتار یک سیال (مایع یا گاز) در مجاورت میدان مغناطیسی بنماییم. بطور کلی می توان گفت که در این زمینه تحقیقات ناچیزی انجام شده است. اولین بار در سال ۱۹۶۰ در آمریکا، رفتار گازهای یونیزه در مجاورت میدان مغناطیسی بررسی و در نتیجه آن مولدهای تولید انرژی الکتریکی به نام مگنتو هیدرو دینامیک (MHD) ساخته شد [۱۲]. یکی دیگر از تحقیقات مرتبط با تحقیق حاضر، ساخت نوعی پمپ مغناطیسی با استفاده از موتورهای خطی جریان مستقیم (LDM)، به منظور خارج نمودن فلز مذاب راکتور در نیروگاههای هسته ای می باشد [۷].

در خصوص مگنتو هیدرو دینامیک تحقیقات بیشتری نیز انجام شده است که از آنجمله می توان به مطالعات جنین و کراسنوشچکوف^۲ در سال ۱۹۹۰ تحت عنوان "هیدرو دینامیک و مبادله گرمایی در سیال درون لوله، در مجاورت میدان مغناطیسی" [۴] و همچنین مطالعات اس^۳ تانسلاو و همکارانش در سال ۱۹۹۸ تحت عنوان "تحلیل ریاضی در مورد فشار سیالات مگنتو هیدرو دینامیک" [۱۵] و همچنین تحقیقات تامسون^۴ در همان سال تحت عنوان "اثرات القایی توسط مغناطیس در سیالات فرومگنتیک" اشاره نمود [۱۷].

در اینجا ذکر این نکته ضروری است که بعلت الکترو لیت نبودن فلز مذاب، عبور جریان مستقیم از درون آن باعث تجزیه شیمیایی فلز مذاب نمی گردد. اما در مایعات الکترو لیت (همانند، اسیدها، بازها و...) عبور جریان مستقیم باعث تجزیه شیمیایی می شود، بنابراین پمپاژ مایعات الکترو لیت با روش (LDM) بعلت تجزیه در صدی از مایع، صحیح نمی تواند باشد.

1- Wheatstone

2- Genin and Krasnoshchekova

3- Stanislaw

4- Thompson

یکی از آخرین تحقیقات انجام شده در خصوص پمپهای مغناطیسی، اختراع نوع خاصی پمپ مغناطیسی توسط جان اف راج^۱ در سی ام ماه می سال ۲۰۰۰ می باشد [۱۳]. هدف وی در این تحقیق ساخت نوعی پمپ مخصوص مغناطیسی برای حرکت یک سیال در یک مدار بسته، به منظور تولید ضربانهای خاص می باشد. آبراهام پی لی^۲ و همکارانش با پیگیری مطالعات جان اف راج، اختراع دیگری با عنوان "سنسورها و محرکهای مگنتوهیدرودینامیک" در ۱۴ نوامبر سال ۲۰۰۰ در آمریکا به ثبت رساند [۱۰]. هدف از این اختراع، ساخت یک میکروپمپ هیدرودینامیکی برای پمپاژ، دبی سنجی مایعات در سیستمهای میکروفلوئیدی می باشد. مکانیزم اختراع وی، عبور مایع از درون کانال مربعی شکل، در معرض میدانهای مغناطیسی و جریان الکتریکی عمود بر هم، می باشد. بعبارت بهتر مکانیزم اختراع وی برگرفته از موتور خطی نوع LDM می باشد. حال با تأسی مطالعات فوق، قصد آن داریم تا تحقیق لازم در خصوص امکان سنجی ساخت پمپ مغناطیسی با تکنیک موتورهای القایی خطی (LIM) به منظور پمپاژ مایعات خورنده (همچون اسیدها، بازها، سموم کشاورزی و...) را بررسی نماییم. بدیهی است استفاده از روش LIM برتریهایی (از جمله عدم تجزیه شیمیایی سیال) نسبت به روش دارد.

مواد و روشها

با استفاده از تئوری عمل موتورهای خطی الکتریکی، می توان عملکرد یک پمپ مغناطیسی را شبیه سازی نمود. در این شبیه سازی، ثانویه متحرک موتور را بعنوان حجمی از یک مایع فرض می نماییم. برای مشخص شدن روابط حاکم بر فشار مایع، دبی پمپ، راندمان و توان مصرفی پمپ، ابتدا به شکل (۱) نظر می افکنیم. در این شکل یک پمپ مغناطیسی با استاتور به ابعاد $b \times c$ در دو طرف یک ظرف مکعبی به ضخامت جداره a و سطح مقطع داخلی $b \times h$ نصب شده است. هدایت الکتریکی مایع σ و پرمابلیته آن μ می باشد. فرض می شود که مایع (با پرمابلیته σ و هدایت الکتریکی μ)، با سرعت متوسط u پمپاژ می شود. جریان استاتور متناوب و سه فاز می باشد. در این حالت می توان اثبات نمود که عملکرد استاتور مشابه یک آهنربای دو قطبی است که همانند یک موج (با طول موج λ) در طول استاتور حرکت می کند [۲].

سرعت حرکت آهنربای مجازی از رابطه زیر بدست می آید:

$$u_s = 2\tau f = \lambda f \quad (1)$$

τ : گام قطب (گام کلایف)

1- Roach, J.F.

2- Abraham, P. Lee

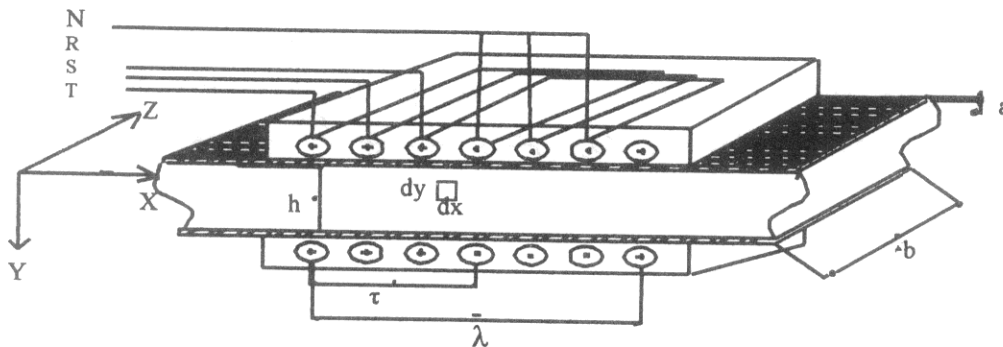
λ : فاصله دو قطب (طول موج)

f : فرکانس برق

حال اگر فرض کنیم که ذرات مایع با سرعت u در طول کانال در حال حرکت باشند، آنگاه در صد اختلاف سرعت ذرات مایع با سرعت آهنربای مجازی را مطابق رابطه زیر لغزش می نامند.

$$s = \frac{u_s - u}{u_s} \quad (2)$$

اکنون به حرکت آهنربای مجازی در مجاورت یک مایع (با فرض هدایت الکتریکی خوب) توجه می کنیم. برای این منظور در شکل (۱) به یک المان فرضی مایع در امتداد محور z ها که با سرعت ثابت u در امتداد محور x ها در حال حرکت است، نظر می افکنیم. با عنایت به روابط مقدماتی الکترومغناطیس، انتظار می رود تا با حرکت آهنربای فرضی ولتاژ زیر درون المان مذکور القا شود.



شکل ۱: نمایی از طرح پمپ خطی مغناطیسی

$$e_{ind} = BSU_s b \quad (3)$$

القای ولتاژ فوق، موجب می گردد تا جریان i و چگالی جریان j مطابق روابط زیر در المان مذکور، جاری گردد.

$$i = \frac{V}{R} \quad (4)$$

$$jdA = \frac{e_{ind}}{\frac{b}{\sigma dA}} \quad (5)$$

$$j = \frac{\sigma e_{ind}}{b} \quad (۶)$$

که در آن σ هدایت الکتریکی مایع است. از طرفی از ابتدا فرض نمودیم که مایع با سرعت ثابت u در حال حرکت است. حال اگر بخواهیم حرکت مذکور همچنان ادامه داشته باشد، لازم است تا طبق رابطه کریشهف، جریان i و چگالی جریان j طبق روابط زیر، درون مایع جاری باشد.

$$i = \frac{e_{ind} - BUb}{R} \quad (۷)$$

$$j = \frac{(e_{ind} - BUb)\sigma}{b} \quad (۸)$$

بدیهی است در ابتدای اتصال سیمهای استاتور به شبکه سه فاز، مقدار سرعت u ، صفر و $s=1$ می باشد. لذا e_{ind} و جریان i (و چگالی جریان j) ماکزیمم است. در حالیکه سرعت مایع به سرعت حرکت آهنربای مجازی نزدیک شود (یعنی $u=U_s$) آنگاه $s=0$ و متناظر با آن e_{ind} و i صفر است. بنابراین مایع با سرعتی کمتر از U_s می تواند به حرکت خود ادامه دهد.

حال فرض می کنیم مایع با سرعت U ($u < U_s$) در حال حرکت بوده و جریان i (و چگالی نظیر جریان j) درون المان مایع موجود باشد. آنگاه طبق رابطه لورنتس نیروی زیر به المان مایع وارد می شود [۲]:

$$df = B i b = B (j dA) b \quad (۹)$$

حال با استفاده از روابط (۳) و (۶) و (۹) داریم:

$$df = B \left(\frac{\sigma e_{ind}}{b} \right) dA \cdot b = B \left(\frac{\sigma (BSU_s b)}{b} \right) dA \cdot b \quad (۱۰)$$

$$df = B^2 \sigma U_s b dA \quad (۱۱)$$

معادله (۱۱) نیروی وارده بر یک المان فرضی مایع را نشان می دهد. برای اینکه کل نیروی وارده بر مایع محاسبه گردد. لازم است تا از معادله فوق در کل مساحت $Kh\lambda$ انتگرال گیری شود^۱. اما می دانیم که جریان استاتور سینوسی بوده و متناظر با آن مقدار چگالی شار مغناطیسی B نیز سینوسی است

۱- توضیح در معادله فوق ۶/(تعداد شیار استاتور) k بوده و $C=Kl$ طول بعد استاتور است. در شکل (۱)، $k=1$ می باشد.

یعنی :

$$F = \int_{y=-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \int_0^{\lambda} B^2 \sigma S U_s b dx dy \quad (12)$$

$$B = B_m \sin(\omega t + \psi) \quad (13)$$

بنابراین بجای B در معادله (۱۲) مقدار متوسط آنرا یعنی $B_{avg} = \frac{B_m}{\sqrt{2}}$ قرار می‌دهیم، در نتیجه خواهیم داشت:

$$F_{(N)} = \frac{B_m^2}{2} \sigma S U_s b k \lambda h \quad (14)$$

معادله (۱۴) نیروی متوسط وارد به حجم مایع درون پمپ مغناطیسی را در هر لحظه نشان می‌دهد. برای محاسبه فشار ایجاد شده توسط پمپ خواهیم داشت :

$$F_{pa} = \frac{B_m^2}{2} \sigma S U_s k \lambda \quad (15)$$

از طرفی طبق معادله (۲) بیان گردید که سرعت واقعی مایع $U = U_s(1-s)$ می‌باشد لذا توان هیدرولیکی تولید شده توسط پمپ عبارت است از :

$$Power = F U = \frac{B_m^2}{2} \sigma U_s^2 S (1-S) b k \lambda h \quad (16)$$

همچنین دبی پمپ از رابطه زیر قابل محاسبه است :

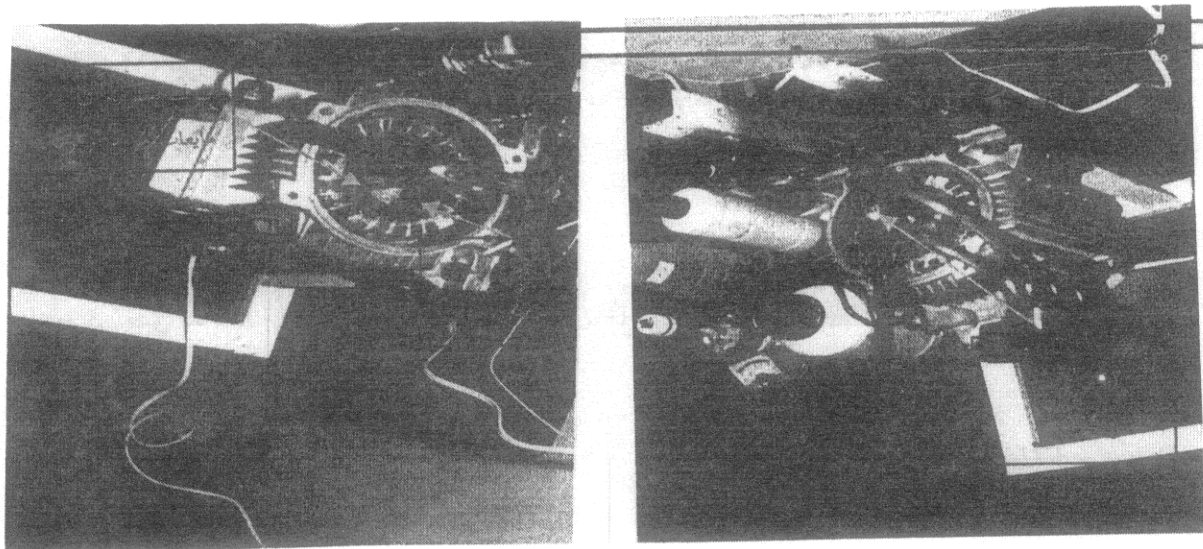
$$Q = U h b = U_s (1-S) b h \quad (17)$$

نتایج آزمایشگاهی

آنچه در قسمت تئوری مورد بحث واقع شد، مبنای تئوری یک پمپ مغناطیسی می‌باشد که بر پایه شبیه سازی یک موتور القایی خطی (LIM) برپا شده است. با شناختی که از موتورهای خطی وجود دارد، می‌دانیم که در بخش ثانویه یک موتور خطی یک هادی جامد قرار گرفته و نحوه القای جریان در آن کاملاً شناخته شده

است. ولی برای اثبات امکان القای جریان الکتریکی و نیروی مکانیکی به درون یک مایع، نیاز است تا با مشاهدات آزمایشگاهی صحت روابط تئوری که بر مبنای شبیه سازی ایجاد گردیده، بررسی گردد. با توجه به محدودیتهای کارگاهی، محققین بجای استفاده از موتور خطی، از یک موتور سه فاز معمولی با مشخصات زیر استفاده نمودند (شکل (۲)).

$p=1.5hp$	$D=63mm$	$\tau=98.96mm$	N : تعداد حلقه‌های هر فاز	τ : طول قطب
$\cos = 0.85$	$h=81mm$	$\psi=4.08*10wb$	B : چگالی شار مغناطیسی هر قطب	D : قطر داخلی استاتور
$\eta=82\%$	$N=240rev$	$B=0.509wb/m^2$	ψ : شار مغناطیسی	h : طول شیار استاتور



شکل ۲: مدل کارگاهی برای بررسی القای نیروی مکانیکی به یک مایع

در موتور مذکور بجای روتور، از چند مایع با هدایت الکتریکی گوناگون استفاده شده و بدین ترتیب به جای امواج سیار مغناطیسی، مشابه اثر میدان مغناطیسی چرخشی بر روی مایعات مورد آزمون بررسی شده است. نتایج آزمایشات فوق در جدول (۱) آمده است. نحوه انجام آزمایشات بدین صورت است که از یک ظرف پلاستیکی استوانه‌ای به ابعاد تقریبی روتور موتور مورد آزمون، جهت بررسی اثر میدان مغناطیسی چرخشی استفاده شده است. شکل (۲). همچنین به منظور کاهش مقاومت مغناطیسی و تلفات ناشی آن، یک استوانه

فرومغناطیس (آهن توپر) با قطر ۵ cm و ارتفاع ۷cm درون ظرف مایعات مورد آزمون، بصورت ثابت نصب شده است. ابتدا ضریب هدایت الکتریکی مایعات مورد آزمون را با مولتی متر اندازه گرفته و بدین ترتیب ستون مذکور در جدول (۱) تکمیل می شود.

سپس مایعات مورد آزمون را درون استوانه پلاستیکی می ریزیم. حال با ایجاد جریان سه فاز خط با ولتاژ ۱۵۰ ولت، میدان مغناطیسی چرخشی با فرکانس برق شهر را درون استاتور ایجاد می نمایم. (علت استفاده از

جدول ۱: نتایج آزمایشات اثر میدان مغناطیسی چرخشی بر روی تعدادی مایعات شیمیایی و کودهای کشاورزی برای ولتاژ خط ۱۵۰ ولت در دمای محیط (۲۰ درجه سانتیگراد).

ردیف	نوع ماده	ضریب هدایت الکتریکی $(\Omega m)^{-1}$	سرعت تقریبی چرخش مایع RPM	لغزش S	فشار Pascal	توان هیدرولیکی Wat
۱	HCL صنعتی	70.92	70	0.97	0.05	2×10^{-3}
۲	جوهر گوگرد	39.06	60	0.98	0.03	8.7×10^{-1}
۳	NaOH	25.6	50	0.983	0.02	4.7×10^{-4}
۴	KOH	54.05	65	0.978	0.04	1.3×10^{-3}
۵	جیوه	106	بسیار شدید	تقریباً صفر	زیاد	—
۶	کود فسفات	4.1×10^{-3}	10	0.996	2.8×10^{-6}	1.5×10^{-8}
۷	کود پتاسه	2.2×10^{-3}	8	0.997	1.54×10^{-6}	6.6×10^{-8}
۸	کود کلات آهن	2.25×10^{-6}	حرکت مشاهده نشده	—	—	—
۹	کود مایع قطره طلا	1.7×10^{-3}	8	0.997	1.2×10^{-6}	5.1×10^{-8}
۱۰	کود کلات آهن	2.1×10^{-3}	8	0.997	4.2×10^{-6}	6.3×10^{-8}
۱۱	سم مالاتین	3.5×10^{-4}	6	0.998	2.46×10^{-7}	7.9×10^{-9}
۱۲	سم فوالین	2.1×10^{-5}	2	0.999	3.6×10^{-8}	3.8×10^{-10}
۱۳	سم آزیفوس	2.1×10^{-5}	2	0.999	3.6×10^{-8}	3.8×10^{-10}
۱۴	سم دیازن	8.1×10^{-5}	حرکت بسیار ضعیف	—	—	—
۱۵	سم سوپراویل	9.1×10^{-6}	حرکت مشاهده نشده	—	—	—

جریان خط ۱۵۰ ولت، حداکثر توانایی دستگاه برای آزمون‌های کوتاه مدت بوده است) پس از تثبیت چرخش مایع (در اثر تحریکات میدان مغناطیسی چرخشی)، زمان یک دور چرخش ثبت شده و بدین ترتیب ستون سرعت تقریبی چرخش مایعات در جدول (۱) تکمیل می‌گردد. حال با کمک روابط (۱) و (۲)، لغزش s محاسبه می‌گردد. همچنین ستون فشار و توان هیدرولیکی در جدول (۱) بترتیب با استفاده از روابط (۱۵) و (۱۶) محاسبه شده‌اند. با دقت در جدول (۱)، در می‌یابیم که هر قدر هدایت الکتریکی مایعی بالاتر باشد، القای نیروی هیدرودینامیکی به آن نیز بیشتر است و این مطلب توجیه پمپاژ مایعات با هدایت الکتریکی بالاتر را می‌رساند.

بحث و نتیجه گیری

همانگونه که در مقدمه این مقاله اشاره گردید. هدف اصلی از تحقیق حاضر، بررسی امکان القای نیروی مکانیکی به یک مایع به کمک میدان مغناطیسی متحرک و به تبع آن بررسی امکان ساخت یک پمپ مغناطیسی (بدون پره) برای پمپاژ مایعات مختلف، بخصوص مایعات خورنده شیمیایی و سموم کشاورزی بوده است. مبنای تئوری تحقیق بر اساس شبیه سازی موتورهای القایی و جایگزینی روتور موتورهای القایی، با یک مایع صورت پذیرفته است.

قبل از شروع آزمایشات تحقیق این ابهام وجود داشت که القای جریان الکتریکی درون یک مایع در راستای عمود بر میدان مغناطیسی امکان پذیر نباشد. چرا که تصور می‌شد با توجه به خاصیت مولکولهای هر مایع (که قابلیت لغزش بر روی یکدیگر را دارند) دائماً جهت جریان القایی تغییر کرده و لذا نتوان نیروی منظمی به یک مایع، القانمود. اما نتایج آزمایشات نشان داد که رفتار یک مایع در مقابل میدان متحرک مغناطیسی با رفتار یک جامد شباهتهای لازم را داشته، این خود پاسخ به سؤال اصلی تحقیق، مبنی بر امکان پذیر بودن ساخت پمپ مغناطیسی است. با دقت در نتایج جدول (۱)، اهمیت ضریب هدایت الکتریکی مایع در القای نیروی هیدرودینامیکی به آن مشخص می‌شود. هر چند نتایج اولیه آزمایشات (طبق جدول ۱) راندمان پایینی برای القا نیرو به سموم و کودهای مایع مورد آزمون را نشان می‌دهد. اما پی بردن به امکان پذیر بودن القای هیدرودینامیکی به یک مایع با استفاده از میدانهای مغناطیسی متحرک، خود از درجه اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین ذکر این نکته ضروری است که در این تحقیق از تعداد محدودی کود و مایع کشاورزی برای آزمایش استفاده شده است. لذا با مشخص نمودن خواص هدایت الکتریکی سموم و کودهای مایع و یا هر نوع مایع دیگر کشاورزی (محصول و یا نهاده)، می‌توان لیستی از مایعات قابل پمپاژ با روش حاضر و با راندمان مناسب را تهیه نمود. بعبارت دیگر نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که پمپاژ هر نوع مایع (چه کشاورزی و چه صنعتی) بکمک میدان مغناطیسی متحرک امکان پذیر بوده و وقتی راندمان آن توجیه پذیر است که آن مایع از خواص هدایت الکتریکی مطلوبی برخوردار باشد و یا بتوان این خواص را به

روشهای خاصی افزایش داد^۱.

منابع و مآخذ

- 1- Bradley, D 1987, "basic electrical power and machine ", Chapman & hall publisher, UK.
- 2- Chapman, S.J., 1991, "Electric machinery fundamentals ", Mac Graw hill, USA.
- 3- Fitzgerald, A.E, Kingsley, C., and Umans, S.D, 1988, " Electric machinery ", Mac Graw hill.
- 4- Genin, L.G. and Krasnoshchekova, 1990, " The hydrodynamic and heat exchange of a conducting fluid in a lube within a longitudinal magnetic field, Magnetohydrodynamics, iss: 1 Vol, : 26 P : 50-6.
- 5- Gieras, J.F., 1994, " Linear induction drivers ", Clarendon Press, oxford, USA.
- 6- Gieras, J.F. and Piec, Z, J., 2000, " Linear synchronous motors ", England.
- 7- Jones, G.P., 1993, " Electrical engineer's reference book ", England.
- 8- Laith waite,E.R., 1987, " a history of linear electric motors ", Mac millan education Ltd., Hong Kong.
- 9- Leander, M, and Morgan, D., 1987, " Electromagnetic and electromechanical machines ", John Wiley & sons Inc., Printed in Singapore P.427-522.
- 10- Lee, Abraham P.,2000, " Magnetohydrodynamic actuators and sensors ", USA Patent No : 6146103.
- 11- Pawluk, K., and Szczeplanski, W.,111111111111974, " Linear electric motors ", WNT ,Warsaw.
- 12- Rai, G.D, 1994, " Non conventional energy sources ", India.
- 13- Roach, J.F., 2000, " Magneto hydrodynamic Pump ", USA Patent No: 6068449.

۱- امروزه خواص فیزیکی بسیاری از مواد صنعتی را جهت استفاده‌های خاص تغییر می‌دهند. بعنوان مثال اخیراً متخصصین پلیمر به منظور افزایش خواص کاربردی، اقدام به هادی نمودن برخی از پلیمرها نموده‌اند. بدیهی است پمپاژ اینگونه پلیمرها (در حالت مایع) با روش تحقیق حاضر امکان‌پذیر است [۱۴].

- 14- Rupprecht, L., 1999, " Conductive polymers and plastics in industrial applications " , plastics design library, Canada, P18-24.
- 15- Stanislaw K., Smialek, M. and Wlodarczyk, M., 1998, " Analysis of magnetohydrodynamic pressure conducting fluids " , IEEE transactions on magnetics, No : 34, P. 3138-41.
- 16- Stout, B.A., 1987, " Energy in Word agriculture, " Elsevier publisher, USA.
- 17- Thompson, M., 1998, " Simple models and measurements of magnetically induced heating effects in ferromagnetic fluids " , IEEE transactions magnetics No : 5, vol.: 34 , P. 3755-64.
- 18- Yamada, H., 1986, " Handbook of linear motor applications " , kogyo chosakai pub. Co. Ltd., Japan.