بررسی مزایای استفاده از آب بجای

روغن در سیستم های هیدرولیکی

بهمن حیدری[1] ـ محسن شمسی[2]

1- دانشجوی مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه شهید باهنرکرمان

2- عضو هیات علمی گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه شهید باهنرکرمان

Bahmanheydari1368@yahoo.com

چکیده

امروزه در کشاورزی از سیستم های هیدرولیک در ماشین های کشاورزی وادوات استفاده فراوانی می شود . سیستم های هیدرولیکی پس از مدتی کارکرد دچار فرسودگی شده واولین عیب را با نشت روغن و آلودگی محیط نشان می دهند . در صورت ریختن روغن بر روی خاک، عملکرد محصول کاهش می یابد. پاک کردن *روغن از سطوح به دلیل چسبندگی مشکل است.* اگردر سیستم های هیدرولیک به جای روغن از آب استفاده شود، برای کشاورزی و سایر محیط های کاری مناسب ترند. البته در صورت بکاری گیری آب سیستم ها رابایستی از مواد ضد ز نگ ساخت. توجه به استفاده از آب در تحقیقات علمی دنیا شروع شده است . در این تحقیق از دو الکترو پمپ مینیاتوری ویک سیلندر پیستون پلاستیکی آزمایشگاهی استفاده شد. الکترو پمپ ها به صورت سری به هم وصل شده وسپس به یک جک هیدرولیک (سیلندر پیستون) وصل شدند. با روشن کردن الکترو پمپ ها سیال توسط پمپ اول مکیده شده، تحت فشار قرار می گیرد و سپس پمپ دوم فشار آن را افزایش داده وسیال را به جک هیدرولیک تزریق می کند وپیستون وزنه ها را بالا می برد. آزمایش های جداگانه با آب و روغن هیدرولیک انجام شدند. دراین آزمایش ها با بلر گذاری جک هیدرولیک توسط وزنه های مختلف، پارامترهای نیرو، زمان، سرعت، شدت جریان الکتریکی، توان و راندمان کل برای آب وروغن محاسبه شدند . نتایج به دست آمده نشان می دهند که آب و روغن به ترتیب راندمان کل 2.39 درصدو0.06درصد را دارند واین بدان معناست که درسیستم مورد آزمایش راندمان استفاده ازآب 40 برابراستفاده از روغن است. هم چنین جک هیدرولیک برای آب توانایی بالا بردن حداکثر 81 نیوتن را داشت درصورتی که این توانایی برای روغن به 20 نیوتن کاهش یافت، لذا نیروی تولیدی توسط آب 4برابرنیروی تولیدشده هنگام استفاده از روغن می باشد. آزمایشات نشان می دهد که با سیستم های هیدرولیک آبی با وجود سرعت وتوان بالا می توان عملیات کشاورزی رادر مدت کوتاه تر وبا ظرفیت بیشتر وکاهش هزینه ها انجام داد . هم چنین در صورت تجاری شدن سیستم های هیدرولیک آبی هزینه خرید ماشین الات ارزان تر را به دلیل نیار کمتر به توان بالا در پی خواهد داشت . مسئله

مهم دیگر استفاده از آب، سازگاری آن برای محیط زیست و حذف چربی و آلودگی از محیط های کاری و تعمیرگاه های ماشینهای کشاورزی و سیستم های هیدرولیکی است.

کلمات کلیدی:آب ،روغن هیدرولیک، سیستم های هیدرولیکی

مقدمه

هیدرولیک فنی است که انتقال نیرو وتوان را از طریق سیال انجام می دهد . این سیال می تواند روغن وآب و سیالات دیگر باشد. امروزه سیستم های هیدرولیکی به دلیل داشتن توان بالا وانتقال نیروی راحت تر، بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند. از سیستم های هیدرولیکی که در کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد می توان به سیستم های انتقال نیرو در خرمن کوب ها، کمباین ها، کلوخ شکن ها، میوه چین ها، ماشین های حفاری و بیل مکانیکی اشاره کرد . از مشکلات سیستم های هیدرولیک روغنی استفاده از روغن است . روغن از مشتقات نفت بوده و به دلیل چربی باعث آلودگی و جذب گرد وخاک می شود و به سختی از سطوح زدوده می شود . از مشکلات دیگر، نشتی آن هاست. جریان نشتی در صورت تماس با محصول، به محصول صدمه وارد می کند و محیط زیست را نیز آلوده می کند . بیش از سه چهارم کره زمین را آب فرا گرفته است . سیکل چرخه آب باعث شده که این منبع، پایان ناپذیربماند . این در حالی است که منابع نفتی روز به روز رو به کاهش هستند، لذا با استفاده از سیستم های هیدرولیک آبی می توان از یک منبع ارزان وپایدار استفاده کرد.

امتیازات انتقال قدرت توسط هیدرولیک :

از جمله مزایای سیستم ها ی هیدرولیک، تولید و انتقال نیروهای قوی توسط قطعات کوچک هیدرولیکی، که دارای وزن کمتری بوده و نسبت وزنی آنها نسبت به دستگاههای الکتریکی 1 به 10 میباشد. امکان اتوماتیک کردن حرکات، قابلیت تنظیم و کنترل قطعات هیدرولیکی، امکان سریع معکوس کردن جهت حرکت، نصب ساده قطعات به علت استاندارد بودن آنها، مراقبت ساده دستگاهها و تاسیسات هیدرولیکی توسط مانومتر از جمله مزایای دیگراین سیستم هاست . تبدیل ساده حرکت دورانی به حرکت خطی رفت و برگشتی، قابلیت تنظیم غیرپله ای نیرو، فشار، گشتاور و سرعت قطعات کار کننده، ازدیاد عمر کاری قطعات هیدرولیکی در اثر وجود روغن در این قطعات، استارت راحت حرکت قطعات کارکننده هیدرولیکی در زمانی که زیر بار قرار گرفته باشند نیز از برتری های سیستم های هیدرولیکی می باشند.

هیدرولیک آب و هیدرولیک روغن در اوایل قرن گذشته ازدیگر فعالیت های تحقیقاتی و برنام ه های کاربردی صنعتی، پیشی گرفته است . در سال های اخیر، نگرانی های فزاینده در مورد مسائل زیست محیطی، بهداشتی و ایمنی منجر به توجه به سیستم های هیدرولیک آبی شده است (Lim et al,2003)(Krutz et al,2004)(Danfoss).

استفاده از سیستم های هیدرولیک آبی دارای مزایا ومع ایبی است . از جمله مزایا ومعایب مهم این سیستم ها در زیر آمده است.

مهم ترین مزایای سیستم های هیدرولیک آبی:

سازگاری با محیط زیست، بهداشتی بودن، غیر قابل اشتعال بودن، غیر سمی بودن، مقرون به صرفه بودن، دسترسی آسان و نیاز کمتر به سیستم خنک کننده از جمله مزایای این سیستم ها هستند (Tan ACH ,2000)(Sorensen,1999)(Simon,1996) (Trostmann et al,1995). با افزایش اثرات زیست محیطی موادنفتی ونگرانی های مطرح شده توسط سازمان محیط زیست، بهترین زمینه توسعه درطول چندسال گذشته درصنعت برق استفاده ازسیستمهای هیدرولیک آبی است که د رآن از آب به عنوان یک جایگزین مناسب برای مواد نفتی درانتقال قدرت سیال استفاده می شود . سیستم های هیدرولیک آبی درکشاورزی استفاده فراوانی می شوند، ازقبیل : جنگل داری، صنایع غذایی، دارویی وتولید کاغذ (Krutz et al ,2004)( ) (Burrows ,1994) Higgins,1996. هم چنین در پژوهشی گزارش شده که آب نسبت به روغن دارای گشتاور اصطکاکی بسیار کوچکتری است (Wang et al, 2002). با تکنولوژی جدید وماشین کاری پیشرفته ومواد جدید، طراحی محصولات وتجهیزات، بهبود یافته وبه دلیل مقرون به صرفه بودن هیدرولیک آبی، تقاضای تجهیزات سیستم ها ی هیدرولیک آبی افزایش یافته است (Lim et al, 2003). مواد با تراکم بیشتر از فولاد ضد زنگ می توانند ظرفیت حمل بارهیدرواستاتیکی را بهبود بخشند (Wang et al,2002). در یک پروژه تحقیقاتی،دانشجویان بخش مهندسی کشاورزی دانشگاه پوردو در امریکا اقدام به ساخت یک چمن زن کرده اند که سیستم فرمان ، نقل وانتقال وترمزهای آن با هیدرولیک آبی کار می کند (Krutz et al ,2004).

معایب سیستم های هیدرولیک آبی ورفع آن ها:

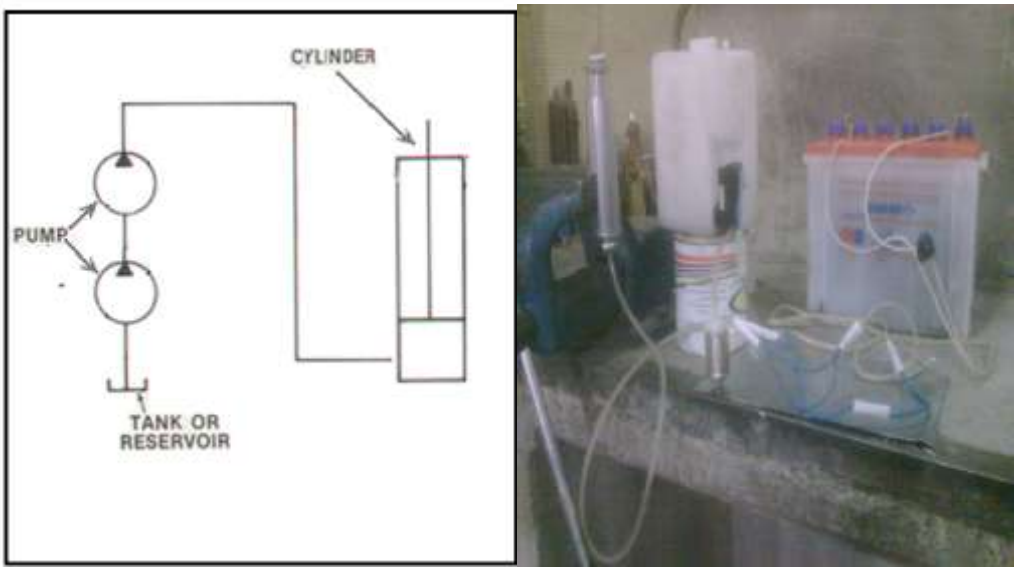
نشتی آب در حدود 30 برابر روغن است. لذا به منظور کاهش نشتی باید تجهیزات با دقت بالاتری ماشین کاری شوند (Tan ACH ,2000)(Sorensen,1999)(Simon,1996) (Trostmann et al,1995). یکی دیگر از

مشکلات جایگزینی آب به جای روغن در سیستم های هیدرولیک در حال حاضر، هزینه تجهیزات اولیه آن است . هزینه تجهیزات اولیه سیستم های هیدرولیکی آبی بین 30 تا200 درصد بیشتر از سیستم های هیدرولیک روغنی است (Trostmann et al,1995) . این مشکل با تولید انبوه قابل حل است. آب معمولی به دلیل داشتن گازهای محلول مانند اکسیژن، کلر ودی اکسید کربن دارای خورندگی است . لذا استفاده از مواد مقاوم در برابر خوردگی از قبیل فولاد زنگ نزن، برنز، آلوم ینیوم، پلیمرو سرامیک بایستی مد نظر قرار گیرد (Wolfgan,1999). در سیستم های هیدرولیک آبی، رشد میکروبی نیز گزارش شده است . تجمع میکروبی در سیستم ممکن است کاهش بهره وری، کاهش مقاومت حرارتی، تسریع در خوردگی وکاهش طول عمر فیلتر را به دنبال داشته باشد (2000 Soini et al,).رشد میکروبی درسیستم های هیدرولیک آبی با تنظیم سرعت جریان وبهبود کیفیت متوسط فشار نمی تواند کنترل شود (Soini et al 2002). لذا بایستی پروژه های تحقیقاتی بیشتری در این زمینه انجام پذیرد . به این نکته نیز باید توجه داشت که از دست دادن قدرت در سیستم های هیدرولیک به دلیل جریان نشتی بیشتر آب، کمی بزرگتر از روغن است (Wang et al ,2002). باید در استفاده و ساخت تجهیزات سیستم های هیدرولیکی به چند مسئله چالش برانگیز مرتبط با موتور توجه داشت، از جمله کاهش سایش و نشت، با افزایش گرانروی و چرب بودن سیال و اسط در این سیستم ها (Fisher,1991). در یک تحقیق اصطکاک وعملکرد سایش DLC های مختلف(کربن مانند الماس) در آب مقطر نیز گزارش شده است (Wong et al2002). گران بودن تجهیزات هیدرولیک آبی وعدم تخصص در طراحی وعدم به اشتراک گذاشتن تجربیات در این زمینه، مانع از استفاده وگسترش سریع سیستم های هیدرولیک آبی شده است (MikkoSiuko et al,2003). هدف از این تحقیق بررسی تفاوت عملکرد یک سیستم هیدرولیکی با دو سیال آب و روغن است.

مواد وروش ها

برای دستیابی به هدف ذکر شده یک آزمایش با دو الکترو پمپ مینیاتوری ویک سیلندر پیستون پلاس تیکی آزمایشگاهی انجام شد. الکترو پمپ ها به صورت سری به هم وصل شده وسپس به یک جک هیدرولیک (سیلندر پیستون) وصل شدند. با روشن کردن الکترو پمپ ها سیال توسط پمپ اول مکیده شده، تحت فشار قرار می گیرد و سپس پمپ دوم فشار آن را افزایش داده وسیال را به جک هیدرولیک که به صورت عمودی قرار گرفته، تزریق می کند. پیستون جک، توسط وزنه های متناسب در هر آزمایش به تدریج از 5 تا 81 نیوتن بارگذاری شد. الکترو

پمپ ها دارای شعاع پره 1 سانتیمتر بوده که ولتاژمورد نیازتوسط یک باتری 12 ولت تراکتور تامین شده است . سیلندر دارای قطر 29 سانتیمترو ارتفاع 6 سانتیمتر وحجم 40میلی لیتر وشیلنگ ارتباط دهنده جک هیدرولیک والکترو پمپ ها دارای قطر 6 میلی متر است . مدار هیدرولیکی در شکل 2 رسم شده است . آب و روغن هیدرولیک، سیال مورد استفاده دراین آزمایش هستند . آب و روغن هیدرولیک (SAE10)که برای آزمایش مورد استفاده قرارگرفتند به ترتیب دارای گرانروی 1.005 و107**mPas** بودند. ارتفاع سطح مایع درمخزن ازالکترو پمپ اول ودوم به ترتیب 5 و14 سانتی متر بود. شکل شماره 1 ترتیب قرار گیری اجزا آزمایش را نشان می دهد.



شکل شماره1:ترتیب قرار گیری اجزا شکل شماره2:مدار هیدرولیکی سیستم

آزمایش ها با آب شروع شدند. سیستم مطابق شکل 1 بسته شد ودر مخزن آن آب ریخته شد و راه اندازی گردید . میزان کورس پیستون در تمام آزمایش ها 6 سانتی متر معادل با حجم جابجایی 40 میلی لیتراز سیال به داخل جک انتخاب شد. بایک کرنومتر زمان طی شده کورس پیستون اندازه گیری شد . بارهای متفاوت با گذاشتن وزن های متفاوت روی پیستون، به جک وارد شدند. نیروی وارد شده از طرف وزنه ها به پیستون بان F نشان داده شده واز رابطه (1) محاسبه شد.

$$F = mg \qquad (1)$$

F: نیروی وارد شده از طرف وزنه ها به پیستون, N

m: جرم وزنه , kg

g دررابطه (1) برابر $9.8\ m/s^2$ در نظر گرفته شد. برای هر بارآزمایش، سه زمان اندازه گیری شد که میانگین سه زمان در جدول 1 آورده شده است. برای محاسبه سرعت حرکت پیستون در جک هیدرولیکی نیزاز رابطه (2) استفاده شد.

$$V = \frac{L}{t} \qquad (2)$$

V: سرعت حرکت پیستون, m/s

t: زمان میانگین محاسبه شده, s

L: میزان کورس پیستون,m

توان مکانیکی این سیستم ازطریق رابطه (3) قابل محاسبه است.

$$P_m = F.V \qquad (3)$$

P_m: توان مکانیکی سیستم, w

درحین آزمایش برای هرمقدار بارمشخص، شدت جریان و ولتاژ گذرنده از سیم نیز اندازه گیری شد. توان الکتریکی این سیستم از طریق رابطه (4) قابل محاسبه است.

$$P_e=V.I \qquad (4)$$

P_e: توان الکتریکی سیستم, w

I: جریان گذرنده از سیم, A

V: ولتاژ ورودی به الکترو پمپ ها, v

در نهایت راندمان کل سیستم (η)نیز از رابطه (5) به دست آمد.

$$\eta=(P_m/P_e).100 \qquad (5)$$

پارامترهای $F, t, v, P_m, I, V, P_e, \eta$ در جدول 1 آورده شده اند. این آزمایش با روغن هیدرولیک نیزبه همین روش انجام شد و نتایج آن در جدول 2 آورده شده است.

نتایج و بحث

با توجه به مدار ساخته شده و روش توضیح داده شده، پارامترهای مختلف سیستم اندازه گیری ودر جداول 1 و2 ارائه شده اند.

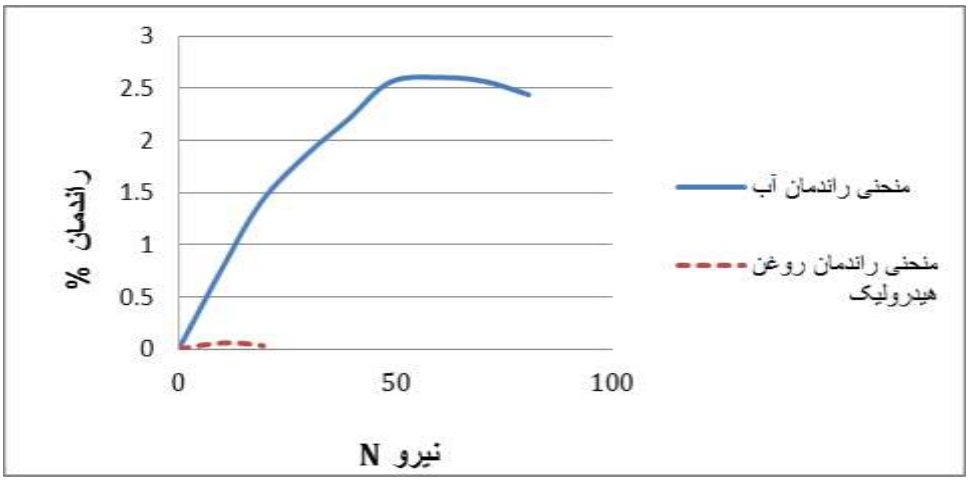
F(N)	tav(s)	V(m/s)	P(w)	I(A)	V(V)	Pe(W)	η
0	1.62	0.03703	0	4.37	11	48.07	0
10.31	1.63	0.03681	0.37951	4.35	11	47.85	0.793
19.06	1.77	0.0339	0.66444	4.28	11	47.08	1.411
29.4	2.04	0.02941	0.86465	4.23	11	46.53	1.858
39.2	2.31	0.02597	1.01802	4.2	11	46.2	2.203
49	2.53	0.02371	1.16129	4.12	11	45.32	2.562
61	3.18	0.01887	1.15107	4.02	11	44.22	2.603
70.8	3.85	0.01558	1.10306	3.91	11	43.01	2.565
80.85	4.7	0.01276	1.03265	3.85	11	42.35	2.438

جدول شماره 1 نتایج آزمایش های انجام شده با آب

F(N)	tav(s)	V(m/s)	P(W)	I(A)	V(V)	Pe(W)	η
0	8.85	0.00678	0	6.2	11	68.2	0
5.41	12.74	0.00471	0.02548	5.97	11	65.67	0.039
10.31	15.58	0.00385	0.03969	5.92	11	65.12	0.06
15.21	27.03	0.00222	0.03376	5.62	11	61.82	0.055
19.6	60	0.001	0.0196	5.34	11	58.74	0.033

جدول شماره 2 نتایج آزمایش های انجام شده با روغن هیدرولیک

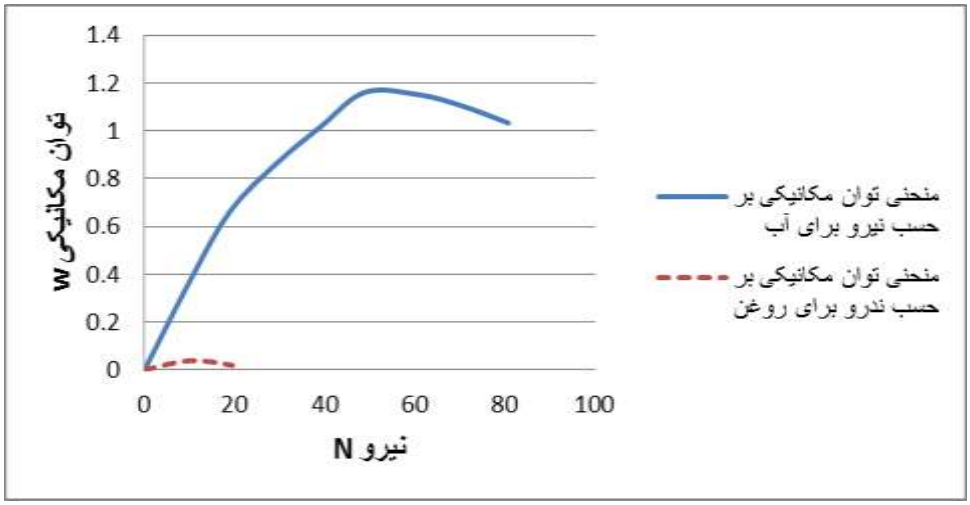
مطابق روش توضیح داده شده در قسمت مواد وروش ها، راندمان کل سیستم که از تقسیم توان مکانی کی گرفته شده از سیستم بر توان الکتریکی داده شده به سیستم به دست آمد، بر حسب نیروی جابجا شده در شکل (3) ارائه شده است



شکل 3: منحنی راندمان بر حسب نیروی اعمال شده

به جک برای آب و روغن هیدرولیک

با توجه به محاسبه توان مکانیکی سیستم برای دو سیال آب وروغن،منحنی توان مکانیکی بر حسب نیروی جابجا شده برای دو سیال در شکل (4) ارائه شده است.



شکل 4: منحنی توان مکانیکی بر حسب نیروی

اعمال شده به جک برای آب وروغن هیدرولیک

طبق منحنی شکل شماره 1می توان نتیجه گرفت، توان آب به مراتب بالاتراز روغن هیدرولیک است. ماکزیمم توان مکانیکی تولیدشده توسط آب 1.162 وات وماکزیمم توان مکانیکی تولیدشده توسط روغن هیدرولیک 0.04 وات است. باتوجه به نمودار می توان نتیجه گرفت که برای هرمایع با افزایش نیروی وارد بر پیستون (F)، توان افزایش می یابد واین افزایش تا حد مشخصی است وبعد از آن افت توان ایجاد می شود. یعنی بعد از ماکزیمم توان هرچه نیروی وارده بر پیستون افزایش یابد سرعت حرکت پیستون بطورقابل توجهی کاهش می یابد لذا توان افت پیدا می کند. نتایج به دست آمده نشان می دهند که آب و روغن به ترتیب راندمان کل 2.39 درصدو0.06درصد را دارند واین بدان معناست که راندمان استفاده ازآب 40 برابراستفاده از روغن است. پایین بودن راندمان کل سیستم در آزمایش های انجام شده به دلیل پایین بودن توان کل سیستم و نزدیک بودن آن به توان تلف شده به صورت اصطکاک در جک مورد آزمایش است. از دلایل دیگر پایین بودن راندمان کل، تبدیل انرژی الکتریکی به مکانیکی و سپس مکانیکی به هیدرولیکی و تبدیل مجدد توان هیدرولیکی به مکانیکی در سیستم مورد استفاده است که افت

های پی درپی به دنبال دارد. آزمایش ها نشان می دهند که جک هیدرولیک برای آب توانایی ایجاد حداکثر 81 نیوتن را دارد درصورتی که این توانایی برای روغن به 20 نیوتن کاهش یافته است، لذا نیروی تولیدی توسط آب 4برابرنیروی تولیدشده هنگام استفاده از روغن می باشد. همچنین با توجه به جداول 1و2می توان نتیجه گرفت سیستم های هیدرولیک آبی دارای سرعت بالا وقابل کنترل هستند. سیستمهای پنوماتیک دارای سرعت بالا ولی غیر قابل کنترل هستند. مثلا اگرپیستون جک پنوماتیکی رابخواهیم تا سه چهارم کورس پیستون جابجا کرده ودر آن موقعیت جک را نگه داریم به دلیل تراکم پذیری هوا، نمی توان بطوردقیق این کار را انجام داد . سیستمهای هیدرولیکی که با سیال روغن کارمی کنند، دارای سرعت کم ولی قابل کنترل هستند. سیستم های هیدرولیکی که با آب کار می کنند، دوسیستم قبلی راتکمیل می کنند. به این صورت که دارای سرعت بالا وقابل کنترل هستند . اگر درسیستم های هیدرولیک ماشینهای کشاورزی به جای روغن از آب استفاده شود، علاوه بر افزایش توان می توان افزایش سرعت وافزایش راندمان را نیز داشت که عامل سرعت می تواند عملیات خاکورزی، کاشت، داشت وبرداشت را تسریع بخشیده، درنتیجه مقدارزمین بیشتری درزمان کمتری قابل کشت وکار می گردد . همچنین عامل توان می تواند باعث شود، تراکتورها وماشین های کوچکتروبا توان کمتر برای عملیات کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد درنتیجه باکمتر شدن وزن وتوان تراکتور، فشردگی خاک کمتر شده وعملکرد محصول بالاتر می رود.

از نظراقتصادی نیز صرفه جویی قابل توجهی می شود، اگرچه پمپ ها و سیلندرهای ساخته شده باموادسازگاربا آب دارای هزینه بالاتری هستند اما در دراز مدت صرفه جویی هزینه خواهد شد. زیرا علاوه بر کمتربودن هزینه تهیه آب نسبت به روغن، تراکتورها وماشین های ارزان تری برای عملیات کشاورزی لازم است. با توجه به نتایج آزمایش ها ومقالات دیگرپژوهشگران سیستم های ه یدرولیک آب دارای مزایای فراوانی هستند. پیش بینی می شود با ابداع تکنولوژی های جدید ماشین کاری وتولید مواد مناسب جدید مانند PVC وسرامیک، استفاده از سیستم های هیدرولیک آبی روبه افزایش بوده و قسمت عمده ای از سیستمهای مکانیکی کشاورزی در آینده به هیدرولیک آبی تبدیل خواهند شد.

منابع:

1. Burrows.C.R .1994. Fluid power. progress in a key technology International Journal of JSME, 37, pp. 691–700
2. Danfoss, Inc. http://www.danfoss.com/Nessie/Introduction/index.asp, Denmark. [SD008]
3. Fisher. J. 1991. Water hydraulics getting hot again. Hydraulics and Pneumatic (5), pp. 35–38
4. Higgins. M. 1996. Water hydraulics. the real WorldIndustrial Robot (23), pp. View Record in ScopusFull Text vi CrossRef .Cited By in Scopus (2)،13–18
5. Krutz. G.W and Chua.Patrick S.K. 2004. Water hydraulics. Theory and Applications, Workshop on Water Hydraulics, Agricultural Equipment Technology Conference (AETC'04), February 8–10, Louisville, Kentucky, USA
6. Lim. G.H , Chua.P.S.K and He.Y.B. 2003. Modern water hydraulics. the new energy-transmission technology in fluid power Applied Energy Nanyang Technological University, School of Mechanical and Production Engineering.PP.239-246
7. Lim.G.H, He. Y.B and Chua.P.S.K. 2003. Fluid Power Journal of Applied Energy, 76 (1–3) Modern water hydraulics—the new energy transmission technology in, pp. 239–246
8. MikkoSiuko M. Pitkäahoa A. Raneda J. Poutanena J. Tammistoa J. Palmerb and M. Vileniusa. 2003. Water hydraulic actuators for ITER maintenance devices. Fusion Engineering and Design Institute of Hydraulics and Automation, Tampere University of Technology, P.O. Box 589, FIN-33101 Tampere, Finland PP.141-145
9. Simon. U. 1996. Water hydraulic power. The Technology Matures (Putting water to Work)National Fluid Power Association Technical Paper Series .pp. 7–13
10. Soinia. S.M Koskinenb.K.T Koskinenb.K.T and Puhakkaa. J.A. 2002. Effects of fluid-flow velocity and water quality on planktonic and sessile microbial growth in water. Hydraulic System Water Research .PP:3812-3820
11. Soini. S.M Koskinen. K.T Vilenius. M.J and Puhakka. J.A. 2000. Microbial water quality and diversity in hydraulic systems using tap water as a pressure medium. Water SciTechnol, 41 (12) pp. 215–222
12. Sorensen. P. 1999. News and trends by the industrial application of water hydraulics. The Sixth Scandinavian Internationa Conference on Fluid Power. pp. 651–674 [SD-008]
13. Tan ACH. 2000. Water hydraulics in modern perspective:a 21 st century clairvoyance. In:proceedings of International Conference on Production Thailand،Reasearch .Bangkok
14. Trostmann.E and Clausen P.M. 1995. Hydraulic components using tap water as pressure medium. The Fourth Scandinavian International Conference on Fluid Power .pp. 942–954 [SD-008]
15. Troctmann. E. 1996. Waterhydraulics control technology marcel Inc, New York
16. Wang. X and Yamaguchi. A. 2002. Characteristics of hydrostatic bearing/seal parts for water hydraulic pumps and motors. Part 1: Experiment and theory .Tribology International .a Yokohama National University, Faculty of .Engineering, Yokohama 240-8501, Japan. pp.425-433
17. Wolfgan B. 1999. Water-or oil-hydraulics in the future. In :The sixth Scandinavian International Conference on fluid power(sicf-p99) Tampere , Finlavd

18. Wong. H.C, Umehara. N and Kato.K. 1998. The effect of surface roughness on friction of ceramics sliding in water .Wear, 218, pp. 237–243

19. Yamaguchia.A and Wanga.X . 2002. Characteristics of hydrostatic bearing/seal parts for water hydraulic pumps and motors. Part 2: On eccentric loading and power losses.Yokohama National University, Faculty of Engineering, Yokohama, JapanPP.435-442