

بررسی اثر چینش آبیاش‌ها در فاز طراحی و بهره‌برداری بر عملکرد سیستم کلاسیک آبیاش متحرک

فرشید رضانی هومبری^{۱*}، بیژن نظری^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین

۲. استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۱۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱/۲۹)

چکیده

توسعه سیستم‌های نوین آبیاری به‌عنوان یکی از راه‌کارهای بهبود راندمان آبیاری، افزایش عملکرد گیاه و بهره‌وری آب کشاورزی مطرح است. بهره‌برداری از سیستم‌های آبیاری لزوماً با آنچه در طراحی پیشنهاد می‌شود مطابقت ندارد. در این مطالعه، اثر شش چینش قرارگیری آبیاش که شامل چینش فاز طراحی و چینش‌هایی که بهره‌برداران استفاده می‌کنند هست، بر مؤلفه‌های مهم سیستم شامل؛ ضریب یکنواختی پخش کریستیانسن (CU)، یکنواختی توزیع (DU)، بازده واقعی آب در ربع پایین (AELQ)، توان مصرفی الکتروموتور (P) و راندمان پمپاژ، بررسی شد. نتایج نشان داد به دلیل بر هم خوردن توزیع فشار در تیمارهای متفاوت با چینش پیشنهادی در فاز طراحی، راندمان آبیاری و ضریب یکنواختی (CU) کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. نتایج نشان داد، در برخی از چینش‌های مرسوم در بهره‌برداری، راندمان پمپاژ از ۷۲ درصد به ۵۲ درصد کاهش یافته است. ضریب یکنواختی (CU) در چینش‌های مختلف آبیاش بین ۷۸/۶ تا ۴۴/۸ متفاوت بود. بهترین چینش، چینش پیشنهادی طراح که آبیاش‌ها متقارن و مطابق با طراحی هیدرولیکی سیستم است، بوده است. این مطالعه اهمیت آموزش بهره‌برداری صحیح از سیستم‌های آبیاری بارانی در راستای افزایش راندمان آبیاری، کاهش تلفات آب، افزایش عملکرد گیاهان و کاهش هزینه‌های انرژی را خاطر نشان می‌سازد. همچنین، طراحان سیستم‌های آبیاری باید ملاحظات بهره‌بردار و به‌ویژه سهولت بهره‌برداری از سیستم را در فاز طراحی مدنظر داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: ضریب یکنواختی، راندمان آبیاری، راندمان پمپاژ، آموزش بهره‌برداری

مقدمه

با کاهش سرانه منابع آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، استفاده بهینه از آب امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. از بین بخش‌های مختلف مصرف‌کننده آب، بخش کشاورزی به‌عنوان عمده‌ترین بخش مصرف‌کننده، اهمیتی فراوان دارد. از آنجایی که در کشورهای خشک، تولید در کشاورزی وابستگی زیادی به کارآمدی آبیاری دارد، مطالعه در خصوص روش‌های بهبود راندمان در سیستم‌های آبیاری، در کانون توجه محققین حوزه مطالعات آب قرار گرفته است. مطالعه سیستم‌های آبیاری نوین شامل آبیاری بارانی از جمله مسائلی است که در مطالعات مختلف به نحوی به آن پرداخته شده است.

قوانین طراحی و مدیریت آبیاری بارانی به موقعیت و محل اجرا بستگی داشته و اغلب متکی به آزمایش‌های حرفه‌ای و طولانی‌مدت هستند (Playan et al., 2006). مطالعات نشان داده است که اگرچه در سال‌های اخیر سیستم‌های آبیاری بارانی توانسته‌اند در مواردی جایگزین سیستم‌های سطحی شوند اما

توسعه و بهبود کیفی این سیستم‌ها مستلزم بررسی و ارزیابی وضعیت موجود طراحی و بهره‌برداری طرح‌های آبیاری بارانی اجراشده و سازگاری آنها با شرایط آب و هوایی کشور است (Akbari et al., 2006). عوامل زیادی بر یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی مؤثرند. کمبود فشار بخار اشباع، سرعت باد، دمای هوا، تابش خورشیدی، اندازه نازل، فشار کارکرد و اندازه قطرات به‌عنوان عوامل مؤثر بر راندمان کاربرد آب در آبیاری بارانی ذکر شده است (Yazar, 1984). در یک تقسیم‌بندی دیگر، عوامل مؤثر بر توزیع آب از آبیاش‌ها را به سه دسته کلی طراحی آبیاش، اندازه، تعداد و طراحی داخلی نازل‌ها و فشار کارکرد تقسیم‌بندی شده است (Carrion et al., 2001). البته این عوامل با هم ارتباط تنگاتنگی دارند، در فشار کم به دلیل ریزش بیشتر آب در فواصل نزدیک به آبیاش و در فشار بالا به دلیل تولید قطرات ریزتر و حساس‌تر به باد، ضریب یکنواختی کاهش می‌یابد (Keller and Bliesner, 1990).

در پژوهشی که در دشت دهگلان انجام شده است، پس از بررسی ۱۰ سیستم کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک، بازده آب در ربع پایین در کلیه سیستم‌ها کمتر از ۵۶ درصد بوده است

چینش‌هایی است که در بازدهیها ملاحظه شد که در بهره‌برداری اعمال می‌شود. چینش شماره ۲، مشابه چینش شماره ۱ است با این تفاوت که در این حالت، قرارگیری آبپاش‌ها بر روی لترال-های واقع در ابتدای خط لوله اصلی مورد بررسی قرار گرفته است. این چینش در بهره‌برداری ناگزیر اتفاق می‌افتد و در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است تا حالت‌های مختلف تحلیل شود.

مبانی تئوریک و روش اندازه‌گیری

ضریب یکنواختی آبپاش و ضریب یکنواختی سیستم به ترتیب از معادله (۱) و (۲) محاسبه شده است.

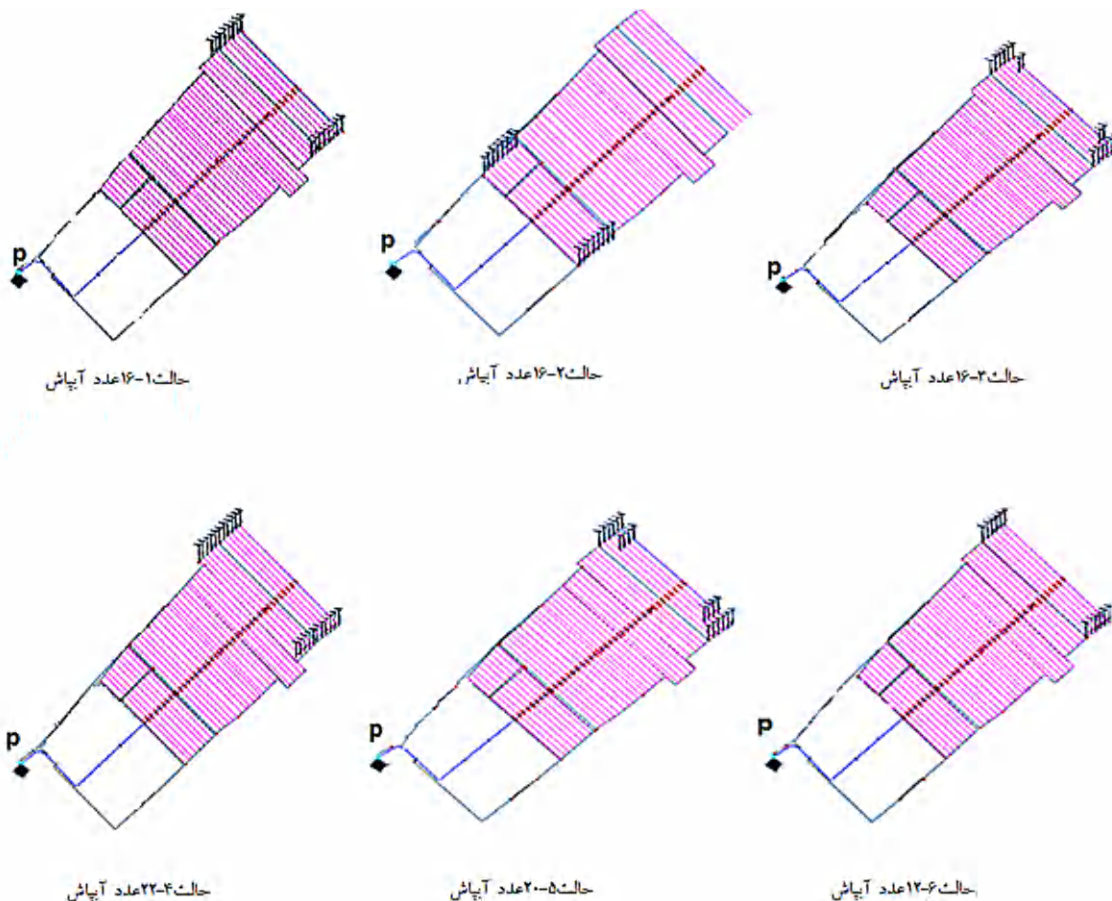
تأمین فشار توسط یک پمپ WKL100-3 با دور موتور ۱۴۵۰ دور در دقیقه انجام شد. بال‌های آبیاری از جنس لوله پلی‌اتیلن با مشخصات PE80-6atm و با طول‌های ۳۰۰ و ۲۳۰ متر در دو طرف لوله اصلی واقع شده‌اند. شبکه آبیاری بارانی به صورت مربعی و با ابعاد ۲۰×۲۰ توزیع گردیده است؛ بنابراین لازم است به منظور آبیاری ۳۰ هکتار از اراضی در دور آبیاری ۶ روز، با احتساب ۲/۵ ساعت در ماه بیشینه مصرف آب، ۱۶ عدد آبپاش به‌طور هم‌زمان در حال کار باشند.

سناریوهای چینش آبپاش

در این تحقیق شش چینش آبپاش مورد ارزیابی قرار گرفت. این چینش‌ها شامل چینش پیشنهاد شده توسط طراح و سایر

جدول ۱- معرفی چینش‌های مختلف آبپاش

چینش ۱	استقرار ۱۶ عدد آبپاش، آنگیری از انتهای خط لوله اصلی، هر بال آبیاری یک عدد آبپاش (پیشنهادی طراح)
چینش ۲	استقرار ۱۶ عدد آبپاش، آنگیری از ابتدای خط لوله اصلی، هر بال آبیاری یک عدد آبپاش
چینش ۳	استقرار ۱۶ عدد آبپاش، آنگیری از انتهای خط لوله اصلی، دو بال آبیاری انتهایی دو عدد آبپاش
چینش ۴	استقرار ۲۲ عدد آبپاش، آنگیری از انتهای خط لوله اصلی، هر بال آبیاری یک عدد آبپاش
چینش ۵	استقرار ۲۰ عدد آبپاش، آنگیری از انتهای خط لوله اصلی، چهار بال آبیاری انتهایی دو عدد آبپاش
چینش ۶	استقرار ۱۲ عدد آبپاش، آنگیری از انتهای خط لوله اصلی، هر بال آبیاری یک عدد آبپاش



شکل ۲- وضعیت‌های مختلف مورد بررسی

که در آن Q: دبی بر حسب لیتر بر ثانیه، H: فشار بر حسب متر، η : راندمان پمپ بر حسب درصد و P: توان الکتروموتور بر حسب اسب بخار می‌باشد. راندمان پمپاژ از نمودار پمپ WKL100 از نرم‌افزار پمپیران ۱ استخراج شد.

به منظور بررسی الگوی پاشش آبپاش ویر ۱۵۵ (Vyr155) با نازل اصلی ۱۰ میلی‌متری در فشارهای مختلف (۳، ۴، ۴/۵ و ۵/۵ اتمسفر)، در ۴ سمت آبپاش تعداد ۱۰ عدد قوطی لبه تیز آلومینیومی با قطر بالایی ۱۰ و ارتفاع ۱۰/۵ سانتی‌متر قرار داده شد. بدین ترتیب در مجموع ۴۱ قوطی مورد استفاده قرار گرفت. بعد از ۴۰ دقیقه کار سیستم، پمپ خاموش شده و بلافاصله حجم آب جمع شده در هر قوطی قرائت می‌شد. حجم جمع شده با توجه به قطر بالایی قوطی تبدیل به عمق آب شده است. به منظور لحاظ کردن اثر تبخیر بر عمق آب داخل قوطی‌ها، تعدادی قوطی با مقدار آب مشخص به عنوان شاهد در نظر گرفته شد و در پایان آزمایش در صورت کسر شدن آب از آنها، مقدار کسر شده به مقادیر اندازه‌گیری شده اضافه شد.

نتایج و بحث

در جدول (۲)، اطلاعات کلی به دست آمده از بررسی چینش‌های آبپاش‌ها ارائه شده است.

1- Pumpiran

$$CU = 1 - \frac{\sum X_i - \bar{X}}{n \bar{X}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن CU: ضریب یکنواختی کریستیانسن (،/.)، xi: عمق آب هرکدام از قوطی‌های نمونه‌برداری در اطراف آبپاش (mm)، \bar{x} میانگین عمق آب در داخل قوطی‌ها.

$$CUs = CU \times \frac{1 + \sqrt{\frac{Pn}{Pa}}}{2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن CUs: ضریب یکنواختی سیستم، CU: ضریب یکنواختی در منطقه تحت آزمایش، Pn: حداقل فشار کارکرد بر حسب کیلو پاسکال، Pa: متوسط فشار کارکرد بر حسب کیلو پاسکال.

پارامترهای یکنواختی توزیع (DU)، یکنواختی توزیع سیستم (DUs) و بازده واقعی آب در ربع پایین (AELQ) نیز مطابق معادلات (۳)، (۴) و (۵) محاسبه می‌گردد.

$$DU = \frac{Xq}{\bar{X}} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$DUs = DU \left(\frac{1 + 3\sqrt{\frac{Pn}{Pa}}}{4} \right) \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$AELQ = \frac{Xq}{Xr} \quad (\text{رابطه ۵})$$

Xr و Xq در معادلات فوق به ترتیب میانگین عمق آب جمع‌آوری شده در یک‌چهارم قوطی‌هایی که کمترین عمق را داشته‌اند و میانگین عمق آب کاربردی در آبپاش یا میانگین عمق ناخالص آبیاری (میلی‌متر) می‌باشند. توان الکتروموتور نیز از رابطه زیر محاسبه گردید.

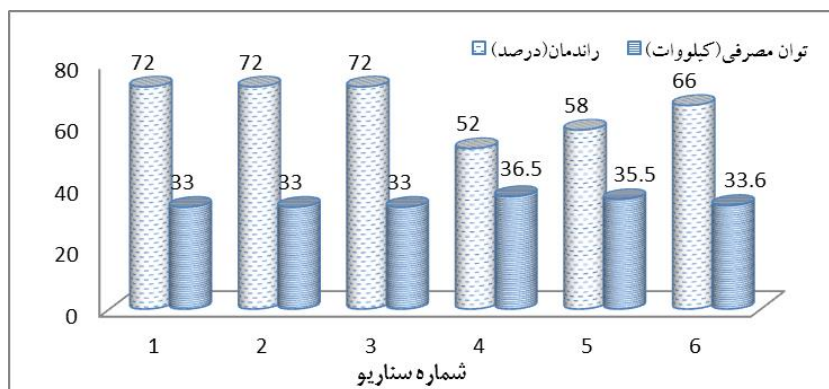
$$P = \frac{Q \times H}{75 \times \eta} \quad (\text{رابطه ۶})$$

جدول ۲- بررسی چینش‌های مختلف آبپاش

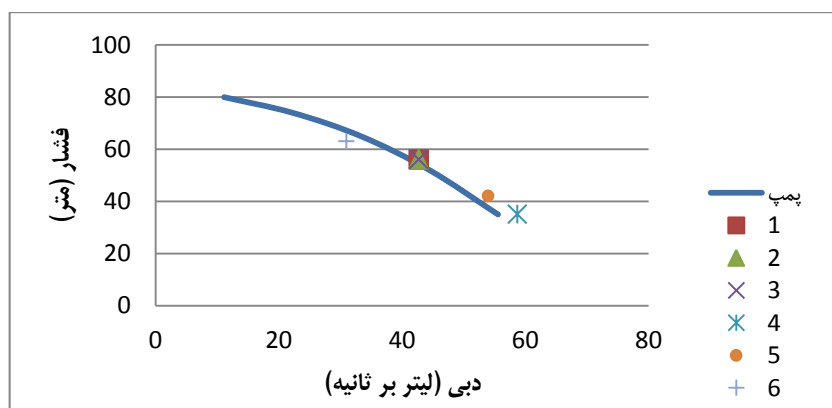
توضیحات چینش و نتایج ارزیابی	دبی سیستم فشار مورد نیاز		شماره چینش
	سیستم (m)	(l/s)	
چینش پیشنهادی طراح.	۵۷	۴۲/۷	۱
در چنین شرایطی پمپ فشار ۵۶/۵ متر را تولید می‌کند و درواقع به میزان ۹/۲ متر فشار اضافی تولید خواهد شد.	۴۷/۳	۴۲/۷	۲
افت فشار در بال‌های آبیاری که بیش از یک آبپاش در آنها مستقر است، بیشتر از حد مجاز می‌گردد؛ بنابراین دبی، شدت و یکنواختی پخش آب آبپاش‌هایی که دورتر از خط اصلی است، کاهش می‌یابد. پمپ در این دبی فشار ۵۶/۵ متر را تولید می‌کند و فشار کار آبپاش‌ها به ۳۶ متر کاهش پیدا می‌کند.	۶۲/۷	۴۲/۷	۳
در این حالت فشار تولیدی پمپ ۳۵ متر خواهد بود.	۶۶/۲	۵۸/۷	۴
افت فشار در بال‌های آبیاری که بیش از یک آبپاش در آنها مستقر است، بیشتر از حد مجاز می‌گردد؛ بنابراین دبی آبپاش بعدی روی بال که دورتر از خط اصلی است، کمتر از مقدار طراحی شده و شدت و یکنواختی پخش آنها نیز کاهش می‌یابد. پمپ دبی ۵۴ لیتر بر ثانیه را با فشار ۳۹ متر تولید می‌کند که کمتر از حد مورد نیاز است.	۷۰/۷	۵۴	۵
در هنگام تولید دبی ۳۲ لیتر بر ثانیه، فشار تولیدی پمپ به ۶۵ متر خواهد رسید، در چنین شرایطی برای جلوگیری از ترکیدگی لوله‌ها باید شیر بای‌پس روی لوله رانش پمپ را باز کرده تا با تخلیه دبی بیشتر، فشار کاهش یابد. درواقع لازم است ۱۲/۵ لیتر بر ثانیه دبی از بای‌پس تخلیه گردد تا فشار از ۶۵ متر به ۵۱ متر کاهش یابد. در این حالت عملاً به میزان ۹/۱ کیلووات اتلاف انرژی خواهیم داشت.	۵۱	۳۲	۶

مصرفی الکتروموتور افزایش و راندمان پمپاژ کاهش پیدا کرده است. مقدار عددی هر کدام از پارامترها در شکل شماره ۳ ارائه شده است. در شکل شماره (۴) نیز نقطه کارکرد سیستم در چینش‌های مختلف، در کنار منحنی عملکرد پمپ ارائه و مقایسه شده است. ملاحظه می‌گردد در چینش‌هایی که دبی تغییر کرده است، نقطه کارکرد با منحنی پمپ مطابقت ندارد. در سه چینش ابتدایی نقطه کارکرد سیستم مطابق با منحنی عملکرد پمپ بوده است، ولی در سه چینش بعدی با تغییر دبی و فشار پمپاژ نقطه کارکرد سیستم تغییر و با فاصله گرفتن از منحنی عملکرد پمپ موجب استهلاک پمپ و هدر رفتن انرژی می‌شود.

در شکل (۳) توان مصرفی الکتروموتور (کیلووات) و راندمان پمپاژ (درصد) در چینش‌های مختلف ارائه شده است. با دقت در جدول (۲) مشاهده می‌شود که دبی سیستم با توجه به برابر بودن تعداد آبپاش‌ها در چینش‌های ۱، ۲ و ۳، برابر و مساوی ۴۲/۷ لیتر بر ثانیه می‌باشد، علاوه بر آن که فشار موردنیاز سیستم در هر سه چینش متفاوت بوده است ولی به دلیل آنکه دبی سیستم برابر می‌باشد لذا میزان فشار تولیدی پمپ در هر سه چینش برابر خواهد بود؛ بنابراین توان مصرفی الکتروموتور و راندمان پمپاژ در سه چینش ابتدایی مساوی و به ترتیب برابر با ۳۳ کیلووات و ۷۲ درصد می‌باشند. در چینش‌های ۴، ۵ و ۶ که دبی سیستم به ترتیب ۵۸/۷، ۵۴ و ۳۲ لیتر بر ثانیه و فشار پمپاژ نیز به ترتیب ۳۵، ۳۹ و ۶۵ متر هست، توان



شکل ۳- مقایسه توان مصرفی (کیلووات) و راندمان پمپاژ در چینش‌های مختلف



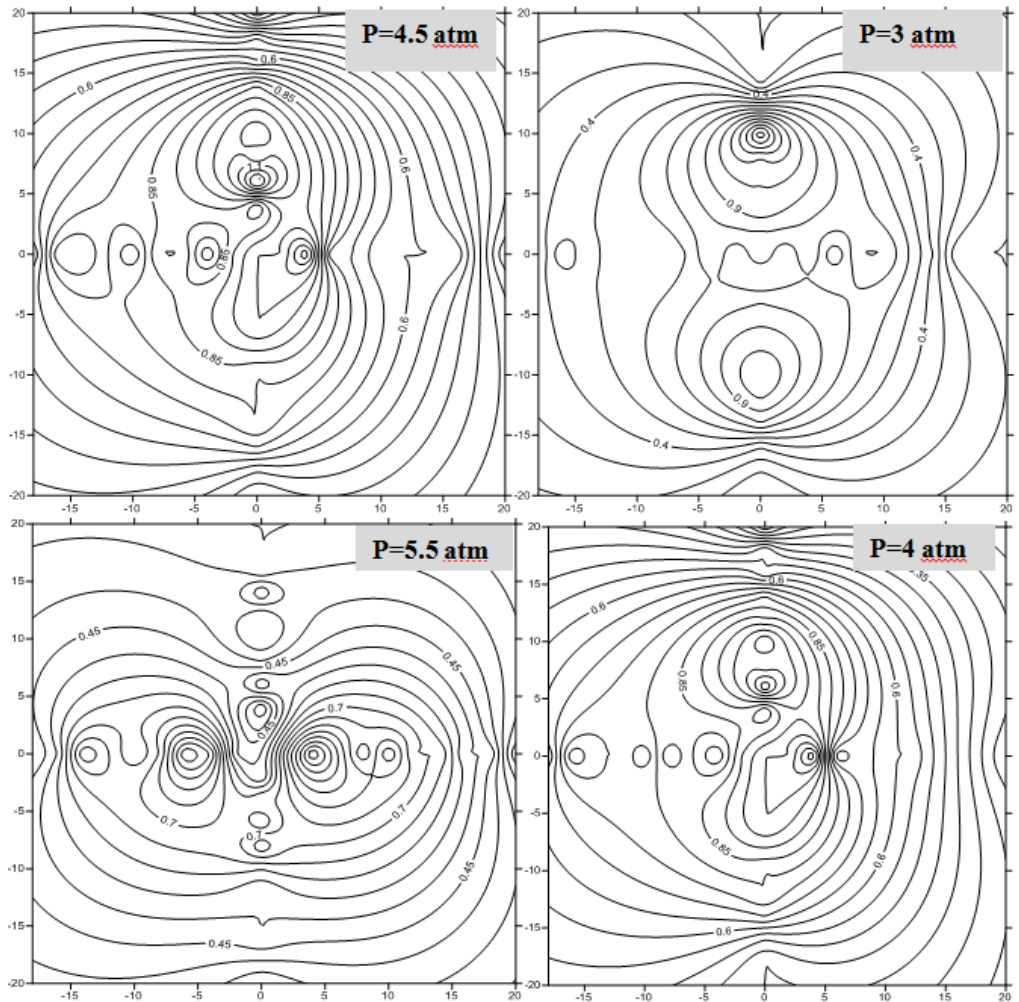
شکل ۴- مقایسه منحنی سیستم با منحنی عملکرد پمپ در چینش‌های مختلف

می‌دهد. با توجه به این مسئله و نظر به این که در چینش‌های غیراصولی، فشار آب در محل آبپاش‌ها در نقاط مختلف سیستم از فشار کارکرد آن تفاوت زیادی می‌یابد، توزیع آب در مزرعه به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. با مراجعه به جدول (۲) مشاهده می‌شود که فشار کارکرد ۴ اتمسفر در چینش شماره یک حاصل می‌شود، بنابراین تأمین فشار کارکرد مناسب موجب

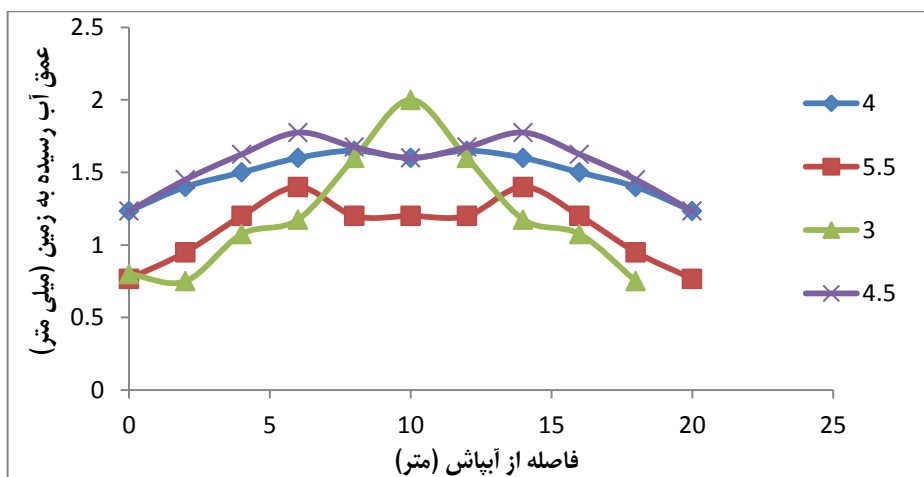
در چینش‌های متفاوت، در اثر تغییر در فشار کارکرد آبپاش‌ها، الگوی پاشش آبپاش‌ها تغییر می‌کند. جهت بررسی این مسئله الگوی منحنی هم عمق پخش آب و الگوی توزیع آب پس از همپوشانی اندازه‌گیری شده آبپاش‌ها در فشارهای مختلف در شکل‌های (۵) و (۶) ارائه شده است. این نتایج اثر فراوان فشار کارکرد آبپاش بر روی الگوی توزیع آب را نشان

همپوشانی آبیاش‌ها را به‌کارگیری تعداد زیاد آبیاش (به‌طور همزمان) توسط بعضی از کشاورزان گزارش نمودند (Faryabi *et al.*, 2010).

ایجاد الگوی پاشش زنگوله‌ای (نرمال) شده و نمودار همپوشانی آنها خطی مستقیم و یا تقریباً یکنواخت با تغییرات اندک می‌باشد، نتایج حاصل با نتایج فاریابی و همکاران مطابقت داشت. آنها یکی از دلایل عدم یکنواختی توزیع آب پس از



شکل ۵- منحنی هم‌عمق پخش آب پس از همپوشانی در فشارهای مختلف



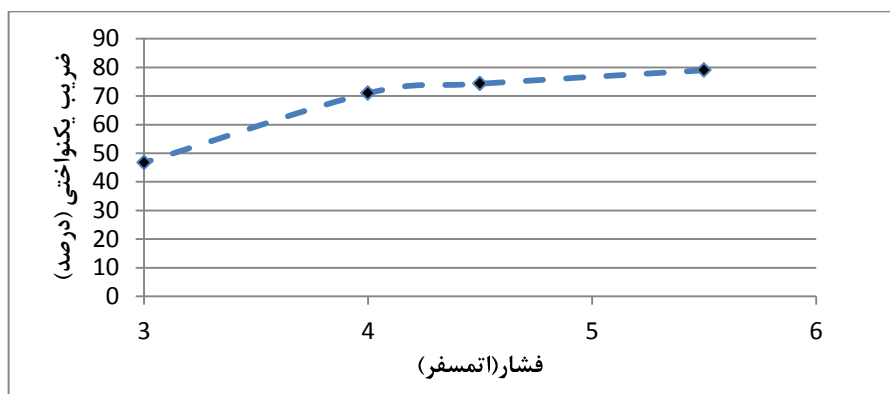
شکل ۶- هم‌پوشانی آبیاش‌ها در فشارهای مختلف (بر حسب اتمسفر)

چینش شماره ۲ با چینش شماره ۱ ماهیتاً یکی است با این تفاوت که در چینش شماره ۲، قرارگیری آبپاش‌ها بر روی لترال‌های واقع در ابتدای خط لوله اصلی مورد بررسی قرار گرفته است. این چینش در بهره‌برداری ناگزیر اتفاق می‌افتد و در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است تا مشخص شود که اگر طبق برنامه پیشنهادی طراح بهره‌برداری شود، آیا قرارگیری آبپاش‌ها بر روی لترال‌های واقع در ابتدای خط لوله اصلی (چینش ۲) و لترال‌های واقع در انتهای خط اصلی (چینش ۱)، اختلاف قابل توجهی در یکنواختی توزیع آب در سیستم ایجاد می‌کند یا خیر. ملاحظه می‌شود که یکنواختی توزیع آب در این دو چینش تفاوت زیادی نداشته است. لذا می‌توان ادعا داشت چنانچه سیستم طبق چینش توصیه‌شده در مرحله طراحی بهره‌برداری شود، تفاوت زیادی در یکنواختی در توزیع آب در آغاز و پایان یک دور آبیاری وجود نخواهد داشت.

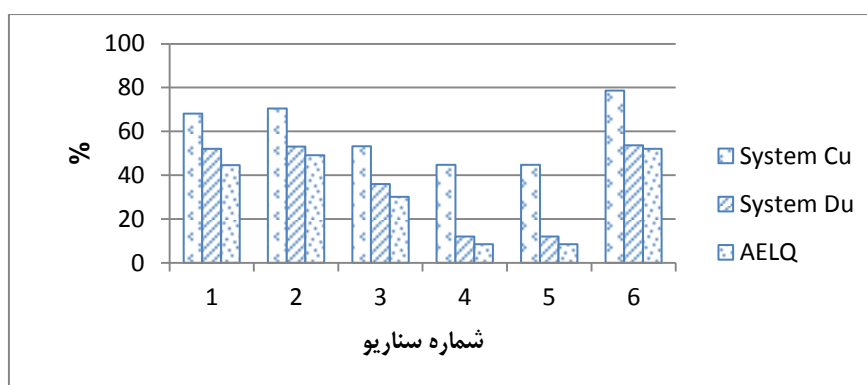
همچنین در شکل ملاحظه می‌شود که چینش شماره ۶ (حالتی که تعداد آبپاش در حال بهره‌برداری کمتر از تعداد طراحی شده است)، یکنواختی سیستم افزایش داشته است اما این چینش را نیز نمی‌توان به‌جای چینش شماره ۱ توصیه کرد؛ زیرا در این حالت اتلاف انرژی زیادی اتفاق خواهد افتد که در جدول (۲) و شکل (۳) اشاره گردید.

با بررسی فشار کارکرد آبپاش‌ها در چینش‌های مختلف دریافت شد که آبپاش‌ها در چینش ۶ بیشترین مقادیر فشار کارکرد و در چینش شماره ۴ کمترین مقادیر را داشته‌اند. در شکل (۷) اثر فشار کارکرد آبپاش‌ها بر روی ضریب یکنواختی نشان داده شده است. نتایج حاکی از این است که ارتباط بین ضریب یکنواختی پخش و فشار کارکرد آبپاش‌ها خطی نیست و در فشارهای پایین شیب این منحنی بیشتر است. این نتیجه با نتایج سایر محققان مطابقت دارد (Li and Rao, 2003; Li et al., 2005; Demirel and Sener, 2009).

شکل (۸) ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع آب و بازده کاربرد آب در ربع پایین را برای چینش‌های مختلف نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد، چینش آبپاش اثر فراوانی بر روی توزیع آب در مزرعه داشته است. در چینش‌های شماره ۳، ۴ و ۵ که از چینش‌های مرسوم در بهره‌برداری از سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت می‌باشند، یکنواختی آبیاری به حد زیادی کاهش یافته است. در چینش‌های شماره ۴ و ۵ که کشاورز مبادرت به استفاده از تعداد آبپاش بیشتر از تعداد طراحی شده می‌نماید، ضریب یکنواختی توزیع آب به ۴۴/۷۸ درصد رسیده است. این در حالی است که در چینش شماره ۱ (چینش پیشنهادی طراح)، این شاخص ۶۸ درصد بوده است.



شکل ۷- اثر فشار کارکرد آبپاش‌ها بر روی ضریب یکنواختی



شکل ۸- یکنواختی پخش، یکنواختی توزیع و بازده کاربرد آب در ربع پایین در چینش‌های مختلف

نتیجه‌گیری

در مطالعاتی که در کشور در زمینه سیستم‌های آبیاری نوین انجام شده است، مطالبات کشاورز و شرایط بهره‌برداری مورد توجه کافی قرار نگرفته است. چنان‌که دیده شد در صورتی‌که بهره‌بردار مطابق با برنامه پیشنهادی رفتار نکند، تمامی تلاش‌های صورت گرفته در فاز طراحی و اجرا بی‌ثمر و کم نتیجه خواهد گشت. پیشنهاد می‌شود در زمینه بهره‌برداری از سیستم‌های آبیاری نوین، تحقیقات جامعی صورت گیرد. در پایان می‌توان دو نتیجه‌گیری مهم را بر اساس یافته‌های این تحقیق ارائه نمود. مورد اول، اهمیت و ضرورت بالای آموزش و فرهنگ‌سازی بهره‌برداری صحیح از سیستم‌های آبیاری نوین است که غفلت از این مسئله در سطح خرد و کلان، تبعات منفی زیاد را در پی خواهد داشت. مورد دوم، ضرورت توجه طراحان سیستم‌های آبیاری به ملاحظات و خواست‌های بهره‌برداران است. به نظر می‌رسد، باید سهولت آبیاری و بهره‌برداری از سیستم، به‌عنوان یک اصل همواره مدنظر طراحان باشد.

REFERENCES

- Akbari, M., Sadghaen, H., and Dehghanisanih, H. (2006). The need for qualitative and quantitative development of irrigation in the country. Proceedings of the workshop sprinklers. Engineering Research Center of Karaj. 97,147-159
- Carrion, P., J.M. Tarjuelo and J. Montero. (2001). SIRIAS: A simulation model for sprinkler irrigation: I. Description of model. *Irrig. Sci.* 20(2), 73-84.
- Demirel, K., and Sener, S. (2009). Performance of sprinkler irrigation systems at different pressures under varying wind speed conditions. *The Philippine Agricultural Scientists.* 92(3), 308-314.
- Faryabi, A., Marufpoor, A., Ghamarnia, H., and Yaminmushrefi, Gh. (2010). Review and evaluate irrigation systems fixed Dehgolan Plain Kurdistan, *water and soil Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 14,54
- Keller, J. and R.D. Bliesner. (1990). Sprinkler and trickle irrigation. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, USA. 652 pp.
- Li, J., and Rao, M. (2003). Field evaluation of crop yield as affected by nonuniformity of sprinkler applied water and fertilizers. *Agricultural Water Management*, 59, 1-13.
- Li, J., Li, B., and Rao, M. (2005). Spatial and temporal distributions of nitrogen and crop yield as affected by nonuniformity of sprinkler fertigation. *Agricultural Water Management*, 76, 160-180.
- Merriam, J.I., and Keller, J. (1978). Farm irrigation system evaluation: a guide for management: Utah State University. Logan., Utah. U.S.A
- Nazari, B., Liaghat, A., and Parsinejad, M. (2013). Development and Analysis of Irrigation Efficiency and Water Productivity Indices Relationships in Sprinkler Irrigation Systems. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(3), 515-523.
- Playan, E., N. Zapata, J.M. Faci, D. Tolosa, J.L. Lacueva, J. Pelegrin, R. Salvador, I. Sanchez and A. Lafita. (2006). Assessing sprinkler irrigation uniformity using a ballistic simulation model. *Agric. Water Manag.* 84: 89-100.
- Sheikhesmaeili, O., Montero, J., & Laserna, S. (2016). Analysis of water application with semi-portable big size sprinkler irrigation systems in semi-arid areas. *Agricultural Water Management*, 163, 275-284.
- Suliman, M. M. (2015). Effect Of Different Sprinkler Patterns On The Performance Of Solid-Set Sprinkler Irrigation System Under Shambat Conditions (Doctoral dissertation, UOFK).
- Talebi, R., Dehanzade, B., Hooshmand, A. (2013). Evaluation of irrigation systems fixed with portable sprinklers city Shoosh. The first national conference on agricultural engineering and management, the environment and sustainable natural resources.
- Yazar, A. (1984). Evaporation and drift losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions. *Agric. Water Manage.* 8, 439-449.

نتایج این پژوهش نشان داد که چنانچه بهره‌برداری از سیستم‌های آبیاری بارانی بر اساس برنامه پیشنهاد شده طراحی نباشد، راندمان سیستم به حد زیادی کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد در صورتی‌که چینش پیشنهاد شده آبیاری را رعایت نکند، عدم تناسب بین منحنی پمپاژ و منحنی عملکرد سیستم موجب افزایش تلفات انرژی می‌شود. همچنین، کاهش یکنواختی پخش آب، استهلاک تجهیزات، وارد شدن بار منفی بر شبکه برق و افزایش بار مجازی روی شبکه از دیگر تبعات بهره‌برداری غیراصولی و خارج از برنامه سیستم‌های آبیاری بارانی است. از طرفی عدم توزیع یکنواخت آب در مزرعه موجبات کاهش محصول را نیز فراهم می‌سازد که این مسئله نیز زیان‌های ناشی از بهره‌برداری غیراصولی سیستم آبیاری را افزایش می‌دهد. تمامی این موارد، موجبات تحمیل هزینه‌های اقتصادی در سطوح خرد و کلان را فراهم می‌سازد.