مجله مدیریت آب و آبیاری، دوره ۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۰، ص ۸۶-۶۹

بررسی اثر تغییر فشار در لوله‌های فرعی آبیاری بارانی متحرک دستی بر روی هزینه‌ها

سونیا زبردست *[۱] و علی رحیمی خوب [۲]

(E-mail: sonia_zebardast@yahoo.com)

(تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۱۱ – تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۴)

چکیده

براساس ضوابط و معیارهای طراحی سیستم‌های آبیاری بارانی، تغییرات فشار مجاز در طول لوله‌های فرعی ۲۰ درصد است. دلایل انتخاب این ۲۰ درصد که از سال‌های دهه ۶۰ میلادی تاکنون اجرا می‌شود، مشخص نیست. با افزایش تغییرات فشار مجاز برای طراحی لوله فرعی، فشار موردنیاز سیستم و عدم یکنواختی پخش آبپاش‌ها بیشتر شده و درنتیجه هزینه‌های تأمین انرژی و تلفات آب بیشتری به‌دنبال دارد. از طرف دیگر، اگر لوله‌های فرعی با تغییرات فشار مجاز کمتری طراحی شوند، یکنواختی آبیاری بهتر، فشار موردنیاز سیستم کمتر ولی هزینه در واحد سطح خرید لوله‌ها بیشتر خواهد شد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثر تغییرات فشار مجاز در لوله‌های فرعی سیستم آبیاری بارانی متحرک دستی بر روی هزینه‌های خرید لوله‌ها، تأمین انرژی و قیمت اقتصادی آب می‌باشد. در این تحقیق، مزارع نمونه سیستم آبیاری بارانی متحرک دستی با تغییرات فشار مجاز پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد برای کشت یونجه در منطقه خوزستان طراحی شد. براساس این طراحی‌ها و نیز با احتساب ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب در این منطقه، هزینه‌های سرمایه‌گذاری، جاری و کل برآورد شد. نتایج نشان داد که با احتساب هزینه تأمین آب، بیشترین هزینه‌ها مربوط به مزارع طراحی شده با تغییر فشار ۳۰ درصد و کمترین هزینه‌ها و کمترین قیمت آب مربوط به مزارع طراحی شده با تغییر فشار ۱۵ درصد است و ارزش‌های اقتصادی مختلف آب در خوزستان، تأثیری بر انتخاب بهترین گزینه اقتصادی حد تغییر فشار نداشته است. در تغییر فشار ۲۰ درصد به بالا، تلفات و هزینه‌ها بالا است و محدوده تغییر فشار ۱۵ درصد در لوله فرعی، گزینه مناسبی برای طراحی سیستم آبیاری بارانی متحرک دستی در منطقه خوزستان است.

کلمات کلیدی: آبیاری بارانی، تغییرات فشار مجاز، خوزستان، قیمت آب

۱ – دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران – ایران **(نویسنده مسئول مکاتبه*)**

۲ – دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران – ایران

مقدمه

ایران از جمله کشورهایی است که در منطقه خشک و نیمه خشک دنیا واقع شده و کمبود بارش و منابع آب از محدودکننده‌های اصلی کشاورزی در آن است. بخش کشاورزی در ایران بزرگترین مصرف‌کننده آب است، به‌طوری‌که حدود ۹۳ درصد از منابع آب کشور در این بخش به مصرف می‌رسد و این مقدار باتوجه به رشد جمعیت و افزایش سرانه مصرف آب شهری و توسعه صنعت رو به کاهش است. این در حالی است که هدر رفت آب در آبیاری بالا بوده، به‌طوری‌که بازده کل آبیاری در ایران حدود ۳۳ درصد گزارش شده است (۱). همین مسئله باعث شده که در سال‌های اخیر توجه زیادی به توسعه سیستم‌های آبیاری بارانی شود. این سیستم‌ها درمقایسه با روشهای آبیاری سطحی، ضمن برخورداری از راندمان بیشتر و توزیع یکنواخت‌تر آب در سطح مزرعه، انطباق بهتری با توپوگرافی زمین داشته و برای انواع مختلف خاک قابل اجرا است. برخلاف روشهای آبیاری سطحی که راندمان آبیاری بستگی زیادی به مهارت کشاورز دارد، در روش آبیاری بارانی بستگی زیادی به طراحی دقیق اجزای مختلف این روش دارد. از عوامل مهمی که در طراحی سیستم‌های آبیاری بارانی مورد توجه قرار می‌گیرد، راندمان یکنواختی پخش آب در مزرعه است. عدم پخش یکنواخت آب علاوه بر هدر رفتن آب، باعث کاهش میزان محصول در واحد سطح می‌شود (۱۱، ۱۳ و ۱۷).

آرایش آب‌پاش‌ها، سرعت باد، اندازه آبپاش، فشار کارکرد آبپاش و تغییرات فشار آب آبپاش‌هایی که هم‌زمان با هم کار می‌کنند از پارامترهایی هستند که بر روی راندمان یکنواختی تأثیر می‌گذارند (۱۹). برای هر قطر دهانه نازل آبپاش، یک محدوده فشار بهینه وجود دارد که بیشترین راندمان پخش را تولید می‌کند. فشار کارکرد آبپاش و آرایش آبپاش‌ها براساس جداول ارائه شده توسط کارخانه‌های سازنده آبپاش و سرعت باد و با ملاحظات حداکثر سرعت پخش مجاز تعیین می‌شود. محققین جداول کمکی برای تعیین فشار، اندازه، آرایش و ضریب یکنواختی آبپاش‌ها براساس سرعت باد ارائه داده‌اند (۱۴). این جداول حاصل تحقیقات مزرعه‌ای بوده که در نقاط مختلف دنیا انجام شده است. ضریب یکنواختی پخش آب که از این جداول کسب می‌شود فقط درصورتی‌که فشار آبپاش در محدوده فشار توصیه شده باشد، صادق بوده و در غیر این صورت، این ضریب کاهش می‌یابد. افت بار هیدرولیکی در طول لوله فرعی و توپوگرافی زمین از عوامل عدم یکنواختی فشار در بین آبپاش‌هایی که هم‌زمان کار می‌کنند، هستند. آبپاش‌ها از نظر هیدرولیکی، مثل روزنه بوده و دبی خروجی تابع مجذور فشار آب پشت آنها است، لذا تغییرات فشار آب باعث عدم یکنواختی پخش آب در زمین شده و راندمان یکنواختی کاهش می‌یابد.

برای مقاصد طراحی، توصیه شده که تغییرات فشار آب بین آبپاش‌ها در طول لوله فرعی، بیشتر از ۲۰ درصد نباشد (۴، ۶، ۷، ۱۴، ۱۶ و ۲۰). این مقدار به‌عنوان ضابطه طراحی برای تعیین طول و قطر لوله‌های فرعی استفاده می‌شود، ولی دلایل علمی برای توجیه آن ارائه نشده است. انتخاب حد مجاز تغییرات فشار به دلیل اثر بر روی فشار موردنیاز سیستم، راندمان آبیاری، طول و قطر لوله‌های فرعی بسیار مهم است. به‌طوری‌که افزایش این حد، امکان طراحی لوله‌های فرعی با طول بیشتر و یا قطر کمتر را فراهم کرده و به عبارتی هزینه‌های خرید و اجرای خطوط لوله که از اقلام اصلی سیستم‌های بارانی است، کاهش می‌یابد، ولی این افزایش سبب بالا رفتن تلفات آب و به عبارتی افزایش هزینه تأمین آب می‌شود (۱۵ و ۱۸). هزینه تأمین آب در مناطق مختلف باتوجه به نوع منبع آب، دوری و نزدیکی آن به محل مزرعه، پارامتر متغیری در هزینه‌های تمام شده یک سیستم آبیاری است. همچنین افزایش و کاهش حد مجاز تغییرات فشار بر روی فشار مورد نیاز سیستم تأثیر می‌گذارد. تأمین فشار موردنیاز سیستم یکی از اقلام مهم هزینه‌های جاری سیستم‌های تحت فشار است. باتوجه به این توضیحات درمی‌یابیم که حد مجاز تغییرات فشار آب در هزینه‌ها تأثیرگذار است و این تأثیرات در اجزای مختلف سیستم آبیاری بارانی هم‌سو نیست. ضابطه حد مجاز تغییرات فشار معادل ۲۰ درصد مربوط به چند دهه قبل بوده و با گذشت زمان هزینه‌های خرید لوله‌ها، تأمین آب،

برق مصرفی و سایر تجهیزات مربوط به سیستم آبیاری بارانی تغییرات زیادی کرده است. بنابراین مطالعه اثر مقادیر مختلف حد مجاز تغییرات فشار بر روی هزینه‌های سیستم آبیاری بارانی مهم است.

در این تحقیق، شش مزرعه نمونه آبیاری بارانی سیستم متحرک دستی با حدود تغییرات فشار آب از پنج تا ۳۰ درصد با نمو پنج درصد برای استان خوزستان طراحی و باتوجه به قیمت‌های مختلف تأمین آب پروژه‌های شبکه‌های آبیاری و زهکشی خوزستان، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و جاری آنها برآورد شدند. هدف از طراحی‌ها و برآوردهای فوق، پاسخ به دو سئوال زیر بودند:

۱ – کدام‌یک از حدود تغییر فشار فوق‌الذکر، کمترین هزینه را برای طراحی مزرعه نمونه آبیاری بارانی سیستم متحرک دستی در استان خوزستان فراهم می‌کند؟

۲ – آیا قیمت‌های مختلف تأمین آب در خوزستان، تأثیری بر انتخاب بهترین گزینه اقتصادی حد تغییر فشار دارد؟

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه مورد مطالعه این تحقیق استان خوزستان است که دارای دشت‌های وسیع حاصل‌خیز و شبکه‌های آبیاری زیادی است. کمبود آب کشاورزی محدودیت اصلی کشاورزی این استان بوده و در سال‌های اخیر برای کاهش تلفات آب، توجه زیادی به توسعه سامانه‌های آبیاری بارانی شده است. بیشتر اراضی کشاورزی در محدوده مرکز استان قرار گرفته است و در این تحقیق، مشخصات خاک‌ها و اقلیم این محدوده برای طراحی مزارع نمونه آبیاری بارانی استفاده شدند. به‌طورکلی، براساس مطالعات مهندسین مشاور، بافت خاک محدوده مورد مطالعه، متوسط از نوع لوم – سیلتی و حداکثر قابلیت نگهداری رطوبت در آن حدود ۱۵۰ میلی‌متر در یک متر خاک و سرعت نفوذ پایه خاک معادل ۱۴ میلی‌متر در ساعت است (۱۰). رودخانه کارون یکی از منابع اصلی آب کشاورزی استان است که شوری آن حدود ۱/۵ میلی‌موس بر سانتی‌متر است.

یونجه یکی از نباتات اصلی الگوی زارعی این منطقه است و درمقایسه با سایر نباتات دارای بیشترین نیاز آبی است و از این‌رو، مشخصات آن برای طراحی مزارع استفاده شد. حداکثر عمق توسعه ریشه یونجه ۱/۵ متر و ضریب آب سهل‌الوصول آن برابر ۰/۵ در محاسبات منظور شد. این گیاه نسبتاً حساس به شوری است و حداکثر شوری عصاره اشباع خاک برای آن ۳/۴ میلی‌موس بر سانتی‌متر است. در جدول (۱)، مقادیر ماهانه نیاز آبی یونجه و پارامترهای هواشناسی منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

نیاز آبی یونجه براساس سند ملی نیاز آبی کشور تهیه شد و پارامترهای هواشناسی براساس متوسط آنها در ۱۰ سال اخیر ایستگاه هواشناسی اهواز برآورد شدند (۱۲). همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، حداکثر نیاز آبی در ماه تیر رخ می‌دهد، لذا مزارع براساس نیاز آبی و پارامترهای هواشناسی این ماه طراحی شدند. باتوجه به نیاز خالص آبی گیاه و مشخصات خاک، حداکثر دور آبیاری در تیرماه، ۱۰ روز می‌باشد.

ضوابط طراحی مزرعه آبیاری بارانی متحرک دستی

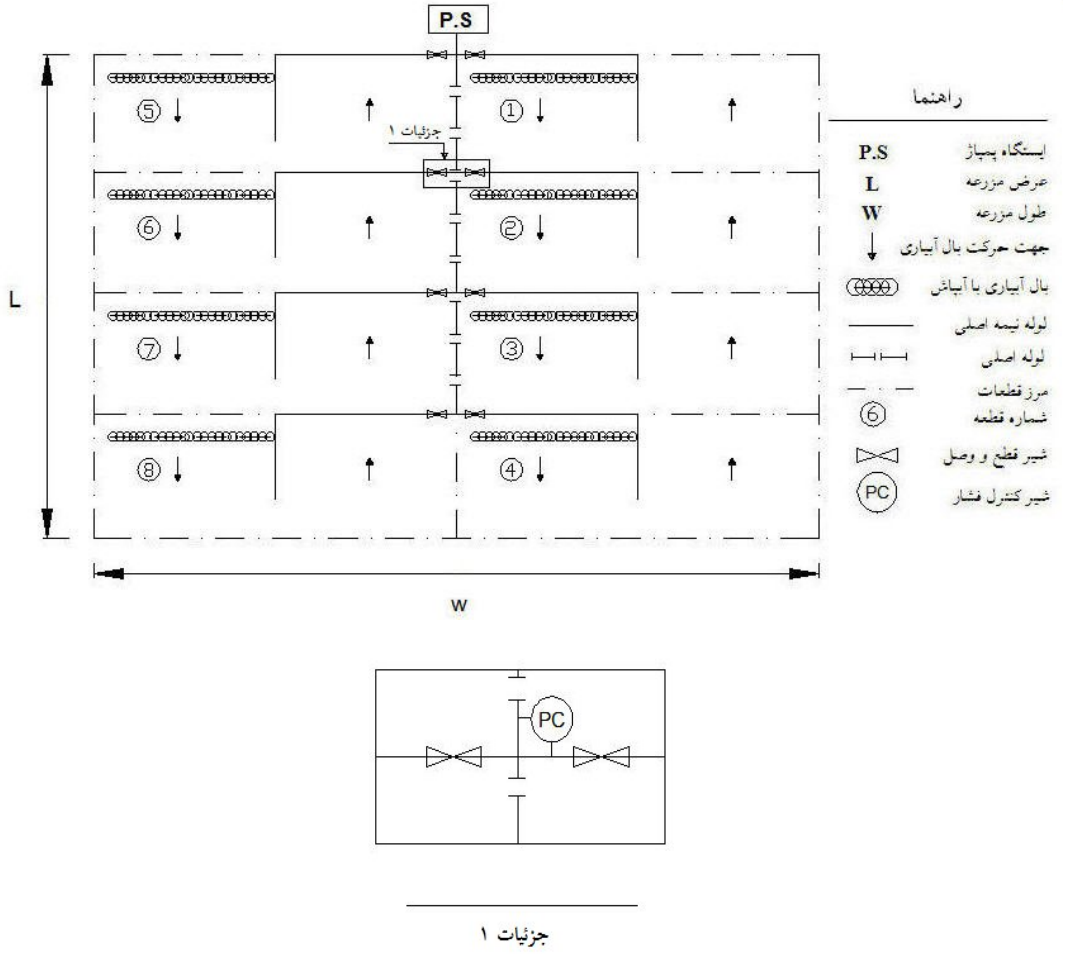
همان‌طورکه ذکر شد، شش نوع تغییر فشار مجاز برای طراحی لوله فرعی مورد بررسی قرار گرفت و بدیهی است، این تغییرات بر روی طول و ابعاد مزرعه، راندمان آبیاری و ظرفیت‌های طراحی لوله‌های شبکه و هزینه‌های سرمایه‌گذاری و جاری تأثیر می‌گذارد. بنابراین در این بررسی، شش نوع مزرعه طراحی شد که ضوابط و معیارهای طراحی آنها در ذیل ارائه شده است.

آرایش مزرعه

باتوجه به مطالعات مهندسین مشاور منطقه، مناسب‌ترین مساحت خالص مزارع آبیاری بارانی حدود ۵۰ هکتار است که این سطح براساس متوسط سطح مالکیت‌های اراضی، تعاونی‌های زارعین و الگوی کشت منطقه تعیین شده است (۱۰). در این تحقیق، سطح فوق مبنای طراحی مزارع نمونه آبیاری بارانی سیستم متحرک دستی، برای شش نوع تغییر فشار لوله فرعی قرار گرفت. در شکل (۱) آرایش اجزای یک مزرعه آبیاری بارانی متحرک دستی که عموماً در خوزستان برای شبکه‌های آبیاری طراحی می‌شود، ارائه شده است.

جدول ۱ - متوسط ماهانه نیاز آبی خالص یونجه و پارامترهای هواشناسی در محدوده مورد مطالعه

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
نیاز آبی خالص یونجه (میلی‌متر)	۱۱۶	۱۷۴	۲۳۲	۲۳۳	۲۲۱	۱۷۵	۱۲۰	۶۷	۱۷	۳	۳۴	۵۱	۱۴۴۳
متوسط سرعت باد (کیلومتر در ساعت)	۵/۳۹	۶/۷۳	۸/۰۸	۹/۴۲	۱۰/۷۷	۱۲/۱۲	۱۳/۴۶	۱۰/۷۷	۱۶/۱۶	۱/۳۵	۲/۶۹	۴/۰۴	۸/۴۱
متوسط دمای هوا (سانتی‌گراد)	۶۲/۲۲	۳۲/۴۶	۳۶/۲۷	۳۸/۱۹	۳۸/۰۳	۳۳/۷۲	۲۸/۲۳	۳۸/۰۳	۱۴/۹۸	۱۳/۴۵	۱۵/۳۷	۱۹/۲۹	۲۷/۸۵



شکل ۱ - شمای کلی مزرعه مورد مطالعه

یک ایستگاه پمپاژ در وسط ضلع بالادست مزرعه آب را از آب‌گیر مزرعه گرفته و با اعمال فشار لازم بـه لولـه اصـلی می‌رساند. لوله اصلی از وسط مزرعه عبـور کـرده و آب را در جهت شیب سرپایینی زمین بین لوله‌های نیمـه اصـلی توزیـع می‌کند. برای هر قطعه یک لوله نیمه اصلی و یک لوله فرعـی درنظر گرفته شده که لوله فرعی در جهت خطوط تـراز از دو طرف لوله نیمه اصلی منشعب شده است و لذا طول هر قطعه دو برابر لوله فرعی خواهد بود. برای توزیع فشار یکـسان آب بین کل قطعات مزرعه، یک دستگاه شیر کنترل فـشار بعـد از انشعاب آب از لوله اصلی به لوله نیمه اصـلی نـصب شـده و پس از آن جریان آب به دو خط لولـه نیمـه اصـلی بـرای دو قطعه وارد می‌شود. تعداد استقرار یا تعداد نقاط برداشـت آب در طول لوله نیمه اصلی که تعیین‌کننده عرض قطعات زراعـی است، به صورتی محاسبه شد کـه در دوره حـداکثر مـصرف، یک لوله فرعی بتواند در فاصله بین دو آبیـاری کـل قطعـه را آبیاری کند. باتوجه به ملاحظات بالا، مساحت قطعات زراعی برای درصدهای مختلف تغییر فشار متفاوت بوده و تعداد آنها در مزرعه به صورتی تعیین شد که مساحت مزرعه در حـدود ۵۰ هکتار گردد.

راندمان کاربرد آب آبیاری

راندمان آبیاری شامل دو جزء یکنواختی و تلفات آب است. عدم یکنواختی پخش آب در آبپاش‌ها که به علت تغییرات فشار آب در طول لوله فرعی و در سطح قطعه آبیاری پیش می‌آید، باعث کاهش راندمان آبیاری می‌شود. همچنین باد، تبخیر مستقیم قطرات آب و نشت آب از محل شیرآلات و اتصالات باعث تلفات آب می‌شوند. برای تأثیر تغییرات فشار آب در قطعه زراعی بر روی راندمان یکنواختی، از رابطه زیر استفاده شد (۱۴):

$$CU_{sys} = CU\,[0.5\,(1 + (H_n/H_m)^{0.5})] \qquad (۱$$

در رابطه فوق، CU_{sys} راندمان یکنواختی قطعه زراعی (درصد)، CU راندمان یکنواختی آب‌پاش‌ها (درصد)، H_n حداقل فشار آب در قطعه زراعی (متر) و H_m فشار متوسط در قطعه زراعی (متر) هستند. باتوجه به آرایش مزرعه، دورترین آب‌پاش به شیر کنترل فشار، کمترین فشار را دارد. فشار متوسط آب‌پاش در قطعه زراعی با استفاده از رابطه زیر تعیین شده است (۱۴):

$$H_m = (2H_n + H_x)/3 \qquad (۲$$

در رابطه فوق، H_x معرف حداکثر فشار در قطعه (متر) است که در نزدیکترین آب‌پاش به شیر کنترل فشار اتفاق می‌افتد. در روش آبیاری بارانی برای تعیین راندمان کاربرد آب از رابطه زیر که اثرات یکنواختی و تلفات آب را درنظر می‌گیرد، استفاده می‌شود (۳):

$$E_a = DE_{pa} \times R_e \times O_e \qquad (۳$$

در این رابطه، E_a راندمان کـاربرد آب (درصـد)، DE_{pa} رانـدمان توزیـع آب براسـاس کفایـت آبیـاری (درصـد)، R_e قسمت مؤثر آب پخش شده بر روی زمـین (اعـشاری) و O_e رانـدمان توزیـع آب در خطـوط لولـه شـبکه آبیـاری بـارانی (اعشاری) می‌باشند. راندمان توزیع براسـاس کفایـت آبیـاری نشان‌دهنده رابطه بین راندمان یکنواختی پخش آب در قطعه و درصدی از سطح مزرعه که به اندازه نیاز خالص و یا بیشتر از آن، آب دریافت کرده است، می‌باشد. باتوجـه بـه همبـستگی آماری بین این دو پارامتر، رانـدمان توزیـع براسـاس کفایـت آبیاری از جدول مربوطه در کتاب کلر و بلیسنر محاسبه شـده است. نکته قابل ذکر در این رابطـه، انتخـاب مقـادیر مناسـب کفایت آبیاری است که باتوجه بـه شـرایط طـرح و براسـاس تجارب، مقدار ۸۰ درصد برای گیاهان زراعتی و محـصولاتی مثل یونجه توصیه شده اسـت (۳). قـسمت مـؤثر پخـش آب نشان‌دهنده آن بخشی از آب خارج شده از آبپاش‌ها است کـه پس از کسر تلفات ناشی از تبخیر و باد به سطح زمین می‌رسد و در خاک ذخیره می‌شود. تلفات حاصـل از بـاد و تبخیـر در زمانی‌که سرعت باد کم و تراکم پوشـش گیـاهی زیـاد باشـد، بسیار کم و در شرایط معمولی پنج تا ۱۰ درصد است ولی در شرایطی که باد شدید باشد، میـزان تلفـات بـه مراتـب بیـشتر خواهد شد (۳). باتوجه به اینکـه بـرای شـش مزرعـه مـورد بررسی این تحقیق، یک نوع آبپاش انتخاب شده، لذا مقدار R_e برای همه این مزارع یکسان و مقدار آن با اسـتفاده از روابـط ارائه شده برابر ۹۳ درصد تعیین شد (۱۴).

راندمان توزیع آب در خطوط لوله نشان‌دهنده تلفات ناشی از نشت لوله‌ها، اتصالات و شیرآلات و یا تلفات ناشی از تخلیه بال‌های آبیاری به هنگام جابه‌جایی و یا تلفات ناشی از بهره‌برداری نامناسب از بال‌های آبیاری داخل قطعه آبیاری بوده و بین یک تا پنج درصد می‌باشد. در این تحقیق، این پارامتر برای تمام مزارع برابر دو درصد درنظر گرفته شد.

عمق ناخالص آبیاری

عمق ناخالص آبیاری مقدار آبی است که در هر آبیاری باید به زمین داده شود و شامل مقدار آب موردنیاز گیاه، تلفات عمقی (آبی که در حین آبیاری از منطقه توسعه ریشه خارج می‌شود) و آب موردنیاز آب‌شویی است. در منطقه مورد مطالعه، میزان نیاز آب‌شویی کمتر از ۰/۱ است و خاک آن نیاز به آب‌شویی ندارد. درنتیجه، عمق ناخالص آبیاری در هر مزرعه از نسبت عمق خالص آبیاری به راندمان آبیاری به‌دست آمد.

مشخصات آبپاش

مشخصات آبپاش شامل قطر دهانه نازل، آرایش آبپاش‌ها، فشار کارکرد و دبی آبپاش است. معمولاً آبپاش در سیستم‌های متحرک دستی باتوجه به سرعت باد، سرعت نفوذ پایه خاک و نیاز ناخالص آبیاری در دوره حداکثر مصرف به‌صورتی انتخاب می‌شود که بدون ایجاد رواناب و حداقل تلفات آب روزی دو بار جابجا شود. در این بررسی، آبپاش با دهانه نازل ۲/۵ ۵/۵ میلی‌متر مربع و با آرایش ۱۸ × ۱۲ مترمربع با استفاده از جداول کمکی و باتوجه به آبپاش‌های موجود در بازار انتخاب شد (۱۴). این آب‌پاش با فشار معادل ۳۵ متر آب، دارای دبی ۰/۶۲ لیتر در ثانیه است و باتوجه به جداول کمکی فوق و کاتالوگ آبپاش‌ها، ضریب یکنواختی (CU) آن در مزرعه با سرعت باد ۹/۴۲ کیلومتر در ساعت، برابر ۸۵ درصد تعیین شد. مدت زمان لازم برای پخش آب در دوره حداکثر مصرف حدود ۱۱ ساعت برآورد شد و لذا لوله‌های فرعی در این دوره، روزی دو بار جابه‌جا می‌شوند.

مشخصات لوله فرعی

در سیستم متحرک دستی، از قطعات شش متری آلومینیومی با قطر سه اینچ که با جفت‌کننده‌های سریع به یکدیگر متصل می‌شوند برای لوله‌های فرعی استفاده می‌شود. در این تحقیق، لوله‌های فرعی آبیاری بارانی در راستای خطوط تراز بر روی زمین استقرار یافتند و باتوجه به اینکه دشت‌های مرکزی و جنوب خوزستان هموار و صاف هستند، لذا تغییر فشار آب فقط ناشی از افت بار هیدرولیکی در طول لوله فرعی است و برای تعیین فشار در ابتدای لاترال از رابطه زیر استفاده شد (۱۴):

$$Ho = Ha + 0.75H_f + H_r \qquad (۴$$

در این معادله، H_o فشار در ابتدای لوله فرعی (متر)، H_a فشار متوسط کارکرد آبپاش (متر)، H_f افت فشار ناشی از اصطکاک (متر) و H_r ارتفاع رایزر (متر) هستند. برای محاسبه افت فشار از رابطه زیر که برای لوله‌های صاف ارائه شده، استفاده شد (۱۴):

$$H_f = 7.89 \times 10^7 \times (L/100) \times Q^{1.75} \times D^{-4.75} \times F \qquad (۵$$

در این معادله، H_f افت فشار ناشی از اصطکاک (متر)، L طول لوله فرعی (متر)، Q دبی ورودی به لوله فرعی (لیتر بر ثانیه)، D قطر داخلی لوله (میلی‌متر) و F ضریب کریستیانسن برای لوله‌های با خروجی‌های متعدد می‌باشد (۱۴).

در سیستم متحرک دستی آب‌پاش‌ها به‌طور معمول به فواصل ۱۲ متری روی لوله فرعی نصب می‌شوند و دبی ورودی به لوله فرعی به تعداد و دبی آب‌پاش‌ها بستگی دارد. طول بال آبیاری به نحوی تعیین شد که علاوه بر انطباق با ابعاد قطعات زراعی، افت فشار در طول آن نیز از افت مجاز فشار کمتر گردد. افت فشار مجاز بستگی به تغییرات فشار آب در طول لوله فرعی دارد و از رابطه زیر تعیین شد (۳):

$$\Delta H_a = \alpha \times H_a \qquad (۶$$

در این معادله، ΔH_a افت مجاز فشار در طول لوله فرعی (متر)، H_a فشار متوسط آب‌پاش‌ها (متر) و α درصد تغییرات فشار مجاز می‌باشد که در این تحقیق، شش نوع تغییرات فشار بررسی شدند و برای هر کدام از آنها دبی، حداکثر طول لوله فرعی، افت و فشار در ابتدا و انتهای لوله فرعی محاسبه شده است.

ظرفیت و اقطار لوله اصلی و نیمه اصلی

باتوجه به اینکه بر روی لوله نیمه اصلی فقط یک لوله فرعی نصب می‌شود، ظرفیت لوله نیمه اصلی معادل ظرفیت لوله فرعی است، ولی ظرفیت لوله اصلی از ابتدای ایستگاه پمپاژ تا ابتدای دو قطعه آخر مزرعه (باتوجه به آرایش شبکه) بستگی به تعداد لوله‌های فرعی در حال کار پایین دست آن دارد. لوله اصلی به‌صورت تلسکوپی طراحی می‌شود. قطرهای لوله‌های اصلی و نیمه اصلی در شبکه‌های آبیاری تحت فشار به‌صورت اقتصادی تعیین می‌شوند (۲). برای بهینه‌سازی هزینه سیستم، قطری از لوله‌ها درنظر گرفته می‌شود که مجموع هزینه‌های ثابت و هزینه‌های بهره‌برداری، حداقل شود. در این تحقیق، اقطار لوله‌های اصلی و نیمه اصلی با استفاده از روش چارت اقتصادی ارائه شده توسط کلر و بلیسنر تعیین شدند (۱۴). چارت اقتصادی براساس دبی مزرعه، هزینه‌های خرید و بهره‌برداری لوله‌ها، عمر لوله‌ها، نرخ بهره، قیمت برق مصرفی، نرخ افزایش انرژی ترسیم می‌شود. در این بررسی، لوله‌های اصلی و نیمه اصلی از جنس پلی‌اتیلن انتخاب شد که عمر مفید آن حدود ۳۰ سال در پروژه‌های آبی در نظر گرفته می‌شود. نرخ بهره برای پروژه‌های عمرانی در ایران هفت درصد درنظر گرفته می‌شود و قیمت تمام شده برق براساس تعرفه‌های اعلام شده وزارت نیرو برابر ۷۷۳ ریال برای هر کیلووات ساعت است و این مقادیر برای تعیین قطر اقتصادی استفاده شدند (۵ و ۸). باتوجه به قیمت خرید و نصب لوله‌ها در استان خوزستان و دبی کل موردنیاز مزارع و مقادیر اشاره شده در بالا، چارت اقتصادی تهیه و قطر لوله‌های اصلی و نیمه اصلی برای مزارع مختلف تعیین شدند.

فشار موردنیاز ایستگاه پمپاژ مزارع

فشار موردنیاز ایستگاه پمپاژ مزارع از حاصل جمع فشار لازم در ابتدای قطعه زراعی و افت فشار آب در طول لوله اصلی (از ایستگاه پمپاژ تا آب‌رسانی به دورترین قطعه) به‌دست آمد. فشار لازم در ابتدای قطعه نیز از حاصل جمع فشار لازم در ابتدای لوله فرعی و افت فشار در لوله نیمه اصلی تعیین شد. افت فشار در خطوط لوله اصلی و نیمه اصلی به‌دلیل بزرگ بودن قطر آنها با استفاده از رابطه زیر برآورد شد (۱۴):

$$H_f = 9.58 \times 10^7 \times (L/100) \times Q^{1.83} \times D^{-4.83} \quad (۷$$

در این معادله، H_f افت فشار ناشی از اصطکاک (متر)، L طول لوله اصلی یا نیمه اصلی (متر)، Q دبی ورودی به لوله اصلی یا نیمه اصلی (لیتر بر ثانیه) و D قطر داخلی لوله (میلی‌متر) می‌باشند.

انتخاب پمپ و الکتروموتور و برق مصرفی سالانه مزارع

اندازه پمپ و الکتروموتور مزارع براساس دبی موردنیاز در دوره حداکثر مصرف و فشار موردنیاز مزارع و نوع این تجهیزات (پمپ گریز از مرکز یا فشار قوی) براساس تجارب محلی انتخاب شدند. توان مصرفی ایستگاه پمپاژ از رابطه زیر برآورد گردید (۱۱):

$$PO = (Q \times H)/(102.2 \times E) \quad (۸$$

در این معادله، PO توان مصرفی ایستگاه پمپاژ (کیلووات)، Q ظرفیت طراحی مزرعه (لیتر در ثانیه)، H فشار موردنیاز ایستگاه پمپاژ (متر) و E راندمان پمپ و الکتروموتور (درصد) هستند. راندمان پمپ و الکتروموتور با استفاده از بروشورهای آنها تعیین شد.

برق مصرفی سالانه از حاصل ضرب ساعات کار سالانه هر مزرعه و توان مصرفی آن محاسبه شد. ساعات کار سالانه هر مزرعه نیز از تقسیم حجم ناخالص آب موردنیاز مزارع بر دبی ایستگاه پمپاژ به‌دست آمد و همچنین حجم آب ناخالص موردنیاز سالانه از نیاز خالص آبیاری (براساس سند ملی نیاز آبی کشور)، مساحت مزرعه و راندمان آبیاری محاسبه شده است.

هزینه‌های مزارع آبیاری

هزینه‌های سرمایه‌گذاری و جاری هر مزرعه باتوجه به اقلام و اندازه‌های تجهیزات موردنیاز محاسبه شدند. هزینه‌های سرمایه‌گذاری شامل هزینه‌های خرید، حمل و نصب لوله و اتصالات، تجهیزات آبیاری، تجهیزات برقی، پمپ و هزینه خرید انشعاب برق هستند. هزینه‌های خرید براساس استعلام قیمت از کارخانه‌های سازنده و هزینه‌های اجرا براساس فهرست بهای سال ۱۳۸۸ تعیین شدند. به منظور محاسبه مجموع هزینه‌ها و امکان مقایسه مزارع مختلف،

هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری به هزینه‌های سالانه تبدیل و با هزینه‌های جاری سالانه جمع شدند. ارزش سالانه هزینه‌های سرمایه‌گذاری با روابط زیر محاسبه شد (۱۱):

$$A = P \times CRF \quad (۹$$

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (۱۰$$

در رابطه، A ارزش سالانه هزینه‌های سرمایه‌گذاری، P ارزش فعلی هزینه‌های سرمایه‌گذاری، n طول عمر پروژه (سال)، i نرخ بهره سالیانه (اعشاری) و CRF ضریب بازگشت سرمایه (Capital Recovery Factor) می‌باشند. طول عمر پروژه‌های آبیاری بارانی باتوجه به تجربیات محلی ۳۰ سال و نرخ بهره هفت درصد درنظر گرفته می‌شود (۹). هزینه هر یک از اجزای سیستم مزرعه آبیاری بارانی که عمر مفیدشان کمتر از عمر مفید پروژه بود، تجدید شدند. عمر مفید تجهیزات آبیاری بارانی و ایستگاه پمپاژ ۱۰ و ۱۵ سال است و لذا در طول عمر مفید سیستم به‌ترتیب دو و یک بار تجدید شدند.

هزینه‌های جاری سالانه مزارع شامل بهای برق، هزینه بهره‌برداری و نگهداری و هزینه کارگری می‌باشند. بهای برق سالانه باتوجه به بهای هر کیلووات برق (۷۷۳ ریال) و مصرف سالانه ایستگاه‌های پمپاژ محاسبه شد. هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری به‌صورت درصدی از هزینه‌های سالانه برآورد شده است، به‌طوری‌که این درصد برای تجهیزات آبیاری بارانی و لوله‌ها و اتصالات و تأسیسات مکانیکی ایستگاه پمپاژ یک درصد و برای تجهیزات برقی سه درصد توصیه شده است. هزینه کارگری براساس نیروی انسانی موردنیاز، تعداد آبیاری سالیانه و هزینه هر ساعت نیروی کار محاسبه شد. تعداد نیروی انسانی موردنیاز برای هر هکتار در سیستم آبیاری بارانی متحرک دستی برابر ۱/۷۳ نفر در هر آبیاری توصیه شده است (۳ و ۱۴).

ارزش اقتصادی آب

تلفات آب در مزارع باعث هدر رفتن هزینه‌هایی است که صرف تأمین و استحصال آب شده و این هزینه‌ها نقش اصلی در تعیین ارزش آب دارند. به‌علت تغییر فشار مجاز آب در مزارع مورد بررسی این تحقیق، تلفات آب و یا حجم آب مصرفی در واحد سطح مزارع متفاوت است. لذا برای مقایسه اقتصادی مزارع و انتخاب بهترین تغییر فشار مجاز، ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب به‌عنوان هزینه‌های سرمایه‌گذاری در محاسبات هزینه‌ها باید منظور شود. هزینه تأمین آب در مناطق و طرح‌های مختلف باتوجه به نوع منبع آب، دوری و نزدیکی آن به محل مزرعه و نوع شبکه انتقال متفاوت است. براساس مطالعات انجام شده در استان خوزستان در سال ۱۳۸۱، هزینه تأمین آب از محل برداشت تا مزرعه بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ ریال برآورد شده بود. در این بررسی، این هزینه با نرخ بهره هفت درصد براساس رابطه (۱۱) به ارزش سال مبنای این تحقیق (۱۳۸۸) تبدیل شدند که بین ۱۰۰۰ تا ۱۳۰۰ ریال به‌دست آمد که در این تحقیق جهت بررسی بهتر تأثیر این هزینه بر انتخاب بهترین گزینه اقتصادی، مقادیر ۱۰۰۰، ۱۱۵۰ و ۱۳۰۰ ریال برای تأمین هر مترمکعب آب در مزارع درنظر گرفته شد و تأثیر آن بر هزینه کل بررسی گردید (۱۰).

$$F = P \times (1+i)^n \quad (۱۱$$

در این رابطه، F ارزش کنونی هزینه، P ارزش گذشته هزینه، i نرخ بهره (اعشاری) و n تعداد سال‌های بین سال مبنا با سال انجام پروژه گذشته می‌باشند.

نتایج و بحث

نتایج طرح لوله فرعی برای درصدهای مختلف تغییر فشار در طول آن در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲ – مشخصات لوله فرعی برای درصدهای مختلف افت فشار در لوله فرعی

تغییرات افت فشار در لوله فرعی (درصد)	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰
طول لوله فرعی (متر)	۱۲۶	۱۶۲	۱۸۶	۲۱۰	۲۳۴	۲۴۶
دبی لوله فرعی (لیتر در ثانیه)	۶/۷۹	۸/۶۴	۹/۸۷	۱۱/۱۱	۱۲/۳۴	۱۲/۹۶
فشار در ابتدای لوله فرعی (متر)	۳۸/۲۵	۳۹/۵۲	۴۰/۶۶	۴۲/۰۹	۴۳/۸۱	۴۴/۸۰
فشار در انتهای لوله فرعی (متر)	۳۶/۴۰	۳۵/۹۸	۳۵/۶۰	۳۵/۱۲	۳۴/۵۵	۳۴/۲۲
افت فشار در طول لوله فرعی (متر)	۱/۸۵	۳/۵۳	۵/۰۷	۶/۹۷	۹/۲۶	۱۰/۵۸

همان‌طورکه ملاحظه می‌شود با افزایش درصدهای تغییر فشار، فشار لازم در ابتدای لوله فرعی افزایش ولی فشار در انتهای آن کاهش می‌یابد و اختلاف فشار بین آب‌پاش‌های ابتدایی و انتهایی لوله فرعی باعث عدم یکنواختی و افزایش تلفات آب خواهد شد، لذا لازم است بررسی شود تا چه درصدی از تغییر فشار آب ارزش اقتصادی را خواهد داشت که تلفات آب را جبران کند. همان‌طورکه انتظار می‌رود طول لوله فرعی با افزایش تغییر فشار در آن افزایش یافته ولی درصد افزایش طول لوله فرعی در تغییر فشارهای بالا کمتر می‌شود. با افزایش تغییر فشار از پنج تا ۱۰ درصد، حدود ۲۹ درصد به طول لوله اضافه شده ولی در تغییر فشار از ۲۵ تا ۳۰ درصد، تنها حدود پنج درصد به طول لوله فرعی اضافه می‌شود. با افزایش طول لوله فرعی، آب‌پاش‌های بیشتری بر روی آن قرار می‌گیرد و درنتیجه، دبی لوله فرعی افزایش خواهد یافت و همچنین با افزایش طول لوله فرعی و به تبع آن افزایش افت فشار در طول آن، فشار لازم در ابتدای لوله فرعی افزایش می‌یابد ولی افزایش آن روند یکنواختی ندارد.

همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، کمترین درصد افزایش فشار در ابتدای لوله فرعی برابر با ۲/۳ درصد با تغییر فشار آب از ۲۵ تا ۳۰ درصد و بیشترین افزایش فشار در ابتدای لوله فرعی برابر با چهار درصد با تغییر فشار آب از ۲۰ تا ۲۵ درصد پیش می‌آید. اختلاف فشار در طراحی با تغییر فشار پنج تا ۳۰ درصد، ۶/۵۵ متر است که رقم قابل توجهی است. فشار کارکرد آب‌پاش انتخابی ۳۵ متر است، درحالی‌که فشار در ابتدای لوله فرعی در طراحی با تغییر فشار پنج درصد، ۳/۲۵ متر و در طراحی با تغییر فشار ۳۰ درصد، ۹/۸ متر بیشتر از این فشار به‌دست آمده است و این تفاوت فشار با فشار کارکرد آبپاش، باعث پخش غیریکنواخت آب شده و درنتیجه راندمان یکنواختی پخش آب کاهش می‌یابد. حداقل فشار در انتهای لوله فرعی (۳۴/۲۲ متر) مربوط به تغییر فشار ۳۰ درصد است و تفاوت ۰/۷۸ متر این فشار با فشار کارکرد آب‌پاش نیز بر یکنواختی پخش آب اثرگذار است.

مشخصات مزارع و قطعات زراعی داخل آن برای درصدهای مختلف تغییر فشار در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳ – مشخصات مزرعه و قطعات زراعی آن برای درصدهای مختلف افت فشار در لوله فرعی

تغییرات افت فشار در لوله فرعی (درصد)	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰
عرض مزرعه (متر)	۱۰۰۸	۷۲۰	۷۲۰	۵۷۶	۵۷۶	۴۳۲
طول مزرعه (متر)	۵۲۸	۶۷۲	۷۶۸	۸۶۴	۹۶۰	۱۰۰۸
مساحت مزرعه (هکتار)	۵۳/۲۲	۴۸/۳۸	۵۵/۳۰	۴۹/۷۷	۵۵/۳۰	۴۳/۵۵
تعداد قطعات آبیاری	۱۴	۱۰	۱۰	۸	۸	۶
مساحت قطعات (هکتار)	۳/۸۰	۴/۸۴	۵/۵۳	۶/۲۲	۶/۹۱	۷/۲۶
تعداد لوله فرعی در حال کار	۱۴	۱۰	۱۰	۸	۸	۶
افت در طول لوله نیمه اصلی (متر)	۱/۸۶	۱/۷۷	۲/۴۴	۰/۹۹	۱/۲۸	۱/۴۵
افت در طول لوله اصلی (متر)	۳/۷۳	۲/۸۱	۲/۴۷	۱/۵۴	۱/۸۴	۱/۴۷
فشار مورد نیاز مزرعه (متر)	۴۳/۸۴	۴۴/۱۰	۴۵/۵۷	۴۴/۶۲	۴۶/۹۳	۴۷/۷۲
راندمان یکنواختی سیستم (درصد)	۸۳/۴۶	۸۲/۶۵	۸۱/۷۸	۸۱/۱۵	۸۰/۰۴	۷۹/۴۴
راندمان کل (درصد)	۷۳/۳۳	۷۲/۵۹	۷۱/۷۰	۷۰/۸۴	۶۹/۳۲	۶۸/۷۶
دبی مورد نیاز مزرعه (لیتر در ثانیه در هکتار)	۱/۷۹	۱/۷۹	۱/۷۸	۱/۷۹	۱/۷۹	۱/۷۹
حجم آب ناخالص مورد نیاز سالانه مزرعه (هزار مترمکعب در هکتار)	۱۹/۶۸	۱۹/۸۸	۲۰/۱۳	۲۰/۳۷	۲۰/۸۲	۲۰/۹۹
برق موردنیاز مصرفی سالانه (مگاوات در هکتار)	۳/۵۰	۳/۶۷	۳/۶۱	۳/۸۰	۳/۸۵	۴/۳۹

همان‌طورکه ذکر شد، طراحی مزارع به گونه‌ای بوده که لوله اصلی در وسط مزرعه و قطعات آبیاری در دو طرف آن قرار گرفته‌اند و باتوجه به اینکه هر قطعه توسط یک لوله فرعی آبیاری می‌شود، طول هر قطعه، دو برابر طول لوله فرعی و طول مزرعه، چهار برابر طول لوله فرعی است. درنتیجه با افزایش افت فشار، طول مزرعه و طول لوله نیمه اصلی افزایش یافته است و باتوجه به اینکه مساحت همه مزارع طراحی شده در حدود ۵۰ هکتار درنظر گرفته شده، با افزایش طول مزرعه، عرض مزرعه و درنتیجه آن طول لوله اصلی کاهش یافته است. بیشترین افت در طول لوله نیمه اصلی مربوط به طراحی با افت فشار ۱۵ درصد است، زیرا در این افت فشار، قطر اقتصادی این لوله در مرز محدوده دو قطر قرار گرفته و جهت کاهش هزینه، قطر کوچک‌تر انتخاب شده است. مساحت قطعات آبیاری در پلکان‌های پایین تغییر فشار به علت طول کمتر لوله فرعی، کوچکترند و تعداد قطعات در داخل مزارع (که حدود ۵۰ هکتار درنظر گرفته شده‌اند) بیشتر شده و درنتیجه لوله اصلی برای آب‌رسانی به قطعات، طویل‌تر خواهد شد. به همین دلیل ملاحظه می‌شود که افت در خطوط لوله اصلی با افزایش پلکان‌های افت فشار کاهش یافته و لذا بخشی از انرژی بیشتری که پلکان‌های افت فشار بالا برای تأمین فشار لازم در ابتدای خطوط فرعی لازم دارند، در خطوط اصلی به انرژی کمتری نیاز دارند. درمجموع فشار موردنیاز مزارع که توسط پمپ تأمین می‌شود با افزایش تغییر فشار مجاز اضافه می‌شود، ولی شدت آن کمتر از شدت درصد تغییر فشار است. فشار موردنیاز مزارع برای تغییر فشار مجاز پنج و ۳۰ درصد به‌ترتیب ۴۳/۸ و ۴۷/۷ متر آب برآورد شده و به عبارتی با افزایش ۲۵ درصد در تغییر فشار، فقط حدود نه درصد به فشار موردنیاز مزرعه اضافه شده است. فشار موردنیاز مزرعه در تغییر فشار ۲۰ درصد کاهش دو درصدی نسبت به فشار موردنیاز مزرعه در تغییر فشار ۱۵ درصد داشته است که دلیل آن افت پایین در لوله اصلی و نیمه اصلی (به‌دلیل قطر آنها) در این مزرعه است.

اثر دیگر تغییر فشار مجاز بر روی راندمان آبیاری و تلفات آب است. در جدول (۳) نتایج برآورد راندمان آبیاری و حجم ناخالص برای تغییرات مختلف فشار آورده شده است. هرچه تغییرات فشار در لوله فرعی بیشتر باشد، راندمان

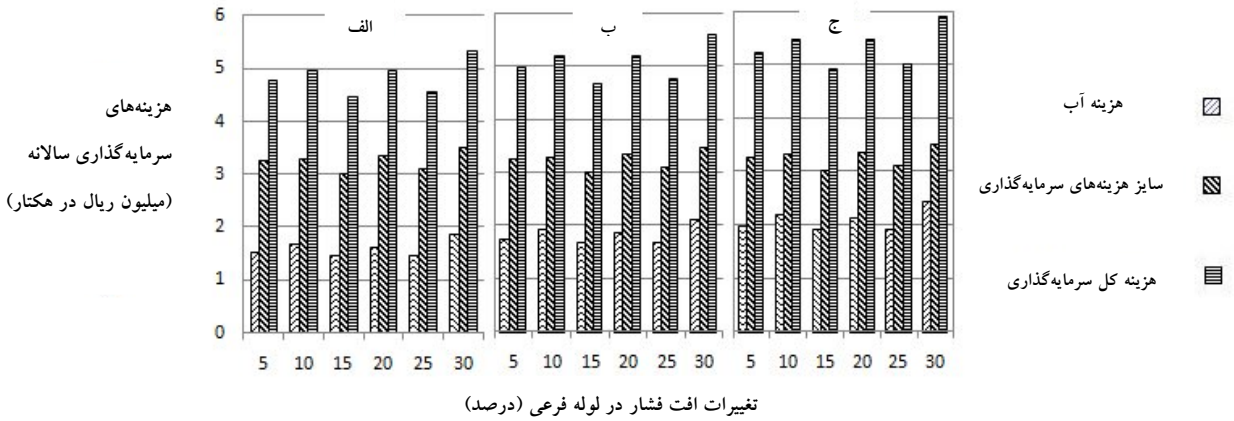
یکنواختی کاهش بیشتری خواهد داشت و کاهش راندمان یکنواختی، کاهش راندمان کاربرد آب را به‌دنبال دارد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود در مزارع با تغییر فشار از پنج تا ۳۰ درصد، راندمان یکنواختی ۴/۰۲ و راندمان کاربرد آب ۴/۵۸ کاهش داشته‌اند. کاهش ۴/۵ درصدی راندمان کاربرد آب (با افزایش درصد تغییر فشار)، در حجم آب مصرفی و بالتبع آن در هزینه‌های مزارع اثرگذار است. دبی مورد نیاز مزرعه در واحد سطح هکتار در همه تغییر فشارها در حدود ۱/۷۹ لیتر در ثانیه است، ولی دبی آب ورودی به مزارع به‌دلیل تفاوت در شکل مزارع، طول‌های مختلف لوله فرعی و تعداد آب‌پاش‌ها یکسان نیست. با افزایش درصد تغییر فشار، راندمان آبیاری کاهش یافته و بالتبع آن حجم آب ناخالص موردنیاز سالانه مزرعه در واحد سطح هکتار افزایش یافته است. به‌طوری‌که مزرعه با تغییر فشار ۳۰ درصد حدود ۱۳۰۰ مترمکعب آب در هکتار نسبت به مزرعه با تغییر فشار پنج درصد، مصرف بیشتری دارد که برای سطح حدود ۵۰ هکتار، این حجم آب بالغ بر ۶۵ هزار مترمکعب است که رقم قابل ملاحظه‌ای است. لذا انتخاب مناسب تغییر فشار مجاز از تلفات قابل توجه آب جلوگیری می‌کند. افزایش حجم آب ناخالص موردنیاز سالانه و دبی‌های متفاوت هر مزرعه، باعث تفاوت در ساعات کارکرد مزارع شده و درنتیجه برق مصرفی سالانه در واحد سطح هکتار متفاوت شده است، اختلاف بین مزرعه با تغییر فشار پنج و ۳۰ درصد، حدود ۰/۹۸ مگاوات در هکتار و برای مزرعه با ۳۰ درصد تغییر فشار با سطح ۵۰ هکتار بالغ بر ۵۰ مگاوات برق بیشتری مصرف می‌کند. باتوجه به نتایج به‌دست آمده، افزایش تغییر فشار مجاز آب باعث تلفات بیشتر آب و مصرف برق بیشتری می‌شود و درصورتی‌که معیار انتخاب تغییر فشار فقط بر پایه کاهش تلفات آب و مصرف برق باشد، بدیهی است که باید کمترین تغییر فشار را برای طراحی درنظر گرفت ولی بایستی تأثیر آن بر روی هزینه‌های اولیه اجرای سیستم بررسی و ارزیابی اقتصادی انجام شود.

در جدول (۴) مقادیر هزینه سرمایه‌گذاری اولیه در واحد سطح هکتار قسمت‌های مختلف مزارع آبیاری برای درصدهای مختلف افت فشار ارائه شده است.

جدول ۴ - هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه قسمت‌های مختلف مزارع آبیاری برای درصدهای مختلف افت فشار لوله‌های فرعی (میلیون ریال در هکتار)

افت فشار در لوله فرعی (درصد)	لوله و اتصالات	انشعاب برق	تجهیزات آبیاری	تجهیزات مکانیکی	تجهیزات برقی	هزینه اجرا	هزینه سرمایه‌گذاری
۵	۶/۱۹	۱/۲۲	۵/۳۰	۱/۵۴	۱۰/۹۷	۱۵/۱۳	۴۰/۳۶
۱۰	۵/۴۲	۱/۳۴	۵/۰۹	۱/۶۹	۱۲/۰۷	۱۵/۳۶	۴۰/۹۷
۱۵	۵/۱۹	۱/۱۸	۴/۹۹	۱/۴۸	۱۰/۵۶	۱۴/۰۴	۳۷/۴۳
۲۰	۶/۴۰	۱/۳۱	۴/۹۱	۱/۶۵	۱۱/۷۳	۱۵/۵۹	۴۱/۵۸
۲۵	۶/۰۳	۱/۱۸	۴/۸۵	۱/۴۸	۱۰/۵۶	۱۴/۴۶	۳۸/۵۵
۳۰	۵/۴۵	۱/۴۹	۴/۸۲	۱/۸۸	۱۳/۴۱	۱۶/۲۳	۴۳/۲۹

همان‌طورکه در بالا ذکر شد، افـزایش پلکـانی تغییـرات فشار بر روی تلفات آبیاری و انـرژی موردنیـاز مـزارع دارای روند افزایشی بوده ولی تـأثیر افـزایش تغییـر فـشار بـر روی هزینه‌های مزارع آبیاری این چنین نیست. به‌جز هزینـه خریـد تجهیزات آبیاری که دارای روند کاهشی است و هزینه‌های آن با افزایش تغییر فشار کاهش مـی‌یابـد، بقیـه هزینـه‌هـا رونـد خاصی ندارد و دارای نوسانات جزئی هستند. بیـشترین اقـلام هزینه مربوط به دو قلم خرید تجهیـزات برقـی و هزینـه‌هـای اجرایی است. کمترین و بیشترین هزینه سرمایه‌گذاری اولیه با مقادیر ۳۷/۴۳ و ۴۳/۲۹ میلیون ریال در هکتار، مربوط به تغییر فشارهای ۱۵ و ۳۰ درصد است. هزینه تأمین آب سالانه بخش مهمی از هزینه‌های سرمایه‌گذاری است. بنابراین، هزینـه‌هـای کل سرمایه‌گذاری اولیه و ارزش اقتـصادی آب بـا اسـتفاده از معادله (۹) به هزینه‌های سالانه تبـدیل شـدند و نتـایج آن در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲ – هزینه‌های سرمایه‌گذاری سالانه مزارع آبیاری بارانی برای درصدهای مختلف افت فشار لوله‌های فرعی در ارزش‌های اقتصادی مختلف تأمین هر مترمکعب آب، الف) ۱۰۰۰ ریال، ب) ۱۱۵۰ ریال و ج) ۱۳۰۰ ریال

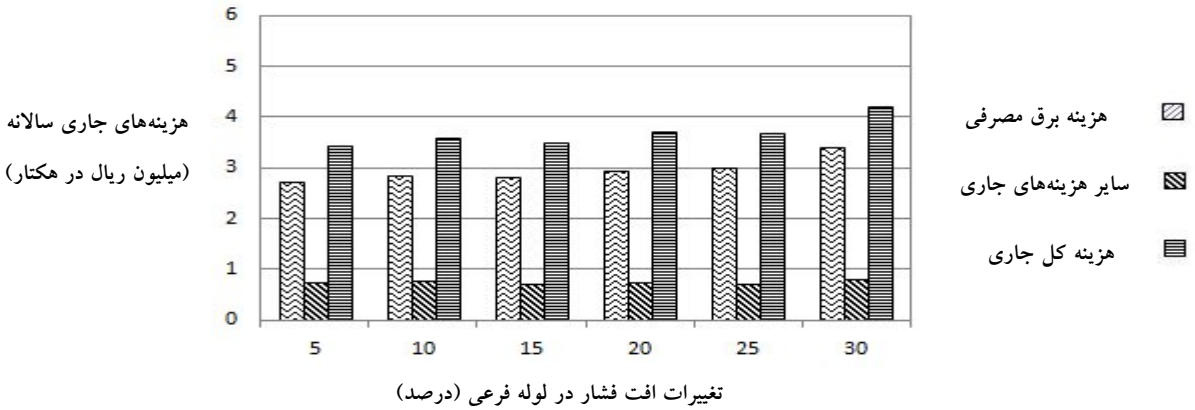
همان‌طور که مـشاهده مـی‌شـود بـرای هـر سـه قیمـت اقتـصادی آب و بـرای تمـامی پلکـان‌هـای تغییـر فـشار آب، هزینه‌های سالانه آب کمتر از هزینه‌های سالانه سرمایه‌گذاری شده است. این هزینه در افت فـشارهای متفـاوت، ۳۲ تـا ۴۰ درصد از کل هزینه سرمایه‌گذاری سالانه را شـامل مـی‌شـود. درنتیجه، با مدیریت صحیح در بخـش تـأمین و انتقـال آب از منبع به مزرعه، می‌توان هزینـه سـرمایه‌گـذاری را کـاهش داد. پس از آن، هزینـه اجـراء بـا اختـصاص ۲۲ تـا ۲۵ درصـد از هزینه‌های سرمایه‌گذاری، بیشترین و هزینه خرید انشعاب برق با اختصاص حدود دو درصد از هزینـه‌هـای سـرمایه‌گـذاری، کمترین بخش از هزینه سرمایه‌گـذاری را بـه‌خـود اختـصاص داده‌اند. کمترین هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه سالانه در همـه مقـادیر مختلـف ارزش آب، بـا مقـادیر ۴/۶۴، ۴/۸۸ و ۵/۱۲ میلیون ریال در هکتار مربوط به مزارع با تغییر فشار ۱۵ درصد و بیـشترین بـا مقـادیر ۵/۱۸، ۵/۴۳ و ۵/۶۹ میلیـون ریـال در هکتار مربوط به مزارع با تغییر فشار ۳۰ درصد است. تفـاوت حداقل و حداکثر هزینه سـرمایه‌گـذاری در همـه هزینـه‌هـای تأمین آب، بیانگر افزایش ۱۱ تا ۱۲ درصدی این هزینه است.

مقادیر هزینه جاری سالانه قسمت‌های مختلف مزارع آبیاری در درصدهای مختلف افت فشار و قیمت‌های مختلف تامین آب در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵ - اجزای هزینه‌های جاری سالانه مزارع آبیاری برای درصدهای مختلف افت فشار لوله‌های فرعی (میلیون ریال در هکتار)

افت فشار در لوله فرعی (درصد)	هزینه کارگری	بهره‌برداری و نگهداری	برق مصرفی	هزینه جاری سالانه
۵	۰/۲۸	۰/۴۴	۲/۷۱	۳/۴۳
۱۰	۰/۲۸	۰/۴۷	۲/۸۳	۳/۵۸
۱۵	۰/۲۸	۰/۴۲	۲/۷۹	۳/۴۹
۲۰	۰/۲۸	۰/۴۶	۲/۹۴	۳/۶۹
۲۵	۰/۲۸	۰/۴۲	۲/۹۷	۳/۶۸
۳۰	۰/۲۸	۰/۵۰	۳/۳۹	۴/۱۸

همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، هزینه کارگری شش تا هشت درصد، هزینه بهره‌برداری و نگهداری ۱۰ تا ۱۲ درصد و هزینه برق مصرفی ۷۹ تا ۸۳ درصد از هزینه جاری را به‌خود اختصاص داده‌اند. هزینه کارگری در همه مزارع ۰/۲۸ میلیون ریال در هکتار است و کمترین مقدار هزینه بهره‌برداری و نگهداری، مربوط به مزارع با تغییر فشارهای ۱۵ و ۲۵ درصد و بیشترین مقدار آن مربوط به مزارع با تغییر فشار ۳۰ درصد است. حداکثر افزایش هزینه جاری در پلکان‌های تغییر فشار و هزینه‌های تأمین آب، ۲۲ درصد به‌دست آمده است. هزینه جاری به دو بخش هزینه برق مصرفی و سایر هزینه‌های جاری تقسیم و نتایج آن در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳ - هزینه‌های جاری سالانه مزارع آبیاری بارانی برای درصدهای مختلف افت فشار لوله‌های فرعی در ارزش‌های اقتصادی مختلف تأمین هر مترمکعب آب

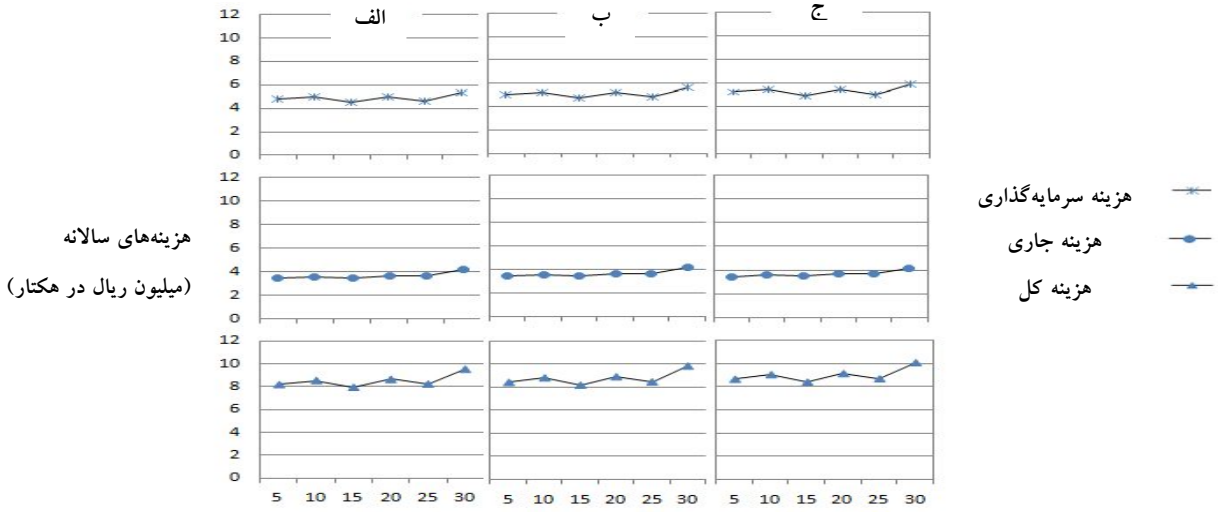
اختصاص یارانه به این بخش، کشاورزی سودآور خواهد بود. کمترین هزینه برق مصرفی (۲/۷۱ میلیون ریال در هکتار) و همچنین کمترین هزینه جاری سالانه در همه مقادیر ارزش اقتصادی آب و در همه نرخ بهره‌ها، مربوط به مزارع با تغییر فشار پنج درصد و بیشترین آنها مربوط به مزارع با تغییر فشار ۳۰ درصد است.

هزینه‌های سالانه در واحد سطح هکتار مزارع آبیاری، در درصدهای مختلف افت فشار و در ارزش‌های مختلف اقتصادی آب در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول ۶ – هزینه‌های سالانه مزارع آبیاری بارانی برای درصدهای مختلف افت فشار لوله‌های فرعی (میلیون ریال در هکتار)

ارزش اقتصادی آب (ریال در مترمکعب)	افت فشار در لوله فرعی (درصد)	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰
۱۰۰۰	هزینه سرمایه‌گذاری	۴/۸۴	۴/۹۰	۴/۶۴	۴/۹۹	۴/۷۸	۵/۱۸
	هزینه جاری	۳/۴۳	۳/۵۸	۳/۴۹	۳/۶۹	۳/۶۸	۴/۱۸
	هزینه کل	۸/۲۷	۸/۴۹	۸/۱۳	۸/۶۸	۸/۴۷	۹/۳۶
۱۱۵۰	هزینه سرمایه‌گذاری	۵/۰۸	۵/۱۴	۴/۸۸	۵/۲۴	۵/۰۴	۵/۴۳
	هزینه جاری	۳/۴۳	۳/۵۸	۳/۴۹	۳/۶۹	۳/۶۸	۴/۱۸
	هزینه کل	۸/۵۱	۸/۷۳	۸/۳۷	۸/۹۲	۸/۷۲	۹/۶۲
۱۳۰۰	هزینه سرمایه‌گذاری	۵/۳۱	۵/۳۸	۵/۱۲	۵/۴۸	۵/۲۹	۵/۶۹
	هزینه جاری	۳/۳۴	۳/۵۸	۳/۴۹	۳/۶۹	۳/۶۸	۴/۱۸
	هزینه کل	۸/۷۵	۸/۹۷	۸/۶۲	۹/۱۷	۸/۹۷	۹/۸۷

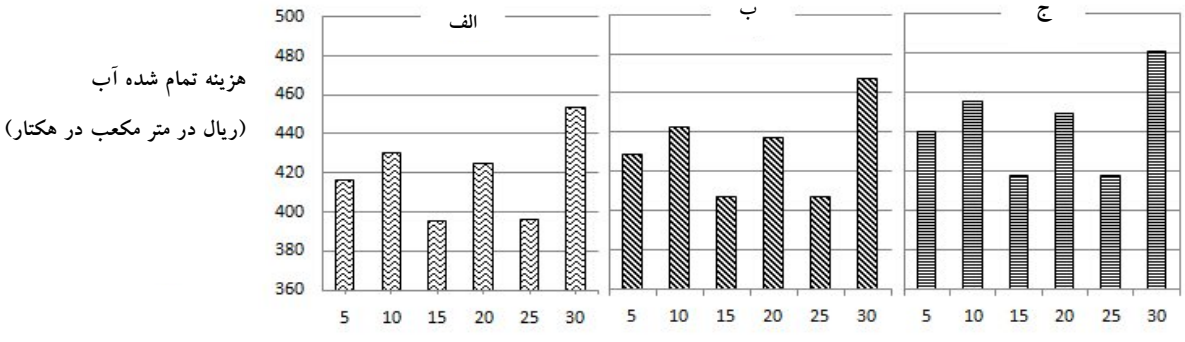
بیشترین هزینه کل سالانه در مقادیر ارزش آب، به‌ترتیب با مقادیر ۹/۳۶، ۹/۶۲ و ۹/۸۷، مربوط به مزارع با تغییر فشار ۳۰ درصد و کمترین هزینه کل سالانه، در مقادیر ارزش آب، به‌ترتیب با مقادیر ۸/۱۳، ۸/۳۷ و ۸/۶۲ مربوط به مزارع طراحی شده براساس افت فشار ۱۵ درصد است. ۵۵ تا ۶۱ درصد هزینه‌های کل، مربوط به هزینه سرمایه‌گذاری و ۳۹ تا ۴۵ درصد مربوط به هزینه‌های جاری است. مقدار هزینه کل سالانه در واحد سطح در مزارع طراحی شده با افت فشار ۲۰ درصد، در مقادیر ارزش اقتصادی آب، به‌ترتیب برابر ۸/۶۸، ۸/۹۲ و ۹/۱۷ میلیون ریال می‌باشد. این مقدار در مزارع با تغییر فشارهای پنج، ۱۰، ۱۵ و ۲۵ درصد، دو تا شش درصد کمتر از مقدار آن در مزارع با تغییر فشار ۲۰ درصد است که این امر نشان می‌دهد اگر ملاک انتخاب افت فشار بر مبنای هزینه باشد، ۲۰ درصد افت فشار که تاکنون در طراحی لوله‌های فرعی استفاده شده، گزینه مناسبی نبوده است. هزینه‌های مزارع آبیاری به‌دست آمده در شکل (۴) نمایش داده شده است.



شکل ۴ – هزینه‌های مزارع آبیاری بارانی برای درصدهای مختلف افت فشار لوله‌های فرعی در ارزش‌های اقتصادی مختلف تأمین هر مترمکعب آب، الف) ۱۰۰۰ ریال، ب) ۱۱۵۰ ریال و ج) ۱۳۰۰ ریال

همان‌طورکه مشاهده می‌شود، هزینه سرمایه‌گذاری سالانه بخش بیشتری از هزینه کل سالانه را شامل می‌شود. هزینه سرمایه‌گذاری سالانه در مزارع با تغییر فشار ۱۵ و ۲۵ درصد، هزینه‌های جاری سالانه، در مزارع با تغییر فشار پنج و ۱۵ درصد و همچنین در هزینه کل به‌ترتیب مزارع با تغییر فشار ۱۵، پنج و ۲۵ درصد، کمترین مقادیر را به خود اختصاص داده‌اند. با افزایش هزینه تأمین آب، هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه کل سالانه افزایش یافته‌اند و این هزینه در روند اثرگذاری تغییر فشارهای مختلف لوله فرعی بر هزینه‌ها، تأثیری نداشته است.

قیمت هر مترمکعب آب در درصدهای مختلف افت فشار و قیمت‌های مختلف تأمین آب در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵ – هزینه تمام شده به ازای هر مترمکعب آب در هکتار مزارع آبیاری بارانی برای درصدهای مختلف افت فشار لوله‌های فرعی در ارزش‌های اقتصادی مختلف تأمین هر مترمکعب آب، الف) ۱۰۰۰ ریال، ب) ۱۱۵۰ ریال و ج) ۱۳۰۰ ریال

همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، کمترین قیمت آب به‌دست آمده در ارزش‌های مختلف آب، با مقادیر ۴۰۴/۰۵، ۴۱۶/۱۴ و ۴۲۸/۲۲ ریال مربوط به مزارع با تغییر فشار ۱۵ درصد است و بیشترین قیمت آب در مقادیر ارزش آب به‌ترتیب با مقادیر ۴۴۶/۰۷، ۴۵۸/۱۵ و ۴۷۰/۲۴ ریال مربوط به مزارع با تغییر فشار ۳۰ درصد است. قیمت آب در مزارع با تغییر فشار ۲۰ درصد در مقادیر ارزش آب، به‌ترتیب برابر ۴۲۶/۰۱، ۴۳۸/۱۰ و ۴۵۰/۱۹ ریال است و این قیمت در مزارع با تغییر فشارهای پنج، ۱۵ و ۲۵ درصد کمتر از مقدار آن در مزارع با تغییر فشار ۲۰ درصد است. هزینه تمام شده به ازای هر مترمکعب آب در مزارع با تغییر فشارهای ۱۵ و ۲۵ درصد مقادیر بسیار نزدیک به‌هم را به‌دست داده‌اند.

نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج، کمترین هزینه کل سالانه در واحد سطح، در مقادیر ارزش اقتصادی آب به‌ترتیب با مقادیر ۸/۱۳، ۸/۳۷ و ۸/۶۲ میلیون ریال و کمترین قیمت هر مترمکعب آب با مقادیر ۴۰۴/۰۵، ۴۱۶/۱۴ و ۴۲۸/۲۲ ریال، مربوط به مزارع با تغییر فشار ۱۵ درصد است. کمترین تفاوت در مقادیر هزینه کل سالانه (حدود ۱۴ هزار ریال در هکتار) مربوط به مزارع با تغییر فشارهای پنج و ۱۵ درصد و در قیمت هر مترمکعب آب (سه ریال در مترمکعب) مربوط به مزارع با تغییر فشارهای ۱۵ و ۲۵ درصد است. در هزینه کل سالانه، به‌ترتیب مزارع با تغییر فشارهای ۱۵، پنج، ۲۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد و در قیمت هر مترمکعب آب، به‌ترتیب مزارع با تغییر فشارهای ۱۵، ۲۵، پنج، ۲۰، ۱۰ و ۳۰ درصد، کمترین مقادیر را به‌دست داده‌اند. حداکثر هزینه‌های کل در همه ارزش‌های تأمین آب، حدود ۱/۱۵ حداقل هزینه‌ها می‌باشد. در حالت کلی، این اختلاف هزینه‌های به‌دست آمده می‌تواند ناشی از شکل مزارع مربوط به پلکان‌های تغییر فشار باشد، زیرا در اثر اعمال تغییر فشارهای مختلف، طول و عرض مزارع تغییر یافته و درنتیجه طول لوله‌های اصلی، نیمه اصلی و سایر اجزاء و تجهیزات لازم در مزارع، متفاوت شده‌اند. براساس تغییر فشار، طول لوله‌های فرعی و تعداد آبپاش‌های قرار گرفته بر روی آن‌ها و بالتبع آن میزان دبی لازم در هر مزرعه، حجم آب موردنیاز مزارع و میزان برق مصرفی نیز متفاوت شده‌اند و این تفاوت‌ها روند یکنواختی نداشته و بسته به شکل مزارع متفاوت هستند. قیمت‌های مختلف تأمین آب در خوزستان، تأثیری بر انتخاب بهترین گزینه اقتصادی حد تغییر فشار نداشته است. از تغییر فشار ۱۰ تا ۱۵ درصد، کاهش حدود چهار درصدی هزینه کل و از تغییر فشار ۱۵ تا ۲۰ درصد، افزایش هفت درصدی هزینه کل را داریم، بنابراین محدوده تغییر فشار ۱۵ درصد در لوله فرعی می‌تواند گزینه مناسبی برای طراحی سیستم آبیاری بارانی متحرک دستی در منطقه خوزستان باشد. باتوجه روند افزایشی هزینه‌های کل از تغییر فشار ۲۰ درصد به بالا می‌توان نتیجه گرفت که تغییر فشار از ۲۰ درصد به بالا فاقد توجیه اقتصادی است و توصیه نمی‌شود. این تحقیق برای محصول یونجه، منطقه خوزستان و سیستم آبیاری بارانی متحرک دستی انجام گرفته و باتوجه به نتایج حاصله و تأثیر تغییر فشار در هزینه‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که برای پیشبرد بهتر طرح‌های آبیاری، بایستی تغییرات افت فشار در لوله فرعی، در انواع سیستم‌های آبیاری، در مناطق مختلف، برای الگوی کشت متنوع و محصولات مختلف از طریق مقایسه اقتصادی بهینه شوند. همچنین در این تحقیق، تغییر فشارهای پنج تا ۳۰ درصد با نمو پنج درصد لحاظ شده است که مطالعه دقیق‌تر در این محدوده و انتخاب تغییر فشارهای با نمو کمتر، مناسب‌تر است. ارزش اقتصادی آب در سه محدوده در نظر گرفته شده و همچنین از یک نرخ بهره در برآوردهای اقتصادی استفاده شده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در همه طرح‌های آبیاری، در نرخ بهره‌های مختلف و با در نظر گرفتن ارزش‌های مختلف آب، درصد تغییر فشار مناسب تعیین شود.

منابع مورد استفاده

۱ . آمارنامه کشاورزی (۱۳۸۴) دفتر آمار و فناوری اطلاعات. وزارت جهادکشاورزی.

۲ . تباراحمدی م (۱۳۷۰) آبیاری بارانی. انتشارات جهاد دانشگاهی.

۳ . تفضلی م (۱۳۸۳) ضوابط و معیارهای فنی آبیاری تحت فشار (طراحی). انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۲۳۳ ص.

۴ . حسن‌لی ع. و قائمی ع (۱۳۸۲) سیستم‌های آبیاری تحت فشار: طراحی و اجرا. نشر آموزش کشاورزی.

۵ . سالنامه آماری کشاورزی (۱۳۸۶) سازمان جهاد کشاورزی.

۶ . سلامت ع. و توکلی ع (۱۳۷۸) اصول آبیاری بارانی، انتشارات درج.

۷ . سهرابی ت. و پایدار ز (۱۳۸۴) اصول طراحی سیستم‌های آبیاری. انتشارات دانشگاه تهران.

۸ . شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس (۱۳۸۶) گزارش توجیهی بانک کشاورزی و ارزیابی مالی شبکه دشت عباس. ۶۰ ص.

۹ . شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس (۱۳۸۲) گزارش مطالعات یکپارچه‌سازی و نظام بهره‌برداری از منابع استان خوزستان. ۳۰۰ ص.

۱۰ . شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس (۱۳۸۱) گزارش فنی شبکه آبیاری و زهکشی دشت‌های عین‌خوش و فکه (مطالعات مرحله اول). ۲۵۰ ص.

۱۱ . علیزاده ا (۱۳۸۳) طراحی سیستم‌های آبیاری. انتشارات دانشگاه امام رضا.

۱۲ . علیزاده ا (۱۳۷۹) نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی و باغی ایران. سازمان هواشناسی کشور.

۱۳ . نجفی‌مود م (۱۳۸۴) طراحی سیستم‌های آبیاری تحت فشار. انتشارات دانشگاه بیرجند.

14 . Keller J and Bliesner RD (1990) Sprinkler and trickle irrigation. Newyork, n.y: van nostrand reinhold.

15 . Martinez J, Martinez R and Tarjuelo J (2004) Analysis of water application cost with permanent set sprinkler irrigation systems. Irrigation Science 23: 103-110.

16 . Monserrat J (2009) Allocation of flow to plots in pressurized irrigation distribution networks: analysis of the Clément and Galand method and a new proposal. Irrigation and Drainage Engineering 1: 1-6.

17 . Montazar A and Rahimikhob A (2008) Optimal water productivity of irrigation networks in arid and semi-arid regions. Irrigation and Drainage 57: 411-423.

18 . Romero J, Martenez J, Martnez R and Tarjuelo J (2006) Set Sprinkler Irrigation and Its Cost. Irrigation and Drainage Engineering 5: 445-452.

19 . Tarjuelo J, Montero J, Honrubia F, Ortiz J and Ortega J (1999) Analysis of uniformity of sprinkle irrigation in a semi-arid area. Agricultural Water Management 40: 315-331.

20 . Valiantzas J and Decras N (2004) Economic Design of Center-Pivot Sprinkler Laterals. Irrigation and Drainage Engineering 6: 491-498.

Assessment of pressure variation effect along lateral pipes of hand-move sprinkler irrigation system on costs

S. Zebardast [*1] and A. Rahimikhoob [2]

(E-mail: sonia_zebardast@yahoo.com)

Abstract

According to the irrigation systems design standards, allowed pressure variation in lateral pipes is 20 percent. Reasons for this rate selection, which since the 60's is performed, are not known. The increased changes in allowed pressure tubes to lateral pipes design, the increased sprinkling system required pressure and the increased nonuniform sprinkler distribution, so energy supply costs and water loss will be increased. On the other hand, designed lateral pipes with lower allowed pressure variation, cause better irrigation uniformity, and decreased system required pressure, but costs of tubes per area unit will be increased. The aim of this study is investigation of allowed pressure variation effect along lateral pipes of hand move sprinkler irrigation system on purchase costs of pipes, energy supply and water economic costs. In this experiment, we designed sample farm hand move sprinkler irrigation system with allowed pressure variation 5, 10, 15, 20, 25 and 30 percent for alfalfa culture in Khuzestan, and based on these designing and economic value per cubic meter of water in this region, investment cost, current and total cost were estimated. The results showed that by calculating water supply cost, the highest cost is related to fields with pressure variation of 30 percent, and the lowest cost and water price is related to fields with pressure variation of 15 percent, and several economic values of water in Khuzestan, have no effect on the best economic selection of pressure changing ranges. Changes in pressure above 20 percent, losses and costs are high and the pressure change of 15 percent in lateral pipes is a good option to design the hand move sprinkler irrigation system in Khouzestan.

Keywords: Allowed pressure variation, Khouzestan, Sprinkler irrigation, Water price

1 - M.Sc. Former Student, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran – Iran **(Corresponding Author*)**

2 - Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran – Iran