تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۱۰، اسفند ۱۳۹۸ (ص ۲۶۱۸-۲۶۰۹) DOI: 10.22059/IJSWR.2019.274332.668101

Hydraulic and Economic Analysis of Integrated Sprinkler and Drip Irrigation Systems in Irrigation Network of Tropical System of Ilam Province

HAMZEHALI ALIZADEH[1*], MRYAM TAHMASBIPOUR[1]
1. Water Engineering Department, Ilam University, Ilam, Iran.
(Received: Jan. 22, 2019- Revised: Feb. 3, 2019- Accepted: Feb. 13, 2019)

ABSTRACT

The semi-portable sprinkler irrigation system is a base irrigation system in the irrigation network of tropical region in Ilam province. The climatic condition of tropical regions of Ilam, especially Mehran plain, is such that the average wind speed in May to September is more than 16 km/h and the use of sprinkler irrigation due to high temperature, low relative humidity and high wind speed faces to a severe limitations. For this purpose, it is necessary to develop a system that is able to cover land in summer planting which is not suitable for sprinkler irrigation. The objective of this research was to study the hydraulic and economic feasibility of switching sprinkler irrigation systems into drip tape irrigation (integrated) in summer planting. For this purpose, different scenarios for developing of infrastructures required for converting sprinkler irrigation to drip tape irrigation system were designed and then these scenarios were analyzed in terms of hydraulic (Water-GEMS software) and economic factors. The results showed that the cost of provision and implementation of infrastructure for converting sprinkler irrigation to drip tape irrigation system is ranged between 15.1 to 15.8 million Rials (5.7 % total costs of the Sub-network) and the annual operating cost is 19 million Rials. Development of integrated irrigation systems at 12350 hectares of arable lands, will save water consumption by 8.85 MCM and increase net revenues from 145709 to 165731 million Rials.

Keywords: Integrated irrigation, Net benefit, Benefit to cost ratio, Hydraulic analysis.

*Corresponding Author's Email: H.alizadeh@Ilam.ac.ir

تحلیل هیدرولیکی و اقتصادی تلفیق آبیاری بارانی و قطره‌ای در شبکه آبیاری پایاب سامانه گرمسیری استان ایلام

حمزه علی علیزاده*[۱]، مریم طهماسبی پور[۲]

۱. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۱/۱۴- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۱/۲۴)

چکیده

سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک، سیستم آبیاری پایه در اراضی زراعی شبکه آبیاری پایاب سامانه گرمسیری استان ایلام می‌باشد. وضعیت اقلیمی مناطق گرمسیری استان به ویژه دشت مهران به گونه‌ای است که متوسط سرعت باد در ماه‌های اردیبهشت تا شهریور (مصادف با کشت تابستانه) بیشتر از ۱۶ کیلومتر بر ساعت بوده و استفاده از آبیاری بارانی به علت گرمای زیاد، رطوبت نسبی پایین و سرعت باد بالا دارای محدودیت شدید می‌باشد. به همین منظور توسعه سیستمی که بتواند در کشت دوم که شرایط برای آبیاری بارانی مناسب نیست، اراضی را تحت پوشش قرار دهد ضروری می‌باشد. هدف از این پژوهش امکان‌سنجی هیدرولیکی و اقتصادی تبدیل سیستم آبیاری بارانی به قطره‌ای نواری (تلفیقی) در کشت تابستانه می‌باشد. برای این منظور ابتدا سناریوهای مختلف توسعه زیرساخت‌های لازم برای تبدیل سیستم آبیاری بارانی به قطره‌ای طراحی و سپس این سناریوها در سطح قطعات زراعی از لحاظ هیدرولیکی (نرم افزار Water-GEMS) و اقتصادی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که هزینه تهیه و اجرای زیرساخت‌های تبدیل سیستم آبیاری بارانی به قطره‌ای نواری در هر هکتار بین ۱۵/۱ تا ۱۵/۸ میلیون ریال (معادل ۵/۷ درصد هزینه شبکه فرعی) و هزینه بهره‌برداری سالانه ۱۹ میلیون ریال می‌باشد. توسعه آبیاری تلفیقی در سطح ۱۲۳۵۰ هکتار اراضی زراعی شبکه باعث صرفه‌جویی ۸/۸۵ میلیون مترمکعب در مصرف آب و افزایش درآمدهای خالص کل طرح از ۱۴۵۷۰۹ به ۱۶۵۷۳۱ میلیون ریال می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تلفیقی، ارزش خالص، تحلیل هیدرولیکی، نسبت سود به هزینه.

مقدمه

محدود بودن منابع آب کشور از یک سو و رشد فزاینده تقاضای آب در بخش‌های مختلف از سوی دیگر باعث ایجاد شکاف بین عرضه و تقاضای آب شده است. با توجه به محدودیت فیزیکی منابع آب قابل عرضه در کشور، سرمایه‌گذاری‌های بیشتر در بخش عرضه آب قادر به پاسخ‌گویی به افزایش تقاضای آب نمی‌باشد. در چنین شرایطی مدیریت تقاضا مهمترین راه مقابله با بحران آب می‌باشد. یکی از مهمترین راهکارهای مدیریت تقاضا و ارتقاء بهره‌وری آب، استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری می‌باشد. دستیابی به کارایی مصرف بیشتر، کنترل بیشتر و اتوماسیون بهتر سبب تسریع فرایند مدرن‌سازی و توسعه شبکه‌های آبیاری تحت‌فشار در کشور شده است. به طوری‌که در حال حاضر حدود دو میلیون هکتار از اراضی کشور تحت پوشش سامانه‌های آبیاری تحت فشار قرار گرفته است (ICID, 2017). استفاده از سیستم‌های آبیاری بارانی به خاطر راندمان آبیاری بالاتر و قابلیت استفاده از دبی‌های کم در همه مناطق جهان به ویژه مناطق کم آب رشدی فزاینده دارد (Mohamad & EL- Sharkaway, 2014). سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک یکی از مهمترین سیستم‌های آبیاری بارانی در ایران است. حدود ۸۵ درصد سیستم‌های آبیاری بارانی کشور به صورت کلاسیک آبپاش متحرک می‌باشد (Sheikhesmaeili *et al*., 2016). کارایی سیستم‌های آبیاری بارانی به پارامترهای طراحی (نوع سیستم آبیاری، قطر نازل، فاصله آبپاش‌ها) و بهره‌برداری (فشار کارکرد سیستم، زمان آبیاری، پارامترهای اقلیمی به ویژه سرعت باد، دما و رطوبت نسبی) متعددی وابسته است (Keller & Bliesner, 1990; Carrión *et al*., 2001; Playán *et al*., 2006). یکی از مهمترین مشکلات سیستم آبیاری بارانی، کاهش یکنواختی توزیع آب و افزایش تلفات تبخیر و باد بردگی در مناطق بادخیز می‌باشد. در سیستم‌های آبیاری بارانی باد مهمترین پارامتر محیطی تاثیرگذار بر تلفات آب (Pland, 2005) و یکنواختی توزیع آب

* نویسنده مسئول: H.alizadeh@ilam.ac.ir

Keller & Bliesner, 1990; Tarjuelo *et al*., 1999; Kincaid) (*et al*., 1996; Dechmi *et al*., 2003 می‌باشد. مهمترین عوامل موثر بر تلفات تبخیر و بادبرگی عبارتند از: سرعت باد، دما، رطوبت نسبی و اندازه قطرات آب.

Sheikhesmaeili *et al*. (2016) تلفات پاشش و یکنواختی توزیع آب در سیستم آبیاری بارانی آبپاش متحرک در استان خوزستان را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش سرعت باد و فشار کارکرد آبپاش تلفات تبخیر و بادبردگی افزایش پیدا می‌کند. به ازای هر متر بر ثانیه افزایش سرعت باد، تلفات تبخیر و بادبردگی ۳/۲۶ درصد افزایش می‌یابد. نتایج آنها نشان داد که تلفات تبخیر و بادبردگی در فشار کار ۴۵ متر و سرعت باد ۴/۲ متر بر ثانیه به حدود ۲۳ درصد می‌رسد. Playán *et al*. (2006) تلفات تبخیر و بادبردگی در شرایط اقلیمی زاراگوزای اسپانیا را در آبیاری روزانه ۱۵/۴ و در آبیاری شبانه ۸/۵ درصد گزارش کردند. Keller & Bliesner (1990) تلفات تبخیر و بادبردگی در مناطق مدیترانه‌ای و معتدل را ۵ تا ۱۰ درصد گزارش کردند. مرور تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که تلفات تبخیر و بادبرگی بسته به شرایط اقلیمی بین ۲ تا ۵۰ درصد متغیر است (Playán *et al*., 2006). در برخی از مطالعات که در مناطق مرطوب و سرعت باد کم انجام شده تلفات تبخیر و بادبردگی قابل صرف نظر کردن (Edling, 1985; Kincaid & Longley, 1989) گزارش شده و در مناطق گرم و بادخیز حتی تا ۴۵ درصد هم گزارش شده است (Frost & Schwalen, 1955). یک سیستم آبیاری بارانی کارا سیستمی است که حداقل ضریب یکنواختی در آن ۸۰ درصد باشد (Keller & Bliesner, 1990). از طرف دیگر کاهش یکنواختی توزیع آب، عملکرد محصول را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Li, 1998) . به طوریکه کاهش ۵ تا ۱۲ درصدی ضریب یکنواختی آب منجر به کاهش ۳ تا ۱۷ درصدی عملکرد محصول می‌شود (Bralts *et al*., 1994). استفاده از آبیاری بارانی در مناطقی که سرعت باد بیشتر از ۱۶ کیلومتر بر ساعت باشد توجیه اقتصادی ندارد (Keller & Bliesner, 1990). وضعیت اقلیمی مناطق گرمسیری استان ایلام به ویژه مهران به گونه‌ای است که متوسط سرعت باد در ماه‌های اردیبهشت تا شهریور (مصادف با کشت تابستانه) بیشتر از ۱۶ کیلومتر بر ساعت بوده و استفاده از آبیاری بارانی به علت گرمای زیاد، رطوبت نسبی پایین و سرعت باد بالا دارای محدودیت شدید می‌باشد. به همین منظور توسعه سیستمی که بتواند در کشت دوم که شرایط برای آبیاری بارانی مناسب نیست، اراضی را تحت پوشش قرار دهد ضروری می‌باشد. امروزه استفاده از آبیاری تلفیقی (بارانی و قطره‌ای) به عنوان یک راهکار عملی در جهت افزایش راندمان و کاهش مصرف آب بسیار موثر است (Kisekka *et al*., 2017). استفاده از این روش اجرای کشت زمستانه و تابستانه را در سطح شبکه امکان پذیر می‌سازد. از این رو استفاده از آبیاری تلفیقی برای جلوگیری از هدر رفت آب، بالا بردن راندمان آبیاری، افزایش تنوع کشت و همچنین صرفه‌جویی در هزینه‌ها، امری ضروری به حساب می‌آید. تلفیق سیستم آبیاری بارانی از نوع کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک به عنوان سیستم اصلی و سیستم آبیاری قطره‌ای نواری به عنوان سیستم تکمیلی (برای کشت دوم و تناوب زراعی) در ارتقا بهره-وری آب کشاورزی و کارآمدتر کردن سامانه‌های آبیاری نقشی موثر دارد. هدف از این پژوهش استفاده از سیستم آبیاری تلفیقی (استفاده از سیستم نوار تیپ برای آبیاری گیاهان ردیفی در کنار سیستم کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک) به منظور کاهش میزان آب مصرفی، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری، نگهداری و هزینه مصرف انرژی و همچنین افزایش راندمان آبیاری بدون کاهش تولید محصولات کشاورزی می‌باشد.

مواد روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شبکه آبیاری پایاب سامانه گرمسیری در استان ایلام به وسعت خالص ۱۷۵۵۹ هکتار می‌باشد. بخش اعظم شبکه به وسعت ۱۳۰۰۰ هکتار شامل واحدهای عمرانی شمال (۱۹۵۰)، کنجانچم (۱۲۵۰ هکتار)، گاوی (۱۶۵۰)، شمال اسلامیه (۳۲۰۰)، جنوب اسلامیه (۲۸۰۰) و چالاب و چنگوله (۲۱۵۰ هکتار) در دشت مهران واقع شده است. ۴۵۰۰ هکتار از اراضی شامل واحدهای عمرانی برتش (۲۶۰۰ هکتار) و میمه (۱۹۰۰ هکتار) در دشت دهلران واقع شده است. از مجموع ۱۷۵۵۹ هکتار اراضی سامانه گرمسیری ۱۲۵۰ هکتار آبیاری کم‌فشار، ۱۴۵۹ هکتار آبیاری قطره‌ای (باغ)، ۲۵۰۰ هکتار سنترپیوت و ۱۲۳۵۰ هکتار آبیاری بارانی کلاسیک آبپاش متحرک می‌باشد. دشت مهران در استان ایلام در جنوب غرب ایران و در مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۰۳ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۱۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۰۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. آب مورد نیاز شبکه آبیاری پایاب سامانه گرمسیری از رودخانه سیروان و از طریق دو خط انتقال لوله فولادی ۲۴۰۰ میلیمتر به پشت سد کنجانچم مهران انتقال داده می‌شود. سپس آب از طریق شبکه اصلی به قطعات زراعی (شبکه فرعی) ۵۰ تا ۱۰۰ هکتاری انتقال داده می‌شود. سیستم آبیاری پایه قطعات زراعی سیستم کلاسیک آبپاش متحرک می‌باشد. در جدول (۱) وضعیت کیفی آب آبیاری مورد استفاده در شبکه

آبیاری در مقایسه با شاخص‌های طبقه‌بندی کیفی آب ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود کیفیت آب رودخانه در همه شاخص‌های کیفی بدون مشکل می‌باشد.

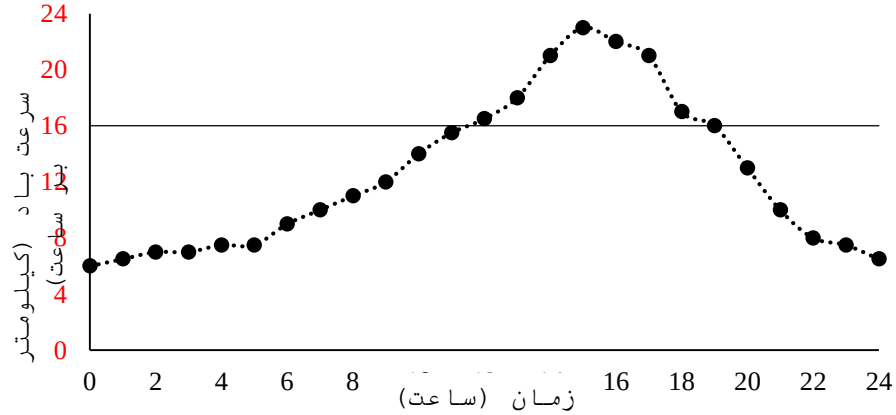
منطقه مورد مطالعه بر اساس روش دومارتن دارای اقلیم گرم و خشک می‌باشد. از مهمترین مشخصات اقلیمی منطقه سرعت باد بالا در روز، گرمای شدید و رطوبت پایین در ماه‌های اردیبهشت تا مهرماه می‌باشد. خلاصه پارامترهای اقلیمی دشت مهران در جدول (۲) ارائه گردیده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد حداکثر دمای مهران به بیش از ۵۰ درجه، سرعت متوسط باد به بیش از ۱۶ کیلومتر و رطوبت نسبی به کمتر از ۲۰ درصد می‌رسد. گرمای شدید، رطوبت نسبی پایین و سرعت باد بالا باعث افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل به ۲۵۹۰ میلیمتر در سال شده است. همچنین در شکل (۱) توزیع روزانه سرعت باد در تیرماه طی ۱۰ سال منتهی به ۱۳۹۶ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود به طور متوسط در ۷ تا ۸ ساعت از روز سرعت باد از ۱۶ کیلومتر بر ساعت تجاوز می‌کند.

جدول ۱. وضعیت کیفی و طبقه‌بندی آب مورد استفاده درشبکه آبیاری پایاب سامانه گرمسیری

طبقه کیفی	pH	TH (meq/lit)	SAR	EC (dS/m)	TDS (mg/lit)	Co_3^{-2}	Hco_3^{-}	So_4^{-2}	Cl^{-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}
						(meq/lit)						
بدون مشکل	۷	<۱۰۰	<۶	<۰/۷۵	<۴۵۰	<۱/۵	<۱/۵	<۴	<۴	<۵	<۵	<۳
متوسط	۷-۸	۱۰۰-۱۸۰	۶-۹	۰/۷۵-۱/۲۵	۴۵۰-۲۰۰۰	۱/۵-۵	۱/۵-۵	۴/۵-۸	۴-۱۲ و بارانی	۵-۲۰	۵-۲۰	۳-۹ و بارانی
مشکل‌زا	>۸	>۱۸۰	>۹	>۱/۲۵	>۲۰۰۰	>۵	>۸	>۸/۵	>۱۲	>۲۰	>۲۰	>۹
کیفیت آب رودخانه	۷/۵	۱۶۵	۰/۲۶	۰/۳۶۸	۲۳۰	۰/۴	۲/۹۷	۰/۲۷	۰/۳۳	۲/۳۹	۰/۹۱	۰/۳۳

جدول۲. خلاصه پارامترهای اقلیمی دشت مهران (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۶)

عنوان	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	سالانه
متوسط حداقل دما	۴/۵	۱/۲	-۱/۹	۰/۰	۴/۸	۱۲/۶	۱۸/۵	۲۴/۸	۲۵/۰	۲۱/۹	۱۵/۹	۸/۶	۱۱/۳
حداقل مطلق دما	۰/۰	-۲/۳	-۶/۲	-۳/۸	-۱/۴	۴/۶	۱۴/۰	۲۱/۶	۲۳/۰	۱۹/۲	۹/۶	۲/۴	-۶/۲
میانگین دمای ماهانه	۱۸/۶	۱۳/۷	۱۰/۸	۱۲/۷	۱۷/۸	۲۷/۲	۳۳/۸	۳۸/۶	۳۸/۸	۳۶/۴	۳۱/۲	۲۴/۵	۲۵/۳
متوسط حداکثر دما	۳۱/۹	۲۶/۲	۲۱/۷	۲۴/۷	۳۰/۹	۴۰/۷	۴۷/۰	۵۰/۱	۵۰/۵	۴۸/۷	۴۵/۲	۳۸/۶	۳۸/۰
حداکثر مطلق دما	۳۹/۰	۲۹/۸	۲۵/۶	۲۸/۴	۳۵/۶	۴۴/۸	۵۰/۳	۵۲/۶	۵۲/۲	۵۱/۲	۴۹/۰	۴۲/۰	۵۲/۲
متوسط بارندگی	۲۴/۹	۲۶/۷	۳۸/۱	۲۶/۰	۲۹/۲	۱۰/۹	۴/۵	۰/۰	۰/۰	۰/۱	۱۷/۴	۱۸/۷	۱۹۶
متوسط سرعت باد	۱۰/۱	۹/۳	۸/۱	۷/۰	۶/۹	۸/۹	۱۰/۲	۱۱/۹	۱۳/۷	۱۴/۰	۱۰/۱	۱۰/۳	۱۰/۰
حداکثر سرعت باد	۵۰/۵	۴۷/۶	۴۴/۵	۴۶/۸	۳۷/۱	۴۳/۹	۵۶/۵	۴۶/۶	۵۳/۸	۵۲/۰	۴۵/۴	۴۸/۹	۵۳/۸
رطوبت نسبی	۵۲/۵	۵۹/۷	۶۵/۰	۵۸/۰	۴۱/۴	۲۶/۶	۲۰/۵	۱۹/۶	۲۰/۷	۲۳/۶	۳۱/۴	۴۲/۹	۳۸/۵
تبخیر تعرق پتانسیل	۱۷۰	۱۰۷	۷۱	۶۵	۹۳	۱۹۱	۲۶۳	۳۶۷	۳۸۲	۳۷۶	۲۶۶	۲۱۵	۲۵۹۰



شکل ۱. توزیع روزانه سرعت باد در تیرماه طی ۱۰ سال اخیر

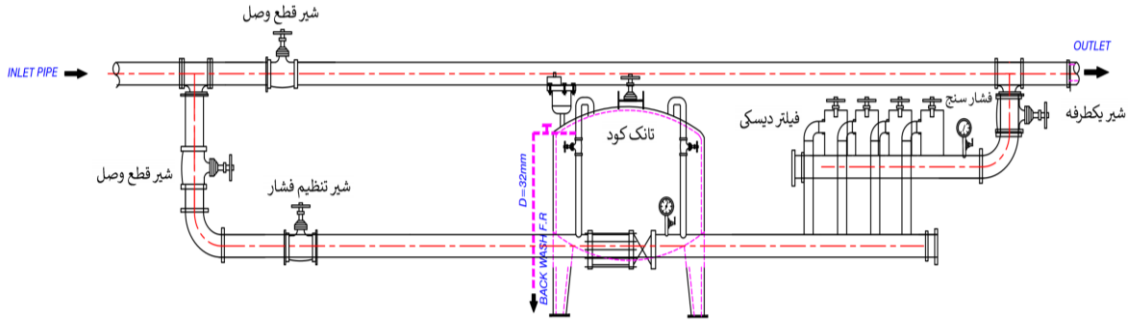
مجموع عوامل سرعت باد، تبخیر و تعرق و دمای زیاد باعث گرایش به سیستم آبیاری قطره‌ای برای کشت دوم شده است. در جدول (۳) الگوی کشت و نوع سیستم آبیاری در شبکه آبیاری ارائه شده است. بر این اساس ۳۵ درصد الگوی کشت به صورت کشت تابستانه می‌باشد.

جدول ۳. الگوی کشت و روش آبیاری در شبکه آبیاری

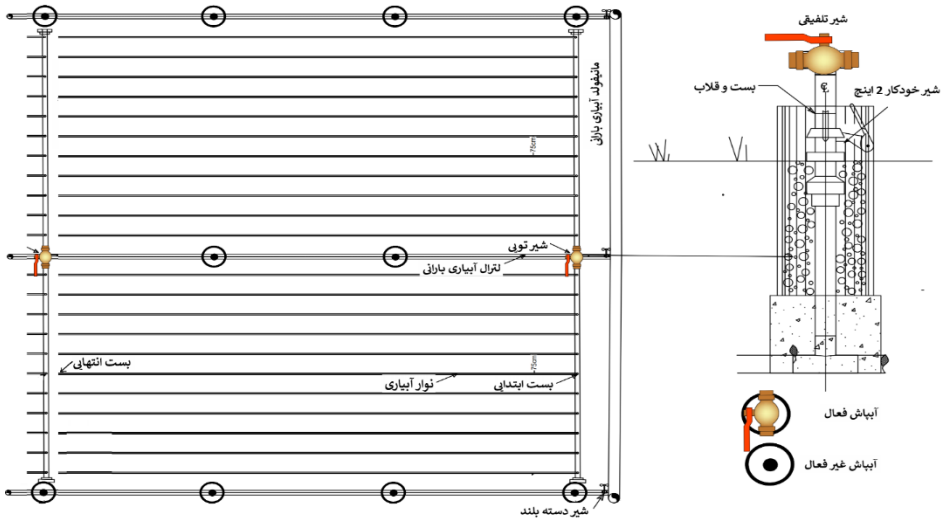
نام محصول	درصد	روش آبیاری
گندم	۴۵	بارانی
کلزا	۲۰	بارانی
ذرت دانه ای تابستانه	۲۰	میکرو (تلفیقی)
آفتابگردان	۸	میکرو (تلفیقی)
کنجد	۲	میکرو (تلفیقی)
سبزی و صیفی	۵	میکرو (تلفیقی)
انگور	۱۰	قطره ای
جمع کل	۱۱۰	---

روش اجرا

در اجرای سیستم تلفیقی، سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت آبپاش متحرک به عنوان سیستم آبیاری اصلی و سیستم آبیاری نواری تیپ به عنوان سیستم آبیاری سیال (متحرک) برای کشت دوم در نظر گرفته شد. برای تبدیل سیستم آبیاری بارانی به آبیاری قطره‌ای لازم است تمهیداتی در جهت تنظیم فشار، فیلتراسیون و آبگیری صورت گیرد. در سیستم آبیاری تلفیقی برای تنظیم فشار و تصفیه آب پس از آبگیر اصلی مزارع، یک لوله موازی به شرح شکل (۲) در نظر گرفته شد. طریقه کار به این صورت است که در کشت اول، مسیر ایستگاه کنترل مرکزی قطع و جریان در خط اصلی برقرار می‌شود و در کشت دوم، جریان به سمت شیر فشارشکن، تانک کود و فیلتراسیون برقرار می‌شود. بعد از ایستگاه کنترل فشار و فیلتراسیون، آب مجددا وارد خط اصلی آبیاری بارانی شده و کلیه خطوط شبکه آبیاری بارانی به عنوان خطوط آبرسان برای آبیاری قطره‌ای عمل می‌کنند. سپس با تعبیه رایزر و بست و قلاب از شیرخودکارهای آبیاری بارانی برای سیستم قطره‌ای آبگیری می‌شود (شکل ۳). مانیفولدهای آبیاری قطره‌ای به صورت سرانداز روی زمین اجرا می‌شوند. دبی ورودی به مانیفولدها تقریبا با دبی آبپاش برابر بوده و حداکثر طول لوله‌های تیپ، تعداد و موقعیت شیرخودکارهای فعال و غیرفعال، طول مانیفولد، قطر مانیفولد و مساحت زیرواحدهای آبیاری با تحلیل هیدرولیکی شبکه محاسبه شد.



شکل ۲.آبگیری سیستم تلفیقی از آبیاری بارانی و تاسیسات ایستگاه مرکزی



شکل ۳. نقشه تبدیل سیستم آبیاری بارانی به آبیاری قطره‌ای

تحلیل هیدرولیکی

تحلیل هیدرولیکی شبکه اصلی و فرعی آبیاری بارانی و آبیاری نواری تیپ با استفاده از نرم افزار Water GEMS انجام شد. در شبکه آبیاری پایاب سامانه گرمسیری، قطعات تحت پوشش هر آبگیر دارای مساحتی بین ۵۰ تا ۱۰۰ هکتار می‌باشد. در این مطالعه برای تحلیل هیدرولیکی آبیاری تلفیقی، یک مزرعه ۷۴ هکتاری به طور تصادفی انتخاب گردید و تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر سیستم تقاضا با استفاده از نرم‌افزار Water GEMS انجام گردید. این محاسبات برای بررسی امکان کنترل اضافه بار آبیاری بارانی و تبدیل به سیستم آبیاری قطره‌ای انجام شد. به عبارت دیگر با استفاده از تحلیل هیدرولیکی انجام شده در هر قطعه زراعی مقدار فشار اضافی در صورت تبدیل سیستم آبیاری بارانی به قطره‌ای محاسبه می‌شد. در تحلیل هیدرولیکی شبکه حداکثر مساحت تحت پوشش هر شیرخودکار در صورت تبدیل آبیاری بارانی به آبیاری نواری (زیرواحد آبیاری)، طول لوله‌های تیپ و طول مانیفولدهای آبیاری قطره‌ای محاسبه گردید.

تحلیل اقتصادی

برای تحلیل اقتصادی سناریوهای مختلف از شاخص‌های سود خالص و نسبت سود به هزینه استفاده شد. هزینه‌های سیستم آبیاری از حاصل جمع دو متغیر هزینه سرمایه‌ای آبیاری و هزینه‌های بهره‌برداری محاسبه شده است. هزینه‌های ثابت بر اساس آخرین نقشه‌های ازبیلت (چون ساخت) و اسناد پیمان شبکه محاسبه شد. هزینه‌های سرمایه‌ای با استفاده از سری یکنواخت سالیانه و با نرخ بازگشت سرمایه ۱۵٪ و طول عمر ۳۰ ساله، به هزینه یکنواخت سالیانه تبدیل شد:

$$A = P\left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}\right] \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در این رابطه i نرخ تنزیل، P ارزش کنونی سرمایه‌گذاری و A معادل یکنواخت سرمایه‌گذاری طی سال‌های عمر مفید (n) می‌باشد. در تحلیل اقتصادی شبکه فرض شده است که تغییر سیستم آبیاری باعث تغییر عملکرد محصول نشود.

سناریوهای مورد ارزیابی

سناریو یک: شرایط موجود

در شرایط موجود سیستم آبیاری شبکه فرعی سیستم کلاسیک آبپاش متحرک می‌باشد. لوله‌های مورد استفاده از جنس پلی اتیلن (PE 100)، روش اتصال لوله و اتصالات جوشی (کلیه اتصالات به صورت جوش)، فاصله آبپاش‌ها ۲۰ متر، فاصله لترال‌ها ۲۰ متر، قطر لترال‌ها ۶۳ میلی‌متر، شیرهای خودکار ۲ اینچ، نوع آبپاش کامت ۱۶۲، فشار کاری سیستم ۳۵ متر، دبی آبپاش ۲/۵ لیتر بر ثانیه و مساحت زیرواحدهای آبیاری ۶ تا ۱۴ هکتار (متوسط ۱۲ هکتار) طراحی و اجرا شد.

سناریو دوم: استفاده از سیستم کلاسیک آبپاش متحرک به عنوان سیستم پایه و سیستم نواری تیپ به عنوان سیستم آبیاری کشت دوم و جنس مانیفولدهای آبیاری قطره‌ای لوله پلی-اتیلن می‌باشد. در این سناریو مشخصات سیستم کلاسیک مانند سناریو یک، تاسیسات ایستگاه کنترل مرکزی (فیلتراسیون، تجهیزات کنترل فشار، تانک کود) و روش اجرا مانند شکل (۱) و جنس لوله‌های مانیفولد پلی‌اتیلن می‌باشد.

سناریو سوم: کلیه مشخصات سناریو سوم مانند سناریو دوم به استثنای جنس مانیفولدها که از لوله قابل انعطاف لی‌فلت انتخاب شده است.

نتایج

تحلیل هیدرولیکی

با توجه به طول (حدود ۲۰۰ متر) و قطر لترال آبیاری بارانی (۶۳ میلی‌متر) و اجرای نرم افزار Water Gems، در صورتی‌که روی هر لترال یک زیرواحد آبیاری قطره‌ای در حال کار باشد می‌توان دبی زیرواحد را تا حداکثر ۲/۹ لیتر بر ثانیه در نظر گرفت. در جدول (۴) محاسبات طراحی آبیاری نواری تیپ برای ذرت به عنوان گیاه پرمصرف ارائه شده است. نتایج تحلیل هیدرولیکی نشان داد که با استفاده از تاسیسات آبیاری بارانی موجود می‌توان در یک شیفت آبیاری حداکثر ۱۲۰۰ مترمربع (طول مانیفولد ۲۰ متر و نوار آبیاری ۶۰ متر) مزرعه ذرت را آبیاری نمود (مانند شکل ۲). با توجه به دبی کل تخصیص یافته به یک مزرعه ۷۴ هکتاری (۸۰ لیتر بر ثانیه)، دبی هر زیرواحد آبیای (۲/۸ لیتر بر ثانیه)، مساحت هر زیرواحد (۱۲۰۰ مترمربع)، تعداد شیفت‌های آبیاری در روز (۶ شیفت) و دور آبیاری (۳ روز) حداکثر مساحتی که می‌توان در یک مزرعه ۷۴ هکتاری به کشت دوم اختصاص داد ۶۰/۴ هکتار (۸۱ درصد کل مزرعه) محاسبه شد. با توجه به اینکه ۳۵ درصد کل اراضی شبکه به کشت دوم اختصاص یافته و شبکه آبیاری به صورت تعاونی تولید اداره می‌شود می‌توان در تناوب کشت به جای اینکه ۳۵ درصد مساحت تمام مزارع به کشت دوم اختصاص یابد، ۸۱ درصد مساحت تعداد مزارع کمتری را در هر سال به کشت دوم اختصاص داد. به عبارت دیگر با تجمیع مزارع کشت دوم می‌توان هم هزینه‌های اجرا و بهره‌برداری را کاهش داد و هم بهره‌برداری از شبکه را تسهیل نمود. برای این منظور سیستم

کنترل مرکزی (تانک کود، سیستم فیلتراسیون و شیر فشارشکن) به صورت پکیج قابل جابجا بر روی یک سازه قابل حمل طراحی شده است. در این شرایط با لحاظ تناوب کشت سیستم کنترل مرکزی، مانیفولدها (از جنس لی فلت) و تجهیزات آبگیری از شیر خودکار از یک مزرعه به مزرعه دیگر جابجا می‌شوند. محاسبات فوق الذکر در شرایط بحرانی و برای گیاه پرمصرف ذرت بدست آمده است که طبق الگوی کشت حدود ۲۰ درصد اراضی (۵۷ درصد کشت تابستانه) را شامل می‌گردد. با لحاظ ترکیب کشت تابستانه می‌توان سطح تحت پوشش سیستم تلفیقی را از ۸۱ به ۱۰۰ درصد افزایش داد. با توجه به اینکه مساحت تعاونی‌های تولید حدود ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتار می‌باشد، به هر تعاونی برای آبیاری کشت دوم، تاسیسات مورد نیاز بر حسب ۳۵ درصد مساحت تعلق می‌گیرد. به عنوان مثال در تعاونی تولید روستای چنگوله به مساحت ۶۰۰ هکتار، ۳ دستگاه سیستم کنترل مرکزی و مانیفولد مورد نیاز ۲۱۰ هکتار تحویل می‌گردد. این تاسیسات بر اساس تناوب کشت سال به سال قابل جابجا شدن در بین ۹ مزرعه این تعاونی تولید می‌باشند. لازم به ذکر است که بست و قلاب‌ها در طول کل فصل آبیاری به شیرخودکارها قلاب شده و تعویض شیف‌های آبیاری از طریق شیرهای سه راهی توپی موسوم به شیر تلفیقی انجام می‌شود. هر شیر توپی دارای سه حالت باز بودن مانیفولد راست (زیرواحد یک)، باز بودن مانیفولد چپ (زیرواحد دو) و بستن کل شیر می‌باشد. در نتیجه برای کاهش هزینه‌ها با هر شیر تلفیقی قابلیت آبیاری دو زیرواحد آبیاری یا شیفت آبیاری وجود دارد. فشار کارکرد آبیاری نواری تیپ ۱۰ متر، قطر لوله‌های مانیفولد پلی اتیلنی ۵۰ میلیمتر (افت اصطکاکی ۰/۶ متر) و از فشار شکن پیلوت‌دار برای تنظیم فشار استفاده شده است.

جدول ۴. محاسبه پارامترهای طراحی آبیاری نواری برای گیاه پرمصرف (ذرت دانه‌ای)

نوع	پارامتر	واحد	مقدار	نوع	پارامتر	*واحد*	مقدار
گیاه	تراکم کشت	بوته در هکتار	۶۵۰۰۰	آبیاری	حداکثر عمق آب آبیاری	*mm*	۴۵/۵
	فاصله گیاهان روی ردیف	m	۰/۷۵		حداکثر دور آبیاری	*day*	۵/۶
	فاصله ردیف گیاه	m	۰/۲		دور آبیاری طراحی	*day*	۳
	حداکثر تعرق روزانه گیاه (تیر ماه)	*mm/day*	۸/۱۴		نیاز خالص آبیاری (برای‌هردور)	*mm*	۲۴/۴
خاک	ظرفیت ذخیره آب در خاک	*mm/m*	۱۴۰		راندمان آبیاری	*%*	۷۷
	عمق موثر توسعه ریشه گیاه	*m*	۰/۵		نیازناخالص آبیاری (برای‌هردور)	*mm*	۳۱/۷
	درصد تخلیه مجازرطوبت خاک	*%*	۶۵		حجم‌ناخالص آبیاری بوته (برای‌هردور)	*lit*	۴/۷۶
سیستم	فاصله گسیلنده	*m*	۰/۲		مدت زمان آبیاری هر شیفت	*hr*	۳:۴۰
	دبی متوسط کارکرد	*lit/hr*	۱/۳		ساعات آبیاری شبانه روز	*hr*	۲۲
	فشار متوسط کارکرد	*m*	۱۰		تعداد قطعات آبیاری در هر دور	نوبت	۵۰۴
	طول نوارهای تیپ	*m*	۶۰		مساحت هر زیرواحد آبیاری	*m2*	۱۲۰۰
	طول مانیفولدها	*m*	۲۰		مساحت تحت پوشش کل	ha	۶۰/۴

تحلیل اقتصادی

بر اساس نقشه‌های چون ساخت و اسناد بالادستی پروژه، هزینه اجرای هر هکتار شبکه آبیاری بارانی کلاسیک آبپاش متحرک در دشت مهران ۵۰۰ میلیون ریال (شبکه اصلی و فرعی به ترتیب ۲۴ و ۲۶ میلیون ریال) بوده است. همچنین بر اساس نقشه اجرایی تبدیل سیستم کلاسیک آبپاش متحرک به سیستم تیپ هزینه ثابت و هزینه تهیه، حمل و اجرای لوازم مورد نیاز یک مزرعه ۷۴ هکتاری در جدول (۵) ارائه شده است. مهمترین لوازم مورد نیاز یک مزرعه ۷۴ هکتاری سیستم تلفیقی عبارتند از لوازم ایستگاه کنترل مرکزی قابل حمل شامل یک شیر فشار شکن پیلوت‌دار ۳۰۰ میلیمتر به همراه اتصالات، ۶ عدد فیلتر دیسکی دوبل ۴ اینچ، دو عدد کولکتور فیلتر دیسکی به همراه اتصالات، تانک کود ۱۰۰۰ لیتری، دو عدد شیر ویفری ۴ اینچ، سوپاپ هوای ۱ اینچ، ۲ عدد فشارسنج، سازه و شاسی قابل حمل با فنر کشی جهت حمل ایستگاه کنترل مرکزی، تاسیسات انحراف آب به ایستگاه کنترل مرکزی و از کنترل مرکزی به خط اصلی، شامل شیر کشویی ۳۵۵ میلیمتر، اتصال قابل پیاده کردن ۳۵۵ و شیر یکطرفه ۳۰۰ میلیمتر به همراه اتصالات و حوضچه بتنی، تاسیسات سیستم آبیاری نواری قابل جابجایی شامل ۳۰۰ شیر توپی سه راهی به همراه بست و قلاب، ۱۲۳۰۰ متر مانیفولد (لوله پلی اتیلن ۵۰ میلیمتر PN=6bar یا لی فلت ۶۳ میلیمتر)، ۱۶۰۰۰ بست ابتدایی تیپ (در صورت استفاده از لوله پلی اتیلن)، ۱۶۰۰۰ شیر اتصال لی فلت به تیپ (در صورت استفاده از لی فلت)، ۱۶۰۰۰ بست عینکی و ۹۶۰ کلاف لوله تیپ می‌باشد. بر

این اساس مجموع هزینه ثابت سیستم تلفیقی در سناریو ۲ و ۳ به ازای هر هکتار ۱۵/۱۰ و ۱۵/۸۶ میلیون ریال می‌باشد. به عبارت دیگر اجرا و تهیه امکانات ثابت تبدیل سیستم کلاسیک به آبیاری قطره‌ای نواری کمتر از ۶ درصد هزینه‌های شبکه اصلی و کمتر از ۳/۵ درصد مجموع کل هزینه‌های ثابت شبکه هزینه دارد.

جدول ۵. هزینه‌های ثابت و سالانه تبدیل سیستم کلاسیک آبپاش متحرک به سیستم تیپ در سناریوهای مختلف

		لوازم	تعداد	واحد	قیمت واحد (ریال)	قیمت کل (ریال)
هزینه‌های ثابت	مشترک سناریو دو و سه	شیر سه راهی پلیمری دو سر رابط یک سر رزوه 2in	۳۰۰	عدد	۶۷۰،۰۰۰	۲۵۱،۰۴۳،۰۰۰
		بست و قلاب پلیمری 2in	۳۰۰	عدد	۱۰۰،۰۰۰	۳۰،۰۰۰،۰۰۰
		شیر فشارشکن پیلوت دار چدنی ۱۰ بار	۱	عدد	۲۹،۰۰۰،۰۰۰	۲۹،۰۰۰،۰۰۰
		شیر قطع و وصل چدن ۱۰ بار	۲	عدد	۸۰،۰۰۰،۰۰۰	۱۶۰،۰۰۰،۰۰۰
		اتصال قابل پیاده کردن چدنی ۱۰ بار	۱	عدد	۱۶،۲۵۰،۰۰۰	۱۶،۲۵۰،۰۰۰
		بست انتهایی	۱۶،۰۰۰	عدد	۴۶۰	۷،۳۶۰،۰۰۰
		سیستم کنترل مرکزی قابل حمل	۱	عدد	۳۰۷،۰۰۰،۰۰۰	۳۰۷،۰۰۰،۰۰۰
		حوضچه بتنی (مصالح و اجرا)	۱	عدد	۱۲،۰۰۰،۰۰۰	۲۵،۰۰۰،۰۰۰
		خرید و اجرای سایر اتصالات مورد نیاز	-	عدد	-	۲۲،۷۰۰،۰۰۰
		مجموع				۸۴۸،۳۵۳،۰۰۰
	سناریو ۲	بست ابتدایی تیپ	۱۶،۰۰۰	عدد	۱،۸۰۰	۲۸،۸۰۰،۰۰۰
		لوله پلی اتیلن ۵۰ میلی متر (PE100)	۱۲،۳۰۰	متر	۲۰،۴۱۰	۲۴۱،۳۸۷،۵۰۰
		مجموع				۲۷۰،۱۸۷،۵۰۰
	سناریو ۳	سرشیلنگی لی فلت به تیپ	۱۶،۰۰۰	عدد	۵،۰۰۰	۸۰،۰۰۰،۰۰۰
هزینه ۵ ساله	سناریو ۳	لوله لی فلت 2in	۱۲،۳۰۰	متر	۲۰،۰۰۰	۲۴۶،۰۰۰،۰۰۰
هزینه سالانه	مشترک	لوله تیپ	۹۶۰	کلاف	۱،۳۰۰،۰۰۰	۱،۲۴۸،۰۰۰،۰۰۰

در جدول (۶) معادل سالانه هزینه و درآمدهای سناریوهای مختلف شبکه گرمسیری (۱۲۳۵۰ هکتار سیستم کلاسیک) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که توسعه سیستم آبیاری تلفیقی در سطح ۱۲۳۵۰ هکتار از اراضی سامانه گرمسیری به واسطه افزایش راندمان آبیاری باعث صرفه‌جویی ۱۰/۹۲ میلیون مترمکعب آب مصرفی می‌شود. بدیهی است که در صورت عدم افزایش سطح کشت ناشی از صرفه‌جویی در مصرف آب، توسعه آبیاری تلفیقی باعث کاهش درآمد خالص و نسبت سود به هزینه شود. لیکن در صورت افزایش سطح کشت محصولات تابستانه به واسطه صرفه‌جویی ۱۰/۹۲ میلیون مترمکعب آب مصرفی سود خالص سالانه پروژه و همچنین نسبت سود به هزینه پروژه افزایش پیدا می‌کند. در این حالت توسعه سیستم تلفیقی به هر دو صورت سناریو دو و سه باعث افزایش سود خالص و نسبت سود به هزینه پروژه می‌شود. توسعه سیستم تلفیقی به صورت سناریو دوم، سود خالص پروژه را از ۱۴۵،۷۰۹ میلیون ریال به ۱۶۵،۷۳۱ میلیون ریال و نسبت سود به هزینه پروژه را از ۱/۱۴ به ۱/۱۵ خواهد رساند. لازم به ذکر است که پروژه سامانه آبیاری گرمسیری به علت هزینه‌های انتقال آب دارای نسبت سود به هزینه پایینی می‌باشد. لیکن شاخص‌های دیگر از جمله اسکان مرزنشینان و دامداران، افزایش اشتغال و جلوگیری از خروج آب‌های مرزی باعث توجیه پروژه شده است. در مجموع به نظر می‌رسد که با توجه به شرایط اقلیمی، وضعیت منابع آب در کشور و همچنین مسائل اقتصادی تبدیل توسعه سیستم آبیاری تلفیقی توجیه‌پذیر باشد. در بین گزینه‌های توسعه آبیاری تلفیقی استفاده از لی‌فلت به عنوان مانیفولد به علت افزایش هزینه‌های بهره‌برداری دارای توجیه کمتری نسبت به گزینه استفاده از لوله پلی‌اتیلن می‌باشد.

جدول ۶. معادل سالانه هزینه‌ها و درآمدها بر اساس نرخ تورم ۱۵ درصد

	سناریو	معادل سالانه کل هزینه‌ها (میلیون ریال)	درآمد سالانه (میلیون ریال)	درآمد خالص (میلیون ریال)	نسبت سود به هزینه	صرفه‌جویی در مصرف آب (م.م.م)
بدون افزایش	سناریو ۱	۱،۰۳۷،۱۵۳	۱،۱۸۲،۸۶۲	۱۴۵،۷۰۹	۱/۱۴	-
	سناریو ۲	۱،۱۲۸،۶۸۰	۱،۱۸۲،۸۶۲	۵۴،۱۸۲	۱/۰۵	۱۰/۹۲
	سناریو ۳	۱،۱۳۱،۵۴۵	۱،۱۸۲،۸۶۲	۵۱،۳۱۷	۱/۰۵	۱۰/۹۲
با افزایش سطح	سناریو ۱	۱،۰۳۷،۱۵۳	۱،۱۸۲،۸۶۲	۱۴۵،۷۰۹	۱/۱۴	-
	سناریو ۲	۱،۱۲۸،۶۸۰	۱،۲۹۴،۴۱۱	۱۶۵،۷۳۱	۱/۱۵	-
	سناریو ۳	۱،۱۳۱،۵۴۵	۱،۲۹۴،۴۱۱	۱۶۲،۸۶۶	۱/۱۴	-

نتیجه‌گیری

شبکه آبیاری پایاب سامانه گرمسیری استان ایلام به وسعت ۱۷۷۵۹ هکتار در مناطق جنوبی (گرمسیری) استان واقع شده است. سیستم آبیاری بارانی کلاسیک آبپاش متحرک سیستم آبیاری پایه در اراضی زراعی شبکه آبیاری پایاب سامانه گرمسیری استان ایلام می‌باشد. وضعیت اقلیمی مناطق گرمسیری استان به ویژه دشت مهران به گونه‌ای است که متوسط سرعت باد در ماه‌های اردیبهشت تا شهریور (مصادف با کشت تابستانه) بیشتر از ۱۶ کیلومتر بر ساعت بوده و استفاده از آبیاری بارانی به علت گرمای زیاد، رطوبت نسبی پایین و سرعت باد بالا دارای محدودیت شدید می‌باشد. به همین منظور توسعه سیستمی که بتواند در کشت دوم که شرایط برای آبیاری بارانی مناسب نیست، اراضی را تحت پوشش قرار دهد ضروری می‌باشد. در این پژوهش مسائل اقتصادی و هیدرولیکی توسعه زیرساخت‌های تبدیل سیستم آبیاری بارانی به آبیاری قطره‌ای تیپ مورد بررسی قرار گرفت. سناریوهای مورد ارزیابی عبارتند از: سناریو یک (حفظ شرایط موجود) که در آن سیستم آبیاری شبکه فرعی سیستم کلاسیک آبپاش متحرک می‌باشد، سناریو دوم که در آن سیستم کلاسیک آبپاش متحرک به عنوان سیستم پایه و سیستم نواری تیپ به عنوان سیستم آبیاری کشت دوم و جنس مانیفولدهای آبیاری قطره‌ای لوله پلی اتیلن می‌باشد و سناریو سوم که در آن کلیه مشخصات مانند سناریو دوم بوده به استثنای جنس مانیفولدها که از لوله قابل انعطاف لی فلت است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که توسعه سیستم آبیاری تلفیقی در سطح ۱۲۳۵۰ هکتار از اراضی سامانه گرمسیری به واسطه افزایش راندمان آبیاری باعث صرفه‌جویی ۱۰/۹۲ میلیون مترمکعب آب مصرفی می‌شود. بدیهی است که در صورت عدم افزایش سطح کشت ناشی از صرفه‌جویی در مصرف آب، توسعه آبیاری تلفیقی باعث کاهش درآمد خالص و نسبت سود به هزینه شود. لیکن در صورت افزایش سطح کشت محصولات تابستانه به واسطه صرفه‌جویی ۱۰/۹۲ میلیون مترمکعب آب مصرفی، سود خالص سالانه پروژه و همچنین نسبت سود به هزینه پروژه افزایش پیدا می‌کند. در این حالت توسعه سیستم تلفیقی به هر دو صورت سناریو دو و سه باعث افزایش سود خالص و نسبت سود به هزینه پروژه می‌شود. توسعه سیستم تلفیقی به صورت سناریو دوم سود خالص پروژه را از ۱۴۵،۷۰۹ میلیون ریال به ۱۶۵،۷۳۱ میلیون ریال و نسبت سود به هزینه پروژه را از ۱/۱۴ به ۱/۱۵ خواهد رساند. لازم به ذکر است که پروژه سامانه آبیاری گرمسیری به علت هزینه‌های انتقال آب دارای نسبت سود به هزینه پایینی می‌باشد. لیکن شاخص‌های دیگر از جمله اسکان مرزنشینان و دامداران، افزایش اشتغال و جلوگیری از خروج آب‌های مرزی باعث توجیه پروژه شده است. در مجموع به نظر می‌رسد که با توجه به شرایط اقلیمی، وضعیت منابع آب در کشور و همچنین مسائل اقتصادی تبدیل توسعه سیستم آبیاری تلفیقی توجیه‌پذیر باشد. در بین گزینه‌های توسعه آبیاری تلفیقی استفاده از لی‌فلت به عنوان مانیفولد به علت افزایش هزینه‌های بهره‌رداری دارای توجیه کمتری نسبت به گزینه استفاده از لوله پلی‌اتیلن می‌باشد.

REFERENCES

Bralts, V.F., Pandey, S.R., Miller, A. (1994). Energy saving and irrigation performance of a modified center pivot irrigation systems. Applied Engineering in Agriculture. 10 (1), 27–36

Carrión, P., Tarjuelo, J., Montero, J. (2001). SIRIAS: a simulation model for sprinkler irrigation.

Irrigation Science. 20 (2), 73–84.

Dechmi, F., Playan, E., Cavero, J., Faci, J.M., Martínez-Cob, A. (2003). Wind effects onsolid-set sprinkler irrigation depth and yield of maize (Zea mays). Irrigation Science. 22,67–77.

Edling, R. J. (1985). Kinetic energy, evaporation and wind drift of droplets from low pressure irrigation nozzles. Transactions of the ASAE, 28(5), 1543-1550.

Frost, K.R., Schwalen, H.C. (1955). Sprinkler evaporation losses. Journal of Agricultural Engineering, 36,526–528.

ICID, 2017. agricultural water management for sustainable Rural Development, annual report 2017-2018. 1-88.

Keller, J. and Bliesner, R.D. (1990). Sprinkle and Trickle Irrigation. AVI Book. Van Nostrand Reinhold, New York, USA

Kincaid, D. C., & Longley, T. S. (1989). A water droplet evaporation and temperature model. Transactions of the ASAE, 32(2), 457-0462

Kincaid, D.C., Solomon, K.H., Oliphant, J.C. (1996). Drop size distributions for irrigation sprinklers. Transactions of the ASAE, 39, 839–845.

Kisekka, I., Oker, T., Nguyen, G., Aguilar, J., & Rogers, D. (2017). Revisiting precision mobile drip irrigation under limited water. Irrigation Science, 35(6), 483-500

Li, J., 1998. Modeling crop yield as affected by uniformity of sprinkler irrigation. Agric. Water Manage. 38 (2), 135–146.

Mohamad, AE and EL- Sharkaway, AF. (2014). Effect of different patterns and types of heads on the performance of a portable sprinkler irrigation system. Palgo Journal of Agriculture. 3 212-217.

Playán, E., Zapata, N., Faci, J.M., Tolosa, D., Lacueva,

J.L., Pelegrín, J., Salvador, R.,Sánchez, I., Lafita, A. (2006). Assessing sprinkler irrigation uniformity using aballistic simulation model. Agricultural Water Management. 84 (1), 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

Tarjuelo, J.M., Montero, J., Carrión, P.A., Honrubia, F.T., Calvo, M.A. (1999). Irrigation uniformity with medium size sprinklers. Part II: influence of wind and otherfactors on water distribution. Trans. ASAE 42 (3), 677–689.