Archive of SID

مجله پژوهش آب ایران
جلد ۱۳/ شماره ۳/ پیاپی ۳۴/ پاییز ۱۳۹۸ (؟؟-؟؟)

تحلیل اقتصادی پوشش در کانال‌های انتقال آب بروجن

احسان توکلی[۱*]، بهزاد قربانی[۲] و علیرضا توکلی[۳]

چکیده

با توجه به اهمیت حیاتی آب در مناطق خشک و نیمه‌خشکی چون ایران، حفاظت و استفاده بهینه از منابع آب امری ضروری است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل اقتصادی پوشش در کانال‌های انتقال آب انجام شد و در آن به بررسی اقتصادی نفوذ از کانال بدون پوشش به آب زیرزمینی و پمپاژ دوباره آب از طریق چاه، در مقایسه با نگهداشت آب در کانال پوشش‌شده پرداخته شد. در این پژوهش، شبکهٔ آبیاری و زهکشی گندمان و بلداجی، در شهرستان بروجن استان چهارمحال و بختیاری، با مقطع ذوزنقه و عرض کف ۱/۳ متر، عمق ۱/۸ متر و عرض بالای ۶/۵ متر انتخاب و با کانال خاکی با ابعاد مشابه مقایسه شد. نتایج نشان داد در هر سه نرخ تنزیل ۱۲، ۱۵ و ۱۸ درصد و با هر سه عمر مفید ۱۰، ۲۰ و ۴۰ سال، همواره کانال خاکی توجیه اقتصادی بیشتری دارد. همچنین، با افزایش عمر مفید کانال بتنی از ۱۰ به ۴۰ سال (در نرخ تنزیل ثابت)، ارزش حال خالص و نسبت سود به هزینه ابتدا افزایش و سپس کاهش نشان داد. بنابراین، پوشش‌دارکردن کانال در منطقه بروجن استان چهارمحال و بختیاری در مقایسه با گزینهٔ کانال خاکی و پمپاژ دوباره از چاه، توجیه اقتصادی ندارد.

واژه‌های کلیدی: شبکه آبیاری و زهکشی، کانال پوشش‌دار، کانال خاکی، گندمان و بلداجی، مدل‌سازی فیزیکی.

ارجاع: توکلی ا. قربانی ب. و توکلی ع. ۱۳۹۸. تحلیل اقتصادی پوشش در کانال‌های انتقال آب بروجن. مجله پژوهش آب ایران.

۱- فارغ‌التحصیل دکتری تخصصی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد و عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد مشهد، دانشگاه ازاد اسلامی، مشهد.
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
۳- فارغ‌التحصیل دکتری تخصصی، آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران.
* **نویسنده مسئول**: eh_ta84@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۸

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

در راستای حفاظت و استفاده بهینه از منابع آب، افزایش بازدهٔ انتقال و کاهش تلفات آب در کانال‌های انتقال و توزیع آب اهمیت بسیار زیادی دارد. از راهکارهای متداول، افزایش بازده انتقال در کانال‌ها، پوشش‌دهی کانال‌هاست. با وجود این، مهم‌ترین مشکل بر سر راه پوشش‌دارکردن کانال، هزینهٔ اجرای زیاد به‌ویژه در کانال‌های طولانی است (فرنالد و همکاران، ۲۰۰۷). برخی متخصصان بر این باورند که هزینهٔ پوشش‌دهی کانال‌ها توجیه فنی و اقتصادی ندارد و نشت و نفوذ آب به سفرهٔ آب زیرزمینی منشأ تغذیه منابع آب است که بار دیگر قابل برداشت و کاربرد هستند (مورای-راست و وندرولد، ۱۹۹۴). دیگر صاحب‌نظران، پوشش‌دهی کانال را به‌طور کامل رد نمی‌کنند؛ ولی معتقدند از آنجا که نشت در مناطقی که مانداب‌شدن روی نمی‌دهد، می‌تواند به‌طور غیرمستقیم به تغذیهٔ آب زیرزمینی کمک کند؛ پوشش‌دارکردن کانال‌ها باید از نظر امکان‌پذیری اقتصادی، با اجرای پروژه‌ای آزمایشی مورد برررسی قرار گیرد (سویهارت و هینس، ۲۰۰۲؛ مانژو و آناندا‌کومار، ۲۰۱۲). دستهٔ دیگر از پژوهشگران ابراز داشته‌اند با وجود اینکه سرمایه‌گذاری اولیه برای پوشش‌دهی کانال بسیار زیاد به نظر می‌رسد؛ ولی پوشش‌دارکردن، گامی پایدار است که با توجه به مزایای طولانی مدت برای کشورهایی که در آینده به آب نیاز دارند؛ مانند پاکستان (ممان و همکاران، ۲۰۱۳؛ و چاتا و همکاران، ۲۰۱۴)، ایران (شاهرخ‌نیا و زارع، ۱۳۹۳؛ و کریمی، ۲۰۱۱)، توجیه اقتصادی اثبات شده دارد؛ هرچند براساس مطالعهٔ برخی از جمله بهراملو و سیدان (۱۳۹۰) بتنی‌کردن کانال توجیه اقتصادی ندارد.

مورای-راست و وندرولد (۱۹۹۴) در مطالعه‌ای که بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۳ در کشور پاکستان انجام دادند، گزارش کردند که حتی با فرض‌های بسیار مطلوب (سناریوهای تعریف‌شده) دربارهٔ طول عمر پوشش و آب ذخیره‌شده در شرایط پوشش داشتن کانال، پوشش‌دهی کانال تنها در شرایطی مناسب است که ارزش آب به قیمت پرداختی کشاورزان برای آب زیرزمینی پمپاژ شده، نزدیک باشد؛ یعنی باید افزایش خیلی زیادی در تراکم کشت صورت گیرد تا هزینهٔ اولیه بالای پوشش‌دارکردن کانال توجیه شود. کریمی (۲۰۱۱) به بررسی آثار پوشش کانال‌ها بر اقتصاد کشاورزان و بهره‌وری آب در مناطق مشهد و کلات در خراسان رضوی پرداخت. نتایج مطالعهٔ وی نشان داد پوشش‌دهی کانال سبب رونق اقتصادی برای کشاورزان می‌شود؛ به گونه‌ای که درآمد سالانه کشاورزان در برخی از مناطق تا ۸۴ درصد رشد نشان داده است. ممان و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که در استان سند پاکستان، پوشش پیشنهاد شده برای کانال دادو (Dadu) به‌طور قابل ملاحظه‌ای سبب کاهش تلفات نشت، ماندابی و هزینه‌های نگهداری کانال شده و در نتیجه سرعت جریان، بازده انتقال و تراکم محصول افزایش یافته است. ایشان نتیجه گرفتند سرمایه‌گذاری اولیه پوشش‌دارکردن کانال خیلی زیاد به نظر می‌رسد؛ ولی گامی پایدار است که از نظر مزایای طولانی‌مدت در کشوری مانند پاکستان که نیاز به حفظ آب برای نسل‌های آینده دارد، بسیار اقتصادی است. چاتا و همکاران (۲۰۱۴)، مطالعه‌ای در پاکستان برای مقایسهٔ عملکرد و هزینه چندین گزینه برای بهبود مسائل مربوط به آب انجام دادند. آن‌ها سه منطقه با شرایط اجتماعی-اقتصادی متفاوت انتخاب کردند و جزئیات هزینه‌های مصالح، کارگر و پوشش‌دهی یا عدم پوشش دهی کانال‌ها را در مقیاس سالانه محاسبه کردند و متوسط بازگشت درآمد خالص ناشی از ذخیره آب در سناریوهای مختلف را مقایسه کردند. آن‌ها هزینه پوشش‌دهی سالانه (هزینه اولیه سالانه بهبود + هزینه نگهداری سالانه) را به‌ترتیب ۲۵۴، ۲۴۵ و ۲۱۶ روپیه در متر در سال محاسبه کرده و گزارش کردند که پوشش‌دهی بهترین گزینه برای ذخیره پایدار آب در مقایسه با شرایط لایروبی کانال و عدم پوشش‌دهی است. بهراملو و سیدان (۱۳۹۰) منافع مالی کاربرد پوشش بتنی را براساس میزان کنترل تلفات آب از کانال‌های بدون پوشش در استان همدان بررسی کردند. این پژوهشگران، ۶ کانال بتنی و ۶ کانال خاکی بدون پوشش را به روش ورودی- خروجی مورد ارزیابی قرار داده و نتیجه گرفتند که بتنی‌کردن کانال توجیه اقتصادی ندارد. شاهرخ‌نیا و زارع (۱۳۹۳) پس از بررسی آثار فنی و اقتصادی پوشش‌دار کردن کانال‌های سنتی در ۳ روستای شهرستان داراب استان فارس نتیجه گرفتند که با نرخ تنزیل ۸ درصد، پوشش کانال‌های انتقال آب در هر سه منطقه اقتصادی است.

با توجه به تعدد نظرهای متفاوت و گه‌گاه متضاد در زمینهٔ توجیه‌پذیری پوشش‌دهی کانال‌های آبیاری در مطالعات صورت گرفته، ضرورت داشت که توجیه‌پذیری اقتصادی

www.SID.ir

Archive of SID

پوشش‌دهی کانال، با تأکید بر تغذیه آب زیرزمینی با هدف برداشت دوباره، در منطقه بروجن استان چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار بگیرد.

مواد و روش‌ها

مطالعات آزمایشگاهی

در این پژوهش، کانال بتنی شبکه آبیاری و زهکشی گندمان و بلداجی، واقع در طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۲۲۴۹ متر از سطح دریا (شکل ۱)، در شهرستان بروجن استان چهارمحال و بختیاری، با مقطع ذوزنقه و عرض کف ۱/۳ متر، عمق ۱/۸ متر و عرض بالای ۶/۵ متر انتخاب و با کانال خاکی با ابعاد مشابه مقایسه گردید. به‌دلیل اینکه در بازه زمانی پژوهش در کانال بتنی و خاکی پایین‌دست آب جریان نداشت، برای محاسبه میزان تلفات نشت کانال بتنی از آمار سایت معاونت حفاظت و بهره‌برداری وزارت نیرو، دفتر بهره‌برداری از تأسیسات انتقال و توزیع آب استفاده شد. همچنین، برای برآورد میزان نشت در کانال خاکی، با استفاده از اصول تشابه ابعادی و با درنظرگرفتن مقیاس مناسب (نسبت عرض سطح آب در مدل به عرض سطح آب در نمونه اصلی، $L_r=0.13$) (توکلی و همکاران، ۱۳۹۵)، ابعاد مورد نظر به فلوم واقع در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه شهرکرد منتقل شد (شکل ۲). همچنین، دبی‌های نمونه اصلی با لحاظ کردن اصول تشابه ابعادی به دبی مدل تبدیل شد (جدول ۱). براساس داده‌های دریافتی از شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری، حداقل دبی جاری در کانال بتنی شبکه آبیاری و زهکشی گندمان و بلداجی ۳۴/۷۲ لیتر در ثانیه (در روزهای ۶ تا ۱۰ آبان ماه ۱۳۸۹) و حداکثر آن ۶۸۰۵/۵۶ لیتر در ثانیه (در تاریخ ۲۳ اردیبهشت ۱۳۹۱) بوده است. بنابراین، حداقل دبی انتخاب شده در پژوهش حاضر، ۴۰ لیتر در ثانیه (معادل ۰/۲۵ لیتر در ثانیه در مدل) و حداکثر آن (با توجه به محدودیت فلوم موجود در آزمایشگاه و پمپ مورد استفاده) برابر ۱۶۴ لیتر در ثانیه (معادل ۱ لیتر در ثانیه برای مدل) در نظر گرفته شد. سپس، آزمایش‌های تعیین میزان نشت در آن انجام شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (گی و بادر، ۱۹۷۹) تعیین شد (جدول ۲) و تا عمق سطح ایستابی که در ۶/۷۹ متری از سطح زمین قرار داشت، ثابت بود. برای ساخت مدل آزمایشگاهی، حدود ۲۰۰۰ کیلوگرم خاک از کانال به آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه شهرکرد منتقل شد و آزمایش‌های بررسی نشت در فلوم این آزمایشگاه (مدل) انجام شد. خوانندهٔ گرامی برای اطلاع از جزئیات مدل آزمایشگاهی مورد استفاده و نحوهٔ ایجاد آن به مقالهٔ توکلی و همکاران (۱۳۹۵) ارجاع داده می‌شود.

شکل ۱- نقشه محل قرارگیری شهرستان بروجن در استان چهارمحال و بختیاری

شکل ۲- مدل آزمایشگاهی در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه شهرکرد

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- مشخصات هیدرولیکی نمونه اصلی و مدل

کانال	دبی ۱	دبی ۲	دبی ۳	دبی ۴	دبی ۵	دبی ۶	دبی ۷	دبی ۸	دبی ۹
	لیتر در ثانیه								
کانال بلداجی	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۳۱	۱۶۴
مدل آزمایشگاه	۰/۲۵*	۰/۳۰	۰/۳۶	۰/۴۳	۰/۴۹	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۸	۱/۰

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک مورد استفاده

بافت خاک	عمق نمونه برداری	شن	رس	سیلت
		%		
لوم	۰ تا ۷ متر	۴۴/۵	۲۶	۲۹/۵

برای جلوگیری از رسوب‌گذاری مواد معلق در آب، حداقل سرعت مجاز جریان در مدل بر حسب فرمول تجربی لوی تعیین شد (معادلهٔ (۱)) (گریشین، ۱۹۸۲):

$$V_{min} = 0.01\frac{\omega}{\sqrt{D_{50}}}\sqrt{R}\left(\frac{0.0225}{n}\right) \qquad (۱)$$

که در آن: V_{min}، حداقل سرعت مجاز؛ D_{50}، قطر متوسط ذرات (میلی‌متر)؛ ω، سرعت سقوط ذرات با قطر متوسط (۱/۴ میلی‌متر در ثانیه)؛ R، شعاع هیدرولیکی (متر)؛ و n، ضریب زبری مانینگ (۰/۰۴) است. همچنین، برای اطمینان از عدم ایجاد فرسایش در مدل فیزیکی، حداکثر سرعت مجاز جریان با توجه به اعداد جدول ۳ بررسی شد (کراتز، ۱۹۷۷). مقدار محاسبه شدهٔ سرعت جریان در مدل، در محدودهٔ سرعت حداقل و حداکثر قرار داشت.

جدول ۳- مقادیر حداکثر سرعت مجاز برای مصالح مختلف (کراتز، ۱۹۷۷)

نوع مصالح	سرعت مجاز جریان (متر در ثانیه)
شن ریز	۰/۲-۰/۳
خاک شنی	۰/۳-۰/۷۵
لوم شنی	۰/۷۵-۰/۹
لوم تا لوم رسی	۰/۸۵-۱/۱
رس سخت	۱/۱-۱/۵

ارزیابی فنی و اقتصادی

در این مرحله از پژوهش، شرایط پوشش‌دار بودن یا بدون پوشش بودن کانال به لحاظ اقتصادی مقایسه شد و روش بهینه فنی و اقتصادی از میان دو گزینه کانال پوشش‌دار یا بدون پوشش، انتخاب شد. داده‌های اولیه، شامل الگوی کشت انتخابی و سطح زیر کشت، عملکرد و مصرف آب گیاهان در بازهٔ زمانی پژوهش و هزینهٔ کارگری قبل و بعد از پوشش کانال بود. برای محاسبهٔ هزینه‌های پوشش کانال، با فرض عمر مفید ۱۰، ۲۰ و ۴۰ ساله پوشش (بهراملو و سیدان، ۱۳۹۰؛ سویهارت و هینس، ۲۰۰۲؛ و سوسفالک و همکاران، ۲۰۰۸)، هزینهٔ عملیات خاکی، هزینهٔ پوشش‌دهی کانال، ارزش آب صرفه‌جویی شده، کاهش هزینهٔ تعمیر، لایروبی و نگهداری و امکان توسعهٔ کمی و کیفی محصولات زراعی و باغی در سطح زیر پوشش کانال انتقال، در نظر گرفته شد. برای محاسبهٔ هزینه‌های پمپاژ آب زیرزمینی از اعماق مختلف، هزینه‌های انرژی، استهلاک سامانه پمپاژ لحاظ شد.

در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مجموع ۱۱۰۰ هکتار از اراضی پایین‌دست شبکه آبیاری و زهکشی گندمان و بلداجی به کشت محصولات مختلف اختصاص یافته بود که مساحت اراضی تحت کشت محصولات به شرح جدول ۴ است. نیاز خالص آبیاری محصولات با استفاده از برنامه NETWAT (علیزاده، ۱۳۸۰) به‌دست آمد. با توجه به اینکه گندم و جو در پاییز کشت می‌شوند و بخشی از دورهٔ کشت آن‌ها با یکدیگر همپوشانی دارد، نیاز خالص در بازهٔ مشترک (از شروع دهه سوم مهرماه تا پایان دهه دوم خرداد ماه) مورد محاسبه قرار گرفت و در جدول ۴ ارائه شد. سپس، با به‌کارگیری راندمان کاربرد ۵۵ درصد در آبیاری سطحی (ریاحی فارسانی، ۱۳۹۰) اراضی منطقه، مقادیر نیاز ناخالص آبیاری محصولات به‌دست آمد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- الگوی کشت منطقه، سطح زیر پوشش و نیاز خالص و ناخالص آبیاری

نوع محصول	گندم	جو	سیب‌زمینی	چغندرقند	لوبیا	جمع
مساحت (هکتار)	۴۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۱۵۰	۵۰	۱۱۰۰
درصد	۳۶/۴	۲۷/۳	۱۸/۲	۱۳/۶	۴/۵	۱۰۰
نیاز خالص آبیاری (مترمکعب در هکتار)	۲۱۴۰	۱۳۵۰	۵۴۴۰	۶۶۱۰	۵۵۳۰	۲۱۰۷۰
نیاز ناخالص آبیاری در الگوی کشت با راندمان کاربرد ۵۵ درصد (مترمکعب در هکتار)	۱۴۱۶*	۶۷۰	۱۸۰۰	۱۶۳۴	۴۵۲	۵۹۷۳

* اعداد این ردیف حاصل تقسیم عدد نیاز خالص آبیاری بر راندمان کاربرد (۰/۵۵) و ضرب شدن در درصد زیرکشت (ردیف دوم جدول) است.

سطح زیرکشت پایه پیش از اجرای پوشش در کانال و پس از اجرای آن، یکسان در نظر گرفته شد؛ با این توضیح که پس از اجرای پوشش، از تلفات حجم مشخصی آب جلوگیری شد که این حجم را می‌توان برای توسعه اراضی آبی استفاده کرد. عملکرد هر محصول، قیمت خرید تضمینی آن براساس آمار سال ۱۳۹۳ سازمان جهاد کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری (سایت جهاد کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری، chb.maj.ir/portal/home) و ارزش کل محصولات فروخته شده در جدول ۵ ارائه شده است. در محاسبهٔ شاخص‌های مالی، عمر مفید پوشش ۱۰، ۲۰ و ۴۰ سال و نرخ تنزیل برای تبدیل درآمدهای آینده، ۱۲ درصد در نظر گرفته شد. نرخ‌های تنزیل ۱۵ و ۱۸ درصد نیز در محاسبات لحاظ شد (بهراملو و سیدان، ۱۳۹۰؛ شاهرخ‌نیا و زارع، ۱۳۹۳).

دبی مورد استفاده در بازهٔ پژوهش ۴۹۱ لیتر در ثانیه بود که از تاریخ ۲۰ اردیبهشت تا ۲۰ مهرماه (۱۵۵ روز) در اختیار کشاورزان قرار می‌گرفت. در منطقهٔ مورد مطالعه، آب سطحی با قیمت ۱۲۰ ریال در هر مترمکعب و قیمت آب زیرزمینی با توجه به هزینه‌های پمپاژ، محاسبه شد. فرض بر این بود که در شرایط پوشش‌داربودن کانال (کانال بتنی)، دبی فوق مستقیماً از بند انحرافی بالادست وارد کانال شده و در اختیار کشاورزان قرار می‌گیرد. در شرایطی که کانال بدون پوشش بود (کانال خاکی)، دبی فوق هم از طریق کانال خاکی و هم از طریق حفر چاه و پمپاژ تأمین می‌شد.

برای محاسبهٔ هزینهٔ پمپاژ آب از منبع آب زیرزمینی، ابتدا نیاز به حفر چاهی با عمق حداقل ۷ متر (عمق آب زیرزمینی در محل ۶/۷۹ متر است) و قطر ۱۴ اینچ (۳۵۵/۶ میلی‌متر) است. سپس، با در نظرگرفتن دبی ۴۹۱ لیتر در ثانیه، نیاز به پمپی است که این دبی را با ارتفاع مکش حداقل ۷ متر تأمین کند. مشخصات چاه حفرشده و پمپ انتخاب شده در فصل نتایج و بحث ارائه شده است.

جدول ۵- عملکرد و ارزش محصولات کشاورزی الگوی کشت (سایت جهاد کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری، chb.maj.ir/portal/home)

نوع محصول	گندم	جو	سیب‌زمینی	چغندرقند	لوبیا	جمع
عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	۳۳۳۵	۲۹۱۵	۳۷۶۵۰	۴۱۱۰۱	۲۳۵۶	-
مساحت (هکتار)	۴۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۱۵۰	۵۰	۱۱۰۰
قیمت خرید تضمینی (ریال در کیلوگرم)	۱۱۵۵۰	۹۲۰۰	۳۵۰۳	۲۶۲۷	۲۱۰۰۰	-
ارزش کل (میلیون ریال)	۱۵۴۰۸	۸۰۴۵	۲۶۳۷۸	۱۶۱۹۶	۲۴۷۴	۶۸۵۰۰

هزینهٔ برق مصرفی از سایت تعرفه و قوانین و مقررات فروش برق، وزارت نیرو (http://tariff.moe.gov.ir) استخراج شد که با در نظرگرفتن ۲۰ درصد افزایش قیمت برای ماه‌های تیر، مرداد و شهریور، و میانگین وزنی قیمت ۲۵۰ ریال در هر کیلووات ساعت، محاسبه شد. هزینهٔ آبونمان برق نیز برای هر ماه ۱۱۰۰۰ ریال لحاظ شد. این هزینه‌ها از سال ۱ تا ۱۰، ۲۰ و ۴۰، هر سال به میزان ۱۵ درصد (مطابق با نرخ تورم کشور) افزایش یافت. میزان انرژی مصرفی پمپ با توجه به توان، بازده و تعداد ساعات کارکرد آن به‌دست آمد.

برای تحلیل اقتصادی، ارزش حال خالص (NPV) و نسبت سود به هزینه (B/C) استفاده شد (معادلات (۱) و (۲)).

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص NPV از تفاضل درآمد و هزینه حاصل می‌شود. عدد بزرگ‌تر بیانگر سودمندی بیشتر است. شاخص B/C، بیانگر نسبت سود حاصل به هزینه‌هاست که چنانچه بزرگ‌تر از ۱ باشد، پروژه توجیه اقتصادی دارد. نتیجه این مقایسه‌ها، نشانگر توجیه‌پذیری پوشش‌دهی کانال از نظر اقتصادی است.

$$NPV = \sum_{i=1}^{n} \frac{B_i - C_i}{(1+r)^i} \quad (۲)$$

$$B/C = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{B_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{(1+r)^i}} \quad (۳)$$

در این معادله‌ها: B_i، درآمدهای طرح در سال iام؛ C_i، هزینه‌های طرح در سال iام؛ r، نرخ تنزیل؛ و n، طول عمر پروژه است.

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی فنی و اقتصادی کانال پوشش‌دار و بدون پوشش

سطح زیر کشت پایه پیش و پس از اجرای پوشش در کانال، یکسان در نظر گرفته شد؛ با این توضیح که پس از اجرای پوشش، از تلفات حجم مشخصی آب جلوگیری شد که این حجم را می‌توان برای توسعه اراضی آبی استفاده کرد. برای تحلیل اقتصادی هر یک از کانال‌های خاکی و بتنی، ارزش سالانه محصولات زراعی تحت عنوان درآمد پروژه و هزینه ساخت، تعمیر و نگهداری و آب مصرف شده به‌عنوان هزینه‌های پروژه در نظر گرفته شد. برای تأمین دبی ۴۹۱ لیتر در ثانیه در شرایط کانال بدون پوشش، چاهی به عمق ۱۲ متر و قطر ۱۴ اینچ نیاز است که با پمپاژ از آن برداشت صورت گیرد. هزینه‌های حفر این چاه در جدول ۶ ارائه شده است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۵). مبنای محاسبات، حفاری دستی تا عمق ۲۰ متر است که نیمی در خاک سخت و نیمی در خاک نرم صورت می‌گیرد و همچنین، نیمی از این حفاری بالای سطح آب و نیمی زیر سطح آب انجام می‌شود. هزینهٔ تعمیر و نگهداری چاه نیز، پس از مشورت با کشاورزان منطقه و استفاده از نظرهای کارشناسان سازمان آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری، سالانه معادل ۰/۵ درصد هزینه‌های حفر چاه در نظر گرفته شد. پمپ منتخب برای برداشت از آب زیرزمینی، پمپ گریز از مرکز ۳۵-۳۰۰ شرکت پمپیران بود. این پمپ برای تأمین دبی مورد نیاز و ارتفاع حدود ۱۷ متر، با دور ۱۴۵۰ دور در دقیقه، ۹۰ کیلووات توان نیاز دارد. قطر لوله ورودی و خروجی پمپ ۳۰۰ میلی‌متر است. بازدهٔ پمپ مورد نظر ۷۰ درصد و قیمت تمام‌شدهٔ آن به همراه شاسی، الکتروموتور و تجهیزات جانبی در حدود ۲۲۷،۴۳۰،۰۰۰ ریال بود. برای جلوگیری از رخداد پدیدهٔ کاویتاسیون، پمپ در عمق ۶ متری از سطح زمین نصب می‌شود. هزینهٔ این بخش از حفاری براساس فهرست بهای آبیاری و زهکشی سال ۱۳۹۴ معادل ۴۹۳۴۴۰۰ ریال به‌دست آمد. عمر مفید پمپ مورد نظر ۱۰ سال لحاظ شد و هزینهٔ سالانه تعمیر و نگهداری آن پس از مشورت با کشاورزان منطقه و استفاده از نظرهای کارشناسان سازمان آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری، معادل ۷ درصد قیمت پمپ در نظر گرفته شد. هزینهٔ تأمین اقلام مورد نیاز حفر چاه، شامل لوله، اتصالات نصب و کابل برای اتصال پمپ به شبکه برق در مجموع ۹۰،۴۶۳،۲۰۰ ریال تعیین شد (جدول ۷).

جدول ۶- هزینه‌های حفر چاه به عمق ۱۲ متر و قطر ۱۴ اینچ (۳۵۵/۶ میلی‌متر)

ردیف	نوع عملیات	جمع هزینه (ریال)
۱	حفاری به روش دستی	۵۳۴۷۸۰۰
۲	تهیه و نصب لوله	۲۷۸۴۰۰۰۰
۳	کارهای متفرقه	۱۸۱۶۸۰۰۰
۴	جمع خالص	۵۱۳۵۵۸۰۰
۵	جمع با احتساب ضریب بالاسری ۱/۳ و ضریب منطقه‌ای ۱/۱۵	۷۶،۷۷۶،۹۲۱

منبع: فهرست بهای چاه سال ۱۳۹۵

جدول ۷- هزینهٔ اقلام مورد نیاز چاه به عمق ۱۲ متر و قطر ۱۴ اینچ (۳۵۵/۶ میلی‌متر) و پمپ گریز از مرکز ۳۵-۳۰۰

ردیف	نوع عملیات	هزینه (ریال)
۱	لوله ۱۴ اینچ	۶۶۸۱۶۰۰
۲	اتصالات نصب	۷۵۱۰۰۰۰۰
۳	کابل	۲۰۰۰۰۰۰
۴	جمع	۶۰۰،۷۸۱،۸۳

با توجه به محاسبات انجام‌شده، قیمت آب زیرزمینی برداشت‌شده از عمق ایستابی در محل، ۹۱ ریال برای هر مترمکعب به‌دست آمد. با توجه به عمق کم آب زیرزمینی در محل، کوچک‌تر بودن این عدد در مقایسه با قیمت آب سطحی (۱۲۰ ریال در مترمکعب) قابل توجیه است.

www.SID.ir

Archive of SID

کانال بدون پوشش

براساس مقادیر نشت اندازه‌گیری‌شده برای فلوم مورد آزمایش در این مطالعه با استفاده از دبی‌های مورد بررسی، درصد نشت کانال خاکی به‌طور متوسط ۲۶ درصد در نظر گرفته شد. براساس فهرست بهای آبیاری و زهکشی سال ۱۳۹۴، سرمایه اولیه احداث کانال خاکی به طول ۱۰۰۰ متر، شامل عملیات تخریب، عملیات خاکی با دست و عملیات خاکی با ماشین حدود ۳۵۹ میلیون ریال و برای ۳۰ کیلومتر بالغ بر ۱۰۷۶۸ میلیون ریال است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۴). در اجرای کانال‌های خاکی و بتنی حدود نیمی از خاک‌برداری در زمین‌های سنگی و نیمی در زمین‌های خاکی لحاظ شده است. همچنین، هزینه تعمیر و نگهداری (لایروبی) کانال خاکی سالانه ۸۴ میلیون ریال در نظر گرفته شد (جدول ۸).

جدول ۸- هزینه سرمایه‌ای، تعمیر و نگهداری کانال خاکی به طول ۳۰۰۰۰، عرض بالای ۶/۵ و عرض کف ۱/۳ متر و سطح مقطع ۷/۰۲ مترمربع (میلیون ریال)

اقلام هزینه	سال ۰	سال ۱	سال ۲	سال ۳ تا ۱۰
ساخت	۱۰۷۶۸	۰	۰	۰
تعمیر و نگهداری	۰	۸۴	۹۶/۶	افزایش به میزان ۱۵ درصد در سال
جمع	۱۰۷۶۸	۸۴	۹۶/۶	افزایش به میزان ۱۵ درصد در سال

این هزینه‌ها از سال ۱ تا ۱۰ هر سال به میزان ۱۵ درصد (مطابق با نرخ تورم کشور) افزایش یافته است. پس از ۱۰ سال (عمر مفید کانال خاکی) کلیهٔ هزینه‌های بیان‌شده در جدول ۸ تا ۴۰ سال تکرار شد تا قابل مقایسه با کانال بتنی شود.

کانال با پوشش بتنی

میزان نشت در این کانال براساس داده‌های برداشت‌شده از سایت معاونت حفاظت و بهره‌برداری، دفتر بهره‌برداری از تأسیسات انتقال و توزیع آب (به نشانی http://portal.wrm.ir/shabakemodern/operation/operationweb91-92/index%2091-92.htm-آخرین دسترسی ۲۲ دی ماه ۱۳۹۶) به‌طور متوسط ۱۱ درصد به‌دست آمد. براساس فهرست بهای آبیاری و زهکشی سال ۱۳۹۴، سرمایهٔ اولیه احداث کانال بتنی به طول ۱۰۰۰ متر، شامل عملیات تخریب، عملیات خاکی با دست، عملیات خاکی با ماشین، عملیات بنایی با سنگ، قالب‌بندی، بتن در جا، کارهای متفرقه و حمل و نقل، حدود ۳۰۳۵ میلیون ریال و برای ۳۰ کیلومتر بالغ بر ۹۱۰۶۰ میلیون ریال است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۴). هزینهٔ تعمیر و نگهداری (لایروبی) کانال بتنی سالانه ۲۰ میلیون ریال در نظر گرفته شد (جدول ۹). این هزینه‌ها از سال ۱ تا ۴۰ هر سال به میزان ۱۵ درصد (مطابق با نرخ تورم کشور) افزایش یافته است. در کانال بتنی، پوشش به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ درزها از هم ۵ متر در نظر گرفته شد (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۴). این هزینه‌ها از سال ۱ تا ۱۰، ۲۰ و ۴۰ هر سال به میزان ۱۵ درصد (مطابق با نرخ تورم کشور) افزایش یافته است.

جدول ۹- هزینه سرمایه‌ای، تعمیر و نگهداری کانال بتنی به طول ۳۰۰۰۰، عرض بالای ۶/۵ و عرض کف ۱/۳ متر و سطح مقطع ۷/۰۲ مترمربع (میلیون ریال)

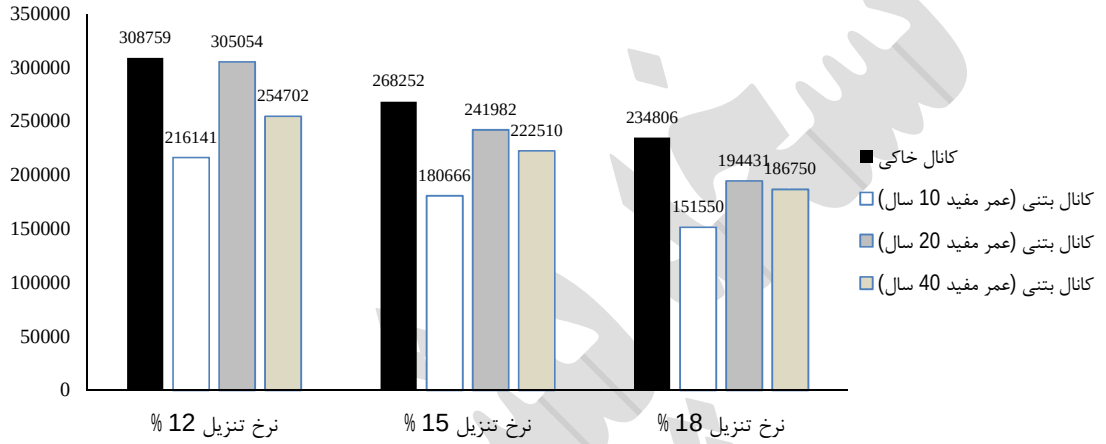
اقلام هزینه	سال ۰	سال ۱	سال ۲	سال ۳ تا ۴۰
ساخت، مطالعات و نظارت	۹۱۰۶۰	۰	۰	۰
تعمیر و نگهداری	۰	۲۰	۲۳	افزایش به میزان ۱۵ درصد در سال
جمع	۹۱۰۶۰	۲۰	۲۳	افزایش به میزان ۱۵ درصد در سال

ارزش حال خالص (NPV) و نسبت سود به هزینه (B/C) برای حالات مختلف محاسبه، به‌ترتیب در شکل ۳ و ۴ ارائه شده است. این دو شکل، بیانگر آن است که با افزایش نرخ تنزیل، NPV و B/C کاهش می‌یابند (به‌جز کانال بتنی با عمر مفید ۴۰ سال). از سوی دیگر، با افزایش عمر مفید کانال بتنی از ۱۰ به ۴۰ سال (در نرخ تنزیل ثابت)،

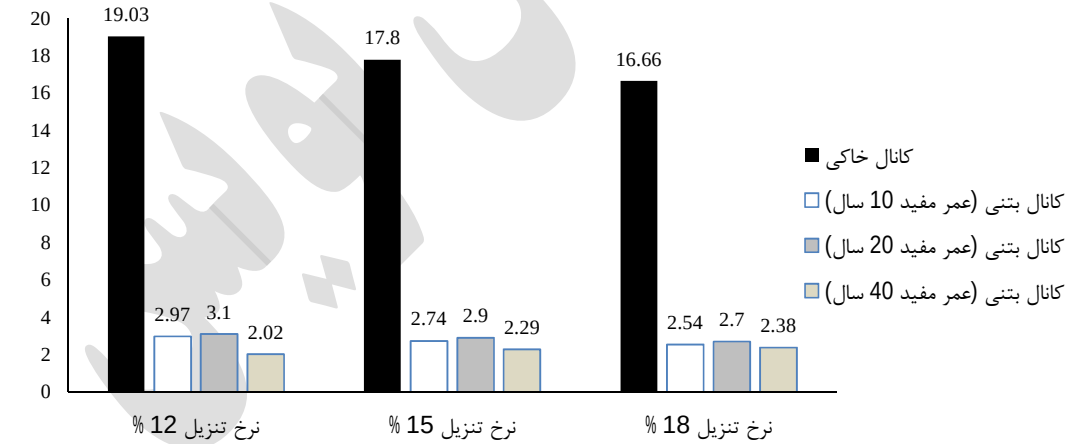
www.SID.ir

Archive of SID

NPV و B/C ابتدا افزایش و سپس کاهش نشان می‌دهند. بررسی دقیق محاسبات نشان داد که پس از ۳۰ سال، با حداکثرشدن مخارج نگهداری کانال پوشش‌دار، هزینه‌های آن فراتر از درآمدهای حاصل خواهد شد؛ بنابراین، پوشش با شرایط ذکرشده پس از ۳۰ سال توجیه اقتصادی نداشته و شاخص‌های اقتصادی مورد بررسی نسبت به قبل کاهش می‌یابند. چنانچه از مقادیر شکل ۳ و ۴ برمی‌آید و با توجه به مقادیر شاخص‌های اقتصادی، همواره و در تمامی نرخ‌های تنزیل بررسی شده و با در نظرگرفتن هر ۳ عمر مفید ۱۰، ۲۰ و ۴۰ سال، کانال خاکی نسبت به کانال پوشش‌دار توجیه اقتصادی بیشتری دارد. ذکر این نکته ضروری است که از میان دو شاخص NPV و B/C با توجه به اینکه اولی تفاضل درآمد و هزینه است و دومی نسبت این دو، NPV کارآمدتر و مهم‌تر است. بنابراین، در شرایط مقایسه، اولویت با این شاخص بوده است؛ به این معنی که هرجا NPV بزرگ‌تر است، کانال از نظر اقتصادی توجیه دارد؛ هر چند مقدار B/C کوچک‌تر باشد.



شکل ۳- ارزش حال خالص (NPV) برای کانال‌های خاکی و بتنی و حالات مختلف نرخ تنزیل (میلیون ریال)



شکل ۴- نسبت سود به هزینه (B/C) برای کانال‌های خاکی و بتنی و حالات مختلف نرخ تنزیل

یافتهٔ این مطالعه برای عمر مفید ۴۰ ساله پوشش، با نتیجه بهراملو و سیدان (۱۳۹۰) که بتنی‌کردن کانال را در منطقه همدان غیراقتصادی خواندند، در تشابه است. این پژوهشگران، عمر مفید کانال بتنی را ۴۰ سال در نظر گرفتند و منافع مالی کاربرد آن را براساس میزان کنترل تلفات آب از کانال‌های بدون پوشش بررسی کردند و نتیجه گرفتند نسبت B/C در کانال خاکی و بتنی به‌ترتیب ۳۱۵ و ۲۳ است. ایشان NPV را برای کانال خاکی و بتنی به‌ترتیب ۱۶۳۵۹۵۱۳۰ و ۲۷۸۲۸۷۷۱۹ هزار ریال گزارش کردند و با توجه به مقادیر نسبت سود به هزینه، کانال

www.SID.ir

Archive of SID

خاکی را اقتصادی‌تر معرفی کردند. علاوه بر این، نتیجهٔ مطالعه حاضر مبنی بر اقتصادی نبودن کانال بتنی در منطقه بروجن با نتیجه مطالعه شاهرخ‌نیا و زارع (۱۳۹۳) در تضاد است که بیان کردند پوشش‌دهی کانال‌های انتقال آب در شهرستان داراب استان فارس اقتصادی است. در بررسی این پژوهشگران، عمر مفید پوشش ۲۰ سال در نظر گرفته شد. هرچند طول پوشش در مطالعهٔ ایشان، بین ۱/۵ تا ۳/۸ کیلومتر بوده، ایجاد پوشش سبب کاهش نشت از ۸۵ تا ۹۷ درصد شده است. شاهرخ‌نیا و زارع (۱۳۹۳) گزارش کردند با نرخ تنزیل ۸ درصد، پوشش کانال در هر سه منطقه اقتصادی است؛ هرچند با در نظر گرفتن نرخ‌های تنزیل ۱۲، ۱۵ و ۱۸ درصد و براساس شاخص B/C تنها یکی از کانال‌ها با هر سه نرخ تنزیل، اقتصادی بود و دو مورد دیگری کاملاً غیراقتصادی تشخیص داده شده بود. نتیجهٔ پژوهش حاضر با نتیجه مطالعهٔ مورای-راست و وندرولد (۱۹۹۴) که گزارش کردند با توجه به ارزش آب ذخیره‌شده در زمان انجام پژوهش، پوشش توجیه‌پذیر نیست، در هماهنگی است. البته در مطالعهٔ این پژوهشگران بیان شد که تنها در یک کانال بررسی‌شدهٔ کوچک، پوشش‌دهی توجیه‌پذیر است. مورای-راست و وندرولد (۱۹۹۴) نتیجه گرفتند هزینه پوشش‌دهی کانال باید از طریق افزایش سطح زیر کشت توجیه شود؛ ولی این پژوهشگران به پمپاژ و استفاده مجدد از آب‌های نفوذیافته توجه نداشتند. در بررسی این پژوهشگران نیز عمر مفید پوشش برخلاف مطالعه حاضر، ۳۰ سال در نظر گرفته شد. توجیه‌ناپذیری اقتصادی پوشش در پژوهش حاضر، با نتیجه ممان و همکاران (۲۰۱۳) در تضاد است. این پژوهشگران گزارش کردند که پوشش‌دارکردن کانال از نظر مزایای طولانی‌مدت بسیار اقتصادی است. واضح است که با توجه به حجم بالای برداشت آب از منابع آب زیرزمینی در کشور، ایران نیز باید تمهیدی برای حفظ منابع آب برای آیندگان در نظر گیرد. مطالعهٔ چاتا و همکاران (۲۰۱۴) در پاکستان نشان داد پوشش‌دهی بهترین گزینه برای ذخیره پایدار آب در مقایسه با شرایط لایروبی کانال و بدون پوشش‌بودن است که نتیجه‌ای متضاد نتیجه این مطالعه است. این محققان هزینه‌های سالانه پوشش (شامل هزینه ایجاد و نگهداری پوشش) را ملاک نتیجه‌گیری خود قرار دادند. سویهارت و هینس (۲۰۰۲) گزارش کردند شاخص B/C در پوشش بتنی بین ۳ تا ۳/۲ متغیر است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (شاخص B/C در پژوهش حاضر بین ۲/۰۲ تا ۲/۹۷ در نوسان است). لازم به ذکر است بافت خاک کانال بدون پوشش در این پژوهش از نوع لوم بود؛ بنابراین، بررسی‌های مشابه در خاک‌های با بافت و سطح مقطع متفاوت پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش، نشان داد که در هر ۳ نرخ تنزیل ۱۲، ۱۵ و ۱۸ درصد و هر ۳ طول عمر مفید کانال (۱۰، ۲۰ و ۴۰ سال)، کانال خاکی توجیه اقتصادی بیشتری دارد. شاخص‌های اقتصادی مورد استفاده در این مقایسه ارزش حال خالص (NPV) و نسبت سود به هزینه (B/C) بود که هر دو با افزایش نرخ تنزیل برای کانال خاکی و بتنی، کاهش نشان دادند (به‌جز کانال بتنی با عمر مفید ۴۰ سال). از سوی دیگر، با افزایش عمر مفید کانال بتنی از ۱۰ به ۴۰ سال (در نرخ تنزیل ثابت)، NPV و B/C ابتدا افزایش و سپس کاهش نشان دادند. بررسی دقیق محاسبات، نشانگر آن است که پس از ۳۰ سال، با حداکثرشدن مخارج نگهداری کانال پوشش‌دار، هزینه‌های آن فراتر از درآمدهای حاصل خواهد شد؛ بنابراین، پوشش با شرایط ذکرشده پس از ۳۰ سال توجیه اقتصادی نداشته و شاخص‌های اقتصادی مورد بررسی نسبت به قبل کاهش می‌یابند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، پوشش‌دارکردن کانال در منطقه بروجن استان چهارمحال و بختیاری در شرایطی که عمق سطح ایستابی ۶/۷۹ متر باشد، نسبت به گزینه کانال خاکی با اجازه نفوذ به آب و پمپاژ دوباره، توجیه اقتصادی ندارد. در پژوهش حاضر به‌دلیل محدودیت زمان، تنها از خاک یک کانال با بافت لومی استفاده شد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده از خاک‌های با بافت‌های متفاوت استفاده شود و پدیده نشت و نفوذ در کانال‌های آبیاری بررسی شود. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده مقایسهٔ فنی و اقتصادی نشت و نفوذ برای پوشش‌های غشایی، سنگ و ملات و ... نیز انجام شود. در این پژوهش، عمق آب زیرزمینی تقریباً ۷ متر بود و پس از محاسبهٔ هزینه حفاری و پمپاژ برای برداشت آن، قیمت آب زیرزمینی اندکی کمتر از آب سطحی تعیین شد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، محاسبات برای اعماق بیشتر آب زیرزمینی انجام شود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

۱. بهراملو ر. و سیدان س. م. ۱۳۹۰. ارزیابی فنی-اقتصادی کاربرد پوشش بتنی در کانال‌های آبیاری در مناطق سردسیر. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۲: ۲۶۲-۲۵۴.

۲. توکلی ا. قربانی ب. رادفر م. صمدی بروجنی ح. و قهرمان ب. ۱۳۹۵. اصلاح معادلات تجربی برآورد نشت با استفاده از تشابه ابعادی (کانال خاکی بلداجی، استان چهارمحال و بختیاری). مجله حفاظت منابع آب و خاک. ۶: ۱۰۵-۱۱۹.

۳. ریاحی فارسانی ح. ۱۳۹۰. ارزیابی سیستم آبیاری جویچه‌ای در دشت‌های شهرکرد، بروجن و خانمیرزا و ارائه راهکارهای عملی جهت بهبود آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شهرکرد. ۱۲۰ ص.

۴. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۱۳۹۴. فهرست بهای واحد پایه رشته آبیاری و زهکشی. تهران. ۹۴ ص.

۵. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۱۳۹۵. فهرست بهای واحد پایه رشته چاه. تهران. ۶۱ ص.

۶. شاهرخ‌نیا م. ع. و زارع ا. ۱۳۹۳. بررسی فنی و اقتصادی پوش کانال‌های آبیاری شهرستان داراب. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱: ۴۴-۵۲.

۷. علیزاده ا. ۱۳۸۰. نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی و باغی ایران (NETWAT)، پروژه بهینه‌سازی الگوی مصرف آب کشاورزی ایران. سازمان هواشناسی کشور و وزارت جهاد کشاورزی. ۴۵۰ ص.

8. Chatha Z. A. Arshad M. Bakhsh A. and Shakoor A. 2014. Design and cost analysis of watercourse lining for sustainable water saving. Journal of Agricultural Research. 52(4): 581-588.
9. Fernald A. G. Baker T. T. and Guldan S. J. 2007. Hydrologic, riparian, and agroecosystem functions of traditional acequia irrigation systems. Journal of Sustainable Agriculture. 30(2): 147-171.
10. Grishin M. M. 1982. Hydraulic Structures. Vol. 2. Mir Publisher. Moscow. 468 p.
11. Karimi M. 2011. Study the effect of channels lining on water productivity and economy of farmers in Razavi Khorasan Province, Iran. International Journal of Agricultural Crop Science. 3(2): 55-60.
12. Kraatz D. B. 1977. Irrigation Canal Lining. FAO. Land and Water Development Series No 1. Rome. Italy. 217 p.
13. Maanjhu S. K. and Anandha Kumar K. J. 2012. Groundwater simulation studies of parts of western Yamuna canal command area, Haryana for planning sustainable development. Journal Geological Study of India. 80: 539-545.
14. Memon A. A. Leghari K. Q. Pathan A. F. Khatri K. L. Shah S. A. Pinjani K. K. Soomro R. and Ansari K. 2013. Design and evaluation of Dadu canal lining for sustainable water saving. Journal of Water Resource and Protection. 5(7): 689-698.
15. Murray-Rust D. H. and Vander Velde E. J. 1994. Changes in hydraulic performance and comparative costs of lining and desilting of secondary canals in Punjab, Pakistan. Irrigation and Drainage Systems. 8(3): 137-158.
16. Susfalk R. Sada D. Martin C. Young M. H. Gates T. Rosamond C. Miheve T. Arrowood T Shanafield M. Epstein B. Fitzgerald B. Lutz A. Woodrow J. Miller G. and Smith D. 2008. Evaluation of linear anionic polyacrylamide (LA-PAM) application to water delivery canals for seepage reduction. Desert Research Institute. Reno and Las Vegas. NV Colorado State University. Fort Collins. CO. 158 p.
17. Swihart J. and Haynes J. 2002. Canal-Lining Demonstration Project Year 10 Final Report. R-02-03. Bureau of Reclamation. U.S. Department of the Interior. Denver. CO. 292 p.

www.SID.ir