بهبود عملکرد سیستم تحویل آب کانال‌های آبیاری بین مزارع شالیزاری بر اساس شبیه‌سازی جریان در مدل HEC-RAS

بابک مومنی[۱]، محسن مسعودیان[۲]

تاریخ ارسال:۱۳۹۶/۰۳/۲۳
تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۰۳/۰۱

چکیده

برای تغییر روش سنتی آبیاری کرت به کرت، افزایش بهره‌وری از منابع محدود آب و استقلال در مدیریت آبیاری و زهکشی هر مزرعه، احداث شبکه کانال‌های بین مزارع یکی از بخش‌های اصلی طرح زیربنایی تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری شمال کشور محسوب می‌شود. اما برپایه نتایج حاصل از پژوهش‌های قبلی، بسیاری از کشاورزان با شرایط موجود بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری و زهکشی طرح مشکلات اساسی دارند. در این پژوهش ابتدا جهت مقایسه وضع موجود عملکرد فنی سیستم با استانداردهای کمی و معتبر، شاخص‌های تحویل آب به آبگیر کرت‌های مسیر یک کانال خاکی آبرسان پروژه تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری اسماعیل کلا شهرستان جویبار در فصل آبیاری برنج سال ۱۳۹۴ محاسبه شد. در ادامه و پس از پوشش بتنی کانال، بر اساس شبیه‌سازی گزینه‌های مختلف تغییر در ساختار آبگیری و کنترل جریان آب در محیط نرم‌افزار HEC-RAS، راهکارهای سازه‌ای ارتقای شاخص‌های عملکرد سیستم تحویل کانال‌های آبیاری ارزیابی شد. نتایج نشان داد به‌دلیل شرایط نامناسب بهره‌برداری و نگه‌داری از کانال‌های خاکی در سیستم آبگیری فعلی کرت‌ها، شاخص‌های تحویل (کفایت= ۰/۳۵، راندمان= ۰/۹۲، پایداری= ۰/۹۸ و عدالت= ۱/۱۸) به‌جز راندمان با شرایط مطلوب و حتی متوسط فاصله زیادی داشت. اما بر اساس نتایج شبیه‌سازی پس از پوشش بتنی انهار آبرسان مزرعه، با اجرای گزینه آبگیرهای لوله‌ای با قطر متغیر و استفاده از سرریزهای کنترل جریان، به شرط تامین آب کافی، علاوه بر ارتقای راندمان انتقال، شاخص‌های تحویل نیز به‌ویژه در کرت‌های انتهایی افزایش قابل‌توجهی خواهد یافت (کفایت= ۰/۹۳، راندمان= ۰/۹۲، پایداری= ۰/۱۴ و عدالت= ۰/۱۸). واسنجی و اعتبارسنجی مدل در سال زراعی ۱۳۹۵ نیز نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی را تایید کرد. نهایتا ضمن تاکید بر ضرورت بررسی سایر گزینه‌ها برای انهار مزرعه نظیر کانال‌های پیش‌ساخته، پیشنهاد می‌شود احداث بندهای سرریز کنترل و لوله‌های آبگیر با قطر متناسب با نیاز آبی کرت‌ها در برنامه پوشش کانال‌ها در برنامه آینده شبکه طرح قرار گیرد.

کلمات کلیدی: برنج، تجهیز و نوسازی، شاخص ارزیابی، سیستم آبگیری، مدل هیدرودینامیک.

[۱] استادیار، بخش کشاورزی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵ تهران، (تلفن: ۰۹۱۱۳۵۳۰۷۲۰)، (babak1172@gmail.com) (مسئول مکاتبه)

[۲] دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (تلفن: ۰۹۱۱۲۵۸۴۸۱۸)، (mohsen_masoudian@yahoo.com)

مقدمه

روش متداول آبیاری برنج در اراضی شالیزاری شمال ایران، غرقاب دائم با ارتفاع مناسب آب در تمامی طول دوره رویشی است، لذا نیاز آبی آن زیاد و بیش از سایر غلات می‌باشد. از سوی دیگر، در شالیزارهای سنتی، آبیاری به‌صورت کرت به کرت (از کرت با رقوم ارتفاعی بالاتر به پایین‌تر) صورت می‌گیرد که عملاً استقلال مدیریت مصرف نهاده‌ها و آبیاری و زهکشی در هر کرت را غیرممکن ساخته و راندمان‌های مصرف را به‌شدت کاهش می‌دهد. پس با توجه به کمبود منابع آبی، نیاز آبی بالا و پایین بودن راندمان روش‌های سنتی آبیاری، اجرای شبکه آبیاری و زهکشی داخل مزارع در راستای افزایش بهره‌وری از منابع موجود، به‌عنوان یکی از اهداف شاخص طرح زیربنایی تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری شمال کشور در دستور کار بخش کشاورزی قرار گرفت.

کانال‌های آبیاری شبکه طرح تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری به دو گروه کانال درجه چهار و پنج تقسیم می‌شوند. کانال‌های درجه پنج از درجه چهار و یا گاهی از کانال‌های درجه سه منشعب شده و کرت‌های زراعی را زیر پوشش قرار می‌دهند (سازمان برنامه و بودجه کشور،۱۳۸۷). ابعاد متداول آن عرض کف ۰/۳ متر و عمق تقریبی ۰/۴۵- ۰/۳۵متر و شیب جانبی ۱:۱ است و از آنجایی که پوشش بتنی انهار در برنامه اجرایی این طرح تعریف نشده، ساختمان این کانال ها پس از اجرای طرح، خاکی است و به ناچار با فاصله زمانی نسبتا طولانی از زمان خاتمه اجرای طرح و در یک تناوب چندین ساله پوشش می‌شوند. علی‌رغم اینکه انتظار می‌رود احداث کانال‌های آبیاری و زهکشی بین مزارع مشکل توزیع کافی و عادلانه آب را تا حد زیادی کل کند، اما بررسی‌ها نشان می‌دهد بخشی از کشاورزان حتی پس از گذشت سه سال از اجرای طرح، در مدیریت آبیاری مزارع دچار مشکل هستند و این مساله منجر به عدم رضایت از وضع تامین آب شده است (سلحشور دلیوند و همکاران، ۱۳۸۸).

شکل ۱- ایجاد بند و آبگیری از زهکش در کرت‌های انتهایی، طرح تجهیز و نوسازی اسماعیل کلا، جویبار، مازندران

در ارزیابی‌های به‌عمل آمده، از ضعف در اجرای اصولی طرح تجهیز و عادت کشاورزان بالادست به تامین آب بیشتر (عابدینی و همکاران، ۱۳۸۹)، عدم رعایت نسبت ارتفاعی کف کانال آبیاری، کف کرت و کف کانال زهکشی (یزدانی و همکاران، ۱۳۸۳) و طرح و اجرای نامناسب مسیر کانال‌ها و سازه های مورد نیاز (مومنی و همکاران، ۱۳۹۳)، به‌عنوان برخی از مشکلات مدیریت تحویل آب در اراضی شالیزاری تجهیز شده یاد شده است که موجب شده همچنان سیستم توزیع آب و آبگیری کرت‌ها در بخشی از اراضی بر اساس

روش‌های سنتی و به صورت کرت به کرت، انجام شود و زارعینی که کمتر از مقدار نیاز خود دریافت می‌کنند، به دنبال بهره‌برداری از چاه‌ها، و یا ایجاد بند روی مسیر زهکش‌ها و مسدودکردن آنها برای آبگیری و جبران کمبود آب، باشند (شکل۱).

ارتقای عملکرد سیستم، نیازمند ارزیابی کمی و سنجش شرایط موجود با پایش و اندازه‌گیری مداوم شاخص‌های مدیریت تحویل آب نظیر کفایت، راندمان، عدالت و پایداری[1] در دوره بهره‌برداری، و پس از آن شناسایی و ارزیابی گزینه‌های بهبود عملکرد در مسیر واقعی یا شبیه‌سازی شده توزیع آب است. با توجه به نیاز به صرف زمان و هزینه بالا برای اندازه‌گیری و ارزیابی گزینه‌ها در مسیرهای واقعی، استفاده از شبیه‌سازی جریان، از اوایل دهه۹۰ با توسعه مدل‌های هیدرودینامیکی نظیر Sobek، ICSS، CanalMan، MIKE-11و HEC-RAS گسترش یافته و در دو دهه اخیر جهت بررسی و پیش‌بینی رفتار سازه‌های آبی در گزینه‌های بهره‌برداری مختلف طرح شده برای ارتقای عملکرد سیستم مورد توجه قرار گرفته است.

نرم‌افزار HEC-RAS از جمله شبیه‌سازهای هیدرودینامیک جریان در آبراهه‌ها است که توسط گروه مهندسین ارتش امریکا[2] ارائه شده و هرگونه سازه آبی شامل پل، بند، پمپ، آبگذر(کالورت) و .... را می‌توان در این مدل تعریف و اضافه نمود. لذا پژوهشگران متعددی از آن در شبیه‌سازی جریان در کانال‌ها استفاده کردند که از جمله آنها می‌توان به این موارد اشاره نمود: شبیه‌سازی هیدرولیک جریان در شبکه آبیاری درودزن (شاهرخ‌نیا و همکاران، ۱۳۸۷)، تحلیل و بررسی اثرات هیدرولیکی تغییرات به وجود آمده شامل فرسایش مقطع خاکی و حذف برخی از سازه‌ها در ۳۵ کیلومتر ابتدایی مسیر کانال اصلی شبکه آبیاری و زهکشی مغان (جعفری و احمدنژاد، ۱۳۸۹)، بررسی سناریوهای مختلف بهره‌برداری از انشعاب شرقی کانال کالیفرنیا[3] در امریکا بر اساس شبیه‌سازی هیدرولیک جریان از محل نیروگاه آلامو[4] تا سیفون موجاوه[5]با وجود سازه‌های مختلف اعم از ایستگاه‌های پمپاژ، انواع سازه‌های هیدرولیکی داخل مسیر، جانبی و آبگذرها (Jensen et al., 2004)، بازنگری در الگوی مصرف آب کشاورزی و تحلیل ظرفیت انتقال آب شبکه آبیاری اورتار در قزاقستان[6] (Clarke et al., 2010)

برای محاسبه چهار شاخص مهم مدیریت تحویل آب یعنی کفایت، راندمان، اعتمادپذیری و عدالت توزیع روابط مختلفی ارائه شده است که از مهم ترین آنها می‌توان به روابط Molden and Gates (1990) اشاره نمود که مقبولیت مناسبی برای استفاده در پژوهش‌های مرتبط با ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی یافته‌اند و از آن جمله می‌توان به مقایسه عملکرد سیستم تحویل آب در کانال‌های درجه سه طرح شالیزاری آفیس دونیگر[7] در کشور مالی قبل و بعد از اصلاحات مدیریت آبیاری طرح (Vandersypen et al., 2006)، مقایسه عملکرد سیستم تحویل آب بین چهار کانال درجه سه پایاب سد ووشانتو[8] در تایوان در چهار فصل کشت برنج (Tongongar et al., 2008)، ارزیابی عملکرد سیستم تحویل آب کانال‌های درجه دو و سه حاشیه غربی طرح آبیاری و زهکشی منه‌من[9] در کشور ترکیه (Korkmaz et al., 2009)، بررسی نقش تشکل‌های آب بران در بهبود عملکرد مدیریت سیستم توزیع و تحویل آب در اراضی کشاورزی منطقه وسط در دلتای رود نیل[10] توسط (Aly et al., 2013)، ارزیابی عملکرد توزیع آب کانال اصلی غرب شبکه آبیاری دز در شرایط واقعی بهره برداری و دو گزینه بهره برداری شب خاموشی آبگیرهای مزارع و تعدادی از کانال های فرعی (منتظر و پاشازاده،۱۳۹۰) و ارزیابی عملکرد هیدرولیکی و پیشنهاد مناسب‌ترین سازه برای کنترل سطح آب در در کانال BP19 شبکه آبیاری فومنات در

1 -Adequacy, Efficiency, Equity and Dependability
2 - US Army Corps of Enginners
3 - East Branch of the California Aqueduct

4 - Alamo Powerplant
5 - Mojave Siphon
6 - Ortar in Kazakhstan
7 - Office du Niger
8 - Wushantou
9 - The Menemen Left Bank Irrigation system
10 -Wasat command area in the Nile Delta

غرب استان گیلان (صفوی و همکاران، ۱۳۹۳) اشاره کرد.

دراین پژوهش، نیز ابتدا با هدف مقایسه کمی وضع موجود تحویل آب به کرت‌های شالیزاری پس از اجرای طرح تجهیز و نوسازی اراضی با استانداردهای کمی و معتبر، شاخص‌های کفایت، راندمان، عدالت و پایداری توزیع برای کلیه آبگیرهای مزرعه مسیر یک کانال خاکی آبرسان محاسبه شد. در ادامه و پس از پوشش بتنی کانال، با شبیه‌سازی مسیر آن در مدل HEC-RAS گزینه‌های مختلف تغییرات سازه‌ای برای کنترل جریان و آبگیری مناسب ارزیابی شده تا الگوی سازه‌ای مناسب تحویل آب برای ارتقای شاخص‌های عملکرد مشخص شود. در نهایت جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل، نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی با داده‌های میدانی یک دوره بهره‌برداری از کانال در فصل زراعی مقایسه شد.

موارد و روش‌ها

کانال مزرعه مورد مطالعه در شمال آب‌بندان و شمال شرقی پروژه ۴۶۲ هکتاری تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری روستای اسماعیل‌کلا از توابع شهرستان جویبار استان مازندران است که در عرض جغرافیایی″۴۵′۳۵°۳۶ و طول جغرافیایی″۱′۵۳°۵۲ قرار دارد. خاتمه مراحل اجرایی و آغاز بهره‌برداری طرح، سال ۱۳۹۰ بوده است (شکل۲- الف). این کانال خاکی، به طول ۴۸۰ متر، با ۱۱ کرت تحت پوشش برای اندازه‌گیری شاخص‌های تحویل آب در شرایط موجود انتخاب، و هریک از کرت‌های تحت پوشش به ترتیب از محل تحویل آب به کانال تا کرت انتهایی شماره‌گذاری شد. برخی کرت‌ها با لوله PVC و برخی دیگر از طریق شکاف (بره) یا بازشدگی‌هایی که توسط کشاورزان در پشته کانال ایجاد شده، بر اساس تجربیات شخصی توسط خود کشاورز و یا میراب‌های محلی از کانال آبگیری می‌نمودند. علاوه بر آبگیرها، سازه احداثی قابل توجه دیگری که در مسیر انهار وجود دارد، لوله‌های سیمانی به طول ۴ تا ۶ متر و به قطر تقریبی ۳۰۰ میلی‌متر است که به‌عنوان پل و با هدف ارتباط هر دو کرت مجاور با جاده دسترسی، در مسیر کانال قرار داده شده است. طرح شماتیک و تصویری از مسیر کانال و انواع آبگیرهای آن در شکل (۲- ب) نشان داده شد.در این پژوهش، برای ارزیابی سیستم تحویل آب از شاخص‌های کمی، بدون بعد و دارای مقادیر ایده‌آل عملکرد که توسط Molden and Gates (1990) ارائه شده‌اند، به شرح ذیل استفاده شده است:

کفایت تحویل: معیاری است برای ارزیابی اینکه تا چه حد آب تحویل داده شده برای تامین نیاز گیاه کافی بوده است.

$$MPA = \frac{1}{n}\sum_n (PA) \rightarrow \begin{cases} V_d \geq V_r \rightarrow PA = 1 \\ V_d < V_r \rightarrow PA = \frac{V_d}{V_r} \end{cases} \quad (1)$$

راندمان تحویل: معیاری برای ارزیابی میزان

حفظ منابع آبی است و نشان می دهد که تحویل آب مازاد بر مصرف وجود دارد یا خیر.

$$MPF = \frac{1}{n}\sum_n (PF) \rightarrow \begin{cases} V_d > V_r \rightarrow PF = \frac{V_r}{V_d} \\ V_d \leq V_r \rightarrow PF = 1 \end{cases} \quad (2)$$

پایداری (اعتمادپذیری) تحویل: شاخص ارزیابی حفظ یکنواختی نسبت مقدار آب تحویلی به مقدار آب موردنیاز در طول دوره تحویل است.

$$MPD = \frac{1}{N}\sum_N CV_T\left(\frac{V_d}{V_r}\right) \quad (3)$$

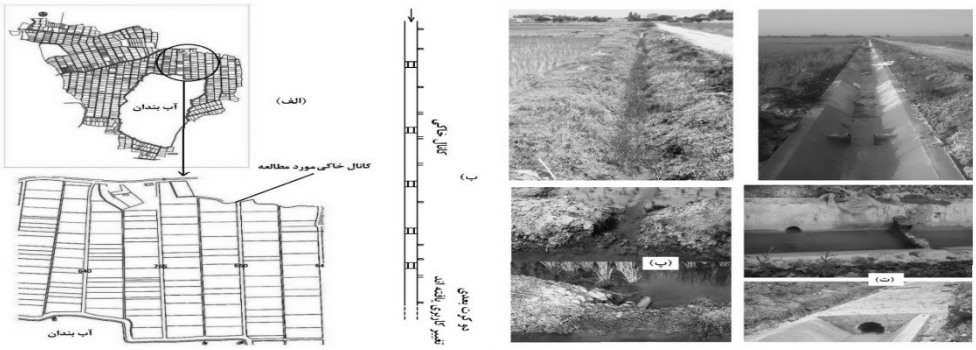
عدالت تحویل : شاخص ارزیابی میزان عادلانه بودن توزیع آب بین کرت‌های زراعی است.

$$MPE = \frac{1}{T}\sum_T CV_N\left(\frac{V_d}{V_r}\right) \quad (4)$$

در روابط فوق V_d جریان واقعی تحویلی به هر آبگیر و V_r جریان مورد نیاز است. پارامتر N تعداد نقاط آبگیری و T تعداد گام‌های زمانی مناسب در یک دوره تحویل است. و نهایتا CV_T نیز ضریب تغییرات زمانی نسبت $\left(\frac{V_d}{V_r}\right)$ و CV_N ضریب تغییرات مکانی نسبت $\left(\frac{V_d}{V_r}\right)$ می باشد.

تغییر رقوم بستر کانال نسبت به کرت در طی زمان نظیر آنچه در پژوهش (یزدانی و همکاران، ۱۳۸۳) نیز به آن اشاره شده است و شرایط نامناسب بهره‌برداری و نگه‌داری از کانال‌های خاکی که با اثرات اقلیمی منطقه تشدید می‌شودد، موجب شده بخش عمده ای از طول کانال نتواند در تحویل آب مشارکت نماید و سه کرت انتهایی در سراسر فصل آبیاری هیچ آبی از سیستم توزیع دریافت نکند. لذا در محاسبات شاخص‌های تحویل آب، به‌جز کفایت، به آنها ترتیب اثر داده نشده است.

مقدار ایده‌آل شاخص‌های کفایت و راندمان تحویل برابر با یک، و برای شاخص‌های عدالت و اعتمادپذیری، صفر است. اما Molden and Gates (1990) دامنه‌ای را برای هریک از مقدار شاخص‌های ارزیابی، به عنوان مبنای طبقه بندی عملکرد سیستم تحویل آب، درسه طبقه خوب، متوسط و ضعیف، ارائه نمودند که در جدول ۱ آمده است.



شکل۲- طرح تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری روستای اسماعیل‌کلا : الف) محدوده و مسیر کانال مورد مطالعه در آن، ب) طرح شماتیک مسیر کانال و سازه های آن، پ) کانال در وضعیت خاکی و شرایط آبگیری از آن، ت)کانال و سازه‌ها پس پوشش بتنی و اصلاح شرایط آبگیر

جدول ۱- استانداردهای ارزیابی برای شاخص‌های تحویل آب (Molden and Gates ,1990)

شاخص ارزیابی	طبقه‌بندی عملکرد		
	خوب	متوسط	ضعیف
کفایت (MPA)	۰/۹۰ – ۱/۰۰	۰/۸۰ – ۰/۸۹	<۰/۸۰
راندمان (MPF)	۰/۸۵ – ۱/۰۰	۰/۷۰ – ۰/۸۴	<۰/۷۰
عدالت (MPE)	۰/۰۰ – ۰/۱۰	۰/۱۱ – ۰/۲۵	<۰/۲۵
اعتمادپذیری (MPD)	۰/۰۰ – ۰/۱۰	۰/۱۱ – ۰/۲۵	<۰/۲۵

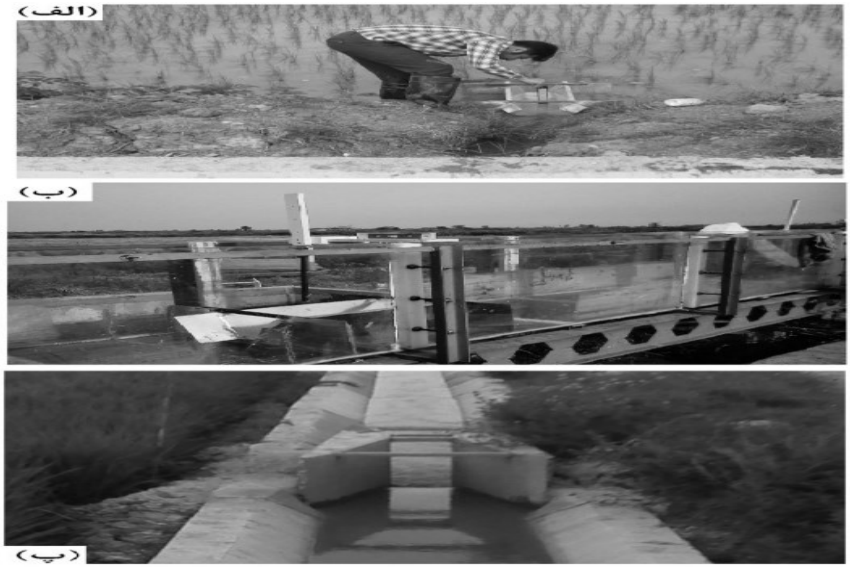
برای اندازه‌گیری روزانه میزان جریان تحویلی به آبگیرهای کانال در فصل آبیاری برنج (از زمان نشا در کرت‌های شالیزاری تا زمان خشک کردن اراضی برای برداشت محصول)، تعدادی فلوم گلوبلند و قابل حمل و

نقل RBC (Replogle, Bos, Clemmens) ۱۰۰ میلیمتر بر اساس ابعاد (Clemmens et al., 1984) ساخته شد و پیش از آغاز مراحل اندازه‌گیری، منحنی کالیبراسیون هریک از فلوم‌ها در کانال مستطیلی آزمایشگاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (به ابعاد ۰/۶ × ۰/۷ × ۱۱ متر) تهیه شد (شکل ۳- الف و ب).برای اندازه‌گیری جریان ورودی به کانال و کنترل صحت اندازه‌گیری‌ها $\left(\sum Q_{Plots} < Q_{canal}\right)$، یک دستگاه پارشال فلوم ۹ اینچ ساخت شرکت سیماب الکترونیک به طول و عرض ۱۹۵و ۸۰ سانتی متر مطابق شکل(۳- پ) در محل ورودی کانال نصب و به روش حجمی، منحنی کالیبراسیون و رابطه و جدول دبی- اشل ارائه شده از سوی شرکت تولیدکننده، کنترل و تایید شد.

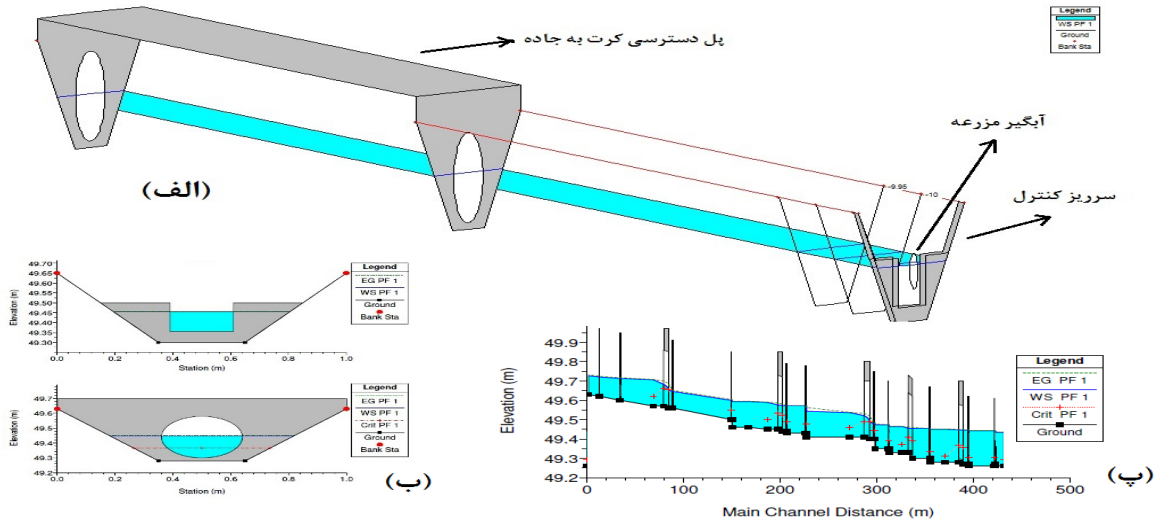
مقدار نیاز آبی کرت‌ها با رعایت تقویم کشت و کار هر کرت و با فواصل زمانی ده روزه از آغاز تا پایان فصل آبیاری، با نرم‌افزار Cropwat 8.0 و براساس داده‌های هواشناسی ساری (نزدیک‌ترین ایستگاه)، محاسبه شد. مقدار بارش مؤثر، با روش بارندگی قابل اطمینان به‌دست آمد و نهایتا نیاز ناخالص آبیاری، با لحاظ راندمان کاربرد آب ۶۵٪ برای کرت‌های تجهیز و نوسازی شده، براساس پژوهش‌های جلالی و همکاران (۱۳۸۷) و باباپور و همکاران (۱۳۹۱)، محاسبه شد.

بعد از ارزیابی شرایط موجود تحویل آب، ابتدا کانال پوشش بتنی شده، سپس با نقشه‌برداری مسیر، پروفیل کانال تهیه شد. نهایتا با رعایت ابعاد، ظرفیت، شیب و رقوم ارتفاعی نسبت به کرت مجاور، و با درنظر گرفتن یک لوله PVC به قطر ۱۱۰ میلی‌متر برای آبگیری هر کرت، کانال و سازه‌های آن مطابق شکل‌های۴- الف تا ۴- پ در نرم‌افزار HEC-RAS شبیه‌سازی شد. در این مدل، در حالت جریان ماندگار، نیم‌رخ سطح آب با روش گام به گام استاندارد محاسبه شده و با کمک آن، سرعت، شیب انرژی، عمق و سایر

پارامترها در هریک از مقاطع عرضی به‌دست آمده است (Brunner, 2001). در نهایت تاثیر تغییر قطر آبگیرها متناسب با نیاز آب کرت‌ها و افزودن بند کنترل به سیستم بر شاخص‌های عملکرد ارزیابی شده تا سناریوی آبگیری مناسب بهره‌برداری سیستم تحویل آب تعریف شود.



شکل۳- پایش و اندازه‌گیری در کانال: الف) استفاده از فلوم RBC برای جریان تحویلی به کرت‌ها، ب) کالیبراسیون فلوم RBC، پ) استفاده از پارشال فلوم برای اندازه‌گیری جریان تحویلی به کانال



شکل ۴- شبیه‌سازی کانال در محیط نرم افزار HEC-RAS: الف) بخشی از مسیر کانال، شامل؛ پل دسترسی به جاده بین کرت‌های نهم و دهم، آبگیر مزرعه و سریز کنترل کرت دهم، ب) مقطع عرضی کانال

پس از استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی جریان، مدل موردنظر برای کانال مورد مطالعه واسنجی شد تا اعتبار مدل به اثبات برسد. در این پژوهش، از روش ارائه شده توسط کمیته مدل‌های هیدرولیکی کانال‌های آبیاری انجمن مهندسان عمران آمریکا (ASCE,۱۹۹۳) استفاده شد. لذا دو سری داده اندازه‌گیری جریان برای آبگیرها تهیه شد. از سری اول داده‌ها در واسنجی و سری دوم برای تایید اعتبار مدل استفاده شد. در گام اول، جهت واسنجی، پس از ارائه خصوصیات هندسی کانال به مدل، با تعریف شرایط سری اول داده‌های جریان در بالادست و پایین‌دست، مدل اجرا و نتایج به‌دست آمده (دبی برآورد شده برای هر آبگیر) با نتایج اندازه‌گیری شده مقایسه شد. پس از این مرحله، دو پارامتر ورودی نظیر ضریب زبری و ضریب افت آبگیرها که معمولا امکان تخمین دقیق آن وجود ندارد، تا جایی تغییر داده شد که اختلاف بین رقوم اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده با مدل حداقل شود. در گام بعدی و در اعتبارسنجی مدل، با استفاده از سری دوم داده‌ها و ثابت نگه داشتن پارامترهای واسنجی، مدل اجرا و نتایج آن با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شد تا اگر در این مرحله تفاوت مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده قابل چشم‌پوشی بود اعتبار مدل برای شبیه‌سازی جریان در کانال تایید شود.

برای مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده با مشاهداتی بر اساس پیشنهاد (Jabro et al., 1998) از پارامترهای آماری خطای ماکزیمم[1] خطای جذر میانگین مربعات[2]، راندمان یا کارآیی مدل[3]، ضریب خطای پسماند و میانگین خ ای مطلق ، به شرح روابط ذیل استفاده شد.

[1] Maximum Erorr(ME)
[2] Root Mean Square Error (RMSE)
[3] Efficiency (EF)
[4] Coefficient of Residual Mass (CRM)
[5] Mean Absolute Error (MAE)

$$ME = \max|M_i - S_i|_{i=1}^{n} \quad (۵)$$

$$RMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}(M_i - S_i)^2}}{M} \quad (۶)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(M_i - M)^2 - \sum_{i=1}^{n}(M_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(M_i - M)^2} \quad (۷)$$

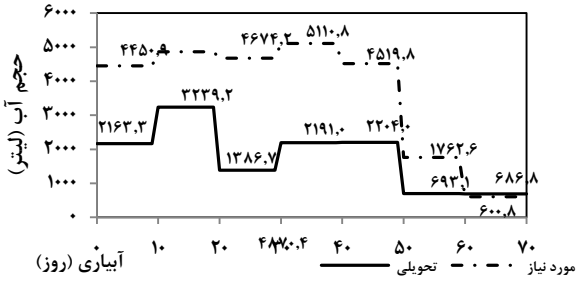
$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n}M_i - \sum_{i=1}^{n}S_i}{\sum_{i=1}^{n}M_i} \quad (۸)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|M_i - S_i| \quad (۹)$$

در روابط فوق S_i مقادیر شبیه‌سازی شده و M_i و M به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده هستند. به جز شاخص کارآیی مدل که مقدار مطلوب آن یک است، مقدار بهینه بقیه شاخص ها، صفر است.

نتایج و بحث

تحلیل وضع موجود: مجموع حجم آب تحویلی کانال خاکی به آبگیرهای کرت‌های تحت پوشش و میزان آب مورد نیاز در فصل آبیاری برنج (از زمان نشا تا خشک نمودن اراضی برای برداشت) در سال ۹۴ در شکل۵ نشان داده شده است. نسبت جریان تحویلی به هر کرت به مقدار مورد نیاز در دهه‌های مختلف نیز در جدول۲ نشان داده شده است.



شکل ۵- مجموع جریان مورد نیاز و تحویلی کانال خاکی به کرت‌های تحت پوشش در فصل آبیاری ۱۳۹۴

جدول۲- نسبت حجم آب تحویلی به مورد نیاز در کانال خاکی

دوره آبگیر	دهه اول	دهه دوم	دهه سوم	دهه چهارم	دهه پنجم	دهه ششم	دهه هفتم
۱	۱/۶۶	۲/۵۸	۰/۹۰	۱/۹۰	۲/۰۸	۱/۱۷	۳/۶۴
۲	۱/۴۱	۱/۵۷	۰/۶۰	۰/۹۰	۱/۰۶	۱/۵۱	۰/۶۴
۳	۰/۱۸	۰/۶۸	۰/۸۲	۰/۶۷	۰/۷۰	۱/۵۴	
۴	۰/۴۲	۱/۴۱	۰/۱۴	۰/۴۴	۰/۵۳	۰/۲۶	
۵	۱/۰۱	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۴۴	۰/۲۱	۰/۰۰	۰/۴۹
۶	۰/۲۰	۰/۲۹	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۰۰
۷	۰/۵۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
۸	۰/۵۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
۱۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	

براساس روابط (۱) تا (۳) مقادیر کفایت، راندمان و پایداری تحویل آب برای هر کرت شالیزاری محاسبه شده و متوسط آن نیز به عنوان شاخص کانال در جدول۳ آمده است. شاخص عدالت تحویل نیز در طی شش دهه آبیاری طبق رابطه (۴) محاسبه شده و در جدول۴ آمده است.

جدول۳- شاخص های کفایت، راندمان و پایداری در شرایط موجود تحویل آب

شماره آبگیر	کفایت	راندمان	پایداری
۱	۰/۹۹	۰/۵۹	۰/۴۳
۲	۰/۸۸	۰/۸۵	۰/۳۴
۳	۰/۶۸	۰/۹۴	۰/۵۲
۴	۰/۴۷	۰/۹۵	۰/۷۸
۵	۰/۴۲	۱/۰۰	۰/۶۹
۶	۰/۱۴	۱/۰۰	۰/۶۶
۷	۰/۰۹	۱/۰۰	۲/۲۴
۸	۰/۰۹	۱/۰۰	۲/۲۴
۹	۰/۰۰	-	-
۱۰	۰/۰۰	-	-
۱۱	۰/۰۰	-	-
شاخص کانال	**۰/۳۵**	**۰/۹۲**	**۰/۹۸**

جدول۴- شاخص عدالت تحویل در شرایط موجود تحویل آب

دهه اول	دهه دوم	دهه سوم	دهه چهارم	دهه پنجم	دهه ششم	دهه هفتم	شاخص کانال
۱/۰۲	۱/۱۹	۱/۱۵	۱/۳۱	۱/۳۵	۱/۳۴	۰/۹۱	**۱/۱۸**

ارزیابی شاخص‌های کانال نشان داد؛ شاخص‌های کفایت، عدالت و پایداری تحویل بسیار پایین‌تر از استانداردهای تعریف شده در جدول۱ بود. تنها شاخص راندمان در کانال در حد "خوب" بوده که این وضعیت هم با توجه به کفایت تحویل، بیش از آن که مرهون استفاده کارآمد از آب باشد، به دلیل نرسیدن یا کمبود آب تحویلی در آبگیرهای انتهایی است. در سطح مزرعه نیز نتایج نشان داد؛ شاخص‌های ارزیابی به‌جز راندمان، با دور شدن از ابتدای کانال مطلوب نبودند و شاخص راندمان نیز در آبگیرهای اول شرایط مناسبی نداشت. تنها کفایت کرت‌های اول و دوم خوب بوده و افت شدید این شاخص پس از دو کرت اول با توجه به راندمان پایین تحویل آب به کرت اول، نشان داد بخش عمده آب تحویلی به کانال یا صرفا وارد کرت‌های اولیه شده و یا در مسیر به‌صورت نشت و نفوذ تلف شد. چنان‌که کرت‌های انتهایی کلا اتکایی به دریافت آب از کانال نداشت. در میان کرت‌ها، آبگیر کرت دوم با توجه به نزدیکی به ورودی کانال و مدیریت بهتر از نظر شاخص‌های توزیع در شرایط نسبتا مطلوبی بود.روند تغییرات شاخص‌های پایداری و عدالت نشان داد؛ علاوه

بر پایین‌بودن یکنواختی زمانی و مکانی تحویل آب در کانال طرح، با دور شدن از ابتدای کانال، پایداری تحویل آب نیز در کرت‌های انتهایی در ادامه فصل کشت و کار کاهش می‌یابد. از آن‌جایی‌که تا کنون در خصوص تحویل آب کانال‌های مزرعه به آبگیر کرت‌های شالیزاری مطالعات چندانی برمبنای شاخص‌های کمی صورت نگرفته است، در مقایسه با پژوهش‌های انجام شده در زمینه عملکرد تحویل آب کانال‌های فرعی خاکی، نتایج حاصل با مطالعات (Korkmaz et al., 2009) که در آن شاخص‌های تحویل آب در کانال‌های خاکی درجه سه در یک ارزیابی سه ساله ضعیف گزارش شده و تنها راندمان در در یک سال در حد متوسط بود، مشابهت دارد. همچنین نتایج پژوهش (Tongongar et al., 2008) هم حاکی از راندمان بالا، کفایت متوسط و عدالت و پایداری ضعیف در تحویل آب توسط چهار کانال خاکی درجه سه مورد مطالعه بوده است که مسلما نوسانات جریان تحویلی آنها باید به مراتب کمتر از کانال‌های مزرعه باشد. حتی با توجه نتایج پژوهش (Vandersypen et al., 2006) صرف اقدامات مدیریتی بدون اصلاحات ساختاری علی‌رغم بهبود نسبی وضعیت شاخص کفایت، نتوانست در ارتقای عدالت و پایداری سیستم تاثیر چندانی داشته باشد و از این جهت نتایج پژوهش حاضر نیز که در کانال نزدیک به آب‌بندان انجام شده که کمترین مشکلات تامین آب را در مقایسه با بقیه اراضی طرح دارد، نیز بر ضرورت اصلاحا ساختاری تاکید دارد. اندک تحقیقات انجام شده در کشور نظیر (یزدانی و ملایی،۱۳۸۲) نیز نشان داده وضع موجود اجرای طرح تجهیز و نوسازی در بخش عمده‌ای از اراضی شالیزاری باعث توسعه مکانیزاسیون و کاهش تلفات انتقال نهاده‌ها و محصول شده، اما توفیقی اندک در مدیریت توزیع آب داشته است، که یافته پژوهش حاضر نیز با این نتیجه مطابقت دارد.

بررسی راهکارهای بهبود عملکرد: در ادامه، پس از پوشش بتنی کانال، با فرض برقراری همان مقادیر نیاز آبی و در نظر گرفتن سه نوبت آبیاری در هر یک از پنج دهه اول حسب شرایط متعارف توزیع آب موجود در منطقه، و دو نوبت در دهه ششم آبیاری با توجه به کاهش نیاز آبی، هیدرولیک جریان در کانال برای سه گزینه آبگیرهای با قطر یکسان که در کانال‌های بتنی در شرایط فعلی متداول است، آبگیرهای با قطر متغیر، و آبگیرهای با قطر متغیر همراه با بند سرریز برای کنترل جریان، در نرم افزار HEC-RAS شبیه‌سازی و مقدار جریان تحویلی به هر کرت برآورد گردید. نهایتا شاخص‌های نسبی عملکرد بر اساس روابط (۱) تا (۴) محاسبه و نتایج به دست آمده برای هر کرت و کانال در جدول ۵ نشان داده شده است. شکل‌های ۵ تا ۷ نیز به ترتیب مقایسه شاخص‌های کفایت، راندمان و عدالت توزیع آب را در دهه‌های مختلف نشان می‌دهد.

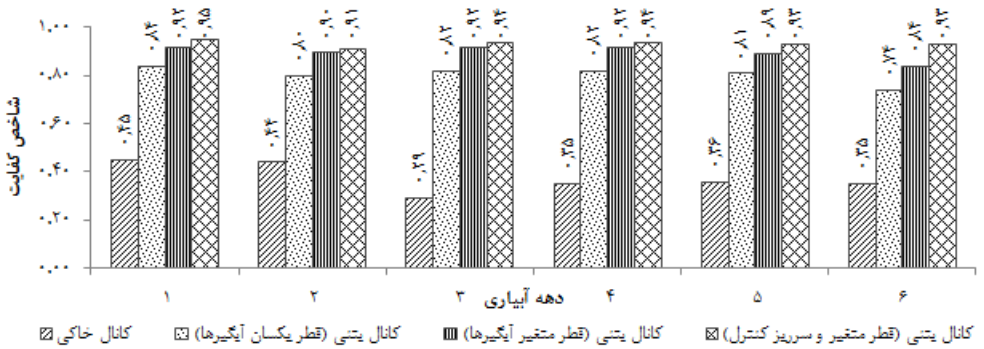
اما برای رسیدن به شرایط مطلوب لازم است با توجه به ابعاد کرت، رقم و تقویم کشت و در نتیجه، نیاز آبی، ابعاد دهانه آبگیرها تغییر یابد که در این صورت با توجه به جدول۱ از وضعیت خوب (راندمان) و متوسط(کفایت) و ضعیف (عدالت و پایداری) به شرایط خوب (کفایت و راندمان) و متوسط (پایداری) و ضعیف (عدالت) خواهد رسید. در صورتی‌که برای کرت‌های نیمه انتهایی کانال که پس از آبگیری کرت‌های اولیه با افت هد مواجه می‌شوند از بند سرریز برای کنترل و تنظیم جریان استفاده شود (اقدامی که ایده اولیه آن از تجربیات خود کشاورزان و بندهایی که به شکل‌های مختلف در مسیر جریان ایجاد می‌کنند گرفته شده است (شکل۸- الف و ب))، شاخص‌های توزیع به وضعیت خوب (کفایت و راندمان) و متوسط (پایداری و عدالت) ارتقا خواهد یافت. با توجه به تغییرات شاخص عدالت در شکل۷، در مواقعی‌که نیاز آبی کاهش یابد (نظیر دهه ششم) یا در سال‌های خشکسالی که سیستم با کمبود آب مواجه می‌شود و در نتیجه آب کمتری در کانال جریان دارد، نقش استفاده از این سازه‌های کنترل برجسته‌تر است. از سوی دیگر با توجه به شاخص راندمان کلی کانال، برای تامین حداکثرکفایت در کانال بدون سازه کنترل، صرف‌نظر از افت جریان، به‌طور متوسط باید ۱۱ تا ۱۴ درصد آب بیش از نیاز وارد کانال‌ها نمود. لذا سازه‌های کنترل

علاوه بر استفاده موثر از آب در صرفه‌جویی در مصرف آب نیز نقش قابل توجهی دارند.

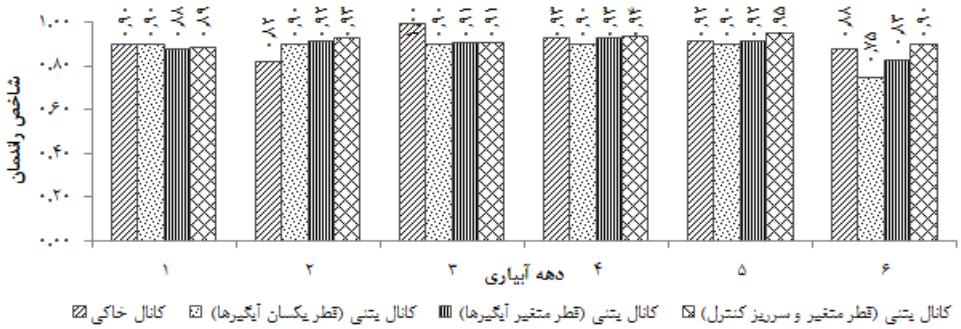
جدول ۵- شاخص توزیع آب در شرایط مختلف پس از شبیه سازی جریان در کانال در مدل HEC-RAS

شماره آبگیر	آبگیرهای با قطر یکسان			آبگیرهای با قطر متغیر			آبگیرهای با قطر متغیر و سرریز کنترل		
	پایداری	راندمان	کفایت	پایداری	راندمان	کفایت	پایداری	راندمان	کفایت
۱	۰/۱۸	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۱۰	۰/۸۵	۰/۹۹	۰/۱۹	۰/۹۶	۰/۹۱
۲	۰/۱۰	۰/۴۱	۱/۰۰	۰/۰۴	۰/۶۹	۱/۰۰	۰/۰۴	۰/۷۷	۱/۰۰
۳	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۳۴	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۲۷	۰/۹۴	۰/۸۷
۴	۰/۲۹	۰/۸۶	۰/۹۸	۰/۲۰	۰/۷۴	۱/۰۰	۰/۱۳	۰/۸۰	۱/۰۰
۵	۰/۰۴	۰/۷۰	۱/۰۰	۰/۰۵	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۰۴	۱/۰۰	۰/۸۹
۶	۰/۱۳	۰/۹۹	۰/۸۲	۰/۳۶	۰/۹۳	۰/۸۷	۰/۰۶	۰/۹۲	۱/۰۰
۷	۰/۴۸	۱/۰۰	۰/۵۲	۰/۳۱	۰/۹۶	۰/۸۲	۰/۲۳	۰/۹۲	۰/۹۱
۸	۰/۲۹	۱/۰۰	۰/۷۲	۰/۲۹	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۱۶	۰/۸۹	۰/۹۷
۹	۰/۱۵	۱/۰۰	۰/۶۹	۰/۱۳	۱/۰۰	۰/۶۴	۰/۱۰	۰/۹۸	۰/۸۹
۱۰	۰/۲۹	۱/۰۰	۰/۴۵	۰/۱۳	۱/۰۰	۰/۷۷	۰/۱۶	۰/۹۴	۰/۹۴
۱۱	۰/۷۸	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۱۹	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۱۶	۰/۹۸	۰/۸۶
شاخص کانال	**۰/۳۳**	**۰/۸۷**	**۰/۸۱**	**۰/۱۹**	**۰/۹۰**	**۰/۹۰**	**۰/۱۴**	**۰/۹۲**	**۰/۹۳**
عدالت تحویل		**۰/۶۱**			**۰/۳۰**			**۰/۱۸**	
راندمان انتقال *		**۸۹/۰**			**۸۵/۹**			**۹۹/۷**	

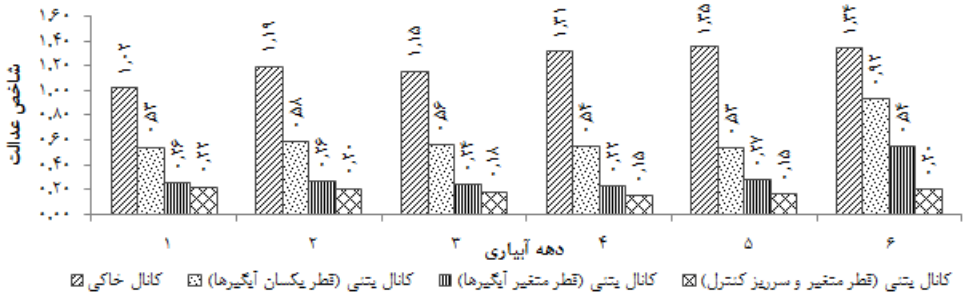
*** منظور از راندمان انتقال کانال نسبت آب تحویلی به مجموع آب توزیع شده بدون در نظر گرفتن افت هیدرولیکی مسیر است .**



شکل ۵- مقایسه شاخص کفایت تحویل آب در دهه های آبیاری بین گزینه‌های مختلف بهره‌برداری



شکل ۶- مقایسه شاخص راندمان تحویل آب در دهه های آبیاری بین گزینه‌های مختلف بهره‌برداری

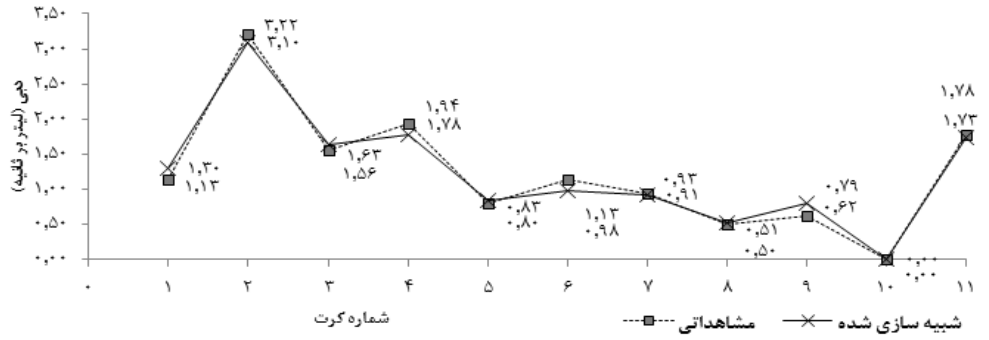


شکل ۷- مقایسه شاخص عدالت توزیع آب در دهه های آبیاری بین گزینه‌های مختلف بهره‌برداری

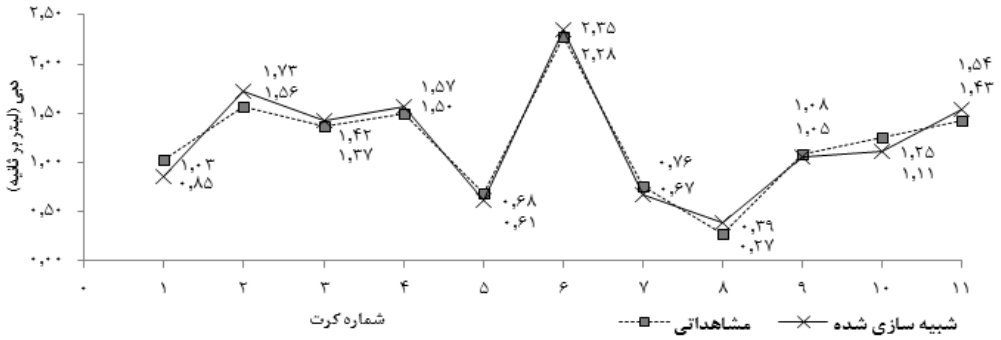
شکل ۸- مقایسه ساختار آبگیری و کنترل در ساختار فعلی (سمت چپ) و بهبود یافته (سمت راست): الف) لوله‌های آبگیر ورودی کرت، ب) کنترل سنتی آب در کانال و ایجاد بند سرریز کنترل در بهبود سیستم

واسنجی و اعتبارسنجی

مدل: با توجه به محدودیت‌های به وجود آمده در مراحل پوشش کانال و تلاقی آن با دهه‌های اول فصل آبیاری سال ۱۳۹۵، از داده‌های اندازه‌گیری جریان در دهه‌های سوم و چهارم آبیاری برای صحت‌سنجی و اعتبارسنجی مدل در شرایط کانال بتنی با آبگیرهای دارای قطر یکسان و داده‌های دهه‌های پنجم و ششم برای صحت‌سنجی و اعتبارسنجی مدل در کانال بتنی با آبگیرهای دارای قطرهای متفاوت و سرریزهای کنترل استفاده شد. در جدول ۶ نتایج صحت سنجی و اعتبارسنجی با استفاده از محاسبه شاخص‌های خطا بر اساس روابط ۵ تا ۹ آمده است. با توجه به مقادیر بهینه تعریف شده برای شاخص‌های آماری خطا، نتایج نشان داد؛ استفاده از مدل HEC-RAS از اعتبار کافی برای شبیه‌سازی جریان در کانال‌های آبرسان بتنی بین مزارع شالیزاری تجهیز و نوسازی شده برخوردار است در شکل‌های ۹ و ۱۰ مقایسه دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده کانال در روزهای چهارم و بیست و یکم تیرماه به‌عنوان نمونه‌ای از هریک دو شرایط مذکور نشان داده شده است.



شکل ۹ - دبی مشاهداتی و شبیه سازی شده تحویلی به کرت ها در روز چهارم تیرماه ۱۳۹۵



شکل ۱۰ – دبی مشاهداتی و شبیه سازی شده تحویلی به کرت ها در روز بیست و یکم تیرماه ۱۳۹۵

جدول۶- واسنجی و اعتبار سنجی مدل HEC-RAS بر اساس شاخص‌های آماری (Jabro et al., 1998)

شرایط کانال	نوع آزمون	شاخص‌های آماری				
		ME	MAE	CRM	EF	RMSE
کانال بتنی با آبگیرهای لوله‌ای دارای قطر یکسان	**واسنجی**	۰/۱۶	۰/۰۸	-۰/۰۰۱۴	۱/۰۰	۰/۰۰۷
	اعتبارسنجی	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۰۰۵۷	۱/۰۱	۰/۰۰۸
کانال بتنی با آبگیرهای دارای قطرهای متفاوت و بند سرریزهای کنترل	**واسنجی**	۰/۱۵	۰/۰۷	-۰/۰۰۰۷	۱/۲۸	۰/۰۰۶
	اعتبارسنجی	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۰۲۹	۱/۰۳	۰/۰۰۶

نتیجه‌گیری

در این پژوهش وضع موجود و راهکارهای بهبود ساختار فنی آبگیری و تحویل آب به کرت‌های شالی‌زاری پس از اجرای طرح تجهیز و نوسازی اراضی مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی کمی شرایط موجود سیستم تحویل آب کانال‌های خاکی نشان داد، شرایط نامناسب آبگیری و بهره‌برداری و نگه‌داری از کانال‌های خاکی است که تحت تاثیر وضعیت اقلیمی منطقه تشدید شده است، موجب شده بخش عمده‌ای از طول کانال نتواند در تحویل آب مشارکت نماید و تمامی شاخص‌های توزیع به‌جز راندمان با شرایط مطلوب و حتی متوسط فاصله زیادی داشته و در طبقه ضعیف قرار می‌گیرند. بالا بودن شاخص راندمان هم بیش از آن که نتیجه توزیع به اندازه آب باشد، ناشی از عدم تحویل آب در بخش عمده ای از فصل آبیاری به کرت‌های نیمه انتهایی کانال است. بنابراین، لازم است بازنگری در شرایط بهره‌برداری و ساختار سازه‌ای سیستم آبگیری کانال‌های طرح اصلاحاتی انجام شود.

بررسی راهکارهای بهبود عملکرد سیستم با استفاده از مدل هیدرودینامیک HEC-RAS که صحت و اعتبار نتایج آن برای شبیه‌سازی جریان در کانال‌های مزرعه طرح تجهیز و نوسازی اراضی بر اساس شاخص‌های خطا مورد تایید قرار گرفت، نشان داد؛ تامین آب کافی در حد نیاز سیستم و پوشش بتنی کانال‌ها موجب ارتقای بیش از دو برابری شاخص‌های تحویل آب خواهد شد. اما برای رسیدن به مقادیر مطلوب شاخص‌های ارزیابی، پس از پوشش بتنی انهار، ساختار آبگیری و کنترل جریان در کانال‌ها نیز باید به لحاظ سازه‌ای اصلاح شود. لذا با توجه به مساحت متفاوت مالکیت‌ها و به تبع آن تغییر نیاز آبی آنها لازم است از آبگیرهای لوله‌ای با قطر متغیر استفاده شود. استفاده از سرریزهای کنترل جریان نیز در ارتقای راندمان کانال و بهبود هرچه بیشتر شاخص‌های توزیع بویژه در کرت‌های انتهایی و توزیع عادلانه در شرایط کم آبی یا مراحلی از رشد که نیاز آبی کمتر بوده و در نتیجه مقدار جریان کمتر از دامنه حجم متداول است، تاثیر بسزایی دارد.

پیشنهاد می‌شود اولا فرآیند این پژوهش در دو استان برنج‌خیز کشور و در کل شبکه آبیاری پروژه‌های متعدد تجهیز و نوسازی اجراشده در اراضی شالی‌زاری، به‌ویژه آنهایی که با مشکل تامین آب نیز مواجه‌اند، تکرار شود، تا اثرات مسائل تامین آب بر شاخص‌های تحویل، و نقش ساختار آبگیری و کنترل تعریف شده در این پژوهش، در حفظ پایداری تحویل در این شرایط هم ارزیابی شود. در ثانی، با توجه به شرایط نامناسب بهره‌برداری از کانال‌های خاکی، امکان جایگزینی شبکه کانال‌های موجود با کانال‌های پیش‌ساخته با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی یا طرح‌های پایلوت میدانی مورد بررسی قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

در پایان مولفان این اثر از حمایت های بی شائبه سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان جویبار و همکاری مجدانه شورای اسلامی روستای اسماعیل‌کلا و همکاری آقای مهندس پیمان کاظمی در مراحل اندازه‌گیری میدانی کمال تشکر را دارند.

منابع

باباپور گل‌افشانی، م.، ع. شاهنظری، م. خ. ضیاتبار احمدی و ق. آقاجانی. ۱۳۹۱. مقایسه پارامترهای بیلان آبی در اراضی شالیزاری سنتی و تسطیح شده شهرستان قائم‌شهر، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۶ (۴)، ۱۰۱۷-۱۰۱۰.

جعفری، هـ و ا. احمدنژاد. ۱۳۸۹. بررسی هیدرولیکی کانال اصلی شبکه آبیاری و زهکشی مغان با به کارگیری مدلHEC-RAS . سومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.

جلالی کوتنایی، ن.، ع. ع. ناصری، و ج. سلحشور. ۱۳۸۷. برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی برنج (مطالعه موردی واریته طارم) توسط لایسی‌متر نوع N (N-Type) در شهرستان محمود آباد استان مازندران، دومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، اهواز، دانشگاه چمران، ۷-۱.

سازمان برنامه و بودجه کشور. ۱۳۸۷. مبانی و ضوابط طراحی، تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری (جلد اول: کلیات، تعاریف و مفاهیم پایه)، نشریه شماره ۱-۴۷۱، ۳۶ ص.

سلحشور دلیوند، ف.، ناظمی، ا. ح. و یزدانی، م. ر. ۱۳۸۸. بهبود مدیریت توزیع آب در اراضی شالیزاری. مجموعه مقالات دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی، تهران، ص ۳۳۴-۳۱۹.

شاهرخ‌نیا، م. ع.، جوان، م. و ع. کشاورزی. ۱۳۸۷. کاربرد مدل‌های HEC-RAS و MIKE-11 در شبیه‌سازی جریان در کانال‌های آبیاری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، دوره نهم، شماره اول، ص ۴۹-۶۲

صفوی، م.، امیری تکلدانی، ا.، منعم، م. ج. و ع. پرورش ریزی. ۱۳۹۳. بررسی عملکرد و پیشنهاد مناسب‌ترین سازه‌های کنترل در کانال های آبیاری با مدل هیدرودینامیک CANALMAN. مجله پژوهش آب ایران، ۸ (۱۴)، ۱۵۴-۱۴۷.

عابدینی، س.، فتوحی، ح. و م. ک. معتمد. ۱۳۸۹. تجهیز و نوسازی شالیزارها گامی موثردر مسیر کشت مکانیزه و استفاده هدفمند از آب. اولین همایش ملی مکانیزاسیون و فناوری‌های نوین در کشاورزی، اهواز.

منتظر، ع. ا. و ن. پاشازاده. ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد توزیع آب در شرایط مختلف بهره برداری کانال اصلی غرب شبکه آبیاری دز با استفاده از مدل هیدرولیکی CANALMAN. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره۱، ص ۱۳۹-۱۲۵.

مومنی، ب.، عظیمی، ر.، و مسعودیان، م. و الف. صاعدی.۱۳۹۳. ارزیابی میدانی مسائل و مشکلات طرح‌های تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری. شانزدهمین همایش برنج کشور، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، مازندران- ساری.

یزدانی، م. ر.، پارسی نژاد، م.، رضوی پور، ت.، علیزاده، م. ر.، نحوی، م.، شریفی، م. م.، رضایی، م. و م. ملایی. ۱۳۸۳. ارزیابی طرح‌های تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری. مجموعه مقالات اولین کارگاه آموزشی مبانی طراحی در تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری، دانشگاه گیلان.

یزدانی، م. ر، و ا. ملایی. ۱۳۸۲. برخی پتانسیل‌های کاهش هزینه‌های تولید با اجرای عملیات زیربنایی. دهمین همایش سالیانه برنج کشور، گیلان.

Aly, A. M., Kitamura, Y., and K. Shimizu. 2013. Assessment of irrigation practices at the tertiary canal level in an improved system-a case study of Wasat area, the Nile Delta. Paddy and Water Environment, 11(1-4): 445-454.

ASCE Task Committee on Irrigation Canal System Hydraulic Modeling. 1993. Unsteady-Flow Modeling of Irrigation Canals. J. Irrig. Drain Eng. 119 (4): 615-630.

Brunner, G. W. 2001. HEC-RAS River Analysis System: User's Manual. US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center.

Clarke, D., Andrews, P., Messeth, E., Sala, R., and J. M., Deom. 2010. Analysis of the hydraulics of the irrigation canals of Otrar, Kazakhstan. Water Science and Technology: Water Supply, 10(3): 453-461.

Clemmens, A. J., Bos, M. G., and J. A. Reploge. 1984. Portable RBC flumes for furrows and earthen channels. Transactions of the ASAE, 27(4): 1016-1021.

Jabro, J. D., Toth, J. D. and R. H. Fox. 1998. Evaluation and comparison of five simulation models for estimating water drainage fluxes under corn.Journal of environmental quality, 27(6): 1376-1381.

Jensen, M., Tad, I., and J. DeVries. 2004. Using HEC-RAS to Model Canal Systems, Proceedings of Water Rights and Related Water Supply Issues, Water Management Conference, United States Committee on Irrigation and Drainage, Salt Lake City, Utah. US Army Corps of Engineers (USACE).

Korkmaz, N., Avci, M., Unal, H. B., Asik, S., and M. Gunduz. 2009. Evaluation of the water delivery performance of the Menemen left bank irrigation system using variables measured on-site. Journal of irrigation and drainage engineering, 135(5): 633-642.

Molden, D. J., and Gates T. K.1990. Performance measures for evaluation of irrigation-water-delivery systems. Journal of irrigation and drainage engineering, 116(6): 804-823.

Tongongar, B ., Kan, C ., and H. Chen. 2008. Can efficiency offset reliability in irrigation systems. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 3(2): 269-278.

Vandersypen, K., Bengaly, K., Keita, A. C., Sidibe, S., Raes, D., and J. Y. Jamin. 2006. Irrigation performance at tertiary level in the rice schemes of the Office du Niger (Mali): adequate water delivery through over-supply.Agricultural water management, 83(1): 144-152.

Improvement in performance of the water delivery through irrigation canals of paddy fields on the basis of flow simulation in *HEC-RAS*

Babak. Moumeni[1], Mohsen. Masoudian[2]

Abstract

Construction of minor irrigation and drainage canals networks is vital in the infrastructure Project of Paddy Fields Development and Renovation in the North of Iran as it leads to change the conventional plot-to-plot irrigation, achieve higher productivity from limited water resources and introduce the independent irrigation and drainage management in each farm. However, according to previous studies, a great number of farmers have major problems with the existing operation of irrigation and drainage canals. Therefore, in this study, water delivery criteria were first calculated for all the farm intakes on an earth canal in Esmaelkola village of Jooybar city during irrigation season of 2015, in order to compare the existing technical performance of the system with the quantitative, reliable and valid standards. Then, after lining the canal, required structural changes to improve the performance criteria of delivery system were evaluated by simulating several alternatives of water intake and control scenarios in *HEC-RAS* model. The results showed that all the delivery criteria except the efficiency have considerable deviation from optimal and even moderate ones (Adequacy = 0.35, Efficiency = 0.92, Dependability = 0.98, Equity =1.18). It is due to the poor operation and maintenance of earth canals of the distribution and intake systems of current basins. On the other hand, based on the simulation results, after lining the irrigation canals, if adequate amount of water supply is provided, when tubular intakes with variable diameter and flow control checks (weirs) are used,in addition to channel efficiency, there will be a noticeable increment in water delivery criteria especially in the last farms (Adequacy = 0.93, Efficiency = 0.92, Dependability = 0.14, Equity =0.18). The calibration and validation of the model in the cropping season of 2016 has confirmed the results of the simulation as well. Finally, construction of flow control checks (weirs) and tubular intakes, with suitable diameter depending on the water demand of the basins, is recommended for the future projects of lining canals in the current systems in addition to emphasize on studying the possibility of other options for water conveyance to the farm, such as pre-fabricated canals.

Keywords: Evaluation Criteria, Hydrodynamic Model, Intake system, Land Development and Renovation, Rice.

[1] - Assistant Prof., Department of Agriculture, Payame Noor University, **(corresponding Author):** babak1172@gmail.com

[2] - Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources: mohsen_masoudian@yahoo.com