پژوهش و فناوری محیط زیست،۱۴۰۰ ۶(۹)، ۷۵-۸۷

پژوهش و فناوری محیط زیست

وبگاه نشریه: www.journal.eri.acecr.ir

پژوهشکده محیط زیست

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۳۰۶۰

مروری بر راندمان انتقال و توزیع آب در شبکه‌های آبیاری ایران و روش‌های برآورد آن

زینب سجوی[۱]*، سید مهدی هاشمی شاهدانی[۲]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد – علوم و مهندسی آب – دانشگاه تهران

۲- دانشیار- دانشکده مهندسی آب دانشگاه تهران- پردیس ابوریحان، تهران

چکیده

شبکه‌های آبیاری وظیفه توزیع و تحویل آب کشاورزی را به عهده دارند لذا بهبود عملکرد آن‌ها کاهش تلفات و افزایش راندمان توزیع آب را به همراه داشته و در نتیجه بهبود بهره‌وری آب را منجر می‌شود. بررسی عملکرد بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری به‌منظور انجام برنامه‌ریزی و بهبود شبکه‌ها و سامانه‌های آبیاری امری ضروری می‌باشد. اولین هدف از ارزیابی تعیین میزان تلفاتی است که در فرآیند توزیع و تحویل آب کشاورزی در شبکه کانال‌های آبیاری رخ می‌دهد. تلفات در سیستم‌های انتقال و توزیع آب کشاورزی به دو دلیل اصلی رخ می‌دهد: نشت و عملکرد نامناسب سازه‌های کانال که باعث ایجاد تلفات بهره‌برداری می‌شود. عوامل مختلفی از جمله رشد علف‌های هرز در کانال‌ها، تجمع رسوب در کانال‌ها، تجمع زباله در کانال‌ها، ترک‌خوردن پوشش کانال، خرد شدن یا جابه‌جایی قطعات بتن در کانال‌ها، تخریب به دلیل کیفیت نامناسب مصالح و عدم وجود دانش کافی بهره‌برداری در سطح کلان و خرد تصمیم‌گیران آب کشور سبب افزایش تلفات در سامانه‌های توزیع و تحویل کشاورزی هستند. عوامل تاثیر گذار در بهره‌برداری شبکه‌ها شامل انجام منظم فرایند نگهداری سالانه و نحوه عملکرد اپراتورهای مستقر در شبکه برای تنظیم به موقع و صحیح سازه‌های آبگیر به منظور جلوگیری از شرایط هیدرولیکی ناپایدار در کانال‌های اصلی و فرعی هستند که می‌توان با سرمایه‌گذاری لازم برای آموزش اپراتورها و تیم‌های مدیریتی و بهره‌برداری در شبکه‌های آبیاری، حجم قابل توجهی از تلفات بهره‌برداری را کاهش داد. در این مطالعه به بررسی و جمع‌بندی نتایج مطالعات انجام شده در رابطه با تعیین راندمان‌های انتقال و توزیع در شبکه‌های آبیاری پرداخته شده است.

کلید واژه‌ها: آبیاری، انتقال، تلفات، توزیع، کانال

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: z.sojoodi@ut.ac.ir

Journal of Environmental Research and Technology

journal homepage: www.journal.eri.acecr.ir

Environmental Research institute

Online ISSN: 3060-2676

Review of Water Conveyance and Distribution Efficiency in Irrigation Networks in Iran and its Estimation Methods

Zeynab Sojoodi[*1], Mehdi Hasheemi Shahedani[1]

1- M.Sc. Graduate - Water Science and Engineering - University of Tehran, Iran
2- Associate Professor - Faculty of Water Engineering, University of Tehran - Abu Reihan Campus, Tehran, Iran

Abstract

Irrigation networks are responsible for the distribution and delivery of agricultural water, so improving their performance reduces losses and increases the efficiency of water distribution, and thus leads to improved water efficiency. Investigating the operation of irrigation networks is essential for planning and improving irrigation networks and systems. The first purpose of the assessment is to determine the amount of losses that occur in the process of distribution and delivery of agricultural water in the network of irrigation canals. Losses in agricultural water conveyance and distribution systems occur for two main reasons: leakage and improper performance of canal structures that cause operating losses. Various factors such as weed growth in canals, accumulation of sediment in canals, accumulation of garbage in canals, cracking of canal cover, crushing or moving of concrete parts in canals, destruction due to poor quality of materials and lack of sufficient knowledge of total operation and the wisdom of the country's water decision-makers is increasing losses in agricultural distribution and delivery systems. Factors influencing the operation of networks include regular annual maintenance process and the operation of network operators to timely and correctly adjust the catchment structures to prevent unstable hydraulic conditions in the main and secondary channels, which can be invested in training operators and teams. Management and operation in irrigation networks significantly reduced the volume of operation losses. In this study, the results of studies on the determination of conveyance and distribution efficiencies in irrigation networks have been reviewed and summarized.

Keywords: Canal, Conveyance, Distribution, Irrigation, Losses

* Corresponding author E-mail address: z.sojoodi@ut.ac.ir

مقدمه

ایران کشوری است که بیشتر نقاط آن دارای اقلیم خشک و نیمه خشک و با کمبود آب رو به رو است. با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور استفاده بهینه از آب موجود در بخش‌های مختلف و به ویژه بخش کشاورزی به‌عنوان عمده‌ترین مصرف کننده آب بسیار دارای اهمییت می‌باشد. با توجه به محدودیت‌های موجود در تامین آب کشاورزی برای اراضی فاریاب، لذا مدیریت مصرف آب به منظور کاهش تلفات آب اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. خشکسالی و کم‌آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و با توجه به افزایش نیاز بخش‌های مختلف به آب، در سال‌های آینده حادتر نیز خواهد شد بر اساس گزارش موسسه بین‌المللی مدیریت آب[۱] ایران برای حفظ وضعیت فعلی باید تا سال ۲۰۲۵ بتواند ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود اضافه کند (عباسی، ۱۳۹۵). در این شرایط، باید به استفاده درست و بهینه، مدیریت مصرف آب و صرفه‌جویی در مصرف آب، برنامه‌ریزی‌های مصرف بهینه آب در بخش‌های مختلف از جمله بخش کشاورزی، جلوگیری از تلفات آب در شبکه‌های آبیاری و در نتیجه افزایش راندمان‌های انتقال و توزیع توجه شود.

بررسی مطالعات صورت‌گرفته حاکی از آن است که بخش کشاورزی، به‌عنوان بزرگترین مصرف کننده آب در کشور، عملکرد ضعیفی در استفاده بهینه از آب داشته است. به طوریکه ارزیابی راندمان کاربرد آب آبیاری در برخی از استان‌های کشور در سال۱۳۸۲ نشان می‌دهد که متوسط راندمان کاربرد آب آبیاری، با احتساب شیوه مدیریت کشاورزان، روش آبیاری و نوع محصول، از حداقل ۲۴/۷ درصد تا حداکثر ۵۵/۷ درصد با میانگین ۵۰/۹ درصد درصد است (عباسی، ۱۳۹۵). با افزایش راندمان آب می‌توان مصرف آب در بخش‌های کشاورزی، صنعت و مصرف شهری را به ترتیب ۱۰ تا ۵۰، ۴۰ تا ۹۰ و ۳۰ تا ۳۲ درصد کاهش داد بدون آن‌که راندمان اقتصادی یا کیفیت زندگی کاهش یابد. همچنین تحقیق جامع‌تری از کل شبکه‌های آبیاری کشور که در سال ۱۳۹۵ انجام گرفت حاکی از آن است که با فرض راندمان انتقال و توزیع ۶۰ درصدی، راندمان کل آبیاری در این شبکه‌ها بین ۱۵ تا ۳۶ درصد در نوسان است (عباسی، ۱۳۹۵). لازم به ذکر است که در تحقیق مذکور، مقدار راندمان گزارش شده به ترتیب با فرض ۶۵ درصد برای راندمان انتقال و توزیع در شبکه سنتی و ۸۲/۵ درصد در شبکه مدرن است (عباسی، ۱۳۹۵).

(ریاحی و همکاران، ۱۳۹۲) تحقیقی برای بررسی وضعیت بهره‌برداری کانال‌های پوشش شده در سطح استان کرمان انجام دادند. نتایج حاصل از مجموعه بررسی‌ها و آزمایش‌های انجام شده نشان دادند مشکلات موجود در شبکه‌های مورد بررسی بسیار متنوع بوده که از عمده‌ترین موارد آن‌ها می‌توان به تخریب پوشش کانال، تجمع رسوب در داخل کانال و نهایتا پایین بودن راندمان شبکه‌ها اشاره نمود. بیشترین مقدار تلفات آب در کانال، در اثر تخریب بستر و شکسته شدن بتن مشخص شد و میزان راندمان انتقال آب در کانال‌های بتنی استان کرمان بین ۵۷ تا ۸۱ درصد به‌دست آمد. میزان زیادی از آب درطول زمان انتقال به دلیل استفاده زارعین از کانال‌های پوشش نشده (سنتی) تلف می‌شود. بنابراین می‌توان با استفاده از پوشش مناسب در کانال راندمان انتقال را تا حد ممکن افزایش داد. در این مطالعه بررسی کانال سیرچ در استان کرمان تلفات تبخیر و نشت به ترتیب ۰/۰۰۴۸ و ۰/۵۰۳ متر مکعب بر متر در روز و تلفات ناشی از ریزش از لبه مقسم ها و تبدیل ها که به دلیل طراحی نامناسب بود، ۰/۲۶ مترمکعب درروز به‌دست آمد. ریزش عمدتاً از لبه مقسم و تبدیل‌ها به دلیل طراحی نامناسب بود. به عبارت دیگر حدود ۷۱ درصد از تلفات مربوط به نشت، ۱ درصد در اثر تبخیر و ۲۸ درصد به علت ریزش می‌باشد. در این کانال علاوه بر وجود ترک‌های ریز، عدم لایروبی و تبخیر از سطح آزاد، به دلیل تخریب سازه در بعضی از قسمت‌های کانال سبب افزایش تلفات گردیده است. راندمان انتقال آب در کانال مذکور ۵۷ درصد تعیین شد که حاکی از تلفات زیاد آب است. تبخیر از سطح آب و نشت از دیواره و کف کانال مهم‌ترین منابع تلفات در مسیر کانال‌ها هستند و معمولا تلفات ناشی از تبخیر نسبت به تلفات ناشی از نشت کمتر است و اهمیت کمتری دارد (عسکر و اریک[۲] ۲۰۰۹).

(شینی و همکاران، ۱۳۹۴) به بررسی تلفات آب و ارائه راه‌کارهایی جهت کاهش آن در شبکه آبیاری دز پرداختند. در این شبکه بیشترین سهم تلفات آب، به شکستگی‌های بدنه کانال ناشی از شرایط نامناسب درزهای انبساط، نشت از سازه‌های تحویل آب، رشد علف‌های هرز و بخشی از آن نیز مربوط به تلفات اجتناب ناپذیر تبخیر سطحی است. به‌طور متوسط راندمان انتقال در کانال‌های اصلی و فرعی انتخابی حدود ۶۱ درصد می‌باشد، یعنی حدود ۳۹ درصد تلفات نشت و تبخیر در این کانال‌ها وجود داشته که سهم متوسط تلفات تبخیر حدود ۲/۹ درصد و تلفات نشت حدود ۳۶/۱ درصد می‌باشد و این بدان معناست که بیش از ۹۲ درصد تلفات در نتیجه بیشتر تلفات در کانال‌های انتخابی مربوط به تلفات نشت از جداره و بدنه کانال می‌باشد. بنابراین لازم است به تعمیر اساسی و بازسازی کانال و بازنگری در روش‌های بهره‌برداری پرداخت. با توجه به نتایج به‌دست آمده، برای افزایش راندمان آبیاری و کاهش تلفات آب، راهکارهایی از قبیل پوشش و تعمیر و بازسازی

---

[۱] IWMI

[۲] Askar & Eric

قسمت‌های تخریبی کانال‌ها، استفاده از ظرفیت کامل شبکه موجود، کالیبره و اصلاح سازه‌های اندازه‌گیری موجود در شبکه، از بین بردن گیاهان کناره‌های کانال، آموزش زارعین و بهره‌برداری شبانه‌روزی از شبکه، تغییر نحوه آرایش شبکه و بهره‌برداری از آن، اجرای برنامه‌های پایشی و بازبینی‌های دوره‌ای و تغییر و اصلاح مقاطع کانال‌ها پیشنهاد شد (شاهرخ‌نیا و همکاران، ۱۳۹۶). روش‌های برآورد نشت در کانال‌ها و بررسی نشت و راندمان توزیع در شبکه آبیاری درودزن را بررسی کردند. میزان تلفات نشت و تبخیر در شبکه درودزن با و بدون احتساب ادامه کانال‌های سمت چپ و سمت راست به ترتیب حدود ۴۸۸۵۰۰ و ۳۳۵۹۰۰ مترمکعب بر روز بود. راندمان توزیع آب در کانال‌های درجه ۳ و۴ حدود ۸۱ درصد برآورد گردید. به‌طور متوسط حدود ۱۵ درصد از آب رهاسازی شده در اثر نشت و تبخیر در کانال‌های درجه ۳ و ۴ تلف گردیده است. بنابراین آن‌ها توصیه کردند به‌منظور بهبود مدیریت شبکه درودزن، میزان تحویل آب در نقاط مختلف با توجه به مقادیر نشت و راندمان‌های برآورد شده تعیین شود.

(سهرابی و همکاران، ۱۳۸۴) به بررسی بازده‌های انتقال و توزیع در شبکه آبیاری دشت قزوین پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که متوسط راندمان‌های انتقال و توزیع در کانال‌های درجه ۱ تا ۴ به ترتیب ۹۵/۲، ۹۰/۵، ۸۶/۱ و ۷۷/۱ درصد است. (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵) به بررسی وضعیت راندمان آبیاری در ایران پرداختند. در این تحقیق بررسی‌ها نشان می‌دهد که راندمان انتقال و توزیع نیز در دهه‌های ۷۱ تا ۸۰ و ۸۱ تا ۹۰ و در فاصله سال‌های ۹۱ تا ۹۴ به‌ترتیب ۶۷، ۶۸/۵ و۷۴/۲ درصد بوده است.

(سلامتی و همکاران، ۱۳۹۵) به ارزیابی راندمان توزیع آب در کانال‌های بتنی و کانالت‌ها از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷ در شبکه‌های آبیاری استان خوزستان پرداختند. تعداد ۲۶ کانال بتنی ذوزنقه‌ای و ۱۷ کانال هر دو از درجه ۳ و ۴، در مجموع ۴۳ کانال در شهرستان‌های امیدیه، اندیمشک، گتوند، بهبهان، حمیدیه، دزفول، شوش، شوشتر، رامشیر، اهواز، یاوی و شادگان در استان خوزستان ارزیابی شدند. دامنهٔ تغییرات راندمان توزیع آب در کانال‌ها و کانالت‌های درجه ۳ و ۴ از ۳۸/۹ درصد در شهرستان رامشیر تا ۹۹/۷ درصد در شهرستان شوشتر در نوسان بود. مقدار تلفات آب در هر کیلومتر طول کانال از ۲۰/۹۲ تا ۱۲۴۵۴/۱۰ متر مکعب در روز به‌ترتیب در شهرستان شوشتر و رامشیر تغییر می‌کرد. در کانال‌های بتنی ذوزنقه‌ای شاخص تلفات آب نسبت به دبی ورودی در هر کیلومتر کانال از ۰/۳۵ درصد در شهرستان شوشتر تا ۶۱/۷۶ درصد در شهرستان اهواز در نوسان بود. در کانالت‌ها، میانگین بازه‌های مورد بررسی، راندمان توزیع آب، مقدار تلفات آب در هر کیلومتر طول کانال و تلفات آب نسب به دبی ورودی در هر کیلومتر کانالت‌ها به‌ترتیب ۹۷۸ متر، ۸۴/۳ درصد، ۲۱۳۳/۱۱ متر مکعب در روز و ۱۷/۱۸ درصد محاسبه شد.

(نحوی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۸) به بررسی شبکه آبیاری حمودی استان خوزستان پرداختند. نتایج نشان داد که در شبکه آبیاری حمودی به دلیل جریان‌های زیرزمینی جانبی از اراضی مجاور و نشت از کانال‌ها، آب های خروجی به طور متوسط سالانه ۱۶ درصد بیشتر از آب های ورودی می‌باشد. راندمان توزیع، کاربرد و کل شبکه به ترتیب ۶۸ ، ۵۳ و ۴۴ درصد برآورد شد که بیانگر عملکرد آبیاری پایین در شبکه آبیاری حمودی می‌باشد.

(جمالی و همکاران، ۱۳۹۷) به ارزیابی راندمان‌های آبیاری در حوضه دریاچه ارومیه و در شبکه آبیاری و زهکشی زرینه‌رود پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که متوسط راندمان انتقال در کانال‌های با پوشش بتنی شبکه حدود ۷۹ درصد است و راندمان توزیع آب در شبکه، به‌طور متوسط ۷۶درصد است. (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۷) شاخص‌های ارزیابی عملکرد تحویل آب در نهر ادامه سمت چپ شبکه آبیاری درودزن را مورد بررسی قرار دادند و راندمان توزیع را ۷۵ درصد گزارش کردند.

در مطالعه ای توسط (هاشمی‌شاهدانی و همکاران، ۲۰۱۶) میزان تلفات در کانال اصلی شبکه آبیاری و زهکشی رود دشت اصفهان ۴۵ درصد به‌دست آمد. (معروفی و همکاران، ۱۳۸۵) با استفاده از اندازه‌گیری‌های صحرایی، راندمان‌های انتقال و توزیع آب در شبکه آبیاری پنج هزار هکتاری شاوور واقع در استان خوزستان را برآورد کردند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که راندمان انتقال در کانال‌های این شبکه بین ۳۴ تا ۸۳ درصد متغیر بوده و بطور متوسط در حدود ۶۰ درصد برآورد شد. همچنین در خصوص شبکه توزیع نیز راندمان بین ۴۵ تا ۸۶/۵ درصد تغییر نموده و بطور متوسط حدود ۷۱ درصد برآورد گردید. این مقادیر کم راندمان شبکه آبیاری شاوور بسیار بحرانی و نگران‌کننده بوده و با توجه به ضرورت بهره‌برداری بهینه از منابع آب و خاک، باید با اعمال روش‌های مدیریتی صحیح، افزایش یابد. با توجه به نتایج این تحقیق، اصلاح سطح مقطع هندسی کانال‌ها و احداث پوشش مناسب برای آن‌ها از جمله مواردی هستند که برای افزایش راندمان آبیاری این شبکه باید مورد توجه قرار گیرد.

(محمدی و همکاران، ۲۰۱۹) در مطالعه‌ای در شبکه آبیاری و زهکشی ورامین به بررسی عملکرد انتقال آب کانال پرداختند. در این تحقیق، داده های ثبت شده در بیش از ۴۰ نقطه انتخاب شده از کانال‌های اصلی، درجه دوم و درجه سوم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. استفاده از جریان سنج فوق صوتی در این مطالعه دقت مناسبی را برای تعیین تلفات نشت و بازده انتقال آب فراهم کرده است. جریان سنج مافوق

صوت[۱] برای افزایش دقت اندازه‌گیری می‌تواند استفاده شود. این فناوری به‌طور گسترده در تجهیزات اندازه‌گیری جریان آب استفاده می‌شود (اکرت و همکاران،[۲] ۲۰۱۵). کالیبراسیون‌های متعدد صحت آن را تأیید کرده‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که راندمان انتقال برای کانال‌های اصلی، درجه دوم و سوم در ۱۰۰۰ متر به ترتیب ۹۵، ۹۱/۵ و ۸۹/۳ درصد است (محمدی و همکاران، ۲۰۱۹).

تلفات در شبکه‌های آبیاری به سه گروه تقسیم می شوند: (۱) تلفات ناشی از نشت، (۲) تلفات از طریق عملکرد تنظیم کننده‌های سطح آب و آبگیرها و (۳) تلفات ناشی از تبخیر از مجرای کانال (Cantoni et al., 2007 & Wang et al., 2002). مقدار تبخیر از سطح آزاد آب در کانال‌ها در مقایسه با دو مورد دیگر به طور قابل توجهی کمتر است. از این رو، معمولاً نادیده گرفته می‌شود و تصور می‌شود که تلفات رخ داده در بخش‌های کانال از نشت و تلفات بهره‌بردای باشد (Kenzli et al., 2010 & Mohammadi et al., 2019).

با توجه به مطالعات انجام شده تلفات نشت در شبکه‌های آبیاری بالا می‌باشد که می‌تواند به دلیل وجود ترک‌های ریز، عدم لایروبی و تبخیر از سطح آزاد، تخریب سازه در بعضی از قسمت‌های کانال، نشت از سازه‌های تحویل آب و رشد علف‌های هرز باشد. تلفات ناشی از نشت می‌تواند قسمت قابل توجهی از آب را که به شبکه‌های آبیاری هدایت می‌شود، به ویژه در مورد کانال‌های خاکی یا کانال‌های دارای شرایط نگهداری ضعیف تشکیل دهد. این تلفات مشکلات مختلفی از جمله کاهش انتقال آب به مزارع و مسائل مربوط به ماندابی شدن آب را که نیاز به نصب سیستم‌های زهکشی پرهزینه دارد ایجاد می‌کند (مارتین و گاتز،[۳] ۲۰۱۴).

اصلاح سطح مقطع هندسی کانال‌ها و پوشش مناسب برای آن‌ها از جمله مواردی هستند که برای کاهش تلفات نشت در شبکه‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. کانال‌های پوششی با مواد دارای نفوذپذیری کم به عنوان یک روش پذیرفته شده برای کاهش نشت شناخته شده است. با این حال، این روش به هزینه های نسبتاً بالایی نیاز دارد و ممکن است در دستیابی به بازده پیش بینی شده شکست بخورد، به خصوص اگر کانال دارای نگهداری ضعیف باشد (گازا،[۴] ۲۰۱۱). یافته‌های مطالعات قبلی نشان می‌دهد که میزان تلفات نشت دامنه وسیعی را شامل می‌شود.

در مطالعاتی که توسط (کینزلی و همکاران،[۵] ۲۰۱۰) انجام شد، نتایج نشان داد که، تلفات نشت بیش از ۴۰ درصد از آب تحویل داده شده در منطقه حفاظت از میانه ریو گراند در ایالات متحده بود. همچنین نتایج نشان داد که بازده انتقال در کانال‌های خاکی این منطقه حدود ۷۰ درصد است. (برینکلی و همکاران،[۶] ۲۰۰۴) میزان تلفات نشت را برای کانال‌های خاکی استرالیا ۹۰ درصد برآورد نمودند. (سینگ و سینگ،[۷] ۲۰۱۴) در مقایسه تلفات نشت و تبخیر از کانال ناروانا هند، گزارش کردند که میزان تلفات آب حدود ۴۷/۲ مترمکعب در روز است و ۹۹ درصد تلفات مربوط به نشت و ۱ درصد به علت تبخیر است. تلفات بهره‌برداری هنگام انتقال، توزیع و تحویل آب از منبع اصلی به مزارع به دلیل عملکرد ضعیف تنظیم کننده‌های سطح آب و سازه‌های آبگیر رخ می‌دهد. تلفات آب ناشی از سرریز یا تحویل بیش از حد به عوامل مختلفی از جمله دانش و تجربه اپراتورها و مدیران کانال بستگی دارد. تعمیر و نگهداری منظم سازه‌های انتقال ، اندازه‌گیری و کنترل سازه‌ها، شناسایی به موقع تلفات توسط پرسنل ماهر و عملکرد روش بهره‌برداری اجرا شده بستگی دارد. در مطالعه ای که در اسپانیا انجام شد، مشخص شد که به دلیل خرابی زیرساخت ها و عملکرد و نگهداری نامناسب شبکه کانال فقط ۴۵ درصد از آب تأمین شده به مزارع رسیده است. یعنی بازده انتقال حدود ۴۵ درصد می‌باشد، که دلیل مقدار زیاد تلفات را مدیریت ضعیف بهره‌برداری و نگهداری شبکه انتقال و نیز از کار افتادگی زیرساخت‌های مربوط به آن عنوان کردند (پرسرا و همکاران،[۸] ۲۰۱۶).

در مطالعه دیگری در اتیوپی، به طور متوسط نسبت تلفات بیش از حد آب تأمین شده در سیستم‌های انتقال و توزیع به ترتیب ۲۶، ۱۰۰ و ۱۰۰ درصد از آب تحویل داده شده به آبگیر برای یک طرح آبیاری مدرن، نیمه مدرن و سنتی بود (آجید و همکاران،[۹] ۲۰۱۶). آن‌ها نتیجه گرفتند که سازه‌های هیدرولیکی آسیب دیده و عملکرد ضعیف دلیل اصلی توزیع ناکارآمد و متعاقب آن ناعادلانه آب است. تلفات بالقوه بهره‌برداری در سیستم‌های توزیع و تحویل آب، مدیران را به اجرای پروژه‌های نوسازی ترغیب کرده است.

---

[۱] Ultrasonic Flowmeter
[۲] Eckert
[۳] Martin & Gates
[۴] Ghazaw
[۵] Kinzli
[۶] Brinkley
[۷] Singh & Singh
[۸] Pere Serra Agide
[۹] Agide

مدیریت بهره‌برداری هوشمند تنظیم کننده‌ها از طریق سیستم‌های کنترل خودکار یکی از اقدامات متداول برای کاهش موثر تلفات بهره‌برداری است (شاهدانی و فیروزفر، ۲۰۱۷). برای این منظور، مدل های شبیه سازی جریان هیدرولیکی همراه با روش‌های مهندسی کنترل در مطالعات مختلف برای بهبود عملکرد کانال و خودکار کردن سیستم‌های انتقال و توزیع آب در کانال‌های آبیاری استفاده شده است. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای توسط (Figueiredo et al., 2013)، یک سیستم کنترل نظارت و دستیابی به داده (SCADA) برای بهبود عملکرد تنظیم کننده‌های سطح آب و آبگیرها در کانال‌های آبیاری ایجاد شد.

سامانه‌های کنترل خودکار خود شامل سامانه کنترل متمرکز و سامانه کنترل غیرمتمرکز هستند. همگام با به کارگیری سامانه‌های کنترل خودکار غیر متمرکز، سامانه‌های خودکار متمرکز نیز توسعه یافته‌اند. با این حال، مطالعات نشان داده است که کنترل‌گر موضعی به علت سهولت استفاده در کانال‌های آبیاری از محبوبیت بیشتری برخوردار است. مطالعات مختلفی در مورد بهبود شیوه بهره‌برداری با استفاده از سیستم‌های کنترل در کانال‌های آبیاری انجام شده است. در تحقیقی، (زمانی و همکاران، ۲۰۱۵) با استفاده از مدل هیدرودینامیک SOBEK و نرم افزار MATLAB طراحی و ارزیابی سامانه کنترل سراسری پایین دست PI[۱] (تناسبی- انتگرالی) را برای یک کانال اصلی مورد بررسی قرار داد و نتایج نشان داد که شیب کف کانال به عنوان یک عامل بیش‌ترین تاثیر را روی رفتار جریان و تنظیم کنترل‌گر مدنظر دارد. در پژوهشی دیگر (شاهوردی و همکاران، ۲۰۱۵) یک مدل ریاضی برای کنترل عمق آب در بالادست سازه‌های چک توسعه دادند. سناریوهای مختلف افزایش و کاهش جریان ورودی شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که حداکثر مقادیر، حداکثر خطای مطلق[۲]و خطای مطلق تجمعی[۳] به ترتیب ۳۰/۰۷ درصد و ۰/۱۵۲ درصد به دست آمد.

با توجه به آنچه که بیان شد، لازم است عملکرد سیستم‌های انتقال و توزیع آب در کانال‌های آبیاری تا حد امکان بهبود داده شود. از این رو، مدیریت هوشمند انتقال و توزیع آب با خودکارسازی سازه های تنظیم سطح آب، یکی از اقدام‌های جدی در کاهش موثر تلفات بهره‌برداری کانال‌های آبیاری است. همچنین به سبب توانایی بالای سیستم‌های کنترل در بهره‌برداری سازه‌های کنترل و تنظیم سطح آب، امکان اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی در فرایند بهره‌برداری کانال امکان‌پذیر خواهد بود (حسینی‌جلفان و همکاران، ۱۳۹۹). در سیستم کانال‌های توزیع آب کشاورزی صرفا تلفات نشت در نظر گرفته می‌شود و از تلفات بهره‌برداری (قسمتی از آب که طبق برنامه و نیاز کشاورزی وارد کانال می‌شود اما به واسطه زمان‌بندی نامناسب باز و بسته شدن دریچه‌های تنظیم و سازه‌های آبگیر و کالیبراسیون نادرست سازه‌ها) از دسترس خارج می‌شود غفلت می‌شود. در نتیجه راندمان انتقال و توزیع آب در شبکه‌های آبیاری ایران صرفاً مفروضاتی هستند که تقریباً هیچ پشتوانه علمی (بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی یا مدل‌سازی هیدرولیکی) قابل قبولی ندارند، لذا می‌توان گفت که ارقام فرض شده تخمین‌های بیش از اندازه می‌باشند.

مواد و روش‌ها

- **راندمان‌های شبکه آبیاری و زهکشی**

حرکت آب در یک شبکه آبیاری از منبع تا مزرعه به سه بخش انتقال، توزیع و کاربرد آب در سطح مزرعه تقسیم می‌شود. انتقال، حرکت آب از منبع به وسیله کانال‌های اصلی و درجه ۱ و ۲ تا آبگیر کانال‌های درجه ۳ می‌باشد. توزیع، حرکت آب در کانال‌های درجه ۳ (کانال‌های توزیع) و کانال درجه ۴ یا مجاری بسته تا محل تغذیه مزرعه است. کاربرد آب در مزرعه، حرکت آب از محل آبگیر مزرعه تا محل مصرف آب توسط گیاه است (سهرابی و همکاران، ۱۳۸۴).

- **راندمان انتقال**

برای جبران تلفات آب در مسیر انتقال، لازم است مقدار دقیق بازده انتقال تعیین شود. راندمان انتقال، نسبت مقادیر آب تحویلی به مزرعه به مقادیر آب هدایت شده از منبع برای همان مزرعه است (ایسرایلسن[۴] ۱۹۳۲). در تعریف دیگری توسط (باس و ناگترم، ۱۹۹۰) بازده انتقال عبارت است از بازده شبکه کانال‌ها و مجاری آب از محل مخزن و محل انحراف از رودخانه تا آبگیرهای شبکه توزیع که به صورت رابطه ۱ ارائه شده است (هاول[۵] ۲۰۰۳). راندمان انتقال آب به عوامل مختلفی مانند طول کانال، نوع خاک و مواد پوشش کانال بستگی دارد

---

[۱] Proportional Integral Controller
[۲] Maximum Absolute Error (MAE)
[۳] Integral of Absolute Magnitude of Error (IAE)
[۴] Israelsen
[۵] Howell

(محمدی و همکاران، ۲۰۱۹). بر اساس جداول ارائه شده توسط FAO، مقدار مورد انتظار برای کارایی انتقال در کانال‌های پوشش شده با طول‌های مختلف ۹۵ درصد است (برونر و همکاران[1] ۱۹۸۹).

$$E_c = \frac{V_d+V_2}{V_c+V_1} \times 100 \quad (۱)$$

که در این رابطه:

V_d= حجم آب انتقال به شبکه توزیع

V_2= آب‌رسانی برای مصارف غیر از آبیاری از طریق شبکه انتقال

V_c= حجم آب انحرافی یا پمپاژ از رودخانه

V_1= جریان ورودی از منابع دیگر به شبکه انتقال

- **راندمان توزیع**

بازده توزیع، بازده کانال‌ها و یا مجاری توزیع آب از شبکه انتقال تا قطعه زراعی است که با رابطه ۲ نشان داده شده است (Bos.M.G et al., 1990).

$$E_d = \frac{V_f+V_3}{V_d} \quad (۲)$$

که در این معادله:

V_f= حجم آب تحویل داده شده به قطعات زراعی

V_3= مقدار آب تحویلی برای مصارف غیر آبیاری از طریق شبکه توزیع

V_d= حجم آب تحویلی به شبکه توزیع

- **تلفات نشت در کانال‌ها**

روش‌های برآورد نشت آب به دو دسته اندازه‌گیری مستقیم و اندازه‌گیری غیر مستقیم تقسیم می‌شوند. دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری نشت از کانال‌ها روش‌های مستقیم هستند. برای این نوع اندازه‌گیری به مقدار واقعی اتلاف آب در اثر نشت از کانال در شرایط کارکرد، مورد نیاز است. محاسبه مقدار واقعی نشت بدون نیاز به استفاده از روابط تئوری و استنتاج از روی سایر عوامل مانند نفوذپذیری خاک و غیره، انجام می‌شود. اندازه‌گیری ورودی و خروجی آب کانال (روش دبی ورودی- خروجی) و آزمایش حوضچه‌ای دو روش برای اندازه‌گیری مستقیم مقدار نشت از کانال هستند. روش‌های برآورد غیرمستقیم نشت آب شامل معادلات تئوری و تجربی هستند که دقت کمتری نسبت به روش مستقیم دارند. در معادلات تجربی تعیین نشت، فرض می‌شود که مقدار نشت تابعی از ظرفیت کانال و ضرایب تجربی مربوط به نوع خاک و پوشش کانال می‌باشد. این معادلات به علت در نظر نگرفتن تاثیر شرایط آب‌های زیرسطحی که می‌تواند تأثیر زیادی بر میزان تخمین نشت از کانال داشته باشد، دارای مقداری خطا می‌باشد. میزان نشت لزوماً با جریان آب کانال که با استفاده از سازه تنظیم‌کننده تقریباً ثابت نگه داشته شود، متناسب نیست.

روش‌های دیگر شامل مدل‌های تئوری ریاضی مبتنی بر فیزیک جریان آب‌های زیرزمینی است و تخمینی از نشت کانال‌ها را هنگامی‌که اطلاعات موردنیاز محلی جمع‌آوری شده باشد، ارائه می‌دهد. این اطلاعات شامل ارزیابی آب‌های زیرزمینی، خاک، مشخصات آبخوان و وضعیت هیدرولیکی در حالتی که نشت رخ می‌دهد، می‌باشد. روش های مختلف می‌توانند میزان جریان را در کانال‌های آبیاری اندازه‌گیری کنند. دقت کم برخی از آن‌ها دقت روند ارزیابی را کاهش می‌دهد. استفاده از ابزارهای ساده مانند فلوم، ونتوری‌متر، روزنه و سرریز برای اندازه‌گیری جریان در کانال‌های آبیاری معمول است.

(بکری و اواد[2] ۱۹۹۷) نشت آب در کانال‌های آبیاری مصر را از روش دبی ورودی- خروجی اندازه‌گیری نموده و فرمول‌هایی جهت ارتباط میزان نشت به خصوصیات هیدرولیکی جریان ارائه نمودند. ایشان اظهار داشتند که میزان نشت آب به عواملی ازجمله جنس خاک زیر کانال، سطح آب زیرزمینی نسبت به سطح آب در کانال، عمق آب در کانال، هدایت هیدرولیکی خاک و خصوصیات شیمیایی آب و خاک بستگی دارد. میزان نشت آب را می‌توان با اندازه‌گیری مستقیم، اندازه‌گیری غیرمستقیم و برآورد با فرمول‌های تجربی انجام داد. نشت آب می‌تواند

[1] Brouwer
[2] Bakry and Awad

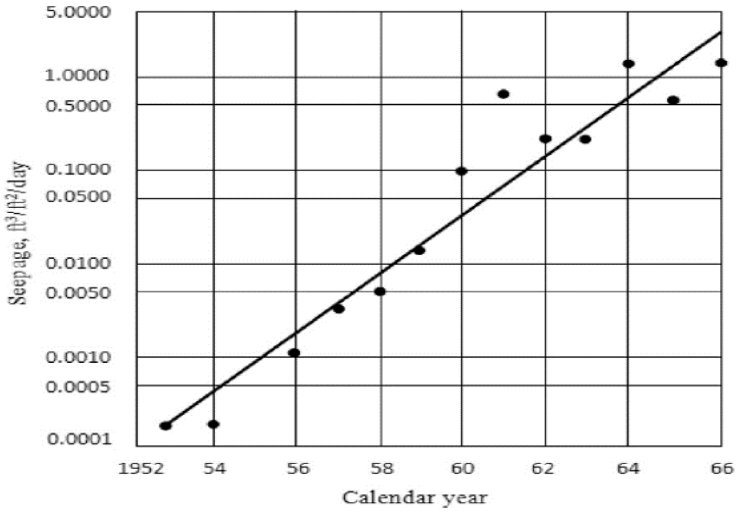
تابع نفوذپذیری مواد بستر، محیط خیس شده و ارتفاع آب در کانال باشد. بنابراین می‌توان میزان نشت را به صورت درصدی از دبی کانال تعریف کرد. که در کانال‌های آبیاری طولانی در زمین‌های نفوذپذیر، میزان تلفات آب ممکن است به بیش از ۴۰ درصد هم برسد (کانتور[۱] ۲۰۰۴). نشت تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله عمق آب، کیفیت پوشش کانال، ابعاد کانال، شیب بستر، میزان رسوب، سن کانال، حجم جریان، سرعت جریان و کیفیت اجرا و بهره‌برداری از کانال‌ها است (روبینسون و همکاران[۲] ۱۹۵۹). شکل (۱) نشان می‌دهد که زمان سپری شده از ساخت کانال، بر میزان نشت تأثیر می‌گذارد (Kraatz., 1997). مشاهده شده است که سرعت تراوش در یک لایه بنتونیت طی یک دوره ۱۴ ساله بیش از ۱۲۰۰۰ برابر افزایش یافته است. این یک عامل تعیین کننده در اهمیت استفاده از پوشش مناسب برای کانال‌های انتقال است. به همین ترتیب، کانال‌های بتنی با گذشت زمان با تغییرات ساختاری رو به رو می‌شوند و مقدار تلفات نشت افزایش می‌یابد. سرعت کم جریان یکی از موثرترین عوامل در افزایش تلفات نشت است. حداقل سرعت مجاز در کانال‌های آبیاری برای جلوگیری از رسوب جریان ۰/۶ تا ۰/۹ (متر بر ثانیه) است. برای غلبه بر رشد گیاهان آبزی و خزه در کانال‌ها، توصیه می‌شود که حداقل سرعت بیشتر از ۰/۷۵ (متر بر ثانیه) باشد (چو[۳] ۱۹۵۹).

از معادله (۳) برای تعیین تلفات نشت استفاده می‌شود (بیرارا و هالفوم[۴] ۲۰۱۷). که در این معادله: Δq اختلاف ورودی و خروجی، S تلفات نشت، P محیط خیس‌شده و L طول مسیر است.

$$S=\frac{86.4\times\Delta q}{P\times L} \qquad (۳)$$

بحث و نتایج

عملکرد نامناسب باعث آسیب جدی به کانال‌ها می‌شود و در طول زمان، باعث ایجاد اتصالات و شکاف‌های گسترده‌ای در پوشش بتونی می‌شود . ایجاد ترک‌های ریز و درشت شرایط مناسبی را برای ورود آب به لایه‌های پایین بتن فراهم می‌کند و تلفات نشت را افزایش می‌دهد. تلفات بهره‌برداری نیز هنگام انتقال، توزیع و تحویل آب از منبع اصلی به مزارع به دلیل عملکرد ضعیف تنظیم کننده‌های سطح آب و سازه‌های آبگیر رخ می‌دهد.



شکل ۱. میزان تراوش سالانه اندازه گیری شده در طول زمان. لوگان، یوتا، ایالات متحده آمریکا (Kraatz., 1997)

(سارکی و همکاران[۵] ۲۰۰۸) بیان نمودند در کشور پاکستان حدود ۳۸ تا ۴۰ درصد آب وارد شده به کانال‌های آبیاری در اثر نشت تلف می‌شود. (یائو و همکاران[۶] ۲۰۱۲) میزان نشت در کانالی با پوشش‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند میزان نشت در

[۱] Contor
[۲] Robinson
[۳] Chow
[۴] Birara and Halefom
[۵] Sarki
[۶] Yao

کانال با پوشش رسی و بستر تحکیم یافته کم‌ترین میزان را داشته و پس از آن کانال با بستر تحکیم یافته و کانال با پوشش بتنی قرار می‌گیرد. همچنین علاوه بر نوع پوشش، میزان نفوذپذیری خاک بستر نیز تاثیر زیادی در میزان نشت دارد. (امل کولکارنی و همکاران[۱] ۲۰۱۸) میزان تلفات نشت را در کانال‌های پوشش دار هند ۱۱ درصد و در کانال‌های بدون پوشش ۲۵ درصد گزارش کردند. (لی و همکاران[۲] ۲۰۱۰) تلفات نشت از کانال را در کشور چین ۳۲ درصد گزارش کرده‌اند. میزان زیادی از آب هنگام انتقال به دلیل استفاده از کانال‌های سنتی و پوشش نشده تلف می‌شود. بنابراین باید با استفاده از پوشش مناسب در کانال راندمان انتقال را تا حد ممکن افزایش و تلفات نشت را کاهش داد.

کانال‌های آبیاری با پوشش ژئوممبران نسبت به پوشش بتنی راندمان انتقال بیشتر و تلفات نشت کمتر دارند. از جنبه اقتصادی نیز پوشش ژئوممبران دارای یک سوم هزینه پوشش بتنی می‌باشد (بهراملو، ۱۳۹۶). ژئوممبران‌ها ورق‌های پلاستیکی، تقریباً غیرقابل نفوذ (با نفوذپذیری بسیار کم) هستند که به عنوان یک عایق بسیار مقاوم و کم هزینه با طول عمر زیاد، در بسیاری از صنایع کاربرد دارند. از کاربردهای مهم ژئوممبران‌ها در کشاورزی، استفاده از آن‌ها در پوشش کانال‌های انتقال آب، حوضچه‌ها و استخرهای ذخیره آب است. بهراملو و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی مقدار تلفات آب در هفت مورد از کانال‌های انتقال آب در دشت‌های زاینده‌رود، کرمان و مغان، با پوشش ژئوممبران با مشخصات فنی یکسان از نوع HDPE و طول عمر یکسان را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش تأثیر قابل توجه کاربرد پوشش ژئوممبران در کنترل تلفات نشت آب از کانال‌های مورد ارزیابی و برتری آن نسبت به پوشش رایج بتنی را نشان داد.

از طرفی بررسی‌ها در زمینه عملکرد و وضعیت بهره‌برداری شبکه‌ها نشان داده است که شبکه‌ها در مراحل مختلف بهره‌برداری مسائل و مشکلات زیادی دارند که اغلب به شکل تخریب سازه‌ها بروز می‌کنند، که به علت عواملی مانند مسائل مربوط به طراحی، اجرا، کفیت مصالح، وضعیت بهره‌برداری و نگهداری، مسائل اجتماعی و فرهنگی و شرایط ژئوتکنیکی بستر و تکیه‌گاه سازه‌ها می‌باشند.

مطالعه (ابوخشابا[۳] ۲۰۱۳) حاکی از آن بود که کانال‌های آبیاری در مصر بین ۳۰ تا ۵۰ درصد از کل حجم آب، به دلیل تفاوت بین شرایط ساختاری و بهره‌برداری را هدر می‌دهند. ایشان یک مخلوط جدید (متشکل از سیمان، ماسه، آب، پودر سنگ آهک و ماده افزودنی با استفاده از مهندسی شیمی به نام "EN-1 RBS"، که عمدتا به عنوان یک ماده افزودنی برای کاهش نفوذپذیری تعریف می شود) پیشنهاد داد و بررسی‌ها نشان داد که در کاهش تلفات نشت موثر بوده است. EN-1 قبلاً برای بهبود تراکم در برخی از موارد مانند آسفالت استفاده شده است. همچنین برای بهبود مقاومت بلوک‌های آجری نیز مورد استفاده قرار گرفته است. ترکیب شیمیایی مواد افزودنی EN-1 عمدتا اسید سولفوریک است (Abu-Khashaba., 2013).

(آلباهو شومیه[۴] و همکاران، ۲۰۱۸) راندمان انتقال در کانال شهر ماهارا در اتیوپی را در کانال اصلی: ۸۶/۱۷، کانال درجه دو: ۸۶/۲۶ و کانال درجه سه: ۵۵/۹۷ برآورد کردند. به طور کلی، عملکرد عمدتا به دلیل برداشت غیرقانونی آب، رسوب کانال ها و مقررات بهره‌برداری و نگهداری ناکافی ضعیف بوده است.

(محمدی و همکاران، ۲۰۱۹) در بررسی شبکه آبیاری و زهکشی ورامین میزان تلفات نشت در واحد سطح نشت برای کانال‌های اصلی، درجه دوم و سوم به ترتیب برابر با ۱/۲۲ ، ۱/۱۸ و ۰/۶۳ متر مکعب در روز را گزارش کردند. در مورد طول کانال‌ها، مقدار کل تلفات نشت در یک زمان مشخص و در یک دوره آبیاری، در کانال درجه سوم از کانال درجه دوم و در کانال درجه دوم بیشتر از کانال اصلی بود. این اختلاف به دلیل از بین رفتن پوشش کانال، نفوذ آب از اتصالات کانال و رشد علف های هرز درون کانال‌ها است. آن‌ها به منظور کاهش تلفات نشت، برنامه‌های نگهداری جدی و پیشگیرانه را توصیه کردند. بیشترین سهم تلفات آب از شکستگی‌های بدنه کانال‌ها ناشی از شرایط نامناسب درزهای انبساط، نشت از سازه‌های تحویل آب و رشد علف‌های هرز است و بخشی نیز مربوط به تلفات اجتناب ناپذیر تبخیر سطحی است. با تعمیر و بازسازی قسمت‌های تخریب شده کانال‌ها، اصلاح سازه‌های اندازه‌گیری موجود در شبکه، از بین بردن گیاهان کناره‌های کانال، اجرای برنامه‌های پایش و بازبینی‌های تغییر و اصلاح مقاطع کانال ها می‌توان زمینه افزایش راندمان آب را فراهم کرد. رشد گیاهان از سه طریق باعث تلفات آب می‌شود: ۱- بخشی از آب برای رشد گیاه استفاده می‌شود. ۲- ریشه این گیاهان بتن را می‌شکند. با از بین رفتن بافت بتن، مقاومت آن در برابر نفوذ آب کاهش می‌یابد. ۳- گیاهان مسیر کانال‌ها را مسدود کرده و سرعت جریان را کاهش می‌دهند. در این شرایط، سطح موثر نشت و میزان نشت افزایش می‌یابد.

در مطالعه‌ای توسط (کریمی و همکاران، ۱۳۹۹) با استفاده از یک روش کاربردی میزان تلفات ناشی از انتقال، توزیع و آب را برای شبکه آبیاری رودشت اصفهان برآورد شد. نتایج حاکی از آن بود که میزان تلفات روزانه متغیر و در بازه‌ی ۳۰ تا ۶۰ درصد بود که این مقادیر به

---

[۱] Amol Kulkarni
[۲] Lei Liu
[۳] Abu-Khashaba
[۴] Alebachew Shumye

مراتب بیش‌تر از میزان ارائه شده در مرجع استاندارد طراحی و بهره‌برداری شبکه آبیاری در کشور (مقدار کل تلفات بین ۱۰ تا ۲۰ درصد) می‌باشد. آن‌ها دلیل این میزان تلفات را عدم شناخت کافی نسبت به مفاهیم بهره‌برداری، هیدرولیک جریان در شبکه‌های روباز انتقال و توزیع آب اعلام کردند.

تغییر روش بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری باعث تغییر عملکرد آن‌ها می‌شود. یکی از عوامل مهم برای افزایش عملکرد شبکه، بهبود روش توزیع آب است که با استفاده از شبیه سازی هیدرولیکی قابل دستیابی است. با توجه به محدودیت منابع آب و عملکرد غیر قابل قبول بخش آبیاری در ایران به عنوان یک مصرف کننده بسیار بزرگ آب، اهمیت تعیین روش‌های بهینه برای توزیع آب شبکه‌های آبیاری آشکار می‌شود. از طرف دیگر انطباق روش‌های عملکرد و نیاز آبی باعث عملکرد مطلوب تر سیستم آبیاری می‌شود. بنابراین در زمان طراحی و تشکیل زیر ساخت‌های آبیاری، باید توجه ویژه ای به برنامه عملیاتی و روش‌های توزیع آب با توجه به الگوی کشت داشت. (افراسیابی‌کیا[1] و همکاران، ۲۰۱۷) در مطالعه‌ای از مدل هیدرودینامیکی SOBEK برای تهیه روش بهره‌برداری مناسب برای شبکه آبیاری دورودزن واقع در پایین دست سد دورودزن در ایران استفاده کردند. بهترین سناریو بهره‌برداری براساس شاخص‌های ارزیابی توزیع آب پس از کالیبراسیون مدل و مطالعه گسترده سناریوهای موجود ارائه شد. در روش بهره‌برداری فعلی، آب با توزیع ثابت و دبی ثابت در شبکه توزیع می‌شود و در روش پیشنهادی آن‌ها، آب از طریق توزیع مداوم با تخلیه متغیر در هر ۱۵ روز توزیع می‌شود تا نیاز آبی برای الگوی کشت موجود فراهم شود.

در مطالعه دیگری (برخورداری[2] و همکاران، ۲۰۲۰) پتانسیل سیستم‌های کنترل خودکار (ACS) را برای کاهش همزمان تلفات نشت و بهبود عملکرد بهره‌برداری سازه‌ها بررسی کرده است. برای دستیابی به این هدف، یک مدل نشت با یک مدل شبیه سازی بهره‌برداری ادغام شد. توانایی مدل‌های یکپارچه برای شبیه سازی کاهش تلفات برای کانال اصلی یک منطقه آبیاری در جنوب غربی اوکلاهما در ایالات متحده آزمایش شد. سه ترکیب از ACS و مدل نشت، که در آن ACS شامل یا فاقد ذخیره آب درون مسیری به عنوان یک استراتژی بهره‌برداری است و مدل نشت، سرعت نشت شبیه سازی شده برای شرایط موجود یا حداکثر بالقوه را مورد مطالعه قرار داده است. همچنین سه سناریو برای کاهش سطح هدف در کانال برای کاهش تلفات نشت برای هر ترکیب در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بدون ذخیره آب درون مسیری، می‌توان کاهش قابل توجهی در تلفات بهره‌برداری و نشت برای سطوح متغیر هدف به دست آورد. اما شاخص‌های کفایت برای همه آبگیرها ضعیف بود و ثابت شد که روند تحویل آب غیر قابل اعتماد و غیر قابل قبول است. با ذخیره‌سازی آب درون مسیری، تلفات بهره‌برداری و نشت به ترتیب ۸-۹ و ۳-۷ درصد کاهش یافت، در حالی که شاخص‌های کفایت خوبی بدست آمد، که نشان دهنده تحویل مناسب آب است. مدیران شبکه‌های آبیاری معمولاً پوشش کانال‌های خاکی را به عنوان یک راه حل معمول برای کاهش تلفات نشت در نظر می‌گیرند. با این حال، این راه حل ممکن است نتواند به طور موثر نشت را کنترل کند، به ویژه در مناطق آبیاری که فعالیت‌های تعمیر و نگهداری ضعیف است. طبق یکی از مطالعات انجام شده در این زمینه، میزان نشت از طریق کانال خاکی (بدون پوشش) پس از پوشش آن با بتن، بطور قابل توجهی کاهش نیافته و در بعضی موارد، کاهش گزارش شده کمتر از ۶ درصد بوده است (Yao et al., 2012). علاوه بر این، پوشش کانال‌های خاکی فقط با هدف کاهش تلفات نشت است، در حالی که اجرای ACS مجهز به یک استراتژی بهره‌برداری می‌تواند به طور همزمان تلفات بهره‌برداری و نشت را کاهش دهد. مزایای دیگر بهره‌برداری تضمین شده از طریق نگهداری مناسب کفایت انتقال آب در تمام آبگیرها در طول کانال و تأمین شرایط هیدرولیکی مورد نیاز برای کنترل فرسایش است. ACS توانست ضمن حفظ توزیع قابل قبول آب و شرایط هیدرولیکی تحت حداکثر نشت که بالقوه می‌تواند در کانال آبیاری مورد مطالعه رخ دهد، تلفات را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. سیستم کنترل پیشنهادی در این مطالعه می‌تواند یک راه حل قابل اعتماد و عملی برای کاهش دو منبع اصلی تلفات آب در کانال‌های آبیاری باشد. ضمن حفظ توزیع قابل قبول آب و شرایط هیدرولیکی تحت حداکثر نشت که بالقوه می‌تواند در کانال آبیاری مورد مطالعه رخ دهد، تلفات را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. سیستم کنترل پیشنهادی در این مطالعه می‌تواند یک راه حل قابل اعتماد و عملی برای کاهش دو منبع اصلی تلفات آب در کانال‌های آبیاری باشد (Barkhordari et al., 2020).

در ایران مطالعات کمتری برای مدل سازی سناریوهای بهره‌برداری، به ویژه در یک واحد بزرگ از شبکه‌های باز آبیاری وجود دارد. می‌توان گفت با وجود اتلاف آب، کمبود آب و مشکلات اجتماعی در شبکه‌های آبیاری، کمتر از مدل‌های کامپیوتری برای کارکرد و توزیع آب استفاده می‌شود. برآورد تجربی رفتارهای هیدرولیکی کانال‌ها و سازه‌ها و برنامه‌های عملیاتی سخت باعث ایجاد مشکلات بزرگی در مدیریت شبکه می‌شود. با وجود سرمایه گذاری گسترده در ساخت این شبکه‌ها در ایران، توجه کافی به روش صحیح بهره‌برداری، که موفقیت در دستیابی

[1] Afrasiabikia
[2] Barkhordari

به اهداف اصلی ساخت شبکه ها را تضمین می‌کند، مورد توجه قرار نگرفته است. بنابراین، بیشتر شبکه‌های آبیاری از طریق روش‌های تجربی، کار می‌کنند.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج مطالعات انجام شده در مطالعات مختلف موردی، مشخص می‌شود راندمان انتقال و توزیع در کانال‌های آبیاری نیاز به در نظر گرفتن برخی شرایط فیزیکی و عملیاتی کانال‌ها دارد. دو عامل اصلی تلفات در کانال‌های آبیاری مربوط به نشت و تلفات بهره‌برداری است که به دلیل عملکرد نامناسب سازه‌های کانال می‌باشد. با استفاده از روش نوین مدیریت بهره‌برداری کانال‌های آبیاری، که از طریق خودکارسازی فرایند بهره‌برداری صورت می‌پذیرد، عملکرد سامانه اصلی انتقال و توزیع تا حد امکان بهبود داده می‌شود و از این طریق برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، در داخل محدوده شبکه‌های آبیاری،کاهش پیدا می‌کند. این راه‌کار که با هدف کاهش تلفات ناشی از بهره‌برداری سنتی در کانال‌های آبیاری به کار گرفته می‌شود، مقدار تلفات بهره‌برداری سازه‌های کنترل تنظیم و نیز سازه‌های آبگیر را در طول کانال اصلی به حداقل می‌رساند. در نتیجه حجم کاهش تلفات به عنوان یک منبع آب جدید در بهره‌برداری مورد استفاده قرار می‌گیرد، که از این منبع می‌توان برای توزیع بین آب‌بران در شرایط خشکسالی برای افزایش شاخص کفایت تحویل آب در سطح شبکه استفاده کرد. عوامل مختلفی از جمله رسوبگذاری، کاهش شیب بستر، تجمع بقایا و رشد گیاهان آبزی باعث می‌شوند سرعت جریان کاهش پیدا کند. که در چنین شرایطی، سطح آب در کانال افزایش می‌یابد، در نتیجه سطح نشت و تلفات نشت نیز افزایش می‌یابد. اقدامات پیشگیرانه می‌تواند بسیار اقتصادی تر و سریعتر از اقدامات بازسازی باشد. استفاده از عایق‌ها یا لوله‌های نفوذ ناپذیر می‌تواند قسمت زیادی از تلفات نشت را کنترل کند. استفاده از لوله برای انتقال آب می‌تواند نقش قابل توجهی دربه حداقل رساندن تلفات آب در طول فرآیند انتقال داشته باشد. همچنین توجه به آموزش و مشارکت کشاورزان (به عنوان مجریان کانال های درجه سوم) در بهره‌برداری و مدیریت شبکه ضروری به نظر می‌رسد. اغلب دیده می‌شود که کشاورز اقدام به تخریب دیواره کانال در محل آب‌گیری نموده و باعث تلفات قابل توجه آب می‌شود. در این شرایط قرار دادن دریچه و تاسیسات جانبی در محل آب‌گیری زارعین در کانال ضروری است و می‌تواند مفید باشد.

منابع

بهراملو، رضا؛ عباسی، نادر؛ مامن پوش، علیرضا؛ اخوان، کرامت؛ ریاحی، حمید (۱۳۹۶). ارزیابی راندمان انتقال و تلفات آب در کانال‌های انتقال آب با پوشش ژئوممبران HDPE در شبکه‌های آبیاری زاینده رود، مغان و کرمان. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۸ (۴) ، ۷۲۵-۷۳۵.

جمالی، رضا؛ بشارت، سینا؛ یاسی، مهدی؛ امین پور، افشین (۱۳۹۷). ارزیابی راندمان‌های آبیاری، کارآیی مصرف و بهره‌وری آب در حوضه دریاچه ارومیه. *علوم آب و خاک*، ۲۲ (۳)، ۱۱۷-۱۳۰.

حسینی‌جلفان، محسن؛ هاشمی‌شاهدانی، سیدمهدی؛ جوادی، سامان (۱۳۹۹). ارزیابی میزان تأثیرگذاری سامانه کنترل خودکار توضیع آب سطحی کشاورزی به منظور کاهش برداشت و تعادل بخشی آبخوان در شرایط کم آبی (مطالعه موردی: کانال اصلی شبکه آبیاری قزوین). *مدیریت آب و آبیاری*، ۱۰ (۲)، ۲۹۹- ۲۸۱. 10.22059/JWIM.2020.301641.791

ریاحی، حمید؛ عباسی، نادر؛ ملایی، عباس (۱۳۹۹). ارزیابی عملکرد فنی و وضعیت بهره برداری از کانالهای انتقال آب استان کرمان. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۷ (۲) ، ۱۶۷-۱۷۷.

سلامتی، نادر؛ ورجاوند، پیمان؛ آبسالان، شکراله؛ عزیزی، آذرخش؛ گوشه، محی الدین؛ حبیبی، جعفر (۱۳۹۷). ارزیابی راندمان توزیع آب در کانال‌های بتنی و کانالت‌ها در شبکه‌های آبیاری استان خوزستان. *تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی*، ۱۹ (۷۲) ،۱۴۹-۱۶۴.

سهرابی، تیمور؛ پوربروجنی، احمدجواد (۱۳۸۴). بازده های انتقال و توزیع در سبکه آبیاری دشت قزوین. *پژوهش آب، خاک و گیاه*، ۵ (۲)، ۵۳-۶۴.

شاهرخ نیا، محمدعلی؛ علیان غیاثی، عبدالمطلب (۱۳۹۶). روش‌های برآورد نشت در کانال‌ها و بررسی نشت و راندمان توزیع در شبکه آبیاری درودزن. *مدیریت آب در کشاورزی*، ۴ (۲)، ۲۷-۳۶.

شفیعی، بهروز؛ شاهرخ نیا، محمدعلی (۱۳۹۷). بررسی شاخص های ارزیابی عملکرد تحویل آب در نهر ادامه ی سمت چپ شبکه ی آبیاری درودزن. *مهندسی منابع آب*، ۱۱ (۳۹) ،۷۳-۸۶

شینی، علی؛ مینایی، سهراب؛ نوری، منصور (۱۳۹۴). بررسی تلفات آب و ارائه راهکارهایی جهت کاهش آن در شبکه آبیاری دز. *فصلنامه علمی وتخصصی مهندسی آب*،۳ (۲) ، ۸۷-۹۸

عباسی، فریبرز؛ سهراب، فرحناز؛ عباسی، نادر (۱۳۹۵). ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. *تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی*،۱۷ (۶۷) ، ۱۱۳-۱۲۸

کریمی، حبیب؛ هاشمی‌شاهدانی، سیدمهدی؛ هاشمی گرمدره، سیدابراهیم؛ لیاقت، عبدالمجید (۱۳۹۹). برآورد میزان تلفات ناشی از انتقال، توزیع و تحویل آب کشاورزی. مطالعه موردی شبکه آبیاری رودشت اصفهان. *مدیریت آب و آبیاری*، ۱۰ (۱)،۱۵۶- ۱۴۳. 10.22059/JWIM.2020.297869.762

معروفی، صفر؛ سلطانی، حمزه (۱۳۸۵). برآورد راندمان های انتقال و توزیع آب در شبکه آبیاری و زهکشی شاوور با استفاده از یک رابطه نمایی. *پژوهش کشاورزی*، ۶ (۱)، ۳۶-۴۷

نحوی نیا، محمدجواد؛ لیاقت، عبدالمجید؛ عباسی، فریبرز (۱۳۹۸). ارزیابی شبکه آبیاری با مفاهیم کلاسیک و جدید راندمان آبیاری. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۰ (۳)، ۵۶۷-۵۷۹. 10.22059/IJSWR.2018.125311.667237

Abu Khashaba, M.I. (2013). INNOVATING IMPERMEABLE CONCRETE APPROPRIATE FOR CANAL LINING USING A SPECIFIC MIXING RATIO AND APPLYING IT TO A PILOT REACH. *journal of engineering sciences*, 41 (3), 900 – 918.

Afrasiabikia, P., Parvaresh Rizi, A., Javan, M. (2017). Scenarios for improvement of water distribution in Doroodzan irrigation network based on hydraulic simulation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 1 (135), 312-320. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.02.011

Alebachew, S., Ing Pratap, S. J. (2018). Evaluation of canal water conveyance and on-farm water application for a small-scale irrigation scheme in Ethiopia. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 10 (8), 100 – 110.

Amol, K., Nagarajan, R. (2018). Conveyance Loss Modelling and Conservation Planning for Irrigation Canals – A Geo-Spatial Approach. *International Journal of Engineering and Technical Research*, 8 (1), 384-393

Agide, Z., Haileslassie, A., Sally, H., Erkossa, T., Schmitter, P.S., Langan, S.J. Hoekstra, D. (2016). Analysis of water delivery performance of smallholder irrigation schemes in Ethiopia: Diversity and lessons across schemes. typologies and reaches.

Barkhordari, S., Shahadany, S.H., Taghvaeian, S., Firoozfar, A.R., Maestre, J.M. (2020). Reducing losses in earthen agricultural water conveyance and distribution systems by employing automatic control systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 1(168), 105-122. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105122

Bakry, M.F., Awad, A.A. (1997). Practical estimation of seepage losses along earthen canals in Egypt. *Water Resources Management*, 1(11),197-206

Birara, H., Halefom, A. (2017). Evaluation of seepage loss in Gorezen irrigation canals, dabatworeda, north Gondar, Ethiopia. *Engineering Science and Technology: An International Journal (ESTIJ)*, *7*(1).

Bos, M.G., Nugteren, J. (1990). On irrigation efficiencies. [1974]. International Institute for land reclamation and improvement/ILRI Publication:19

Brouwer, C., Prins, K., Heibloem, M. (1989). Irrigation water management: irrigation scheduling. Training manual, 4.

Brinkley, A., McAuley, C., Lush, G., Parsons, S., Stanley, I., Jackson, P., Aseervatham, E., Devlin, K., Mapson, J. (2004). Management, measurement and remediation of seepage from open channels. In Engineering Salinity Solutions: 1st National Salinity Engineering Conference 2004 (p. 164). Engineers Australia.

Chow, V. Te. (1959). Open Channel Hydraulics. Mc Graw-Hill Book Company, Inc, New York.

Contor, B.A. (2004). Irrigation Conveyance Loss. Idaho Water Resources Research Institute Technical Report, 1 (2), 4 -8.

Cantoni, M., Weyer, E., Li, Y., Ooi, S.K., Mareels, I., Ryan, M. (2007). Control of large-scale irrigation networks. *Proceedings of the IEEE*, 95(1),75-91.

Eckert, S., Franke, S., Gundrum, T., Gerbeth, G., Willemetz, J.C. (2015). Applications of Ultrasonic Doppler Velocimetry to flow measurements in hot liquid metals. In: 8th International Conference on Electromagnetic Processing of Materials.

Figueiredo, J., Botto, M.A., Rijo, M. (2013). SCADA system with predictive controller applied to irrigation canals. *Control Engineering Practice*, 21(6), 870-886. https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2013.01.008

Ghazaw, Y.M. (2011). Design and analysis of a canal section for minimum water loss. *Alexandria Engineering Journal*, 50 (4),337-344. https://doi.org/10.1016/j.aej.2011.12.002

Howell, T.A. (2003). Irrigation efficiency. Encyclopedia of water science. Marcel Dekker, New York. 1 (1), 467-472.

Hashemy Shahdany, S.M., Adib Majd, E., Firoozfar, A., Maestre, j. m. (2016). Improving Operation of a Main Irrigation Canal Suffering from Inflow Fluctuation within a Centralized Model Predictive Control System: Case Study of Roodasht Canal, Iran. *Journal of Irrigation and Drainage Engineerin*, 142 (11), 1-9.
Israelsen, O.W. (1932). Irrigation principles and practices. Irrigation principles and practices.
Kinzli, K.D., Martinez, M., Oad, R., Prior, A., Gensler, D. (2010). Using an ADCP to determine canal seepage loss in an irrigation district. *Agricultural Water Management*, 97 (6),801 – 810. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.12.014
Kraatz, D.B. 1977. Irrigation canal lining. FAO.
Lei, L., Yi, L., Chansheng, H., Jianbin, L., Xiubin, L. (2010). Roles of the combined irrigation, drainage, and storage of the canal network in improving water reuse in the irrigation districts along the lower Yellow River, China. *Journal of Hydrology*, 391(2), 157 – 174. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.015
Mohammadi, A., Parvaresh Rizi, A., Abbasi, N. (2019). Field measurement and analysis of water losses at the main and tertiary levels of irrigation canals: Varamin Irrigation Scheme, Iran. *Global Ecology and Conservation*, 1(18), e00646. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00646
Martin, C.A. Gates, T.K. (2014). Uncertainty of canal seepage losses estimated using flowing water balance with acoustic Doppler devices. *Journal of Hydrology*, 517 (19), 746-761. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.074
Pere, S., Luca, S., Enric, Q., Cristian, P., Oscar, G. (2016). Estimating Water Consumption and Irrigation Requirements in a Long-Established Mediterranean Rural Community by Remote Sensing and Field Data. *Journal of Irrigation and Drainage*, 65 (5), 578 – 588. https://doi.org/10.1002/ird.1978
Robinson, A.R., Rohwer, C. (1959). Measuring seepage from irrigation channels (No. 1203). US Dept. of Agriculture.
Shahdany, S.H., Firoozfar, A.R. (2017). Providing a reliable water level control in main canals under significant inflow fluctuations at drought periods within canal automation. *Water resources management*, 31(11), 3343-3354. https://doi.org/10.1007/s11269-017-1671-0
Shahverdi, K., Monem, M.J. (2015). Application of reinforcement learning algorithm for automation of canal structures. *Irrigation and drainage*, 64(1), 77-84. https://doi.org/10.1002/ird.1876
Sarki, A., Memon, S.Q., Leghari, M. (2008). Comparison of different methods for computing seepage losses in an earthen watercourse. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 41(4),197-205.
Singh, B., Singh, K. K. (2014). Comparison of seepage and evaporation losses of field data analysis with analytical approach analysis - a Study of Narwana branch canal, Kurukshetra. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering*, 3(7), 204-209.
Wang, H., Liu, C., Zhang, L. (2002). Water-saving agriculture in China: an overview.
Yao, L., Feng, S., Maoa, X., Huo, Z., Kang, S., Barry, D.A. (2012). Coupled effects of canal lining and multi-layered soil structure on canal seepage and soil water dynamics. *Journal of Hydrology*, 2 (430), 91-102. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.004
Zamani, S., Parvaresh Rizi, A., Isapoor, S. (2015). The effect of design parameters of an irrigation canal on tuning of coefficients and performance of a PI controller. *Irrigation and drainage*, 64 (4), 519-534. https://doi.org/10.1002/ird.1916