

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی

(تحقیقات مهندسی کشاورزی)

علمی - پژوهشی

شاپا: ۴۰۰۰-۲۴۷۶

جلد ۲۲، شماره ۸۴، پاییز ۱۴۰۰

فهرست مقالات

- کاربرد و مقایسه روش‌های بهینه‌سازی تک هدفه (GA) و چند هدفه (NSGA-II) در طراحی شبکه‌های تحت فشار
آتنا حاضری، رسول قبادیان و محمد مهدی حیدری..... ۱
- تاثیر آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای بر بهره‌وری آب دو سیستم کشت داربستی و خزنده انگور
امید عروجیان مشهدی، سید مجید میرلطیفی و حسین دهقانی سانج..... ۱۹
- ارزیابی و بهبود مدیریت توزیع آب در شبکه‌های آبیاری در شرایط کمبود آب (مطالعه موردی: کانال درجه دوم عقیلی شرقی)
شیرین استواری دیلمانی، محمدجواد منعم و سید مهدی هاشمی شاهدانی..... ۳۷
- بررسی آزمایشگاهی تاثیر محل قرارگیری صفحات مشبک افقی از لبه شیب‌شکن قائم بر عمق استخر و میزان استهلاک انرژی جریان در پایین‌دست
رسول دانشفراز، مهدی ماجدی اصل و محمد جعفری..... ۵۵
- بررسی آزمایشگاهی تاثیر ایجاد پرش مستغرق بر کاهش آبشستگی پایین‌دست حوضچه آرامش (مطالعه موردی: بند سنگی-ملاتی تول بنه)
محمدعلی صلیبی، مهدی مفتاح هلقی، امیراحمد دهقانی و عبدالرضا ظهیری..... ۶۹
- مطالعه آزمایشگاهی ضریب شزی در آبراهه‌های با شکل بستر
مصطفی حیدری، محمد بهرامی یاراحمدی و محمود شفاعی بجستان..... ۸۹
- برآورد مقدار آب مجازی برخی محصولات دامی (شیر و گوشت) در استان خراسان رضوی
عفت محمدی، ام‌البنی محمدرضاپور، پرویز حقیقت جو و سید ابوالقاسم حقایقی مقدم..... ۱۰۵

مجله "تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی"

با درجه علمی - پژوهشی مطابق ابلاغ (مجوز) شماره ۳/۱۸/۸۱۶۷۱ مورخ ۱۳۹۴/۰۴/۳۱ وزارت علوم، تحقیقات و فناوری.

نمایه شده در CABI، پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC)، ایران ژورنال، بانک اطلاعات نشریات کشور، پایگاه اطلاعات جهاد دانشگاهی و مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی (Agris) (Agris)

صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

مدیر مسئول: حسین دهقانی‌سانج

سردبیر: نادر عباسی

هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

محمدحسین امید	استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
عاطفه پرورش‌ریزی	دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
نادر حیدری	دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
حسن رحیمی	استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
محمود شفاعی بجستان	استاد، دانشگاه شهید چمران اهواز
فربرز عباسی	استاد، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
نادر عباسی	استاد، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
صلاح کوچک‌زاده	استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
محمدجواد منعم	دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس
ابوالفضل ناصری	دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
علیرضا کیانی	استاد مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، گرگان

هیأت تحریریه بین‌المللی (به ترتیب حروف الفبا):

علی ترابی حقیقی	دانشیار، گروه مهندسی و مدیریت هیدروسستم‌ها، دانشکده آب و انرژی و محیط زیست، دانشگاه Oulu فنلاند
حسن رحیمی	مدیر گروه ژئوتکنیک سازمان نگهداری و بهره برداری قطارهای شهری سیدنی استرالیا (استاد بازنشسته دانشگاه تهران)
محمدعلی شریفی	دانشیار مؤسسه علوم جغرافیایی و مشاهده زمین، دانشگاه Twente، هلند
راضیه فرمانی	دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی، دانشگاه Exeter انگلستان

بررسی‌کنندگان / این شماره:

- حامد ابراهیمیان	- مهدی دریایی	- محمد فرشته‌پور	- محمد مهدی نخجوانی
- مهدی اسمعیلی ورکی	- مصطفی رحمانشاهی	- رسول قبادیان	- حامد نوذری
- پیمان افراسیابی کیا	- محمدعلی شاه‌رخ نیا	- امین کانونی	- افشین یوسف گمرکچی
- رضا بهراملو	- علیرضا عمادی	- آوا مرعشی	
- سید ابو القاسم حقایقی مقدم	- الهام فاضل	- ابوالفضل ناصری	

ویراستار ادبی و علمی: محمدرضا داهی

ویراستار انگلیسی: محمدرضا داهی

مدیر داخلی: افشین یوسف گمرکچی

صفحه‌آرا: سمیه وطن‌دوست

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، ص. پ. ۸۴۵-۳۱۵۸۵، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۲۴۲ و ۳۲۷۰۸۳۵۹ (۰۲۶)، دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)

پایگاه اطلاعاتی مؤسسه: www.aeri.ir

پایگاه اطلاعاتی مجله: http://idser.areeo.ac.ir

پیام‌نگار: aridsej@areeo.ac.ir

شرایط پذیرش و راهنمای تهیه مقاله برای مجله تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی

نشریه "تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی" مقاله‌های علمی- پژوهشی در زمینه‌های فنی و مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی را که به زبان فارسی نوشته شده و قبلاً منتشر نشده یا برای انتشار در نشریه یا نشریه‌ای دیگر ارسال نشده باشد، برای بررسی و داوری می‌پذیرد و در صورت تأیید به ترتیب تاریخ وصول چاپ می‌کند. همچنین مقاله‌های گردآوری یا تحلیلی که توسط پژوهشگران صاحب‌نظر و تنها به دعوت هیأت تحریریه در زمینه مسائل روز فنی و مهندسی تهیه شده است، پس از بررسی و تصویب به چاپ خواهد رسید.

مسئولیت هر مقاله از نظر علمی بر عهده نویسنده (یا نویسندگان) است. ترتیب نام نویسندگان بر عهده شخص مکاتبه‌کننده خواهد بود و مکاتبات با وی انجام خواهد شد. نشریه در رد یا قبول و حک و اصلاح مقالات آزاد است و مقاله‌های دریافتی مسترد نخواهند شد. نشریه در نشر مطالب به صورت الکترونیکی، اینترنتی یا اینترنتی مجاز است.

مقاله‌ها باید با عنوان کامل، **بدون نام و مشخصات نگارنده (یا نگارندگان)**، به انضمام برگ مشخصات مقاله، روی کاغذ سفید A4 حداکثر در ۱۵ صفحه با فاصله سطرها یک سانتی‌متر و حاشیه از بالا ۳/۸ سانتی‌متر و ۲/۵ سانتی‌متر از چپ و راست و پایین صفحه با قلم فارسی نازنین (B Nazanin)، اندازه ۱۳، به صورت تایپ رایانه‌ای در محیط ورد (Microsoft Word) تهیه و به همراه اصل فایل در فرمت ورد (Word) از طریق سامانه (<http://idser.areeo.ac.ir>) ارسال شود. ارسال فرم تعهد نگارندگان و فرم تعارض منافع نیز الزامی است.

ترتیب و شرح قسمت‌های مختلف مقاله

مقاله‌های ارسالی شامل برگه مشخصات مقاله، عنوان، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری، قدردانی، مراجع مورد استفاده، چکیده مبسوط و واژه‌های کلیدی به زبان انگلیسی و در صورت لزوم ضمائم است.

برگه مشخصات مقاله

این قسمت در یک صفحه جداگانه تهیه می‌شود و در برگه‌بند عنوان مقاله، نام و نام خانوادگی و مرتبه علمی نگارنده (یا نگارندگان)، آدرس کامل، شماره تلفن، شماره دورنگار، آدرس پست الکترونیکی، و منبعی خواهد بود که مقاله از آن استخراج شده است (پایان‌نامه دانشجویی، طرح تحقیقاتی و مانند آن). برگه مشخصات مقاله باید به دو زبان فارسی و انگلیسی ارائه شود.

عنوان

عنوان باید کوتاه (حداکثر ۲۵ کلمه)، رسا، جامع، و بیانگر محتوای مقاله باشد.

چکیده فارسی

چکیده فارسی (حداکثر در ۲۰۰) کلمه بیانگر فرضیه، هدف پژوهش، توصیف مختصر مواد و روش‌ها، نتایج اصلی به دست آمده و نتیجه‌گیری کلی از پژوهش است.

واژه‌های کلیدی

واژه‌های کلیدی شامل حداکثر پنج واژه مجزا یا مرکب خواهد بود و برای نشان دادن ماهیت و گرایش موضوع مقاله به هنگام طبقه‌بندی در سامانه‌های اطلاع‌رسانی است.

مقدمه

در این بخش باید موضوع مورد پژوهش معرفی و فرضیه مورد نظر تعریف شود. همچنین لازم است به اهم کارهای پژوهشی انجام شده قبلی در این مورد نیز اشاره و لزوم پژوهش مورد نظر تشریح و هدف مطالعه حاضر مشخص شود.

مواد و روش‌ها

این قسمت شامل شرح کامل مواد و روش‌های مورد استفاده در اجرای پژوهش است. در مورد روش‌های متداول و شناخته شده، ذکر منبع مربوط کافی است. ذکر مشخصات فنی و نام‌های دقیق علمی و تجاری مواد و دستگاه‌ها و همچنین معیارهای مورد استفاده ضرورت دارد.

نتایج و بحث

این بخش در برگرفته نتایج حاصل از پژوهش به صورت متن(ها)، جدول(ها)، شکل(ها) و تصویر(ها) است. در این قسمت علل و روابط بین آنها در ایجاد نتایج حاصل، با استفاده از منابع علمی دیگر، مورد بحث قرار می‌گیرد. ضرورت دارد جدول‌ها و شکل‌ها با اندازه مناسب و کیفیت بالا تهیه شود، ارقام خوانا باشند، و تغییرات آشکار در منحنی‌ها با واحدهای سنجش سیستم بین‌المللی (SI) تهیه شود. عنوان جدول در بالا و عنوان نمودار یا شکل در زیر (به فارسی و انگلیسی) نوشته شود. عنوان جدول یا نمودار باید مختصر و گویای ارتباط عوامل مورد بحث در جدول یا نمودار باشد (لازم است تمامی توضیحات محورها و تمامی واحدها در نمودارها هم به فارسی و هم انگلیسی نوشته شوند و اعداد داخل جداول و نمودارها به انگلیسی نوشته شود). نتایج بررسی‌های آماری باید به یکی از روش‌های علمی در جدول(ها) منعکس شود مگر در مواردی که ذکر ارقام به صورت خام ضروری باشد. هر جا به جدول یا نموداری اشاره می‌شود آن جدول یا نمودار باید بلافاصله نشان داده شود مگر در موارد ضروری که حسب مورد در قسمت ضمایم ارائه خواهد شد. اعداد، مقیاس‌ها، واحدها در متن مقاله و در جدول و نمودار به فارسی نوشته شود. کارهای ترسیمی اصلی بوده یا به صورت رایانه‌ای و سازگار با ورد (Word) دارای کیفیت مناسب برای چاپ باشد. تکرار جدول‌ها، نمودارها، و غیره به هنگام بیان نتایج ضرورت ندارد.

نتیجه‌گیری

این قسمت شامل یک استنتاج نهایی، خلاصه پژوهش، و ذکر کاربرد (یا کاربردهای) احتمالی موضوع مورد تحقیق است. نگارندگان می‌توانند پیشنهادها یا خود را برای انجام تحقیقات تکمیلی ارائه کنند.

قدردانی

در این بخش (در صورت نیاز)، از اشخاص حقیقی، حقوقی، سازمان‌ها، و نهادهای مؤثر در انجام پژوهش قدردانی می‌شود.

مراجع

- ۱- کلیه مراجعی که در متن مقاله بیان شده است باید در فهرست مراجع و بعد از متن آورده شوند. نگارندگان موظف‌اند مشخصات مراجع را چه در این بخش، چه در متن مقاله به درستی و مطابق با مشخصاتی بیاورند که در هر یک از منابع دیده می‌شود.
- ۲- در متن مقاله فقط به نام نگارنده (یا نگارندگان) و سال انتشار مرجع اشاره شود (به صورت شماره اشاره نشود).
مثال: (Razavi, 2003)، (Regier & Schubert, 2001)
- ۳- اگر مرجع بیشتر از دو نگارنده دارد نام نفر اول همراه با «*et al.*» ذکر شود اما در فهرست مراجع اسامی تمامی نگارندگان درج شود.
مثال: (Budiman *et al.*, 1999)

۴- مراجع به ترتیب حروف الفبای نام نگارندگان مرتب شود. در صورتی که نگارنده‌ای در یک سال چند مقاله دارد با اضافه کردن حروف a و b و ... تنظیم شوند.

۵- مراجع فارسی به زبان انگلیسی ترجمه شده و در انتها عبارت (in Persian) قید شود.

۶- از روش زیر برای مرتب کردن مراجع استفاده شود.

الف- تک نگارنده

Elsafi, S. H., 2014. Artificial neural networks (ANNs) for flood forecasting at Dongola Station in the River Nile, Sudan. *Alexandria Engineering Journal*, 53(3), pp.655-662.

ب- دو یا چند نگارنده

Kashefipour, S. M., Lin, B., & Falconer, R. A. (2006). Modelling the fate of faecal indicators in a coastal basin. *Water Research*, 40(7), pp.1413-1425.

پ- کتاب

Chanson, H., 2004. *Hydraulics of open channel flow*. Butterworth-Heinemann.

ت- فصلی از کتاب

Pfister, M., Schleiss, A. J., & Tullis, B. (2013). *Effect of driftwood on hydraulic head of piano key weirs*. In S. Erpicum., F. Laugier., M. Pfister., M. Piroton., G. M. Cicero., & A. J. Schleiss (Eds.) *Labyrinth and Piano Key weirs II* (pp 225-265). CRC Press, Leiden, Netherlands.

در صورتی که تعداد نگارندگان فصل یک نفر باشد از (Ed.) و در غیر این صورت از (Eds.) استفاده شود.

ث- مجموعه مقاله‌ها

Pagliara, S., & Carnacina, I. (2010). *Scour and dune morphology in presence of large wood debris accumulation at bridge pier*. In *International Conference on Fluvial Hydraulics*. Sep. 8-10. Braunschweig, Germany.

ج- دیسکت فشرده مجموعه مقاله‌ها (CD)

فقط کلمه CD قبل از Proceeding یا مجموعه مقاله‌ها آورده شود.

چنانچه مقاله‌ای در دست چاپ است، به جای کلمه ناشر، In press یا «در دست چاپ» به کار برده شود.

چ- پایان نامه، گزارش یا طرح تحقیقاتی

Stockstill, R.L. (1998). Innovative lock design, report 1, case study, New McAlpine Lock Filling and Emptying System, Ohio River, Kentucky. *Technical Rep. INP-CHL, 1*.

Salahinia, S. (2015). Experimental investigation of the subsurface flow under rainfall recharge and soil variability (M. Sc. Thesis), Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran. (in Persian)

ه- مرجع بدون نویسنده مشخص

Anon. 1998. ASAE Standard: ASAE S368.1. Compression tests of food materials of convex shape. ASAE. St. Joseph. MI 49085-9659. USA.

چکیده مبسوط به زبان انگلیسی

چکیده مبسوط انگلیسی شامل مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری، قدردانی و کلمات کلیدی است که طبق فرمت نشریه (در بخش راهنمای نگارندگان) تهیه شده در انتهای مقاله آورده می‌شود.

واژه‌های کلیدی به زبان انگلیسی

این واژه‌ها معادل "واژه‌های کلیدی فارسی" به زبان انگلیسی ذکر شود.

تذکر

- الف- برای پذیرش اولیه مقاله و بررسی آن، رعایت دقیق دستورالعمل بالا ضروری است (جزئیات فرمت تهیه مقاله در سایت نشریه و در بخش راهنمای نگارندگان موجود است).
- ب- به منظور بهبود کیفیت مقاله و رفع اشکالات اساسی احتمالی توصیه می‌شود که نگارندگان محترم قبل از ارسال مقاله برای درج در این نشریه آن را به نظر دو نفر از همکاران مجرب خود برسانند.

تبصره

نشریه علمی پژوهشی **تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی** کتاب‌ها و مجلات جدید مهندسی کشاورزی به زبان فارسی را که یک نسخه از آن به دفتر نشریه برسد، پس از تصویب هیأت تحریریه معرفی می‌نماید.

نوع مقاله: علمی پژوهشی

کاربرد و مقایسه روش‌های بهینه‌سازی تک هدفه (GA) و چند هدفه (NSGA-II) در طراحی شبکه‌های تحت فشار

آتنا حاضری^۱، رسول قبادیان^{۲*} و محمد مهدی حیدری^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشجوی دکتری؛ دانشیار، و استادیار گره مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۴

چکیده

طراحی بهینه شبکه‌های آبیاری و آبرسانی تحت فشار با هدف کاهش هزینه‌ها همواره مورد توجه بوده است. در این تحقیق، طراحی بهینه شبکه با روش‌های بهینه‌سازی تک هدفه الگوریتم ژنتیک باینری و دوهدفه NSGA-II انجام شد. تابع هدف دوم در NSGA-II به صورت کمینه کردن مجموع فشار در کل سیستم تعریف گردید. چنانچه مقدار این تابع به صفر یا نزدیک آن سوق داده شود نتایج روش تک‌هدفه GA و دوهدفه NSGA-II قابل مقایسه‌اند. به منظور طراحی بهینه شبکه، کدهای کامپیوتری برای بهینه‌سازی تک‌هدفه، بهینه‌سازی دوهدفه و تحلیل هیدرولیکی شبکه به روش ماتریسی شیب در محیط برنامه نویسی VB تهیه و به همدیگر جفت شدند. پس از صحت‌سنجی مدل، یک شبکه مطرح دوحلقه‌ای متشکل از ۷ لوله و ۸ گره، که از یک مخزن تغذیه می‌کند، با هر دو روش بهینه‌سازی طراحی شد. نتایج تحقیق نشان داد در هر دو روش هزینه لوله‌گذاری تقریباً یکسان و با اختلاف کمتر از یک درصد برآورد شد در حالی که هزینه محاسبات کامپیوتری در روش NSGA-II در حدود یک پنجاهم روش الگوریتم ژنتیک برآورد گردید. با توجه به اینکه هزینه محاسبات در روش NSGA-II بسیار کمتر از روش GA به‌دست آمد، استفاده از این روش برای حل مسئله تک‌هدفه طراحی شبکه تحت فشار نیز توصیه می‌شود به شرط اینکه در این روش تابع هدف دوم به گونه‌ای تعریف شود که در صورت رعایت همه قیود مقدار آن به صفر نزدیک شود. برای این منظور تابع هدف مجموع کمبود فشار مناسب تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی

الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ژنتیک مرتب سازی غیرمغلوب، طراحی شبکه تحت فشار

مقدمه

هدف نهایی چنین تصمیماتی کمینه کردن هزینه یا بیشینه کردن منافع موردنظر با در نظر گرفتن محدودیت‌هاست. یافتن بهترین نتیجه در شرایط داده‌شده را بهینه‌سازی می‌گویند. یکی از قدرتمندترین روش‌های بهینه‌سازی تک‌هدفه الگوریتم ژنتیک است. الگوریتم ژنتیک روشی است که با داشتن ضوابط قیاس، طرح‌های مختلف را از

طراحی صحیح پارامترهای فنی و هیدرولیکی در موفقیت هر پروژه و اقتصادی بودن آن نقش اساسی دارند. بنابراین، مهندسان باید بتوانند بهترین راهکار را در مراحل مختلف از نظر طراحی، ساخت، نگهداری و بهره‌برداری، با توجه به محدودیت‌های موجود، انتخاب کنند و تصمیمات لازم را بگیرند.

خودکار، به ارائه راهکارهایی در حل مشکل شبکه آبرسانی C-Town پرداختند. منکا و همکاران (Menke et al., 2015) با بهینه‌سازی ریاضی و استفاده از تقریبات خطی نشان دادند امکان کاهش هزینه بهره‌برداری از ایستگاه پمپاژ به مقدار ۱۰ تا ۱۲ درصد با بهبود کارایی یا انتقال زمان مصرف به دوره‌هایی با تعرفه پایین‌تر وجود دارد؛ و نیز نشان دادند که تقریبات خطی عملکرد بهتری در مقایسه با روش‌های غیرخطی دارند در حالی که سطوح قابل مقایسه‌ای از دقت را حفظ می‌کنند. مقدسی و سامانی بهینه‌سازی چند معیاره خطوط لوله انتقال آب بزرگ مقیاس را با تعریف دو تابع هدف هزینه و بهره‌دهی و خدمت‌پذیری مورد بررسی قرار دادند (Moghaddas & Samani, 2016). ریکا و همکاران (Reca et al., 2017) روشی جدید به منظور افزایش کارایی روش‌های اکتشافی در طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب ارائه کردند. این روش شامل کاهش فضای جستجو با محدود کردن تعداد قطره‌های که می‌توانند استفاده شوند و ترکیب آن با روش الگوریتم ژنتیک بود. در ادامه، با طراحی چند شبکه مشخص، سرعت همگرایی روش ترکیبی (B-GA) با روشی کلاسیک الگوریتم ژنتیک (GA) مقایسه شد. نتایج نشان داد روش ترکیبی مذکور سرعت همگرایی بیشتری دارد و دقت آن نیز بالاتر است. هررا و همکاران (Herrera et al., 2018) هیجده تحقیق معتبر را در موضوعات مختلف طراحی شبکه، بهره‌برداری بهینه، داده‌کاوی و نظارت بر فشار شبکه، مدیریت بهینه کیفیت آب و مدل‌سازی و پیش‌بینی نیاز آبی شبکه بررسی کردند. پس از آن چارچوبی مناسب و روشن با پشتوانه مکانیسم‌های هیدرولیکی برای کمک به فرآیندهای تصمیم‌گیری مدیران شرکت آب ارائه دادند. ترابی و همکاران (Torabi et

طریق آزمون و خطا ارزیابی می‌کند و بهترین طرح‌ها را حفظ خواهد کرد و نهایتاً به طرح مناسب دست پیدا می‌کند (Aggrawal et al., 2015). طراحی بهینه هر سیستم مهندسی، تعیین مشخصات آن سیستم است، به گونه‌ای که هدف‌های بهینه‌سازی برآورده شوند. هدف‌های تعریف شده برای هر سیستم ممکن است متفاوت باشد ولی در دنیای مهندسی امروزی هیچگاه هدف‌های یک‌جانبه تعریف نمی‌شوند و سعی خواهد شد طراحی بهینه به گونه‌ای پیش‌رود که جنبه‌های مختلفی را دربر گیرد (Jung et al., 2009). بهینه‌سازی چندهدفه، زیر شاخه‌ای از مجموعه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) است که در میان مجموعه نامحدودی از جواب‌های محتمل صورت می‌گیرد. در این گونه از مسایل، برخلاف مسایل بهینه‌سازی تک هدفه و به دلیل وجود چند هدف متعارض، به جای تنها یک جواب مجموعه‌ای از جواب‌ها حاصل می‌شود به گونه‌ای که هر جواب از این مجموعه می‌تواند یک پاسخ بهینه باشد. روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند: روش‌های سنجشگر، روش‌های غیر پارتو و روش‌های پارتو. از بین این روش‌ها، روش‌های پارتو بسیار انعطاف پذیرتر و قوی‌تر برای مسائل مهندسی هستند زیرا می‌توانند با یک بار اجرا، پاسخ‌های چندمنظوره بهینه پارتو را به دست آورند (Deb et al., 2002). روش‌های بهینه‌سازی برای مسائل مرتبط با طراحی، مدیریت و بهره‌برداری سیستم‌های انتقال آب از بیش از سه دهه پیش به طور گسترده‌ای به کار برده شده‌اند. سوسا و همکاران (Sousa et al., 2014) با استفاده از دو مدل بهینه‌سازی شامل مدل حداقل نمودن هزینه برای پیدا کردن لوله‌های نیازمند تعویض و تعیین بهترین قطر آنها و مدل تعیین مشخصات بهینه پمپ و شیرهای

در طراحی بهینه شبکه‌های تحت فشار، لازم است که یک مدل بهینه‌ساز با یک مدل هیدرولیکی به همدیگر جفت شوند. انتخاب مدل مناسب بهینه‌ساز زمانی با اهمیت است که هدف عبارت باشد از طراحی شبکه بزرگ با آرایش پیچیده. این انتخاب نه تنها دقت بهینه‌سازی بلکه سرعت همگرایی و هزینه محاسبات را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. از این‌رو در تحقیق حاضر دو مدل بهینه‌ساز الگوریتم ژنتیک باینری (GA) و الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیر مغلوب (NSGA-II) با یک مدل شبیه‌ساز هیدرولیکی بر مبنای روش ماتریسی شیب با همدیگر در قالب یک کدی کامپیوتری جفت شدند. به عنوان یک نقطه تمایز نسبت به تحقیقات قبلی و به منظور امکان مقایسه از نظر دقت و سرعت همگرایی تابع هدف دوم در روش NSGA-II به صورت مجموع کمبود فشار مجاز تعریف شد. مقدار این تابع وقتی به سمت صفر میل کند امکان مقایسه دو روش بهینه‌سازی فراهم می‌آید.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

به منظور بررسی توانایی مدل تهیه شده، در این تحقیق طراحی بهینه شبکه توزیع آب دو حلقه‌ای ارائه شده توسط (Alperovits & Shamir, 1977) بررسی گردید. این شبکه در تحقیقات متعددی ارزیابی شده است. شبکه مذکور شامل ۷ گره و ۸ لوله فلزی با طول یکسان ۱۰۰۰ متر اسن که از یک مخزن با رقوم سطح آب ۲۱۰ متر تغذیه می‌شود. ضریب هیزن ویلیامز برای تمام لوله‌ها معادل ۱۳۰ در نظر گرفته شده است. مانند تحقیقات قبلی، محدوده‌های مجاز فشار

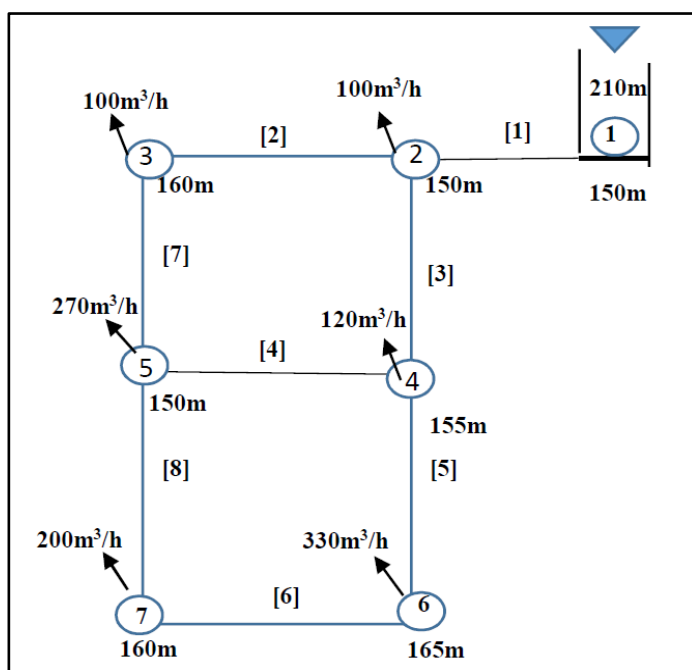
(al., 2018) با بهینه‌سازی شبکه آبیاری اسماعیل آباد لرستان با هدف دسترسی به کمترین هزینه همراه با انتخاب مناسب‌ترین قطر لوله و ارتفاع پمپاژ با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات تکامل و جهش یافته نشان دادند با استفاده از الگوریتم‌های فراکاوشی مذکور ۱۰/۶۸ درصد هزینه کل کاهش می‌یابد. معین‌الدینی و همکاران (Moinaldini et al., 2018) به منظور کاهش هزینه‌های احداث شبکه‌های توزیع آب جایگزین در یکی از شهرک‌های شهر کرمان از الگوریتم رقابت استعماری و شبیه‌سازی شبکه با استفاده از نرم افزار Water Gems استفاده کردند. نتایج کار آنها نشان داد که الگوریتم رقابت استعماری به میزان قابل توجهی توانسته است تابع هزینه را نسبت به حالت قبل از بهینه‌سازی شبکه کاهش دهد. منصوری و ترابی (Mansouri & Torabi, 2018) از الگوریتم تکامل تفاضلی در نرم افزار متلب برای بهینه‌سازی شبکه آبرسانی اسماعیل آباد لرستان استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد هزینه بهینه شده با روش الگوریتم تفاضلی، در مقایسه با روش کلاسیک تجربی، ۱۰/۶۶ درصد کمتر برآورد شده است. گروسی و همکاران (Garroussi et al., 2020) یک الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیر مغلوب ترکیبی را برای مسئله‌ای چند هدفه بیان کردند. در این روش متغیرهای تصمیم گسسته به عنوان کروموزوم‌های جزئی رمزگذاری می‌شوند و متغیرهای تصمیم پیوسته به طور مطلوب توسط یک حل کننده دقیق تعیین می‌شوند. روش ارائه شده با توجه به برخی از معیارهای مقایسه از جمله اختلاف حجم فوق العاده، نشانگر اپسیلون، تعداد راه‌حل‌های پارتو پیدا شده و معیارهای زمان محاسباتی، از برنامه نویسی هدف بهتر عمل می‌کند.

بین ۳۰ تا ۶۰ متر و سرعت بین ۰/۳ تا ۲ متر بر واحد طول لوله‌های موجود در بازار برای این طرح در ثانیه برای شبکه مذکور لحاظ شده است. هزینه جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- قطرهای موجود در بازار

Table (1): Available pipes with diameters in the market

قیمت (دلار بر متر) Price(\$/m)	قطر (اینچ) Diameters in.
۲	۱
۵	۲
۸	۳
۱۱	۴
۱۶	۶
۲۳	۸
۳۲	۱۰
۵۰	۱۲
۶۰	۱۴
۹۰	۱۶
۱۳۰	۱۸
۱۷۰	۲۰
۳۰۰	۲۲
۵۵۰	۲۴



شکل ۱- جانمایی شبکه (Alperovits and Shamir, 1977)

Figure (1): Network layout (Alperovits and Shamir, 1977)

پس از یک سری عملیات ریاضی، ماتریس هد در گره‌ها و دبی در لوله‌ها برای تکرار بعدی به صورت رابطه‌های ۳ تا ۵ خلاصه می‌شود:

$$H^{k+1} = -(A12N^{-1}A11^{-1}A12)^{-1}\{A12N^{-1}(Q^k + A11^{-1}A10H0) + (q - A21Q^k)\} \quad (3)$$

$$Q^{k+1} = (1 - N^{-1})Q^k - N^{-1}A11^{-1}(A12H^{k+1} + A10H0) \quad (4)$$

که در آنها N^{-1} معکوس ماتریس قطری N است:

$$N = \begin{bmatrix} n_1 & 0 & 0 \\ 0 & n_2 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots n_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

که در آن،

$n =$ توان دبی در رابطه افت اصطکاک (hf = H - H = R_Qⁿ (Todini & Pilati, 1988).

با فرض مقادیری اولیه برای دبی لوله‌ها (Q^K) و حل رابطه ۳ مقادیر هد در گره‌های مجهول در تکرار بعدی محاسبه می‌شوند. پس از آن با جایگزینی این مقادیر در رابطه ۴ دبی لوله‌های در تکرار بعد محاسبه می‌شود. مقادیر جدید جایگزین مقادیر فرضی خواهد شد و محاسبات تکرار می‌شود. تکرار محاسبات زمانی خاتمه می‌یابد که مجموع مربعات اختلاف مقادیر جدید با مقادیر حدس قبلی از مقداری که توسط کاربر تعیین می‌شود کمتر باشد.

بهینه‌سازی تک هدفه (الگوریتم ژنتیک): در

الگوریتم ژنتیک یک سری کروموزوم به عنوان جمعیت اولیه ایجاد می‌شود. هر کروموزوم از رشته‌ای از اعداد صفر و یک تشکیل می‌شود. برای کدگذاری متغیرها در این تحقیق از روش کدگذاری دوگان (صفر و یک) استفاده شده است، که رایج‌ترین شیوه کدگذاری است. در گام بعدی، هریک از رشته‌ها از صورت دوگان (صفر و یک) به عدد دهی تبدیل

روش ماتریسی شیب در تحلیل شبکه: در تحقیق حاضر، به منظور تحلیل شبکه آبرسانی و به دست آوردن دبی لوله‌ها و فشار در گره‌های سیستم، از شکل ماتریسی روش شیب استفاده شد. شکل ماتریسی روش شیب به صورت رابطه ۱ ارائه شده است:

$$\begin{bmatrix} A11 & A12 \\ A21 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A10H0 \\ q \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$A11 = \begin{bmatrix} R_1|Q_1|^{n_1-1} & 0 & 0 \\ 0 & R_2|Q_2|^{n_2-1} & 0 \\ 0 & 0 & \ddots R_{np}|Q_{np}|^{n_{np}-1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

که در آن،

$A12 =$ ماتریس اتصال لوله‌ها که ارتباط هر لوله را با گره‌های مجهول سیستم نشان می‌دهد. این ماتریس به ابعاد np سطر و nn ستون است که در آن np برابر تعداد لوله‌ها و nn تعداد گره‌ها با هد نامشخص است. آرایه‌های این ماتریس به شکل زیر تعریف می‌شوند:

$$A12_{ij} = \begin{cases} 1 \\ -1 \\ 0 \end{cases} \quad \text{یک برای حالتی که دبی لوله } i \text{ وارد}$$

گره j می‌شود، منفی یک برای حالتی که دبی لوله i از گره j خارج می‌شود و صفر یعنی اینکه لوله i با گره j ارتباط ندارد. R_i ضریب مقاومت در رابطه $(hf = R_i Q_i^n)$ و ماتریس $A21$ ترانزاده ماتریس $A12$ است. ماتریس $A10$ ماتریس اتصال گره‌ها با هد مشخص است که ارتباط هر گره را با لوله‌های سیستم نشان می‌دهد. این ماتریس به ابعاد np سطر و no ستون است که در آن no تعداد گره با هد مشخص است. آرایه‌های این ماتریس نیز مشابه ماتریس $A12$ تعریف می‌شود ولی برای گره با هد مشخص. $H0$ ماتریس گره با هد ثابت، H ماتریس هد گره‌های نامشخص، Q ماتریس دبی لوله‌ها و q ماتریس دبی تقاضاست (Elferchichi et al., 2009).

می‌شود و پس از آن مقدار تابع هدف مربوط به آن به دست می‌آید. خروجی‌های تابع هدف حالتی خام دارند، که با تابعی دیگر (تابع برازش) ارزیابی و میزان سازگاری نسبی آنها محاسبه می‌شود. میزان سازگاری هر کروموزم طبق رابطه (۶) با تقسیم میزان کارایی آن در تابع هدف به مجموع مقادیر تابع هدف به دست می‌آید.

$$\hat{f}(x_i) = \frac{f(x_i)}{\sum_{i=1}^N f(x_i)} \quad (6)$$

که در آن،

N = تعداد کروموزم‌ها در جمعیت؛ x_i = مقدار تقریبی متغیر؛ $f(x_i)$ = تابع هدف؛ و $f'(x_i)$ = میزان سازگاری هر کروموزم.

به‌طور کلی، هر عضو از جمعیت قبلی با احتمالی متناسب با درجه سازگاری خود در جمعیت قبلی، در تشکیل جمعیت میانی سهم دارد. درواقع این مرحله شامل انتخاب دو کروموزم مادر از میان جمعیت بر اساس میزان سازگاری آنهاست که هرچه میزان سازگاری بیشتر باشد، احتمال انتخاب بیشتر است. در مدل حاضر، از روش انتخاب چرخ گردان استفاده شده است، که اعضا را بر اساس میزان سازگاری نسبی آنها انتخاب می‌کند. کروموزم‌های مادر به‌طور تصادفی با میزان احتمال تعیین‌شده جفت‌گیری می‌کنند و دو فرزند جدید به وجود می‌آورند. اگر تقاطع صورت نگیرد فرزندان عیناً مشابه دو کروموزم مادر می‌شوند.

مدل نوشته‌شده بدین صورت است که پس از انتخاب هر جفت یک عدد تصادفی تولید می‌شود. چنانچه عدد تصادفی تولیدشده از مقدار احتمال در نظر گرفته شده بالاتر باشد، تقاطع صورت می‌گیرد، وگرنه دو عضو انتخاب‌شده عیناً بدون تقاطع به جمعیت جدید منتقل می‌شوند.

عملگر جهش در کروموزم‌هایی که به صورت صفر و یک کدگذاری شده‌اند بیت‌های تشکیل‌دهنده کروموزم را به صورت تصادفی و معمولاً با احتمال ناچیزی تغییر می‌دهد. در این مرحله، کروموزم‌هایی که باید با نوزادان جدید تعویض شوند مشخص می‌شوند. هنگامی که نوزادان جدیدی با استفاده از عملگرهای انتخاب، تقاطع و جهش به وجود می‌آیند، می‌توان میزان سازگاری آنها را ابتدا تعیین کرد، سپس آنها را بر اساس میزان سازگاری وارد جمعیت جدید کرد (Razi et al., 2015).

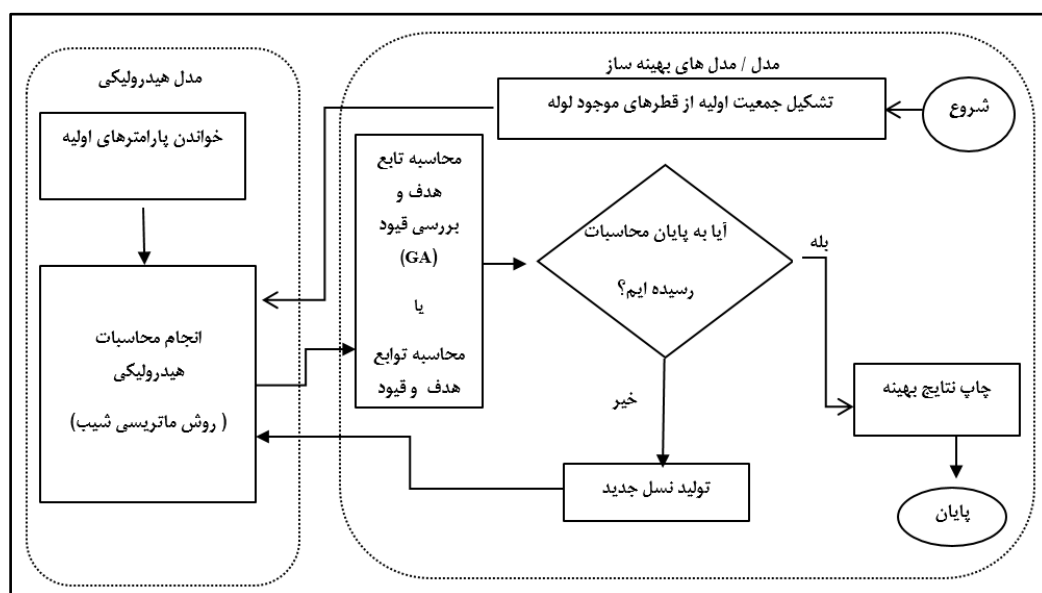
بهینه‌سازی چند هدفه (NSGAI): الگوریتم حل مسئله بهینه‌سازی به‌روش الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیرمغلوب (NSGAI) بر مبنای الگوریتم تکاملی ژنتیک (GA) پایه ریزی شده است. در این روش نیز مانند روش GA یک جمعیت اولیه از متغیرهای تصمیم‌گیری به‌صورت تصادفی در فضای مجاز تولید می‌گردد. هر عضو از این جمعیت شامل مجموعه‌ای از متغیرهای تصمیم‌گیری، یک کروموزم نامیده می‌شود. مقادیر تابع‌های هدف برای هر کروموزم به دست می‌آیند. پس از آن جمعیت بر اساس معیار مرتب‌سازی غیرمغلوب دسته‌بندی می‌شوند. به این شکل که اعضای موجود در دسته اول، مجموعه‌ای کاملاً غیرمغلوب توسط دیگر اعضای جمعیت فعلی هستند. اعضای موجود در دسته دوم نیز بر همین مبنا تنها توسط اعضای دسته اول مغلوب می‌شوند و این روند به همین صورت در دسته‌های دیگر ادامه می‌یابد تا به تمام اعضای موجود در هر دسته، یک رتبه بر مبنای شماره دسته اختصاص داده شود؛ این رتبه مبنای مرتب‌سازی غیرمغلوب است. پارامتر کنترلی فاصله از دحام برای هر عضو داخل هر دسته با استفاده از تابع‌های هدف زیر محاسبه می‌شود (Bakhshi Ani et al., 2015).

جدید تکرار خواهد شد. پس از پایان کار مدل، پاسخ‌های بهینه پارتو که اعضای دسته اول در جمعیت جواب‌ها هستند، به دست می‌آیند. با استفاده از پاسخ‌های به دست آمده، بر اساس قضاوت‌های فنی و اجرایی می‌توان جواب مناسب را با حفظ مقادیر تابع‌های هدف در سطح مطلوب، از جبهه پارتو انتخاب کرد (Deb et al., 2002). به منظور طراحی شبکه توزیع آب شهری با استفاده از روش‌های مورد نظر تحقیق حاضر، در محیط برنامه نویسی ویژوال بیسیک کدهای مربوط به بهینه‌سازی تک‌هدفه (GA)، چندهدفه (NSGA-II) و تحلیل شبکه به روش ماتریسی شیب تهیه و به همدیگر لینک شدند. روند نمای محاسبات در شکل ۲ نشان داده شده است. علاوه بر این، در نرم افزار تهیه شده تمام ورودی‌های مورد نظر از قبیل مشخصات ژئومتری شبکه، قطرهای موجود در بازار و قیمت آنها، جانمایی شبکه و... در محیط اکسل و به صورت صفحات مجزا برای هر یک از مشخصات وارد و در متن برنامه فراخوانی می‌شوند.

$$d_j(k) = \sum_{i=1}^2 \frac{f_i(k-1) - f_i(k+1)}{f_i^{max} - f_i^{min}} \quad (7)$$

که در آن،

k = شماره عضو؛ $d_j(k)$ = فاصله ازدحام عضو k و $k+1$ = شماره اعضای کناری عضو مورد نظر در دسته مربوطه؛ f_i = تابع هدف i ام؛ و f_i^{max} و f_i^{min} = به ترتیب مقدار حداقل و حداکثر تابع نام در دسته مورد نظر. پارامتر فاصله ازدحام بیانگر اندازه‌ای از نزدیکی عضو به دیگر اعضای جمعیت در هر دسته است. حال اعضای داخلی هر دسته، بر اساس معیار فاصله ازدحام مرتب‌سازی می‌شوند. به این صورت که عضو دارای مقدار d_j بیشتر، در رتبه‌ای بالاتر در دسته قرار می‌گیرد. در مرحله بعد، نسل جدیدی از کروموزوم‌ها با استفاده از یکی از روش‌های انتخاب والدین و اعمال تبادل ژنی تولید و جایگزین کروموزوم‌های بد می‌شود. در مرحله بعد، معیار همگرایی کنترل می‌شود. اگر کروموزوم‌های GA در جبهه پارتو به میزان کافی باهم مشابه باشند، بهینه سازی متوقف می‌شود، وگرنه الگوریتم با جمعیت



شکل ۲- روند نمای کلی محاسبات در تحقیق حاضر

Figure (2): Flowchart of the calculation in this study

نتایج و بحث

صحت‌سنجی مدل NSGA-II:

نتایج نهایی به ازای مقادیر ارائه شده در جدول ۲ به‌دست آمد.

همان گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است به ازای مقادیر ارائه شده در جدول مذکور جواب‌های نامغلوب محاسبه شده توسط مدل حاضر، که بر مبنای اعداد باینری تهیه شده است، با مقادیر ارائه شده در تحقیق (Deb et al., 2002) تطابق بسیار مناسب دارد. لازم است گفته شود مقادیر جواب‌های نامغلوب به‌دست آمده توسط مدل (Deb et al., 2002) بعد از ۵۰۰ نسل است که در تحقیق حاضر بعد از ۳۰۰ نسل به جواب مطلوب رسیده است.

به منظور صحت‌سنجی مدل NSGA-II، توانایی آن برای حل چند مسئله مقید و نامقید ریاضی مطرح شده در مقاله (Deb et al., 2002) بررسی شد و در اینجا به دو نمونه اشاره می‌شود.

مسئله ۱: در این مسئله، هدف پیدا کردن مقادیر x_i و $i=1,2,3$ در محدوده -5 تا $+5$ است به گونه‌ای که تابع‌های f_1 و f_2 در رابطه‌های ۸ و ۹ کمینه شوند.

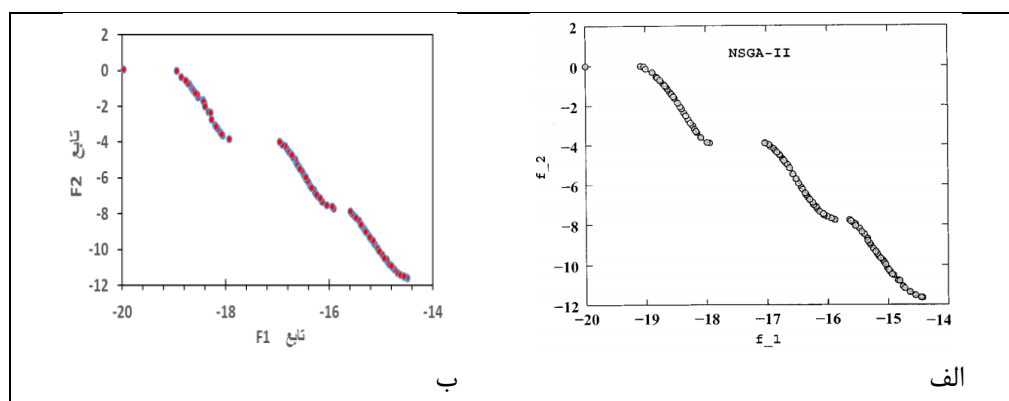
$$f_1(x) = \sum_{i=1}^{n-1} \left(-10 \exp \left(-0.2 \sqrt{x_i^2 + x_{i+1}^2} \right) \right) \quad (8)$$

$$f_2(x) = \sum_{i=1}^n (|x_i|^{0.8} + 5 \sin x_i^3) \quad (9)$$

جدول ۲- پارامترهای نهایی بهینه‌سازی در مسئله ۱

Table (2): Final optimization parameters in the problem 1

تعداد کروموزوم	ضریب جهش	ضریب تقاطع	تعداد نسل
۱۵۰	۰/۱۵	۱	۳۰۰



شکل ۳- جواب‌های نامغلوب به‌دست آمده با استفاده از NSGA-II برای مسئله ۱

الف) نتایج (Deb et al., 2002). ب) تحقیق حاضر

Figure (3): Obtained nondominated solutions with NSGA-II for Problem # 1, a) Result of Deb et al, 2002 b) The present study result

تابع‌های f_1 و f_2 در رابطه‌های ۱۰ و ۱۱ کمینه شوند. قیود مسئله در رابطه‌های ۱۲ و ۱۳ ارائه شده‌اند.

مسئله ۲: این مسئله یک مسئله بهینه‌سازی دو هدفه مقید است، و هدف عبارت است از پیدا کردن مقادیر x_1, x_2 در محدوده صفر تا π به گونه‌ای که

کاربرد و مقایسه روش‌های بهینه‌سازی تک هدفه (GA) و چند هدفه...

مختلف و ضریب جهش ۰/۳۵ و ۰/۴ در شکل ۴ نشان داده شده است. به منظور مقایسه بهتر نتایج روی گراف ارائه شده توسط (Deb et al., 2002) قرار داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، بهترین نتیجه به ازای تعداد ۵۰۰ نسل، ضریب جهش ۰/۴، ضریب تقاطع یک و تعداد جمعیت ۱۰۰ به دست آمد.

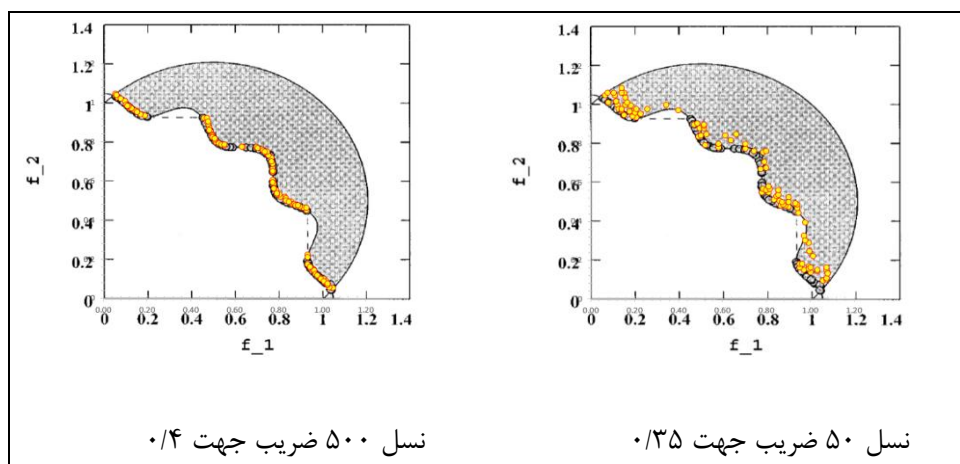
$$f_1(x) = x_1 \quad (10)$$

$$f_2(x) = x_2 \quad (11)$$

$$g_1(x) = -x_1^2 - x_2^2 + 1 + 0.1 \cos(16 \arctan(x_1/x_2)) \leq 0 \quad (12)$$

$$g_2(x) = (x_1 - 0.5)^2 + (x_2 - 0.5)^2 \leq 0.5 \quad (13)$$

نتایج مدل تهیه شده به ازای تعداد نسل‌های



شکل ۴- جواب‌های نامغلوب به دست آمده با استفاده از NSGA-II برای مسئله ۲

توسط (Deb et al., 2002) (نقاط تیره) و تحقیق حاضر (نقاط زرد رنگ)

Figure (4): Obtained nondominated solutions with NSGA-II for Problem # 2 by Deb et al, 2002 (dark point) and present study (yellow point)

$$f(x, y) = -c_1 * e^{(-c_2 * \sqrt{0.5 * (x^2 + y^2)})} - e^{(0.5 * (\cos(c_3 * x) + \cos(c_3 * y)))} + c_1 \quad (14)$$

$$+ 1 \quad c_1 = 20 \quad c_2 = 0.2 \quad c_3 = 2\pi \quad (15)$$

$$-2 \leq x \leq 2 \quad -2 \leq y \leq 2$$

جواب بهینه مسئله با استفاده از روش تحلیلی

$$f(x=0, y=0) = -1.7183$$

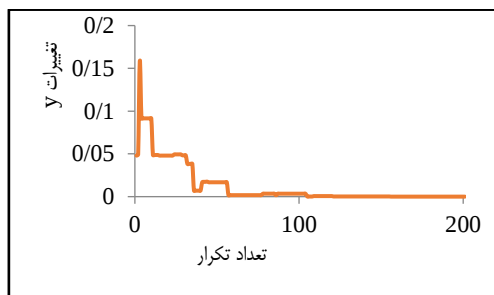
عبارت است از: ۲۰۰ تکرار با ضریب جهش ۰/۵ در شکل‌های زیر

نتایج به دست آمده از مدل به ازای ۲۰ کرموزم، نشان داده شده است.

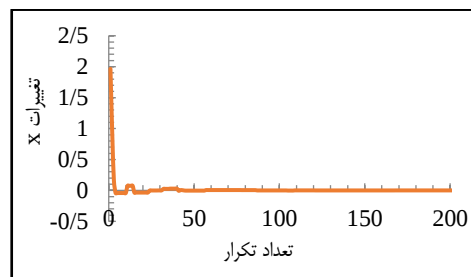
صحت سنجی مدل الگوریتم ژنتیک GA به

منظور صحت‌سنجی مدل الگوریتم ژنتیک، مدل تهیه شده با استفاده از حل مسایل بهینه‌سازی خطی و غیرخطی مقید، که دارای راه حل‌های تحلیلی هستند، ارزیابی و نشان داده شده که نتایج به دست آمده از مدل با نتایج حل تحلیلی کاملاً برابر است؛ در ادامه تنها به یک مورد اشاره شده است.

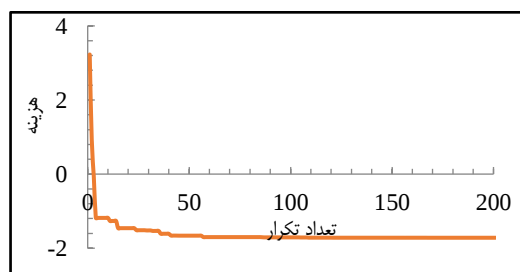
در این مثال، تابع هدف و محدودیت‌ها به شکل رابطه‌های ۱۴ و ۱۵ است.



شکل ۶- تغییرات y به ازاء تعداد تکرار
Figure (6): Variation of y versus number of iteration



شکل ۵- تغییرات x به ازاء تعداد تکرار
Figure (5): Variation of x versus number of iteration



شکل ۷- نمودار بهترین جواب
Figure (7): Diagram of the best answer

طراحی محدوده مورد مطالعه با روش‌های

GA: پس از صحت‌سنجی کدهای تهیه شده در این تحقیق از نظر برنامه نویسی همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شد طراحی بهینه شبکه توزیع آب دوحلقه‌ای (Alperovits & Shamir, 1977) مورد بررسی شد. تابع هدف در نظر گرفته شده برای بهینه‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک با لحاظ کردن ضریب‌های جریمه برای تخطی از محدودیت‌ها در رابطه ۱۶ معرفی شده است (Swamee & Sharma, 2008):

$$\min: f_1 = \sum_{i=1}^{Np} Li \times Cpi + P_1 \times \max_v + P_2 \times \min_v + P_3 \times \max_p + P_4 \times \min_p \quad (16)$$

که در آن،
 Li = طول لوله i ؛ Cpi = هزینه واحد طول لوله
(تابعی از قطر لوله D)؛ Np = تعداد لوله‌ها؛ $P1$ تا $P4$
= ضریب جریمه تخطی محدودیت‌ها؛ $\max_v$ و $\min_v$
= به ترتیب تخطی از حداکثر سرعت مجاز؛ حداقل سرعت مجاز؛ حداکثر فشار مجاز؛ و حداقل فشار مجاز.

پس از اجرای مدل با استفاده از پارامترهای الگوریتم ژنتیک به کاررفته در جدول ۳ نهایتاً قطرهای بهینه ارائه شده در جدول ۴ برای لوله‌های ۱ تا ۸ به دست آمد. لازم است گفته شود مقادیر نهایی پارامترهای الگوریتم ژنتیک با استفاده از روش سعی و خطا به دست آمده است. علاوه بر این، مقادیر سرعت جریان در لوله‌ها و فشار در گره‌ها در جدول

کاربرد و مقایسه روش‌های بهینه‌سازی تک هدفه (GA) و چند هدفه...

پرداخته نمی‌شود. برای نمونه، در شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب مسیر رسیدن به جواب بهینه برای لوله‌های شماره ۱ و ۲ نشان داده شده است. همان گونه که دیده می‌شود نهایتاً برای لوله شماره ۱ قطر بهینه ۱۸ اینچ و برای لوله شماره ۲ قطر بهینه ۱۰ اینچ محاسبه شده است.

۴ ارائه شده است. مقدار سرعت منفی در لوله شماره ۶ نشان می‌دهد جهت جریان محاسباتی در این لوله با آنچه در ابتدا فرض شده است تفاوت دارد. همان گونه که در شکل ۸ نشان داده شده است، هزینه سیستم بهینه تا ۴۲۲۰۰۰ دلار کاهش یافته است البته با تکرار بیشتر، امکان دستیابی به هزینه کمتر هم دور از ذهن نیست که در اینجا دیگر بدان

جدول ۳ - مقدار پارامترهای الگوریتم ژنتیک به کار رفته برای طراحی بهینه شبکه (Alperovits & Shamir, 1977)

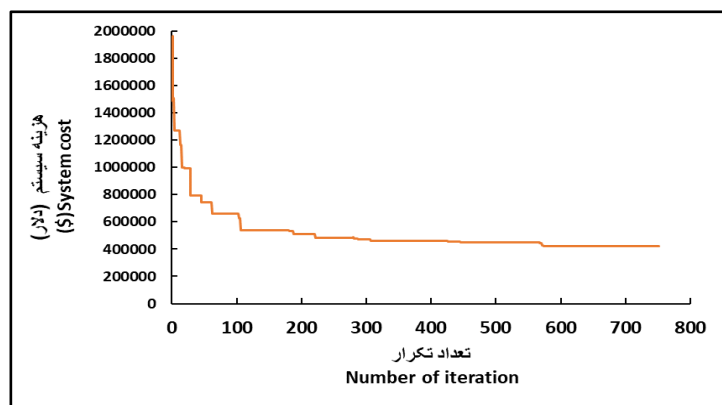
Table (3): Values of genetic algorithm parameters used for optimal network design (Alperovits & Shamir, 1977)

8	تعداد متغیر
100	تعداد کروموزوم
750	تکرار تعداد
0.1	احتمال جهش
1	ضریب تقاطع
3×10^{-28}	ضرایب جریمه P1 , P2
3×10^{11}	ضرایب جریمه P3 و P4

جدول ۴ - قطرهای بهینه محاسبه شده توسط مدل GA حاضر و مشخصات هیدرولیکی سیستم بهینه شده

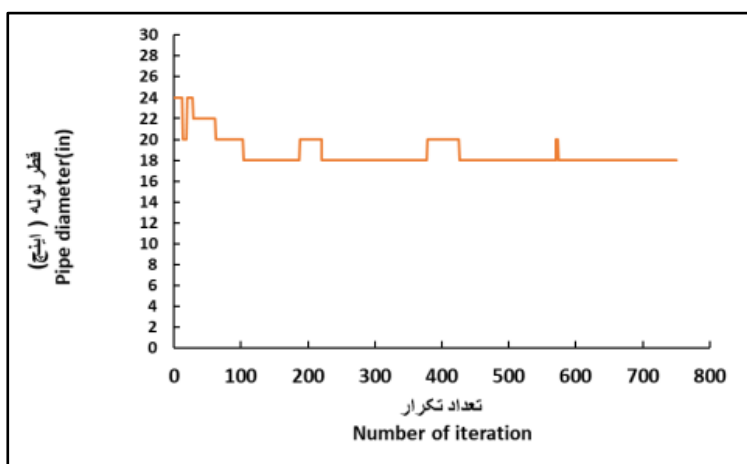
Table (4): optimal calculated diameter by the present GA model and specifications of the optimized hydraulic system

شماره لوله	1	2	3	4	5	6	7	8
قطر بهینه (اینچ)	18	10	16	4	16	10	10	2
سرعت جریان در لوله (m/s)	1.896	1.835	1.469	1.103	1.143	-1.115	1.286	0.456
شماره گره	1	2	3	4	5	6	7	--
فشار در گره‌ها (m)	60.0	53.25	30.65	43.42	34.12	30.39	30.38	



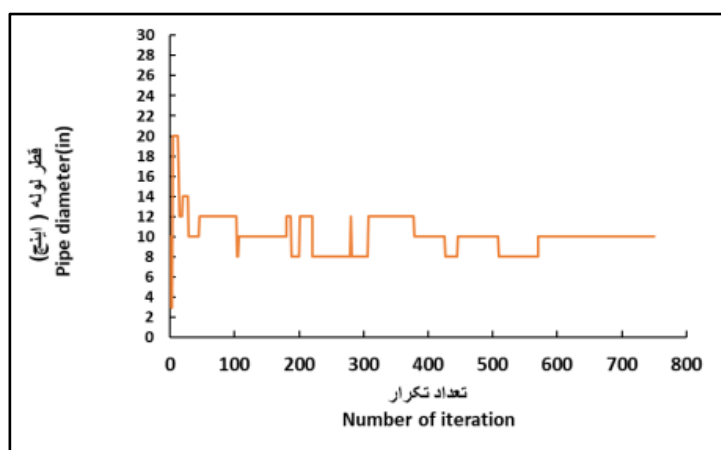
شکل ۸- هزینه سیستم در مقابل تعداد تکرار- هزینه نهایی ۴۲۲۰۰۰ دلار

Figure (8): System cost versus number of iterations - final cost \$ 422,000



شکل ۹- مسیر رسیدن به جواب نهایی برای قطر لوله شماره ۱

Figure (9): The path to reach the final solution for pipe 1



شکل ۱۰- مسیر رسیدن به جواب نهایی برای قطر لوله شماره ۲

Figure (10): The path to reach the final solution for pipe 2

پارامترهای رابطه ۱۷ پیش از این معرفی شده اند. در رابطه ۱۸، H_{min} حداقل فشار مجاز سیستم، $H_{jun(i)}$ فشار در گره i و Nj تعداد گره‌های مجهول است. مقایسه رابطه ۱۶ و ۱۷ نشان می‌دهد که در رابطه ۱۷ عبارتی برای فشار کمتر از فشار حداقل مجاز در نظر گرفته نشده است. در عوض با تعریف تابع هدف دوم و این نقیصه مرتفع شده است. چنانچه نتایج بهینه‌سازی به گونه‌ای به‌دست آید که تابع هدف دوم به سمت صفر میل

طراحی محدوده مورد مطالعه با روش NSGA-II:

II بهینه‌سازی به روش NSGA-II با دو هدف ارایه شده در روابط ۱۷ و ۱۸ انجام شد:

$$\min: F_1 = \sum_{i=1}^{Np} Li \times Cpi + P_1 \times \max_v + P_2 \times \min_v + P_3 \times \max_p \quad (17)$$

$$\min: F_2 = \sum_{i=1}^{Nj} \max((H_{min} - H_{jun(i)}), 0) \quad (18)$$

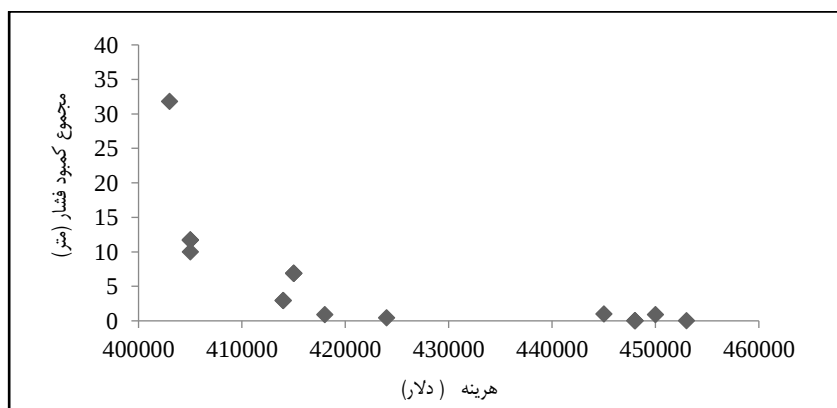
حاضر مقایسه با روش GA مورد نظر است جواب‌هایی مورد توجه است که مجموع کمبود فشار در آنها به صفر نزدیک باشد. از جمله این جواب‌ها می‌توان به ($F1=418000$, $F2=0.9m$) اشاره کرد. مقادیر قطرهای بهینه‌شده، سرعت در لوله‌ها و فشار در گره‌ها به ازای این جواب بهینه از جبهه پارتو در جدول ۶ ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، تمامی مقادیر سرعت در محدوده مجاز یعنی بین $0/3$ تا 2 متر بر ثانیه به دست آمده است. خاطرنشان می‌شود مقادیر منفی سرعت محاسبه شد بدین معنی است که جهت جریان محاسبه شده بر عکس آن است که در ابتدای شبیه‌سازی فرض گردید. همچنین، مقادیر فشار تنها در گره ۷ به مقدار $0/89$ متر از محدوده مجاز تخطی دارد.$

کند در واقع تخطی از فشار حداقل مجاز به وجود نخواهد آمد و بهینه‌سازی با دو تابع هدف یعنی رابطه‌های ۱۷ و ۱۸ به سمت بهینه‌سازی تک‌هدفه با رابطه ۱۶ تمایل پیدا می‌کند. در واقع با روش بهینه‌سازی دوهدفه و استفاده از مزایای آن بهینه‌سازی تک‌هدفه انجام شده است. علاوه بر این، امکان مقایسه دو روش بهینه‌سازی برای طراحی شبکه توزیع آب فراهم می‌شود. با اجرای مدل NSGA-II و در نظر گرفتن پارامترهای ارائه شده در جدول ۵ نهایتاً جبهه جواب‌های نامغلوب حاصل شد که در شکل ۱۱ نشان داده شده اند. معمولاً بر اساس قضاوت‌های فنی و اجرایی با حفظ مقادیر توابع هدف در سطح مطلوب، از جبهه پارتو می‌توان جواب مناسب را انتخاب کرد. اما از آنجایی که در تحقیق

جدول ۵- مقدار پارامترهای NSGA-II به کار رفته برای طراحی بهینه شبکه (Alperovits & Shamir, 1977)

Table (5): NSGA-II parameters values used for optimal network design (Alperovits & Shamir, 1977)

۸	تعداد متغیر
۲۵	تعداد کروموزوم
۵۰	تکرار تعداد
$0/05$	جهش احتمال
۱	ضریب تقاطع
1×10^{30}	ضرایب جریمه P1 , P2
1×10^{10}	ضرایب جریمه P3



شکل ۱۱- جبهه جواب‌های نامغلوب

Figure (11): Front of nondominated solutions

جدول ۶- قطرهای بهینه محاسبه شده با مدل NSGA-II حاضر و مشخصات هیدرولیکی سیستم بهینه شده

Table (6): Optimal diameters calculated by the present NSGA-II model and hydraulic specifications of the optimized system

شماره لوله	1	2	3	4	5	6	7	8
قطر بهینه (اینچ)	18	14	14	2	14	4	14	10
سرعت لوله (متر بر ثانیه)	1.896	1.526	1.328	0.428	0.9837	-0.7377	1.2463	-0.9789
شماره گره	1	2	3	4	5	6	7	
فشار در گره (متر)	60	53.25	37.2	43.57	43.04	30.89	29.1	

ثانیه است. این موضوع نشان می‌دهد روش دوهدفه NSGA-II به کار رفته در این تحقیق هزینه محاسبات طراحی شبکه دوحلقه‌ای (Alperovits & Shamir, 1977) را در مقایسه با روش الگوریتم ژنتیک بیش از ۵۰ برابر کاهش داده است. با توجه به اینکه هزینه محاسبات در روش NSGAII بسیار کمتر از روش GA به دست می‌آید استفاده از این روش برای حل مسئله تک‌هدفه طراحی شبکه توزیع آب توصیه می‌شود به شرط اینکه در این روش تابع هدف دوم به گونه‌ای تعریف شود که در صورت رعایت قیود تابع هدف اول، مقدار تابع هدف دوم به صفر نزدیک شود.

روی طراحی بهینه شبکه دوحلقه‌ای (Alperovits & Shamir, 1977) تحقیقات مختلفی شده است. این تحقیقات بیشتر بر مبنای هوش مصنوعی یا تحلیل ریاضی و آماری هستند. در جدول ۷ برخی از مهم‌ترین این تحقیقات ارائه شده است. بیشتر روش‌های فراکاوشی هزینه حدود ۴۱۹۰۰۰ دلار را برای شبکه مذکور برآورد کرده اند که مقادیر به دست آمده در تحقیق حاضر نیز در همین حدود بین ۴۱۸۰۰۰ تا توسط NSGA-II و ۴۲۲۰۰۰ دلار توسط GA برآورد شد. با این همه زمان اجرای برنامه الگوریتم ژنتیک برای رسیدن به جواب تقریباً حدود ۷۷۲/۵۶ ثانیه و برای روش NSGA-II حدود ۱۵

جدول ۷- نتایج حل شبکه دوحلقه‌ای (Alperovits & Shamir, 1977) در تحقیقات مختلف (به نقل از (Ekinci & Konak, 2009)

Table (7): Results of solving the two-loop network (Alperovits and Shamir 1977) by different researches (after: Ekinci & Konak, 2009)

منبع	روش بهینه‌سازی	هزینه (هزار دلار)	محدوده قطر لوله بهینه (mm)	
			حداقل	حداکثر
Alperovits and Shamir 1977	Linear programming	497.525	101.6	508.0
Goulter et al. 1986	Linear programming	435.015	25.4	508.0
Kessler and Shamir 1989	Linear programming	417.500	50.8	457.2
Fujiawara and Khang 1990	Linear programming	415.271	25.4	457.2
Eiger et al. 1994	Linear programming	402.352	25.4	457.2
Loganathan et al. 1995	Simulated annealing	412.931	25.4	457.2
Savic and Walters 1997	Genetic algorithm	419.000	25.4	457.2
Sherali and Smith 1997	Linear programming	436.684	76.2	457.2
Sherali et al. 1998	Linear programming	436.915	25.4	457.2
Abebe and Solomatine 1998	Genetic algorithm	419.000	25.4	457.2
Cunha and Sousa 1999	Simulated annealing	419.000	25.4	457.2
Todini 2000	Resilience index	419.000	25.4	457.2
Geem et al. 2002	Harmonic search	419.00	25.4	457.2
Eusuff and Lansey 2003	Shuffled frog leaping algorithm	419.000	25.4	457.2
Prasad and Park 2004	Genetic algorithm	419.000	25.4	457.2
Ekinci and Konak 2009	Minimum head Loss strategy	416.000	101.6	457.2

نتیجه‌گیری

بهینه‌سازی مقید و نامقید مطرح در ادبیات موضوع به دقت صحت‌سنجی شدند و نتایج کاملاً موفقیت آمیز بود. نتیجه طراحی شبکه دوحلقه‌ای (Alperovits & Shamir, 1977) با هر دو روش تک‌هدفه و دوهدفه نشان داد هزینه اجرای سیستم نسبتاً یکسان محاسبه می‌شود. با این همه، هزینه محاسبات در روش دو هدفه-NSGA-II به شدت کمتر است تا در روش تک هدفه بر مبنای الگوریتم ژنتیک. در این تحقیق، در روش بهینه‌سازی دوهدفه-NSGA-II تابع هدف دوم به صورت مجموع کمبود فشار شبکه تعریف شد. حداقل کردن این تابع یعنی رساندن آن به سمت صفر باعث می‌شود که نتایج روش تک‌هدفه الگوریتم ژنتیک و دوهدفه قابل مقایسه باشند.

در این تحقیق شبکه توزیع آب با دو روش بهینه‌سازی تک‌هدفه الگوریتم ژنتیک باینری و دوهدفه-NSGA-II طراحی شد. بدین منظور یک نرم افزار کامپیوتری توسعه داده شد که در آن کدهای بهینه‌سازی مذکور و کد تحلیل شبکه به روش ماتریسی شیب در محیط برنامه نویسی ویژوال بیسیک نوشته و به همدیگر جفت شدند. به منظور کاربرد سست کردن نرم افزار و کاهش خطای ورود اطلاعات، به ویژه در شبکه‌های بزرگ، تمامی مشخصات ورودی هندسی-هیدرولیکی شبکه در محیط اکسل وارد و در برنامه فراخوانی می شوند. کدهای بهینه‌ساز تک‌هدفه الگوریتم ژنتیک و دوهدفه-NSGA-II با استفاده از حل چندین مسئله

مراجع

- Aggrawal, P., Naved, F., & Haider, M. (2015). Genetic Algorithm Based on Sorting Techniques. *Journal of Computer Sciences and Applications*, 3(2), 40-45.
- Alperovits, E., & Shamir, U. (1977). Design of optimal water distribution systems. *Water resources research*, 13(6), 885-900.
- Bakhshi Ani, A., Ale Ebrahim, H., & Azarhoosh, M. J. (2015). Simulation and multi-objective optimization of a trickle-bed reactor for diesel hydrotreating by a heterogeneous model using non-dominated sorting genetic algorithm II. *Energy & Fuels*, 29(5), 3041-3051.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2), 182-197.
- Ekinci, Ö., & Konak, H. (2009). An optimization strategy for water distribution networks. *Water resources management*, 23(1), 169-185.
- Elferchichi, A., Gharsallah, O., Nouri, I., Lebdi, F., & Lamaddalena, N. (2009). The genetic algorithm approach for identifying the optimal operation of a multi-reservoirs on-demand irrigation system. *Biosystems Engineering*, 102(3), 334-344.
- Garroussi, Z., Ellaia, R., Talbi, E.-G., & Lucas, J.-Y. (2020). A hybrid non-dominated sorting genetic algorithm for a multi-objective demand-side management problem in a smart building. *International Journal of Electrical & Computer Engineering* (2088-8708), 10(1).
- Herrera, M., Meniconi, S., Alvisi, S., & Izquierdo, J. (2018). Advanced hydroinformatic techniques for the simulation and analysis of water supply and distribution systems. In: *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*.
- Jung, B. S., Muleta, M., & Boulos, P. F. (2009). Multi-objective design of transient network models. *World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers*.

- Mansouri, R., & Torabi, H. (2015). Application of differential evolution (DE) algorithm for optimizing water distribution networks (case study: Ismail Abad pressurized irrigation network). *Journal of Water and Soil*, 25(4.2), 81-95.
- Menke, R., Abraham, E., Pappas, P., & Stoianov, I. (2015). Approximation of system components for pump scheduling optimisation. *Procedia Engineering*, 119, 1059-1068.
- Moghaddas, S. M. J., & Samani, H. (2016). Application of central force optimization method to design transient protection devices for water transmission pipelines. *Modern Applied Science*, 11(3), 76.
- Moinaldini, E., Mohamad Reza Pour, O., & Zeynali, M. (2018). Application of Imperialist Competitive Algorithm in Optimizations of Pipe Diameters for Urban Water Network (Case study: Shahr-dari town, Kerman). *Water and Soil Science*, 28(2), 29-41.
- Razi, F. F., Eshlaghy, A. T., Nazemi, J., Alborzi, M., & Poorebrahimi, A. (2015). A hybrid grey-based fuzzy C-means and multiple objective genetic algorithms for project portfolio selection. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 21(2), 154-179.
- Reca, J., Martínez, J., & López, R. (2017). A hybrid water distribution networks design optimization method based on a search space reduction approach and a genetic algorithm. *Water*, 9(11), 845.
- Sousa, J., Muranho, J., Marques, A. S., & Gomes, R. (2014). WaterNetGen helps C-town. *Procedia Engineering*, 89, 103-110.
- Swamee, P. K., & Sharma, A. K. (2008). Design of water supply pipe networks. John Wiley & Sons.
- Todini, E., & Pilati, S. (1988). A gradient algorithm for the analysis of pipe networks. In *Computer applications in water supply: vol. 1---systems analysis and simulation* (pp. 1-20).
- Torabi, H., Goleij, H., Mirshahi, D., & Shahi Nejad, B. (2018). Irrigation networks Optimization using expanded particle swarm algorithm and linear programming. *Irrigation and Water Engineering*, 8(2), 187-199.

Application and Comparison Of Single-Objective (GA) and Multi-Objective (NSGA-II) Optimization Methods in Optimal Design of Pressurized Network

A. Hazeri, R. Ghobadian* and M. M. Heidari

* Corresponding Author: Associated professor, Razi university, Kermanshah, Iran. Email: rsghobadian@gmail.com

Received: 29 June 2021, Accepted: 26 September 2021

Extended Abstract

Background and Objectives: Proper design of technical and hydraulic parameters plays an essential role in the success of a pressurized irrigation or urban water distribution project and its economy. Therefore, engineers should be able to select the best solution in different stages in terms of design, construction, maintenance and operation according to the existing limitations and make the necessary decisions. The ultimate objective of such decisions is to minimize costs or maximize benefits by considering limitations. The objectives defined for each system may be different but it is certain that in today's engineering world, one-sided objectives are never defined. Today, meta-exploration optimization methods for the optimal design of irrigation and water supply networks have been considered. It is not possible to compare one-objective and two-objective methods in appearance. But in the two-objective method, one of the objectives is defined in such a way that it eventually goes to zero this comparison is possible.

Materials and Methods: Hence in the present study, the optimal design of a pressurized network with one-objective binary genetic algorithm and two-objective NSGAII has been done. Genetic algorithm is a method that evaluates different designs through trial and error with analogy criteria and maintains the best designs and eventually achieves the proper design. Multi-objective optimization is a sub-branch of the MCDM multi-criteria decision-making set that takes place among an unlimited set of possible solutions. In such cases unlike single-objective optimization problems, due to the existence of several conflicting goals, a set of answers is obtained instead of just one answer. In order to compare the two methods in terms of accuracy of results and speed of calculations the second objective function in NSGA-II was defined as the sum of the pressure deficiencies in the network. Observance of minimum pressure constraints in the network causes the value of this objective function to reach zero and the results of the two methods are comparable. In order to analyze the network and obtain the pipe flow and pressure in the system nodes, the matrix shape of the gradient method was used. Computer code was developed for single-objective (GA) and multi-objective (NSGAII) optimization methods in VB programming environment. Also, the simulation code according to the matrix shape of the gradient method was prepared in this programming environment. Finally, All the codes were linked to each other.

Result: In order to validate the NSGA-II developed cod, its ability to solve several constrained and none-constrained multi-objective mathematical problems was proposed. The results showed that there is a very good agreement between the results of the present model and the results presented by previous researchers. In order to validate the genetic algorithm model, the model was used to solve the linear and nonlinear constrained optimizations problems that have analytical solutions. It has been shown that the results obtained from the model are exactly equal to the results of analytical solutions. After verifying the prepared codes from a programming

point of view, a proposed two-loop network consisting of 7 pipes and 8 nodes with one earth reservoir was designed with both GA and NSGA-II algorithms. The result showed, estimated cost of implementing the studied network by both methods was the same and with a difference of less than 1%, while the cost of calculations in NSGA-II method was estimated to be about 2% of the genetic algorithm method. That is, the time to reach the optimal answer in NSGA-II method is 50 times faster than GA method.

Conclusion: Given that the cost of calculations in the NSGA-II method is much lower than the GA method, the use of this method to optimal design of water pressurized network is recommended, provided that in this method the second objective function is defined in such a way that if all the constraints are observed, its value will be close to zero. For this purpose, the objective function of the sum of pressure deficiencies was deemed appropriate.

Key words: Pressurized network design, genetic algorithm (GA), non-dominant sorting genetic algorithm (NSGA-II)

نوع مقاله: علمی پژوهشی

تأثیر آبیاری قطره‌ای زیر سطحی و جویچه‌ای بر بهره‌وری آب دو سیستم کشت داربستی و خزنه انگور

امید عروجیان مشهدی^۱، سید مجید میرلطیفی^{۲*} و حسین دهقانی سانج^۳

۱ و ۲- به ترتیب: دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی؛ و دانشیار گروه مهندسی و مدیریت آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳- دانشیار موسسه تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۲

چکیده

جهت ارزیابی اثر آبیاری قطره‌ای زیر سطحی (SDI)^۱ و جویچه‌ای بر روی دو رقم انگور فخری و سلطانی، این پژوهش در تابستان سال ۱۳۹۸ در قالب دو طرح آماری کاملاً تصادفی با سه تکرار در دو باغ مجاور هم که به صورت داربستی مایل^۲ (باغ A) و خزنه^۳ (باغ B) احداث شده بودند انجام پذیرفت. در هر دو باغ دو روش مختلف آبیاری، شامل SDI و آبیاری جویچه‌ای اجرا شد. در انتهای آزمایش بهره‌وری آب، عملکرد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه از قبیل تعداد خوشه در بوته، وزن صد حبه، تعداد حبه در خوشه و اندازه خوشه اندازه‌گیری شد. نتایج انجام آنالیز واریانس بین روش‌های آبیاری در هر دو باغ نشان از اختلاف معنی‌دار یک درصدی در بهره‌وری آب داشت. به طوری که مقایسه میانگین‌ها نشان داد به ازای مصرف هر متر مکعب آب در باغ A تیمار SDI و در باغ B تیمار جویچه‌ای به ترتیب با ۵/۳۹ و ۳/۷ کیلوگرم، بیشترین بهره‌وری آب را به خود اختصاص دادند. مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و روش آبیاری نشان داد که در باغ A رقم سلطانی تحت روش SDI با تولید ۷/۲۳ کیلوگرم در ازای مصرف یک متر مکعب آب و در باغ B رقم سلطانی تحت روش آبیاری جویچه‌ای با تولید ۵/۱۷ کیلوگرم در ازای مصرف یک متر مکعب آب، از سایر تیمارها برتر بود. روش SDI در کشت داربستی در حد مطلوب نیاز آبی گیاه را تامین نمود و اثرات آن در افزایش عملکرد نمود پیدا کرد.

واژه‌های کلیدی

آبیاری میکرو، رقم سلطانی، رقم فخری، عملکرد

مقدمه

انگور در جهان محسوب می‌شود (FAO, 2018). انگور علاوه بر ارزش غذایی بالا و فرآورده‌های متعدد، از نظر صادرات غیر نفتی نیز اهمیت بالایی دارد (Nejatian, 2014)؛ به طوری که در سال ۲۰۱۸ بیش از ۶۸ هزار تن انواع انگور تازه و کشمش به

انگور با نام علمی *Vitis vinifera* از محصولات باغی مهم و اقتصادی ایران و جهان می‌باشد. بر اساس آمار منتشر شده در سال ۲۰۱۸ ایران با تولید بیش از دو میلیون تن دهمین کشور تولید کننده

<http://doi: 10.22092/idser.2021.353769.1461>

1- Subsurface drip irrigation
3- Creeping

Email: mirlat_m@modares.ac.ir

2- Bowed trellis

* نگارنده مسئول:

به ترتیب ۴۰ و ۳۳ درصد افزایش یافت (Antonino pisciotta et al., 2018).

طی یک پژوهش در واشنگتن آمریکا، بهره‌وری آب انگور در یک باغ ۱۰ ساله طی دو سال مورد بررسی قرار گرفت. فاصله ردیف‌های کشت ۲/۵ متر، فاصله درخت‌ها ۱/۸ متر و نوع کشت داریستی بود. تیمارهای آبیاری شامل روش SDI و DI بودند. در هر دو روش SDI و DI برای هر درخت دو قطره‌چکان با دبی ۲ لیتر بر ساعت در نظر گرفته شد. میانگین عمق آبیاری در دو سال در هر دو روش آبیاری تقریباً برابر ۲۴۹ میلی‌متر بود. بر اساس نتایج میانگین بهره‌وری آب طی دو سال در روش SDI ۴/۱ کیلوگرم بر مترمکعب و در روش DI ۳/۷ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد (Xiaochi et al., 2020).

طی یک پژوهش در اسپانیا، بهره‌وری آب انگور طی سه سال در سه تیمار دی، DI و SDI مورد ارزیابی قرار گرفت. لوله آبیاری در روش DI بر روی ردیف کشت و فاصله ۴۰ سانتی‌متری از سطح زمین و در روش SDI در عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک قرار داشت. در روش آبیاری DI برای هر درخت دو قطره‌چکان با دبی ۲ لیتر بر ساعت و در روش آبیاری SDI دبی قطره‌چکان‌ها ۲ لیتر بر ساعت و فاصله قطره‌چکان‌ها ۱ متر بود. بهره‌وری آب در تیمار دی ۴/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب، در تیمار SDI ۳/۶۱ کیلوگرم بر مترمکعب و در تیمار DI ۳/۵۶ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شد (Cancela et al., 2016).

به منظور اندازه‌گیری میدانی آب کاربردی و ارزیابی بهره‌وری آب تاکستان‌های کشور در سامانه‌های مختلف آبیاری، پژوهشی در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. نتایج مطالعات نشان داد که

سایر کشورها صادر شد (TCCIMA, 2018). در حال حاضر ۲۹۰ هزار هکتار باغ انگور در کشور وجود دارد که ۷۰ هزار هکتار آن دی و ۲۲۰ هزار هکتار آن آبی است که اغلب آن‌ها به روش جویچه‌ای آبیاری می‌شوند (MAJ, 2019). با توجه به کمبود منابع آبی در کشور یکی از روش‌های صرفه جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی و افزایش راندمان آبیاری استفاده از سامانه‌های آبیاری تحت فشار است (Shearer, 1978). نتایج بدست آمده از میزان آب مصرفی در تولید انگور در باغات احداث شده به صورت روسیمی در پنج ناحیه کشت این محصول در شهر مندوزا^۱ در غرب آرژانتین نشان داد که مقدار حجم آب مصرف شده برای آبیاری انگور به روش سنتی بیشتر از روش آبیاری قطره‌ای بوده است. برای مثال^۲ مورد نیاز برای آبیاری رقم انگور مال^۳ کشت شده در منطقه لوژان دکویو^۳ که به روش سنتی آبیاری می‌شد به طور میانگین ۲۳/۶ درصد در مراحل ابتدایی رشد، ۱۷ درصد در مرحله توسعه گیاه، ۱۲/۶ درصد در مرحله رشد میانی و ۱۶ درصد در مرحله رشد نهایی گیاه، بیشتر از آبیاری این رقم انگور به روش قطره‌ای است (Barbara civit et al., 2018).

طی یک تحقیق واکنش انگور کشت شده به صورت روسیمی با آبیاری قطره‌ای سطحی و SDI در جزیره سیسیل در ایتالیا در دو سال پیاپی مورد بررسی قرار گرفت. عملکرد انگور در سال اول در تیمار SDI ۱۳ درصد و در سال دوم ۱۵ درصد بیشتر از آبیاری قطره‌ای سطحی (DI) بود. همچنین نتایج نشان داد با رعایت فاصله ۱/۲ متری لوله‌ی آبیاری از ردیف کشت در تیمار SDI عملکرد انگور در مقایسه با آبیاری قطره‌ای سطحی در دو سال پیاپی

1- Mendoza is a province located on the Middle West
3- Lujan decuyo

2- Malbec

همچنین عملکرد درختان انگور خواهد داشت، اما آبیاری قطره‌ای به دلیل راندمان بالا و تبخیر کم از سطح خاک منجر به افزایش بهره‌وری آب و به طور کلی کاهش مصرف آب خواهد شد (Saayman & Lamberchts, 1995).

نیکانفر و رضایی (Nikanfar & Rezaee, 2015) واکنش تغییر روش آبیاری در باغ‌های انگور کشت شده به صورت جوی و پشته را به روش آبیاری قطره‌ای و بابلر در شهرستان میاندوآب طی سه سال مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب برابر ۲/۲۱ کیلوگرم بر متر مکعب آب از روش آبیاری قطره‌ای بدست آمد و کارایی مصرف آب در آبیاری بابلر ۲/۱۶ و در آبیاری سطحی حدود ۱/۴۸ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شد. با مصرف نصف مقدار آب مصرفی در آبیاری سطحی، عملکرد انگور در آبیاری بابلر و قطره‌ای به ترتیب ۲/۵ و ۳/۸ تن در هکتار کاهش یافت. از این رو باتوجه به کاهش به نسبت کم عملکرد و نیز حفظ و حتی بهبود بسیاری از ویژگی‌ها کیفی انگور و همچنین جهت کمینه کردن افت محصول در سال‌های اول، استفاده از آبیاری بابلر برای آبیاری تاکستان‌ها توصیه شد. سور و لویز (Soar & Loveys, 2007) بر این باورند که تغییر شیوه آبیاری از بارانی به قطره‌ای ممکن است باعث بروز تنش خشکی در درختان انگور شود. با توجه به اینکه سیستم توزیع ریشه در آبیاری بارانی بدلیل توزیع آب در کل سطح مزرعه، گسترده است با اجرای آبیاری قطره‌ای بخش عمده‌ای از ریشه‌های گیاه مانند آبیاری بخشی ریشه^۱ (PRD) غیر فعال می‌گردد.

رویکرد اصلی این پژوهش اندازه‌گیری حجم آب کاربردی در سیستم‌های آبیاری SDI و جویچه‌ای و

میانگین وزنی حجم آب کاربردی ۶۶۶۹ متر مکعب بر هکتار و بهره‌وری آب، ۲/۶۳ کیلوگرم بر متر مکعب بود. همچنین مقدار بهره‌وری آب در سیستم‌های کشت خرنده و داربستی به ترتیب ۳/۴۶ و ۴/۷۶ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شد (Abbasi et al., 2020).

اثر تغییر روش آبیاری از جوی و پشته به قطره‌ای بر روی تاک‌های ۱۴ ساله در یکی از تاکستان‌های شهرستان ملایر همدان در باغ‌هایی که به صورت جوی و پشته احداث شده بودند، با اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه انگور بیدانه سفید در دوسال زراعی مورد بررسی قرار گرفت. به دلیل سرمازدگی در سال اول نتایج حاصل شده فاقد اعتبار بود، ولی نتایج سال دوم نشان داد که عملکرد و بهره‌وری آب در دو تیمار آبیاری قطره‌ای سطحی به ترتیب با تعداد پنج قطره چکان و سه قطره چکان برای هر درخت با دبی چهار لیتر بر ساعت در مقایسه با مزرعه شاهد با مدیریت کشاورز تحت روش آبیاری جویچه‌ای بیشتر بود. عملکرد در دو تیمار آبیاری قطره‌ای به ترتیب ۳۱ و ۲۰ تن در هکتار و در مزرعه شاهد ۲۴ تن در هکتار بدست آمد. بهره‌وری آب در دو تیمار آبیاری قطره‌ای به ترتیب ۸/۵ و ۱۰/۳ کیلوگرم بر متر مکعب و در مزرعه شاهد ۴/۹ کیلوگرم بر متر مکعب بود. حجم آب مصرفی در طول فصل رشد برای هر درخت در تیمارهای قطره‌ای به ترتیب برای پنج و سه قطره‌چکان، ۱/۹ و ۲/۴ متر مکعب و در مزرعه شاهد ۳/۹ متر مکعب بود (Yulghonlou et al., 2017).

در مناطق گرم و خشک اجرای آبیاری قطره‌ای در باغ‌های انگور که قبلاً به صورت سطحی آبیاری می‌شدند، ممکن است با تغییر الگوی پراکنش ریشه‌ها همراه باشد که تأثیرات منفی روی رشد و

ارزیابی اثر تغییر روش آبیاری از جویچه‌ای به SDI بر عملکرد و بهره‌وری آب در کشت‌های متفاوت داربستی و خزنده باغات انگور در منطقه ملکان می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش با هدف بهبود بهره‌وری آب با انتخاب روش آبیاری مناسب در سیستم‌های کشت مختلف می‌تواند در سطح منطقه مورد استفاده کارشناسان و باغداران قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در طول سال زراعی ۱۳۹۸ جهت بررسی اثر روش SDI بر بهره‌وری، عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی دو رقم انگور فخری و سلطانی در دو سیستم کشت متفاوت داربستی مایل (باغ A) و خزنده (باغ B) در شهرستان ملکان، استان آذربایجان شرقی، در دو تاکستان مجاور با موقعیت جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۹ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۳۰۲ متر از سطح دریا انجام شد. قبل از اجرای طرح، به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع و آب آبیاری، نمونه‌برداری انجام و به آزمایشگاه منتقل شد. جدول ۱ ویژگی‌های آب آبیاری و جدول ۲ ویژگی‌های خاک دو مزرعه را نشان می‌دهد. در همه تیمارهای آزمایشی نیاز آبی گیاه به صورت ۱۰۰ درصد تامین گردید. درختان باغ A، ۸ ساله و باغ B، ۳۰ ساله بودند. این پژوهش به صورت دو

آزمایش مجزا در باغ‌های A و B تحت دو روش آبیاری (SDI و جویچه‌ای) بر روی دو رقم انگور (فخری و سلطانی) در در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمار SDI در باغ A که فاصله‌ی ردیف‌های کشت حدود ۴ متر، طول هر ردیف حدود ۲۳/۵ متر و فاصله درختان ۸۰ سانتی‌متر بود، اجرا گردید. لوله‌های SDI به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از تنه‌ی درختان در دو طرف ردیف درختان تعبیه و در عمق ۵۰ سانتی‌متری از سطح خاک کارگذاری شدند. در این تیمار قطره‌چکان‌ها با دبی ۲/۱ لیتر بر ساعت داخل لوله لترال قرار داشته و فاصله قطره‌چکان‌ها از یکدیگر ۷۵ سانتی‌متر بود (T1). تیمار SDI در باغ B نیز که به صورت جوی و پشته احداث شده و فاصله‌ی ردیف‌های کشت از یکدیگر حدود ۳/۷ متر، طول هر ردیف کشت حدود ۲۵/۵ متر و فاصله درختان حدود ۲ متر بود، اجرا شد. در این بخش یک لوله‌ی SDI در داخل جوی‌ها به فاصله ۶۰ سانتی‌متر از ردیف درختان و عمق ۳۰ سانتی‌متر از سطح خاک کارگذاری شد. قطره چکان‌های لوله لترال در داخل لوله و فاصله آن‌ها از یکدیگر ۳۷ سانتی‌متر و دبی هر قطره‌چکان ۲/۱ لیتر بر ساعت بود (T2). در هر دو تیمار SDI کنترل حجم آبیاری توسط کنتور با دقت یک دهم لیتر که در ابتدای هر خط آبیاری زیرسطحی نصب بود، صورت پذیرفت (شکل ۱).

جدول ۱- نتایج آنالیز نمونه آب

Table 1- Results of water sample analysis

Anion(meq/l)		Cation(meq/l)		PH	EC (ds/m)	منبع آب Water source
Cl^{-}	Hco^{3-}	mg^{2+}	ca^{2+}			
		Na^{+}				
2.80	4	0.46	4.20	3.92	7.10	0.866
						چاه

تأثیر آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای بر بهره‌وری آب...

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 2. Determination of important physical and chemical properties of soil

Table 1: A summary of soil data, physical and chemical properties of soil									
بافت خاک Soil texture	مشخصات بافت Texture characteristics (%)			Pwp (%) (cm3/cm3)	FC (%) (cm3/cm3)	PH of paste	ECe (ds/m)	عمق خاک (سانتی متر) Soil depth(cm)	
	sand	silt	clay						
loam		43		14.40	29.2	7.9	1.57	0-30	باغ A Vineyard A
loam	32	43	25	13.62	28.65	7.8	1.84	30-60	
loam	32	36	25	13.38	28.15	7.8	1.91	60-90	
	50		14	13.80	28.66	7.83	1.77	Mean	
loam									باغ B Vineyard B
Sandy				12.1	26.6	7.95	1.67	0-30	
loam	45	40	15	10.7	21.8	7.86	1.96	30-60	
Sandy	70	20	10	10.7	22.5	7.75	2.14	60-90	
loam	69	19	12	11.2	23.6	7.85	1.92	Mean	

تیمارهای C1 و C2 شامل آبیاری جویچه‌ای رایج در منطقه به ترتیب در باغ های A و B می‌باشند. فاصله ردیف‌های کشت و طول هر ردیف به ترتیب چهار و ۲۳/۵ متر در باغ A و ۳/۷ و ۲۵/۵ متر در باغ B بود. آبیاری در تیمار های

C2, C1 بر حسب مدیریت کشاورز انجام گردید و مقادیر حجم آبیاری به وسیله پارشال فلوم ثبت شد. انتهای جویچه‌ها بسته بود و رواناب سطحی خروجی از مزرعه صفر منظور گردید.



شکل ۱- باغ A سمت چپ و باغ B سمت راست

Fig. 1- Vineyard A in left side and vineyard B in right side

با توجه به این که منبع آب تنها چهار روز یک بار در اختیار مزرعه بود، دور آبیاری چهار روز در نظر گرفته شد. عمق ناخالص آبیاری با اعمال راندمان ۹۰ درصد با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد:

$$d_g = T_d \times \frac{f}{0.9} \quad (۳)$$

که در آن،

d_g = عمق ناخالص آبیاری (mm)؛ f = دور آبیاری (روز).

برداشت و نمونه‌برداری از محصول در باغ A از تاریخ ۲۵ تا ۲۸ شهریور و در باغ B از تاریخ ۲۹ تا ۳۱ شهریور انجام شد. در هر واحد آزمایشی عملیات توزین و اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیولوژیکی اندازه خوشه، وزن صد حبه، تعداد حبه در خوشه و تعداد خوشه در بوته انجام شد. مهمترین هدف این تحقیق بررسی میزان اثربخشی روش SDI بر افزایش بهره‌وری آب (WP) است. با توجه به اینکه میزان آب مصرفی از دیدگاه‌های مختلف متفاوت است، بهره‌وری آب تحت عناوین مختلف بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب مورد استفاده در تبخیر-تعرق گیاه تعریف می‌شود (Saafi et al., 2017). با توجه به تعریف بهره‌وری آب مصرفی این پارامتر به صورت زیر محاسبه شد (Zoelb, 2006):

$$WP = \frac{Y_c}{\sum I + \sum Pe} \quad (۴)$$

که در آن،

WP = بهره‌وری آب مصرفی (کیلوگرم بر متر مکعب)؛ Y_c = عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)؛ $\sum I$ = کل حجم آبیاری در طول فصل رشد (مترمکعب بر هکتار)؛ و $\sum Pe$ = کل حجم بارش

عملیات داشت از قبیل کوددهی، سم پاشی، کنترل علف‌های هرز و هرس بر روی درختان کلیه تیمارها در طول مدت آزمایش به طور یکسان توسط باغداران انجام شد. برای دستیابی به مدیریت دقیق آبیاری، با استفاده از آمار روزانه ایستگاه هواشناسی سینوپتیک ملکان (دمای حداقل و حداکثر روزانه، میانگین رطوبت، میانگین سرعت باد و ساعات آفتابی) که در فاصله سه کیلومتری محل اجرای طرح بود، تبخیر-تعرق مرجع (ET_0) به صورت روزانه بر اساس رابطه فائو-پنمن-مانتیت محاسبه شد (۱۱). تبخیر-تعرق گیاه (E_t) با استفاده از رابطه ۱ حاصل شد (Doorenbos & Pruitt, 1977):

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (۱)$$

در رابطه فوق K_c ضریب گیاهی است که برای انگور از FAO 56 برداشت گردید که برای مرحله ابتدایی رشد ۰/۳، برای مرحله میانی ۰/۷ و برای مرحله پایانی ۰/۴۵ در نظر گرفته شد، ET_0 تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن (mm/day) و E_t تبخیر-تعرق گیاه (mm/day) می‌باشد. نیاز آبی انگور برای روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با اعمال درصد سطح سایه انداز گیاه در طول فصل رشد طبق رابطه زیر حاصل شد (Alizadeh, 2008):

$$T_d = U_d \times [0.1(P_d)^{0.5}] \quad (۲)$$

که در آن،

T_d = نیاز آبی روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (mm/day)؛ U_d = نیاز آبی روزانه پوشش گیاهی که با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (mm/day)؛ و P_d = درصد سطح سایه اندازی گیاه.

تأثیر آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای بر بهره‌وری آب...

در طول دوره آبیاری انگور از ۱۳۹۸/۰۳/۹ تا ۱۳۹۸/۰۶/۱۶ (Etc, Td) و عمق نیاز آبی گیاه (Etc, Td) انگور برای آب و هوای شهر ملکان با استفاده از روابط فائو- پنمن- مانتیث در همین دوره برای هر دو روش آبیاری جویچه‌ای و SDI نشان داده شده‌است. نیاز آبی گیاه تا قبل از تاریخ ۱۳۹۸/۰۳/۹ از رطوبت موجود در خاک تامین می‌شد.

قبل از اولین آبیاری رطوبت حجمی خاک بر اساس نمونه‌برداری وزنی در تیمارها حدود ۲۳ درصد حجمی بود.

موثر در طول فصل رشد (متر مکعب بر هکتار)؛ و $\sum Pe$ از رابطه SCS (رابطه ۵) محاسبه شد:

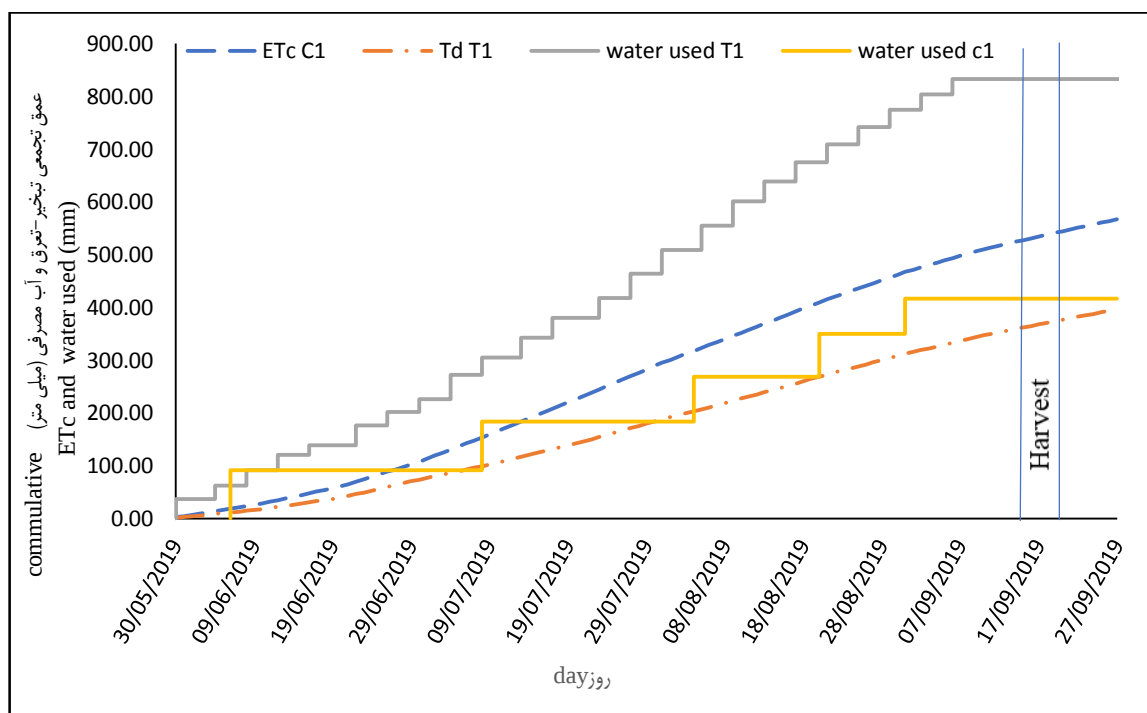
$$Pe = P \times \frac{(125 - (0.2 \times P))}{125} \quad (5)$$

که در آن،

Pe = بارندگی موثر (mm)؛ و P بارندگی ماهانه (mm).

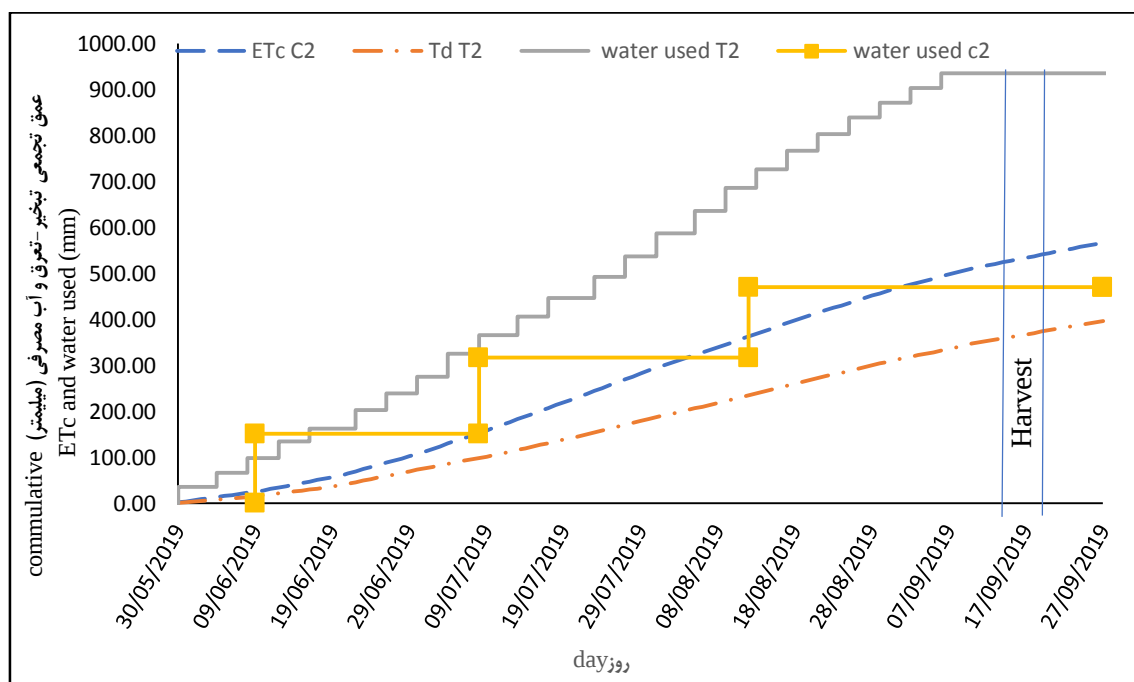
نتایج و بحث

در شکل‌های ۲ و ۳ عمق تجمعی آب مصرف شده (Water used) شامل آب آبیاری و بارش موثر



شکل ۲- عمق تجمعی تبخیر-تعرق و آبیاری برای سیستم‌های جویچه‌ای و SDI در باغ A

Fig. 2- Cumulative depth of evapotranspiration (Etc, Td) and water used for furrow and SDI system, Vineyard A.



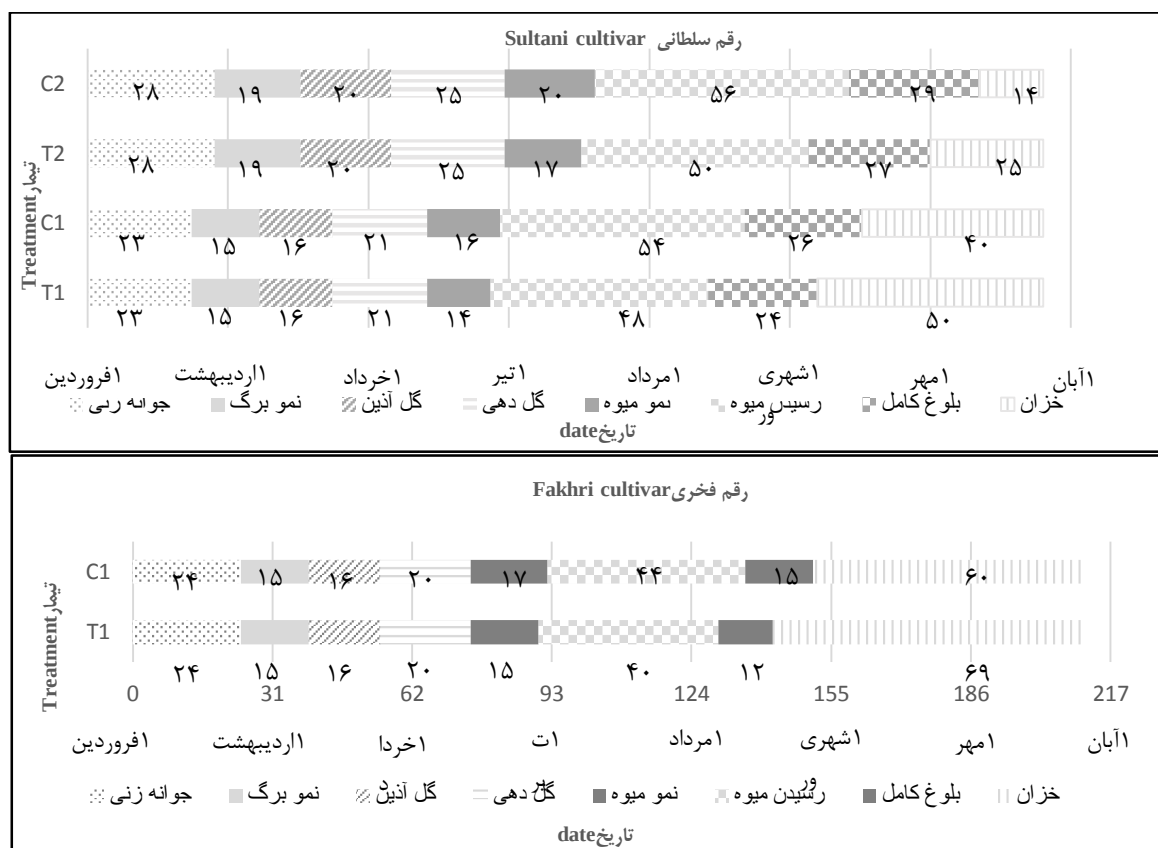
شکل ۳- عمق تجمعی تبخیر-تعرق و آب مصرفی برای سیستم‌های جویچه‌ای و SDI در باغ B

Fig. 3- Cumulative depth of evapotranspiration (ETc, Td) and water used for furrow and SDI system, Vineyard B.

مراحل اولیه رشد شامل جوانه‌زنی، نمو برگ و گل آذین بقیه مراحل رشد در آبیاری جویچه‌ای طولانی‌تر از SDI می‌باشد، لذا درختان انگور در آبیاری SDI مراحل رشد را سریع‌تر طی نمودند. تفاوت در مراحل اولیه رشد بین تیمارهای باغ A (T1, C1) و B (T2, C2) با توجه به این موضوع که هنوز آبیاری شروع نشده بود، ممکن است به دلیل تفاوت در نوع سیستم کاشت و تاثیر خرد اقلیم ایجاد شده باشد. در باغ B ممکن است به دلیل اینکه درختان روی سطح زمین قرار گرفته و سطح زمین به دلیل داشتن رطوبت از بارش‌های پائیز وزمستان قبل دارای دمای نسبتاً پایین‌تری از دمای هوا بوده و این عامل سبب تاخیر در تامین مقدار درجه روز رشد مورد نیاز گیاه برای جوانه زدن گردیده است.

در بازه زمانی که تیمارها آبیاری می‌شده ETc در هر دو باغ برای آبیاری جویچه‌ای ۵۶۰ میلی‌متر و Td برای هر دو باغ حدود ۴۰۰ میلی‌متر به دست آمد (شکل ۳ و ۴). مقدار AW در تیمار C1 برابر ۴۱۷ میلی‌متر و در تیمار T1 در عرض خیس‌شده ۱/۸ متر حدود ۸۳۰ میلی‌متر به دست آمد. همچنین با توجه به شکل (۳) AW در تیمار C2 ۴۷۰ میلی‌متر و در تیمار T2 در عرض خیس‌شده ۱/۵ متر حدود ۹۳۵ میلی‌متر به دست آمد. با توجه به این مقادیر مقدار آب کاربردی در تیمار T1 نسبت به C1 حدود ۱۰ درصد و در تیمار T2 نسبت به C2 حدود ۱۹/۴ درصد کمتر بوده است. در شکل (۴) مراحل مختلف رشد دو رقم انگور فخری و سلطانی، که به دو روش SDI و جویچه‌ای آبیاری شدند، نشان داده شده است. برای هر دو رقم فخری و سلطانی به جز

تاثیر آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای بر بهره‌وری آب...



شکل ۴- طول مراحل رشد فنولوژیکی انگور در تیمارها (T1, T2, C1, C2)، روز
Fig. 4- Length of Grape phenological stages in treatments (T1, T2, C1 and C2), day.

تیمارهای رقم و روش آبیاری، در صفت وزن ۱۰۰ حبه اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده شد و در بین تیمارهای اثر متقابل رقم در روش آبیاری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). در صفت طول خوشه بین دو رقم، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد بدست آمد و در بین تیمارهای آبیاری و اثر متقابل رقم در آبیاری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. اثر ساده رقم و روش آبیاری در سطح یک درصد و اثر متقابل رقم در روش آبیاری در سطح پنج درصد بر عملکرد محصول معنی‌دار بود. اثر ساده رقم، روش آبیاری و اثر متقابل رقم در روش آبیاری بر روی بهره‌وری آب

نتایج تجزیه واریانس تیمارها در هر دو باغ نشان داد که عملکرد گیاه، بهره‌وری آب و برخی صفات فیزیولوژیکی گیاه، تحت تاثیر سیستم آبیاری، رقم و اثر متقابل این عوامل می‌باشند.

تجزیه واریانس باغ A

در صفت تعداد خوشه در بوته بین دو روش آبیاری اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. در بین تیمارهای مختلف رقم درختان انگور و اثر متقابل رقم در روش آبیاری اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد بدست آمد (جدول ۳). در صفت تعداد حبه در خوشه فقط در بین تیمارهای مختلف رقم اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده شد. بین

در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

تجزیه واریانس باغ B

اثر ساده روش آبیاری و اثر متقابل رقم در روش آبیاری بر روی صفت طول خوشه معنی‌دار نبود. اثرات ساده رقم و روش آبیاری بر روی عملکرد آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل رقم در روش آبیاری بر روی عملکرد در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. در شاخص بهره‌وری آب بین تیمارهای رقم و روش آبیاری اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد مشاهده شد. اثر متقابل رقم در روش آبیاری بر شاخص بهره‌وری آب در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

اثر ساده رقم و روش آبیاری بر روی صفت تعداد خوشه در بوته به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار بود. در صفت‌های تعداد حبه در خوشه و وزن صد حبه بین تیمارهای مختلف رقم اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد مشاهده شد. در بین تیمارهای آبیاری و اثر متقابل رقم در آبیاری در دو صفت تعداد حبه در خوشه و وزن صد حبه اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. اثر ساده رقم بر روی صفت طول خوشه در سطح یک درصد معنی‌دار بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد، بهره‌وری آب و برخی صفات فیزیولوژیکی انگور

Table 3. Analysis of variance yield, water productivity and some physiological traits of grape

منابع تغییرات Sources of changes	D F	تعداد خوشه در بوته Num of cluster in tree	تعداد حبه در خوشه Num of berry in cluster	وزن صد حبه (گرم) Weight of 100 berry (gr)	طول خوشه (سانتی‌متر) Length of cluster (cm)	عملکرد (تن بر هکتار) Yield (ton/ha)	بهره‌وری آب مصرفی (کیلوگرم بر متر مکعب) Water productivity of used water (kg/m3)
Vineyard A							
Cultivar	1	52.56**	181476**	62976**	264.9**	554**	34.9**
Irrigation system	1	7.56 ^{n.s}	676 ^{n.s}	11119.7**	50.05 ^{n.s}	57**	8.2**
Cultivar×Irrigation	1	76.56**	1 ^{n.s}	526.7 ^{n.s}	0.856 ^{n.s}	22.3*	2.2**
Repeat	3	4.56 ^{n.s}	2419.2 ^{n.s}	1082.2 ^{n.s}	0.61 ^{n.s}	3.43 ^{n.s}	0.21 ^{n.s}
Error	9	2.5	1356.8	518	13.26	3.1	0.2
Vineyard B							
Cultivar	1	33.1*	201152.2**	39750.4**	312.4**	382.5**	20.8**
Irrigation system	1	189.1**	12.25 ^{n.s}	70.1 ^{n.s}	3.33 ^{n.s}	178.96**	7.85**
Cultivar×Irrigation	1	0.56 ^{n.s}	484 ^{n.s}	28.9 ^{n.s}	5.64 ^{n.s}	41.3*	1.91*
Repeat	3	2.73 ^{n.s}	359 ^{n.s}	736.1 ^{n.s}	7 ^{n.s}	1.46 ^{n.s}	0.07 ^{n.s}
Error	9	4.23	1025.7	321.84	9.58	5.65	0.3

There is no significant difference :n.s

Significantly differences at 5% :*

Significantly differences at 1% :**

در رده‌ی اول قرار گرفت. رقم سلطانی با عملکرد ۲۴/۵۷ تن بر هکتار و بهره‌وری آب ۶/۱۵ کیلوگرم بر متر مکعب در رده‌ی اول جای گرفت (جدول ۴). نتایج حاصل از مقایسه میانگین عملکرد، بهره‌وری آب و برخی صفات فیزیولوژیکی در باغ A در بین

نتایج حاصل از مقایسه میانگین بین دو رقم در باغ A نشان داد که رقم سلطانی (soltani) در شاخص‌های تعداد حبه در خوشه، اندازه خوشه، عملکرد و بهره‌وری آب نسبت به رقم فخری (fakhri) برتری داشت و در شاخص وزن صد حبه رقم فخری

تیمارهای روش آبیاری دلالت بر آن دارد که روش آبیاری SDI در شاخص‌های وزن صدحبه، عملکرد و بهره‌وری آب نسبت به تیمار آبیاری جویچه‌ای برتری داشت و بقیه شاخص‌ها در دو تیمار آبیاری جایگاه یکسانی داشتند. بیشترین میزان عملکرد محصول (۲۰/۶ تن در هکتار) و بیشترین مقدار بهره‌وری آب (۵/۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب) در روش آبیاری SDI حاصل شد (جدول ۴). مقایسه میانگین بین تیمارهای دو رقم در باغ B نشان داد که رقم سلطانی (soltani) در شاخص‌های تعداد حبه در خوشه، اندازه خوشه، عملکرد و بهره‌وری آب نسبت به رقم فخری (fakhri) برتری داشت و در شاخص وزن صد حبه رقم فخری در رده‌ی اول قرار گرفت (جدول ۴).

جدول ۴-مقایسه میانگین اثرات آبیاری و رقم بر عملکرد، بهره‌وری آب و خصوصیات فیزیولوژیکی انگور

Table 4. Mean comparison of the effects of irrigation, cultivar and plantation on yield, WP and grapes physiological traits

منابع تغییرات Sources of changes	تعداد خوشه در بوته Num of cluster in tree	تعداد حبه در خوشه Num of berry in cluster	وزن صد حبه (گرم) Weight of 100 berry (gr)	طول خوشه (سانتی‌متر) Length of cluster (cm)	عملکرد (تن بر هکتار) Yield (ton/ha)	بهره‌وری آب مصرفی (کیلوگرم بر متر مکعب) Water productivity of used water (kg/m3)
رقم Cultivar			باغ A Vineyard A			
soltani	20 ^b	261 ^a	156.4 ^b	25 ^a	24.57 ^a	6.15 ^a
fakhri	24 ^a	48 ^b	281.9 ^a	16 ^b	12.8 ^b	3.2 ^b
روش آبیاری Irrigation system						
SDI	23 ^a	161 ^a	245.5 ^a	22.7 ^a	20.6 ^a	5.39 ^a
Furrow	21 ^a	148 ^a	192.8 ^b	19.2 ^a	16.8 ^b	3.95 ^b
رقم Cultivar			باغ B Vineyard B			
soltani	20 ^a	246 ^a	143.8 ^b	23.75 ^a	17.7 ^a	4.13 ^a
fakhri	18 ^b	22 ^b	243.5 ^a	15 ^b	7.9 ^b	1.85 ^b
روش آبیاری Irrigation system						
SDI	16 ^b	133 ^a	191.6 ^a	20 ^a	9.43 ^b	2.3 ^b
Furrow	22 ^a	135 ^a	195.7 ^a	19 ^a	16.1 ^a	3.7 ^a

Means within a column followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.05$)

طول خوشه و تعداد حبه در خوشه، تیمارهای رقم سلطانی و در شاخص‌های تعداد خوشه در بوته و وزن صد حبه به ترتیب تیمارهای رقم فخری تحت روش جویچه‌ای و رقم فخری تحت روش SDI برتر بودند (جدول ۵). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و روش آبیاری در باغ B نشان داد که تیمار رقم سلطانی تحت روش جویچه‌ای با بهره‌وری ۵/۱۷ کیلوگرم بر متر مکعب از سایر تیمارها برتر بود. همچنین تیمارهای رقم سلطانی در باغ B در مقایسه با تیمارهای رقم فخری عملکرد بهتری داشتند و در بین تیمارهای رقم سلطانی، تیمار تحت روش جویچه‌ای با عملکرد ۲۲/۶ تن بر هکتار برتر بود (جدول ۵). در شاخص‌های طول خوشه و تعداد حبه در خوشه، تیمارهای رقم سلطانی و در شاخص‌های تعداد خوشه در بوته و وزن صد حبه به ترتیب تیمارهای جویچه‌ای و تیمارهای فخری برتر بودند (جدول ۵).

نتایج بدست‌آمده از مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و روش آبیاری در باغ A نشان داد که تیمار رقم سلطانی تحت روش SDI با بهره‌وری آب ۷/۲۳ کیلوگرم بر متر مکعب از سایر تیمارها برتر بود که این مقدار از مقادیر گزارش شده توسط یولقونلو و همکاران (Yulghonolu et al., 2017)، (۹/۴ کیلوگرم بر متر مکعب) کمتر و از مقادیر گزارش توسط (Xiaochi et al., Cancela et al., 2016) و نیکانفر و رضایی (Nikanfar & Rezaei 2020) که به ترتیب ۳/۳۶، ۴/۱ و ۲/۲ کیلوگرم بر متر مکعب بودند بیشتر بود. علت تفاوت در بهره‌وری آب در مناطق مختلف را می‌توان در تفاوت اقلیم، نوع رقم و نحوه کاشت دانست. همچنین تیمارهای رقم سلطانی در باغ A در مقایسه با تیمارهای رقم فخری عملکرد بهتری داشتند و در بین تیمارهای رقم سلطانی، تیمار تحت روش SDI با عملکرد ۲۷/۶ تن بر هکتار برتر بود (جدول ۵). در شاخص‌های

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل روش آبیاری و رقم بر عملکرد، بهره‌وری آب و خصوصیات فیزیولوژیکی انگور

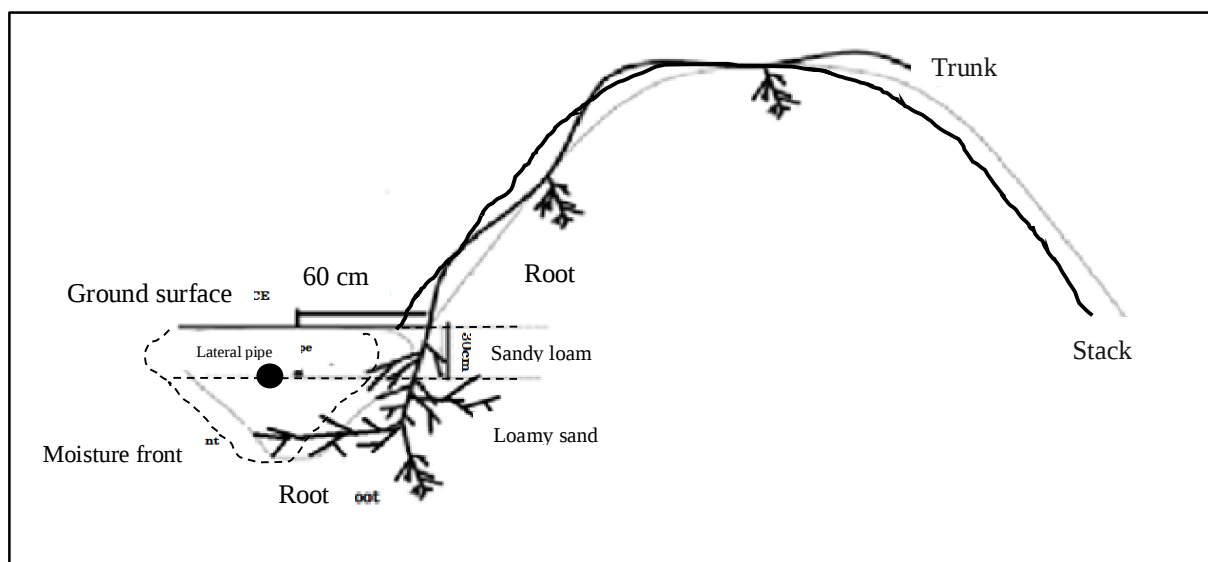
Table 5. Mean comparison of Interactions between irrigation system, cultivar and cultivation type on yield, WP and grapes physiological traits

Effect of irrigation and cultivar on the yield and quality of the grape						
منابع تغییرات Sources of changes	تعداد خوشه در بوته Num of cluster in tree	تعداد حبه در خوشه Num of berry in cluster	وزن صد حبه (گرم) Weight of 100 berry (gr)	طول خوشه (سانتی‌متر) Length of cluster (cm)	عملکرد (تن بر هکتار) Yield (ton/ha)	بهره‌وری آب مصرفی (کیلوگرم بر متر مکعب) Water productivity of used water (kg/m3)
آبیاری رقم Cultivar Irrigation	باغ A Vineyard A					
	SDI	23 ^{ab}	267 ^a	188.5 ^c	۲7 ^a	7.23 ^a
	Furrow	17 ^c	255 ^a	124.3 ^d	23 ^{ab}	5.06 ^b
	SDI	22 ^b	55 ^b	302.5 ^a	18.4 ^{bc}	3.54 ^c
	Furrow	25 ^a	41 ^b	261.2 ^b	15.3 ^c	2.85 ^c
	باغ B Vineyard B					
	SDI	17 ^b	251 ^a	140 ^b	24.8 ^a	3.08 ^b
	Furrow	24 ^a	242 ^a	147 ^b	22.7 ^a	5.17 ^a
	SDI	14 ^b	16 ^b	243 ^a	14.8 ^b	1.5 ^c
	Furrow	21 ^a	28 ^b	244 ^a	۱5 ^b	2.2 ^c

Means within a column followed by the same letter are not significantly different (p<0.05)

سبک‌تر (لومی‌شنی) بوده و منجر به توزیع عمقی رطوبت می‌شد. آبیاری انجام شده در این تیمار شبیه به آبیاری PRD بود و فقط بخشی از ریشه آبیاری می‌شد (شکل ۵). نتایج حاصل از برداشت نمونه رطوبت خاک در زمان ۱۲ ساعت بعد از آبیاری در فواصل مختلف و عمود بر جهت لوله‌ی لترال و روی پشته در سه عمق متفاوت و در حضور ریشه گواه این مساله می‌باشد (جدول ۶). پروفیل توزیع رطوبت خاک (Moisture front) در شکل (۶) بر اساس داده‌های رطوبتی جدول ۶ رسم شده است.

علت کاهش شدید عملکرد و به تبع آن بهره‌وری آب انگور با کاربرد روش آبیاری SDI در باغ B، عدم توزیع مناسب رطوبت در ناحیه توسعه ریشه بود. با توجه به موقعیت کارگذاری لوله لترال نسبت به ردیف درختان (۶۰ سانتی‌متری ردیف درختان) و این که باغ مذکور قبلاً به روش جویچه‌ای آبیاری می‌شد، این امر منجر به پراکندگی ریشه در حجم وسیع‌تری نسبت به حجم خاک مرطوب حاصل از آبیاری SDI شده بود. نکته دیگر مطابق بودن خاک باغ B بود که در عمق پایین‌تر از ۳۰ سانتی‌متری



شکل ۵- موقعیت ریشه گیاه و پروفیل توزیع رطوبت لوله لترال

Figure 5. Lateral profile of moisture distribution and plant root position.

جدول ۶- رطوبت حجمی خاک (درصد) در فواصل مختلف از لوله آبیاری ۱۲ ساعت پس از آبیاری

Table 6. Soil volumetric moisture content (%) at different distances from irrigation pipe 12h after irrigation

۱۰۰ سانتی‌متر روی پشته 100 cm (on the stack)	۷۰ سانتی‌متر روی پشته 70 cm (on the stack)	۷۰ سانتی‌متر روی				عمق (سانتی‌متر) Depth(cm)
		50 cm	40 cm	30 cm	15 cm	
12	14.6	20.5	20.2	25	25.5	0-30
14.1	15.5	18.4	23.4	23.6	29	30-60
15.2	15.8	17.3	17.5	18.4	29	60-90

به قطره‌ای با یافته‌های (Soar & Loveys, 2007) و کشت خزنده پس از تغییر روش آبیاری از جویچه‌ای (Nikanfar & Rezaee, 2015) مطابقت دارد.

کاهش عملکرد محصول انگور در باغ‌های با کشت خزنده پس از تغییر روش آبیاری از جویچه‌ای

در مطالعه حاضر چون آزمایش در یک سال زراعی انجام شده اثر سال را نمیتوان تفکیک نمود. همچنین با توجه به متفاوت بودن سن باغ A و باغ B، یک عامل دیگر موثر بر عملکرد و بهره‌وری آب سن می باشد که در تحلیل نتایج این پژوهش لحاظ نشده است.

نتیجه‌گیری

این مطالعه به مقایسه بهره‌وری آب دو رقم انگور سلطانی و فخری، تحت روش‌های آبیاری جویچه‌ای و SDI در کشت‌های متفاوت داربستی و خرنده در منطقه ملکان پرداخت. نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که روش‌های آبیاری نقش مهمی در بهره‌وری آب انگور در سیستم‌های کشت متفاوت داشتند. در باغ‌های انگور داربستی با بافت لومی (Loam)، اجرای روش SDI باعث مدیریت بهینه مصرف آب و کاهش ۱۰ درصدی آب آبیاری نسبت به روش جویچه‌ای شد. به طور متوسط عملکرد محصول انگور دو رقم سلطانی و فخری در روش SDI به ترتیب ۲۳ و ۱۱ درصد بیشتر از روش جویچه‌ای بود. بهره‌وری آب روش SDI در رقم سلطانی و فخری به ترتیب ۳۰ و ۲۰ درصد بیشتر از روش جویچه‌ای بود. اجرای روش آبیاری SDI با توجه به کاهش مصرف آب، افزایش عملکرد و به طور کلی بهبود بهره‌وری آب، در باغات با سیستم کشت داربستی توصیه می‌شود. بررسی‌ها بیانگر آن است تغییر روش آبیاری از جویچه‌ای به SDI در باغات انگور مسن با کشت

خرنده به دلیل عدم توزیع مناسب رطوبت در ناحیه توسعه ریشه باعث کاهش عملکرد و بهره‌وری آب می‌گردد. همچنین بافت خاک سبک در عمق توسعه ریشه در این کشت از دیگر عوامل منجر به عدم توزیع مناسب رطوبت در ناحیه توسعه ریشه بود. لذا به منظور تکمیل نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی اجرای روش آبیاری SDI در باغات جوان و با کشت خرنده مورد توجه قرار گیرد. شایان ذکر است از مشکلات اساسی سامانه آبیاری زیرسطحی موضوع کاهش دبی یا گرفتگی قطره چکان‌ها یا نفوذ ریشه به داخل لوله آبیاری زیرسطحی می باشد. در این تحقیق این موضوع بررسی نشده است. همچنین بررسی اقتصادی و اثرات زیست محیطی استفاده از سامانه زیر سطحی در این تحقیق بررسی نشده است.

محدودیت‌های مطالعه حاضر به شرح ذیل بود: چون آزمایش در یک سال زراعی انجام شده اثر سال را نمیتوان تفکیک نمود. با توجه به متفاوت بودن سن باغ A و باغ B، یک عامل دیگر موثر بر عملکرد و بهره‌وری آب سن می باشد که در تحلیل نتایج این پژوهش لحاظ نشده است. از مشکلات اساسی سامانه آبیاری زیرسطحی موضوع کاهش دبی یا گرفتگی قطره چکانها یا نفوذ ریشه به داخل لوله آبیاری زیرسطحی می باشد. در این تحقیق این موضوع بررسی نشده است. همچنین بررسی اقتصادی و اثرات زیست محیطی استفاده از سامانه زیر سطحی در این تحقیق بررسی نشده است.

مراجع

- Abbasi, F., Abolfazl, N., Rezvani, M., Goodarzi, M., Karimi, M., Eslami, K., Taheri, M., Khosravi, H., Moosavi, S. H., Firoozabadi, A., Baghani, J., Abbasi, N. and Akbari, M. (2020). Assessment of water use and water productivity in Country Vineyards. *Irrigation and drainage structures Engineering research*, 21(80), 133-148. (in Persian).

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Publications Fao. 300p.
- Agriculture Organization statistics. Deputy of planning and Economic affairs (2019). <http://maj.ir/index.aspx>
- Alizadeh, A. (2008). *Trickle irrigation (principles and practices)*. Mashhad, Iran. Astan ghods Imam Reza university (in Persian).
- Cancela, J. J., Trigo-Córdoba, E., Martínez, E. M., Rey, B. J., Bouzas-Cid, Y., Fandiño, M., & Mirás-Avalos, J. M. (2016). Effects of climate variability on irrigation scheduling in white varieties of *Vitis vinifera* (L.) of NW Spain. *Agricultural Water Management*, 170, 99-109.
- Civit, B., Piastrellini, R., Curadelli, S., and Arena. A. P. (2018). The water consumed in the production of grapes for vinification (*Vitis vinifera*). Mapping the blue and green water footprint. *Ecological Indicators*, 85, 236-243.
- Dolatibaneh, H. (2016). *Comprehensive management of grape growth*. Kurdistan, Iran. Kurdistan university (in Persian).
- Doorenbos, J. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements: FAO, Roma (Italia).
- FAOSTAT. (2018). Agriculture data available on <http://fao.org/statistics/en>.
- Ghasedi yulghonolu, S. Abyaneh, H. Nejatian, M. A. Maleki, M., & Karimi, R. (2018). Effects of altering furrow to drip irrigation on physiological traits and yield of sultana grapevine (*Vitis vinifera* L). *Iranian journal of Horticultural science*, 3(49), 743-753 (in Persian).
- Jolaini, M. (2006). Investigation on effect of drip irrigation methods and different levels of water on yield and water use efficiency of grape. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 28(7), 69-78 (in Persian).
- Jones, H. G. (2004). Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 55, 2427-2436.
- Karmeli, D., Keller, J. (1975). Trickle irrigation design (No. 631.7 K3).
- Mullins, M. G., Bouquet, A., and Williams, L. E. (2007). Biology of the grapevine. Publications university press cambridge. *Biology of Horticultural crops*. 178p.
- Nakhjavanimoghdam, M. M. Najafi, A. Sadrghaen, S. H. Farhadi, A. (2010). Effect of different levels of irrigation and plant density on grain yield and yield components and water use efficiency in Maize cv. KSC 302. *Seed and plant production journal*, 1(2), 73-90 (in Persian).
- Nejatiyan, M. A. (2014). *Comprehensive guide to grape production and processing*. Agricultural education and promotion (in Persian).
- Netzer, Y., Yao, C., Shenker, M., Bravdo, B., and Schwartz, A. (2009). Water use and the development of seasonal crop coefficients for Superior Seedless grapevines to an open-gable trellis system. *Irrigation Science*, 27:109-120.
- Nikanfar, R. & Rezaei, R. (2015). Response of old grapevine to switch irrigation system from surface to drip or babbler. *Iranian journal of Horticultural science and technology*, 2(16), 161-170.

- Pisciotta, A., Lorenzo, R. D., Santalucia, G., and Barbagallo, M. G. (2018). Response of grapevine (Cabernet Sauvignon cv) to above ground and subsurface drip irrigation under arid condition. *Agriculture Water Management*, 197,122-131.
- Saayman, D., and Lambrechts, J. J.N. (1995). The effect of irrigation system and crop load on the vigour of Barlinka table grapes on a sandy soil, Hex River Valley. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 16,26-34.
- Seyfi, M. R, & Kalhor, M. (2010). *Comprehensive and illustrated guide to growing grape (planting, growing, harvest)*. Sari, Iran. Agricultural education and promotion publications (in Persian).
- Shearer, G., Kohl, D. H., and Chien, S. H. (1978). The nitrogen-15 abundance in a wide variety of soils. *Soil science Society of America Journal*, 42(6), 899-902.
- Soar, C. J., Loveys, B. R. (2007). The effect of changing patterns in soil-moisture availability on grapevine root distribution, and viticultural implications for converting full-cover irrigation into a point-source irrigation system. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 13(1), 2-13.
- MAJSTAT. (2019). Agriculture data available on <http://maj.ir/index.aspx>
- TCCIMASTAT (2018). Agriculture and Commercial data available on <http://TCCIMA.ir>
- Vanino, S., Pulighe, G., Nino, P., Michele, C., Blognesi, S. F., and D'Urso, G. (2015). Estimation of Evapotranspiration and Crop Coefficients of Tendone Vineyards using Multi-Sensor Remote Sensing Data in a Mediterranean Environment. *Remote Sensing*, 7,14708-14730
- Williams, L. E., and Ayars, J. E. (2005). Water use of Thompson Seedless grapevines as affected by the application of gibberellic acid and trunk gridling-practices to increase berry size. *Agricultural and Forest Meteorology*, 129,85-94.
- Williams, L. E., Phene, C. J., Grimes, D. W., and Trout, T. J. (2003). Water use of mature Thompson Seedless grapevine in California. *Irrigation Science*, 22,11-18.
- Xiaochi, Ma., Karen, A., and Sanguinet, W. (2020). Direct root-zone irrigation outperforms surface drip irrigation for grape yield and crop eater use efficiency while restricting root growth. *Agriculture water management Journal*, (231), 105993
- Yunusa, I. A. M., Walker, R. R., Loveys, B. R., and Blackmore, D. H. (2000). Determination of transpiration in irrigated grapevines: comparison of the heat-pulse technique with gravimetric and micrometeorological methods. *Irrigation Science*, 20,1-8.
- Yulghonolu, S. G., Abyaneh, H. Z., Nejatiyan, M. A., Maleki, M., and Karimi. (2017). Effects of altering furrow to drip irrigation systems on physiological traits and yield of Sultana grapevine (vitis vinifera L.). *Iranian Journal of Horticulture Science*, 49(3), 743-753
- Zoebl, D. (2006). Is water productivity a useful concept in agricultural water management. *Agricultural Water Management*, 84,265-273.

Effects of Furrow and Subsurface Drip Irrigation Systems on Water Productivity of Vineyard in Bowed trellis and Creeping Plantation Systems

S. M. Mirlatifi*, H. Dehghanisanij and O. Orojjan Mashhadi

* Corresponding Author: Associated professor, Department of Engineering and Water Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: mirlat_m@modares.ac.ir

Received: 27 February 2021, Accepted: 14 October 2021

Extended Abstract

Introduction

Grapes are planted throughout the world and are used to produce dried fruit (raisins), grapes for fresh market (table grapes) and juice. Development of effective methods to improve water productivity in Agriculture is necessary due to the shortage of water resources. Water productivity is a momentous index to assess water saving and to gain more turnover for each unit of water used. Improving water productivity in irrigated agriculture decreases the demand for additional water sources and is thus a solution to the shortage of water resources. One of the efficient methods to improve water productivity is to use micro irrigation systems, which may help to reduce water used to increase yield. Subsurface drip irrigation (SDI) has been used in various countries for over 30 years especially in the regions encountering water scarcity. The results of the implementation of this method were identified in terms of increasing yield, reducing applied water, fertilizer and weed control costs, improve crop quality and water productivity. This study was conducted with the aim of evaluation of water productivity of grapes in two different plantation systems under SDI and furrow irrigation systems.

Methodology

In order to evaluate the effects of a Subsurface Drip Irrigation (SDI) on two varieties of grapevine; Sultani and Fakhri, this experiment was carried out based on completely randomized design with three replications during 2019 growing season in two vineyards with Bowed trellis (A) and Creeping (B) plantation systems. In vineyard A, laterals of SDI system were installed 50 cm below the soil surface and 50 cm from the grapes rows and in vineyard B, 30 cm below the soil surface and 60 cm from the grapes rows. Irrigation water requirement was calculated by P.M.E to meet full grapes water requirement using daily weather information data collected at Malekan weather station. Irrigation management of the furrow irrigated rows in both vineyards were controlled by the owner of the orchard. Except for the difference in irrigation, the vineyard's grown vines were established and treated similarly (row spacing, training, pest control, canopy management, fertilization and pruning).

Result and Discussion

At the end of the growing season Water productivity, Yield and some physiological traits such as: number of clusters in tree, berry weight, number of berries in cluster, length of cluster were measured. Analysis of variance showed significant difference (at 1% level) between water productivity of different irrigation methods in both vineyards. The SDI method in vineyard A and furrow method in vineyard B had the highest water productivity (5.39 kg/m^3 and 3.7 kg/m^3 , respectively). The comparison of interaction effects between irrigation methods and cultivars in vineyard A showed that the water productivity of Sultani variety under SDI irrigation (7.23 kg/m^3) was higher than other treatments and in vineyard B water productivity of Sultani variety under furrow method (5.17 kg/m^3) was higher than other treatments. SDI treatment in vineyard B, which was previously furrow irrigated and therefor roots had spreaded out into a larger

volume of soil than that wetted by the SDI system, wasn't capable to adequately supply Crop water requirement which manifested in crop yield reduction.

Conclusions

The SDI system in Bowed trellis plantation was able to adequately replenish Crop water requirement which enhanced crop yield. Implementation of the SDI system in vineyard A increased yield (28.4% in soltani variety and 32.4% in fakhri variety) and water productivity (42% in soltani variety and 47% in fakhri variety). Studies indicate that in Creeping plantation due to lack of proper distribution of moisture in the root zone, needs further investigation. In order to increase yield and water productivity of vineyards with bowed trellis systems, the installation of SDI system is recommended.

Keywords: Fakhri variety, Micro irrigation, Sultani variety, Yield

ارزیابی و بهبود مدیریت توزیع آب در شبکه‌های آبیاری در شرایط کمبود آب (مطالعه موردی: کانال درجه دوم عقیلی شرقی)

شیرین استواری دیلمانی^۱، محمدجواد منعم^{۲*} و سید مهدی هاشمی شاهدانی^۳

۱ و ۲- به ترتیب: دانش آموخته کارشناسی ارشد؛ استاد گروه مهندسی و مدیریت آب دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- دانشیار گروه مهندسی آبیاری پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۲۱

چکیده

تجربه‌های اخیر در شبکه‌های آبیاری نشان می‌دهد که شیوه‌های مرسوم بهره‌برداری قادر به توزیع مناسب آب در دوره‌های کم‌آبی نبوده‌اند و ارتقای آنها ضروری است. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی چهار سناریوی مدیریتی برای بهبود توزیع آب در کانال آبیاری درجه دوم عقیلی شرقی شبکه آبیاری و زهکشی گتوند استان خوزستان، در شرایط کمبود ۲۰ و ۴۰ درصد جریان صورت گرفته است. سناریوی اول، کاهش متناسب دبی همه آبیگرهاست. سناریوی دوم، اولویت در تحویل کامل برخی آبیگرها و توزیع کمبود آب بین دیگر آبیگرهاست. سناریوی سوم، تحویل کامل آب به نیمی از آبیگرها و کاهش متناسب نیم دیگر آبیگرها طی ۱۲ ساعت اول، و عکس آن در ۱۲ ساعت دوم است. سناریوی چهارم، تحویل آب موجود به نیمی از آبیگرها در ۱۲ ساعت اول، و تحویل آب به نیمی دیگر در ۱۲ ساعت دوم است. هیدرولیک جریان با مدل هیدرودینامیکی ICSS شبیه‌سازی شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که به کارگیری سناریوها در بهبود توزیع آب موثر است و با استفاده از آنها می‌توان آب را با عملکرد بالاتری توزیع کرد. تاثیر چهار سناریو بر روند بهبود توزیع آب در ۲۰ درصد کمبود آب به این صورت است: سناریوی یک بیشترین تاثیر را نشان داده است و بعد از آن به ترتیب سناریوهای چهار، سه و دو قرار دارند. در شرایط ۴۰ درصد کمبود آب میزان اثربخشی به ترتیب در سناریوهای چهار، سه، دو و یک دیده شده است.

واژه‌های کلیدی

تحویل و توزیع آب، شبیه‌سازی، کانال آبیاری، کمبود آب، مدیریت بهره‌برداری

مقدمه

بهبود یابد تا بتوان از پتانسیل موجود در شبکه به شکلی مفیدتر استفاده کرد (Clemments & Molden, 2007). یکی از عواقب ضعف مدیریت بهره‌برداری در شبکه‌های آبیاری، توزیع و تحویل نامناسب آب از شبکه اصلی به واحدهای زراعی درجه سه (شبکه فرعی) است. در بسیاری از موارد، میزان آب تحویلی به هر دریچه آبیگر با نیاز واقعی

بررسی‌ها نشان می‌دهند که عملکرد شبکه‌های آبیاری به دلایل مختلف کمتر از حد انتظار است که ضرورت توجه به ارتقای عملکرد این شبکه‌ها را گوشزد می‌کند. برای این منظور لازم است اجزای مدیریت شبکه، اعم از برنامه‌ریزی و بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری با استفاده از سناریوهای مختلف

جنوبی بررسی و شاخص‌های کفایت، راندمان، عدالت و پایداری را با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده با سامانه‌های اندازه‌گیری آنلاین خودکار موجود در شبکه و توزیع مکانی و زمانی تحویل آب محاسبه کردند. محاسبه این شاخص‌ها برای تخمین روند وضعیت بهره‌برداری در شبکه به‌کار برده شد.

تحقیقات شاموت و همکاران (Shammout et al., 2018) نشان می‌دهد که با استفاده از مدیریت عرضه آب می‌توان تاثیرات کمبود آب را کاهش داد. این محققان نشان دادند که در برخی فصول رشد گیاه می‌توان آبیاری را به ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه رساند و نتایج خوبی به‌دست آورد.

کانونی و منعم (Kanooni & Monem, 2017) تحویل و توزیع بهینه آب را هم‌زمان در سطح واحدهای زراعی و شبکه کانال‌های توزیع در شبکه آبیاری و زهکشی مغان با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک بررسی کردند و نشان دادند که کاربرد روش بهره‌برداری بهینه برای کمبود آب ۲۵ و ۵۰ درصد موجب بهبود عملکرد به ترتیب به میزان ۲۴ و ۴۰ درصد شده است.

منعم و همکاران (Monem et al., 2007) با استفاده از مدل ICSS به ارزیابی عملکرد بهره‌برداری در کانال E1R1 شبکه آبیاری دز مجهز به دریچه کشویی در شرایط تغییرات نیاز پایین دست پرداختند و نشان دادند با استفاده از مدل هیدرودینامیک و تحلیل جریان غیر ماندگار می‌توان عملکرد بهره‌برداری را به‌صورت کمی تعیین کرد و با اجرای عملیات بهره‌برداری مناسب عملکرد شبکه را بهبود بخشید.

خائیز و هاشمی شاهدانی (Khaez & Hashemi Shahdany, 2021) تاثیر راهکارهای غیر سازه‌ای را در بهبود توزیع آب در سطح شبکه بررسی و با

آنها مطابقت ندارد. توزیع و تحویل نامناسب آب موجب کاهش محصول و نارضایتی کشاورزانی می‌شود که کمتر از مقدار مورد نیاز آب دریافت کرده اند، و در عین حال برای کشاورزانی که بیش از حد آب دریافت کرده‌اند نیز مشکلاتی از جمله شرایط ماندابی و افزایش هزینه‌های کارگری برای مهار آب اضافی نیز به همراه دارد. مشکلات فوق موجب افزایش تلفات آب در سطح شبکه می‌شود و در مجموع کاهش بهره‌وری آب را به دنبال خواهد داشت (Sadeghi & Monem, 2015).

بهبود در مدیریت آب کشاورزی در هر زمینه نیازمند ارزیابی‌ها و بررسی‌هایی مبتنی بر اطلاعات دقیق است. هدف از ارزیابی عملکرد توزیع آب در شبکه‌های آبیاری تعیین وضعیت کلی سیستم، تعیین عوامل بروز مشکلات و بهبود وضعیت سیستم است (Clemmens & Molden, 2007). در کشورهای با پتانسیل آب محدود، افزایش بهره‌وری تابع مقدار آب موجود است و برای استفاده بهینه از آب موجود، نیاز به ارتقا و بهبود مدیریت عرضه و تقاضاست. با بهبود روش‌های تحویل و توزیع آب سطحی در شبکه‌های آبیاری، امکان مدیریت صحیح آب موجود فراهم خواهد شد (Bhadra et al., 2010).

کیم و همکاران (Kim et al., 2016) شبکه آبیاری Daesan واقع در غرب کره جنوبی را با استفاده از مدل هیدرولیکی SWMM شبیه‌سازی و نتایج مدل کالیبره شده را با داده‌های واقعی مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که برای بهبود بهره‌برداری نیاز به برنامه‌ریزی دقیق آبیاری با توجه به نتایج شبیه‌سازی است.

نام و همکاران (Nam et al., 2016) سیستم توزیع آب را در یکی از شبکه‌های آبیاری در کره

شبیه‌سازی و چگونگی توزیع آب را در این کانال ارزیابی کردند. نتایج ارزیابی بهره‌برداری کانال اصلی این شبکه، با استفاده از شاخص‌های کفایت، عدالت و راندمان توزیع آب، حاکی از عملکرد غیرقابل قبول بهره‌برداری دستی در شرایط نوسان دبی ورودی است.

سید هوشیار و همکاران (Seyed Hoshiy et al., 2021) وضعیت تحویل و توزیع آب در کانال اصلی واحد D2 در شبکه سفیدرود را بررسی کردند که توسط ۱۰ کانال درجه ۲ آب را در سطح ۵۵۰۰ هکتار توزیع می‌کند. در این بررسی از شاخص‌های کفایت و عدالت استفاده و نشان داده شد که ۴۶/۷ درصد از مزارع دچار کمبود آب هستند در حالی که ۵۳/۴ درصد از مزارع در بالادست سه برابر آب مورد نیاز خود را دریافت می‌کنند. این محققان در این پژوهش به منظور بهبود تحویل و توزیع، روش‌های غیرسازه‌ای را تعریف و با استفاده از مدل هیدرودینامیکی SOBEK آنها را شبیه‌سازی کردند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها نشان داد که با استفاده از این روش‌ها شاخص عدالت تا ۷۱/۷ درصد بهبود می‌یابد.

خیابانی و همکاران (Khiabani et al., 2020) تاثیر بهبود مدیریت بهره‌برداری و اصلاحات سازه‌ای و خودکارسازی را بر توزیع آب سطحی و کاهش برداشت آب‌های زیرزمینی در شبکه رودشت استان اصفهان با استفاده از مدل هیدرودینامیکی ICSS بررسی کردند و نشان دادند استفاده از مدیریت صحیح تحویل آب موجب ۲ تا ۱۳ درصد بهبود در شاخص‌های عملکرد بهره‌برداری نسبت به تغییرات سازه‌ای می‌شود. استفاده از این راهکارها موجب کاهش استفاده از آب‌های زیرزمینی به میزان

توسعه مدل ساده شده شبیه‌ساز جریان هیدرولیکی و ترکیب آن با مدل بهره‌برداری، عملکرد شبکه را در شرایط نرمال و کمبود آب به کمک نرم‌افزار GIS ارزیابی کردند. در این پژوهش، سه راهکار بررسی شد. به کارگیری این روش‌ها موجب بهبود شاخص کفایت به میزان ۶ تا ۱۱ درصد در شرایط نرمال و ۴ تا ۸ درصد در شرایط کمبود آب شده است. شاخص عدالت نیز حداکثر ۱۲ درصد بهبود داشته است. همچنین نشان داده شده است که راهکار دوم موجب ۱۲ درصد کاهش مصرف آب‌های زیرزمینی و ۱۴/۳ درصد کاهش مصرف انرژی، در سال، می‌شود.

شاهرخ‌نیا و جوان (Shahrokhnia & Javan., 2005) عملکرد توزیع آب را در کانال درجه سه اردیبهشت شبکه آبیاری درودزن استان فارس ارزیابی کردند. برای این منظور مقدار آب تحویلی به آبگیرهای درجه سه اردیبهشت در سه فصل آبیاری مختلف اندازه‌گیری شد. این محققان برای ارزیابی از شاخص‌های مولدن و گیتس استفاده و شاخص‌ها را برای سطوح زیر کشت واقعی و سطوح زیر کشت مساحی شده (قراردادی) محاسبه کردند. در این تحقیق مدل هیدرولیکی Hec-Ras برای شبیه‌سازی‌های جریان ماندگار به کار گرفته شد. محققان نشان دادند که کانال مورد مطالعه از لحاظ عدالت توزیع مکانی و زمانی آب، عملکرد خوبی ندارد و کانال‌های بالادست بیش از کانال‌های پایین دست آب برداشت می‌کنند.

هاشمی شاهدانی و همکاران (Hashemy Shahdany et al., 2016) با استفاده از مدل شبیه‌ساز هیدرولیک جریان ICSS نحوه بهره‌برداری کنونی کانال اصلی شبکه آبیاری رودشت را که با مشکل نوسان‌های شدید ورودی مواجه است،

حداکثر ۸/۴ میلیون متر مکعب برای چاه‌های عمیق و ۲/۸ میلیون متر مکعب برای چاه‌های نیمه عمیق، در یک سال آبی، می‌شود.

ابراهیمیان و همکاران (Ebrahimian et al., 2019) ارتقای بهره‌وری در شبکه‌های آبیاری را با تاکید بر مدیریت تقاضا در شرایط کمبود آب بررسی کردند. این تحقیق روی کانال درجه دوم عقلی شرقی شبکه آبیاری زهکشی عقلی واقع در استان خوزستان صورت گرفت. چهار گزینه برای برنامه‌های توزیع و تحویل آب در شبکه به منظور بهبود بهره‌وری آب در نظر گرفته شد. وضعیت هیدرولیکی جریان در شبکه موردنظر با استفاده از مدل هیدرودینامیکی ICSS شبیه‌سازی و به‌منظور بررسی عملکرد محصولات از مدل AquaCrop استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که سناریوی اول و چهارم به ترتیب با ۱۳/۸ و ۱۲/۹۶ درصد بهبود بهره‌وری نسبت به وضعیت موجود مناسب‌ترین گزینه هستند.

هدف اصلی در تحقیق حاضر بهبود عملکرد بهره‌برداری از کانال آبیاری در شرایط کمبود آب با به‌کارگیری سناریوهای مدیریتی است. کانال عقلی شرقی از شبکه آبیاری گتوند در استان خوزستان شهرستان شوشتر، انتخاب شد. برای این منظور چهار سناریو برای مدیریت کمبود آب در نظر گرفته شد. پس از تنظیم مدل ریاضی کانال عقلی شرقی، ارزیابی عملکرد ابتدا در شرایط کمبود آب بدون عکس‌العمل مدیریتی و پس از آن با اعمال سناریوهای مورد نظر شبیه‌سازی و تاثیر کمی هر

یک از سناریو ها بر روند بهبود عملکرد سیستم ارزیابی شد.

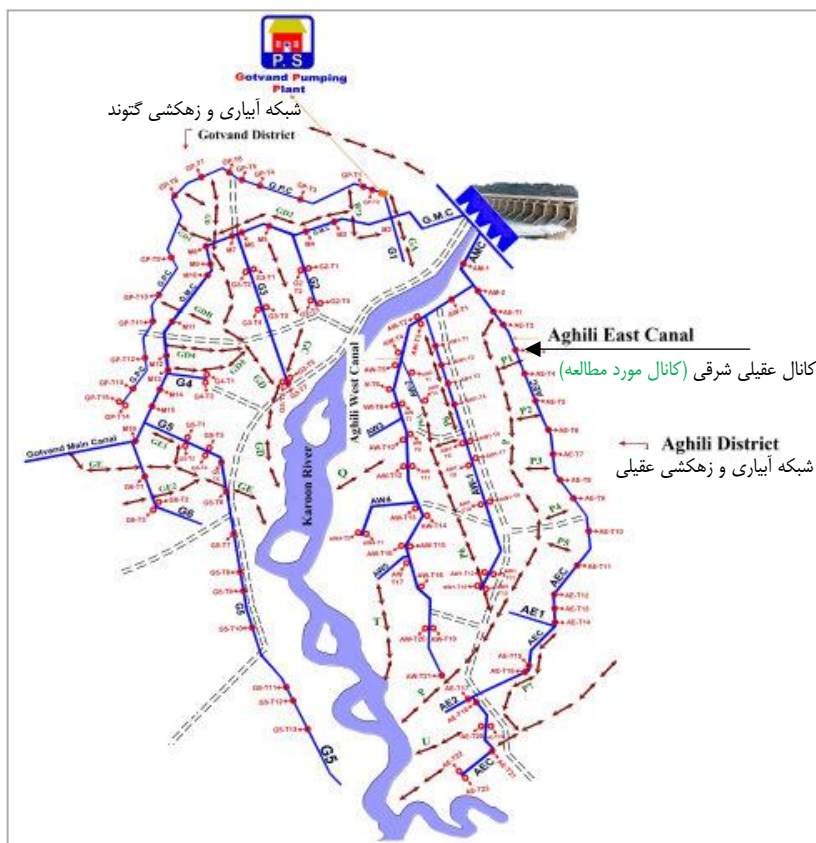
مواد و روش‌ها

کانال مورد مطالعه

شبکه آبیاری عقلی در شبکه گتوند در استان خوزستان واقع شده (شکل ۱) و متشکل است از کانال اصلی عقلی و دو کانال درجه یک به نام‌های عقلی شرقی و عقلی غربی. کانال اصلی با ظرفیت ۱۲ متر مکعب بر ثانیه از سد تنظیمی انحرافی گتوند آگیری می‌کند و در کیلومتر ۱+۹۰۰ دو کانال عقلی شرقی و غربی به ترتیب با ظرفیت‌های ۵ و ۷ متر مکعب بر ثانیه از آن منشعب می‌شوند.

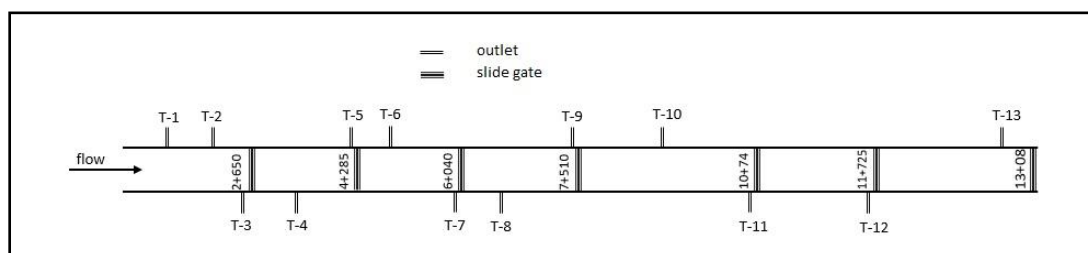
کانال مورد مطالعه در تحقیق حاضر کانال درجه دو عقلی شرقی است. این کانال دارای پوشش بتنی و مقطع دوزنقه‌ای با شیب جانبی ۱:۱، با طول ۱۶ کیلومتر است. عرض کف در ۹ کیلومتر ابتدای کانال ۱/۵ متر و بعد از آن ۱ متر است. برای سهولت ارائه نتایج، ۱۳ کیلومتر ابتدایی کانال شبیه‌سازی شده است. این قسمت از کانال دارای ۱۳ آگیر و ۷ آب‌بند است که همگی به صورت دستی بهره‌برداری می‌شوند. سازه‌های آگیر و آب‌بند از نوع درپچه کشویی مستطیلی هستند و ضریب دبی آنها، بنا به اعلام کارشناسان سازمان آب و برق خوزستان، برابر ۰/۶ در نظر گرفته شد. کانال و سازه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. ابعاد ۴ آب‌بند اول ۱۵۰×۶۰ و سه آب‌بند انتهایی ۱۰۰×۶۰ سانتی‌متر، و ابعاد آگیرها ۶۰×۶۰ سانتی‌متر است.

ارزیابی و بهبود مدیریت توزیع آب در شبکه‌های آبیاری در شرایط...



شکل ۱- کانال عقیلی و موقعیت آن در شبکه آبیاری و زهکشی عقیلی

Figure1: Aghili canal and its location through the Aghili irrigation and drainage network



شکل ۲- شماتیک کانال درجه دو عقیلی شرقی و سازه‌های آن

Figure 2 – Schematic Figure of East Aghili Secondary Canal and its Structures

به کانال عقیلی شرقی تحویل می‌گیرد. میراب پس از آن با در دست داشتن مقدار دبی‌های درخواستی در طول کانال حرکت می‌کند و سازه‌ها را برای تحویل دبی تنظیم می‌کند. سازه‌ها به ترتیب از بالادست به پایین دست تنظیم می‌شوند. با تغییر دبی ورودی به کانال، با حرکت موج تغییر جریان، آب‌بندهای کانال برای تنظیم سطح آب بالادست خود، و آبگیرها برای

وضعیت بهره‌برداری و توزیع کنونی آب در این کانال به این ترتیب است که تحویل آب براساس درخواست مصرف‌کنندگان زیردست هر درچه، به صورت روزانه و معمولاً ساعت ۸ صبح تحویل می‌شود که باید تا ۲۴ ساعت قبل اعلام شده باشد. میراب کانال عقیلی شرقی ساعت ۸ صبح، در حضور مامور اداره آب، دبی ورودی از کانال اصلی عقیلی را

عمران کانادا، دربرنامه ارزیابی مدل‌های ریاضی-هیدرولیکی به‌طور کامل بررسی گردیده و نتایج آن به تایید رسیده است (The Canadian Society for Civil Engineering 1990).

شاخص‌های ارزیابی عملکرد

به منظور ارزیابی عملکرد از شاخص‌هایی که توسط مولدن و گیتس (Molden & Gates, 1990) معرفی شدند شامل شاخص‌های کفایت، راندمان، و عدالت تحویل به ترتیب طبق رابطه‌های ۱، ۲، و ۳ استفاده شده است.

کفایت تحویل

$$MPA = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^T \left(\frac{1}{R} \sum_{j=0}^R P_{Aij} \right), \quad (1)$$

$$if \begin{cases} Q_D < Q_R \\ P_{Aij} = \frac{Q_D}{Q_R} \end{cases}, \text{ or } \begin{cases} Q_D \geq Q_R \\ P_{Aij} = 1 \end{cases}$$

که در آن،

MPA = شاخص کفایت تحویل کانال؛
 P_{Aij} = شاخص کفایت تحویل آبگیر (نسبت دبی تحویلی به دبی مورد نیاز هر آبگیر)؛ Q_D = دبی تحویلی به آبگیر (متر مکعب بر ثانیه)، Q_R = دبی مورد نیاز آبگیر (متر مکعب بر ثانیه)؛ R = تعداد آبگیرها؛ T = تعداد گام‌های زمانی در دوره تحویل؛ i و j = به ترتیب شماره گام‌های زمانی و آبگیر.

راندمان توزیع

$$MPF = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^T \left(\frac{1}{R} \sum_{j=0}^R P_{Fij} \right), \quad (2)$$

$$if \begin{cases} Q_R < Q_D \\ P_{Fij} = \frac{Q_R}{Q_D} \end{cases}, \text{ or } \begin{cases} Q_R \geq Q_D \\ P_{Fij} = 1 \end{cases}$$

که در آن،

MPF = شاخص راندمان تحویل کانال؛ P_{Fij} = شاخص راندمان تحویل آبگیر (نسبت دبی مورد نیاز به دبی تحویلی به هر آبگیر).

عدالت توزیع

$$MPE = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^T CV_N \left(\frac{Q_D}{Q_R} \right)_i \quad (3)$$

تحويل دبی تنظیم می‌شوند. جدول‌های دبی مورد نیاز آبگیرها از اداره آب شهرستان شوشتر دریافت شد.

مدل هیدرودینامیکی ICSS¹

مدل ICSS را مانز (۱۹۹۵) به منظور شبیه‌سازی هیدرولیک، هیدرولوژی و بهره‌برداری از سیستم‌های انتقال و توزیع آب آبیاری طراحی کرده است. مدل ICSS قادر است جریان ماندگار و غیرماندگار را برای شرایط مختلف بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری با شکل‌های متنوع مقطع کانال همراه با طیف قابل توجهی از سازه‌ها و عملیات بهره‌برداری آنها توأم با جریانات گسترده ورودی و خروجی شبیه‌سازی کند. مدل برای شبیه‌سازی جریان ماندگار از معادله‌های جریان متغیر تدریجی ارائه شده توسط هندرسون (Henderson, 1966) و برای شبیه‌سازی جریان غیرماندگار از معادله‌های سنت و نانت که توسط استرلکف (Strelkoff, 1969) استخراج شده است استفاده می‌کند (Manz, & Scaaljie, 1992). نتایج مدل با استفاده از اطلاعات دقیق آزمایشگاهی تهیه شده توسط ترسک در سال ۱۹۸۰ در یک فلوم بتنی مستطیلی با عرض ۱/۲۵ متر، طول ۲۱۰ متر، شیب طولی ۰/۰۰۱۹ و ضریب زبری مانینگ ۰/۰۱۲ واسنجی شد. در این ارزیابی، هیدروگراف جریان هیچ‌گونه خطایی از نظر زمانی نداشته و زمان وقوع جریان را کاملاً درست پیش‌بینی کرده است. عمق حداکثر در بالادست و پایین‌دست فلوم به ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۲۹ درصد کمتر از مقدار مشاهده شده و حداکثر دبی در مرز پایین‌دست ۱/۹ درصد کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی شده است که قابل قبول خواهد بود (Monem & Manz, 1994). عملکرد مدل توسط کارگروه مدل‌های ریاضی رودخانه، جامعه مهندسان

که در آن،
 $MPE =$ شاخص عدالت تحویل کانال؛
 $CV_N(Q_D/Q_R) =$ ضریب تغییرات مکانی Q_D/Q_R
 برای آبیگرهای موجود در طول کانال در یک گام
 زمانی. مقدار ایده‌آل شاخص‌های کفایت و راندمان
 تحویل برابر با یک، و برای شاخص عدالت تحویل
 برابر صفر است. محدوده استاندارد شاخص‌ها در
 جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- محدوده استاندارد شاخص‌های ارزیابی عملکرد بهره‌برداری (مولدن و گیتس، ۱۹۹۰)

Table 1: Standard range of the operational performance appraisal indices (Molden and Gates, 1990)

شاخص‌ها	خوب	متوسط	ضعیف
Index	good	medial	poor
راندمان Efficiency	0.85 - 1	0.7 - 0.84	<0.7
کفایت Adequacy	0.9 - 1	0.8 - 0.89	<0.8
عدالت Equity	0 - 0.1	0.11 - 0.25	>0.25

سناریوهای بهره‌برداری

در کانال‌هایی که به صورت کنترل از بالادست بهره‌برداری می‌شوند، در شرایط کمبود آب، عموماً آبیگرهای بالادست آب بیشتری نسبت به آبیگرهای پایین دست دریافت می‌کنند. در این شرایط علاوه بر مشکل کفایت تحویل آب، مشکل عدالت توزیع آب نیز تشدید می‌شود. برای بهبود عملکرد کانال در شرایط کمبود آب می‌توان گزینه‌های مختلف مدیریت توزیع و تحویل آب را در نظر گرفت.

در تحقیق حاضر، در مجموع پنج سناریو در نظر گرفته شد. سناریوی صفر، به عنوان مبنا برای مقایسه سناریوهای دیگر، برای حالت‌های ۸۰، ۱۰۰ و ۶۰ درصد دبی سراب در نظر گرفته شد. چهار سناریوی مدیریتی برای دبی‌های ۸۰ و ۶۰ درصد که به ترتیب معادل ۲۰ و ۴۰ درصد کمبود دبی ورودی به کانال است به منظور بررسی اثر روش‌های مختلف مدیریت کمبود آب بر بهبود عملکرد کانال در نظر گرفته شد. سناریوها برای یک نوبت تحویل آب در بازه زمانی ۲۴ ساعت اجرا شده‌اند. تنظیم آب‌بندها در همه سناریوها به گونه‌ای بود که صرف

نظر از دبی، عمق آب در بالادست آب‌بندها، در عمق هدف (عمق نرمال مربوط به دبی طراحی) تنظیم گردد. تنظیم آبیگرها نیز به گونه‌ای صورت گرفت تا در عمق موجود بتوانند دبی برنامه‌ریزی شده در سناریوی مربوط را دریافت کنند. در اینجا اهمیت و جزئیات هر یک از سناریوها تشریح می‌شود.

سناریوی صفر: در سناریوی صفر، که به عنوان مبنای مقایسه سایر سناریوها در نظر گرفته شد، توزیع آب برای دبی‌های سراب ۸۰، ۱۰۰ و ۶۰ درصد جریان در سراب کانال در وضع موجود بدون هیچ‌گونه عکس‌العمل مدیریتی شبیه‌سازی شد. در این سناریو، اثر کمبود مقادیر مختلف آب در ابتدای کانال، در شرایط وضع موجود بر عملکرد کانال تعیین می‌شود. برای این منظور دبی مورد نیاز آبیگرها، برای یک روز معین (پنجم تیرماه سال ۹۱) که دبی مورد نیاز در سراب کانال بیشترین تغییرات را نسبت به روز قبل داشته از دفترچه بهره‌برداری کانال در نظر گرفته شد. مقدار دبی مورد نیاز آبیگرها در روز موردنظر در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- دبی مورد نیاز آبیگرهای واقع در کانال عقیلی

Table 2: Turnouts' required discharge located along the Aghili canal

شماره آبیگر Turnout no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
دبی (لیتر بر ثانیه) Discharge (L/S)	100	100	100	100	100	100	100	100	60	50	30	30	30

از این رو، آب بین آبیگرها بر مبنای نوعی اولویت-بندی متناسب با الگوی کشت هر آبیگر توزیع شد. در این اولویت‌بندی به‌طور تصادفی فرض شد که پنج آبیگر ۳، ۶، ۸، ۱۰، و ۱۱ در اولویت هستند. بر این اساس، این آبیگرها دبی مورد نیاز خود را کامل و سایر آبیگرها، دبی تحویلی متناسب با میزان کمبود آب در سراب کانال را دریافت می‌کنند.

هدف از سناریوهای یک و دو تامین عدالت توزیع است. کاهش شدید میزان جریان در بازه‌های انتهایی باعث می‌شود که عمق جریان در محدوده آب برگشتی بالادست آب‌بندها کاهش یابد. این امر موجب اختلال در تحویل آب به آبیگرهای واقع در محدوده آب برگشتی به‌خصوص در بازه‌های انتهایی می‌شود. این سناریوها ممکن است، بر خلاف تصور اولیه، موجب ضعف عدالت توزیع شوند. برای کاهش این مشکل می‌توان توزیع آب را به‌صورتی برنامه-ریزی کرد تا با تقسیم زمانی جریان، از کاهش شدید دبی در بازه‌های انتهایی کانال جلوگیری شود. از این رو سناریوهای سه و چهار با تقسیم‌بندی زمانی ۱۲ ساعته تعریف شدند. در کلیه گزینه‌ها، به‌جز سناریوی دو که در آن به‌نوعی اولویت تحویل در نظر گرفته شد، میزان حجم آب تحویلی برنامه‌ریزی شده به آبیگرها در ۲۴ ساعت یکسان است. بدین

در این سناریو، ابتدا مدل برای دبی ۱۰۰ درصد اجرا و آب‌بندها و آبیگرها به‌گونه‌ای تنظیم شدند که عمق آب در بالادست آب‌بندها به عمق هدف (عمق نرمال با توجه به دبی طراحی کانال) برسد و دبی مورد نیاز آبیگرها به‌طور کامل تحویل گردد. پس از آن بدون ایجاد تغییر در میزان تنظیم سازه‌ها، مدل به‌طور جداگانه با کمبودهای ۲۰ و ۴۰ درصدی در دبی سراب کانال برای ۲۴ ساعت اجرا شد و تاثیر کمبود آب بر عملکرد توزیع در شرایط موجود با نبود واکنش مدیریتی بررسی شد.

سناریوی یک: یکی از رویکردهای مرسوم در مدیریت کمبود آب، توزیع یکنواخت کمبود میان همه آبیگرها به تناسب سطح تحت پوشش آنهاست. این رویکرد با هدف تامین عدالت توزیع در نظر گرفته می‌شود. انجام این سناریو که برای کمبود دبی‌های ۲۰ و ۴۰ درصدی انجام شد، به این صورت است که همزمان با کاهش دبی سراب، دبی آبیگرها به همان نسبت کاهش می‌یابد. در این سناریو، عملیات بهره‌برداری همزمان با کاهش دبی سراب در ابتدای روند شبیه‌سازی اجرا شد.

سناریوی دو: سناریوی دوم برای شرایطی در نظر گرفته شد که الگوی کشت برخی آبیگرها شامل محصولات حساس به کم آبی (مانند باغات) هستند.

۱۲ ساعت با حداکثر جریان موجود مواجه خواهند بود. در مقایسه با سناریوی سه، با قطع دبی تحویلی به نیمی از آبیگرها در ۱۲ ساعت، انتظار می‌رود کاهش عمق آب در محدوده برگشت آب کمتر و عدالت توزیع آب بهتر شود. در مقابل، قطع جریان در بخشی از کانال ممکن است باعث تشدید ناپایداری جریان و تضعیف عملکرد توزیع شود.

نتایج و بحث

به منظور شبیه‌سازی وضعیت هیدرولیکی جریان در کانال، اطلاعات مربوط به روز اول به‌عنوان شرایط اولیه و شبیه‌سازی‌ها برای روز دوم مبنای کار قرار داده شد. برای بررسی اثر کمبود آب، شبیه‌سازی‌ها برای شرایط موجود و سناریوهای مدیریتی موردنظر با کمبود دبی سراب کانال به میزان ۲۰ و ۴۰ درصد صورت گرفت. برای محاسبه شاخص‌ها، ابتدا با رسم نمودار عمق-زمان برای هریک از آبیگرها، زمان‌های غیر ماندگاری آنها تعیین گردید و با تعیین دبی تحویلی به آبیگرها شاخص‌های عملکرد برای این مدت زمان محاسبه شد.

نتایج شبیه‌سازی سناریوی صفر: این سناریو برای دبی‌های ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد در سراب کانال اجرا شد. به این ترتیب با استفاده از نتایج این شبیه‌سازی‌ها، اثر ۲۰ و ۴۰ درصد کمبود آب در دبی سراب کانال بر نحوه توزیع آب بین آبیگرها بررسی گردید. نتایج به دست آمده برای هر سه حالت در جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی با ۱۰۰ درصد دبی سراب حاکی از آن است که با توجه به اینکه شاخص کفایت تحویل آب در کلیه آبیگرها بیشتر از ۹۰ درصد به دست آمده است، بنابراین می‌توان این گونه تفسیر کرد که آبیگرها مقدار دبی مورد نیاز خود را

ترتیب، دریافت کنندگان آب در پایین‌دست آبیگرها ضمن دریافت حجم ثابت آب، با تقسیم زمانی جریان میان خود هماهنگ با سناریوها، نسبت به ارتقای عملکرد شبکه در شرایط کمبود آب همکاری می‌کنند. برای اجرای این سناریوها باید بهره‌برداری دو بار در ۲۴ ساعت عملیاتی شود.

سناریوی سه: در این سناریو آبیگرها براساس مقدار دبی مورد نیاز به دو گروه تقسیم شدند به‌طوری‌که مجموعه دبی آبیگرهای هر گروه تقریباً با هم برابر باشد. در ۱۲ ساعت اول، گروه اول آبیگرها (آبیگرهای شماره ۱ تا ۵) دبی متناسب با مقدار کمبود آب در سراب دریافت می‌کنند، و گروه دوم آبیگرها (آبیگرهای شماره ۶ تا ۱۳) دبی مورد نیاز خود را کامل دریافت می‌کنند. در ۱۲ ساعت دوم، گروه اول آبیگرها دبی مورد نیاز خود را کامل و گروه دوم دبی درخواستی خود را متناسب با کمبود آب در سراب دریافت می‌کنند. بدین ترتیب ضمن قطع نشدن جریان در طول کانال، در هر یک از نیمه‌های کانال، طی ۱۲ ساعت، جریان نسبتاً کامل برقرار خواهد بود. در این صورت کاهش عمق جریان در محدوده برگشت آب کمتر خواهد شد و انتظار می‌رود عدالت توزیع آب بهتر شود. علاوه بر آن، قطع‌نشدن جریان در کانال موجب کاهش ناپایداری جریان می‌شود که ممکن است به بهبود عملکرد کانال کمک کند.

سناریوی چهار: در این سناریو نیز مانند سناریوی سه، آبیگرها به دو دسته تقسیم شدند. در ۱۲ ساعت اول آبیگرهای گروه اول (شماره ۱ تا ۵) بسته می‌شوند و آبیگرهای گروه دوم (شماره ۶ تا ۱۳) کل آب موجود را متناسب با نیاز دریافت می‌کنند. در ۱۲ ساعت دوم، آبیگری برعکس خواهد شد. بدین ترتیب هر دو نیمه کانال و آبیگرها، طی

بدون مازاد یا کمبود چندانی دریافت کرده‌اند. همچنین شاخص عدالت توزیع آب نیز "خوب" ارزیابی شده است که حاکی از همگنی مکانی تحویل آب قابل قبول به کلیه آبیگرهای بالادست تا پایین‌دست است. در ادامه، مدل برای کمبود ۲۰ و ۴۰ درصد در دبی سراب نیز شبیه‌سازی شد و نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. مطابق نتایج به‌دست آمده برای کمبود ۲۰ درصد دبی ورودی، شاخص‌های کفایت محاسبه شده برای پنج آبیگر از کل ۱۳ آبیگر کمتر از ۹۰ درصد به‌دست آمده که به عبارتی ۳۸ درصد آبیگرها دارای کفایت "متوسط" هستند. نتایج ارزیابی عملکرد حاکی از آن است که شاخص عدالت ۰/۰۴ ضعیف‌تر از سناریوی صفر شده است. به عبارت دیگر، کمبود آب در سراب کانال علاوه بر کاهش شاخص کفایت موجب افزایش بی عدالتی

توزیع آب بین آبیگرها نیز شده است.

به طور مشابه، نتایج شبیه‌سازی با ۴۰ درصد کمبود آب نیز نشان دهنده آن است که آبیگری برای ۹ آبیگر کمتر از ۹۰ درصد (حالت مطلوب) به‌دست آمده است و برای ۷۰ درصد آبیگرها شاخص کفایت در حد "متوسط" و "ضعیف" ارزیابی می‌شود. همچنین، شاخص عدالت مربوط برابر ۰/۱۳ به‌دست آمده است که در محدوده متوسط قرار گرفته و حدود ۰/۱ در مقایسه با سناریوی صفر کاهش یافته است. این نتیجه حاکی از آن است که در شرایط کمبود آب، عملیات بهره‌برداری موجود، علاوه بر مشکل کفایت تحویل آب به آبیگرها، موجب تشدید بی عدالتی در توزیع آب نیز می‌شود. از این رو باید با اعمال مدیریت بهتر مانع از کاهش قابل توجه عملکرد تحویل آب شد

جدول ۳- شاخص‌های عملکرد تحویل سناریوی صفر با دبی سراب ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد
Table 3: Delivery indicators of scenario no. 0 for 60%, 80% and full discharge

دبی سراب Discharge of the head	شماره آبیگر Catchment no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	کل کاتال AVG.	شاخص عدالت Equity index
سناریوی صفر ۱۰۰٪ Scenario no. 0 - 100%	شاخص کفایت Adequacy index	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.03
	شاخص راندمان Efficiency index	0.97	0.97	0.97	0.94	0.97	0.94	0.93	0.94	0.89	0.92	0.95	0.94	0.96	0.94	
سناریوی صفر ۸۰٪ Scenario no. 0 - 80%	شاخص کفایت Adequacy index	0.84	0.91	0.96	0.86	0.97	0.85	0.98	0.86	0.94	0.94	0.98	1	0.85	0.93	0.07
	شاخص راندمان Efficiency index	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
سناریوی صفر ۶۰٪ Scenario no. 0 - 60%	شاخص کفایت Adequacy index	0.76	0.82	0.88	0.79	0.90	0.79	0.91	0.82	0.89	0.95	1	0.89	0.83	0.92	0.13
	شاخص راندمان Efficiency index	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

نتایج شبیه‌سازی سناریوی یک: نتایج ارزیابی عملکرد بهره‌برداری کانال عقلی پس از اعمال این سناریو در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج

شبیه‌سازی‌ها با کمبود ۲۰ درصد نشان می‌دهد که با به‌کارگیری سناریوی مدیریتی یک، روند توزیع آب به نحوی است که مقدار آب دریافتی آبیگرها به

مقدار مورد نیازشان نزدیک است و کمبود یا مازاد آب تحویلی آنها به ترتیب کمتر از ۵ و ۶ درصد است. همچنین شاخص عدالت، در مقایسه با سناریوی صفر، ۰/۰۲ بهبود یافته و پراکندگی مکانی توزیع آب در محدوده خوبی است. نتایج شبیه‌سازی‌ها برای ۴۰ درصد کمبود آب نیز نشان می‌دهد با وجود کمبود ۴۰ درصد دبی سراب، آب به نحوی توزیع می‌شود که تمامی آبیگرها (به جز آبیگر

شماره یک) دبی مورد نیاز خود را با کمبود و مازادی در محدوده مجاز دریافت کرده‌اند و عدالت توزیع به میزان ۰/۰۴ بهبود یافته است. با مقایسه شاخص‌های حاصل از شبیه‌سازی‌های سناریوی یک و سناریوی صفر می‌توان دریافت که سناریوی یک به‌طور قابل قبولی توانسته توزیع آب در شبکه را در شرایط کمبود آب بهبود بخشد.

جدول ۴- شاخص‌های عملکرد تحویل سناریوی یک با کمبود ۲۰ و ۴۰ درصد
Table 4: Delivery indicators of scenario no. 1 for 20%, & 40% shortage

دبی سراب Discharge of the head	شماره آب‌گیر Catchment no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	کل کانال AVG.	شاخص عدالت Equity index
سناریوی یک ۸۰٪ Scenario no. 1 - 80%	شاخص کفایت Adequacy index	1	1	1	0.95	1	0.95	1	0.96	1	1	1	1	1	1	0.05
	شاخص راندمان Efficiency index	1	1	0.94	1	0.94	1	0.94	1	0.95	1	0.95	0.95	1	1	
سناریوی یک ۶۰٪ Scenario no. 1 - 60%	شاخص کفایت Adequacy index	0.87	1	1	0.95	1	0.94	1	0.96	1	1	1	1	1	1	0.09
	شاخص راندمان Efficiency index	1	1	0.93	1	0.94	1	0.94	1	0.95	1	0.95	0.95	1	1	

نتایج شبیه‌سازی سناریوی دو: نتایج ارزیابی عملکرد بهره‌برداری کانال عقیلی پس از اعمال این سناریو در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها در ۲۰ درصد کمبود آب نشان می‌دهد که در این حالت دبی مورد نیاز آبیگرها به‌گونه‌ای تامین می‌شود که ضمن بهبود مختصر شاخص عدالت نسبت به سناریوی صفر، شاخص‌های کفایت و

راندمان تحویل نیز بهبود می‌یابد و برای تمامی آبیگرها توزیع آب در حد "خوب" ارزیابی می‌شود. در شرایط ۴۰ درصد کمبود آب نیز شاخص‌های کفایت نسبت به سناریوی صفر بهبود داشته و شاخص عدالت ۰/۰۶ بهبود یافته است. بدین ترتیب، به‌رغم کمبود آب، با اعمال مدیریت بهتر شاخص‌های عملکرد تحویل قدری بهبود یافته‌اند.

جدول ۵- شاخص‌های عملکرد تحویل سناریوی دو با کمبود ۲۰ و ۴۰ درصد
Table 7: Delivery indicators of scenario no. 2 for 20%, & 40% shortage

شاخص عدالت	کل کانال AVG	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	شماره آبگیر Catchment no.	دبی سراب Discharge of the head
0.06	0.98	0.96	0.94	0.95	0.99	0.95	1	0.96	1	0.94	1	0.95	1	0.93	شاخص کفایت Adequacy index	سناریوی دو ۸۰٪ Scenario no. 2- 80%
		0.98	0.96	0.94	0.95	0.99	1	0.94	1	0.94	1	0.93	0.97	1	شاخص راندمان Efficiency index	
0.07	0.98	0.96	0.95	0.96	0.99	0.96	1	0.97	1	0.94	1	0.94	1	0.94	شاخص کفایت Adequacy index	سناریوی دو ۶۰٪ Scenario no. 2- 60%
		0.98	0.96	0.95	0.96	0.99	1	0.94	1	0.94	1	0.93	0.97	1	شاخص راندمان Efficiency index	

کفایت ۷۰ درصد آبگیرها متوسط و ضعیف بوده است، تعداد آبگیرهای با شاخص کفایت خوب به ۸۵ درصد رسیده است. در این شرایط، شاخص عدالت نیز به میزان ۰/۰۶ نسبت به سناریوی صفر بهبود یافته است. نتایج نشان می‌دهد به‌رغم کمبود آب، با مدیریت درست می‌توان به نتایج قابل قبولی دست یافت و آبگیرها نیاز خود را با کمبود و مازادی در محدوده مجاز و با عدالت بیشتر دریافت کنند.

نتایج شبیه‌سازی سناریوی سه: نتایج ارزیابی عملکرد بهره‌برداری کانال عقلی پس از اعمال سناریوی سه در جدول ۶ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهند در شرایط ۲۰ درصد کمبود آب، در مقایسه با سناریوی صفر که ۳۸ درصد آبگیرها دارای کفایت متوسط بوده‌اند، تمامی آبگیرها به‌جز یک آبگیر دارای کفایت خوب هستند. در شرایط ۴۰ درصد کمبود آب، در مقایسه با سناریوی صفر که

جدول ۶- شاخص‌های عملکرد تحویل سناریوی سه با کمبود ۲۰ و ۴۰ درصد
Table 7: Delivery indicators of scenario no. 3 for 20%, & 40% shortage

شاخص عدالت	کل کانال AVG	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	شماره آبگیر Catchment no.	دبی سراب Discharge of the head
0.06	0.99	0.96	0.95	0.96	0.98	0.96	1	0.94	1	0.94	1	0.95	1	0.93	شاخص کفایت Adequacy index	سناریوی سه ۸۰٪ Scenario no. 3- 80%
		0.99	0.96	0.95	0.96	0.98	1	0.94	1	0.94	1	0.93	0.97	1	شاخص راندمان Efficiency index	
0.07	0.98	0.93	0.97	0.95	0.90	1	0.97	1	0.94	1	0.93	1	1	0.83	شاخص کفایت Adequacy index	سناریوی سه ۶۰٪ Scenario no. 3- 60%
		1	1	1	1	0.97	1	0.94	1	0.94	1	0.93	0.96	1	شاخص راندمان Efficiency index	

است. همان‌طور که نشان داده شده است، با استفاده از این سناریو در شرایط ۲۰ درصد می‌توان روند توزیع آب را بهبود بخشید به‌طوری که شاخص

نتایج شبیه‌سازی سناریوی چهار: نتایج شبیه‌سازی ارزیابی عملکرد بهره‌برداری کانال عقلی پس از اعمال این سناریو در جدول ۷ آورده شده

بین آبیگرها بوده است؛ زیرا علاوه بر اینکه هر یک از شاخص‌ها، در مقایسه با نتایج سناریوی صفر، پیشرفت خوبی داشته است شاخص عدالت نیز نسبت به سناریوی صفر ۰/۰۷ بهبود یافته است.

کفایت کلیه آبیگرها و شاخص عدالت کانال در محدوده خوب قرار دارد. همچنین، مقادیر به‌دست آمده از نتایج شبیه‌سازی‌ها در شرایط ۴۰ درصد کمبود آب نشان‌دهنده بهبود در روند توزیع آب در

جدول ۷- شاخص‌های کفایت و راندمان سناریوی چهار با دبی سراب ۸۰ و ۶۰ درصد
Table 7: Adequacy and efficiency indicators of scenario no. 4 under 20%, 40% shortage

دبی سراب Discharge of the head	شماره آب‌گیر Catchment no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	کل کانال AVG.	شاخص عدالت Equity index
سناریوی چهار ۸۰ % Scenario no. 4- 80%	شاخص کفایت Adequacy index	0.96	1	1	1	1	0.95	0.97	0.97	1	0.97	1	1	1	1	0.06
	شاخص راندمان Efficiency index	1	0.99	0.96	0.95	0.98	1	1	1	1	1	0.96	0.98	1	1	
سناریوی چهار ۶۰ % Scenario no. 4- 60%	شاخص کفایت Adequacy index	1	1	1	1	1	0.93	0.96	0.98	0.99	0.92	0.96	0.95	0.97	1	0.06
	شاخص راندمان Efficiency index	1	0.93	0.94	0.92	0.94	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

نتیجه‌گیری

افزایش کمبود آب، بی عدالتی در توزیع آن نیز تشدید می‌شود.

استفاده از سناریوهای تعریف شده اثر مثبتی در روند توزیع آب نشان داده‌است. به‌طوری که در همه سناریو‌ها در شرایط کمبود آب ۲۰ و ۴۰ درصد مقادیر شاخص کفایت بهبود قابل قبولی داشته و در محدوده خوب قرار گرفته است. همچنین، برای شاخص عدالت توزیع در هر دو شرایط کمبود آب، نسبت به سناریوی صفر، مقدار پایین‌تری به‌دست آمد که نشان‌دهنده بهبود عدالت توزیع آب با استفاده از سناریوهای مدیریت توزیع و تحویل آب است.

به‌طور کلی، شبیه‌سازی‌ها نشان داده‌اند که به-کارگیری هر چهار راهکار در بهبود توزیع آب در بین آبیگرها، در مقایسه با سناریو صفر، می‌توان آب را با کفایت، راندمان و عدالت بالاتری توزیع کرد. میزان تاثیر چهار سناریو بر روند بهبود توزیع آب در شرایط

با توجه به محدودیت منابع آب و تشدید دوره-های کم‌آبی در سطح کشور، شبکه‌های آبیاری نیازمند ارتقای روش‌های بهره‌برداری با استفاده از سناریوهای مدیریتی هستند تا بتوان از همین مقدار آب کم به شکلی مناسب استفاده کنند. در همین زمینه، در تحقیق حاضر چهار سناریوی مدیریتی به-منظور بهبود توزیع آب در شبکه‌ها در شرایط کمبود آب ۲۰ و ۴۰ درصد بررسی شد. در شبیه‌سازی سناریوی وضع موجود (سناریوی صفر) در شرایط بدون کمبود آب، توزیع آب قابل قبول و با پراکندگی مکانی خوب صورت گرفت. در شرایط کمبود آب، شاخص کفایت کاهش یافت و با بیشتر شدن مقدار کمبود آب (۴۰ درصد) شاخص‌های کفایت در محدوده‌ای ضعیف‌تر قرار گرفتند. نکته مهم در سناریوی صفر این است که در شرایط کمبود آب، علاوه بر کاهش شاخص کفایت، شاخص عدالت تحویل نیز دچار مشکل شده‌است. به عبارت دیگر با

۲۰ درصد کمبود آب تقریباً یکسان است. کمبود آب به ترتیب سناریوهای چهار، سه، دو و اولویت‌بندی سناریوها در این شرایط، به‌رغم اختلاف ناچیز، به‌ترتیب سناریوی یک، سناریوی چهار، سناریوی سه، و سناریوی دو است. تفاوت اثربخشی سناریوها در شرایط کمبود ۴۰ درصد بیشتر است. میزان اثربخشی سناریوها در شرایط ۴۰ درصد کرد.

مراجع

- Bhadra, A., Bandyopadhyay, A., Singh, R. & Raghuwanshi, N. S. (2010). An alternative rotational delivery schedule for improved performance of reservoir-based canal irrigation system. *The Journal of Water resources management*, (24)13, 3679-3700.
- Clemmens, A. J. & D. J. Molden. (2007). Water uses and productivity of irrigation systems. *Irrigation Science*, (25)3, 247-261.
- Ebrahimiyan, F., Monem, M. J., & Delavar, M. (2019). Investigating the Impact of Distribution and Delivery Management in Water shortage Conditions on the Water Productivity Index using Hydrodynamic and Crop Production Models. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, (13)1, 142-152.
- 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. *Irrigation and Drainage Engineering*, (142)11.
- Henderson, F.M., 1966. Open Channel Flow. Macmillan Publishing Co., New York, pp. 522.
- Kanooni, A. & Monem, M. J. (2017). Optimization of water allocation and planning in irrigation networks. *Drainage and Irrigation*, (1)10, 12-23. (In Persian)
- Khaeze, S & Hashemy Shahdany, S. M. (2021). Non-structural modification of agricultural water distribution systems in large scale irrigation districts. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184, 106102.
- Khiabani, M. Y., Shahadany, S. H., Maestre, J. M., Stepanian, R & Mallakpour, I. (2020). Potential assessment of non-automatic and automatic modernization alternatives for the improvement of water distribution supplied by surface-water resources: a case study in Iran. *Agricultural Water Management*, 230, 105964.
- Kim, Hae-Do., Kim, J.T., Nam, W.H., Kim, S.J., Choi J.Y. & Koh B.S. (2016). Irrigation Canal Network Flow Analysis by a Hydraulic Model. *Irrigation and Drainage*, (65)1, 57-65.
- Litirco, X., Fromion, V., Baume, J., Arranja, C. & Rijo, M. (2005). Experimental Validation of Methodology to control irrigation canals base on Saint-Venant equation. *Control Engineering Practice*, (13), 1425-1437.

- Manz, D. H., & Schaalje, M., (1992), Development and Application of the Irrigation Conveyance System Simulation Model, CEMAGREF -IIMI International Workshop on The Application of Mathematical Modelling for the Improvement of Irrigation Canal Operation, October 26 - 30, Montpellier, FRANCE.
- Molden, D. J. & Gates, T. K. (1990). Performance measures for evaluation of irrigation-water-delivery systems. *Irrigation and drainage engineering*, (116)6, 804-823.
- Monem, M. J., Ghodoosi, H. & Emadi, AR. (2007). Quantifying the operation performance of irrigation canals in changing requirement conditions by hydrodynamic model and turbulent flow analysis. *Agriculture research*, (3)6, 17-29. (In Persian)
- Monem, M. J. & Manz, D. H. (1994). Application of simulation techniques for improving the performance of irrigation conveyance systems. *I. J. of Water Resources Engineering*, 2, 1-22.
- Montazer, A. & Pashazade, N. (2012). Evaluating water distribution function in different operational situation in the west main canal of Dez irrigation network by hydraulic model CANALMAN. *Water and soil*, (25)1, 125-139. (In Persian)
- Nam, W.H., Hong, E.M. & Choi, J.Y. (2016). Assessment of water delivery efficiency in irrigation canals using performance indicators. *Irrigation Science*, (34)2, 129-143.
- Sadeghi, S. & Monem, M. J. (2015). Comparison of Lopac gates and sliding gates in irrigation canals under ASCE standard test conditions. *The First National Congress of Irrigation and Drainage*, May 13-14, Ferdowsi University, Mash-had, Iran. (In Persian)
- Seyed Hoshiyar. S.M., Pirmoradian, N., Ashrafzadeh, A., & Parvaresh Rizi. A. (2021). Performance Assessment of a Water Delivery Canal to Improve Agricultural Water Distribution. *Water Resources Management* , 8, 2021.
- Shahrokhnia. M. A., & Javan. M. (2005). Performance assessment of Doroodzan irrigation network by steady state hydraulic modeling. *Irrigation and drainage systems*, 19, 189-206.
- Shammout, M.W., Qtaishat, T., Rawabdeh. H. & Shatanawi. M. (2018). Improving Water Use Efficiency under Deficit Irrigation in the Jordan Valley. *Sustainability*, (10)11,4317.
- Shakir, A.S., Khan, N.M. & Qureshi, M.M. (2010). Canal water management: Case study of upper Chenab Canal in Pakistan. *Irrigation and Drainage*, (59)1, 76-91.
- Small, L.E. & Svendsen, M. 1990. A framework for assessing irrigation performance. *Irrigation and drainage systems*, (4)4, 283-312.
- Strelkoff, T., 1969. One-dimensional equations of open-channel flow, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, pp. 861-876.
- The Canadian Society for Civil Engineering Task Committee on River Models, 1990. Comparative evaluation of river models, Vol. V of the Proceedings of the Annual Conference of the CSCE, May 1990, Hamilton, Ontario, Canada, pp. 282-300.

Evaluation and Improvement of Water Management of Irrigation Networks Under Water Scarce Condition (Case Study: Eastern Aghili Secondary Canal)

S. Ostovari-Deilamani, M. Monem* and S. M. Hashemi-Shahdani

* *Corresponding Author: Professor, Department of Water Engineering and Management, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran.

Received: 23 July 2021, Accepted: 23 August 2021

Introduction

The experience of irrigation networks in recent years shows that traditional operation methods are not able to implement proper water delivery in water scarce periods and enhancing is unavoidable. In many cases, delivered water does not match water requirement, and it causes decreasing water productivity and farmer's dissatisfaction. (Sadeghi and Monem, 2014)

Irrigation delivery under these conditions is a complex process. Optimization techniques have limitations in the above situations (Santhi and Pundarikanthan., 1999)

Monem et al. showed that using hydrodynamic model and unsteady flow analysis is a suitable approach to determine appropriate operation, and performance improvement of irrigation networks under harsh circumstances. (Monem, et al., 2005)

In this paper, the main goal is improving the operational distribution management in irrigation networks in water scarce situation. At the first step, the water delivery and distribution status in Eastern Aghili secondary canal is evaluated for full discharge, 20% and 40% water scarce situation (as scenario 0). At the second step, four management scenarios have been defined, and are simulated to manage water scarcity.

Methodology

Aghili Irrigation Network is located in Gotvand irrigation area in Khuzestan. In present study, the East Aghili secondary canal is selected. This canal is a concrete lined canal having trapezoidal cross section with side slope of 1:1, and length of 16.215 km. The bed width of the canal in the first half is 1.5 meters and for the second half is 1 meter. For clear presentation and discussion of the results, the 9 km of the canal which has 13 outlets is simulated.

Simulations are done using ICSS hydrodynamic model. The ICSS model simulates steady flow by solving gradually varied flow equations proposed by Henderson, and unsteady flow by solving St.Venant equations proposed by Sterlekof. It can simulate different structures with the wide range of operations.

Performance indicators proposed by Molden and Gates (1990) are used for evaluation of the scenarios. Delivery efficiency, adequacy, and equity indicators, are calculated and discussed for scenarios.

In this paper four scenarios are defined for three irrigation level of 100%, 80% and 60% of the required discharge for 24 hour delivery period. The scenarios are:

1. The volume of water delivered to all outlets have been decreased proportionally to the shortage of water at the head of canal. The operation of structures are done at the same time. (Scenario 1)

2. The second scenario is defined by a Prioritization based on cultivation pattern. Outlets number 3, 6, 8, 10, 11, are considered to have priority for water delivery. So, these outlets receive full discharge, and water shortage is distributed to other outlets (Scenario 2)

3. In this scenario the outlets are divided into two groups, which in both groups, sum of the required discharge is equal. In the first 12 hours the first group (outlet numbers 1 to 5) receive

their full required discharge, and the second group receive decreased discharge proportional to remaining water left in the canal. At the second 12 hours, the water distribution and corresponding operation is done reversely. (Scenario 3)

4. In this scenario, also, the outlets are divided into two groups, which in both groups, sum of the required discharge is equal. In the first 12 hours the first group (outlets number 1 to 5) are closed, and water is delivered to the second group of outlets. At the second 12 hours, the water delivery and corresponding operation is done reversely. (Scenario 4)

Results and Discussion

The result of zero scenario shows that under 20 percent water scarcity, the Adequacy Index is less than 90% for five outlets, and 38% outlets have medium adequacy. The Equity Index is 0.07. For 40 percent water scarcity, 9 outlets (70%) have a medium and poor adequacy, and the equity index is 0.13. This results show that in water scarce situation, not only the adequacy is decreased, but also the equity of water distribution is harmed.

After the use of four defined scenarios, the results indicate acceptable improvement in all scenarios, under both 20 % and 40 % water scarcity. Under 20% water scarcity the first scenario, and for 40% water scarcity, the fourth scenario has the highest performance indices. For 20% scarcity, the priority of the scenarios are, scenario no. 1, 4, 3, and 2. For 40% scarcity the priorities are, scenario no. 4, 3, 2, and 1.

Conclusion

Water shortage without appropriate management actions, will cause poor performance not only from adequacy point of view, but also from equity aspect. According to the results, all proposed management actions, have acceptable effect in water delivery improvement under both 20% and 40% water scarcity with little differences. For selection of the scenarios in addition to hydraulic performance, operational efforts and social acceptance of different scenarios should be considered as well.

Keywords: Irrigation canals, Operational Management, Simulation, Water distribution, Water scarcity.

نوع مقاله: علمی - پژوهشی

بررسی آزمایشگاهی تاثیر محل قرارگیری صفحات مشبک افقی از لبه شیب‌سکن قائم بر عمق استخر و میزان استهلاك انرژی جریان در پایین‌دست

رسول دانشفراز^{۱*}، مهدی ماجدی اصل^۲ و محمد جعفری^۳

۱ و ۲ و ۳- به ترتیب: استاد؛ استادیار؛ و دانشجوی کارشناسی ارشد عمران آب و سازه های هیدرولیکی گروه مهندسی عمران؛ و دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۱۵

چکیده

شیب‌سکن‌های قائم در شبکه‌های آبیاری برای کاهش شیب کانال و کاهش عملیات خاکی کاربرد فراوانی دارند. از طرفی، به منظور جلوگیری از فرسایش و تخریب در پایین‌دست این سازه‌ها، از مستهلک کننده‌های انرژی استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر، کاربرد صفحات مشبک افقی به عنوان مستهلک کننده انرژی در لبه شیب‌سکن قائم مطرح شده است. در تحقیق حاضر، تاثیر فاصله صفحه مشبک افقی از لبه شیب‌سکن بر استهلاك انرژی جریان پایین‌دست و عمق استخر به صورت آزمایشگاهی بررسی گردید. آزمایش‌ها در دو تخلخل صفحات مشبک، سه فاصله نسبی و بازه عمق بحرانی نسبی ۰/۱۱ تا ۰/۲۹ اجرا شد. نتایج تحقیق نشان داد در دبی ثابت، با کاهش تخلخل صفحه مشبک و افزایش فاصله نسبی آن از لبه شیب‌سکن، طول نسبی خیس شده صفحات و طول تلاطم ناشی از ریزش جت افزایش می‌یابد. علاوه بر این، نتایج برای عمق استخر نشان داد که تخلخل صفحات تاثیر چندانی بر عمق استخر ندارد و با افزایش فاصله نسبی صفحات عمق استخر در هر دو تخلخل افزایش می‌یابد. در تحقیق حاضر همچنین مشخص شد فاصله نسبی صفحه مشبک از لبه شیب‌سکن تاثیر بر استهلاك انرژی جریان ندارد و با افزایش فاصله نسبی این صفحات تداخل آب و هوا کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی

استهلاك انرژی، تخلخل، شیب‌سکن قائم، صفحه مشبک افقی، فاصله نسبی

مقدمه

منظور تاکنون مطالعات گسترده‌ای روی پارامترهای هیدرولیکی و به خصوص استهلاك انرژی این سازه صورت گرفته است. اخیرا نیز برای افزایش استهلاك انرژی در پایین‌دست این سازه‌ها، از صفحات مشبک قائم و افقی استفاده شده است. صفحات مشبک، صفحاتی با تخلخل مشخص هستند که به صورت قائم

شیب‌سکن‌های قائم به دلیل سادگی ساخت، یکی از سازه‌های پرکاربرد در کانال‌های آبیاری، زهکشی، آبراهه‌های فرسایش‌پذیر، سیستم‌های جمع‌آوری و تصفیه آب و فاضلاب هستند. این سازه‌ها معمولاً به منظور کاهش انرژی جریان آب و کاهش شیب تند کانال به کار می‌روند. به همین

هورتیگ (Rajaratnam & Hurtig, 2000) مطرح گردید. پس از آن مطالعات گسترده‌ای روی ضخامت، تخلخل، شکل روزنه، زاویه قرارگیری در مقابل جریان و قرارگیری به صورت چندتایی در مقابل جریان صورت گرفت. نتایج این مطالعات نشان داد که صفحات مشبک با تخلخل ۴۰ درصد و شکل روزنه مربعی بیشترین استهلاک انرژی را در مقایسه با پرش هیدرولیکی آزاد ایجاد می‌کنند (Çakir, 2003; Balkış, 2004; Bozkus *et al.*, 2007; Mahmood *et al.*, 2013).

صادق‌فام و همکاران (Sadeghfam *et al.*, 2015) با بررسی تاثیر فاصله صفحات مشبک قائم دوگانه بر استهلاک انرژی جریان در دو تخلخل ۴۰ و ۵۰ درصد نشان دادند که صفحات مشبک دوبل در مقایسه با صفحات مشبک تکی استهلاک بیشتری ایجاد می‌کنند. دانش‌فراز و همکاران (Daneshfaraz *et al.*, 2017) با بررسی عددی استهلاک انرژی صفحات مشبک به همراه بلوک نشان دادند که به کارگیری بلوک به همراه صفحات مشبک قائم استهلاک انرژی را افزایش می‌دهد. نایب‌زاده و همکاران (Nayebzadeh *et al.*, 2019) برای افزایش راندمان استهلاک انرژی جریان، اثر توامان شیب شکن قائم، واگرایی تدریجی و صفحات مشبک قائم را بررسی کردند و نشان دادند که به کارگیری دیواره واگرایی، صفحات مشبک و تاثیر استفاده همزمان از صفحات مشبک و دیواره واگرایی به ترتیب باعث افزایش ۲۵، ۴۴ و ۴۸ درصد راندمان استهلاک انرژی می‌گردد.

در سال‌های اخیر به کارگیری صفحات مشبک به صورت افقی در لبه شیب‌شکن قائم مورد توجه قرار گرفته است. این صفحات با تبدیل جت ریزشی شیب‌شکن قائم به چندین جت ریزشی، تداخل آب و

یا افقی در مسیر جریان قرار می‌گیرند و درهنگام عبور جریان از این صفحات انرژی آب مستهلک می‌گردد (Daneshfaraz *et al.*, 2022).

راجاراتنام و جمینی (Rajaratnam & Chamani, 1995) با بررسی جریان روی شیب‌شکن قائم نشان دادند که برای یک دبی ثابت، با افزایش ارتفاع شیب‌شکن، استهلاک انرژی، عمق استخر، طول ریزش جت و عمق پایین‌دست افزایش می‌یابد. اسن و همکاران (Esen *et al.*, 2004) نیز با بررسی تاثیر قرارگیری یک سکو در پای شیب‌شکن قائم نشان دادند که وجود پله و افزایش ارتفاع آن سبب افزایش عمق پایین‌دست و استهلاک انرژی می‌شود و عمق استخر را کاهش می‌دهد.

هونگ و همکاران (Hong *et al.*, 2010) با بررسی شیب بستر پایین‌دست شیب‌شکن قائم، روابطی برای تخمین نیروی واردشده از جت ریزشی بر بستر فلوم ارائه دادند. بررسی شیب بالادست شیب‌شکن نشان داد که افزایش شیب بالادست شیب‌شکن سبب کاهش عمق لبه و استهلاک انرژی می‌گردد (Liu *et al.*, 2014). چیو و همکاران (Chiu *et al.*, 2017) نیز با بررسی عددی شیب‌شکن قائم نشان دادند که در نظر گرفتن یک گودال در پای شیب‌شکن سبب به وجود آمدن جریان سطحی و جریان نوسانی متناوب می‌گردد. میرزایی و همکاران (Mirzaee *et al.*, 2021) با بررسی عددی شیب‌شکن قائم با لبه‌های دندان‌های افقی نشان دادند که مدل‌های با تعداد لبه‌های ۳ و ابعاد نسبی ۰/۱۵ استهلاک انرژی بیشتری نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی ایجاد می‌کند.

در اوایل قرن ۲۱، صفحات مشبک به صورت قائم در پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی کوچک به عنوان مستهلک کننده انرژی توسط راجاراتنام و

هوا و تلاطم جریان را افزایش می دهند که به افزایش استهلاک انرژی می انجامد. خلاصه مطالعات
مربوط به صفحات مشبک افقی در لبه شیب شکن
قائم در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خلاصه مطالعات روی صفحات مشبک افقی در لبه شیب شکن قائم

Table 1-Summary of studies performed on horizontal screen at the vertical drop edge

محققان	نوآوری	نتایج
Kabiri-Samani et al. (2017)	در نظر گرفتن صفحه مشبک افقی با روزنه مستطیلی در لبه شیب شکن قائم	روزنه مربعی با تخلخل ۴۴ بیشترین استهلاک انرژی را ایجاد می کند.
Sharif and Kabiri-Samani (2018)	تاثیر عمق پایاب بر مدل شیب شکن قائم با صفحه مشبک افقی	افزایش عمق پایاب سبب کاهش تداخل آب و هوا می گردد.
Hasannia et al. (2019)	صفحات مشبک ترکیبی (افقی + قائم)	صفحات مشبک ۵۰ درصدی بیشترین استهلاک را ایجاد می کند.
Daneshfaraz et al. (2020a)	در نظر گرفتن شیب مثبت برای صفحه مشبک افقی	افزایش شیب سبب تغییر در زاویه ریزش جت می شود و تداخل آب و هوا را افزایش می دهد.
Daneshfaraz et al. (2020b)	صفحات مشبک افقی دوبل	کاهش تداخل آب و هوا و بی تاثیر بودن بر استهلاک انرژی جریان
Daneshfaraz et al. (2021a)	در نظر گرفتن صفحات مشبک افقی با روزنه دایره ای با قطرهای متفاوت	تخلخل صفحات تاثیری بر استهلاک انرژی جریان ندارد.

هر یک ۷/۵ لیتر بر ثانیه و با خطای نسبی ۲ درصد است و دو مخزن ذخیره نیز در قسمت پایینی آن وجود دارد. با روشن شدن پمپ، جریان از مخزن پایینی به مخزن ابتدایی فلوم پمپاژ می شود و پس از طی طول فلوم به صورت چرخشی از طریق مخزن انتهایی دوباره به مخزن پایینی وارد می گردد. شیب شکن قائم در ابتدای فلوم از جنس شیشه به ارتفاع ۲۰ سانتی متر ساخته شد. صفحات مشبک از جنس پلی اتیلن به ضخامت یک سانتی متر با شکل روزنه های دایره ای به قطر یک سانتی متر، با آرایش زیگزاگی و دو تخلخل ۴۰ و ۵۰ درصد تهیه شدند. پس از تهیه صفحات مشبک و ساخت شیب شکن قائم، صفحات مشبک به ترتیب به فاصله های ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی متری از لبه شیب شکن قرار داده شدند. جریان در بالادست شیب شکن زیرحراشی در نظر گرفته شد. در تمامی مدل های آزمایشگاهی، محدوده

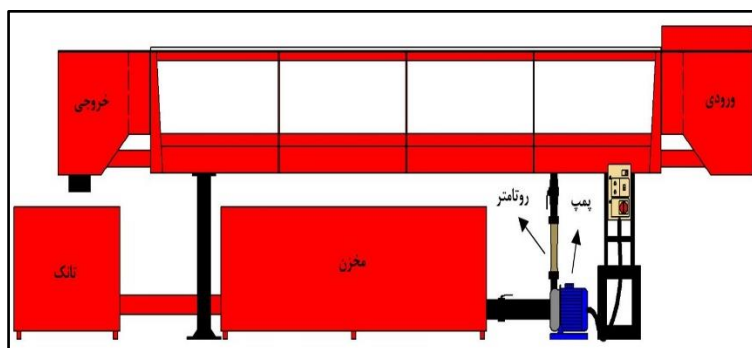
مشاهده می شود که در سال های اخیر مطالعاتی روی شیب شکن قائم مجهز به صفحات مشبک افقی صورت پذیرفته است. از آنجایی که فاصله قرارگیری صفحات مشبک افقی از لبه شیب شکن قائم نیز می تواند بر پارامترهای هیدرولیکی و استهلاک انرژی جریان تاثیر گذار باشد، در تحقیق حاضر، نخستین بار تاثیر محل قرارگیری این نوع صفحه بر پارامترهای هیدرولیکی و استهلاک انرژی شیب شکن قائم بررسی و ارزیابی شده است.

مواد و روش ها

تجهیزات آزمایشگاهی

از یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۵ متر، عرض ۰/۳ متر و ارتفاع ۰/۴۵ متر با شیب کف صفر به منظور اجرای آزمایش های تحقیق حاضر استفاده شد (شکل ۱). این فلوم دارای دو عدد پمپ با دبی پمپاژ

دبی بین ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۱۳ مترمکعب برثانیه و دریچه پایین دست نیز به صورت کاملاً باز در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری عمق در بالادست و پایین دست شیب‌سکن از یک عمق‌سنج نقطه‌ای با دقت یک میلی‌متر استفاده گردید و به منظور کاهش خطای اندازه‌گیری در ۵ نقطه از مقطع عرضی مقادیر مربوط اندازه‌گیری و مقدار متوسط آن‌ها در نظر گرفته می‌شد (Daneshfaraz et al., 2021b; Daneshfaraz et al., 2021c). به منظور اندازه‌گیری طول تلاطم، طول خیس شده صفحات و عمق استخر، از یک اشل نواری استفاده گردید. جدول ۲ مقادیر آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد که در شکل ۲ ارائه شده‌اند. همچنین در فاصله نسبی صفحه ۰/۷۵ به دلیل مستغرق شدن صفحه مشبک، طول تلاطم و طول خیس شده صفحه مشبک قابل اندازه‌گیری نبود.



شکل ۱. نمای شماتیک از فلوم تحقیق حاضر

Figure 1. Schematic view of the flumes used in the present study

جدول ۲- محدوده پارامترهای اندازه‌گیری شده

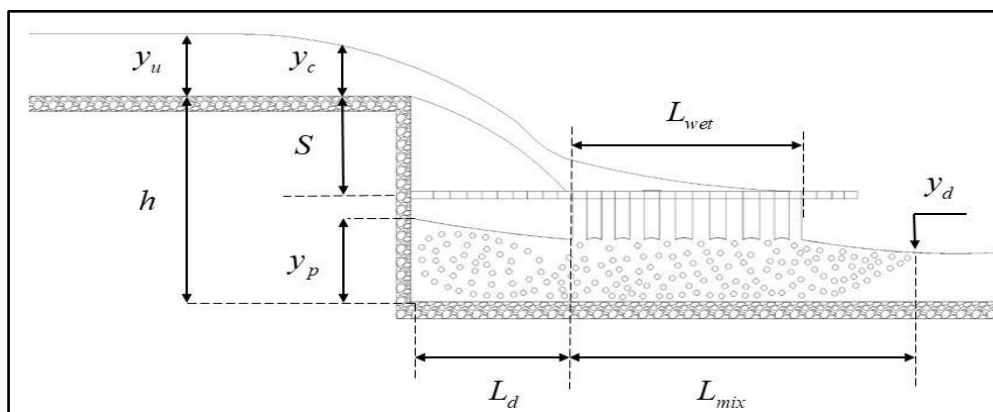
Table 2- Range of measured parameters

محدودهٔ پارامترهای اندازه‌گیری شده (Range of measured parameters)						پارامترهای
S=5 cm		S=10 cm		S=15 cm		اندازه‌گیری شده
P = 50%	P = 40%	P = 50%	P = 40%	P = 50%	P = 40%	
−۰/۰۱۳	−۰/۰۱۳	−۰/۰۱۳	−۰/۰۱۳	−۰/۰۱۳	−۰/۰۱۳	$Q(m^3 / s)$
۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	
۶/۲−۲/۴۷۵	۶/۲−۲/۴۷۵	۶/۲−۲/۴۷۵	۶/۲−۲/۴۷۵	۶/۲−۲/۴۷۵	۶/۲−۲/۴۷۵	$y_u (cm)$
۱۱/۴−۳/۸	۴−۱۱/۷	۱۵/۴−۵/۶	۱۲/۴−۵/۳۵	۴−۱۳/۵	۱۵/۵−۵	$y_p (cm)$
۷/۳−۲۸/۳۵	۷/۳−۲/۲۹	۷/۳−۳/۲۳	۷/۳−۲۶/۲	۷/۳−۲۷	۶/۳−۵/۲۲	$y_d (cm)$
۱۵−۴۹/۸	۲۱−۶۴/۵	۱۹−۵۳	۲۳−۶۸	−	−	$L_{wet} (cm)$
۲۳−۵۷/۵	۶۷/۲۴−۵/۵	۲۵−۷۰	۲۷−۷۳	−	−	$L_{mix} (cm)$

آنالیز ابعادی

حاضر، متاثر از ویژگی سیال، مشخصات هندسی مدل فیزیکی و شرایط هیدرولیکی جریان است که به صورت رابطه ۱ بیان می گردد.

با بررسی شرایط آزمایشگاهی، پارامترهای موثر بر جریان مطابق شکل ۲ روی مدل فیزیکی مطالعه



شکل ۲- شماتیک جریان روی مدل

Figure 2- Flow schematic on the model

مستقل و وابسته از هم جدا شدند، در نتیجه رابطه ۳ به دست آمد.

$$f_1(\rho, \mu, g, q, S, P, h, y_p, y_u, y_c, L_{wet}, L_{mix}, E_u, \Delta E) = 0 \quad (1)$$

که در آن،

ρ = چگالی آب؛ μ = لزوجت آب؛ g = شتاب گرانش؛
 q = دبی در واحد عرض؛ S = فاصله صفحه مشبک افقی از لبه شیبشکن قائم؛ P = تخلخل صفحه مشبک؛
 h = ارتفاع شیبکن؛ y_p = عمق استخر؛ y_u = عمق بالادست؛ y_c = عمق بحرانی؛ L_{wet} = طول خیس شده؛ L_{mix} = طول تلاطم؛ E_u = انرژی بالادست جریان؛ و ΔE = افت انرژی.

با انتخاب y_u عمق بالادست، μ لزوجت آب و g شتاب گرانش به عنوان پارامتر تکراری و استفاده از روش

پی - باکینگهام رابطه ۲ حاصل شد.

$$f_2\left(\frac{q}{y_u \sqrt{g y_u}}, \frac{q \rho}{\mu}, P, \frac{h}{y_u}, \frac{y_c}{y_u}, \frac{S}{y_u}, \frac{y_p}{y_u}, \frac{L_{wet}}{y_u}, \frac{L_{mix}}{y_u}, \frac{E_u}{y_u}, \frac{\Delta E}{y_u}\right) = 0 \quad (2)$$

با ساده سازی و تقسیم برخی پارامترها برهم، تعداد پارامترهای بی بعد کاهش یافت و پارامترهای

در رابطه فوق، عبارت $(q / y_u \sqrt{g y_u})$ و $(q \rho / \mu)$ از نظر ابعادی بیانگر عدد فرود در بالادست شیبشکن (Fr_u) و عدد رینولدز (Re) هستند. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر جریان به صورت زیربحرانی (محدوده عدد فرود در بالادست شیبشکن بین ۰/۶ تا ۰/۹) و آشفته (محدوده عدد رینولدز ۸۰۰۰ تا ۴۵۰۰۰) می توان از تاثیر این دو پارامتر صرف نظر کرد (Daneshfaraz et al.,

2021d; Daneshfaraz et al., 2021e; Kabiri-

Samani et al. 2017). دو پارامتر h/y_u و s/y_u با هم ترکیب و به صورت پارامتر s/h در رابطه ۳ ارائه شد.

۴، استهلاک انرژی کل، عمق استخر، طول تلاطم و طول خیس شده تابعی از تخلخل صفحات مشبک، عمق بحرانی نسبی و فاصله نسبی صفحه تا لبه شیب‌شکن است. همچنین در تحقیق حاضر برای محاسبه استهلاک انرژی از رابطه ۵ استفاده شد.

$$\frac{\Delta E}{E_u} = \frac{E_u - E_d}{E_u} \quad (5)$$

محدوده پارامترهای بی‌بعد مستقل در جدول ۳ ارائه شده است.

بنابراین رابطه ۳ را می‌توان به صورت رابطه ۴ در نظر گرفت.

$$\frac{\Delta E}{E_u}, \frac{y_p}{h}, \frac{L_{mix}}{h}, \frac{L_{wet}}{y_c} = f_4\left(P, \frac{y_c}{h}, \frac{S}{h}\right) \quad (4)$$

در واقع با اجرای آنالیز ابعادی، به جای استفاده از تک تک متغیرهای وابسته به پدیده مورد بررسی، از اعداد بدون بعد استخراجی در رابطه ۴ استفاده شد و در نهایت تعداد متغیرها کاهش یافت. مطابق رابطه

جدول ۳- محدوده پارامترهای بی‌بعد مستقل

Table 3- Range of independent dimensionless parameters

محدوده (Range)	پارامتر مستقل (dimensionless parameters)
۴۰٪ و ۵۰٪	تخلخل صفحات (P)
۰/۰-۲۹/۱۱	عمق بحرانی نسبی (y _c /h)
۰/۲۵ و ۰/۵ و ۰/۷۵	فاصله نسبی صفحه تا لبه شیب‌شکن (S/h)
۱/۱۷-۰/۲۳	عمق بحرانی نسبی تا لبه صفحه مشبک (y _c /S)

مشاهده شد برای حالتی که فاصله صفحه مشبک از لبه شیب‌شکن بیش از نصف ارتفاع شیب‌شکن است (S=15 cm)، صفحه مشبک به صورت یک آرام کننده جریان عمل می‌کند و تمام طول صفحه مشبک توسط جریان مستغرق می‌شود.

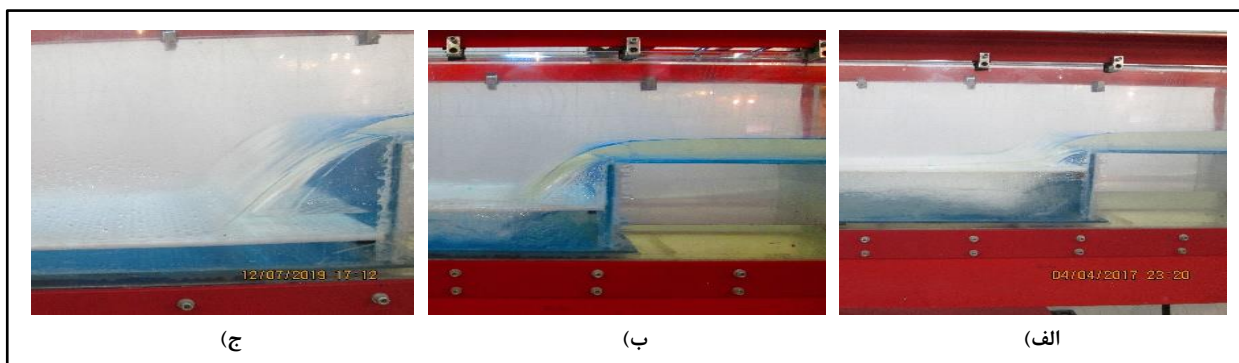
این حالت به خصوص در دبی‌های بالا رخ می‌دهد و جریان پس از طی طول صفحه مشبک به صورت نوسانی و همراه با موج‌های کوتاه به پایین دست منتقل می‌شود. شکل ۳ نمایی از جریان و تشکیل محیط ۲ فازي تداخل آب و هوا ناشی از حضور صفحات مشبک را روی مدل تحقیق حاضر نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

مشاهدات آزمایشگاهی

در تحقیق حاضر به بررسی تجربی تاثیر فاصله قرارگیری صفحه مشبک افقی از لبه شیب‌شکن قائم بر پارامترهای هیدرولیکی و استهلاک انرژی جریان پرداخته شد. در مجموع ۴۸ آزمایش در سه فاصله از لبه و دو تخلخل صفحه مشبک اجرا شد.

در تمامی آزمایش‌ها و در یک دبی ثابت، مشاهده گردید که با افزایش فاصله صفحه مشبک از لبه شیب‌شکن، تداخل آب و هوا کاهش می‌یابد. این امر با کاهش سفیدی رنگ جت‌های ریزشی پس از عبور از صفحه مشبک قابل مشاهده بود. همچنین



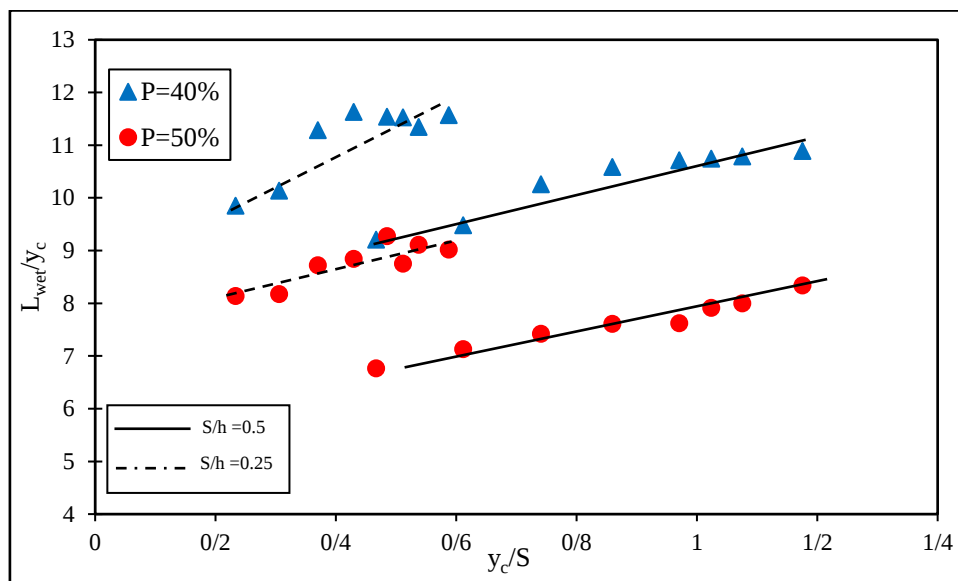
شکل ۳- نمایی از جریان عبوری در مدل‌های تحقیق حاضر الف) $Q=600\text{L/M}$ و $S=5\text{cm}$ ب) $Q=600\text{L/M}$ و $S=10\text{cm}$ ج) $Q=600\text{L/M}$ و $S=15\text{cm}$

Figure 3- A view of the flow on the present research models

طول خیس شدہ صفحات مشبک افقی

مطابق تحلیل ابعادی صورت گرفته، طول خیس شده نسبی صفحات مشبک افقی تابعی از تخلخل صفحات و عمق بحرانی نسبی تا محل صفحه مشبک افقی است. بنابراین در شکل ۴، تغییرات مربوط به طول خیس شده نسبی صفحات مشبک برای دو تخلخل در مقابل عمق بحرانی نسبی تا محل صفحه مشبک نشان داده شده است. صفحات مشبک با تخلخل ۵۰ درصد، در مقایسه با تخلخل ۴۰ درصد، کمترین میزان طول نسبی خیس شده را دارند. از آنجایی که در سطحی ثابت تعداد روزنه‌های صفحه مشبک افقی با تخلخل ۵۰ درصد بیشتر از تعداد روزنه‌های تخلخل ۴۰ درصد است، ضریب گذردهی جریان (قابلیت عبور دادن جریان از روزنه‌ها) در صفحات مشبک افقی با تخلخل ۵۰ درصد بیشتر

است و همین عامل سبب شده است تا صفحات با تخلخل ۴۰ درصد بیشترین طول خیس شده را داشته باشند؛ به گونه‌ای که صفحات مشک افقی با تخلخل ۴۰ درصد در مقایسه با تخلخل ۵۰ درصد ۳۰ درصد طول نسبی خیس شده صفحات را افزایش می‌دهد. از طرفی، با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در هر دو تخلخل صفحات مشبک، با افزایش عمق بحرانی نسبی تا محل صفحه مشبک، طول خیس شده نسبی صفحات افزایش یافته است. در فاصله‌ای ثابت صفحه مشبک افقی از لبه شیب‌شکن، با افزایش دبی، جت ریزشی با شدت بیشتری با صفحه مشبک برخورد می‌کند و همین امر موجب افزایش سرعت جریان روی صفحات مشبک می‌شود و افزایش طول نسبی خیس شده را سبب می‌گردد.



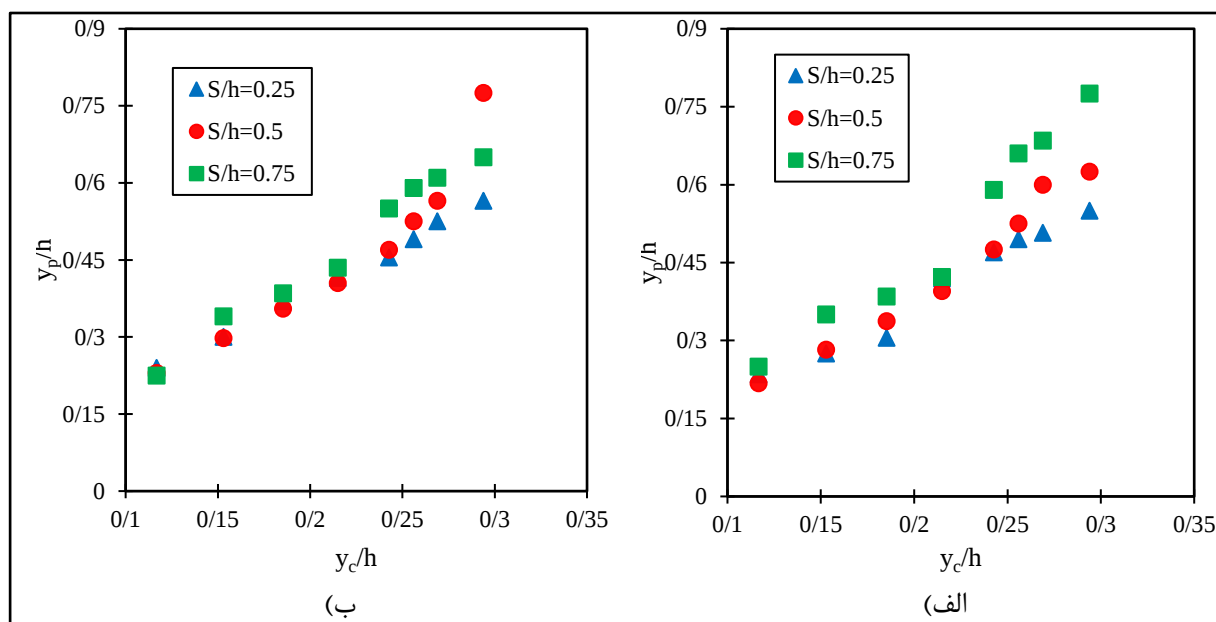
شکل ۴- تغییرات طول خیس شده نسبتی در برابر عمق بحرانی نسبی تا محل صفحه مشبک
Figure 4- Changes in relative wetting length versus relative critical depth to lattice location

عمق نسبی استخر

با ریزش جت از لبه شیب‌شکن و پس از برخورد آن با بستر کانال، مقداری از جریان به سمت دیواره شیب‌شکن برمی‌گردد و استخری را در پشت جت ریزشی تشکیل می‌دهد. دلیل اصلی استهلاک انرژی ایجاد شده در شیب‌شکن‌های قائم نیز تلاطم و آشفتگی ایجاد شده در استخر است. مقادیر مربوط به عمق نسبی استخر در مقابل عمق بحرانی نسبی برای دو تخلخل صفحات مشبک و سه فاصله نسبی صفحه از لبه شیب‌شکن در شکل ۵ نشان داده شده است. با مشاهده شکل ۵-الف، در تخلخل ۴۰ درصد از صفحات مشبک مشخص است که با افزایش فاصله نسبی صفحه مشبک از لبه شیب‌شکن، عمق استخر افزایش یافته است. برای شکل ۵-ب، در تخلخل ۵۰ درصد از صفحات مشبک، مشاهده می‌شود که برای عمق بحرانی نسبی بیش از ۰/۲۵، فاصله نسبی صفحه مشبک از لبه شیب‌شکن روی عمق استخر

تاثیر قابل توجهی دارد. این تاثیر به گونه‌ای است که با افزایش فاصله نسبی صفحه، عمق استخر افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه سه پارامتر عمق بحرانی نسبی، زاویه ریزش جت و استغراق جت ریزشی بر عمق استخر موثر هستند، می‌توان گفت در هر دو تخلخل، با افزایش دبی و فاصله نسبی صفحه مشبک از لبه شیب‌شکن، زاویه برخورد جت با صفحات مشبک افزایش می‌یابد و همین مسئله سبب افزایش زاویه ریزش جت‌های عبوری از صفحه مشبک می‌شود. بنابراین، با افزایش زاویه برخورد جت‌های ریزشی با بستر، دبی بازگشتی به سمت دیواره شیب‌شکن افزایش می‌یابد و عمق استخر را افزایش می‌دهد.

با مقایسه مقادیر عمق استخر در دو تخلخل و در یک فاصله نسبی ثابت، استنباط می‌شود که تخلخل صفحات مشبک تاثیر قابل توجهی بر مقدار عمق استخر ندارد.

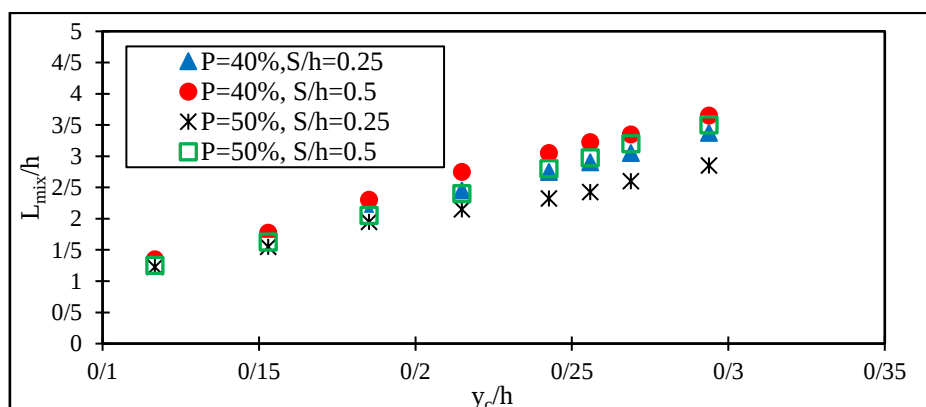


شکل ۵- تغییرات عمق نسبی استخر در مقابل عمق بحرانی نسبی (الف) تخلخل ۴۰ درصد (ب) تخلخل ۵۰ درصد
Figure 5- Changes in Relative pool depth versus relative critical depth, a) 40% porosity b) 50% porosity

طول تلاطم نسبی

طول خیس شده نسبی صفحه مشبک است، کاهش و افزایش طول خیس شده صفحه مشبک بر میزان طول تلاطم ایجاد شده موثر است. از آنجایی که صفحات مشبک با تخلخل ۵۰ درصد و فاصله نسبی ۰/۲۵ دارای کمترین میزان طول خیس شده صفحه و نیز صفحات مشبک با تخلخل ۴۰ درصد و فاصله نسبی ۰/۵ دارای بیشترین طول نسبی خیس شده هستند، بنابراین کمترین و بیشترین مقادیر طول تلاطم مختص این دو مدل خواهد بود. در حالت کلی، برای صفحات مشبک با تخلخل ۵۰ درصد، افزایش فاصله نسبی صفحه مشبک از ۰/۲۵ به ۰/۵ باعث افزایش ۱۴ درصد در طول تلاطم می‌گردد. برای صفحه مشبک ۴۰ درصد نیز افزایش فاصله نسبی صفحه باعث افزایش ۱۰ درصد می‌شود. صفحات مشبک ۵۰ درصد، در مقایسه با صفحات مشبک ۴۰ درصد، نیز در هر دو فاصله نسبی صفحه از لبه شیب‌شکن طول تلاطم ایجاد شده را ۹ تا ۱۵ درصد کاهش می‌دهد.

ناحیه پرتلاطم و همراه با آشفتگی که پس از عبور جریان از صفحات مشبک و با برخورد جت‌های ریزشی نواری با بستر کانال ایجاد می‌شود، طول تلاطم نامیده می‌شود. در این ناحیه از مدل، تداخل آب به صورتی چشمگیر افزایش می‌یابد. مقادیر مربوط به طول تلاطم برای دو تخلخل صفحات و دو فاصله نسبی صفحه مشبک از لبه شیب‌شکن در شکل ۶ مشاهده می‌شود. (لازم است یادآوری شود که در فاصله نسبی صفحه ۰/۷۵ به دلیل مستغرق شدن صفحه مشبک در این ناحیه، طول تشکیل نیافت). همان طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، افزایش عمق بحرانی نسبی سبب افزایش طول تلاطم می‌شود. علاوه بر این، با کاهش نسبت تخلخل صفحات و افزایش فاصله نسبی صفحه مشبک از لبه شیب‌شکن، طول تلاطم افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه طول تلاطم تابعی از ریزش جت‌های نواری خروجی از صفحه مشبک است، یا به عبارتی تابع



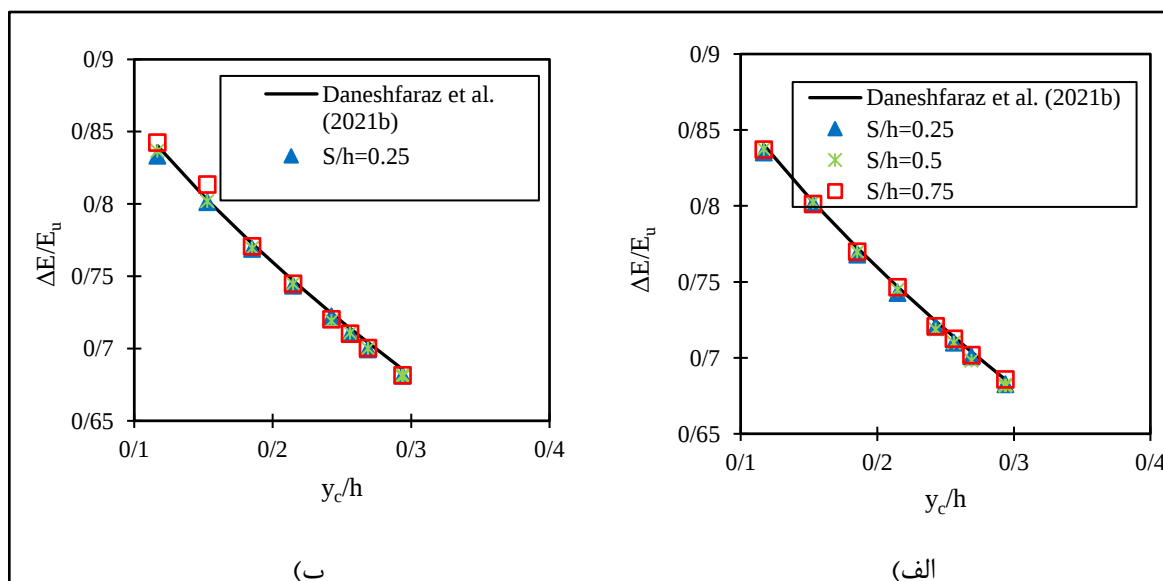
شکل ۶- تغییرات طول تلاطم نسبی در مقابل عمق بحرانی نسبی

Figure 6. changes in Relative Turbulence length versus relative critical depth

کاهش می‌یابد، با این حال کاهش تداخل آب و هوا تاثیری بر استهلاک انرژی جریان ندارد و در مقایسه با نتایج حاصل از بررسی‌های دانش‌فراز و همکاران (Daneshfaraz et al., 2021b) نتایج یکسانی دارد. با مقایسه استهلاک انرژی در دو تخلخل نیز چنین استنباط می‌شود که تخلخل صفحات مشبک نیز همچون فاصله نسبی آن از لبه شیب‌شکن تاثیری بر استهلاک انرژی کل شیب‌شکن قائم ندارد.

استهلاک انرژی کل

مقادیر مربوط به استهلاک انرژی کل در تمامی مدل‌های تحقیق حاضر در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، با افزایش عمق بحرانی نسبی، استهلاک انرژی کل روند افزایشی دارد. از طرفی، در هر دو تخلخل صفحات، با اینکه برابر مشاهدات آزمایشگاهی، با افزایش فاصله صفحه مشبک از لبه شیب‌شکن تداخل آب و هوا در مدل



شکل ۷- تغییرات استهلاک انرژی کل در برابر عمق بحرانی نسبی الف) تخلخل ۴۰ ب) تخلخل ۵۰

Figure 7- Changes in total energy loss versus relative critical depth a) Porosity 40 b) Porosity 50

نتیجه گیری

افزایش فاصله نسبی صفحه مشبک و کاهش تخلخل صفحه، طول تلاطم نیز افزایش می یابد. در حالت کلی، صفحات مشبک افقی با تخلخل ۴۰ درصد، در مقایسه با تخلخل ۵۰ درصد، به طور متوسط ۳۰ درصد سبب افزایش طول خیس شده صفحات می شود و ۱۵ درصد طول تلاطم را افزایش می دهند. علاوه بر این، نتایج بررسی عمق استخر نشان می دهد که افزایش فاصله نسبی صفحه از لبه شیب شکن به افزایش عمق استخر در هر دو تخلخل صفحه مشبک می انجامد. سرانجام، با اینکه افزایش فاصله نسبی صفحه از لبه شیب شکن باعث کاهش تداخل آب و هوا می شود با این حال تاثیری بر استهلاك انرژی جریان ندارد.

در تحقیق حاضر، تاثیر فاصله قرارگیری صفحه مشبک افقی از لبه شیب شکن قائم با جریان زیرحرانی در بالادست بر استهلاك انرژی جریان و عمق استخر به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. آزمایش ها در دو تخلخل صفحه مشبک ۴۰ و ۵۰ درصد، سه فاصله نسبی ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ و محدوده عمق بحرانی نسبی (yc/h) ۰/۱۱ تا ۰/۲۹ اجرا شدند. نتایج مطالعات نشان داد که با افزایش فاصله نسبی شیب شکن، دبی جریان و کاهش تخلخل صفحه مشبک، طول خیس شده صفحه مشبک افزایش می یابد. همچنین، از آنجایی که طول تلاطم تابعی از طول خیس شده صفحات است، با

مراجع

- Balkis, G. (2004). Experimental Investigation of Energy Dissipation through Inclined Screens. (Doctoral dissertation, Middle East Technical Univ, Ankara, Turkey).
- Bozkus, Z., Çakir, P., & Ger, A. M. (2007). Energy dissipation by vertically placed screens. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 34(4), 557-564.
- Çakir, P. (2003). Experimental investigation of energy dissipation through screens (Doctoral dissertation, M. Sc. thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey).
- Chiu, C. L., Fan, C. M., & Tsung, S. C. (2017). Numerical modeling for periodic oscillation of free overfall in a vertical drop pool. *Journal of Hydraulic Engineering*, 143(1), 04016077.
- Daneshfaraz, R., Sadeghfam, S., & Ghahramanzadeh, A. (2017). Three-dimensional numerical investigation of flow through screens as energy dissipators. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44(10), 850-859.
- Daneshfaraz, R., hasanniya, V., Mirzaei, R., Bazayr, A. (2020a). Experimental Investigation of the Effect of Positive Slope of the Horizontal Screen on Hydraulic Characteristics of Vertical Drop. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(10), 2499-2509. doi: 10.22059/ijswr.2019.283685.668238(in farsi)
- Daneshfaraz, R., Majedi Asl, M., Razmi, S., Norouzi, R., Abraham, J. (2020b). Experimental investigation of the effect of dual horizontal screens on the hydraulic performance of a vertical drop. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02622-x>.
- Daneshfaraz, R., Ghaderi, A., Di Francesco, S., & Khajei, N. (2021a). Experimental study of the effect of horizontal screen diameter on hydraulic parameters of vertical drop. *Water Supply*. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2021.077>.
- Daneshfaraz, R., Hasannia, V., Norouzi, R., Sihag, P., Sadeghfam, S., & Abraham, J. (2021b). Investigating the Effect of Horizontal Screen on Hydraulic Parameters of Vertical Drop. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-9.

- Daneshfaraz, R., Bagherzadeh, M., Ghaderi, A., Di Francesco, S., & Asl, M. M. (2021c). Experimental investigation of gabion inclined drops as a sustainable solution for hydraulic energy loss. *Ain Shams Engineering Journal*.
- Daneshfaraz, R., Majedi Asl, M., Bagherzadeh, M. (2021d). Experimental Investigation of the Performance of Inclined Gabion Drop Equipped with a Horizontal Screen. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(1), 81-93. doi: 10.22059/ijswr.2020.308412.668705. (in farsi)
- Daneshfaraz, R., Bagherzadeh, M., Esmaeeli, R., Norouzi, R., & Abraham, J. (2021e). Study of the performance of support vector machine for predicting vertical drop hydraulic parameters in the presence of dual horizontal screens. *Water Supply*, 21(1), 217-231.
- Daneshfaraz, R., Sadeghfam, S., Hasanniya, V., Abraham, J., Norouzi, R. (2022). Experimental Investigation on Hydraulic Efficiency of Vertical Drop Equipped with Vertical Screens. *Teknik Dergi*, 33 (5), DOI: 10.18400/tekderg.755938. (In Press)
- Esen, I. I., Alhumoud, J. M., & Hannan, K. A. (2004). Energy Loss at a Drop Structure with a Step at the Base. *Water international*, 29(4), 523-529.
- Hong, Y. M., Huang, H. S., & Wan, S. (2010). Drop characteristics of free-falling nappe for aerated straight-drop spillway. *Journal of Hydraulic Research*, 48(1), 125-129.
- Hasannia, V., Daneshfaraz, R., Sadeghfam, S. (2019). Experimental investigating on hydraulic parameters of vertical drop equipped with combined screens. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 52(10), 6-6. doi: 10.22060/ceej.2019.16431.6223(in farsi)
- Kabiri-Samani, A. R., Bakhshian, E., & Chamani, M. R. (2017). Flow characteristics of grid drop-type dissipators. *Flow Measurement and Instrumentation*, 54, 298-306.
- Liu, S. I., Chen, J. Y., Hong, Y. M., Huang, H. S., & Raikar, R. V. (2014). Impact characteristics of free over-fall in pool zone with upstream bed slope. *Journal of Marine Science and Technology*, 22(4), 476-486.
- Mahmoud, M.I., Ahmed, S.S. And Al-Fahal, A.S.A. (2013). Effect of different shapes of holes on energy dissipation through perpendicular screen. *Journal of Environmental Studies*, 12, 29-37.
- Mirzaee, R., Hosseini, K., mousavi, F. (2021). Numerical investigation on energy loss in vertical drop with horizontal serrated edge. *Journal of Hydraulics*, 16(1), 23-36. doi: 10.30482/jhyd.2021.256774.1486(in farsi)
- Nayebzadeh, B., Lotfollahi-yaghin, M., Daneshfaraz, R. (2019). Experimental study of Energy Dissipation at a Vertical Drop Equipped with Vertical Screen with Gradually Expanding at the Downstream. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 52(12), 7-7. doi: 10.22060/ceej.2019.16493.6265(in farsi)
- Rajaratnam, N., & Chamani, M. R. (1995). Energy loss at drops. *Journal of Hydraulic Research*, 33(3), 373-384.
- Rajaratnam, N., & Hurtig, K. I. (2000). Screen-type energy dissipator for hydraulic structures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(4), 310-312.
- Sadeghfam, S., Akhtari, A. A., Daneshfaraz, R., & Tayfur, G. (2015). Experimental investigation of screens as energy dissipaters in submerged hydraulic jump. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 38(2), 126-138.
- Sharif, M., & Kabiri-Samani, A. (2018). Flow regimes at grid drop-type dissipators caused by changes in tail-water depth. *Journal of Hydraulic Research*, 1-12.

Experimental Study of The Effect of The Location of Horizontal Screen From the Edge of The Vertical Drop on The Pool Depth and The Amount of Downstream Energy Loss

R. Daneshfaraz^{*}, M. Majedi Asl and M. Jafari

^{*} Corresponding Author: Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Iran.
Email: daneshfaraz@yahoo.com

Received 13 August 2021, Accepted: 6 November 2021

Extended Abstract

Introductions

In the early 21st century, vertical screens downstream of small hydraulic structures were proposed as energy dissipators by Rajaratnam and Hurgit (2000). Extensive studies were then performed on thickness, porosity, pore shape, flow angle, and multiple flow currents. The results of these studies showed that the screen with 40% porosity and square hole shape creates the highest energy dissipators.

Since the distance of the horizontal screen from the edge of the vertical drop can also affect the hydraulic parameters and flow energy dissipation, so in the present study, for the first time, the effect of the location of the horizontal screen from the vertical drop edge on hydraulic parameters and vertical drop dissipation has been investigated and evaluated.

Methodology

A laboratory flume 5 m long, 0.3 m wide, and 0.45 m high with zero floor slope and two pumps were used to perform the experiments of the present study.

The vertical inclinor at the beginning of the flume was made of glass with a height of 20 cm. Screens made of polyethylene with the shape of circular holes with a diameter of one centimeter, with the zigzag arrangement and two porosities of 40 and 50 percent were prepared and placed at distances of 5, 10, and 15 cm from the edge of the drop, respectively. The flow upstream of the drop was considered subcritical. In all laboratory models, the flow discharge was between 200 and 800 liters per minute and the downstream valve was considered fully open.

Results and Discussion

Laboratory observations

In all experiments and at a constant discharge, it was observed that with increasing distance of the screen from the edge of the drop, climate interference is reduced. Also, for the case where the distance of the screen from the edge of the Inclined was more than half of the height of the drop ($S = 15$ cm), the screen acted as a flow attenuator and the whole length of the screen was submerged by the current. The flow is transmitted downstream along the length of the screen with short waves.

Wet length

Screens with 50% porosity have the lowest relative wetting length compared to 40% porosity. Horizontal screens with 40% porosity increase the relative length of wetted plates by 30% compared to 50% porosity. On the other hand, it was observed that in both porosities of the screen, with increasing the relative critical depth to the location of the screen, the relative wetting length of the plates increased.

Pool depth

It was observed that the depth of the pool increases with increasing relative distance of the screen from the edge of the drop. In addition, by increasing the angle of impact of the jet planes with the bed, the return flow to the inclined wall increases and increases the depth of the pool.

Also, by comparing the depth values of the pool in two porosities and at a constant relative distance, it is inferred that the porosity of the screen does not have a significant effect on the depth of the pool.

The length of the turbulence

Due to the fact that the length of turbulence is a function of the relative wetting length of the screen, so decreasing and increasing the wetting length of the screen is effective on the amount of turbulence length created. Since the screen with 50% porosity and relative distance of 0.25 have the lowest wetting length of the plate and also screen with 40% porosity and relative spacing of 0.5 has the highest relative wetting length, therefore the lowest and highest length values Turbulence is specific to these two models. In general, for screen with 50% porosity, increasing the screen distance from 0.25 to 0.5 increases the turbulence length by 14%. For a 40% mesh screen, increasing the relative screen distance increases by 10%.

Total energy dissipation

Based on the studies of previous researchers and the results of the present study, it can be found that none of the parameters of orifice diameter, slope placement, screen, dual horizontal screen, and distance of plate from the vertical edge of the drop has no effect on depreciation. It does not exist and only increases or decreases climate interference.

Conclusions

The results showed that with increasing the relative distance of the inclined, the discharge, and decreasing the porosity of the screen, the wetting length and the turbulence length of the screen increase. In addition, in examining the depth of the pool, the results showed that increasing the relative distance of the plate from the edge of the drop led to an increase in the depth of the pool in both pores of the screen. Finally, although increasing the relative distance of the plate from the edge of the drop reduced the climatic interference, they still had no effect on the energy dissipation of the flow.

Keywords

Turbulence length, Climate interference, Wet length, screen distance

نوع مقاله: علمی - پژوهشی

بررسی آزمایشگاهی تاثیر ایجاد پرش مستغرق بر کاهش آبشستگی پایین دست حوضچه آرامش (مطالعه موردی: بند سنگی-ملاتی تول بنه)

محمدعلی صلیبی^۱، مهدی مفتاح هلقی^۲، امیراحمد دهقانی^۳ و عبدالرضا ظهیری^۲

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانشجوی دکتری سازه‌های آبی؛ دانشیار سازه‌های آبی؛ و دانشیار مهندسی عمران آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۱۱

چکیده

بندهای سنگی- ملاتی به منظور کاهش شیب آبراهه، کاهش سرعت جریان و مهار فرسایش ساخته می‌شوند. برای استهلاک انرژی در پایین دست این سازه‌ها، حوضچه آرامش احداث می‌شود. با وجود حوضچه‌های آرامش، آشفته‌گی‌های حاصل از پرش هیدرولیکی معمولاً به پایین دست این سازه‌ها منتقل و موجب فرسایش بستر رودخانه می‌شود. عملیاتی که موجب مستغرق شدن پرش هیدرولیکی در درون حوضچه آرامش گردد از راهکارهای موثر کاهش روند آبشستگی است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی تاثیر پرش هیدرولیکی مستغرق در پایاب حوضچه آرامش بندهای سنگی-ملاتی در کاهش آبشستگی پایین دست است. برای بررسی این موضوع، مدل فیزیکی بند سنگی-ملاتی زیارت واقع در استان گلستان با مقیاس ۱:۲۰ ساخته شد. برای کنترل آبشستگی پایاب حوضچه آرامش، دو روش افزایش ارتفاع پایاب و افزایش ارتفاع انتهایی حوضچه آرامش به همراه افزایش زبری بستر بررسی شدند. نتایج بررسی‌ها نشان داد چنانچه ارتفاع پایاب ۱/۵ برابر عمق آن گردد، آبشستگی به صفر می‌رسد. همچنین، زمانی که انتهایی حوضچه آرامش به ارتفاع ۲/۵ برابر عمق آب در حوضچه آرامش بالا آورده شود و به اندازه طول حوضچه آرامش در پایاب ادامه یابد و با مصالح زبر پوشانده شود، آبشستگی را در پایاب حوضچه آرامش به صفر می‌رساند.

واژه‌های کلیدی

آبشستگی، استغراق پایاب، بندسنگی ملاتی، حوضچه آرامش

مقدمه

اعتبارات برای احداث این سازه‌ها هزینه شده است. بنابراین بررسی مسائل بهره‌برداری آنها اهمیت زیادی دارد. این سازه‌ها معمولاً در سرشاخه‌های بالادست حوزه‌های آبخیزداری طراحی و اجرا می‌شوند. در مورد نقش این سازه‌ها در کنترل فرسایش، تحقیقاتی تا کنون صورت گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

بندهای سنگی ملاتی سازه‌هایی هستند برای تنظیم شیب و مهار فرسایش آبراهه‌ها. از آنجا که این سازه‌ها ساختمانی ساده و کارآمد دارند، دستگاه‌های اجرایی در سال‌های اخیر از آنها در طرح‌های حفاظت خاک و آبخیزداری در سطح گسترده‌ای استفاده کرده‌اند و بخش عمده‌ای از

بندها) به‌ترتیب با احتمال تاثیر ۵۴، ۲۸ و ۱۹ درصد است. لنزی و کومیتی (Comiti, 2003) و Lenzi & آبشستگی در پایین‌دست بندهای اصلاحی احداث‌شده در آبراهه‌های کوهستانی ایتالیا را بررسی و اعلام کردند که حداکثر عمق آبشستگی پایین‌دست بندهای اصلاحی بستگی دارد به ارتفاع بند، عمق جریان روی بند، فاصله بندها و حداکثر شیب اصلاح شده آبراهه.

هنگامی که جریان رواناب از روی سرریز به پایین می‌ریزد، انرژی پتانسیل آن به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود. بخشی از این انرژی درون حوضچه آرامش با ایجاد یک پرش هیدرولیکی مستهلک می‌گردد. از آنجا که جریان خروجی از حوضچه آرامش سرعت بالایی دارد، ممکن است مقداری از این انرژی به پایین‌دست انتقال یابد. انرژی اضافی این جریان می‌تواند باعث فرسایش بستر پایین‌دست این سازه‌ها گردد و به همین دلیل بررسی آن ضروری است.

جریان خروجی از سازه‌های هیدرولیکی اغلب به صورت جت است که ممکن است تغییرات زیادی در توپوگرافی بستر رودخانه ایجاد کند. جت ریزشی بر اساس عمق پایاب می‌تواند به صورت آزاد یا مستغرق باشد. آبشستگی در جت‌های ریزشی در حالت مستغرق و آزاد اندکی متفاوت است زیرا در جت‌های آزاد، سیال مقداری از مسیر را در هوا و مقداری را در آب طی می‌کند تا به سطح بستر برسد ولی در جت‌های مستغرق، سیال تمام مسیر را در آب طی می‌کند. هرگاه مقدار عمق پایاب از مقدار ارتفاع ریزش بیشتر باشد، جت مستغرق است (نشریه شماره ۵۴۹، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور Standard publication: (No. 549. 2011).

زارع بیدکی و قنبری (Zare Bidaki & Ghanbari, 2015) با ارزیابی مجموعه‌ای از سازه‌های سنگی-ملاتی اجرا شده طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰ در آبراهه‌های استان چهارمحال و بختیاری نشان دادند که معیارهای رعایت فاصله بندها بر اساس شیب‌حد (تعادلی) رسوبات و انتخاب نوع بند، بیشترین تاثیر را در عملکرد بهینه گروهی بندها دارند. عباسی (Abbasi, 2015) شیب‌حد (تعادلی) را در چهار حوضه واقع در بالادست سدهای کارده، طرق، شهید یعقوبی و گلستان در خراسان رضوی بررسی کرد و نشان داد به دلیل انتخاب نامناسب شیب حد، در مواردی فاصله بندها کم بوده است، به نحوی که بندهای بالادست در رسوبات پشت بندهای پایین-دست مدفون شده اند. در این تحقیق، با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده، روابطی برای محاسبه شیب حد بر اساس شیب اولیه آبراهه پیشنهاد و مشخص شد که اگر فاصله بندهای موجود بر اساس شیب حد اندازه‌گیری شده انتخاب می‌شد هزینه احداث بندها بیش از ۲۵ درصد کاهش می‌یافت. علی‌پور و همکاران (Alipour et al., 2021) هفتاد بند کوتاه سنگی-ملاتی اجرا شده در آبخیز گلستان شیراز را ارزیابی و مسائل بهره‌برداری و علت اصلی آسیب‌دیدگی سازه‌ها را بررسی کردند و نتیجه گرفتند اگرچه بندها در برابر نشست، واژگونی و لغزش پایداری نشان داده‌اند، نشانه‌های آسیب‌دیدگی در آنها دیده می‌شود. علت اصلی آسیب‌دیدگی بندها، به کار بردن مصالح نامناسب (مصالح سنگی بی‌کیفیت و شسته‌شدن ملات ماسه سیمان به کار رفته در بندها)، آبشستگی و اجرا کردن نامناسب (اتصال ناقص دستک‌ها بی در نظر گرفتن وضعیت آبراه و تراز نبودن سرریز

آبشستگی، وابستگی شدیدی به خواص فیزیکی ذرات و ارتباط متقابل بین ذرات و آب دارند. استفاده از زبری به تنهایی در بستر تندآب می تواند روشی کارآمد برای افت انرژی باشد. این روش به دلیل اجرای آسان، صرفه اقتصادی و سازگار بودن با محیط زیست، مورد توجه خاصی قرار گرفته است.

مطالعات گرس (Grace, 1970) نشان می دهد که حداکثر عمق حفرة آبشستگی برای ذرات رسوبی یکنواخت در سرعت برشی برابر با سرعت برشی بحرانی ذرات رسوبی حاصل می شود. کلز و همکاران (Kelz et al., 2001) نشان دادند که عمق و مساحت حفرة آبشستگی به شدت وابسته است به اندازه ذرات بستر و عمق پایاب. ولیزادگان و فرهودی (Valizadegan & Farhoudi, 2002) تاثیر قطر سنگچین و عمق پایاب را در میزان پایداری مواد بستر بررسی کردند. سوباسیش و برنهارد (Subhasish & Bernhard, 2003) تنش برشی در پرش مستغرق روی بستر صاف و زبر را مطالعه و نتیجه گیری کردند که سرعت جریان در پرش مستغرق با افزایش زبری کاهش پیدا می کند نتایج آزمایش های کوچک و شفافی

بجستان (Kochak & Shafaei Bajestan, 2012) نشان می دهد افزایش ارتفاع زبری کفبند و افزایش اندازه دانه بندی بستر تأثیر بسزایی در کاهش طول آبشستگی دارد. دلربان و همکاران (Dilrooban et al., 2014) اثر زبری های مکعبی را بر پرش مستغرق بررسی کردند و نشان دادند که عمق استغراق در حالت زبری ۱۱ درصد نسبت به حالت بدون زبری کاهش یافته است.

افزایش ارتفاع در پایاب منجر به پرش هیدرولیکی مستغرق می شود، انرژی جریان آب کاسته می شود و در نتیجه آبشستگی کاهش

ایجاد پرش هیدرولیکی درون حوضچه آرامش و پایین دست آن، باعث ایجاد گردابه می شود. گردابه های حاصل نقش بسیار مهمی در انتقال رسوبات و تغییر هندسه بستر دارند. لانگ و همکاران (Long et al., 1990) گردابه های به وجود آمده در سطح آب vh در پرش هیدرولیکی مستغرق بررسی کردند و نشان دادند که حرکت این گردابه ها از سطح آب تا مرکز لایه برشی گسترده شده است. این محققان همچنین مشخصات پرش هیدرولیکی مستغرق را بررسی و پرش مستغرق را از نظر توسعه جریان به سه قسمت تقسیم کردند: ناحیه درحال توسعه، ناحیه توسعه یافته و ناحیه بهبود یافته.

نصرآبادی و همکاران (Nasrabadi et al., 2010) با مقایسه خصوصیات پرش آزاد و مستغرق در یک عمق پایاب ثابت در بسترهای صاف و زبر به این نتیجه رسیدند که در اعداد فرود یکسان، طول پرش آزاد همواره بزرگ تر یا مساوی طول پرش مستغرق است و افت انرژی نسبی پرش مستغرق در اعداد فرود کم، همواره بزرگ تر یا مساوی افت انرژی نسبی پرش آزاد است.

بر اساس تحقیقات امیدی و شفافی بجستان (Omidy & Shafaei Bajestan, 2014)، در صورتی که پرش هیدرولیکی به صورت آزاد تشکیل شود، با افزایش دبی جریان، عمق و طول حفرة آبشستگی افزایش می یابد. اگر پرش آزاد به پرش مستغرق تبدیل شود، از میزان آبشستگی کاسته می شود. همچنین، هر چه درجه استغراق پرش بیشتر شود جریان در پایین دست پرش قدرت کمتری برای حمل رسوبات خواهد داشت.

آبشستگی پدیده ای است که سازه های آبی تحت تاثیر آن قرار می گیرند. فرایندهای

آب کاهش و در نتیجه آبشستگی در پایاب حوضچه آرامش کاهش داده شود. برای این منظور دو روش استفاده شده است: یکی تغییر ارتفاع پایاب و دیگری ایجاد یک برآمدگی در انتهای حوضچه آرامش است. استفاده از بستر زبر نیز تاثیرگذاری این دو روش را بهبود بخشیده است.

مواد و روش ها

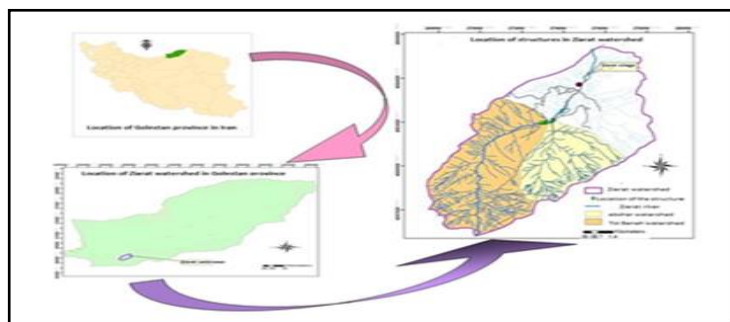
موقعیت بند سنگی ملاتی زیارت

تول بنه رود از شاخه‌های رودخانه زیارت است که از کوه‌های بالاچال، تل انبار و سرلیه واقع در حدود ۲۴ کیلومتری جنوب شهرگران سرچشمه می‌گیرد و در جنوب غربی روستای زیارت با رودخانه آبشار به هم می‌پیوندد و رودخانه زیارت را تشکیل می‌دهد.

رودخانه زیارت، پس از شهرگران به رودخانه قره‌سو (حوزه آبریز) وارد می‌شود. بندسنگی ملاتی تول بنه با مختصات $X=272090$ و $Y=4062967$ در سه کیلومتری جنوب غربی روستای زیارت روی این سرشاخه قرار دارد. طول تاج این سازه ۱۹/۶، ارتفاع آن ۶ و طول حوضچه آرامش آن ۱۰/۵ متر است. موقعیت بند سنگی ملاتی تول بنه در شکل ۱ نشان داده شده است.

می‌یابد. اد و راجاراتنام (Ead & Rajaratnam, 2002) خصوصیات جت دیواره‌ای در عمق‌های پایاب کم را به صورت تئوری و آزمایشگاهی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که طول جریان برگشتی (ناحیه غلتان) در پرش هیدرولیکی مستغرق به دو پارامتر عمق پایاب و عدد فرود وابسته است. هانگ و همکاران (Hong et al., 2010) نشان دادند در پایین دست حوضچه آرامش، عمق کم پایاب باعث می‌شود تا پرش هیدرولیکی به صورت آزاد تشکیل شود و آبشستگی افزایش یابد. نتایج آزمایش‌های امیدی و همکاران (Omidi et al., 2014) نشان می‌دهد افزایش عمق پایاب در پایین دست سرریز باعث کاهش در میزان آبشستگی می‌شود. مرادی و پریش (Moradi & Parish, 2016) می‌گویند میزان کاهش فرسایش در پایاب‌های عمیق بیشتر است تا در پایاب‌های کم عمق. زبری بستر می‌تواند تاثیر افزایش ارتفاع پایاب را بر کاهش عمق آبشستگی بیشتر کند.

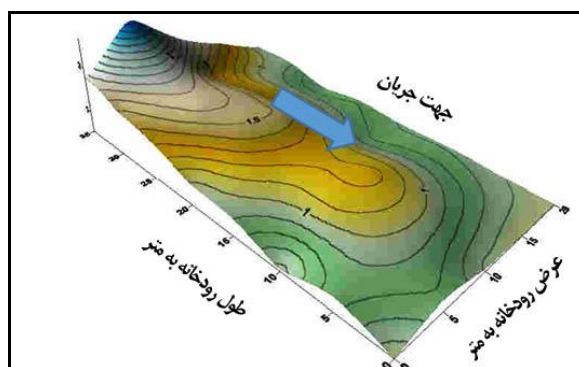
بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد محققان برای کنترل آبشستگی در پایاب حوضچه‌های آرامش، روش‌های مختلفی ارائه داده‌اند. این روش‌ها با وجود اثرگذاری، به دلیل شرایط پیچیده رودخانه و نوع سازه، نتایج متفاوتی از خود نشان می‌دهند. در این مطالعه نیز سعی شده است با ایجاد پرش مستغرق انرژی جریان



شکل ۱- موقعیت بندسنگی ملاتی تول بنه

Figure.1 Location of masonry Tule Bene check dam

برای بررسی و شناخت توپوگرافی رودخانه در پایین‌دست سازه سنگی ملاتی، از بستر آن نقشه‌برداری شده است. برای این کار، شبکه‌ای با فاصله‌های ۵ متر تشکیل شده و نقشه‌برداری در شبکه‌ای مستطیلی به ابعاد ۳۵ در ۲۵ متر انجام شد. شکل ۲، توپوگرافی بستر رودخانه و شکل ۳ بند انحرافی تول بنه را نشان می‌دهد.



شکل ۲- توپوگرافی بستر پایین‌دست بند سنگی ملاتی

2-Bed river topography downstream of Masonary check dam



شکل ۳- بستر پایین‌دست بند سنگی ملاتی تول بنه

Fig 3 - Downstream view of Tul Bene masonry check dam Fig

بار بستر از روش نمونه‌گیری حجمی استفاده شده است. رسوبات زیرسطحی به عمق حداقل دو برابر بزرگ‌ترین قطعه سنگ Standard publication: (No. 349. 2005) برداشت شد.

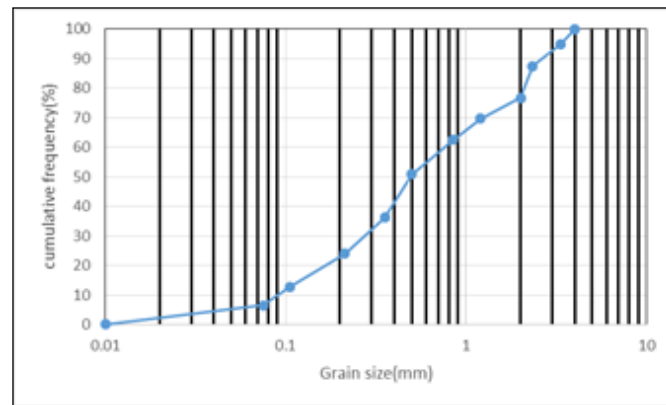
برای دانه‌بندی مصالح با توجه به قطر مصالح دو روش دنبال شد. با توجه به قطر مصالح سطحی پس از اندازه‌گیری و تفکیک مصالح به وسیله

نمونه‌برداری از مصالح

نمونه‌برداری از مصالح بستر رودخانه و ساخت مدل

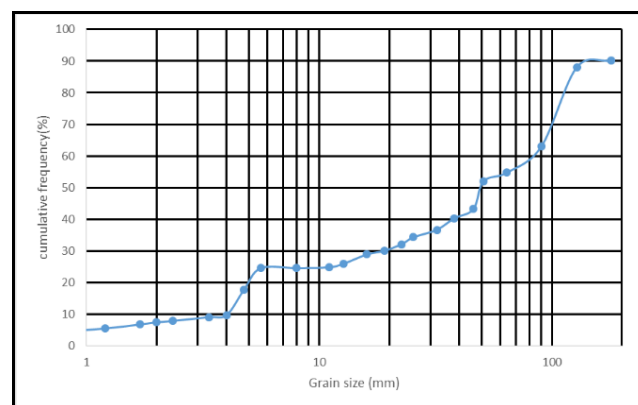
نمونه‌برداری از ذرات سطحی که معمولاً درشت‌تر هستند، با استفاده از یک قالب مربعی به ابعاد ۶۰ سانتی‌متر مربع (روش نمونه‌برداری سطحی) صورت گرفته است و برای مصالح پایینی

شمارشگر^۱، به‌طور جداگانه وزن و پس از آن نمودار دانه‌بندی آنها رسم شد. برای مصالح ریزتر از روش دانه‌بندی با الک^۱ استفاده گردید. شکل ۴ نمودار دانه‌بندی مصالح موجود در پایین دست سازه و شکل ۵ دانه‌بندی مصالح در کانال آزمایشگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۴ - نمودار دانه‌بندی مصالح موجود در پایین دست سازه

Figure. 4 Size distribution of bed material (Downstream of check dam)



شکل ۵ - نمودار دانه‌بندی مصالح

Figure- 5 Size distribution of material in the laboratory channel

بستر^۳ با دقت ۱ میلی‌متر، استفاده شد. آزمایش‌ها در آزمایشگاه تحقیقات آب و رسوب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان دنبال شد. برای این منظور یک کانال بتنی به طول ۹ متر، عرض و ارتفاع یک متر احداث و مدل سازه سنگی ملاتی زیارت از جنس فلز درون آن تعبیه شد. بررسی آستانه حرکت ذرات برای تعیین قطر ذرات

در کانال آزمایشگاه

رودخانه در آزمایشگاه (بستر کانال) در مقیاس $\frac{1}{20}$ شبیه‌سازی شد. این مقیاس به‌منظور شبیه‌سازی جریان زیر و آشفته و بر اساس دبی حداکثر سیلاب انتخاب شده است. برای اندازه‌گیری سطح آب از دستگاه عمق‌سنج دیجیتالی^۲ با دقت ۰/۱ میلی‌متر و برای اندازه‌گیری، توپوگرافی جدید ایجاد شده بستر، از دستگاه اندازه‌گیری پروفیل

به دست آمد. بنابراین برای اینکه مصالح حرکت نکنند قطر دانه بندی مصالح بین ۲ تا ۳ سانتی متر (بزرگ تر از آستانه حرکت) در نظر گرفته شد. (اندازه واقعی مصالح در طبیعت ۴۰ تا ۶۰ سانتی متر است)

آزمایش مبنا برای مقایسه میزان آبشستگی

هدف از این مطالعه، بررسی روش های کنترل آبشستگی در پایاب حوضچه آرامش است. در اولین مرحله آزمایش، میزان آبشستگی پایاب حوضچه آرامش شناسایی شد. بنابراین، روش های مختلف برای مشخص شدن میزان تاثیر گذاری با آزمایش اولیه مقایسه می شود. لازم است گفته شود در تمامی آزمایش ها دبی آزمایش ۲۵ لیتر بر ثانیه است. با توجه به مقیاس، میزان دبی در مدل واقعی ۴۴/۸ مترمکعب در ثانیه به دست می آید، که معادل دبی ۵۰ ساله سازه اصلی است. پس از بازدیدهای متوالی، مشاهده شد که در شرایط فعلی پشت این بند از مصالح پر شده است. از طرفی، معمولاً پس از وقوع سیلاب های متوالی در طبیعت پشت سازه اصلی عملاً از مصالح پر می شود و لوله ها هم مسدود می شوند. بنابراین برای شبیه سازی شرایط آزمایشگاه، لوله ها در هنگام آزمایش بسته شدند و پشت سازه نیز با مصالح پر گردید. یادآوری می شود از نتایج آزمایش به عنوان آزمایش مبنا برای مقایسه آزمایش های دیگر استفاده شد. شکل ۶ آزمایش مبنا را برای شناسایی میزان آبشستگی و شکل ۷ مشخصات جریان آب و رسوب در سازه سنگی ملاتی را نشان می دهد.

از مسائل مهم و کلیدی در بررسی فرسایش و پایداری رودخانه ها، مسئله آغاز حرکت ذرات رسوبی است. وقتی سرعت جریان آب روی بستر افزایش می یابد اثر نیروهای درگ و لیفت از نیروی پایداری در اثر وزن ذرات بیشتر خواهد شد و باعث حرکت آن می شود. چنانچه نیروهای 1-shaker 3-bed profaller هیدرودینامیکی از حدی بحرانی بیشتر شوند، ذرات رسوب شروع به حرکت می کنند. شروع حرکت ذرات رسوبی را اصطلاحاً آستانه حرکت و شرایطی که در آن ذرات در آستانه حرکت قرار می گیرند شرایط آستانه یا بحرانی گویند. از آنجا که قرار است در پایین دست حوضچه آرامش از سنگ های با قطر بیشتر استفاده شود، باید آستانه حرکت مشخص شود تا قطرسنگ ها بیشتر از این مقدار باشد. اساس معادلات شیلدز در تعیین آستانه حرکت ذرات بستر به شرح زیر است (Yalin, 1971).

در نمودار شیلدز محور افقی عدد رینولدز برشی و محور قائم آن پارامتر بدون بعد شیلدز است که در رابطه ۱ ارائه شده است.

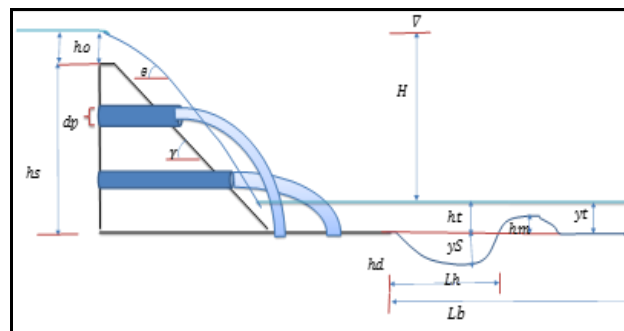
$$\frac{RS}{(G_s - 1)D_s} = 0.0556 \quad (1)$$

که در آن،

G_s چگالی نسبی رسوب (۲/۶۵)، D_s اندازه ذرات رسوب (۴۷ میلی متر)، و S شیب (۰/۰۰۴) است. با قرار دادن مقادیر در نمودار شیلدز می توان محدوده قطر لازم برای آستانه حرکت ذرات و در نتیجه قطر مورد نیاز را تعیین کرد. پس از محاسبات، قطر ۱۷ میلی متر به عنوان آستانه حرکت



شکل ۶- آزمایش مبنا برای تعیین عمق آبشستگی تعادلی
6 - Base test to equilibrium scour depth determination



شکل ۷- مشخصات جریان آب و رسوب در سازه سنگی ملاتی
Fig 7. Water flow and sediment profile in Masonry check dam Fig

انتهای کانال را برای ایجاد پرش مستغرق توسط دریچه چوبی نشان می‌دهد. افزایش زبری بستر نیز می‌تواند موجب کاهش آبشستگی شود. به طور مثال، تشکیل لایه حفاظتی (آرمور) در رودخانه فرآیند آبشستگی را با تاخیر مواجه می‌کند. برای شبیه‌سازی این شرایط نیز در این آزمایش‌ها بستر پایین‌دست حوضچه آرامش با دانه‌بندی ۲/۵ سانتی‌متر (d50) پوشیده شد. پس از آن، با توجه به اینکه عمق آب پایاب ۶ سانتی‌متر است ارتفاع پایاب به ترتیب در چهار مرحله تغییر کرد: در مرحله اول، ارتفاع پایاب کانال ثابت ماند. در مرحله دوم، ارتفاع پایاب به اندازه ۳ سانتی‌متر (۵۰ درصد عمق پایاب) افزایش یافت. در مرحله سوم، ارتفاع پایاب به اندازه ۶ سانتی‌متر (برابر عمق پایاب)

افزایش عمق پایاب با تیرک‌های مسدود کننده به همراه افزایش زبری بستر

یکی از روش‌های کنترل آبشستگی پایاب حوضچه آرامش، در سازه‌های آبی استفاده از کف‌بند یا استفاده از بندهای متوالی در پایین دست بندسنگی- ملاتی تا رسیدن به نقطه تثبیت سازه است. این روش، با وجود برخی ایرادهای اقتصادی و فنی، توانسته است تا حدودی آبشستگی پایاب را حل کند. در این تحقیق، با اضافه کردن ارتفاع انتهای کانال در پایاب حوضچه آرامش^۱ مکانیزم اثر این روش‌ها بررسی شد. از آنجا که در کانال آزمایشگاه از تخته‌های چوبی به عنوان دریچه استفاده شده است، با استفاده از تخته‌های چوبی، ارتفاع پایاب افزایش داده شد. شکل ۸ بالا آوردن

افزایش یافت. در مرحله چهارم ارتفاع پایاب به یافت. شکل ۹ استغراق در نتیجه افزایش ارتفاع اندازه ۹ سانتی متر (۱/۵ برابر عمق پایاب) افزایش پایاب را نشان می دهد.



شکل ۸- افزایش ارتفاع کانال برای ایجاد پرش مستغرق

Figure 8- Raising the channel bed level to create a submerged jump



شکل ۹- استغراق در نتیجه افزایش ارتفاع پایاب

Figure 9 - Submergence due to raising channel bed level

اول، پایاب حوضچه آرامش از نظر ارتفاع و زبری بستر ثابت در نظر گرفته شد. در مرحله دوم، زبری بستر ثابت بود اما ارتفاع پایاب بستر ۳ سانتی متر افزایش یافت. در مرحله سوم، مصالح بستر پایین- دست حوضچه آرامش با دانه بندی ۲/۵ سانتی متر (d_{50}) بدون افزایش ارتفاع در پایاب پوشیده شد. در مرحله چهارم، علاوه بر افزایش زبری مصالح بستر پایاب ارتفاع آن نیز به اندازه ۳ سانتی متر افزایش یافت. شکل ۱۰، پرش مستغرق با قرار دادن یک برآمدگی در انتهای حوضچه آرامش و شکل ۱۱، تعبیه برآمدگی در انتهای حوضچه آرامش را نشان می دهد.

احداث بلوک انتهایی حوضچه آرامش به ارتفاع ۳ سانتی متر

یکی از روش های ایجاد استغراق پرش هیدرولیکی، تعبیه بلوک انتهایی حوضچه آرامش است. این کار موجب می شود تا انرژی آب کاسته شود و در نتیجه ابعاد آبشستگی پایین دست کاهش یابد. در این روش، وجود برآمدگی در انتهای حوضچه آرامش موجب برخورد جریان آب و در نتیجه برگشت آن می شود. در این روش، ابتدا یک تیغه به ضخامت یک و به ارتفاع ۳ سانتی متر (۲/۵ برابر ارتفاع آب در حوضچه آرامش) در انتهای حوضچه آرامش تعبیه شد. پس از آن، در مرحله



شکل ۱۰- پرش مستغرق با قرار دادن بلوک در انتهای حوضچه آرامش

Figure 10- Submerged jump by placing blocks at the end of the stilling basin



شکل ۱۱- تعبیه بلوک در انتهای حوضچه

Figure 11- Embedding blocks at the end of the stilling basin

نتایج و بحث

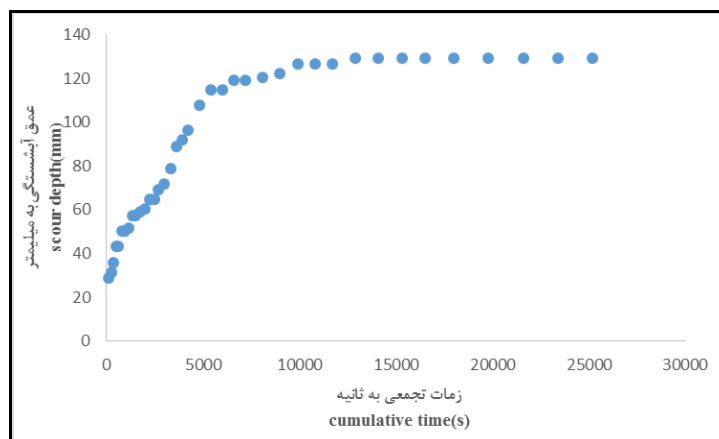
بررسی تغییرات زمانی حداکثر عمق آبشستگی

پیش از آزمایش‌ها لازم است زمان تعادل آزمایش‌ها برآورد شود. برای این منظور، تغییرات حداکثر عمق آبشستگی در حالت مبنای طی زمان بررسی گردید. روند تغییرات آبشستگی طی ۸ ساعت نشان می‌دهد که روند آبشستگی در ساعات اولیه، سریع‌تر است و کم‌کم از سرعت آن کاسته می‌شود. تغییرات زمانی حداکثر عمق آبشستگی در شکل ۱۲ نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد مقدار آبشستگی در ۴ ساعت اولیه (معادل هفده ساعت و پنجاه و سه دقیقه در مقیاس واقعی)

به بالاترین سطح خود می‌رسد و از آن پس روند آبشستگی ثابت می‌ماند.

نتایج آزمایش نشان می‌دهد در دقیقه اول ۲۰ میلی‌متر آبشستگی معادل ۱۵ درصد و در ۲۵ دقیقه اولیه ۵۷ میلی‌متر آبشستگی معادل ۴۴ درصد صورت گرفته است که نشان دهنده سرعت بسیار زیاد فرآیند فرسایش‌پذیری و تشکیل حفره در ابتدای شروع آزمایش‌ها بوده است. همچنین، میزان آبشستگی در دقیقه ۷۰ به ۹۶ میلی‌متر، معادل ۷۳ درصد، و در دقیقه ۹۰ به ۱۱۴ میلی‌متر، معادل ۸۵ درصد، رسیده است. مقدار آبشستگی در دقیقه ۱۳۵ به میزان ۱۲۶ میلی‌متر رسیده که بیانگر ۹۷ درصد آبشستگی حداکثر بوده است.

بررسی آزمایشگاهی تاثیر ایجاد پرش مستغرق بر کاهش آبشستگی پایین دست...



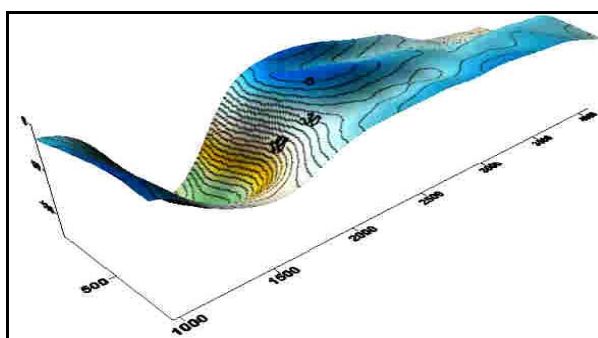
شکل ۱۲- آزمایش تغییرات آبشستگی در ۸ ساعت

Figure 12 – Scour depth variation for for 8 hours test run

نتایج آزمایش مبنا

پایین دست حوضچه آرامش و نیز در پایاب کانال قرار ندارد. عمق آبشستگی در این روش ۱۳۰ میلی متر شده است. شکل ۱۳، پروفیل بستر ایجاد شده در آزمایش مبنا را برای شناسایی میزان آبشستگی نشان می دهد.

همان طور که گفته شد، برای اینکه آزمایش ها با یک سطح مبنا مقایسه شود، ابتدا آزمایش در حالتی شبیه سازی شد که بستر کانال از مصالح یکسان پوشیده است و هیچگونه سازه ای در



شکل ۱۳- پروفیل بستر آزمایش مبنا برای تعیین عمق آبشستگی تعادلی

Fig 13- Base test bed profile for equilibrium scour depth determination

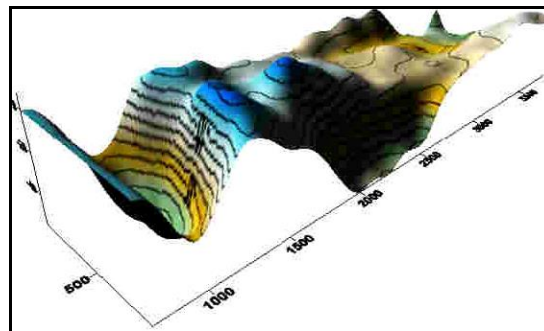
بوده است. در مقایسه با آزمایش مبنا، میزان آبشستگی کاهش ۵۰ درصدی را نشان می دهد. از آنجا که ارتفاع پایاب در این مرحله تغییری نمی کند، این اختلاف تاثیر افزایش زبری ایجاد شده را مشخص می سازد. نکته با اهمیت این است که افزایش زبری موجب می شود تا پرش هیدرولیکی، که در پایاب حوضچه ایجاد می شود،

افزایش ارتفاع پایاب بستر به همراه افزایش زبری

آزمایش ها در چهار مرحله اجرا شده است. آبشستگی در مرحله اول (افزایش زبری پایین دست حوضچه آرامش با مصالحی به قطر ۲ تا ۳ سانتی متر) نسبت به بقیه مراحل بیشتر بوده است. عمق چاله آبشستگی در این شرایط ۶۵ میلی متر

به صورت موجی در حال تغییر و نوسان باشد. به عبارتی، موج پرش هیدرولیکی ابتدا به سمت پایین دست حرکت می‌کند و پس از آن به تدریج از شدت آن کاسته می‌شود و به سمت ابتدای حوضچه آرامش بر می‌گردد. طول موج ایجاد شده از انتهای حوضچه آرامش تا کمی پایین تر از انتهای زبری ایجاد شده ادامه دارد.

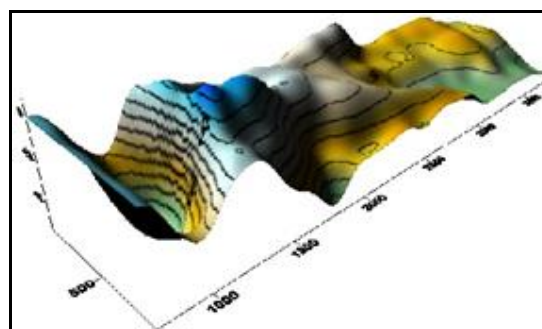
شکل ۱۴، پروفیل بستر کانال و ایجاد زبری را در بستر آن با ارتفاع معمولی نشان می‌دهد.



شکل ۱۴- پروفیل بستر کانال با ارتفاع ثابت انتهای کانال با افزایش زبری بستر

Figure 14- Channel bed profile with Fixed height at the end of the channel with increasing roughness in the bed

در مرحله دوم (افزایش ارتفاع پایاب بستر کانال به میزان سه سانتی متر به همراه افزایش زبری)، میزان آبشستگی عدد ۵۸ میلی متر را نشان می‌دهد. بنابراین، این روش موجب کاهش ۵۶ درصد از آبشستگی پایاب شده است. از طرفی این عدد نشان دهنده تاثیر کم (به میزان ۷ میلی متر) افزایش ۳ سانتی متری پایاب بستر نسبت به شرایط آزمایش پیشین بر کاهش عمق آبشستگی بوده است. رفت و آمد نوسانی پرش هیدرولیکی نیز همچنان ادامه دارد. شکل ۱۵، پروفیل بستر کانال را با ارتفاع ۳ سانتی متری انتهای کانال نشان می‌دهد.

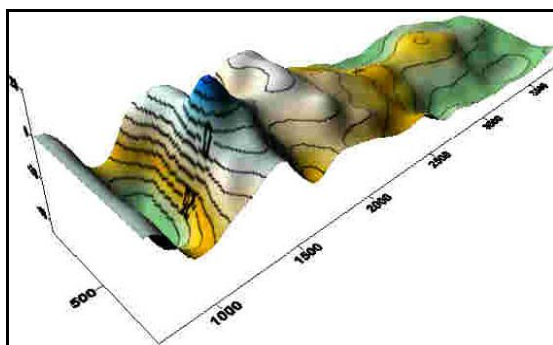


شکل ۱۵- پروفیل بستر کانال با ارتفاع ۳ سانتی متری انتهای کانال و زبری

Figure 15 - Channel bed profile due to both raising channel bed level by 3 cm and bed roughness increasing

در مرحله سوم (افزایش ۶ سانتی متر در ارتفاع پایین دست کانال)، گرچه رفت و آمد نوسانی پرش هیدرولیکی همچنان ادامه دارد اما مقداری از پرش نوسانی در داخل حوضچه مستغرق می‌گردد.

میزان عمق چاله آبشستگی در این حالت ۲۵ میلی متر را نشان می دهد. نشان دهنده تاثیر بیشتر کاهش عمق آبشستگی نسبت به شرایط پیشین (ارتفاع ۳ سانتی متری) بوده است. شکل ۱۶، پروفیل بستر کانال را با افزایش ارتفاع ۶ سانتی متر نشان می دهد. گرچه آبشستگی در این روش کاملاً کنترل نشده است اما آبشستگی نسبت به آزمایش مبنا ۸۱ درصد کاهش را نشان می دهد. این عدد

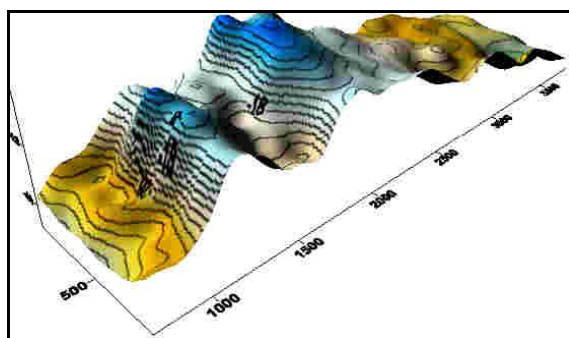


شکل ۱۶- پروفیل بستر کانال با افزایش ارتفاع ۶ سانتی متری

Figure 16 - Channel bed profile due to raising channel bed level by 6 cm

در مرحله چهارم (افزایش ارتفاع ۹ سانتی متر پایین دست کانال)، شرایط آبشستگی بستر به علت مستغرق شدن کامل پرش با مراحل پیش متفاوت است. افزایش پایاب موجب برگشت جریان آب می شود. در نتیجه، پرش هیدرولیکی درون حوضچه آرامش تشکیل و مستغرق می شود. در این شرایط، انرژی به شدت مستهلک می شود و در نتیجه آبشستگی در پایاب حوضچه آرامش به

صفر می رسد. گرچه در قسمت های پایین تر آبشستگی جزئی اتفاق می افتد، اما با توجه به فاصله آن از پایاب برای سازه مشکی ایجاد نمی کند. شکل ۱۷، پروفیل بستر کانال را با افزایش ارتفاع ۹ سانتی متر نشان می دهد. همچنین آزمایش در شرایط مختلف افزایش ارتفاع پایاب در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۷- پروفیل بستر کانال با افزایش ارتفاع ۹ سانتی متر

Figure 17 - Channel bed profile due to channel bed level raising by 9

جدول ۱- شرایط آزمایش در مراحل مختلف افزایش ارتفاع پایاب

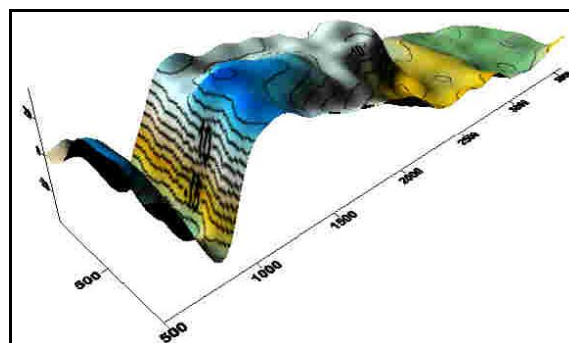
Table 1- Test conditions in different stages of channel bed level raising

حد اکثر عمق آبشستگی (میلی متر) Maximum scour depth (mm)	ارتفاع سطح آب (میلی متر) Water depth of water surface elevation(mm)	شرایط آزمایش Test conditions
-65	55	ارتفاع ثابت انتهای کانال Fixed height of channel end
-58	68	ارتفاع کانال ۳ سانتی متر بالاتر آمده است The height of the canal is 3 cm higher
-25	65	ارتفاع کانال ۶ سانتی متر بالا تر آمده است The height of the canal is 6 cm higher
0	120	ارتفاع کانال ۹ سانتی متر بالا تر آمده است The height of the canal is 9 cm higher

حجمی از آب به داخل مخزن بر می گردد و حجمی دیگر پس از تلفات از روی بلوک انتهایی عبور می کند و در کانال جریان می یابد. برای بررسی تاثیر ایجاد بلوک انتهایی، چهار مرحله اجرا شده است. در مرحله اول، میزان آبشستگی ایجاد شده در شرایط فوق الذکر ۵۰ میلی متر بوده است. مقایسه آبشستگی ایجاد شده با آبشستگی در شرایط مبنا (۱۳۰ میلی متر)، ۶۱/۵ درصد کاهش را نشان می دهد. شکل ۱۸، پروفیل بستر را در شرایطی نشان می دهد که ارتفاع و زبری بستر ثابت بوده است.

تعبیه بلوک انتهایی حوضچه آرامش به ارتفاع ۳ سانتی متر

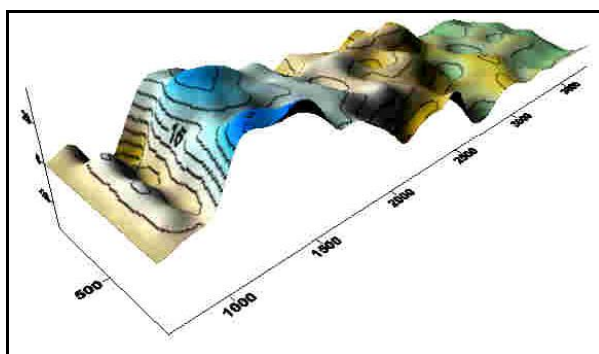
تعبیه بلوک انتهایی برای حوضچه آرامش باعث کاهش آبشستگی می شود. علت این موضوع مستغرق شدن حجم زیادی از جریان آب درون حوضچه است. جریان آب درون حوضچه آرامش حرکت می کند و پس از برخورد به بلوک انتهایی آن، برگشت جریان آب رخ می دهد و جریان چرخشی ایجاد می کند. برخورد جریان آب به این مانع موجب استهلاک زیادی از انرژی آن می شود،



شکل ۱۸- پروفیل بستر در شرایطی که ارتفاع و زبری بستر تغییری نکند

Figure 18- Bed profile in conditions of no change in bed level and bed roughness

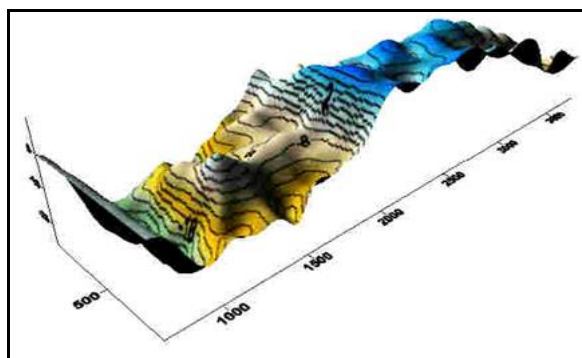
در مرحله دوم (افزایش ۳ سانتی متر در ارتفاع پایاب بستر، در صورتی که زبری تغییر نیابد)، میزان آبشستگی نسبت به حالت قبل ۱۵ میلی متر کمتر شده است و نسبت به آزمایش مبنا ۷۳ درصد کاهش را نشان می دهد. شکل ۱۹، پروفیل بستر را در شرایطی نشان می دهد که زبری ثابت و ارتفاع ۳ سانتی متر افزایش یافته است.



شکل ۱۹- پروفیل بستر در شرایطی که زبری ثابت و ارتفاع ۳ سانتی متر افزایش یابد

Figure 19- Bed profile in conditions of initial bed roughness and bed level raising by 3 cm

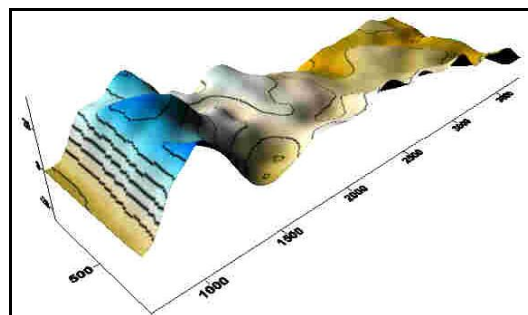
در مرحله سوم (افزایش قطر مصالح پایاب حوضچه آرامش به ۲ تا ۳ سانتی متر)، میزان آبشستگی ۲۵ میلی متر است که نسبت به سطح آزمایش مبنا ۸۱ درصد کاهش می دهد. شکل ۲۰، پروفیل بستر را در شرایطی نشان می دهد که از مصالح درشت دانه همکف بستر استفاده شود.



شکل ۲۰- پروفیل بستر (مصالح درشت دانه همکف بستر)

Figure 20 - Bed profile (in case of coarse-grained sediment on channel bed)

در مرحله چهارم (مصالح با قطر ۲ تا ۳ سانتی متر در ارتفاع ۳ سانتی متر در ادامه سرریز قرار گرفت)، استهلاك انرژی زیاد می شود و در نتیجه نه تنها آبشستگی ایجاد نمی شود بلکه تلماسه به ارتفاع ۳۰ سانتی متر تشکیل می گردد. شکل ۲۱، پروفیل بستر را در شرایطی نشان می دهد که از مصالح درشت دانه در بستر استفاده شده و ارتفاع نیز افزایش یافت است. جدول ۲ نیز شرایط آزمایش را برای بلوک انتهایی ۳ سانتی متری نشان می دهد.



شکل ۲۱- پروفیل بستر (زبری و ارتفاع افزایش می یابد)

Figure 21 - Bed profile (raising bed level and increasing bed roughness)

جدول ۲- شرایط آزمایش در مراحل مختلف برای بلوک انتهایی ۳ سانتی متری

Table 2 - Test conditions in different stages for the 3 cm height of end sill

حداکثر عمق آبشستگی (میلی متر) Maximum scour depth (mm)	ارتفاع سطح آب (میلی متر) Water depth of water surface elevation (mm)	شرایط آزمایش Test conditions
-50	52	ارتفاع و نوع مصالح بستر ثابت no change in bed level and bed roughness
-35	60	ارتفاع بستر ۳ سانتی متر بالاتر آمده و نوع مصالح بستر تغییری نکرد raising bed level by 3 cm and no change in bed roughness
-25	60	ارتفاع ثابت و مصالح درشت دانه شود no change in bed level and increasing bed roughness
+30	60	ارتفاع بستر ۳ سانتی متر افزایش یافته و مصالح درشت دانه شود raising bed level by 3 cm as well as increasing bed roughness

نتیجه گیری

این موج کمتر می شود. افزایش ارتفاع پایاب حوضچه آرامش به ارتفاع ۹ سانتی متر موجب قطع آبشستگی در پایاب حوضچه آرامش می شود و موج نوسانی نیز ایجاد نمی گردد. تعبیه بلوک انتهایی موجب جریان چرخشی درون حوضچه آرامش می شود و برخورد جریان آب به بلوک انتهایی حوضچه و برگشت آب سبب استهلاک انرژی می شود و در نتیجه آبشستگی پایاب را کم می کند. در صورتی که در پایین دست حوضچه آرامش علاوه بر تعبیه بلوک انتهایی از مصالح درشت دانه برای زبری بستر استفاده شود، آبشستگی صورت نمی گیرد.

وجود بلوک انتهایی در انتهای حوضچه آرامش و بالا آوردن انتهای کانال، موجب پرش هیدرولیکی مستغرق در داخل حوضچه آرامش می شود. پرش مستغرق ایجاد شده سبب کاهش جریان آب و در نتیجه موجب کاهش آبشستگی می شود. نتایج بررسی ها نشان می دهد که با افزایش ارتفاع پایاب بستر به همراه افزایش زبری، از حجم فرسایش کاسته خواهد شد. با این همه، تا افزایش ارتفاع به ۶ سانتی متر، آبشستگی همچنان ادامه دارد. در این شرایط موج نوسانی در پایاب صورت می گیرد و هرچه عمق آب بیشتر شود طول

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد درصد استغراق در روش تعبیه بلوک انتهایی حوضچه آرامش در انتهای حوضچه آرامش نسبت به افزایش ارتفاع پایاب بیشتر است و در نتیجه ضمن اقتصادی بودن عملکرد بهتری را در کاهش آبشستگی از خود نشان می‌دهد.

اگر به همراه افزایش بلوک انتهایی حوضچه آرامش یا افزایش ارتفاع پایاب از مصالح درشت‌دانه برای افزایش زبری بستر استفاده شود، میزان استهلاک انرژی به علت کمک در افزایش اصطکاک در بستر، موجب کاهش میزان آبشستگی خواهد شد.

از نتایج این روش آزمایشگاهی می‌توان در طبیعت بهره جست. همچنین، از آنجا که کفبند و بلوک‌های انتهایی در بعضی سازه‌های آبی احداث شده‌اند، می‌توان با مقایسه بین شرایط آزمایشگاهی و طبیعت در تحقیقات بعدی به نتایج مناسبی رسید.

نتایج آزمایش نشان می‌دهد چنانچه از بلوک انتهایی به ارتفاع ۳ سانتی‌متر (۶۰ سانتی‌متر در طبیعت) به همراه افزایش زبری بستر به اندازه ۲ تا ۳ سانتی‌متر (۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر در طبیعت) استفاده شود، آبشستگی ایجاد نخواهد شد.

برای حالت افزایش عمق پایاب نیز در صورتی که عمق پایاب به میزان ۹ سانتی‌متر (۱/۵ برابر عمق پایاب اولیه) افزایش یابد، هیچ آبشستگی ایجاد نمی‌شود. این مقدار حدود ۱/۸ متر در طبیعت است.

مراجع

- Abbasi, A., A., (2015), *Field study of the effect of appropriate choice of slope limit in reducing the cost of construction of breeding dams*, Journal of Watershed Engineering and Management, 7,(1), 109-115. (in Persian)
- Alipour, M, H Ghahari, Gh, R, & Mesbah, S, M, (2019), *Stability analysis of stone-mortar dams of Shiraz Cleist watershed*. Journal of Watershed Management Research, 32(2), 95-110.
- Anon. (2005). Standard publication: No. 34, *Publications of the Management and Planning Organization of the country*, Field Methods for Measurment of Rivers and Dam Reserviors Sediment
- Anon. (2011). Standard publication: No. 549, *Vice President for Strategic Planning and Supervision*, Guideline for Estimation of Local Scour
- Dilrooban, Y., Imasalan, K., Sujana, K. and Pathirana, K.P.P. (2014). Effect of Bed Roughness on Submerged Hydraulic Jumps. *Engineer*, XLVII(4), 33-39
- Ead, S. A., & Rajaratnam, N. (2002). Plane turbulent wall jets in shallow tailwater. *Journal of engineering mechanics*, 128(2), 143-155.
- Grass, A. J., (1970), *The initial instability of fine sand*. Proc. ASCE. 96(3):619- 632.
- Hong, S. H., Kim, S. J., Sturm, T., & Stoesser, T., 2010, *Effect of low tailwater during drought on scour conditions downstream of an ogee spillway*, River flow, (2014) 1193-1199
- hydraulic jump downstream of sluice gates". In *Proceeding of 9th Iranian Hydraulics Conference, Tehran, Iran*. (in Persian)
- Kells, J.A., Balachandar, R., & Hagel, K.P., 2001, *Effect of grain size on local channel scour below a sluice gate*, *Canadianan Jornal of Civil Engineering*, 28, (3) 440- 451

- Kouchak, P., Shafaei Bajestan, M., (2012), *Investigation of changes in the length of downstream scouring of rough horizontal floor dam*, 9th International Seminar on River Engineering, February 24, 2013, Shahid Chamran University, Ahvaz. Iran. (in Persian)
- Lenzi, M.A. and F. Comiti, 2003. Local scouring and morphological adjustments in steep channels with check-dam sequences, *Geomorphology*, 55(1-4): 97-109
- Long, D., P. Steffler and N. Rajaratnam 1990 LDA study of flow structure in submerged hydraulic jump, *Journal of Hydraulic Research* 28(4): 437-460.
- Moradi, A., Parish, Y., (2011), Evaluation of scouring phenomenon in the downstream of overflows and strategies to rehabilitate and reduce scouring, Fourth National Conference on Rehabilitation and Preservation of Permanent Buildings, 15, to 16 October, Islamic Azad University, Khomein Branch, Khomein. Iran. (in Persian)
- Nasrabadi, M., Omid, M.H. & Farhoudi, J. (2010). "Comparative study of free and submerged
- Omidi, P., Shafaei Bajestan, M., Shokrian, Manouchehr., (2014), *The effect of jump position on the overflow on the topography of the downstream bed of the type 1 tranquility pond*, 15th Civil Students Conference, September 11-13, Urmia University, Urmia. Iran. (in Persian)
- Omidi, S., Shafaei Bajestan, M., (2014), *Downstream scouring depth of type 1 pond in free and submerged jump conditions*, 13th Iranian Hydraulic Conference, November 12, University of Tabriz, Tabriz. Iran. (in Persian)
- Subhasish, D. and Bernhard, W. (2003). Hydraulics of Submerged Jet Subject to Change in Cohesive bed Geometry. *Journal of Hydraulic Engineering*, 129, 44 - 53.
- Valizadegan, A. & Farhoudi, J., (2002), Control of scouring downstream of calm ponds using stone cutting, Sixth International Seminar on River Engineering, 8 to 10 February, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz. Iran. (in Persian)
- Yalin M. S. (1971). *Theory of Hydraulic Models*, New York, MacMillan
- YÜKSEL, Y., Günel, M., Bostan, T., Çevik, E., and Çelikoğlu, Y. 2004. The Influence of Impinging Jets on Hydraulic Jumps. *Process of the Institution of Civil Engineering, Water Management*. 157: WM2. 63-76.
- Zare Bidaki, & R., Ghanbari, A., (2015), *Evaluation of group efficiency of breeding dams using hierarchical analysis process*, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 9(28), 1-10. (in Persian)

Laboratory Study of the Effect of Submersible Jumping in Reducing Scouring Downstream of Stilling Basin (Case study: masonry Check Dam of Ziarat)

M. Meftah Halaghi, M. A. Solbi, A. A. Dehghani and A. Zahiri

* Corresponding Author: Associated professor, Water Eng. Department of water and soil Eng., Gorgan university of agricultural science and natural resources, Gorgan, Iran. Email: meftah@gau.ac.ir

Received: 23 August 2021, Accepted: 3 October 2021

Abstract

Introduction

Masonry check dams are small structures that are built to reduce the slope of the canal, reduce the flow velocity as well as control bed erosion. The distinguishing feature of Masonary check dam and other similar structures is the presence of pipes in the body of check dams. This adds to the complexity of the hydraulic conditions of these structures. As the flow overflows through the Masonry check dams, only some of the kinetic energy of the flow is dissipated in the stilling basin and the excess kinetic energy is occurred downstream of the structure. This situation can cause erosion of the riverbed downstream of the structure. Various methods are designed and implemented to control this excess energy. These methods include changing the height of the bottom bed, roughening the bed and creating a protrusion at the end of the stilling basin in order to create a submerged hydraulic jump into the stilling basin. Due to the fact that the stilling basin used in the main structure is USBR type 1 and in this type of basins, no baffles or end sills are used to dissipate the flow kinetic energy, embedding a sill at the end of the stilling basin is one of the innovations of this research. Also, using a physical model of mortar stone dams has not been reported anywhere and hence, this is also one of the innovations of this research. Therefore, using the physical model of "Tol Beneh" mortar rock dam can help to better understand the impact of scour reduction methods in the main structure constructed on the Gorgan Ziarat River and similar structures

Materials and Methods

in order to identify scour in Masonary check dam and its control methods, a physical model with a scale of 1:20 was developed. The flow rate in all tests was 25 l/s At first First, experiments were performed to determine the amount of scouring at the stilling basin. The results of these experiments were used to compare with the remaining test conditions. In the second series of experiments, to create a rough bed, the 54 cm long distance (equal to the length of the stilling basin) was covered with materials with a median diameter of 2.5 cm. three heights of 3, 6 and 9cm were used to model the increase of bed elevation (third series experiments). In the fourth series of experiments, to create a sill at the end of the stilling basin, a plastic blade (blocks)3 cm high was used in four stages. In the first stage, only a 3 cm sill was installed at the end of the stilling basin. In the second stage, the height of the bed bottom increased by 3 cm. It should be noted that the average diameter of bed particles in these two methods was 4.5 mm. In the third stage, the roughness thickness of the bed materials increased to an average diameter of 2.5 m without increasing the bed height. In the fourth stage, in addition to increasing the roughness of the bed material, the height of the bed also increased by 3 cm .

Results and Discussion

In the stilling basin model, the scour depth was 130 mm without any obstacles. In other words, this magnitude represents a scour of 2.60 meter in the prototype. The presence of the end edge at the end of the stilling basin as well as raising the end of the channel causes a submerged hydraulic jump and consequently reduces scouring. If it is used in combination

with these two methods, the effect will be greater. The results show that the presence of the end edge at the end of the calm pool shows a greater scouring reduction than increasing the height of the bottom,

The results of these methods, which have been performed in the laboratory, can be used in the field. Also, since the apron and end blocks have been constructed in some water structures, suitable and proper results can be obtained by comparing the experimental and field conditions in future researches. Experimental results show that if the end block with a height of 3 cm (60 cm in the field) is used along with an increase of 2-3 cm in bed roughness height (40-60 cm in the field), no scouring will occur. For the case of increasing the tailwater depth, if this parameter increases by 9 cm (equivalent to 1.5 times the initial tailwater depth), no scouring will occur. This value is nearly equivalent to 1.8 meters in the field.

Keywords: Scouring, Tailwater submergence, Masonry check dam, stilling basin

نوع مقاله: علمی - پژوهشی

مطالعه آزمایشگاهی ضریب شزی در آبراهه‌های با شکل بستر

مصطفی حیدری^۱، محمد بهرامی یاراحمدی^{۲*} و محمود شفاعی بجستان^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: کارشناس ارشد مهندسی عمران-آب و سازه‌های هیدرولیکی؛ استادیار؛ و استاد گروه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۱۰

چکیده

تعیین شرایط هیدرولیکی جریان در کانال‌های با بستر رسوبی مستلزم داشتن اطلاع دقیق از مقاومت جریان و ضریب شزی است که برخلاف کانال‌های صلب، علاوه بر اندازه زبری، به شکل بستر نیز بستگی دارد. بررسی میزان تاثیر اندازه ذرات بر مقاومت ناشی از شکل بستر هدف این مطالعه است. شکل‌های بستر به صورت مصنوعی ساخته شدند و دو اندازه رسوبات (۵۱/۰ و ۱۸/۲ میلی‌متر) بر سطح آنها چسبانده شد. آزمایش‌ها تحت تاثیر شیب‌های مختلف و شرایط هیدرولیکی متفاوتی در یک فلووم مستقیم آزمایشگاهی به طول ۱۲ متر اجرا شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که به طور کلی با افزایش شیب بستر و اندازه ذرات، مقاومت در مقابل جریان افزایش می‌یابد یا ضریب شزی مربوط به ذره (C_b)، ضریب شزی مربوط به شکل بستر (C_b'') و ضریب شزی کل (C_b) کاهش می‌یابند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که ضریب شزی مربوط به ذره (C_b) برای ذرات با اندازه‌های ۵۱/۰ و ۱۸/۲ میلی‌متر به طور متوسط به ترتیب ۹۸ و ۹۳ درصد بیش از ضریب شزی کل (C_b) و ۷۱ و ۶۵ درصد بیش از ضریب شزی مربوط به شکل بستر (C_b'') است. علاوه بر این، ضریب شزی مربوط به شکل بستر (C_b'') برای ذرات با اندازه‌های ۵۱/۰ و ۱۸/۲ میلی‌متر به طور متوسط به ترتیب ۱۶ و ۱۷ درصد بیش از ضریب شزی کل (C_b) است.

واژه‌های کلیدی

تلماسه، شکل بستر، شکنج، ضریب شزی، مقاومت جریان

مقدمه

هیدرولیکی و رسوبی موثر است (Bahrami

Yarahmadi & Shafai Bejestan, 2011).

عوامل مختلفی بر ضریب‌های مقاومت جریان موثر هستند که باید به طور دقیق شناسایی و ارزیابی شوند. این عوامل عبارت‌اند از: زبری سطح بستر و بدنه، پوشش گیاهی، نامنظم بودن سطح مقطع آبراهه، نامنظمی مسیر آبراهه، آبشستگی و رسوبگذاری، وجود مانع در مسیر جریان، بار معلق و بار بستر، و شکل بستر (Bahrami Yarahmadi &

برای محاسبه پارامترهای هیدرولیکی و رسوبی در مجاری باز، برآورد مقاومت جریان امری است مهم و ضروری که برای این منظور از روابط مانینگ، شزی و دارسی-وایسباخ استفاده می‌شود. در این روابط ضریب‌هایی مانند ضریب زبری مانینگ، ضریب شزی و ضریب دارسی-وایسباخ وجود دارند که به ضریب‌های مقاومت جریان معروف‌اند. تخمین صحیح و دقیق این ضریب‌ها در تخمین دقیق پارامترهای

فرسایش، ابتدا روند افزایشی و پس از آن کاهش و سپس افزایشی دارد. امید و همکاران (Omid et al., 2010) با بررسی اثر حرکت بار بستر بر مقاومت در برابر جریان در کانال‌های با شکل بستر تلماسه مصنوعی نشان دادند که انتقال رسوبات با اندازه متوسط ۰/۵ میلی‌متر، ضریب اصطکاک را برای شکل‌های تلماسه صاف و زبر به ترتیب ۲۲ و ۲۴ درصد کاهش می‌دهد در صورتی که انتقال رسوبات با اندازه متوسط ۲/۸۴ میلی‌متر ضریب اصطکاک را برای شکل‌های تلماسه صاف و زبر به ترتیب ۳۲ و ۳۹ درصد کاهش می‌دهد. نصیری دهسرخ و همکاران (Nasiri Dehsorkhi et al., 2011) به بررسی تأثیر شکل‌های بستر و سواحل با پوشش گیاهی (ساقه‌های برنج) بر توزیع سرعت و ساختار جریان متلاطم پرداختند. نتایج تحقیقات این پژوهشگران نشان داد که با کاهش فاصله از دیوار با پوشش گیاهی، حداکثر سرعت در فاصله دورتر از سطح آب اتفاق می‌افتد، توزیع تنش رینولدزی بستگی به فاصله از دیوار دارد، و به طور کلی با کاهش فاصله از دیوار تنش رینولدزی کمتر می‌شود. چگنی و پندر (Chegini & Pender, 2012) با بررسی آزمایشگاهی بار بستر ریزدانه و شکل‌های بستر مربوط به آن در شرایط جریان یکنواخت نشان دادند که بار بستر و شکل‌های تشکیل شده مرتبط با آن، با افزایش شیب بستر و نسبت عمق آب به اندازه ذرات رسوبی، تغییر می‌کنند؛ و مقدار پارامتر بار بستر و شدت انتقال، با افزایش اندازه ذرات رسوب کاهش می‌یابد. کبیری و همکاران (Kabiri et al., 2014) با بررسی جریان روی تلماسه‌های شنی نشان دادند که زبری سطح تلماسه نقش مهمی در توزیع سرعت ناحیه نزدیک بستر دارد ($Z/H < 0.3$) که در آن Z ارتفاع تلماسه و H عمق جریان است، اما هیچ

Shafai Bejestan, 2010). تاکنون مطالعات زیادی در مورد اثر عوامل مختلف بر ضریب زبری مانینگ و ضریب دارسی-ویسباخ صورت گرفته است اما تحقیقات در باره ضریب شزی اندک بوده است. علاوه بر این، تحقیقات در خصوص اثر شکل بستر بر ضریب‌های مقاومت جریان قابل توجه نیست.

رانگا راجو و سونی (Ranga-Raju & Soni, 1976) به پیش‌بینی هندسه شکنج‌ها و تلماسه‌ها در آبراهه‌ها و اثر آنها بر زبری هیدرولیکی پرداختند. آنها گزارش داده‌اند که خصوصیات هندسی شکل‌های بستر تأثیر معنی داری بر زبری هیدرولیکی دارد. کرباسی (Karbasi, 2005) اثر حرکت بار بستر بر مقاومت هیدرولیکی جریان در آبراهه‌های با شکل بستر را بررسی کرد و نشان داد که حرکت بار بستر با رسوبات به قطر ۰/۵ میلی‌متر باعث کاهش ۲۲ و ۲۴ درصد در مقاومت هیدرولیکی جریان به ترتیب در کانال‌های صاف و زبر می‌شود. طالب بیدختی و همکاران (Talebeydokhti et al., 2006) تأثیر هندسه تلماسه‌ها را بر ضریب مقاومت در برابر جریان در یک کانال با بستر ماسه‌ای (تحت شرایط هیدرولیکی و رسوبی مختلف) بررسی کردند و نشان دادند که اثر مقاومت ناشی از شکل بستر ناچیز نیست به گونه‌ای که مقاومت ناشی از شکل بستر تلماسه حدود ۲۵ تا ۵۵ درصد از مقاومت کل را شامل می‌شود. اسماعیلی و همکاران (Esmaili et al., 2009) با بررسی تأثیر شکل بستر تلماسه بر ضریب زبری در جریان غیرماندگار نشان دادند که جریان ورودی فرسایش قابل توجهی در ابتدای زمانی جریان و ابتدای مکانی بستر به وجود می‌آورد و سبب تغییر شکل بستر و افزایش زبری و بیشتر شدن مقاومت بستر در برابر جریان می‌شود. تغییر ضریب زبری مانینگ با گذشت زمان بر اساس شرایط

پوشش گیاهی دیوار (خومه) بر پارامترهای جریان آشفته پرداختند و نشان دادند که در تلماسه‌های با تاج مسطح، بر خلاف تلماسه‌های با تاج تیز، در هر دو حالت بود یا نبود پوشش گیاهی، پارامتر سرعت بعد از تاج مسطح مقادیر منفی به خود نمی‌گیرد و نیز اینکه تنش‌های رینولدز در حالت وجود نسبت به حالت نبود پوشش گیاهی بیشتر است که این موضوع را می‌توان به افزایش مقاومت جریان در حضور پوشش گیاهی نسبت داد. روشنی و همکاران (Roshani et al., 2017) تأثیر تبدیل کاهش دهنده عرض بر ارتفاع شکل بستر شکنج را در شرایط هیدرولیکی مختلف بررسی کردند و نشان دادند که کاهش عرض کانال به کمک تبدیل‌ها نقش مؤثری بر ارتفاع شکنج‌ها دارد و می‌توان تا حد زیادی به کمک تغییر در زوایای تبدیل‌ها، حرکات رسوبات به پایین دست را کنترل کرد. این پژوهشگران همچنین گزارش دادند که به کمک این نوع تبدیل‌ها، انتقال رسوبات حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد کم می‌شود زیرا این تبدیل‌ها مانند مانعی در حرکت رسوبات عمل می‌کنند. دقیق و همکاران (Daghigh et al., 2017) با بررسی تشکیل و توسعه شکنج‌های رسوبی تحت امواج نشان دادند که با افزایش ارتفاع و پریود موج، ارتفاع و طول موج رپل‌ها افزایش می‌یابد.

تاکنون در هیچ تحقیقی اثر شکل‌های بستر با اندازه رسوبات مختلف بر ضریب شزی بررسی نشده است به همین علت تحقیق حاضر با این هدف صورت گرفت. در این راستا شکل‌های بستر به صورت مصنوعی ساخته شدند و از رسوبات با اندازه‌های مختلف برای زبر کردن سطح آنها استفاده شد. آزمایش‌های این تحقیق در دبی‌ها و شیب‌های

تأثیری در توزیع سرعت در ناحیه جریان بیرونی ($Z/H > 0.3$) ندارد. این محققان همچنین گزارش دادند با افزایش زبری سطح تلماسه‌های شنی، مقادیر حداکثر تنش‌های برشی رینولدز روی نواحی فرورفتگی، تاج و وجه بالادست افزایش می‌یابد. صمدی بروجنی و همکاران (Samadi-Boroujeni et al., 2014) اثر دو نوع شکنج (موازی و پولکی) را بر ضریب زبری مانینگ بررسی کردند و نشان دادند که زبری شکل بستر شکنج در حالت موازی نزدیک به ۴۷ درصد و در حالت پولکی حدود ۴۳ درصد از زبری کل را تشکیل می‌دهد و نیز اینکه ضریب مانینگ در دو شکل مختلف موازی و پولکی شکنج‌ها، اختلاف معنی‌دار دارند و ضریب زبری مانینگ در شکل موازی نسبت به پولکی ۱۲/۳ درصد بیشتر است. کول و همکاران (Kwoll et al., 2016) با بررسی ساختار و مقاومت در برابر جریان روی تلماسه‌ها نشان دادند که مقاومت در برابر جریان با کاهش شیب تلماسه کاهش می‌یابد؛ همچنین بر تلماسه‌های با شیب‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه تنش برشی به ترتیب ۸، ۳۳ و ۹۰ درصد کمتر است از بستر بدون شکل. قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2016) با بررسی توزیع سرعت و شدت آشفتگی در حضور تلماسه و پوشش گیاهی (ساقه برنج) در یک کانال مستطیلی روباز گزارش دادند که افزایش ارتفاع تاج تلماسه از ۴ به ۸ سانتی‌متر، ناحیه جدایی جریان را از نزدیکی تاج تلماسه با ارتفاع ۴ سانتی‌متر به نزدیکی بخش فرورفته انتقال می‌دهد، و نیز اینکه با افزایش ارتفاع تاج تلماسه مقدار بیشینه تنش در فاصله دورتری از بستر اتفاق می‌افتد. داورپناه جزی و همکاران (Davaranah-Jazi et al., 2016) به بررسی اثر شکل‌های بستر شنی با تاج مسطح و

مختلف بستر اجرا شد.

حذف می‌شوند ($\theta=32^\circ$, $\alpha=16.4^\circ$, $\lambda/\Delta=5$). بنابراین پارامترهای بی‌بعد موثر بر بسترهای با شکل به قرار زیر است:

$$f\left(\frac{R}{\Delta}, S, Fr\right) = 0 \quad (3)$$

بدین ترتیب در بسترهای با شکل، مقادیر ضریب شزی کل (C_b) و ضریب شزی مربوط به شکل بستر (C_b'') تابعی از استغراق نسبی ($\frac{R}{\Delta}$)، عدد فرود جریان (Fr) و شیب بستر (S) هستند.

برای بسترهای بدون شکل نیز متغیرهای موثر در نظر گرفته شد و با استفاده از تئوری π باکینگهام، پارامترهای بی‌بعد استخراج گردید. پس از حذف پارامترهای ثابت، در نهایت پارامترهای بی‌بعد موثر بر بسترهای بدون شکل بستر به صورت زیر حاصل شدند:

$$f\left(\frac{R'}{d_{50}}, S, Fr\right) = 0 \quad (4)$$

بنابراین، در بسترهای بدون شکل بستر، مقادیر ضریب شزی مربوط به ذره (C_b') تابعی از استغراق نسبی ($\frac{R'}{\Delta}$)، عدد فرود جریان (Fr) و شیب بستر (S) است.

تجهیزات آزمایشگاهی و روش اجرای آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در یک فلوم مستقیم به طول ۱۲ متر و عرض ۳۰ سانتی‌متر و در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. این فلوم شیب‌پذیر است و دیوارهای شیشه‌ای دارد. در شکل ۱ (ب) پلان فلوم آزمایشگاهی به صورت شماتیک رسم شده است. دبی جریان با یک شیر فلکه تنظیم می‌شود که روی لوله

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی

متغیرهای مؤثر بر بستر با شکل به شرح زیر

است:

$$f(V, y, g, \rho_w, \mu, \rho_s, d_{50}, B, S, \lambda, \Delta, \alpha, \theta) = 0 \quad (1)$$

که در آن،

V = سرعت متوسط جریان، y عمق متوسط جریان؛
 g = شتاب ثقل؛ ρ_w = جرم مخصوص آب؛ μ = لزجت
 دینامیکی آب؛ ρ_s = جرم مخصوص ذرات رسوب؛ d_{50} =
 قطر متوسط ذرات رسوب؛ B = عرض مجرا؛
 S = شیب بستر؛ λ = طول شکل بستر؛ Δ = ارتفاع
 شکل بستر؛ α = زاویه وجه بالادست شکل بستر
 نسبت به افق؛ و θ = زاویه وجه پایین دست شکل
 بستر نسبت به افق.

با استفاده از تئوری π باکینگهام، پارامترهای بی‌بعد زیر استخراج گردید:

$$f\left(\frac{R}{\Delta}, \frac{\lambda}{\Delta}, \alpha, \theta, S, Fr, Re, G_s\right) = 0 \quad (2)$$

که در آن،

R/Δ = پارامتر استغراق نسبی؛ λ/Δ = نسبت طول به ارتفاع شکل بستر؛ Fr = عدد فرود جریان؛ Re = عدد رینولدز جریان و G_s = چگالی نسبی ذرات رسوب که برابر ۲/۶۵ است.

با توجه به متلاطم بودن جریان در تمام آزمایش‌ها، از پارامتر عدد رینولدز جریان صرف‌نظر می‌شود. در این تحقیق، مقادیر پارامترهای λ/Δ و α ثابت بودند از این رو این پارامترها نیز از رابطه فوق

ارتفاع حداکثر ۵ سانتی‌متر دارند. علاوه بر این، مقطع آنها مثلثی شکل با شیب ملایم طولانی در وجه بالادست و شیب تند کوتاه در وجه پایین‌دست است.

زاویه وجه پایین‌دست آنها تقریباً برابر با زاویه ایستایی ذرات رسوبی است (Simons & Richardson, 1966; Shafai Bajestan, 2008). از این رو در این تحقیق طول و ارتفاع هر شکل بستر به‌ترتیب برابر ۲۰ و ۴ سانتی‌متر و زاویه‌های وجه بالادست و پایین‌دست آن نسبت به افق به‌ترتیب برابر ۱۶/۴ و ۳۲ درجه انتخاب شد. پس از ساخت هر شکل بستر، رسوبات مورد نظر ($d_{50}=0.51, 2.18$ mm) با چسب روی آنها چسبانده شد.

برای اجرای آزمایش‌های با شکل بستر، ۳۰ عدد شکل بستر ساخته شد که پشت سر هم و در طولی حدود ۶ متر در کف فلوم چسبانده شدند. فاصله کف پوشیده از شکل، از ابتدای فلوم برابر ۲ متر در نظر گرفته شد. در شکل ۱ (ج) نمای جانبی از بستر با شکل به‌صورت شماتیک رسم شده است.

در این تحقیق، از دبی‌های ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ لیتر بر ثانیه و شیب‌های بستر صفر، ۰/۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۱۵ برای آزمایش‌های با و بدون شکل بستر استفاده شد. در مجموع ۱۰۰ آزمایش اجرا شد.

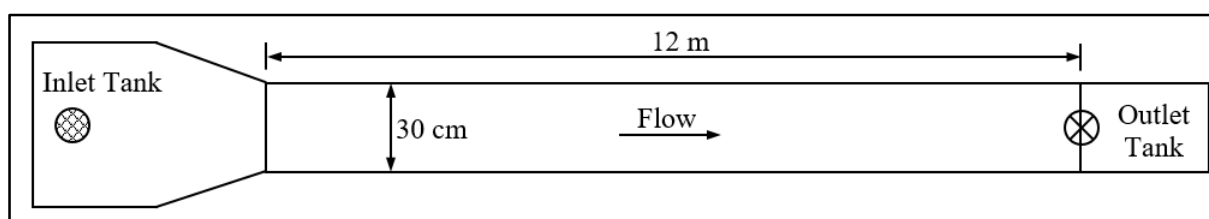
ورودی به فلوم نصب شده است. برای اندازه‌گیری دبی جریان از دبی سنج اولتراسونیک (مدل Digi Sonic E+) استفاده شد. میزان دقت دستگاه به ازای سرعت‌های بزرگ‌تر و مساوی ۰/۵ متر بر ثانیه برابر ± 1 درصد میزان قرائت شده و برای سرعت‌های کوچک‌تر از ۰/۵ متر بر ثانیه معادل ± 0.5 سانتی‌متر بر ثانیه است. برای اندازه‌گیری عمق جریان، از یک عمق سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر استفاده شد.

آزمایش‌های تحقیق حاضر به دو دسته بستر بدون شکل و بستر با شکل تقسیم شدند. در آزمایش‌های بدون شکل، از دو نوع دانه بندی یکنواخت رسوب با اندازه‌های متوسط ۰/۵۱ و ۲/۱۸ میلی‌متر برای زیر کردن بستر استفاده شد. جنس رسوبات از ماسه و چگالی نسبی و انحراف معیار هندسی (σ_g) آنها به ترتیب برابر ۲/۶۵ و ۱/۲۵ بود. بستر فلوم به طول حدود ۶ متر با رسوبات گفته‌شده چسبانده شد. فاصله کف پوشیده از ذرات رسوبی از ابتدای فلوم برابر ۲ متر انتخاب شد.

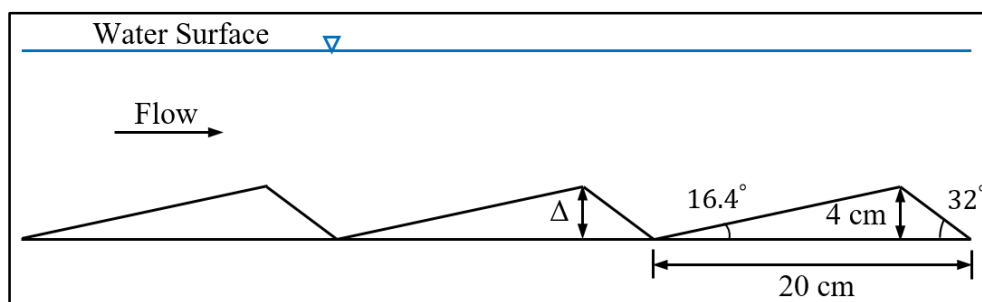
شکل‌های بستر شکنج و تلماسه دارای مقطعی مثلثی شکل با شیب ملایم طولانی در وجه بالادست و شیب تند کوتاه در وجه پایین‌دست هستند (Shafai Bajestan, 2008). بر این اساس، در این تحقیق هر شکل بستر به شکل مثلث و به‌صورت مصنوعی (با ورق P.V.C) ساخته شد. شکل‌های بستر شکنج طول موج کمتر از ۳۰ سانتی‌متر و



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱- الف: تصویری از فلوم آزمایشگاهی، ب: پلان فلوم، ج: نمای جانبی از بستر با شکل

Fig. 1- Experimental setup a: photo of the experimental flume, b: plan view of the flume, b: side view of the bed form

محاسبات

$$h_f = \left(y_1 + \frac{V_1^2}{2g}\right) - \left(y_2 + \frac{V_2^2}{2g}\right) + \Delta Z \quad (5)$$

در رابطه بالا، y_1 و y_2 به ترتیب عمق جریان در مقاطع ۱ و ۲، V_1 و V_2 به ترتیب سرعت متوسط جریان در مقاطع ۱ و ۲ هستند. ΔZ برابر اختلاف رقوم مقاطع ۱ و ۲ نسبت به سطح مبنا دلخواه است که با استفاده از رابطه $\Delta Z = S L$ تعیین گردید (L فاصله مقاطع ۱ و ۲ از یکدیگر و S شیب بستر است). شیب خط انرژی (S_f) ، عدد رینولدز جریان (Re) و

برای پرداختن به محاسبات، دو مقطع ۱ و ۲ در نظر گرفته شد که فاصله آنها از یکدیگر (L) حدود ۲ متر بود. فاصله مقطع ۱ از ابتدای بستر پوشیده از رسوب، ۲ متر بود. با اندازه‌گیری عمق جریان (y) در مقاطع ۱ و ۲ و میانگین‌گیری از آنها، مقادیر سطح مقطع جریان (A)، محیط خیس شده (P)، شعاع هیدرولیکی (R) و سرعت متوسط جریان (V) محاسبه شدند. افت انرژی بین مقاطع ۱ و ۲ با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

مربوط به شکل بستر (C_b'') برآورد شد (Dey, 2014):

$$\frac{1}{C_b^2} = \frac{1}{C_b'^2} + \frac{1}{C_b''^2} \quad (12)$$

نتایج و بحث

در آبراهه‌های دارای شکل بستر، ضریب شزی کل شامل ضریب شزی مربوط به ذره و ضریب شزی مربوط به شکل بستر است. برای تعیین ضریب شزی مربوط به ذره (C_b') که ناشی از اندازه ذرات رسوبی است، از بستر بدون شکل استفاده شد. در شکل ۲، روند تغییرات ضریب شزی مربوط به ذره (C_b') برای آزمایش‌های مختلف نشان داده شده است. محور عمودی شکل، ضریب شزی مربوط به ذره (C_b') و محور افقی آن پارامتر بی‌بعد استغراق نسبی (R' / d_{50}) را نشان می‌دهد. R' شعاع هیدرولیکی مربوط به ذره است که در بستر بدون شکل اندازه‌گیری و محاسبه می‌شود. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش استغراق نسبی، ضریب شزی افزایش پیدا کرده است. طبق رابطه ASCE، ($\frac{C}{\sqrt{8g}} = 2 \log(\frac{12R}{K_S})$)، استغراق نسبی و ضریب شزی با یکدیگر رابطه مستقیم دارند. علاوه بر این، شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزایش شیب بستر، ضریب شزی مربوط به ذره (C_b') کاهش یافته است. محاسبات نشان داد که در بسترهای با ذرات ۰/۵۱ میلی‌متر، مقدار ضریب شزی در شیب‌های ۰/۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۱۵ به‌طور متوسط به‌ترتیب ۳، ۶، ۹ و ۱۱ درصد کمتر از ضریب شزی در شیب صفر است. علاوه بر این، در بسترهای با ذرات ۲/۱۸ میلی‌متر، مقدار ضریب شزی در شیب‌های ۰/۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۱۵ به‌طور متوسط به‌ترتیب ۳، ۶، ۸ و ۱۰ درصد کمتر از ضریب شزی در شیب صفر است.

ضریب اصطکاک دارسی ویسباخ (f) طبق روابط زیر محاسبه شدند.

$$S_f = \frac{h_f}{L} \quad (6)$$

$$R_e = \frac{4VR}{v} \quad (7)$$

$$f = \frac{8RgS_f}{V^2} \quad (8)$$

که در آنها،

V = لزوجت سینماتیک آب؛ و g = شتاب ثقل است ($g=9.81 \text{ m/s}^2$).

در فلوم‌های آزمایشگاهی با دیواره صاف، زمانی که عرض فلوم از ۵ برابر عمق جریان کمتر باشد مقاومت دیواره جانبی با مقاومت بستر متفاوت خواهد بود. ضریب اصطکاک دیواره (f_w) برای فلوم‌های با دیواره صاف را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد (Farhodi & Esmaeili Varaki, 2010):

$$f_w = 0.0026(\log(\frac{R_e}{f}))^2 - 0.0428 \log(\frac{R_e}{f}) + 0.1884 \quad (9)$$

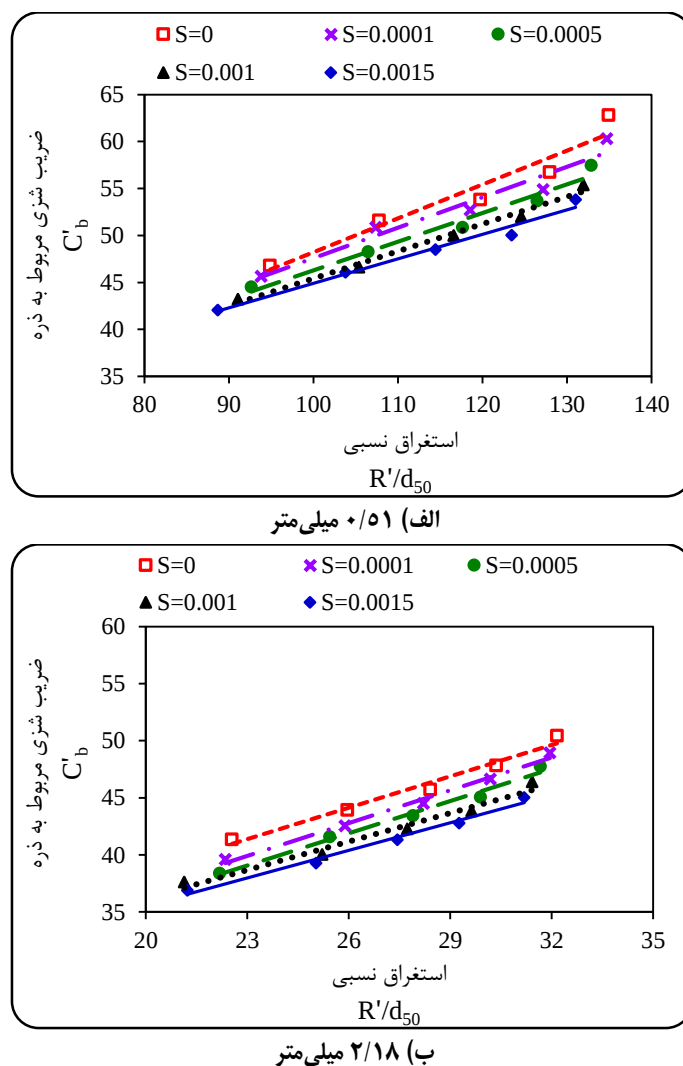
بنابراین، ضریب اصطکاک بستر (f_b) و ضریب شزی بستر (C_b) طبق روابط زیر محاسبه شدند.

$$f_b = f + \frac{2y}{B}(f - f_w) \quad (10)$$

$$C_b = \sqrt{\frac{8g}{f_b}} \quad (11)$$

که در آن B = عرض فلوم.

برای آزمایش‌های بدون شکل بستر، طبق رابطه ۱۱ مقدار ضریب شزی مربوط به اندازه ذره (C_b') محاسبه شد. برای آزمایش‌های با شکل بستر نیز، طبق رابطه ۱۱ مقدار ضریب شزی کل (C_b) محاسبه گردید. سپس با استفاده از رابطه زیر مقدار ضریب شزی



شکل ۲- تغییرات ضریب شزی مربوط به ذره در برابر استغراق نسبی برای آزمایش‌های مختلف

Fig. 2- Variation of grain Chezy coefficient against relative submergence for various experiments

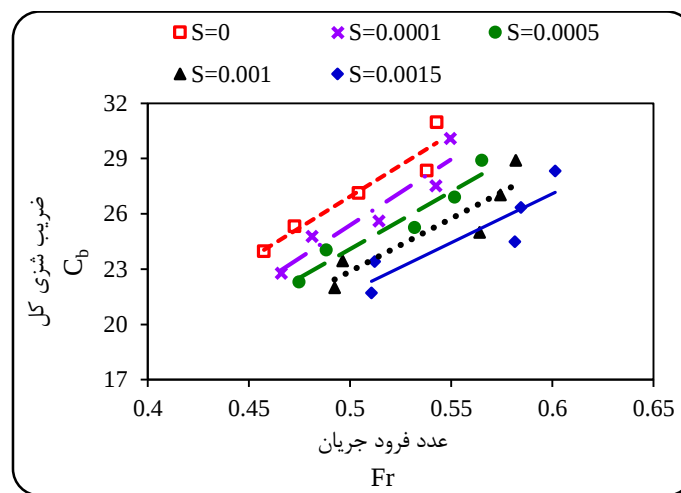
ضریب شزی کل (C_b) در برابر عدد فرود جریان را برای بسترهای با اندازه ذرات مختلف نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود جریان ضریب شزی کل افزایش می‌یابد. علاوه بر این، ضریب شزی کل با ازدیاد شیب بستر همانند ضریب شزی مربوط به ذره دچار کاهش شده است. این نتیجه نشان می‌دهد که روند تغییرات ضریب شزی در برابر شیب بستر برای بسترهای با و بدون شکل یکسان است. یانگ (Yang, 1996) می‌گوید روند تغییرات ضریب‌های زبری مانینگ و دارسی ویسباخ در برابر شیب بستر، در بسترهای پوشیده از

برای تعیین ضریب شزی کل (C_b) و ضریب شزی مربوط به شکل بستر (C_b'')، از بستر با فرم استفاده شد. شکل‌های بستر شکنج و تلماسه در رژیم جریان پایینی، که در آن عدد فرود جریان کوچک‌تر از ۱ است، تشکیل می‌شوند (Shafai Bajestan, 2008; Julien, 2010). در این تحقیق مقادیر عدد فرود جریان در تمام آزمایش‌های مربوط به بستر با فرم در محدوده ۰/۴۳۵ تا ۰/۶ قرار داشت که نشان دهنده رژیم جریان پایین است.

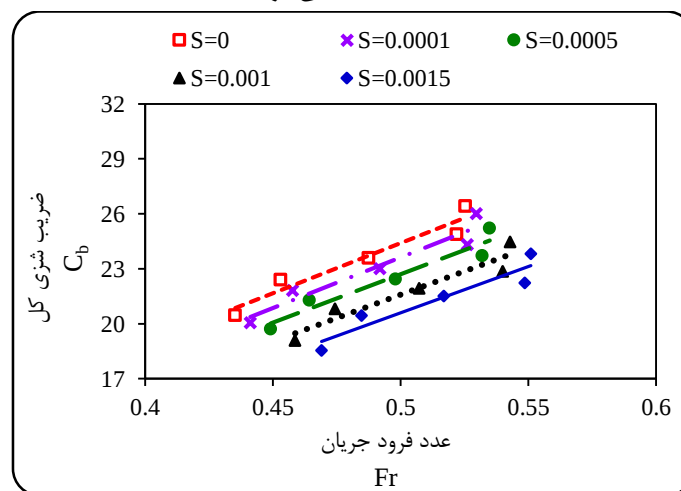
ضریب شزی کل (C_b) ناشی از اندازه ذرات رسوبی و اندازه شکل بستر است. شکل ۳ تغییرات

ذرات ۰/۵۱ میلی‌متر، مقدار C_b در شیب‌های ۰/۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۱۵ به‌طور متوسط به‌ترتیب ۴، ۶، ۷ و ۸ درصد کمتر از مقدار C_b در شیب صفر است. علاوه بر این، در بسترهای با ذرات ۲/۱۸ میلی‌متر، مقدار C_b در شیب‌های ۰/۰۰۰۱، ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۱۵ به‌طور متوسط به‌ترتیب ۲، ۵، ۷ و ۹/۵ درصد کمتر از مقدار C_b در شیب صفر است.

شکنج برعکس بسترهای پوشیده از تلماسه است، به‌گونه‌ای که در یک بستر پوشیده از شکنج با عمق جریان کم، ضرایب زبری مانینگ و دارسی ویسباخ با افزایش شیب افزایش پیدا می‌کنند ولی در یک بستر پوشیده از تلماسه با عمق جریان کم، با افزایش شیب عموماً کاهش می‌یابند. ضریب شزی با ضرایب مانینگ و دارسی ویسباخ رابطه عکس دارند. در تحقیق حاضر محاسبات نشان داد که در بسترهای با



الف) ۰/۵۱ میلی‌متر



ب) ۲/۱۸ میلی‌متر

شکل ۳- تغییرات ضریب شزی کل در برابر عدد فرود جریان برای آزمایش‌های مختلف

Fig. 3- Variation of total Chezy coefficient against Froude number for various experiments

گرفت که عدد فرود جریان و ضریب شزی با یکدیگر رابطه مستقیم دارند.

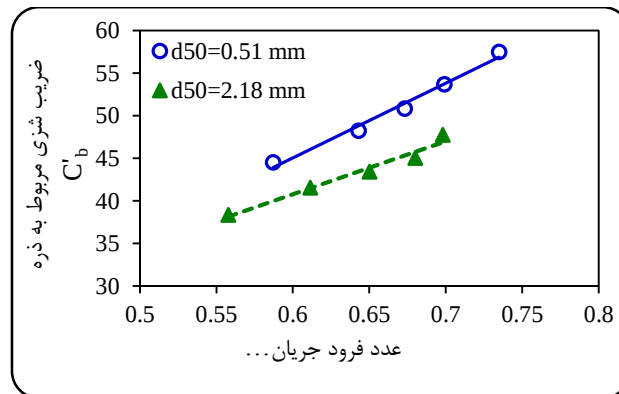
شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب روند تغییرات ضریب شزی مربوط به شکل بستر (C_b'') و کل (C_b) را در برابر استغراق نسبی (R/Δ) برای ذرات رسوبی رسوبی (به ازای شیب ۰/۰۰۵) نشان می‌دهند. با دقیق شدن در شکل‌ها دیده می‌شود که با بزرگ تر شدن اندازه ذرات بستر، C_b'' و C_b نیز همانند C_b' دچار کاهش شده‌اند. ضریب شزی مربوط به شکل بستر (C_b'') تابعی از اندازه شکل‌های بستر است و در اثر اختلاف فشار بین جلو و عقب شکل بستر به وجود می‌آید (Shafai Bajestan, 2008). در این تحقیق، اندازه شکل‌های بستر ثابت بودند اما همان گونه که شکل ۵ نشان می‌دهد بزرگ تر شدن اندازه رسوبات تشکیل دهنده شکل بستر منجر به کاهش ضریب شزی شده است که دلیل آن اثر اندازه ذرات رسوبی بر ابعاد ناحیه جداشدگی پس از تاج شکل بستر و تلاطم پس از شکل بستر است. با بزرگ تر شدن اندازه ذرات رسوبی، ناحیه جداشدگی پس از تاج شکل بستر و همچنین تلاطم پس از آن افزایش می‌یابد که منجر به ازدیاد افت جریان و افزایش ضرایب مقاومت جریان (ضرایب مانینگ و دارسی ویسباخ) می‌گردد. ضریب شزی، از آنجا که با ضریب‌های مقاومت جریان رابطه عکس دارد، لذا کاهش می‌یابد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در آبراهه‌های دارای شکل بستر نیز همانند بسترهای بدون فرم، هر چه اندازه ذرات رسوبی تشکیل دهنده شکل بستر بزرگ تر شود ضریب شزی کمتر می‌شود. محاسبات نشان می‌دهد که مقدار C_b'' در بسترهای رسوبی با ذرات ۰/۵۱ میلی‌متر به ازای شیب‌های صفر، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۱۵ به طور متوسط به ترتیب ۱۴، ۱۲، ۱۲ و ۱۵ و ۱۶/۴ درصد

در شکل‌های ۴، ۵ و ۶، به بررسی اثر اندازه ذرات رسوبی بر ضریب شزی کل (C_b)، ذره (C_b') و شکل بستر (C_b'') پرداخته شده است. مقادیر C_b' مربوط به بسترهای بدون شکل و مقادیر C_b و C_b'' مربوط به بسترهای با شکل است. برای محاسبه مقادیر ضریب شزی مربوط به شکل بستر (C_b'') از رابطه ۱۲ استفاده شد. شکل ۴ روند تغییرات ضریب شزی مربوط به ذره (C_b') را در برابر عدد فرود جریان (به ازای شیب ۰/۰۰۵) نشان می‌دهد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که با افزایش اندازه ذرات بستر ضریب شزی کاهش می‌یابد. بزرگ تر شدن اندازه ذرات بستر باعث کاهش استغراق نسبی ($\frac{R}{K_S}$) می‌شود. بنابراین طبق رابطه ASCE، $(\frac{C}{\sqrt{8g}} = 2 \log(\frac{12R}{K_S}))$ ، ضریب شزی مربوط به ذره کاهش می‌یابد (Mahmoodian Shooshtari, 2006). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که روند تغییرات ضریب شزی در برابر اندازه ذرات رسوبی عکس ضرایب زبری مانینگ و دارسی ویسباخ است. محاسبات نشان می‌دهد مقدار ضریب شزی در بسترهای با ذرات ۰/۵۱ میلی‌متر به ازای شیب‌های صفر، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۱۵ به طور متوسط به ترتیب ۱۸، ۱۹، ۱۸ و ۱۷ درصد بیشتر است از بسترهای رسوبی با ذرات ۲/۱۸ میلی‌متر.

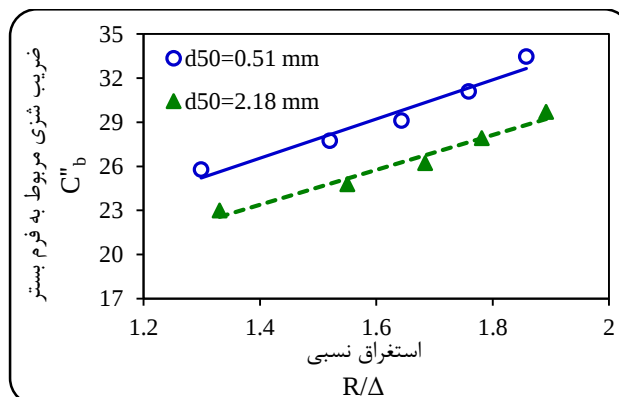
شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود جریان، ضریب شزی (C_b') افزایش یافته است. عدد فرود جریان طبق رابطه $Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}}$ ، که در آن V سرعت متوسط جریان و y عمق جریان است، با سرعت متوسط جریان رابطه مستقیم و با عمق جریان رابطه عکس دارد. از طرفی، ضریب شزی نیز بر اساس رابطه شزی ($V = C\sqrt{RS}$)، با سرعت متوسط جریان رابطه مستقیم و با شعاع هیدرولیکی جریان رابطه عکس دارد. بنابراین، می‌توان نتیجه

مطالعه آزمایشگاهی ضریب شزی در آبراهه‌های با شکل...

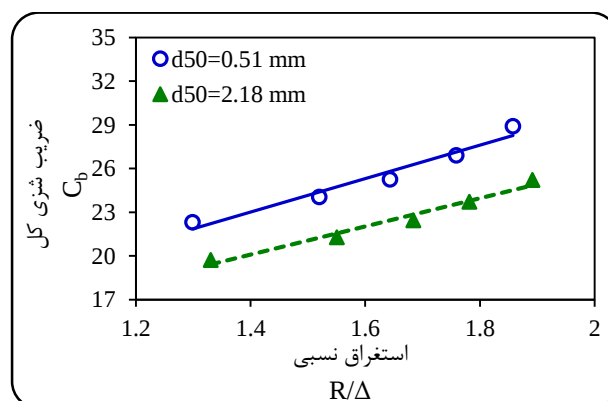
بیش از مقدار C_b'' در بسترهای رسوبی با ذرات ۲/۱۸ میلی‌متر است. علاوه بر این، مقدار C_b در بسترهای رسوبی با ذرات ۰/۵۱ میلی‌متر به ازای شیب‌های صفر، ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۱، و ۰/۰۰۱۵ به‌طور متوسط به ترتیب ۱۵، ۱۳، ۱۳ و ۱۶ درصد بیش از بسترهای رسوبی با ذرات ۲/۱۸ میلی‌متر است.



شکل ۴- تغییرات ضریب شزی مربوط به ذره در برابر عدد فرود جریان برای شیب ۰/۰۰۰۵
Fig. 4- Variation of grain Chezy coefficient against Froude number for slope of 0.0005



شکل ۵- تغییرات ضریب شزی مربوط به شکل بستر در برابر استغراق نسبی برای شیب ۰/۰۰۰۵
Fig. 5- Variation of form Chezy coefficient against relative submergence for slope of 0.0005



شکل ۶- تغییرات ضریب شزی کل در برابر استغراق نسبی برای شیب ۰/۰۰۰۵
Fig. 6- Variation of total Chezy coefficient against relative submergence for slope of 0.0005

ذرات رسوبی و اندازه شکل بستر است در حالی که ضریب شزی مربوط به شکل بستر فقط تابع اندازه شکل است (Shafai Bajestan, 2008). بنابراین، میزان زبری نسبی و عامل ایجاد مقاومت و افت جریان برای ضریب شزی کل بیشتر است از ضریب شزی مربوط به شکل بستر. از این رو مقدار ضریب شزی کل (C_b) کمتر از مقدار ضریب شزی مربوط به شکل بستر (C_b'') است. محاسبات نشان می‌دهد ضریب شزی مربوط به ذره ($\bar{C}_b$) برای ذرات با اندازه‌های ۰/۵۱ و ۲/۱۸ میلی‌متر به‌طور متوسط به‌ترتیب ۹۸ و ۹۳ درصد بیش از ضریب شزی کل (C_b) و ۷۱ و ۶۵ درصد بیشتر از ضریب شزی مربوط به شکل بستر (C_b'') است. علاوه بر این، ضریب شزی مربوط به شکل بستر (C_b'') برای ذرات با اندازه‌های ۰/۵۱ و ۲/۱۸ میلی‌متر به‌طور متوسط به‌ترتیب ۱۶ و ۱۷ درصد بیش از ضریب شزی کل (C_b) است.

شکل ۲ و رابطه ASCE نشان دادند که رابطه ضریب شزی و $\frac{R}{K_S}$ مستقیم است. شکل‌های ۵ و ۶ نیز نشان می‌دهند که رابطه ضریب شزی و R/Δ در آبراهه‌های پوشیده از شکل بستر مستقیم است یعنی با افزایش استغراق نسبی (R/Δ) و C_b'' و C_b نیز افزایش می‌یابد.

در جدول ۱ مقادیر ضریب شزی کل (C_b)، ذره ($\bar{C}_b$) و شکل بستر (C_b'') برای آزمایش‌های مختلف ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که $\bar{C}_b$ و C_b به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار هستند. بسترهای بدون شکل نسبت به بسترهای دارای شکل، زبری نسبی کمتری دارند و از این رو مقدار ضریب شزی در آنها ($\bar{C}_b$) بیشتر است. در بسترهای دارای شکل، دو نوع ضریب شزی وجود دارد. یکی ضریب شزی کل (C_b) و دیگری ضریب شزی مربوط به شکل بستر (C_b''). ضریب شزی کل ناشی از اندازه

جدول ۱- مقادیر ضریب شزی برای تمام آزمایش‌ها

Table 1- Chezy coefficient for all experiments

Q (lit/s)	S	$d_{50}=0.51 \text{ mm}$			$d_{50}=2.18 \text{ mm}$		
		C_b	$\bar{C}_b$	C_b''	C_b	$\bar{C}_b$	C_b''
10	0	23.964	46.782	27.903	20.468	41.344	23.557
15	0	25.332	51.616	29.074	22.409	43.934	26.054
20	0	27.122	53.824	31.400	23.590	45.726	27.538
25	0	28.338	56.740	32.709	24.885	47.820	29.142
30	0	30.973	62.816	35.602	26.429	50.415	31.035
10	0.0001	22.779	45.640	26.287	20.055	39.588	23.261
15	0.0001	24.786	50.858	28.385	21.816	42.535	25.414
20	0.0001	25.606	52.704	29.295	23.005	44.486	26.879
25	0.0001	27.521	54.877	31.810	24.311	46.639	28.488
30	0.0001	30.094	60.320	34.724	26.009	48.916	30.709
10	0.0005	22.307	44.511	25.778	19.722	38.377	22.990
15	0.0005	24.045	48.258	27.733	21.281	41.560	24.775
20	0.0005	25.262	50.836	29.111	22.442	43.424	26.214
25	0.0005	26.902	53.672	31.089	23.723	45.054	27.904
30	0.0005	28.910	57.466	33.451	25.217	47.736	29.700
10	0.001	21.988	43.230	25.539	19.092	37.609	22.159
15	0.001	23.452	46.635	27.132	20.816	40.018	24.373
20	0.001	24.997	49.998	28.864	21.934	42.277	25.657
25	0.001	27.034	52.011	31.645	22.852	43.835	26.778
30	0.001	28.900	55.379	33.878	24.459	46.390	28.784
10	0.0015	21.707	42.062	25.342	18.544	36.880	21.453
15	0.0015	23.412	46.066	27.184	20.445	39.284	23.943
20	0.0015	24.492	48.491	28.378	21.516	41.317	25.203
25	0.0015	26.347	50.043	30.990	22.232	42.767	26.026
30	0.0015	28.337	53.819	33.331	23.821	45.018	28.073

نتیجه‌گیری

۱۲/۹ درصد گردید. بررسی‌ها همچنین نشان داد که در بسترهای دارای فرم، افزایش استغراق نسبی (R/Δ) منجر به ازدیاد C_b و C_b'' می‌شود، به‌طوری که برای اندازه رسوب ۰/۵۱ میلی‌متر و به ازای شیب ۱/۸۷۵، با تغییر استغراق نسبی از ۱/۳ به ۱/۸۷۵ ضرایب فوق به ترتیب ۳۲/۱ و ۳۲/۱۶ درصد افزایش یافته‌اند. مقایسه مقادیر ضریب شزی همچنین نشان داد که در هر آزمایش C_b و C_b' به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار هستند. ضریب شزی مربوط به ذره (C_b) برای ذرات با اندازه‌های ۰/۵۱ و ۲/۱۸ میلی‌متر به‌طور متوسط به‌ترتیب ۹۸ و ۹۳ درصد بیش از ضریب شزی کل (C_b) و به‌طور متوسط به‌ترتیب ۷۱ و ۶۵ درصد بیش از ضریب شزی مربوط به شکل بستر (C_b'') محاسبه شده‌است. به‌طور کلی نتایج بررسی‌ها حاکی از اهمیت برآورد دقیق ضریب شزی کل برای طراحی کانال‌های آبیاری با بستر ماسه‌ای است.

این تحقیق با هدف بررسی تاثیر اندازه ذرات تشکیل دهنده شکل بستر بر مقاومت جریان (ضریب شزی) به‌صورت آزمایشگاهی و تحت شرایط هیدرولیکی مختلف، شیب‌های بستر متفاوت و دو اندازه رسوبی (۰/۵۱ و ۲/۱۸ میلی‌متر) اجرا شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که ضریب شزی مربوط به ذره (C_b) و ضریب شزی کل (C_b)، با افزایش شیب بستر کاهش می‌یابد به‌طوری که این مقادیر برای اندازه رسوب ۰/۵۱ میلی‌متر، با تغییر شیب از صفر به ۰/۰۱۵ به ترتیب ۱۱/۳۷ و ۸/۴۴ درصد کاهش می‌یابند. میزان درصد کاهش به اندازه ذرات رسوب نیز بستگی دارد به‌طوری که مقادیر فوق برای اندازه رسوب ۲/۱۸ میلی‌متر به ترتیب ۱۰/۴۵ و ۹/۵ درصد است. این نتایج نشان داد که افزایش اندازه ذرات رسوب از ۰/۵۱ به ۲/۱۸ میلی‌متر باعث کاهش ضرایب C_b ، C_b'' و C_b به میزان ۱۲، ۱۵/۱۴ و

قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی از محل پژوهانه نویسنده دوم به‌انجام رسیده است. بدین‌وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می‌شود (SCU.WH98.31373).

مراجع

- Bahrami Yarahmadi, M. & Shafai Bejestan, M. (2010). Effect of shape of sediment particles at the bed of open channel on friction coefficient. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 33(1), 1-13. (In Persian)
- Bahrami Yarahmadi, M. & Shafai Bejestan, M. (2011). Experimental study of the effect of sediment particles shape on Manning's coefficient. *Journal of Water and Soil*, 25(1), 51-60. (In Persian)
- Chegin, A.H.N. & Pender, G. (2012). Determination of small size bed load sediment transport and its related bed form under different uniform flow conditions. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 8(4), 158-167.
- Daghighi, H., karami Khaniki, A. & Ali Akbari Bidokhti, A. (2017). Evaluation of sandy bed ripples geometry using physical model and correcting existed practical relations factors. *Iranian Journal of Marine Technology*, 4(1), 64-74. (In Persian)

- Davarpanah-Jazi, S., Kabiri-Samani, A.R. & Afzalimehr, H. (2016). Effects of straight-crested gravel bed-forms and vegetated banks on turbulent flow characteristics. *Modares Civil Engineering Journal*, 16(2), 103-115. (In Persian)
- Dey, S. (2014). *Fluvial Hydrodynamics: Hydrodynamic and Sediment Transport Phenomena*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 687P.
- Esmaili, K., Kashefipour, S.M. & Shafaie Bajestan, M. (2009). The effect of bed form on roughness coefficient in unsteady flows using a combined numerical and laboratory method. *Journal of Water and Soil*, 23(3), 136-144. (In Persian)
- Farhodi, J., & Esmaeili Varaki, M. (2010). *Erosion and Sedimentation*. University of Tehran Press, 317P. (In Persian)
- Ghasemi, M., Heidarpour, M. & Tabatabaei S.H. (2016). Investigation of distribution of velocity and turbulence intensity in presence of dunes and vegetation in a rectangular open channel. *Journal of Hydraulics*, 10(3), 1-14. (In Persian)
- Julien, P.Y. (2010). *Erosion and sedimentation*. 2nd edition, Cambridge University Press, 390P.
- Kabiri, F., Afzalimehr, H., Smart, G. & Rousseau, A.N. (2014). Flow over gravel dunes. *British Journal of Applied Science & Technology*, 4(6), 905-911.
- Karbasi, M. (2005). Investigation of the effect of bed load movement on hydraulic resistance of flow in the presence of bed forms (M. Sc. Thesis), Faculty of Agriculture, University of Tehran. (In Persian)
- Kwoll, E., Venditti, J.G., Bradley, R.W. & Winter, C. (2016). Flow structure and resistance over subaqueous high- and low-angle dunes. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 121, 545-564.
- Mahmoodian Shooshtari, M. (2006). *Principles of flow in open Channel*. First volume, Shahid Chamran University of Ahvaz Press, 513P. (In Persian)
- Nasiri Dehsorkhi, E., Afzalimehr, H. & Singh, V. P. (2011). Effect of bed forms and vegetated banks on velocity distributions and turbulent flow structure. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(6), 495-507.
- Omid, M.H., Karbasi, M. & Farhodi, J. (2010). Effects of bed-load movement on flow resistance over bed forms. *Sadhana*, 35(6), 681-691.
- Ranga-Raju, K.G. & Soni, J.P. (1976). Geometry of ripples and dunes in alluvial channels. *Journal of Hydraulic Research*, 14(3), 241-249.
- Roshani, E., hossienzade dalir, A., farsadizade, D. & salmasi, F. (2017). Study of width reduced transition effects on ripple bed form height in various hydraulic conditions. *Journal of Water and Soil*, 31(1), 28-39. (In Persian)
- Simons, D.B. & Richardson, E.V. (1966). Resistance to flow in alluvial channels. Geological survey Professional paper, 422-J.
- Samadi-Boroujeni, H., Maleki, P., Fattahi-Nafchi, R. & Ketabdari, M.J. (2014). Experimental study on the effect of the parallel and flake ripple bed forms on the Manning roughness coefficient. *Journal of Hydraulics*, 8(4), 55-65. (In Persian)
- Shafai Bajestan, M. (2008). *Basic theory and practice of hydraulics of sediment transport*. Second edition, Shahid Chamran University of Ahvaz Press. 549P. (In Persian)
- Talebbeydokhti, N., Hekmatzadeh, A.A. & Rakhshandehroo, G.R. (2006). Experimental modeling of dune bed form in a sand-bed channel. *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B, Engineering*, 30(B4), 503-516.
- Yang, C.T. (1996). *Sediment transport: Theory and practice*. McGraw-Hill, 396P.

Experimental Study of Chezy Coefficient in Open Channels with Bed Forms

M. Heydari, M. Bahrami-Yarahmadi* and M. Shafai-Bejestan

* Corresponding Author: Assistant Professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: m.bahrami@scu.ac.ir

Received: 3 August 2021, Accepted: 1 December 2021

Extended Abstract

Introduction

Accurate estimation of flow resistance, such as Chezy coefficient, is important for calculating the hydraulic flow conditions and sediment transport in open channels. Chezy coefficient is affected by various factors: bed particles size, vegetation, irregularity of waterway cross-section, irregularity of waterway path, scour and sedimentation, presence of obstructions, suspended and bed load, and bed form (Bahrami Yarahmadi & Shafai Bejestan, 2010, 2011). Previous researches, Talebbeydokhti *et al.* (2006), Omid *et al.* (2010), Nasiri Dehsorkhi *et al.* (2011), Chegini & Pender (2012), Kabiri *et al.* (2014), and Kwooll *et al.* (2016), have shown that the bed forms can affect the hydraulic or sediment transport characteristics. However, there is a lack of study to investigate the effect of bed forms with different sediment sizes on the Chezy coefficient. Therefore, the present study aims to conduct experiments on a straight channel whose bed is covered with the artificial bed forms made from P.V.C sheet, and on its surface is glued sediment of different sizes in the range of 0.51 and 2.18 mm.

Methodology

The experiments were performed in a straight flume of 12 m in length and 0.30 m wide (Figure 1). In this study, different flow discharge of 10, 15, 20, 25, and 30 l/s and different bed slopes of 0, 0.0001, 0.0005, 0.001, and 0.0015 were tested. Two series of experiments were carried out: plane bed or bed without form and bed covered with form. Each form was made in a triangular shape with a P.V.C sheet. The form's length and height were equal to 20 and 4 cm, respectively, and the angles of its upstream and downstream to the horizon were selected as 16.4 and 32 degrees, respectively. After each form was built, the desired sediment size was glued to their surface. This study used two types of uniform granulation with average sizes (d_{50}) of 0.51 and 2.18 mm. The total number of experiments in the present study was 100. Since in alluvial rivers with bed form, the resistance Chezy coefficient includes the grain Chezy coefficient and the form Chezy coefficient. A formless bed, covered with the same sediment size, was tested to determine the grain Chezy coefficient ($\check{C}_b$). The bed with the form was used to determine the total Chezy coefficient (C_b) and the form Chezy coefficient (C_b''). Ripple and dune form is formed in a lower flow regime, in which the Froude number of the flow is less than 1 (Shafai Bajestan, 2008). In this study, the Froude number values in all tests with bed form were 0.435 to 0.6, indicating a lower flow regime.

Results and discussion

Figure 2 show the variation of the grain Chezy coefficient ($\check{C}_b$) against relative submergence (R'/d_{50}) for various tests. This figure shows that, with increasing relative submergence, $\check{C}_b$ increased.

Figure 3 shows the changes in the total Chezy coefficient (C_b) against Froude number for sediment-covered substrates of 0.51 and 2.18 mm. It can be seen that as the Froude number increased, the total Chezy coefficient (C_b) increased. In addition, increasing the longitudinal slope of the bed decreased C_b .

Figures 4, 5 and 6 illustrate the effect of sediment particles size on $\acute{C}_b$, C_b'' , and C_b . These figures show that $\acute{C}_b$, C_b'' , and C_b decreased with increasing particles size. In addition, Figures 5 and 6 show that with increasing R/Δ , the total Chezy coefficient (C_b) and the form Chezy coefficient (C_b'') increased. Calculations showed that the value of C_b'' in beds with a sediment size of 0.51 mm for slopes of 0, 0.0001, 0.0005, 0.001, and 0.0015 was, on average, 14, 12, 12, 15, and 16.4% more than 2.18 mm sedimentary beds, respectively. In addition, the value of C_b in beds with a sediment size of 0.51 mm for slopes of 0, 0.0001, 0.0005, 0.001, and 0.0015 was, on average, 15, 13, 13, 16, and 16.5% more than 2.18 mm sedimentary beds, respectively.

The results of Table 1 shows that the grain Chezy coefficient ($\acute{C}_b$) for particles with sizes of 0.51 and 2.18 mm was, on average, 98 and 93% more than the total Chezy coefficient (C_b), respectively. In addition, The form Chezy coefficient (C_b'') for particles with sizes of 0.51 and 2.18 mm was, on average, 16 and 17% more than the total Chezy coefficient (C_b), respectively.

Conclusions

The results of this study shows that generally with increasing the bed slope and the bed particle size of movable bed sediment channel, the flow resistance increases or the total Chezy coefficient (C_b), the form Chezy coefficient (C_b'') and the grain Chezy coefficient ($\acute{C}_b$) decreases. Increasing the bed particle size from 0.51 to 2.18 mm reduced the coefficients of $\acute{C}_b$, C_b'' , and C_b by 15.14, 12, and 12.9%, respectively. Moreover, the value of $\acute{C}_b$, C_b'' , and C_b in sedimentary beds with particles of 0.51 mm were, on average, 18, 14 and 15% more than sedimentary beds with particles of 2.18 mm, respectively.

Analysis of data have also show that in movable bed channel with bed form, the increase in relative submergence (R/Δ) leads to an increase in C_b'' and C_b . So that for the sediment size of 0.51 mm and bed slope of 0.0001, with the change of relative submergence from 1.3 to 1.875, the above coefficients increased by 32.1 and 32.16%, respectively.

The grain Chezy coefficient ($\acute{C}_b$) for particles with sizes of 0.51 and 2.18 mm was found, on average, 98 and 93% more than the total Chezy coefficient (C_b), respectively, and was 71 and 65% more than the form Chezy coefficient (C_b''), respectively.

Keywords: Bed form, Chezy coefficient, Dune, Resistance to flow, Ripple.

نوع مقاله: علمی - پژوهشی

برآورد مقدار آب مجازی برخی محصولات دامی (شیر و گوشت) در استان خراسان رضوی

عفت محمدی^۱، ام‌البنی محمدرضاپور^۲، پرویز حقیقت‌جو^۳ و سید ابوالقاسم حقایقی مقدم^۴

۱ و ۳- به ترتیب: دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب؛ و دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲- دانشیار گروه مهندسی آب- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۸

چکیده

محدودیت منابع آبی در کشورهای خشک و نیمه خشک سبب شده تا محققان برای استفاده بهینه از این منابع در تولیدات دامی به محاسبه آب مجازی محصولات روی آورند. آب مجازی مصرف شده از منابع آبی در تولیدات دامی به مراتب بیشتر است تا در محصولات زراعی. با رشد روز افزون جمعیت در سراسر جهان نیاز به تولیدات غذایی کشاورزی و دامی بیشتر می‌شود. با ازدیاد تولیدات دامی فشار بر منابع آبی افزایش می‌یابد. بنابراین محاسبه دقیق مقدار آب مجازی محصولات دامی هرچند دشوار اما بسیار با اهمیت است. این پژوهش با هدف برآورد مقدار آب مجازی شیر و گوشت سه نوع گاو شیری (اصیل، بومی و دورگ) در ۲۸ شهرستان استان خراسان رضوی به اجرا درآمد. نیاز آبی خوراک دام با نرم افزار CROPWAT، برآورد گردید. نتایج نشان دادند بیشترین مقدار آب مجازی شیر در گناباد برای گاو اصیل $1264 m^3/ton$ ، گاو بومی $914 m^3/ton$ ، گاو دورگ $1590 m^3/ton$ و کمترین میزان برای گاو اصیل $370 m^3/ton$ ، گاو بومی $309 m^3/ton$ در مشهد و گاو دورگ در قوچان $460 m^3/ton$ است. بیشترین مقدار آب مجازی گوشت برای گاو اصیل $2632 m^3/ton$ ، گاو دورگ $52350 m^3/ton$ در گناباد و گاو بومی در بجستان $26320 m^3/ton$ و کمترین مقدار برای گاو اصیل $9232 m^3/ton$ ، گاو بومی $10352 m^3/ton$ در مشهد و گاو دورگ در قوچان $17623 m^3/ton$ برآورد شد. آب مجازی شیر و گوشت در گناباد بالاترین میزان و برای شهرستان‌های مشهد و قوچان کمترین مقدار محاسبه گردید. توصیه می‌شود دام شیری در مشهد بیشتر پرورش یابد و در تولید و توسعه محصولات دامی در گناباد بازنگری شود.

واژه‌های کلیدی

آب مجازی، استان خراسان رضوی، خوراک دام، شیر و گوشت، CROPWAT

مقدمه

مرحله تکامل برسد و مقدار آب مجازی برابر است با جمع کل آب مصرفی مختلف زنجیره تولید از آغاز تا پایان محصولات زراعی یا صنعتی (Mehdi Zadeh)

آب مجازی آبی است که کالا یا فرآورده‌ای کشاورزی طی فرآیند تولید مصرف می‌کند تا به

زندگی انسان‌ها را شامل می‌شود. آب مورد نیاز برای تولید غذا یکی از فاکتورهای مهم ردپای آب محصولات دامی است، براین اساس بررسی ترکیبات مختلف غذایی و مواد خوراکی برای یافتن راه‌هایی برای کاهش آب مصرفی در گوشت و لبنیات ضروری است. رفیعی و همکاران (Rafiee *et al.*, 2012) با بررسی بهره‌وری کل عوامل تولید و محاسبه کارایی و بازدهی مقیاس در گاوداری‌های صنعتی تولیدکننده شیراستان گیلان گزارش می‌دهند که با توجه به سهم بالای هزینه خوراک دام، یک درصد بهبود بهره‌وری در خوراک دام منجر به بهبود ۰/۶۹۱ درصد در بهره‌وری کل عوامل تولید خواهد شد. شکوهی (Shokoohi, 2019) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر کارایی هزینه گاوداری‌های شیری در ایران می‌گوید که دام‌های شیری نسبت به تنش‌های گرمایی ایجاد شده در نتیجه تغییرات آب و هوایی، بسیار حساس هستند و این مسئله مستقیماً بر کارایی و سود آوری این واحدها اثرگذار است. این پژوهشگر با استفاده از اطلاعات ۱۱ منطقه پر تولید کشور در سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۲، ۱۳۷۹، ۱۳۸۶، ۱۳۹۲، ۱۳۹۵ تابع هزینه مرزی تصادفی در فرم ترانسلوگ را با لحاظ کردن شاخص دما -رطوبت، به عنوان شاخصی از تغییرات اقلیمی، برآورد کرد. نتایج تحقیق نشان داد لازم است در سیاست اصلاح نژاد تنها به انتخاب ژنتیکی برای افزایش تولید شیر توجه نشود، بلکه سازگاری آن با شرایط اقلیمی نیز مدنظر قرار گیرد.

بریندها (Brindha, 2017) جریان‌های آب مجازی بین المللی محصولات کشاورزی و دامی هند را از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۳ (۲۸ سال) تجزیه و تحلیل کرد و نشان داد که هند صادرکننده عمده ای است. ردپای آب هند طی ۲۸ سال ۱/۳ برابر شده است.

2014; Mohammadi, 2012; Agahi *et al.*, 2011; Mousavi *et al.*, 2009; Mokhtari, 2013). آب مجازی، به صورت یک شاخص، آسیب‌های زیست محیطی تولید محصولی خاص را تخمین می‌زند. در واقع مقدار آب مجازی هر محصول تاثیر مصرف این محصول در محیط زیست را بیان می‌کند (Starr & Levison, 2014; Bultink, 2010; Yoo, *et al.*, 2009; Hoekstra & Chapagain, 2007). در مطالعات مربوط به منابع آب، با توجه به کمبود آب و خشکی مناطق، برآورد آب مجازی اهمیت ویژه‌ای دارد. دآمداری از ارکان محوری بخش کشاورزی در توسعه اقتصادی کشور و از صنایع پرمصرف آب به شمار می‌رود. از یک سو افزایش جمعیت و نیاز روز افزون کشور به غذای مناسب و از سوی دیگر منابع آبی محدود در دسترس برای تولید غذا سبب شده تا ذهن محققان و دانشمندان به سمت و سوی افزایش بهره‌وری آب و کاهش آب مجازی در بخش‌های مختلف کشاورزی و دآمداری معطوف گردد. در فرایند تولیدات دامی، تحلیل آب مجازی نقش بسزایی در تعیین سیاست‌های مدیریتی و محدودیت منابع آب دارد.

مدنی (Madani, 2014) با بررسی مدیریت آب در ایران می‌گوید براساس گزارش سازمان ملل در آینده حدود ۳۱ کشور در جهان با کمبود آب مواجه خواهند شد. تا سال ۲۰۲۵ بیش از ۶۷ درصد جمعیت جهان در شرایط کمیابی آب قرار می‌گیرند. متوسط بارش در ایران ۲۵۰ میلی لیتر و کمتر از یک سوم میانگین بارش سالانه جهانی است. در نتیجه، ایران جزو کشورهای خشک و نیمه خشک قرار می‌گیرد. هوکسترا (Hoekstra, 2012) با بررسی منابع آب پنهان در گوشت و لبنیات می‌گوید مصرف محصولات دامی بیش از یک چهارم ردپای آب در

به تولید حیوانات با مقدار آب مجازی بالا به عنوان بخشی جدایی ناپذیر یک استراتژی جامع مدیریت آب کشاورزی برجسته می کند. ایبیدی و سالم (Ibidhi & Salem, 2020) ردپای آب محصولات دامی و سیستم های تولید را در ۴۲ مقاله منتشر شده در مجلات بین المللی بین سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ توضیح دادند که شامل WF^۱ تولید لبنیات، گوشت و تخم مرغ بود. این دو محقق برای بررسی آن ها از ارزیابی چرخه زندگی و روش شبکه WF استفاده کردند. تغییر ردپای آب در میان محصولات مختلف دامی با تفاوت نسبت تبدیل خوراک توضیح داده می شود. برآورد ردپای آب تولیدات دامی و تجزیه و تحلیل اقتصادی استفاده از آب در مراحل مختلف تولید به کشاورزان و سایر ذی نفعان کمک می کند تا بیشترین فعالیت ها را از نظر استفاده از آب شناسایی کنند و استراتژی هایی را برای بهبود کارایی استفاده از آب به کار گیرند. بنابراین، تولید خوراک به عنوان بزرگترین عامل ردپای آب در تولید دام مشخص شد. گزینه های کاهش WF تولید دام شامل استفاده از خوراک هایی با ردپای آب پایین، آبیاری کارآمدتر محصولات مورد استفاده برای خوراک دام و کاهش مصرف پروتئین منبع حیوانی در رژیم های غذایی انسان از طریق جایگزینی با پروتئین های گیاهی است.

هوکسترا و چاپاگین (Hoekstra & Chapagin, 2007) متوسط مقدار جهانی آب مجازی یک لیوان شیر (۲۰۰ میلی لیتری) را ۲۰۰ لیتر محاسبه کردند.

منابع آب قابل دسترس کشور در حال کاهش است. آب مجازی به عنوان راهکاری برای مدیریت و مصرف بهینه منابع آب از سوی محققان مطرح

برای هند بسیار مهم است که خود را با فناوری های جدید کشاورزی سایر کشورها، که آب کمتری برای تولید محصولات زراعی و دامی مصرف می کنند، انطباق دهد. این محقق در سال ۲۰۱۹ و در تحقیقی دیگر با هدف کمی سازی صرفه جویی در مصرف آب و تلفات آب ناشی از واردات توسط کشور هند، آب مجازی ۲۰۳ محصول در همان بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۳ را در هند مورد بررسی قرار داد. نتایج تحقیق نشان داد تغییر در سیاست ها و استراتژی های جدید مدیریتی باید در کل کشور و در کل زنجیره تولید محصولات کشاورزی تصویب شود. با این همه، نیازهای خاص و تقاضای محصولات در ایالت های مختلف در نظر گرفته شود. فقط این روش می تواند بهترین استفاده را از آب مجازی وارد شده از کشورهای دیگر تضمین و منابع آب داخلی کشور هند را ذخیره کند. چودهاری و همکاران (Chowdhury et al., 2017) با تجزیه و تحلیل و ارزیابی کمیت و روند تقاضای آب برای تولیدات دامی در عربستان سعودی نشان دادند کل مقدار آب مجازی برای تولید دام ۱۰/۶ و ۸/۹ میلیارد متر مکعب به ترتیب در سال ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰ بوده است. تغییر رژیم غذایی از گوشت با مقدار آب مجازی بالا به گوشت با مقدار آب مجازی کم ممکن است مقدار آب مجازی کلی تولید دام را کاهش دهد. با این حال، معادل بودن پروتئین و انرژی برای هر تغییر رژیم غذایی باید بررسی شود. یافته های آن ها ارزش مقدار آب مجازی را در درک الگوی مصرف آب در دامداری و شناسایی روش های افزایش کارایی آن برای صرفه جویی در مصرف آب از طریق تخصیص مناسب دامداری ها در مناطق مختلف و کنترل نسبت

1- Water footprint

داشته است (Ahmadi et al, 2020). میزان تولید گوشت قرمز در استان خراسان رضوی در سال ۹۸، ۷۵/۰۴ هزار تن و در جایگاه نخست کشور است. میزان تولید شیر نیز در همین سال (۱۳۹۸) در این استان ۱۰۶۶/۳ هزار تن است و در جایگاه سوم پس از شهرستان‌های اصفهان و تهران قرار می‌گیرد. این حجم از تولیدات دامی استان ارتباط مستقیمی با مصرف منابع آبی استان دارد. محاسبات آب مجازی محصولات دامی در جهت اخذ تصمیمات مدیریتی مناسب در راستای ارائه سناریوهای امنیت غذایی و حفظ منابع آبی محلی و منطقه‌ای اهمیت ویژه‌ای دارد و تا کنون تحقیق مشابهی در استان خراسان رضوی صورت نگرفته است. هدف این پژوهش بررسی و برآورد مقدار آب مجازی شیر گاوهای اصیل، دورگ و بومی در تمامی شهرستان‌های استان خراسان رضوی است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

استان خراسان رضوی در شمال شرقی ایران به مرکزیت مشهد با وسعت ۱۱۸۱۵۴ کیلومتر مربع و چهارمین استان پهناور کشور است.

داده‌ها و اطلاعات

در این تحقیق مقدار آب مجازی محصولات دامی استان خراسان رضوی محاسبه گردید. داده‌های مربوط به خوراک دام و نیاز آبی خوراک مصرفی گاوهای اصیل، بومی و دورگ برای سه سال متوالی ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ از تمامی دامداری‌های صنعتی و غیر صنعتی ۲۸ شهرستان استان خراسان رضوی جمع‌آوری شد. مقدار خوراک مصرف شده در هر رده سنی دام‌های مورد نظر بر حسب $(kg/year)$

می‌گردد. مطالعات برآورد آب مجازی در هر منطقه از کشور امری ضروری است. طبق گزارش‌های مرکز آمار ایران از دامداری‌های کشور در سال ۱۳۹۶ و گاوداری‌های صنعتی در سال ۱۳۹۸، امروزه بیش از ۸۳ درصد کل شیر تولیدی کشور مربوط به صنعت گاوداری است. شصت و پنج درصد از گاوداری‌های فعال صنعتی از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸، شیری هستند. با توجه به گزارش‌های مرکز آمار ایران، از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷ تولید شیر در گاوداری‌های صنعتی ۱/۸ میلیون تن افزایش داشته است. در سال ۱۳۹۷ از ۱۴۰۱۸ گاوداری فعال شیری به میزان ۵ میلیون تن شیر تولید شده است. میزان تولید شیر در کشور از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۷ به میزان ۴/۶ میلیون تن افزایش یافته است. کشور هند با ۲۱ درصد از تولید جهانی شیر بزرگ‌ترین تولیدکننده شیر در جهان است. سهم کشور ایران در سال ۲۰۱۸ حدود یک درصد از کل تولید شیر در جهان بوده است. روند رو به رشد تقاضا برای محصولات دامی در کشورهای در حال توسعه متاثر از رشد جمعیت است. از آنجایی‌که فرآورده‌های دامی بسیار آب‌بر هستند توجه به تاثیر بخش دام و محصولات دامی بر تقاضای محلی منابع آب شیرین ضرورت می‌یابد. طبق آمارنامه کشاورزی جمعیت گاو و گوساله اصیل کشور از ۱۲۰۲ هزار رأس در سال ۱۳۹۷ به ۱۲۶۳ هزار رأس در سال ۱۳۹۸ رسیده و ۴/۹ درصد رشد داشته است. جمعیت گاو و گوساله دو رگ کشور از ۴۶۱۶ هزار رأس در سال ۱۳۹۷ به ۴۷۵۰ هزار رأس در سال ۱۳۹۸ رسیده و ۲/۹ درصد رشد داشته است. جمعیت گاو و گوساله بومی کشور از ۲۲۷۱ هزار رأس در سال ۱۳۹۷ به ۲۰۴۴ هزار رأس در سال ۱۳۹۸ رسیده و ۱۰ درصد کاهش

شد. عدد بدست آمده برابر SWD^2 (نیاز آبی گیاه) در نظر گرفته شد.

آب مجازی یک دام بر اساس رابطه ۱ از سه جزء اصلی تشکیل شده است که در آن $VWC_{a,e}^3$ مقدار آب مجازی دام a در منطقه مورد مطالعه e برحسب مترمکعب بر تن از وزن دام زنده و $VWC_{feed(a,e)}^4$ ، $VWC_{serv(a,e)}^5$ و $VWC_{drink(a,e)}^6$ به ترتیب میزان آب مجازی خوراک دام، میزان آب مصرف شده برای نگهداری دام و میزان آب شرب مصرف شده توسط دام a برحسب مترمکعب بر تن از وزن دام زنده است.

$$VWC_{a,e} = VWC_{feed(a,e)} + VWC_{drink(a,e)} + VWC_{serv(a,e)} \quad (1)$$

آب مجازی خوراک دام زنده شامل دو جزء است:
۱- مقدار آب حقیقی مصرفی برای آماده سازی خوراک دام و ۲- آب مجازی مربوط به اجزای تشکیل دهنده خوراک دام که از رابطه ۲ محاسبه شد. در رابطه ۲، $Q_{mixing(e,a)}^7$ حجم آب مورد نیاز برای ترکیب خوراک دام a برحسب مترمکعب بر روز و $C[e,a,c]$ مقدار خوراک مصرفی دام a که از گیاه C تولید شده است. $Wa[e,a]^9$ وزن دام زنده a در منطقه e در انتهای عمر خود و $SWD_{(e,c)}^{10}$ مقدار نیاز آبی ویژه گیاه c برحسب مترمکعب بر تن که از رابطه ۳ محاسبه گردید که $CWR[e,c]^{11}$ مقدار نیاز آبی گیاه c در منطقه e برحسب مترمکعب بر هکتار

از معاونت امور دام سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی تهیه گردید. میزان تولید و سطح زیر کشت و عملکرد هر یک از محصولات مصرفی دام در هر شهرستان، خوراک دام، مقدار وزن دامها پیش از کشتار و راندمان لاشه و گوشت هر نوع دام پس از کشتار، سن دامها تا زمان کشتار، میانگین شیردهی سالانه هر نوع دام، قیمت های گوشت و شیر، از سالنامه ها و آمار نامه های ارائه شده سازمان جهاد کشاورزی و اتحادیه دامداران استان خراسان رضوی گردآوری شد. نیاز آبی ترکیبات خوراک دام (شامل: یونجه، ذرت علوفه ای، کاه غلات، جو، تفال چغندر، سبوس گندم، کنجاله پنبه، ذرت دانه ای) با استفاده از نرم افزار کراپ وات^۱ محاسبه گردید.

در محاسبات ضریب ۰/۵ برای تبدیل از آب مجازی گندم و جو به کاه غلات، ۰/۲۲ از آب مجازی محصول چغندر قند به تفال چغندر، ۰/۱۲۵ از آب مجازی گندم به سبوس گندم و ۰/۲۵ از آب مجازی دانه پنبه به کنجاله پنبه اختصاص یافت

نیاز آبی علوفه مراتع به روش محاسبه باران مؤثر محاسبه گردید. در ترکیب خوراک دام برای اوره و مکمل ها نیاز آبی و در نتیجه آب مجازی صفر در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه نیاز آبی هر گیاه برابر است با نیاز آبیاری به علاوه بارندگی مؤثر، باران مؤثر هر شهر به روش فائو محاسبه شد. به این ترتیب که میزان باران سالانه هر شهر در ضریب ۰/۷۵ ضرب

1- CROPWAT

3- Virtual water content of animal a in exporting country e

5- Virtual water contents from drinking

7- ^۱The volume of water required for mixing the feed of animal a in exporting country e

9- The average live weight of animal a in exporting country e

11- The crop water requirement of crop c in country e

2- Specific water demand

4- Virtual water contents from feeding

6- Virtual water contents from servicing

8- The quantity of feed crop c consumed by animal a in exporting country e

10- The specific water demand of crop c in exporting country e

بازاری تمام محصولات به‌دست‌آمده از محصول اولیه) است که خود از رابطه ۸ به‌دست آمد و $v[p]^y$ ارزش بازاری محصول p و $pf[e,p]^h$ سهم محصول تولیدی از محصول اولیه (دام زنده) است که خود از رابطه ۹ محاسبه شد که در این رابطه، $Wp[e,p]^g$ وزن محصول تولیدی به‌دست‌آمده از دام زنده a است (Chapagin & Hoekstra, 2003):

$$PWR_{[e,a]} = \frac{Q_{proc}[e,a]}{W_a[e,a]} \quad (6)$$

$$VWC_p[e,p] = (VWC_a[e,a] + PWR[e,a]) \times \frac{vf[e,p]}{pf[e,p]} \quad (7)$$

$$vf[e,p] = \left[\frac{v[p] \times pf[e,p]}{\sum (v[p] \times pf[e,p])} \right] \quad (8)$$

$$pf[p,e] = \frac{W_p[e,p]}{W_a[e,a]} \quad (9)$$

برای محاسبه مقدار آب مجازی شیر تمامی مراحل بالا به ترتیب و تفکیک محاسبه شد.

نتایج و بحث

آب مجازی شیر و گوشت در سه نوع گاو اصلیل، بومی و دورگ به دلیل تفاوت در نژاد، وزن دام، تعداد سال‌های شیردهی، مقدار شیردهی در کل عمر دام و ... کاملاً متفاوت است. پیش از این اشاره شد که آب مجازی هر دام از سه جزء اصلی شامل میزان آب مجازی خوراک دام، میزان آب مصرف شده برای نگهداری دام و میزان آب شرب مصرف شده توسط دام تشکیل شده است. در این تحقیق مقدار آب مجازی موردنیاز شرب برای دام در سیستم صنعتی $219 (m^3/animal)$ و در سیستم چرای

و $CY[e,c]^1$ عملکرد گیاه c برحسب تن بر هکتار. میزان مصرف آب شرب در دام‌ها از رابطه ۴ محاسبه شد. در این رابطه، $q_d[e,a]^2$ مقدار آب مصرفی روزانه دام a در منطقه e برحسب مترمکعب بر روز است. میزان مصرف آب خدمات در دام‌ها از رابطه ۵ محاسبه شد که در این رابطه، $q_{serv}[e,a]^3$ مقدار آب برای نگهداری روزانه دام a در منطقه e برحسب مترمکعب بر روز است (Chapagin & Hoekstra, 2003):

$$VWC_{feed(a,e)} = \frac{\int_{birth}^{slaughter} \left\{ q_{mixing}(e,a) + \sum_{c=1}^{n_c} SWD(e,c) \times C[e,a,c] \right\} dt}{W_a[e,a]} \quad (2)$$

$$SWD(e,c) = \frac{CWR[e,c]}{CY[e,c]} \quad (3)$$

$$VWC_{drink[e,a]} = \frac{\int_{birth}^{slaughter} q_d[e,a] dt}{W_a[e,a]} \quad (4)$$

$$VWC_{serv[e,a]} = \frac{\int_{birth}^{slaughter} q_{serv}[e,a] dt}{W_a[e,a]} \quad (5)$$

آب مورد نیاز فرآیند تبدیل محصولات اولیه برحسب مترمکعب بر تن از دام زنده با استفاده از رابطه ۶ به‌دست آمد، که $PWR[e,a]^4$ نیاز آبی فرآیند، زمانی که محصول پایه به محصول فراوری شده تبدیل می‌شود. (مترمکعب بر تن از دام زنده a برای فرآیند تبدیل محصولات اولیه در شهر e . $Q_{proc}[e,a]^5$ مقدار حجم آب فرآیند تبدیل برحسب مترمکعب برای هر دام زنده a در شهر e است. حجم آب فرآیند تبدیل محصولات اولیه با توجه به رابطه ۷ به آب مجازی دام زنده اضافه گردید، که در این رابطه $vf[e,p]^6$ سهم ارزشی (نسبتی از ارزش بازاری محصول به مجموع ارزش

1- The crop yield

3- The daily service water requirement

5- The volume of processing water in m3 per live animal a in exporting country e

7- The market value of product p

9- The weight of primary product p obtained from one live animal a in exporting country e

2- The daily drinking water requirement of animal a in exporting country e

4- The processing water requirement per ton of live animal a for producing primary products in exporting country e

6- The value fraction

8- The product fraction

برآورد مقدار آب مجازی برخی محصولات دامی (شیر و گوشت)...

(۹۴-۹۶) مقدار آب موردنیاز خوراک دام برای گاو اصلیل، دورگ و بومی در شهرستان‌های استان خراسان رضوی به ترتیب برابر با ۶۰۲۷، ۲۷۷۹ و ۱۸۲۱ مترمکعب بر تن است (منبع: محاسبات تحقیق). جدول‌های شماره ۱، ۲ و ۳ مقدار آب مجازی شیر و گوشت گاوهای شیری اصلیل، دورگ و بومی را نشان می‌دهند.

۱۲۳/۷ ($m^3/animal$) در نظر گرفته شد. مقدار آب موردنیاز نگهداری و بهداشت برای سیستم صنعتی ۶۴/۲ ($m^3/animal$) و در سیستم چرایبی ۱۵/۷ ($m^3/animal$) در نظر گرفته می‌شود (Chapagin & Hoekstra, 2003). اما عمده مقدار آب مجازی محصولات تولیدی گاوهای شیری ناشی از مقدار آب مجازی خوراک دام است. میانگین سه ساله

جدول ۱- مقدار آب مجازی شیر و گوشت گاو اصلیل شیری بر حسب متر مکعب بر تن

Table 1 Virtual water for milk and meat of pure dairy cow content in cubic meter per ton

آب مجازی گوشت گاو اصلیل شیری Virtual water for meat of pure dairy cow			آب مجازی شیر گاو اصلیل شیری Virtual water for milk of pure dairy cow			
2017	2016	2015	2017	2016	2015	
15644	17472	16989	752	701	720	باخرز Bakharz
17613	17001	24875	846	682	1054	بجستان Bejestan
15987	18144	20125	768	728	853	بردسکن Bardaskan
13113	14389	16317	630	577	692	تایباد Taybad
12208	14187	14025	586	569	594	فیروزه Firuzeh
12429	15200	13302	597	610	564	Torbat-e Jam تربت جام
14413	15008	17045	692	602	722	Torbat-e Heydariyeh تربت حیدریه
15875	16306	18603	763	654	789	جغتای Joghatai
15777	16040	15273	758	643	647	جوین Jovein
13517	12949	16299	649	519	691	چناران Chenaran
11346	17017	16848	545	683	714	خلیل آباد Khalilabad
18865	20879	20467	906	838	868	خواف Khaf
17283	22569	20183	830	905	856	خوشاب Khushab
10346	12224	13791	497	490	585	درگز Dargaz
16013	18830	18648	769	755	790	رشتخوار Roshtkhar
17217	16933	15094	827	679	640	زاوه Zaveh
18031	21121	23632	866	847	1002	سبزوار Sabzevar
15127	18809	18750	727	755	795	سرخس Sarakhs
15606	16770	19339	750	673	820	صالح آباد Saleh_abad
12013	13278	14496	577	533	614	Torqabeh -Shandiz طرقله-شاندیز
12474	13365	15025	599	536	637	فریمان Fariman
13534	12584	12376	650	505	525	قوچان Quchan
16935	18679	18918	814	749	802	کاشمر Kashmar
12267	11966	12801	589	480	543	کلات Kalat
26320	21639	20865	1264	868	884	گناباد Gonabad
11120	9232	14938	534	370	633	مشهد Mashhad
13835	15967	15972	665	641	677	ماه ولات Mahvelat
14446	15896	22930	694	638	972	نیشابور Neyshabur

جدول ۲- مقدار آب مجازی شیر و گوشت گاو دورگ شیری بر حسب متر مکعب بر تن

Table 2 - Virtual water for milk and meat of pure hybrid dairy cow content in cubic meter per ton

آب مجازی گوشت گاو دورگ شیری Virtual water for meat of pure hybrid dairy cow			آب مجازی شیر گاو دورگ شیری Virtual water for milk of pure hybrid dairy cow			
2017	2016	2015	2017	2016	2015	
16194	17965	18334	581	536	597	باخرز Bakharz
18414	17780	26555	661	531	865	بجستان Bejestan
16328	18482	21384	586	552	697	بردسکن Bardaskan
13665	15071	18067	490	450	589	تایباد Taybad
12856	14694	15361	461	439	500	فیروزه Firuzeh
13074	16146	14285	469	482	465	تربت جام Torbat-e Jam
14898	15629	18790	535	467	612	تربت حیدریه Torbat-e Heydarieh
16096	16770	19586	578	501	638	جغتای Joghatai
15724	16271	16081	564	486	524	جوین Jovein
14400	13526	18137	517	404	591	چناران Chenaran
10958	17415	17931	393	520	584	خلیل آباد Khalilabad
19175	21214	21800	688	633	710	خواف Khaf
17653	22850	21574	633	682	703	خوشاب Khushab
10974	12845	15450	394	384	503	درگز Dargaz
16523	19378	20209	593	579	658	رشتخوار Roshtkhar
16145	17558	16543	579	524	539	زاوه Zaveh
18323	21397	24787	657	639	808	سبزوار Sabzevar
15599	19108	19278	560	571	628	سرخس Sarakhs
16408	17317	20338	589	517	663	صالح آباد Saleh_abad
12698	13943	15627	456	416	509	طرقبه-شاندیز Torqabeh - Shandiz
12988	13921	16463	466	416	536	فریمان Fariman
13893	13235	13815	499	395	450	قوچان Quchan
17551	19232	20701	630	574	674	کاشمر Kashmar
12529	12568	13945	450	375	454	کلات Kalat
25460	22038	22788	914	658	742	گناباد Gonabad
11704	10352	16627	420	309	542	مشهد Mashhad
14288	16602	17040	513	496	555	مه ولات Mahvelat
15011	16437	24153	539	491	787	نیشابور Neyshabur

برآورد مقدار آب مجازی برخی محصولات دامی (شیر و گوشت)...

جدول ۳- مقدار آب مجازی شیر و گوشت گاو بومی شیری بر حسب متر مکعب بر تن

Table 3 - Virtual water for milk and meat of pure native dairy cow content in cubic meter per ton

آب مجازی گوشت گاو بومی شیری Virtual water for meat of pure native dairy cow			آب مجازی شیر گاو بومی شیری Virtual water for milk of pure native dairy cow			
2017	2016	2015	2017	2016	2015	
38661	36944	25311	1175	907	661	باخرز Bakharz
43068	40424	38848	1308	993	1015	بجستان Bejestan
36672	40078	31524	1114	984	824	بردسکن Bardaskan
33147	35093	24207	1007	862	632	تایباد Taybad
30389	32949	21881	923	809	572	فیروزه Firuzeh
31222	36668	18698	949	900	489	تربت جام Torbat-e Jam
33555	35865	25934	1019	881	678	تربت حیدریه Torbat-e Heydarieh
35194	35559	28344	1069	873	741	جغتای Joghatai
32770	33063	22082	996	812	577	جوین Jovein
32465	29847	25837	986	733	675	چناران Chenaran
27404	38353	25729	833	942	672	خلیل آباد Khalilabad
46049	51098	30752	1399	1255	803	خواف Khaf
41727	49862	29973	1268	1224	783	خوشاب Khushab
26154	29494	21007	795	724	549	درگز Dargaz
40433	43307	27788	1228	1063	726	رشتخوار Roshtkhar
40233	41303	21660	1222	1014	566	زاوه Zaveh
40052	43263	37354	1217	1062	976	سبزوار Sabzevar
38470	43772	25605	1169	1075	669	سرخس Sarakhs
41177	42501	26737	1251	1044	699	صالح آباد Saleh_abad
30731	28284	20950	934	694	547	تورقابه - شاندیز Torqabeh - Shandiz
28494	29142	22502	866	716	588	فریمان Fariman
34059	30515	17623	1035	749	460	قوچان Quchan
43048	39717	27463	1308	975	718	کاشمر Kashmar
29219	29134	19195	888	715	502	کلات Kalat
52350	47612	32016	1590	1169	837	گناباد Gonabad
26138	23695	22447	794	582	586	مشهد Mashhad
33880	35808	22490	1029	879	588	ماه ولات Mahvelat
33872	35977	35894	1029	883	938	نیشابور Neyshabur

کمترین آن برای سال ۱۳۹۵ در مشهد به ترتیب به میزان $370 m^3/ton$ و $9232 m^3/ton$ است. طبق جدول ۲ بیشترین مقدار آب مجازی شیر و گوشت

با توجه به جدول ۱ بیشترین مقدار آب مجازی شیر و گوشت گاو اصیل برای سال ۱۳۹۶ در گناباد به ترتیب $1264 m^3/ton$ و $26320 m^3/ton$

گاو بومی در سال ۱۳۹۶ در شهرستان گناباد ۹۱۴ m^3/ton و سال ۱۳۹۴ در شهرستان بجستان ۲۶۵۵۵ m^3/ton و کمترین مقدار آب مجازی شیر و گوشت گاو بومی شیری در سال ۱۳۹۵ در مشهد به ترتیب ۳۰۹ و ۱۰۳۵۲ متر مکعب بر تن محاسبه گردید. همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود بیشترین مقدار آب مجازی شیر و گوشت گاو دورگ در سال ۱۳۹۶ در شهرستان گناباد به میزان ۱۵۹۰ و ۵۲۳۵۰ متر مکعب بر تن و کمترین مقدار آب مجازی شیر و گوشت گاو دورگ در سال ۱۳۹۴ در شهرستان قوچان به مقدار ۴۶۰ و ۱۷۶۲۳ متر مکعب بر تن گزارش شد. بررسی‌ها به دلیل فقدان اطلاعات مورد نظر در سه سال صورت گرفت، اما سه سال مورد استفاده نیز دارای تنوع اقلیمی خوبی هستند به طوری که سال ۱۳۹۴ نسبتاً پربارش (میانگین باران ۲۳۶ میلی‌متر)، سال ۱۳۹۵ نسبتاً کم‌بارش (میانگین باران ۱۸۹ میلی‌متر) و سال ۱۳۹۶ شرایط خشکسالی (میانگین باران ۱۲۹ میلی‌متر) در مقایسه با میانگین بارش بلندمدت استان (۲۲۰ میلی‌متر) محسوب می‌شوند. متفاوت بودن نتایج در سال‌های مختلف به دلیل تغییر شرایط اقلیمی در ۳ سال مورد بررسی است. تفاوت در میزان بارش و سایر پارامترهای اقلیمی موثر در نیاز آبی گیاهان (مانند دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و تشعشع) موجب شده که گیاهان مورد استفاده در ترکیب خوراک دام (شامل: یونجه، ذرت علوفه‌ای، کاه غلات، جو، تفال‌ه چغندر، سبوس گندم، کنجاله پنبه، ذرت دانه‌ای) دارای نیاز آبی و مصرف آب متفاوت شده و همین عامل بیشترین تاثیر را در مقدار آب مجازی محصول تولیدی دام (شیر یا گوشت) دارد.

نتایج بررسی‌ها نشان داد بیشترین مقدار آب مجازی شیر انواع گاوهای شیری در خراسان رضوی مربوط به گاو دورگ شیری و کمترین آن مربوط به گاو بومی شیری است. بیشترین مقدار آب مجازی گوشت انواع گاوهای شیری در خراسان رضوی مربوط به گاو دورگ شیری و کمترین آن مربوط به گاو اصیل شیری گزارش شد. در این مقاله موضوع اصلی آب مجازی شیر است اما از آنجا که گاو شیری در نهایت پس از دوره شیردهی مطلوب ذبح می‌شود و گوشت آن نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، محاسبات مربوط به گوشت این نوع گاو هم تهیه و ارائه شده است.

چاپاگین و هوکسترا (Chapagin & Hoekstra, 2003) می‌گویند مقدار آب مجازی شیر در کانادا برای گاوهای شیری در سیستم چرای ۱۷۳۸ متر مکعب بر تن و سیستم صنعتی ۷۳۵ متر مکعب بر تن و مقدار آب مجازی گوشت گاو شیری در سیستم چرای ۶۸۲۶ متر مکعب بر تن و در سیستم صنعتی به میزان ۲۸۸۷ متر مکعب بر تن است. در این پژوهش گاو بومی در سیستم چرای مورد بررسی قرار گرفته است. میانگین مقدار آب مجازی شیر گاو بومی برای سه سال مورد بررسی برابر با ۸۹۳ متر مکعب بر تن است. گاو اصیل در سیستم صنعتی مورد بررسی قرار گرفته میانگین مقدار آب مجازی شیر گاو اصیل در این سه سال برابر با ۷۰۳ متر مکعب بر تن است. گاو دو رگ با سیستم مختلط ارزیابی شد. میانگین مقدار آب مجازی شیر گاو دورگ در این سیستم برای سال‌های مذکور برابر با ۵۵۴ متر مکعب بر تن گزارش گردید. جدول شماره ۵ میزان آب مجازی شیر محاسبه شده توسط چاپاگین و هوکسترا

برآورد مقدار آب مجازی برخی محصولات دامی (شیر و گوشت)...

(Chapagin & Hoekstra, 2003) را نشان می‌دهد. بیشترین آب مجازی شیر مربوط به گاو دورگ در گناباد به مقدار ۱۵۹۰ متر مکعب در تن از مقدار میانگین جهانی ارائه شده در جدول شماره ۴ میزان بیشتری است.

جدول ۴- مقدار آب مجازی شیر محاسبه شده توسط چاپاگین و هوکسترا (Chapagin & Hoekstra, 2003) بر حسب متر مکعب بر تن

میانگین جهانی Global Averag	هلند Netherlands	ایتالیا Italy	مکزیک Mexico	ژاپن Japan	برزیل Brazil	استرالیا Australia	اندونزی Indonesia	روسیه Russia	هند India	چین China	آمریکا America	شیر Milk
990	641	861	2382	812	1001	915	1143	1345	1369	1000	695	

کشاورزی استان خراسان رضوی، میزان شیردهی برای گاو اصیل شیری ۳ سال، گاو دورگ شیری ۵ سال و گاو بومی شیری ۷ سال است ولی در گزارش‌های چاپاگین و هوکسترا سال (Chapagin & Hoekstra, 2003) این اعداد متفاوت در نظر گرفته شده است. گاو بومی شیری متوسط ۶۶۶ کیلوگرم در سال و گاو اصیل شیری به‌طور میانگین سالی ۸۰۵۷/۹ کیلو گرم شیر می‌دهد.

۳) قیمت محصولات دامی نیز اثرگذار است. در محاسبه سهم محصول تولیدی از محصول اولیه (pf) این وزن‌ها قرار گرفته‌اند و به‌عنوان ضریبی در محاسبات تأثیر بسزایی دارند. قیمت محصولات دامی نیز در محاسبه سهم ارزشی (VF) وارد می‌شود (با توجه به آورده شدن قیمت در رابطه ۸ به‌عنوان متغیر $v[p]$ ارزش بازار محصول p برحسب دلار آمریکا بر تن؛ از این رو، قیمت محصولات دامی نیز به‌عنوان یک فاکتور در محاسبات تأثیرگذار است). بنابراین سیاست‌های کشوری در قیمت گذاری‌ها و

باید گفت که تمامی ارقام به دست آمده در این پژوهش تفاوت‌هایی با آمار جهانی (Chapagin & Hoekstra, 2003) و (Chapagin & Hoekstra, 2007) دارد که دلایل آن از این قرار است:

۱) میانگین وزن گاو اصیل ۵۱۴ کیلو گرم، گاو دو رگ ۳۹۹ و گاو بومی ۳۲۹ کیلو گرم در هر دو سیستم چرایي و صنعتی است. و در روابط ۲، ۴، ۵، ۶ و ۹ این مقدار وارد محاسبات می‌گردد. مقدار میانگین جهانی وزن در گزارش‌های (Chapagin & Hoekstra, 2003) برای گاو پرواری در سیستم صنعتی ۵۵۰ کیلوگرم و در سیستم چرایي ۴۰۰ کیلوگرم و برای گاو شیری در سیستم صنعتی ۴۵۰ کیلوگرم و در سیستم چرایي ۲۷۰ کیلوگرم آورده شده است.

۲) سن دام‌ها، تعداد سال‌های شیردهی و میزان شیردهی در مقدار آب مجازی تأثیرگذار است. بر اساس توصیه معاونت امور دام سازمان جهاد

تغییرات نرخ روز محصولات در این محاسبات وارد شده است و به‌عنوان ضریبی در عدد نهایی آب مجازی شیر و گوشت تاثیرگذار است.

۴) نژاد و ژنتیک دام‌های پرورشی نیز تاثیرگذار هستند. انواع گاوها با نژادهای مختلف نیز خود به دلیل ژنتیک متفاوتی که دارند (به لحاظ سن شیردهی، وزن دام و ...) نیز در محاسبات باعث تفاوت‌های چشمگیری می‌شوند. این ارقام در مقدار آب مجازی شیر و گوشت حاصل از این دو نوع گاو وارد شده و مقدار آب مجازی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. میزان جیره غذایی مصرفی در دام‌های مورد بررسی به ترتیب در گاو اصیل، دورگ و بومی کاهش می‌یابد. میزان آب مجازی شرب و نگهداری دام در هر سه مورد به نسبت میزان آب مجازی خوراک ناچیزند و تاثیر قابل لمسی در میزان نهایی آب مجازی دام و محصولات دامی نمی‌گذارند. برای مثال، مقدار آب مجازی شرب گاو شیری m^3/ton ۲۱۹ و مقدار آب مجازی سرویس گاو شیری m^3/ton ۶۴٫۲ است. این میزان در مقابل مقدار آب مجازی خوراک گاو اصیل شیری محاسبه شده در شهر باخرز برای سال ۱۳۹۴ معادل m^3/ton ۵۰۱۵۳/۷۵ رقمی ناچیز است.

۵) ترکیب خوراک دام و کنسانتره مصرفی در تمامی قسمت‌های جهان متغیر است و این تغییر بر میزان نیاز آبی و آب مجازی خوراک دام و خود دام و در نتیجه آب مجازی محصولات دامی تأثیر می‌گذارد. اعداد نیاز آبی گیاه در محاسبات آب مجازی خوراک دام وارد می‌شوند و بر مقدار آب مجازی محصولات دامی تأثیر می‌گذارند. اقلیم منطقه اثر زیادی بر عملکرد گیاهان مصرفی دام دارد. آب مجازی کاه غلات، یونجه، ذرت علوفه‌ای، و جو سهم بالایی در خوراک مصرفی دام دارند.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شهرستان‌های گناباد و بجستان بیشترین مقدار آب مجازی را در شیر و گوشت، و شهرستان‌های مشهد و قوچان کمترین مقدار آب مجازی را دارند. بر اساس طبقه بندی اقلیمی به روش دومارتن، اقلیم قوچان نیمه خشک، اقلیم مشهد و بجستان خشک و اقلیم گناباد فراخشک است. علاوه بر اقلیم متفاوت شهرستان‌های استان و میزان بارش موثر و نیاز آبی گیاهان مصرفی در خوراک دام، وزن دام، وزن لاشه، طول دوره نگهداری دام، نژاد دام، نوع سیستم چرا از مهمترین عوامل موثر در میزان آب مجازی محصولات دامی است.

نتیجه گیری

برای کاهش میزان آب مجازی در تولید محصولات دامی باید به میزان آب مصرفی محصولات موجود در ترکیب جیره غذایی و مقادیر آب شرب و آب مربوط به خدمات نگهداری دام توجه شود. ترکیب خوراک دام‌ها یکی از فاکتورهای بسیار تاثیرگذار بر مقدار آب مجازی دام و در نهایت محصولات دامی است. از این رو با توجه به یافته‌های پژوهش پیشنهاد می‌شود عمده تولید شیر به صورت صنعتی و متمرکز در شهرهایی صورت گیرد که در تامین علوفه دارای مزیت هستند. مقدار آب مجازی کاه غلات و یونجه و ذرت علوفه‌ای و جو سهم بالایی در خوراک مصرفی دام دارند، در مورد محصولاتی مانند جو واردات می‌تواند با بررسی دیگر جنبه‌های امنیت غذایی پیشنهاد گردد، اما در مورد محصولات زراعی که قابلیت وارداتشان کم و مشکل است مثل یونجه و ذرت علوفه‌ای می‌توان پیشنهاد داد کشاورزان منطقه الگوی کشت استان را به سمت جایگزینی گیاهان علوفه‌ای مشابه با آب مصرفی

بررسی و با توجه به پایین تر بودن میزان آب مجازی شیر این نوع گاو برای اقلیم خشک، نیمه خشک و فراخشک استان خراسان رضوی و محدودیت منابع آب در این استان بیشتر توصیه می گردد.

با توجه به اینکه آب مجازی شیر و گوشت در شهرستان گناباد بالاترین میزان را در هر سه مورد دارد و کمترین مقدار برای شهرستان مشهد و قوچان است، بنابراین توصیه می شود دام شیری در مشهد بیشتر پرورش یابد و در زمینه تولید و توسعه محصولات دامی در گناباد و مناطق مشابه بازننگری شود. این تحقیق برای استان خراسان رضوی صورت گرفته است و نتایج آن هم برای همین استان قابلیت کاربرد دارد اما در دیگر مناطق نیز باید تحقیقات مشابه اجرا شود تا در نهایت از جمع بندی نتایج منطقه ای بتوان به یک تصمیم یا کاربرد ملی دست یافت.

کمتر مانند شبدر، نخود علوفه ای، چغندر علوفه ای و سورگوم تغییر دهند.

از دیگر فاکتورهای تاثیرگذار در میزان آب مجازی محصولات دامی نژاد دام و میزان شیردهی دام است. نتایج پژوهش نشان داد که بیشترین مقدار آب مجازی شیر برای گاو دورگ با میزان ۱۵۹۰ متر مکعب بر تن و کمترین آن برای گاو بومی با میزان ۳۰۹ متر مکعب بر تن و بیشترین میزان آب مجازی گوشت برای گاو اصیل شیری است. آمارنامه کشاورزی جلد دوم سال ۱۳۹۸ در استان خراسان رضوی جمعیت گاو اصیل ۱۳۲۸۷۱ (سومین استان بعد از اصفهان و تهران)، گاو دورگ ۳۴۴۶۵۶ (دومین استان بعد از اصفهان) و گاو بومی ۲۲۲۳۷ راس گزارش کرده است (Ahmadi et al., 2020). بنابراین پرورش گاو بومی برای تولید شیر با مقدار آب مجازی پایین نسبت به دیگر نژادهای مورد

قدردانی

نویسندگان این مقاله از مساعدت ها و حمایت های مالی مسولان محترم دانشگاه زابل سپاسگزاری می کنند که هزینه های این تحقیق را از محل پژوهانه شماره 9618-113-uoZ.GR- تامین کرده اند.

مراجع

- Agahi, H., Heidari, H., & Bahrami, M. (2011). Virtual Water Trade and Its Relation to Sustainable Water Consumption. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(2), 54-56.
- Ahmadi, k., Abbaszadeh, h., Mohammadnia, sh., Taleghani, R., Abbasi, M., Y, sh. 2020. Agricultural Statistics of 2020. *Ministry of Agriculture, Deputy Minister of Planning and Budget, General Directorate of Statistics and Information* P.p: 430.
- Brindha, K. (2017). International virtual water flows from agricultural and livestock products of India. *Journal of Cleaner Production*, 161, 922-930.
- Brindha, K. (2019). National water saving through import of agriculture and livestock products: A case study from India. *Sustainable Production and Consumption*, 18, 63-71.
- Bulsink, F., Hoekstra, A.Y. and Booij, M.J. (2010). The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(1): pp. 119-128.
- Chapagin, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2003). *Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products.*, nesco-IHE, Institute for Water Education, 202p.

- Chowdhury, S., Ouda, O. K., & Papadopoulou, M. P. (2017). Virtual water content for meat and egg production through livestock farming in Saudi Arabia. *Applied Water Science*, 7(8), 4691-4703
- El-Sadek, A. (2011). Virtual water: an effective mechanism for integrated water resources management. *Agricultural Sciences*, 2(03), 248.
- Hoekstra, A. Y. (2012). The hidden water resource use behind meat and dairy. *Animal frontiers*, 2(2), 3-8.
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2006). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. In *Integrated assessment of water resources and global change* (pp. 35-48).
- Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. (2007). The water footprints of Morocco and the Netherlands: global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities. *Ecological Economics*, 64(1): pp. 143–151.
- Ibidhi, R., & Salem, H. B. (2020). Water footprint of livestock products and production systems: a review. *Animal Production Science*, 60(11), 1369-1380.
- Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal of environmental studies and sciences*, 4(4), 315-328.
- Mehdi Zadeh, t. (2014). *Virtual Water Volume I: Concepts and strategic management*. Tehran: vaziri (In Farsi).
- Mohammadi, H. (2012). The effects of liberalization of trade on the welfare of consumers and agricultural producers, virtual water trade and resource sustainability: A Case Study in Fars province *Agricultural Economics*, 6(3), 176-145 (In Farsi).
- Mokhtari, D. (2013). *Instructions for the relationship between water resources with virtual water trade balance*. Shiraz: Publications Shiraz University. (In Farsi).
- Mousavi, N. Sultani, A. M. Gh. And zarea Mehrjardi, D. (2009). Virtual water; a new strategy to deal with the water crisis. *National Conference on Water Crisis Management, Islamic Azad University of Marvdasht*. 1-3 june 2009. Marvdasht. pp. 20-24. (In Farsi).
- Rafiee, H. Khormizi, S. R. Ganjkanlu, M., (2012). Total Factor Productivity, Efficiency and Scale Return of Dairy Farms in Guailan Province, *Journal of Agricultural Economics Researches*, 3(4). (In Farsi).
- Shokoohi, Z. (2019). The impact of climate change on the cost efficiency of dairy farms in Iran. *Iranian journal of agricultural economics and development research*, 50(1), 97-107. (In Farsi).
- Starr, G. and Levison, J. (2014). Identification of Crop Groundwater and Surface Water Consumption Using Blue and Green Virtual Water Contents at a Subwatershed Scale, *Environmental Processes*. 1: pp. 497–515.
- Yoo, S., Choi, J.Y., Kim, T.G., Im, J.B. and Chun, C.H. (2009). Estimation of crop virtual water in Korea. *Journal of Korean Water Resources Association*, 42(11): pp. 911–920.

Estimation of the Virtual Water Content of Some Livestock Products (Milk and Meat) in Khorasan Razavi Province

E. Mohamadi , O. Mohammadrezapour*, P. Haghighatju, S. A. Haghayeghi-Moghadam

* Corresponding Author: Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Email: mohammadrezapour@gau.ac.ir

Received: 25 June 2021, Accepted: 23 September 2021

Introduction:

Virtual water is water that is consumed by agricultural goods or products during the production process to reach the stage of evolution, and the amount of virtual water is equal to the sum of the total water consumption of the production chain from the beginning to the end of agricultural or industrial products. Virtual water, as an indicator, estimates the environmental damage of producing a particular product. In fact, the amount of virtual water in each product expresses the impact of consuming this product on the environment. Virtual water calculations of livestock products are of special importance in order to make appropriate management decisions in order to provide food security scenarios and conserve local and regional water resources, and so far no similar research has been conducted in Khorasan Razavi province. The purpose of this study is to investigate and estimate the amount of virtual water in the milk of purebred, hybrid and native cows in all cities of Khorasan Razavi province.

Methodology

In this study, the amount of virtual water of livestock products in Khorasan Razavi province was calculated. Data related to animal feed and water requirement of purebred, native and hybrid cows for three consecutive years 1394, 1395 and 1396 were collected from all industrial and non-industrial livestock in 28 cities of Khorasan Razavi province. The amount of feed consumed in each age group of the animals was prepared by the Deputy of Livestock Affairs of the Jihad Agricultural Organization of Khorasan Razavi Province. Production rate and area under cultivation and yield of each livestock consumption in each city, livestock feed, livestock weight before slaughter and carcass and meat efficiency of each livestock after slaughter, livestock age until slaughter, average annual lactation of each livestock Meat and milk prices were collected from the yearbooks and statistics provided by the Jihad Agricultural Organization of Khorasan Razavi Province. The water requirement of animal feed components (including: alfalfa, fodder corn, cereal straw, barley, beet pulp, wheat bran, cotton meal, corn) was calculated using crop watt software.

Results and Discussion

Virtual milk and meat water in three types of purebred, native and hybrid cows is completely different due to differences in breed, livestock weight, number of years of lactation, amount of lactation in the entire life of the animal and etc. According to the research results, the highest amount of virtual water of pure milk and beef for 2017 in Gonabad in 1264 and 26320, respectively, and the lowest for 2016 in Mashhad are 370 and 9232, respectively. Also, the maximum amount of virtual water of native milk and beef in 2018 in Gonabad city was 914 and in 2015 in Bajestan city was 26555 and the minimum amount of virtual water of milk and native beef in 2016 in Mashhad was calculated 309 and 10352 cubic meters, respectively.

The highest amount of virtual milk and beef hybrid water in 2017 in Gonabad city in the amount of 1590 and 53250 cubic meters per ton and the lowest amount of virtual water and hybrid beef

milk and meat in 2015 in Quchan city in the amount of 460 and 17623 cubic meters per ton. The results showed that the highest amount of virtual milk water of dairy cows in Khorasan Razavi is related to dairy cows and the lowest is related to native dairy cows. The highest amount of virtual water meat of dairy cows in Khorasan Razavi was related to dairy cows and the lowest was related to purebred dairy cows.

Conclusions

To reduce the amount of virtual water in the production of livestock products, attention should be paid to the amount of water consumed by products in the composition of the diet and the amount of drinking water and water related to livestock maintenance services. The composition of livestock feed is one of the most influential factors on the amount of virtual water in livestock and ultimately livestock products. Therefore, according to the research findings, it is suggested that most milk production be done industrially and concentrated in cities that have an advantage in providing fodder.

Keywords: Virtual water, Khorasan Razavi province, Animal feed, Milk and meat, CROPWAT

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research

(Agricultural Engineering Research)

Vol. 22 No. 84 2021

Published by: Agricultural Engineering Research Institute (AERI)

Executive Director: H. Dehghani-sanij, Associate Professor

Editor in Chief: N. Abbasi, Professor

Editorial Board:

F. Abbasi	Professor, Agricultural Engineering Research Institute
N. Abbasi	Professor, Agricultural Engineering Research Institute
N. Heydari	Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute
A. Kiani	Professor, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center
S. Koochakzadeh	Professor, University of Tehran
M. J. Monem	Associate Professor, Tarbiat Modares University
A. Nasser	Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute
M. H. Omid	Professor, University of Tehran
A. Parvaresh Rizi	Associate Professor, University of Tehran
H. Rahimi	Professor, University of Tehran
M. Shafai-Bejestan	Professor, Shahid Chamran University of Ahvaz

International Editorial

Board:

H. Rahimi	Professor, Geotechnical Group Leader, Geotechnical Services, Civil Section, ESI Maintenance Directorate, Sydney Trains, (A retired professor at the University of Tehran)
M. A. Sharifi	Professor, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), University of Twente Enschede, Netherlands
A. Torabi Haghighi	Professor, Leader of Hydrosystems Engineering & Management research group at Water, Energy, and Environmental Research unit in University of Oulu, Finland

Text Editor: M. R. Dahi

English Editor: M. R. Dahi

Coordinating Manager: A. Uossef -Gomrokchi

Typesetting & Layout: S. Vatandoust

Reviewers:

- P. Afrasiabikia	- M. Esmaili - Vraraki	- A. Kanouni	- M. Rahmanshahi
- R. Bahramloo	- E. Fazel	- A. Marashi	- M. A. Shahrokhinia
- M. Dariayi	- M. Fereshtepour	- M. M. Nakhjavani	- A. Uossef -Gomrokchi
- H. Ebrahimian	- R. Ghobadian	- A. Naseri	
- A. R. Emadi	- S. A. Haghayeghi-	- H. Nozary	

AERI Site: www.aeri.ir

Journal Site: <http://idser.areeo.ac.ir>

E-mail: aridsej@areeo.ac.ir



Ministry of Jihad - e - Agriculture
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Agricultural Engineering Research Institute (AERI)

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research ***(Agricultural Engineering Research)***

Vol. 22, No. 84, Autumn 2021

ISSN: 2476-4000

Contents

Application and Comparison Of Single-Objective (GA) and Multi-Objective (NSGA-II) Optimization Methods in Optimal Design of Pressurized Network	
A. Hazeri, R. Ghobadian* and M. M. Heidari.....	1
Effects of Furrow and Subsurface Drip Irrigation Systems on Water Productivity of Vineyard in Bowed trellis and Creeping Plantation Systems	
S. M. Mirlatifi*, H. Dehghanisanij and O. Orojani Mashhadi	19
Evaluation and Improvement of Water Management of Irrigation Networks Under Water Scarce Condition (Case Study: Eastern Aghili Secondary Canal)	
S. Ostovari-Deilamani, M. Monem and S. M. Hashemi-Shahdani.....	37
From the Edge of The Vertical Drop on The Pool Depth and The Amount of Downstream Energy Loss	
R. Daneshfaraz, M. Majedi Asl and M. Jafari	55
Laboratory Study of the Effect of Submersible Jumping in Reducing Scouring Downstream of Stilling Basin (Case study: masonry Check Dam of Ziarat)	
M. Meftah Halaghi, M. A. Solbi, A. A. Dehghani and A. Zahiri.....	69
Experimental Study of Chezy Coefficient in Open Channels with Bed Forms	
M. Heydari, M. Bahrami-Yarahmadi and M. Shafai-Bejestan.....	89
Estimation o the Virtual Water Content of Some Livestock Products (Milk and Meat) in Khorasan Razavi Province	
E. Mohamadi , O. Mohammadrezapour, P. Haghighatju and S. A. Haghayeghi-Moghadam	105