

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 ۸۲، بهار ۱۴۰۰

فهرست مقالات

- ۱ مدل‌سازی هزینه طراحی و اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای
مسعود پورغلام آمیجی، عبدالمجید لیاقت و خالد احمدالی
- ۲۳ تأثیر پلیمر آکواسورس بر برخی خصوصیات فیزیکی و رطوبتی خاک‌های مختلف
سالومه سپهری صادقیان، نادر عباسی و محمد مهدی نخجوانی مقدم
- ۴۳ نقش سامانه‌های نوین آبیاری در مدیریت مصرف آب گوجه‌فرنگی در کشور
فریبرز عباسی، محمد جلیلی، محمد خرمیان، سید ابراهیم دهقانیان، اسماعیل مقبلی‌دامنه، مهرداد نوروزی، افشین گمرکچی، مهدی طاهری، اسحاق زارع
مهرانی، علیرضا کیانی، نادر سلامتی، حسن موسوی‌فضل، علی قدمی‌فیروزآبادی، پرویز بیات و ابوالفضل ناصری
- ۶۵ واکاوی خصوصی‌سازی طرح‌های آبیاری و زهکشی از دیدگاه قوانین و سیاست‌ها
پوریا نامدار و عاطفه پرورش ریزی
- ۸۹ تحلیل اقتصادی کاربرد سلول‌های خورشیدی روی دریاچه سدها (مطالعه موردی: سد انحرافی نوروز لو)
میلاد رضائی و حجت احمدی
- ۱۰۳ بررسی عددی فراسنجه‌های هیدرولیکی جریان غلیظ در اثر انحنای بدنه کانال
محمد حسینی و محمدهادی فتاحی
- ۱۲۱ بررسی اثر سازه‌های کنترل رسوب بر انرژی جنبشی آشفستگی در دهانه آبگیر
امیر مرادی نژاد، امیر حمزه حق‌آبی، مجتبی صانعی و حجت اله یونسی

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.

نماینده 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) و

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
فریبرز 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	- رضا بهراملو	- سید ابو القاسم حقایقی مقدم	- محمد فرشته‌پور
- خالد احمدآلی	- محمد بهرامی یاراحمدی	- پیمان دانش کار آراسته	- عبدالرضا فلاح رستگار
- صمد امامقلی زاده	- فواد تاجیک	- امیدرضا روستاپور	- بیژن نظری
- جواد باغانی	- علیرضا توکلی	- اعظم شریف نژاد	- پیمان ورجاوند
- محمد رضا برادران	- حمیدرضا جانباز	- رحیم علیمحمدی نافچی	- افشین یوسف گمرکچی

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 تجارتي 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 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.

مدل سازی هزینه طراحی و اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای

مسعود پورغلام آمیجی^۱، عبدالمجید لیاقت^۲ و خالد احمدالی^۳*

۱ و ۲- به ترتیب: دانشجوی دکتری؛ و استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه

تهران، کرج، ایران

۳- استادیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۶

چکیده

تخصیص اعتبار به اجرای طرح‌های آبیاری تحت فشار به منظور صرفه جویی در مصرف منابع آب و انرژی و برای افزایش امنیت غذایی، یکی از اهداف دولت‌ها در دهه‌های اخیر است. به همین دلیل، داشتن پیش‌آگاهی از هزینه‌ها امری ضروری است. این پژوهش با هدف برآورد هزینه پروژه‌های آبیاری قطره‌ای در مراحل اولیه طراحی از روش برنامه‌ریزی ژنتیک و با استفاده از داده‌های ۱۰۰ پروژه آبیاری قطره‌ای، در چهار بخش شامل هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)، هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)، هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I) و هزینه کل (TC_T) اجرا شد. ابتدا یک بانک اطلاعاتی شامل ۳۹ متغیر مهم و تاثیرگذار در هزینه بخش‌های ذکر شده تهیه و قیمت پروژه‌ها برای سال پایه ۱۳۹۸ به روز رسانی شد. در مرحله بعد، مهم‌ترین ویژگی‌هایی که بیشترین تأثیر را در هزینه‌ها داشتند با استفاده از نرم‌افزار Eureka و بهره‌گیری از برنامه‌ریزی ژنتیک انتخاب شدند. در مرحله آخر، مدل‌های مختلفی در هر بخش برای برآورد هزینه ارائه و بر اساس آماره‌های دقت و پیچیدگی، مدل‌های برتر در هر بخش معرفی شدند. نتایج آنالیز همبستگی بین متغیرهای مستقل با متغیر وابسته (هزینه هر بخش) نشان داد که در بخش TC_P متغیر P_p (توان پمپ مورد نیاز)، در بخش TC_F متغیر L_{16mm} (طول کل لترال)، در بخش TC_I متغیر S_R (فاصله ردیف گیاهان) و در بخش TC_T متغیر H_p (ارتفاع پمپاژ) به ترتیب بیشترین ضریب همبستگی معادل ۰/۷۷، ۰/۶۴، ۰/۳۶ و ۰/۴۳ را داشته‌اند و در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار هستند. همچنین، نتایج مدل‌سازی هزینه سامانه آبیاری قطره‌ای نشان داد که در بخش TC_P مدلی با معیار ارزیابی R برابر ۰/۴۵، MAE (میانگین قدر مطلق خطا) برابر با ۲۷۲۳۶۳۳۳ ریال و پیچیدگی ۲۲ بهترین مدل است و این معیارهای ارزیابی در بخش TC_F برابر ۰/۸۵، ۲۱۱۹۸۲۵۷ ریال و ۱۳، در بخش TC_I برابر ۰/۷۷، ۴۵۴۸۳۹۹۶ ریال و ۱۱، و در بخش TC_T به ترتیب ۰/۷۴، ۷۷۲۲۰۸۴۵ ریال و ۱۵ حاصل گردید.

واژه‌های کلیدی

آبیاری تحت فشار، برآورد هزینه، الگوریتم ژنتیک، انتخاب ویژگی، Eureka Formulize

مقدمه

و در عین حال یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های قرن

حاضر است که می‌تواند سرمنشأ بسیاری از تحولات

آب یکی از مهم‌ترین منابع مورد نیاز جامعه بشری

کشاورزی، تغییر شیوه‌های سنتی آبیاری و استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری است. استفاده از روش‌های نوین آبیاری علاوه بر تأثیر در به‌زراعی محصولات کشاورزی مخصوصاً امکان استفاده بیشتر و بهتر از آب موجود، از فرسایش خاک نیز جلوگیری خواهد کرد. همچنین تأمین رطوبت کافی و جلوگیری از تلفات، منجر به کارایی بیشتر مصرف آب و جلوگیری از مصرف بیش از حد آب در کشاورزی خواهد شد (El-Shater *et al.*, 2017; Valentín *et al.*, 2020; Flores *et al.*, 2021). اهمیت کشاورزی آبی و توسعه سامانه‌های آبیاری در این بخش بدین منظور است که حدود ۷۰ درصد جمعیت دنیا در محدوده اراضی دیم و بقیه در محدوده اراضی آبی زندگی می‌کنند. بنابراین، بدون آبیاری و کشاورزی تأمین غذای کافی برای جمعیت کنونی دنیا امکان‌پذیر نیست (Gany *et al.*, 2019; Yin *et al.*, 2021). از طرف دیگر، بخش کشاورزی ۷۰ درصد از آب شیرین را در جهان مصرف می‌کند، در حالی که این مقدار در مناطقی مانند خاورمیانه و آفریقای شمالی که دچار کمبود شدید آب هستند، به بیش از ۹۰ درصد می‌رسد (Afshar & Fahmi, 2019; Oki, 2020).

در بسیاری از کشورها مانند ایران، کشت آبی عامل اصلی تولید غذا و آبیاری نقش کلیدی در افزایش تولید محصولات کشاورزی در ۵۰ سال گذشته داشته است. سرعت توسعه آبیاری در دنیا با روندی کاهشی از سال ۱۹۹۰ به کمتر از یک درصد در سال رسیده و پیش‌بینی می‌شود که به دلیل هزینه‌های سنگین احداث سامانه‌های آبیاری در ۲۵ سال آینده به ۰/۶ درصد برسد. این مسئله در حالی عنوان می‌شود که زمین‌های باقیمانده عمدتاً دارای محدودیت‌های فراوانی همچون محدودیت‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی هستند

مثبت و منفی جهان قرار گیرد (Gholizadeh-Sarabi *et al.*, 2019). نبود تعادل بین عرضه و تقاضای آب می‌تواند بحران آفرین باشد و این بحران در بُعد محلی، منطقه‌ای، ملی و حتی در بُعد جهانی رخ دهد. (Hamdi Ahmadabad *et al.*, 2019; Bakas *et al.*, 2020). مطالعات مختلفی وجود دارد که در آنها خطرهای ناشی از کمبود آب و آسیب‌پذیری منابع آب را در مقیاس منطقه‌ای و جهانی بررسی شده است (Cosgrove & Rijsberman, 2014; Ahmadaali *et al.*, 2017; Vaghefi *et al.*, 2021; Yin *et al.*, 2019). افزایش روز افزون جمعیت و در پی آن نیاز به تولید مواد غذایی موجب استفاده بیشتر و گسترده‌تر از منابع طبیعی، به‌خصوص منابع آبی، شده است (Najarchi *et al.*, 2020; Pourgholam-Amiji *et al.*, 2019). مطابق پیش‌بینی‌ها، طی ۲۵ سال آینده نیاز به تولیدات گیاهی دو برابر خواهد شد اما مشکل کمبود منابع آب مانعی است در برابر تولید محصولات کشاورزی. بنابراین با توجه به اینکه بخش کشاورزی، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب است، نوک پیکان به این سمت خواهد بود و تلاش برای کاهش مصرف آب در این بخش و افزایش بهره‌وری آب، امری ضروری و الزامی به نظر می‌رسد (Hassani *et al.*, 2020; Valentín *et al.*, 2020; Pourgholam-Amiji *et al.*, 2020).

توسعه فناوری در زمینه آبیاری دقیق، صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورزی، افزایش راندمان آبیاری، کاهش تبخیر آب از سطح خاک، امکان صرفه‌جویی در انرژی، کاهش هزینه‌های تولید و غیره باعث شده تا سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار به‌سرعت رو به گسترش و پیشرفت باشند. بنابراین، از مهم‌ترین راهکارهای ارائه‌شده در مدیریت بهینه مصرف آب و افزایش راندمان آبیاری در بخش

(1997, *al.*). بنابراین، برآورد هزینه اولیه نقش مهمی در تصمیمات اولیه پروژه ساخت‌وساز بازی می‌کند، حتی زمانی که پروژه هنوز نهایی نشده و اطلاعات بسیار محدودی درباره طراحی دقیق در این مراحل اولیه در دسترس است. برآورد هزینه با دقت بالا در مرحله اولیه پروژه‌های ساختمانی نقش اساسی در موفقیت هر پروژه ساختمانی دارد (Arafa & Alqedra, 2011; Chandanshive & Kambekar, 2021; Ekung *et al.*, 2019). علاوه بر این، پیش‌بینی هزینه نقش کلیدی در اتمام موفقیت‌آمیز پروژه‌های ساختمانی دارد. با توجه به کمبود اطلاعات، جزئیات، نقشه‌ها و بسیاری از عوامل مهم مؤثر در برآورد هزینه در مرحله برنامه‌ریزی، پروژه در معرض خطر قرار خواهد گرفت. بنابراین، برآورد هزینه نقش مهمی در تصمیمات پروژه ساخت‌وساز دارد و برای موفقیت در پروژه‌های عمرانی به برآورد هزینه با دقت زیاد و خطای کمتر نیاز خواهد بود (Araage & Dharwadkar, 2017; Alshahethi & Radhika, 2018; Karbachevsky *et al.*, 2021).

روش‌های مختلفی برای تخمین هزینه‌ها در دسترس است. با افزایش قدرت محاسبات، اکنون تمایل به استفاده از روش‌های مبتنی بر ماشین یادگیری¹ (ML)، مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی² (ANN)، منطق فازی³ (FL)، الگوریتم ژنتیک⁴ (GA) شامل برنامه‌ریزی بیان ژن⁵ (GEP) و برنامه‌ریزی ژنتیک⁶ (GP) و غیره برای برآورد دقیق‌تر مدت و هزینه‌های پروژه وجود دارد که می‌تواند با وجود جزئیات ناکافی در مرحله اولیه و با داده‌های کم اما همچنان قابل اعتماد باشند و روابط غیرخطی بین عوامل هزینه و هزینه پروژه را شناسایی کنند (Cheng *et al.*, 2010; Kadkhodaie *et al.*, 2020).

(FAOSTAT, 2018). در گزارشی گفته شده که ماهیت سامانه‌های آبیاری تحت فشار در صرفه‌جویی مصرف آب اثبات شده است (Perry *et al.*, 2017). در ایران تا سال ۱۳۹۵ مساحتی بالغ بر ۱/۴۵ میلیون هکتار از زمین‌های آبی و تا پاییز سال ۱۳۹۹، مساحتی به اندازه ۲/۵ میلیون هکتار از این زمین‌ها به سامانه‌های آبیاری تحت فشار مجهز شده‌اند. با این حساب، کمتر از ۳۰ درصد زمین‌های آبی در کشور تحت پوشش سامانه‌های نوین آبیاری قرار گرفته‌اند و این موضوع اهمیت بررسی نقاط ضعف و قوت، مدل‌سازی اقتصادی سامانه‌ها و به‌ویژه برآورد هزینه سامانه آبیاری پیش از احداث را نشان می‌دهد.

در دنیای رقابتی، با کاهش حاشیه سود و کاهش سهم بازار، هزینه هر پروژه یکی از معیارهای مهم در تصمیم‌گیری در مراحل اولیه طراحی و اجراست. برای حفظ رقابت در بازار، بسیار مهم است شرکت‌ها تخمین مناسبی از هزینه پروژه‌های خود داشته باشند (Matel *et al.*, 2019). استفاده از روش‌ها و فرمول‌هایی که با استفاده از مجموعه‌ای از اطلاعات اولیه طرح مورد نظر بتواند هزینه آن را برآورد کند، کمک شایانی به شرکت‌های مهندسين مشاور فعال در مهندسی آب خواهد کرد و می‌تواند به عنوان راهکاری جامع برای برآورد هزینه‌های احداث سامانه تحت فشار قبل از اجرای آن استفاده شود. از روش‌های مختلفی که برای تخمین هزینه در مراحل مختلف هر پروژه استفاده شود، می‌توان روش‌های برآورد هزینه تفصیلی سنتی، تخمین هزینه ساده، برآورد هزینه بر اساس توابع هزینه، برآورد هزینه بر اساس فعالیت، روش شاخص هزینه و سامانه‌های خبره را نام برد (Zhang & Fuh, 1998; Pettang *et al.*, 2018).

1- Machine Learning

3- Fuzzy Logic

5- Gene Expression Programming

2- Artificial Neural Networks

4- Genetic Algorithm

6- Genetic Programming

داد. در پژوهشی دیگر، گونی‌دین و دوگان (Günaydin & Doğan, 2004) نیز روشی مبتنی بر تئوری ANN را برای پروژه‌های ساخت‌وساز ارائه کردند و دقت مدل‌سازی را ۹۳ درصد به دست آوردند. اریج و دروادکر (Aragé & Dharwadkar, 2017) با برآورد هزینه پروژه‌های ساختمانی با استفاده از تکنیک یادگیری ماشین با استفاده از اطلاعات ۱۲ ساله در منطقه پونه هند نشان دادند که مدل پیشنهادی دقت پیش‌بینی ۹۱ تا ۹۷ درصد را حاصل کرده‌است. بر اساس ANN در برآورد هزینه اولیه پروژه‌ها مطالعات دیگری نیز وجود دارد که می‌توان به نتایج تحقیق چندان‌شیوه و کمبه‌کار (Chandanshive & Kambekar, 2019) در برآورد هزینه ساخت‌وساز پروژه‌های ساختمانی بمبئی هند، الشاهتی و ردهیکا (Alshahethi & Radhika, 2018) در برآورد هزینه نهایی ساخت‌وساز پروژه ساختمانی یمن و وو و شی (Wu & Shih, 2020) در برآورد هزینه در مرحله طراحی اولیه معماری اشاره کرد که همه این مطالعات، توانایی بالای شبکه‌های عصبی را تأیید کردند.

از مطالعات موجود که دقت مناسب روش برنامه‌ریزی ژنتیکی و بیان ژن را تأیید کرده‌اند، می‌توان به این پژوهش‌ها اشاره کرد: نگوی-رابرتسون و همکاران (Nguy-Robertson *et al.*, 2012) در برآورد شاخص سطح برگ سبز در ذرت و سویا برای دستیابی به حداکثر حساسیت، کلوساس و همکاران (Closas *et al.*, 2013) در پیش‌بینی میزان آنفلوآنزا با فیلترکردن ذرات، لارسن و همکاران (Larsen *et al.*, 2014) در مدل‌سازی پاسخ اکوسیستم جنگل به دی‌اکسید کربن و ازن با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، دمیرهان و آتیلگان (Demirhan & Atilgan, 2015) در تعیین مدل‌های تخمینی تابش

در حالی که استفاده از ANN برای برآورد هزینه از دید پیمانکاران فراوان است، مطالعات محدودی در مورد توسعه و کاربرد روش‌های مبتنی بر ML برای شرکت‌های مهندسين مشاور وجود دارد. با توجه به اینکه ماهیت محصولات / خدمات ارائه‌شده توسط شرکت‌های مهندسين مشاور ذاتاً با ماهیت محصولات / خدمات ارائه‌شده توسط پیمانکاران متفاوت است (یعنی آنها انتزاعی‌تر هستند و ماده کمتری دارند) و همچنین با توجه به اینکه نوع و سطح جزئیات اطلاعات موجود در مرحله مناقصه تفاوت دارد، بررسی کاربرد روش‌های مبتنی بر ML برای برآورد هزینه در شرکت‌های مشاوره مهم است (Zwaving, 2014; NASA, 2015; Lester, 2017; Alshahethi & Radhika, 2018; Matel *et al.*, 2019; Gransberg & Rueda, 2020). در مطالعات داخلی بیشتر پرداخته شده است به تحلیل اقتصادی سامانه‌های آبیاری با تغییر از یک سامانه به سامانه دیگر و تأثیر آن بر عملکرد محصولات و بهره‌وری، اما در مطالعات خارجی بیشتر به شناخت اجزای تأثیرگذار و برآورد هزینه‌های نهایی در پروژه‌های راه و ساختمان پرداخته شده است.

متل و همکاران (Matel *et al.*, 2019) از رویکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) برای برآورد هزینه خدمات مهندسی استفاده کردند. این محققان پس از شناسایی عوامل مؤثر بر هزینه خدمات مهندسی، با استفاده از داده‌های ۱۳۲ پروژه ساختمانی مدلی تهیه کردند و نشان دادند که شبکه‌های عصبی مصنوعی حتی با داشتن مجموعه داده‌های کوچک می‌توانند تخمین هزینه نسبتاً دقیقی به دست آورند. مدل توسعه‌یافته در این مطالعه با توجه به میانگین درصد خطای مطلق (MAPE)^۱، بهبود ۱۴/۵ درصد را در دقت مدل نشان

1- Mean Absolute Percentage Error

طراحان امکان‌پذیری اجرای پروژه را با اطمینان بالاتر ارائه می‌دهد و نیز کنترل هزینه‌های مؤثر در طراحی و اجرای پروژه را ممکن می‌سازد.

در این مطالعه، ابتدا با استفاده از روش برنامه‌ریزی ژنتیک (GP) به شناسایی مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر هزینه قسمت‌های مختلف سامانه‌های آبیاری قطره‌ای پرداخته شده‌است. پس از آن، هزینه بخش‌های مختلف هزینه در این سامانه‌ها با استفاده از مهمترین پارامترهای شناسایی شده در گام اول مدل‌سازی شده‌است.

مواد و روش‌ها

هزینه پروژه‌های آبیاری تحت فشار در سه مرحله مدل‌سازی شد. این سه مرحله عبارت اند از: ۱- جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز و به‌روزرسانی هزینه تمام‌شده پروژه‌ها، ۲- انتخاب ویژگی‌های برتر و ۳- آموزش و اعتبارسنجی مدل برآورد هزینه اولیه هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TCP)، هزینه لوازم داخل مزرعه (TCF)، هزینه نصب و اجرای سیستم داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TCI) و هزینه کل (TCT).

مرحله اول: جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز و به‌روزرسانی هزینه تمام‌شده پروژه‌ها

در این پژوهش از آمار و اطلاعات ۱۰۰ سامانه آبیاری قطره‌ای اجرا شده بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸ در نقاط مختلف کشور استفاده گردید. برای هر سامانه، آمار و اطلاعات مورد استفاده از دفترچه‌های طرح، نقشه‌های اتوکد و فایل اکسل مربوط به محاسبات طراحی استخراج و هزینه سامانه‌ها به دو بخش کلی دسته‌بندی شد: هزینه ایستگاه پمپاژ و هزینه مزرعه. انواع متغیرهای کاندیدا برای ورودی مدل برآورد هزینه‌های سامانه

خورشیدی، اشمیت و همکاران (Schmidt et al., 2016) در ادغام داده‌های راداری نوری و باند X برای تخمین زیست‌توده مرتع در جنگل، رامپون و والانتیه (Rampone & Valente, 2017) در پیش‌بینی دمای فصلی، و مطالعات ون و همکاران (Wen et al., 2018)، گومز و همکاران (Gomes et al., 2019)، نونیس و همکاران (Nonis et al., 2020) و آمِن و همکاران (Amen et al., 2020). اهمیت مدل‌سازی از آن روست که بهترین مدل‌ها شناسایی می‌شوند تا ساده‌ترین مدل، که شامل برترین ویژگی‌ها نیز هست، به کار گرفته شود. مدل هر چه ساده‌تر و اصل خست در آن رعایت شده باشد، یعنی ورودی‌های آن کمتر باشد، آن مدل بهتر است (Saltelli et al., 2018; Weber et al., 2019).

یکی از مهم‌ترین نیازهای وزارت جهاد کشاورزی، وزارت نیرو و سایر متولیان صنعت آب و همچنین کارفرمایان، مشاوران و پیمانکاران، پیش‌بینی هزینه‌های پروژه‌ها در مرحله اولیه طراحی است. از آنجا که توسعه سامانه‌های مختلف آبیاری تحت فشار جزء سیاست‌های راهبردی وزارت جهاد کشاورزی است، داشتن دانش، اطلاعات و پیش‌آگاهی از هزینه سامانه آبیاری در مناطق مختلف و قبل از اجرا، کمک شایانی به مدیریت هزینه خواهد کرد. با توجه به وسعت قابل توجه زمین‌های زیر پوشش آبیاری تحت فشار و همچنین پتانسیل توسعه آن در کشور، این مدل‌سازی هزینه در بودجه‌بندی سالانه کشور نقش بسزایی خواهد داشت و توجه به آن از اهم امور است. نداشتن آگاهی کامل از هزینه تمام‌شده پروژه در ابتدای کار، وجه اجتناب‌ناپذیر بیشتر پروژه‌های توسعه و ساختمانی است، به گونه‌ای که زبده‌ترین مجریان و پیمانکاران نیز در این زمینه با مشکلاتی روبه‌رو هستند. این‌گونه تخمین‌ها به مالکان و

هزینه سالانه سرمایه تبدیل شود. علاوه بر این، به دلیل اینکه تمام هزینه‌ها به زمان وابسته هستند، این تبدیل همچنین ارزش زمانی فعلی هزینه‌های سرمایه‌گذاری شده در سال‌های قبل را نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر با استفاده از تورم سالانه (به صورت پله‌ای)، قیمت سال‌های پیشین به سال پایه تبدیل و هزینه‌ها به‌روز رسانی شد (Park, 2012):

$$X_t = X_0(1+r)^n \quad (1)$$

که در آن،

X_t = ارزش فعلی سرمایه؛ X_0 = ارزش پایه سرمایه (ارزش سرمایه‌گذاری در سال احداث سامانه)؛ r = متوسط نرخ بهره بانکی سالانه؛ و n = تعداد سال از سال احداث سامانه تا کنون است. پس از استخراج متغیرهای مؤثر بر هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، در گام بعد ویژگی‌های برتر با بیشترین تأثیر بر مقدار خروجی مدل (یعنی هزینه)، انتخاب شدند.

مرحله دوم: انتخاب ویژگی‌های برتر

حساسیت مدل به هر پارامتر ورودی عبارت است از نسبت تغییر در پارامتر خروجی مدل به ازای تغییر در آن پارامتر در حالتی که سایر پارامترها ثابت نگه‌داشته شوند. در آنالیز حساسیت^۱ هر پارامتر ورودی، مقدار تغییر معادل ± 25 و ± 50 درصد در نظر گرفته می‌شود تا شرایط لازم تحلیل حساسیت را فراهم آورد و حداکثر محدوده ممکن خطاها را در پارامترهای ورودی پوشش داده باشد. خروجی‌های مدل در وضعیت اولیه (بدون تغییر داده‌ها) خروجی مبنا در نظر گرفته می‌شوند. با تغییر هر یک از پارامترهای ورودی و ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها، تأثیر آن بر پارامتر خروجی ارزیابی می‌شود. برای کمی‌سازی میزان حساسیت هر پارامتر ورودی، از رابطه ۲ استفاده شد (Komkov et al., 1986; Saltelli et al., 2008):

آبیاری قطره‌ای مشتمل‌اند بر متغیرهای هندسی زمین، متغیرهای مربوط به خاک، متغیرهای مربوط به منبع آبی، متغیرهای مربوط به گیاه و اقلیم، متغیرهای مدیریت آبیاری و متغیرهای هیدرولیکی. این متغیرها به این شرح استخراج شدند: اطلاعات عمومی طرح (استان، شهرستان، مالک، نوع محصول، نوع منبع آب، نوع انرژی و سال اجرا)، اطلاعات مربوط به منبع آبی (میزان و وضعیت حقاچه، هدایت الکتریکی، اسیدیته، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کربنات و بی‌کربنات)، اطلاعات مربوط به گیاه (فاصله ردیف‌های درختان، فاصله درختان روی هر ردیف، حداکثر تبخیر-تعرق روزانه گیاه، سطح سایه‌انداز و عمق توسعه ریشه)، اطلاعات مربوط به خاک (ظرفیت نگهداری آب در خاک، درصد تخلیه مجاز رطوبتی، درصد سطح خیس‌شده، نفوذپذیری نهایی و وزن مخصوص ظاهری)، اطلاعات مربوط به سامانه آبیاری (دبی متوسط کارکرد، فشار متوسط کارکرد، نوع آرایش لترال‌ها، تعداد گسیلنده برای هر گیاه و فاصله گسیلنده)، اطلاعات مربوط به مدیریت آبیاری مزرعه (دور آبیاری طراحی، نیاز خالص آبیاری، نیاز ناخالص آبیاری، مدت آبیاری، حداکثر ساعات آبیاری در یک شبانه‌روز، حداکثر تعداد نوبت آبیاری در هر دور، تعداد نوبت آبیاری، مساحت متوسط هر واحد آبیاری و دبی متوسط هر واحد آبیاری)، اطلاعات مربوط به ویژگی‌های مزرعه‌ای (شکل هندسی زمین، شیب متوسط، اختلاف ارتفاع منبع آبی تا بلندترین نقطه زمین، طول لترال‌ها، قطر و طول لوله‌های اصلی، نیمه اصلی و مانیفولدها و اتصالات)، اطلاعات ایستگاه پمپاژ (نوع پمپ، توان موتور، ارتفاع پمپاژ، دبی پمپاژ، اتصالات و لوازم سیستم کنترل مرکزی).

در بحث ارزش فعلی سرمایه در علم اقتصاد، باید مبلغ کل هزینه‌ها مشخص شود که آیا کشاورز با سرمایه‌گذاری در جایی دیگر، و نه خرید یا احداث سامانه، آیا سود بیشتری خواهد برد؟ پس از آن به

$$S = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_{ni} - x_{ci}}{x_{ci}} \right) \quad (2)$$

که در آن،

N = تعداد نقاط برای یک پارامتر خروجی؛
 x_{ni} = مقدار جدید پارامتر خروجی در نقطه i ام به ازای تغییر در پارامتر ورودی؛ x_{ci} = مقدار پارامتر خروجی در نقطه i ام در حالت اجرای کنترل شبیه‌سازی بدون تغییر در پارامتر ورودی؛ و Δ = مقدار مطلق تغییر در پارامتر ورودی است.

لازم است گفته شود علامت منفی پارامتر شاخص حساسیت نشان می‌دهد که مقدار آن پارامتر در آنالیز حساسیت نسبت به حالت اولیه کمتر شده است و علامت مثبت نشان‌دهنده عکس این موضوع است (Douglas-Smith *et al.*, 2020; Qian & Mahdi, 2020).
 جدول ۱ متغیرهای کاندیدا را برای تعیین رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته نشان می‌دهد.

جدول ۱- متغیرهای کاندیدا برای تعیین رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته و برآورد هزینه سامانه آبیاری قطره‌ای
 Table 1- Candidate variables for determining the relationship between independent and dependent variables and estimating the cost of drip irrigation system

نماد	توضیح	نماد	توضیح
Symbol	Description	Symbol	Description
A	مساحت زمین	L _{16mm} (m)	طول کل لترال
P/A (1/m)	شکل زمین (نسبت محیط به مساحت)	L _{32mm} (m)	طول لوله رابط یک
N _{PL}	تعداد قطعات زمین	L _{40mm} (m)	طول لوله رابط دو
D _{SF} (m)	فاصله منبع آبی تا زمین	L _{50mm} (m)	طول لوله مانیفولد
ΔH_{SF} (m)	اختلاف ارتفاع منبع آبی و زمین (بحرانی)	L _{63mm} (m)	طول لوله فرعی
Q _T (L/S)	مقدار کل دبی آب قابل دسترس	L _{75mm} (m)	طول لوله نیمه اصلی
N _{HO} (hour)	نسبت ساعتی در دور آبیاری که آب در اختیار مالک است	L _{90mm} (m)	طول لوله اصلی
S _R (m)	فاصله ردیف گیاهان	L _{110mm} (m)	طول لوله جانبی
S _P (m)	فاصله گیاه روی هر ردیف	L _{125mm} (m)	طول لوله جانبی
ET _P (mm/day)	تبخیر-تعرق گیاه	L _{160mm} (m)	طول لوله جانبی
F _{SP} (mm/hr)	نفوذپذیری نهایی خاک	L _{200mm} (m)	خط انتقال طولانی
AW (mm/m)	ظرفیت نگهداری آب در خاک (FC-PWP)	W _Q	کیفیت آب از نظر نیاز به فیلتراسیون
W _A (%)	سطح خیس‌شده	Q _S (l/s)	دبی سیستم
Q _E (Lit/s)	دبی گسیلنده	P _P (kw)	توان پمپ مورد نیاز
N _E (n)	تعداد کل گسیلنده	H _P (m)	ارتفاع پمپاژ
T (h)	تعداد ساعات کاری در شبانه‌روز	D _{FE} (m)	فاصله زمین تا خطوط برق
N _{IT} (n)	تعداد نوبت‌های آبیاری	S (%)	نوع منطقه یا شیب غالب (کوهستانی، دشت)
A _{IT} (ha)	مساحت نوبت‌های آبیاری	TC _P (Rial)	هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (ریال)
N _{IU} (n)	تعداد واحدهای آبیاری	TC _F (Rial)	هزینه لوازم داخل مزرعه (ریال)
A _{IU} (ha)	مساحت واحدهای آبیاری	TC _I (Rial)	هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (ریال)
F (day)	دور آبیاری	TC _T (Rial)	هزینه کل (ریال)
N _{IUS} (n)	تعداد واحدهای آبیاری که همزمان آبیاری می‌شوند		

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \times \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (3)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \quad (4)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (5)$$

که در آنها؛

O_i = مقادیر مشاهداتی؛ P_i = مقادیر پیش‌بینی شده؛
 $\bar{O}$ = میانگین مقادیر مشاهداتی؛ $\bar{P}$ = میانگین مقادیر
 پیش‌بینی شده؛ و n = تعداد داده‌هاست.

هر مدل که R بیشتر و MSE و MAE کمتر داشته
 باشد مطلوبیت بیشتری دارد.

نتایج و بحث

بررسی همبستگی بین متغیرها

نتایج همبستگی بین ۳۹ متغیر مستقل ذکر شده
 با هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی
 (TC_P) ، هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F) ، هزینه
 نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I) و
 هزینه کل (TC_T) در جدول (۲) ارائه شده است.
 بیشترین ضریب همبستگی (R) مثبت بین
 پارامترهای Q_S (دبی سیستم)، P_P (توان پمپ مورد
 نیاز) و H_P (ارتفاع پمپاژ) با TC_P به ترتیب با مقدار
 ۰/۶۱۸، ۰/۷۶۶ و ۰/۶۶۶ به‌دست آمد و هر سه در
 سطح یک درصد دارای اختلاف معنی داری هستند.
 از آنجایی که عمده‌هزینه بخش ایستگاه پمپاژ و
 سیستم کنترل مرکزی مربوط به تجهیزات ایستگاه
 پمپاژ است، سه متغیر مذکور بیشترین همبستگی را
 با TC_P دارند و مهم‌ترین پارامترهای این بخش به
 حساب می‌آیند و با افزایش دبی سیستم، توان پمپ
 و ارتفاع پمپاژ، هزینه نهایی ایستگاه پمپاژ و سیستم
 کنترل مرکزی افزایش می‌یابد.

مرحله سوم: آموزش و اعتبارسنجی مدل برآورد هزینه

در این پژوهش، از نرم‌افزار Eureka Formulize
 برای برآورد هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای
 استفاده شد. این نرم‌افزار به‌طور خودکار
 پیش‌پردازش داده‌ها مانند نرمال‌سازی، حذف
 داده‌های پرت و تصادفی کردن داده‌ها را به‌کار
 می‌بندد و بدین طریق خطای محاسباتی را به دلیل
 نبود نویز در داده‌ها به حداقل می‌رساند. نرم‌افزار
 Eureka Formulize با نام اختصاری Eureka در
 سال ۲۰۰۹ در دانشگاه کرنل^۱ آمریکا ساخته و عرضه
 شده است. این برنامه را بعداً شرکت Nutonian
 طراحی و توسعه داد که با بهره‌گیری از الگوریتم‌های
 تکاملی^۲ که معروف‌ترین آن الگوریتم ژنتیک (GA) و
 زیربخش برنامه‌ریزی ژنتیک (GP) است، روابط بین
 پارامترها را کشف و مدل‌سازی می‌کند. این برنامه در
 نهایت به صورت رگرسیون نمادین با ارائه مجموعه‌ای
 از روابط ریاضی، معادله نهایی را در اختیار کاربر قرار
 می‌دهد که کاربر می‌تواند بنا به نیاز و فعالیت خود
 هریک را انتخاب کند و با ارائه خروجی‌های مختلف،
 آنالیز مدل ارائه‌شده را برای کاربر ساده می‌کند. پس
 از پیش‌پردازش داده‌ها، ۷۰ درصد از داده‌ها به عنوان
 داده‌های آموزش^۳ و ۳۰ درصد به عنوان داده‌های
 آزمایش^۴ یا آزمون در نظر گرفته شد (Schmidt &
 Lipson, 2009).

معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی مدل‌ها و مقایسه نتایج روش‌های
 مختلف، از سه معیار ارزیابی یعنی ضریب
 همبستگی^۵ (R)، خطای میانگین مربعات^۶ (MSE) و
 میانگین قدر مطلق خطا^۷ (MAE) استفاده شد
 (Moriasi et al., 2007):

1- Cornell University
 3- Training Data
 5- Correlation Coefficient
 7- Mean Absolute Error

2- Evolutionary Algorithms
 4- Testing Data
 6- Mean Squared Error

سه پارامتر دارای بیشترین همبستگی با هزینه TC_F عبارت‌اند از A (مساحت زمین)، N_E (تعداد کل گسیلنده) و L_{16mm} (طول کل لترال) که ضریب همبستگی آنها به ترتیب برابر با ۰/۵۵۰، ۰/۶۳۱ و ۰/۶۳۸ است. با توجه به آماره P -value، همگی این متغیرها در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دارند. با افزایش مساحت و بالطبع افزایش تعداد کل گسیلنده و لوله‌های آبد، هزینه نهایی لوازم داخل مزرعه افزایش می‌یابد و به عبارتی این متغیرها نماینده ۳۹ متغیر مورد مطالعه برای بررسی پیوند بین این پارامترها با هزینه نهایی لوازم داخل مزرعه (TC_F) هستند.

البته متغیرهای N_{IT} ، D_{SF} ، N_{PL} ، L_{63mm} ، L_{75mm} و L_{90mm} ضریب همبستگی بالایی از خود نشان دادند که همگی آنها در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار شده‌اند (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج ضریب همبستگی و معنی‌داری (P -value) متغیرهای مستقل با متغیر وابسته

Table 2- Results of correlation coefficient and significance (P -value) of independent variables with dependent variable

TC_T		TC_I		TC_F		TC_P		پارامتر
P-value	R^2	P-value	R^2	P-value	R^2	P-value	R^2	
0.000 **	0.400	0.158 ^{ns}	0.142	0.000 **	0.550	0.002 **	0.301	A
0.035 *	-0.211	0.790 ^{ns}	-0.027	0.054 ^{ns}	-0.193	0.002 **	-0.304	P/A (1/m)
0.262 ^{ns}	0.113	0.706 ^{ns}	0.038	0.001 **	0.330	0.743 ^{ns}	-0.033	N_{PL}
0.097 ^{ns}	0.167	0.243 ^{ns}	0.118	0.000 **	0.452	0.220 ^{ns}	-0.124	D_{SF} (m)
0.001 **	0.336	0.003 **	0.294	0.586 ^{ns}	0.055	0.010 *	0.257	ΔH_{SF} (m)
0.766 ^{ns}	-0.030	0.563 ^{ns}	0.059	0.679 ^{ns}	-0.042	0.184 ^{ns}	-0.134	Q_T (L/S)
0.356 ^{ns}	0.093	0.887 ^{ns}	0.014	0.312 ^{ns}	-0.102	0.009 **	0.261	N_{HO} (hour)
0.001 **	0.322	0.000 **	0.355	0.543 ^{ns}	-0.062	0.039 *	0.207	S_R (m)
0.011 *	0.252	0.012 *	0.251	0.328 ^{ns}	-0.099	0.016 *	0.240	S_P (m)
0.000 **	0.368	0.005 **	-0.282	0.753 ^{ns}	0.032	0.000 **	-0.409	ET_P (mm/day)
0.783 ^{ns}	-0.028	0.957 ^{ns}	-0.005	0.885 ^{ns}	0.015	0.519 ^{ns}	-0.065	F_{SP} (mm/hr)
0.962 ^{ns}	-0.005	0.912 ^{ns}	0.011	0.649 ^{ns}	-0.046	0.976 ^{ns}	0.003	AW (mm/m)
0.000 **	-0.454	0.000 **	-0.478	0.244 ^{ns}	0.118	0.000 **	-0.350	W_A (%)
0.744 ^{ns}	0.033	0.913 ^{ns}	0.011	0.227 ^{ns}	0.122	0.786 ^{ns}	-0.028	Q_E (Lit/s)
0.510 ^{ns}	0.067	0.141 ^{ns}	-0.148	0.000 **	0.631	0.626 ^{ns}	-0.049	N_E (n)
0.828 ^{ns}	0.022	0.458 ^{ns}	-0.075	0.914 ^{ns}	-0.011	0.075 ^{ns}	0.179	T (h)
0.173 ^{ns}	0.137	0.732 ^{ns}	0.035	0.000 **	0.358	0.937 ^{ns}	0.008	N_{IT} (n)
0.020 *	0.232	0.388 ^{ns}	0.087	0.088 ^{ns}	0.172	0.007 **	0.269	A_{IT} (ha)
0.191 ^{ns}	0.132	0.657 ^{ns}	0.045	0.000 **	0.520	0.183 ^{ns}	-0.134	N_{IU} (n)
0.250 ^{ns}	0.116	0.905 ^{ns}	-0.012	0.783 ^{ns}	-0.028	0.002 **	0.304	A_{IU} (ha)
0.217 ^{ns}	0.124	0.043 *	0.202	0.884 ^{ns}	-0.015	0.756 ^{ns}	-0.031	F (day)
0.450 ^{ns}	0.076	0.542 ^{ns}	0.062	0.009 **	0.259	0.296 ^{ns}	-0.106	N_{IUS} (n)
0.409 ^{ns}	0.083	0.139 ^{ns}	-0.149	0.000 **	0.638	0.881 ^{ns}	-0.015	L_{16mm} (m)
0.362 ^{ns}	0.092	0.228 ^{ns}	0.122	0.392 ^{ns}	-0.086	0.457 ^{ns}	0.075	L_{32mm} (m)
0.007 **	0.266	0.001 **	0.335	0.293 ^{ns}	-0.106	0.156 ^{ns}	0.143	L_{40mm} (m)
0.299 ^{ns}	0.105	0.198 ^{ns}	0.130	0.458 ^{ns}	0.075	0.831 ^{ns}	-0.022	L_{50mm} (m)
0.279 ^{ns}	0.109	0.706 ^{ns}	-0.038	0.000 **	0.362	0.564 ^{ns}	0.058	L_{63mm} (m)
0.471 ^{ns}	-0.073	0.040 *	-0.205	0.001 **	0.328	0.521 ^{ns}	-0.065	L_{75mm} (m)

ادامه جدول ۲- نتایج ضریب همبستگی و معنی‌داری (P-value) متغیرهای مستقل با متغیر وابسته

Table 2- Results of correlation coefficient and significance (P-value) of independent variables with dependent variable

TC _T		TC _I		TC _F		TC _P		پارامتر
P-value	R ²	P-value	R ²	P-value	R ²	P-value	R ²	
0.029 *	0.218	0.173 ^{ns}	0.137	0.000 **	0.464	0.643 ^{ns}	-0.047	L _{90mm} (m)
0.349 ^{ns}	-0.095	0.448 ^{ns}	-0.077	0.057 ^{ns}	0.191	0.024 *	-0.226	L _{110mm} (m)
0.347 ^{ns}	-0.095	0.678 ^{ns}	-0.042	0.083 ^{ns}	0.174	0.006 **	-0.271	L _{125mm} (m)
0.335 ^{ns}	-0.097	۰/۵۶۴ ^{ns}	-0.058	0.368 ^{ns}	0.091	0.055 ^{ns}	-0.192	L _{160mm} (m)
0.313 ^{ns}	0.247	0.013 *	-0.247	0.607 ^{ns}	0.052	0.202 ^{ns}	0.129	L _{200mm} (m)
0.083 ^{ns}	-0.174	0.093 ^{ns}	-0.169	0.388 ^{ns}	-0.087	0.516 ^{ns}	-0.066	W _Q
0.004 **	0.287	0.834 ^{ns}	0.021	0.950 ^{ns}	0.006	0.000 **	0.618	Q _s (l/s)
0.000 **	0.428	0.125 ^{ns}	0.154	0.597 ^{ns}	-0.054	0.000 **	0.766	P _p (kw)
0.000 **	0.429	0.007 **	0.269	0.090 ^{ns}	-0.171	0.000 **	0.666	H _p (m)
0.029 *	0.218	0.573 ^{ns}	0.057	0.088 ^{ns}	0.171	0.004 **	0.287	D _{FE} (m)
0.027 *	0.222	0.008 **	0.264	0.961 ^{ns}	-0.005	0.402 ^{ns}	0.085	S (%)

نشانه های * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ^{ns} نبود تفاوت معنی‌دار است.

در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار هستند (جدول ۲).

پارامترهای A (مساحت زمین)، P_p (توان پمپ مورد نیاز) و H_p (ارتفاع پمپاژ) به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۴۰۰، ۰/۴۲۸ و ۰/۴۲۹ بیشترین همبستگی را با هزینه کل (TC_T) دارند. سه مورد از متغیرهایی که ضریب همبستگی منفی و به عبارتی رابطه عکس با TC_T دارند، متغیرهایی هستند که در بخش TC_P و TC_I تکرار شده‌اند و مشتمل‌اند بر P/A (شکل زمین، نسبت محیط به مساحت)، ET_P (تبخیر-تعرق گیاه) و W_A (سطح خیس‌شده) به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۲۱۱، ۰/۳۶۸ و ۰/۴۵۴- که هر سه در سطح یک درصد دارای اختلاف معنی‌داری هستند (جدول ۲). به طور کلی نتایج همبستگی را می‌توان به این صورت جمع‌بندی کرد: ۱۲ متغیر با سطح معنی‌داری یک درصد، چهار متغیر با سطح معنی‌داری پنج درصد و ۲۳ متغیر با نبود تفاوت معنی‌دار با هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P). این موضوع برای

در بخش هزینه نصب و اجرای سامانه داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I)، متغیرهای ΔH_{SF} (اختلاف ارتفاع منبع آبی و زمین در بحرانی‌ترین حالت)، S_R (فاصله ردیف گیاهان) و L_{40mm} (طول لوله رابط دو) به ترتیب با مقدار ۰/۲۹۴، ۰/۳۵۵ و ۰/۳۳۵ دارای بیشترین ضریب همبستگی و در سطح اطمینان یک درصد معنی‌دار هستند (جدول ۲). دلیل کاهش مقدار عددی ضریب همبستگی در بخش TC_I نسبت به بخش‌های دیگر هزینه آن است که همه متغیرها، به‌گونه‌ای تأثیر مستقیم خود را بر TC_P و TC_F گذاشته‌اند و اکنون چون تأثیر غیرمستقیم خود را بر متغیر وابسته TC_I می‌گذارند، مقدار عددی ضریب همبستگی نسبت به دو بخش قبل کاهش یافته است. بیشترین مقدار ضریب همبستگی منفی که رابطه عکس بین متغیرها و TC_I را نشان می‌دهد، مربوط به متغیرهای ET_P (تبخیر-تعرق گیاه)، W_A (سطح خیس‌شده) و L_{200mm} (خط انتقال طولانی) به ترتیب برابر با ۰/۲۸۲، ۰/۴۷۸ و ۰/۲۴۷- است که هر سه متغیر

مدل هایی با پیچیدگی کمتر از ۲۲ انتخاب کرد که نتایج خوبی در بخش TC_P به دست می دهند. بهترین مدل برای برآورد هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی یک سامانه آبیاری قطره ای به صورت $TC_P = a + b*(L32mm (m)) + c*\sqrt{PP (kw))} - d*(WA (%)) - e*\text{xor}(f, (DFE (m)))$ است.

در بخش هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)، بهترین مدل زمانی به دست آمده که پیچیدگی مدل سازی برابر ۱۳ است و با ضریب همبستگی (R) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) به ترتیب برابر با ۰/۸۴۸ و ۲۱۱۹۸۲۵۷ ریال بهترین مقدار را در بین ۶ مدل به دست آمده در بخش TC_F دارد. لازم است گفته شود که مدل های با پیچیدگی ۱۱ و ۷ نیز دقت بالایی دارند و پارامترهای آماری MAE ، R و MSE نیز بیانگر این ادعاست. بنابراین اگر قرار بر معرفی یک مدل برای برآورد هزینه لوازم داخل مزرعه یک سامانه آبیاری قطره ای باشد، می توان مدل $TC_F = a + A + b*(DSF (m)) + c*A*(L16mm (m))$ را معرفی کرد. در بخش هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I)، مدلی که بهترین همبستگی و کمترین خطا را داشت، مدلی بود که از پیچیدگی ۱۱ به دست آمد و جالب توجه این است که در این بخش حتی پیچیدگی ۱۵ و ۲۱ هم وجود دارد. البته تفاوت دقت مدل سازی بین حالت پیچیدگی ۷ و ۹ با ۱۱ و ۱۵ و ۲۱ زیاد چشم گیر نیست. مدلی که برای برآورد هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ سامانه آبیاری قطره ای توصیه می شود، مدل $TC_I = a + b*(F (day))*(L40mm (m)) - c*(WA (%))$ با ضریب همبستگی (R) برابر با ۰/۷۷۰ و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) برابر با ۴۵۴۸۳۹۹۶ ریال است.

دیگر بخش ها بدین شرح است که در بخش هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)، ۱۱ متغیر در سطح معنی داری یک درصد و ۲۸ متغیر با نبود تفاوت معنی دار؛ در بخش هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I)، ۷ متغیر در سطح معنی داری یک درصد، ۴ متغیر در سطح معنی داری پنج درصد و ۲۸ متغیر با نبود تفاوت معنی دار؛ و در نهایت در بخش هزینه کل (TC_T)، ۹ متغیر در سطح معنی داری یک درصد، ۶ متغیر در سطح معنی داری پنج درصد و ۲۴ متغیر با نبود تفاوت معنی دار به ثبت رسیده اند (جدول ۲).

استخراج روابط بین متغیرها

نتایج مدل سازی اقتصادی بخش های مختلف هزینه سامانه آبیاری گویای آن است که هر چه پیچیدگی مدل بیشتر باشد، نتایج قابل قبول تری به دست می آید (جدول ۳). در بخش هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)، مدلی که بیشترین پیچیدگی یعنی ۲۲ را داشت، بهترین عملکرد را از نظر شاخص های آماری دارد. مقدار ضریب همبستگی (R) در این مدل بالاترین مقدار را بین دیگر مدل های برآوردی داشته (۰/۴۴۹) و خطای میانگین مربعات (MSE) با مقدار ۲۷۲۳۶۳۳۳ ریال و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) نیز حداقل مقدار خود را داشتند. البته بین مدل های با پیچیدگی ۷ تا ۲۱ که چهار مدل هستند، تفاوت چندانی از نظر دقت و عملکرد با مدل برتر وجود ندارد. به عبارتی، با تغییر از حالت پیچیدگی ۱ به ۳ و یا به ۵، خطای مدل سازی کمتر می شود و دقت تخمین بالاتر می رود اما زمانی که پیچیدگی ها از ۷ بیشتر شود، درصد کاهش خطا و افزایش دقت مدل شیب کمتری دارد و می توان

جدول ۳- نتایج مدل‌سازی اقتصادی بخش‌های مختلف هزینه سامانه آبیاری قطره‌ای

Table 3- Results of economic modeling of different parts of the cost of drip irrigation system

پارامتر آماری Evaluation criteria			مدل‌های به دست آمده Obtained models	پیچیدگی Complexity	بخش Part
MSE	MAE	R			
1.9372e15	27236333	0.449	$TC_P = a + b*(L32mm(m)) + c*\sqrt{PP(kw))} - d*(WA(\%)) - e*\text{xor}(f, (DFE(m)))$	22	هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی Cost of pumping station and central control system (TC _P)
2.09348e15	28931346	0.319	$TC_P = a + b*(DFE(m)) + c*(L32mm(m)) + d*\sqrt{PP(kw))} - e*(WA(\%))$	21	
1.96859e15	30538769	0.318	$TC_P = a + b*(PP(kw)) + c*(L32mm(m)) - d*(WA(\%))$	13	
2.55872e15	35522290	0.328	$TC_P = a + b*(PP(kw)) - c*(WA(\%))$	9	
1.52049e15	30878553	0.376	$TC_P = a + b*(PP(kw)) - c*(WA(\%))$	7	
3.57204e15	45579020	0.200	$TC_P = a + b*(PP(kw))$	5	
1.49747e15	25765997	0.124	$TC_P = a + b*A$	3	
1.15856e15	27236333	0	$TC_P = a$	1	
7.27949e14	21198257	0.848	$TC_F = a + A + b*(DSF(m)) + c*A*(L16mm(m))$	13	هزینه لوازم داخل مزرعه Cost of on-farm equipment (TC _F)
7.68059e14	21442189	0.849	$TC_F = a + b*(DSF(m)) + c*A*(L16mm(m))$	11	
7.29798e14	22797586	0.837	$TC_F = a + b*A*(L16mm(m))$	7	
1.02543e15	26529631	0.764	$TC_F = a + b*(NE(n))$	5	
1.9709e15	31709534	0.764	$TC_F = a*(NE(n))$	3	
2.4518e15	41982187	0	$TC_F = a$	1	
6.59292e15	44255402	0.494	$TC_I = a + b*(L40mm(m)) + c*(QT(L/S))*(L32mm(m)) + d*(SR(m))^2 - e*(ETP(mm/day))$	21	هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ Cost of installation and performance on-farm and pumping station (TC _I)
6.20094e15	51403144	0.529	$TC_I = a + b*(L40mm(m)) + c*(QT(L/S))*(L32mm(m)) - d*(ETP(mm/day))$	15	
3.6007e15	45483996	0.770	$TC_I = a + b*(F(day))*(L40mm(m)) - c*(WA(\%))$	11	
7.62029e15	53750421	0.335	$TC_I = a + b*(SR(m)) - c*(ETP(mm/day))$	9	
7.1555e15	60096707	0.458	$TC_I = a - b*(ETP(mm/day))*(WA(\%))$	7	
6.63756e15	51328915	0.491	$TC_I = a - b*(WA(\%))$	5	
8.12169e15	55060897	0.326	$TC_I = a*(SR(m))$	3	
8.48927e15	66118323	0	$TC_I = a$	1	
9.72272e15	77240845	0.743	$TC_T = 275379820*A + 19642999*(\Delta HSF(m)) + 1822153*(SR(m))*(F(day))*(Qs(kw))$	15	هزینه کل Total cost (TC _T)
2.08699e16	92929371	0.261	$TC_T = 19643005 + a*A + 1822153*(SR(m))*(F(day))*(Qs(kw))$	13	
2.13285e16	95185910	0.262	$TC_T = a*A + b*(SR(m))*(F(day))*(Qs(kw))$	11	
2.2685e16	85286845	0.266	$TC_T = a*A + 4751646*(SR(m))*(Qs(kw))$	9	
1.83116e16	91328778	0.245	$TC_T = a + b*(SR(m))*(PP(kw))$	7	
2.35725e16	96087925	0.207	$TC_T = a*A$	3	
1.78791e16	96766160	0	$TC_T = a$	1	

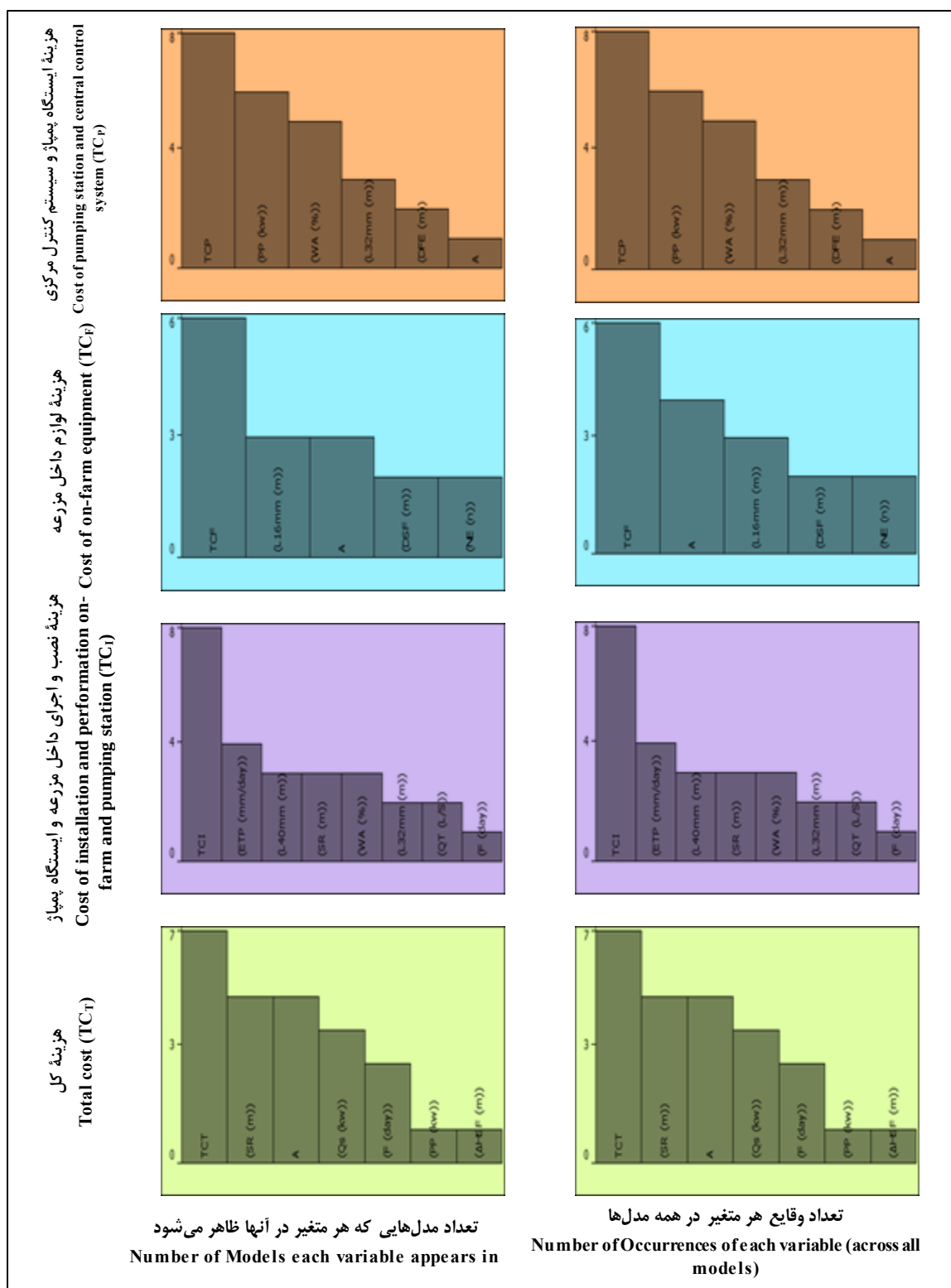
تکرار شده است زیرا در رابطه اول (با توجه به جدول ۲) می‌توان مشاهده کرد که این متغیر دو بار در یک مدل قرار گرفته است. به طور کلی، در بخش TC_P متغیر توان پمپ مورد نیاز (P_P (kw)) و سطح خیس‌شده (W_A (%))، در بخش TC_F متغیر لوله آبدۀ (L_{16mm} (m)) و مساحت (A)، در بخش TC_I متغیر تبخیر-تعرق (ET_P (mm/day)) و در نهایت در بخش TC_T متغیر فاصله ردیف گیاهان (S_R (m)) و مساحت (A) از پرتکرارترین متغیرها هستند و بیشترین تأثیر را بر هزینه دارند (شکل ۱).

رابطه بین پیچیدگی مدل‌ها و خطا

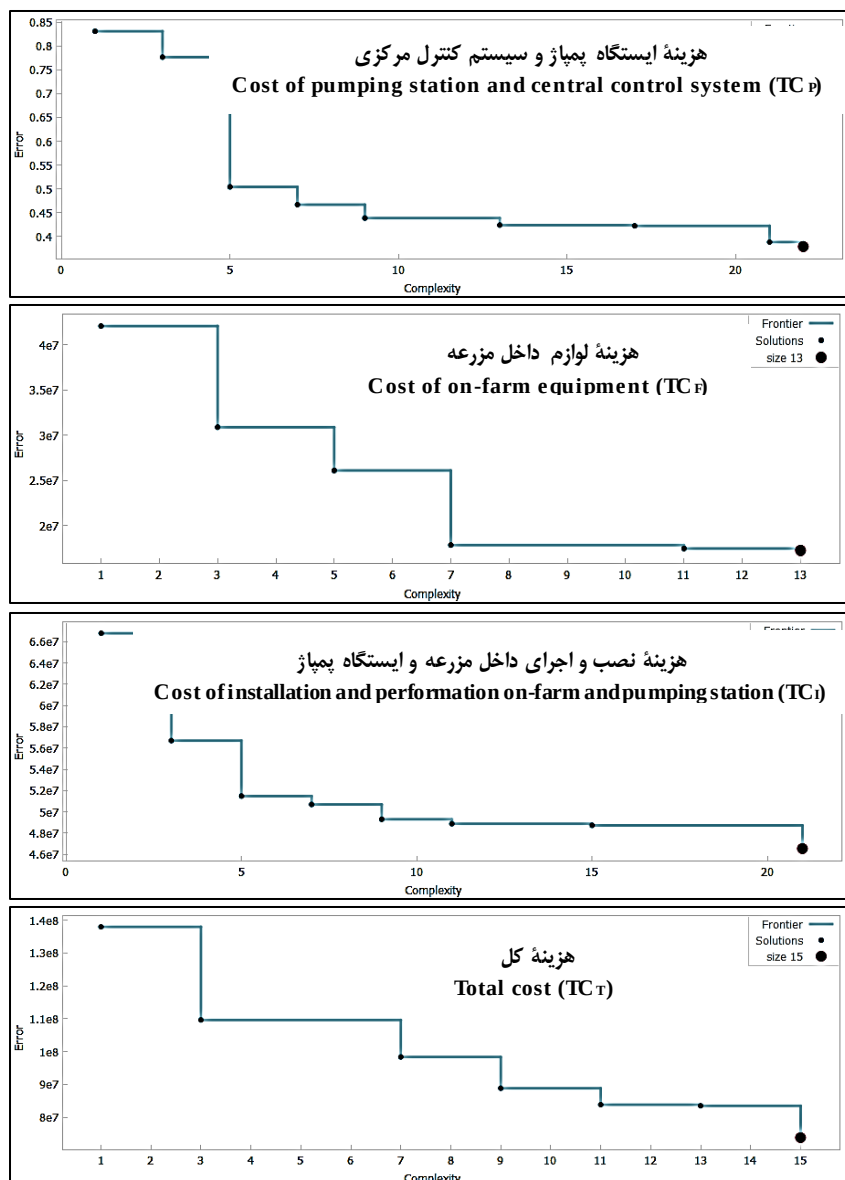
هرچه تعداد متغیرهای مستقل ورودی مدل بیشتر باشد، مدل طبیعتاً پیچیده‌تر است و دقت بیشتری دارد. به منظور کاهش پیچیدگی باید از بین متغیرها بهترین و تأثیرگذارترین آنها انتخاب شود. به همین دلیل و با توجه به جدول ۲ و شکل ۲، پیچیدگی هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P) برابر ۲۲، هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F) برابر ۱۳، هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I) برابر ۲۱ و هزینه کل (TC_T) برابر ۱۵ انتخاب شد. دقت برآورد مدل در جهش‌های مختلف پیچیدگی متفاوت است. برای مثال، از پیچیدگی ۳ به پیچیدگی ۵ در بخش TC_T شکل ۲، خطای مدل کمتر و دقت آن بیشتر شده است اما با افزایش پیچیدگی از ۱۰ به ۲۰ دیده می‌شود که خطای مدل کاهش چندانی نمی‌یابد. بنابراین با توجه شکل ۲ می‌توان مدل‌های ساده‌تر اما کاراتر و دقیق‌تر را در هر بخش انتخاب کرد.

هزینه کل (TC_T) یا حاصل جمع هزینه سه بخش TC_P ، TC_F و TC_I متشکل از متغیرهایی است که بیشترین تأثیر را در خروجی و مدل نهایی هر بخش دارند. حال برای انتخاب مدل برتر برآورد هزینه یک سامانه آبیاری قطره‌ای می‌توان مدل‌های بسیار ساده و یا پیچیده‌ای را انتخاب کرد که به ترتیب با داشتن کمترین و بیشترین داده بتوان یک برآورد معقول و منطقی از خروجی یعنی هزینه را ارائه داد. در مجموع، مدل برتر برای برآورد هزینه کلی احداث یک سامانه آبیاری قطره‌ای با استفاده از کمترین داده و بیشترین دقت و حداقل خطا به صورت $TC_T = 275379820 * A + 19642999 * (\Delta HSF (m)) + 1822153 * (SR (m)) * (F (day)) * (Qs (kw))$ با پیچیدگی ۱۵ و ضریب همبستگی (R) برابر با ۰/۷۴۳ و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) برابر با ۷۷۲۲۰۸۴۵ ریال است.

شکل (۱) متغیرهای مهم و پرتکرار در مدل‌سازی هزینه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای را نشان می‌دهد و با یک نگاه می‌توان دریافت که کدام متغیرها بیشترین تأثیر را بر هزینه هر بخش و هزینه کل دارند. این شکل دارای دو ستون است. نمودارهای ستون سمت راست بیانگر تعداد مدل‌هایی که هر متغیر در آنها ظاهر می‌شود و ستون چپ تعداد وقایع هر متغیر در همه مدل‌هاست. برای مثال، در بخش هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F) عدد مورد نظر برای متغیر A در سمت چپ برابر ۳ و در سمت راست شکل (۱) برابر ۴ است. عدد سمت چپ بدین معنی که متغیر A در سه مدل قرار دارد اما عدد سمت راست نشان می‌دهد که متغیر A چهار بار



شکل ۱- متغیرهای مهم در مدل‌سازی و تکرار آنها
Figure 1- Important variables in modeling and their repetition



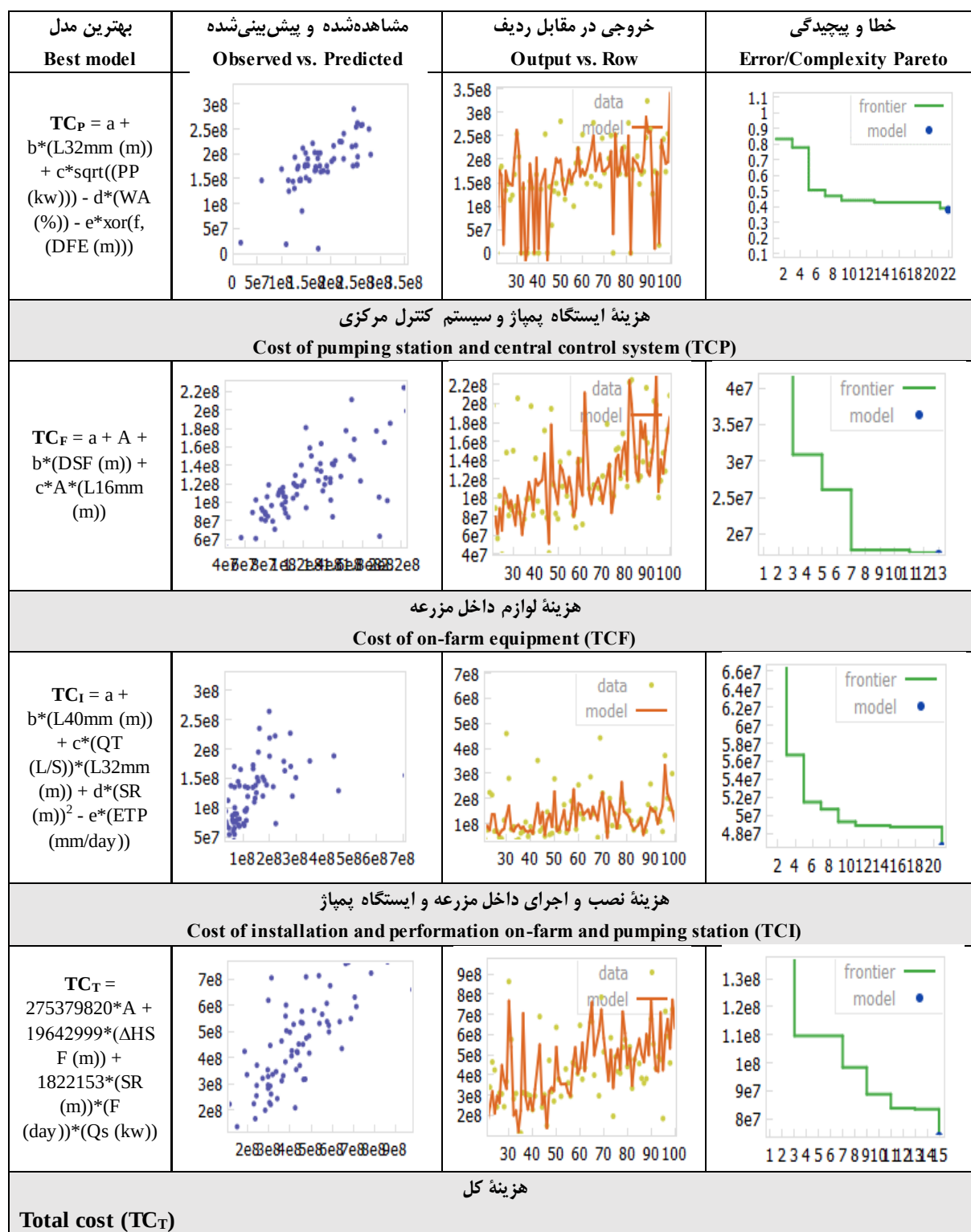
شکل ۲- رابطه بین پیچیدگی مدل ها و خطای برآورد هزینه

Figure 2- Relationship between model complexity and cost estimation error

بررسی دقت مدل های برآورد شده

شکل ۳، نمودار خطای بهترین مدل های منتخب را برای برآورد هزینه بخش های ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)، هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)، هزینه نصب و اجرای داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I) و هزینه کل (TC_T) نشان می دهد. با توجه به شکل ۳ می توان گفت که با

افزایش پیچیدگی مدل ها، دقت مدل سازی بیشتر می شود و خطای آنها کاهش می یابد. با توجه به نمودار مقادیر مشاهداتی در مقابل مقادیر پیش بینی شده، هرچه زوج مرتب داده های مشاهداتی و پیش بینی شده به خط یک به یک نزدیک تر باشد، دقت مدل بالاتر است.



شکل ۳- نمودارهای ارزیابی بهترین مدل‌های انتخاب شده در برآورد هزینه بخش‌های مختلف

Figure 3- Evaluation charts of the best selected models in estimating the cost of different parts

نتیجه گیری

پیش بینی و برآورد هزینه ها در پروژه های مهندسی به عنوان عاملی اصلی در مدیریت اجرا محسوب می شود. یکی از مهم ترین خواسته های وزارت جهاد کشاورزی، وزارت نیرو، مهندسین مشاور، پیمانکاران، کارفرمایان و حتی کشاورزان، پیش بینی هزینه های پروژه ها در مرحله اولیه طراحی است. عدم اطمینان کامل به هزینه تمام شده پروژه در ابتدای کار، وجه اجتناب ناپذیر بیشتر پروژه های اجرایی می باشد که این پژوهش با همین هدف انجام شد. تنها گزینه تا به امروز تخمین های تجربی و سرانگشتی توسط افراد باتجربه بوده که چندان دقیق نمی باشند و با پیشرفت علم لازم است که این برآوردها به صورت علمی و دقیق تر بیان شوند. در این پژوهش، با استفاده از برنامه ریزی ژنتیک، به مدل سازی برآورد هزینه بخش های مختلف سامانه های آبیاری قطره ای پرداخته شد؛ مدل های ارائه شده دقت بسیار خوبی در هر بخش داشتند. نتایج آنالیز حساسیت و ضریب همبستگی نشان می دهد که در بخش هزینه ایستگاه پمپاژ و سیستم کنترل مرکزی (TC_P)، پارامترهای Q_S (دبی سیستم)، P_P (توان پمپ مورد نیاز) و H_P (ارتفاع پمپاژ)؛ در بخش هزینه لوازم داخل مزرعه (TC_F)، پارامترهای A (مساحت زمین)، N_E (تعداد کل گسیلنده) و L_{16mm} (طول کل لترال)؛ در بخش هزینه نصب و اجرای سامانه داخل مزرعه و ایستگاه پمپاژ (TC_I)، پارامترهای ΔH_{SF} (اختلاف ارتفاع منبع

آبی و زمین در بحرانی ترین حالت)، S_R (فاصله ردیف گیاهان) و L_{40mm} (طول لوله رابط دو)؛ و در بخش هزینه کل (TC_T)، پارامترهای A (مساحت زمین)، P_P (توان پمپ مورد نیاز) و H_P (ارتفاع پمپاژ) مهم ترین و تأثیرگذارترین ویژگی هستند و همگی در سطح اطمینان یک درصد معنی دار شدند. همچنین، نتایج مدل سازی اقتصادی بخش های مختلف هزینه سامانه آبیاری قطره ای با استفاده از نرم افزار Eureka نشان داده است که بیشترین همبستگی در بخش های TC_P ، TC_F ، TC_I و TC_T به ترتیب برابر با ۰/۴۴۹، ۰/۸۴۸، ۰/۷۷۰ و ۰/۷۴۳ به دست آمده که حاکی از دقت مناسب و برآورد قابل قبول این نرم افزار برای مدل سازی هزینه سامانه آبیاری تحت فشار است. با انجام چنین پژوهش هایی که بتوان قبل از اجرای یک سامانه آبیاری، برآورد دقیقی از هزینه های اولیه و اجرایی آن داشت؛ می توان با در نظر گرفتن تمام عوامل تأثیرگذار در هزینه نهایی یک سامانه در هر منطقه و مقرون به صرفه بودن آن برای دولت و کشاورز، ابتدا یک برآورد اقتصادی را داشت و سپس اقدام به اجرای آن نمود. سپس با توجه صرفه جویی در بحث اقتصادی، هزینه ذخیره شده را به بهره برداری از سامانه آبیاری تحت فشار اختصاص داد. نتایج این مطالعه می تواند ابزار بسیار مناسبی برای محققان، مدیران، دانشجویان، مشاوران، پیمانکاران و دیگر افراد دغدغه مند در صنعت آب باشد.

قدردانی

این مقاله از رساله دکتری نویسنده اول استخراج شده است. بدین وسیله از شرکت مهندسین مشاور آب و خاک البرز و معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی به دلیل در اختیار قراردادن داده ها و همچنین گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به دلیل تأمین امکانات لازم برای انجام این پژوهش و تهیه مقالات مربوطه تشکر و قدردانی می شود.

مراجع

- Afshar, N. R., & Fahmi, H. (2019). Impact of climate change on water resources in Iran. *International Journal of Energy and Water Resources*, 3(1), 55-60.
- Ahmadaali, K., Ramezani Etedali, H., & Hosseini Pazhouh, N. (2017). Assessment of modern irrigation systems in Qom province. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 11(5), 736-749. (In Persian)
- Alshahethi, A. A. A., & Radhika, K. L. (2018). Estimating the Final Cost of Construction Project Using Neural Networks: A Case of Yemen Construction Projects. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 6(11), 2141-2151.
- Amen, R., Hameed, J., Albashar, G., Kamran, H. W., Shah, M. U. H., Zaman, K. U., ... & Ullah, S. (2020). Modeling the Higher Heating Value of Municipal Solid Waste for Assessment of Waste-To-Energy Potential: A Sustainable Case Study. *Journal of Cleaner Production*, 125575.
- Arafa, M., & Alqedra, M. (2011). Early stage cost estimation of buildings construction projects using artificial neural networks. *Early stage cost estimation of buildings construction projects using artificial neural networks*, 4(1).
- Arage, S. S., & Dharwadkar, N. V. (2017). Cost estimation of civil construction projects using machine learning paradigm. In *2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)* (pp. 594-599). IEEE.
- Bakas, T., Papadimitriou, I., & Argyri, P. (2020). Water crisis-beyond the destruction. *Open Schools Journal for Open Science*, 2.
- Chandanshive, V., & Kambekar, A. R. (2019). Estimation of building construction cost using artificial neural networks. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 3(1), 91-107.
- Closas, P., Bugallo, M. F., Coma, E., & Méndez, L. (2013, May). Prediction of influenza rates by particle filtering. In *2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing* (pp. 1046-1050). IEEE.
- Cosgrove, W. J., & Rijsberman, F. R. (2014). *World water vision: making water everybody's business*. Routledge.
- Demirhan, H., & Atilgan, Y. K. (2015). New horizontal global solar radiation estimation models for Turkey based on robust coplot supported genetic programming technique. *Energy Conversion and Management*, 106, 1013-1023.
- Douglas-Smith, D., Iwanaga, T., Croke, B. F., & Jakeman, A. J. (2020). Certain trends in uncertainty and sensitivity analysis: An overview of software tools and techniques. *Environmental Modelling & Software*, 124, 104588.
- Ekung, S., Lashinde, A., & Adu, E. (2021). Critical Risks to Construction Cost Estimation. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 11(1), 19-29.
- El-Shater, T., Yigezu, Y. A., Shideed, K., & Aw-Hassan, A. (2017). Impacts of Improved Supplemental Irrigation on Farm Income, Productive Efficiency and Risk Management in Dry Areas. *Journal of Water Resource and Protection*, 9(13), 1709.
- FAOSTAT. (2018). World food and agriculture. Statistical Pocketbook, FAO: Rome, Italy.
- Flores, J. H. N., Faria, L. C., Rettore Neto, O., Diotto, A. V., & Colombo, A. (2021). Methodology for Determining the Emitter Local Head Loss in Drip Irrigation Systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 147(1), 06020014.
- Gany, A. H. A., Sharma, P., & Singh, S. (2019). Global Review of Institutional Reforms in the Irrigation Sector for Sustainable Agricultural Water Management, Including Water Users' Associations. *Irrigation and drainage*, 68(1), 84-97.
- Gholizadeh-Sarabi, S., Davary, K., Ghahraman, B., & Shafiei, M. (2019). Historical study of coupled human-water system from socio-hydrological perspective, Case study: Mashhad basin. *Iran-Water Resources Research*, 15(4), 148-170. (In Persian)

- Gomes, F. M., Pereira, F. M., Silva, A. F., & Silva, M. B. (2019). Multiple response optimization: Analysis of genetic programming for symbolic regression and assessment of desirability functions. *Knowledge-Based Systems*, 179, 21-33.
- Gransberg, D. D., & Rueda, J. A. (2020). *Construction equipment management for engineers, estimators, and owners*. CRC Press.
- Günaydin, H. M., & Doğan, S. Z. (2004). A neural network approach for early cost estimation of structural systems of buildings. *International journal of project management*, 22(7), 595-602.
- Hamdi Ahmadabad, Y., Liaghat, A., Rasoulzadeh, A., & Ghaderpour, R. (2019). Investigation of in the Capita Water Consumption Variation in Iran Based on the Past Two-Deca Diet. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(1), 77-87. (In Persian)
- Hassani, Y., Hashemy Shahdany, S. M., & Zahraei, B. (2020) Developing A New Operation-Economic Framework for Irrigation Networks without Water Market. *Journal of Water and Soil Science*, 24(1), 27-43. (In Persian)
- Kadkhodaie, F., Asghari Moghaddam, A., Barzegar, R., & Gharekhani, M. (2020). Comparison of Neural Network and Neuro-Fuzzy Techniques to Improve the DRASTIC Frame Work (Case Study: Shabestar plain Aquifer). *Water and Soil Science*, 30(1), 1-14. (In Persian)
- Karbachevsky, A., Baskin, C., Zheltonozhskii, E., Yermolin, Y., Gabbay, F., Bronstein, A. M., & Mendelson, A. (2021). Early-Stage Neural Network Hardware Performance Analysis. *Sustainability*, 13(2), 717.
- Komkov, V., Choi, K. K., & Haug, E. J. (1986). *Design sensitivity analysis of structural systems* (Vol. 177). Academic press.
- Larsen, P. E., Cseke, L. J., Miller, R. M., & Collart, F. R. (2014). Modeling forest ecosystem responses to elevated carbon dioxide and ozone using artificial neural networks. *Journal of Theoretical Biology*, 359, 61-71.
- Lester, E. I. A. (2017). Estimating. In: Project management, planning and control. *The Netherlands: Elsevier*, 61–65.
- Matel, E., Vahdatikhaki, F., Hosseinyalamdary, S., Evers, T., & Voordijk, H. (2019). An artificial neural network approach for cost estimation of engineering services. *International journal of construction management*, 1-14.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.
- Najarchi, M., shekari, H., jafarinia, R., Mokhtari, S., & Alizadeh, H. (2019). Optimization of Cropping Pattern and Water Resources at Different Levels of Irrigation for Hot and Dry Areas (Case study: Dehloran Plains, Ilam Province). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(6), 1351-1361. (In Persian)
- NASA Executive Cost Analysis Steering Group. (2015). NASA cost estimating handbook. NASA, 63(4).
- Nguy-Robertson, A., Gitelson, A., Peng, Y., Viña, A., Arkebauer, T., & Rundquist, D. (2012). Green leaf area index estimation in maize and soybean: Combining vegetation indices to achieve maximal sensitivity. *Agronomy Journal*, 104(5), 1336-1347.
- Nonis, F., Barbiero, P., Cirrincione, G., Olivetti, E. C., Marcolin, F., & Vezzetti, E. (2020). Understanding Abstraction in Deep CNN: An Application on Facial Emotion Recognition. In *Progresses in Artificial Intelligence and Neural Systems* (pp. 281-290). Springer, Singapore.
- Oki, T. (2020). World Water Resources at Stake. In *Human Geoscience* (pp. 89-95). Springer, Singapore.
- Park, C. S. (2012). *Fundamentals of Engineering Economics*. Chan S. Park. Pearson Education.
- Perry, C., Steduto, P., & Karajeh, F. (2017). Does improved irrigation technology save water? A review of the evidence. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Cairo*, 42.

- Pettang, C., Mbumbia, L., & Foudjet, A. (1997). Estimating building materials cost in urban housing construction projects, based on matrix calculation: the case of Cameroon. *Construction and building materials*, 11(1), 47-55.
- Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., Ghameshloua, A., Khoshravesh, M., Waqas, M.M. (2020). Investigation of the yield and yield components of rice in areas with shallow water table and saline. *Big Data in Agriculture (BDA)*, 2(1), 36-40.
- Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., Vali, M. H., & Parsamehr, H. R. (2020). Construction of A Moisture Sensor for Smart Irrigation and Determine the Proper Location for Installation to Stop Irrigation to Prevent Water Loss. *Water Management in Agriculture*, 6(2), 21-36. (In Persian)
- Qian, G., & Mahdi, A. (2020). Sensitivity analysis methods in the biomedical sciences. *Mathematical Biosciences*, 323, 108306.
- Rampone, S., & Valente, A. (2017). Prediction of seasonal temperature using soft computing techniques: application in Benevento (Southern Italy) area. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 8(1), 147-154.
- Saltelli, A., Aleksankina, K., Becker, W., Fennell, P., Ferretti, F., Holst, N. ... & Wu, Q. (2019). Why so many published sensitivity analyses are false: A systematic review of sensitivity analysis practices. *Environmental modelling & software*, 114, 29-39.
- Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D. ... & Tarantola, S. (2008). *Global sensitivity analysis: the primer*. John Wiley & Sons.
- Schmidt, M., & Lipson, H. (2009). Distilling free-form natural laws from experimental data. *Science*, 324(5923), 81-85.
- Schmidt, M., Carter, J., Stone, G., & O'Reagain, P. (2016). Integration of optical and X-band radar data for pasture biomass estimation in an open savannah woodland. *Remote Sensing*, 8(12), 989.
- Vaghefi, S. A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F., Sheikholeslami, J., Ahmadi, A., Yang, H., & Abbaspour, K. C. (2019). The future of extreme climate in Iran. *Scientific reports*, 9(1), 1-11.
- Valentín, F., Nortes, P. A., Domínguez, A., Sánchez, J. M., Intrigliolo, D. S., Alarcón, J. J., & López-Urrea, R. (2020). Comparing evapotranspiration and yield performance of maize under sprinkler, superficial and subsurface drip irrigation in a semi-arid environment. *Irrigation Science*, 38(1), 105-115.
- Weber, F., Theers, S., Surmann, D., Ligges, U., & Weihs, C. (2018). Sensitivity analysis of ordinary differential equation models.
- Wen, L., Li, Q., Li, Y., & Ma, Z. (2018). Carbon Emission and Economic Growth Model of Beijing Based on Symbolic Regression. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(1).
- Wu, N., & Shih, S. G. (2020). Cost estimation through Monte Carlo simulation in architectural early design stage. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, 0020720920923308.
- Yin, Z., Luo, Q., Wu, J., Xu, S., & Wu, J. (2021). Identification of the long-term variations of groundwater and their governing factors based on hydrochemical and isotopic data in a river basin. *Journal of Hydrology*, 592, 125604.
- Zhang, Y. F., & Fuh, J. Y. H. (1998). A neural network approach for early cost estimation of packaging products. *Computers & Industrial Engineering*, 34(2), 433-450.
- Zwaving, J. O. (2014). Probablistic estimating of engineering costs.

Modeling of Design and Implementation Cost of Drip Irrigation Systems

M. Pourgholam-Amiji, A. Liaghat and Kh. Ahmadaali*

* Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: Khahmadauli@ut.ac.ir

Received: 19 January 2021, Accepted: 26 March 2021

Extended Abstract

Introduction

Allocating of budget to implement pressurized irrigation projects to save water, energy and increase food security has been one of the government's goals in recent decades and is considered as the ideal project of the country. For this reason, it is essential to be aware of the costs. Therefore, estimating the initial and final cost of the project, especially irrigation systems, is one of the project management tools that allow project managers to make more accurate decisions at different stages. Finding a model to identify the important factors affecting the final cost of an irrigation system, as well as formulating it for use throughout the country and regions with different characteristics, is what the present study seeks.

Methodology

The aim of this study was to estimate the cost of drip irrigation projects in the early stages of design using genetic programming technique, using data from 100 drip irrigation projects, in four sections including; cost of pumping station and central control system (TC_P), cost of on-farm equipment (TC_F), cost of installation and performing on-farm and pumping station (TC_I) and total cost (TC_T). First, a database containing 39 important and influential variables on the cost of the mentioned sections was prepared and the prices of the projects were updated for the base year of 2019. In the next step, the most important features that had the highest impact on the costs were selected using Eureqa Formulize software and using genetic programming. In the last stage, different models were presented in each section to estimate the cost and the best model in each section was introduced based on the statistics of accuracy and complexity.

Results and Discussion

The results of correlation analysis between independent variables and dependent variable (cost of each section) show that in TC_P section P_P variable (pump power required), in TC_F section L_{16mm} variable (total lateral length), in TC_I section S_R variable (plant row spacing) and in the TCT section, the H_P variable (pumping height), they had the highest correlation coefficient (R) of 0.77, 0.64, 0.36 and 0.43, respectively, and were significant at the 1% confidence level. Also, the results of cost modeling for drip irrigation system showed that in the TC_P section, a model with an evaluation criterion of R equal to 0.449, MAE (average absolute error value) equal to 27236333 Rials and complexity of 22 was the best model. These evaluation criteria for the best model in the TC_F section were equal to 0.848, 21198257 Rials and 13, in the TC_I section equal to 0.770, 45483996 Rials and 11, and in the TC_T section these criteria were obtained 0.743, 77220845 Rials and 15, respectively.

Conclusions

In this study, the cost estimation of different parts of the drip irrigation system was modeled using genetic programming algorithm, and the obtained results showed that the presented models

had excellent accuracies in each part. Also, the results of this study indicate the appropriate accuracy and acceptable estimate of Eureka software for modeling the cost of pressurized irrigation system. The results of this study can be a very useful tool for researchers, managers, students, consultants, contractors and those who are concerned in the water industry. By conducting similar research, it is possible to make an economic estimate with a high accuracy before the implementation stage.

Acknowledgement

This article is extracted from the Ph.D. dissertation, the first author of the article. For this purpose, the authors of the article would like to thank the Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran for their excellent cooperation, providing the necessary facilities for this research and the preparation of relevant articles.

Keywords: Pressurized Irrigation, Cost Estimation, Genetic Algorithm, Feature Selection, Eureka Formulize.

نوع مقاله: علمی پژوهشی

تأثیر پلیمر آکواسورس بر برخی خصوصیات فیزیکی و رطوبتی خاک‌های مختلف

سالومه سپهری صادقیان^{۱*}، نادر عباسی^۲ و محمد مهدی نخجوانی مقدم^۱

۱ و ۲- به ترتیب: استادیار؛ و استاد، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۱۶

چکیده

یکی از مهم‌ترین چالش‌های حال و آینده، به ویژه در مناطق خشک جهان، کم‌آبی است. یکی از روش‌های بهبود بهره‌وری آب و مدیریت بهتر آب مصرفی در بخش کشاورزی، کاربرد مواد جاذب رطوبت است. هدف از تحقیق حاضر ارزیابی اثر کاربرد پلیمر جاذب رطوبت آکواسورس بر پارامترهای فیزیکی و منحنی مشخصه رطوبتی سه بافت مختلف خاک است. آکواسورس نسل جدیدی از پلیمرهای جاذب رطوبت بر پایه پتاسیم است که زیست‌تخریب‌پذیر بوده و فاقد ترکیب مخرب آکریل آمید است. به این منظور، آزمایش‌هایی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد که فاکتور اول چهار درصد وزنی از پلیمر جاذب رطوبت (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد وزنی پلیمر/خاک) و فاکتور دوم سه بافت مختلف خاک (لوم‌شنی، لوم‌رسی و رس‌سیلتی) بود. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در تمامی بافت‌های خاک مورد مطالعه، کاربرد ماده جاذب رطوبت و افزایش سطح مورد استفاده، میزان رطوبت را در نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم افزایش داده است. بیشترین مقدار رطوبت قابل استفاده گیاه در بافت‌های لوم‌شنی، لوم‌رسی و رس‌سیلتی به ترتیب به میزان ۹/۸، ۱۳/۸ و ۱۲/۷ درصد حجمی و مربوط به کاربرد ۰/۵ درصد وزنی ماده جاذب رطوبت در این تیمارهاست. کاربرد مقادیر بیشتر سبب کاهش رطوبت قابل استفاده برای گیاه شده است. بنابراین، با آنکه پلیمر جاذب رطوبت آکواسورس در جذب آب توانایی خوبی دارد، اما در سطوح بالای استفاده اثر بازدارندگی دارد و قادر به تخلیه مطلوب رطوبت نیست.

واژه‌های کلیدی

پلیمر جاذب رطوبت، رطوبت قابل استفاده گیاه، منحنی مشخصه رطوبتی خاک

مقدمه

مدیریت صحیح و به‌کارگیری روش‌های پیشرفته به منظور حفظ ذخیره خاک و افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک از جمله اقدامات مؤثر برای بهبود بهره‌برداری از منابع محدود آب خواهد بود. یکی از راهکارهای استفاده بهینه از منابع آب و حفظ آن، کاربرد مواد جاذب رطوبت به منظور مدیریت

محدودیت منابع آب شیرین در بسیاری کشورها به صورت معضلی جدی در آمده به‌طوری که به‌واسطه آن رشد اقتصادی آن کشورها محدود شده است. خاورمیانه از جمله مناطقی است که مشکل محدودیت آب شیرین در آن شدید است. اعمال

و ۷ است، اثر منفی بر خاک و هیچگونه سمیتی نیز ندارد (Behera & Mahanwar, 2020). کاربرد پلیمرهای جاذب رطوبت می‌تواند کمک شایانی کند به درختکاری و مدیریت پوشش گیاهی در مناطق صعب‌العبور و به طور کل در مناطقی که امکان انتقال آب وجود ندارد یا اگر دارد هزینه‌بر است. این مواد می‌توانند به رشد پوشش گیاهی کمک کنند و باعث کاهش تبخیر و شست‌وشوی کودها در مناطقی با فرصت‌های محدود آبیاری شوند، جایی که آبیاری برای حمایت از رشد گیاه و کاهش تنش آبی ضروری است (Misiewicz *et al.*, 2019). نتایج تحقیقات واسکونزولوس و همکاران (Vasconcelos *et al.*, 2019) نشان می‌دهد استفاده از هیدروژل جاذب رطوبت به شکل معنی‌داری سبب بهبود شرایط خاک برای رشد گیاه می‌گردد. این پژوهشگران نتیجه گرفته‌اند که استفاده از مقادیر کم ماده جاذب رطوبت (کمتر از ۰/۷۵ درصد وزنی) سبب افزایش رشد ریشه هندوانه شده و به طور کلی روند رشد گیاه را در خاک با دو بافت رسی و شنی بهبود بخشیده است. تحقیقات روی پلیمر جاذب رطوبت جدیدی به نام ^۱CMTKG در هند نشان داده‌است که این هیدروژل جاذب رطوبت و زیست‌تخریب‌پذیر، قابلیت جذب آب را تا حدود ۶۰۰ میلی‌لیتر بر گرم دارد و قابلیت نگهداشت آب در خاک را بهبود بخشیده است. همچنین، کاربرد این پلیمر سبب افزایش تخلخل خاک و بهبود رشد نخود شده است (Warker & Kumar, 2019). نتایج تحقیقات ایسawy و همکاران (Essawy *et al.*, 2016) روی پلیمر هیدروژل جدیدی با نام CTS که بر پایه کیتوسان تهیه شده است، نشان می‌دهد این پلیمر جاذب رطوبت می‌تواند ظرفیت نگهداری آب در خاک را افزایش دهد و سبب آزادسازی کنترل‌شده

بهتر آب مصرفی است. این مواد تحت عنوان مواد جاذب رطوبت مطرح می‌شوند و قصد از به‌کارگیری آنها کاهش مصرف آب است. توانایی این مواد در جذب رطوبت و در اختیار قرار دادن تدریجی آن بر اساس نوع ماده جاذب رطوبت و فرمولاسیون در نظر گرفته شده توسط شرکت تولیدکننده آن متفاوت است و در خصوص هر محصولی نیاز به بررسی و ارزیابی دارد. به طور کلی هیدروژل‌ها مواد نرم متشکل از شبکه‌های سه بعدی هستند که با پلیمرهای آبدوست دارای اتصالات عرضی شکل گرفته‌اند. این ویژگی‌ها هیدروژل‌ها را قادر به جذب و نگه‌داشتن مقادیر زیادی آب بدون حل شدن می‌کند. بنابراین، هیدروژل‌ها می‌توانند به عنوان مخزن آب عمل کنند و بسته به تقاضای ریشه گیاه، آب را آزاد سازند (Vasconcelos *et al.*, 2019). رطوبت جذب‌شده در این ژل‌های آبدوست پس از جذب آب و در اثر خشک‌شدن محیط آب داخل پلیمر به تدریج تخلیه می‌شود و بدین ترتیب خاک به مدت طولانی مرطوب می‌ماند. ماده‌ای که قابلیت جذب آب را به میزان حداقل ۲۰ برابر وزن خود داشته باشد به عنوان ماده جاذب رطوبت ارزیابی می‌شود. مقدار جذب آب در این پلیمرها - بسته به فرمول‌بندی، ناخالصی‌ها و مقدار نمک موجود در آب - از مقدار بسیار کم حدود ۲۰ برابر وزنی تا بالاتر از ۴۰۰ برابر وزنی متغیر است (Raju *et al.*, 2002). استفاده از هیدروژل در مناطق خشک و نیمه خشک باعث بهبود بافت خاک، افزایش نگهداشت آب در محیط رشد گیاه، بهبود راندمان آبیاری و افزایش بهره‌وری آب می‌گردد و نیز با توجه به افزایش نفوذ آب موجب کاهش فرسایش، افزایش جوانه‌زنی و رشد سریع‌تر گیاهان می‌شود (Nirmala & Guvvali, 2019). اسیدیت پلیمرهای جاذب رطوبت که بین ۶

۱/۲۶ درصد نسبت به شاهد بیشتر شده است. اما در مکش ۱۰ بار اثر کاربرد پلیمر معنی‌دار نبود. رطوبت قابل استفاده گیاه^۳ (AW) با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم پلیمر در هکتار ۶/۳ درصد نسبت به شاهد افزایش یافته‌است. بین سطوح متفاوت کاربرد پلیمر، کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم پلیمر در هکتار در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر خاک اثر بهتری در افزایش درصد رطوبت حجمی خاک و ثابت نگه‌داشتن آن در خاک‌های سنگین داشته‌است. این محققان نتیجه‌گیری کرده‌اند که افزایش ۶/۳ درصد در میزان رطوبت قابل استفاده گیاه اگر چه از نظر آماری در مقایسه با شاهد معنی‌دار است، اما در مسائل مهندسی آبیاری قابل توجه نیست و کاربرد این پلیمر جاذب رطوبت توصیه نمی‌شود. بررسی‌های یو و همکاران (Yu et al., 2017) روی پنج نمونه مختلف از هیدروژل‌های جاذب رطوبت نشان داده‌است که این پلیمرها سبب بهبود نگهداشت آب در خاک می‌شوند و با افزایش سطح استفاده، تبخیر از سطح خاک و از سطوح مواد جاذب رطوبت کاهش بیشتری پیدا می‌کند؛ این مسئله به خصوص برای هیدروژل‌هایی با اندازه ذرات بزرگ‌تر مشهودتر است.

در خصوص اثر کاربرد پلیمرهای هیدروژل بر ویژگی‌های فیزیکی و ظرفیت نگهداشت آب در خاک‌ها، مطالعات متعددی شده و گزارش‌هایی نیز در دست است از اثرهای مثبت این پلیمرها بر بهبود قابلیت حفظ رطوبت خاک‌ها، و نیز اینکه طیف وسیعی از این نوع محصولات روانه بازار شده و در اختیار بهره‌برداران قرار گرفته است. با این همه یادآوری می‌شود که به طور کلی به دلیل تفاوت در نحوه سنتز و ساختار شیمیایی پلیمرها، ظرفیت جذب و نگهداری آب در این پلیمرهای آبدوست متفاوت است و در نتیجه اثر آنها بر تغییرات رطوبت

مواد غذایی شود. نتایج حاصل از تحقیقات حقایقی مقدم (Haghighyeghi-Moghaddam, 2006) بر پلیمر نوازورب^۱ نشان می‌دهد که اختلاط ۲۵ گرم نوازورب در یک متر مربع از خاک با بافت متوسط در عمق صفر تا ۲۰ سانتی متر، نفوذ عمقی را ۱۸ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش و ظرفیت نگهداری آب در خاک را به میزان ۹ درصد افزایش داده‌است. ساتریانی و همکاران (Satriani et al., 2018) در تحقیقی با بررسی اثر کاربرد پلیمر جاذب رطوبت جدیدی بر پایه سلولز بر کاشت لوبیا نشان دادند که کاربرد این پلیمر سبب کاهش مصرف آب همراه با حفظ عملکرد محصول شده و به افزایش کارایی مصرف آب لوبیا، در مقایسه با تیمار کنترل، انجامیده است. پروانک بروجنی و عابدی کوپایی (Parvanak-Boroujeni & Abedi-Koupai, 2009) اثر کاربرد پلیمر جاذب رطوبت سوپر آب-آ-۲۰۰ را بر انواع تخلخل خاک لوم‌شنی در درصدهای وزنی مختلف پلیمر ارزیابی کردند و نشان دادند افزودن پلیمر و نیز افزایش سطح استفاده از آن باعث افزایش انواع تخلخل خاک به‌ویژه تخلخل موئین به میزان سه برابر، نسبت به شاهد، شده‌است. سهراب و عباسی (Sohrab & Abbasi, 2010) در تحقیقی طی دو سال تأثیر استفاده از ماده جاذب رطوبت سوپر آب-آ-۲۰۰ را بر نگهداری آب در شرایط مزرعه (لایسی‌مترهای زهکش‌دار) و خصوصیات فیزیکی خاک بررسی کردند و نشان دادند که در مکش‌های صفر، ۰/۳ و ۳ بار بین سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم پلیمر در هکتار اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد با تیمار شاهد در افزایش درصد رطوبت حجمی خاک دیده شده است. با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم پلیمر در هکتار، رطوبت حجمی خاک در مکش‌های صفر، ۰/۳ و ۳ بار به ترتیب ۱/۳۳، ۰/۵۴ و

1- Novasorb
3- Available Water

2- Superab A200

و ظرفیت نگهداشت خاک‌ها نیز بسیار متفاوت خواهد بود. همچنین، اثر ترکیب و میزان املاح خاک یا میزان رس در بافت‌های مختلف خاک نیز در بررسی کارایی هر پلیمر جاذب رطوبت اثرگذار است. این موضوع منجر به انتشار گزارش‌های بعضاً متفاوت در خصوص کارایی پلیمرهای جاذب رطوبت شده است، به نوعی که بعضی از محصولات جاذب رطوبت مورد تأیید محققان قرار گرفته و در مورد برخی محصولات کاربرد این مواد توصیه نشده است. مهم‌ترین نوع پلیمرهای جاذب رطوبت که در حال حاضر در بخش کشاورزی به کار می‌روند، پلیمرهایی با ماهیت پلی‌اکریل‌آمید هستند (Xiahua et al., 2008). متأسفانه این ترکیب اثرهای مخرب زیست‌محیطی دارد و بر ارگانیسم‌های موجود در خاک و آب اثرهای منفی به جا می‌گذارد (Ambrojo et al., 2019). پلیمر آکواسورس^۱ نسل جدیدی از پلیمرهای هیدروژل بر پایه پتاسیم است که دارای استانداردهای بالای اکولوژیکی و فاقد ترکیبات مخرب اکریل‌آمید است، اما در خصوص اثر این پلیمر بر خصوصیات فیزیکی و رطوبتی خاک تا کنون مطالعات جامعی صورت نگرفته است. هدف از تحقیق حاضر بررسی و تحلیل اثر کاربرد سطوح مختلف پلیمر جاذب رطوبت آکواسورس بر ویژگی‌های فیزیکی و منحنی مشخصه رطوبت خاک در سه بافت مختلف خاک است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر پلیمر جاذب رطوبت آکواسورس بر ویژگی‌های فیزیکی خاک آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳

تکرار تعریف شد. دو فاکتور اصلی در این طرح آماری عبارت بودند از سه بافت متفاوت خاک شامل لوم شنی^۲ (SL)، لوم رسی^۳ (CL) و رس سیلتی^۴ (SiC) و چهار درصد وزنی از پلیمر. سطوح کاربرد هیدروژل آکواسورس بر اساس مطالعات پیشین در خصوص سایر پلیمرهای جاذب رطوبت انتخاب شد. در مطالعات پیشین این مواد جاذب رطوبت عمدتاً در سطوح صفر تا ۳ درصد وزنی پلیمر/خاک خشک بررسی شده‌اند (Abedi-Koupai et al., 2008; Raiee et al., 2011; Cao et al., 2017; Satriani et al., 2018, Rashed et al., 2021).

بر این اساس، در مطالعه حاضر سطوح صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد وزنی آکواسورس/خاک خشک برای ارزیابی این ماده جاذب رطوبت انتخاب شد. پلیمر جاذب رطوبت مورد بررسی با نام تجاری آکواسورس محصول کشور ارمنستان است. این پلیمر ماده‌ای استریل، غیرسمی و با قابلیت حفظ کارایی به مدت حداقل ۱۰ سال است که در گستره‌ای وسیع از شرایط اقلیمی و دما پایدار است.

پلیمر آکواسورس بر پایه پتاسیم و زیست‌تخریب‌پذیر است که پس از پایان دوره پایداری تجزیه خواهد شد به آب، دی‌اکسید کربن، آمونیاک و ترکیبات پتاسیم که برای گیاه قابل استفاده‌اند (Ecotechnology, 2018). مشخصات کلی پلیمر هیدروژل آکواسورس در جدول ۱ ارائه شده است. خاک‌های مورد استفاده در این تحقیق نیز شامل سه نوع بافت خاک برداشت شده از سه منطقه در اطراف شهرستان کرج است که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آنها در جدول ۲ ارائه شده است.

1- Aquasource
3- Silty Clay

2- Sandy Loam

جدول ۱- مشخصات کلی پلیمر هیدروژل آکواسورس (Ecotechnology, 2018)

Table 1 - General specifications of Aquasource hydrogel polymer

حالت ظاهری Shape	رطوبت (%) Moisture (%)	چگالی (گرم بر سانتی متر مکعب) Density (g/cm ³)	اسیدیته محلول آبی pH of aqueous solution	اندازه ذرات Size of fractions	ظرفیت جذب آب شهر (g/g) Swelling Index in tap water (g/g)
White granules	<10%	0.5	6-7	1µm- 3mm	1:400

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک مورد استفاده (Sepehri et al., 2020)

Table 2- Physical and chemical characteristics of the soil samples

بافت Texture	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	شوری (دسی زیمنس بر متر) EC (dS/m)	اسیدیته pH	جمع آنیون‌ها (میلی اکی والان در لیتر) Sum of anions (meq/lit)	جمع کاتیون‌ها (میلی اکی والان در لیتر) Sum of cations (meq/lit)
SL	65.98	14.66	19.36	2.11	7.75	36.83	61.67
CL	25.98	44.66	29.36	2.12	7.01	19.42	22.35
SiC	15.98	40.66	43.36	2.65	7.33	28.87	32.85

که نشان‌دهنده به تعادل رسیدن رطوبت در مکش وارد شده بود، نمونه‌ها از دستگاه خارج و بلافاصله وزن شدند. نمونه‌ها به منظور تعیین رطوبت وزنی در درون آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. دمای آزمایشگاه برای همه آزمایش‌ها روی ۲۵±۲°C تنظیم شد.

برای به‌دست آوردن پارامترهای منحنی مشخصه رطوبتی خاک $(\alpha, n, \theta_s, \theta_r)$ در هر نمونه، از دو نرم‌افزار RETC (v.6.02) (Van Genuchten et al., 1991) و Rosetta (v. 1.1) (Schaap, 1998) استفاده شد. برای پیش‌بینی پارامترهای منحنی مشخصه رطوبتی خاک $(\alpha, n, l, K_s, \theta_s, \theta_r)$ از مدل‌های متعددی استفاده می‌شود که یکی از معتبرترین آنها مدل ون‌گنوختن (Van Genuchten et al., 1991) است که با معادله ۱ نشان داده می‌شود:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^m} \quad (1)$$

منحنی‌های مشخصه رطوبتی مربوط به تمامی تیمارها با تعیین میزان رطوبت نمونه‌ها در ۸ نقطه مکش (پتانسیل ماتریک صفر، ۰/۳، ۰/۵، ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۵ بار) با استفاده از دستگاه صفحات فشاری تعیین شد. آماده کردن نمونه‌های عمل‌آوری شده برای قرار دادن در دستگاه صفحات فشاری به ترتیب زیر بود: استوانه‌هایی به قطر ۵ و ارتفاع ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و در انتهای هر استوانه یک قطعه کاغذ صافی هم‌قطر با آن برای جلوگیری از خروج ذرات ریز خاک قرار داده شد. درون هر استوانه ۱۰۰ گرم خاک با ماده جاذب رطوبت، در چهار سطح اشاره‌شده در بالا مخلوط شد. سپس روی آن با تکه پارچه‌ای به اندازه مناسب برای تحکیم توده خاک درون استوانه با کش لاستیکی بسته شد. نمونه‌های آماده شده به مدت ۲۴ ساعت برای اشباع درون تشت قرار داده شدند. نمونه‌های اشباع‌شده پس از وزن شدن داخل دستگاه صفحات فشاری تحت مکش با پتانسیل‌های ماتریک مورد نظر قرار داده شدند. پس از توقف جریان خروجی آب از دستگاه،

که در آن،

θ = رطوبت حجمی خاک (cm^3/cm^3)، θ_r = رطوبت حجمی باقیمانده (cm^3/cm^3)، θ_s = رطوبت حجمی اشباع (cm^3/cm^3)، n = شیب کلی منحنی مشخصه رطوبت خاک بین دو نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم، α = عکس مکش ورود هوا به خاک (cm^{-1})، و h = پتانسیل آب در خاک (kPa).

برنامه Rosetta بر اساس شبکه عصبی عمل می‌کند و به واسطه توابع انتقالی خاک (درصد توزیع اندازه ذرات، بافت خاک، چگالی ظاهری و درصد حجمی رطوبت در دو نقطه ۳۳ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال) پارامترهای منحنی رطوبتی خاک را بر اساس معادله ون گنوختن تخمین می‌زند (Schaap *et al.*, 2001). توابع انتقالی خاک توابعی هستند که ویژگی‌های زود یافت خاک مانند جرم مخصوص ظاهری، بافت، درصد مواد آلی و در صورت وجود مقدار آب خاک در مکش ۳۳ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال را به ویژگی‌های دیر یافت خاک مانند منحنی مشخصه رطوبت خاک و تابع هدایت هیدرولیکی ارتباط می‌دهند (Schaap *et al.*, 2001). برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها از ضریب تعیین (R^2) و میانگین مربعات خطا ($\text{MSE} \text{ (cm}^3/\text{cm}^3)$) در برآورد رطوبت خاک در تیمارهای مختلف استفاده شد (معادله ۲).

$$MSE = \frac{\sum_1^n (exp-cal)^2}{N} \quad (2)$$

که در آن: N = تعداد کل داده‌ها، exp : داده‌های مشاهداتی، cal : داده‌های محاسباتی متناظر با داده‌های مشاهداتی است. مقدار ایده‌آل برای معیار MSE صفر است.

رطوبت قابل استفاده گیاه (AW) از تفاضل رطوبت نقطه ظرفیت زراعی (مکش ۰/۳ بار) و نقطه

پژمردگی دائم (مکش ۱۵ بار) تعیین شد (Klute, 1986). همچنین، به منظور تحلیل اثر افزودن ماده جاذب رطوبت بر میزان رطوبت آزاد شده تحت مکش‌های مختلف نیز نقاط رطوبتی اندازه‌گیری شده به دو دسته کلی یکی محدوده مکش‌های کم (پتانسیل ماتریک صفر تا ۳ بار) و دیگری محدوده مکش‌های زیاد (پتانسیل ماتریک ۳ تا ۱۵ بار) تقسیم‌بندی و تحلیل شدند. برای تحلیل آماری داده‌ها از نرم افزار SPSS (V.21) و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن ($P < 0.05$) استفاده گردید.

نتایج و بحث

اثر کاربرد ماده جاذب رطوبت بر ویژگی‌های فیزیکی و منحنی مشخصه رطوبت خاک

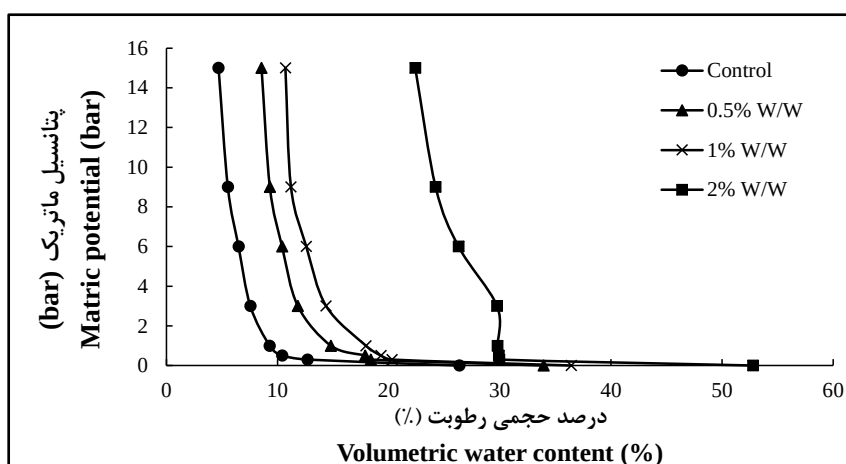
بررسی منحنی‌های مشخصه رطوبتی خاک نشان می‌دهد که افزودن ماده جاذب رطوبت به تمامی بافت‌های مورد مطالعه سبب شده است تا منحنی مشخصه رطوبتی به سمت راست جابه‌جا شود (شکل‌های ۱ تا ۳). به این معنی که با کاربرد آکواسورس درصد رطوبت حجمی نمونه خاک در هر پتانسیل ماتریک اعمال شده، افزایش یافته است. از طرفی، با افزایش سطوح ماده جاذب رطوبت نیز جابه‌جایی منحنی اتفاق افتاده است. بنابراین به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت در هر مکش اعمال شده با کاربرد آکواسورس و افزایش سطح استفاده از آن، میزان درصد رطوبت حجمی در نمونه خاک، در مقایسه با تیمار شاهد، افزایش یافته است.

تحلیل واریانس پارامترهای فیزیکی خاک تحت تأثیر تیمارهای مختلف و همچنین مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سطوح ماده جاذب رطوبت و نوع بافت بر پارامترهای فیزیکی خاک با استفاده از نرم افزار SPSS (v.21) و بر اساس آزمون چند

خاک و سطوح ماده جاذب رطوبت و اثر متقابل این دو عامل قرار گرفته‌اند.

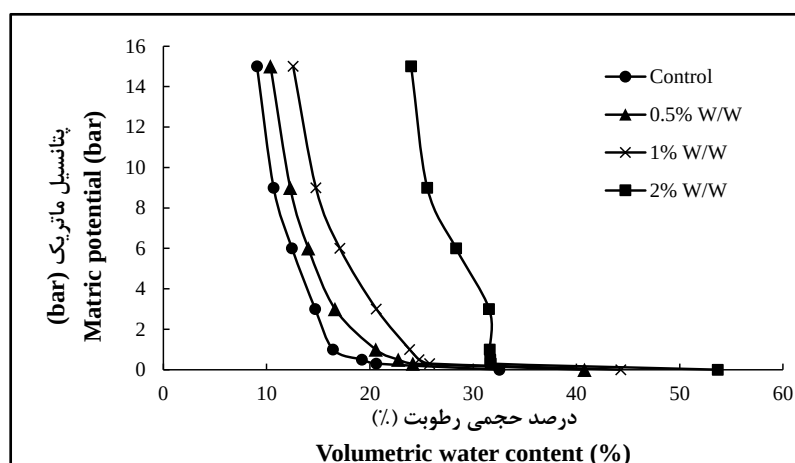
نتایج مقایسه میانگین‌های اثر ساده و متقابل سطوح ماده جاذب رطوبت و بافت خاک بر پارامترهای مختلف در جدول‌های ۴ تا ۸ نمایش داده شده است (در این جدول‌ها حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن است).

دامنه‌ای دانکن در سطح آماری ۵ درصد صورت گرفت (جدول ۳). در این جدول مشاهده می‌شود که تیمارهای کاربرد سطوح مختلف ماده جاذب رطوبت، بافت‌های مختلف خاک و اثر متقابل این دو عامل بر پارامترهای درصد حجمی رطوبت در حالت اشباع، ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم اثر معنی‌دار داشته‌اند. همچنین، مقادیر رطوبت آزاد شده در محدوده مکش‌های کم (صفر تا ۳ بار) و زیاد (۳ تا ۱۵ بار) و رطوبت قابل استفاده گیاه نیز تحت تأثیر عوامل بافت



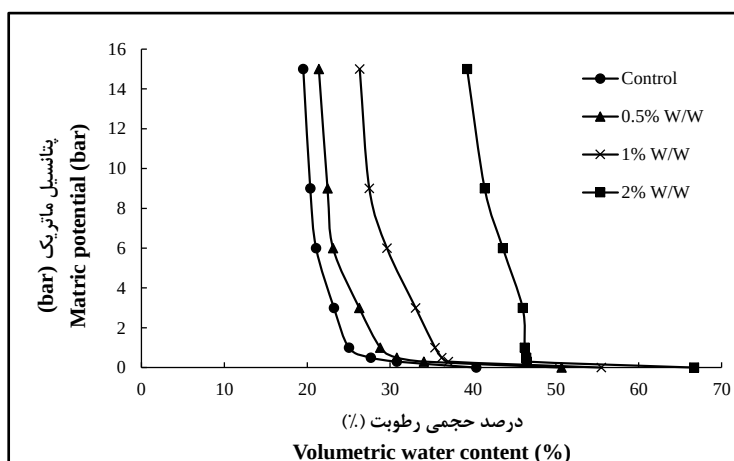
شکل ۱- منحنی مشخصه رطوبت بافت لوم شنی در اثر کاربرد سطوح مختلف ماده جاذب رطوبت

Fig. 1- Soil-water characteristic curves of sandy-loam due to the application of different levels of superabsorbent



شکل ۲- منحنی مشخصه رطوبت بافت لوم رسی در اثر کاربرد سطوح مختلف ماده جاذب رطوبت

Fig. 2- Soil-water characteristic curves of clay-loam due to the application of different levels of superabsorbent



شکل ۳- منحنی مشخصه رطوبت بافت رس سیلتی در اثر کاربرد سطوح مختلف ماده جاذب رطوبت

Fig. 3- Soil-water characteristic curves of silty-clay due to the application of different levels of superabsorbent

جدول ۳- تحلیل واریانس پارامترهای فیزیکی خاک تحت تأثیر تیمارهای مختلف

Table 3- Variance analysis of soil physical parameters under the influence of different treatments

Average of squares – میانگین مربعات – درصد حجمی رطوبت						درجه آزادی Degrees of freedom	منابع تغییرات Sources of changes
رطوبت قابل استفاده گیاه Plant available water	محدوده مکش زیاد High suction range	محدوده مکش کم Low suction range	بزمردگی دائم Permanent wilting point	حد ظرفیت زراعی Field capacity	نقطه اشباع Saturation point		
35.7 **	17.6**	55.8 **	542.0 **	343.0 **	938.1 **	3	سطوح آکواسورس (A) Superabsorbent levels
24.2 **	20.1 **	1.9 **	783.1**	880.9 **	785.5 **	2	بافت خاک (B) Soil texture
3.6 **	2.8 **	3.8 *	4.9 **	6.3 **	10.2 **	6	A×B
1.1	1.5	6.9	1.1	1.2	7.3	22	Error
6.4	20.7	1.5	18.8	5.9	15.6	–	CV (%)

-ns = non-significant, ** and * are significant at 1% and 5% levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های اثر ساده و متقابل سطوح ماده جاذب رطوبت و بافت خاک بر رطوبت اشباع (درصد حجمی)

Table 4- Comparison of the means of simple and interaction effect of superabsorbent levels and soil texture on saturated moisture (%V)

میانگین Average	سطوح ماده جاذب رطوبت (درصد وزنی) Superabsorbent levels (%W/W)				بافت خاک Soil texture
	2	1	0.5	0	
	2	1	0.5	0	
37.39 ^C	52.80 ^b	36.44 ^{de}	33.96 ^e	26.37 ^f	SL
42.84 ^B	53.70 ^b	44.31 ^c	40.78 ^{cd}	32.56 ^e	CL
53.31 ^A	66.67 ^a	55.48 ^b	50.70 ^b	40.39 ^{cd}	SiC
	57.72 ^A	45.41 ^B	41.81 ^C	33.10 ^D	average

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های اثر ساده و متقابل سطوح ماده جاذب رطوبت و بافت خاک بر رطوبت ظرفیت زراعی (درصد حجمی)

Table 5 - Comparison of the means of simple and interaction effects of superabsorbent levels and soil texture on moisture content at field capacity (%V)

میانگین Average	سطوح ماده جاذب رطوبت (درصد وزنی) Superabsorbent levels (%W/W)				بافت خاک Soil texture
	2	1	0.5	0	
20.34 ^C	29.97 ^d	20.30 ^f	18.40 ^g	12.70 ^h	SL
25.57 ^B	31.70 ^d	25.80 ^e	24.17 ^e	20.62 ^f	CL
37.09 ^A	46.47 ^a	37.02 ^b	34.07 ^c	30.80 ^d	SiC
	36.05 ^A	27.71 ^B	25.54 ^C	21.37 ^D	average

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های اثر ساده و متقابل سطوح ماده جاذب رطوبت و بافت خاک بر رطوبت نقطه پژمردگی دائم (درصد حجمی)

Table 6 - Comparison of the means of simple and interaction effects of superabsorbent levels and soil texture on moisture content at permanent wilting point (%V)

میانگین Average	سطوح ماده جاذب رطوبت (درصد وزنی) Superabsorbent levels (%W/W)				بافت خاک Soil texture
	2	1	0.5	0	
11.60 ^C	22.40 ^{cd}	10.72 ^g	8.57 ^h	4.7 ⁱ	SL
14.01 ^B	24.00 ^c	12.57 ^f	10.38 ^g	9.07 ^{gh}	CL
26.64 ^A	39.29 ^a	26.33 ^b	21.40 ^d	19.52 ^e	SiC
	28.56 ^A	16.54 ^B	13.45 ^C	11.10 ^D	average

مختلف ماده جاذب رطوبت، میزان رطوبت در حالت ظرفیت زراعی بین ۱/۴۵ تا تقریباً ۲/۳۶ برابر رطوبت نمونه شاهد افزایش یافته است. این مقدار در بافت‌های لومرسی و رس‌سilty به ترتیب ۱/۱۷-۱/۵۴ و ۱/۱-۱۱/۵۱ برابر نسبت به نمونه شاهد هر بافت است. در بافت‌های لوم‌شنی، لومرسی و رس‌سilty، با کاربرد ماده جاذب رطوبت میزان درصد حجمی رطوبت در نقطه پژمردگی دائم به ترتیب ۱/۸-۴/۸، ۱/۲-۱۴/۷ و ۱/۱-۲ برابر نسبت به نمونه شاهد هر بافت افزایش نشان می‌دهد. با توجه به مقایسه میانگین‌های اثر ساده و متقابل سطوح ماده جاذب رطوبت و بافت خاک بر رطوبت آزاد شده در مکش‌های کم (صفر تا ۳ بار) و زیاد (۳ تا ۱۵ بار) (جدول‌های ۷ و ۸)، مشاهده می‌شود که در هر بافت با کاربرد ماده جاذب رطوبت میزان رطوبت بیشتری در مکش کم آزاد شده است. در بافت‌های لوم‌شنی، لومرسی و رس‌سilty در نمونه شاهد به ترتیب

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر ساده و متقابل سطوح ماده جاذب رطوبت و بافت خاک بر درصد حجمی رطوبت اشباع (جدول ۴) نشان می‌دهد که بیشترین میزان رطوبت در حالت مکش صفر مربوط به بافت رس‌سilty با کاربرد ۲ درصد وزنی آکواسورس و به میزان ۶۶/۶۷ درصد حجمی است. به طور کلی در تمامی بافت‌ها با کاربرد ماده جاذب رطوبت و افزایش سطح مورد استفاده، میزان رطوبت اشباع افزایش معنی‌داری یافته است. همچنین، استفاده از این پلیمر و افزایش میزان کاربرد آن بر درصد رطوبت حجمی در حد ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم نیز اثر معنی‌داری داشته است. بیشترین میزان رطوبت در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم مربوط به بافت رس‌سilty با کاربرد ۲ درصد وزنی ماده جاذب رطوبت به ترتیب به میزان ۴۶/۴۷ و ۳۹/۲۹ درصد حجمی بوده است (جدول-های ۵ و ۶). در بافت لوم‌شنی، با کاربرد سطوح

حدود ۱۸/۸، ۱۷/۹ و ۱۷/۲ درصد حجمی، آزادسازی رطوبت در محدوده مکش کم اتفاق افتاده است. کاربرد آکواسورس در سطح ۰/۵ درصد وزنی در بافت‌های لوم‌شنی، لومرسی و رس‌سیلتی سبب آزادسازی رطوبت به ترتیب به میزان ۱/۱۸، ۱/۳۵ و ۱/۴ برابر نسبت به نمونه شاهد شده‌است. با کاربرد ۱ درصد وزنی آکواسورس، میزان آزادسازی رطوبت در

بافت‌های لوم‌شنی، لومرسی و رس‌سیلتی به ترتیب حدود ۱/۱۷، ۱/۳۳ و ۱/۳ برابر نسبت به نمونه شاهد هر بافت افزایش یافته است. و سرانجام اینکه کاربرد ۲ درصد وزنی ماده جاذب رطوبت، آزادسازی رطوبت در مکش کم در بافت‌های لوم‌شنی، لومرسی و رس‌سیلتی را به ترتیب ۱/۲۲، ۱/۲۴ و ۱/۲ برابر نمونه شاهد افزایش داده‌است.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های اثر ساده و متقابل سطوح ماده جاذب رطوبت و بافت خاک بر رطوبت آزاد شده در مکش کم (% حجمی)

Table 7- Comparison of the means of simple and interaction effects of superabsorbent levels and soil texture on moisture released in low suction range (% V)

میانگین Average	سطوح ماده جاذب رطوبت (درصد وزنی) Superabsorbent levels (%W/W)				بافت خاک Soil texture
	2	1	0.5	0	
21.51 ^{AB}	23.04 ^{ab}	22.06 ^{abcd}	22.13 ^{abcd}	18.81 ^{bcd}	SL
21.96 ^A	22.14 ^{abcd}	23.68 ^{ab}	24.15 ^a	17.85 ^{cd}	CL
21.17 ^B	20.68 ^{abcd}	22.40 ^{abc}	24.43 ^a	17.16 ^d	SiC
	21.95 ^B	22.71 ^{AB}	23.57 ^A	17.94 ^C	average

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های اثر ساده و متقابل سطوح ماده جاذب رطوبت و بافت خاک بر رطوبت آزاد شده در مکش زیاد (% حجمی)

Table 8- Comparison of the means of simple and interaction effects of superabsorbent levels and soil texture on moisture released in high suction range (% V)

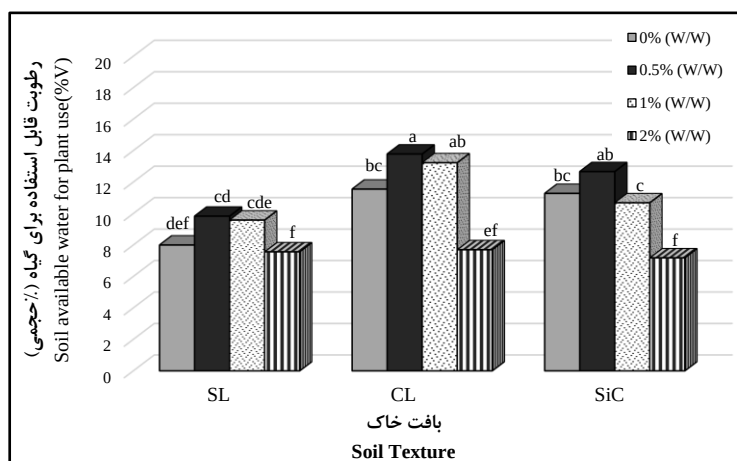
میانگین Average	سطوح ماده جاذب رطوبت (درصد وزنی) Superabsorbent levels (%W/W)				بافت خاک Soil texture
	2	1	0.5	0	
4.29 ^C	7.36 ^{ab}	3.66 ^{de}	3.27 ^e	2.86 ^e	SL
6.88 ^A	7.55 ^{ab}	8.06 ^a	6.25 ^{abc}	5.64 ^{bcd}	CL
5.51 ^B	6.70 ^{abc}	6.75 ^{abc}	4.87 ^{cde}	3.70 ^{de}	SiC
	7.21 ^A	6.16 ^A	4.80 ^B	4.07 ^B	average

با افزایش مکش در محدوده مکش‌های زیاد نیز در تمامی بافت‌ها با کاربرد ماده جاذب رطوبت، میزان آزادسازی رطوبت تا حدودی افزایش پیدا کرده‌است (جدول ۸). با کاربرد ۰/۵ درصد وزنی آکواسورس در بافت‌های لوم‌شنی، لومرسی و رس‌سیلتی، میزان رطوبت آزاد شده در این محدوده مکش به ترتیب حدود ۱/۱۴، ۱/۱۱ و ۱/۳ برابر نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته‌است. از طرفی، در این محدوده مکش، کاربرد ۲ درصد وزنی آکواسورس

منجر به افزایش آزادسازی رطوبت بافت‌های لوم‌شنی، لومرسی و رس‌سیلتی به ترتیب به میزان ۲/۶، ۱/۳ و ۱/۸ برابر نسبت به نمونه شاهد هر بافت شده‌است. به این ترتیب در محدوده مکش‌های زیاد، در مقایسه با مکش‌های کم، افزایش در سطوح مختلف ماده جاذب رطوبت منجر به آزادسازی مقادیر بیشتری رطوبت در خاک، نسبت به تیمار شاهد شده‌است. از طرفی در مقادیر کمتر، استفاده از آکواسورس (۰/۵ درصد وزنی) در تمامی بافت‌ها

قابل استفاده گیاه در شکل ۴ نمایش داده شده است. مشاهده می شود که بیشترین مقدار رطوبت قابل استفاده برای گیاه در بافت های لوم شنی، لومرسی و رس سیلتی به ترتیب به میزان ۹/۸، ۱۳/۸ و ۱۲/۷ درصد حجمی و مربوط به کاربرد ۰/۵ درصد وزن آکواسورس در این تیمارها بوده است. با استفاده از ۰/۵ درصد وزن پلیمر، میزان رطوبت قابل استفاده برای گیاه در بافت های لوم شنی، لومرسی و رس سیلتی به ترتیب ۱/۲۳، ۱/۱۹ و ۱/۱۲ برابر نمونه شاهد هر بافت به دست آمده است. کاربرد مقدار بیشتر ماده جاذب رطوبت، تا حدودی کاهش رطوبت قابل استفاده گیاه را به همراه دارد، به طوری که با استفاده از ۲ درصد وزن پلیمر میزان آب قابل استفاده گیاه کمتر از مقداری است که در نمونه شاهد دیده می شود.

مقادیر بیشتری رطوبت در محدوده مکش کم آزاد شده است. با افزایش میزان استفاده از ماده جاذب رطوبت تا ۲ درصد وزنی، مقدار رطوبت آزاد شده در محدوده مکش های زیاد افزایش بیشتری داشته است. در سطوح کم، استفاده از آکواسورس تعامل بین پلیمر و خاک در سیستم خاک/پلیمر باعث سهولت در انتقال رطوبت ذخیره شده در پلیمر به ذرات خاک شده است. با افزایش سطح ماده جاذب رطوبت، تعامل بین پلیمر و ذرات خاک کاهش یافته و به علت توده ای شدن این مواد، تا حدودی حبس رطوبت در آکواسورس اتفاق افتاده است. مطالعات سایر محققان نیز نشان داده است که کاربرد ماده جاذب رطوبت میزان تخلخل خاک را افزایش می دهد (Abedi-Koupai & Sohrab, 2004). اثر کاربرد سطوح مختلف آکواسورس و نوع بافت بر رطوبت



شکل ۴- اثر متقابل سطوح ماده جاذب رطوبت و نوع بافت بر رطوبت قابل استفاده برای گیاه (درصد حجمی)

Fig. 4 - Interaction of superabsorbent levels and soil textures on soil available water for plant use (%V)

تبادل مناسب رطوبت بین پلیمر و خاک اطراف آن می شود و به این ترتیب به رغم وجود رطوبت در سیستم خاک/پلیمر، این رطوبت برای گیاه قابل استفاده نیست به طوری که در هر سه بافت کمترین میزان رطوبت قابل استفاده گیاه متعلق به تیمار ۲ درصد وزن آکواسورس است. مشابه این موضوع را

این موضوع را می توان مربوط به کاهش تعامل ذرات خاک و پلیمر با افزایش میزان کاربرد ماده جاذب رطوبت در خاک دانست. در سطوح بالای مصرف پلیمر، تماس هیدروژل ایجاد شده با ذرات خاک کاهش می یابد و به دنبال آن توده ای شدن ماده جاذب رطوبت رخ می دهد. این رخداد مانع

نتایج ارزیابی مدل‌ها مربوط به دو نقطه ظرفیت زراعی (FC) و پژمردگی دائم (PWP) در تیمارهای مختلف بسنده شد (جدول ۹). بر اساس جدول (۹) مشاهده می‌شود که برآزش مدل ون گنوختن (معلم) در نرم‌افزار RETC در تمامی تیمارها تقریب مناسبی از پارامترهای منحنی مشخصه رطوبتی خاک ارائه کرده است ($R^2 > 0.98$). همچنین، با افزایش سطوح استفاده از ماده جاذب رطوبت، دقت مدل در برآورد پارامترها تا حدودی کاهش یافته است (جدول ۹). نرم‌افزار Rosetta در مقایسه با نرم‌افزار RETC تقریب مناسبی برای برآورد پارامترها نداشته است، خصوصاً در مقادیر بالای استفاده از ماده جاذب رطوبت دقت مدل قابل قبول نیست (R^2 حدود ۰/۷). بنابراین، نتایج برآزش مدل ون گنوختن (معلم) در نرم‌افزار RETC برای برآورد پارامترهای منحنی مشخصه رطوبتی ($\alpha, n, \theta_s, \theta_r$) ارائه شده‌اند (شکل‌های ۵ تا ۸).

دیگر محققان (Arabi et al, 2016; Soheilnejad et al., 2018; Vasconcelos et al., 2019; Saha et al., 2020) گزارش داده‌اند. این محققان دلیل کاهش رطوبت قابل استفاده گیاه را اثر بازدارندگی پلیمرهای جاذب رطوبت در سطوح بالای استفاده در اثر حجیم شدن پلیمر و اشغال فضای زیاد خلل و فرج خاک دانسته‌اند.

اثر کاربرد پلیمر آکواسورس بر پارامترهای منحنی مشخصه رطوبت خاک

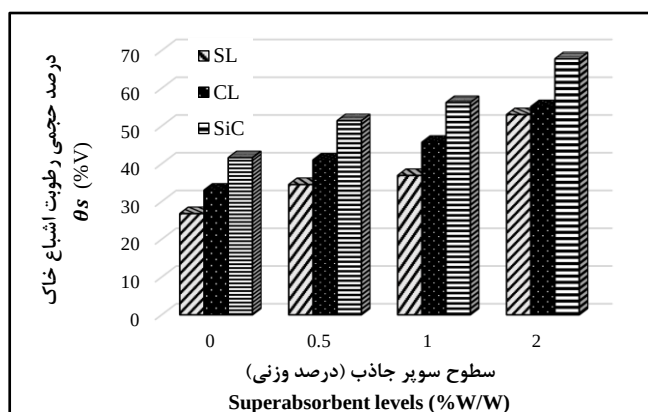
به منظور ارزیابی عملکرد دو نرم‌افزار RETC (v. 1.1) و Rosetta (v. 6.02) در برآورد رطوبت خاک در مکش‌های مختلف، پارامترهای ضریب تعیین و میانگین مربعات خطا برای کلیه تیمارها تعیین شد. با توجه به حجم زیاد داده‌ها و روند یکسان پارامترهای آماری در مقایسه دو مدل در برآورد رطوبت خاک در مکش‌های مختلف، به ارائه

جدول ۹- مقادیر ضریب تعیین و میانگین مربعات خطا برای سطوح مختلف کاربرد ماده جاذب رطوبت در بافت‌های مختلف
Table 9 - Correlation coefficient and mean square error values for different levels of superabsorbent application in different soil textures

سطوح ماده جاذب رطوبت Superabsorbent levels								مدل Model	بافت خاک Soil texture
۲ درصد وزنی 2 % W/W		۱ درصد وزنی 1 % W/W		۰/۵ درصد وزنی 0.5 % W/W		شاهد Control			
MSE(cm³/cm³)	R²	MSE(cm³/cm³)	R²	MSE(cm³/cm³)	R²	MSE(cm³/cm³)	R²		
0.088	0.9894	0.093	0.9889	0.028	0.9967	0.010	0.9991	RETC (FC)	SL
0.500	0.9037	0.611	0.8001	0.076	0.9904	0.050	0.9925	Rosetta (FC)	
0.110	0.9840	0.030	0.9960	0.019	0.9978	0.054	0.9912	RETC (PWP)	
0.638	0.7932	0.603	0.8793	0.380	0.9671	0.734	0.8342	Rosetta (PWP)	
0.170	0.9802	0.199	0.9817	0.082	0.9900	0.044	0.9950	RETC (FC)	CL
0.610	0.8210	0.454	0.9294	0.399	0.9310	0.079	0.9901	Rosetta (FC)	
0.102	0.9849	0.098	0.9883	0.013	0.9980	0.090	0.9890	RETC (PWP)	
0.629	0.7210	0.721	0.8449	0.487	0.9123	0.552	0.8892	Rosetta (PWP)	
0.165	0.9833	0.061	0.9907	0.029	0.9962	0.024	0.9972	RETC (FC)	SiC
0.572	0.7076	0.291	0.9645	0.388	0.9686	0.229	0.9777	Rosetta (FC)	
0.375	0.9698	0.187	0.9821	0.044	0.9937	0.031	0.9958	RETC (PWP)	
0.718	0.7002	0.800	0.8287	0.466	0.9094	0.406	0.9444	Rosetta (PWP)	

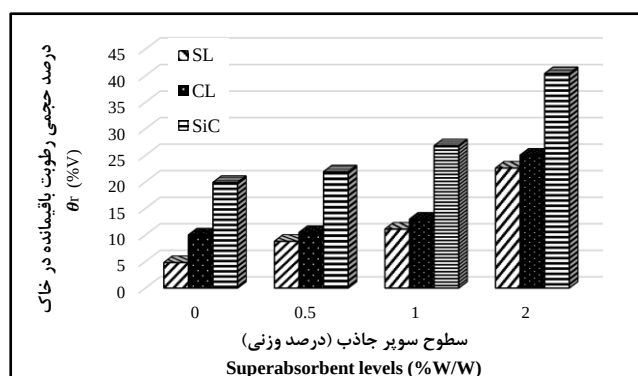
در بافت رس سiltی کاربرد ۰/۵ و ۱ و ۲ درصد وزنی ماده جاذب رطوبت سبب افزایش مقدار θ_s به ترتیب به میزان ۱۹/۱، ۲۶/۰ و ۳۸/۶ درصد شده است. با توجه به شکل (۶) مشاهده می شود که درصد رطوبت حجمی باقیمانده با کاربرد پلیمر و افزایش سطوح مورد استفاده افزایش یافته است. بیشترین درصد رطوبت حجمی باقیمانده مربوط به بیشترین سطح کاربرد ماده جاذب رطوبت (۲ درصد وزنی) و بافت رس سiltی در حدود ۴۰ درصد است. افزایش رطوبت حجمی باقیمانده در بافت لوم شنی بیش از دو بافت دیگر است و کاربرد ماده جاذب رطوبت میزان این پارامتر را تا حدود ۴/۵ برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش داده است.

بررسی اثر کاربرد ماده جاذب رطوبت بر پارامترهای منحنی مشخصه رطوبتی خاک نشان می دهد که به طور کلی در هر بافت با افزودن آکواسورس و افزایش سطح کاربرد، مقدار درصد رطوبت حجمی اشباع خاک افزایش می یابد (شکل ۵). در هر سه بافت، بیشترین مقدار θ_s مربوط به بیشترین سطح استفاده از پلیمر است. با افزودن ۰/۵ و ۱ و ۲ درصد وزنی ماده جاذب رطوبت به خاک لوم شنی، مقدار θ_s به ترتیب ۲۲/۳، ۲۷/۴ و ۴۹/۴ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است. در بافت لومرسی، استفاده از ۰/۵ و ۱ و ۲ درصد وزنی آکواسورس مقدار θ_s را نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۱۹/۵، ۲۷/۸ و ۴۰/۱ درصد افزایش می دهد و



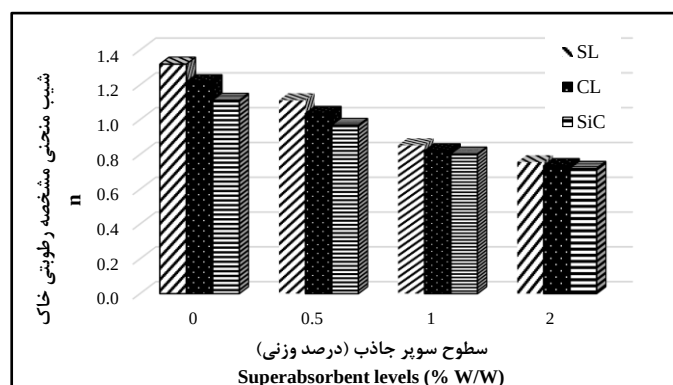
شکل ۵- تغییرات درصد رطوبت حجمی اشباع (θ_s) در بافت های مختلف خاک در اثر کاربرد سطوح مختلف ماده جاذب رطوبت

Fig. 5 - Changes in the saturated water content (θ_s (%V)) of different soil textures due to the application of different levels of superabsorbent

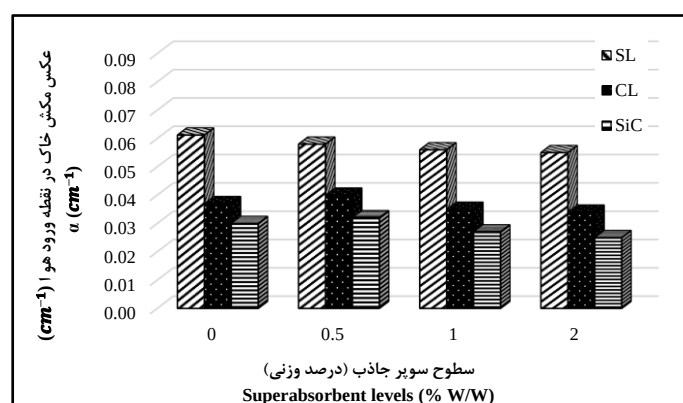


شکل ۶- تغییرات درصد رطوبت حجمی باقیمانده (θ_r) در بافت های مختلف خاک در اثر کاربرد سطوح مختلف ماده جاذب رطوبت

Fig. 6 - Changes in the residual water content (θ_r (%V)) of different soil textures due to the application of different levels of superabsorbent



شکل ۷- شیب منحنی مشخصه رطوبت (n) در بافت‌های مختلف خاک در اثر کاربرد سطوح مختلف ماده جاذب رطوبت
Fig. 7 - Changes in the slope of the soil-water characteristic curve (n) of different soil textures due to the application of different levels of superabsorbent



شکل ۸- عکس مکش خاک در نقطه ورود هوا ($\alpha (cm^{-1})$) در بافت‌های مختلف خاک در اثر کاربرد سطوح مختلف ماده جاذب رطوبت
Fig. 8 - Changes in the inverse of the air entry suction $\alpha (cm^{-1})$ of different soil textures due to the application of different levels of superabsorbent

آکواسورس و افزایش سطح مورد استفاده، مقدار α کم می‌شود. در ناحیه ورود هوا به خلل و فرج خاک، پتانسیل ماتریک تغییر می‌کند. در بافت‌های سبک‌تر به علت داشتن خلل و فرج زیاد، با مکش بسیار کم، آب از خلل و فرج خارج می‌شود. یا به عبارتی مقدار α در این نوع خاک‌ها زیاد است. افزودن ماده جاذب رطوبت و افزایش سطح کاربرد به علت تورم زیاد این مواد سبب اتصال خلل و فرج درشت و در نتیجه افزایش سطح تماس آب با خاک می‌شود. در این حالت، برای خروج آب نیاز به فشار بیشتری است و مقدار α کم می‌شود (Abedi-Koupai et al., 2008). به این ترتیب، در بافت لوم‌شنی با افزایش سطح پلیمر مورد استفاده میزان α کاهش یافته است. با

در هر سه بافت مورد مطالعه، با افزودن پلیمر جاذب رطوبت و افزایش سطح استفاده، به علت افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک، مقدار شیب منحنی مشخصه رطوبتی خاک (n) کم می‌شود و سرعت از دست دادن آب کاهش می‌یابد (شکل ۷). بیشترین کاهش مربوط به بافت لوم‌شنی و کاربرد ۲ درصد وزنی آکواسورس به میزان ۴۲ درصد نسبت به نمونه شاهد است. نتایج مشابهی را سایر محققان (Abedi-Koupai & Sohrab, 2004; Haghshenas-Gorgabi & Beigi-Harchegani 2010; Kheiri-Shalamzari & Boroomandnasab, 2014) گزارش داده‌اند. بررسی اثر کاربرد سطوح مختلف آکواسورس بر فشار ورود هوا به خاک (شکل ۸) نشان می‌دهد که در بافت لوم‌شنی با افزودن

و بازه مکش‌های زیاد (پتانسیل ماتریک از ۳ تا ۱۵ بار) می‌شود. کاربرد ۲ درصد وزنی آکواسورس در بافت‌های لوم‌شنی، لوم‌رسی و رس‌سیلتی، میزان رطوبت در حد ظرفیت زراعی را به ترتیب حدود ۲/۴، ۱/۶ و ۱/۵ برابر نسبت به نمونه شاهد هر بافت افزایش می‌دهد. بیشترین رطوبت قابل استفاده گیاه در هر سه بافت مورد مطالعه با کاربرد ۰/۵ درصد وزنی آکواسورس به‌دست آمده‌است. کاربرد ۰/۵ درصد وزنی پلیمر در بافت‌های لوم‌شنی، لوم‌رسی و رس‌سیلتی، میزان رطوبت قابل استفاده گیاه را به ترتیب حدود ۱/۲۳، ۱/۱۹ و ۱/۱۲ برابر نسبت به نمونه شاهد در هر بافت افزایش می‌دهد. کاربرد مقادیر بیشتر پلیمر سبب کاهش رطوبت قابل استفاده گیاه می‌شود. در مجموع، کاربرد ماده جاذب رطوبت آکواسورس سبب افزایش قابل توجه رطوبت اشباع، رطوبت باقیمانده در خاک و درصد رطوبت حجمی در هر مکش از منحنی مشخصه رطوبتی خاک می‌شود. همچنین، این پلیمر دارای خاصیت آزادسازی رطوبت در مکش‌های کم به‌ویژه در بافت‌های سنگین است و کاربرد آن به افزایش ظرفیت نگهداشت آب در مکش‌های زیاد به‌ویژه در بافت‌های سبک می‌انجامد. اما توجه به این نکته ضروری است که در سطوح کم کاربرد آکواسورس (حدود ۰/۵ درصد وزنی)، تعامل بین پلیمر و خاک در سیستم خاک/پلیمر باعث سهولت در انتقال رطوبت ذخیره‌شده در ماده جاذب رطوبت به ذرات خاک می‌گردد. افزایش سطح کاربرد این پلیمر تا ۲ درصد وزنی اثر بازدارنده دارد و در این حالت تعامل بین پلیمر و ذرات خاک کاهش می‌یابد که به تخلیه نشدن مناسب رطوبت از پلیمر منجر می‌شود. همچنین باید در نظر داشت که کاربرد پلیمرهای جاذب رطوبت در شرایطی اقتصادی خواهد بود که تأمین آب در محل مورد

سنگین‌تر شدن بافت خاک در نمونه شاهد، به علت وجود خلل و فرج ریز و سطح ویژه زیاد خاک مقدار فشار ورود هوا افزایش یافته است. کاربرد آکواسورس در بافت‌های لوم‌رسی و رس‌سیلتی در مقادیر کم به علت ایجاد محیطی متخلخل در اثر جذب و دفع آب، باعث کاهش خلل و فرج ریز و سرعت حرکت بیشتر آب شده و برای خروج آب از این نقاط نیاز به فشار کمتری است و به عبارتی مقدار α تا حدودی افزایش یافته‌است (در بافت لوم‌رسی پارامتر α نسبت به نمونه شاهد حدود ۷/۵ درصد و در بافت رس‌سیلتی حدود ۶ درصد افزایش یافته است). با این همه، در موارد مصرف سطوح بالای ماده جاذب رطوبت تورم زیاد این مواد منجر به تشدید مشکل ماندابی و افزایش فشار ورود هوا به خاک شده است (Abedi-Koupai & Sohrab, 2004). میزان افزایش این پارامتر در تیمار ۲ درصد وزنی ماده جاذب رطوبت در بافت‌های رس‌سیلتی و لوم‌رسی به ترتیب حدود ۱۶/۵ و ۸ درصد است.

نتیجه‌گیری

بررسی منحنی‌های مشخصه رطوبتی خاک نشان می‌دهد که در هر سه بافت لوم‌شنی، لوم‌رسی و رس‌سیلتی با کاربرد آکواسورس، درصد رطوبت حجمی نمونه خاک در هر پتانسیل ماتریک اعمال شده، افزایش می‌یابد. کاربرد آکواسورس و افزایش سطح کاربرد این پلیمر جاذب رطوبت (از صفر به ۲ درصد وزنی پلیمر/خاک) در بافت‌های لوم‌شنی، لوم‌رسی و رس‌سیلتی سبب افزایش میزان رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم می‌شود. همچنین، کاربرد این ماده جاذب رطوبت و افزایش سطح کاربرد آن از صفر تا ۲ درصد وزنی پلیمر/خاک، سبب افزایش میزان رطوبت آزادشده در بازه مکش‌های کم (پتانسیل ماتریک از صفر تا ۳ بار)

نظر، قیمت تمام‌شده بالایی داشته باشد. آبیاری را افزایش دهد و از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر در این صورت کاربرد پلیمر می‌تواند فاصله‌های باشد.

قدردانی

نگارندگان از مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به پاس فراهم آوردن امکان این تحقیق قدردانی می‌نمایند.

مراجع

- Abedi-Koupai, J. & Sohrab, F. (2004). Evaluating the application of superabsorbent polymers on soil water capacity and potential on three soil textures. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 17(3), 163-173. (in Persian)
- Abedi-Koupai, J., Sohrab, F. & Swarbrick, G. (2008). Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. *Journal of Plant Nutrition*, 31, 317-331.
- Ambrojo, G., Wong, J. & Ferrari, B. J. (2019). Ecotoxicological effects of polyacrylate, acrylic acid, polyacrylamide and acrylamide on soil and water organisms. Swiss Centre for Applied Ecotoxicology, Lausanne, Switzerland. *Technical Report*. No: 20646.
- Arabi, Z., Kaboosi, K., Rezvantlab, N. & Torke-Lalebagh, J. (2016). Effects of irrigation and super-absorbent hydrogels on morphological characteristics, yield and essential oil of anise (*Pimpinella Anisum* L.). *Journal of Crop Production*, 8(4), 51-66. (in Persian)
- Behera, S. & Mahanwar, P. (2020) Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: a review. *Polymer-Plastics Technology and Materials*. 59(4): 341-356.
- Cao, Y., Wang, B., Guo, H., Xiao, H. & Wei, T. (2017). The effect of super absorbent polymers on soil and water conservation on the terraces of the loess plateau. *Ecological Engineering*, 102, 270-279.
- Ecotechnology. (2018). What is Aquasource? <http://www.ecotechnology.am/aquasource/index.php/en-us/aquasource-en#>.
- Essawy, H., Ghazy, M., El-Hai, F. & Mohamed, M. (2016). Superabsorbent hydrogels via graft polymerization of acrylic acid from chitosan-cellulose hybrid and their potential in controlled release of soil nutrients. *International Journal of Biological Macromolecules*, 89, 144-151.
- Haghighy-Moghaddam, S. A. (2006). *Methods to increase soil moisture storage using superabsorbents to increase agricultural water productivity. Technical workshop of mechanized surface irrigation*. (in Persian). Nov. 24-25. Karaj, Iran.
- Haghshenas-Gorgabi, M. & Beigi-Harchegani, H. (2010). The effect of Mianeh zeolite on water retention and water retention models in two soil textures. *Iranian Water Research Journal*, 4(6), 35-42. (in Persian)
- Kheiri-Shalamzari, K. & Boroomandnasab, S. (2014). The effect of different levels of superabsorbent a300 in some physics and hydraulic properties of a silty loam soil. *Irrigation Sciences and Engineering (JISE)*, 36 (4) , 63-71. (in Persian)
- Klute, A. (1986). *Water Retention: Laboratory methods, methods of soil analysis, Part 1*. American Society of Agronomy (pp 635-666), Madison, WI.
- Misiewicz, J., Lejcus, K., Dabrowska, J. & Marczak, D. 2019. The characteristics of absorbency under load (AUL) for superabsorbent and soil mixtures. *Scientific Reports*, 9, 1-9.
- Nirmala, A. & Guvvali, T. (2019). Hydrogel/superabsorbent polymer for water and nutrient management in horticultural crops-review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(5), 787-795.

- Parvanak-Boroujeni, K. & Abedi-Koupai, J. (2009). The effect of super AB-A200 hydrogels on porosity, water holding capacity and hydraulic conductivity of soil in the field. *Plant and Ecosystem*, 5(18), 102-118. (in Persian)
- Rafiee, Z., Zehtabian, G. R. Tavili, A. & Kianirad, M. (2011). Comparing effect of hydrogel and compost on establishment and growth properties of *Haloxylon aphyllum*. *Scientific and Research Journal Arid Biome*, 1(3), 24-37. (in Persian)
- Raju. K. M., Raju. M. P. & Mohan. Y. M. (2002). Synthesis and water absorbency of cross-linked superabsorbent polymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 85, 1795-1801.
- Rashed, M., Kenawy, E. R., Hosny, A., Hafez, M. & Elbana, M. (2021). An environmental friendly superabsorbent composite based on rice husk as soil amendment to improve plant growth and water productivity under deficit irrigation conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 44(7), 1010-1022.
- Saha, A., Sekharan, S. & Manna, U. (2020). Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: A review. *Soil and Tillage Research*, 204, 1-17.
- Satriani, A., Catalano, M. & Scalcione, E. (2018). The role of superabsorbent hydrogel in bean crop cultivation under deficit irrigation conditions: A case-study in Southern Italy. *Agricultural Water Management*, 195, 114-119.
- Schaap, M. G., Leij, F. J. & Van Genuchten, M.T. (1998). Neural network analysis for hierarchical prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 847-855.
- Schaap, M.G., Leij, F.J. & Van Genuchten, M.T. (2001). Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology*, 251, 163-176.
- Sepehri, S., Abbasi, N. & Nakhjavanimoghaddam, M.M. (2020). Investigating the effects of aquasource super-absorbent on water productivity of peppermint (*Mentha piperita*). *Final Research Report, Agricultural Engineering Research Institute*. (In Persian).
- Soheilnejad, A. Mahdavi-Damghani, A., Liaghati, S. & Pezeshkpour, P. (2018). Effect of superabsorbent hydrogel Aquasorb application on mitigating drought stress, grain yield and water use efficiency of mung bean (*Vigna radiata* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 19(4), 363-375. (in Persian)
- Sohrab, F. & Abbasi, F. (2010). Investigating the effect of using superabsorbent materials on soil water retention. *Final research report. No. 89/945. Agricultural Engineering Research Institute*. (in Persian)
- Van Genuchten, M.T., Leij, F.J. & Yates, S.R. (1991). The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils, USEPA Rep. 60012-91/065. USEPA, Environment Research Laboratory. National Service Center for Environmental Publications (NSCEP).
- Vasconcelos, M., Gomes, R., Sousa, A., Moreira, F., Rodrigues, F., Fajardo, A. & Neto, L. (2019). Superabsorbent hydrogel composite based on starch/rice husk ash as a soil conditioner in melon (*Cucumis melo* L.) seedling culture. *Journal of Polymers and the Environment*, 28, 131:140.
- Warker, S. & Kumar, A. (2019). Synthesis and assessment of carboxymethyl tamarind kernel gum based novel superabsorbent hydrogels for agricultural applications, *Polymer*, 182: 1-10.
- Xiahua, Q., Mingzhu, L., Zhenbin, C. & Fen, Z. (2008). Study on the Swelling Kinetics of Superabsorbent Using Open, Circuit Potential Measurement. *European Polymer Journal*, 44, 743-754.
- Yu, J., Shi, J. G. & Ma, X. (2017). Superabsorbent Polymer Properties and Concentration Effects on Water Retention under Drying Conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 81, 889-901.

Effect of Aquasource Polymer on the Hydro-Physical Properties of Different Soils

S. Sepehri-Sadeghian*, N. Abbasi and M. M. Nakhjavanimoghaddam

* Corresponding Author: Assistant Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: s.sepehri@aeri.ir
Received: 4 February 2021, Accepted: 5 April 2021

Extended Abstract

Introduction

Today, one of the most important challenges of the present and the future, especially in the arid regions of the world, is the issue of water shortage and in some cases the water crisis. One of the ways to improve water productivity and better water management in agricultural sector as the largest consumer of water is the use of super-absorbent materials to improve soil texture, increase soil water retention, reduce erosion and increase germination. The aim of this study is to evaluate the effect of Aquasource superabsorbent polymer on physical parameters and soil-water characteristic curves (SWCC) of different soil textures.

Methodology

Aquasource is a new generation of potassium-based superabsorbent polymers that are biodegradable and free of destructive acrylamide compounds. In order to evaluate the effect of Aquasource hydrogel on hydro-physical properties of soils, some experiments in the form of a completely randomized design with 3 replications was performed. The first factor was different levels of superabsorbent (0, 0.5, 1 and 2% by weight of superabsorbent/soil) and the second factor was three different soil textures (sandy-loam, clay-loam and silty-clay). SWCCs related to all treatments were determined by determining the moisture content of the samples at different pressures (0, 0.3, 0.5, 1, 3, 6, 9 and 15 bars) using a pressure plate device. Then, to obtain the soil moisture characteristic curve parameters ($\alpha, n, \theta_s, \theta_r$) in each sample, two softwares RETC (v.6.02) and Rosetta (v. 1.1) were used.

Results and Discussion

The results of variance analysis and mean comparisons based on Duncan's test showed that in all soil textures studied, the application of superabsorbent and the increase Aquasource amounts, increased the moisture contents at the field capacity and permanent wilting point. However, the highest amount of soil available water for plant use in sandy loam, clay loam and silty clay textures was 9.8%, 13.8% and 12.7%, respectively, and they are related to the use of 0.5% w/w of superabsorbent in these treatments (Fig. 1). The use of larger amounts, up to 2%w/w, reduced the soil available water for plant use. This issue can be related to the reducing the interaction of soil particles and polymers with increasing the amount of superabsorbent application in soil. At high levels of superabsorbent consumption, the contact of the hydrogel with the soil particles is reduced, followed by the aggregation of the superabsorbent. This prevents the proper exchange

between the superabsorbent and the surrounding soil, and thus despite the presence of moisture in the soil-superabsorbent system, this moisture cannot be used for the plant, so that in all three soil textures the lowest amount of plant available water belongs to the treatments of 2% w/w of Aquasource.

The results of statistical analysis for estimating the parameters of the soil-water characteristic curve due to the application of different levels of superabsorbent in different soil textures using two software RETC (v.6.02) and Rosetta (v. 1.1) showed that the fit The Van-Genuchten (Moallem) model in RETC software in all treatments has provided a good approximation of the parameters of the soil-water characteristic curve ($R^2 > 0.98$). Also, with increasing the amounts of superabsorbent, the accuracy of the model in estimating the parameters decreased to some extent.

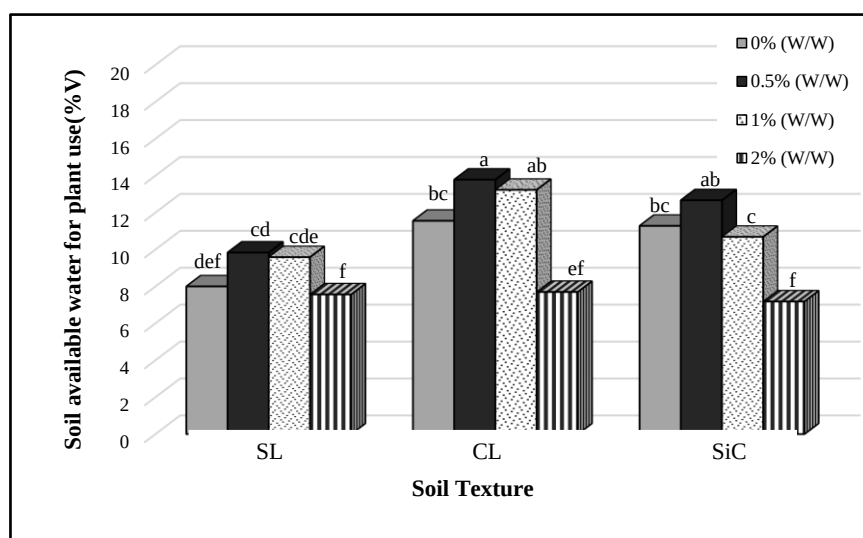


Fig. 1 - Interaction of superabsorbent levels and soil textures on soil available water for plant use (%V)

Conclusions

Application of Aquasource superabsorbent and increasing the application level of this superabsorbent polymer (from 0 to 2% by weight of superabsorbent/soil) in sandy-loam, clay-loam and silty-clay soil textures caused an increase in the moisture content at field capacity and permanent wilting point. Application of 2% W/W in sandy-loam, clay-loam and silty-clay soil textures increased the moisture content at the field capacity by about 2.4, 1.6 and 1.5 times, respectively, compared to the control treatments of each soil textures. However, the highest amounts of plant available water in all three soil textures were obtained by applying 0.5% W/W (superabsorbent/soil). Application of 0.5% W/W in sandy loam, clay loam and silty clay textures increased the plant available water by about 1.23, 1.19 and 1.12 times compared to the control treatments in each soil textures, respectively. However, the use of larger amounts reduced the plant available water. At low levels of Aquasource application, the interaction between the

superabsorbent polymer and the soil particles in the soil/polymer system facilitates the transfer of moisture stored in the superabsorbent to soil particles. However, increasing the application level of this polymer up to 2% W/W has an inhibitory effect and in this case, the interaction between the polymer and soil particles is reduced, which leads to a lack of proper drainage of moisture from the polymer.

Acknowledgement

The authors would like to thank Agricultural Engineering Research Institute for supporting this research.

Keywords: Available water, Moisture absorbing polymer, Soil-Water Characteristic Curve

نقش سامانه‌های نوین آبیاری در مدیریت مصرف آب گوجه‌فرنگی در کشور

فریبرز عباسی^{۱*}، محمد جلیلی^۲، محمد خرمیان^۳، سید ابراهیم دهقانپان^۴، اسماعیل مقبلی دامنه^۵، مهرداد نوروزی^۶، افشین یوسف گمرکچی^۷، مهدی طاهری^۸، اسحاق زارع مهرانی^۹، علیرضا کیانی^{۱۰}، نادر سلامتی^{۱۱}، حسن موسوی فضل^{۱۲}، علی قدمی فیروزآبادی^{۱۳}، پرویز بیات^{۱۴} و ابوالفضل ناصری^{۱۵}

- ۱- استاد موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
 - ۲- دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
 - ۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
 - ۴- مربی پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، شیراز، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
 - ۵- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جیرفت، جیرفت، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
 - ۶- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بوشهر، بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
 - ۷- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی قزوین، قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
 - ۸- دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زنجان، زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
 - ۹- کارشناسی ارشد مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، بندرعباس، ایران
 - ۱۰- استاد مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
 - ۱۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اهواز، اهواز، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
 - ۱۲- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی شاهرود، شاهرود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
 - ۱۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان، همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
 - ۱۴- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بوشهر، بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
 - ۱۵- دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، تبریز، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
- تاریخ دریافت: ۹۹/۶/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۲۳

چکیده

توسعه سامانه‌های نوین آبیاری یکی از برنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی در چند دهه گذشته بوده است. ارزیابی نقش این سامانه‌ها در افزایش شاخص‌های مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی می‌تواند در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های آینده کشور موثر باشد. از این رو، این تحقیق با هدف تعیین شاخص‌های مدیریت مصرف آب در تولید گوجه‌فرنگی در کشور و ارزیابی نقش آبیاری قطره‌ای نواری در افزایش آنها اجرا شد. حجم آب کاربردی و عملکرد محصول در ۱۷۶ مزرعه از مزارع استان‌های فارس، جنوب کرمان، هرمزگان، بوشهر، خراسان رضوی، قزوین، خوزستان، گلستان، زنجان، همدان و سمنان در فصل زراعی (۹۸-۱۳۹۷) اندازه‌گیری شد. مقادیر اندازه‌گیری شده با نیاز خالص آبیاری حاصل از روش فائو پی‌من-مانتینث با استفاده از داده‌های هواشناسی و همچنین با مقادیر سند ملی آب مقایسه شدند. تاثیر روش آبیاری قطره‌ای نواری بر حجم آب کاربردی، راندمان کاربرد و بهره‌وری فیزیکی آب در مناطق مورد مطالعه نیز بررسی شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که حجم آب کاربردی و بهره‌وری آب در قطب‌های تولید گوجه‌فرنگی در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری دارند. میانگین وزنی حجم آب کاربردی در مناطق مورد مطالعه ۷۷۲۹ مترمکعب بر هکتار بود. بهره‌وری آب در مناطق تولید از ۴/۳۳ تا ۹/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب و متوسط آن ۷/۳۹ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. میانگین نیاز خالص آبیاری و راندمان کاربرد آب در مزارع مورد مطالعه به ترتیب ۶۷۴ میلی‌متر و ۷۸ درصد برآورد شد. کاربرد آبیاری قطره‌ای نواری، در مقایسه با روش آبیاری سطحی، نقش موثری در افزایش شاخص‌های مدیریت مصرف آب داشته است. آبیاری قطره‌ای نواری ۲۵ درصد در کاهش آب کاربردی، ۱۰ درصد در افزایش راندمان کاربرد آب در مزرعه و ۱۶ درصد در ارتقای بهره‌وری آب (آب آبیاری و بارندگی موثر) موثر بوده است.

واژه‌های کلیدی

بهره‌وری، راندمان کاربرد، آبیاری قطره‌ای نواری، نیاز خالص آبیاری

مقدمه

از سبزی‌های مهمی است که به لحاظ داشتن

لیکوپن و ویتامین‌های A و C نقش مهمی در سلامتی افراد جامعه دارد. امروزه نزدیک به ۷۵۰۰

گوجه‌فرنگی با نام علمی *Lycopersicon esculentum* از خانواده (بادمجانیان) و

در آبیاری قطره‌ای با آبیاری کامل گزارش داده‌اند. سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2010) در مطالعه‌ای نشان دادند که هر مترمکعب آب کاربردی برای گوجه‌فرنگی، گندم، جو، ذرت و چغندر قند به ترتیب ۲۳۴۵، ۷۴۰، ۳۹۶، ۳۴۸ و ۸۳ ریال ارزش خالص به‌همراه دارد. بنابراین بهره‌وری اقتصادی گوجه‌فرنگی در میان محصولات یادشده بیشترین است. باغانی (Baghani, 2007) در تحقیقات خود در دشت‌های مشهد و فریمان، میانگین آب کاربردی در مزارع گوجه‌فرنگی‌ای که پیشتر به روش جویچه‌ای آبیاری می‌شدند، ۱۶۷۰۰ مترمکعب بر هکتار با میانگین عملکرد ۶۹/۷ تن در هکتار و بهره‌وری آب آبیاری ۴/۲ کیلوگرم بر مترمکعب و با آبیاری قطره‌ای ۱۰۱۱۳ مترمکعب با عملکرد ۸۳/۴ تن بر هکتار و بهره‌وری آب آبیاری ۸/۲ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کرده‌است. خرمیان (Khorramian, 2013) در مطالعه‌ای، مقدار آب کاربردی گوجه‌فرنگی در شهرستان دزفول را در کشت پاییزه در دو روش آبیاری قطره‌ای و سطحی، به‌ترتیب ۶۲۰۰ و ۹۷۰۰ مترمکعب بر هکتار اندازه‌گیری و بهره‌وری فیزیکی آب را در دو روش قطره‌ای و سطحی به‌ترتیب ۸/۷ و ۴/۴ کیلوگرم بر مترمکعب اندازه‌گیری کرده است. مقدار آب کاربردی گوجه‌فرنگی به روش جویچه‌ای در شهرستان‌های مرودشت، پاسارگاد و ممسنی استان فارس به‌ترتیب معادل ۲۳۰۰۰، ۱۶۰۰۰ و ۲۴۰۰۰ مترمکعب بر هکتار اندازه‌گیری شده که این میزان بیش از ۲ تا ۳ برابر نیاز خالص آبی این محصول در مناطق یادشده است (Shahrokhnia et al., 2016). شاهرخنیا و همکاران (Shahrokhnia et al., 2016) در یک مزرعه با آبیاری قطره‌ای در مرودشت استان فارس با مدیریت زارع، حجم آب کاربردی گوجه‌فرنگی را ۵۵۰۸ مترمکعب بر هکتار و

رقم گوجه‌فرنگی در سراسر جهان کشت می‌شود. این رقم‌ها در اندازه، شکل، رنگ و طعم با یکدیگر فرق می‌کنند. گوجه‌فرنگی جزء سبزی‌های فصل گرم است و هوای گرم و رطوبت بالا مناسب رشد و نمو گوجه‌فرنگی است. با این همه، بهترین دما برای رشد و نمو گوجه‌فرنگی بین ۱۸ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد است. در دمای بیشتر از ۴۰ و کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد گرده‌افشانی و لقاح در این گیاه مختل خواهد شد. دوره رشد گیاه در ارقام مختلف گوجه‌فرنگی فرق دارد و در درجه اول بسته به رقم، مقدار دما طی دوره رشد و اندازه ساقه اصلی، بین ۴ تا ۱۱ ماه متفاوت است. نیاز آبی گوجه‌فرنگی، با توجه به گوشتی بودن آن و به دلیل محصول زیادی که تولید می‌کند، نسبتاً بالاست (Mazaheri Tehran et al., 2007).

مطالعات در خصوص مناسب‌ترین شیوه آبیاری گوجه‌فرنگی نشان می‌دهد که آبیاری قطره‌ای نواری و قطره‌ای زیرسطحی در مقایسه با روش‌های جویچه‌ای و آبیاری بارانی باعث بهبود توزیع رطوبت، افزایش عملکرد و بهره‌وری آب می‌شوند. ضمن آنکه آبیاری قطره‌ای موجب افزایش کمی و کیفی گوجه‌فرنگی نیز می‌شود (Hall, 1974; Lin et al., 1983). در خصوص اندازه‌گیری حجم آب کاربردی گوجه‌فرنگی در شرایط مدیریت بهره‌بردار مطالعات اندک است، آنچه گزارش شده نیز موردی است و به صورت مطالعات گسترده و ملی نبوده است. در ادامه به برخی گزارش‌های پراکنده‌ای اشاره می‌شود که در زمینه کشت گوجه‌فرنگی در برخی از مناطق کشور منتشر شده است.

باغانی و بیات (Baghani & Bayat, 1999) با مقایسه دو روش آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای گوجه‌فرنگی در خراسان‌رضوی، بیشترین عملکرد را

پور محمد و همکاران (Pourmohamad *et al.*, 2017) بهره‌وری آب را در تولید محصولات عمده دشت نیشابور برآورد و بهینه‌سازی سطح زیرکشت محصولات را با استفاده از برنامه‌ریزی خطی بررسی کردند و نشان دادند که ذرت با بیشترین بهره‌وری اقتصادی، معادل ۹۷ سنت بر مترمکعب آب در سطح حوضه، باصرفه‌ترین محصول است و گوجه‌فرنگی با بهره‌وری شش سنت بر مترمکعب آب کمترین بهره‌وری اقتصادی را دارد و نامناسب‌ترین محصول است. گندم و جو نیز با متوسط بهره‌وری ۴۱ سنت بر مترمکعب در مقیاس حوضه در رتبه دوم قرار دارند. محقق‌زاده و کریمی (Mohagheghzadeh & Karami, 2018) عوامل اثرگذار بر مصرف آب بهینه را در آبیاری قطره‌ای-نواری در کشت گوجه‌فرنگی بررسی کردند و نشان دادند که آبیاری بهینه با عملکرد، بهره‌وری آب، هزینه تولید، میزان علف‌های هرز و بیماری‌های مزرعه رابطه معنی‌داری دارد. افزایش بهره‌وری آب تنها با توسعه و بهبود ابعاد فنی سامانه‌های آبیاری تحت فشار امکان‌پذیر نیست بلکه توجه به ابعاد اجتماعی آنها هم مهم است. از این رو برنامه‌های بهینه‌سازی استفاده از روش‌های آبیاری تحت فشار باید بر نگرش، رفتار و کنترل‌کننده‌های رفتاری بهره‌برداران متمرکز گردد. قدمی و همکاران (Ghadami *et al.*, 2020) متوسط حجم آب کاربردی در چند مزرعه گوجه‌فرنگی در استان همدان را که به روش قطره‌ای نواری آبیاری می‌شدند ۱۰۲۵۵ مترمکعب بر هکتار و بهره‌وری آب آبیاری آنها را ۷/۲ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش داده‌اند. این پژوهشگران همچنین بازده اقتصادی آبیاری قطره‌ای نواری را در مزارع گوجه‌فرنگی توجیه‌پذیر و میانگین نسبت سود به هزینه را ۷/۸ محاسبه کردند.

عملکرد آن را ۶۸/۹ تن بر هکتار گزارش کرده‌اند. این محققان نشان دادند که با تامین ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز خالص آبی گوجه‌فرنگی امکان تولید گوجه‌فرنگی با عملکرد و بهره‌وری آب مناسب وجود دارد.

ساعی (Saei, 2011) در مطالعات خود در جیرفت نشان داد در صورت تامین ۱۰۰ درصد نیاز خالص آبی گوجه‌فرنگی با آبیاری قطره‌ای، این روش در مقایسه با آبیاری سطحی دارای توجیه اقتصادی است. شاهرخ‌نیا و رحیمی (Shahrokhnia & Rahimi, 2017) با بررسی اقتصادی کم‌آبیاری ارقام گوجه‌فرنگی در کشت نشایی در استان فارس نشان دادند که با افزایش میزان آب آبیاری، عملکرد افزایش و کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد. حجم آب آبیاری مورد استفاده در تیمارهای مختلف حدود ۳۹۰۰ تا ۷۸۰۰ مترمکعب بر هکتار بوده است. بررسی‌های اقتصادی این محققان نشان می‌دهد نسبت درآمد به هزینه بین ۰/۶۸ تا ۰/۷۸ متغیر و کشت گوجه‌فرنگی اقتصادی نیست، قیمت آب تاثیر زیادی بر نسبت درآمد به هزینه ندارد ولی با افزایش قیمت فروش، تولید محصول می‌تواند اقتصادی شود. در حالی که در برخی پژوهش‌های اقتصادی، مزیت نسبی و توسعه کشت گوجه‌فرنگی در استان فارس تایید شده است (Najafi Alamdarloo *et al.*, 2008). خزایی و همکاران (Khazaei *et al.*, 2016) بهره‌وری کل عوامل تولید گوجه‌فرنگی در سال‌های ۱۳۷۹-۸۶ را در استان‌های آذربایجان شرقی، بوشهر، کرمان، خوزستان و فارس بررسی کردند و نشان دادند که بهره‌وری کل عوامل تولید گوجه‌فرنگی در استان‌های بوشهر و کرمان سیر صعودی و در سایر استان‌های مورد مطالعه سیر نزولی دارد.

بهره‌وری آب گوجه‌فرنگی در کشور تاکنون در منابع گزارش نشده است. تعیین این حجم آب کاربردی یکی از هدف‌های این مقاله است. از طرفی، شاخص‌های مدیریت مصرف آب در تولید محصولات زراعی و باغی مختلف در کشور، از فراسنچ‌ها و شاخص‌های کلیدی در برنامه‌ریزی‌های کلان تأمین، تخصیص و مصرف اصولی از آب در بخش کشاورزی است. توسعه سامانه‌های نوین آبیاری نیز یکی از برنامه‌های اصلی بخش کشاورزی در چند دهه گذشته است که ارزیابی نقش این سامانه‌ها در افزایش شاخص‌های مدیریت مصرف آب آبیاری می‌تواند نقش مهمی در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های آینده کشور داشته باشد. این تحقیق با هدف تعیین شاخص‌های مدیریت مصرف آب (حجم آب کاربردی، راندمان کاربرد آب آبیاری و بهره‌وری آب) در تولید گوجه‌فرنگی در کشور و ارزیابی تاثیر سامانه‌های نوین آبیاری بر این شاخص‌ها اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت گسترده در سطح ملی و در بیش از ۷۵ درصد قطب‌های تولید گوجه‌فرنگی در کشور اجرا شد. براساس آمارنامه سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ سطح زیرکشت و میزان تولید گوجه‌فرنگی در کشور به ترتیب ۱۲۷۹۸۵ هکتار و ۵/۶۸ میلیون تن است. در جدول ۱ مناطق عمده تولید این محصول، سطح زیرکشت، میانگین عملکرد و کل تولید گوجه‌فرنگی در کشور ارائه شده است (Ahmadi et al., 2019). استان فارس (۱۳/۳ درصد)، جنوب کرمان (۱۰/۵ درصد)، هرمزگان (۱۰ درصد)، بوشهر (۹/۷ درصد)، خراسان رضوی (۹/۴ درصد)، خوزستان (۷/۴ درصد)، قزوین (۵/۶ درصد)، زنجان (۴/۲ درصد)،

در خصوص مقایسه روش‌های مختلف آبیاری گوجه‌فرنگی و آنالیزهای اقتصادی، برخی منابع خارجی هم در دسترس هستند. شریواستاوا و همکاران (Shrivastava et al., 1994) آبیاری قطره‌ای را با آبیاری جویچه‌ای در گوجه‌فرنگی مقایسه کردند و نشان دادند که روش آبیاری قطره‌ای، نسبت به آبیاری جویچه‌ای، برای به دست آوردن عملکردی مساوی، (۵۱ تن بر هکتار)، ۴۴ درصد آب کمتر مصرف می‌شود. هانسن و می (Hanson & May, 2004) عملکرد گوجه‌فرنگی در روش‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی در خاک‌های با بافت سنگین و شور در کالیفرنیا را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که میزان عملکرد در روش آبیاری قطره‌ای ۱۲ تا ۲۲ تن بر هکتار بیشتر است تا در روش آبیاری بارانی. تفاوت درآمد این دو روش بین ۸۰۰ تا ۱۵۰۰ دلار در هکتار برآورد شده است. بیسواس و همکاران (Biswas et al., 2015) اثر متقابل آبیاری قطره‌ای و مالچ را بر عملکرد، بهره‌وری آب و بازده اقتصادی گوجه‌فرنگی بررسی کردند و نقش برجسته آبیاری قطره‌ای با مالچ را در افزایش تولید و کاهش مصرف آب در کشت گوجه‌فرنگی نشان دادند. اواید و همکاران (Ewaid et al., 2019) با برآورد آب مورد نیاز چند گیاه شامل گندم، جو، ذرت و گوجه‌فرنگی از طریق مدل کراپ وات و رابطه فائو پنمن-مانتیت برای جنوب کشور عراق، نیاز خالص گوجه‌فرنگی را ۱۱۸۰ میلی‌متر گزارش کردند.

در مجموع، براساس بررسی‌های محققان در داخل و خارج از کشور، حجم آب کاربردی و بهره‌وری آب گوجه‌فرنگی در مطالعات مختلف متغیر و تابع شرایط زمانی و مکانی تحقیق است. مطالعه جامع و همزمان برای تعیین حجم آب کاربردی (حجم آب داده شده به مزرعه توسط بهره‌بردار) و

جلوگیری از سرما) و در سایر مناطق با استفاده از مالچ پلاستیکی برای کاهش تبخیر مرسوم است. در انتخاب مناطق و مزارع مورد مطالعه سعی شد که همه این شرایط لحاظ شود.

علاوه بر آن، در هر یک از مناطق مورد مطالعه، مزارع طوری انتخاب شوند که بافت‌های مختلف خاک، ارقام مختلف گوجه‌فرنگی، روش‌های آبیاری و کاشت (بذری و نشایی)، شوری‌های آب و خاک متنوع در میان مزارع انتخابی و بهره‌برداران پیشرو و معمولی وجود داشته باشد.

گلستان (۳/۸ درصد) و همدان (۱/۴ درصد) بیشترین سطح زیرکشت و تولید گوجه‌فرنگی را در کشور داشته‌اند. این استان‌ها بیش از ۷۵ درصد سطح زیرکشت گوجه‌فرنگی را در کشور شامل می‌شوند. تعداد مزارع مورد مطالعه در هر استان، متناسب با سطح زیرکشت گوجه‌فرنگی در آن استان انتخاب شد. علاوه بر تفاوت در اقلیم و بافت خاک در مناطق مختلف، زمان کاشت و مدیریت زراعی نیز در منطقه تولید متفاوت است. برای مثال، در برخی مناطق کشت گوجه‌فرنگی پاییزه و در برخی مناطق بهاره است. در برخی مناطق روش کشت تونلی (برای

جدول ۱- سطح زیرکشت، تولید و میانگین عملکرد در قطب‌های تولید گوجه‌فرنگی در کشور*

Table 1. Cultivated area, production and average yield in tomato production hubs in Iran*

کل تولید Production (ton)	میانگین عملکرد Yield (kg/ha)	سطح زیرکشت Cultivated area (ha)	استان Province
۹۵۱۳۶۹	۵۵۹۵۰	۱۷۰۰۴	فارس
۴۶۱۵۷۶	۳۴۴۹۵	۱۳۳۸۱	جنوب کرمان
۴۹۷۸۶۲	۳۸۵۴۲	۱۲۹۱۷	هرمزگان
۶۵۷۴۷۳	۵۲۸۲۴	۱۲۴۴۶	بوشهر
۵۱۸۶۷۱	۴۳۰۰۰	۱۲۰۶۲	خراسان رضوی
۳۶۴۴۴۴	۳۸۷۱۴	۹۴۱۴	خوزستان
۳۸۸۶۲۶	۵۴۶۹۸	۷۱۰۵	قزوین
۲۸۸۱۲۵	۵۱۰۰۰	۵۶۵۰	کرمانشاه
۲۷۴۲۳۳	۵۱۴۷۵	۵۳۲۸	زنجان
۲۱۲۳۸۳	۴۳۹۰۹	۴۸۳۷	گلستان
۷۴۴۵۵	۴۲۵۸۷	۱۷۴۸	همدان
۲۹۰۶۵	۳۱۷۰۰	۹۱۷	سمنان
۵۶۶۷۰۱۱	۴۴۲۷۹	۱۲۷۹۸۵	جمع کل/میانگین

* (Ahmadi et al. 2019)

طوری انتخاب شدند که اغلب شرایط از جمله بافت خاک و مدیریت‌های مختلف، شوری آب و خاک مختلف، روش‌های آبیاری متنوع و غیره را پوشش دهند. شاخص‌های موردنظر از جمله آب کاربردی،

در جدول ۲، شهرستان‌های مورد مطالعه در هر استان و تعداد مزارع انتخابی هر استان ارائه شده- است. مزارع مورد مطالعه با هماهنگی مراکز خدمات و مدیریت‌های جهاد کشاورزی مناطق مورد مطالعه

بدون دخالت در برنامه آبیاری و تحت مدیریت کشاورزان اندازه‌گیری شدند. کنتور حجمی و یا دستگاه اولتراسونیک (مدل UFL01-P) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری حجم آب حجم آب داده شده توسط کشاورزان با توجه به نوع منبع آبی و روش آبیاری، با فلوم WSC، کاربرد در طول یک فصل زراعی کامل پایش شد.

جدول ۲- شهرستان‌های مورد مطالعه و تعداد مزارع انتخابی در استان‌های مختلف

Table 2. The cities and the number of selected farms in different provinces

استان	شهرستان‌های مورد مطالعه	تعداد مزارع انتخابی
فارس	کازرون، مرودشت و سپیدان	۲۳
چ. کرمان	رودبار جنوب، کهنوج و عنبرآباد	۲۱
هرمزگان	میناب و جاسک	۱۲
بوشهر	آبدان، بردخون، کاکي، برازجان	۲۴
خ. رضوی	مشهد، چناران و تربت‌جام	۳۱
قزوین	قزوین و تاکستان	۱۶
خوزستان	دزفول، اندیمشک، شوش و گتوند	۱۶
گلستان	رامیان	۸
زنجان	زنجان و ابهر	۱۷
همدان	اسدآباد و نهاوند	۸
سمنان	شاهرود، میامی و بسطام	۹

دیپلم و ۲۱ درصد دارای تحصیلات دانشگاهی بودند. سطح زیرکشت مزارع کمتر از یک هکتار تا حدود ۴۰ هکتار متغیر و متوسط آنها ۴/۸ هکتار است. ولی سطح زیرکشت اغلب مزارع مورد مطالعه (حدود ۴۵ درصد) بین ۲ تا ۵ هکتار است. شوری آب آبیاری در مزارع مورد مطالعه به‌طور عمده کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر ارزیابی شده که کمتر از حد آستانه تحمل به شوری گوجه‌فرنگی است (Maas & Haffman, 1997). شوری آب آبیاری در برخی از مزارع (حدود ۱۲ درصد) نیز بیشتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر محاسبه شده است. شوری خاک در ۷۵ درصد از مزارع مورد مطالعه کمتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر و در سایر مزارع بیشتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر است. در جدول ۳، میانگین و انحراف معیار برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده در

روش آبیاری اغلب مزارع گوجه‌فرنگی در کشور قطره‌ای نواری (تیپ) است. در مزارع مورد مطالعه، آبیاری ۸۳/۸ درصد به‌روش قطره‌ای نواری (تیپ) و سایر مزارع به روش جویچه‌ای است. در برخی مناطق مورد مطالعه از جمله بوشهر، هرمزگان، زنجان، قزوین، همدان و جنوب کرمان، مزارع آبیاری سطحی گوجه‌فرنگی برای اندازه‌گیری آب کاربردی یافت نشد. از این‌رو، در این مناطق روش آبیاری همه مزارع منتخب تیپ بود. مزارع مورد مطالعه طوری انتخاب شدند که ارقام مختلف گوجه‌فرنگی (داخلی و خارجی) را پوشش دهند. از نظر سطح سواد بهره‌برداران نیز مزارع مورد مطالعه دارای بهره‌بردارانی با سطوح مختلف سواد بودند. حدود ۱۸ درصد از بهره‌برداران مورد مطالعه دارای سطح تحصیلات ابتدایی، ۲۰ درصد راهنمایی، ۴۱ درصد

مزارع مورد مطالعه آورده شده است. شوری آب آبیاری و شوری عصاره اشباع خاک در مزارع استان هرمزگان و بوشهر بیشتر از سایر مزارع بود. بارش موثر در مزارع کشت پاییزه (جنوب کرمان، هرمزگان، بوشهر و خوزستان) بیشتر بود تا در مزارع کشت بهاره.

جدول ۳- محدوده تغییرات برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده در مزارع مورد مطالعه
Table 3. Range of changes in some parameters measured in the tomato farms

استان Province	شوری آب آبیاری Irrig. water qual. (dS/m)	شوری خاک Soil EC (dS/m)	سطح مزارع Farm area (ha)	طول دوره رشد Crop growth period (days)	متوسط عمق آب آبیاری Irrig. depth (mm)	کل بارش در دوره رشد Rainfall (mm)	بارش مؤثر در دوره رشد Effective Rainfall (mm)
فارس Fars	0.75±0.14	1.52±0.49	2.50±1.71	138±15	21.0±10.0	68.2±53.4	39.9±35.6
چ. کرمان J. Kerman	1.42±0.81	1.68±0.69	2.70±2.54	156±14	14.0±5.5	222.0±0.0	166.5±0.0
هرمزگان Hormozgan	2.47±1.57	5.37±2.46	5.50±3.50	130±32	8.9±6.4	425.5±3.6	140.4±17.2
بوشهر Bushehr	3.18±0.78	5.77±1.73	3.02±2.13	162±21	6.2±1.7	358.1±21.6	268.6±16.2
خ. رضوی Kh. Razavi	1.62±1.42	1.08±0.95	8.52±7.99	130±16	50.7±18.2	40.6±28.8	30.4±21.6
قزوین Qazvin	1.47±0.28	1.39±0.91	7.92±10.17	159±13	23.5±25.6	9.5±14.9	7.6±11.9
خوزستان Khouzestan	1.28±0.83	2.08±1.22	3.50±4.95	153±17	16.6±10.5	622.0±0.0	214.0±49.0
گلستان Golestan	1.59±0.59	1.05±0.42	1.09±0.46	133±19	36.0±16.9	211.0±0.0	141.0±0.0
زنجان Zanjan	1.02±0.64	1.58±1.16	4.18±3.08	152±27	20.8±10.6	24.5±17.3	18.4±12.9
همدان Hamedan	0.67±0.16	0.74±0.19	1.85±1.00	149±22	31.4±20.3	110.5±122.0	55.3±61.0
سمنان Semnan	0.92±0.16	1.52±0.29	3.22±1.54	148±22	21.0±13.4	18.6±1.7	8.4±1.2
کل Total	1.47±2.10	2.34±2.04	4.45±5.49	146±22	23.5±19.6	186.2±193.6	102.7±96.3

بارندگی مؤثر به روش SCS برآورد شد (Allen et al., 1972). نیاز آبی گیاه مرجع به روش فائو پن-من - مانیت و با استفاده از داده‌های ۱۰ سال اخیر برای منطقه مورد نظر از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی برآورد گردید. نیاز آبی گیاه مرجع با اعمال ضریب گیاهی در مراحل رشد گیاه (Allen et al., 1998) به نیاز آبی خالص گیاه تبدیل شد. عملکرد محصول در پایان فصل زراعی نیز اندازه‌گیری و بهره‌وری آب (آبیاری و بارش موثر) در هر یک از مناطق و استان‌های مورد مطالعه برآورد و

$$WP = \frac{CY}{CW} \quad (2)$$

که در آن،

WP = بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم بر مترمکعب آب)؛ CY = عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)؛ و CW = مجموع حجم آب داده شده و بارندگی مؤثر در تولید گوجه‌فرنگی (مترمکعب بر هکتار).

راندمان کاربرد آب در مزرعه با استفاده از نسبت نیاز خالص آبیاری به حجم آب داده شده، برآورد شد (FAO, 2020; Zhou et al., 2021). این روش متوسطی از شاخص راندمان کاربرد آب را در کل فصل زراعی ارائه می‌دهد. برای بررسی تغییرات شاخص‌های مورد مطالعه در مناطق مختلف از تحلیل واریانس استفاده شد.

نتایج و بحث

کفایت کمیت‌های اندازه‌گیری شده (حجم آب آبیاری و عملکرد گوجه‌فرنگی) برای کل داده‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. شاخص‌های آماری کمیت‌های اندازه‌گیری شده شامل میانگین، انحراف معیار و تعداد داده‌های لازم محاسبه و با تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده برای حجم آب مصرفی و عملکرد گوجه‌فرنگی مقایسه شد. تعداد اندازه‌گیری‌های حجم آب مصرفی و عملکرد در مزارع گوجه‌فرنگی برابر ۱۷۶، و حدود سه برابر تعداد اندازه‌گیری‌های لازم بود (جدول ۴). بنابراین کفایت داده‌ها برای تحلیل آماری این کمیت‌ها قابل اعتماد و محرز است. کفایت داده‌ها در مقیاس استانی نیز مورد تایید قرار گرفت که برای جلوگیری از طولانی شدن مقاله، از ارائه جزئیات کفایت استانی داده‌ها خودداری شده است.

مقایسه شد. با توجه به نوسان عملکرد در سال‌های زراعی مختلف، علاوه بر عملکرد در سال تحقیق (سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷)، عملکرد مزارع مورد مطالعه در سال زراعی قبل از سال تحقیق (سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶) نیز جمع‌آوری و متوسط عملکرد دو سال در تحلیل‌ها استفاده شد. برای تعیین متوسط حجم آب کاربردی و عملکرد محصول در استان‌های مورد مطالعه، از میانگین وزنی (نسبت به سطح زیرکشت) و برای محاسبه متوسط بهره‌وری آب از میانگین وزنی (نسبت به حجم آب کاربردی) استفاده شد (Nazari, 2018). برای مقایسه میانگین و تشخیص گروه‌های همگن، از روش ۹۵ درصد LSD استفاده گردید. گروه‌های همگن در یک خوشه قرار داده شدند. کفایت نمونه‌های اندازه‌گیری شده (حجم آب آبیاری و عملکرد محصول) از رابطه زیر بررسی شد (Sarmad et al., 2001).

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2}{(\bar{X} - \mu)^2} \quad (1)$$

که در آن،

n = تعداد اندازه‌گیری‌های لازم برای تحلیل واریانس شاخص‌های مورد مطالعه؛ Z = سطح اعتماد (برای سطح اعتماد ۹۵ درصد، مقدار آن ۱/۹۶ در نظر گرفته شد)؛ σ^2 = واریانس جمعیت؛ μ = میانگین جامعه؛ و $\bar{X}$ = میانگین اندازه‌گیری‌ها.

از رابطه ۱ برای بررسی کفایت نمونه‌ها در دو سطح کشوری (کل نمونه‌ها) و استانی استفاده شد. تفاوت بین میانگین در جامعه واقعی و میانگین نمونه‌ها ($\bar{X} - \mu$) در مقیاس کشوری و استانی به ترتیب ۱۰ و ۲۰ درصد در نظر گرفته شد. شاخص بهره‌وری آب از رابطه زیر تعیین شد (Molden et al., 1998):

جدول ۴- شاخص‌های آماری کفایت اندازه‌گیری‌ها در مزارع تولید گوجه‌فرنگی

Table 4. Statistical indicators of adequacy of measurements in tomato production farms

شاخص آماری	حجم آب کاربردی*	عملکرد گوجه‌فرنگی*
Statistical index	Applied water	Yield
میانگین	۸۰۹۴	۶۱/۴
انحراف معیار	۳۴۰۸	۲۵
تعداد اندازه‌گیری لازم	۶۸	۶۲
تعداد اندازه‌گیری انجام شده	۱۷۶	۱۷۶

* حجم آب کاربردی بر حسب مترمکعب بر هکتار و عملکرد گوجه‌فرنگی بر حسب تن بر هکتار است.

برای بررسی تغییرات میانگین حجم آب کاربردی، عملکرد و بهره‌وری آب (آب آبیاری و بارش موثر) در تولید گوجه‌فرنگی در استان‌های مورد مطالعه، از تحلیل واریانس استفاده شد (جدول ۵). تفاوت میانگین حجم آب کاربردی، عملکرد و بهره‌وری آب در استان‌های منتخب در سطح احتمال کمتر از یک درصد معنی‌دار است.

جدول ۵- تحلیل واریانس حجم آب کاربردی، عملکرد و بهره‌وری آب در تولید گوجه‌فرنگی در استان‌های منتخب

Table 5. Analysis of variance of applied water, yield and water productivity in tomato production in selected provinces

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P
Source of variations	Sum of squares	Degrees of freedom	Average of squares	F value	P value
تحلیل واریانس حجم آب کاربردی					
بین استان‌ها	$1/41 \times 10^9$	۱۰	$1/41 \times 10^8$	۳۷/۱	کمتر از یک درصد
درون استان‌ها	$6/26 \times 10^8$	۱۶۵	$3/79 \times 10^6$		
کل کشور	$2/03 \times 10^9$	۱۷۵			
تحلیل واریانس عملکرد					
بین استان‌ها	۵۷۴۰۲	۱۰	۵۷۴۰	۱۹/۲	کمتر از یک درصد
درون استان‌ها	۴۹۴۴۶	۱۶۵	۳۰۰		
کل کشور	۱۰۶۸۴۸	۱۷۵			
تحلیل واریانس بهره‌وری آب					
بین استان‌ها	۴۵۳	۱۰	۴۳	۷/۴	کمتر از یک درصد
درون استان‌ها	۹۷۶	۱۵۹	۶		
کل کشور	۱۴۲۹	۱۶۹			

میانگین حجم آب مصرفی گوجه‌فرنگی در استان‌های منتخب در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شد (جدول ۶). بر مبنای میانگین حجم آب مصرفی، می‌توان استان‌های کشور را به چهار خوشه اصلی تقسیم کرد. در خوشه اول استان‌های گلستان و بوشهر قرار دارند که حجم آب کاربردی در آنها کمترین است. در خوشه دوم جنوب کرمان، استان‌های خوزستان و هرمزگان، در خوشه سوم

بیشتری از طریق آبیاری به مزارع داده شده‌است. بیشترین حجم آب کاربردی در مزارع مورد مطالعه در استان‌های خراسان رضوی و قزوین، با بیش از ۱۱۰۰۰ مترمکعب، اندازه‌گیری شد که با اندازه‌گیری‌های میدانی سایر مطالعات همخوانی دارد (Baghani, 2007). در مجموع، حجم آب داده شده به مزارع گوجه‌فرنگی کمتر از مقادیر مطرح شده در پیش‌بینی‌های کارشناسی است. استفاده از کشت تونلی (مالچ پلاستیکی) و توسعه آبیاری قطره‌ای نواری در مزارع گوجه‌فرنگی از دلایل اصلی کاهش مصرف آب است و با نتایج پژوهش‌های قبلی هم سازگاری دارد (Bogle et al., 1989; Neerai et al., 2000, Jolaini, 2011, Biswas et al., 2015).

استان‌های سمنان و زنجان و در خوشه چهارم استان‌های فارس، همدان، قزوین و خراسان رضوی هستند با بیشترین حجم آب کاربردی (جدول ۶). در گلستان به دلیل بارندگی بیشتر در فصل زراعی گوجه‌فرنگی و در بوشهر به سبب کشت پاییزه و استفاده از بارش‌های پاییزه به عنوان جبران بخشی از نیاز آبی، آب کمتری از طریق آبیاری به مزارع داده شده‌است. سهم بارش موثر در تامین نیاز کل آبی گوجه‌فرنگی در استان‌های گلستان و بوشهر در سال تحقیق به ترتیب ۲۸ و ۳۷ درصد بوده است. به‌طور مشابه، این استدلال برای استان‌های خوشه دوم (جنوب کرمان، خوزستان و هرمزگان) هم صادق است. سایر استان‌ها به دلیل کشت بهاره و کمبود یا نبود بارش موثر در دوره رشد گوجه‌فرنگی، آب

جدول ۶- میانگین حجم آب کاربردی گوجه‌فرنگی در استان‌های منتخب

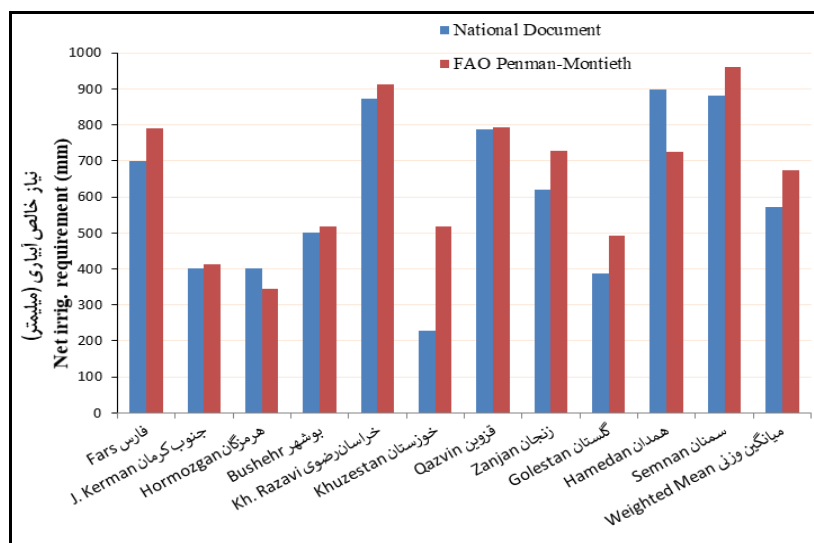
Table 6. Average of tomato applied water in selected provinces

رتبه مقایسه‌ای Comparative rank	حجم آب کاربردی (m ³ /ha) Applied water	استان Provinces	خوشه Cluster
a	۳۷۵۲	گلستان	۱
ab	۴۶۴۸	بوشهر	
abc	۵۱۰۹	جنوب کرمان	۲
bc	۵۵۴۶	خوزستان	
c	۶۱۵۷	هرمزگان	
d	۸۳۵۷	سمنان	۳
de	۸۸۷۷	زنجان	
ef	۱۰۰۱۸	فارس	۴
efg	۱۰۲۵۵	همدان	
fg	۱۱۱۲۹	قزوین	
g	۱۱۷۱۴	خراسان رضوی	
	۷۷۲۹	استان‌های منتخب (میانگین وزنی)	

در شکل ۱ نیاز خالص آبیاری حاصل از داده‌های هواشناسی ۱۰ سال اخیر به روش فائو پن-من-مانتیت و سند ملی آب (NETWAT)، در استان‌های مورد مطالعه مقایسه شده است. نتایج دو روش در اغلب استان‌ها مشابه‌اند یا اختلاف اندک دارند. بیشترین تفاوت (حدود دو برابر) در استان خوزستان مشاهده می‌شود. متوسط نیاز آبی خالص سند ملی و محاسباتی به روش فائو پنمن-مانتیت برای شمال استان خوزستان به‌ترتیب ۲۲۷ و ۵۱۷ میلی‌متر است. این مقدار را فرشی و همکاران (Farshi et al., 1997) نیز ۵۵۶ میلی‌متر گزارش داده‌اند. یکی از دلایل اصلی تفاوت نیاز آبی در سند ملی و در داده‌های محاسباتی با روش فائو پنمن-مانتیت، تاریخ کاشت، تغییرات اقلیمی، بارندگی موثر و افزایش دمای هوا در چند دهه اخیر است. افزایش دما در سال‌های گذشته علاوه بر تاثیر بر نیاز آبی گیاه موجب تغییر مراحل فنولوژیکی گیاهان (به‌ویژه طول دوره رشد) نیز شده است. برای مثال، تاریخ کاشت و برداشت محصول به‌ویژه برای محصولات پاییزه که بارندگی هم در فصل پاییز به‌طور معمول بیشتر است، بر نیاز آبی گیاه خیلی موثر است. در برخی محصولات مثل گوجه‌فرنگی دامنه تاریخ‌های کاشت گیاه در مناطق گرم مانند بوشهر و میناب خیلی متنوع و حدود سه ماه است که یکی از عوامل اصلی تغییر نیاز آبی گیاه در مزارع این مناطق است. تاریخ‌های کاشت فعلی برخی مناطق مثل بوشهر با تاریخ‌های کاشت موجود در سند ملی هم خیلی متفاوت است. برای مثال، تاریخ کاشت پیشنهادی سند ملی آب برای گوجه‌فرنگی در بوشهر اسفند ماه و تاریخ برداشت تیر ماه ذکر شده است. در حالی که امروزه گوجه‌فرنگی در این استان

از اواسط مهر ماه تا اواخر آذر ماه کشت و تا اردیبهشت هم برداشت می‌شود. بدیهی است که بارندگی موثر و تبخیر و تعرق گیاه در این دو بازه زمانی نیز متفاوت خواهد بود. نمونه دیگر این تغییرات، تاریخ برداشت گوجه‌فرنگی در شمال استان خوزستان است. در سند ملی تاریخ برداشت گوجه‌فرنگی در شمال استان خوزستان دهه دوم فروردین ماه قید شده است. در حالی که در مزارع مورد مطالعه در شمال استان خوزستان، تاریخ برداشت گوجه‌فرنگی در سال تحقیق تا اواسط تیر ماه ادامه داشته است. به‌طور مشابه، در استان همدان (اسدآباد) تاریخ کاشت گوجه‌فرنگی در سند ملی آب اوایل اردیبهشت ماه گفته شده است اما در مزارع مورد مطالعه این استان (اسدآباد) تاریخ کاشت گوجه‌فرنگی نیمه دوم خرداد ماه ۱۳۹۷ است. همان‌طور که گفته شد، این تفاوت‌ها در تاریخ کاشت، و به تبع آن تاریخ برداشت محصول، موجب تغییر در مقادیر تبخیر و تعرق و همچنین نیاز آبی گیاه می‌شود و یکی از دلایل اصلی اختلاف در مقادیر سند ملی و داده‌های محاسباتی با روش فائو پنمن-مانتیت است. نکته دیگر این است که مقادیر نیاز آبی سند ملی آب بدون لحاظ کردن خاک‌آب است. تغییر ارقام گوجه‌فرنگی و کوتاه شدن دوره رشد ارقام جدید نیز یکی از عوامل موثر بر نیاز آبی گیاه و تفاوت در مقادیر نیاز آبی سند ملی و داده‌های محاسباتی است. در مجموع، به‌روز رسانی مقادیر نیاز آبی سند ملی ضرورت دارد.

اختلاف میانگین وزنی مقادیر نیاز خالص آبی همه استان‌های مورد مطالعه در سند ملی و محاسباتی با داده‌های ده سال اخیر به‌ترتیب ۵۷۲ و ۶۷۴ میلی‌متر است.

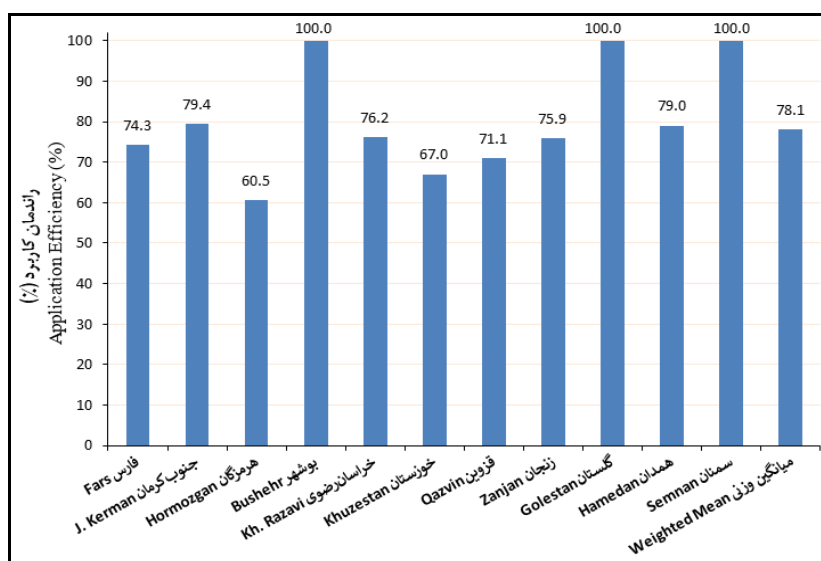


شکل ۱- مقایسه نیاز خالص آبیاری برآورد شده با روش فائو پنمن-مانتیت و سند ملی آب

Fig. 1. Comparison of net irrigation water requirement estimated by the Penman-Monteith method and the national water document

میانگین راندمان کاربرد در روش‌های سطحی، بارانی و قطره‌ای به ترتیب ۵۳/۶، ۶۲/۱ و ۷۱/۱ درصد و میانگین کشوری این شاخص ۵۸/۸ درصد گزارش شده است (Abbasi et al., 2020). زیاد بودن میانگین راندمان کاربرد در مناطق مورد مطالعه به دلیل توسعه آبیاری قطره‌ای در مزارع گوجه‌فرنگی و کم‌آبیاری در برخی مناطق است.

متوسط شاخص راندمان کاربرد آب آبیاری برای مناطق مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. مقادیر این شاخص برای سه استان بوشهر، گلستان و سمنان به دلیل کم‌آبیاری ۱۰۰ درصد و در سایر مناطق بین ۶۰ تا ۸۰ درصد متغیر است؛ میانگین وزنی همه مناطق مورد مطالعه ۷۸/۱ درصد و بیش از میانگین راندمان کاربرد آب در کشور است.



شکل ۲- مقایسه راندمان کاربرد آب آبیاری در مزارع گوجه‌فرنگی استان‌های مورد مطالعه

Figure 2. Comparison of tomato irrigation efficiency in the studied provinces

استان‌های همدان، بوشهر، هرمزگان و قزوین، در خوشه سوم استان‌های خوزستان، فارس، گلستان و زنجان، در خوشه چهارم استان سمنان با بیشترین بهره‌وری آب گوجه‌فرنگی قرار دارند. میانگین وزنی بهره‌وری آب گوجه‌فرنگی در استان‌های مورد مطالعه ۷/۳۹ کیلوگرم بر مترمکعب آب است (جدول ۷).

میانگین بهره‌وری آب در استان‌های منتخب در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه گردید (جدول ۷). بر مبنای بهره‌وری آب گوجه‌فرنگی، می‌توان استان‌های کشور را به چند خوشه اصلی تقسیم کرد. در خوشه اول جنوب کرمان و استان خراسان رضوی هستند با کمترین بهره‌وری، در خوشه دوم

جدول ۷- میانگین بهره‌وری آب در تولید گوجه‌فرنگی در استان‌های منتخب

Table 7. Average of tomato water productivity in selected provinces

رتبه مقایسه‌ای Comparative rank	بهره‌وری آب Water (kg/ha) productivity	استان Provinces	خوشه Cluster
a	۴/۳۳	جنوب کرمان	۱
a	۵/۳۳	خراسان رضوی	
ab	۶/۰۶	همدان	۲
bc	۶/۸۴	بوشهر	
bcd	۷/۴۴	هرمزگان	
bcd	۷/۸۹	قزوین	
cd	۸/۲۷	خوزستان	۳
d	۸/۵۹	فارس	
d	۸/۶۹	گلستان	
d	۸/۸۹	زنجان	
e	۹/۵۲	سمنان	۴
	۷/۳۹	میانگین وزنی	

روش آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای برای ارزیابی وجود داشت. در سایر استان‌های مورد مطالعه، روش آبیاری جویچه‌ای در منطقه وجود نداشت، یعنی روش آبیاری همه مزارع مورد مطالعه فقط آبیاری قطره‌ای بود. در مجموع، همه شاخص‌های مورد مطالعه در مزارع آبیاری قطره‌ای بهتر از شاخص‌های مزارع آبیاری جویچه‌ای هستند. تفاوت حجم آب کاربردی در دو روش آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای (در

تاثیر روش آبیاری بر شاخص‌های مورد مطالعه گوجه‌فرنگی (حجم آب کاربردی، عملکرد و بهره‌وری آب) در استان‌های مختلف در جدول ۸ ارائه و مقایسه شده است. همان‌طور که پیش از این گفته شد، روش آبیاری مزارع مورد مطالعه حدود ۸۴ درصد قطره‌ای (تیپ) و ۱۶ درصد جویچه‌ای است. در چهار استان (فارس، خراسان رضوی، خوزستان و سمنان) از ۱۱ استان مورد مطالعه، مزارع هر دو

درصد کمتر، ۱۹ درصد بیشتر و ۷ درصد بیشتر گزارش داده‌اند.

میانگین وزنی عملکرد گوجه‌فرنگی برای همه مزارع مورد مطالعه در دو روش آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای به ترتیب ۶۲/۱ و ۶۶/۱ تن بر هکتار است (جدول ۸). کاهش عملکرد گوجه‌فرنگی در مزارع با آبیاری قطره‌ای در مقایسه با مزارع با آبیاری جویچه‌ای بیشتر به دلیل کاهش عملکرد گوجه‌فرنگی در مناطق گرم (جنوب کرمان، بوشهر و هرمزگان) است که برخی از دلایل آن در بخش‌های پیشین گفته شد. چنانچه عملکرد محصول دو روش آبیاری فقط در استان‌هایی مقایسه شود که مزارع آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای در آنها همزمان ارزیابی شده‌است (استان‌های فارس، خراسان رضوی، خوزستان و سمنان)، متوسط عملکرد گوجه‌فرنگی در روش قطره‌ای و جویچه‌ای به ترتیب ۷۵/۸ و ۶۶/۱ تن در هکتار خواهد بود و این به معنی افزایش به میزان ۱۵ درصد در عملکرد گوجه‌فرنگی در مزارع مجهز به سامانه قطره‌ای نسبت به مزارع آبیاری جویچه‌ای است. افزایش عملکرد محصول در آبیاری قطره‌ای نسبت به روش‌های آبیاری سطحی در تحقیقات پژوهشگران داخلی و خارجی نیز گزارش شده است (Lin et al., 1983; Shrivastava et al., 1994; Baghani, 2007; Khorramian, 2013; Zamani et al., 2014; Ghadami et al., 2020). شاخص عملکرد در دو استان فارس و قزوین بیشتر از شاخص عملکرد در سایر استان‌های مورد مطالعه است. در مطالعه‌ای، مزیت نسبی تولید و صادرات محصول گوجه‌فرنگی بررسی و گزارش شده است که سیاست آزادسازی نرخ ارز تاثیر بسزایی در افزایش مزیت نسبی تولید و صادرات گوجه‌فرنگی داشته و توسعه کشت این محصول در

چهار استانی که هر دو روش آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای برای ارزیابی وجود دارد) از نظر آماری معنی‌دار است. در هر چهار استان، مزارع آبیاری قطره‌ای حجم آب کمتری نسبت به مزارع آبیاری جویچه‌ای دریافت کرده‌اند (جدول ۸). دامنه حجم آب کاربردی مزارع قطره‌ای از ۲۷۱۹ تا ۱۵۰۰ مترمکعب بر هکتار و متوسط وزنی آن ۷۵۳۰ مترمکعب بر هکتار است. حجم آب کاربردی مزارع جویچه‌ای از ۴۷۶۸ تا ۱۶۲۰۰ مترمکعب بر هکتار متغیر و میانگین آن ۹۳۹۷ مترمکعب بر هکتار است. در شرایط مشابه، مزارع گوجه‌فرنگی با آبیاری قطره‌ای حدود ۲۵ درصد نسبت به مزارع آبیاری جویچه‌ای آب کمتر دریافت کرده‌اند. کاهش مصرف آب در آبیاری قطره‌ای، در مقایسه با روش‌های سطحی، در پژوهش‌های متعدد داخلی و خارجی گزارش شده است (Lin et al., 1983; Jadhav et al., 1990; Shrivastava et al., 1994; Baghani, 2007; Khorramian, 2013; Abbasi et al., 2020) برای مثال، باغانی (Baghani, 2007) حجم آب کاربردی گوجه‌فرنگی را در مشهد در دو روش جویچه‌ای و قطره‌ای به ترتیب ۱۶۷۰۰ و ۱۰۱۱۳ مترمکعب بر هکتار و خرمیان (Khorramian, 2013) این دو را در شهرستان دزفول به ترتیب ۹۷۰۰ و ۶۲۰۰ مترمکعب بر هکتار گزارش کرده‌است. در مطالعه‌ای دیگر، عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2018) نقش شبکه‌های آبیاری مدرن را در ارتقای شاخص‌های مدیریت مصرف آب در تولید ذرت علوفه‌ای مثبت ارزیابی کرده‌اند. این محققان با ارزیابی شاخص‌های مدیریت مصرف آب در پایاب شبکه‌های آبیاری مدرن در مقایسه با شبکه‌های سنتی حجم آب کاربردی، بهره‌وری آب و راندمان کاربرد آب در مزارع ذرت علوفه‌ای را به ترتیب ۲۳

استان فارس توصیه شده است (Najafi Alamdarloo *et al.*, 2008). به‌ترتیب ۷/۵ و ۶/۸ کیلوگرم بر مترمکعب است (جدول ۸). افزایش بهره‌وری آب در روش‌های نوین آبیاری نسبت به روش‌های آبیاری سطحی در تحقیقات پیشین نیز گزارش شده است (Singh and Singh; 1978; Shrivastava *et al.*, 1994; Baghani, 2007; Saei, 2011; Khorramian, 2013; Zamani *et al.*, 2014; Ghadami *et al.*, 2020). بهره‌وری آب در روش‌های آبیاری در استان‌های منتخب نیز مانند دو شاخص دیگر دارای نوسان‌های قابل توجه است (جدول ۸). میانگین وزنی شاخص بهره‌وری آب در استان‌های مورد مطالعه نیز در دو روش آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای

جدول ۸- مقایسه شاخص‌های مورد مطالعه در روش‌های آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای در استان‌های منتخب
Table 8. Comparison of studied indices in drip and furrow irrigation methods in selected provinces

استان Provinces	حجم آب کاربردی Applied water (m ³ /ha)			عملکرد Yield (t/ha)			بهره‌وری آب Water productivity (kg/m ³)		میانگین Mean
	قطره‌ای Drip	جویچه‌ای Furrow	میانگین Mean	قطره‌ای Tape	جویچه‌ای Furrow	میانگین Mean	جویچه‌ای Furrow	قطره‌ای Tape	
فارس Fars	۱۰۷۵۶	۸۳۳۳	۱۰۰۱۸	۸۹/۲	۷۸/۴	۸۶/۱	۸/۷	۸/۵	۸/۶
ج. کرمان J. Kerman	۵۱۰۹	-	۵۱۰۹	۲۸/۶	-	۲۸/۶	-	۴/۳	۴/۳
هرمزگان Hormozgan	۶۱۵۷	-	۶۱۵۷	۵۲/۰	-	۵۲/۰	-	۷/۴	۷/۴
بوشهر Bushehr	۴۶۴۸	-	۴۶۴۸	۴۸/۹	-	۴۸/۹	-	۶/۸	۶/۸
خ. رضوی Kh. Razavi	۱۱۰۱۶	۱۲۹۸۵	۱۱۷۱۴	۶۷/۹	۵۶/۴	۶۴/۲	۴/۴	۶/۱	۵/۳
قزوین Qazvin	۴۶۰۵	۶۶۲۳	۵۵۴۶	۶۱/۰	۵۷/۲	۵۹/۴	۶/۵	۹/۹	۸/۳
خوزستان Khouzestan	۱۱۱۲۹	-	۱۱۱۲۹	۹۱/۴	-	۸۹/۶	-	۸/۲	۷/۹
گلستان Golestan	۸۸۷۷	-	۸۸۷۷	۷۱/۰	-	۷۱/۰	-	۹/۹	۸/۹
زنجان Zanjan	۳۷۵۲	-	۳۷۵۲	۴۲/۹	-	۴۳/۱	-	۸/۷	۸/۷
همدان Hamedan	۱۰۲۵۵	-	۱۰۲۵۵	۶۲/۲	-	۶۲/۲	-	۶/۱	۶/۱
سمنان Semnan	۷۷۷۳	۱۰۴۰۰	۸۳۵۷	۸۲/۶	۵۷/۵	۷۷/۰	۵/۸	۱۰/۶	۹/۵
میانگین (وزنی)	۷۵۳۰	۹۳۹۷	۷۷۲۹	۶۲/۱	۶۶/۱	۶۰/۶	۶/۸	۷/۵	۷/۳۹

نزدیک به ۶۰ درصد مزارع مورد مطالعه در پاییز و ۴۰ درصد در بهار کشت شده بودند. در جدول ۹ شاخص‌های مورد مطالعه در کشت بهاره و پاییزه گوجه‌فرنگی مقایسه شده‌اند. میانگین وزنی

مترمکعب) بیشتر است تا بهره‌وری آب آبیاری در مناطق باکشت بهاره (۸/۲ کیلوگرم بر مترمکعب). ولی، بهره‌وری آب (آب آبیاری و بارش موثر) در مناطق کشت بهاره گوجه‌فرنگی (۷/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) بیشتر از بهره‌وری آب آبیاری و بارش موثر مناطق کشت پاییزه (۶/۶ کیلوگرم بر مترمکعب) است که به معنی آن است بهره‌برداران از بارش‌های پاییزه به خوبی استفاده نکرده‌اند یا اینکه توزیع زمانی و شدت بارندگی‌ها برای استفاده موثر چندان مناسب نبوده است.

حجم آب کاربردی مزارع گوجه‌فرنگی در مناطق با کشت پاییزه (۵۳۵۶ مترمکعب بر هکتار) به دلیل استفاده از بارش‌های پاییزه کمتر از میانگین حجم آب کاربردی مزارع کشت بهاره (۹۸۳۱ مترمکعب بر هکتار) است. در مزارع کشت بهاره، نسبت به مزارع پاییزه، حدود ۴۶ درصد آب آبیاری بیشتری مصرف شده است. میانگین وزنی عملکرد گوجه‌فرنگی در مناطق با کشت بهاره و پاییزه به ترتیب ۷۴/۳ و ۴۶/۱ تن بر هکتار که به معنای افزایش حدود ۶۰ درصد عملکرد در مزارع کشت بهاره است. بهره‌وری آب آبیاری در مناطق با کشت پاییزه (۹/۳ کیلوگرم بر

جدول ۹- مقایسه شاخص‌های مورد مطالعه در کشت پاییزه و بهاره گوجه‌فرنگی

Table 9. Comparison of studied indices in autumn and spring tomato cultivation

نوع کشت Cultivation type	حجم آب کاربردی Applied water (m ³ /ha)	عملکرد Yield (t/ha)	بهره‌وری آب آبیاری Irrig. water productivity (kg/m ³)	بهره‌وری آب Water productivity (kg/m ³)
بهاره	۹۸۳۱	۷۴/۳	۸/۲	۷/۷
پاییزه	۵۳۵۶	۴۶/۱	۹/۳	۶/۶

موثر) از ۴/۳۳ تا ۹/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب و میانگین وزنی آن ۷/۱ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. میانگین مقادیر نیاز خالص آبیاری مزارع گوجه‌فرنگی در مناطق مورد مطالعه حاصل از داده‌های هواشناسی ۱۰ سال اخیر با روش فائو پنمن-مانتیث و سند ملی آب به ترتیب ۶۷۴ و ۵۷۲ میلی‌متر محاسبه شد.

متوسط شاخص راندمان کاربرد آب آبیاری در مزارع مناطق مورد مطالعه ۷۸/۱ درصد و بیش از میانگین راندمان کاربرد آب آبیاری در کشور به‌دست آمد. در مزارع گوجه‌فرنگی برخی مناطق از جمله بوشهر، گلستان و سمنان کم‌آبیاری اتفاق افتاده است.

نتیجه‌گیری

این تحقیق میدانی با هدف اثربخشی آبیاری قطره‌ای سطحی در ارتقای شاخص‌های مدیریت مصرف آب (حجم آب کاربردی و بهره‌وری آب) در قطب‌های تولید گوجه‌فرنگی در کشور اجرا شد. ارزیابی در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و تحت مدیریت زارعان در ۱۱ استان فارس، جنوب کرمان، هرمزگان، بوشهر، خراسان رضوی، خوزستان، قزوین، زنجان، گلستان، همدان و سمنان اجرا شد. دامنه تغییرات حجم آب کاربردی گوجه‌فرنگی در مناطق مورد مطالعه از ۳۷۵۲ تا ۱۱۷۱۴ مترمکعب بر هکتار و میانگین وزنی آن ۷۷۲۹ مترمکعب بر هکتار بود. دامنه تغییرات بهره‌وری آب (آب آبیاری و بارش

مترمکعب) است. ولی میانگین بهره‌وری آب آبیاری و بارش موثر در مزارع کشت بهاره (۷/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) بیشتر از بهره‌وری آب آبیاری و بارش موثر در مزارع مناطق کشت پاییزه (۶/۶ کیلوگرم بر مترمکعب) است.

در مجموع، نتایج این تحقیق اطلاعات مفیدی از شاخص‌های مدیریت مصرف آب در تولید گوجه‌فرنگی در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران آب کشور قرار می‌دهد. توسعه و مدیریت مناسب آبیاری قطره‌ای برای محصولات ردیفی از جمله گوجه‌فرنگی، توسعه کشت پاییزه به منظور استفاده موثر از بارش‌های پاییزه پیشنهاد می‌شود. آموزش و کاربرد روش‌های بهبود عملکرد آبیاری سطحی (به‌کارگیری روش‌های کاهش تبخیر و استفاده از لوله‌های دریچه‌دار- هیدروفلوم)، برای افزایش راندمان آبیاری و کاهش مصرف آب توصیه می‌شود.

آبیاری قطره‌ای سطحی نقش موثری در بهبود شاخص‌های مدیریت مصرف آب در مزارع گوجه‌فرنگی داشته و به حدود ۲۵ درصد کاهش در مصرف آب آبیاری و ۱۶ درصد ارتقا در بهره‌وری آب در مزارع گوجه‌فرنگی انجامیده است. راندمان کاربرد در مزارع آبیاری قطره‌ای حدود ۱۰ درصد بیشتر از راندمان کاربرد در مزارع آبیاری جویچه‌ای است. زمان کاشت (بهاره یا پاییزه) بر حجم آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب موثر است. حجم آب کاربردی در مزارع پاییزه (۵۳۵۶ مترمکعب بر هکتار) کمتر است تا در مزارع بهاره (۹۸۳۱ مترمکعب بر هکتار). میانگین عملکرد گوجه‌فرنگی در مزارع بهاره (۷۴/۳ تن بر هکتار) به‌طور معنی‌داری بیشتر از عملکرد گوجه‌فرنگی در مزارع پاییزه (۴۶/۱ تن بر هکتار) است. بهره‌وری آب آبیاری در مزارع کشت پاییزه (۹/۳ کیلوگرم بر مترمکعب) بیشتر از بهره‌وری آب آبیاری در مزارع کشت بهاره (۸/۲ کیلوگرم بر

مراجع

- Abbasi, F., A. Nasser, M.M. Nakhjavani Moghaddam, N. Salamati, M. Joleini, M. Khorramian, S.E. Dehghanian, A. Yousef Gomrokchi, A. Islami, K. Akhavan, M. Farzamnia, J. Baghani, M. Akbari, 2018. Comparison of irrigation water management indices of silage maize in modern and conventional irrigation networks. 19(73): 143-156.
- Abbasi, F., Sohrab, F. and Abbasi, N., 2016. Evaluation of irrigation efficiencies in Iran. Journal of Irrigation and Drainage Engineering Research, 17 (67), pp. 113-128. (In Persian).
- Ahmadi, K., H.R. EbadZadeh, F. Hatami, H. AbdShah and A. Kazemian, 2019. Agricultural Statistics of 2017-2018. Ministry of Jihad for Agriculture, Deputy for Planning and Economy, Information and Communication Technology Office. Volume 1, Crops. 166pp.
- Allen, R.G, L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith, 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirement. FAO Irrig. Drain. Paper No. 56. FAO, Rome, Italy, 300 pp.
- Baghani, J., 2007. Production and efficiency of irrigation water consumption in sugar beet, potato, tomato and fodder corn crops in drip and surface irrigation methods. Research Report of Agricultural Engineering Research Institute, No. 1366/86.

- Baghani, J., and H. Bayat, 1999. Study and comparison of furrow and drip irrigation methods on tomato yield and quality. Research Report of the Agricultural Engineering Research Institute, No. 131.
- Biswas, S.K., A.R. Akanda, M.S. Rahman, M.A. Hossain, 2015. Effect of drip irrigation and mulching on yield, water-use efficiency and economics of tomato. *Plant Soil Environ*, 61(3): 97-102.
- Bogle, C.R., T.K. Hartz and C. Nunez, 1989. Comparison of subsurface trickle and furrow irrigation on plastic-mulched and bare soil for tomato production. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.*, 114: 40-43.
- Ewaid, S.H., S.A. Abed, and N. Al-Ansari, 2019. Crop water requirements and irrigation schedules for some major crops in southern Iraq. *Water*, 11(4), 756.
- FAO. 2020. The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb1447en>.
- Farshi, A., M.R. Shariati, R. Jarollahi, M.R. Ghaemi, M. Shahabifar, and M.M. Tavallaei, 1997. An estimate of the water requirements of main field crops and orchards in Iran, *Orchards Vol. 2. Agricultural Education Publication: Karaj, Iran*, 629.
- Ghadami Firouzabadi, A., G.H. Asadian, A.M. Jafari and R. Bahramlo, 2020. Technical and economical evaluation of trickle irrigation systems (Tape) in the cucumber and tomato fields. *Iranian J. Irrigation and Drainage*, 14(1): 263-274.
- Hall, B.J., 1974. Staked tomato drip irrigation in California. *Proceedings of the Second International Drip Irrigation Congress*, Page 480-486.
- Hanson, B., and D. May, 2004. Effect of subsurface drip irrigation on processing tomato yield, water table depth, soil salinity, and profitability. *Agricultural Water Management*, 68: 1-17.
- Jadhav, S., G.B. Gutal, and A.A. Chougule, 1990. Cost economic. 11th International Congress on the Use of Plastics in Agriculture, New Dehly, India, pp:171-176.
- Jolaini, M., 2011. Investigation the effect of different water and plastic mulch levels on yield and water use efficiency of tomato in surface and subsurface drip irrigation method. *J. Water and Soil*, 25(5): 1025-1032.
- Khazaei, J., B. Amraei, S.M.J. Esfahani, 2016. Investigating the trend of changes in productivity of all factors of tomato production in Iran Using the Malmquist index. *J. Agricultural Economics Research*, 7(4): 83-98.
- Khorramian, M., 2013. Effect of tape irrigation levels on yield and quality of tomato in north of Khouzestan province. *J. Irrigation Sciences and Engineering*, 38(2): 161-170.
- Lin, S.S.M., J.N. Hubbell, S.C.S. Tsou, and W.E. Splittstoesser, 1983. Drip irrigation and tomato yield under tropical conditions. *HortScience*, 18(4): 460-461.
- Maas, E.V., and G.J. Hoffman, 1977. Crop salt tolerance current assessment. *J.Irrig. Drain*. 103: 115-134.

- Mazaheri Tehrani, M., S.A. Mortazavi, H.R. Ziaolhagh and A. Ghandi, 2007. Production and Processing of Tomatoes. Volume 1, Marz Danesh Publications, first edition, 240 pages.
- Mohagheghzadeh, H. and E.A. Karami, 2018. Application of drip-tape irrigation in tomato production: Analysis of optimal water-use. Iranian Agricultural Extension and Education J., 13(2): 71-89.
- Molden, D.J., R. Sakthivadivel, C.J. Perry, and C. de Fraiture, 1998. Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems. Research Report No. 20, Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Najafi Alamdarloo, H., A.H. Chizari and R. Mahmoud Gardi, 2008. Investigating the relative advantage of regional exports and tomato planting in Fars province. The First National Congress of Tomato Production and Processing Technology, Mashhad.
- Nazari, B., 2018. Comprehensive study and analysis of productivity gap and preparation of a guide to improve agricultural water productivity with the approach of empowering farmers and sustainability in aquifers (Case study: Qazvin plain). Final Research Report, National Center for Strategic Studies in Agriculture and Water. Chamber of Commerce. 310 p.
- Neerai, J., H.S. Chauhan, P.K. Singh and K.N. Shukla, 2000. Response of tomato under drip irrigation and plastic mulching. 6th International Micro-Irrigation Congress. Cape Town, South Africa, 22-27 October.
- Pourmohamad, Y., M. Mousavi Baygi, A. Alizadeh, A.N. Ziaei, M. Bannayan Aval, 2017. Estimating major crop water productivity at Neyshabour basin and optimize crop area. J. Water and Soil, 31(1): 112-126.
- Saei, M., 2011. Economic comparison of furrow and micro irrigation methods on tomato production under plastic coverage in Jiroft region. Iranian Water Researches J., 8(5): 70-89.
- Sarmad, Z., A. Bazargan, and E. Hejazi, 2001. Research Methods in Behavioral Sciences. Agah Publishing, Tehran, 405 pp.
- SCS, 1972. U.S. Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, Hydrology Section 4.
- Shahrokhnia, M.A. and H. Rahimi, 2017. Economic analysis of deficit irrigation for transplanted tomato cultivars. Iranian Water Researches J., 30(4): 483-495.
- Shahrokhnia, M.A., A. Zare and A. Estakhr, 2010. Determining the amount of water consumption, irrigation efficiency and water use efficiency in farms in four cities of Fars province. Proceedings of the Second National Conference on Comprehensive Water Resources Management. University of Kerman, 7-2 Bahman, Kerman, Iran.
- Shahrokhnia, M.A., M. Shahamirian, A. Olyan Ghiasi, 2016. Influence of irrigation water on quality and quantity of tomato yield under seedling cultivation. Iranian J. Irrigation and Drainage, 2(10): 177-186.
- Shrivastava, P.K., M.M. Parikh, N.G. Sawani, and S. Raman, 1994. Effect of drip irrigation and mulching on tomato yield. Agric. Water Manage., 25(2): 179-184.

- Singh, S.D., and P. Singh, 1978. Value of drip irrigation compared with conventional irrigation for vegetable production in a hot arid climate, *Agron. J.*, 70(6): 945-947.
- Soltani, Gh., S.M.R. Akbari and H. Mohammadi, 2010. Agricultural water productivity in drought-prone areas: A case study of Marvdasht-Karbal. National Conference on Water Crisis Management, Islamic Azad University, March 2010, Marvdasht Branch.
- Zamani, A., S. Mortazavi, H. Balali, 2014. Economical water productivity of agricultural products in bahar plain, Hamadan. *J. Water Research in Agriculture*, 28(1): 51-62.
- Zhou, Q., Y. Zhang, and F. Wub, 2021. Evaluation of the most proper management scale on water use efficiency and water productivity: A case study of the Heihe River Basin, China. *Agric. Water Manag.*, 246,

The Role of Modern Irrigation Systems on Tomato Applied Irrigation Water Management in Iran

F. Abbasi*, M. Joleini, M. Khorramian, S. E. Dehghanian, E. Moghbli Dameneh, M. Nowroozi, A. Uossef Gomrokchi, M. Taheri, E. Zare-Mehrani, A. Kiani, N. Salamati, H. Mousavi Fazl, A. Ghadami-FirouzAbadi, P. Bayat and A. Nasser

* Corresponding Author: Professor of Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: Fariborzabbasi@ymail.com
Received: 17 September 2020, Accepted: 12 April 2021

Extended Abstract

Introduction

Development of modern irrigation systems has been one of the main programs in developing agricultural sector in the past few decades. Assessing the role of these systems in increasing indicators of irrigation water management can play an important role in future national policies and planning. Therefore, this study was conducted with the aim of appraising water consumption management indicators in tomato production in different regions of Iran and evaluating the role of surface drip irrigation systems in increasing these indicators.

Methodology

In this study, a field survey was conducted to measure yield and applied irrigation water of tomato under the farmers' management in tomato production hubs. Volume of applied water by farmers in 176 farms in Fars, South Kerman, Hormozgan, Bushehr, Khorasan Razavi, Qazvin, Khuzestan, Golestan, Zanzan, Hamedan and Semnan provinces with different conditions of climates, irrigation methods (furrows and drip), salinity of irrigation water and soil; and different tomato cultivars were measured during growing season 2018-2019. The measured applied irrigation water values were compared with the net irrigation requirements estimated by the FAO Penman-Monteith method using meteorological data from the last 10 years, as well as the values of the national water document. Then, the effect of modern irrigation methods (surface drip irrigation) on applied water, application efficiency and physical water productivity was investigated in the study areas. Crop yield was recorded at the end of the growing season and water productivity (WP) was calculated as the ratio of yield to total applied water (irrigation water and effective rainfall). Analysis of variance was used to investigate the possible difference between yield, applied water and WP among the hubs. Data adequacy was assessed by using the method provided by Sarmad et al. (2001).

Results and Discussion

The results showed that yield, applied irrigation water and WP in tomato production hubs were significantly different at the $P \leq 0.01$. The average volume of applied irrigation water by the farmers was 7729 m³/ha. Water productivity in production areas varied from 4.33 to 9.52 kg/m³ and its average was 7.39 kg/m³. The average net irrigation requirement and irrigation application efficiency were 674 mm and 78%, respectively. Irrigation application efficiency obtained from the studied tomato farms was slightly higher than the average irrigation efficiency in Iran reported by Abbasi et al. (2016). Deficit irrigation was occurred in the fields of some areas such as Bushehr, Golestan and Semnan. Tomato planting time (spring or autumn) affected applied irrigation water, yield and WP. The volume of water used in autumn planted farms (5356 m³/ha)

was less than spring planted farms (9831 m³/ha). The average yield of tomatoes in spring planted farms (74.3 t/ha) was significantly higher than the yield of fields planted in autumn (46.1 t/ha). However, the average of WP in spring planting farms (7.7 kg/m³) was higher than the productivity of farms planted in autumn (6.6 kg/m³). The application of surface drip irrigation systems in comparison with furrow irrigation resulted in 25% reducing in applied water, 10% increasing the application efficiency and 16% improving in water productivity.

Conclusions

In general, the results of this study provide useful information on applied irrigation water management indicators in tomato production to managers and water decision makers within Iran. Proper development and management of drip irrigation systems for row crops such as tomatoes and autumn planting of tomatoes in warm tomato production hubs is recommended for effective use of autumn rainfall. Also, training and application of methods to improve the performance of surface irrigation (using methods to reduce evaporation and the use of low pressure systems) is recommended to increase irrigation efficiency and reduce applied irrigation water.

Keywords: Application Efficiency, Drip irrigation systems, Productivity

واکاوی خصوصی سازی طرح‌های آبیاری و زهکشی از دیدگاه قوانین و سیاست‌ها

پوریا نامدار^۱ و عاطفه پرورش ریزی^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب: دانشجوی دکتری سازه‌های آبی؛ و دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی،

دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۲۲

چکیده

ایجاد چارچوب نامناسب پشتیبانی، حمایت ضعیف از سوی سیاستگذاران و جامعه مدنی و واگذاری زود هنگام وظیفه به سازمان‌های غیردولتی بدون ایجاد ظرفیت سازمانی از دلایل مکرر شکست در واگذاری طرح‌های آبیاری و زهکشی به بخش خصوصی است؛ بنابراین گردآوری مبانی، اصول و معیارهای موجود، اسناد بالادستی، قوانین کشور و برخی تجربیات بین‌المللی معطوف به مفاهیم خصوصی سازی و انتقال مدیریت آب در بخش کشاورزی، در تحقیق حاضر مدنظر قرار گرفته است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد کلی‌بودن قوانین و مقررات بدون توجه به تنوع ویژگی‌های خاص هر منطقه، فقدان ضمانت اجرایی و نبود پایش و ارزیابی در حین اجرای طرح‌های کاهش تصدی‌گری دولتی از مشکلات عمده اجرای قوانین موجود در این خصوص است. ضمن اینکه با تغییر سیاست‌های کشور از دولت‌محوری به سمت مشارکت بخش خصوصی و کشاورزان، قوانین جاری در حوزه منابع آب نیز نیازمند بازنگری هستند. همچنین مرور تجربیات بین‌المللی نشان می‌دهد حمایت سیاسی قوی از طرف مقامات دولتی، استفاده از چارچوب قانونی ساده و انعطاف‌پذیر به صورت تدریجی در موفقیت اصلاحات در قوانین خصوصی سازی اثرگذار است.

واژه‌های کلیدی

شبکه‌های آبیاری، شرکت‌های بهره‌برداری، قوانین آب، واگذاری

مقدمه

اصلاح قوانین آب را فراهم کرد (Bruns et al.,

2005). منظور از انتقال مدیریت آبیاری، درجاتی از انتقال مسئولیت و اختیار مدیریت آبیاری از دولت به گروه‌های کشاورز یا سایر نهادهای غیردولتی است. این انتقال به‌طور کلی شامل انقباض نقش دولت و گسترش نقش بخش خصوصی و مصرف‌کنندگان آب در مدیریت آبیاری است و تغییراتی در سیاست‌ها، رویه‌ها و عملکرد آبیاری ایجاد می‌کند (Gazmuri, 1994).

سامانه‌ها و طرح‌های آبیاری معمولاً فقط آب را تحویل نمی‌دهند، بلکه طیف وسیعی از نقش‌های نظارتی، امور حقوقی، حل اختلافات و تخصیص مجدد آب را نیز بر عهده دارند. در ایران و از دهه ۴۰ شمسی به بعد، این نقش‌ها عمدتاً به عهده دولت‌ها بوده است. از دهه ۱۹۹۰ میلادی تعدادی از کشورها سیاست‌های واگذاری یا انتقال مدیریت آبیاری^۱ (IMT) را اتخاذ کردند و این در برخی موارد انگیزه

1- <http://doi: 10.22092/idser.2021.353871.1463>

Email: parvarsh@ut.ac.ir

* نگارنده مسئول:

3- Irrigation Management Transfer

آنها نادیده گرفته می‌شود (Bruns et al., 2005). مولدن و همکاران (Molden et al., 2001) پیشنهاد کردند که بسته به میزان توسعه منابع آب کشورهای در حال توسعه، نهادهای قضایی و مؤسسات مرتبط مجاز به بهره‌برداری از قوانین کشورهای پیشرفته باشند؛ فرایندی که می‌تواند با شناسایی دقیق شرایط آبی، در موفقیت اصلاح قوانین تعیین‌کننده باشد. همچنین اشاره می‌کنند که سازمان‌های متولی آب باید دیدگاهشان را از توسعه و بهبود زیرساخت‌ها به بهبود وضعیت مصرف و حفظ منابع آب موجود تغییر دهند و پس از آن با تصویب قوانین جدید، نظارت بر بهره‌برداری از منابع آب را بهبود بخشند. سیر تدوین قوانین و آیین‌نامه‌های مرتبط با آب نشان می‌دهد که از سال ۱۳۲۲ به تدریج از اختیارات کشاورزان کاسته شده و به مسئولیت‌های دولت افزوده شده است؛ اما تجربه سال‌های اخیر نشان می‌دهد که سازمان‌های دولتی و نهادهای وابسته به آنها در اعمال مدیریت مصرف آب کشاورزی چندان موفق عمل نکرده‌اند. بنابراین، دولت سعی کرد در برنامه‌های توسعه خود به مصرف‌کنندگان و بخش خصوصی در مدیریت و بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی^۲ توجه کند (Hosseini et al., 2006). نخستین گام در واگذاری و فروش شبکه‌ها اختیارات و مجوزهایی است که در قانون پیش‌بینی شده است. برای ورود به این موضوع، بررسی‌های حقوقی اهمیت خاصی دارد.

در بسیاری از کشورها، منظور از انتقال مدیریت آب به مفهوم مدیریت مشارکتی است و نیازمند حضور و مشارکت آب‌بران و کشاورزان در مدیریت آب است. در خصوصی‌سازی این کار را شرکت‌ها و سازمان‌های غیردولتی به عهده دارند که اعضا و سهامداران آنها لزوماً آب‌بران نیستند و انتقال مدیریت به آب‌بران به مفهومی که توضیح داده شده،

آرارال (Araral, 2009) می‌گوید زمانی پایداری در واگذاری عملیات بهره‌برداری و نگهداری به بخش خصوصی موفقیت‌آمیز خواهد بود که پس از تمرکززدایی^۱، حقوق مالکیت به خوبی مشخص باشد؛ یعنی از نظر عملیاتی، انجمن کاربران آب اجازه وضع قوانین و تحریم‌ها، تعیین آب‌بها، کنترل سامانه‌های ورودی و کانال‌های اصلی و فرعی، استخدام یا اخراج کارمندان، انعقاد قرارداد و جذب سرمایه و کسب سود را داشته باشد و دارای قدرت پاسخ‌گویی و انگیزه مؤثر، سلسله‌مراتب و دستورالعمل برای حل تعارضات و منابع کافی برای مدیریت و بهره‌برداری از شبکه آبیاری نیز باشد. این تمرکززدایی زمانی بر صرفه‌جویی منابع آب تأثیر مثبت دارد که باوجود کمبود آب، حقوق و خدمات بخش آب شفاف، مطمئن و پایدار باشد و آب به عنوان کالایی اقتصادی، قیمت‌گذاری و میزان مصرف آب در سطح مزرعه و حوضه آبریز کنترل و اندازه‌گیری شود.

اخذ تصمیمات سرمایه‌گذاری و تخصیص آب توسط سازمان‌های خصوصی و محلی ایجاب می‌کند که آب‌بران از کمیت و زمان استحصال آب خود اطمینان داشته باشند و این امر نیازمند وجود قانونی شفاف است. از این جهت قوانین آب باید مجموعه‌ای کامل و ضروری از حقوق را برای انتفاع از آب ارائه کنند و شامل حق دسترسی، حق برداشت، استخراج آب، قوانین اداره امور آب، امور واگذاری، محرومیت و مجازات متخلفان باشند (Bayat et al., 2016). درخواست برای استفاده از آب می‌تواند بر اساس منابع متفاوتی صورت گیرد، از جمله هنجارهای جامعه، ارزش‌های مذهبی، اقدامات تاریخی و قوانینی که در جایگاه‌های مختلف وضع شده‌اند. بی‌توجهی به حقوق عرفی در تدوین قانون و سیاست‌های آب می‌تواند مخالفت جدی کسانی را برانگیزد که حقوق

ایران، نیز مطرح شده است. با استخراج و جمعیت سیاست های در پیش گرفته شده از سوی دولت در زمینه خصوصی سازی (و به عبارتی واگذاری) شبکه ها که اغلب هم به سطح مدیریتی اشاره دارند، می توان به دیدگاه برنامه ریزان و قانون گذاران در دوره های مختلف پی برد و تناسب و کفایت این سیاست ها و قوانین را با نیازها و شرایط کنونی سنجید.

روش شناسی تحقیق و تحلیل مستندات

در معنی عام، قانون شامل تمام مصوبات مجلس و تصویب نامه ها و بخش نامه های اداری است (Eghbali et al., 2020). از آنجاکه قوانین، به عنوان اسناد بالاسری، لازم الاجرا هستند تصویب و تغییر قوانین و مقررات آب طی دوره های قانون گذاری در ایران بر شکل مدیریت منابع آب و پایداری این منابع تأثیرگذار بوده است (Somehsaraee et al., 2020).

در این تحقیق وقتی سخن از قانون گفته می شود، مقصود کلیه قوانین مرتبط با مالکیت، بهره برداری، حفاظت از منابع آب و مدیریت آنهاست. از آنجاکه زمین های تحت پوشش منابع آب زیرزمینی معمولاً با مدیریت خصوصی افراد اداره می شوند، در این تحقیق تمرکز روی قوانین مرتبط با شبکه های آبیاری با منابع آب سطحی است. برای اجرای این تحقیق کلیه اسناد و مدارک در دسترس و مرتبط با قوانین آب جمع آوری شد که از طرف سازمان های مختلف کشور مصوب شده اند شامل: مصوبات و لوایح مجلس شورای اسلامی، قوانین و برنامه های توسعه کشور، مصوبات شورای عالی آب، اقدامات وزارتخانه های ذی ربط مانند وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی و نیز دستورالعمل ها و آیین نامه های اجرایی منتشر شده. سپس مطالب مرتبط با موضوع خصوصی سازی و کاهش تصدی گری دولت یا قوانین

اتفاق نمی افتد. در ایران نیز باید بین انتقال مدیریت آب و خصوصی سازی به نحوی که به آن اشاره شد، تمایز قائل شد. در ایران، تعاونی های آب بران^۱ (WUAs) معمولاً زیر نظر سازمان های جهاد کشاورزی و تعاونی های روستایی در سطح شبکه های فرعی فعالیت می کنند اما فعالیت شرکت های خصوصی بهره برداری از شبکه، زیر نظر وزارت نیرو و در سطح شبکه های اصلی است. گرچه برخی مواقع تعاریف نزدیکی از انتقال مدیریت و خصوصی سازی در آب کشاورزی ارائه می شود، اما این دو مفهوم متفاوت هستند و برای خصوصی سازی شبکه های آبیاری، قوانین و جزئیات قانونی و اجرایی محدودتری وجود دارد. در حال حاضر حدود ۱۳۲ شبکه آبیاری و زهکشی فعال و مدرن در کشور با مساحت اراضی تحت پوشش ۱۸۶۰ هزار هکتار فعال هستند. با ملزم شدن شرکت مدیریت منابع آب به واگذاری سهام خود در شرکت های بهره برداری در سال های ۱۳۹۵-۱۳۸۷ تقریباً تمام سهام دولتی شرکت های بهره برداری به بخش خصوصی واگذار شد (Iranian Privatization Organization, 2020) و طبق قانون عملاً دولت دیگر مجاز به ایجاد شرکت بهره برداری جدیدی نیست.

از آنجاکه لازمه هرگونه اصلاح قوانین و مقرراتی شناخت وضعیت موجود و نقاط ضعف و قوت قوانین جاری است، در این تحقیق با تمرکز بر خصوصی سازی آب کشاورزی بندهای قانونی مربوط طی دوره های مختلف استخراج و درباره میزان اثربخشی این قوانین بر مدیریت منابع آب بحث شده است. همچنین، به منظور آشنایی با چگونگی اصلاح قوانین آب سایر کشورها و استفاده از تجربه هایشان در زمینه واگذاری مدیریت آب، تجربه های بین المللی برخی کشورهای پیشگام، در مقایسه با وضعیت

1- Water User Associations

سطحی، قابلیت استفاده همگانی داشته هر کس می‌توانست به قدرالسهم خود از آن‌ها بهره‌مند شود. علاوه بر این، در قانون مدنی بر اساس قاعده فقهی لا ضرر و لا ضرار، اولویت مالکیت آب مبتنی بر اولویت زمان بهره‌برداری از آن است نه نزدیکی به منبع و سرچشمه آب (Somehsaraee et al., 2020).

خلاصه آنکه بر اساس قانون مدنی مالکیت منابع آبی با عمل اشخاص مستقر می‌شود و نقشی برای دولت در مالکیت این منابع پیش‌بینی نشده است و این امر تا سال ۱۳۴۷ که مالکیت آب‌ها متحول شد ادامه یافت (Hosseini et al., 2006). این قوانین برای مدیریت خصوصی افراد تا قبل از پیشرفت فناوری در بهره‌برداری از منابع آب کاربرد داشته و پس از احداث شبکه‌های آبیاری و تأسیس شرکت‌های خصوصی بهره‌برداری قادر به حل مسائل و مشکلات جدید بهره‌برداری از شبکه‌ها نبودند.

قانون اجازه تأسیس بنگاه آبیاری (مصوب ۱۳۲۲/۲/۲۹ و اصلاحیه آن (مصوب ۱۳۳۴/۵/۱۱)

طبق این قانون نظارت در امور آبیاری از قبیل تأسیسات آبیاری، تقسیم آب رودخانه‌ها و انهار عمومی که مالک یا مالکانی خاص نداشته باشد به عهده بنگاه مستقل آبیاری است و استفاده از آب رودخانه با ساختن سد یا نصب موتور تلمبه از آب‌های سطحی با توجه به حقابه‌های موجود باید با اجازه قبلی بنگاه مستقل آبیاری باشد. با تصویب این قانون جنبه خصوصی آبیاری محدود به انهار سنتی شد و حدود و اختیارات مالکان تا حد زیادی کاهش یافت. همچنین بنگاه آبیاری مجاز شد برای عملیات آبیاری و زهکشی در هر نقطه، شرکت‌هایی با سرمایه بنگاه و سرمایه مالکان تشکیل دهد و اگر پس از خاتمه، مالکان یا اشخاص دیگری حاضر باشند تمام

رایج و کاربردی که فقدان ارتباط و طرح مسائل خصوصی‌سازی در آن‌ها احساس می‌شد، از آن‌ها استخراج و به‌اضافه مستندات بین‌المللی در این زمینه، به‌صورت توصیفی بررسی و تحلیل شد. سرانجام نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادها برای بهبود اجرای فرایند انتقال مدیریت و بهره‌برداری از شبکه‌ها به بخش خصوصی ارائه شد.

نتایج و بحث

مستندات دال بر قوانین مربوط به خصوصی سازی در بخش آب کشاورزی، بر اساس نهادهای تصویب‌کننده در پنج بخش دسته‌بندی شده‌اند: ۱- قوانین مصوب مجلس شورای اسلامی ۲- برنامه‌های توسعه کشور بعد از انقلاب ۳- مصوبات شورای عالی آب ۴- دستورالعمل‌ها، بخشنامه‌ها و مصوبات هیئت وزیران و ۵- مستندات بین‌المللی اصلاحات نهادی آب که به ترتیب تاریخ تصویب ارائه می‌شوند:

قوانین مصوب مجلس شورای اسلامی

قانون مدنی

تا سال ۱۳۰۷ مسائل حکمرانی آب با «حاکمیت عرف»، یعنی توافقات عرفی جامعه درباره مالکیت بر چاه و قنات حل‌وفصل می‌شد. با شروع قانون‌گذاری و با تدوین «قانون مدنی» در سال ۱۳۰۷، مسائل حکمرانی آب با این قانون روبه‌رو می‌شد. در نظام حقوقی کشور از سال ۱۳۰۷ تا ۱۳۴۷ حدود ۴۶ قانون مرتبط با آب در عرصه قانون‌گذاری تصویب شد که رویکرد آن مبتنی بر حقوق خصوصی و حمایت مالکیت شخصی بوده است. این رویکرد در حوزه آب بر اساس مبانی فقهی و عرفی حاکم بر جامعه بوده است (Nodushan, 2016). با این دیدگاه، دولت یا حکومت حق نظارت یا مالکیت بر منابع آبی را نداشت. تمام منابع آبی، اعم از سطحی یا غیر

(Hoshiaripour, 2019).

قانون تأسیس شرکت های بهره برداری از اراضی زیردست سدها (مصوب ۱۳۴۷/۲/۳۰)

بر اساس این قانون، وزارت آب و برق مجاز است طبق شرایطی که به تأیید هیئت دولت خواهد رسید بهره برداری از زمین های زیردست سدها با حق استفاده از آب مورد نیاز را به اشخاص حقیقی یا حقوقی داخلی یا خارجی به صورت اجاره واگذار و قراردادهای لازم را با آنان منعقد کند. علاوه بر عملیات بهره برداری، وزارت آب و برق مجاز است زمین ها و املاک زیردست سدها را که متعلق به دولت است به صورت اجاره به اشخاص حقیقی و حقوقی واگذار و آن قسمت که متعلق به اشخاص است با توجه به ماده ۸ آیین نامه اصلاحات ارضی خریداری و تصرف کند.

در همان زمان، این قانون برای زمین های آبخور سد دز اجرا شد که پس از انقلاب اسلامی ملغی گردید. این قانون اساس تشکیل شرکت های آب منطقه ای و بسیاری از شرکت های کشت و صنعت قبل و بعد از انقلاب است. شکل گیری این شرکت ها طی سالیان متمادی پیامدهای مختلف اقتصادی، اجتماعی، فنی و زیست محیطی داشت ولی از نظر عملکرد تولید دارای نتایج قابل توجهی بودند. این قانون زمین های کمتر از ۵ هزار هکتار را شامل نمی شد و اکثر شرکت های تشکیل شده طبق آن با مدیریت و سرمایه بخش دولتی بودند و پس از تصویب سیاست های اصل ۴۴ قانون اساسی به مرور به بخش خصوصی واگذار شدند.

قانون آب و نحوه ملی شدن آن (مصوب ۱۳۴۷/۴/۲۷)

باینکه دهه ۱۳۴۰ شمسی اوج قانون گذاری در باب منابع آب و بهره برداری از آنها بود، قوانین

یا قسمتی از سهام دولت را خریداری نمایند، بنگاه مجاز بود سهام خود را به فروش برساند (ماده ۹). همچنین، در قانون اصلاح تأسیس بنگاه آبیاری (۱۳۳۴)، ماده ۷ تا ۱۰ برای اولین بار در قانون افراد، شرکت ها و مؤسسات دولتی و غیردولتی مجاز به احداث سد، شبکه های آبیاری و زهکشی و نصب تأسیسات روی رودخانه تحت نظارت بنگاه مستقل آبیاری شدند و بنگاه می توانست در راستای حمایت از بخش خصوصی از اعتبارات خود در اجرای طرح ها حداکثر تا ۵۰ درصد هزینه ها استفاده و پس از پایان طرح هزینه های خود را به صورت اقساط بلندمدت از افراد یا شرکت ها دریافت کند.

این بنگاه با اجاره و خرید بهترین املاک پا به عرصه اقتصاد کشاورزی گذاشت و در جریان کار خود از همکاری سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (FAO) و کمک فنی سازمان اقتصادی آمریکا برخوردار بود. هرچند در متن قانون مشارکت کشاورزان و بخش خصوصی مورد توجه بود اما در قوانین و اقدامات بعدی این بخش از مشارکت فعال در برنامه ریزی، احداث و مدیریت شبکه های آبیاری کنار گذاشته شدند (Marani, 2018). مدیریت ضعیف بنگاه مستقل آبیاری در نظام مدیریت سنتی آب موجب بروز تنش بین بهره برداران سنتی و مدرن شد و مشکلات به وجود آمده را مرتفع سازد. در سال ۱۳۴۲ با توجه به دخالت ۲۰ ساله دولت در نظام مدیریت منابع آب و همچنین با توجه به رویکرد حاکمیت در ایجاد دگرگونی اجتماعی در جوامع بهره بردار، لایحه قانونی راجع به تأسیس وزارت آب و برق به تصویب رسید و بنگاه مستقل آبیاری که تا آن تاریخ از ادارات تابعه وزارت کشاورزی محسوب می شد به همراه سایر ارگان های متولی آب و فاضلاب و برق به تدریج به «وزارت آب و برق» واگذار شد

وضع شده نتوانستند خلأهای قانونی را پر کنند و مشکلات به وجود آمده را مرتفع سازند. در سال ۱۳۴۷ با به تصویب رسیدن قانون آب و نحوه ملی شدن آن، مالکیت عمومی جایگزین مالکیت خصوصی آب‌ها (که در سال ۱۳۰۷ طی قانون مدنی رسمیت یافته بود) شد. تغییر نوع مالکیت آب تحولی جدی و تأثیرگذار در مدیریت منابع آب کشور ارزیابی می‌شود. در این قانون برای اولین بار حریم و بستر و بهره‌برداری مطمئن با در نظر گرفتن علوم هیدرولوژی و مهندسی منابع آب تعریف شد، دارندگان پروانه مصرف آب از مصرف بیش از آنچه در پروانه‌هایشان آمده بود منع شدند و فروش آب توسط اشخاص و مصرف‌کنندگان ممنوع شد.

البته با همه نکات مثبت و مؤثر قانون جدید، باید به این نکته اشاره کرد که با تصویب این قانون، نظام مدیریت محض بخش دولتی در منابع آب ایران شکل گرفت؛ قانونی که اگرچه در زمان خود متریقی و قابل‌ستایش ارزیابی می‌شد، اما به مشکلاتی انجامید که تأثیر آنها در سال‌های پس از تصویب به تدریج نمایان شد (Hoshiripour, 2019). در سال ۱۳۴۱ با شروع انقلاب سفید و اجرای اصلاحات ارضی در مدتی کوتاه مدیریت یکپارچه زمین‌ها از بین رفت و برهم خوردن تعادل در نظام اجتماعی حقابه‌بری با سرمایه‌گذاری‌های عظیم عمرانی در توسعه آب مانند سدها تشدید شد؛ در چنین شرایطی تصویب قانون ملی شدن آب سبب از بین رفتن حس تعلق کشاورزان به آب و حریص شدن به بهره‌برداری هرچه بیشتر از منابع آب شد، زیرا از آن پس به جای خود، دولت را مالک آب می‌دیدند، چنانچه در مدتی کوتاه اجتماعات روستایی و شهری که با هماهنگی و نظمی جاافتاده از منابع آب استفاده می‌کردند به جوامعی به هم‌ریخته و پر منازعه تبدیل شد و دولت

توان نظارت بر همه دشت‌ها و روستاها را نداشت (Somehsaraee et al., 2020). علاوه بر نادیده گرفتن بخش خصوصی در این قانون، وزارت آب و برق در ماده ۴۹ آن مکلف شده است که سهام غیردولتی در شرکت‌های آبیاری را که قسمتی از سهام آنها متعلق به دولت است بخرد و این شرکت‌ها را در سازمان‌ها یا شرکت‌های آب منطقه‌ای ادغام کند. صاحبان این شرکت‌ها نیز موظف به واگذاری سهام خود به وزارت آب و برق شده‌اند؛ یعنی نه تنها نقشی برای بخش خصوصی در این قانون در نظر گرفته نشده بلکه اندک سهم آن نیز به موجب این ماده قانونی کاهش یافته است.

قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران (مصوب ۱۳۵۸/۹/۱۱)

برابر اصل ۴۴ قانون اساسی، نظام اقتصادی جمهوری اسلامی ایران بر پایه سه بخش دولتی، تعاونی و خصوصی با برنامه‌ریزی منظم و صحیح استوار است.

بخش دولتی شامل کلیه صنایع بزرگ، صنایع مادر، بازرگانی خارجی، معادن بزرگ، بانکداری، بیمه، تأمین نیرو، سدها و شبکه‌های بزرگ آبرسانی، رادیو و تلویزیون، پست و تلگراف و تلفن، هواپیمایی، کشتیرانی، راه و راه‌آهن و مانند این‌هاست که به صورت مالکیت عمومی و در اختیار دولت است.

بخش تعاونی شامل شرکت‌ها و مؤسسات تعاونی تولید و توزیع است که در شهر و روستا، طبق ضوابط اسلامی تشکیل می‌شود.

بخش خصوصی شامل آن قسمت از کشاورزی، دامداری، صنعت، تجارت و خدمات می‌شود که مکمل فعالیت‌های اقتصادی دولتی و تعاونی‌هاست.

باید گفت که آب و تأسیسات وابسته آن از

در آن تنظیم و انتقال آب و تأسیسات آبرسانی درجه یک و درجه دو را به وزارت نیرو و ایجاد شبکه های درجه سه و چهار و تنظیم و انتقال از آنها تا سر مزرعه را به وزارت جهاد کشاورزی محول کرده است. این مدیریت دوگانه در شبکه های آبیاری موجب عدم اجرای سد و شبکه به صورت توأم و تأخیر در بهره برداری شده است (Azad et al., 2009). در حال حاضر، سازمان های جهاد کشاورزی در راستای استفاده بهینه از منابع آب و خاک با توسعه شبکه های آبیاری تحت فشار تلاش های فراوانی کرده اند، اما همچنان در مدیریت و بهره برداری از شبکه ها و ایجاد تشکلهای مربوط همکاری و هماهنگی لازم را با وزارت نیرو ندارند. بالاینکه در حال حاضر بیش از ۱/۸ میلیون هکتار از زمین های تحت پوشش شرکت های بهره برداری خصوصی است، به علت تأسیس شرکت های خصوصی و نیمه خصوصی پس از تصویب این قانون، هیچ بخشی راجع به نحوه و امکان واگذاری نقش های حاکمیتی از دولت به بخش خصوصی، حداقل همانند آنچه در قانون تأسیس بنگاه آبیاری یا تأسیس شرکت های بهره برداری از زمین های زیر دست سدها آمده، در این قانون ارائه نشده است.

قانون تثبیت آب بهای زراعی (مصوب ۶۹/۶/۱۴)

و آیین نامه اجرایی آن

طبق این قانون آب بهای دریافتی برای شبکه های آبیاری مدرن، کانال های تلفیقی و کانال های سنتی به ترتیب ۳، ۲ و ۱ درصد قیمت محصول کشت شده است و آب باید به صورت حجمی و به میزان نیاز آبی معقول هر کشت در منطقه تحویل شود. در بسیاری از شبکه ها سعی بر این است که تحویل آب به صورت حجمی باشد (و البته در ایران با مشکلات فنی و اجرایی مواجه است)، در صورتی که آب بهای زمین ها

نیروهای عمده ای هستند که زندگی مردم و کلیه امور اقتصادی و اجتماعی جامعه بدان متکی است و هرگونه نقص و اختلال در آنها اثرهای تخریبی بر زندگی فردی و اجتماعی مردم به جا می گذارد و واگذاری آنها همانند واگذاری شرکت یا کارخانه نیست؛ و شاید به همین دلیل هم تأمین انرژی و شبکه های آبرسانی به صورت مالکیت عمومی در اختیار دولت است. هرچند در آیین نامه تشخیص، انطباق و طبقه بندی فعالیت ها و بنگاه های اقتصادی (۱۳۸۸) شرکت های قابل واگذاری تا آن زمان تعیین شده اند، اما در این قانون و آیین نامه های اجرایی بعد از آن، معیار تفکیک شبکه های آبیاری بزرگ از شبکه های متوسط و کوچک و امکان واگذاری مالکیت این سطح از شبکه ها ذکر نشده است.

قانون توزیع عادلانه آب (مصوب ۱۳۶۱/۱۲/۱۶)

و آیین نامه اجرایی آن (مصوب ۱۳۶۳/۸/۱۹)

مهم ترین قانونی که پس از انقلاب اسلامی ایران در مورد آب به تصویب رسید و تاکنون اجرایی شده است، قانون توزیع عادلانه آب است که تا حد زیادی با قانون ملی آب تشابه دارد. در ماده یک این قانون مستند بر اصل ۴۵ قانون اساسی، کلیه آب دریاها و آب های جاری رودخانه ها و انهار و هر مسیر طبیعی دیگر اعم از سطحی و زیرزمینی در اختیار حکومت اسلامی قرار دارد و مسئولیت حفظ، اجاره و بهره برداری از آن ها به دولت محول شده است. در ماده ۲۸، انتقال پروانه آب به تبع زمین و همان مصرف اولیه است که در تناقض با مباحث بازار آب است و اجازه نمی دهد ارزش واقعی آب مشخص شود (Davari et al., 2019).

تبصره یک ماده ۲۱ و ۲۹ این قانون یکی از چالش های مدیریتی در شبکه های آبیاری است که

طبق قانون مذکور به‌صورت هکتاری و بر اساس درصدی از محصول کشت‌شده اخذ می‌شود. این موضوع موجب ناهماهنگی در تحویل آب و اخذ آب‌بها توسط شرکت‌های بهره‌برداری می‌شود. قانون تثبیت آب‌بهای زراعی مانع از رسیدن آب به قیمت واقعی و خودکفایی مالی بسیاری از شبکه‌ها شده است.

روش‌های قیمت‌گذاری آب بسیار متنوع و پیچیده است؛ به‌خصوص در کشورهای توسعه که مباحث عدالت اجتماعی و کمک به اقشار کم‌درآمد از طریق یارانه‌های دولتی مطرح است. در چنین شرایطی ارزش‌گذاری بر اساس قیمت نهایی خدمات، منجر به افزایش هزینه‌ها و کاهش توان کشاورزان خرد خواهد شد؛ بنابراین قبل از اجرای هرگونه واگذاری طرح‌های آبی در کشور، ابتدا باید برای پایداری و دوام مالی شرکت‌های خصوصی بهره‌بردار و همچنین جلوگیری از افزایش هزینه‌ها و حمایت از کشاورزان، قیمت‌گذاری آب اصلاح شود.

قانون تشویق سرمایه‌گذاری در طرح‌های آب کشور (مصوب ۸۱/۵/۱۶)

برای تشویق سرمایه‌گذاران خصوصی (حقیقی و حقوقی) و تعاونی برای سرمایه‌گذاری در طرح‌های تأمین آب و ایجاد شبکه‌های آبیاری و زهکشی و طرح‌های آب‌و‌خاک، به وزارتخانه‌های نیرو و جهاد کشاورزی اجازه داده شد که اجرای طرح‌هایی را که حداکثر سی درصد عملیات اجرایی آنها خاتمه یافته یا طرح‌هایی را که مطالعات مرحله دوم آن‌ها تصویب‌شده باشد به سرمایه‌گذاران مزبور با شرایط زیر واگذار کنند:

۱- تأیید محل احداث تأسیسات و نظارت مهندسی در کلیه مراحل و حسب مورد به عهده وزارت نیرو یا وزارت جهاد کشاورزی خواهد بود.

۲- کلیه آب استحصالی به‌جز حقابه‌های موجود به سرمایه‌گذار تخصیص می‌یابد و سند آب صادر می‌شود.

۳- زمین‌های ملی و موات که بر اساس مطالعات طرح به‌عنوان زمین‌های آبخور این تأسیسات محسوب می‌شوند، متناسب با آب تخصیص‌یافته و شرایط اقتصادی - اجتماعی منطقه باقیمت‌های منطقه‌ای قبل از احداث تأسیسات، که توسط وزارت امور اقتصادی و دارایی تعیین می‌گردد، توسط وزارت جهاد کشاورزی، در شروع بهره‌برداری به سرمایه‌گذاران واگذار خواهد شد. آب مازاد بر زمین‌های واگذارشده به قیمت توافقی، به بهره‌برداران یا وزارت نیرو واگذار خواهد شد.

۴- حقوقی که در نتیجه این‌گونه سرمایه‌گذاری‌ها حاصل می‌شود، در حد سند آب صادره، متعلق به سرمایه‌گذار خواهد بود و سرمایه‌گذار می‌تواند با انتخاب الگوی اقتصادی موردتوافق با وزارت نیرو به شرح قرارداد آب را مصرف کند یا به فروش برساند. کلیه مستحقات و حقوقی که در نتیجه این‌گونه سرمایه‌گذاری‌ها حاصل می‌شود در دوره بهره‌برداری در اختیار سرمایه‌گذار خواهد بود که طبق ضوابط از آن استفاده کند.

۵- وزارتخانه‌های جهاد کشاورزی و نیرو حسب مورد مکلف‌اند بر اساس قرارداد منعقدشده در مورد هزینه‌ها و سایر موارد با سرمایه‌گذار، محل احداث تأسیسات و اجرای طرح‌ها را بر اساس قانون تملک اراضی تملک کنند و برای اجرا در اختیار سرمایه‌گذار قرار دهند.

۶- در صورتی که اشخاص خارجی سرمایه‌گذاری را به‌عهده داشته باشند، بهره‌برداری از تأسیسات و اراضی واگذارشده در دوره استهلاک سرمایه به عهده سرمایه‌گذار خواهد بود و پس‌از آن در اختیار دولت

اصلاح شده است. بر اساس بند ج ماده ۳ این قانون، سرمایه گذاری، مالکیت و مدیریت در فعالیت ها و بنگاه های بخش دولتی اصل ۴۴ که شامل سدها و شبکه های آبیاری بزرگ نیز می شود، منحصراً در اختیار دولت است و تنها خرید خدمات مالی، فنی، مهندسی و مدیریتی از بنگاه های بخش های غیردولتی در فعالیت های گروه دولتی به شرط حفظ مالکیت صد درصد دولت مجاز است. بر همین اساس، دولت فقط وظیفه بهره برداری از شبکه ها را به بخش خصوصی می تواند واگذار کند و مالکیت شبکه و تأسیسات زیر بنایی آن در اختیار دولت باقی خواهد ماند.

برنامه های توسعه کشور بعد از انقلاب

تدوین برنامه های پنج ساله توسعه بعد از پایان جنگ تحمیلی و از سال ۶۸ با تصویب اولین برنامه از این دست شروع شد و تا امروز ادامه دارد. در این قوانین به دلیل برخی تشابهات مفاهیم خصوصی سازی، مشارکت های مردمی و تعاونی ها باهم ذکر شده است.

برنامه اول توسعه کشور (۷۲-۱۳۶۸): تأکید

بر اجرای طرح های افزایش میزان بهره برداری از آب های تأمین شده با تکمیل شبکه های آبیاری، اجرای عملیات تجهیز و نوسازی زمین ها (بند ۱۳-۴) و اجرای پوشش آنها در این برنامه مدنظر قرار گرفت. در بند ۱۴-۴ سازماندهی و ایجاد تشکلهای آبرابران و مصرف کنندگان برای جلب مشارکت آنها در بهره برداری از تأسیسات آبی در دستور کار دولت قرار گرفت. در این برنامه انتقال بخشی از وظایف دولتی به بخش غیردولتی برای کاهش بار مالی و ارتقا کیفیت خدمات دولتی جزء هدف های دولت بود.

قرار می گیرد. اولویت در ادامه بهره برداری از تأسیسات ایجاد شده پس از دوره فوق با سرمایه گذار خواهد بود.

۷- وزارتخانه های نیرو و جهاد کشاورزی موظف اند در چارچوب ضوابط و معیارهای فنی و ایمنی، دیدگاه های اصلاحی سرمایه گذار در طرح را لحاظ کنند.

در آیین نامه اجرایی بند «ط» ماده ۱۷ قانون برنامه چهارم توسعه اقتصادی (۱۳۸۳) و آیین نامه اجرایی بند «د» تبصره ۳ قانون بودجه سال ۱۳۸۶ کل کشور نحوه تأمین مالی، واگذاری اراضی و بازپرداخت اعتبارات سرمایه گذاران بخش دولتی موضوع این قانون تعریف شده است. در این قانون، برخی از مشکلات و دغدغه های اصلی بخش خصوصی در طرح های آب برطرف شده است؛ اما در کل پنج ویژگی در بخش آب وجود دارد که حضور شرکت های خصوصی را در آن با چالش مواجه می کند: ۱- سطح انحصار طبیعی و فقدان کالای جایگزین. ۲- کالاهای عمومی و ارزشی که توسط این بخش تأمین می شود. ۳- رابطه حیاتی بین زیرساخت های آبی و توسعه اقتصادی. ۴- ماهیت به شدت سرمایه بر این بخش و میزان هزینه های غیرقابل برگشت که ریسک های خصوصی سازی را تشدید می کند. ۵- حاکمیت دولت روی موضوع های آب و نظارت ها و دخالت های سیاسی (Mohamadi & Nazari, 2011).

قانون اجرای سیاست های کلی اصل چهل و

چهارم قانون اساسی (۱۳۸۹/۱۲/۱۱)

این قانون همان «قانون اصلاح مواردی از برنامه چهارم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران (۱۳۸۶)» است که عنوان آن تحت قانون حاضر توسط مجلس شورای اسلامی

برنامه دوم توسعه کشور (۷۸-۱۳۷۴):

به منظور جلب مشارکت بیشتر بخش‌های خصوصی و تعاونی در امور عمومی و خدمات اجتماعی، تولید، اشتغال، تجارت، تحقیقات، نگهداری و بهره‌برداری از تأسیسات زیر بنایی و عمومی، دولت موظف است با رعایت اصل ۴۴ قانون اساسی و مصالح عمومی فعالیت‌های یادشده بخش دولتی را به بخش خصوص و تعاونی واگذار کند و برای فعال‌تر شدن این بخش‌ها تدبیرهایی بیندیشد و گام‌هایی مانند اصلاح مقررات، ارائه تسهیلات بانکی، تکمیل سرمایه‌گذاری زیربنایی، توسعه و تسهیل ارتباطات بردارد (تبصره ۴۱). همچنین، به منظور تسریع و جلب منابع بیشتر برای سرمایه‌گذاری در اجرای طرح‌های آب‌و خاک و شبکه‌های آبیاری دولت مکلف شد حداقل ۲۵ درصد از تسهیلات کلیه بانک‌های کشور را به طرح‌های آب و کشاورزی اختصاص دهد (تبصره ۷۷).

برنامه سوم توسعه کشور (۸۳-۱۳۷۹):

این برنامه، دولت تأکید بیشتری بر خصوصی‌سازی و واگذاری سهام و مدیریت شرکت‌های دولتی دارد و به صورت جزئی‌تر دستورالعمل‌های نحوه تنظیم قراردادهای فروش سهام، واگذاری مدیریت، اجاره و فسخ قراردادهای خود قرارداد (ماده ۱۶ تا ۲۱). در ماده ۱۰۶ و ۱۰۷ این برنامه به دولت اجازه داده شد برای ایجاد سیاست‌های صرفه‌جویی و هدایت مصرف‌کنندگان آب کشاورزی برای بهره‌برداری بهینه آب در انهار و شبکه‌ها، ایستگاه‌های پمپاژ و چاه‌ها، نسبت به تدوین و اجرای نظام بهره‌برداری، مشارکت بخش غیردولتی (حقابه‌داران و مالکان) و ایجاد تشکلهای بهره‌برداری آب‌و خاک اقدام کند و آب مورد نیاز برای این گونه مصرف‌کنندگان را بر اساس قانون تثبیت نرخ آب‌بهای زراعی قیمت‌گذاری و تحویل دهد.

برنامه چهارم توسعه کشور (۸۸-۱۳۸۴):

این برنامه شرکت‌های مادر تخصصی نیز با رعایت اصل ۴۴ قانون اساسی جمهوری اسلامی قابل‌واگذاری شده‌اند و مشارکت بخش خصوصی و تعاونی در آنها بنا به درخواست مجمع عمومی شرکت و تصویب هیئت‌وزیران مجاز شده‌است. در ماده ۱۷، نظر به نقش محوری آب در توسعه کشور، دولت مکلف شد منابع آب را با لحاظ کردن ارزش اقتصادی آب، آگاه‌سازی عمومی و مشارکت مردم به گونه‌ای صحیح برنامه‌ریزی کند. در برنامه چهارم توسعه نیز مانند سایر برنامه‌ها، در راستای نوسازی دولت و ارتقا بخش حاکمیتی و افزایش مشارکت مردم در اداره امور، کوچک‌سازی دولت به میزان سالانه حداقل ۳ درصد در نظر گرفته شد.

برنامه پنجم توسعه کشور (۹۴-۱۳۹۰):

ماده ۱۴۲ این قانون به منظور تقویت بازارهای محلی و منطقه‌ای و توجه به ارزش آب:

الف - به وزارت نیرو اجازه داده شد خرید آب استحصالی و پساب تصفیه‌شده از سرمایه‌گذاران اعم از داخلی و خارجی، آب مازاد ناشی از صرفه‌جویی حقابه‌داران در بخش‌های مصرف و همچنین هزینه‌های انتقال آب توسط بخش غیردولتی را باقیمت توافقی با پرداخت یارانه بر اساس دستورالعمل مصوب شورای اقتصاد تضمین کند.

ب- سرمایه‌گذاری، مالکیت، مدیریت و بهره‌برداری سدها و شبکه‌های آبرسانی با حفظ کلیه حقوق حقابه‌بران، توسط بنگاه‌ها و نهادهای عمومی غیردولتی و بخش‌های تعاونی و خصوصی با رعایت سیاست‌های کلی اصل چهل و چهارم (۴۴) قانون اساسی و قانون مربوط مجاز است.

برنامه ششم توسعه کشور (۱۴۰۰-۱۳۹۶):

این برنامه دولت بیشتر روی اصلاح نظام بهره‌برداری

کشت)، اما از آنجا که منابع توسط بازار تخصیص می یابد، جزء ارشادی باید جنبه اطلاع رسانی و انگیزشی داشته باشد (Barmaki, 2014).

مصوبات شورای عالی آب

شورای عالی آب برای هماهنگی و سیاست گذاری در زمینه تأمین، توزیع و مصرف آب تأسیس شده است. تصمیمات این شورا با تصویب هیئت وزیران یا کمیسیون مذکور در اصل ۱۳۸ قانون اساسی، برای دستگاه های ذی ربط لازم الاجرا است. این شورا بر اساس ماده ۱۰ قانون تشکیل وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۳۸۱ ساماندهی شده است و ریاست عالی آن با رئیس جمهور یا معاون اول اوست. در این تحقیق ۴۰ مصوبه شورای عالی آب تا تاریخ ۱۳۹۸/۸/۱۳ بررسی شد و موارد مرتبط با بحث خصوصی سازی آب و اجرای اصلاحات نهادی آب به شرح زیر ارائه شده است:

پنجمین جلسه شورای عالی آب

(۱۳۸۹/۱۰/۱۹): وزارت نیرو تکمیل شبکه ها (انتقال و توزیع آب کشاورزی) تا محل تحویل به قطعه زراعی را عهده دار شود و چنانچه مشاورین مطالعه کننده کل یا بخشی از اراضی پایاب سدها را مناسب آبیاری تحت فشار تشخیص دهند اجرای کامل شبکه اصلی و فرعی به صورت تحت فشار توسط وزارت نیرو انجام خواهد گرفت.

وزارت نیرو مکلف است در راستای اصل ۴۴ قانون اساسی دارای های قابل واگذاری به بخش خصوصی را پیگیری کند و درآمد حاصل از آن را برای تکمیل شبکه های توزیع آب در بخش کشاورزی اختصاص دهد.

ششمین جلسه شورای عالی آب

(۱۳۹۰/۲/۲۴): قیمت واقعی آب ذخیره شده در

از آب شرب، تصفیه فاضلاب و حمایت از توسعه گلخانه ها و مدیریت آب های نامتعارف تأکید دارد و افزایش عملکرد در واحد سطح، افزایش بهره وری در تولید محصولات با اولویت محصولات دارای ارزش بالا برای صادرات، ارقام با نیاز آبی کم و سازگار با شوری و رعایت الگوی کشت مناسب منطقه، نصب کنتورهای هوشمند حجمی و توسعه روش های آبیاری نوین را در دستور کار قرار داد.

مطابق مطالب فوق، در تمامی برنامه های توسعه بر تسریع روند خصوصی سازی و کاهش تصدی گری دولت تأکید شده است اما نه تنها این هدف ها برآورده نشده اند بلکه برای شناخت علت شکست و آسیب شناسی برنامه های پیشین کاری صورت نگرفته تا در برنامه های بعدی این مشکلات رفع شود. نکته مهم دیگر تأثیر گذاری تحولات سیاسی داخل کشور بر روند اجرا و پیگیری برنامه ها است؛ متأسفانه با تغییر دولت بسیاری از روندهای اجرای برنامه توسعه کم اثر می شود یا اینکه دیگر از قاطعیت لازم برای اجرای آنها خبری نیست. در برنامه های توسعه، تقسیم کار بین بخش دولتی و خصوصی اجرا نشده و در نظام برنامه ریزی به مشارکت فعالان اصلی بخش خصوصی و ذی نفعان نیز توجه نشده است؛ زیرا نظام برنامه ریزی در برنامه های توسعه عمدتاً به شکل دستوری برنامه ها تأکید دارد (Barmaki, 2014). به نظر می رسد کلی بودن قوانین و مقررات، پایش و ارزیابی نشدن آنها در حین اجرا، و پرداختن غیرتخصصی به موضوعات از عمده ترین دلایل نرسیدن به هدف های مورد نظر بوده است (Jabbari & Marani, 2009). ریشه برخی از این هدف های کلی در رویکرد پدرسالارانه دولت دارد که عملاً مجالی برای اقدامات دولتی وجود ندارد و بیشتر جنبه ارشادی دارند (مانند تعیین و اصلاح الگوی

مخزن سد برای مصارف مختلف با رعایت بند الف ماده ۳۳ قانون توزیع عادلانه آب اعمال و مابه‌التفاوت قیمت تمام‌شده و قیمت تکلیفی آن به‌منظور کنترل مصرف آب، تشویق سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و همچنین فراهم شدن شرایط فروش اموال، به پیشنهاد وزیر نیرو و همکاری وزارت امور اقتصادی و دارایی به مصرف برسد.

هشتمین جلسه شورای عالی آب
(۱۳۹۲/۷/۲). توسعه شبکه‌ها منوط به احراز شرایط زیر است:

الف: بازنگری در طرح‌های مطالعاتی و اجرایی شبکه‌ها بر مبنای تخصیص به‌هنگام شده آب.

ب: سرمایه‌گذاری و تأمین منابع ملی کارآمد برای احداث شبکه‌های آبیاری با مشارکت آب‌بران و تشکل‌های بهره‌برداران و بخش خصوصی.

ج: بهره‌برداری از طرح‌های شبکه‌های آبیاری توسط تشکل‌های آب‌بران و بخش خصوصی

سی و دومین جلسه شورای عالی آب
(۱۳۹۶/۱۰/۱۸): اینکه باید اقتصاد آب اصلاح شود و اقدامات بنیادین انجام شود منطقی است و باید سیاست‌های لازم در این زمینه تبیین شود، ولی شرایط اجتماعی-سیاسی کشور در حال حاضر برای این امر مساعد نیست؛ باید برای این کار برنامه‌ریزی شود و طی یک دوره درازمدت تغییرات به‌صورت تدریجی انجام پذیرد.

بررسی موضوعی جلسات شورای عالی آب نشان می‌دهد بیشتر تمرکز و مصوبات این شورا مربوط به تأمین آب شرب و صنعت کشور و استفاده از منابعی مانند انتقال آب دریا به کویر، شیرین کردن آب دریا، بارورسازی ابرها، استفاده از آب‌های ژرف و انتقال آب بین حوضه‌ای است که اجرای آنها از دید بسیاری از کارشناسان، غیراقتصادی یا همراه با پیامدهای

محیط زیستی است. مصوبات این شورا در زمینه آب کشاورزی بعضاً مصوباتی تکراری هستند و به این معنی است که مصوبات قبلی اجرایی نشده است. هدف اصلی از شکل‌گیری شورای عالی آب هماهنگی سیاست گذاری بوده است؛ اما شرح وظایف آن با وظایف حاکمیتی وزارت نیرو تداخل اساسی دارد و در عمل این شورا به میانجی مناقشات بین بخشی دولت و سیاست‌گذار تبدیل شده است (Presidential Center for Strategic Studies, 2020).

دستورالعمل‌ها، بخش‌نامه‌ها و مصوبات هیئت وزیران

ماده ۵ موافقت‌نامه سه وزیر، مصوب ۱۳۶۹

طبق این موافقت‌نامه مقرر شد شرکت‌هایی برای بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری با مشارکت وزارت نیرو و جهادکشاورزی به میزان ۵۱ درصد سهام خصوصی و ۴۹ درصد سهام مشترک بین دو نهاد فوق برای بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های ایجاد شود. تا سال ۱۳۷۰، هفده شرکت به ثبت رسید اما عموماً سهام این شرکت‌ها بدون مشارکت وزارت کشاورزی و مصرف‌کنندگان آب تشکیل شد و سهام دولتی این شرکت‌ها متعلق به وزارت نیرو بود. برای تأمین ۵۱ درصد سهام باقی‌مانده نیز از مشارکت نهادهای وابسته به سازمان‌های آب منطقه‌ای استفاده شد (Pourzand, 2004). بر اساس بند الف تبصره ۴ قانون بودجه سال ۱۳۷۶ در راستای عملیاتی کردن سیاست‌های اصل ۴۴ قانون اساسی، شرکت مدیریت منابع آب ایران موظف به واگذاری صد درصد سهام شرکت‌های بهره‌برداری از شبکه‌ها به بخش خصوصی شد اما عملاً تا سال ۱۳۸۷ هیچ واگذاری صورت نگرفت (Jabbari & Marani, 2009).

در اجرای این فرایند واگذاری باید توجه داشت

این مجموعه مشتمل بر ۶ ضابطه به شرح زیر است:

- دستورالعمل تشخیص صلاحیت
- دستورالعمل ارجاع کار
- دستورالعمل کنترل کمی و کیفی
- پیمان همسان خدمات بهره برداری و نگهداری
- دستورالعمل نحوه تعیین حق الزحمه
- شرح وظایف

مجموعه ضوابط و مقررات مربوط به شرکت های بهره برداری و نگهداری از شبکه ها با اتخاذ رویکردی یکپارچه به همه مقوله های واگذاری خدمات بهره برداری و نگهداری به شرکت های خصوصی، توسط سازمان برنامه و بودجه برای اجرا به وزارت نیرو ابلاغ شد اما به جز بخش تشخیص صلاحیت شرکت ها، سایر بخش ها به مرحله اجرا نرسید. یکی از مشکلات ذاتی تدوین این دستورالعمل، تبدیل بسیاری از عملیات کیفی در بهره برداری و نگهداری شبکه ها به مقادیر کمی، برای ارزیابی و پرداخت هزینه و دستمزدها بود. از آنجا که در زمان تصویب این دستورالعمل هنوز شرکت ها به صورت نیمه دولتی اداره شده و زمان زیادی از تدوین آن گذشته، نیاز است تا این دستورالعمل با توجه به تجربه های یک دهه خصوصی سازی در طرح های آب، به روزرسانی شود تا گامی مثبت در شفاف سازی قراردادهای بهره برداری، نظارت و کنترل بر عملکرد شرکت های خصوصی برداشته شود.

دستورالعمل تشخیص صلاحیت شرکت ها در بهره برداری و نگهداری از شبکه های آبیاری و زهکشی

خدمات بهره برداری، نگهداری و مدیریت شبکه ها تا سال ۱۳۷۲ به صورت امانی بر عهده شرکت های آب منطقه ای، به عنوان دستگاه اجرایی، بود. از آن سال به بعد با تأسیس شرکت های بهره برداری،

که این شرکت ها معمولاً در قالب شرکت سهامی خاص و تابع قوانین تأسیس و اساسنامه خود هستند که پس از خصوصی سازی قوانین تجارت، کار و تأمین اجتماعی، قانون ثبت شرکت ها، قانون بخش تعاون و اقتصاد و ... برای آن ها لازم الاجرا خواهد بود، از این رو در اجرای روند خصوصی سازی نخستین گام اصلاح ساختار قانونی متناسب با وضع جدید شبکه های آبیاری است (Karimi & Shahnejad, 2017).

شرکت های بهره برداری از شبکه، تأسیس شده در سال ۱۳۷۰، از ابتدا ماهیتی نیمه دولتی داشتند که پس از الزام دولت به واگذاری سهام خود به بخش خصوصی، این سهام عموماً بین شرکت های سهام دار قبلی و به صورت ضربداری تقسیم شد، بدین ترتیب همان شرکت های وابسته به وزارت نیرو صاحب باقی مانده سهام دولت شدند و عملاً بخش خصوصی جدیدی وارد عرصه بهره برداری در این شبکه ها نشد. تغییرات به وجود آمده در فرایند خصوصی سازی فقط در مالکیت سهام شرکت ها اعمال شد و در مدیریت، ساختار، نحوه ارجاع کار و شیوه بهره برداری تغییر محسوسی به وجود نیامد.

مجموعه ضوابط و مقررات مربوط به شرکت های بهره برداری و نگهداری از شبکه های آبیاری و زهکشی

در راستای ارتقا کیفیت خدمات و کاهش حجم تصدی گری دولت، کارهای پشتیبانی و خدمات شبکه های آبیاری به بخش خصوصی واگذار شد. به منظور فراهم آمدن زمینه این واگذاری ها نیاز بود تا ضوابط و مقررات اجرایی نحوه ارجاع کار و نظارت بر عملکرد این شرکت ها تدوین شود. مجموعه ضوابط مذکور در سال ۱۳۸۳ از سوی سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور به وزارت نیرو ابلاغ شد.

این دستورالعمل به صورت کلی است و برای ارزیابی تحقق هدف‌های خصوصی سازی و شاخص‌های تخصصی مرتبط با آن چارچوبی در نظر گرفته نشده است. از طرفی، اغلب داده‌های مورد نیاز محاسبه شاخص‌های این دستورالعمل‌ها، به دلیل نبود نظام جامع ارزیابی عملکرد به صورت منظم جمع‌آوری و ثبت نمی‌شوند.

راهنمای برون‌سپاری در صنعت آب و برق

این راهنما بر اساس مدل چرخه عمر برون‌سپاری^۱ تنظیم شده که مبنای تولید استاندارد ISO37500 در جهان است و در سال ۲۰۱۴ میلادی از سوی سازمان استاندارد جهانی^۲ (ISO) معرفی و در سال ۱۳۹۵ توسط دفتر معاونت تحقیقات و منابع نیروی انسانی وزارت نیرو تهیه و ابلاغ شده است (Ministry of Energy, 2016). این مجموعه در برگرفته مفاهیم متداول برون‌سپاری برای بهبود درک همه ذی‌نفعان از طریق تامین مجموعه‌ای از رویه‌هایی است که می‌تواند برای مدیریت چرخه عمر برون‌سپاری استفاده شود. فرایند برون‌سپاری در این مدل در چهار مرحله تحلیل راهبرد، شروع و انتخاب، انتقال و تحویل ارزش دنبال می‌شود. رعایت چارچوب مذکور برای حصول اطمینان کارفرما و تامین‌کننده در مشخص کردن الزام‌ها و تحقق هدف‌های برون‌سپاری توصیه شده است.

مستندات بین‌المللی اصلاحات نهادی آب با رویکرد خصوصی سازی

برای حل همه مشکلات راهی واحد وجود ندارد و کشورهای مختلف، اصلاحات در زمینه آب را با توجه به شرایط خود طراحی و اجرا کرده‌اند، از این رو استفاده از تجربیات این کشورها با در نظر گرفتن ظرفیت‌های سیاسی، اجتماعی و اقلیمی کشور می‌تواند در افزایش موفقیت خصوصی سازی مفید

خدمات یادشده از سوی شرکت‌های آب منطقه‌ای به این شرکت‌ها به عنوان تأمین‌کننده خدمات فنی بهره‌برداری و نگهداری ارجاع شد و در جریان فعالیت این شرکت‌ها موضوع تشخیص صلاحیت این شرکت‌ها از سوی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور نیز مطرح شد. وزارت نیرو سه سال پس از تهیه مجموعه ضوابط و مقررات مرتبط با شرکت‌های بهره‌برداری از شبکه‌ها دستورالعمل تشخیص صلاحیت شرکت‌ها را اصلاح و در سال ۱۳۸۶ برای اجرا ابلاغ کرد. عوامل مؤثر در تشخیص صلاحیت شرکت‌ها عبارت بودند از وضعیت تحصیلی و تجربه مفید افراد فنی لازم شرکت، تداوم کار افراد فنی شرکت، تجربه مدیریتی مدیرعامل شرکت در امور بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌ها، سوابق قبلی شرکت متقاضی در امور بهره‌برداری از شبکه‌ها و تجهیزات و ماشین‌آلات شرکت.

شرکت‌ها بر اساس موارد فوق امتیازبندی می‌شوند و در صورت کسب حدنصاب لازم، برای آنها گواهینامه صلاحیت در امر بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری صادر خواهد شد.

راهنمای ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری و زهکشی

این راهنما، تحت عنوان ضابطه شماره ۳۸۶ را امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در سال ۱۳۹۴ تهیه کرده است. در این دستورالعمل مبانی کلی ارزیابی عملکرد، شاخص‌های ارزیابی عملکرد، روش شناخت طرح، ارزش‌گذاری کیفی شاخص‌ها و توصیه‌هایی در مورد بازسازی، بهسازی و نوسازی طرح‌های ارزیابی شده ارائه شده است تا به عنوان ابزاری برای مدیران و سیاست‌گذاران، آنها را از نقاط ضعف نرم‌افزار و سخت‌افزاری سامانه‌های آبیاری آگاه کند.

- قانونی مستحکم برای سازمان های کشاورزی
- حقوق آب مشخص همراه با ضمانت اجرای قوانین
- سرمایه گذاری برای رساندن شرایط فیزیکی شبکه به حالت استاندارد قبل از واگذاری
- ایجاد یک سیستم حساسی و حسابداری حرفه ای برای ایجاد شفافیت مالی
- ایجاد فرهنگ مشارکت بین دولت و سازمان بهره بردار

فرانسه: در این کشور نقش نظارتی و قانونی دولت در پروژه های آبیاری افزایش و در سرمایه گذاری محدود شده است؛ در حالی که نقش نهادهای سیاسی محلی و منطقه ای در سرمایه گذاری و تصمیم گیری در حال افزایش است. قانون آب در فرانسه در سال ۱۹۹۲ باهدف مدیریت متوازن منابع آب به عنوان یک دارایی ملی اصلاح و در سال ۱۹۹۴ با وحدت منابع آبی و مدیریت از طریق واحدهای منطقه ای اصلاح و تکمیل شده است. مدیریت آب در فرانسه از طریق شرکت های آب منطقه ای، مدیریت مشارکتی و مدیریت فردی اجرا می شود. در حال حاضر دولت از مدیریت و بهره برداری زیرساخت ها خارج شده است اما به دلیل سرمایه گذاری های عظیمی که در طرح های بزرگ صورت پذیرفته، دولت نقش نظارتی خود را افزایش داده است زیرا بهره برداری بلندمدت این طرح ها با معیارهای سودآوری بخش خصوصی مغایر است و عواقب نگهداری نامناسب شبکه ها ممکن است زمانی ظهور کند که خیلی دیر شده است (ICID, 1992). در این کشور کشاورزان خرید خدمات از پیمانکاران خصوصی را به دلیل شفافیت در خرید و ارائه خدمات پذیرفته اند و طی دو دهه تمديد شده است (Svendsen et al., 2003).

باشد. در مرور منابع کشورهای متعددی بررسی شدند که برای نمونه از میان کشورهای توسعه یافته، آمریکا به عنوان کشوری پیشگام و با سابقه در خصوصی سازی انتخاب شد و فرانسه به دلیل شباهت بخشی از خصوصی سازی آن به ایران از لحاظ به کارگیری شرکت های بهره برداری با حفظ مالکیت زیرساخت ها. از میان کشورهای در حال توسعه نیز شیلی و مکزیک به دلیل سابقه موفق و طولانی در انتقال مدیریت آبیاری و فراوانی مقالات موجود در خصوص عملکرد بخش خصوصی آنها و هند و ترکیه به عنوان کشورهای نزدیک و همسایه ایران انتخاب شدند که گام های اساسی برای جذب سرمایه و خدمات غیردولتی برداشته اند.

آمریکا: انتقال امکانات اداره آبیاری آمریکا از مدیریت کل سیستم آبیاری به بلوک های آبیاری، درس های ارزشمندی را در زمینه پتانسیل بالقوه و پایداری مدیریت کشاورزان ارائه می دهد؛ مطالعه در طرح ۲۳۰ هزار هکتاری حوضه رودخانه کلمبیا و عملکرد واگذاری آن مبین این امر است (Svendsen & Vermillion, 1994). خدمات آبیاری در قبل و بعد از واگذاری این طرح از کیفیت بالایی برخوردار بود (چند سال اول پس از آن شواهدی در مورد کاهش بهره وری فنی نمایان شد که مربوط به یک دوره یادگیری برای مدیریت جدید بود و این باید در هنگام قضاوت عملکرد طی چند سال از مدیریت قبلی به مدیریت جدید در نظر گرفته شود). دولت آمریکا برای انتقال پایدار مسئولیت بهره برداری شرایط زیر را فراهم آورد (Meinzen-dick & Reidinger, 1995).

- سیاستی روشن و پایدار و الزام مدیران به پیگیری فرایند انتقال مدیریت آب
- استقلال مالی برای سازمان های مدیریت آب

شیلی: آب در این کشور یک منبع ملی برای استفاده عمومی است که مطابق با قانون آب، حق استفاده از آن به افراد یا شرکت‌های خصوصی داده می‌شود. تخصیص آب از طریق بازارهای مربوط به حقوق آب قابل تجارت در شیلی باعث استفاده کارآمد از آب شده است و جایگزینی محصولات با ارزش بالا (مصرف آب کمتر در واحد ارزش اقتصادی تولید) را تسهیل کرده است، حق استفاده از آب ممکن است به‌طور مستقل از زمینی که در آن معامله می‌شود، معامله شود و انتقال یابد. این سیاست باعث شد که بدون ایجاد زیرساخت جدید، تراز تجاری کشاورزی^۱ طی ۱۹ سال از ۵۰۰- میلیون دلار، به ۱۵۰۰ میلیون دلار برسد. سیاست‌های آبی اعمال شده در شیلی بیشتر به دلیل قیمت‌گذاری مناسب و انتقال غیرقابل اتصال آب و زمین باعث شد کشاورزان این کشور بهره‌وری خود را افزایش دهند و به ازای مقدار آب مشابه (یا حتی آب کمتر) تولید بیشتری داشته باشند (Gazmuri, 1994). در این کشور حق مالکیت شبکه به طرق مختلف به کاربران آب واگذار شده است.

مکزیک: شرایط بحرانی و مدیریت سامانه‌های آبیاری انگیزه تحولات گسترده در مکزیک را فراهم آورد. در اواخر دهه ۱۹۸۰ حدود ۱/۵ میلیون هکتار از زمین‌های تحت پوشش شبکه‌های آبیاری مکزیک به دلیل نبود بودجه لازم برای تکمیل زیرساخت‌ها و بهره‌برداری و نگهداری از شبکه، از چرخه تولید خارج شد. با کمک بانک توسعه بین آمریکایی^۲ پروژه‌ای با سه هدف عدم تمرکز و انتقال مناطق آبیاری به سازمان‌های مصرف‌کننده آب، خودکفایی در جمع‌آوری هزینه‌های بهره‌برداری و بهره‌وری

تخصیص بودجه آغاز شد. نخست مسئولیت تعمیر و نگهداری از کانال‌ها و زهکش‌ها به سازمان دهندگان آب واگذار شد و بعداً این سازمان‌ها از طریق یک شرکت مسئولیت کانال‌های اصلی، ماشین‌آلات و تجهیزات موردنیاز تعمیر و نگهداری را بر عهده گرفتند. برای آموزش کشاورزان و ترغیب آنها به این برنامه، دولت مکزیک از کمپین‌های رسانه‌ای که توسط متخصصان ارتباطات فائو تشکیل شده و مرتبط با دانشگاه‌ها و صنعت بود، به همراه آموزش دقیق کارمندان برای تعمیر و نگهداری استفاده کرد. برای حصول اطمینان از شروع موفقیت‌آمیز و ایجاد اعتماد به نفس، ابتدا مناطقی واگذار شدند که در بهترین وضعیت مالی قرار داشتند. نمونه مکزیک نشان داد که باوجود برنامه‌ای مشخص و پشتیبانی جدی دولت، چقدر می‌توان تغییر ایجاد کرد (Meinzen-dick & Reidinger, 1995). قوانین تصویب شده دارای ظرفیت پیاده‌سازی توسط کاربران و مؤسسات بوده و در یک دوره زمانی طولانی و تدریجی اجرا شد (Bruns et al., 2005).

هند: در این کشور در ایالت ماهاراشترا شرکت‌های آبیاری برای اجرای پروژه‌هایی تأسیس شدند که به دلیل کمبود بودجه ناتمام مانده بودند و دولت پیشنهاد اجرای طرح‌ها از طریق بخش خصوصی را تصویب کرد. دولت برای اجرای هرچه بهتر این کار و حمایت از سرمایه‌گذاری خصوصی شرایط، فرایند و قوانینی را به تصویب رساند که به برخی از آنها اشاره می‌شود:

- سرمایه‌گذار بخش خصوصی باید پروژه آب‌رسانی را با هزینه خود تکمیل کند و پس از بازیابی سرمایه خود از طریق دریافت آب‌بها، ماهیگیری و

1- Agricultural trade balance

2- Co-Financed by Inter-American Development Bank

گذاشت. در این فرایند مالکیت شبکه در اختیار دولت باقی خواهد ماند و فقط مسئولیت بهره برداری، مدیریت و نگهداری شبکه واگذار خواهد شد (مشابه خصوصی سازی در ایران). دلایل موفقیت طرح های انتقال در ترکیه را می توان به شرح زیر خلاصه کرد (Yildirim et al., 2007):

- افزایش رقابت بخش کشاورزی با سایر بخش ها
- رویکرد منطقی قیمت گذاری آب
- تغییر الگوی کشت به سمت محصولات با ارزش بالاتر
- ایجاد چارچوب قانونی برای فرایند انتقال
- تهیه قرارداد مشخص که در آن به وضوح حقوق آب و مسئولیت افراد تعیین شده است
- پرداختن به ارزیابی های مداوم و منظم برای بررسی نتایج عملکرد انتقال مدیریت آبیاری
- در عمده کشورهای با سابقه خصوصی سازی در بخش آب، بسیج حمایت سیاسی در بالاترین سطوح نقش های اجرایی و قانون گذاری به عنوان عامل اصلی موفقیت در اصلاحات بیان شده است و پیشنهاد شده به جای تنظیم مدل های سخت و پیچیده کشورهای توسعه یافته از چارچوب قانونی ساده و انعطاف پذیر استفاده شود (Meinzen-Dick, 1997, 2007; Vermillion & Sagardoy, 1999). در جدول ۱ تفاوت های موجود در ساختار اصلاحات نهادی آب در ایران با تجربیات فوق مقایسه شده است.

گردشگری، پروژه را به دولت انتقال دهد.

- زمین طرح توسط دولت تملک می شود، اما سرمایه گذار اجازه دارد که از مزایای اقتصادی آن استفاده کند.
- برای حوادث خارج از کنترل سرمایه گذار، در اسناد مناقصه پیش بینی لازم بشود.
- اصلاحات قانونی لازم برای اخذ آب بها توسط سرمایه گذار بخش خصوصی اجرا شود.
- مالیات بر خدمات از سرمایه گذار بخش خصوصی اخذ نمی شود.
- در صورت نیاز به واردات ماشین آلات و تجهیزات، سرمایه گذار از پرداخت مالیات غیرمستقیم معاف است.
- سرمایه گذاران از پرداخت حق امتیاز استفاده از معادن برای اجرای طرح معاف هستند.
- مشاهده می شود که دولت هند با حمایت قانونی و اعطای مشوق های مالی و خدماتی باعث تقویت شرکت های خصوصی، پایداری مالی و سرعت در اجرای عملیات واگذاری با حذف بروکراسی اداری شده است (Government of Maharashtra, 2003).
- ترکیه:** در کشور ترکیه دو سازمان دولتی، یکی اداره دولتی هیدرولیک^۱ (SHW) و دیگری اداره کل خدمات روستایی^۲ (GRDS) مسئول توسعه خدمات آب و خاک هستند. ترکیه از سال ۱۹۹۳ با مشارکت بانک جهانی برنامه انتقال سریع را بدون تأخیر باهدف افزایش بازده و کاهش بار مالی دولت به اجرا

جدول ۱- تفاوت‌های موجود در ساختار اصلاحات نهادی آب کشاورزی در ایران و برخی کشورها

Table 1. Differences in the structure of institutional reform of water in the agricultural sector in Iran and some countries

نام کشور country	سیاست‌های حقوقی در اصلاحات نهادی آب سایر کشورها Legal policies in the institutional reform of water in other countries	موانع سیاسی و سازمانی ایران در اصلاحات نهادی آب Iran's political and organizational barrier to institutional reform of water
آمریکا America	وجود سیاست روشن و پایدار و الزام مدیران به اجرای فرایند انتقال مدیریت آب a clear and consistent policy mandating irrigation management transfer	مقاومت مدیران و مسئولان شرکت‌های آب منطقه‌ای در اجرای سیاست خصوصی‌سازی و فرایند انتقال مدیریت آب Resistance of managers and officials of regional water companies in the implementation of privatization policy and water management transfer process
فرانسه France	سرمايه‌گذاری برای رساندن شرایط فیزیکی شبکه به حالت استاندارد قبل از واگذاری investment to bring physical systems up to standard before transfer	واگذاری شبکه‌ها به صورت ناقص قبل از رفع مشکلات سازه‌ای و زیربنایی Transfer of incomplete networks before solving structural and infrastructure problems
شیلی Chile	استقلال و شفافیت مالی شبکه‌های آبیاری financial autonomy for the irrigation system	عدم استقلال مالی و مدیریتی شرکت‌های بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری Lack of financial and managerial autonomy of operating companies irrigation networks
مکزیک Mexico	مدیریت محلی آب توسط سازمان‌ها و پیاده‌سازی سیاست‌ها با توجه به شرایط فیزیکی و پتانسیل هر منطقه Local water management by organizations and implementation of policies according to the physical conditions and potential of each region	اجرای سیاست‌ها و قوانین یکسان برای کل کشور بدون توجه به تنوع ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی Policies and laws the same for the entire country, regardless of the diversity of geographical and climatic features
هند India	قیمت‌گذاری مناسب آب از طریق ایجاد بازار آب مستقل از زمین adequate pricing and unlinked transferability of water and land	پایین بودن قیمت آب و اتصال آن به زمین و عدم امکان فروش آب Low water price, its connection to land and impossibility of selling water
ترکیه Turkey	طراحی سیستم حقوقی دارای ظرفیت اجرایی در حد کشاورزان و مؤسسات بهره‌بردار the design of a water rights system with the implementation capacity of the users and institutions	تصویب قوانین بدون ضمانت اجرایی و خارج از توان دولت و ذی-نفعان Passing laws without executive guarantees and beyond the capacity of the government and stakeholders
	اجرای اصلاحات سیستم حقوقی آب به صورت تدریجی در طی دو دهه Reform of water rights system gradually and realistically over two decades	تغییر نظام حقوقی آب کشور در سال ۱۳۴۷ بدون ایجاد آمادگی و زیرساخت‌ها در دولت و کشاورزان Changing the legal system of water in 1347 (1968) without creating preparations and infrastructure in the government and farmers
	سرمايه‌گذاری بخش خصوصی در پروژه‌های آبرسانی و بازپرداخت هزینه‌ها از طریق سود پروژه Private sector investment in irrigation projects and recover the said investment through water charges	سرمايه‌گذاری نکردن بخش خصوصی در فرایندهای اجرای طرح‌های آبیاری به دلیل بازدهی پایین طرح‌های آبیاری Non-investment of the private sector in the implementation processes of projects due to low efficiency of irrigation schemes
	ایجاد چارچوب قانونی برای فرایند انتقال مدیریت آبیاری Create a legal framework for irrigation management transfer process	تغییر نکردن قوانین آب کشور از سال ۱۳۶۱ همگام با تغییر سیاست‌های دولت در مدیریت آب No change in the country's water laws since 1361 (1982) at the same time as changing government policies in water management
	ارزیابی‌های مداوم و منظم برای بررسی نتایج عملکرد انتقال مدیریت آبیاری Continuous and regular assessments to evaluate the results of irrigation management transfer performance	فقدان چارچوب ارزیابی مناسب برای بررسی سیاست‌های خصوصی‌سازی شبکه‌های آبیاری Lack of an appropriate evaluation framework to assess the privatization policies of irrigation networks

نتیجه‌گیری

شبکه‌های آبیاری و زهکشی، به تجمیع قوانین و

دستورالعمل‌های مرتبط با این بحث و بررسی

پیامدهای اجرای قوانین و سیاست‌های

در این پژوهش با توجه به اهمیت سیاست

خصوصی‌سازی آب در مدیریت و بهره‌برداری از

حل اختلافات و انطباق با تغییرات عملکردی ساختارها و مسائل روزمره آب کشور را داشته باشند. تجربیات موفق سایر کشورها نشان می دهد که اصلاح و پیاده سازی قوانین جدید فرایندی زمان بر است و این قوانین باید ظرفیت پیاده سازی توسط کاربران و سازمان ها را داشته باشند و اعمال مدل های سازمانی کشورهای توسعه یافته بسته به میزان توسعه منابع آب کشور و در نظر گرفتن ظرفیت های سیاسی، اجتماعی و اقلیمی قابلیت تحقق هدف های خود را دارند. براساس روش شناسی ارائه شده، نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر بر این موارد تاکید می کنند: به رسمیت شناختن بخش خصوصی در قانون توزیع عادلانه آب برای جذب سرمایه و منابع انسانی، اصلاح ماده ۲۸ قانون توزیع عادلانه آب برای ایجاد بازار آب مستقل از زمین در راستای فروش و افزایش بهره وری آب توسط بخش خصوصی، ایجاد ظرفیت برای شبکه های متوسط و کوچک خارج از اصل ۴۴ قانون اساسی برای واگذاری دائم و استفاده از پیمان های ساخت-بهره برداری و مالکیت^۱ (BOO) زیر نظر دولت، ارائه ضمانت نامه معتبر بازگشت سرمایه برای افزایش انگیزه سرمایه گذار خصوصی و به روز رسانی و تصویب مجموعه ضوابط و مقررات مربوط به شرکت های بهره برداری و نگهداری از شبکه (مبتنی بر نتایج پایش عملکرد خصوصی سازی).

خصوصی سازی در طرح های آبی کشور پرداخته شد. نتایج بررسی ها نشان می دهد به رغم وجود قوانین و مصوبات برای جذب سرمایه بخش خصوصی، زمان بر بودن دوره اجرای طرح های آبی، پایین بودن سود سرمایه گذاری در بخش آب نسبت به سپرده گذاری در بانک ها و بی اطمینانی از بازگشت سرمایه مانع از سرمایه گذاری در این طرح ها شده است و قوانین موجود عمده تاً بر جنبه های فنی توسعه منابع آب تأکید داشته و به منابع مالی برای اجرای قوانین و پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی آنها کمتر توجه شده است. در قوانین اصلی وزارت نیرو مانند قانون ملی شدن آب ها یا توزیع عادلانه آب، هیچ نقش یا حمایتی برای بخش خصوصی در نظر گرفته نشده است. طبق آیین نامه اجرایی اصل ۴۴ قانون اساسی، دولت مجاز به واگذاری مالکیت شبکه های آبیاری نیست، زیرا زیرساخت های آبیاری صرفاً بنگاه اقتصادی نیستند و ماهیت نامطمئن تأمین آب و تفاوت در تنش های سیاسی به ویژه زمانی که منابع آب محدود و تجدید ناپذیر باشد خصوصی سازی را دشوار می کند. در تدوین برنامه های توسعه کشور و مصوبات شورای عالی آب، برای اینکه مصوبات خود به مسئله تبدیل نشوند باید مشخصه هایی مانند زمان بندی، ضمانت مشارکت سایر سازمان های درگیر، ساز و کار پایش، ساز و کار

مراجع

- Araral, E. (2009). Reform of water institutions: review of evidences and international experiences. *Lee Kuan Yew School of Public Policy Research Paper No. LKYSPP09-013-IWP001*.
- Azad, D., Rastegar, A. F., & Saqi, H. (2009). The main factors affecting the implementation and operation of irrigation and drainage networks. In *3th Iranian Conference on Construction Experiences of Hydraulic structures and Irrigation and Drainage Networks*. Tehran University. Iran. (In Persian)

- Barmaki, A. (2014). *Pathology of development programs after the Islamic Revolution*. Vice-Presidency for Strategic Planning and Supervision. (In Persian)
- Bayat, P., Sabuhi, M., Keikha, A. A., Borazjani, M. A., & Kermani, A. (2016). Effectiveness and reform existing water laws and its influence on the performance of the water sector: path analysis usage. *Eqtesad-e Keshavarzi Va Towse'e*, 24(95), 167-190. (In Persian)
- Bruns, B. R., Ringler, C., & Meinzen-Dick, R. (2005). Water rights reform: lessons for institutional design. *Food Policy Research Institute*. Washington, D.C. <https://doi.org/10.2499/0896297497>
- Civil Law. (1929). indexed on the site of Parliament Research Center. <http://rc.majlis.ir/fa/law/show/97937>. (In Persian)
- Constitution of the Islamic Republic of Iran. (1979). Indexed on the site of Parliament Research Center. <https://rc.majlis.ir/fa/law/show/132239>. (In Persian)
- Davari, K., Rashidi, M., & Khorasni, H. O. (2019). Theneed to revise the law of equitable distribution of water in iran. *Public Policy*, 5(3), 253-269. (In Persian)
- Eghbali, J., Kalantari, K., Asadi, A., & Javid, M. J. (2020). Content analysis the century of water legislation iniran. *Water and Irrigation Management*, 10(1), 113-129. (In Persian)
- Enactments of Supreme Council for Water. Indexed on the site of Iran Water House. <https://waterhouse.ir/swc>. (In Persian)
- Fair Water Distribution Law. (1983). Indexed on the site of Parliament Research Center. <http://rc.majlis.ir/fa/law/show/90679>. (In Persian)
- Gazmuri, R. (1994). Chilean water policy. *Issue 3 of Short report series on locally managed irrigation*. Sri Lanka: IWMI.
- Government of Maharashtra. (2003). Privatization policy: approval for the irrigation projects on build, operate and transfer basis, *Irrigation Department, Government Resolution No BOT 702/(425/02)/MP-1*.
- Hoshariipour, F. (2019). From private ownership in civil law to public ownership in water law and how nationalization it. Retrieved from <https://www.zistonline.com/print/81057>. (In Persian)
- Hosseini, M. S., Kakahhaji, A. A., & Sinaei, S. A. (2006). Fields and legal challenges in transferring the management of irrigation networks to WUAs Case study: Qazvin irrigation network. In *Technical workshop on the management, operation and maintenance of irrigation and drainage networks* (pp. 45–60). (In Persian)
- ICID. (1992). France. French National Committee of ICID. Retrieved from https://www.icid.org/v_france
- Iranian Privatization Organization. (2020). Statistics Annual performance from 1991 to 2019. (In Persian)
- Iran's five-year development plans. The first to sixth development plans. (In Persian)
- Jabbari, E., & Marani, A. J. (2009). Policies and programs to develop farmers' participation in

- the management of irrigation and drainage networks. *IRNCID, Proceedings of the 5th workshop on water users' participation in the management of irrigation system*. Tehran, Iran. (In Persian)
- Karimi, S., & Shahnejad, R. A. (2017). Challenges and barriers to the success of privatization in irrigation and drainage networks. In *5th National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management and 3rd National Congress on Iran*. Ahwaz. (In Persian)
- Law encouraging investment in the country's water projects. (2002). Indexed on the site of Parliament Research Center. <https://rc.majlis.ir/fa/law/show/93820>. (In Persian)
- Law on Establishment of Irrigation Company. (1944). Indexed on the site of Parliament Research Center. <http://rc.majlis.ir/fa/law/show/93667>. (In Persian)
- Marani, A. J. (2018). Requirements for the development of participatory irrigation management. *Shargh Newspaper*. (In Persian)
- Meinzen-Dick, R. (1997). Farmer participation in irrigation: 20 years of experience and lessons for the future. *Irrigation and Drainage Systems*, 11(2), 103–118. <https://doi.org/10.1023/A:1005739528481>
- Meinzen-Dick, R. (2007). Beyond panaceas in water institutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(39), 15200–15205. <https://doi.org/10.1073/pnas.0702296104>
- Meinzen-dick, R., & Reidinger, R. (1995). Participation in irrigation. *Social Development The World Bank*. Washington, D.C.
- Ministry of Energy. (2016). *Outsourcing the water and electricity industry*. Management development and administrative transformation .pages 109. (In Persian)
- Mohamadi, A., & Nazari, R. (2011). Privatization of water industry. In *National Conference on Privatization in Iran*. May 25.Semnan, Iran. (In Persian)
- Molden, D., Sakthivadivel, R., & Samad, M. (2001). Accounting for changes in water use and the need for institutional adaptation. *International Water Management Institute*, 73–87.
- Nodushan, A. A. J. (2016). Balancing water resources in light of amendment to the private property of exploitation right. *Journal Of Researches Energy Law Studies*, 2(1), 31-50 (In Persian).
- Pourzand, A. (2004). Recent efforts to privatize and make competitive the management of operation and maintenance of irrigation and drainage networks. In *Goharan Kavir Conference* (pp. 37–41). Tehran, Iran. (In Persian)
- Presidential Center for Strategic Studies. (2020). Problems of water structures and institutions in Iran. Report 1: Pathology of the Supreme Water Council. No 561:99-130. pages 20. (In Persian)
- Somehsaraee, M. T., Zokaie, M. S., & Fazeli, M. (2020). A historical review on the social dimensions of water law adoption in Iran. *Iran-Water Resources Research*, 16(1), 174-196. (In Persian)
- Svendsen, M., Gonzalez, F., & Johnson, S. (2003). Privatizing canal irrigation. *Irrigation and Drainage*, 52, 95–108. <https://doi.org/10.1002/ird.80>
- Svendsen, M., & Vermillion, D. L. (1994). Irrigation management transfer in the Columbia Basin: Lessons and international implications. *International Irrigation Management Institute*.

Colombo, Sri Lanka.

The Law of Water and its Nationalization. (1968). Indexed on the site of Parliament Research Center. <http://rc.majlis.ir/fa/law/show/96242>. (In Persian)

Vermillion, D. L., & Sagardoy, J. A. (1999). *Transfer of irrigation management services: guidelines*. FAO Irrigation and Drainage (Vol. 58). Retrieved from <http://books.google.com/books?hl=nl&lr=&id=u7sfNdz5exkC&pgis=1>

Yildirim, M., Cakmak, B., & Gokalp, Z. (2007). benchmarking and assessment of irrigation management transfer effects on irrigation performance in Tukey. *Biological Sciences*, 7(6), 911–917. <https://doi.org/10.3923/jbs.2007.911.917>

Analysis of The Privatization of Irrigation Projects in View Point of Legislation and Policy

P. Namdar and A. Parvaresh Rizi*

* Corresponding Author: Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: : parvarsh@ut.ac.ir
Received 6 March 2021, Accepted: 8 May 2021

Extended Abstract

Introduction

Since the 1990 s, a number of countries adopted the transfer policies or irrigation management transfer (IMT), and in some cases, the incentive to reform water laws was provided (Bruns et al., 2005). Making of the investment decisions and water allocation by local and private organizations requires that the water users have confidence in the quantity and time they receive water and this requires the existence of legal transparency. Therefore, water laws should provide a full and indispensable set of rights for use of water (Bayat et al., 2016). In this study, by focusing on the privatization of agricultural water, relevant law clauses were extracted during different periods, and the effectiveness of these rules on management of water resources was analyzed.

Methodology

In this study, the purpose of “law” is all ratification of parliament, official codes, and administrative regulations. Since land containing groundwater resources are usually governed by private management, the focus is on the rules associated with irrigation networks with surface water resources. To implement the study all documents related to water laws, approved by various organizations of the country, included the resolutions and bills of the Islamic Parliament of Iran, national development plans, the resolutions of the Supreme Council for Water, the efforts of the relevant Ministries, and published procedures and executive regulations. Then the material related to the issue of privatizing and reducing the government’s leadership and authority, or common and applicable laws that lacked relevance to privatization issues were extracted from them and, besides international documents in this regard, were analyzed in a descriptive way.

Results and Discussion

Until 1929, water governance issues were solved by the common rule of society in the ownership of wells and qanats. Then, by compiling civil code, water governance was enforced using this law. These rules were used for private management of individuals and before the development of technology and establishment of irrigation and drainage networks. In 1944, with the approval of the law allowing the establishment of the irrigation agency, the individual aspect of irrigation was limited to traditional water rights and the government supervised all irrigation affairs. In this period, for the first time, public and private institutions were allowed to build and invest in irrigation networks. By approving the establishment of companies to exploit lands downstream of the dams, the exploitation of command area of irrigation networks was given to natural persons and non-governmental individuals. After the Islamic revolution, according to the constitution and the approval of the cabinet of ministers, the government was obliged to dispose of its shares in the operation of irrigation networks by maintaining state ownership of the infrastructure. Nevertheless, the devolution of these private companies only occurred in the ownership of the shares and these companies are still dominated by the government in

management, structure and the way of referral. The development plans of the country and the approvals of the supreme council of water have stressed the acceleration of the privatization process and the reduction of government incumbency in water projects, but financial support and the executive program have not been taken into account to meet their goals. The set of criteria for operation and maintenance of irrigation networks was notified to the ministry of power in 2005. However, except for identifying the competence of companies, other parts of it could not be implemented, so it is needed to update these instructions according to the experiences of a decade of privatization in irrigation projects. In the study of international experiences of water reform with the approach of privatization in developed (United States and France) and developing countries (Chile, Mexico, Turkey and India), some cases such as clear and transparent water rights with guarantee the implementation of the rules, financial independence of water custodian, appropriate water pricing, establishing a legal framework for privatization process and conducting regular assessments to evaluate the results of transfer of management is considered as the most important measures in water privatization.

Conclusions

By changing the policy of government from centralization to the participation of the private sector and the stakeholders, the current laws in the field of water resources need to be reviewed. Due to the importance of the subject, in this research, we proceed to aggregation rules and procedures related to this discussion and review the consequences of implementing laws and policies of privatization in irrigation networks. The results showed that although there are laws and regulations to attract private sector capital, the time of implementation of water plans and low investment profits has prevented the private sector investment in this sector. The generality of laws, disregard for restrictions, climatic conditions and political changes in the country (such as change of government), has made the implementation of water development programs less effective. In addition, attracting the full political support at high levels of management and legislation of the country, and the use of simple legal framework with accordance of the capacity of water users, were the main factors in success of pioneer countries in water privatization.

Keywords: Irrigation networks, Operation companies, Privatization, Water laws

تحلیل اقتصادی کاربرد سلول‌های خورشیدی روی دریاچه سدها (مطالعه موردی: سد انحرافی نوروزلو)

میلاد رضائی^۱ و حجت احمدی^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب: کارشناسی ارشد؛ و دانشیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۲۲

چکیده

ایران سرزمینی است کم بارش و با توجه به پیامدهای تغییرات اقلیمی و وجود خشکسالی باید برای رفع کم آبی در کشور از هر راهی جلو هدر رفت آب را گرفت. مطالعات در باره شدت تابش نور خورشید در کشور ایران نشان می‌دهد که به کارگیری برق خورشیدی در ایران مناسب است و می‌تواند بخشی از انرژی مورد نیاز کشور را تأمین کند. در استان آذربایجان غربی هر ساله حجم عظیمی از آب‌ها در اثر تبخیر از دسترس خارج می‌شود. در این تحقیق کاهش تبخیر از سد انحرافی نوروزلو با به کارگیری پنل‌های خورشیدی بررسی شده است. برای این منظور تبخیر واقعی آب دریاچه سد با استفاده از داده‌های ایستگاه کلیما تولوژی سد نوروزلو برآورد و با نرم افزار پی وی سیستم^۱ برآورد میزان بار انرژی خورشیدی در محدوده سد استخراج گردید. پروژه از نظر اقتصادی بررسی و سودآوری آن تحلیل شد. نتایج تحلیل‌ها نشان داد طبق برآوردهای اقتصادی، متوسط هزینه برای خود کفایی برق مصرفی ۱۰۰۰ خانوار اطراف سد حدود ۳۸ میلیارد ریال است. با احتساب درآمد حاصل از کاهش تبخیر و تولید برق، بازگشت سرمایه این فناوری طی ۵/۷ سال میسر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی

الکتریسیته، تبخیر، ذخیره آب، سد انحرافی، سلول خورشیدی

مقدمه

آلودگی محیط زیست را به دنبال دارد؛ بنابراین با توجه به نیاز مبرم مصرف انرژی و افزایش جمعیت و گسترش سطح فناوری‌ها، ساخت و ساز نیروگاه‌ها با فناوری‌های نوین در کشور ضروری است (Turki & Abedi, 2012). در کشور ما به دلیل بارندگی فصلی، آب تا حد زیادی با ذخیره کردن آن در فصل بارش برای فصل‌های کم بارش تهیه می‌شود. این نکته قابل توجه است که سدها هیچ نقشی در افزایش منابع آب سرزمین گرم و خشک ندارند بلکه منابع آب پایدار هر سرزمین به میزان بارندگی پس از تبخیر، جریان‌های ورودی و خروجی از حوضه‌های

انرژی خورشیدی یکی از بزرگ‌ترین سرچشمه‌های انرژی در کره زمین است که فراوان و بدون هیچ هزینه‌ای در بیشتر مناطق جهان قابل دسترس است. کمبود منابع فسیلی و پیامدهای زیست محیطی آن بشر را بر آن داشت تا به سوی استفاده از انرژی پاک رود و در کشورهای با پتانسیل بالای انرژی خورشیدی موجب برپایی رقابت شدیدی میان این دو منابع انرژی شود (Shams et al., 2013). سوخت فسیلی که برای تولید برق در نیروگاه‌ها مصرف می‌شود رو به پایان است و نیز

بهره‌مندی از یک لایه تک مولکولی الکل‌های چرب یا به‌کار بردن موادی چون ستیل الکل مانند هگزا دکانول^۱ و استریل الکل مانند اکتا دکانول^۲ اشاره کرد که به کار بردن پیوسته و مداوم مخلوطی از الکل‌ها کاهش قابل توجهی در تبخیر داشته و کارایی آنها بهتر از کارایی بادشکن و پوشش‌های سایه‌انداز بوده است (Sepaskhah, 2018; Piri et al., 2009). از روش‌های بیولوژیکی می‌توان به استفاده از گیاه عدسک آبی زنده و غیرزنده اشاره کرد که نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد تبخیر سطحی در آکواریوم گیاهی نسبت به آکواریوم غیر گیاهی کمتر است، میزان تبخیر آب در آکواریوم گیاهی و غیر گیاهی به ترتیب برابر ۲۳/۷۵ و ۳۲/۶۰ درصد به‌دست آمده است (Soltani et al., 2015). در روش فیزیکی نیز از پوشش‌های سیاه‌رنگ از جنس پلی‌اتیلن^۳ استفاده و به صورت تک لایه و دو لایه آزمایش شده است، سرانجام کاهش تبخیر روزانه در تشتک با پوشش سایه انداز به صورت تک لایه و دو لایه به ترتیب ۷۵ و ۸۳ درصد برآورد شده است (Alvarez et al., 2006). همچنین با به‌کار بردن ورقه‌های فوم دایره‌ای کاهش تبخیری معادل ۷۴ درصد برآورد شده است (Hasan et al., 2015). مجتمع مس سرچشمه نیز از لاستیک‌های فرسوده به نام یونورینگ^۴ برای کاهش تبخیر استفاده کرد و نتایج نمایانگر کاهش ۷۸/۳۵ درصد تبخیر بود (Afkhami et al., 2017). در پژوهش دیگر از توپ‌های سیاه و سفید برای پوشش مخزن استفاده شد که میزان تبخیر تا یک دبی مشخص، کاهش و با افزایش دبی، افزایشی بوده است و رنگ سفید بیشتر از رنگ سیاه در کاهش تبخیر کارآمد بوده است؛ میزان کاهش نزدیک به ۷۱/۵ درصد برآورد شده است (Rezazade et al., 2017).

مجاور و بخش تجدید پذیر آبخوان‌ها بستگی دارد. از این رو سدها را می‌توان تشتک‌های تبخیری دانست که تا چند کیلومتر ایجاد می‌شوند و میزان تبخیر آب در آنها در هر سال تا میلیاردها مترمکعب می‌رسد (Fereshtepour, 2016).

ایران با توجه به اینکه کشوری آفتابی است و منبع سرشار انرژی خورشیدی محسوب می‌شود، می‌تواند بخش بزرگی از انرژی خود را از تابش پرتو خورشید دریافت کند (Almodaresi & Marzban, 2014). میزان انرژی خورشیدی در کشور ایران زیاد و بنابراین تبخیر آب سطحی از مخزن سدها نیز بالاست. این امر سبب شد تا پژوهشگران برای کاهش تلفات آب چاره‌ای بیندیشند زیرا تبخیر یکی از پارامترهای مهم در چرخه آب است که می‌تواند موجب از بین رفتن بیش از نیمی از بارندگی‌ها شود. در خصوص تبخیر و چگونگی مهار آن داده‌های تئوری فراوانی موجود است، ولی کارهای عملی چندانی در خصوص کنترل تبخیر از سطح مخزن‌های سدها صورت نگرفته است (Farzin & Alizadeh sanami, 2015).

برای کاهش تبخیر آب از سطح مخزن سدها و استخرهای ذخیره آب می‌توان به ذخیره آب در مخزن‌های سرپوشیده، بهره‌مندی از مخزن‌های زیرزمینی، طراحی سد در محلی با کمترین سطح دریاچه و به کارگیری از پنل‌های شناور خورشیدی برای ایجاد پوشش مناسب در برابر تبخیر و تولید هم‌زمان برق خورشیدی اشاره کرد (Nematalahi et al., 2015).

پژوهشگران نیز روش‌های گوناگونی برای کاهش تبخیر آب از سطح دریاچه‌ها بررسی کرده‌اند که در دو دسته روش‌های شیمیایی و فیزیکی یا بیولوژیکی قابل بررسی است. از روش‌های شیمیایی می‌توان به

1- Hexadecanol
3- Poly ethylene

2- Octadecanol
4- Yonoring

بدین ترتیب به کارگیری پوشش‌های سطحی به عنوان راهکار عملی در کاهش تبخیر آب از سطح مخزن‌ها تأیید شده است اما در خصوص عملکرد پنل‌های شناور تولید انرژی و کاهنده تبخیر روی سطح مخزن سدها در کشور، پژوهش‌چندانی صورت نگرفته است. از این رو به بررسی پتانسیل تبخیر و انرژی موجود در منطقه پرداخته می‌شود و امکان به کار بردن پنل‌های خورشیدی، به عنوان راهکاری برای کنترل و حفظ آب از تبخیر و همچنین تولید انرژی پاک در مخزن سد انحرافی نوروزلو بررسی می‌شود.

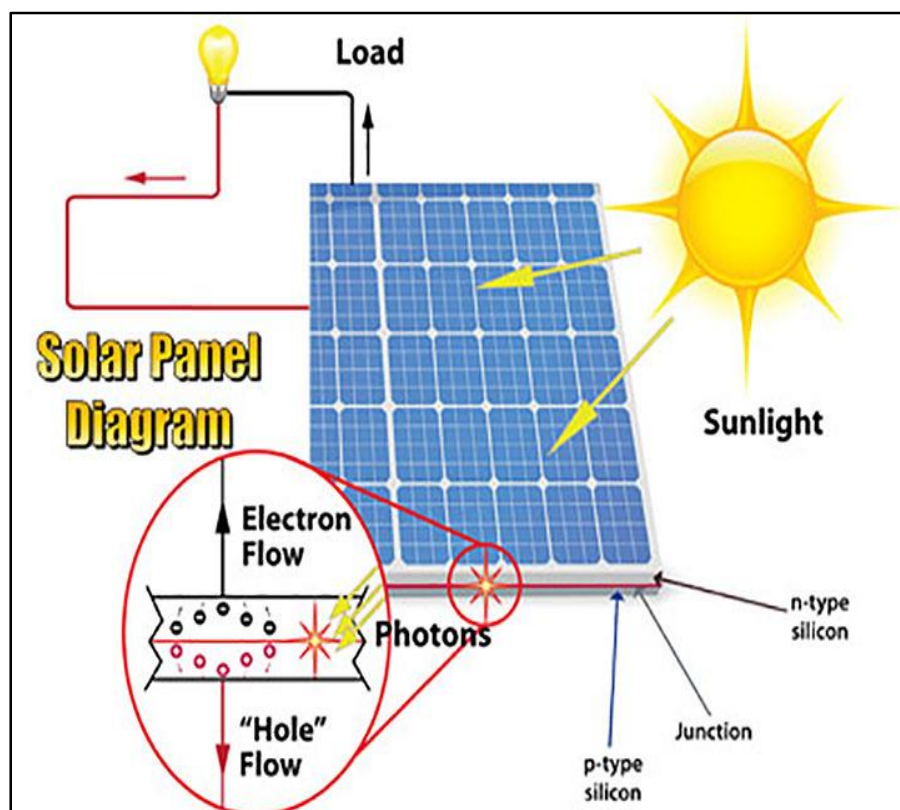
مواد و روش‌ها

سلول‌های خورشیدی

برای آشنایی با پنل‌های خورشیدی می‌توان گفت که پنل‌ها از واحدهای کوچک‌تری به نام سلول‌های خورشیدی (سلول‌های فتوولتائیک) ساخته می‌شوند. بیشتر سلول‌های خورشیدی از سیلیکون ساخته شده‌اند. در هر سلول خورشیدی، ماده ای بنام سیلیکون بین لایه‌های رسانا چفت شده و با چهار پیوند نیرومند به اتم‌های کناری وصل می‌شود که موجب ثابت ماندن الکترون‌ها در جای خود می‌شود، به‌طوری که هیچ جریانی برقرار نمی‌شود. سلول خورشیدی از دو لایه گوناگون تشکیل می‌شود که در شکل ۱ قابل مشاهده است. سیلیکون نوع n الکترون اضافی دارد و سیلیکون نوع p فضاهای خالی ای به نام حفره دارد. الکترون‌ها در سراسر صفحه سرگردان می‌شوند و در یک سمت بار مثبت و در سمت دیگر بار منفی به وجود می‌آید و الکترون‌های در حال حرکت، با یک لایه نازک فلزی جمع آوری می‌شوند و از آنجا در یک مدار خارجی جریان می‌یابند و برق را تأمین می‌کنند (Ganaei, 2017).

در سال‌های اخیر، کشورهایی که اقلیم خشک دارند یا در معرض خشکسالی قرار دارند یا حتی با مشکل کمبود فضا مواجه هستند، به ساخت نیروگاه‌های شناور خورشیدی دست زده‌اند و با نصب سلول‌های خورشیدی شناور روی دریاچه‌ها، تالاب‌ها و مخزن‌ها انرژی تولید کرده‌اند و با توجه به اینکه این نیروگاه‌ها روی آب سایه می‌اندازند باعث محدود شدن رشد جلبک‌ها و کاهش تبخیر می‌شوند. سیستم‌های شناور خورشیدی از لحاظ هزینه در رقابت با سایر سیستم‌های خورشیدی زمینی هستند (Fereshtepour, 2016) در تحقیق صورت گرفته با استفاده از چهار سناریو برای پوشش سطح مخزن‌ها مقدار حجم کاهش یافته سالانه از تبخیر برآورد شده است که در مجموع حجم آب ذخیره شده در اثر نیروگاه‌های خورشیدی شناور با سطح پوشش ۱۰ درصدی، می‌تواند تمام نیاز صنایع منطقه از آب سطحی را پوشش دهد (Fereshtepour et al., 2021).

برق مصرفی مورد نیاز چاه کشاورزی با استفاده از ۱۳۰ متر مربع سلول خورشیدی بدون استفاده از شبکه سراسری، تأمین می‌شود. صرفه جویی حاصل از استفاده از این تکنولوژی طی مدت سه سال و ده ماه هزینه اولیه را جبران می‌کند. باید در نظر داشت این برآورد هزینه فقط برای آب تبخیری در مصارف کشاورزی است. با در نظر گرفتن مقدار آب تبخیری از سدها ضرورت اجرای این طرح بیش از پیش مشخص خواهد شد (Nematalahi et al., 2015). از بین پژوهش‌های صورت گرفته، پوشش دولایه پلی‌اتیلن دارای بیشترین درصد کاهش تبخیر و نیروگاه شناور خورشیدی نیز از هر دو لحاظ کاهش تبخیر و تولید انرژی نسبت به بقیه روش‌ها برتری دارد.

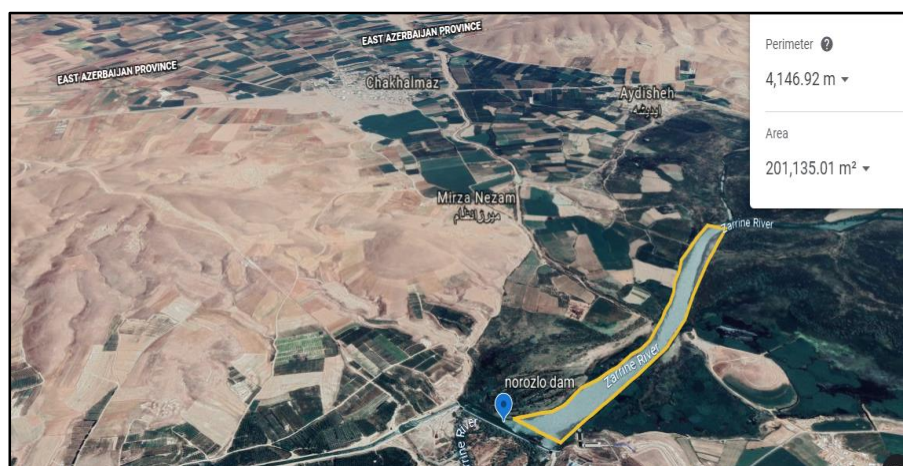


شکل ۱- صفحه خورشیدی و سیلیکون نوع n و p
Fig. 1. Solar panel and silicone types of n and p

موقعیت جغرافیایی سد انحرافی نوروزلو

سد موردنظر روی رودخانه زرینه رود در استان آذربایجان غربی با مختصات جغرافیایی ۳۶/۸۸۶ درجه شمالی و ۴۶/۲۳۹ درجه شرقی در ۱۵ کیلومتری جنوب شهرستان میاندوآب و در ۵۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان بوکان احداث شده است. رودخانه زرینه رود نزدیک مرز ایران و عراق سرچشمه گرفته و پس از طی مسافتی به محل سد می‌رسد و سپس در جهت شمال غربی به طرف شهرستان میاندوآب ادامه مسیر داده و در نهایت به دریاچه ارومیه

می‌ریزد. سد نوروزلو روزانه در پتانسیل بالای تابش (۵۵۰۰-۵۲۰۰) وات ساعت بر مترمربع است. همچنین دارای وسعت خوبی برای پیاده‌سازی پنل‌های شناور است. در نتیجه باید تحقیقات لازم در این باره صورت گیرد و تمام جوانب مد نظر قرار گیرد و در صورت بهره‌وری بالا گام‌های لازم برای بهره‌برداری برداشته شود. در شکل ۲ عکس هوایی سد انحرافی نوروزلو و مکان جاگذاری پنل‌های شناور قابل مشاهده است که گستره حدود ۲۰۰۰۰۰ مترمربع برآورد گردید.



شکل ۲- عکس هوایی سد انحرافی نوروزلو و مکان جا گذاری پنل‌های شناور

Fig. 2. Aerial photo over Nowrouzlu diversion dam and location of floating panels

باد: یکی از عامل‌های اصلی تبخیر است که به موقعیت جغرافیایی و ارتفاع و اقلیم منطقه بستگی دارد (Alizadeh, 1998).

بیشترین سرعت باد در ماه‌های دی و اردیبهشت به ۶ و ۷ کیلومتر در روز رسیده و کمترین سرعت باد حدود ۱ کیلومتر در روز در اکثر ماه‌های سال وزیده است.

تابش و میزان ساعات روشنایی: این عامل به موقعیت جغرافیایی منطقه بستگی دارد و از عامل‌های اصلی تبخیر از سطح آزاد آب است (Alizadeh, 1998). بیشترین ساعات تابش در خرداد ماه دیده شده که به ۱۳/۶ ساعت رسیده است و کمترین ساعات تابش مربوط به ماه‌های فصل پاییز و زمستان و برخی روزهای فصل بهار است که در طول روز هوا کاملاً ابری بوده است.

رطوبت: این عامل به موقعیت جغرافیایی منطقه و بارندگی بستگی دارد (Alizadeh, 1998). بارش موجود در منطقه از عوامل مؤثر بر رطوبت و تبخیر است که بیشترین بارش مربوط به اسفند ماه (۱۴ میلی‌متر) است. در مجموع ۲۳۲/۵ میلی‌متر بارش سالانه گزارش گردید. بیشترین میزان رطوبت در

عوامل مؤثر بر تبخیر

از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق، پارامترهایی مانند دما، بارش، رطوبت، تابش خورشیدی و غیره است (Salahi et al., 2018). از دیگر عوامل می‌توان به مساحت سطح آب، کمبود فشار بخار هوا، سرعت باد، فشار اتمسفر و کیفیت آب اشاره کرد (Sepaskhah., 2018). در این تحقیق، پارامترهای اقلیمی از ایستگاه کلیماتولوژی محدوده سد نوروزلو دریافت و تبخیر و تعرق واقعی آب دریاچه سد نوروزلو برآورد گردید. با به‌کارگیری نرم افزار پی وی سیست، پتانسیل انرژی خورشیدی موجود در منطقه برآورد شد تا بازدهی اقتصادی برآمده از احداث صفحات خورشیدی تولید انرژی با کاهش عوامل مؤثر بر تبخیر از جمله تابش مستقیم خورشید روی سطح آب، دما و سرعت باد برآورد گردد.

دما: عاملی است که به موقعیت جغرافیایی، ارتفاع و اقلیم منطقه بستگی دارد (Alizadeh, 1998). با استفاده از داده‌های موجود در منطقه، کمترین دما در بهمن ماه به ۱۳- درجه سانتی‌گراد و بیشترین دما در تیر ماه به ۴۰ درجه سانتی‌گراد رسید.

ماه‌های آذر و بهمن (حدود ۹۵ درصد) و کمترین آن برای خرداد ماه با ۲۷ درصد گزارش شده است.

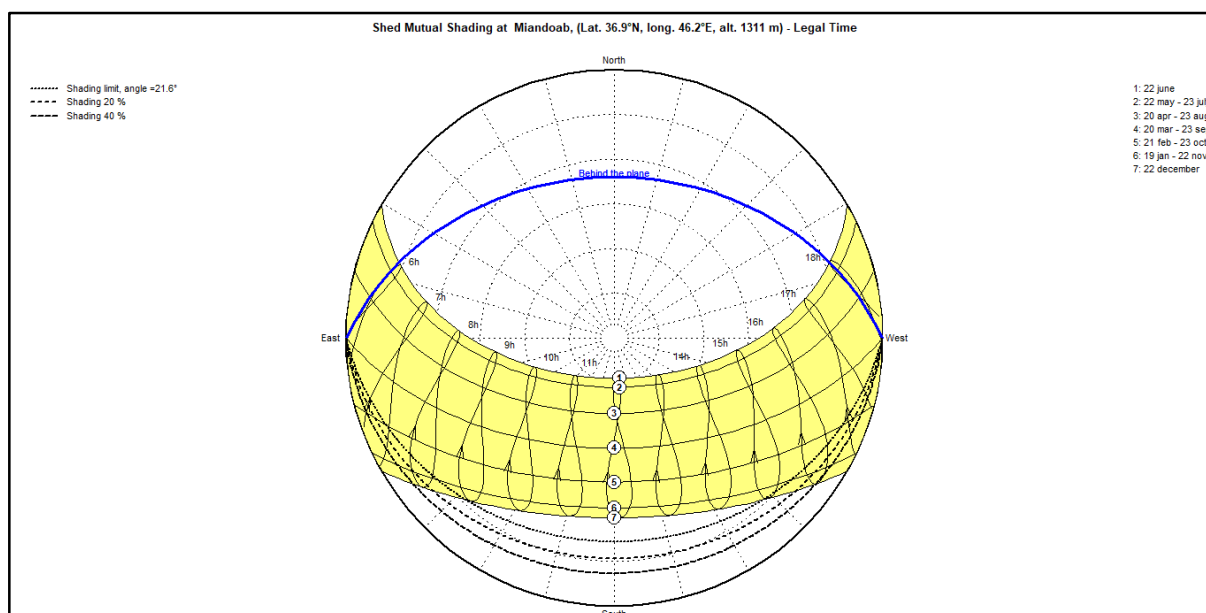
نرم افزار پی وی سیست

با استفاده از این نرم افزار پتانسیل انرژی خورشیدی منطقه و نحوه پیاده سازی پنل‌ها به دست آمد (Shams et al., 2013). شکل ۳ مسیر حرکت خورشید در منطقه را نشان می‌دهد که در آن با توجه به شماره گذاری برای هر مسیر، ماه مربوط در سمت راست بالای شکل مشخص شده است که از روی آن مسیر گذر خورشید در طول روز قابل

مشاهده است. در سمت چپ بالای شکل با توجه به فاصله ۳ متری ردیف پنل‌ها ساعات سایه اندازی پنل‌ها روی همدیگر با بررسی فاصله‌های مختلف مشخص گردید. در جدول ۱ میزان دریافتی انرژی خورشیدی پنل‌ها در حالت افقی، میزان دریافتی انرژی خورشیدی پنل‌ها در حالت زاویه ۳۶ درجه بدون سایه اندازی، میزان دریافتی انرژی خورشیدی پنل‌ها در حالت زاویه ۳۶ درجه با سایه اندازی و انرژی تولیدی از سیستم برحسب کیلو وات برای ماه‌های سال استخراج گردید.

جدول ۱-میزان دریافتی انرژی خورشیدی در منطقه
Table 1. Solar energy generation in the region

پارامتر Parameter	میزان انرژی دریافتی پنل‌ها در زاویه افقی The amount of energy received by the panels at a horizontal angle	میزان انرژی دریافتی پنل‌ها در زاویه ۳۶ درجه The amount of energy received by the panels at an angle of 36 degrees	میزان انرژی دریافتی پنل‌ها در اثر سایه اندازی The amount of energy received by the panels due to shading	انرژی روزانه خروجی سیستم Out put of energy	انرژی سالانه خروجی سیستم Anually energy	انرژی روزانه مورد نیاز خانگی Daily domestic energy requirement	انرژی روزانه اضافه سیستم Extra energy, daily	کمبود انرژی روزانه سیستم Daily nergy shorgate
ماهانه	kWh/m ² .day	kWh/m ² .day	kWh/m ² .day	kWh/day	kWh	kWh/day	kWh/day	kWh/day
دی	2.63	4.75	4.6	1473	45663	2000	0	-527
بهمن	3.74	5.72	5.59	1790	50114	2000	0	-210
اسفند	4.93	6.38	6.24	1997	61911	2000	0	-3
فروردین	6.07	6.58	6.42	2053	61601	2000	53	•
اردیبهشت	7.4	6.97	6.81	2179	67534	2000	179	•
خرداد	8.38	7.33	7.16	2292	68754	2000	292	•
تیر	8.00	7.21	7.04	2253	69848	2000	253	•
مرداد	4.48	7.53	7.38	2361	73191	2000	361	•
شهریور	6.31	7.57	7.45	2382	71459	2000	382	•
مهر	4.51	6.55	6.44	2060	63869	2000	60	•
آبان	3.19	5.52	5.39	1725	51744	2000	0	-275
آذر	2.51	4.63	4.47	1429	44312	2000	0	-571
سالانه	5.44	6.40	6.25	2000	730000	2000	1580	-1586



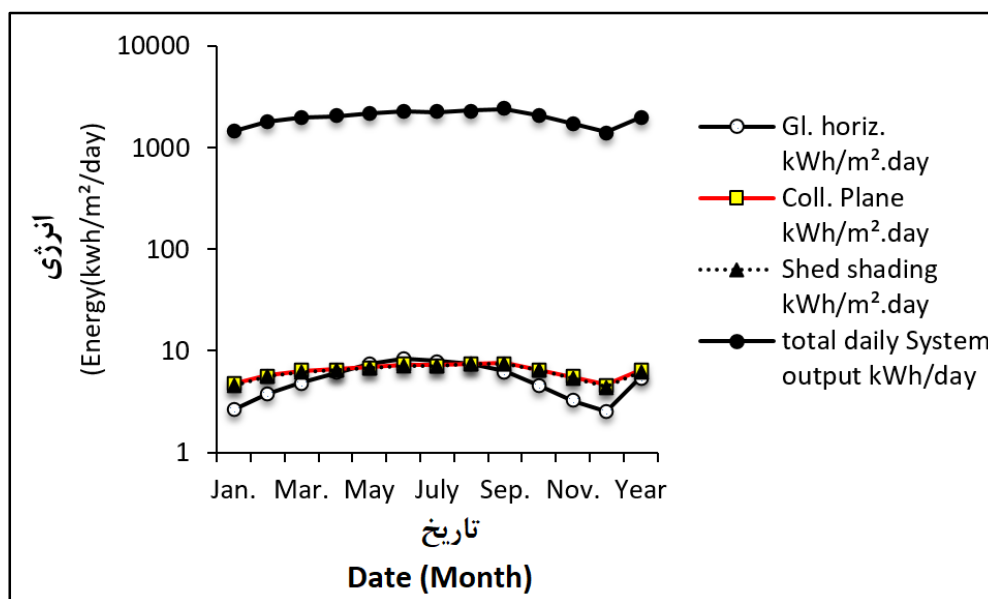
شکل ۳- مسیر حرکت خورشید و ارتفاع آن در محدوده سد در ماه‌های مختلف

Fig. 4. Sun route movement and its latitude in different months

دریافتی ایجاد نمی‌شود.

در عوض با مقایسه میانگین سالانه دو پارامتر در اثر تغییر زاویه از حالت افقی به زاویه ۳۶ درجه روزانه حدود ۱ کیلو وات به انرژی دریافتی سیستم اضافه می‌گردد. با اشاره به پارامتر انرژی روزانه خروجی سیستم نیز در حالت کلی خروجی روزانه سیستم با زاویه ۳۶ درجه برای شهر یور ماه حدود ۲۳۸۲ کیلو وات ساعت بدست آمد که به صورت میانگین سالانه حدود ۲۰۰۰ کیلو وات ساعت در هر روز انرژی قابل دریافت است. این نشانگر آن است که برنامه ریزی صورت گرفته توانایی آن را دارد که کمبود انرژی به وجود آمده به خاطر شرایط آب و هوایی و دریافتی انرژی را جبران کرده و از این بابت مستلزم هیچ هزینه مازاد از بابت هزینه خرید سوخت از شرکت نفت و یا خرید برق از اداره توزیع برق نگردد.

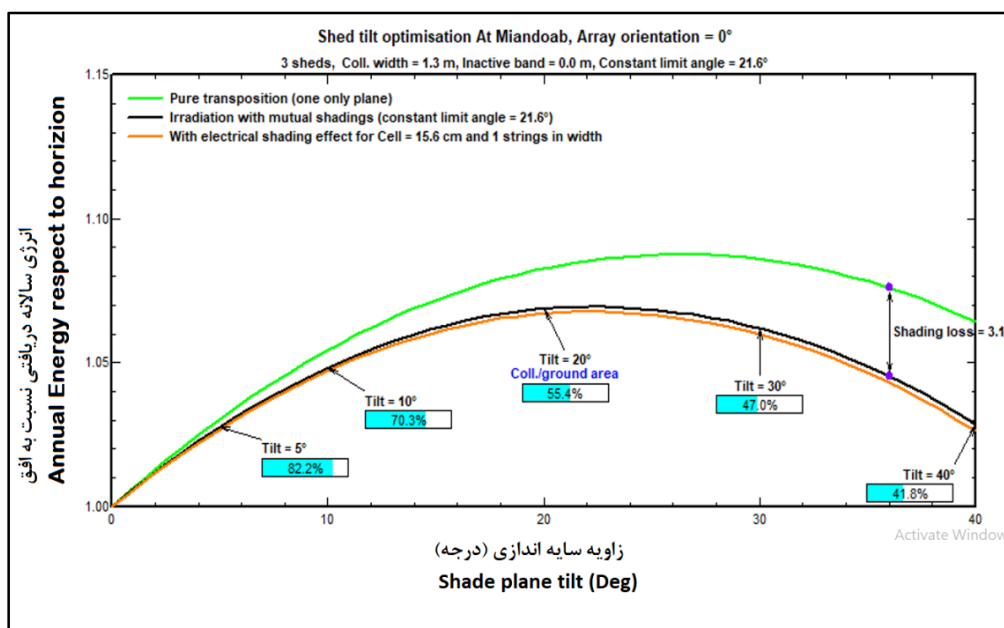
شکل ۴ برای مقایسه بهتر زاویه قرار گیری پنل‌ها ارائه شده است که در حالت افقی بیشترین انرژی دریافتی در خرداد ماه هست که با انرژی روزانه حدود ۸/۳۸ کیلو وات ساعت در متر مربع بیشترین انرژی را داراست و میانگین سالانه هر روز این پارامتر حدود ۵/۴۴ کیلو وات ساعت در متر مربع می‌باشد در حالی که با جا گذاری پنل‌ها در زاویه ۳۶ درجه بیشترین انرژی دریافتی روزانه در شهریور ماه با انرژی حدود ۷/۵۷ کیلو وات ساعت در متر مربع اتفاق خواهد افتاد با این تفاوت که میزان انرژی دریافتی سیستم در این حالت با قرار گیری پنل‌ها در کنار هم موجب ایجاد سایه روی پنل‌ها خواهد شد و مقداری از این انرژی به این دلیل از دست خواهد رفت ولی این مقدار به صورت روزانه در میانگین سالانه حدود ۰/۱۵ کیلو وات می‌باشد در نتیجه از این بابت مشکل خاصی در کاهش انرژی



شکل ۴- نمودار میزان انتشار و تولید انرژی خورشیدی
Fig. 4. Solar energy production under different states

در نهایت درصد سایه اندازی پنل‌ها روی همدیگر برای فاصله‌های مختلف بررسی و در نهایت ۴۳/۷ درصد با کاهش تولید انرژی ۳/۱ درصد برآورد گردید که در شکل ۵ قابل مشاهده است.

در این تحقیق از الگوی استاندارد با فتاوری سلول‌های پلی کریستال به مساحت ۲ مترمربع با زاویه شیب ۳۶ درجه در جهت تابش خورشید و زاویه سمت صفر درجه با بررسی زاویه‌های مختلف برآورد گردید.



شکل ۵- درصد سایه اندازی پنل‌ها در ۳۶ درجه ارتفاع
Fig. 5. Shading values of panels at the altitude of 36°

نتایج و بحث

با توجه به نتایج استخراجی، پنل‌های خورشیدی در محدوده سد، روزانه به طور متوسط توانایی دریافت انرژی حدود $6/3$ کیلو وات ساعت در متر مربع تحت زاویه ارتفاع 36 درجه و زاویه سمت صفر درجه را دارد. طراحی نیروگاه برای خود کفایی مصرف 1000 خانوار با مصرف برق 2 کیلو وات برآورد گردید. مساحت مورد نیاز برای قرارگیری پنل‌ها حدود 2538 متر مربع محاسبه گردید که تولید انرژی روزانه 2 مگا وات و سالانه 730 مگا وات را خواهیم داشت. کمبود و مازاد انرژی خورشیدی در محدوده سد برای ماه‌های سال در جدول ۱ قابل مشاهده است که با توجه به متصل بودن نیروگاه به شبکه، طراحی طوری تنظیم گردید که کمبود و مازاد انرژی طی سال جبران گردد.

برآورد اقتصادی نیروگاه شناوری خورشیدی دریاچه سد انحرافی نوروزلو

هزینه سرمایه‌گذاری سیستم شامل هزینه خرید سلول‌های فتوولتائیک^۱ و تعادل سازی (هزینه نصب و راه اندازی سازه، آماده سازی و غیره) است. هزینه‌های دستگاه‌های الکتریکی شامل اینورتر^۲، سیم‌کشی و دیگر هزینه‌های نصب و راه اندازی الکتریکی است که برای هر پنل با در نظر گرفتن هزینه‌هایی که اشاره شد حدود سی میلیون ریال برآورد گردید. با توجه به نتایج استخراجی به تعداد 1269 پنل برای تامین برق 1000 خانوار نیاز است. همچنین بر اساس داده‌های اقلیمی ایستگاه

کلیماتولوژی، تبخیر و تعرق منطقه برای سال $(98-99)$ مقدار $935/5$ میلی‌متر به دست آمد. حجم آب مخزن پشت سد نوروزلو 14 میلیون مترمکعب است و مساحت برآوردی از نرم افزار گوگل ارس حدود 20000 متر مربع است. با اختصاص مساحت حدود 2538 مترمربع از مخزن سد و احتساب $935/5$ میلی‌متر در هر مترمربع تبخیر و تعرق سالانه، $2374/2$ متر مکعب هدر رفت آب از طریق تبخیر برای این مساحت اتفاق خواهد افتاد که از این مقدار با در نظر گرفتن پوشش $43/7$ درصدی حدود $1037/5$ مترمکعب کاهش تبخیر آب اتفاق می‌افتد که بنا بر قیمت‌گذاری (9000 ریال به ازای هر متر مکعب آب) هزینه‌ای معادل 9337500 ریال در سال به کشور تحمیل می‌کند که با پنل جلو تبخیر آن گرفته خواهد شد. برق مصرفی مورد نیاز حدود 730 مگا وات برای 1000 خانوار برآورد گردید، اگر تعرفه خرید تضمینی برق تولیدی توسط اداره برق محاسبه شود بر پایه گزارش سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر برای مزرعه خورشیدی با ظرفیت 100 کیلووات و کمتر، 9100 ریال است. درآمد سالانه تولید برق برای 730 مگاوات حدود 664300000 ریال به دست می‌آید. بر اساس هزینه اولیه لازم که برای خودکفایی برق مصرفی برای 1000 خانه برآورد گردید حدود 38 میلیارد ریال به دست آمد. درآمد حاصل از تولید برق و کاهش تبخیر 6652337500 میلیارد ریال خواهد بود که صرفه‌جویی حاصل از استفاده از این فناوری طی $5/7$ سال هزینه اولیه را جبران خواهد کرد.

1- crystal oltaic Cells

2- Invertor

جدول ۲- میزان آب تبخیر شده و میزان سالانه برق مصرفی و هزینه سالانه برق مصرفی

Table 2. Water evaporation and energy consumption, annually

میزان آب تبخیر شده از سطح سد طی یک سال (مترمکعب)	میزان برق مصرفی برآورد شده در سال (مگاوات)
Evaporated water	Consumed energy
2374.3	730

جدول ۳- برآورد اقتصادی نیروگاه شناور خورشیدی در دریاچه سد نوروزلو

Table 3. Economical estimation of floating solar energy generation in the lake of Nowrouzlu dam

در طول یک سال (ریال)	درآمد حاصل از فروش برق تولیدی (ریال)	هزینه سلول خورشیدی برای خانه‌ها (ریال)	زمان مورد نیاز برای بازگشت سرمایه (سال)
Costs of waste water	Benefits of generated energy	Costs of panales/hause	Life cycle costs
21367800	6643000000	38070000000	5.7

نتیجه‌گیری

مطالعات اقتصادی صورت گرفته بر اساس شرایط بهای برق در زمان مطالعات، بازگشت سرمایه نصب تجهیزات و تاسیسات مربوط پس از طی ۵/۷ سال اتفاق خواهد افتاد. با وجودی که در این بررسی مزایای دیگر این روش مانند کاهش تولید دی اکسید کربن و جلوگیری از آلودگی‌های زیست محیطی لحاظ نشده است. همچنین در هزینه اجاره و یا بهای زمین برای نصب پنل‌ها نیز در سرمایه گذاری اولیه صرفه‌جویی می‌شود.

با توجه به مطالب ارائه شده، سد انحرافی نوروزلو پتانسیل خوبی برای تولید انرژی داراست. می‌توان با اجرای پنل‌های خورشیدی روی دریاچه سد نوروزلو انرژی الکتریکی را برای حدود ۱۰۰۰ خانوار تامین کرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با اجرای پوشش سلول‌های خورشیدی میزان تبخیر از سطح دریاچه به میزان ۴۳/۷ درصد با در نظر گرفتن تولید حداکثری نسبت به حالت آزاد، کاهش خواهد یافت.

مراجع

- Alizadeh, A. (1998). Principles of Applied Hydrology. Quds Razavi Publications, 8th edition. (in Persian)
- Almodaresi, S. & Marzban, M. (2014). Estimation of solar radiation potential using remote sensing data from a case study of Yazd province, The First National Conference on the Application of Advanced Spatial Analysis Models GIS Remote Sensing in Landscaping. Feb. 24. (in Persian)
- Afkhami, H., Esmaeilzadeh, A. & Kharibi, Kh. (2017). Design of floating ionizing coating using worn tires to reduce evaporation from open water resources, Technical Note of Iranian Water Resources Research, 11th year, No.3. (in Persian)

- Álvarez, V. M. & Baille, A. & Martínez, J. M. M. & Real, M. M. G. (2006). Effect of black polyethylene shade covers on the evaporation rate of agricultural reservoirs. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 4, 280-288.
- Farzin, S. & Alizadeh sanami, F. (2015). Shadow ball, a measure to reduce water evaporation of dam reservoirs, second International Congress of Civil Engineering-Urban Development. (In Persian)
- Fereshtepour, M. Baghrpourmojaver, N. Esmailzade, M. Latif, A. Milanishirvan, P. & javidiSabakhian, R. (2021). Investigation of the role of floating solar cells in reducing evaporation from dam reservoirs (Case study: Khorasan Razavi province), National Conference on Water Resources Management of Iran, University of Ferdowsi Mashhad, No. 8. (In Persian)
- Fereshtepour, M. (2016). Application of floating solar cells in dam reservoirs, University of Tehran. (In Persian)
- Ganaei, Z. (2017). Solar energy, from how solar panels work to the types of panels and new technologies today, *Ivan Charso Specialized Magazine*, No. 1.
- Hassan, R. M., Hekal, N. T., & Mansor, N. M. (2007). Evaporation reduction from Lake Naser using new environmentally safe techniques. Eleventh International Water Technology Conference, IWTC11, Sharm El-Sheikh, CiteSeer, 179-194.
- Nematalahi, M., Agaei foroshani, M. & Binazade, M. (2015). Floating solar cells: A way to solve the problem of water evaporation from the surface of dams, water storage pools and the production of solar electricity at the same time, Radio and Television Conference Center, Proceedings of the Sixth Conference on Water, Wastewater and Waste, ISBN 2-47. (In Persian)
- Piri, M., Hesam, M., Dehgani, A., Meftahholgi, M. & Khazali, A. (2009). Investigating the effect of heavy alcohol use on reducing the evaporation of water reservoirs, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, Volume 16, Issue 2. (In Persian)
- Rezazade, A. & Akbarzade, P. & Aminzade, M. (2020). Modeling and Laboratory Investigation of Reducing Surface Evaporation of Water by Floating Coatings in the Presence of Surface Current, *Amirkabir Journal of Mechanical Engineering*, Article 18, Volume 52, No 7, Pages 180-171. (In Persian)
- Shams, M., Kia, M. & Mahdavi, B. (2013). Optimal design studies of a 100 kW photovoltaic power plant connected to the grid in Tehran using pvsyst software, *Iranian Journal of Energy*, Volume 16, Number 2. (In Persian)
- Sepaskhah, A. (2018). Reducing evaporation from water reservoir dam, *Journal of Strategic Research in Agricultural Sciences and Natural Resources*, Volume 3, Pages 13 to 26. (In Persian)

- Soltani, Z., Khani, A. & Mahanpour, K. & Marjani, A. (2018). Assessment of duckweed (*Lemna gibba* L) growth on dam water surface as green cost-effective process to improving water quality. *Desalination and Water Treatment*. June, 118, 79-86.
- Salahi, B, Godarzi, B & Hoseini, S. (2018). Estimation of Evapotranspiration in Relation to Climate Change in Urmia Lake Watershed, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 12th year, Issue 41. (In Persian)
- Turki, M & Abedi, Z. (2012). External Costs of Power Generation from Fossil Power Plants: A Case Study of Iran, *Human and Environment Quarterly*, No. 19. (In Persian)

Economical Evaluation of Application of Solar Cells in Lake of Dams (Case study: Nowruzlu diversion dam)

M. Rezaei and H. Ahmadi*

* Corresponding Author: Associate professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, IRAN. Email: hojjat.a@gmail.com.

Received: 20 February 2021, Accepted: 12 May 2021.

Extended Abstract

Introduction

Iran is a land of low rainfall and due to the consequences of climate change and the existence of drought, water loss should be prevented in any way to eliminate water shortage in the country. In the province of West Azerbaijan, a large amount of water is lost every year due to evaporation.

Solar energy is known as free and clean energy and even main source of other types of energy in the earth. Scarcity of fossil fuel as well as non-uniform distribution of this kinds of energy source in the work motivate humans to find other types of energy specially to clean and sustainable solar energy. Nowadays, rising of earth population and impacts of fossil fuel on the environment leads to accelerate construction of solar power stations (Turki and Abedi, 2012). Owing to location of Iran in suitable latitude and altitude, the country has sunny and dry climate. Therefore, the significant magnitude of the sun's radiant energy reaches the earth's surface. In the other hands, hot and dry climate of Iran makes high evaporation of water from reservoirs of dams.

Covering of the surface of fresh water reservoirs by physical thin covers could prevent or reduce the evaporation rate of water. Soltani et al., (2015) reported that water evaporation in aquatic environment could be reduced up to 10% in the presence of planet. Rezzade et al., (2017) informed that scattering of colored floating balls could prevent evaporation rate from medium to small reservoirs up to 71.5%. Based on their results, the white color balls are more effective than the dark colors such as black in control of evaporation under similar conditions. One of the common means to cover the surface of reservoirs large dam in order to reduce evaporation of water is to use solar panels.

Materials and Method

In this study, the reduction of evaporation from the Nowruzlu diversion dam was investigated by using solar panels. This high diversion dam is located in the northwest of Iran, province of West Azerbaijan. The dam is constructed to divert the resealed water from Boukan earth dam to supply agricultural demands left side intake and domestic, industrial and agricultural demands by right side intake. The height of dam is about 10 meters, the lake area is 0.2 km², and the volume of water is more than 14 MCM. The object of this methods is not only reducing evaporation from reservoir of dam, but also production clean solar energy for domestic energy supply. For this purpose, the actual evaporation of the dam lake water was estimated using the data of noruzlu dam climatology station. With PVsyst software, the amount of solar energy load in the norozlo dam range was extracted. Finally, the project was economically evaluated and its profitability was analyzed. In this research we used recorded evaporation data from synoptic station located in dam site based on standard A Class pan. The solar energy potential was estimated by using photo voltage software PVSYST model. The software provides effective tool to simulate and calculate the distribution of energies throughout the year in the any region on the

earth. The output of the software is categorized in three ways as follows based on the software documents:

- The total energy production [MWh/y] is essential for the evaluation of the PV system's profitability.
- The Performance Ratio (PR [%]) describes the quality of the system itself.
- The specific energy [kWh/kWp] is an indicator of production based on the available irradiation (location and orientation).

Results and discussion

The numerical analysis to evaluate installation circumstances for solar panels revealed that, by 36° inclination, 2 kW/m² energy would be produced. In order to supply domestic requirements of 1000 houses, 2568 m² covering of Lake Surface will be sufficient. Hence, via the mentioned states, 2 Mw electricity will be produced, in another word the annually produced energy could be more than 730 Mw.

The results showed that according to economic estimates, the average cost for self-sufficiency in electricity consumption in 5 villages (each of them with 200 houses) around the dam is about 37,680 billion Iranian rials (IRR). By calculating the revenue from the reduction of evaporation and electricity generation, the return on investment of this technology will be compensated in 5.7 years.

Keywords: Evaporation, water storage, diversion dam, solar cell, electricity

نوع مقاله: علمی - پژوهشی

بررسی عددی فراسنجه‌های هیدرولیکی جریان غلیظ در اثر انحنای بدنه کانال

محمد حسینی^{۱*} و محمدهادی فتاحی^۲

۱- گروه مهندسی عمران، مرکز قیروکارزین، دانشگاه آزاد اسلامی، قیروکارزین، ایران

۲- گروه مهندسی عمران، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۱۲

چکیده

جریان‌های غلیظ گونه‌ای از جریان‌های ثقلی هستند که اختلاف کمی در دانسیته سیال محیطی دارند و همواره با درون آمیختگی با سیال محیطی همراه اند. میزان درون آمیختگی در فصل مشترک و شدت توربولانس به پایداری فصل مشترک بستگی دارد. هرچه فصل مشترک پایدارتر باشد، درون آمیختگی و شدت آشفتگی جریان کمتر است. در این تحقیق، سعی شده است که با استفاده از نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی به خصوصیات جریان غلیظ در انحنای کانال پرداخته شود. سه مدل با انحنای ۱۸۰ درجه و انحنای سینوسی محدود و سینوسی سیلاب دشتی شبیه‌سازی شده است. با تغییر عدد فرود، شیب و غلظت ورودی، جریان غلیظ مدل سازی برای تمامی مدل‌ها صورت گرفت. هدف از این مطالعه تاثیر انحنای بر خصوصیات هیدرولیکی جریان چگال است. نتایج بررسی‌ها نشان داد مدل آشفتگی بهینه برای تمامی مدل‌ها، مدل $k-\epsilon$ از نوع RNG است. افزایش شیب کف کانال از ۲/۰ درصد به ۲ درصد موجب کاهش ضخامت جریان گل آلود در طول کانال می‌شود، که در نتیجه آن سرعت جریان افزایش نشان می‌دهد. با افزایش عدد فرود ورودی از ۱/۲۲ به ۸، در مدل با انحنای ۱۸۰ درجه به ترتیب الگوی پروفیل غلظت نسبت به مدل‌های سینوسی محدود و سیلاب دشتی به میزان ۱۹ درصد و ۲۱/۳ درصد کاهش می‌یابد، داده‌های ریچاردسون و شدت اختلاط در مدل با انحنای ۱۸۰ درجه نسبت به مدل آزمایشگاهی ۱۰ درصد افزایش یافتند. با بررسی کلی هر سه مدل عدد ریچاردسون نسبت به شدت اختلاط، ارتباط معناداری با ضریب ۷۱/۰ نشان داده است. همچنین با افزایش شدت اختلاط و غلظت جریان، اعداد رینولدز بیشتر و جریان آشفته‌تر می‌شود و عدد ریچاردسون کاهش یابد.

واژه‌های کلیدی

جریان غلیظ، دینامیک سیالات محاسباتی، مدل $k-\epsilon$ از نوع RNG، شدت اختلاط، عدد ریچاردسون

مقدمه

آب صاف باعث ایجاد لایه برشی در فصل مشترک آب صاف و سیال چگال می‌شود. از این رو در فصل مشترک، برش و گردابه‌های فراوانی به وجود می‌آید و همین امر باعث درون آمیختگی آب صاف و سیال چگال می‌شود. درون آمیختگی میزان اختلاف چگالی را کم می‌کند و از نیروی شناوری می‌کاهد.

اختلاف دانسیته باعث ایجاد جریان چگال می‌شود. جریان چگال حرکت پیشانی، بدنه و دنباله‌ای از سیال سنگین به درون سیال سبک‌تر است و نیروی شناوری یا نیروی ثقل باعث ایجاد نیروی جلوبرنده می‌شود. حرکت جریان چگال در زیر

پرداختند. مدل آنها حوضچه ای به درازای ۵ متر، پهنای ۵ متر، و بلندی ۱/۲ متر که سیلاب دشت آن است و کانال سینوسی به عرض ۲۰ و عمق ۱۱ سانتی متر است. مطالعات آزمایشگاهی جریان غلیظ نمکی در یک کانال با انحنای بسیار زیاد با اعداد متفاوت فرود توسعه دادند. افزایش عدد فرود جریان، سرعت و غلظت جریان چگال در ناحیه انحنا را افزایش می‌دهد. پکال و همکاران (Peakall & Keevil, 2007) به فرضیه انحنا، معماری رسوب، و نقش چسبندگی در کانال‌های سینوسی شکل با مطالعه آزمایشگاهی پرداخته اند. چوی و گارسیا (Choi & Garcia, 2001) با استفاده از شبیه‌سازی دوبعدی، جریان چگال تحت تاثیر شیب بستر را با انتخاب مدل آشفتگی $k-\epsilon$ بررسی کردند. پکال و همکاران (Peakall & Keevil, 2006) ساختار جریان را در کانال‌های پیچان رود سینوسی بررسی و طی آزمایش‌هایی پارامترهای سرعت و آشفتگی را در کانال‌های پیچان رود مطالعه کرده اند. هر چه شبکه بندی در مدل عددی ریزتر باشد، تحلیل واقع بینانه‌تری از مدل آزمایشگاهی به دست می‌آید. همچنین مدل آشفتگی $k-\epsilon$ از نوع RNG نسبت به بقیه مدل‌ها در مقایسه پارامترهای هیدرولیکی مطابقت بیشتری با مدل‌های آزمایشگاهی دارد (Diaz et al., 2018; Firoozabadi & Mehdizadeh, 2009; Kubo, 2004).

حسینی و فتاحی (Hosseini & Fattahi, 2020) می‌گویند آبراهه باعث ایجاد سرعت بیشتر جریان چگال و کاهش ضخامت جریان می‌شود و افزایش میزان غلظت جریان گل آلود ورودی به افزایش سرعت بیشینه در رخ نماهای سرعت می‌انجامد. این میزان افزایش در سرعت بیشینه جریان گل آلود در جریان‌هایی با دبی ورودی بالاتر بارزتر است. الگوهای

گارسیا (Garcia, 1993) اولین دسته از آزمایش‌های وسیع را در خصوص پرش هیدرولیکی جریان غلیظ مطالعه کرد. وی به منظور بررسی پدیده پرش هیدرولیکی در جریان‌های غلیظ، از طریق ساخت یک مدل فیزیکی به آزمایش‌هایی دست زد. آلتیناکار و همکاران (Altinakar et al., 1990) با بررسی‌های آزمایشگاهی، تاثیر شیب کم و رسوبگذاری ضعیف را روی رفتار رأس جریان‌های غلیظ تجزیه پذیر بررسی کردند. ایمران و قاسم (Imran & Kassem, 2004) به مطالعه جریان چگال در کانال‌های منحنی دار سینوسی محدود و نامحدود همراه با سیلاب دشت پرداختند و با انتخاب مدل عددی سه بعدی خصوصیات جریان از جمله سرعت و چگالی جریان چگال را بررسی کردند. این محققان با استفاده از یک مدل عددی سه بعدی، توسعه جانبی جریان دانسیته را در کانال‌های نامحدود و محدود شده مستقیم، بررسی و از مدل توربولانس $k-\epsilon$ برای شبیه‌سازی استفاده کردند. ایمران و همکاران (Imran et al., 2001) با مطالعه و شبیه‌سازی عددی جریان‌های گل آلود رسوبی غوطه ور یک رودخانه و با در نظر گرفتن مدل آشفتگی $k-\epsilon$ ، معادلات ناویر استوکس را حل کردند. پیلر و توماسو (Pylar & Tomasso, 2012) با پردازش جریان ارتباط رسوبگذاری در کانال‌های زیر دریایی سینوسی شکل و اثر فرسایش و رسوب بر این کانال‌ها نشان دادند که در قسمت‌هایی از کانال که دچار فرسایش می‌شود مواد فرسایش یافته در انحنای بعدی با توجه به مورفولوژی رودخانه رسوب گذاری شکل می‌گیرد. استراب و مورینگ (Straub & Mohring, 2011) با استفاده از فلوم آزمایشگاهی و با ورود جریان گل آلود به مطالعه و تاثیر سازوکار جریان گل آلود در کانال‌های سینوسی شکل

مواد و روش‌ها

شرایط اولیه و تعیین مدل‌ها

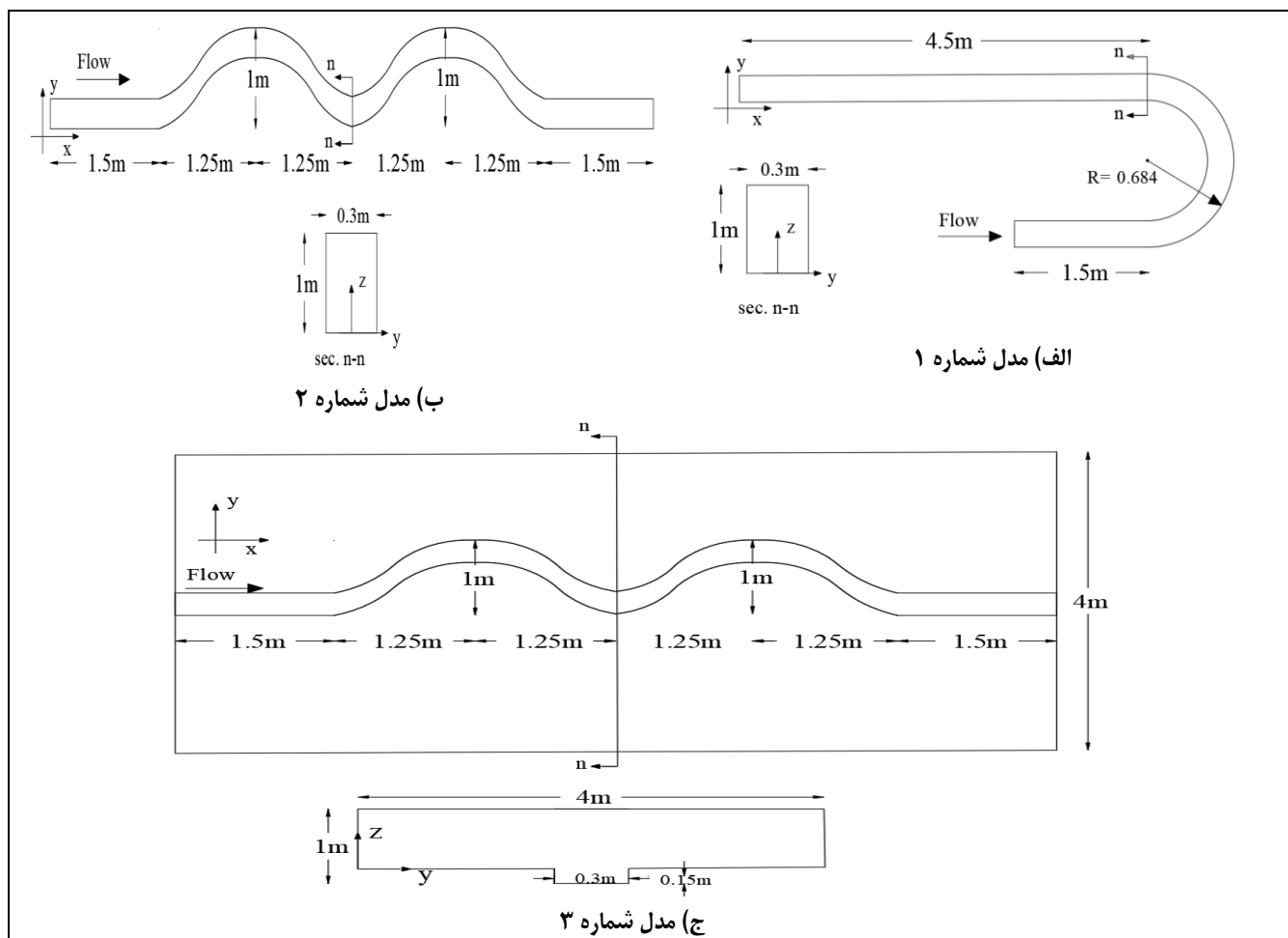
در این تحقیق برای حل رابطه‌های متوسط-رینولدزی ناویر-استوکس در جریان چگال از یک بسته نرم افزاری (نرم افزار فلوئنت) استفاده شده است که مبنای آن دینامیک سیالات محاسباتی است. با این نرم افزار از روش احجام محدود، برای حل معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم استفاده شده است. با استفاده از این روش، میدان جریان به تعدادی حجم کنترل تقسیم شده است و معادلات دیفرانسیل حاکمی را که روی هر حجم کنترل است با استفاده از انتگرال گیری، روی هر حجم کنترل معادلات دیفرانسیلی حاکم بر آن به یک سری معادلات جبری گسسته تبدیل می‌کند و سپس معادلات به فرم ساده‌تری حل می‌شوند. برای مدل‌سازی و صحت‌سنجی نتایج از مدل آزمایشگاهی حسینی و فتحی (Hosseini & Fattahi, 2020) استفاده شده است. تحقیق آنها در دانشگاه شیراز بخش هیدرولیک و با استفاده از یک فلوم به طول ۸ متر و به عرض ۳۵ سانتی متر صورت گرفته است. در این تحقیق از ماده پودر سنگ به عنوان مواد معلق (ماده غلیظ) با وزن مخصوص $2/65 \text{ t/m}^3$ با اندازه ذرات $0/068$ میلی متر استفاده شده است. برای اندازه گیری سرعت جریان چگال در فلوم از یک عدد سرعت سنج الکترومغناطیسی مدل ۸۰۲ ساخت شرکت انگلیسی والپورت^۱ با دقت اندازه گیری $\pm 5 \text{ mm/sec}$ استفاده شده است. این دستگاه دارای یک دیتالاگر و یک سنسور اندازه گیری جریان است، قابلیت اتصال به رایانه را دارد و می‌تواند سرعت جریان، دبی، سری زمانی سرعت و ... را اندازه

پروفیل سرعت در ناحیه دیواره و جت از بدنه جریان غلیظ تحت تاثیر رژیم جریان قرار دارد. جریان‌های فوق بحرانی، نسبت به جریان‌های زیر بحرانی، الگوی پروفیل خوابیده‌تری نشان می‌دهند (Bahrami et al., 2017). با افزایش میزان سرعت جریان گل آلود، عدد ریچاردسون (Ri) افزایش می‌یابد. این محققان اثر موانع مختلف را بر کنترل جریان گل آلود بررسی کردند و گزارش دادند شکل موانع در کف کانال بر پارامترهای هیدرولیکی جریان گل آلود از جمله سازوکار انتقال رسوب، سرعت، غلظت و ضخامت آن تأثیر بسزایی دارد. همچنین نشان داده شده است با افزایش عدد ریچاردسون (Ri)، شدت اختلاط (Ew) کاهش می‌یابد (Asghari et al., 2017, Hosseini & Fattahi, 2020, Pittaluga & Imran., 2014 and Shringarpure et al., 2016). در جریان‌های چگال، میزان کشش آب ساکن علاوه بر عدد ریچاردسون به شیب بستر کانال بستگی دارد (Bahrami et al., 2019). با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی و عددی، خصوصیات جریان‌های دو فازی بررسی شده است (Carrillo et al., 2020). محققانی چند روی جریان‌های چگال در کانال‌های مختلف در شرایط اولیه مختلف و وجود موانع بررسی‌هایی کرده‌اند (Hosseini et al., 2021; Goodarzi et al., 2020; Mauti et al., 2020; Wu et al., 2019).

با بررسی سوابق پژوهش، هدف از این مطالعه یافتن ارتباط معنا دار بین تکامل عدد ریچاردسون و جبهه اختلاط جریان چگال در انحنای کانال‌ها از طریق برداشت داده‌های جریان چگال و همچنین بررسی جریان چگال در اثر تغییر خصوصیات هیدرولیکی جریان است.

استفاده شده است (جدول ۱). مش‌بندی مطابق با جدول ۲ با تعداد تقسیمات $88 \times 13 \times 138$ ، $105 \times 15 \times 45$ ، $140 \times 20 \times 60$ و $175 \times 25 \times 75$ که به ترتیب از سمت چپ بیانگر برای x ، y و z است. لازم است یادآوری شود که از ۶ نوع مدل آشفتگی مدل $k-\epsilon$ (استاندارد، RNG، تحقیق پذیر)، مدل $k-w$ (استاندارد، SST) و مدل RSM (از نوع کرنش-فشار خطی) استفاده شده است. در شکل ۱ نمایی از مدل سازی مشاهده می‌شود.

گیری کند. دانسیته آب 1000 kg/m^3 ، از شیب ۱ و ۳ درصد و دبی ۵۰ و ۹۰ لیتر بر دقیقه و چگالی‌های ۱۰۰۵ و ۱۰۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده کردند. در این تحقیق جریان در ۳ مدل مختلف مطابق شکل ۱ به تصویر کشیده شده است، میزان بازشدگی در پیچه جریان غلیظ ۱ cm در نظر گرفته شده است. در این پژوهش سعی بر آن شده است که اثر انحنا در خم ۱۸۰ درجه و شکل سینوسی کانال محدود و سیلاب دشت مقایسه شود. در این مدل‌ها از ۴ شیب، غلظت و عدد فرود مختلف



شکل ۱- پلان و مقطع عرضی مدل‌ها
Fig. 1- Plan and cross section of models

عدد رینولدز بیش از ۲۰۰۰ باشد جریان آشفته است و اختلاط در راستای مرز مشترک شاره چگال و سیال محیطی روی خواهد داد. عدد رینولدز در جریان چگال به صورت رابطه ۳ بیان می‌شود.

$$Re = (ud)/\nu \quad (3)$$

که در آن،

u = سرعت متوسط در راستای جریان؛
 d = ضخامت جریان؛ و ν = ویسکوزیته سینماتیکی.
 شدت اختلاط جریان غلیظ و سیال ساکن
 پیرامون آن، که با Ew نشان داده می‌شود، ناشی از ناپایداری‌های حد فاصل جریان غلیظ و سیال ساکن است و به صورت نسبت سرعت اختلاط به سرعت متوسط بدنه جریان غلیظ تعریف می‌شود. محققان با آزمایش‌های گوناگون روی جریان‌های غلیظ با جرم مخصوص‌های متفاوت دریافتند ضریب شدت اختلاط تابعی از عدد ریچاردسون است. در اینجا ارتباط بین Ew و Ri نشان داده می‌شود که Ew عموماً به صورت تابعی از عدد ریچاردسون بیان شده است که به صورت رابطه ۴ بیان می‌شود.

$$Ew = f(Ri) \quad (4)$$

گفتنی است که در مقطع $(n-n)$ خصوصیات جریان بررسی می‌شود. برای صحت سنجی نتایج مدل عددی از نتایج آزمایشگاهی حسینی و فتاحی (Hosseini & Fattahi, 2020) با شیب‌ها، عدد فرود و غلظت‌های مختلف استفاده شده است که شرایط اولیه برای شبیه سازی عددی طبق جدول شماره ۱ است. برای صحت سنجی نتایج از عدد ریچاردسون استفاده خواهد شد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$g'_0 = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} g \quad (1)$$

$$Ri_0 = \frac{g'_0 \cdot h_0 \cdot \cos \theta}{U_0^2} = \frac{1}{Fr_0'^2} \quad (2)$$

که در آن،

ρ = چگالی سیال چگال؛ ρ_0 = چگالی آب محیطی؛ h_0 = ضخامت جریان چگال ورودی؛
 Fr_0 = عدد فرود جریان اولیه جریان چگال؛
 U_0 = سرعت ورودی جریان؛ g'_0 = شتاب ثقل کاهش یافته؛ Ri_0 = عدد ریچاردسون اولیه جریان؛ و
 C_0 = غلظت اولیه.

یکی از مشخصه‌های جریان گل آلود، معلق ماندن رسوبات به واسطه آشفتگی است و آشفتگی در ذرات جریان‌های گل آلود است. در صورتی که

جدول ۱- شرایط اولیه برای شبیه‌سازی عددی

Table 1- Initial conditions for numerical simulation

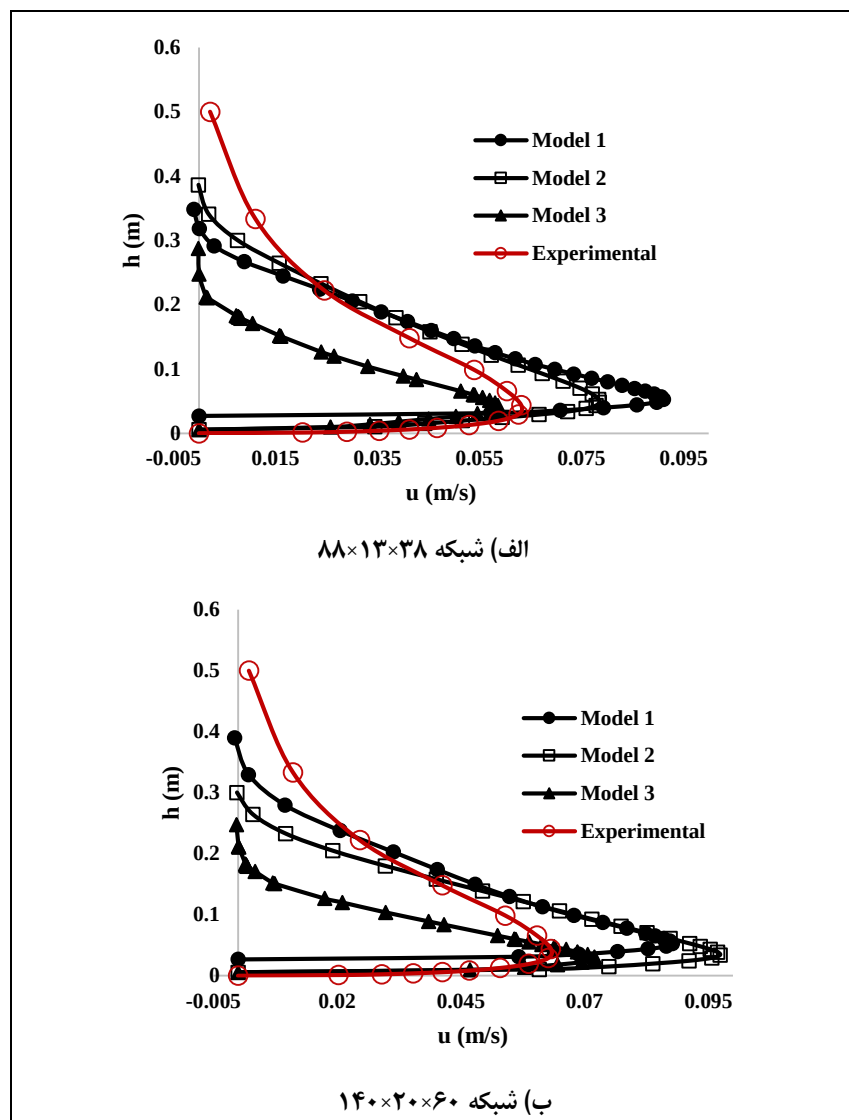
RUN.NO	slop	C ₀ (gr/cm ³)	Fr ₀	h (cm)	U ₀ (cm/s)	g' ₀ (cm/s ²)	Ri ₀
NO.1	0.002	0.00667	1.22	5.4	9.315	4.074	0.254
NO.2	0.005	0.00667	3	5.4	22.906	4.074	0.042
NO.3	0.008	0.00667	5	5.4	38.177	4.074	0.015
NO.4	0.02	0.00667	8	5.4	61.084	4.074	0.006
NO.5	0.002	0.00727	1.22	5.4	9.725	4.441	0.254
NO.6	0.005	0.00727	3	5.4	23.915	4.441	0.042
NO.7	0.008	0.00727	5	5.4	39.858	4.441	0.015
NO.8	0.02	0.00727	8	5.4	63.772	4.441	0.006
NO.9	0.002	0.00859	1.22	5.4	10.571	5.247	0.254
NO.10	0.005	0.00859	3	5.4	25.995	5.247	0.042
NO.11	0.008	0.00859	5	5.4	43.325	5.247	0.015
NO.12	0.02	0.00859	8	5.4	69.32	5.247	0.006
NO.13	0.002	0.01	1.22	5.4	11.406	6.108	0.254
NO.14	0.005	0.01	3	5.4	28.048	6.108	0.042
NO.15	0.008	0.01	5	5.4	46.746	6.108	0.015
NO.16	0.02	0.01	8	5.4	74.793	6.108	0.006
NO.17	0.002	0.00727	3	5.4	23.915	4.441	0.042
NO.18	0.005	0.01	8	5.4	74.793	6.108	0.006
NO.19	0.008	0.00667	5	5.4	38.177	4.074	0.015
NO.20	0.02	0.00859	1.22	5.4	10.571	5.247	0.254
NO.21	0.002	0.00859	8	5.4	69.32	5.247	0.006
NO.22	0.005	0.00667	3	5.4	22.906	4.074	0.042
NO.23	0.008	0.01	1.22	5.4	11.406	6.108	0.254
NO.24	0.02	0.00727	5	5.4	39.858	4.441	0.015

نتایج و بحث

انتخاب نوع مش‌بندی و مدل آشفتگی

معمول مش بندی بر پاسخ‌های به دست آمده، در این تحقیق مبحث استقلال از شبکه در دستور کار قرار گرفت و ۴ نوع شبکه برای کانال محدود با انحنای سینوسی با ابعاد ۸۸×۱۳×۳۸، ۱۰۵×۱۵×۴۵، ۱۴۰×۲۰×۶۰ و ۱۷۵×۲۵×۷۵ انتخاب شد. شکل ۳ به مقایسه بین مش‌بندی‌های مختلف با مش مورد آزمایش می‌پردازد و مشاهده می‌شود که در محدوده نزدیک به بستر، در سرعت‌های بالا مش‌بندی با ابعاد ۱۴۰×۲۰×۶۰ بسیار نزدیک به مش محاسباتی حسینی و فتاحی (Hosseini & Fattahi, 2020) است که در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

در کانال‌های با انحنای ۱۸۰ درجه و سینوسی محدود و سیلاب دشتی، انواع مش‌بندی، مدل‌های آشفتگی، شیب، غلظت و اعداد فرود مختلف انتخاب و به نرم افزار فلونت معرفی می‌شود؛ برای صحت سنجی، نتایج به دست آمده با داده‌های حسینی و فتاحی (Hosseini & Fattahi, 2020) مقایسه می‌شود تا مدل بهینه انتخاب شود. نهایتاً اثر پارامترهای مختلف بر خصوصیات جریان چگال به صورت جدول، نمودار و شکل‌های مختلف تهیه و ارزیابی شد. برای جلوگیری از تأثیرات بیشتر از حد



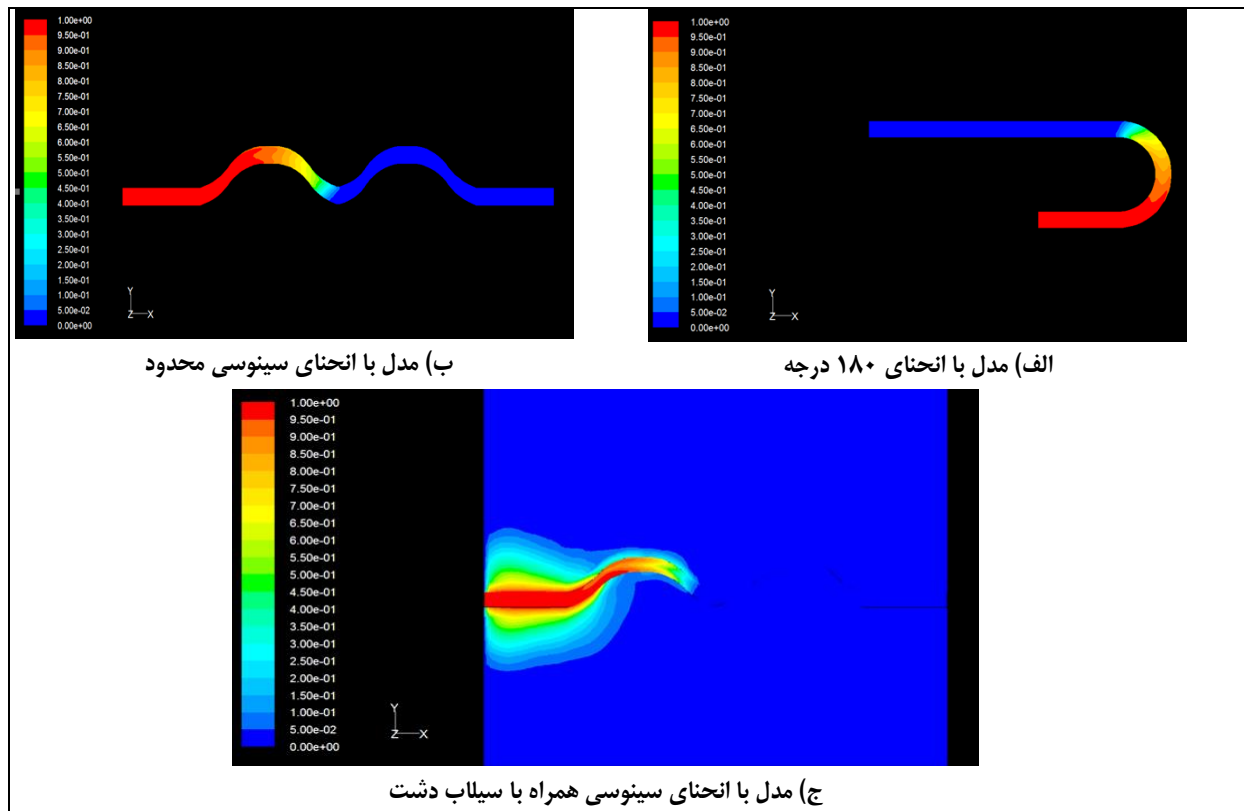
شکل ۲- مقایسه نتایج عددی مدل با نتایج آزمایشگاهی در انتخاب نوع مش‌بندی

Fig. 2 - Comparison of numerical results of the model with the laboratory data in selecting the mesh type

محاسبات بیشتر اما زمان بر است و با صرفه نیست. در جدول ۲، اختلاف درصد خطای مش $175 \times 25 \times 75$ با مش $140 \times 20 \times 60$ حدود $1/8$ درصد و ناچیز است.

بنابراین، مش با ابعاد $140 \times 20 \times 60$ با میزان خطای $7/39$ درصد به عنوان مش بهینه برای کل مجموعه مدل‌ها در نظر گرفته شده است. شکل ۳ نمای شماتیکی از نحوه ورود جریان چگال به مدل‌ها را نشان می‌دهد.

باید متذکر شد اگرچه شبکه با ابعاد $175 \times 25 \times 75$ نسبت به شبکه با ابعاد $140 \times 20 \times 60$ سلول‌های بیشتری دارد اما نتایج شبکه محدود با ابعاد $140 \times 20 \times 60$ با نتایج به دست آمده از تحقیقات حسینی و فتاحی (Hosseini & Fattahi, 2020) تقریباً منطبق است. با بررسی مقادیر سرعت متوسط جریان غلیظ می‌توان مقادیر خطای کار عددی با آزمایشگاهی را در انتخاب نوع مش‌بندی مشخص کرد. هر چه شبکه ریزتر باشد، دقت



شکل ۳- نمای شماتیکی از نحوه ورود جریان غلیظ به کانال‌ها

Fig. 3- Schematic view of density current enters the channels

جدول ۲- مقایسه سرعت متوسط جریان غلیظ در انتخاب نوع مش‌بندی

Table 2- Comparison of average velocity of density current in selecting the type of mesh

Model. No	u (m/s)			
	88*13*38	105*15*45	140*20*60	175*25*75
Model. 1	0.056	0.055	0.054	0.0543
Model. 2	0.0614	0.0584	0.0477	0.0431
Model. 3	0.0347	0.0317	0.0304	0.0324
Experimental	0.041	0.041	0.041	0.041
% error	23.65	17.96	7.39	5.51

آشفته‌گی، بحث کارآمد بودن با نتایج آزمایشگاهی و همچنین بحث زمان بر بودن مطرح است. به دلیل استفاده از سوپر کامپیوتر، محاسبات مدل k-ε از نوع تحقیق پذیر نسبت به مدل RNG زمان بیشتری نیاز دارد و این امر مستلزم هزینه بیشتر خواهد بود به طوری که هر آزمایش از نوع تحقیق پذیر تقریباً یک روز زمان بیشتری می‌برد تا مدل RNG. از این رو، با خطای ۲/۹ درصد مدل k-ε از نوع RNG در

برای انتخاب مدل بهینه آشفته‌گی، انواع مختلف مدل‌های مختلف آشفته‌گی در مدل به کار رفتند از جمله مدل k-ε (استاندارد، RNG، تحقیق پذیر^{۱)}، مدل k-w (استاندارد، SST) و مدل RSM (از نوع کرنش- فشار خطی)؛ نتایج به دست آمده (با بررسی پروفیل‌های قائم سرعت و غلظت موضعی) تحلیل شد. جدول ۳ مقایسه مدل‌های آشفته‌گی را با مدل آزمایشگاهی نشان می‌دهد. در انتخاب نوع مدل

دستور کار قرار گرفت. در کلیه مدل‌های آشفتگی، وجود سرعت‌های منفی کوچک (جریان برگشتی) در سیال محیطی نیز دیده می‌شود که علت آن نیز وجود گردابه‌های موجود در سطح مشترک جریان چگال و سیال محیطی است.

جدول ۳- انتخاب و مقایسه مدل‌های آشفتگی در مدل‌های انتخابی
Table 3 - Selection and comparison of turbulence models in selected models

Model. No	u (m/s)					
	RSM	k- ω (استاندارد)	k- ω (SST)	k- ϵ (استاندارد)	k- ϵ (تحقیق پذیر)	k- ϵ (RNG)
Model. 1	0.0589	0.0563	0.059	0.061	0.047	0.0488
Model. 2	0.0569	0.0563	0.0548	0.0485	0.0371	0.0389
Model. 3	0.052	0.0445	0.0354	0.0315	0.0398	0.0389
Experimental	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041
%error	36.45	27.71	21.34	14.63	0.77	2.9

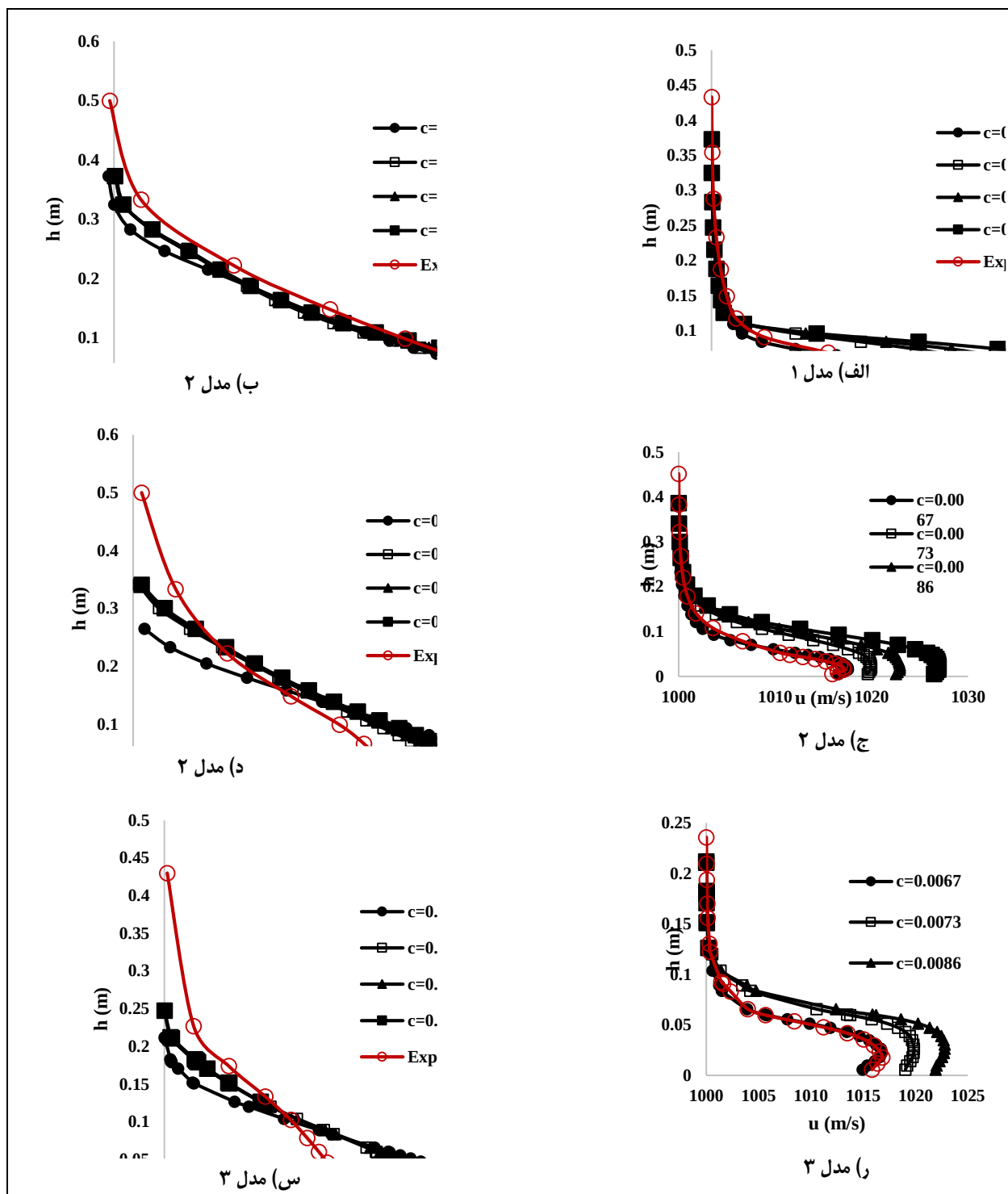
بررسی پروفیل سرعت و غلظت جریان غلیظ

در این قسمت از تحقیق با در نظر گرفتن مدلی که حسینی و فتاحی (Hosseini & Fattahi, 2020) ارائه داده اند به بررسی پروفیل سرعت و غلظت جریان چگال تحت شیب، غلظت و اعداد فرود مختلف پرداخته می‌شود. از شبکه بهینه محدود با ابعاد $140 \times 20 \times 60$ و مدل آشفتگی بهینه k- ϵ از نوع RNG برای شبیه‌سازی عددی در نرم افزار فلوئنت استفاده شده است. شکل ۴ پروفیل قائم سرعت موضعی تحت اثر شیب‌های مختلف را نشان می‌دهد. هنگامی که جریان چگال از زیر دریچه با توجه به اعداد فرود مختلف وارد فلوم می‌شود، به دلیل میزان ارتفاع بازشدگی دریچه، همواره پرش هیدرولیکی بعد از دریچه مشاهده می‌شود و برای اینکه الگوی شکل جریان به پایداری نسبی برسد و تکامل جریان چگال اتفاق بیفتد، بهتر است موقعیت اندازه گیری پروفیل‌ها در نیمه کامل و بعد از اولین خم یا انحنا

باشد. پروفیل‌های غلظت و سرعت بسیار تحت تاثیر شیب و عدد فرود ورودی جریان هستند، به گونه‌ای که با افزایش عدد فرود ورودی و کاهش مقدار شیب کف کانال، پروفیل‌ها حالت ایستاده‌تری دارند. زمانی که عدد فرود جریان گل آلود ورودی خیلی کوچک باشد، پروفیل‌ها شکل خوابیده‌تری خواهند داشت. ارتفاعی که سرعت جریان گل آلود در آن صفر باشد ضخامت کل جریان می‌نامند و در ارتفاع‌های بالاتر از آن، برای حفظ پیوستگی جریان، سرعت دارای مقادیر منفی خواهد بود، به این معنی که سیال بالای جریان ساکن نیست و به سمت بالادست حرکت آرامی خواهد داشت. در پروفیل‌های خوابیده سرعت در ارتفاع پایین‌تری به این سرعت صفر خواهد رسید، یا در واقع ضخامت کل این گونه جریان‌ها (جریان در شیب کم و غلظت ورودی زیاد) کمتر است تا در دیگر جریان‌ها. این موضوع در بررسی ضخامت‌های جریان گل‌آلود نیز به خوبی

دیده شده است. همانطور که پیدا است در مدل ۲، کاهش می‌یابد. لازم است گفته شود جریان چگال در شیب‌های پایین، ضخامت جریان چگال افزایش یافته و به مراتب سرعت ماکزیمم

کاهش می‌یابد. لازم است گفته شود جریان چگال با شیب مثبت به سمت بالا در حرکت است.



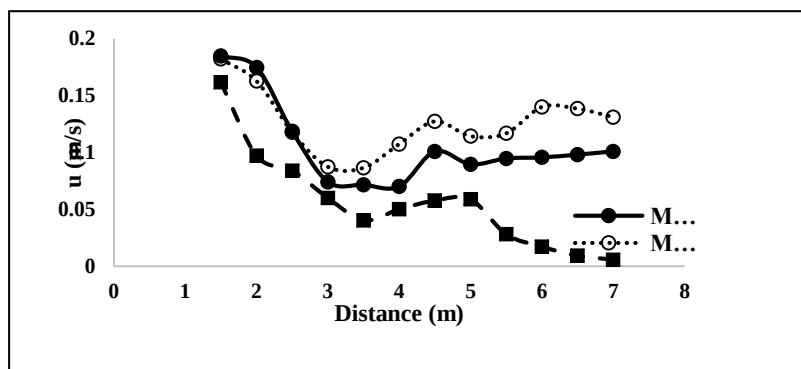
شکل ۴- مقایسه پروفیل سرعت و غلظت جریان غلیظ در همه مدل‌ها

Fig. 4 - Comparison of velocity profile and concentration of density current in all models

درصد موجب کاهش ضخامت جریان گل آلود در طول کانال می‌شود، که در نتیجه آن سرعت جریان از خود افزایش نشان می‌دهد. افزایش غلظت جریان گل آلود ورودی باعث افزایش نیروی جلوبرنده می‌شود و افزایش سرعت جریان گل آلود را در پی خواهد داشت. نمودار شکل ۵ که مربوط به آزمایش شماره ۱۶ است، مقادیر سرعت متوسط را در موقعیت‌های مختلف کانال با فاصله ۵۰ سانتی متر از یکدیگر مقادیر نشان می‌دهد. تاثیر انحنا در مدل شماره ۱ باعث افزایش ۴۳ درصد در سرعت جریان چگال شده است که به دلیل وجود نیروی گریز از مرکز باعث شتاب سرعت شده است. در مدل شماره ۲ و ۳ اثر انحنا باعث افزایش به ترتیب ۴۷ و ۴۵ درصد سرعت جریان چگال شده است.

با در نظر گرفتن شرایط اولیه ورودی یکسان برای همه مدل‌ها (آزمایش ۱۶)، سرعت جریان چگال در مدل ۲ با انحنای سینوسی ۱۸/۶۴ درصد نسبت به مدل ۱ افزایش داشته است، اما در مدل ۳ که همراه با سیلاب دشت است، سرعت جریان چگال ۴۷/۳۴ درصد نسبت به مدل ۱ با انحنای ۱۸۰ درجه کاهش داشته است. دلیل این تغییر، فرم و بستر جریان و کاهش انرژی جلوبرنده است.

در کلیه پروفیل‌های غلظت، لایه‌بندی در غلظت جریان مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر لایه زیرین چگال با گرادیان غلظت بالا در بخش پایینی جریان، بین بستر تا تراز ماکزیمم سرعت ($0 < z < h_m$) و یک لایه تقریباً هوموژن با غلظت و چگالی کمتر، که با سیال ساکن بالایی مخلوط می‌شود، در بخش بالایی جریان در فاصله ($h_m < z < h_t$) به خوبی قابل مشاهده است. پروفیل‌های غلظت در جریان‌های گل آلود پیچیدگی خاصی دارند. این موضوع به واسطه اندرکنش رسوبات معلق با جریان است. در این جریان‌ها، تیپ پروفیل غلظت به صورت توزیع پلکانی است که در جریان‌های فوق بحرانی مشاهده می‌شود. معمولاً در جریان‌های فرسایشی و یا جریان‌هایی که سرعت درون آمیختگی در مرز بالایی جریان زیاد باشد قابل مشاهده است. در این گونه جریان‌ها، گرادیان غلظت در نزدیکی کف و ترازهای پایینی جریان حداکثر هستند و سپس تا ارتفاع متوسط جریان (h) این گرادیان رو به کاهش می‌رود و در محدوده ارتفاع کل جریان و در ناحیه اختلاط و برش به سمت صفر میل می‌کند. اگر عدد فرود و غلظت ورودی یکسان باشد، افزایش شیب بستر فلوم در ناحیه دیواره نسبت به ناحیه جت ملموس‌تر است. از طرفی، افزایش شیب کف کانال از ۰/۲ درصد به ۲



شکل ۵- تغییرات مکانی سرعت متوسط جریان چگال آزمایش ۱۶ در مدل‌ها

Fig.5 - Spatial variation diagram of average density current in models experiment 16

می‌کاهد. مقایسه عدد ریچاردسون و شدت اختلاط در نمودارهای شکل ۶ نشان داده شده است. هر چه عدد ریچاردسون افزایش یابد، شدت اختلاط آن کاهش می‌یابد. در مدل شماره ۲، محدوده تغییرات شدت اختلاط ۸ درصد بیشتر است تا در مدل شماره ۱ و ۳/۸ درصد بیشتر است تا در مدل شماره ۳ که نشان می‌دهد انحنا پیکان رودی در بدنه کانال باعث افزایش شدت اختلاط می‌شود. روابط دقیق‌تر در جدول ۴ نشان داده شده است. داده‌های ریچاردسون و شدت اختلاط در مدل شماره ۱ نسبت به مدل آزمایشگاهی ۱۰ درصد افزایش دارد و این داده‌ها در مدل شماره ۲ نسبت به مدل آزمایشگاهی ۱۹ درصد و در مدل شماره ۳ نسبت به مدل آزمایشگاهی ۱۴ درصد بیشتر است. با بررسی کلی هر ۳ مدل، عدد ریچاردسون ارتباط معناداری با شدت اختلاط برقرار کرده که همبستگی ۰/۷۱ را به خود اختصاص داده است.

کل داده‌های ریچاردسون و شدت اختلاط عددی (تمامی سه مدل) نسبت به مدل آزمایشگاهی ۴/۴ درصد بیشتر است. تجمع اعداد ریچاردسون در محدوده $0.45 < Ri < 3/5$ است.

به طور کلی برای همه مدل‌ها با افزایش عدد فرود ورودی از ۱/۲۲ به ۸، در مدل شماره ۱ با انحنا ۱۸۰ درجه به ترتیب الگوی پروفیل غلظت نسبت به مدل شماره ۲ و ۳ به میزان ۱۹ و ۲۱/۳ درصد کاهش می‌یابد. در تمامی داده‌های آزمایشگاهی، پروفیل غلظت جریان چگال در ناحیه جت پراکندگی بیشتری با میزان ۴۷ درصد نسبت به ناحیه دیواره از خود نشان می‌دهد. با افزایش شیب کانال از ۰/۲ درصد به ۲ درصد، میزان پراکندگی ۶۵ درصد افزایش می‌یابد، اما با افزایش غلظت ورودی جریان چگال از 0.0667 g/cm^3 به 0.07 g/cm^3 این میزان پراکندگی ۲۱ درصد کاهش می‌یابد.

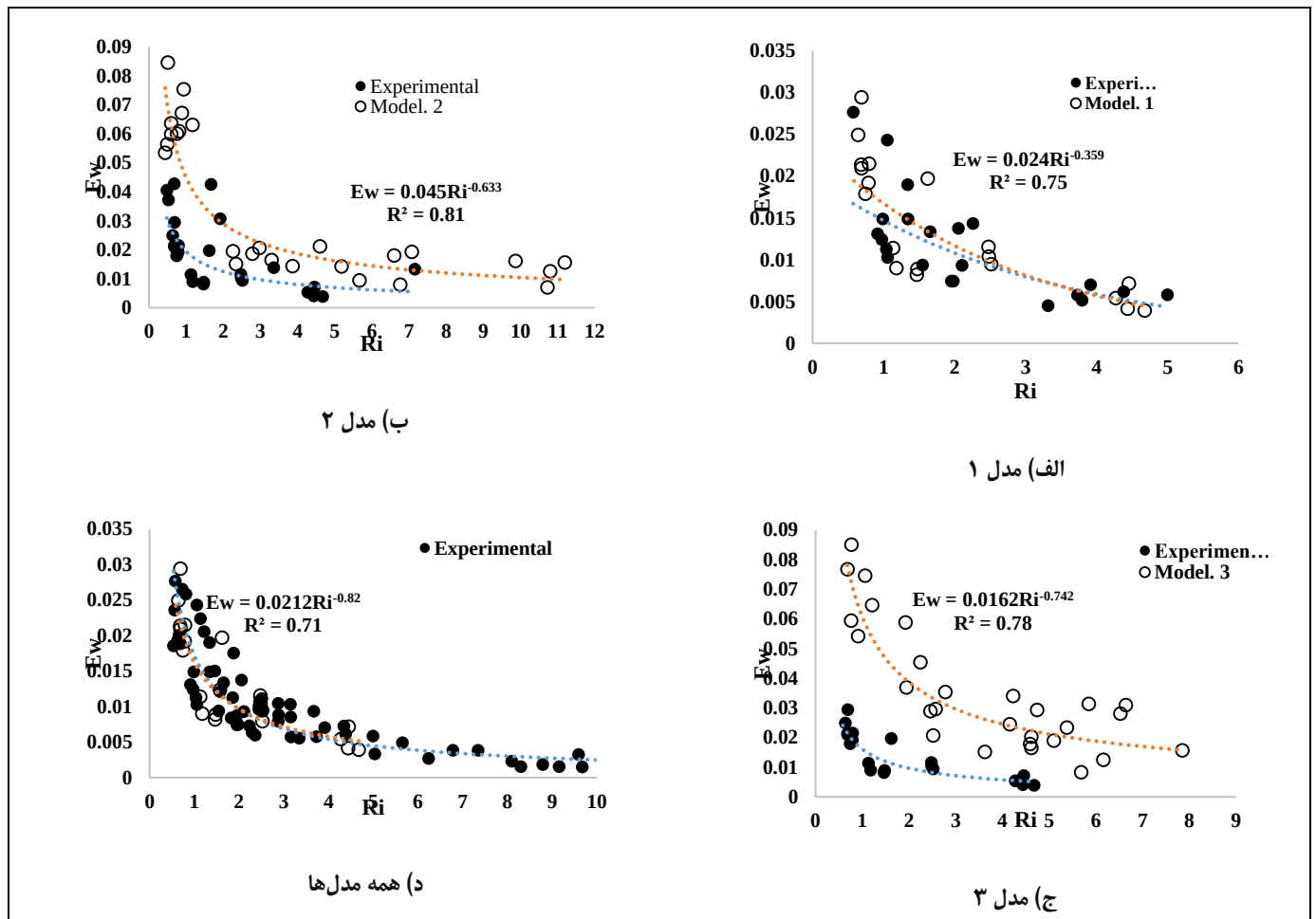
بررسی شدت اختلاط و عدد ریچاردسون

مهمترین ناحیه از نظر هیدرودینامیک جریان، فصل مشترک جریان است. گردابه‌ها ناشی از حرکت دو سیال مختلف با دو سرعت متفاوت در این ناحیه ایجاد می‌شود و سیال سبک‌تر بالایی را به درون جریان گل آلود می‌کشد. به این ترتیب جریان گل آلود رقیق می‌شود و از سرعت و غلظت متوسط آن به تدریج کاسته خواهد شد. این امر به نوبه خود باعث کاهش اغتشاش‌ها می‌شود و از درون آمیختگی

جدول ۴- ارتباط بین عدد ریچاردسون و شدت اختلاط در محل انحنا مدل‌ها

Table 4. Relationships between the Richardson number and entrainment ratio in the curvature of the models

Series	relationships	correlation
Model.No 1	$Ew=0.024 Ri^{-0.359}$	$R^2=0.75$
Model.No 2	$Ew=0.045 Ri^{-0.633}$	$R^2=0.81$
Model.No 3	$Ew=0.016 Ri^{-0.742}$	$R^2=0.78$
Total Models	$Ew=0.0212 Ri^{-0.82}$	$R^2=0.71$

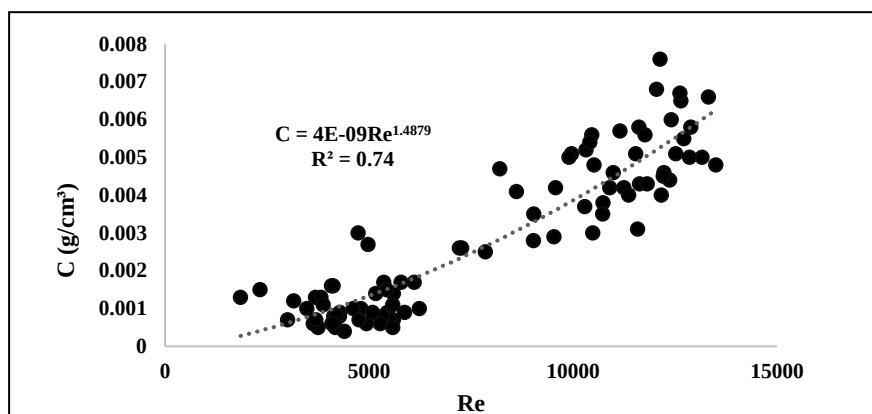


شکل ۶- عدد ریچاردسون بر حسب شدت اختلاط در انحنا در مدل‌های مختلف

Fig. 6 - Richardson number against entrainment ratio in curvature of different models

نیز افزایش می‌دهد. در شکل ۷، با افزایش شدت اختلاط و غلظت جریان، اعداد رینولدز بیشتر و جریان آشفته‌تر می‌شود و عدد ریچاردسون کاهش یابد. تجمع اعداد رینولدز در محدوده $6000 < Ri < 2500$ است که بهترین همبستگی برای کل داده‌ها ۰.۷۴ به خود اختصاص می‌دهد.

رفتار هر جریان گل‌آلود بستگی کامل به اعداد ریچاردسون و رینولدز دارد. در اعداد رینولدز بالا به دلیل ناپایداری شدیدی که در ابتدای کانال به وجود می‌آید، درون آمیختگی زیاد است و باعث افزایش ناگهانی ارتفاع می‌شود. با افزایش ارتفاع جریان چگال، سرعت کاهش می‌یابد و عدد ریچاردسون را



شکل ۷- رابطه اعداد رینولدز با غلظت جریان در همه مدل‌ها

Fig. 7 - Relationship between Reynolds numbers and current concentration in all models

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با شبیه‌سازی سه بعدی جریان چگال در مدل‌های با خم ۱۸۰ درجه و انحنای سینوسی محدود و همچنین سینوسی همراه با سیلاب دشت و با انتخاب بهترین مش محاسباتی، نوع آشفتگی، شیب، غلظت و عدد فرود، به بررسی خصوصیات جریان از جمله پروفیل‌های عمقی سرعت، غلظت و آشفتگی در انحنای کانال پرداخته شده است. در این تحقیق، برای مدلسازی سه بعدی از نرم افزار فلوئنت استفاده شده است که به دلیل آسان بودن در تعیین شرایط مرزی، نوع مش بندی و حل معادلات به عنوان ابزاری مفید و قدرتمند به کاررفته است. شبکه بهینه برای شبیه‌سازی عددی با تعداد مش $140 \times 20 \times 60$ و مدل آشفتگی بهینه، مدل k-ε از نوع RNG انتخاب شد که در مقایسه با مدل آزمایشگاهی خطای کمی از خود نشان داده است. پروفیل قائم سرعت موضعی تحت اثر شیب‌های مختلف در مدل محدود انحنای سینوسی، در شیب‌های پایین، ضخامت جریان چگال افزایش و به مراتب سرعت ماکزیمم کاهش می‌یابد. با توجه به پروفیل قائم سرعت تحت اثر غلظت‌های مختلف در ارتفاع نزدیک بستر هرچه غلظت‌ها بیشتر شود، به

طور کلی سرعت جریان چگال کمتر می‌شود. همچنین با افزایش عدد فرود جریان چگال، سرعت جریان چگال و ضخامت جریان در محل‌های انحنای دار افزایش می‌یابد. وجود انحنای بر مقادیر سرعت، غلظت و ضخامت جریان چگال اثر گذار است، تاثیر انحنای در مدل شماره ۱ با خم ۱۸۰ درجه، باعث افزایش ۴۳ درصد در سرعت جریان چگال شده است، و میزان غلظت جریان در ناحیه داخلی دیواره نسبت به ناحیه بیرونی دیواره کاهش یافته است. با در نظر گرفتن شرایط اولیه ورودی یکسان برای همه مدل‌ها، سرعت جریان چگال در مدل ۲ با انحنای سینوسی ۱۸/۶۴ درصد نسبت به مدل ۱ با خم ۱۸۰ درجه افزایش داشته است، که به دلیل ورود جریان با زاویه کمتر از ۹۰ درجه به کانال است و هر چه زاویه کانال به سمت ۴۵ درجه میل کند سرعت جریان بعد از انحنای افزایش بیشتری دارد. در مدل ۳ که همراه با سیلاب دشت است، سرعت جریان چگال ۴۷/۳۴ درصد نسبت به مدل ۱ با انحنای ۱۸۰ درجه کاهش داشته است. علت کاهش سرعت جریان، وجود فرم و بستر کانال و همچنین کاهش انرژی جلو برنده به دلیل پخش جریان در محیط نامحدود سیلاب دشت است. با افزایش عدد فرود ورودی از

۱/۲۲ به ۸، در مدل شماره ۱ با انحنای ۱۸۰ درجه به ترتیب الگوی پروفیل غلظت نسبت به مدل شماره ۲ و ۳ به میزان ۱۹ و ۲۱/۳ درصد کاهش می‌دهد. در تمامی داده‌های آزمایشگاهی، پروفیل غلظت جریان چگال در ناحیه جت پراکندگی بیشتری با میزان ۴۷ درصد نسبت به ناحیه دیواره از خود نشان می‌دهد. با افزایش شیب کانال از ۰/۲ درصد به ۲ درصد، میزان پراکندگی ۶۵ درصد افزایش می‌یابد اما با افزایش غلظت ورودی جریان چگال از g/cm^3 ۰/۰۶۶۷ به g/cm^3 ۰/۰۲ این میزان پراکندگی ۲۱ درصد کاهش می‌یابد. سوابق تحقیق در مورد عدد ریچاردسون و شدت اختلاط نشان داده است که همواره با افزایش عدد ریچاردسون از شدت اختلاط جریان کاسته می‌شود. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد در همه مدل‌ها اثر انحنای باعث افزایش داده‌های ریچاردسون شده است، در مدل‌های شماره ۱، ۲ و ۳ به ترتیب اعداد ریچاردسون نسبت به حالت بدون انحنای ۱۰، ۱۹ و ۱۴ درصد افزایش داشته است. با بررسی کلی اعداد ریچاردسون و شدت اختلاط هر سه مدل، همبستگی خوبی با میزان ۰/۷۱ دیده می‌شود که نسبت به مدل آزمایشگاهی ۴/۴ درصد افزایش دارد. کاهش عدد ریچاردسون در اثر افزایش غلظت و اعداد رینولدز بالاست.

قدردانی

از آقای دکتر بنان رئیس محترم دانشکده عمران شیراز، آقای دکتر طالب بیدختی، آقای نیاکام مسئول محترم آزمایشگاه آب و هیدرولیک و هیئت داوران که ما را در اجرا و ارتقای کیفی این پژوهش یاری کرده‌اند، سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

- Altinakar, M. S., Graf, W. H., & Hopfinger, E. J. (1990). Weakly Depositing Turbidity Current on Small Slopes. *Journal of Hydraulic research*, 28(1), 55-80
- Asghari Pari, S.A., Kashefipour, S.M., & Ghomeshi, M. (2017). An experimental study to determine the obstacle height required for the control of subcritical and supercritical gravity currents. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 21(9): 1080–1092.
- Bahrami, H. Ghomeshi, M. Kashefipour, S.M. & Salehi, S.A. (2017). Investigating the characteristics of the density current due to changes in the flow regime. *Journal of Marine Science and Thechnology*. 16(1): 112-121.
- Bahrami, H. Ghomeshi, M. Kashefipour, S.M. & Salehi, S.A. (2019). Investigation of the effect of various factors on density currents entrainment. *Journal of Marine Science and Thechnology*. 18(1): 1-9.
- Carrillo, J., Castillo, L., Marco, F., & Garcia, J. (2020). Experimental and Numerical Analysis of Two-Phase Flows in Plunge Pools” *Journal of Hydraulic Engineering*, 146(6), 4-11.
- Choi, S. U, & Garcia, M. H. (2002). K-ε turbulence modeling of density currents developing two dimensionally on a slope. *J. Hydraul. Eng*, 128(1), 55-63
- Diaz, B, Castanedo, S, Palomar, P, Henno, F. (2018). Modeling Nonconfined Density Currents Using 3D Hydrodynamic Models. *Journal of Hydraulc Engineering*, 145(3), 55-72
- Firoozabadi, B & Mehdizadeh, A. (2009). Simulation of a Density Current Turbulent Flow Employing Different RANS Models: A Comparison Study. *Sharif University of Technology*, 16(1), 53-63.

- Garcia, M, (1993). "Hydraulic Jumps in Sediment-Driven Bottom Currents". *J. Hydraul. Engrg.* 119(10), 1094-1173.
- Goodarzi, D., Sookhak, K., Khavasi, E., & Abolfathi, S. (2020). Large eddy simulation of turbidity currents in a narrow channel with different obstacle configurations. *Scientific Reports*, 10(1), 45-58.
- Hosseini, M. Fattahi, M, H. & Eslamian, S. (2020). Experimental Analytical Study on Fractal Behaviors of the Density Current. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 45(2), 40-57.
- Hosseini, M. Fattahi, M, H. & Eslamian, S. (2020). Experimental Investigation and Dynamic Fractal and Multi-fractal Analysis of the Density Current Patterns. *Water Resource Engineering*, 13(2), 81-98.
- Hosseini, M. Fattahi, M, H. & Eslamian, S. (2020). Experimental Study of Hydraulic Parameters in Density Current Due to Channel Constriction. *Journal of Hydraulics*, 15(3), 47-59.
- Hosseini, M. Fattahi, M, H. & Eslamian, S. (2021). Experimental investigation of density current patterns using dynamic fractal analysis. *International Journal of Sediment Research*, 36(1), 165-176.
- Imran, J & Kassem, A. (2004). Three-dimensional modeling of density current. II. Flow in sinuous confined and unconfined channels. *Journal of Hydraulic Research*, 42(6), 591-602
- Imran, J., Parker, G. & Pirmez, C. (2001). A Nonlinear Model of Flow in Meandering Submarine and Subaerial Channels". *J. Fluid Mech.* 400, 295-331
- Kubo, y. (2004). Experimental and numerical study of topographic effects on deposition from two- dimensional, particle-driven density currents. *Sedimentary Geology.*, 164(1), 311-326.
- Mauti, G., Stolle, J., Takabatake, T., Nistor, L., Goseberg, N., & Mohammadian, A., (2020). Experimental Investigation of Loading due to Debris Dams on Structures" *Journal of Hydraulic Engineering*, 146(5). 92-113.
- Peakall, J & Keevil, G. (2006). Flow structure in sinuous submarine channels: Velocity and turbulence structure of an experimental submarine channel, *Journal of Marine Geology*, 229(1) , 241-257
- Peakall, J & Ashworth, P. (2007). Meander-Bend evolution, Alluvial architecture, and the role of cohesion in sinuous river channels: a flume study. *Journal of Sedimentary Research*, 77(1), 197-212
- Pittaluga, M. & Imran, J. (2014). A simple model for vertical profiles of velocity and suspended sediment concentration in straight and curved submarine channels. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 119(2): 483-503.
- Pyler, D & Tomasso, M. (2012). Flow processes and sedimentation associated with erosion and filling of sinuous submarine channels. *Journal of GSA*, 40(2), 143-146
- Shringarpure, M. Cantero, M.I. & Balachandar, S. (2016). Analysis of turbulence suppression in sediment-laden saline currents. *Procedia Engineering*. 126(10): 16-23.
- Straub, K, M & Mohring, D. (2011). Quantifying the influence of channel sinuosity on the depositional mechanics of channelized turbidity currents: A laboratory study. *Journal of Marine and Petroleum Geology*, 28(1), 744-760.
- Wu, C. S, & Dai, A. (2019). Experiments on two-layer stratified gravity currents in the slumping phase, *Journal of Hydraulic Research*, 57(4). 115-131.

Numerical Investigation of Density Current Hydraulic Parameters due to the Curvature of the Channel Body

Mohammad Hosseini* and Mohammad Hadi Fattahi²

* Corresponding Author: Department of Civil Engineering, Ghrokarzin Center, Islamic Azad University, Ghrokarzin, Iran. Email: m.h.8894@gmail.com

Received: 22 April 2021, Accepted: 2 June 2021

Introduction

Density difference causes density flow. Density flow is the the movement of the forehead, body, and tail of the heavy fluid into the ambient flow, and the buoyancy or gravity force causes the drive force. The movement of dense current under clear water creates a shear layer at the interface between clear water and density fluid. Therefore, at the interface, many cuts and vortices are created and this causes the entrainment of smooth water and density flow, which reduces the amount of density difference and the buoyancy force. Hosseini & Fattahi (2020) showed that the variations in the waterway shape causes higher velocity of density flow and decreases the flow thickness. Also, increasing the density of density flow, increases the maximum velocity in velocity profiles. This increase in the maximum velocity of the density flow is more pronounced in streams with higher inlet flow. The velocity profile patterns in the wall and jet area of the density flow body are influenced by the flow regime.

Materials and Methods

In this research, the density flow is illustrated in 3 different models according to Figure 1. The opening rate of the density flow valve is considered to be 1 cm. In this research, we have tried to show the effect of curvature at 180° bend and sinusoidal shape restricted channel and the flood plain. In this simulation the channel with 4 different longitudinal slopes, 0.002, 0.005, 0.008 and 0.02, are modeled and also 4 different densities, 0.00667, 0.00727, 0.00859 and 0.01 g / cm³, and 4 f Froude numbers, 1.2, 3, 5 and 8, have been used. Moreover six different mesh gridding for the flood plain and six different mish gridding for the channel are considered. it should be mentioned that 6 types of turbulence models (The k-ε model (standard, RNG, investigable), the kw model (standard, SST) and the RSM model (linear strain-pressure) are used.

Results and Discussion

Four types of networks were selected for finite channel with sinusoidal curvature. Figure (3) compares the different mesh gridding with the tested mesh and it was observed that in the range close to the bed, at high speeds, meshes with dimensions of 60 × 20 × 140 are very close to the experimental model developed by Hosseini & Fattahi (2020). Also, considering all 3 optimal models for turbulence models, k-ε models can be considered more optimal than k-ω and RSM models. The effects of the increasing slope of the flume bed in the wall area is more tangible than in the jet area while Froude number and input density are the same. On the other hand, increasing the slope of the channel bed from 0.2% to 2%, reduces the density flow thickness along the channel. As a result, the flow velocity shows an increase in the density flow which causes the growth of the drive force and will increase the turbulent flow velocity by increasing the inlet Froude number from 1.22 to 8. In all laboratory data, the density current concentration profile in the jet area shows a higher dispersion of 47% than the wall area. By increasing the slope of the channel from 0.2% to 2%, the dispersion rate increases by 65%, but by increasing the density rate of the density current from 0.00667 g / cm³ to 0.02 g / cm³, this dispersion rate

decreases by 21%. Richardson data and entrainment ratio in model No.1 increased by 10% compared to the experimental model and also these data increased by 19% in model No.2 compared to the experimental model.

Conclusion

In this research, we tried to simulate the three-dimensional density flow in models with 180 degree bend and limited sinusoidal curvature as well as sinusoidal patterns with plain flood. Also, the most optimal computational mesh, turbulence model, slope, density and Froude number are investigated as long as the studies include the depth profiles of velocity, density, turbulence, etc. in a situation where the channels are curved. Moreover, by increasing the number of Froude numbers from 1.22 to 8, due to model number 1 with 180 degree curvature, the pattern of density profile decreases by 19% and 21.3% compared to models number 2 and 3, respectively. Also, in all laboratory data, the density current concentration profile in the jet area shows a higher dispersion of 47% than the wall area. With increasing the slope of the channel from 0.2% to 2%, the dispersion rate increases by 65%. Richardson number has established a significant relationship with the entrainment ratio, which has a correlation of 0.71. Also the numerical entrainment ratio (for all three models) increased by 4.4% compared to the experimental model.

Acknowledgments

We would like to thank Water and Hydraulic Laboratory of Shiraz University for their effective cooperation.

Keywords

Density current, Computational fluid dynamics, K- ϵ model of RNG type, Entrainment ratio, Richardson number

بررسی اثر سازه‌های کنترل رسوب بر انرژی جنبشی آشفته‌گی در دهانه آبگیر

امیر مرادی نژاد^{۱*}، امیر حمزه حقی آبی^۲، مجتبی صانعی^۳ و حجت اله یونسی^۴

۱- استادیار بخش آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، اراک، ایران
۲ و ۴- به ترتیب: استادیار و استادیار گروه سازه‌های آبی دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران
۳- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور وابسته به سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۱۷

چکیده

آشفته‌گی یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های الگوی جریان در آبیگری از مجاری روباز است. بررسی انرژی جنبشی آشفته‌گی جریان در پیش‌بینی توپوگرافی بستر به کار می‌رود. تجمع و ورود رسوبات به دهانه آبگیر یکی از مشکلاتی است که در اکثر آبگیرها به وجود می‌آید. در این تحقیق، از دو سازه دیوار جداکننده در جلوی آبگیر و آبشکن در ساحل مقابل آن استفاده شده است. با استفاده از مدل عددی FLOW3D میدان جریان سه بعدی اطراف آبگیر و انرژی جنبشی آشفته‌گی ترسیم و نتایج مدل عددی با مدل آزمایشگاهی مقایسه شد. نتایج نشان داد با افزودن سازه آبشکن با زاویه ۶۰ درجه و در فاصله ۲b (عرض آبگیر) از مرکز دهانه آبگیر در کانال اصلی، سرعت برآیند در کانال اصلی ۱/۵ برابر دو حالت بدون آبشکن و با دیوار جداکننده است و ناحیه داخل آبگیر را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین مرکز تغییر جهت بردارهای سرعت به طرف آبگیر جابه‌جا شده و در نتیجه در محدوده پشت آبشکن، سرعت طولی کاهش و قابلیت رسوب‌گذاری وجود دارد. مقایسه توزیع بیشینه انرژی جنبشی آشفته‌گی جریان در دو عمق مختلف بیانگر افزایش ۵۰ درصدی بیشینه انرژی جنبشی آشفته‌گی در لایه بالایی نسبت به لایه پایینی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

آبگیر، آبشکن، دیوار جداکننده، هیدرولیک جریان، مدل عددی Flow3D

مقدمه

شدید جریان می‌شود. این آشفته‌گی در بسترهای آبرفتی تأثیر زیادی بر مورفولوژی رودخانه دارد. سرعت بالای جریان در دهانه آبگیر باعث فرسایش شدید بستر رودخانه و در نتیجه ورود رسوب به آبگیر می‌شود. این پدیده‌ها ارتباط مستقیمی با آشفته‌گی جریان دارند و محل آبیگری از رودخانه‌ها که دارای الگوی جریان آشفته و کاملاً سه بعدی است، بازه‌ی مهمی برای مطالعه انرژی جنبشی آشفته‌گی می‌باشد.

آبیگری از رودخانه و انشعاب از کانال‌ها یکی از مسائل پرکاربرد در هیدرولیک و مهندسی رودخانه است. جریان در یک انشعاب به طور ذاتی یک جریان سه بعدی و دارای پیچیدگی‌های خاص خود می‌باشد. به دلیل عدم یکنواختی پروفیل سرعت در عمق و اثر اندرکنش بین جریان‌های ثانویه، الگوی جریان حلزونی تشکیل می‌شود که خود عامل ایجاد آشفته‌گی

(2005) آزمایش‌هایی را روی آبگیر با زاویه‌های ۴۵، ۵۵، ۶۷، ۷۹ و ۹۰ درجه در نسبت دبی‌های مختلف انجام دادند و زاویه بهینه آبگیری را در شرایط کمترین جداشدگی، حدود ۵۵ درجه بدست آوردند. رامامورتی و همکاران (Ramamurthy et al., 2007) در تحقیقات خود نشان دادند که عرض و طول منطقه جداشدگی در کانال فرعی با افزایش دبی آبگیری کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش دبی خروجی زاویه خروجی جریان (زاویه خطوط جریان وارد شده به کانال فرعی نسبت به کانال اصلی) کاهش می‌یابد (در یک عمق ثابت)، همچنین منطقه جداشدگی در نزدیکی کف کانال نسبت به سطح آب کوچکتر می‌باشد. وبر و همکاران (Weber et al., 2001) جریان سه‌بعدی در محل یک اتصال ۹۰ درجه را با اندازه‌گیری بردارهای سرعت در سه جهت در نقاط مختلف توصیف کردند. نتایج حاصل از آزمایش‌های آنها نشان داد که ابعاد ناحیه جداشدگی و همچنین چرخش جریان در سطح آب بزرگتر و بیشتر نسبت به کف است. آسیایی و منتظری (Asian & Montaseri, 1394) در مطالعه خود به شبیه‌سازی عددی شکل‌گیری توپوگرافی بستر در قوس با آبگیر جانبی با مدل عددی SSIIM2 پرداختند. نتایج حاصل از مدل عددی نحوه حرکت رسوبات در قوس، مکانیسم‌های ورود رسوبات به آبگیر، محل تشکیل دیون‌های متناوب در بالادست آبگیر، محل تشکیل پشته‌های رسوبی را به خوبی شبیه‌سازی نموده است. همچنین توپوگرافی بستر در زمان تعادل و ارتفاع تراز بستر در مقاطع عرضی مختلف با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است و خطای محاسبه شده نشان داد که بیشترین اختلاف در جلوی دهانه آبگیر می‌باشد. پوربهمن (Purbhman, 2015) جریان رسوب ورودی به سازه

انرژی جنبشی آشفته‌گی می‌تواند برای تعیین نقاط مستعد آبشستگی استفاده شود. هنگامی که آب وارد دهانه آبگیر می‌شود، تفاوت سرعت در بالا و پایین دهانه آبگیر، باعث ایجاد جریان‌های ثانویه و چرخشی می‌گردد. این جریان چرخشی مانع عبور کل جریان از دهانه آبگیر می‌گردد، این مساله باعث کاهش دبی ورودی، ته‌نشینی رسوبات در این ناحیه و در نتیجه بسته شدن آبگیر می‌گردد. وجود پارامترهای زیادی در الگوی رسوب‌گذاری در آبگیری از کانال‌ها باعث پیچیدگی تئوری جریان در محل تقاطع کانال‌ها شده است. بررسی جریان انشعابی، شناخت نحوه رفتار جریان در نواحی جداشدگی به دو جریان، مستلزم بررسی الگو و دینامیک جریان می‌باشد. شناخت الگوی جریان در نواحی انشعاب جریان می‌تواند برای پیش‌بینی فرایندهای رسوبی راه‌گشا باشد. در این مقاله بررسی الگوی جریان انشعابی به صورت مدل عددی Flow3D و آزمایشگاهی مورد توجه بوده است. بر روی جریان انشعاب از کانال‌ها و رودخانه‌ها تحقیق‌های زیادی تاکنون صورت گرفته است. اولین تحقیق موجود در رابطه با الگوی جریان در آبگیرها مربوط به لئوناردو داوینچی می‌باشد. ناحیه جداشدگی درون آبگیر، مجرای جریان و گردابه‌ای در کانال اصلی بعد از آبگیر توسط او شناخته شده است. مطالعات نیری و همکاران (Neary et al., 1999) نشان داد جریان در اطراف آبگیرهای جانبی، کاملاً سه‌بعدی و متأثر از اثرات زبری است. بر اساس مطالعات نیری (Neary, 1995) گرادیان فشارهای طولی در مجاورت سر دهانه آبگیر موجب تشکیل گرادیان سرعت و تغییرات عمق جریان در این محل می‌گردد، لذا باعث شکل‌گیری جریان گردابی و نواحی جریان برگشتی در وجه بالادست آبگیر خواهد شد. کشاورزی و حبیبی (Keshavarzi & Habibi,

حاصل از یک مدل فیزیکی به منظور کالیبراسیون و همچنین ارزیابی درستی مدل Flow3D مورد استفاده قرار گرفت. مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی نشان داد که مدل مذکور با متوسط خطایی حدود ۳/۶ درصد قادر به شبیه‌سازی حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری در محل تقاطع در کانال فرعی و با متوسط خطایی حدود ۲۶ درصد قادر به شبیه‌سازی عمق فرسایش در ساحل راست کانال اصلی در گزینه‌های مختلف دبی جریان می‌باشد. حسینی و عبدی‌پور (Hoseyni, and Abdipour, 2015) با استفاده از نرم‌افزار Flow3D به مدل‌سازی عددی پروفیل سرعت در جریان‌های گل‌آلود پیوسته پرداختند و تأثیر شیب، غلظت و دبی جریان بر آن را مورد مطالعه قرار دادند. مرادی‌نژاد و همکاران (Moradinejad et al., 2019) در مطالعه‌ای به بررسی اثر دیوار جداکننده و آبشکن بر الگوی سرعت جریان و رسوب در دهانه آبگیر جانبی پرداختند. نتایج نشان داد وجود آبشکن باعث شده سرعت طولی در لایه نزدیک کف ۲/۲۵ برابر و سرعت عرضی در لایه سطحی ۱/۳۳ برابر نسبت به حالت بدون آبشکن افزایش یابد. مرادی‌نژاد و همکاران (Moradinejad et al., 2018) در مطالعه آزمایشگاهی دیگر، تأثیر زاویه دیوار جداکننده روی کنترل رسوب در دهانه آبگیر پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که در حالت وجود دیوار جداکننده و ترکیب آن با آبشکن مقدار رسوب ورودی به آبگیر به طور متوسط در دیوار با زاویه ۱۰ درجه ۸۱ درصد، دیوار با زاویه ۱۴ درجه ۷۸ درصد و دیوار با زاویه ۱۸ درجه ۷۶ درصد کاهش یافته است. ترکیب دیوار جداکننده و آبشکن نسبت به دیوار جداکننده به تنهایی در کاهش رسوبات ورودی به آبگیر به طور متوسط برای هر سه زاویه به میزان ۱۵ درصد تأثیر

آبگیر ایستگاه پمپاژ دره شهر (تلمبه‌خانه‌های چم‌ژاب و آرمو) در قوس خارجی رودخانه سیمره را با مدل عددی Flow3D شبیه‌سازی نمود. در این تحقیق تأثیر نسبت دبی آبگیری بر ابعاد ناحیه جدایی جریان، میزان رسوب و دبی ورودی به آبگیر مورد مطالعه قرار گرفت. مقایسه نتایج با داده‌های میدانی نشان داد که مدل عددی Flow3D قادر به شبیه‌سازی رسوب و دبی ورودی به آبگیر می‌باشد. رحمانی فیروزجانی و همکاران (Fyruzjany Rahmani, 2015) در مطالعات خود به شبیه‌سازی عددی تأثیر زاویه آبگیری بر الگوی جریان در آبگیرهای جانبی با استفاده از نرم‌افزار Flow3D پرداختند. مقایسه نتایج حاصل با نتایج آزمایشگاهی نشان داد که مدل‌های عددی حاضر از دقت قابل قبولی برخوردار بوده است. همچنین نتایج شبیه‌سازی عددی در مقایسه سه زاویه آبگیر ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه نشان داد که آبگیری در زاویه ۶۰ درجه نسبت به کانال اصلی در مقایسه با دو زاویه دیگر بیشترین راندمان آبگیر را دارد. که علت آن کمتر بودن گردابه داخل آبگیر می‌باشد. آقایی دانشور و طالب بیدختی (Aghaei Daneshvar, 2015) Taleb Beidokhti, & جریان متلاطم و آبشستگی موضعی بستر اطراف یک آبشکن را با حل روابط سه‌بعدی ناوراستوکس و روابط انتقال رسوب با مدل عددی Flow3D شبیه‌سازی عددی کردند. در این تحقیق شبیه‌سازی عددی دو مدل آشفتگی $k-\epsilon$ و گروه نرمال شده RNG در ایجاد حداکثر عمق آبشستگی با شرایط آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفت و مدل آشفتگی RNG مدل دقیق‌تر و مناسب‌تری ارائه داد. سروری و همکاران (Sarvary et al., 2015) به ارزیابی کاربرد مدل عددی Flow3D در پیش‌بینی تغییرات ریخت‌شناسی در محل تلاقی رودخانه‌ها پرداخت. نتایج آزمایشگاهی داده‌های

بیشتری دارد. از آنجایی که بررسی انرژی جنبشی آشفته‌گی جریان در لایه‌های نزدیک به بستر در آبگیرها و کانال‌های روباز به دلیل ایجاد تنش‌های برشی بیشینه بستر و بحث آبشستگی کف، اهمیت زیادی دارد، بنابراین شناخت هیدرولیک جریان و توزیع انرژی جنبشی آشفته‌گی در ابتدای دهانه آبگیر حائز اهمیت است. در این تحقیق جهت کنترل رسوب ورودی به آبگیر برای اولین بار از سازه دیوار جداکننده در جلوی آبگیر همراه با آبشکن استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

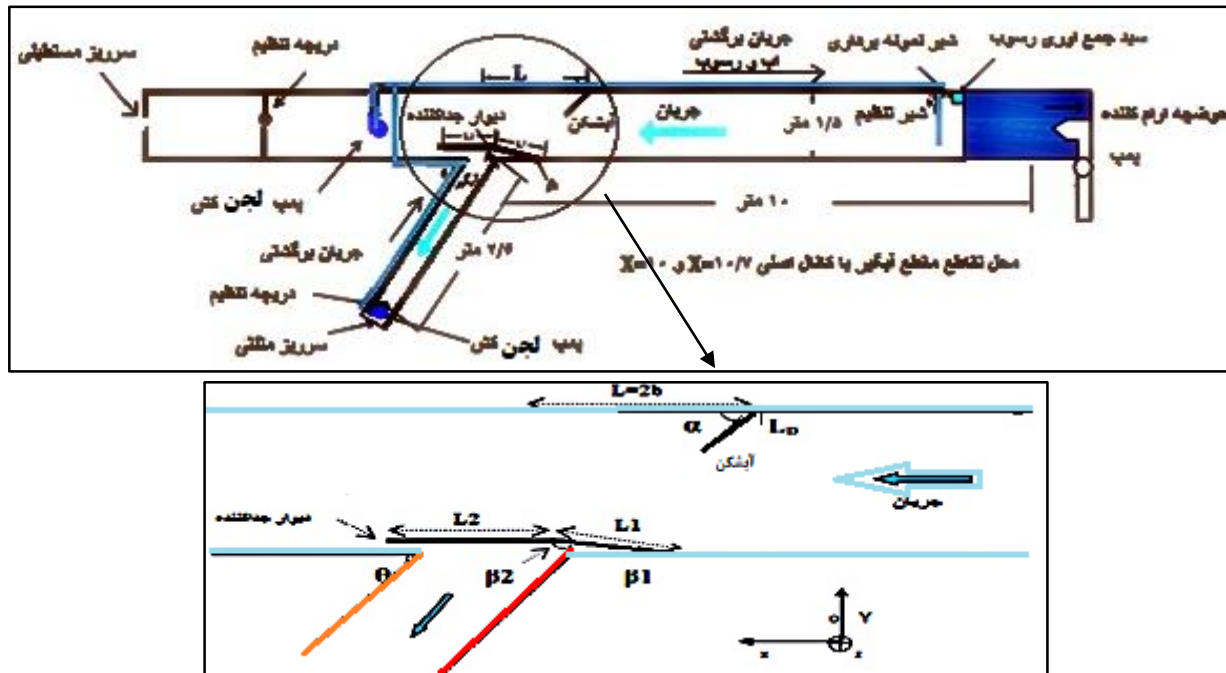
آزمایش‌ها در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور بر فلومی به طول ۱۲ متر و عرض ۱/۵ و ارتفاع ۰/۹ متر و دارای سیستم گردش آب و رسوب انجام گرفت. آبگیری توسط کانال جانبی به عرض ۰/۶ متر و طول ۲/۵ و با زاویه ۶۰ درجه نسبت به جهت جریان در کانال اصلی انجام می‌شود. برای اندازه‌گیری جریان در کانال‌های اصلی و آبگیر از سرریزهای لبه تیز مستطیلی و مثلثی، برای اندازه‌گیری سرعت و جهت جریان از سرعت‌سنج الکترومغناطیس دو بعدی ساخت مؤسسه هیدرولیک دلفت هلند، با دقت ± 0.01 متر بر ثانیه، برای اندازه‌گیری پروفیل سطح آب از ارتفاع سنج (Point Gage) و بستر نگار (پروفایلر) با دقت ± 0.1 میلی‌متر استفاده گردید. محدوده اندازه‌گیری سرعت، پروفیل سطح آب و بستر از ۳ متری بالای آبگیر تا ۲ متری پایین آن بود. این محدوده شبکه‌بندی و در نقاط شبکه، سرعت در سه عمق و پروفیل بستر و سطح آب برداشت شد. سازه دیوار جداکننده از دو شاخه تشکیل شده، شاخه ابتدایی که طول آن ۷۵ و ارتفاع آن ۲۵ سانتی‌متر که یک سمت آن با زاویه به ساحل

سمت آبگیر و سمت دیگر آن به شاخه دوم وصل می‌شود. شاخه دوم موازی ساحل با طول ۱۱۲ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر در جهت جریان ادامه دارد شکل ۱ نسبت طول شاخه‌ها بر اساس تحقیقات بارکدول (۱۹۹۹)، $\frac{L_2}{L_1} = 1/5$ در نظر گرفته شده است. در دیوار مقابل آبگیر، بر اساس تحقیقات آزمایشگاهی که توسط مرادی‌نژاد و همکاران (Moradinejad et al., 2018) انجام شد، ترکیب دیوار جداکننده با آبشکن با زاویه ۶۰ درجه با طول ۰/۲۵B و در فاصله ۲b از مرکز آبگیر، نسبت به حالت‌های دیگر، دارای کمترین میزان رسوب و بیشترین مقدار دبی ورودی به آبگیر را دارد. لذا از آبشکن با زاویه ۶۰ درجه با طول ۰/۲۵B و در فاصله ۲b از مرکز آبگیر استفاده شد. رسوبات بکار رفته در این آزمایش‌ها از ماسه به قطر متوسط ۱ میلی‌متر، جرم مخصوص ۲/۶۵، انحراف معیار ۱/۴۷ و ضریب یکنواختی ۲/۲ می‌باشد. تعداد ۴۴ آزمایش انجام گرفت. در آزمایش‌های این تحقیق از روشی موسوم به سیستم چرخشی رسوب استفاده می‌شود. هر دو قسمت کانال اصلی و آبگیر، دارای سیستم چرخشی رسوب می‌باشد.

قسمت خروجی کانال اصلی و کانال آبگیر به صورت مخروطی طراحی و ساخته شده است. جریان آب و رسوب بعد از وارد شدن به این قسمت آرام شده و رسوبات ته‌نشین شده‌اند. قسمتی از جریان و کل رسوب خروجی از آبگیر و کانال اصلی توسط پمپ رسوب‌کش به ابتدای کانال اصلی بر می‌گردد. جریان آب و رسوب ورودی به ابتدای کانال اصلی در خط مرکزی کانال اصلی تزریق می‌شود این سیستم پس از مدتی به تعادل می‌رسد، یعنی میزان رسوب ورودی به کانال با میزان رسوبی که از دو شاخه کانال خارج می‌شود برابر خواهد شد. در جدول ۱

محدوده تغییرات داده‌ها آمده است. در این جدول:
 دبی جریان در کانال اصلی (Q_m)، دبی جریان در
 کانال آبگیر (Q_L)، عمق جریان در کانال اصلی (d)،
 زاویه سازه دیوار جداکننده با ساحل (β_1)، نسبت
 دبی رسوب ورودی به کانال آبگیر به دبی رسوب

بالادست کانال اصلی $G_r = \frac{Q_{sl}}{Q_{sm}}$ ، نسبت دبی کانال
 آبگیر به دبی کانال اصلی (نسبت آبگیری)
 $F_r = \frac{Q_r}{Q_m}$ ، عدد فرود جریان بالادست آبگیر
 می‌باشد.



شکل ۱- شمایی از فلول آزمایشگاهی و سازه‌های بکار برده شده در آزمایش‌ها

Figure 1- Scheme of laboratory flume and structures used in experiments

جدول ۱- محدوده تغییرات پارامترها در آزمایش‌ها مربوطه

Table 1- Range of parameter changes in relevant experiments

β_1°	G_r	Q_r	F_r	$d(m)$	$Q_L(l/s)$	$Q_m(l/s)$	پارامترها
$18^\circ - 14^\circ - 10^\circ$	$0.35 - 0.4$	$0.19 - 0.10$	$0.43 - 0.34$	$0.1 - 0.07$	$1.0/5 - 3/5$	$40 - 30$	محدوده
						$60 - 50$	تغییرات

روابط حاکم بر سیال و معرفی نرم افزار Flow3D
 در مختصات کارتزین حالت سه بعدی رابطه
 پیوستگی به صورت زیر می‌باشد.

$$v_f \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) = \frac{PSOR}{\rho} \quad (1)$$
 که در آن،
 u, v, z = مولفه‌های سرعت در جهت x, y, z
 می‌باشد؛ A_x, A_y, A_z = سطح مقطع جریان؛
 ρ = چگالی جریان؛ $PSOR$ = ترم منبع و
 v_f = جزء حجمی سیال.
 روابط مربوط به مومنتم نیز در حالت سه بعدی
 به صورت زیر است.

روابط حاکم بر سیال و معرفی نرم افزار Flow3D
 در مختصات کارتزین حالت سه بعدی رابطه
 پیوستگی به صورت زیر می‌باشد.

$$v_f \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) = \frac{PSOR}{\rho} \quad (1)$$
 که در آن،
 u, v, z = مولفه‌های سرعت در جهت x, y, z
 می‌باشد؛ A_x, A_y, A_z = سطح مقطع جریان؛
 ρ = چگالی جریان؛ $PSOR$ = ترم منبع و
 v_f = جزء حجمی سیال.
 روابط مربوط به مومنتم نیز در حالت سه بعدی
 به صورت زیر است.

تنظیم شد که خطوط شبکه متعامد باشند. در این تحقیق برای انجام محاسبات، از دو مش به صورت عمود بر هم، یکی برای کانال اصلی به طول ۲/۸ متر و عرض ۱/۶ و ارتفاع ۰/۵ متر و دیگری برای آبگیر به طول ۰/۷ متر و عرض ۱/۰۵ و ارتفاع ۰/۲۵ متر استفاده شد. در مجموع ۱۶۷۷۰۸۳ سلول هر کدام به ابعاد (۰/۰۱) بر حسب متر برای شبکه‌بندی مدل در نظر گرفته شد. پس از تولید شبکه محاسباتی، شرط مرزی و شرایط اولیه، شبیه‌سازی جریان آب و رسوب انجام شد. به همین منظور در ورودی کانال اصلی از شرط مرزی دبی جریان و ارتفاع ورودی جریان که از داده‌های آزمایشگاهی بدست آمد، استفاده شد. در پایین دست کانال اصلی، از شرط مرزی outflow سطح آب استفاده شد.

هندسه و مش‌بندی مدل

جهت مقایسه تاثیر سازه‌های دیوار جداکننده و آبشکن بر هیدرولیک جریان و مقایسه با حالت بدون سازه هر کدام از حالت‌ها به طور جداگانه به کمک مدل عددی مطالعه شد. در مدل‌سازی عددی از مدل RNG استفاده شد. چون مدل RNG در جریان‌های چرخشی و در مدل‌سازی میدان‌های دارای انحنا و یا پیچیدگی هندسی کاربرد بیشتری دارد. مدل کانال اصلی و سازه‌ها در نرم افزار اتوکد ساخته شد و با فرمت Stl ذخیره و در محیط Flow3D فراخوانی شد. در شبیه‌سازی عددی برای کاهش زمان محاسبات معمولاً بخشی از کانال آزمایش در نظر گرفته می‌شود شکل ۲. در این نرم‌افزار این امکان وجود دارد که با توجه به اهمیت برخی مقاطع، تعداد و اندازه شبکه‌هایی که برای تولید میدان حل مورد نیاز باشد ریزتر (پر اهمیت) و یا درشت تر (کم اهمیت) در نظر گرفته شود. زمان اجرای محاسبات و میزان مطابقت نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{v_f} \left(u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{v_f} \left(u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + G_y + f_y \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{v_f} \left(u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + G_z + f_z \end{aligned} \quad (2)$$

که در آنها،

P = فشار سیال؛ G_x, G_y, G_z = مربوط به شتاب ایجاد شده از بدنه سیال؛ f_x, f_y, f_z = شتاب لزجت در سه بعد و (V_f) = جزء حجمی سیال که به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود. برای مدل‌سازی سطح آزاد سیال از تکنیک (VOF) استفاده شد. از آنجایی که کسر حجمی F بیان کننده مقدار سیال در هر سلول می‌باشد، مقداری بین صفر و یک را اختیار می‌کند (Flow Science Inc) و (Moradinejad et al., 2018).

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{v_f} \left[\frac{\partial}{\partial x} (F A_x u) + \frac{\partial}{\partial y} (F A_y v) + \frac{\partial}{\partial z} (F A_z w) \right] = 0 \quad (3)$$

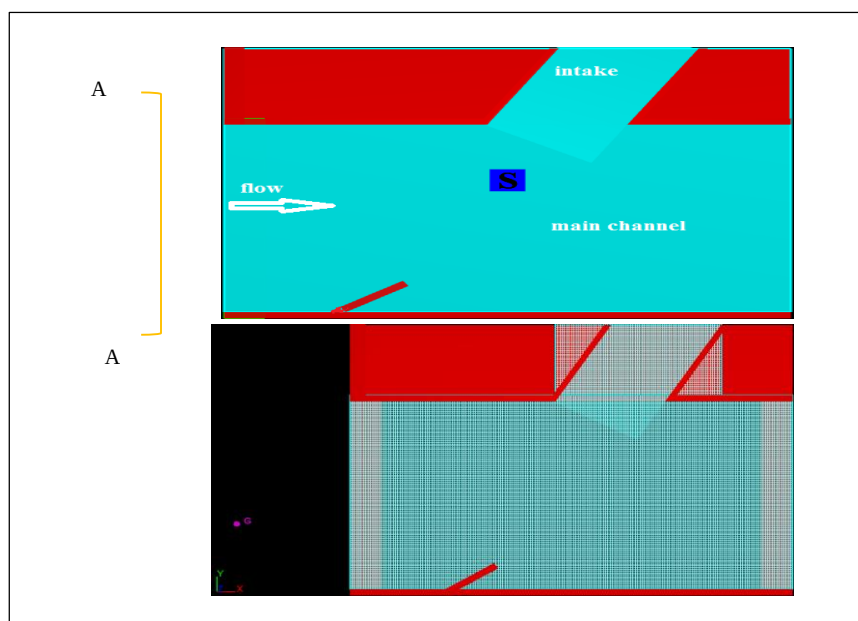
شبیه سازی عددی جریان و رسوب در Flow3D

مدل عددی Flow3D یک شبکه ساختاری سه بعدی، متشکل از سلول‌های مکعب مستطیلی برای میدان مورد نظر ایجاد می‌کند. به همین منظور و با استفاده از نرم‌افزار اتوکد ابتدا یک مدل سه‌بعدی منطبق بر مشخصات مدل آزمایشگاهی تولید شد و سپس نتایج حاصل به نرم افزار Flow3D برای تولید شبکه با به کارگیری دو ابزار مناسب FAVOR و VOF تعیین مرزها و شبکه محاسباتی معرفی شد. پس از ورود داده‌های هندسی به محیط نرم‌افزار و تعیین مرزهای کانال اصلی و فرعی، محدوده مورد نظر با استفاده از روش‌های FAVOR و VOF شبکه‌بندی شد. ابعاد بهینه شبکه بر مبنای دقت لازم و زمان اختصاص یافته برای انجام محاسبات، انتخاب شده و شبکه میدان به گونه‌ای

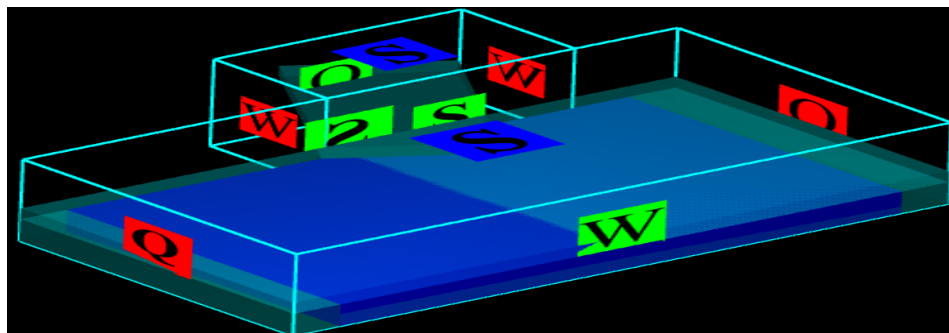
مدل‌سازی عددی، دو فاکتور مهم در انتخاب شبکه‌بندی بهینه خواهد بود. شبکه‌بندی میدان جریان در هر کدام از حالات با شرایط مدل برای فاصله گره‌ها انجام شد. شبکه‌بندی مدل برای حالتی که در مدل سازه‌ای وجود ندارد در شکل ۲ نشان داده شده است. شکل ۳ شرایط مرزی مدل را نشان می‌دهد. شرط مرزی ورودی جریان در کانال اصلی دبی (volume flow rate) با ارتفاع ورودی (fluid elevation) می‌باشد که این ارتفاع از آزمایش‌ها به دست آمد. در شرط مرزی ورودی جریان، غلظت رسوب ورودی به داخل کانال نیز وارد می‌شود. شرط مرزی خروجی در کانال اصلی از نوع جریان خروجی (outflow) انتخاب گردید. دیواره سمت راست کانال اصلی (مقابل آبگیر) و کف کانال اصلی، از نوع دیوار (wall) و دیواره سمت چپ در واقع سمت آبگیر و سطح جریان از نوع متقارن (symmetry) انتخاب گردید. شرایط مرزی برای مش مربوط به آبگیر هم به این صورت بود که ورودی و سطح آب از نوع متقارن (symmetry) بود. دیواره‌های دو طرف و کف آن از نوع دیوار (wall) و خروجی جریان از نوع جریان خروجی (outflow) انتخاب گردید.

شکل‌های ۲ و ۳ هندسه مدل آزمایشگاهی همراه بستر رسوبی و شرایط مرزی و شبکه‌بندی مدل را نشان می‌دهد.

شکل ۲- هندسه مدل آزمایشگاهی به همراه بستر رسوب و شرایط اولیه جریان نحوه شبکه‌بندی مدل



شکل ۲- هندسه مدل آزمایشگاهی به همراه بستر رسوب و شرایط اولیه جریان نحوه شبکه‌بندی مدل
Figure 2 - Geometry of the laboratory model with the sediment bed and the initial flow conditions of the model network



شکل ۳- شرایط مرزی در مدل کانال اصلی و آبگیر

Figure 3 - Boundary conditions in the main canal and catchment model

کالیبره کردن مدل

به دلیل جریان کاملاً سه‌بعدی و پیچیده در آبگیرها ابتدا باید مدل برای شرایطی مطابق با شرایط آزمایشگاهی واسنجی شود. در نرم افزار Flow3D قبل از شبیه‌سازی، لازم بود در خصوص مقدار ضریب مانینگ و ارتفاع زبری ناشی از آن صحت‌سنجی شود. بنابراین در این تحقیق، واسنجی مدل عددی Flow3D با تخمین صحیح از پارامتر ضریب مانینگ و به دنبال آن محاسبه و برآورد ارتفاع ناشی از ضریب زبری، با مقایسه عددی و آزمایشگاهی سرعت‌ها در دو بعد انجام شد. برای این منظور، ابتدا بر اساس منحنی دانه‌بندی مورد استفاده مدل آزمایشگاهی، قطر متوسط ذرات (D_{50}) استخراج شده و سپس با استفاده از یکی از روابط موجود، مقدار ضریب مانینگ برابر 0.014 برآورد گردید. در نهایت ارتفاع معادل زبری با استفاده از رابطه (Strickler & Chanson, 2004) برابر با 0.025 برآورد و به مدل معرفی شد. نتایج حاصله از شبیه‌سازی عددی در حالت وجود آبشکن و دیوار جداکننده، با نتایج آزمایشگاهی به دست آمده جلوی آبگیر در مقطع A- شکل ۲ کانال اصلی مقایسه گردید. در این تحقیق با توجه به اهداف مطالعه از ابعاد مجرای جریان و

تغییرات تعداد شبکه و مش برای واسنجی استفاده شد. برای واسنجی تعداد شبکه‌ها در سه حالت ۱، ۵ و ۲ در نظر گرفته شد و نتایج با آزمایشگاه مقایسه شد. سپس با توجه به محاسبه ضریب همبستگی و جذر میانگین مجموعه مربعات خطا طبق جدول ۲ و شکل‌های ۴ و ۵ در حالتی که از دو شبکه استفاده شد، بالاترین ضریب همبستگی حدود 0.91 برای بدون سازه و 0.94 برای با سازه و کمترین خطا به ترتیب 0.017 و 0.018 نسبت به حالت‌های دیگر (حالت ۵ و ۱ شبکه) وجود داشت. در مرحله واسنجی میزان اختلاف بین داده‌های آزمایشگاهی و عددی مقایسه گردید. به منظور ارزیابی نتایج مدل با نتایج آزمایشگاهی از ضریب همبستگی و تابع $RMSE^1$ جذر میانگین مجموعه مربعات خطا استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_o - V_c)^2}{n}} \quad (4)$$

که در آن،

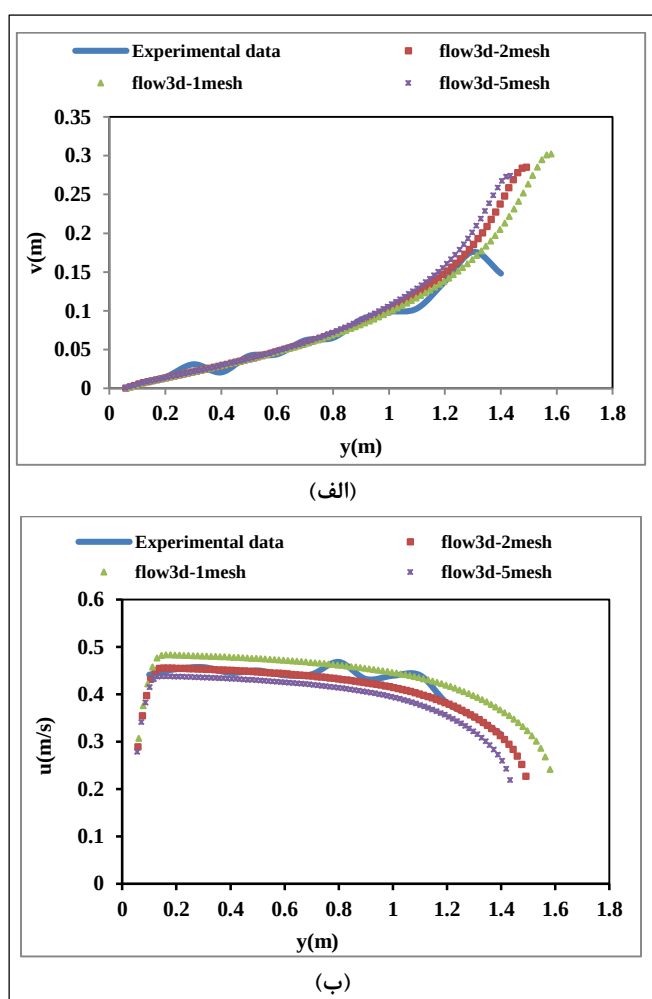
n = تعداد کل داده‌ها؛ V_o = سرعت اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه؛ V_c = سرعت بدست آمده از مدل ریاضی (Flow3D).

1- Root Mean Square Error

جدول ۲- مقدار ضریب همبستگی و خطا در مرحله کالیبره کردن (واسنجی) مدل

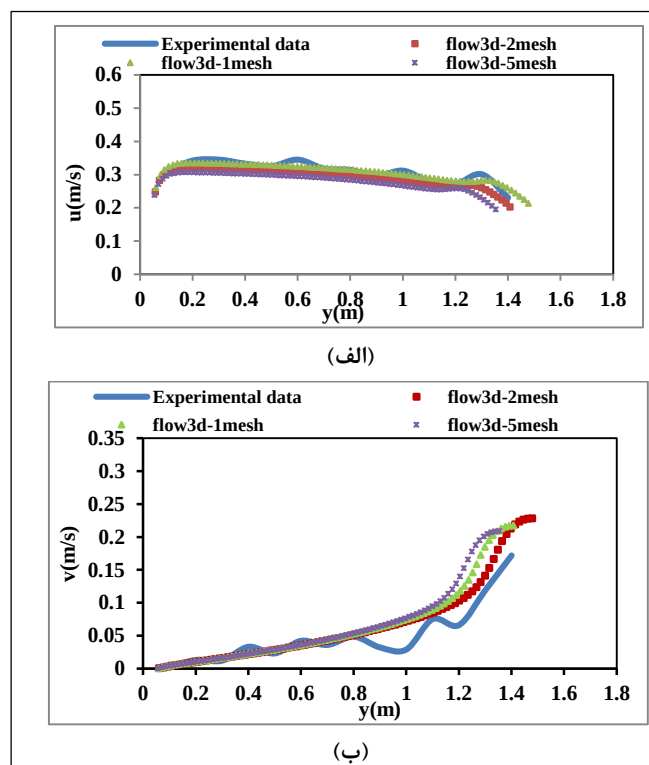
Table 2 - Value of correlation coefficient and error in the calibration stage of the model

بدون سازه												با سازه		
حالت	سرعت طولی			سرعت عرضی			سرعت طولی			سرعت عرضی				
	تعداد شبکه			تعداد شبکه			تعداد شبکه			تعداد شبکه				
ضرایب	۱	۲	۵	۱	۲	۵	۱	۲	۵	۱	۲	۵		
R ²	۰/۸۸	۰/۹۱	۰/۹۰	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۸۹۰	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۸۶	۰/۹۰	۰/۸۷		
RMSE	۰/۰۱۵	۰/۰۱۲	۰/۰۱۴	۰/۰۱۸	۰/۰۱۷	۰/۰۱۹	۰/۰۲۰	۰/۰۱۶	۰/۰۱۸	۰/۰۲۱	۰/۰۱۸	۰/۰۲۰		



شکل ۴- کالیبره کردن مدل توسط تعداد مش، با سازه، الف:سرعت طولی، ب: سرعت عرضی

Figure 4 - Calibration of the model by changes in the number of meshes, with structure, a: longitudinal velocity, b: transverse velocity



شکل ۵- کالیبره کردن مدل توسط تغییرات تعداد مش، بدون سازه، الف:سرعت طولی، ب: سرعت عرضی

Figure 5 - Calibration of the model by changes in the number of meshes, without structure, a: longitudinal velocity, b: transverse velocity

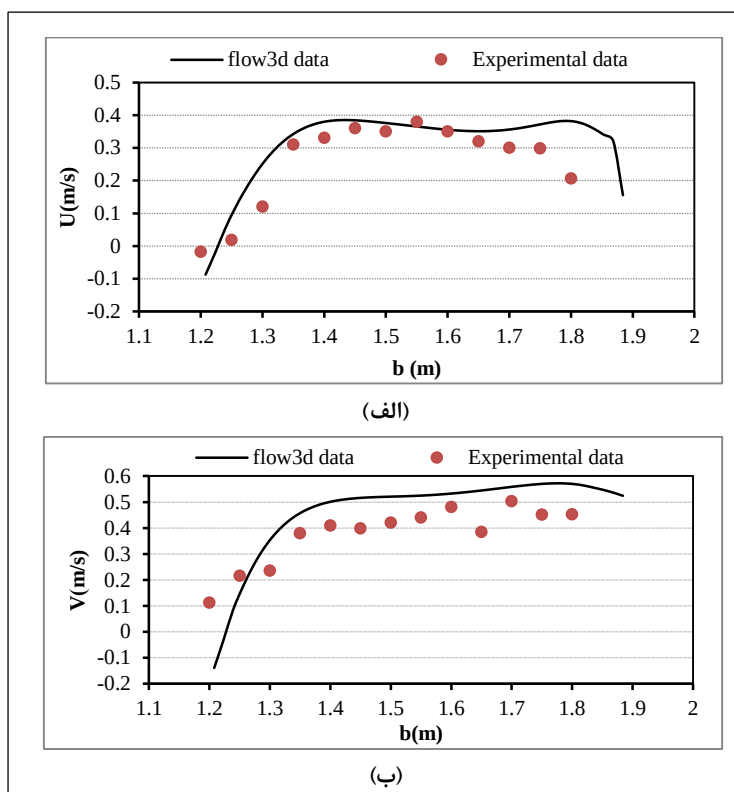
نتایج و بحث

و آزمایشگاهی همپوشانی مناسبی دارد. در مرحله صحت‌سنجی میزان اختلاف بین داده‌های آزمایشگاهی و عددی مقایسه گردید. به منظور ارزیابی نتایج مدل با نتایج آزمایشگاهی از ضریب همبستگی و تابع RMSE جذر میانگین مجموعه مربعات خطا استفاده گردید.

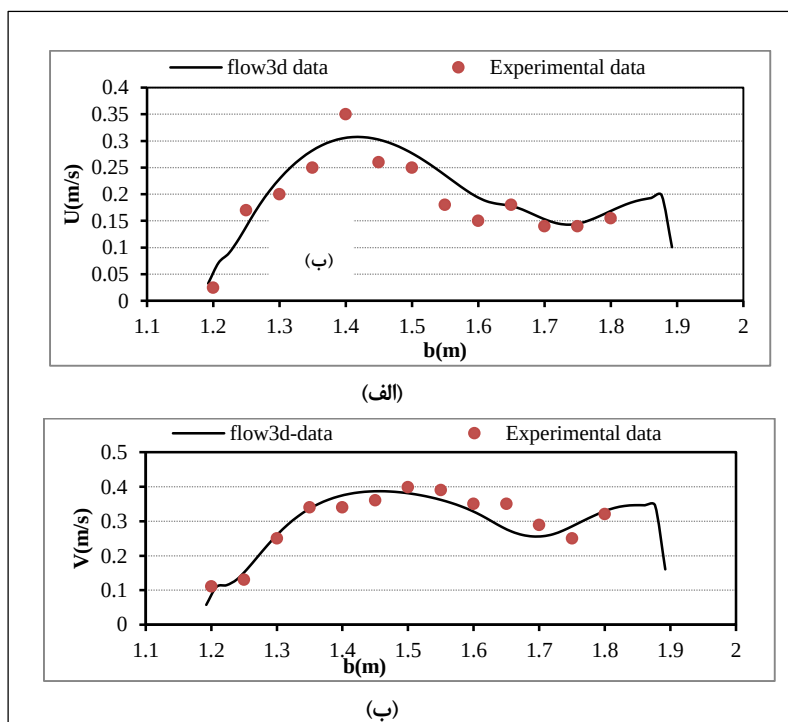
مطابق شکل‌های ۶ تا ۸ و جدول ۳ نتایج نشان می‌دهد که مدل عددی در حالت بدون سازه با خطای متوسط ۰/۰۹۵، در حالت سازه دیوار جداکننده با خطایی در حدود ۰/۰۳۲۵ و در حالت وجود دو سازه دیوار جداکننده و آبشکن با خطایی در حدود ۰/۰۶۱ قادر به پیش‌بینی نتایج می‌باشد.

داده‌های خروجی از مدل Flow3D و آزمایشگاهی به منظور اطمینان از نتایج با هم مقایسه شدند. از ابعاد مجرای جریان و تغییرات پارامترهای رسوب برای واسنجی استفاده شد. بدین ترتیب که با تغییر دادن پارامترهای رسوب و ابعاد مش در مدل ریاضی، سرعت‌ها در دو بعد طولی و عرضی در ۲۰ سانتی‌متری داخل آبگیر با هم مقایسه شدند. اطلاعات سرعت در دو بعد در ۱۳ نقطه برداشت شده بود. سپس مطابق با شکل‌های ۶ تا ۸ با نتایج مدل عددی مقایسه شد. وجود تطابق قابل قبول بین آنها نشان داد که پروفیل‌های سرعت در داخل آبگیر، در دو جهت u و v بین مدل ریاضی

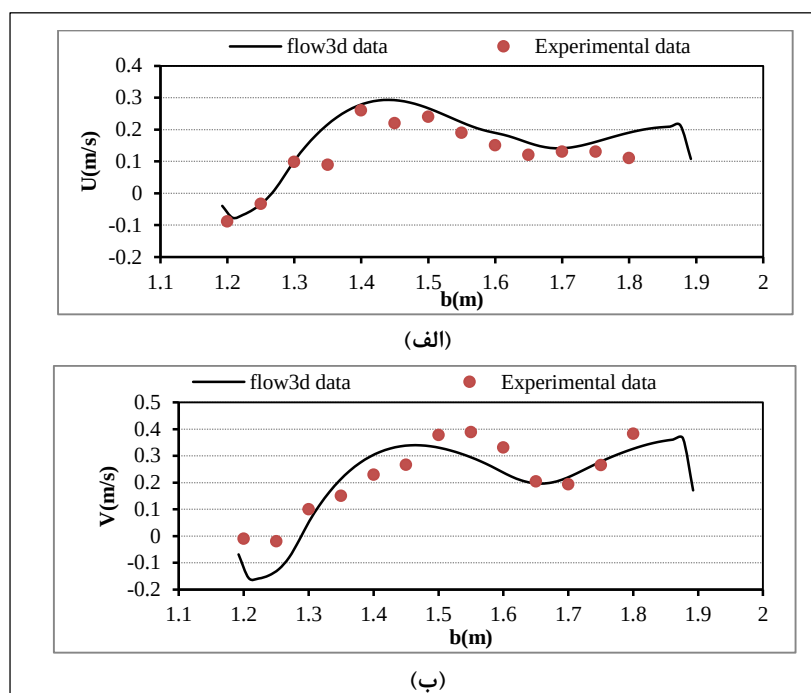
بررسی اثر سازه‌های کنترل رسوب بر انرژی جنبشی...



شکل ۶- صحت‌سنجی مقادیر سرعت در داخل آبگیر فاصله ۲۰ سانتیمتری از دهانه در حالت بدون سازه، الف: سرعت طولی، ب: سرعت عرضی
Figure 6 - Validation of velocity values inside the catchment at a distance of 20 cm from the mouth in the unstructured state, a: longitudinal velocity, b: transverse velocity



شکل ۷- صحت‌سنجی مقادیر سرعت در داخل آبگیر فاصله ۲۰ سانتیمتری از دهانه با وجود دیوار جداکننده. الف: سرعت طولی، ب: سرعت عرضی
Figure 7- Validation of velocity values inside the reservoir at a distance of 20 cm from the opening despite the separation wall. A: longitudinal velocity, B: transverse velocity



شکل ۸- صحت‌سنجی مقادیر سرعت در داخل آبگیر فاصله ۲۰ سانتیمتری از دهانه با وجود دیوار جداکننده و آبشکن. الف: سرعت طولی، ب: سرعت عرضی

Figure 8- Validation of velocity values inside the reservoir at a distance of 20 cm from the mouth with a separating wall and a breakwater. A: longitudinal velocity, B: transverse velocity

جدول ۳- مقدار ضریب تبیین و خطا در مرحله صحت‌سنجی

Table 3 - The amount of correlation coefficient and error in the validation stage

با دیوار جداکننده و آبشکن		با دیوار جداکننده		بدون سازه		حالت
RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	ضرایب
۰/۰۴۹	۰/۹	۰/۰۳۳	۰/۸۶	۰/۰۷۷	۰/۷۹	سرعت طولی (u)
۰/۰۷۴	۰/۸۱	۰/۰۳۲	۰/۸۷	۰/۱۱	۰/۸۶	سرعت عرضی (v)

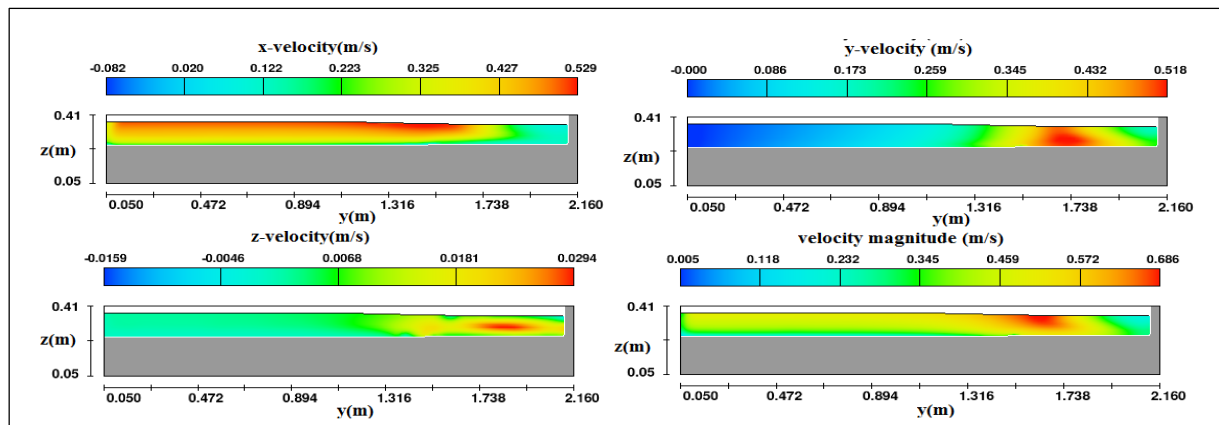
سطح و یا نزدیک بستر مشهود است. با افزودن سازه آبشکن در کانال اصلی، سرعت برآیند در کانال اصلی ۱/۵ برابر دو حالت دیگر است و ناحیه متأثر از افزایش سرعت برآیند علاوه بر ناحیه داخل آبگیر، گسترش یافته و بر اندازه بردارهای سرعت کانال اصلی نیز افزوده می‌شود. همچنین مرکز تغییر جهت بردارهای سرعت به طرف آبگیر جابه‌جا شده و در نتیجه در محدوده پشت آبشکن سرعت طولی کاهش و رسوب‌گذاری وجود دارد. شکل ۹ در مقطع عرضی کانال و آبگیر و در طول ($x=1/43$) در حالت بدون

بررسی سرعت و انرژی جنبشی آشفتگی

جریان‌های ثانویه در ابتدای دهانه آبگیر، عامل اصلی انتقال رسوب از بستر کانال اصلی به طرف ناحیه جدایی جریان بوده و بحث در مورد انتقال رسوب در چنین میدانی، نیازمند شناخت دقیق الگوی جریان ثانویه است. شکل‌های ۹ تا ۱۱ توزیع سرعت برآیند و سرعت در سه بعد در مقطع عرضی کانال اصلی و خط مرکزی دهانه ورودی آبگیر و داخل آبگیر را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها، وجود نواحی با سرعت بالا در این مقطع عرضی، در

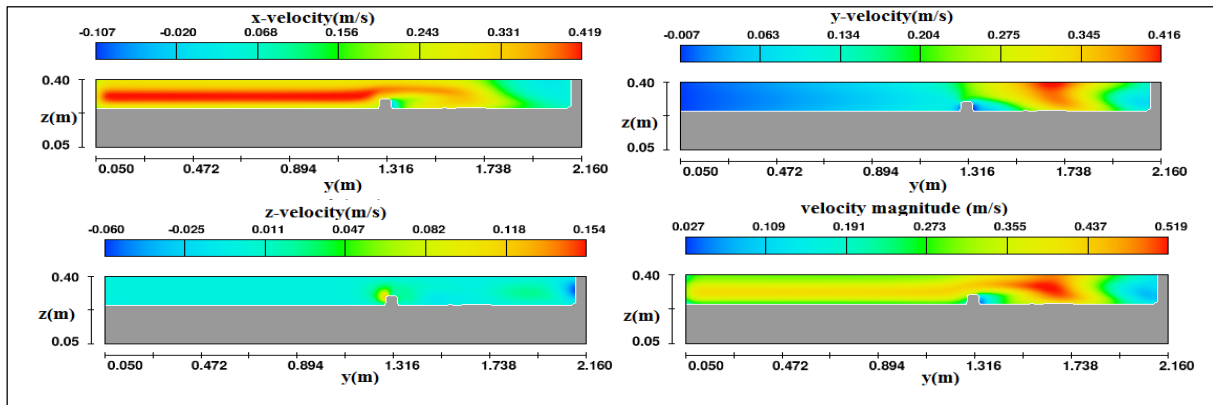
مقدار سرعت عمقی در داخل کانال اصلی در روی سازه ۱۰ برابر سرعت در نقاط دیگر عرض کانال شده است. بیشترین مقدار سرعت برآیند در جلو و داخل دهانه آبگیر حدود ۱/۵ برابر سرعت در کانال اصلی اتفاق افتاده است. شکل ۱۱ در مقطع عرضی کانال و آبگیر و در طول ($x=1/43$) در حالت با سازه دیوار جداکننده و آبشکن، سرعت طولی در نوک آبشکن در داخل کانال اصلی به مقدار ماکزیمم حدود ۱/۸ برابر سرعت در روی سازه رسیده است. سرعت عرضی در داخل دهانه کانال آبگیر به مقدار ماکزیمم حدود ۱/۸ برابر سرعت در داخل کانال اصلی رسیده است و در سمت دیواره مقابل آبگیر حتی سرعت منفی شده است. بیشترین مقدار سرعت عمقی در داخل کانال اصلی در روی سازه حدود ۲/۷ برابر سرعت در مرکز کانال اصلی، بیشترین مقدار سرعت برآیند در نوک آبشکن و جلوی دهانه آبگیر اتفاق افتاده است.

سازه، سرعت طولی در کل مقطع عرضی داخل کانال اصلی و آبگیر به مقدار ماکزیمم ۰/۵۲۹ متر بر ثانیه رسیده است. سرعت عرضی در داخل کانال آبگیر به مقدار ماکزیمم یعنی ۳ برابر سرعت در داخل کانال اصلی جلوی آبگیر رسیده است و در سمت دیواره مقابل آبگیر سرعت منفی شده است. بیشترین مقدار سرعت عمقی در داخل کانال آبگیر حدود ۳/۵ برابر سرعت در داخل کانال اصلی و بیشترین مقدار سرعت برآیند در داخل آبگیر حدود ۲ برابر سرعت در جلوی دهانه آبگیر اتفاق افتاده است. شکل ۱۰ در مقطع عرضی کانال و آبگیر و در طول ($x=1/43$) در حالت با سازه دیوار جداکننده، سرعت طولی در کل مقطع عرضی داخل کانال اصلی و آبگیر به مقدار ماکزیمم رسیده است. سرعت عرضی در داخل کانال آبگیر به مقدار ماکزیمم یعنی ۳ برابر سرعت در داخل کانال اصلی رسیده است و در سمت دیواره مقابل آبگیر حتی سرعت منفی شده است. بیشترین

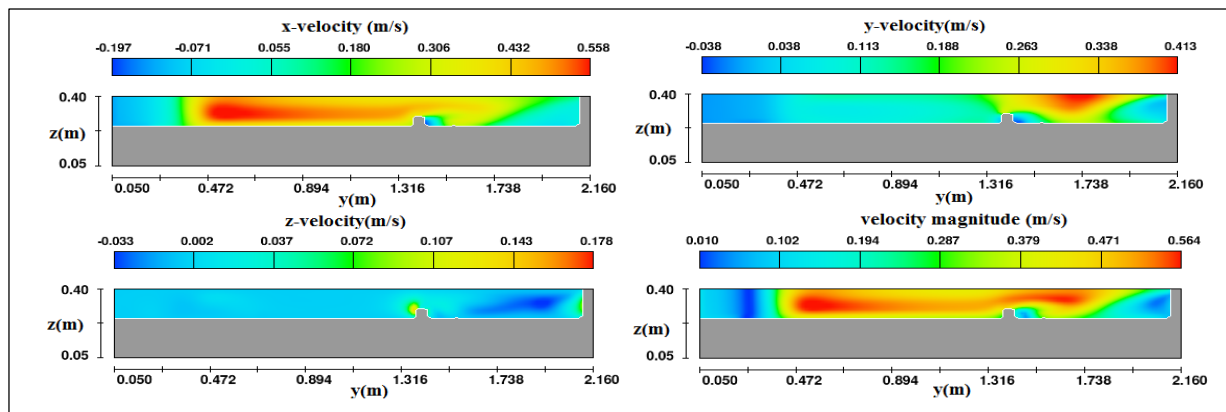


شکل ۹- توزیع سرعت در سه بعد در صفحه (Y-Z) کانال اصلی در مرکز آبگیر ($X=1/42$) در حالت بدون سازه

Figure 9 - Speed distribution in three dimensions on the plane (Y-Z) of the main channel in the center of the catchment ($X = 1.42$) in the unstructured state



شکل ۱۰- توزیع سرعت در سه بعد در صفحه (Y-Z) کانال اصلی در مرکز آبگیر ($X=1/42$) در حالت با دیوار جداکننده
Figure 10 - Velocity vectors in three dimensions on the plane (Y-Z) of the main channel in the center of the catchment ($X = 1.42$) in the case with a separating wall



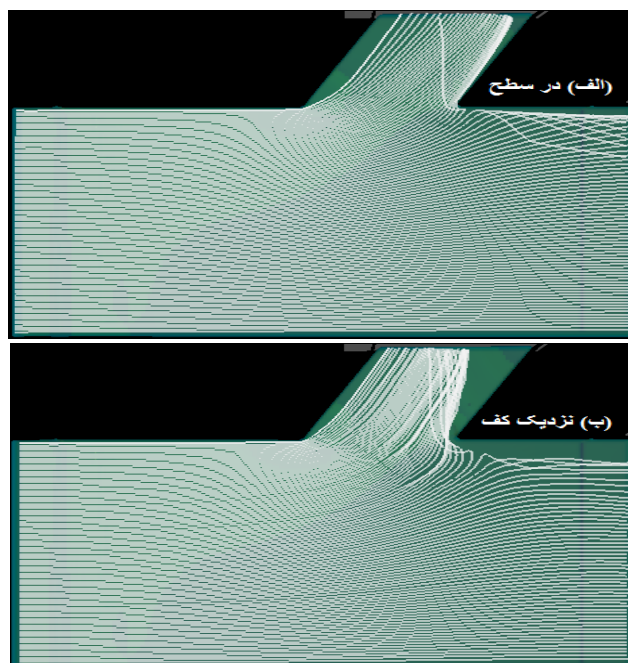
شکل ۱۱- توزیع سرعت در سه بعد در صفحه (Y-Z) کانال اصلی در مرکز آبگیر ($X=1/42$) در حالت با دیوار جداکننده و آبشکن
Figure 11 - Velocity vectors in three dimensions on the plane (Y-Z) of the main channel in the center of the catchment ($X = 1.42$) in the case with a separating wall and breaker

در سطح ، ب: نزدیک بستر را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها بیشترین انرژی جنبشی آشفتگی در سطح در داخل کانال آبگیر در سمت دیواره چپ، در نزدیک بستر، در داخل آبگیر و کانال اصلی در نقطه سکون اتفاق می‌افتد. مقدار ماکزیمم انرژی جنبشی در سطح ۲/۲ برابر مقدار ماکزیمم در نزدیک بستر می‌باشد. شکل‌های ۱۴ و ۱۵ به ترتیب کنترهای توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در صفحه (X-Z) و (Y-Z) را نشان می‌دهد. شکل ۱۵ در صفحه (Y-Z) در سه موقعیت طولی بالادست آبگیر ($X=1$)، خط مرکزی آبگیر ($X=1/43$) و پایین دست آبگیر

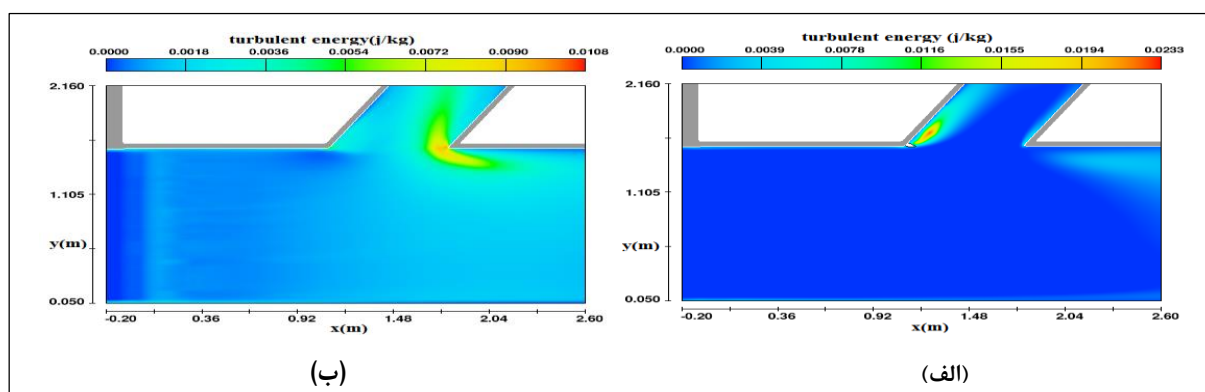
شکل ۱۲ خطوط جریان در کانال و آبگیر در حالت بدون سازه در نزدیک کف و سطح را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار جریان از سمت دیواره راست آبگیر عبور می‌کند در این ناحیه چرخش شدید وجود دارد. در داخل آبگیر خطوط جریان سطحی به سمت دیواره سمت راست و خطوط جریان لایه‌های زیری به سمت دیواره سمت چپ آبگیر تمایل دارند. شکل-های ۱۳ تا ۱۵ توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در مقاطع و پروفیل‌های مختلف در حالت بدون سازه را نشان می‌دهد. شکل ۱۳ توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در صفحه (X-Y) در دو مقطع عمقی. الف:

مقایسه توزیع بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی جریان در دو عمق مختلف بیانگر افزایش ۵۰ درصدی بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی در لایه بالایی نسبت به لایه پایینی می‌باشد. ضمن اینکه با افزایش عمق جریان و در نتیجه افزایش قدرت جریان‌های ثانویه، محدوده بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی از نقطه سکون و دیواره سمت راست آبگیر فاصله گرفته و در لایه‌های بالایی به سمت دیواره چپ آبگیر منتقل شده است. در حالت بدون سازه، بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی جریان در راستای عرض کانال اصلی، در سه نقطه از طول کانال اصلی به ترتیب در بالادست آبگیر در نزدیک دیواره سمت آبگیر، خط مرکزی آبگیر و طول آبگیر در داخل آبگیر و در لایه بالایی جریان، در پایین آبگیر نیز در نزدیک دیواره سمت آبگیر و در وسط عمق به وقوع پیوسته است.

($x=2/22$) را نشان می‌دهد. بیشترین انرژی جنبشی آشفتگی در موقعیت طولی بالادست آبگیر ($x=1$)، در سمت آبگیر در نزدیک کف کانال اصلی، در موقعیت خط مرکزی آبگیر ($x=1/43$) در داخل آبگیر و مقدار آن تقریباً ۲ برابر بالادست آبگیر، در پایین دست آبگیر ($x=2/22$)، در سمت آبگیر و در نقطه میانی عمق، اتفاق افتاده است. بررسی توزیع انرژی جنبشی آشفتگی جریان در حالت بدون سازه، در لایه بالایی عمق جریان، نشان دهنده الگوی متفاوتی از توزیع آشفتگی در نزدیکی دیواره سمت چپ کانال آبگیر می‌باشد. همانطور که در شکل مشخص است، محدوده بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی جریان از سمت چپ آبگیر در لایه بالایی به سمت راست، دهانه آبگیر و داخل کانال اصلی در لایه نزدیک کف منتقل شده است. در این نقطه انباشت رسوب وجود دارد و نقطه سکون نامیده می‌شود. به طور کلی

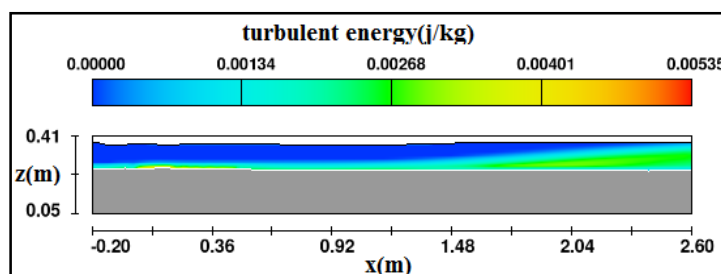


شکل ۱۲- خطوط جریان در کانال و آبگیر در حالت بدون سازه، در دو مقطع عمقی. الف: در سطح، ب: نزدیک بستر
Figure 12- Flow lines in the canal and catchment in the state without structure, in two deep sections. A: on the surface, B: near the bed



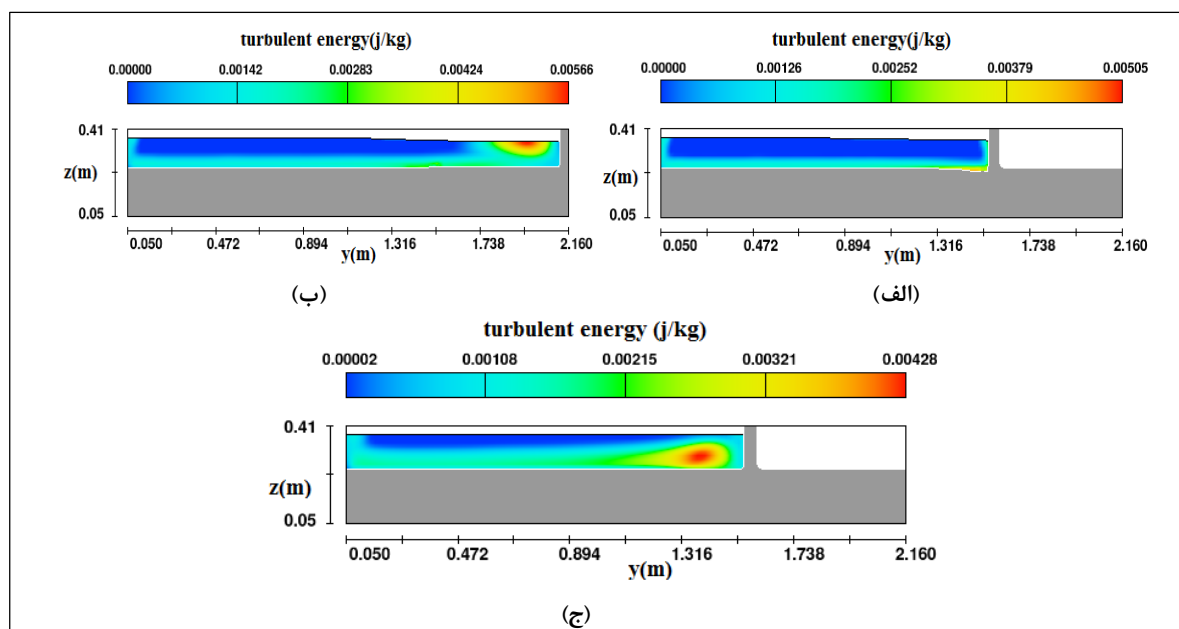
شکل ۱۳- توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در دو مقطع عمقی بدون سازه. الف: در سطح، ب: نزدیک بستر

Figure 13 - Distribution kinetic energy distribution of turbulence in two deep sections without structure. A: on the surface, B: near the bed



شکل ۱۴- توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در مقطع طولی کانال در صفحه (X-Z) بدون سازه

Figure 14 - Distribution kinetic energy distribution in the longitudinal section of the channel in the plane (X-Z) without structure



شکل ۱۵- توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در مقطع عرضی کانال در سه مقطع طولی در صفحه (Y-Z) بدون سازه

الف: $x=1$ ، ب: $x=1.42$ ، ج: $x=2.218$

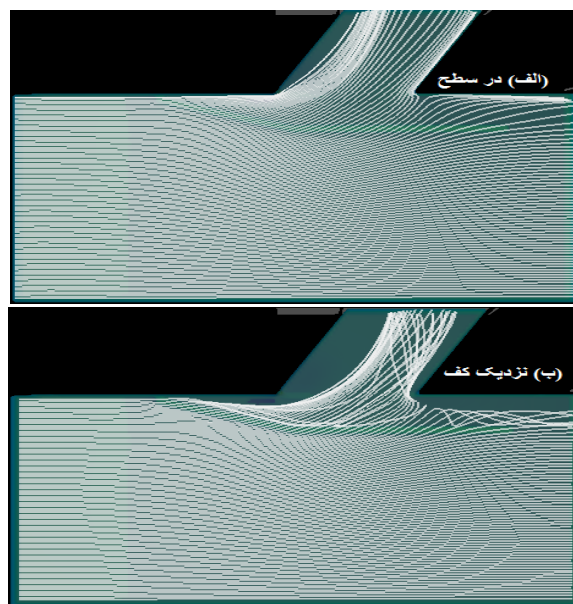
Figure 15 - Distribution kinetic energy distribution in the cross section of the channel in three longitudinal sections in the plane (Y-Z) without structure A: $X=1$, B: $X=1.42$, C: $X=2.218$

می‌دهد. بیشترین مقدار انرژی جنبشی آشفتگی در موقعیت طولی بالادست آبگیر ($x=1$)، در سمت آبگیر بین سازه و دیواره کانال در کف اتفاق افتاده است. در موقعیت خط مرکزی آبگیر ($x=1/43$) در داخل آبگیر در نزدیک سطح آب اتفاق افتاده است و مقدار آن ۲ برابر بالادست آبگیر می‌باشد.

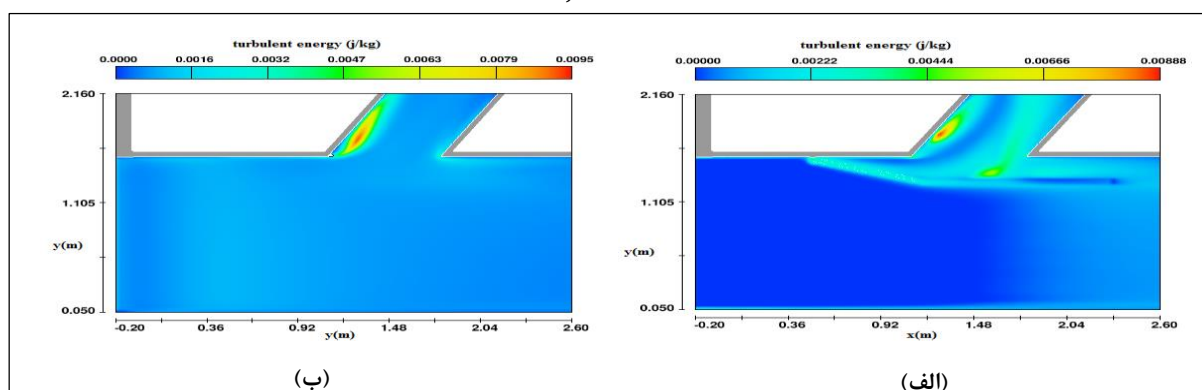
در پایین دست آبگیر ($x=2/22$)، بیشترین مقدار انرژی جنبشی در سمت آبگیر و در فاصله بین سازه و دیواره سمت آبگیر در کانال اصلی اتفاق افتاده است و مقدار آن یک سوم مقدار در خط مرکزی آبگیر می‌باشد. توزیع انرژی جنبشی آشفتگی جریان در حالت وجود دیوار جداکننده جلوی آبگیر، در لایه پایین عمق جریان، در کنار دیواره چپ آبگیر، اطراف دیوار جداکننده، جلوی دهانه آبگیر و نیمه راست آبگیر با شدت کمتر (نصف لایه بالا) به وقوع پیوسته است. با حرکت به بالای عمق و سطح جریان در کنار دیواره چپ آبگیر با شدت بیشتری به وقوع پیوسته است.

در این حالت بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی جریان در راستای عرض کانال اصلی، در سه نقطه از طول کانال اصلی به ترتیب در بالادست آبگیر در نزدیک دیواره سمت آبگیر، خط مرکزی آبگیر و طول آبگیر در داخل انتهای آبگیر و در لایه بالایی جریان، در پایین آبگیر نیز در فاصله بین دیواره سمت آبگیر و سازه دیوار جداکننده در وسط عمق به وقوع پیوسته است.

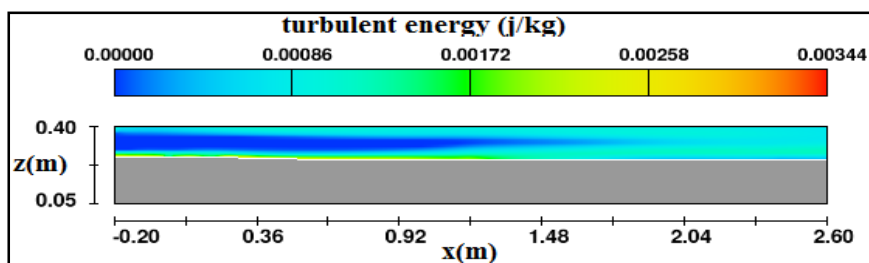
شکل ۱۶ خطوط جریان در کانال و آبگیر در دو مقطع عمقی. الف: در سطح، ب: نزدیک بستر را نشان می‌دهد. با نصب دیوار جداکننده در جلوی آبگیر پروفیل بستر جلوی آبگیر و الگوی جریان تغییر کرده و ناحیه گردابی داخل آبگیر جابجا می‌شود. دیوار جداکننده مانع از ورود بار بستر در دهانه آبگیر می‌شود. مقدار سرعت جریان در نزدیک لایه پایین در آبگیر افزایش می‌یابد. ابعاد ناحیه سکون جلوی آبگیر که در ورودی آن در سمت دیواره چپ تشکیل می‌شود در مقایسه با حالت بدون سازه کاهش یافته است. با توجه به اینکه جریان لایه‌های زیرین دارای رسوبات بیشتری در مقایسه با لایه‌های بالایی می‌باشد، اندازه زاویه بردار سرعت به سمت آبگیر در لایه‌های زیری کاهش یافته است. این امر به خاطر جریان چرخشی ناشی از وجود دیوار جداکننده می‌باشد. شکل ۱۷ توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در صفحه ($x-y$) در دو مقطع عمقی. الف: در سطح، ب: نزدیک بستر را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها بیشترین انرژی جنبشی آشفتگی در سطح و در نزدیک بستر در داخل کانال آبگیر در سمت دیواره چپ، در نزدیک بستر، اتفاق می‌افتد. شکل‌های ۱۸ و ۱۹ به ترتیب کنترهای توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در صفحه ($x-z$) و ($y-z$) را نشان می‌دهد. شکل ۱۹ در صفحه ($y-z$) در سه موقعیت طولی بالادست آبگیر ($x=1$)، خط مرکزی آبگیر ($x=1/43$) و پایین دست آبگیر ($x=2/22$) را نشان



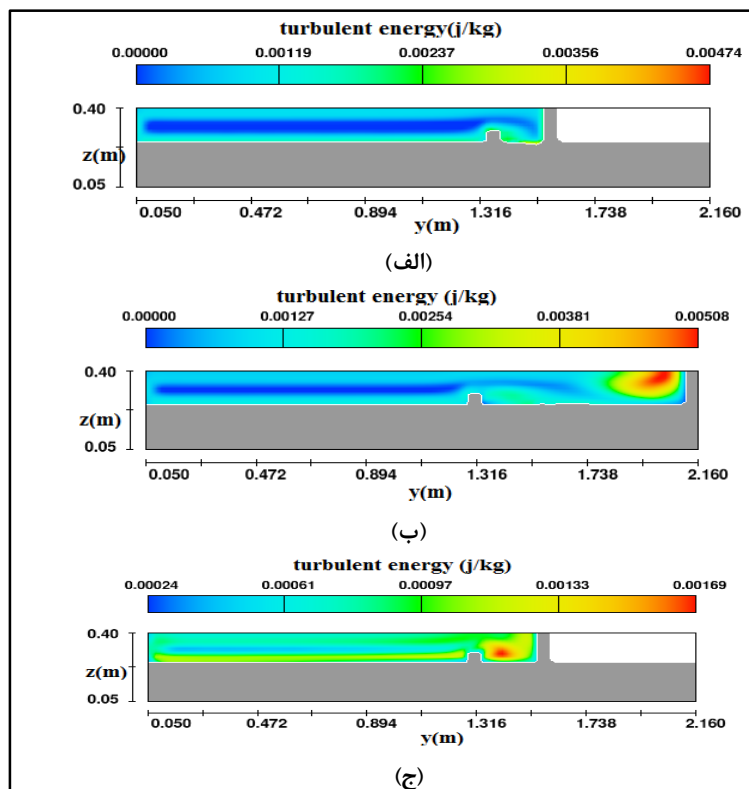
شکل ۱۶- خطوط جریان در کانال و آبگیر در حالت وجود دیوار جداکننده، در دو مقطع عمقی. الف: در سطح، ب: نزدیک بستر
Figure 16- Flow lines in the canal and catchment in the presence of a separating wall, in two deep sections. A: on the surface, B: near the bed



شکل ۱۷- توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در صفحه (X-Y) در دو مقطع عمقی در حالت وجود دیوار جداکننده. الف: در سطح، ب: در نزدیک بستر
Figure 17 - Distribution kinetic energy distribution in the plane (X-Y) in two depth sections in the presence of a separating wall. A: on the surface, B: near the bed



شکل ۱۸- توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در مقطع طولی کانال در صفحه (X-Z) در حالت وجود دیوار جداکننده.
Figure 18 - Distribution kinetic energy distribution in the longitudinal section of the channel in the plane (X-Z) in the presence of a separating wall.



شکل ۱۹- توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در مقطع عرضی کانال در صفحه (Y-Z) در سه مقطع طولی در حالت وجود دیوار جداکننده.

الف: $x=1$ ، ب: $x=1/428$ ، ج: $x=2/218$

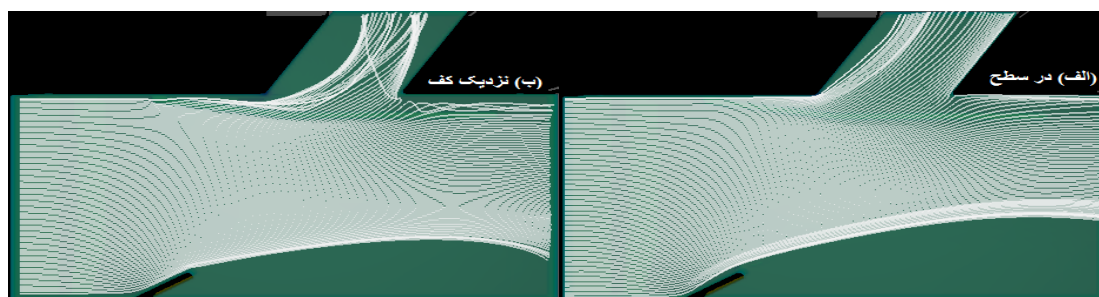
Figure 19 - Distribution kinetic energy distribution in the cross section of the channel in the plane (Y-Z) in three longitudinal sections in the presence of a separating wall A: $X=1$, B: $X=1.42$, C: $X=2.218$

انرژی جنبشی آشفتگی در مقاطع و پروفیل‌های مختلف در حالت وجود دیوار جداکننده و آبشکن در مقابل آبگیر را نشان می‌دهد. شکل ۲۱ توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در صفحه (X-Y) در دو مقطع عمقی. الف: در سطح، ب: نزدیک بستر را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها بیشترین انرژی جنبشی آشفتگی در سطح، در پشت آبشکن مقابل آبگیر است. در نزدیک بستر در داخل دهانه آبگیر در نقطه سکون، تقاطع کانال اصلی و کانال آبگیر در سمت دیواره راست، اتفاق می‌افتد. در لایه سطح مقدار انرژی جنبشی پشت آبشکن تقریباً $1/5$ برابر مقدار نظیر آن در لایه کف می‌باشد و بر عکس در دهانه آبگیر و داخل آبگیر مقدار انرژی جنبشی در لایه سطح نصف مقدار نظیر آن در لایه نزدیک کف

شکل ۲۰ خطوط جریان در کانال و آبگیر در دو مقطع عمقی. الف: در سطح، ب: نزدیک بستر در حالت استفاده از دو سازه را نشان می‌دهد. با کاربرد ترکیب دیوار جداکننده و آبشکن در ضلع مقابل مقدار سرعت جریان در جلوی آبگیر نسبت به دو حالت قبل افزایش یافته است. آبشکن باعث هدایت جریان به سمت آبگیر و عبور جریان با سرعت بالا از جلوی آبگیر و در نتیجه شستن رسوبات و حمل آنها به پایین دست می‌شود و با تشکیل شیار در جلوی آبگیر، باعث می‌شود رسوبات به پایین دست منتقل و از جلوی آبگیر دور شوند. آبشکن باعث می‌شود که ابعاد ناحیه جریان چرخشی ایجاد شده در کانال اصلی کاهش یابد و در داخل آبگیر این جریان به پایین‌تر منتقل شود. شکل‌های ۲۱ تا ۲۳ توزیع

آبگیر به وقوع پیوسته است. در این نقاط انباشت رسوب وجود دارد. ضمن اینکه با حرکت به سمت سطح جریان و در نتیجه افزایش قدرت جریان‌های ثانویه، محدوده بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی از نقطه سکون و دیواره سمت راست آبگیر فاصله گرفته و در لایه‌های بالایی به سمت دیواره چپ آبگیر منتقل شده است. بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی جریان در راستای عرض کانال اصلی، در سه نقطه از طول کانال اصلی به ترتیب در بالادست آبگیر در نوک آبشکن، خط مرکزی آبگیر و طول آبگیر در جلوی آبگیر و پایین آبشکن، در پایین آبگیر نیز در مسیر یک سوم عرض سمت دیوار راست کانال اصلی (پایین آبشکن) و در سطح جریان به وقوع پیوسته است. جریان ثانویه که به علت نامتقارن بودن تنش‌های برشی آشفتگی رخ می‌دهد، بر توزیع تنش برشی بستر و طول آن تأثیر دارد. در اثر اندرکنش بین جریان‌های ثانویه و غیر یکنواخت بودن پروفیل سرعت سطح و عمق، الگوی جریانی به نام جریان حلزونی در آبگیر تشکیل می‌شود که وجود این جریان، باعث ایجاد آشفتگی شدید می‌شود.

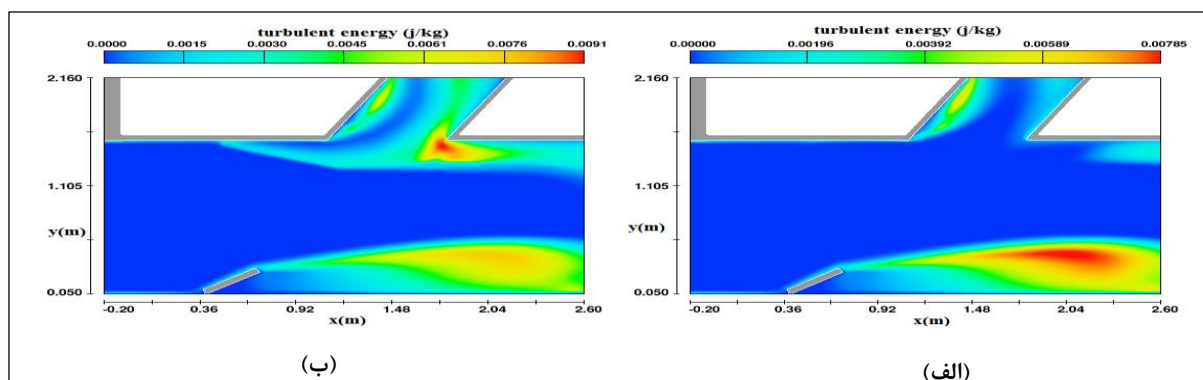
می‌باشد. شکل‌های ۲۲ و ۲۳ به ترتیب کنتورهای توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در صفحه $(x-z)$ و $(y-z)$ را نشان می‌دهد. شکل ۲۳ در صفحه $(y-z)$ در سه موقعیت طولی بالادست آبگیر ($x=1$)، خط مرکزی آبگیر ($x=1/43$) و پایین دست آبگیر ($x=2/22$) را نشان می‌دهد. بیشترین انرژی جنبشی آشفتگی در موقعیت طولی بالادست آبگیر ($x=1$)، در پشت آبشکن اتفاق افتاده است. در موقعیت خط مرکزی آبگیر ($x=1/43$) در جلوی آبگیر اتفاق افتاده است و مقدار آن تقریباً ۳ برابر بالادست آبگیر می‌باشد. در پایین دست آبگیر ($x=2/22$)، بیشترین مقدار در سمت آبشکن در کانال اصلی و تقریباً ۲ برابر خط مرکزی آبگیر اتفاق افتاده است. توزیع انرژی جنبشی آشفتگی جریان در این حالت در لایه پایین عمق جریان، در نزدیک دیواره سمت چپ و راست آبگیر، روی سازه دیوار جداکننده و فاصله بین دیوار جداکننده و دیوار کانال اصلی سمت آبگیر به خصوص در نقطه سکون و پایین آبشکن به وقوع پیوسته است. در لایه بالای جریان در کانال اصلی زیر آبشکن در کانال آبگیر در قسمت چپ داخل



شکل ۲۰- خطوط جریان در کانال و آبگیر در حالت وجود دیوار جداکننده و آبشکن، در دو مقطع عمقی. الف: در سطح، ب: نزدیک بستر

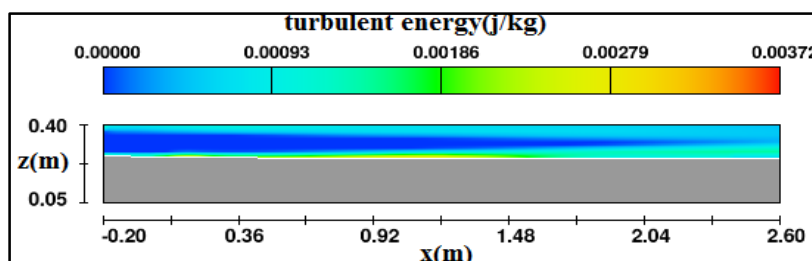
Figure 20- Flow lines in the canal and reservoir in the presence of a dividing wall and breakwater, in two deep sections. A: on the surface, B: near the bed

بررسی اثر سازه‌های کنترل رسوب بر انرژی جنبشی...



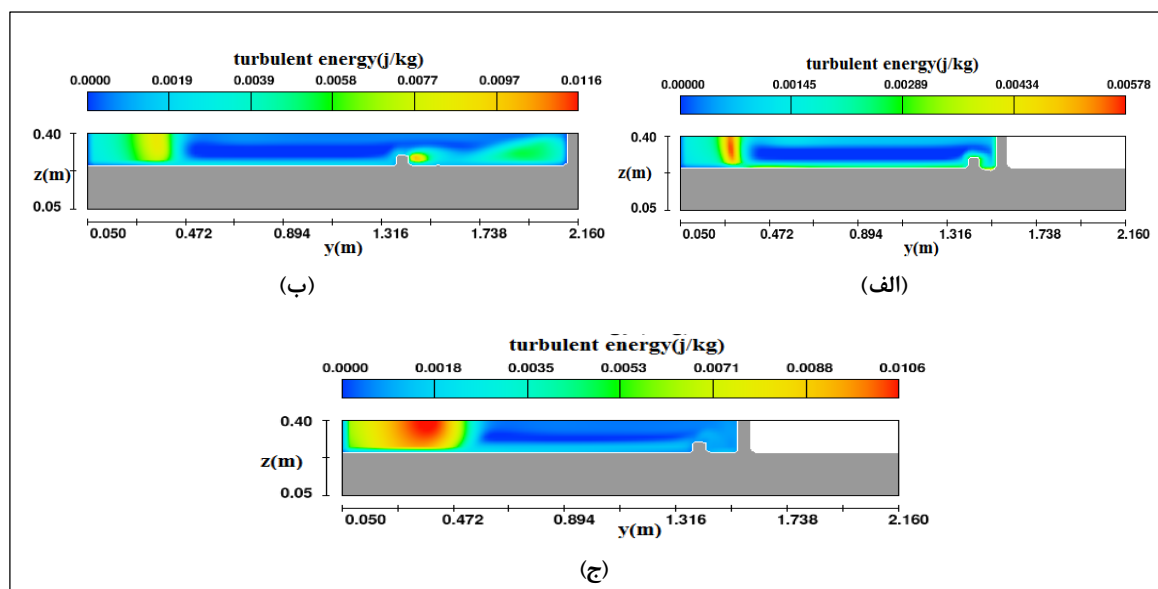
شکل ۲۱- توزیع انرژی جنبشی آشفته‌گی در صفحه (X-Y) در دو مقطع عمقی در حالت وجود دیوار جداکننده و آبشکن.

Figure 21- Distribution kinetic energy of turbulence in the plane (X-Y) in two deep sections in the presence of a separating wall and a breaker. A: on the surface, B: near the bed.



شکل ۲۲- توزیع انرژی جنبشی آشفته‌گی در مقطع طولی کانال در صفحه (x-z) در حالت وجود دیوار جداکننده و آبشکن.

Figure 22- Distribution kinetic energy distribution of turbulence in the longitudinal section of the channel in the plane (x-z) in the presence of a separating and breaking wall.



شکل ۲۳- توزیع انرژی جنبشی آشفته‌گی در مقطع عرضی کانال در سه مقطع طولی در صفحه (y-z) در حالت وجود دیوار جداکننده و آبشکن.

الف: $x=1$ ، ب: $x=1/428$ ، ج: $x=2/218$

Figure 23- Kinetic energy distribution of turbulence in the cross section of the channel in three longitudinal sections in the plane (y-z) in the presence of a separating wall and a breaker. A: $X=1$, B: $X=1.42$, C: $X=2.218$

نتیجه‌گیری

در حالت استفاده از دیوار جداکننده و آبشکن،

بیشترین مقدار سرعت برآیند در نوک آبشکن، جلوی دهانه آبگیر و داخل آبگیر به وقوع پیوسته است. توزیع انرژی جنبشی آشفتگی جریان در لایه پایین عمق جریان، در نزدیک دیواره سمت چپ و راست آبگیر، روی سازه دیوار جداکننده و فاصله بین دیوار جداکننده و دیوار کانال اصلی سمت آبگیر به خصوص در نقطه سکون و پایین آبشکن به وقوع پیوسته است.

در لایه بالای جریان در کانال اصلی زیر آبشکن در کانال آبگیر در قسمت چپ داخل آبگیر به وقوع پیوسته است. در این نقاط انباشت رسوب وجود دارد. ضمن اینکه با حرکت به سمت سطح جریان و در نتیجه افزایش قدرت جریان‌های ثانویه، محدوده بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی از نقطه سکون و دیواره سمت راست آبگیر فاصله گرفته و در لایه‌های بالایی به سمت دیواره چپ آبگیر منتقل شده است. همچنین وجود آبشکن باعث شده سرعت طولی در لایه نزدیک کف ۲/۲۵ برابر و سرعت عرضی در لایه سطحی ۱/۳۳ برابر نسبت به حالت بدون آبشکن افزایش یابد. در مطالعه قبلی مرادی‌نژاد و همکاران (Moradinejad et al., 1397) نتایج نشان داد، ترکیب دیوار جداکننده و آبشکن نسبت به دیوار جداکننده به تنهایی در کاهش رسوبات ورودی به آبگیر به طور متوسط به میزان ۱۵ درصد تأثیر بیشتری دارد.

جهت مقایسه تأثیر سازه‌های دیوار جداکننده و آبشکن همچنین ترکیب آنها، بر هیدرولیک جریان، انرژی جنبشی آشفتگی و مقایسه با حالت بدون سازه هر کدام از حالت‌ها به طور جداگانه به کمک مدل عددی مطالعه شد. نتایج نشان داد:

در حالت بدون سازه در جلوی دهانه آبگیر، بیشترین مقدار سرعت ۲ برابر سرعت در کانال اصلی است، مقایسه توزیع بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی جریان در دو عمق مختلف بیانگر افزایش ۵۰ درصدی بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی در لایه بالایی نسبت به لایه پایینی می‌باشد. ضمن اینکه با افزایش عمق جریان و در نتیجه افزایش قدرت جریان‌های ثانویه، محدوده بیشینه انرژی جنبشی آشفتگی از نقطه سکون و دیواره سمت راست آبگیر فاصله گرفته و در لایه‌های بالایی به سمت دیواره چپ آبگیر منتقل شده است. در حالت وجود دیوار جداکننده، بیشترین مقدار سرعت برآیند در جلوی دهانه و داخل آبگیر ۱/۵ برابر سرعت در کانال اصلی است، توزیع انرژی جنبشی آشفتگی جریان در لایه پایین عمق جریان، در کنار دیواره چپ آبگیر، اطراف دیوار جداکننده، جلوی دهانه آبگیر و نیمه راست آبگیر با شدت کمتر به وقوع پیوسته است. با حرکت به بالای عمق و سطح جریان، انرژی جنبشی در کنار دیواره چپ آبگیر با سطح بیشتر و مقدار ۱/۳ بیشتری نسبت به لایه نزدیک بستر به وقوع پیوسته است.

مراجع

- Aghaei Daneshvar, F., Taleb Beidokhti, n. (2015). Numerical Simulation of Turbulent Flow bed scour around a spur dike with numerical models. *Journal Volume 10 Number 1*, Spring 2015. (in Persian)

- Asian, H., Montaseri, H. (2015) Numerical Simulation of bed topography formation in the arc intake side Ssiim2 model. *College of Civil Engineering Ferdowsi twenty-seventh year, number one*, (in Persian)
- FLOW-3D user manual (version 9.3), (2008). Flow Science Inc.
- Fyruzjany Rahmani, M., Salehi Nishapur, A. A. and Ehsan, M. (2015). simulated the effect of the angle of the intake flow pattern in the lateral intakes using the software FLOW-3D. *Tenth International River Engineering Seminar 92 January to 1 Persian date Bahman 1324, Ahwaz Chamran University*. (in Persian)
- Hoseyni, S.A., and Abdipour, A. (2015). Modeling of velocity profile of continues turbidity currents and effect study of discharge and concentration on it. *J. Civil Engin. Islamic Azad University*. 3: 3. 60-68. (in Persian)
- Keshavarzi, A. and Habibi L, 2005. Optimizing water intake angle by flow separation analysis. *J Irrig and Drain Engrg ASCE* 54(5): 543-552. (in Persian)
- Moradinejad, A., Haghiabi, a., Saneie, M., Yoneseie, H. (2018). Experimental Study of Sediment Control in a Lateral Intake Canal Using Skimming Wall at the mouth Intake. *Journal of Watershed Engineering and Management*. Volume 10, Issue 1, Pages 1-18. (in Persian)
- Moradinejad, A., Haghiabi, a., Saneie, M., Yoneseie, H. (2019) Experimental Study of the Effect of Simultaneous Use of Skimming Wall on Velocity of Flow and Sediment Control in a Lateral Intake. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.20/No.76/P: 1-16*. (in Persian)
- Moradinejad, A., Parssai, A., and Norieemamzde, M. (2014). Numerical Modeling Of Flow Pattern In Kamal Saleh Dam Spillway Approach Channel. *Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 12, No. 1, 2018*.
- Murthy, K. K. and Shettar, A. S. (1996). "A Numerical study of division of flow in open channel." *J. Hydr. Res.*, Vol. 34, No. 5, PP. 651-675.
- Neary, V. S. (1995). "Numerical modeling of diversion flows," PhD dissertation, Civil and Environmental Engineering, University of Iowa, Iowa City, Iowa.
- Neary, V. S., Odgaard, A. and Sotiropoulos, F. (1999). "Three-dimensional numerical model of lateral- intake inflows." *ASCE, J. Hydr. Eng.*, Vol. 125, No. 2, PP. 126-140.
- Purbhman, p. (2015). Flow Simulation sediment pumping station intake structure Flow3d. *Eleventh Iranian Hydraulic Conference*. (in Persian)
- Ramamurthy, A. S., Junying Qu. and Diep, VO. (2007). "Numerical and Experimental Study of Dividing Open-Channel Flows." *ASCE, J. Hydr. Res.*, Vol.133, No.10, PP. 1135-1144.
- Sarvary, M., Tkldany Amiri, a., Rostami, M. (2015). Evaluation of FLOW-3D numerical model to predict the morphological changes at the confluence of the rivers with Flow3D numerical

model. 29 January to 1 February Tenth International Seminar on River Engineering, 1394 Ahvaz Shahid Chamran University. (in Persian)

Weber LJ, Schumate ED and Mawer N, 2001. Experimental study on flow at a 90° open – channel Junction. *J Hydr Engrg ASCE* 127(5): 340-350.

Investigation of the Effect of Sediment Control Structures on the Kinetic Energy of Turbulent in the Intake Entrance

A. Moradinejad*, H. Haghiabi, M. Saneie and H. Yonesi

* Corresponding Author: Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran. Email: amir_24619@yahoo.com
Received: 9 March 2021, Accepted: 7 June 2021

Abstract

Introduction

Taking water from rivers is one of the most important topics in hydraulic engineering. One of the problems associated with most intakes is the accumulation of sediments in intake entrances. Failure to control the sediment's entering the intakes results in its transfer into irrigation channels and their establishment that creates many problems due to sediment transport or its settlement in various parts. Due to the development of computing systems as well as unmeasurable complexities of water flow and sediment in laboratory models, using numerical simulations can be very effective and substantial in hydraulic investigation of such flows. Flow passing through the lateral intakes and channel junctions is usually turbulent. Turbulence is one of the most important features of the flow pattern in a bend which influences a lot of processes occurred in rivers including erosion, sediment transport, bed morphology, and shape of natural channels. Investigating the kinetic energy of flow turbulence in open channels due to the maximum shear flow of the bed and the scouring of the floor is very important and can be considered for prediction of bed topography. The accumulation and sedimentation in water intake and reduced intake efficiency is one of the problems that arise in most intakes.

Methodology: Therefore, in the present study, the sediment controlling structure, a skimming wall, was used in front of the intake. Then, the three-dimensional flow in sedimentary bed around the intake entrance was simulated by Flow3D model and results were compared with experimental model. In this research to increase intake efficiency and control the amount of sediment entering the intake, two structural skimming wall in front of the intake and spur dike on the opposite shore it is used. In the research using three-dimensional flow field numerical model FLOW3D around 60 ° lateral intake located on the direct path was solved numerically and counters velocity and turbulence kinetic energy is drawn. The experiments conducted and results were compared with the numerical model. Flow hydraulic and dynamics in front and inside the intake is studied. Velocity vectors inside the intake, in both longitudinal and lateral directions were compared with experimental results.

Results and Discussion: In the absence of structures, inside the main channel, the flow separation width at levels close to the bed is broader than the higher levels. However, by installing skimming wall in front of the intake, the flow separation close to the substrates carrying more sediment is reduced and it is increased on the surface that has less sediment. It also allows less sediment into the intake. In the absence of structures, the surface flow lines in the intake tend to the right wall and the bottom flow lines tend to the left wall. The width of separation zone on the surface is broader than the one on the floor. In presence of skimming wall structure or both skimming wall and spur dike, the flow lines near the bottom tends to the channel center. In addition, the zone with stagnant flow on the left side of intake is broader at the bottom than on the surface.

In all three cases, the maximum longitudinal velocity and the maximum resultant velocity have occurred at the beginning of the intake inlet in its left corner. The maximum transverse velocity has occurred in the intake center. In these figures, there are areas with secondary vortex flow on downstream and the left of the intake.

Conclusions: The results showed that by adding the structure of the spur dike in the main channel, the velocity in the main channel is 1.5 times compared with the other two cases. and the area inside the intake also affects. Also, the tip of the axis of the velocity vectors is displaced to the intake. As a result, In the back area of the spur dike, the longitudinal velocity decreases and there deposition. Comparison of the distribution of the maximum kinetic energy of flow turbulence at two different depths indicates a 50% increase in the maximum kinetic energy of turbulence in the upper layer compared to the lower layer.

Keywords: intake, skimming wall, spur dike, flow hydraulic, numerical model.

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research

(Agricultural Engineering Research)

Vol. 22 No. 82 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:

- Kh. Ahmad Ali	- M. R. Baradarn	- A. R. Fllah- Rastegar	- A. Sharifnezhad
- R. Alimohamadi- Nafchi	- P. Daneshkar- Arasteh	- S. A. Haghaieghi- Moghadam	- F. Tajik
- J. Baghani	- H. Ebrahimian	- H. R. Janbaz	- A. R. Tavakoli
- M. Bahrami- Yarahmadi	- S. Emamgholi Zadeh	- B. Nazari	- P. Varjavand
- R. Bahramloo	- M. Fereshtepour	- O. R. Roustapour	- A. Uossef - Gomrokchi

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. 82, spring 2021

ISSN: 2476-4000

Contents

Modeling of Design and Implementation Cost of Drip Irrigation Systems M. Pourgholam-Amiji, A. Liaghat and Kh. Ahmad- Aali.....	1
Effect of Aquasource Polymer on the Hydro-Physical Properties of Different Soils S. Sepehri-Sadeghian, N. Abbasi and M. M. Nakhjavanimoghaddam	23
The Role of Modern Irrigation Systems on Tomato Applied Irrigation Water Management in Iran F. Abbasi, M. Joleini, M. Khorramian, S. E. Dehghanian, E. Moghbli Dameneh, M. Nowroozi, A. Yousef Gomrokchi, M. Taheri, E. Zare-Mehrani, A. Kiani, N. Salamati, H. Mousavi Fazl, A. Ghadami-FirouzAbadi, P. Bayat and A. Nasser.....	43
Analysis of The Privatization of Irrigation Projects in View Point of Legislation and Policy P. Namdar and A. Parvaresh Rizi	65
Economical Evaluation of Application of Solar Cells in Lake of Dams (Case study: Nowruzlu diversion dam) M. Rezaei and H. Ahmadi	89
Numerical Investigation of Density Current Hydraulic Parameters due to the Curvature of the Channel Body Mohammad Hosseini and Mohammad Hadi Fattahi	103
Investigation of the Effect of Sediment Control Structures on the Kinetic Energy of Turbulent in the Intake Entrance A. Moradinejad, H. Haghi-Abi, M. Saneie and H. Yonesi.....	121