

تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی

(تحقیقات مهندسی کشاورزی)



جلد ۲۵، شماره ۹۴، بهار ۱۴۰۳



Irrigation and Drainage Structures Engineering Research

(Agricultural Engineering Research)

پژوهشی شاپا چاپی: ۶۷۶۴ - ۳۰۶۰ شاپا الکترونیکی: ۶۷۷۲ - ۳۰۶۰

جلد ۲۵، شماره ۹۵، تابستان ۱۴۰۳

Vol. 25, No. 95, Summer 2023

Print ISSN: 3060-6764 Online ISSN:3060-6772

فهرست مقالات

- ۱ ◀ بررسی عددی تأثیر پوشش گیاهی در سیلاب‌دشت واگرا بر الگوی جریان در کانال مرکب
فاطمه محمودی منفرد، معصومه رستم‌آبادی، حجت‌الله یونسی
- ۲۱ ◀ مطالعه آزمایشگاهی عملکرد سرریز پلکانی-هرمی بر مقدار اکسیژن محلول در آب
علی رنجبین، مهدی اسمعیلی ورکی، مریم نوابیان، شهرام نیازی
- ۴۱ ◀ امکان سنجی کاهش تبخیر آب تصفیه‌خانه و تأمین برق ایستگاه پمپاژ توسط نرم افزار Pvsyst و Meteonorm
(مطالعه موردی: شهرستان میاندوآب)
میلاد رضائی، حجت احمدی، ملیحه بایرام
- ۵۷ ◀ برآورد شاخص‌های بهره‌وری آب آبیاری و عملکرد زراعت پنبه در شرایط مرسوم کشاورزی شهرستان‌های
لارستان، داراب و فسا (مطالعه موردی: استان فارس)
امیر اسلامی، محمد مهدی نخجوانی مقدم، محمد مهدی قاسمی، اکبر جوکار
- ۷۵ ◀ بررسی تأثیر کربنات سدیم بر رفتار تورمی و انقباضی خاک‌های رسی در بستر سازه‌های آبی
نادر عباسی، مارال سرکاری، افشین خورسند، رضا بهراملو
- ۹۳ ◀ یادداشت فنی
مسائل و چالش‌های مدیریت مشارکتی آب و انتقال پایدار مدیریت آبیاری در ایران
نادر حیدری

تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی

Contents

- 1 ▶ Numerical investigation of the effect of vegetation in divergent floodplain on the flow pattern in compound channel
Fatemeh Mahmoodi Monfared, Masome Rostamabadi, Hojatollah Younesi
- 21 ▶ Experimental investigation of performance of stepped-pyramidal weir on the content of dissolved oxygen in water
Ali Ranjbin, Mahdi Esmaeili varaki, Maryam Navabian, Shahram Niazi
- 41 ▶ Feasibility of Reducing the Evaporation of Water in the Treatment Plant And Supplying Electricity to the Pumping Station by Meteonorm and PVsyst Software (Case Study: Miandoab City)
Milad Rezaei, Hojat Ahmadi, Malihe Bayram
- 57 ▶ Estimation of Irrigation Water Productivity Indicators and Cotton Cultivation Yield in Conventional Agricultural Conditions of Larestan, Darab and Fasa Cities (Case Study: Fars Province)
Amir Eslami, Mohammad Mehdi Nakhjavani Moghadam, Mohammad Mehdi Ghasemi, Akbar Jokar
- 75 ▶ Investigating the Effect of Sodium Carbonate on the Swelling and Shrinking Behavior of Clay Soils in Hydraulic Structures
Nader Abbasi, Maral Sarkari, Afshin Khorsand, Reza Bahramloo
- Technical Note
- 93 ▶ Issues and Challenges of Participatory Management and Sustainable Irrigation Management Transfer in Iran
N. Heydari

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)

پژوهشی

جلد ۲۵، شماره ۹۵، تابستان ۱۴۰۳ شاپا چاپی: ۶۷۶۴ - ۳۰۶۰ شاپا الکترونیکی: ۶۷۷۲ - ۳۰۶۰

فهرست مقالات

پژوهشی

بررسی عددی تأثیر پوشش گیاهی در سیلاب‌دشت واگرا بر الگوی جریان در کانال مرکب

۱ فاطمه محمودی منفرد، معصومه رستم‌آبادی، حجت‌الله یونسی

مطالعه آزمایشگاهی عملکرد سرریز پلکانی - هرمی بر مقدار اکسیژن محلول در آب

۲۱ علی رنجبین، مهدی اسمعیلی ورکی، مریم نوابیان، شهرام نیازی

امکان سنجی کاهش تبخیر آب تصفیه خانه و تأمین برق ایستگاه پمپاژ توسط نرم افزار Pvsyst و Meteonorm
(مطالعه موردی: شهرستان میاندوآب)

۴۱ میلاد رضائی، حجت احمدی، ملیحه بایرام

برآورد شاخص‌های بهره‌وری آب آبیاری و عملکرد زراعت پنبه در شرایط مرسوم کشاورزی شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا
(مطالعه موردی: استان فارس)

۵۷ امیر اسلامی، محمد مهدی نخجوانی مقدم، محمد مهدی قاسمی، اکبر جوکار

بررسی تأثیر کربنات سدیم بر رفتار تورمی و انقباضی خاک‌های رسی در بستر سازه‌های آبی

۷۵ نادر عباسی، مارال سرکاری، افشین خورسند، رضا بهراملو

یادداشت فنی

مسائل و چالش‌های مدیریت مشارکتی آب و انتقال پایدار مدیریت آبیاری در ایران

۹۳ نادر جیدری

مجله "تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی"

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

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

صاحب امتیاز: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

مدیر مسئول: دکتر حسین دهقانی‌سانج

سرمدیر: دکتر نادر عباسی

دستیار سرمدیر: دکتر امید رجا

هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

محمدحسین امید	استاد، دانشگاه تهران
عاطفه پرورش‌ریزی	دانشیار، دانشگاه تهران
نادر حیدری	دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
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، دانشگاه تهران
محمدجواد منعم	استاد، دانشگاه تربیت مدرس
ابوالفضل ناصری	دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی
علیرضا کیانی	استاد، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان

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
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:

- مهدی اکبری	- رسول دانشفراز	- زهرا سلطانی	- امیر ملک پور
- جواد باغانی	- امید رجا	- محمدعلی شاهرخ نیا	- یاسر مهری
- حسین بشارتی کلاته	- امیدرضا روستاپور	- فریبرز عباسی	
- فرزین پرچی عراقی	- سمیه سلطانی	- نادر عباسی	

ویراستار علمی و ادبی: محمدرضا داهی

ویراستار انگلیسی: محمدرضا داهی

مدیر داخلی: افشین یوسف گمرکچی

صفحه‌آرا: شبنم جباری

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 (پایان نامه دانشجویی، طرح تحقیقاتی و مانند آن). برگه مشخصات مقاله باید به دو زبان فارسی و انگلیسی ارائه شود.

عنوان

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

چکیده فارسی

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

واژه‌های کلیدی

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

مقدمه

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

مواد و روش‌ها

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

نتایج و بحث

این بخش در برگیرنده 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 ضمیمه 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 خود را برای انجام تحقیقات تکمیلی ارائه کنند.

قدردانی

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

مراجع

- ۱- کلیه مراجعی که در متن مقاله بیان شده است باید در فهرست مراجع و بعد از متن آورده شوند. نگارندگان موظفاند مشخصات مراجع را چه در این بخش، چه در متن مقاله به درستی و مطابق با مشخصاتی بیاورند که در هر یک از منابع دیده می‌شود.
- ۲- در متن مقاله فقط به نام نگارنده (یا نگارندگان) و سال انتشار مرجع اشاره شود (به صورت شماره اشاره نشود). مثال: (Razavi, 2003)، (Regier & Schubert, 2001)

۳- اگر مرجع بیشتر از دو نگارنده دارد نام نفر اول همراه با «*et al.*» ذکر شود اما در فهرست مراجع اسامی تمامی نگارندگان درج شود.

مثال: (Budiman *et al.*, 1999)

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

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

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

الف- تک نگارنده

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

ب- دو یا چند نگارنده

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

پ- کتاب

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

ت- فصلی از کتاب

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

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

ث- مجموعه مقاله‌ها

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

ج- دیسکت فشرده مجموعه مقاله‌ها (CD)

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

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

چ- پایان نامه، گزارش یا طرح تحقیقاتی

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

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

ه- مرجع بدون نویسنده مشخص

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

چکیده مبسوط به زبان انگلیسی

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

واژه‌های کلیدی به زبان انگلیسی

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

تذکر

الف- برای پذیرش اولیه مقاله و بررسی آن، رعایت دقیق دستورالعمل بالا ضروری است (جزئیات فرمت تهیه مقاله در سایت نشریه و در بخش راهنمای نگارندگان موجود است).

ب- به منظور بهبود کیفیت مقاله و رفع اشکالات اساسی احتمالی توصیه می‌شود که نگارندگان محترم قبل از ارسال مقاله برای درج در این نشریه آن را به نظر دو نفر از همکاران مجرب خود برسانند.

تبصره

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

بررسی عددی تأثیر پوشش گیاهی در سیلابدشت واگرا بر الگوی جریان در کانال مرکب

فاطمه محمودی منفرد^۱، معصومه رستم آبادی^{۲*}، حجت الله یونسی^۳

^۱ دانشجوی کاشناسی ارشد سازه های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

^{۲*} استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوئین زهرا، بوئین زهرا، ایران

^۳ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

چکیده

در رودخانه های طبیعی، گسترش جریان سیلابی در سیلابدشت ها و تشکیل مقطع مرکب امری معمول است. پوشش گیاهی بر ظرفیت انتقال جریان در سیلابدشت و آبراهه اصلی اثرگذار است. هدف از پژوهش حاضر، مطالعه عددی جریان در کانال مرکب واگرا با پوشش گیاهی و بررسی تغییر عمق نسبی بر مکانیزم جریان و مقدار انتقال جریان در کانال اصلی و سیلابدشت است. بدین منظور میدان جریان در کانال مرکب نامتقارن دارای سیلابدشت واگرا در دو حالت با پوشش گیاهی و بدون آن در اعماق نسبی متفاوت با مدل Flow3D شبیه سازی شده است. نتایج بررسی ها نشان داد در هر دو حالت بدون پوشش گیاهی و با پوشش گیاهی، با افزایش عمق نسبی، بیشینه سرعت در کانال اصلی کاهش یافته است. در سیلابدشت بدون پوشش گیاهی، در ابتدای واگرایی سرعت متوسط عمقی در سیلابدشت حدود ۸۰ درصد سرعت در کانال اصلی است و با پیشروی به سمت انتهای واگرایی این نسبت به تدریج افزایش یافته است، اما با وجود پوشش گیاهی و مقاومت آن در مقابل جریان، این نسبت حدود ۳۰ تا ۶۰ درصد است. پوشش گیاهی با افزایش عمق مقاومت بیشتری در مقابل جریان ایجاد می کند و اثر مقاومتی پوشش گیاهی بر اثر عمق نسبی غالب است. مقدار کاهش متوسط عمقی سرعت در سیلابدشت به دلیل پوشش گیاهی نسبت به حالت بدون پوشش برای اعماق نسبی ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵ به ترتیب ۸۵، ۸۲ و ۸۴ درصد بوده است و به تبع آن مقدار افزایش متوسط عمقی سرعت در کانال اصلی به دلیل پوشش گیاهی به ترتیب ۱۲، ۲۵ و ۳۰ درصد بوده است. در حالت فقدان پوشش گیاهی، از ابتدا تا انتهای ناحیه واگرایی عمق جریان حدود ۳/۷ افزایش یافته است، اما با وجود پوشش گیاهی و ممانعت از ورود جریان به ناحیه سیلابدشت، افزایش عمق جریان در ناحیه واگرایی بسیار تدریجی و حدود ۰/۷ درصد بوده است. حدود ۸۰ درصد دبی از کانال اصلی و ۲۰ درصد آن از سیلابدشت عبور کرده است. با افزایش عمق نسبی، دبی عبوری از سیلابدشت به ۳۸ درصد رسیده است. وجود پوشش گیاهی در سیلابدشت، بین ۴ تا ۹ درصد دبی عبوری از کانال اصلی را افزایش داده است.

واژه های کلیدی: پوشش گیاهی، سیلابدشت واگرا، عمق نسبی، Flow3D

مقدمه

سیلابدشت ها پوشیده از گیاهان هستند و پوشش گیاهی بر ظرفیت انتقال جریان در سیلابدشت و نیز در آبراهه اصلی اثرگذار است. خاک حاصلخیز سیلابدشت ها کاربری های مختلف تفریحی، تجاری، کشاورزی و مسکونی را موجب شده است، آگاهی از شرایط هیدرولیک جریان و اندرکنش جریان بین کانال اصلی و سیلابدشت و برای حفاظت از جان انسان ها و تأسیسات موجود در آن ها لازم خواهد بود.

کانال های مرکب مقاطع هیدرولیکی هستند که از دو بخش کانال اصلی و سیلابدشت ها تشکیل شده اند. در رودخانه های طبیعی، گسترش جریان سیلابی در سیلابدشت ها و تشکیل مقطع مرکب امری معمول است؛ زیرا در زمان وقوع سیلاب بخشی از دبی رودخانه توسط سیلابدشت ها حمل می شود. در طبیعت معمولاً

در کانال های مرکب غیر منشوری دارای پوشش گیاهی مطالعات آزمایشگاهی و عددی بسیاری در دسترس است. میرز و همکاران (Meyers *et al.*, 2001) با مطالعه آزمایشگاهی کانال مرکب دارای دو سیلابدشت با بستر و جداره زبر و صاف در کانال اصلی، روابطی را برای توزیع سرعت و دبی ارائه دادند. حسینی (Hosseini, 2004) با استفاده از داده های آزمایشگاهی، به تخمین دبی در کانال های مرکب مستقیم با زبری یکنواخت پرداخت. کانگ و چوی (Kang & Choi, 2006) با استفاده از مدل تنش رینولدز، جریان کانال باز مرکب با پوشش گیاهی در سیلابدشت را شبیه سازی عددی کردند و تحلیل میانگین عمقی را برای بررسی تبادل مومنتم به انجام رساندند. هوای و همکاران (Huai *et al.*, 2009) با موفقیت یک مدل تحلیلی دوبعدی را بر اساس تأثیر پوشش گیاهی بر ساختار جریان آب کانال باز مرکب با پوشش گیاهی سیلابدشت توسعه دادند. پروست و همکاران (Proust *et al.*, 2013) اثر غیریکنواختی جریان را روی شار مومنتم در کانال مرکب مستقیم با دیواره قائم و شیب دار بررسی کردند.

حمیدیفر و همکاران (Hamidifar *et al.*, 2013) در مطالعات آزمایشگاهی، جریان و پارامترهای آشفستگی در کانال مرکب مستقیم منشوری با پوشش گیاهی را بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که ظرفیت انتقال جریان در حضور پوشش گیاهی دشت سیلابی، نسبت به شرایط فقدان پوشش گیاهی، تا ۳۱ درصد کمتر است. یونسی و همکاران (Yonesi *et al.*, 2015) با بررسی تأثیر زبری سیلابدشت بر هیدرولیک جریان در مقاطع منشوری و غیرمنشوری کانال های مرکب واگرا نشان دادند با افزایش زبری سیلابدشت اختلاف سرعت جریان بین کانال اصلی و سیلابدشت ها، در هر دو کانال منشوری و غیر منشوری افزایش می یابد. تئوهاریس و پاناگیوتیس (Theoharris & Panagiotis, 2016) به مطالعه عددی کانال مرکب دوزنقه ای و پوشش گیاهی در سیلابدشت و بررسی انتقال مومنتم بین

کانال اصلی و سیلابدشت پرداختند. در مطالعات آزمایشگاهی حمیدیفر و همکاران (Hamidifar *et al.*, 2016) اثر هفت عمق نسبی و چهار تراکم پوشش گیاهی بر ضرایب انرژی جنبشی و اصلاح مومنتم در کانال مرکب غیر متقارن بررسی شده است. کومار و همکاران (Cumar *et al.*, 2016) به مقایسه مدل سازی دوبعدی و سه بعدی به منظور پیش بینی توزیع سرعت متوسط عمقی در کانال مرکب غیرمنشوری با سیلابدشت همگرا و واگرا با مدل عددی Ansys-fluent پرداختند. شانکار و کومار (Shankar & Kumar, 2018) روابط مقاومت جریان را در کانال مرکب متقارن با سیلابدشت واگرا و همگرا با تغییر عمق نسبی بررسی کردند. صمدی رحیم و همکاران (Samadi Rahim *et al.*, 2019) در مطالعه آزمایشگاهی آبراهه مرکب نامتقارن با سیلابدشت واگرا، توزیع سرعت و شکل گیری جریان ثانویه را تحت تأثیر تراکم پوشش گیاهی سیلابدشت بررسی کردند.

دولتی مهتاج و رضایی (Dovlati Mehtaj & Rezaei, 2021) در آزمایشگاه، توزیع سرعت و تنش برشی کانال مرکب را بررسی کردند و نشان دادند اندرکنش جریان بین کانال اصلی و سیلابدشت همگرا عموماً بیشتر از اندرکنش جریان بین کانال اصلی و سیلابدشت واگراست. شکری و مهدی پور (Shokri & Mehdi pour, 2021) با استفاده از مدل سه بعدی Ansys-Fluent، هیدرولیک جریان را در مقاطع مرکب با سیلابدشت های واگرا شبیه سازی کردند و نشان دادند هر چه زاویه واگرایی بیشتر شود، سرعت کمتر می شود. مطالعات احمدی دهرشید و همکاران (Ahmadi Dehrashid *et al.*, 2023, a & b) در بررسی عددی اثر پوشش گیاهی سیلابدشت بر ساختار جریان و خصوصیات آشفته کانال مرکب نشان دادند گرادیان سرعت در فصل مشترک کانال اصلی و سیلابدشت، منجر به توسعه جریان های ثانویه و انتقال جرم و مومنتم در این ناحیه می شود.

نسبی بر مکانیزم جریان است. بدین منظور میدان جریان در کانال مرکب نامتقارن دارای سیلابدشت واگرا در دو حالت با پوشش گیاهی و بدون آن در عمق‌های نسبی متفاوت (نسبت عمق جریان در سیلابدشت به عمق جریان در کانال اصلی) شبیه‌سازی سه‌بعدی شده است. برای شبیه‌سازی سه‌بعدی از نرم‌افزار Flow3D استفاده شد و پس از صحت‌سنجی مدل عددی، برای بررسی سازوکار جریان، الگوی جریان شامل منحنی‌های هم سرعت در مقاطع عرضی و عمقی، پروفیل‌های سرعت و تغییرات دبی در سیلابدشت و کانال اصلی برای دو حالت بود یا نبود پوشش گیاهی و در سه عمق نسبی مقایسه و تحلیل شد.

مواد و روش‌ها

معرفی مدل عددی

یکی از مدل‌های CFD با کاربرد گسترده، نرم‌افزار Flow3D است. این مدل برای شبیه‌سازی جریان‌های دارای سطح آزاد، به‌ویژه در هندسه‌های پیچیده، کاربرد دارد. معادلات گسسته شده حاکم بر جریان سیال را می‌تواند در دو مختصات کارتزین و استوانه‌ای با الگوریتم‌های تفاضل محدود و حجم محدود گسسته و حل کند. Flow3D می‌تواند از شبکه محاسباتی ساختار یافته استفاده کند، سطح آزاد را با روش TruVOF تعیین کند و موانع مانند پل‌ها، دریچه‌ها و ... را با روش FAVOR می‌شناسد. (Flow3D User Manual, 2016). معادلات حاکم بر جریان سیال قانون بقای جرم و بقای مومنوم هستند و برای سیال نیوتنی تراکم‌ناپذیر به‌صورت معادلات دیفرانسیل جزئی (۱) و (۲) هستند.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ji}}{\partial x_j} \quad (2)$$

در مطالعات زنگ و همکاران (Zeng. et al., 2022) یک روش شبیه‌سازی گردابی بزرگ با مدل دیوار (WMLES) برای شبیه‌سازی جریان کانال باز مرکب با پوشش گیاهی سیلابدشت استفاده و سرعت جریان و تبادل حرکت عرضی بررسی شد. در مطالعات آزمایشگاهی صمدی رحیم و همکاران (Samadi Rahim et al., 2023) اثر تراکم پوشش گیاهی بر ویژگی‌های هیدرولیکی و آشفتگی جریان در کانال مرکب نامتقارن با سیلابدشت همگرا و واگرا بررسی شد.

اکثر مطالعات پیشین در باره کانال‌های مرکب مستقیم بوده است و مطالعه عددی کانال‌های مرکب نامتقارن با سیلابدشت‌های واگرای دارای پوشش گیاهی به‌ندرت مورد توجه بوده است. در مطالعات هیدرولیکی روش‌های میدانی، آزمایشگاهی و عددی استفاده می‌شوند. هزینه بسیار بالا و گاهی ناممکن بودن بررسی جزئیات میدان جریان، محققان را در مطالعات میدانی دچار محدودیت‌هایی کرده است. مطالعات آزمایشگاهی در بررسی پدیده‌های هیدرولیکی با اینکه دقت بالایی دارد؛ اما صرف هزینه‌های بالا، محدودیت فضای آزمایشگاهی و اثرهای مقیاسی نیز محققان را به استفاده از روش‌های عددی متمایل کرده است. روش‌های عددی می‌توانند با صرف هزینه و زمان کمتر، جزئیات دقیقی از کل میدان جریان را ارائه دهند و برای بررسی اثر پارامترهای مختلف مؤثر بر پدیده بسیار کارآمد باشند مشروط بر اینکه نتایج مدل عددی صحت‌سنجی شوند. برای نمونه، در پژوهش حاضر پارامترهایی مانند تغییرات عرض کانال اصلی و ناحیه واگرایی، تغییرات آرایش و تراکم پوشش گیاهی، بررسی اثر هم‌زمان رسوب و پوشش گیاهی و ... می‌توانند بر الگوی جریان اثرگذار باشند. یک‌بار صحت‌سنجی مدل عددی راه را برای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف بررسی پارامترهای مؤثر باز می‌کند و محققان را در تحلیل جریان یاری می‌دهد.

هدف از پژوهش حاضر، مطالعه عددی سازوکار جریان در کانال مرکب واگرا با پوشش گیاهی و نیز بررسی تغییر عمق

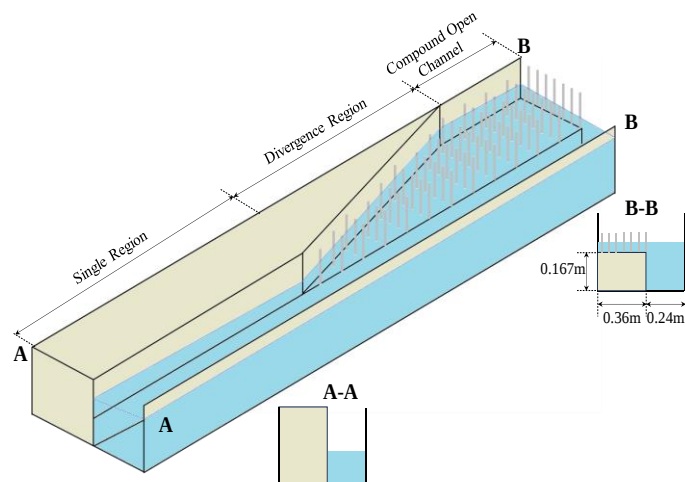
که در آن: u_i و X_i به ترتیب بردارهای سرعت و موقعیت، t زمان، p فشار، ρ دانسیته سیال، t_{ij} تانسور تنش ویسکوز (در رابطه (۳) معرفی شده است). μ لزوجت مولکولی، و s_{ij} تانسور مقدار کرنش رابطه (۴) است:

$$t_{ij} = 2\mu s_{ij} \quad (3)$$

$$s_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

معرفی میدان حل و تنظیمات مدل عددی

برای صحت‌سنجی مدل عددی در پژوهش حاضر از داده‌های آزمایشگاهی صمدی رحیم و همکاران (Samadi

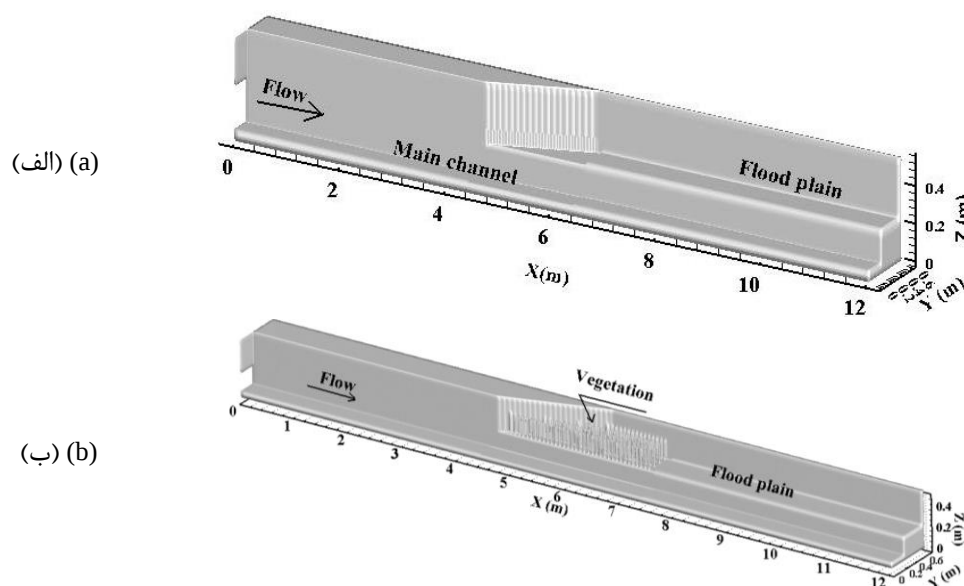


شکل ۱- فلوم تحقیق آزمایشگاهی صمدی رحیم و همکاران (Samadi Rahim et al., 2019)

Fig. 1- The flume in experimental research of Samadi Rahim et al (2019)

واگرایی را مقطع انتهایی و حد واسط مقطع ابتدایی و انتهایی، مقطع میانی نامیده می‌شود. برای شبیه‌سازی عددی، علاوه بر تولید هندسه، شرایط مرزی و شبکه‌بندی نیز باید تعریف شود. در ورودی کانال اصلی از شرط مرزی دبی ۲۵/۶۵ لیتر بر ثانیه، در خروجی کانال اصلی و سیلاب‌دشت از شرط مرزی فشار با ارتفاع مشخص آب در کانال، برای دیواره‌های جانبی مدل و کف آن از شرط مرزی دیواره با عدم لغزش و در سطح آزاد جریان از شرط مرزی تقارن استفاده شده است. در شبکه‌بندی میدان حل از دو بلوک شبکه‌بندی استفاده شده است.

در آزمایشگاه از میله‌های پلاستیکی استوانه‌ای صلب به قطر ۱۰ میلی‌متر برای پوشش گیاهی استفاده شد. میله‌ها از بخش ابتدایی ناحیه واگرایی تا یک متر بعد از انتهای ناحیه واگرایی روی سیلاب‌دشت به صورت منظم با فاصله طولی و عرضی به ترتیب ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر نصب شدند. مدل هندسی کانال فوق با استفاده از نرم‌افزار AutoCAD ساخته شد و با فرمت *.stl به نرم‌افزار Flow3D معرفی شد. در شکل (۲)، هندسه تعریف شده کانال اصلی و سیلاب‌دشت در دو حالت با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی نشان داده شده است. از این پس، ابتدای محل واگرایی را مقطع ورودی، انتهای قسمت



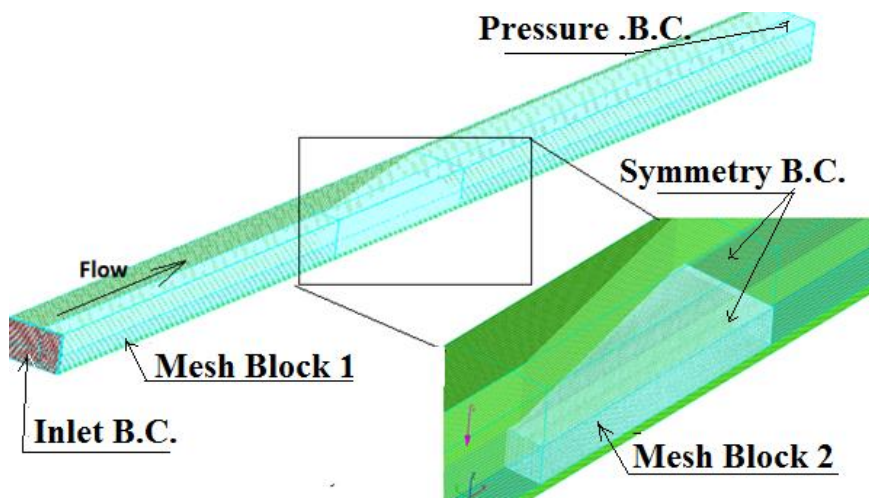
شکل ۲- نمای سه بعدی از مدل هندسی کانال مرکب واگرا (الف) بدون پوشش گیاهی، (ب) با پوشش گیاهی

Fig. 2- 3D view of Geometric divergent compound channel, a without vegetation, and b) with vegetation

محاسباتی، زمانی است که سیستم با پردازشگر مزبور نیاز دارد تا برای هر شبیه‌سازی به همگرایی برسد. معیار همگرایی، تغییر ناچیز باقی‌مانده متغیرهایی مانند فشار و میزان استهلاک انرژی جنبشی آشفتگی است. پروفیل سرعت به‌دست‌آمده از مدل‌سازی عددی با سه شبکه مذکور با نتیجه آزمایشگاهی صمدی رحیم و همکاران (Samadi Rahim et al., 2019) در مقطع میانی محدوده واگرایی در شکل (۴) مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روند کلی پروفیل‌های سرعت برای هر سه شبکه‌بندی تقریباً مشابه یکدیگر است. از $y=0/3$ تا $y=0/45$ نتایج هر سه شبکه مشابه است؛ اما نتایج شبکه ۳ انطباق بیشتری با نتایج آزمایشگاهی دارد. در مرز مشترک کانال اصلی و سیلابدشت ($y=0/24$) شبکه ۳ نسبت به دو شبکه دیگر انطباق بیشتری با نتایج آزمایشگاهی دارد. در کانال اصلی ($y=0$ تا $y=0/24$)، نتایج شبکه ۲ و ۳ نزدیک یکدیگر است و باز هم شبکه ۳ تطابق بهتری با نتایج آزمایشگاهی دارد. مقایسه کمی نتایج نشان داد. خطای مدل عددی سه شبکه مذکور نسبت به مدل آزمایشگاهی با استفاده از فرمول خطای نسبی^۱ به ترتیب برابر ۴، ۶/۵ و ۴ درصد است.

بلوک اصلی کل هندسه مدل را در بر گرفته است و بلوک دوم با هدف افزایش دقت نتایج و در عین حال زیاد نشدن تعداد سلول‌های محاسباتی کل، فقط در اطراف پوشش گیاهی در نظر گرفته شده است. مرز بین این دو بلوک با شرط مرزی تقارن به هم وصل شده است. (شکل ۳)، نمایی از شرایط مرزی اعمال شده در کانال اصلی و شرایط مرزی بلوک میانی اطراف پوشش گیاهی را نمایش می‌دهد. بر اساس مطالعات رضایی و سیف (Rezaei & Seif, 2022) و رضایی و صفرزاده (Rezaei & Safarzade, 2016) که نشان دادند مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ قادر است به خوبی میدان جریان را در کانال مرکب مدل‌سازی کند، مدل $k-\varepsilon$ در این تحقیق برای مدل‌سازی آشفتگی استفاده شده است. به منظور دریافت نتایج عددی مستقل از شبکه که لازمه هر مدل‌سازی عددی است، سه شبکه‌بندی متفاوت به شرح جدول (۱) در نظر گرفته شد. در جدول (۱) علاوه بر اندازه سلول‌های به‌کار رفته برای بلوک ۱ و بلوک ۲، تعداد کل سلول‌های محاسباتی و مدت‌زمان شبیه‌سازی هر شبکه آمده است که با پردازشگر مرکزی Core (TM) i7 با قدرت 3.60 GHz و حافظه ۱۶ GB حل شده است. منظور از مدت زمان

¹ (Exp. – Num.) / Exp.



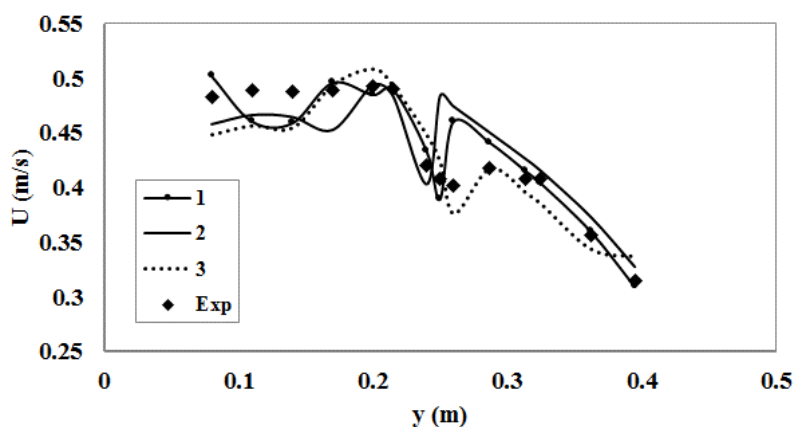
شکل ۳- شرایط مرزی اتخاذ شده در مدل سازی کانال مرکب

Fig. 3- Boundary conditions for simulating the compound channel

جدول ۱- جزئیات شبکه بندی مدل عددی

Table 1- details of numerical modeling meshing

زمان محاسباتی (دقیقه)	تعداد کل سلول ها	اندازه سلول بلاک ۲ (متر)	اندازه سلول بلاک ۱ (متر)	شبکه
Computational time (min)	Total cells	Cell size of block 2 (m)	Cell size of block 1 (m)	Mesh
۴۳	۵۲۰۰۶۲	۰/۰۱۱۵	۰/۰۲۳	۱
۵۰	۶۶۶۳۴۵	۰/۰۱۰۵	۰/۰۲۱	۲
۷۵	۹۲۵۴۴۶	۰/۰۰۹۵	۰/۰۱۹	۳



شکل ۴- تاثیر اندازه سلول های متفاوت بر پروفیل سرعت در مقطع میانی مدل بدون پوشش گیاهی

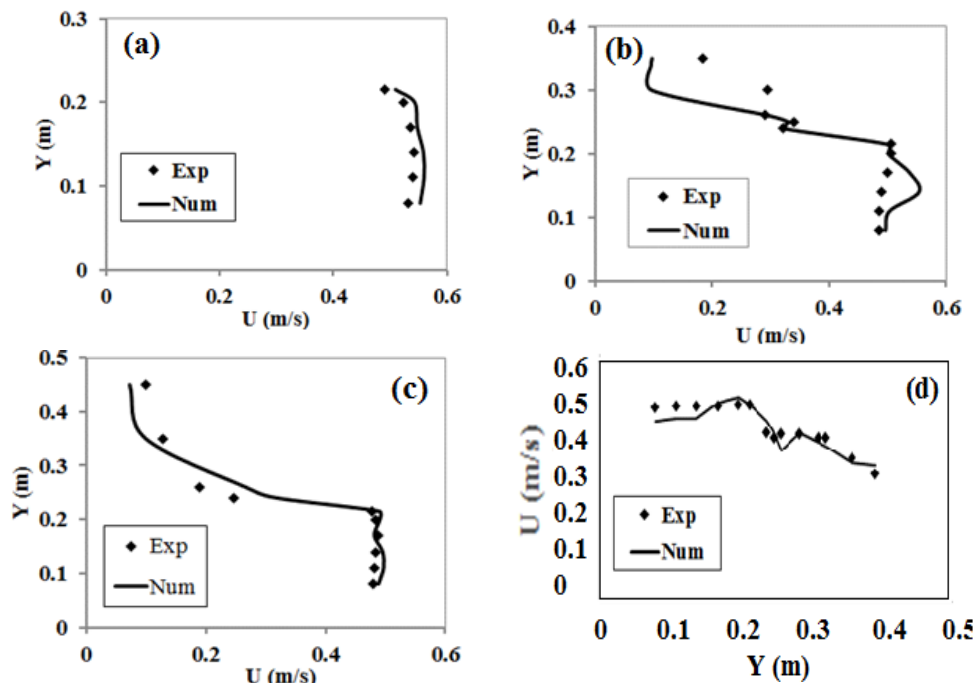
Fig. 4- The effect of cell sizes on the velocity profile at middle section of the model without vegetation

از این رو به رغم اینکه شبکه ۳ همخوانی بیشتری با نتایج آزمایشگاهی دارد، با تغییر شبکه نتایج عددی تحت تاثیر چندانی قرار نگرفته است. با توجه به توضیحات فوق، در ادامه مطالعات شبکه بندی ۳ در نظر گرفته شد.

پس از تعیین نتایج مستقل از شبکه، به منظور صحت سنجی نتایج مدل عددی در دو حالت بود یا نبود پوشش گیاهی، پروفیل های سرعت به دست آمده از مدل عددی و آزمایشگاهی در مقاطع مختلف در شکل (۵) نمایش داده شده

تطابق بسیار خوبی بین نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی وجود دارد و مقدار سرعت تقریباً یکنواخت است.

است. روند کلی پروفیل‌های سرعت به‌دست‌آمده از مدل عددی در تطابق با پروفیل‌های آزمایشگاهی هستند. در مقطع ابتدایی واگرایی که فقط پروفیل سرعت در کانال اصلی دیده می‌شود،



شکل ۵- مقایسه پروفیل سرعت شبیه‌سازی شده با نتایج آزمایشگاهی صمدی رحیم و همکاران (Samadi Rahim et al., 2019) در (a) در مقطع ابتدایی، (b) میانی و (c) انتهایی مدل با پوشش گیاهی و (d) مقطع انتهایی مدل بدون پوشش گیاهی

Fig. 5- Comparison of simulated velocity profile with experimental results of Samadi Rahim et al., (2020) at (a) first section, (b) middle section, (c) end section with vegetation, and (d) end section of no vegetation

به‌دست‌آمده است که نشان‌دهنده دقت مناسب مدل عددی در شبیه‌سازی جریان در کانال مرکب مذکور است.

به منظور مقایسه کمی نتایج، خطای مدل عددی نسبت به مدل آزمایشگاهی با استفاده از فرمول خطای نسبی محاسبه شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد خطای میانگین نسبی در تخمین پروفیل سرعت در مقاطع ابتدایی، میانی و انتهایی به ترتیب برابر ۳/۵، ۱۳ و ۱۳ درصد و در مدل بدون پوشش گیاهی برابر ۲/۸ درصد است. با توجه به دقت قابل قبول نتایج مدل عددی، جریان در کانال مرکب با تنظیمات اشاره شده با در نظر گرفتن سه عمق نسبی (عمق جریان در سیلابدشت به عمق جریان در کانال اصلی) $Dr=0/35$ ، $Dr=0/25$ و $Dr=0/15$ و در دو حالت وجود پوشش گیاهی در سیلابدشت و بدون پوشش گیاهی شبیه‌سازی شد و نتایج آن در ادامه ارائه شده است.

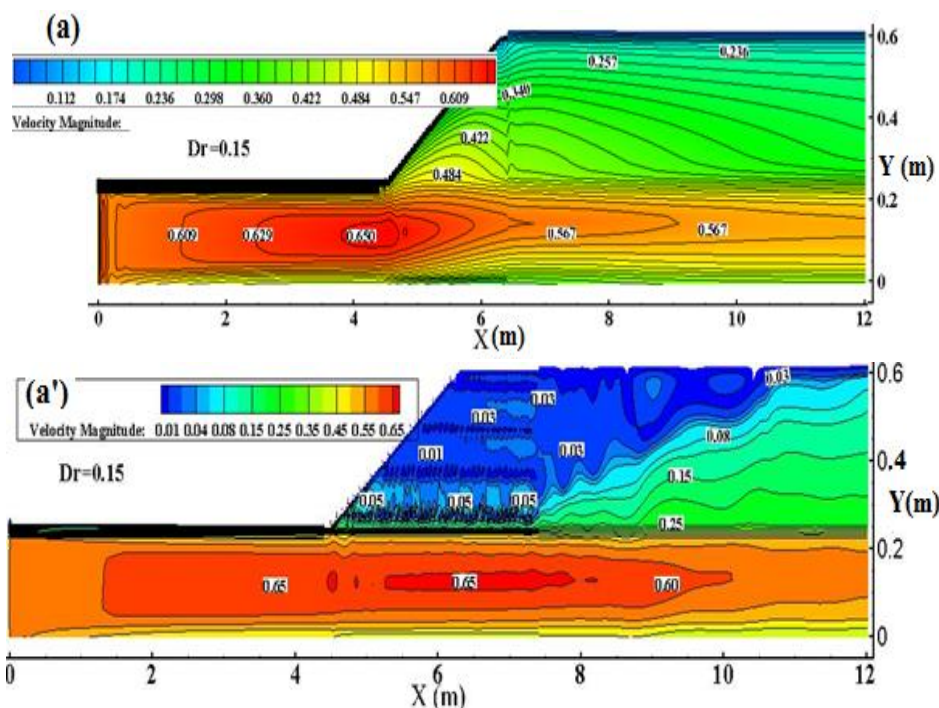
در مقطع میانی، در قسمت کانال اصلی، پروفیل سرعت آزمایشگاهی یکنواخت است؛ اما مدل عددی بیشینه سرعت را در خط مرکزی کانال اصلی نشان داده است. در مرز کانال اصلی و سیلابدشت مدل عددی پروفیل سرعت را منطبق بر مقدار آزمایشگاهی پیش‌بینی کرده است. مقدار سرعت در قسمت سیلابدشت (از $y=0/24$ به بعد) بسیار کم شده است که مدل عددی این کاهش سرعت را پیش‌بینی کرده است. در مقطع انتهایی واگرایی، نتایج مدل عددی تطابق مناسبی با نتایج آزمایشگاهی دارد، پروفیل سرعت در کانال اصلی در هر دو مدل عددی و آزمایشگاهی به‌صورت یکنواخت مشاهده می‌شود و کاهش شدید سرعت در سیلابدشت در مدل عددی و در مدل آزمایشگاهی مانند یکدیگر است. در مدل بدون پوشش گیاهی نیز تطابق خوبی میان نتایج مدل عددی و نتایج آزمایشگاهی

نتایج و بحث

بررسی سرعت برآیند

کانال اصلی پیش از ناحیه واگرایی، در هر دو حالت وجود پوشش گیاهی و بدون آن، الگوی جریان یکسان است و سرعت جریان در خط مرکزی بیشتر و در نزدیکی دیواره ها کمتر است. با تغییر عمق نسبی این الگو تغییر نداشته است، صرفاً مقدار بیشینه سرعت با افزایش عمق نسبی به دلیل افزایش سطح مقطع جریان کاهش یافته است.

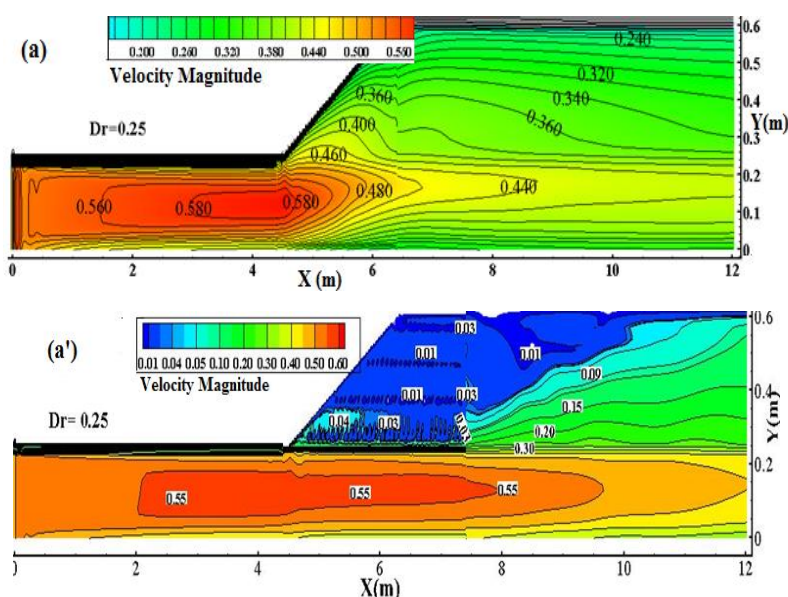
شکل های (۶ تا ۸) توزیع سرعت در کل میدان جریان را در نزدیکی سطح آزاد در دو حالت بدون پوشش گیاهی (a) و با پوشش گیاهی (a') با تغییر عمق نسبی نشان می دهند.



شکل ۶- منحنی های هم مقدار سرعت کل در عمق نسبی $Dr=0.15$: (a) بدون پوشش گیاهی، (a') با پوشش گیاهی
Fig. 6- Total velocity contour at $Dr=0.15$, (a) No vegetation, and (a') Vegetation

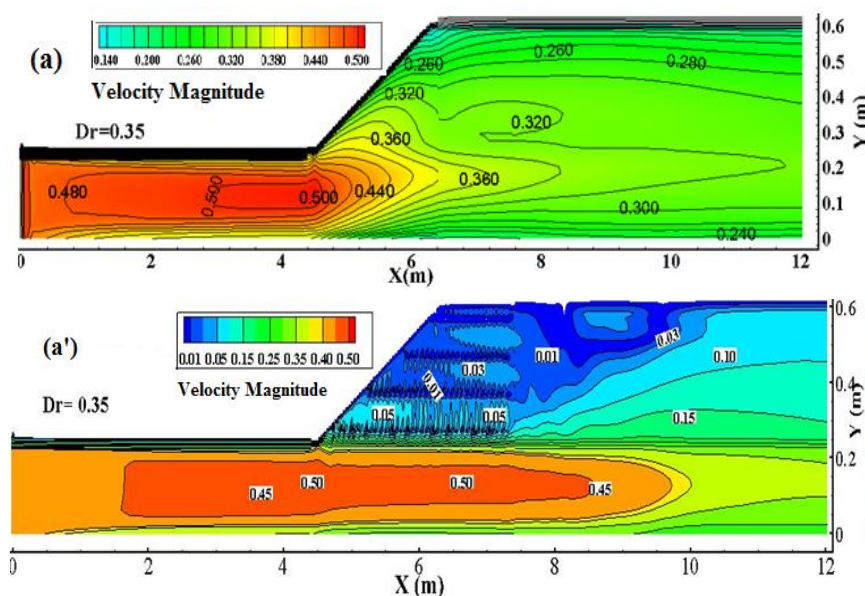
محدوده واگرایی و به سمت پایین دست، که سطح مقطع جریان منشوری می شود، اختلاف سرعت جریان در کانال اصلی و سیلاب دشت کمتر می شود، اما همواره در عمق نسبی کمتر، اختلاف سرعت جریان در کانال اصلی و سیلاب دشت بیشتر است. در واقع، هرچه عمق نسبی بیشتر باشد، اثر کانال سیلاب دشت و مقاومت بستر آن در مقابل جریان کمتر می شود بنابراین توزیع سرعت در کل عرض به سمت یکنواختی پیش می رود و اختلاف سرعت در کانال اصلی و سیلاب دشت کمتر خواهد شد.

در کانال بدون پوشش گیاهی مقایسه شکل های (۶ تا ۸) (a) با شروع محدوده واگرایی و ورود جریان به سیلاب دشت از بیشینه سرعت در کانال اصلی کاسته می شود. به رغم اینکه سطح مقطع جریان در سیلاب دشت کوچک تر از سطح مقطع جریان در کانال اصلی است، اما سرعت جریان در کانال اصلی همواره از سرعت جریان در کانال سیلاب دشت بیشتر است. دلیل این امر را می توان مومنتم کمتر جریان در سیلاب دشت نسبت به کانال اصلی دانست. برخلاف کانال اصلی، بیشینه سرعت در کانال سیلاب دشت در مرکز نیست، بلکه در نزدیکی مرز کانال اصلی و سیلاب دشت است. با نزدیک شدن به انتهای



شکل ۷- منحنی‌های هم‌مقدار سرعت کل در عمق نسبی $Dr=0.25$: (a) بدون پوشش گیاهی، (a') با پوشش گیاهی
Fig. 7- Total velocity contour at $Dr=0.25$, (a) No vegetation, and (a') Vegetation

در حالت وجود پوشش گیاهی (شکل‌های ۶ تا ۸) (a') با شروع محدوده واگرایی و برخورد جریان در سیلابدشت با پوشش گیاهی متراکم، اجازه عبور مقدار کمی از جریان در سیلابدشت داده شده است. با توجه به اینکه پوشش گیاهی تا حدود یک متر پس از انتهای ناحیه واگرایی وجود دارد، اما تا انتهای ناحیه دارای پوشش گیاهی ناحیه کم‌سرعت در



شکل ۸- منحنی‌های هم‌مقدار سرعت کل در عمق نسبی $Dr=0.35$: (a) بدون پوشش گیاهی، (a') با پوشش گیاهی
Fig. 8- Total velocity contour at $Dr=0.35$, (a) No vegetation, and (a') Vegetation

اصلی و سیلابدشت به طور پیوسته توزیع شده‌اند و با افزایش عمق نسبی هسته پُرسرعت جریان از وسط کانال اصلی به سمت کانال سیلابدشت کشیده شده است و این توزیع روند یکنواخت‌تری را نشان می‌دهد. در حالت پوشش گیاهی، همچنان هسته پُرسرعت جریان در کانال اصلی است و مقدار سرعت در کانال سیلابدشت بسیار کم است. وجود پوشش گیاهی مانعی در برابر عبور جریان در سیلابدشت و عامل مقاومت جریان در سیلابدشت است. عمق نسبی هم تأثیری بر این پدیده نداشته است. با توجه به اینکه قسمت عمده جریان در کانال اصلی دیده می‌شود، سرعت جریان کانال اصلی در حالت پوشش گیاهی بیشتر از حالت بدون پوشش است. مقایسه هریک از شکل‌های a، b و c در شکل‌های (۱۰ و ۱۱) نشان می‌دهد سرعت در مقطع میانی ناحیه واگرایی بیشتر از سرعت در انتهای ناحیه واگرایی است، دلیل آن همان افزایش سطح مقطع جریان در انتها نسبت به مقطع میانی و به تبع آن کاهش سرعت است. در مطالعات فیزیکی و عددی نجفیان و همکاران (Najafyan, et al., 2016) که به مطالعه واگرایی سیلابدشت روی توزیع مؤلفه طولی سرعت پرداختند، نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن بود که بیشینه سرعت کانال اصلی در مرکز آن و پایین‌تر از سطح آب اتفاق می‌افتد.

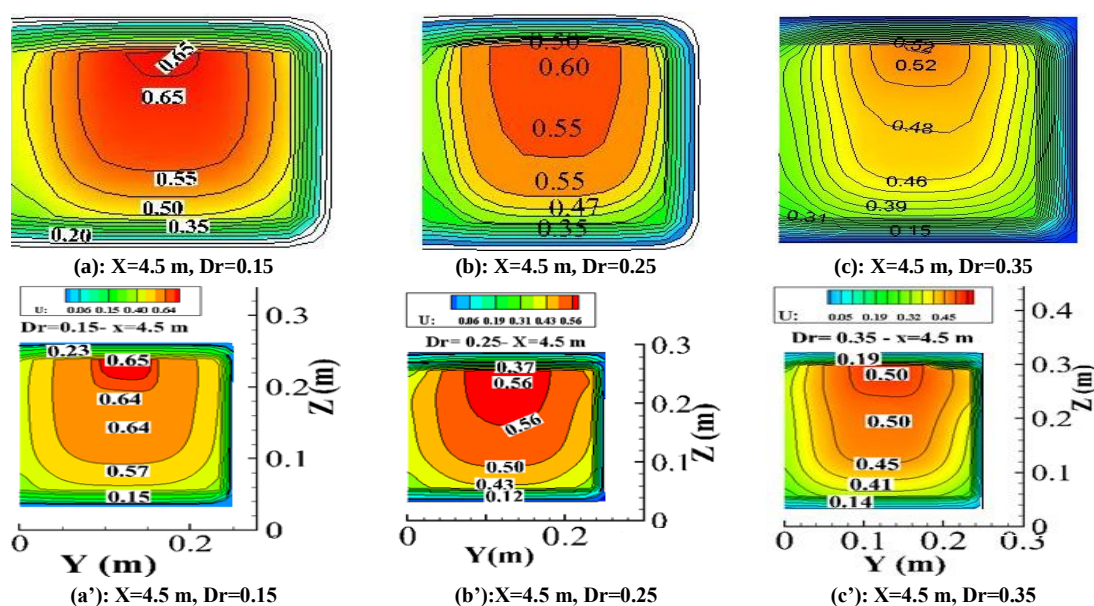
در وسط و انتهای ناحیه واگرایی، شکل‌های (۱۰ و ۱۱)، در حالت بدون پوشش گیاهی منحنی‌های هم سرعت در کانال

بررسی منحنی‌های هم سرعت در مقاطع مختلف عرضی با تغییر عمق نسبی

در شکل‌ها (۹ تا ۱۱) منحنی‌های هم سرعت طولی در سه مقطع ابتدا، وسط و انتهای ناحیه واگرایی با تغییر عمق نسبی در دو حالت بدون پوشش گیاهی (a, b, c) و با پوشش گیاهی (a', b', c') نشان داده شده است.

مطابق شکل (۹)، پیش از ناحیه واگرایی در هر دو حالت بدون پوشش گیاهی و با پوشش گیاهی، در هر مقطع با افزایش عمق نسبی، بیشینه سرعت در کانال اصلی کاهش یافته است، در واقع با افزایش عمق نسبی سطح مقطع جریان افزایش و سرعت کاهش می‌یابد. هسته پُرسرعت جریان در وسط عرض کانال اصلی و در تراز پایین‌تر از سطح آزاد رخ داده است. در مطالعات فیزیکی و عددی نجفیان و همکاران (Najafyan, et al., 2016) که به مطالعه واگرایی سیلابدشت روی توزیع مؤلفه طولی سرعت پرداختند، نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن بود که بیشینه سرعت کانال اصلی در مرکز آن و پایین‌تر از سطح آب اتفاق می‌افتد.

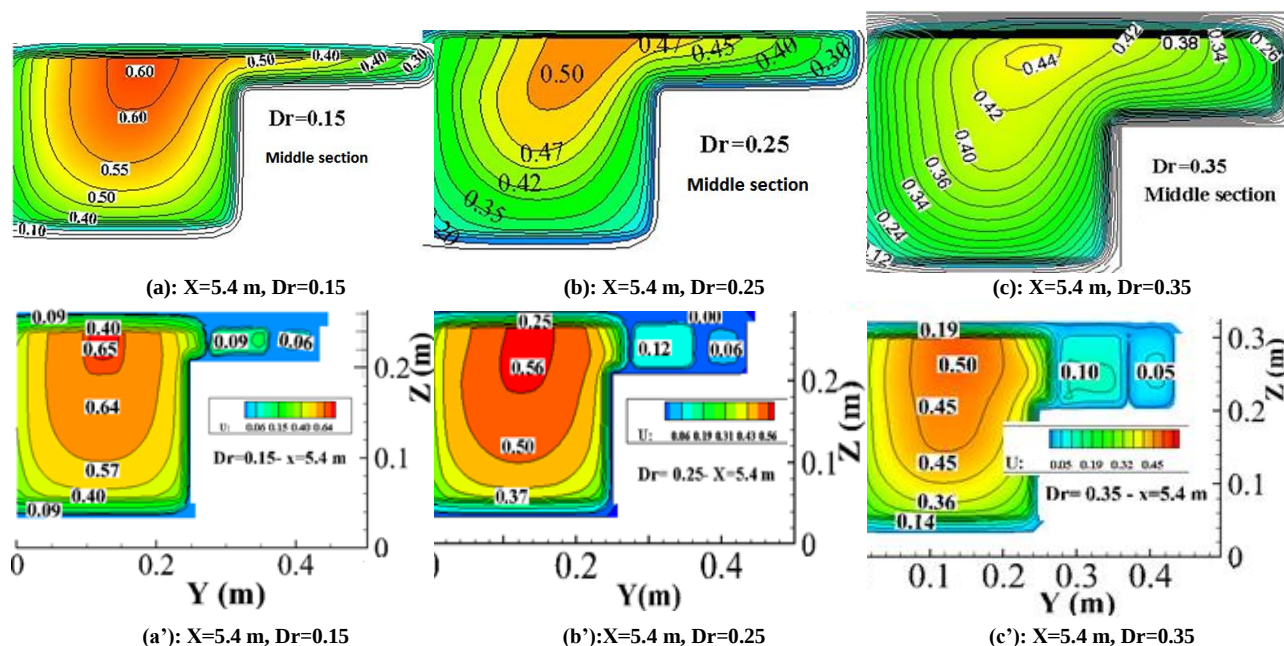
در وسط و انتهای ناحیه واگرایی، شکل‌های (۱۰ و ۱۱)، در حالت بدون پوشش گیاهی منحنی‌های هم سرعت در کانال



شکل ۹- منحنی‌های هم سرعت در مقطع ابتدایی واگرایی

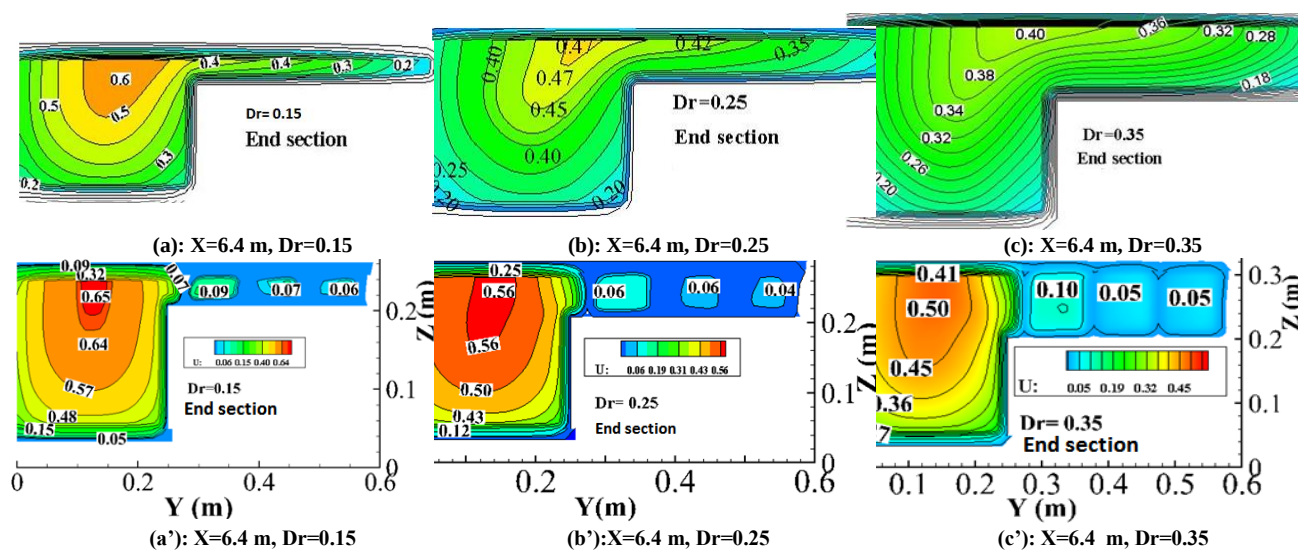
Fig. 9- Velocity contours at first section

بررسی عددی تاثیر پوشش گیاهی در سیلابدشت واگرا بر الگوی جریان در کانال مرکب



شکل ۱۰- منحنی‌های هم سرعت در مقطع میانی واگرایی

Fig. 10- Velocity contours at middle section



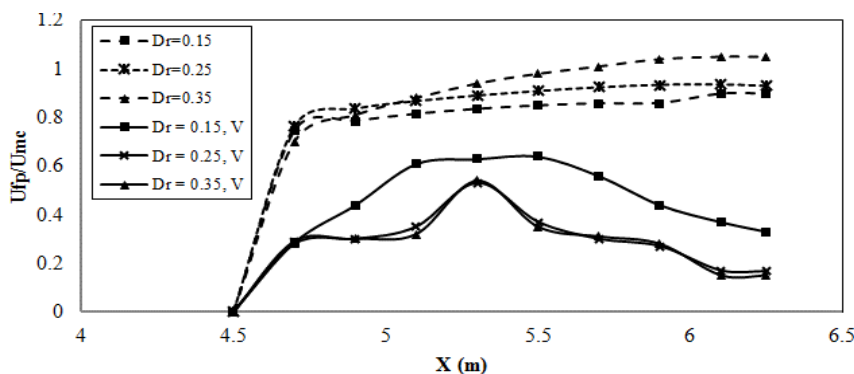
شکل ۱۱- منحنی‌های هم سرعت در مقطع انتهایی واگرایی

Fig. 11- Velocity contours at end section

تغییرات نسبت سرعت میانگین در کانال سیلابدشت به کانال اصلی
به‌منظور بررسی کمی مقدار سرعت، در شکل (۱۲) نمودار تغییرات نسبت سرعت میانگین عمقی در کانال سیلابدشت به کانال اصلی در دو حالت وجود پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی در طول ناحیه واگرایی نشان داده شده است. مطابق این شکل، در حالت بدون پوشش گیاهی درابتدای واگرایی

سرعت متوسط عمقی در سیلابدشت حدود ۸۰ درصد سرعت در کانال اصلی است و با پیشروی به سمت انتهایی واگرایی (x=6.25 m) این نسبت به تدریج افزایش یافته است که نشان دهنده انتقال تدریجی هسته پسرعت به سمت سیلابدشت و نیز کم شدن سرعت در کانال اصلی است. با افزایش عمق نسبی نیز با توجه به کم شدن سرعت عمقی در کانال اصلی، نسبت سرعت میانگین عمقی سیلابدشت به

کانال اصلی افزایش یافته است. اما در حالت وجود پوشش گیاهی، روند تغییرات نسبت سرعت میانگین عمقی در کانال سیلابدشت به کانال اصلی ابتدا افزایشی و سپس کاهشی است، در ابتدای ناحیه واگرایی نسبت سرعت متوسط عمقی سیلابدشت به کانال اصلی حدود ۳۰ درصد است، در میانه ناحیه واگرایی این نسبت به حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد رسیده و مجدداً روند کاهشی داشته است و با افزایش عمق نسبی به کمترین مقدار یعنی حدود ۲۰ درصد رسیده است.



شکل ۱۲- تغییرات نسبت سرعت میانگین عمقی در طول ناحیه واگرایی در کانال سیلابدشت به کانال اصلی در دو حالت با پوشش گیاهی (V) و بدون آن با تغییر عمق نسبی

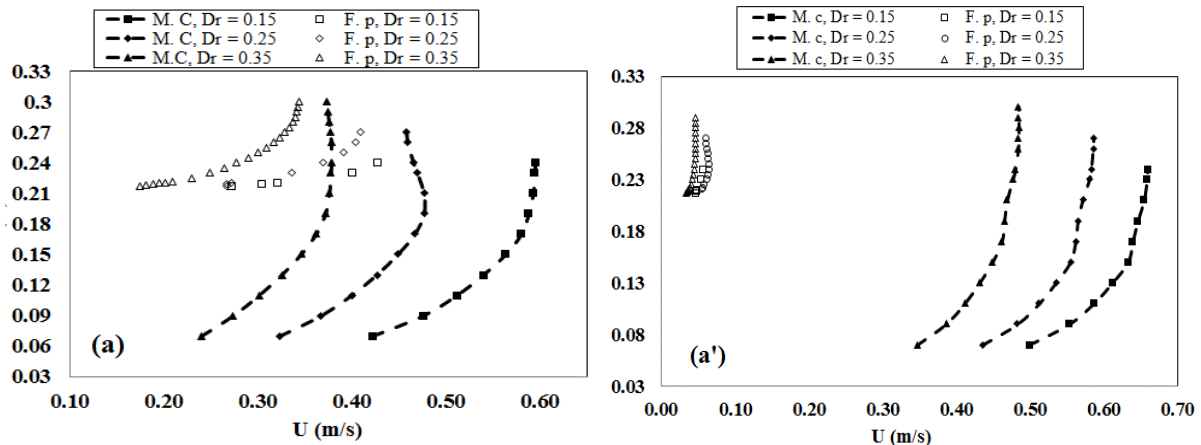
Fig. 12- Variation of the ratio of vertical averaged velocity of floodplain to the main channel for to cases of vegetation and no vegetation with changing the depth ratio

پوشش گیاهی، با افزایش عمق، مقاومت بیشتری در مقابل سرعت نزدیک سطح ایجاد می کند که بیشینه است. در واقع با افزایش عمق، سرعت در کانال اصلی کاهش می یابد، اما پوشش گیاهی ممانعت بیشتری در مقابل سرعت جریان دارد و نسبت را به شدت کاهش می دهد. طبق نمودار، نمی توان تفاوت معنی داری بین عمق نسبی ۰/۳۵ و ۰/۲۵ در حالت وجود پوشش گیاهی قائل شد و اثر مقاومتی پوشش گیاهی بر اثر عمق نسبی غالب است.

سرعت بیشتر است و با افزایش عمق نسبی، مقدار سرعت کاهش یافته است. این پدیده در سیلابدشت بدون پوشش گیاهی نیز کاملاً مشهود است. اما در سیلابدشت دارای پوشش گیاهی، به دلیل مقاومت زیاد پوشش گیاهی در مقابل جریان، سرعت در سیلابدشت بسیار کم و با تغییر عمق نسبی نمی توان تفاوت معنی داری را برای مقدار سرعت در سیلابدشت قائل شد. یعنی اثر پوشش گیاهی بر تأثیر عمق نسبی غالب است و پوشش گیاهی مقاومت زیادی در مقابل جریان ایجاد کرده و سرعت جریان در سیلابدشت را به شدت کاهش داده است. مقدار کمی اختلاف سرعت متوسط عمقی در کانال اصلی و سیلابدشت در حالت بدون پوشش گیاهی در عمق های نسبی ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵ به ترتیب ۲۲، ۳۶ و ۲۰ درصد است، یعنی با افزایش عمق نسبی، اختلاف سرعت متوسط عمقی در سیلابدشت و کانال اصلی کمتر شده است. این پارامتر در حالت پوشش گیاهی به ترتیب ۹۱، ۸۹ و ۹۰ درصد بوده است، یعنی تغییر عمق نسبی، منجر به اختلاف سرعت متوسط عمقی در سیلابدشت و کانال اصلی نشده است، بلکه اختلاف سرعت ناشی از وجود پوشش گیاهی است.

بررسی پروفیل سرعت قائم

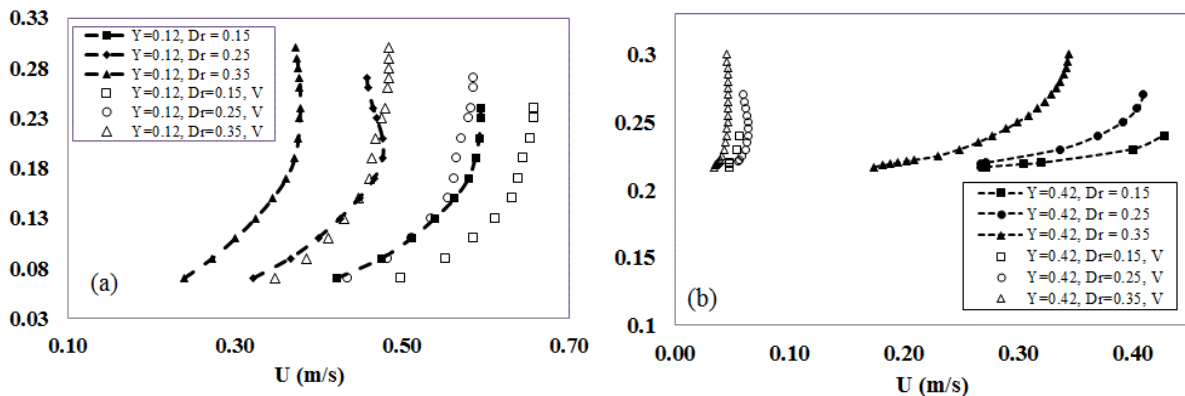
به منظور مقایسه دقیق تر، در شکل (۱۳) پروفیل قائم سرعت در فاصله ۶ متری از ابتدای کانال در محور مرکزی کانال اصلی و سیلابدشت برای سه عمق نسبی متفاوت در دو حالت بدون پوشش گیاهی (a) و با پوشش گیاهی (a') نمایش داده شده است. همان طور که در شکل ۱۳ مشاهده می شود در کلیه عمق های نسبی تفاوت محسوسی در سرعت کانال اصلی و سیلابدشت وجود دارد. در هر دو حالت در کانال اصلی، در عمق نسبی کم، سطح مقطع جریان کمتر و از این رو مقدار



شکل ۱۳- پروفیل قائم سرعت در عمق‌های نسبی متفاوت در کانال اصلی و سیلابدشت در حالت (a) بدون پوشش گیاهی و (a') پوشش گیاهی

Fig. 13- Vertical velocity profile for different depth ratio at main channel and floodplain for (a) no vegetation, (a') vegetation

پروفیل سرعت مذکور در کانال اصلی (شکل a) و سیلابدشت (شکل b) در دو حالت در شکل (۱۴) نشان داده شده است. مقدار کاهش متوسط عمقی سرعت در سیلابدشت به دلیل پوشش گیاهی نسبت به حالت بدون پوشش گیاهی برای عمق‌های نسبی ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵ به ترتیب ۱۲، ۲۵ و ۳۰ درصد بوده است. پروفیل سرعت مذکور در کانال اصلی (شکل a) و سیلابدشت (شکل b) در دو حالت در شکل (۱۴) نشان داده شده است. مقدار کاهش متوسط عمقی سرعت در سیلابدشت به دلیل پوشش گیاهی نسبت به حالت بدون پوشش گیاهی برای عمق‌های نسبی ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵ به ترتیب ۸۲، ۸۵ و ۸۴ درصد بوده است. انتظار می‌رود با کاهش سرعت در



شکل ۱۴- پروفیل قائم سرعت برای عمق‌های نسبی متفاوت در دو حالت با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی در (a) کانال اصلی و (b) سیلابدشت

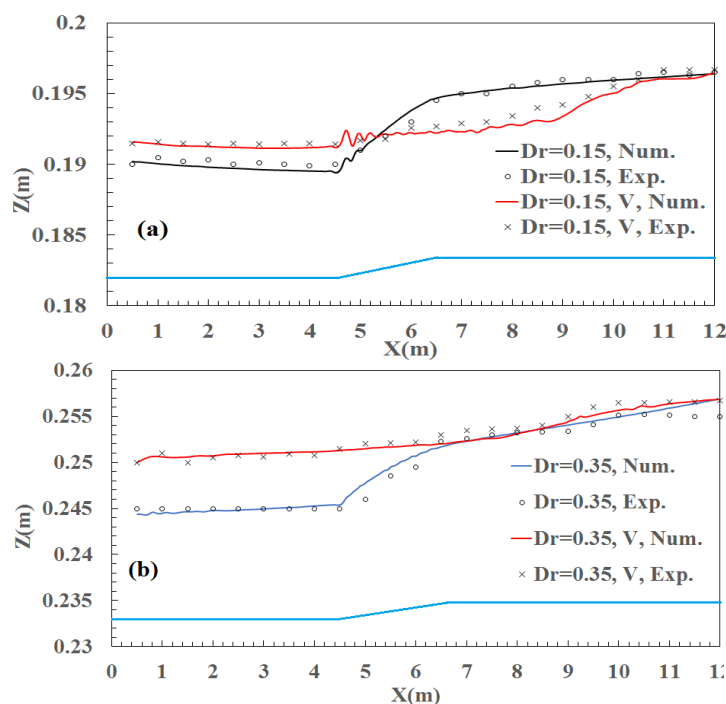
Fig. 14- Vertical velocity profile of two cases for different depth ratio at (a) main channel, and (b) floodplain

در مطالعات زنگ و همکاران (Zeng. et al., 2022) یک روش شبیه‌سازی گردابی بزرگ با مدل دیوار (WMLES) برای شبیه‌سازی جریان کانال باز مرکب با پوشش گیاهی سیلابدشت استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داده است با افزایش تراکم پوشش گیاهی، سرعت جریان در کانال اصلی، در مقایسه با حالت بدون پوشش گیاهی، افزایش می‌یابد. در حالی که سرعت در سیلابدشت کاهش خواهد یافت. نتیجه تحقیق حاضر با نتیجه مطالعات زنگ و همکاران (Zeng. et al., 2022) همخوانی دارد.

بررسی تغییرات سطح آب

افزایش عمق جریان رخ داده است. بررسی کمی اثر سیلابدشت و پوشش گیاهی بر تغییرات عمق جریان نشان داد در عمق نسبی ۰/۱۵ در محدوده ابتدا تا انتهای ناحیه واگرایی، وجود سیلابدشت بدون پوشش گیاهی منجر به افزایش ۳/۷ درصد در عمق جریان در کانال اصلی شده است، اما وجود پوشش گیاهی در سیلابدشت مانع از افزایش سریع عمق جریان شده و افزایش عمق حدود ۰/۷ درصد در عمق جریان به صورت تدریجی تا فاصله حدود ۲ برابر طول ناحیه واگرایی رخ داده است و پس از آن ۱/۵ درصد افزایش عمق وجود دارد. در $Dr=0.35$ نیز حدود ۴/۵ درصد افزایش عمق جریان در کانال اصلی رخ داده است، اما با وجود پوشش گیاهی، به صورت تدریجی عمق جریان ۱/۷ درصد افزایش یافته است. در شکل (۱۵)، علاوه بر نتایج عددی، نتایج آزمایشگاهی صمدی رحیم و همکاران (Samadi Rahim et al., 2019) نیز نشان داده شده است. مدل عددی به خوبی توانسته است تغییرات عمق جریان را در حین عبور از کانال مستطیلی و ورود آن را به مقطع مرکب با پوشش گیاهی و بدون آن پیش بینی کند.

در خط مرکزی کانال اصلی ($y=0.12$ m)، تغییرات عمق جریان از ابتدا تا انتهای کانال در دو عمق نسبی ۰/۱۵ و ۰/۳۵ در شکل (۱۵) نشان داده شده است. در حالت نبود پوشش گیاهی، از ابتدا تا انتهای ناحیه واگرایی عمق جریان با شیب تند افزایش یافته است. دلیل این پدیده را می توان با تحلیل انرژی مخصوص یافت. در عمق نسبی ۰/۱۵، مقدار عدد فرود حدود ۰/۴ و جریان زیر بحرانی است. با افزایش تدریجی عرض مقطع در ناحیه واگرایی و کاهش دبی در واحد عرض، عمق بحرانی کاهش می یابد و منحنی انرژی مخصوص به سمت چپ حرکت می کند، از این رو در شاخه زیر بحرانی عمق جریان افزایش می یابد. در واقع، با افزایش عرض مقطع و کاهش سرعت جریان، انتظار افزایش عمق برای ثابت ماندن انرژی مخصوص نیز پدیده فوق را توجیه می کند. با افزایش عمق نسبی نیز این پدیده همچنان رخ داده است. اما با وجود پوشش گیاهی و جلوگیری از ورود جریان به ناحیه سیلابدشت، افزایش عمق جریان در ناحیه واگرایی بسیار تدریجی است و در پایین دست

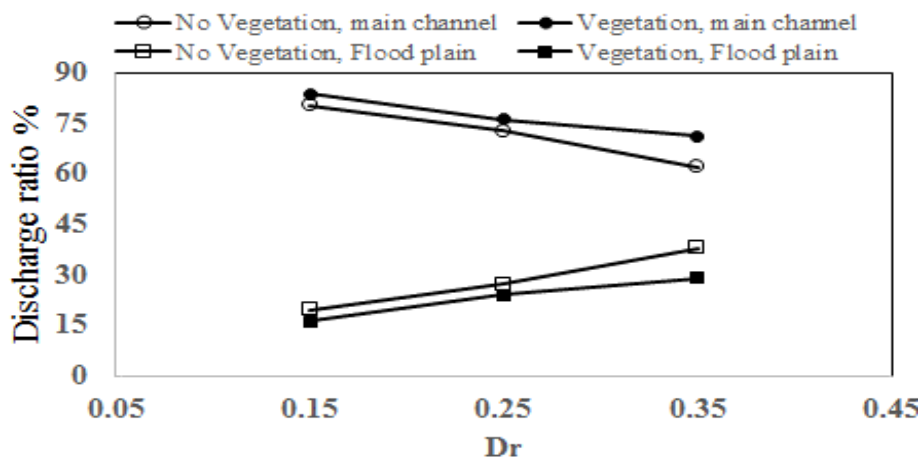


شکل ۱۵- تغییرات عمق جریان در خط مرکزی کانال اصلی در عمق های نسبی $Dr=0.15$ و (a): $Dr=0.35$ و (b): در دو حالت وجود پوشش گیاهی بدون آن

Fig. 15- Variation of flow depth at center line of main channel for depth ratio $Dr= 0.15$, and 0.35 , for two cases

بررسی تغییرات دبی عبوری از سیلابدشت و کانال اصلی

- به منظور بررسی اثر پوشش گیاهی و نیز عمق نسبی بر میزان دبی عبوری از کانال اصلی و سیلابدشت، در خروجی میدان جریان ($x=11.8 \text{ m}$)، صفحه‌ای در کانال اصلی و سیلابدشت تعریف شد و در هر شش مدل شبیه‌سازی شده مقدار دبی عبوری با رابطه $Q=V \cdot A$ محاسبه شد. در شکل (۱۶) مقدار دبی محاسبه شده نشان داده شده است. مطابق شکل (۱۶):
- دبی در کانال اصلی همواره بیشتر از دبی در سیلابدشت است؛
 - بیشترین مقدار دبی از کانال اصلی عبور می‌کند که در سیلابدشت آن پوشش گیاهی وجود دارد؛
 - کمترین مقدار دبی از سیلابدشت دارای پوشش گیاهی رد شده است؛
 - با افزایش عمق نسبی، مقدار دبی عبوری از سیلابدشت افزایش می‌یابد، دلیل آن مقاومت کمتر سیلابدشت در
- مقابل جریان با افزایش عمق نسبی است؛
- در حالت بدون پوشش گیاهی، حدود ۸۰ درصد دبی از کانال اصلی و ۲۰ درصد آن از سیلابدشت عبور کرده و با افزایش عمق نسبی این درصدها به ۶۲ و ۳۸ درصد رسیده است. با وجود پوشش گیاهی، این دو نسبت به ترتیب یکی ۸۴ و ۱۶ و دیگری ۷۱ و ۲۹ درصد است؛
 - با افزایش عمق نسبی، مقدار دبی عبوری از کانال اصلی کاهش می‌یابد، دلیل آن بیشتر شدن دبی در سیلابدشت است.
- در مطالعه آزمایشگاهی صمدی رحیم و همکاران (Samadi Rahim et al., 2019) در یک آبراهه مرکب نامتقارن با سیلابدشت واگرای دارای پوشش گیاهی مشاهده شد که مقدار انتقال دبی جریان از طریق کانال اصلی در حضور پوشش گیاهی بسیار بیشتر است تا از طریق سیلابدشت. نتیجه به‌دست‌آمده از مدل عددی حاضر با نتیجه مطالعات آزمایشگاهی همخوانی دارد.



شکل ۱۶- تغییرات دبی در کانال اصلی و سیلابدشت در دو حالت وجود پوشش گیاهی و بدون آن با تغییر عمق نسبی
Fig. 16- Variation of discharge in main channel and floodplain for two cases with changing the depth ratio

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به منظور بررسی تغییر عمق نسبی و پوشش گیاهی سیلابدشت بر مقدار انتقال جریان، میدان جریان در کانال مرکب نامتقارن دارای سیلابدشت واگرا در دو حالت با پوشش گیاهی و بدون آن در عمق‌های نسبی متفاوت، با استفاده از نرم‌افزار Flow3D شبیه‌سازی سه‌بعدی شده است. صحت‌سنجی مدل عددی و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی نشان داد مدل عددی به خوبی توانسته است الگوی جریان را در مقطع مرکب با پوشش گیاهی و بدون آن پیش‌بینی کند. نتایج مدل‌سازی عددی نشان داد هستهٔ پرسرعت جریان در وسط عرض کانال اصلی و در تراز پایینی‌تر از سطح آزاد رخ داده است. مقدار کمی اختلاف سرعت متوسط عمقی در کانال اصلی

و سیلابدشت در عمق های نسبی ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵ در حالت بدون پوشش گیاهی به ترتیب ۳۶، ۲۲ و ۲۰ درصد و با وجود پوشش گیاهی به ترتیب ۹۱، ۸۹ و ۹۰ درصد بوده است، یعنی با افزایش عمق نسبی، اختلاف سرعت متوسط عمقی در سیلابدشت و کانال اصلی کمتر شده است، اما در حالت پوشش گیاهی تغییر عمق نسبی منجر به اختلاف سرعت متوسط عمقی در سیلابدشت و کانال اصلی نشده است؛ بلکه اختلاف سرعت ناشی از وجود پوشش گیاهی است. تغییرات عمق جریان در خط مرکزی کانال اصلی از ابتدا تا انتهای کانال در دو عمق نسبی ۰/۱۵ و ۰/۳۵ نشان داد در حالت بدون پوشش گیاهی، از ابتدا تا انتهای ناحیه واگرایی عمق جریان با شیب تند افزایش یافته است. در واقع، با افزایش عرض مقطع و کاهش سرعت جریان، افزایش عمق برای ثابت ماندن انرژی مخصوص قابل توجه است. با افزایش عمق نسبی نیز این پدیده همچنان رخ داده است. وجود پوشش گیاهی و جلوگیری از ورود جریان به ناحیه سیلابدشت منجر به افزایش تدریجی عمق جریان در ناحیه واگرایی شده است. محاسبه دبی نشان داد دبی در سیلابدشت همواره کمتر از دبی در کانال اصلی است و کمترین مقدار دبی از سیلابدشت دارای پوشش گیاهی عبور کرده است. افزایش عمق نسبی منجر به افزایش مقدار

دبی عبوری از سیلابدشت و کمتر شدن دبی عبوری از کانال اصلی شده است.

مقایسه رفتار جریان در کانال مرکب با رفتار جریان در کانال ساده می توان به روشنی گفت که حضور جریان های ثانویه در محل صفحه برخورد کانال اصلی و سیلابدشت و همچنین زبری های موجود روی بستر سیلابدشت باعث ایجاد مقاومت اضافه شده است و در نتیجه در شرایط دبی برابر، جمع جریان در مقاطع مرکب بیشتر از جمع جریان در مقاطع ساده خواهد بود. به دلیل بیشتر بودن سطح مقطع جریان در کانال های مرکب، نسبت به کانال های ساده، ظرفیت انتقال دبی در مقاطع مرکب نسبت به ظرفیت انتقال دبی در مقاطع ساده بیشتر است.

وجود سیلابدشت منجر به کاهش دبی در واحد عرض می شود، از این رو منحنی انرژی مخصوص کانال مرکب در سمت چپ منحنی کانال ساده قرار می گیرد. در شرایط سیلابی که جریان فوق بحرانی است، در شاخه فوق بحرانی منحنی انرژی مخصوص، عمق جریان کاهش می یابد؛ بنابراین، در مقایسه کانال مرکب با کانال ساده، افزایش ظرفیت انتقال دبی از یک سو و کاهش عمق جریان از سویی دیگر به لحاظ حفظ پایداری سازه ها و امنیت ساکنان و تأسیسات مجاور آبراهه ها با اهمیت است.

مراجع

- Ahmadi Dehrashid, F., Yasi, M. & Heidari, M. (2023, a). Flow characteristics in a compound channel with double-layer vegetated floodplains: a numerical study. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(11), 2515-2531. doi: 10.22059/ijswr.2022.348361.669356
- Ahmadi Dehrashid, F., Heydari, M., Yasi, M. & khoshkonesh, A. (2023, b). Flow and Turbulence Characteristics in a Compound Channel with Partially Layered Vegetated Floodplains. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 17(3), 479-491.
- Dovlati Mehtaj, & M., Rezaei, B. (2021). Laboratory study of balance of forces and flow interaction between the main channel and floodplains in diagonal compound channel with sloping floodplains. *Ferdowsi Civil Engineering Journal*, 34 (2). pp. 87-102. (In Persian).
- Flow Science Inc., (2016). FLOW-3D V 11.2 User's Manual. Santa Fe, New Mexico.
- Hamidifar, H., Omid, M., H., & Keshavarzi, A. (2013). Mean Flow and Turbulence in Compound Channels with Vegetated Floodplains. *journal of Agricultural Engineering Research*, 14 (3), 51-66. (In Persian).
- Hamidifar, H., Omid, M., H., & Keshavarz, A. (2016). Kinetic energy and momentum correction coefficients in straight compound channels with vegetated floodplain. *Journal of hydrology*, 537. 10-17.

- Hosseini, M., (2004). Equations for discharge calculation in compound channels having homogeneous roughness. *Iranian journal of science and technology (B: Engineering)*, 28(8), 537-546.
- Huai, W.X., Gao, M. Zeng, Y.H. & Li., D. (2009). Two-dimensional analytical solution for compound channel flows with vegetated flood plain. *Applied mathematics and mechanics*. 30, 1121-1130
- Kang, H., & Choi, S.U. (2006). Turbulence modeling of compound open-channel flows with and without vegetation on the floodplain using the Reynolds stress model. *Adv. Water. Resource*. 29, 1650–1664.
- Kumar, A. Kumar Singh, P. & Kumar Khatua, K. (2016). Comparison of 2D and 3D modeling of converging and diverging floodplains. *21st International Conference on Hydraulics, Water Resources and Coastal Engineering (HYDRO 2016 International)*, Central Water & Power Research Station (CWPRS). Pune, India.
- Myers, W.R.C., Lyness, J. F., & Cassells, J. (2001). Influence of boundary roughness on velocity and discharge in compound river channels. *International journal of hydraulic research*. 39(3).
- Najafyan, S., Yonesi, H., Parsai, A. & Torabi-Poude, H. (2016). Physical and Numerical Modeling of Flow in Heterogeneous Roughness Non-Prismatic Compound Open Channel. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 17(66), 87-104. doi: 10.22092/aridse.2016.106408. (In Persian).
- Proust, S., Fernands, J. N., Peltier, J. B., Riviere, N., & Cardoso, A. H. (2013). Turbulent non-uniform flows in straight compound open-channels. *Journal of hydraulic research*, 51(6).
- Rezaei, B., & Seif, M., M. (2022). Numerical study of flow in skewed compound channel using k-ε turbulence model. *Iranian journal of science and technology, transactions of civil engineering*. 46, 3919-3929.
- Rezaei, B., & Safarzade, A. (2016). Numerical modeling of flow field in prismatic compound channels with different floodplain widths.. *Journal of applied research in water and wastewater*. 6, 260-270.
- Samadi Rahim, A., Yonesi, H., Rahimi, H. R., Shahinejad, B., Torabi Podeh, H., & Hazi Mohammad Azamathulla. (2023). Effect of vegetation on flow hydraulics in compound open channels with non-prismatic floodplains. *AQUA - Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 72 (5): 781–797.
- Samadi Rahim, A., Yunesi, H., Shahinejad, B., & Torabipour, H. (2019). Laboratory evaluation of the effect of floodplain vegetation on flow hydraulics in divergent compound channel. *Journal of Hydraulic*, 16(1), pp. 111-130. (In Persian).
- Shankar, B., & Kumar, K. (2018). Flow resistance in a compound channel with diverging and converging floodplains. *Journal of hydraulic engineering*, 144(8).
- Shokri, M., & Mehdipour, R. (2021). Numerical modeling of the effect of different opening angles of floodplains on shear stress distribution and fluid velocity in non-prismatic compound channels. *Irrigation and Drainage Journal of Iran*. 15 (2). pp. 270-280. (In Persian).
- Theoharris, K., & Panagiotis, P. (2016). Reynolds stress modelling of flow in compound channels with vegetated floodplains. *Journal of applied water engineering and research*. p. 1-11.
- Yonesi, H., Omid, M. H. & Ayyoub zadeh, S. A. (2015). The effect of floodplain roughness on hydraulics of flow in compound channels with non-prismatic floodplains. *Iranian Water Researches Journal*, 9(2), 63-72. (In Persian).
- Zeng, C., Bai, Y., Zhou, J., Qiu, F., Ding, S., Hu, Y. & Wang, L. (2022). Large Eddy Simulation of Compound Open Channel Flows with Floodplain Vegetation. *Water*, 14, 3951. <https://doi.org/10.3390/w1423395>.

Original Research

Nmerical investigation of the effect of vegetation in divergent floodplain on the flow pattern in compound channel

F. Mahmoodi Monfared, M. Rostamabadi*, H. Younesi

***Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Buin Zahra Branch, Buin Zahra, Iran.

Received: 24 August 2024, **Accepted:** 22 September 2024

Email: Rostamabadi@iau.ac.ir

https://doi.org/ 10.22092/IDSER.2024.366730.1589

Extended Abstract

Introduction

Compound channels are hydraulic sections consisting of the main channel and flood plains. In natural rivers, the formation of a compound cross-section is common because, during floods, a part of the river discharge is carried by the flood plains. In nature, flood plains are usually covered with vegetation that affects the flow transfer capacity in the flood plain and the main channel. Knowing the hydraulic flow conditions and the interaction of the main channel and the floodplain is necessary to protect human lives and facilities.

Many experimental and numerical studies have been carried out in compound channels with vegetation (Myers et al., 2001., Hosseini, 2004., Kang and Choi, 2006., Huai et al., 2009, Proust et al., 2013., Hamidifar et al., 2013., Yonesi et al., 2014., Theoharris and Panagiotis, 2016., Hamidifar et al., 2016., Kumar et al., 2016., Shankar and Kumar, 2018., Samadi Rahim et al., 2020., Dovlati and Rezaei, 2021., Shokri and Mehdipour, 2021., Zang et al., 2022., and Samadi Rahim et al., 2023). According to the review of previous studies, most of them have been done in straight compound channels, but the numerical study of asymmetric compound channels with divergent floodplains covered by vegetation has rarely been of interest. Despite the high accuracy of laboratory studies in investigating hydraulic phenomena, high costs, limited laboratory space, and scale effects have also inclined researchers to use numerical methods. Numerical methods can be very efficient for investigating the effects of different parameters on a phenomenon by spending less time and money, provided that the numerical model results have been validated.

The current research aim is to study the flow mechanism numerically in a diverging compound channel with vegetation and to investigate the relative depth change in the flow mechanism.

Methodology

For the purpose of this research, the 3D flow field in a compound channel with a divergent floodplain in two cases, with and without vegetation, at three relative depths (the ratio of the flow depth in the floodplain to the flow depth in the main channel) has been simulated. Flow3D was used and validated. Then, velocity contours, velocity profiles, flow depth, and discharge in the flood plain and the main channel for the two mentioned states were compared and analyzed.

Results and Discussion

Validation of the numerical model and comparison with the laboratory results showed that the numerical model was able to predict the flow pattern. The results showed that in both cases, by the increase in relative depth, the maximum velocity in the main channel decreased. In floodplains without vegetation, at the beginning of the divergence, the depth-averaged velocity is about 80% of the main channel one. And as it progresses towards the end of the divergence, this ratio gradually increases. The vegetation and its resistance

to the flow caused a decrease in this ratio of 30 to 60 percent. By increasing depth, vegetation creates more resistance to the flow, and the resistance vegetation effect dominated by the effect of relative depth. The amount of depth-averaged velocity reduction in floodplain due to vegetation compared to the condition without vegetation for the relative depths of 0.15, 0.25, and 0.35 was 85, 82 and 84%, respectively. Accordingly, the depth-averaged velocity increase in the main channel was 12, 25, and 30%. The investigation of the changes in the flow depth from the beginning to the end of the channel showed that for $Dr=0.15$, floodplain without vegetation have led to an increase of 3.7% in the flow depth in the main channel from the beginning to the end of the divergence area. The vegetation has prevented the rapid increase in flow depth, and an increase of about 0.7% occurred gradually up to a distance of about two times the length of the divergence area, and then there is a 1.5% increase in depth. At $Dr=0.35$, about 4.5% increase in flow depth has occurred in the main channel, but despite vegetation, the flow depth has gradually increased by 1.7%. Investigating the effect of vegetation and relative depth on the amount of flow passing through the main channel and floodplain showed that the flow in the main channel is always higher than the flow in the floodplain, and the highest amount of flow passes through the main channel in the case of vegetation. With the increase in relative depth, the amount of flow passing through the floodplain has increased while the amount of flow passing through the main channel has decreased. About 80% of the discharge has passed through the main channel and 20% through the floodplain. With the increase in relative depth, the flow through the floodplain has reached 38%. The vegetation has increased the flow through the main channel between 4 and 9 percent.

Conclusions

In this research, the flow field is simulated in an asymmetric compound channel with a diverging floodplain. The simulation is carried out at different relative depths for two cases, with vegetation and without vegetation, using Flow3D. Numerical modeling results showed that in both cases, with the increase in the relative depth, the velocity decreased. Also, the high-velocity core of the flow occurred in the center line of the main channel and below the free surface. The quantitative value of the depth-averaged velocity difference in the main channel and the flood plain in the relative depths of 0.15, 0.25, and 0.35 in the case of no vegetation is 36%, 22%, and 20%, respectively, and with vegetation is 91%, 89%, and 90%. That is, with the increase in relative depth, the difference in depth-averaged velocity in the floodplain and the main channel has decreased, but in the case of vegetation, relative depth changing has not led to depth-averaged velocity difference, and the difference is due to the presence of vegetation. By increasing the cross-section's width and decreasing the flow velocity, increasing the depth can be justified to keep the specific energy constant. This phenomenon continued to occur with increasing relative depth. The vegetation and preventing the flow from entering the floodplain has led to a gradual increase in flow depth at divergence region. The discharge in floodplain is always lower than that in the main channel.

Key words: Divergent Floodplain, Flow3D, Relative Depth, Vegetation

مطالعه آزمایشگاهی عملکرد سرریز پلکانی - هرمی بر مقدار اکسیژن محلول در آب

علی رنجبین^۱، مهدی اسمعیلی ورکی^{۲*}، مریم نوابیان^۳، شهرام نیازی^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت.

^{۲*} دانشیار مهندسی رودخانه، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت.

^۳ دانشیار آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت.

^۴ استادیار مهندسی شیمی، گروه مهندسی آب و محیط زیست، پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر، دانشگاه گیلان، رشت.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۸

چکیده

از پارامترهای مهمی که نقش حیاتی در پایداری زیست بوم های آبی و نیز فرایندهای بهبود کیفی آب مانند اکسیداسیون آهن و منگنز دارد، غلظت اکسیژن محلول (DO) است. یکی از روش های کارآمد برای افزایش میزان اکسیژن محلول در آب، استفاده از سازه های هواده است که با ایجاد اختلاط و آشفته گی در جریان آب، حباب های کوچک هوا را به داخل آب وارد کنند و مقدار اکسیژن محلول را افزایش دهند. در این پژوهش، تأثیر سرریز پلکانی به شکل هرمی دارای پلکان های بدون آستانه، آستانه های پیوسته و کنگره ای با هندسه های مختلف بر افزایش مقدار اکسیژن محلول در دامنه دبی های مختلف به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. نتایج نشان داد که در سرریز پلکانی - هرمی ساده، با افزایش دبی از حداقل تا حداکثر، مدت زمان رسیدن DO به سطح اولیه تا حدود ۲ برابر کم می شود ولی این تغییر متناسب با افزایش میزان دبی، افزایش نمی یابد. نصب آستانه های پیوسته و کنگره ای باعث کاهش عملکرد در دبی حداقل می شود ولی با افزایش دبی و به تبع آن ضخامت تیغه های ریزشی جریان از سطوح پلکان ها، مدت زمان افزایش اکسیژن محلول (DO) تا حدود ۳ برابر کاهش می یابد. بررسی نتایج نشان داد به طور کلی سرریزهای پلکانی - هرمی با پلکان ساده می توانند تا ۲/۵ میلی گرم بر ثانیه در هر لیتر جریان ورودی به مخزن اکسیژن محلول (DO) تزریق کنند که این مقدار برای سرریزهای پلکانی - هرمی با آستانه ساده و کنگره ای بین ۲/۳ تا ۲/۷ میلی گرم بر ثانیه در هر لیتر است.

واژه های کلیدی: اکسیژن محلول، سرریز پلکانی - هرمی، آستانه کنگره ای، هواده ای، تصفیه

مقدمه

(حداکثر ۰/۳ میلی گرم در لیتر برای آهن و ۰/۱ میلی گرم در لیتر برای منگنز) به طور مستقیم خطر جدی برای سلامت انسان ایجاد نمی کنند، اما این غلظت های بالا می تواند باعث رشد باکتری های آهن و منگنز، افزایش میکروارگانیسم های بیماری زا، ایجاد طعم تلخ و بوی نامطبوع در آب، ایجاد لکه های قرمز و قهوه ای روی لوازم بهداشتی و مسدود شدن سیستم های آب رسانی شوند. به همین دلیل، یکی از مراحل اصلی در فرایند تصفیه آب، حذف یون های آهن و منگنز است. روش های رایج برای حذف آهن و منگنز از آب شامل

بانفوذ آب از سطح زمین به لایه های زیرسطحی که همراه است با عبور از تشکیلات سنگی با ویژگی های شیمیایی مختلف، کیفیت آب دچار تغییر می شود. مهم ترین و فراوان ترین این تغییرات افزایش غلظت آهن و منگنز است؛ بنابراین، بسیاری از منابع آب زیرزمینی مقادیر قابل توجهی آهن و منگنز دارند. به طور معمول، غلظت یون های آهن تقریباً ۱۰ برابر غلظت یون های منگنز است. مقادیر بیشتر از استانداردهای توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی

(۱) نصب فیلترهای تبادل یونی (سختی گیرهای ژئولیتی)،
(۲) سختی گیری با استفاده از آهک زنی و (۳) اکسیداسیون
به همراه رسوب گذاری و فیلتراسیون است. هر یک از
روش های مذکور مزایا و معایب خاص خود را دارد. در این

میان، استفاده از اکسیداسیون به دلیل پایین بودن هزینه های
اجرائی، کاربری گسترده تری دارد. یکی از ارکان اصلی این
روش، استفاده از هواده ها است (HDR Engineering, 2001).

هواده می معمولاً به دو روش صورت می گیرد، یکی به
حرکت در آوردن آب و دیگری تزریق هوا به داخل توده آب.
در هواده می با به حرکت در آوردن آب توسط جابه جایی جریان
امکان تداخل و آشفتنی بیشتر فراهم می گردد. این روش
شامل هواده می ثقلی-ریزشی، هواده می پاششی، هواده می
بشقابی، هواده می سطحی است. در هواده می به روش دوم،
حباب هوا با استفاده از تجهیزات مکانیکی به درون جریان
تزریق می شود. هواده می با تزریق هوا و هواده می دیفیوژی یا
عمقی دو نمونه از این روش هستند. هواده می ثقلی-ریزشی
مانند سرریزها کاربرد زیادی در بهبود شرایط محیط زیستی
برای محیط های آبی نظیر رودخانه ها و برکه ها دارند. فرایند
ریزش جریان از روی سرریز منجر به ورود حباب هوا به آب
می شود و در نتیجه مقدار اکسیژن محلول افزایش می یابد.
حباب ها بعد از ورود یا خیلی سریع بدنه آبی را ترک می کنند
یا تا محدوده ای از عمق آب پایین می روند و سپس به سطح
آب باز می گردند (Nakason, 1987).

تاکنون جنبه های مختلفی از اثر پارامترهای سیال،
هیدرولیکی و هندسی سرریزها بر هواده می و افزایش اکسیژن
محلول در آب بررسی شده است. از جمله تحقیق های انجام
شده در رابطه با اثر پارامترهای سیال بر مقدار اکسیژن محلول
آب، می توان به جامسون (Gameson, 1958) اشاره کرد که
ضربیی را برای انتشار اکسیژن محلول در آب در نظر گرفت
و رابطه ای متناسب با دمای آب برای هواده می بین آن و
غلظت اکسیژن اشباع در آب ارائه داد. همچنین چاو و

همکاران (Chao et al., 1987)، با اندازه گیری ضریب های
انتقال اکسیژن و هواده می، ثابت کردند زمانی که سطح تلاطم
آب کم است، با افزایش دمای آب مقدار ضریب های مذکور
افزایش می یابد.

هواده می و افزایش اکسیژن محلول در آب را می توان در
دو قالب کلی سرریزهای لبه تیز و سرریزهای پلکانی بررسی
نمود. آلبرچت (Albrecht, 1971) و پوپل (Popel, 1972) با
بررسی هواده می در سرریزهای لبه تیز خطی اظهار داشتند
که عمق پایین دست سرریز می تواند پارامتری مهم برای
راندمان هواده می باشد. این محققان دریافتند که راندمان
هواده می برای عمق های پایین دست که از ارتفاع ریزش
بزرگ تر باشند ثابت می ماند. از این رو توصیه می شود مقدار
عمق پایین دست دو سوم ارتفاع ریزش در نظر گرفته شود.
ناکاسون (Nakason, 1987) با اجرای آزمایش هایی روی
سرریزهای خطی، روابطی بین راندمان هواده می با دبی و
هندسه سرریز به دست آورد. وی می گوید عمق پایین دست
سرریز عامل مهمی در افزایش اکسیژن محلول در آب است
و راندمان هواده می با افزایش آن افزایش می یابد. این عمق
محدوده ای دارد زیرا نفوذ حباب هوا در حوضچه های
پایین دست تا بی نهایت ادامه نمی یابد. ورملیتون و سوفانی
(Wormleaton & Soufiani, 1998) با بررسی عملکرد
هواده می سرریزهای کنگره ای- مثلثی با تعداد یک سیکل، با
زاویه های مختلف داخلی دیواره های سرریز و نیز شیب دار
بودن دیواره ها بیان داشتند که با کوچک تر شدن زاویه داخلی
دیواره های سرریز، راندمان هواده می افزایش می یابد. آنها
اضافه می کنند با افزایش ارتفاع ریزش، عمق نفوذ و زمان
تماس حباب هوا در داخل حوضچه پایین دست سرریز
افزایش می یابد و در نتیجه راندمان هواده می بیشتر می شود.
بایلر و باگاتر (Bayler & Bagatur, 2000) نیز عملکرد
هواده می را در انواع سرریزهای خطی لبه تیز مورد بررسی
قرار دادند و دریافتند که بالاترین راندمان انتقال اکسیژن در
سرریز لبه تیز مثلثی و کم ترین راندمان مربوط به سرریز لبه

تیز مستطیلی می‌باشد. همچنین عمق پایاب، ارتفاع ریزش و دبی سرریز پارامتر مهمی برای هوادهی می‌باشند. ورملیتون و تیسنگ (Wormleaton & Tsang, 2000) با آزمایش‌هایی روی عملکرد هوادهی در سرریز کنگره‌ای-مستطیلی و مقایسه آن با سرریز خطی و کنگره‌ای-مثلی، به این نتیجه رسیدند که سرریز کنگره‌ای-مستطیلی عملکرد بهتری نسبت به دیگر گزینه‌های مورد بررسی دارد. در هدهای نسبی کم، تداخل سفره‌های ریزشی سرریز کنگره‌ای، در مقایسه با سرریز خطی، کاهش می‌یابد اما در هدهای نسبی بالا استغراق در سرریزهای کنگره‌ای باعث کاهش راندمان هوادهی، نسبت به سرریز خطی، می‌شود. علاوه بر این موارد، منصوری و همکاران (Mansouri et al., 2018) عملکرد سرریزهای کنگره‌ای-دو زنگه‌ای در مقایسه با سرریز خطی را بر افزایش اکسیژن محلول در آب تحت شرایط مختلف هندسی و هیدرولیکی بررسی کردند. آن‌ها بیان داشتند که طول سیکل در جهت جریان سرریزها، ضخامت تیغه ریزشی و الگوی جریان ریزشی از تاج سرریز سه پارامتر مؤثر بر مقدار اکسیژن محلول در آب در سرریزهای پلان کنگره‌ای هستند. به‌طور کلی سرریزهای کنگره‌ای با هندسه سه سیکل، در مقایسه با هندسه دو سیکل، عملکرد بهتری دارند.

علاوه بر سرریزهای لبه تیز با پلان خطی یا کنگره‌ای، سرریزهای پلکانی نیز عملکرد مناسبی از نظر هوادهی به جریان و استهلاك انرژی دارند. چمنی و راجاراتنام (Chamani & Rajaratnam, 1999) عملکرد جذب هوا و اتلاف انرژی را در سرریزهای پلکانی، در مقایسه با سرریزهای صاف (تندآب)، بررسی کردند و نشان دادند که میانگین غلظت هوا در سرریز پلکانی بیشتر است. بایلر و همکاران (Bayler et al., 2006) با اجرای آزمایش‌هایی برای بررسی هوادهی در سرریزهای پلکانی نشان دادند جریان آب هنگام عبور از پله‌ها حباب‌های زیادی را به دام می‌اندازد و این مزیت بیشتر در رژیم جریان ریزشی مشاهده می‌شود و نیز اینکه ارتفاع ریزش و زاویه سرریز از پارامترهای مهم هوادهی هستند. چانسون و تامبز (Chanson & Toombs, 2002) با بررسی جریان هوا-آب در پایین‌دست سرریزهای پلکانی، هوادهی بسیار شدیدی را در جریان مشاهده کردند. گانزالس و چانسون (Gonzalez & Chanson, 2008) نیز جریان هوا-آب تشکیل شده در حفره‌های تیغه ریزشی در پای پله‌ها در رژیم جریان سطحی را بررسی کردند و نشان دادند جریان چرخشی درون این حفره‌ها بر هوادهی تأثیر می‌گذارد. بانگ و شلنکف (Bung & Schlengkoff, 2010) در یک مدل فیزیکی سرریز پلکانی، میکروبریهایی را به دو صورت منظم و نامنظم روی پله‌ها قرار دادند و به این نتیجه رسیدند توزیع غلظت هوا تحت تأثیر میکروبریه‌ها قرار نمی‌گیرد، شیب تندتر سرریز منجر به کاهش راندمان هوادهی در سرریز پلکانی می‌شود درحالی‌که تغییر ارتفاع پله و دبی تأثیر چندانی بر راندمان هوادهی ندارد. داتراک و تاتوار (Dhatrak & Tatewar, 2014) با مدل‌سازی سازه سرریز پلکانی عملکرد هوادهی و توزیع فشار را در رژیم جریان سطحی بررسی کردند و نشان دادند با افزایش میزان دبی و تعداد پلکان‌ها، غلظت هوا افزایش می‌یابد. وستریچ و چانسون (Wuthrich & Chanson, 2015) تأثیر عملکرد سرریز پلکانی گابیونی با پوشش روی سطح پلکان و بدون آن را برای طیف وسیعی از دبی‌ها در آزمایشگاهی بررسی کردند. مقایسه اندازه‌گیری جریان هوا-آب برای همه سرریزهای پلکانی نشان داد که برای کمترین دبی، عملکرد هوادهی پیکربندی پلکانی-گابیون افزایش یافته است. برای دبی‌های بالاتر، راندمان هوادهی سرریز پلکانی غیرقابل نفوذ بیشتر از راندمان هوادهی سرریز پلکانی-گابیونی است. فلدر و چانسون (Felder & Chanson, 2017) وضعیت هوادهی و اتلاف انرژی جریان عبوری از سرریز پلکانی با شرایط پلکان مسطح، پلکان دارای آب‌پایه و پلکان دارای آب‌پایه متخلخل را بررسی کردند و نشان دادند توزیع سهم هوا، تعداد حباب‌ها، سطح تلاطم و سرعت سطحی تطابق خوبی با یکدیگر دارند و نوع پله تأثیر چندانی بر غلظت هوا ندارد. اسمعیلی ورکی و

شیب‌دار) و برای دامن‌های وسیع از دبی جریان اجرا شد. مشاهده‌های آزمایشگاهی و مقایسه نتایج به دست آمده نشان داد که اثر زبری‌ها در شیب ۱:۳ نسبت به دیگر هندسه‌ها بارزتر است. بررسی نتایج حاکی از آن است که نصب زبری‌های بزرگ‌مقیاس با چیدمان یک‌درمیان در سازه کنترل تراز بستر با شیب ۱:۳ بهترین عملکرد را نسبت به وضعیت بدون زبری در این شیب دارد و می‌تواند مقدار اکسیژن محلول در آب را ۴۷ درصد افزایش دهد. با تغییر شیب سازه به ۱:۵، اعمال زبری بزرگ مقیاس با چیدمان متراکم، مقدار اکسیژن محلول در آب ۳۸ درصد نسبت به شرایط بدون زبری افزایش می‌یابد. با کاهش شیب سازه به ۱:۷، به دلیل طول زیاد سازه و گردش بیشتر جریان در میان المان‌های زبری، زبری بزرگ مقیاس با چیدمان یک‌درمیان عملکرد مناسب‌تری در این شیب دارد و مقدار اکسیژن محلول در آب را ۳۳ درصد افزایش می‌دهد.

پیش‌تر اشاره شد که سازه‌های سرریز پلکانی علاوه بر نقشی که در استهلاک انرژی جریان دارند، به دلیل اثری که پلکان‌های سرریز بر رژیم جریان عبوری و نیز قابلیت نصب آستانه و کنگره‌ها با هندسه‌های مختلف روی آن دارند، عملکرد مطلوبی در هوادهی به جریان عبوری از آن و افزایش اکسیژن محلول در آب از خود نشان می‌دهند. تاکنون بیشتر بررسی‌های روی عملکرد سرریزهای پلکانی، برای نیم‌رخ جانبی دوبعدی آن بوده است. در کاربردهای عملی، به‌ویژه در پروژه‌های هوادهی در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب و نیز در استخرهای آبی‌پروری، می‌توان از شکل‌های دیگری از سرریزهای پلکانی استفاده کرد. هدف از تحقیق حاضر بررسی عملکرد سرریزهای پلکانی-هرمی با نصب و بدون نصب آستانه و کنگره‌ها با هندسه‌های مختلف بر تغییرات مقدار غلظت اکسیژن محلول در آب است.

همکاران (Esmaeili Varaki et al., 2021) با ایجاد کنگره به ارتفاع‌های ۰/۵ و ۰/۷۵ ارتفاع پلکان (h)، فاصله کارگذاری برابر و دوبرابر ارتفاع پلکان برای دامن‌های وسیع از دبی جریان، تأثیر عملکرد سرریز پلکانی-کنگره‌ای را بر افزایش مقدار اکسیژن محلول در آب به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. آزمایش‌ها برای سرریز با شیب‌های ۱:۱ تا ۱:۳ و عمق‌های پایاب برابر و دوبرابر ارتفاع پلکان اجرا شد. آن‌ها بیان داشتند که ایجاد کنگره روی پلکان‌ها، به دلیل اختلاط بیشتر جریان عبوری از روی پلکان‌های سرریز و نیز افزایش مدت زمان جریان عبوری از آن، راندمان اکسیژن محلول در آب را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد. مقایسه نتایج نشان داده است که از میان هندسه‌های مختلف مورد بررسی، ارتفاع کنگره ۰/۷۵ h به دلیل افزایش شدت ریزش جت‌ها در طول سرریز و نیز در حوضچه پایین‌دست آن و در نتیجه ورود بیشتر حباب‌های هوا به توده جریان، عملکرد بهتری در افزایش مقدار اکسیژن محلول در آب دارد. نینا و همکاران (Nina et al., 2022) تأثیر سه هندسه پله‌های افقی و شیب‌دار را بر عملکرد هوادهی و انتقال توده جریان هوا-آب برای دامن‌های وسیع از دبی‌ها در سرریز پلکانی با ۱۲ پلکان بررسی کردند و نشان دادند بیشترین هوادهی مربوط به سازه سرریز پلکانی با پلکان‌های افقی و کمترین مقدار هوادهی مربوط به سرریز پلکانی با پلکان‌های شیب‌دار روبه‌پایین است.

در کنار انواع سرریزهای یاد شده، سازه‌های کنترل تراز بستر که ریزش جریان یا پرش هیدرولیکی را در پایین‌دست خود ایجاد نمایند نیز قادر به هوادهی و افزایش اکسیژن محلول آب هستند. اسمعیلی ورکی و همکاران (Esmaeili Varaki et al., 2022) تأثیر چیدمان زبری‌های بزرگ‌مقیاس با آرایش‌های متفاوت روی سازه کنترل تراز بستر با سطح شیب‌دار را بر مقدار اکسیژن محلول در آب بررسی کردند. آزمایش‌ها در سه شیب سازه ۱:۳، ۱:۵ و ۱:۷ با شرایط پرش هیدرولیکی آزاد و مستغرق (پرش هیدرولیکی روی سطح

مواد و روش‌ها

الف) تحلیل ابعادی

با به‌کارگیری تئوری باکینگهام در تحلیل ابعادی، راندمان افزایش اکسیژن محلول در سازه‌های سرریز پلکانی-هرمی را می‌توان به‌صورت (رابطه ۲) نوشت:

$$\frac{C_d}{C_s} = f_2 \left(N, \frac{h}{l}, \frac{x}{y_c}, \frac{d_p}{y_c}, \frac{C_u}{C_s}, Fr, Re, We, T \right) \quad (2)$$

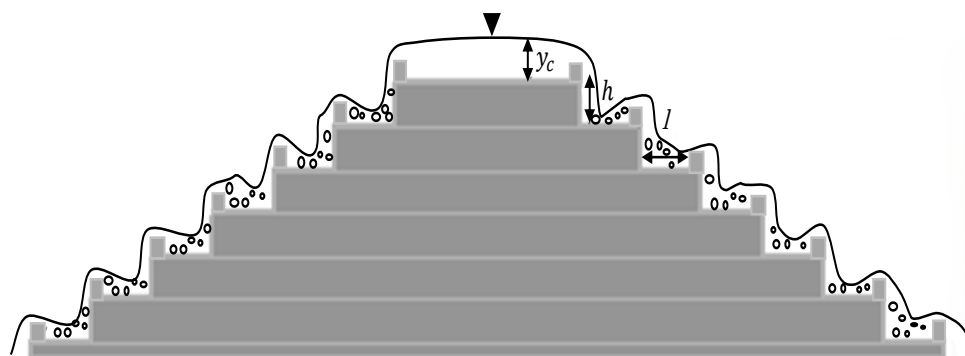
با توجه به اینکه عمق جریان در لبه پلکان ورودی همواره بیش‌تر از ۲ سانتی‌متر و جریان عبوری از سازه سرریز پلکانی-هرمی همواره آشفته است، می‌توان از نیروهای کششی و لزوجت چشم‌پوشی کرد (Subramanya, 1986). در نتیجه، در رابطه (۲) می‌توان از اعداد رینولدز (Re) و وبر (We) صرف‌نظر کرد. علاوه بر این، به جهت ثابت بودن تعداد و شیب (h/l) پلکان‌ها و عمق پایاب در همه آزمایش‌ها و به دلیل تغییر محدود دما در طول آزمایش‌ها، اثر پارامترهای مذکور ثابت یا قابل صرف‌نظر کردن است. در نتیجه رابطه (۲) پس از ساده‌سازی به‌صورت رابطه ۳ خلاصه می‌شود:

$$\frac{C_d}{C_s} = f_3 \left(\frac{h}{y_c}, \frac{x}{y_c}, \frac{C_u}{C_s}, Fr \right) \quad (3)$$

در این تحقیق، رابطه (۳) به عنوان رابطه پایه‌ای برای اجرای آزمایش‌ها و تجزیه و تحلیل نتایج به کار گرفته شد.

تحلیل ابعادی به کمک نوعی فشرده کردن، به رفع پیچیدگی و کاستن از تعداد متغیرهای تجربی مؤثر روی پدیده‌ای معین فیزیکی می‌انجامد. اگر پدیده‌ای به n متغیر با بعد بستگی داشته باشد، تحلیل ابعادی تعداد متغیرها را به k متغیر بی‌بعد کاهش می‌دهد و این کاهش به پیچیدگی مسئله بستگی دارد. پس از آن، براساس این متغیرها و با مطالعات آزمایشگاهی می‌توان به رابطه‌های تجربی مناسبی دست یافت.

پارامترهای تأثیرگذار بر مقدار اکسیژن محلول در آب در پایین‌دست سرریزهای پلکانی-هرمی (C_d)، شامل تعداد پلکان (N)، ارتفاع پلکان (h)، طول پلکان (l)، هندسه آستانه (x)، عمق پایاب (d_p)، عمق بحرانی (y_c) دبی واحد عرض (q)، کشش سطحی سیال (δ)، شتاب ثقل (g)، جرم مخصوص سیال (ρ) و لزوجت دینامیکی سیال (μ)، غلظت اکسیژن محلول جریان ورودی (C_u)، غلظت اکسیژن محلول اشباع آب (C_s) و دما (T) است که آن‌ها را می‌توان به‌صورت (رابطه ۱) بیان کرد. در شکل (۱) برخی از پارامترها مذکور نشان داده شده است.



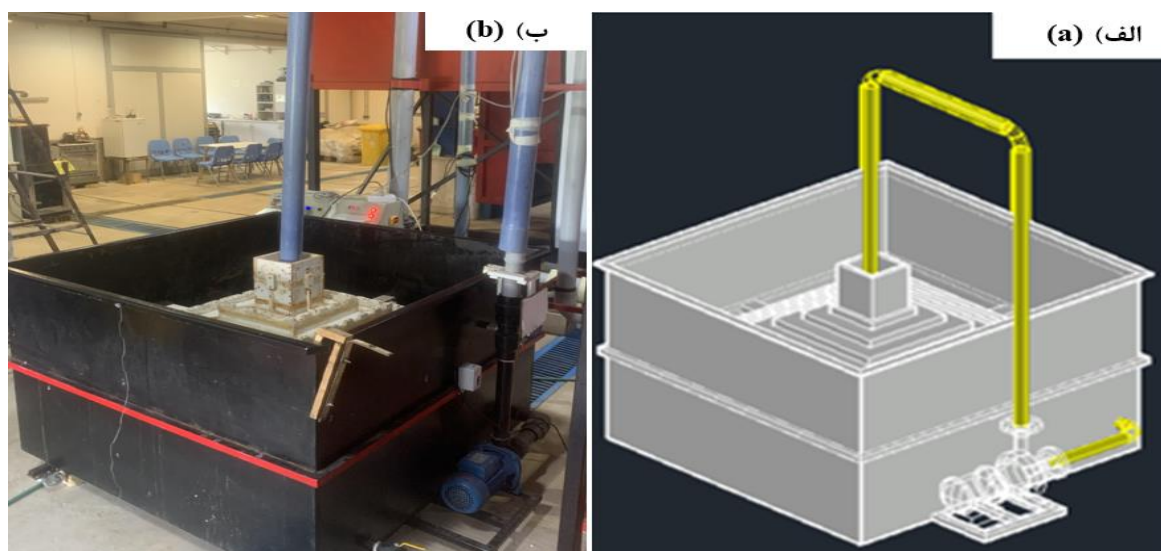
شکل ۱- نیمرخ طولی سرریز پلکانی-هرمی و معرفی پارامترهای مؤثر

Fig. 1. Longitudinal profile of steeped-pyramidal weir and related effective parameter

ب) تجهیزات آزمایشگاهی و روش اجرای آزمایش

آزمایش ها روی یک مدل سرریز پلکانی-هرمی در آزمایشگاه هیدرولیک و مدل های فیزیکی-هیدرولیکی گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان اجرا شده است. مدل فیزیکی سرریز پلکانی-هرمی از صفحات PVC با شیب ثابت ۱:۲ و شش پلکان به ابعاد ۴ سانتی متر ارتفاع، ۸ سانتی متر طول ساخته شد و روی مخزنی به ابعاد ۱/۵ در ۱/۵ متر طول و عرض و یک متر ارتفاع نصب گردید (شکل ۲). برای تأمین دبی جریان، از یک دستگاه پمپ سانتریفیوژ با دبی ۸ لیتر بر ثانیه و برای اندازه گیری دبی جریان از دستگاه دبی سنج اولتراسونیک بادقت ± 0.1 لیتر بر ثانیه استفاده شد.

برای بررسی تأثیر نصب آستانه و کنگره هایی با ارتفاع نصف ارتفاع پلکان و فاصله های کارگذاری مختلف بر عملکرد اکسیژن محلول در آب، پنج هندسه مورد بررسی قرار گرفت. در جدول (۱) مشخصات هندسی و در شکل (۳) تصویرهایی از نمای سه بعدی از سرریزهای پلکانی-هرمی مورد آزمایش آورده شده است. لازم است یادآوری شود، ارتفاع آستانه بر اساس نتایج آزمایشگاهی عملکرد آستانه بر افزایش اکسیژن محلول در آب در سرریزهای پلکانی انتخاب شد که اسمعیلی ورکی و همکاران (Esmaeili Varaki et al., 2021) به دست آورده بودند.

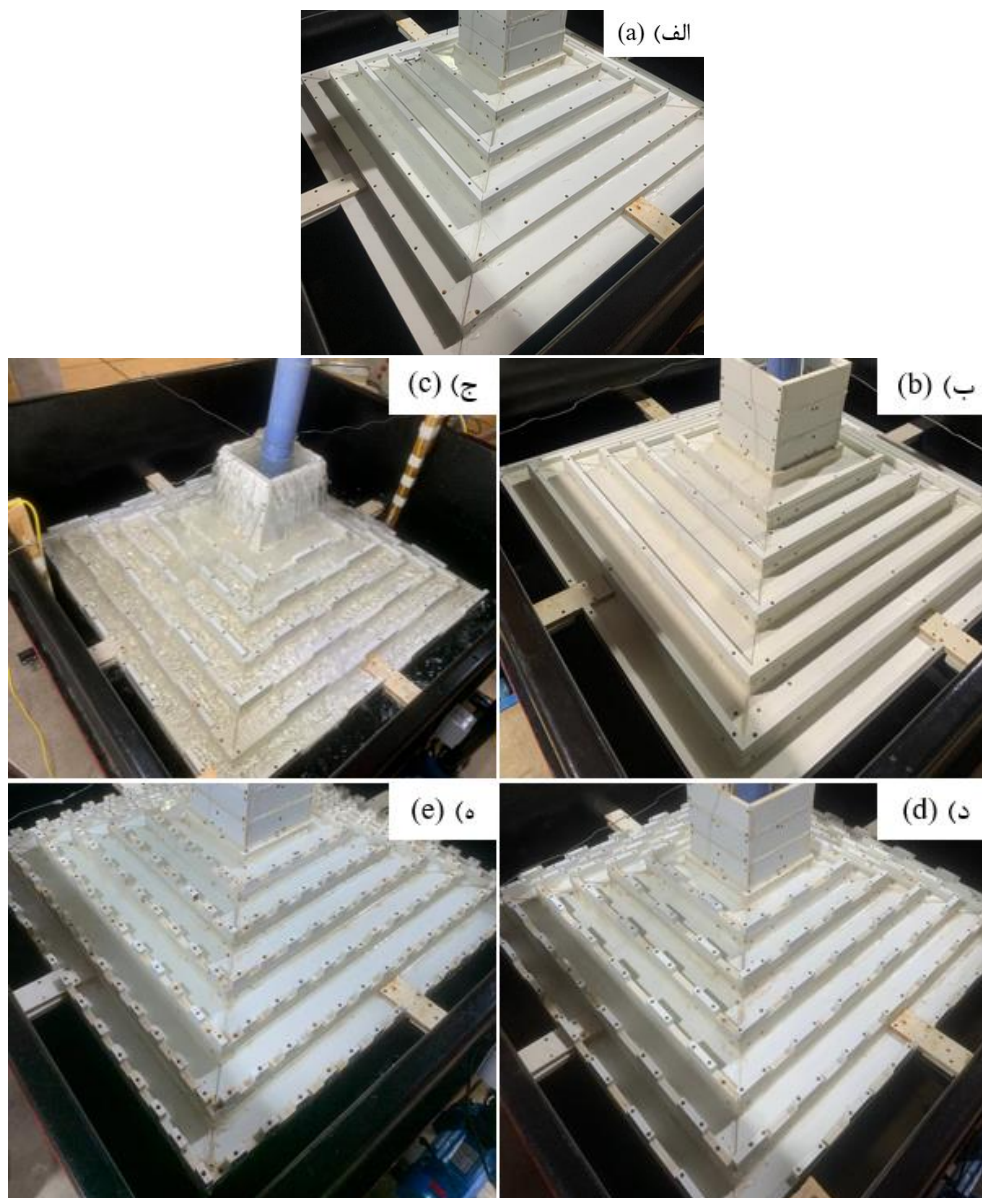


شکل ۲- الف) طرح کلی از سرریز آزمایشگاهی و ب) نمایی از سرریز آزمایشگاهی
Fig. 2. a) Sketch of experimental weir and b) view of experimental weir

جدول ۱- مشخصات هندسی سرریزهای پلکانی-هرمی

Table. 1. Geometric characteristic of stepped-pyramidal weirs

هندسه Geometry	ارتفاع آستانه Height of sill (متر، h)	فاصله کنگره Space between labyrinth (متر، L)	ارتفاع کنگره Height of labyrinth (متر، H)	دامنه دبی Range of discharge (لیتر بر ثانیه، l/s)
SG ₁	۰	۰	۰	۲-۷
SG ₂	۰/۰۲	۰	۰	۲-۷
SG ₃	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۰۲	۲-۷
SG ₄	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۲	۲-۷
SG ₅	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۲	۲-۷



شکل ۳- تصویرهایی از سرریزهای پلکانی - هرمی آزمایشگاهی مورد مطالعه: الف) بدون آستانه (SG₁), ب) با آستانه (SG₂), ج) با آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری 4h (SG₃), د) با آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری 2h (SG₄), ه) با آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری h (SG₅)

Fig. 3. Photos of laboratory stepped-pyramidal weirs: a) without sill (SG₁), b) with sill (SG₂), c) with sill and labyrinth with space of 4h (SG₃), d) with sill and labyrinth with space of 2h (SG₄), e) with sill and labyrinth with space of h (SG₅)

شرکت Aqualytic که در دو وجه مخزن نصب شده بود، به طور پیوسته تا رسیدن غلظت اکسیژن محلول در آب به سطح اولیه اندازه‌گیری و مقادیر نمایش داده شده توسط مانیتور دستگاه فیلم‌برداری شد. عملکرد سرریزها برای دامنه تغییرات غلظت اکسیژن محلول در آب ۲ تا ۷ میلی گرم بر

در هر هندسه از سرریز و هر دبی جریان، ابتدا غلظت اکسیژن محلول در آب در مخزن تأمین آب با استفاده از محلول سولفید سدیم تا دو میلی گرم بر لیتر کاهش داده شد و بعد از آن با برقراری جریان، مقدار اکسیژن محلول توسط دو عدد اکسیژن سنج (DO meter) مدل AL200xi ساخت

لیتر بررسی گردید. در این تحقیق برای بررسی عملکرد سرریز پلکانی-هرمی و نیز تأثیر نصب آستانه پیوسته و کنگره ای بر افزایش اکسیژن محلول در آب، در مجموع ۳۰ آزمایش برای هندسه ها و دبی های مختلف صورت گرفت.

نتایج و بحث

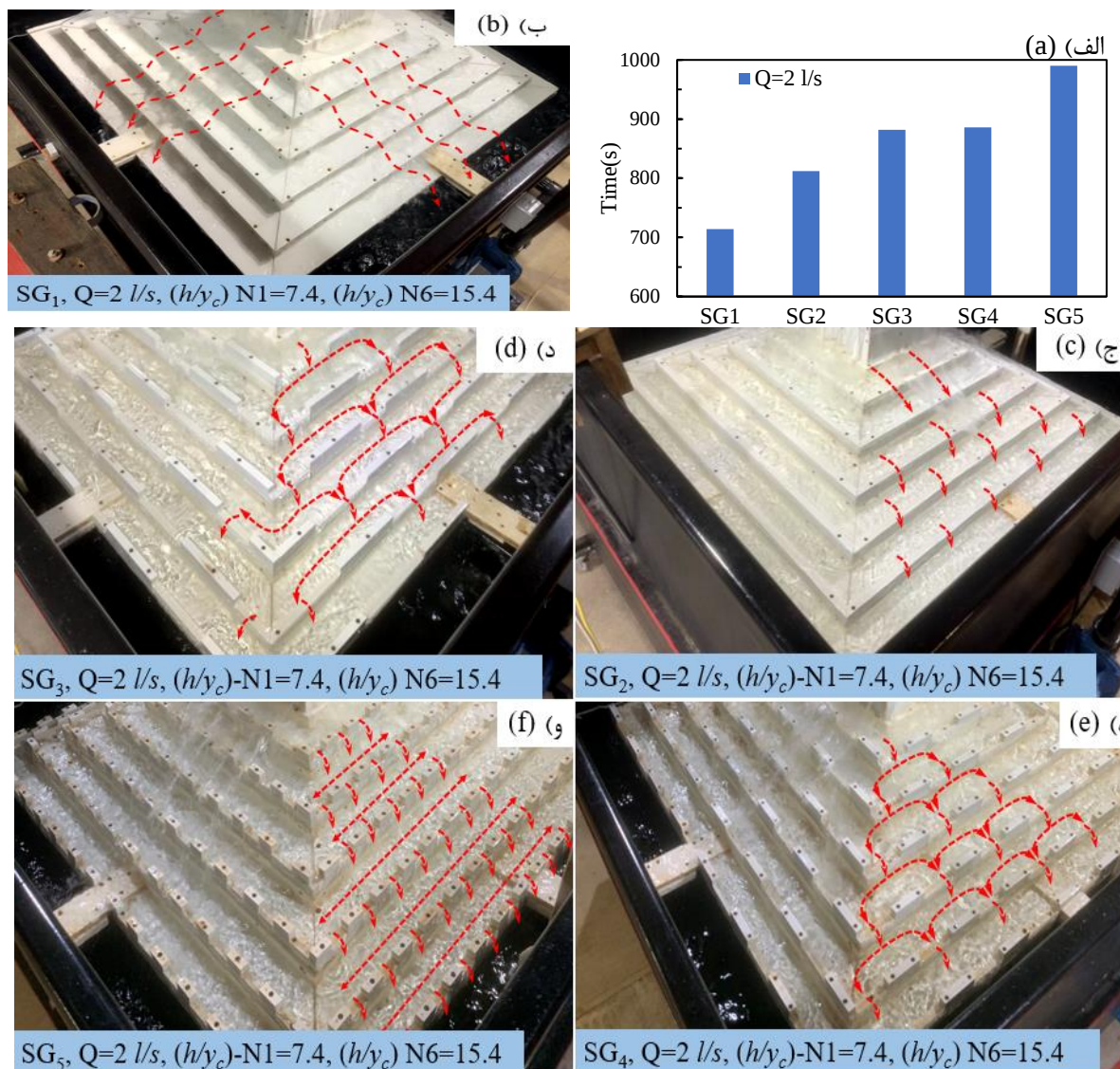
به طور کلی مکانیزم ورود هوا به آب در سرریزهای پلکانی-هرمی شامل ورود هوا به تیغه های ریزشی از روی پلکان و ریزش توده دو فازی آب و هوا به مخزن سرریز است. لازم است گفته شود ارتفاع ریزش جت جریان به مخزن جمع کننده نیز معادل ارتفاع پلکان در نظر گرفته شد.

با توجه به طبقه بندی ارائه شده در خصوص رژیم های جریان در سرریزها پلکانی با شیب ۱:۲، در $h/y_c < 1/0.5$ جریان سطحی، در $1/43 < h/y_c < 1/0.5$ جریان انتقالی و در $h/y_c > 1/43$ رژیم جریان ریزشی شکل می گیرد (Khatursia, 2005). در سرریز پلکانی-هرمی، طول کلی سرریز در هر یک از پلکان های ۱ تا ۶ از رأس هرم تا خروجی از آن در حال افزایش است. به منظور بررسی رژیم جریان عبوری از پلکان ها، در جدول (۲) مقدار h/y_c در هر یک از پلکان ها برای دبی های مختلف آورده شده است. همان طور که دیده می شود، در دبی های کم در همه پلکان های رژیم جریان ریزشی است و با افزایش دبی جریان به مقدار حداکثر نیز رژیم جریان همچنان ریزشی باقی می ماند. لازم است گفته شود بر اساس نتایج تحقیقات حبیب پناه و همکاران (Habibpanah et al., 2020)، بیشترین راندمان افزایش اکسیژن محلول در آب در سرریزهای پلکانی، در رژیم جریان ریزشی رخ می دهد.

عملکرد سرریزهای پلکانی-هرمی بدون آستانه و با آستانه های مختلف در h/y_c برابر با ۷/۴ (دبی ورودی ۲ لیتر بر ثانیه) برای پلکان اول به همراه تصاویری از الگوی جریان ریزشی از آن در شکل (۴) نشان داده شده است. در شرایط بدون نصب آستانه، تیغه های ریزشی به دلیل افزایش طول

پلکان در مسیر ریزش به تدریج دچار کاهش ضخامت می شوند و در پلکان های ۵ و ۶ به صورت غیرپیوسته ریزش می کنند. با نصب آستانه در پای هر یک از پلکان ها در هندسه SG_2 ، امکان تشکیل پرش هیدرولیکی و شرایط بهتر اختلاط آب و هوا فراهم می شود. مشاهده های آزمایشگاهی نشان داد پرش هیدرولیکی در سطح پلکان ها فرصت بهتری برای اختلاط است ولی در دبی یاد شده (h/y_c بیشتر از ۷/۴) به دلیل کاهش ضخامت تیغه ریزشی از پلکان های سوم به بعد و نیز کاهش سرعت برخورد تیغه های ریزشی به پلکان های بعدی به دلیل اتلاف انرژی در هر یک از پلکان ها، شدت آشفستگی کاهش می یابد و در نتیجه عملکرد سرریزهای پلکانی-هرمی با اعمال آستانه های مختلف ساده و پلکانی کنگره ای کاهش پیدا می کند.

همان طور که در شکل (۴-الف) دیده می شود، برای دبی مذکور، مدت زمان رسیدن DO از ۲ به ۷ میلی گرم بر لیتر برای هندسه های مختلف سرریز پلکانی-هرمی بین ۷۱۴ تا ۹۹۰ ثانیه و به طور متوسط ۸۵۷ ثانیه است. کمترین مقدار آن مربوط به هندسه SG_1 (سرریز پلکانی-هرمی بدون آستانه) و بیشترین مقدار آن مربوط به هندسه SG_5 (سرریز پلکانی-هرمی با آستانه کنگره ای و فاصله کارگذاری برابر با ارتفاع پلکان) است. به عنوان جمع بندی در شرایط هیدرولیکی مذکور، سرریز پلکانی-هرمی در هندسه های مختلف توانسته است به طور متوسط ۳/۲ میلی گرم بر ثانیه در هر لیتر جریان ورودی به مخزن، اکسیژن محلول در آب را تزریق کند. در شکل (۵)، عملکرد سرریزهای پلکانی-هرمی بدون آستانه و با آستانه های مختلف در h/y_c برابر با ۵/۶ (دبی ورودی ۳ لیتر بر ثانیه) برای پلکان اول نشان داده شده است. مشاهده های آزمایشگاهی حاکی از آن است که با افزایش دبی جریان ضخامت تیغه های ریزشی از روی پلکان های ابتدایی افزایش می یابد ولی کاهش ضخامت تیغه های ریزشی در پلکان های انتهایی همچنان مشاهده می شود.

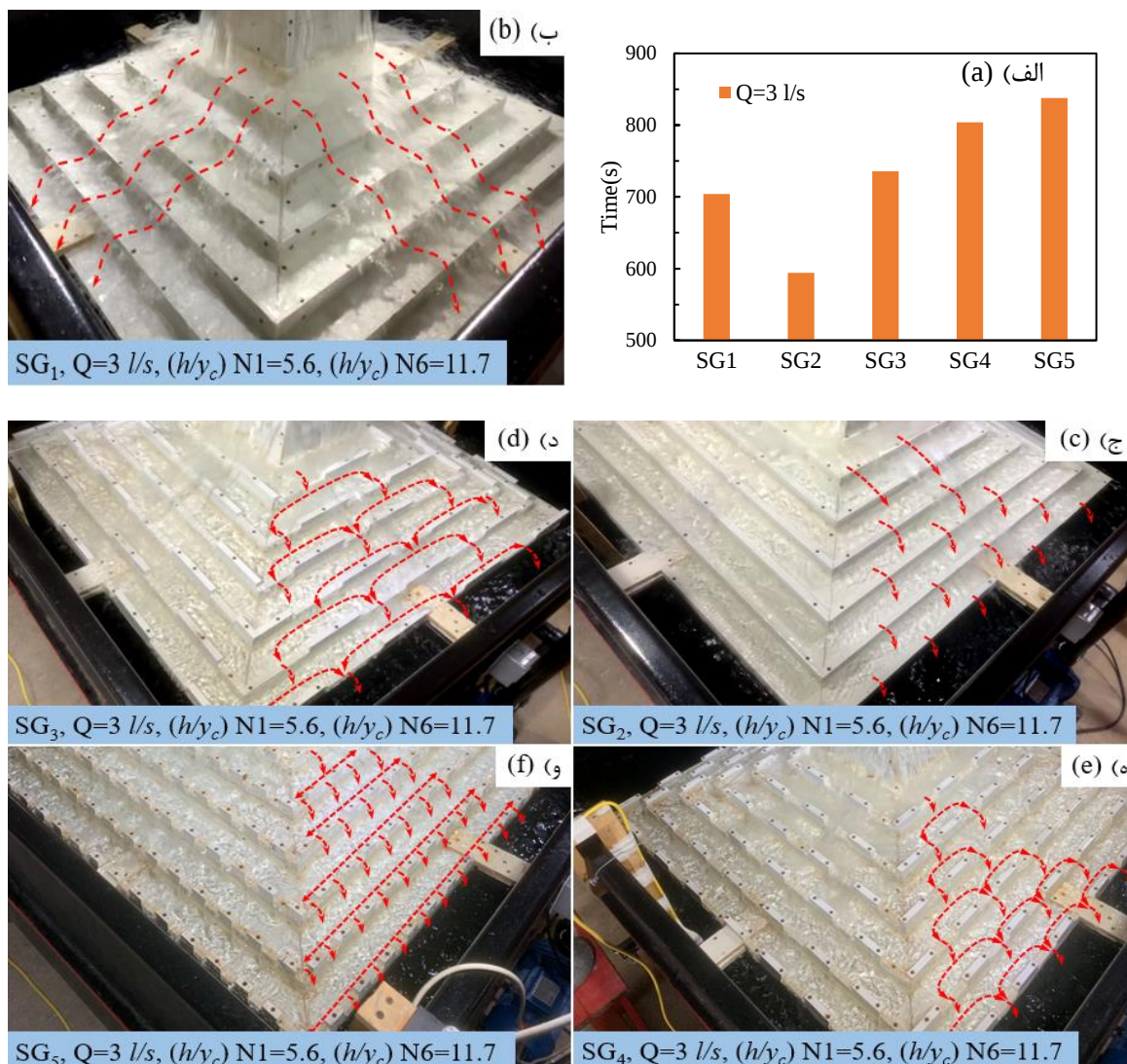


شکل ۴- الف) مقایسه عملکرد زمانی افزایش DO در هندسه‌های مختلف سرریز پلکانی-هرمی برای دبی ۲ لیتر بر ثانیه و تصاویر سرریزهای پلکانی-هرمی با هندسه‌های مختلف: (ب) بدون آستانه (SG₁)، (ج) با آستانه (SG₂)، (د) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری ۴h (SG₃)، (ه) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری ۲h (SG₄)، (و) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری h (SG₅)

Fig. 4. a) Temporal performance of DO variation for different geometries of stepped-pyramidal weirs at flow discharge of 2 l/s and Photos of stepped-pyramidal weirs with different geometries: b) without sill (SG₁), c) with sill (SG₂), d) sill and labyrinth with space of 4h (SG₃), e) sill and labyrinth with space of 2h (SG₄), f) sill and labyrinth with space of h (SG₅)

مشاهده‌های آزمایشگاهی حاکی از آن است که در دبی و عمق نسبی بحرانی یادشده، به دلیل افزایش سرعت تیغه‌های ریزشی و نیز اختلاط آب و هوای ناشی از ریزش جریان در سطوح پلکان‌ها، عملکرد کلی سازه در افزایش اکسیژن محلول در آب بهبود می‌یابد. بررسی نتایج افزایش محلول در آب نشان داد که از میان هندسه‌های مختلف، گزینه سرریز پلکانی-هرمی با نصب آستانه در پای هر یک از پلکان‌ها

(هندسه SG₂) عملکرد بهتری نسبت به دیگر هندسه‌ها دارد. در هندسه‌های با آستانه کنگره‌ای، به دلیل تمرکز بیشتر جریان از میان کنگره‌ها، تلاطم بیشتری در اثر برخورد تیغه‌های ریزشی به حوضچه پای هر پله به وجود می‌آید ولی به نظر می‌رسد که سطح تماس یکنواخت‌تر تیغه ریزشی از سطوح پلکان‌ها در هندسه با آستانه پیوسته عملکرد بهتری دارد.



شکل ۵- الف) مقایسه عملکرد زمانی افزایش اکسیژن محلول در آب در هندسه های مختلف سرریز پلکانی-هرمی برای دبی ۳ لیتر بر ثانیه و تصاویر سرریزهای پلکانی-هرمی با هندسه های مختلف: ب) بدون آستانه (SG₁), ج) با آستانه (SG₂), د) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری $4h$ (SG₃), ه) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری $2h$ (SG₄), و) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری h (SG₅)

Fig. 5. a) Temporal performance of DO variation for different geometries of stepped-pyramidal weirs at flow discharge of 3 l/s and Photos of stepped-pyramidal weirs with different geometries: b) without sill (SG₁), c) with sill (SG₂), d) sill and labyrinth with space of $4h$ (SG₃), e) sill and labyrinth with space of $2h$ (SG₄), f) sill and labyrinth with space of h (SG₅)

مقایسه نتایج در شکل (۵-الف) نشان می دهد در دبی گفته شده، مدت زمان رسیدن اکسیژن محلول در آب از ۲ به ۷ میلی گرم بر لیتر، بین ۵۹۴ تا ۸۳۸ ثانیه و به طور متوسط ۷۳۵ ثانیه است. کمترین مقدار آن مربوط به هندسه SG₂ (سرریز پلکانی-هرمی با آستانه پیوسته) و بیشترین مقدار آن مربوط به هندسه SG₅ (سرریز پلکانی-هرمی با آستانه کنگره ای و فاصله کارگذاری برابر با ارتفاع پلکان) است. به طور خلاصه می توان گفت در شرایط هیدرولیکی مذکور، سرریز پلکانی-هرمی در هندسه های مختلف توانسته است به طور میانگین ۲/۵ میلی گرم بر ثانیه در هر لیتر جریان ورودی به مخزن، اکسیژن محلول در آب را وارد جریان کند. در شکل (۶)، اثر سرریزهای پلکانی-هرمی، بدون آستانه و با آستانه های متفاوت، در شرایط h/y_c برابر با ۴/۷ (با دبی ورودی ۴ لیتر بر ثانیه) برای پلکان اول بر افزایش اکسیژن

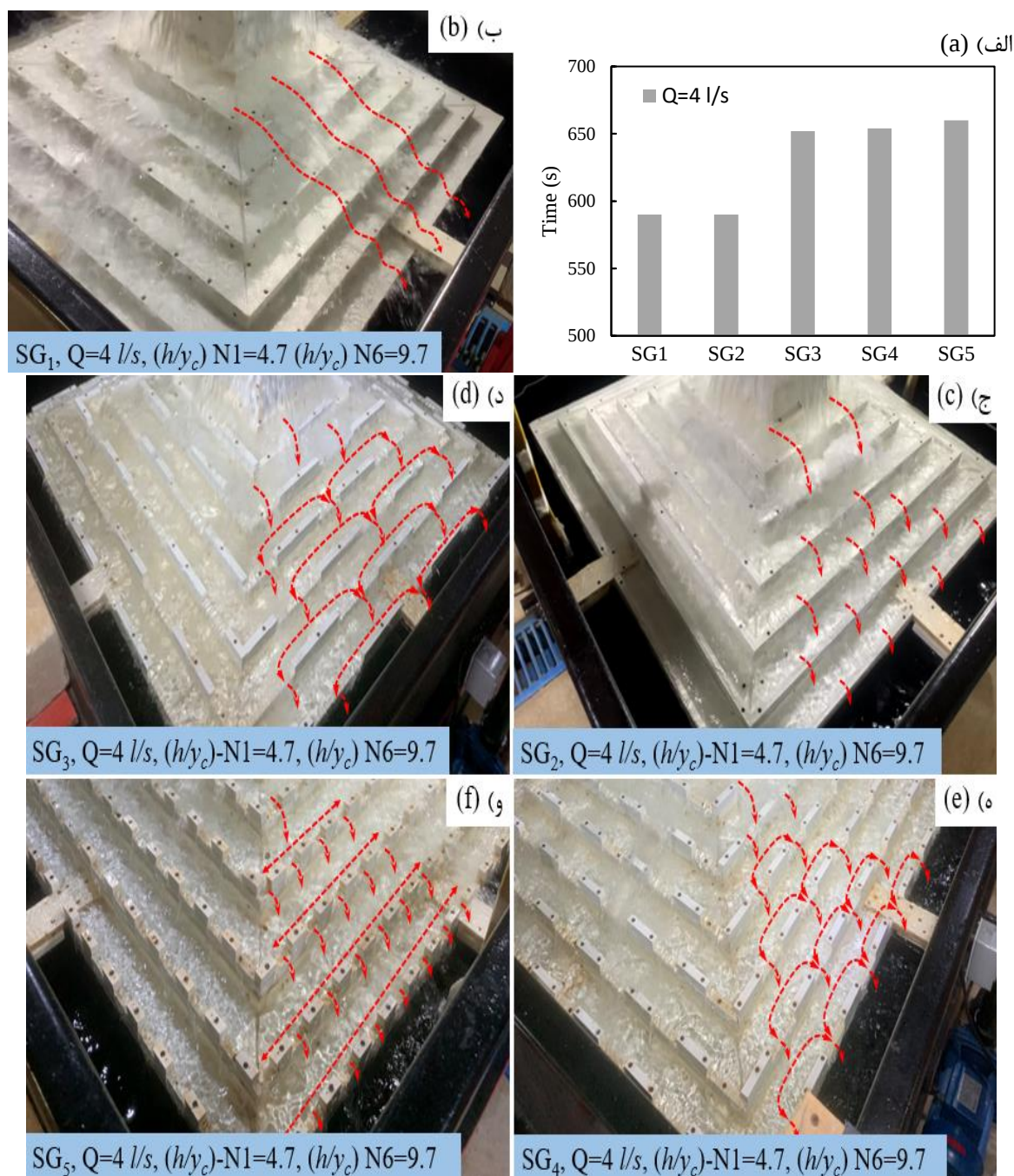
مذکور، سرریز پلکانی-هرمی در هندسه‌های مختلف توانسته است به‌طور متوسط $2/2$ میلی‌گرم بر ثانیه در هر لیتر جریان ورودی به مخزن، اکسیژن محلول در آب را وارد کند. در شکل (۷)، عملکرد سرریزهای پلکانی-هرمی بدون آستانه و با آستانه‌های متفاوت در شرایط h/y_c برابر با ۴ (دبی ورودی ۵ لیتر بر ثانیه) برای پلکان اول، به همراه تصویرهای الگوی جریان ریزشی نشان داده شده است. با افزایش دبی جریان، ضخامت تیغه ریزشی عبوری از پلکان‌ها، سرعت حرکت آن‌ها و نیز مقدار تلاطم حاصل از اختلاط در پرش هیدرولیکی پای هر یک از پلکان‌های دارای آستانه یا آستانه کنگره‌ای افزایش می‌یابد. بنابراین، انتظار می‌رود که اثر نصب آستانه‌ها نسبت به پلکان ساده تدریجاً محسوس‌تر شود. همان‌طور که در شکل (۷-الف) دیده می‌شود، در شرایط هیدرولیکی مذکور (دامنه h/y_c بین ۴ تا $8/3$)، اثر نصب آستانه پیوسته و کنگره‌ای بهتر است تا در پلکان ساده. بنابراین می‌توان گفت دبی و عمق بحرانی نسبی مذکور، مقدار حدی است که بعد از آن، گزینه سرریزهای پلکانی آستانه‌دار، که منجر به تشکیل پرش هیدرولیکی در هر یک از پلکان‌ها می‌شوند، تفاوت قابل توجهی در عملکرد افزایش اکسیژن محلول در آب ایجاد می‌کنند.

مقایسه نتایج نشان داد که در دبی مذکور مدت زمان رسیدن اکسیژن محلول در آب از ۲ به ۷ میلی‌گرم بر لیتر، بین ۴۱۰ تا ۵۸۲ ثانیه و به‌طور متوسط ۴۹۴ ثانیه است که کمترین مقدار آن مربوط به هندسه SG_4 (سرریز پلکانی-هرمی با آستانه کنگره‌ای و فاصله کارگذاری دوبرابر ارتفاع پلکان) و بیشترین مقدار آن مربوط به هندسه SG_1 (سرریز پلکانی-هرمی ساده) است؛ بنابراین برای شرایط هیدرولیکی مذکور، سرریز پلکانی-هرمی در هندسه‌های مختلف توانسته است به‌طور متوسط $2/2$ میلی‌گرم بر ثانیه در هر لیتر جریان ورودی به مخزن، اکسیژن محلول در آب را وارد کند.

محلول در آب به همراه تصویرهای الگوی جریان ریزشی نمایش داده شده است. مشاهده‌های آزمایشگاهی حاکی از آن است که با افزایش دبی، ضخامت تیغه‌های ریزشی نه تنها در پلکان‌های ابتدایی بلکه در پلکان‌های بعدی نیز افزایش می‌یابد، هرچند کاهش ضخامت این تیغه‌ها در پلکان‌های انتهایی هم‌چنان دیده می‌شود. بررسی رفتار هیدرولیکی جریان نشان می‌دهد در دبی و عمق نسبی بحرانی مذکور، به دلیل افزایش تشدید برخورد تیغه‌های ریزشی و تقویت اختلاط آب و هوا ناشی از ریزش جریان روی پلکان‌ها، عملکرد کلی سازه در افزایش میزان اکسیژن محلول نسبت به دبی‌های کمتر هم‌چنان صعودی است.

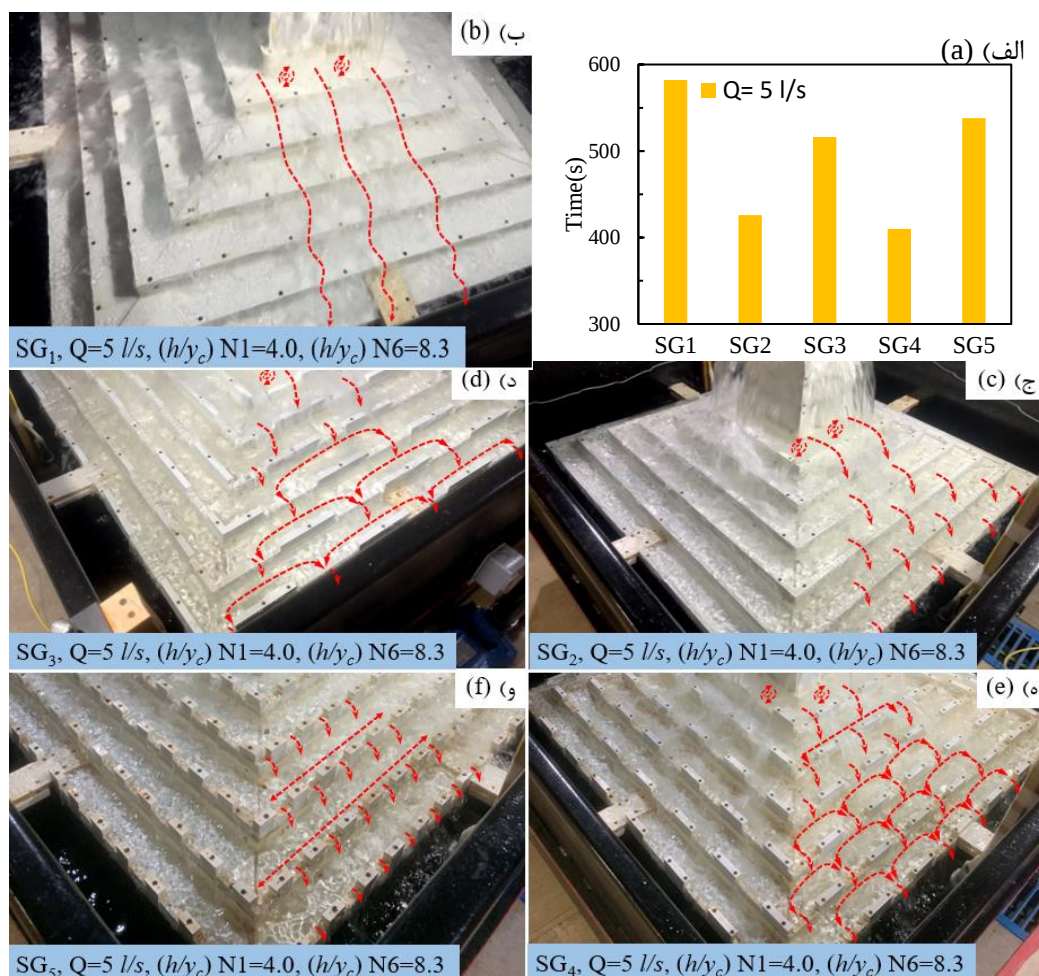
بررسی نتایج افزایش میزان اکسیژن محلول در آب نشان می‌دهد در میان هندسه‌های مختلف مورد آزمایش، سرریز پلکانی-هرمی بدون آستانه (SG_1) و با آستانه پیوسته (SG_2)، عملکردی مشابه و بهتری نسبت به دیگر هندسه‌ها ارائه داده‌اند، با این تفاوت که هندسه SG_2 اندکی بهتر از هندسه SG_1 عمل کرده است. در هندسه‌های دارای آستانه کنگره‌ای، با اینکه تمرکز جریان از میان کنگره‌هاست و به دلیل محدود شدن عرض ریزش از لبه پلکان‌ها منجر به تشدید تلاطم و افزایش شدت برخورد تیغه‌های ریزشی به حوضچه‌های پله می‌شود، اما در شرایط هیدرولیکی مربوط به دبی مذکور، سطح تماس پیوسته‌تر تیغه‌های ریزشی با پلکان‌ها در هندسه دارای آستانه‌های پیوسته، عملکرد بهتری را از نظر افزایش اکسیژن محلول در آب ارائه می‌دهد.

همان‌طور که در شکل (۶-الف) مشاهده می‌شود، در دبی و عمق بحرانی نسبی یاد شده، مدت زمان رسیدن اکسیژن محلول در آب از ۲ به ۷ میلی‌گرم بر لیتر، بین ۵۹۰ تا ۶۶۰ ثانیه و به‌طور متوسط ۶۲۹ ثانیه است که کمترین مقدار آن مربوط به هندسه SG_2 (سرریز پلکانی-هرمی با آستانه پیوسته) و بیشترین مقدار آن مربوط به هندسه SG_5 (سرریز پلکانی-هرمی با آستانه کنگره‌ای و فاصله کارگذاری برابر با ارتفاع پلکان) است. به این ترتیب در شرایط هیدرولیکی



شکل ۶- الف) مقایسه عملکرد زمانی افزایش اکسیژن محلول در آب در هندسه های مختلف سرریز پلکانی-هرمی برای دبی ۴ لیتر بر ثانیه و تصویر سرریزهای پلکانی-هرمی با هندسه های مختلف: ب) بدون آستانه (SG₁)، ج) با آستانه (SG₂)، د) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری ۴h (SG₃)، ه) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری ۲h (SG₄)، و) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری h (SG₅)

Fig. 6. a) Temporal performance of DO variation for different geometries of stepped-pyramidal weirs at flow discharge of 4 l/s and Photos of stepped-pyramidal weirs with different geometries: b) without sill (SG₁), c) with sill (SG₂), d) sill and labyrinth with space of 4h (SG₃), e) sill and labyrinth with space of 2h (SG₄), f) sill and labyrinth with space of h (SG₅)

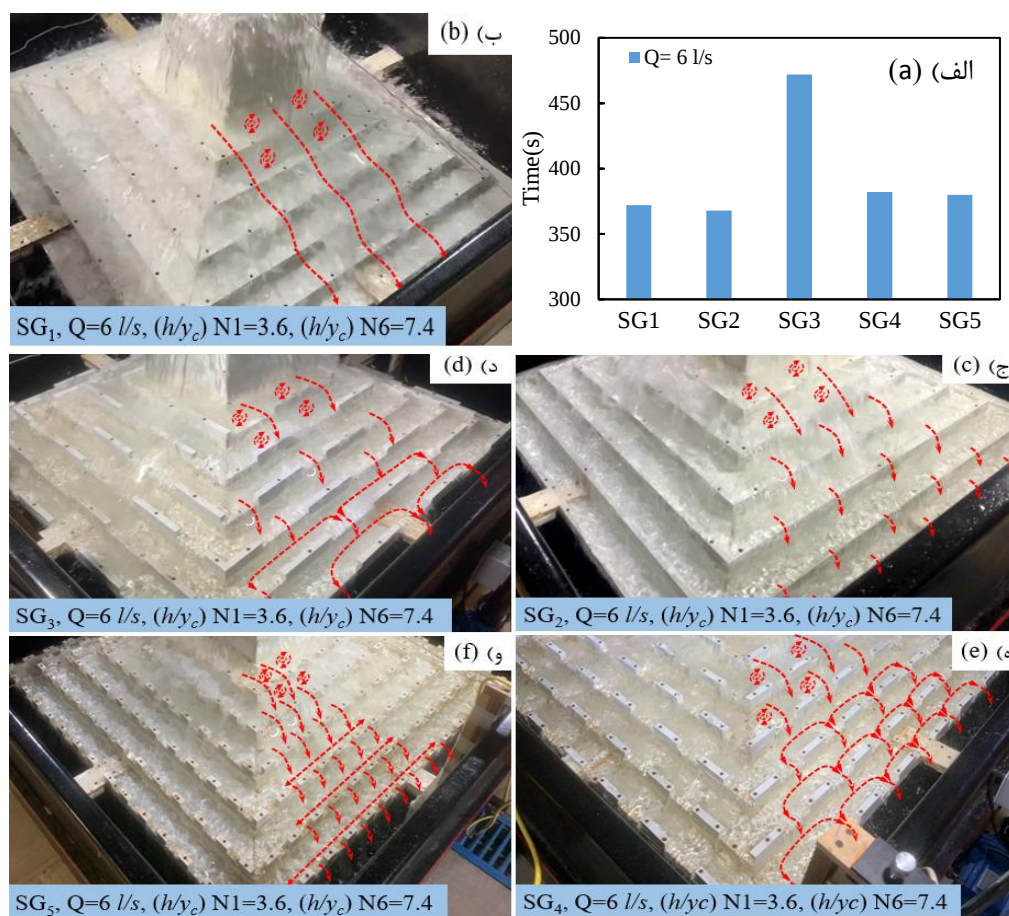


شکل ۷- الف) مقایسه عملکرد زمانی افزایش اکسیژن محلول در آب در هندسه‌های مختلف سرریز پلکانی-هرمی برای دبی ۵ لیتر بر ثانیه و تصویرهای سرریزهای پلکانی-هرمی با هندسه‌های مختلف: ب) بدون آستانه (SG1)، ج) با آستانه (SG2)، د) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری $4h$ (SG3)، ه) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری $2h$ (SG4)، و) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری h (SG5)

Fig. 7. a) Temporal performance of DO variation for different geometries of stepped-pyramidal weirs at flow discharge of 5 l/s and Photos of stepped-pyramidal weirs with different geometries: b) without sill (SG1), c) with sill (SG2), d) sill and labyrinth with space of $4h$ (SG3), e) sill and labyrinth with space of $2h$ (SG4), f) sill and labyrinth with space of h (SG5)

عملکرد سرریزهای پلکانی-هرمی بدون آستانه و با آستانه‌های مختلف بر افزایش اکسیژن محلول در آب در h/y_c برابر با $3/6$ (دبی ورودی ۶ لیتر بر ثانیه) برای پلکان اول به همراه تصویرهایی از الگوی جریان ریزشی از آن در شکل (۸) نشان داده شده است. رفتار کلی جریان در این دبی مشابه رفتار کلی جریان در دبی قبلی است ولی به دلیل سرعت بیشتر تیغه‌های ریزشی از روی سطوح پلکان‌ها، میزان اختلاط آب و هوا بیشتر می‌شود. در دبی و عمق بحرانی نسبی مذکور، تلاطم بیشتری در پای هر یک از پلکان‌های همراه با آستانه یا آستانه کنگره‌ای مشاهده شده است. همان‌طور که

در شکل (۸-الف) دیده می‌شود، به‌استثنای هندسه SG_3 (سرریز پلکانی-هرمی با آستانه کنگره‌ای و فاصله کارگذاری چهار برابر ارتفاع پلکان)، سایر سازه‌ها عملکرد مشابهی دارند. به‌عبارت دیگر، کاهش بیشتر فاصله بین کنگره‌ها از $4h$ به $2h$ و h ، توانسته است عملکرد را بهبود بخشد. به‌طور کلی، آستانه کنگره‌ای منجر به ایجاد تیغه‌های ریزشی جریان با دو ضخامت کمتر (گذر از روی کنگره) و بیشتر (گذر از روی آستانه) می‌شود. از این‌رو تلاطم و آشفتگی در حوضچه پای هر پلکان بسته به تعداد کنگره‌ها بسیار متغیر است.



شکل ۸- الف) مقایسه عملکرد زمانی افزایش اکسیژن محلول در آب در هندسه های مختلف سرریز پلکانی-هرمی برای ۶ لیتر بر ثانیه و تصویر سرریزهای پلکانی-هرمی با هندسه های مختلف: ب) بدون آستانه (SG1)، ج) با آستانه (SG2)، د) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری 4h (SG3)، ه) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری 2h (SG4)، و) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری h (SG5)

Fig. 8. a) Temporal performance of DO variation for different geometries of stepped-pyramidal weirs at flow discharge of 6 l/s and Photos of stepped-pyramidal weirs with different geometries: b) without sill (SG1), c) with sill (SG2), d) sill and labyrinth with space of 4h (SG3), e) sill and labyrinth with space of 2h (SG4), f) sill and labyrinth with space of h (SG5)

با توجه به عملکرد افزایش اکسیژن محلول در آب سرریزهای مورد آزمایش در دبی مذکور که در شکل ۸- الف) نشان داده شده است، مدت زمان رسیدن اکسیژن محلول در آب از ۲ به ۷ میلی گرم بر لیتر، بین ۳۶۸ تا ۴۷۲ ثانیه و به طور متوسط ۳۹۵ ثانیه است که کمترین مقدار آن مربوط به هندسه SG2 (سرریز پلکانی-هرمی با آستانه پیوسته) و بیشترین مقدار آن مربوط به هندسه SG3 (سرریز پلکانی-هرمی با آستانه کنگره ای و فاصله کارگذاری چهار برابر ارتفاع پلکان) است. به عنوان جمع بندی در شرایط هیدرولیکی مذکور، سرریز پلکانی-هرمی در هندسه های مختلف توانسته است به طور متوسط ۲/۳ میلی گرم بر ثانیه در هر لیتر جریان ورودی به مخزن، اکسیژن محلول در آب را وارد کند.

در شکل (۹)، عملکرد سرریزهای پلکانی-هرمی بدون آستانه و با آستانه های مختلف در h/y_c برابر با ۳/۲ (دبی ورودی ۷ لیتر بر ثانیه) برای پلکان اول به همراه تصویرهایی از الگوی جریان عبوری از آن نشان داده شده است. همان طور که انتظار می رود، با افزایش دبی جریان، سرعت جریان تیغه های ریزشی جریان عبوری از پلکان ها افزایش می یابد و به تبع آن اختلاط، آشفستگی و ورود هوا به جریان بیشتر

تزریق بر واحد دبی ابتدا روند کاهشی دارد ولی در دامنه دبی میانی، یعنی ۴ تا ۶ لیتر ثانیه، تقریباً ثابت می‌ماند. البته روند کاهش سرریز پلکانی-هرمی ساده (هندسه SG_1) همچنان ادامه دارد. به عبارت دیگر، با نصب آستانه و امکان تشکیل پرش هیدرولیکی عملکرد سرریزهای پلکانی-هرمی با آستانه‌های مختلف به تدریج با افزایش دبی در محدوده $3 < h/y_c < 4$ برای پلکان ورودی و $6 < h/y_c < 9$ برای پلکان خروجی، همگام با روند افزایشی دبی جریان، افزایش می‌یابد. همان‌طور که در نمودارهای شکل (۱۰)، دیده می‌شود، از میان هندسه‌های مختلف هندسه‌های سرریز پلکانی-هرمی با آستانه پیوسته (SG_2) و سرریز پلکانی-هرمی با آستانه کنگره‌ای و فاصله کارگذاری دوبرابر ارتفاع پلکان (SG_4)، گزینه‌های مطلوب‌تر هستند. به عبارت دیگر، تقویت پرش هیدرولیکی با نصب آستانه توانسته است عملکرد سرریز پلکانی را در افزایش غلظت اکسیژن محلول در آب بهبود بخشد و در کنار آن نصب آستانه کنگره‌ای باعث می‌شود تا جریان عبوری از فضای بین کنگره‌ها سرعت بیشتری بیابد و اختلاط و آشفته‌گی بالاتری در پرش هیدرولیکی در پلکان پایین‌دستی خود ایجاد کند، ولی رفتار ترکیبی مذکور تنها در هندسه SG_4 مطلوب‌تر خواهد بود.

می‌شود. مشاهده‌های آزمایشگاهی حاکی از آن است که در دبی مذکور هرچه ابعاد کنگره‌ها کوچک‌تر باشد نقش هوادهی آن‌ها بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر، کنگره‌های کوچک‌تر می‌توانند برش‌های بیشتری بر تیغه‌های ریزشی ایجاد و هوای بیشتری بر آن وارد کنند.

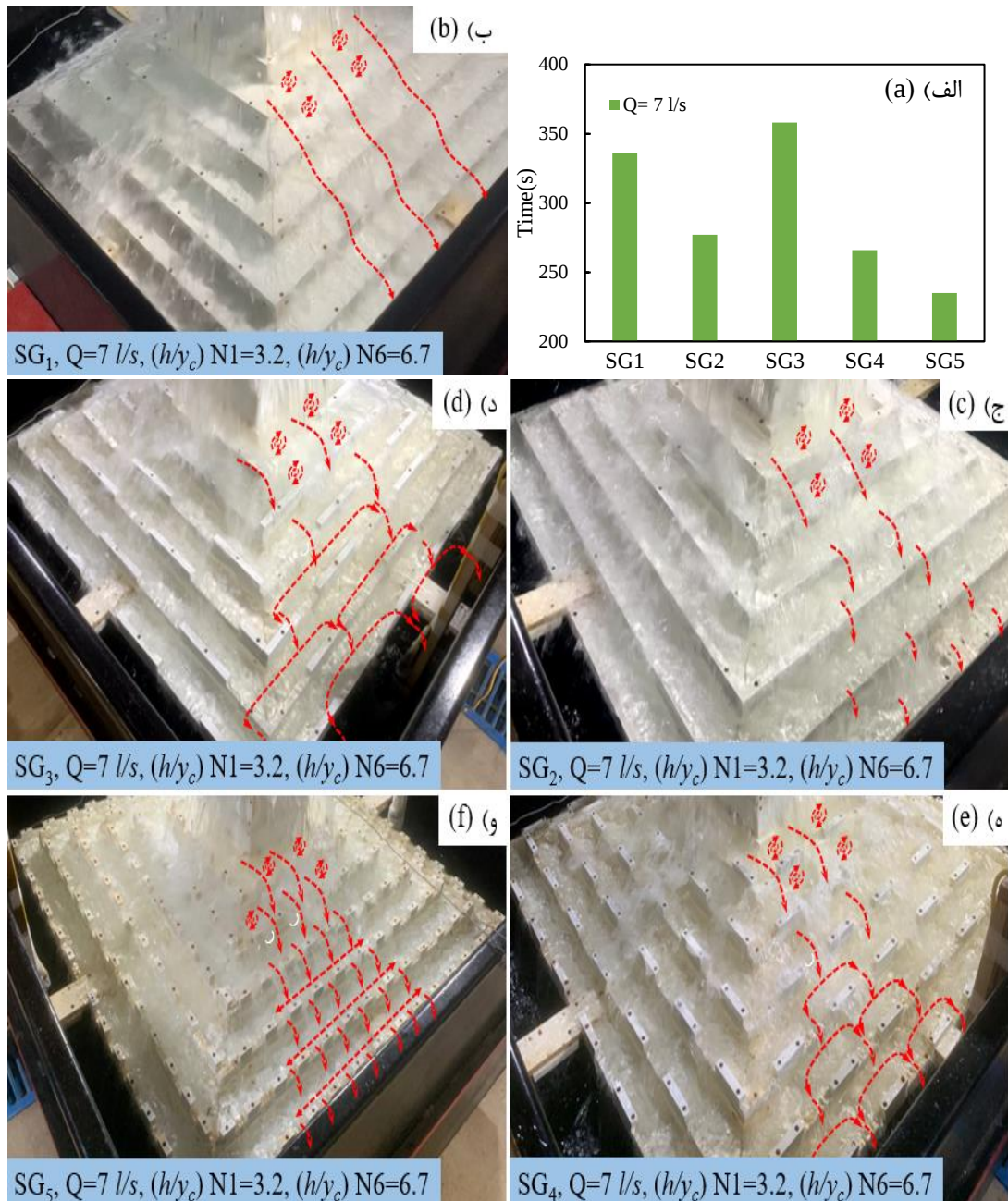
با توجه به شکل (۹-الف)، برای دبی مذکور مدت زمان رسیدن اکسیژن محلول در آب از ۲ به ۷ میلی‌گرم بر لیتر بین ۲۳۵ تا ۳۵۸ ثانیه و به طور متوسط ۲۹۴ ثانیه است که کم‌ترین مقدار آن مربوط به هندسه SG_5 (سرریز پلکانی-هرمی با آستانه کنگره‌ای و فاصله کارگذاری برابر با ارتفاع پلکان) و بیشترین مقدار آن مربوط به هندسه SG_3 (سرریز پلکانی-هرمی با آستانه کنگره‌ای و فاصله کارگذاری چهار برابر ارتفاع پلکان) است. به این ترتیب، در شرایط هیدرولیکی مذکور، سرریز پلکانی-هرمی در هندسه‌های مختلف توانسته است به طور متوسط ۲/۷ میلی‌گرم بر ثانیه در هر لیتر جریان ورودی به مخزن، اکسیژن محلول در آب را تزریق نماید.

در جدول (۲)، عمق بحرانی نسبی در هر یک از پلکان‌های سرریز و در شکل (۱۰)، منحنی‌های اثر تغییر هندسه و دبی بر میزان تزریق اکسیژن محلول در آب بر واحد دبی ورودی به مخزن (C_{inj}/Q) بر حسب ($mg.l/s$) آورده شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد با افزایش دبی جریان، میزان

جدول ۲- تغییرات عمق بحرانی نسبی در پلکان‌های سرریز در دبی‌های ۲ تا ۷ لیتر بر ثانیه

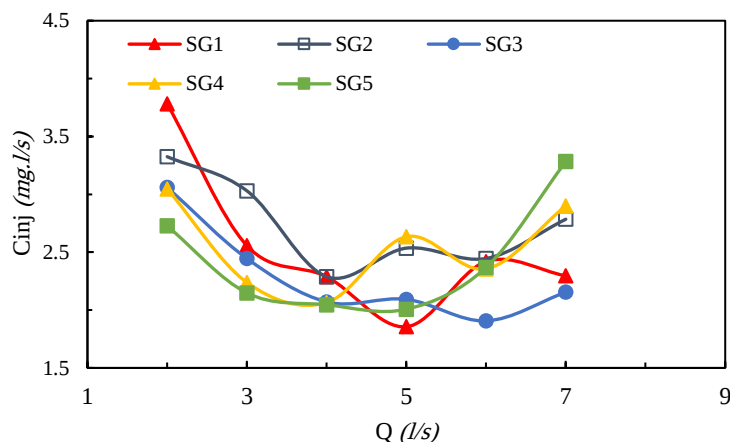
Table. 2. Variation of relative critical depth on steps of weirs for flow discharges of 2 to 7 l/s

دبی $Q (l/s)$	h/y_c شماره پلکان‌ها					
	N_6	N_5	N_4	N_3	N_2	N_1
۲	۱۵/۴	۱۴/۰	۱۲/۵	۱۰/۹	۹/۲	۷/۴
۳	۱۱/۷	۱۰/۷	۹/۵	۸/۳	۷/۰	۵/۶
۴	۹/۷	۸/۸	۷/۹	۶/۹	۵/۸	۴/۷
۵	۸/۳	۷/۶	۶/۸	۵/۹	۵/۰	۴/۰
۶	۷/۴	۶/۷	۶/۰	۵/۳	۴/۴	۳/۶
۷	۶/۷	۶/۰	۵/۴	۴/۷	۴/۰	۳/۲



شکل ۹- الف) مقایسه عملکرد زمانی افزایش اکسیژن محلول در آب در هندسه های مختلف سرریز پلکانی-هرمی برای دبی ۷ لیتر بر ثانیه و تصویر سرریزهای پلکانی-هرمی با هندسه های مختلف: ب) بدون آستانه (SG₁), ج) با آستانه (SG₂), د) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری ۴h (SG₃), ه) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری ۲h (SG₄), و) آستانه و کنگره با فاصله کارگذاری h (SG₅)

Fig. 9. a) Temporal performance of DO variation for different geometries of stepped-pyramidal weirs at flow discharge of 7 l/s and Photos of stepped-pyramidal weirs with different geometries: b) without sill (SG₁), c) with sill (SG₂), d) sill and labyrinth with space of 4h (SG₃), e) sill and labyrinth with space of 2h (SG₄), f) sill and labyrinth with space of h (SG₅)



شکل ۱۰- اثر هندسه‌های مختلف بر مقدار دبی تزریق اکسیژن محلول در آب در سرریزهای پلکانی-هرمی
Fig. 10. Effect of different geometries on the unit discharge injection rate of water dissolved oxygen in stepped-pyramidal

نتیجه‌گیری

گردد، عملکرد پلکان‌های دارای آستانه ساده و کنگره‌ای بهتر می‌شود و دلیل آن افزایش آشفتگی و اختلاط در پرش‌های هیدرولیکی در پای هر یک از پلکان‌هاست به‌طوری که عملکرد آن‌ها از حداقل ۲ به حداکثر ۳/۳ میلی گرم بر ثانیه در هر لیتر جریان ورودی به مخزن تغییر می‌یابد. تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده نشان داد که از میان هندسه‌های مختلف از سرریز پلکانی-هرمی، سرریز با هندسه SG2 با متوسط تزریق اکسیژن محلول در آب ۲/۷ میلی گرم بر ثانیه در هر لیتر جریان ورودی به مخزن دارای بهترین عملکرد است. از آنجاکه این سازه‌ها، در مقایسه با دیگر گزینه‌های هوادهی، در بسیاری از پروژه‌های هوادهی مانند تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب و نیز استخرهای آبی پروری، فضای کمتری اشغال می‌کنند، می‌توانند به‌عنوان سازه‌ای جایگزین استفاده شوند.

در این تحقیق، عملکرد سرریزهای پلکانی-هرمی بر افزایش اکسیژن محلول در آب بررسی شد. مکانیزم ورود هوا به آب در این سرریزها شامل ورود جریان به تیغه‌های ریزشی در هر پلکان، اختلاط آب و هوا در پرش هیدرولیکی پای هر پلکان و در نهایت ورود توده دوفازی آب و هوا به مخزن سرریز است. بررسی نتایج به دست آمده نشان داد در ضخامت‌های کم تیغه ریزشی $h/y_c > 10$ ، سرریزهای پلکانی ساده عملکرد بهتری نسبت به دیگر هندسه‌ها از نظر نصب آستانه ساده یا کنگره‌ای دارند و توانسته‌اند به طور متوسط ۲/۹ میلی گرم بر ثانیه در هر لیتر اکسیژن به جریان تزریق کنند درحالی که در دیگر گزینه‌ها، متوسط تزریق اکسیژن محلول در آب ۲/۵ میلی گرم بر ثانیه در هر لیتر جریان ورودی به مخزن است. مقایسه نتایج به دست آمده حاکی از آن است که هرچه دبی جریان و به تبع آن سرعت ریزش تیغه‌های ریزشی بیشتر

مراجع

- Albrecht, D. (1971). Belüftungsversuche mit Frei Absturzendem Wasser. GWF Wasser/Abwasser, 112.
- Baylar, A. & Bagatur, T. (2000). Aeration performance of weirs. Water Sa, 26(4), 521-526.
- Baylar, A., Emiroglu, M. E., & Bagatur, T. (2006). An experimental investigation of aeration performance in stepped spillways. Water and Environment Journal, 20(1), 35-42.
- Bung, D. B., & Schlenkhoff, A. (2010). Self-aerated skimming flow on embankment stepped spillways: the effect of additional micro-roughness on energy dissipation and oxygen transfer. First IAHR European Congress. May 3. Heriot-Watt University, School of the Built Environment, Edinburgh.
- Chamani, M. R., & Rajaratnam, N. (1999). Characteristics of skimming flow over stepped spillways. Journal of Hydraulic Engineering, 125(4), 361-368.
- Chanson, H., & Toombes, L. (2002). Air–water flows down stepped chutes: turbulence and flow structure observations. International Journal of Multiphase Flow, 28(11), 1737-1761.
- Chao, A. C., Chang, D. S., Smallwood Jr, C., & Galler, W. S. (1987). Effect of Temperature on Oxygen Transfer Laboratory Studies. Journal of Environmental Engineering, 113(5), 1089-1101.
- Dhatrak, A. I., & Tatewar, S. P. (2014). Air entrainment and pressure fields over stepped spillway in skimming flow regime. Journal of Power and Energy Engineering, 2(4), 53-57.
- Esmaili Varaki, M., Habibpanah, M., Biabani, R., & Navabian, M. (2021). Experimental investigation of dissolved oxygen efficiency in stepped-labyrinth weirs. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management (pp. 1-14). Thomas Telford Ltd.
- Esmaili Varaki, M., Kamakoli, M., Biabani, R., & Navabian, M. (2022). Effect of large scale roughness of block ramps on dissolved oxygen efficiency in water. Water Practice & Technology, 17(7), 1490-1504.
- Felder, S., & Chanson, H. (2017). Closure to " Simple design criterion for residual energy on embankment dam stepped spillways" by Stefan Felder and Hubert Chanson. Journal of Hydraulic Engineering, 143(5), 07017002.
- Gameson, A. L. H. & et al., (1958). The effect of temperature on aeration at weirs. Water and Water Engineering, 753(62), 489.
- Gonzalez, C. A., & Chanson, H. (2008). Turbulence and cavity recirculation in air–water skimming flows. Journal of Hydraulic Research, 46(1), 65-72.
- Habibpanah, M., Esmaili Varaki, M., Navabian, M., Behbodi, R., Farzin, M., & Saffari, M. (2020). Experimental Investigation of Efficiency of Increasing Dissolved Oxygen of Flow in Stepped-Labyrinth Weirs. Irrigation and Drainage Structures Engineering Research, 21(78), 1-22.
- HDR Engineering. (2001). Handbook of public water systems. John Wiley and Sons.
- Khatsuria, R. M. (2004). Hydraulics of spillways and energy dissipators. CRC press.
- Mansouri, R., Esmaili Varaki, M., & Navabian, M. (2018). Experimental study of the geometric effect of trapezoidal labyrinth weirs on increase of the dissolved oxygen. Iranian Journal of Soil and Water Research, 49(5), 977-990.
- Nakasone, H. (1987). Study of aeration at weirs and cascades. Journal of environmental engineering, 113(1), 64-81.
- Nina, Y. A., Shi, R., Wüthrich, D., & Chanson, H. (2022). Aeration performances and air-Water mass transfer on steep stepped weirs with horizontal and inclined steps. Journal of Hydrodynamics, 34(5), 904-916.
- Pöpel, H. J. (1972). Aeration and gas transfer. Division of Sanitary Engineering, Delft University of Technology, pp 61-64.
- Subramanya, K. (1986). Flow in Open Channel. Second Edition, Tata McGraw-Hill New Delhi.
- Wormleaton, P. R., & Soufiani, E. (1998). Aeration performance of triangular planform labyrinth weirs. Journal of environmental engineering, 124(8), 709-719.
- Wormleaton, P. R., & Tsang, C. C. (2000). Aeration performance of triangular planform labyrinth weirs. Journal of environmental engineering, 124(8), 709-719.
- Wuthrich, D., & Chanson, H. (2015). Aeration performances of a gabion stepped weir with and without capping. Environmental Fluid Mechanics, 15, 711-730.

Original Research

Experimental investigation of performance of stepped-pyramidal weir on the content of dissolved oxygen in water

A. Ranjbin, M. Esmaeili varaki*, M. Navabian, SH. Niazi

***Corresponding Author:** Associate Professor, Dept. of Water Engineering, University of Gilan, Rasht, Iran.

Received: 17 August 2024, **Accepted:** 29 September 2024

Email: esmaeili.varaki@yahoo.com

https://doi.org/ 10.22092/IDSER.2024.366766.1587

Extended Abstract

Introduction

Water quality changes with the penetration of water from the surface of the earth to the subsurface layers, which are accompanied by the passage of subsurface of earth crust with different chemical composition. The most important issues is the increase in the concentration of iron and manganese. Therefore, almost underground water sources have significant amounts of iron and manganese. At high concentrations, those may cause the growth of iron and manganese bacteria, increase pathogenic microorganisms, create bitter taste and unpleasant smell in water, create red and brown spots on appliances and blockage water distribution systems. One of the main steps in the water purification process is the removal of iron and manganese ions. Among these methods, the use of oxidation is more widely used due to less operational costs. Use of an aerator is the main part of this method. Stepped weirs are one of the economical devices for the aeration of water that has acceptable performance. In this research, application of a pyramid-shaped stepped weir with and without sill on increase the dissolved oxygen concentration under various flow discharge was investigated experimentally.

Experimental Setup and procedure

Experiments have been carried out on a stepped-pyramidal weir model in the Hydraulic Modeling Laboratory at of University of Guilan. The physical model of the stepped-pyramid weir is made of PVC panels with a constant slope of 1:2 and the number of steps is 6, with dimensions of 4 cm high and 8 cm long. The weir was installed on Iron's tank with dimensions of 1.5 m length and 1.5 m in width and 1 m height. A centrifugal pump device with maximum flow rate of 8 l/s was used to provide desired flow discharge. In order to measure the flow rate, an ultrasonic flow meter was used with an accuracy of ± 0.01 l/s.

In each geometry of the weir and desired flow rate, first the concentration of dissolved oxygen in the water supply tank was reduced to 2 mg/l using Na_2SO_3 solution, then variation of dissolved oxygen concentration was measured by 2 oxygen meters (DO meter) model AL20Oxi manufactured by Aqualytic company, which was installed on both sides of the tank, until the dissolved oxygen concentration reached on its initial level.

In this research, totally 30 tests were carried out to consider effect of the stepped-pyramidal weir on increasing the dissolved oxygen concentration.

Results and discussion

The performance of stepped-pyramidal weirs with different geometries at h/y_c equal to 7.4 (flow discharge of 2 l/s) for the first step indicates that for stepped-pyramidal weir without sill, the falling jet from the steps have gradually decreased in thickness and it falls discontinuously in steps 5 and 6. By installing the sill at the end of each step, although turbulence and mixing of air and water occurred by formation of hydraulic jump but due to the reduction in the thickness of the falling jet, the intensity of mixing is low and, the performance of stepped-pyramidal weirs with end sill reduced. For the mentioned flow rate, the time to reach DO to from 2 to 7 mg/l for

different stepped-pyramidal weir geometries is 857 seconds on average which injected 2.3 *mg.l/s* dissolved oxygen into the water content of recipient tank.

By increasing the flow rate to h/y_c equal to 5.6 (flow discharge of 3 *l/s*) for the first step, the thickness of the falling jet and corresponding flow velocity increases and the overall performance of the stepped-pyramidal weir to increasing dissolved oxygen improved. For mentioned flow discharge, the time of increase of DO to reach its initial level is 735 seconds on average, which dissolved oxygen injected by rate of 2.5 *mg.l/s* into the water content of the recipient tank.

by further increase of flow discharge to 6 *l/s* (h/y_c equal to 6) turbulence and mixing of air and water intensified by formation of hydraulic jump. Also, in the mentioned flow and relative critical depth, more turbulence was observed at the end of each steps along with the sill or labyrinth sill. The results show that, with the exception of the SG₃ geometry (stepped-pyramidal weir with sill and labyrinth with the space of 4*h*), the other structures had similar performance. The results showed that the time duration of DO concentration from 2 to 7 *mg/l* is 395 seconds on average, the lowest value of which was related to SG₂ geometry (stepped-pyramidal weir with sill) which could inject dissolved oxygen on an average of 2.3 *mg.l/s* into water content of the recipient tank.

At the maximum h/y_c equal to 3.2 (flow rate of 7 *l/s*) for the first step, the mixing of air bubbles and turbulence of flow on each step causes the labyrinth sill with small length could better performance due to more separation of falling jet of over passing. The time duration to reach the DO concentration from 2 to 7 *mg/l* is 294 seconds on average. The SG₅ geometry (stepped-pyramidal weir with labyrinth having internal space of *h*) had the best performance. In general, dissolved oxygen is injected into water content of the recipient tank at an average of 2.7 *mg.l/s*.

Conclusion

The results showed that at the low thickness of overpassing flow with $h/y_c > 10$, simple stepped-pyramidal weir had better performance than other geometries and could inject 2.9 *mg.l/s* of dissolved oxygen into the water. The comparison of the results indicates that as the flow rate increases, due to the increase of turbulence and mixing of air bubbles into overpassing flow at each step, the performance of the steps with a simple and labyrinth sill improves, so that their performance to inject dissolved oxygen is from 2 to 3.3 *mg.l/s*. In general, among the different geometries of the stepped-pyramidal weir, the SG₂ geometry had the best performance.

Keywords: Aeration, Dissolved oxygen, Labyrinth sill, Purification, Stepped-pyramidal weir.

امکان سنجی کاهش تبخیر آب تصفیه خانه و تامین برق ایستگاه پمپاژ توسط نرم افزار Pvsyst و Meteonorm (مطالعه موردی: شهرستان میاندوآب)

میلاد رضائی^{۱*}؛ حجت احمدی^۲؛ ملیحه بایرام^۳

^۱دانشجوی دکتری سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
^۲استاد گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
^۳دانشجوی دکتری منابع آب، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۹

چکیده

با توجه به تبخیر شدید آب در استخرهای ذخیره آب، هرگونه تلاش برای کاهش تبخیر و در نتیجه ذخیره آب بسیار سودمند خواهد بود. کاربرد پوشش های شیمیایی و فیزیکی روی استخرهای ذخیره آب از روش های رایج در کنترل و کاهش تبخیر است. در این تحقیق، تأثیر به کارگیری پنل های خورشیدی روی استخرهای ذخیره آب کشاورزی بر کاهش میزان تبخیر آب از آن ها بررسی شده است. در این بررسی، میزان انرژی تولید شده به عنوان فاکتوری جانبی در توجیه اقتصادی پروژه اعمال شد. بدین منظور، میزان تبخیر واقعی آب استخر تصفیه خانه شهرستان میاندوآب به مساحت ۵۰۰ مترمربع بر اساس پارامترهای اقلیمی از سازمان هواشناسی استان آذربایجان غربی برای شهرستان میاندوآب، بررسی شد. زاویه نصب بهینه سلول های خورشیدی بر اساس مختصات جغرافیایی و حرکت خورشید محاسبه شد. میزان انرژی خورشیدی برای ۱۰ سال آینده با استفاده از نرم افزار متئونرم (Meteonorm) استخراج شد؛ با نرم افزار Pvsyst، پتانسیل انرژی خورشیدی استخر مورد مطالعه حدود ۱۳۱ هزار کیلووات ساعت برآورد گردید که از این طریق توانایی تولید برق مورد نیاز ۲۷۱ موتور پمپ آب با کارکرد ۶ ساعت را خواهد داشت. نتایج این بررسی نشان داد که زاویه بهینه استقرار پنل های خورشیدی روی استخر ۳۷ درجه است و نصب آن ها می تواند میزان تبخیر را حدود ۶۷/۷ مترمکعب در سال با پوشش کامل سطح کاهش دهد. برابر آنالیزهای اقتصادی، بدون اعمال تورم بر اساس ارزش برق تولید شده و تزریق آن به شبکه، مدت زمان بازگشت هزینه طرح ۶/۲ سال برآورد گردید.

واژه های کلیدی: کاهش تبخیر، انرژی خورشیدی، ذخیره سازی آب، بهره وری انرژی، پوشش های شناور

مقدمه

تراکم، نفوذ، رواناب، تبخیر، بارش و تفرق مهم ترین آن ها هستند (Babu et al., 2010). کاهش بارش ها به دلیل تغییرات اقلیمی، پیامدهای بسیاری در سراسر دنیا خصوصاً مناطق در خشک و نیمه خشک داشته است. در چند دهه اخیر افزایش منابع آلاینده، سوخت های فسیلی (عمدتاً در کشورهای توسعه نیافته و در حال توسعه)، تغییر کاربری زمین و کاهش پوشش گیاهی، به مرور سبب افزایش اثرهای منفی تغییرات اقلیمی شده که یکی از مشکلات اساسی به بار آمده،

بقای هر موجود زنده به آب بستگی دارد و این جزئی کلیدی در تعیین کیفیت هر زندگی روی زمین است. آب بیش از ۷۰ درصد از سطح زمین را پوشش می دهد، اما تنها یک درصد از آن به عنوان منبع آشامیدنی در دسترس است. علاوه بر این، رشد جمعیت، آلودگی و گرمایش جهانی فشار بی سابقه ای را بر منابع آب موجود زمین وارد می کند. از بین بسیاری از فرآیندهای درگیر در چرخه آب، فرایندهایی مانند

بحران آب است. کاهش بارش ها، خشک سالی های متعدد و به تبع آن ها افت میزان آب های سطحی، سبب بهره برداری هر چه بیشتر از منابع زیرزمینی شده به طوری که با بهره برداری بیش از حد، منابع زیرزمینی نیز در بسیاری از مناطق دچار افت شدید شده است. برای مهار این وضعیت نیاز خواهد بود عوامل اصلی افزایشده اثرهای منفی این تغییرات از جمله تبخیر آب شناسایی و کنترل شود (Piri Poshtkoohi Zadeh, 2015; Mazaheri & Abdei Koupai, 2018).

تبخیر در مناطق با شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک مانند ایران که در چند سال اخیر با معضل بحران آب نیز مواجه شده است، باعث کاهش کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی نیز می شود. با افزایش میزان تبخیر، غلظت املاح و نمک های آب ها افزایش می یابد و افزون بر افت کیفیت منابع آب، کاهش کیفیت خاک و به دنبال آن مشکلات بیشتر مانند افت کیفیت محصول و حتی فرسایش خاک را نیز در پی دارد؛ بنابراین، کنترل تبخیر می تواند در کنترل چنین شرایط بحرانی و نیز وقوع پیامدهای شدیدتر آن بسیار مؤثر باشد. در بیشتر کشورهای توسعه یافته از روش ها و پوشش های متنوعی برای کاهش تبخیر، چه از سطح آب های سطحی و چه از سطح خاک استفاده می شود. از این روش ها می توان به موارد زیر اشاره کرد: روش های فیزیکی (استفاده از لاستیک های فرسوده، توپ های سفید و سیاه رنگ، صفحات شناور بتن سبک پرلیتی)، روش های شیمیایی (کاربرد الکل های چرب، هگزا دکانول، اکتا دکانول و...)، پرورش برخی گونه های گیاهی مانند عدسک آبی، مدیریت مصرف آب، مدیریت تقاضا، استفاده مجدد از آب های مصرف شده، استفاده از برخی مواد پوشاننده سطوح آبی، افزایش کارایی استفاده از منابع آب (به خصوص در بخش کشاورزی) و اصلاح روند تعیین الویت در طرح های آب. هریک از این روش ها، بسته به شرایط خاص، قابل اعمال است (Álvarez et al., 2006; Soltani et al., 2018; Sepaskhah, 2018; Rezazadeh et al., 2020). اما استفاده از روشی که هم سبب کاهش

میزان تبخیر شود و هم تولید انرژی به همراه داشته باشد، قطعاً بهتر از روشی خواهد بود که صرفاً سبب کاهش میزان تبخیر شود. یکی از بهترین پوشش ها در این زمینه، استفاده از صفحات خورشیدی به منظور تولید جریان برق است. این سازه ها می توانند به صورت افقی و زاویه دار با میله های نگه دارنده روی کانال ها قرار بگیرند. از صفحات خورشیدی برای کنترل تبخیر (از طریق جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید بر سطح آب)، تولید انرژی برق مورد نیاز کشاورزی و صنعتی و خانگی، صرفه جویی و بهره برداری از پتانسیل انرژی منطقه در مصرف انرژی، توسعه زیست محیطی، کاهش آلاینده ها و رد پای کربن و غیره استفاده می شوند. صفحات خورشیدی از جمله تولیدکننده های انرژی پاک هستند که در شرایط فعلی (تغییرات اقلیمی چون افزایش دما و کاهش بارش ها) نه تنها میزان تبخیر از سطوح آبی را کاهش می دهند، بلکه با تولید انرژی و ایجاد نکردن آلودگی می توانند بهترین گزینه برای این شرایط باشند (Torki & Abedi, 2014; Mojarad & Moradi, 2012). در این زمینه در داخل و خارج از کشور مطالعات بسیاری شده است. رئوف و رضائی (Raouf & Rezaei, 2017) به امکان سنجی استفاده از پنل های خورشیدی برای کاهش تبخیر و تولید هم زمان انرژی الکتریکی در سد شهید کاظمی (بوکان) پرداختند. برای این منظور از نرم افزار (meteonom-7) برای تجزیه و تحلیل داده های هواشناسی استفاده گردید و به کمک نرم افزار (pvsyst) برآورد میزان بار انرژی خورشیدی و مقدار دریافتی آن توسط پنل خورشیدی استخراج گردید. نتایج تحقیق نشان داد سد شهید کاظمی موقعیت و پتانسیل خوبی برای اجرای این طرح دارد و صرفه جویی حاصل از استفاده از این تکنولوژی طی ۶ سال هزینه اولیه را جبران خواهد کرد. با توجه به مقدار بسیار کم متوسط بارش ایران (۲۵۰ میلی متر) نسبت به متوسط جهانی (۸۵۰ میلی متر) و نیز با در نظر گرفتن میزان انرژی خورشیدی بالا در ایران، استفاده از این منبع ارزشمند می تواند در کنترل میزان تبخیر از

سطوح آب‌های سطحی بسیار مؤثر باشد (Farzin & Alizadeh., 2015). این روش، نسبت به بسیاری از روش‌های دیگر، هزینه کمتری دارد و از لحاظ اقتصادی روشی ساده و بسیار مقرون به صرفه است. جلوگیری هر چه بیشتر از هدر رفت آب، موضوع بسیار حساسی است (Nematollahi et al., 2015). با توجه به اینکه هدر رفت آب از طریق تبخیر آب سطحی از مخازن و کانال‌های آبیاری، مقدار قابل توجهی است. این تحقیق به منظور بررسی اثر کاربرد این صفحات بر کاهش تبخیر در استخرهای آبیاری به اجرا درآمد تا بتوان با گسترش گزینه‌های طراحی در ساخت و اجرای نیروگاه‌های شناور خورشیدی وسیع در استخرهای آبیاری از جمله استخرهای تصفیه‌خانه با پتانسیل تبخیر بالا در جهت کاهش زیان‌های گفته شده و تولید انرژی پاک و حفاظت از محیط‌زیست منطقه یاری رساند. هاشمی منفرد و همکاران (Hashemi Monfared et al., 2018) با استفاده از صفحات خورشیدی به عنوان بادشکن به منظور کاهش تبخیر و تولید انرژی و با استفاده از مدل‌سازی نرم‌افزار انسیس فلوئنت روی چاه نیمه عمیق شماره ۴ در سیستان و بلوچستان دریافتند که در صورت طراحی صفحات خورشیدی با ابعاد ۲/۵ در ۲/۵ متر (بهترین حالت ممکن)، زاویه افقی ۳۰ درجه و زاویه شیب ۳۰ درجه می‌توان به کاهش تبخیر معادل ۷۱/۳۶ درصد و بازده تولید انرژی به میزان ۹۹/۷۵ درصد، نسبت به حالت ایده‌آل (زاویه افقی ۱۸۰ درجه رو به جنوب) دست یافت. در مطالعه‌ای دیگر رضائی و احمدی (Rezaei & Ahmadi, 2021) به تحلیل اقتصادی کاربرد سلول‌های خورشیدی روی سد انحرافی نوروزلو پرداختند. در این پژوهش تبخیر واقعی آب دریاچه سد با استفاده از داده‌های ایستگاه کلیماتولوژی سد نوروزلو برآورد شد و با نرم‌افزار Pvsyst میزان بار انرژی خورشیدی در محدوده سد استخراج گردید. با بررسی زاویه‌های مختلف قرارگیری پنل‌ها، زاویه ۵ درجه با ۹۱/۶ درصد پوشش سطح آب بیشترین سایه‌اندازی

را داشته ولی پتانسیل خوبی برای دریافت انرژی به دست داده است. زاویه ۱۵ درجه با حدود ۸۰ درصد سایه‌اندازی و به عبارتی کاهش ۸۰ درصد تبخیر بهترین حالت را از لحاظ کاهش تبخیر، فتوسنتز و دریافت انرژی دارد. طبق برآوردهای اقتصادی، با احتساب درآمد حاصل از کاهش تبخیر و تولید برق، بازگشت سرمایه این فناوری طی ۵ تا ۷ سال میسر خواهد بود. یک مطالعه مروری در خصوص تکنولوژی سلول‌های خورشیدی شناور بر آب توسط پتیل و همکاران (Patil et al., 2017) اجرا و در این پروژه آزمایشی از پنل‌های فونیکس با انرژی تولیدی ۵ کیلووات استفاده شد که با زاویه ۱۰ درجه به منظور مقاومت در برابر پرتو فرابنفش کار گذاشته بودند. نتایج این بررسی نشان داد که در مناطق خشک و نیمه خشک، گرچه تابش بیشتر است، اما بازده انرژی این مناطق به دلیل گرم شدن پنل‌های خورشیدی و دمای بالاتر سطح سلول‌های خورشیدی کمتر است. برای حل این مشکلات، یک ایده ابتکاری برای نصب نیروگاه‌های خورشیدی روی آب بالای کانال‌ها، بدنه‌های آبی، دریاچه‌ها، پساب سدها و مخازن که عموماً دولتی هستند، مطرح شد. البرادعی و الصادق (ELBaradei & ALSadeq, 2018) تأثیر کانال‌های خورشیدی را بر تبخیر، کیفیت آب و تولید برق با هدف بهینه‌سازی مطالعه کردند. در این راستا، از یک مدل ریاضی و نیز مطالعه بهینه‌سازی برای تعیین اثرهای ذکر شده قبلی و در نتیجه تعیین مطلوب‌ترین درصد پوشش سطح کانال مورد مطالعه استفاده شد که به حداقل حجم تبخیر، حداکثر انرژی تولیدی با رعایت استانداردهای متغیرهای کیفیت آب کانال تحت پوشش انجامیده بود. بر اساس نتایج این بررسی مشخص شد که در ۳۳ تا ۵۰ درصد پوشش کانال، شرایط بهینه برآورده خواهد شد. فرشته‌پور و همکاران (Fereshtehpour et al., 2021) در مطالعه‌ای به ارزیابی عوامل حاکم بر استفاده از سامانه خورشیدی شناور و بررسی زیرساخت‌های مهم آبی در ایران پرداختند. به این منظور،

در این مطالعه، با توجه به اهمیت حفظ منابع آب سطحی که در معرض تبخیر قرار دارند، تأثیر به کارگیری پانل های خورشیدی به منظور کاهش تبخیر و تولید انرژی روی یکی از حوضچه های ذخیره آب در شمال غرب ایران بررسی و عملکرد سیستم در ذخیره آب و در کنار آن تولید انرژی، ارزیابی شد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد نظر در نزدیکی تپه قطور شهرستان میاندوآب، استان آذربایجان غربی با مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه و ۵۵ ثانیه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۴ دقیقه و یک ثانیه طول شرقی در ۱۶ کیلومتری جنوب شرقی میاندوآب احداث شده است.

این تصفیه خانه روزانه در پتانسیل بالای تابش ۵۲۰۰ تا ۵۵۰۰ وات ساعت بر مترمربع واقع شده است. همچنین دارای وسعت مناسبی برای پیاده سازی پنل های شناور است. عکس هوایی تصفیه خانه و مکان جاگذاری پنل های شناور در شکل (۱) قابل مشاهده است. گستره تصفیه خانه در حدود ۱۰۰۰۰ مترمربع برآورد می شود.

پارامترهای اقلیمی

مهم ترین عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق، پارامترهایی مانند دما، بارش، رطوبت، تابش خورشیدی هستند (Goudarzi et al., 2017). از دیگر عوامل می توان 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 سازمان هواشناسی استان آذربایجان غربی برای شهرستان میاندوآب دریافت و تجزیه و تحلیل شد. عوامل مؤثر از جمله دما، بارش، رطوبت، تابش خورشیدی و سرعت باد بررسی گردید تا با به کارگیری صفحات خورشیدی

پنج سد مخزنی مهم در ایران را انتخاب و عملکرد نیروگاه سیستم های فتوولتائیک خورشیدی شناور (FSPV¹) را از نظر تولید انرژی، کاهش تبخیر، بازده اقتصادی و عوامل بهبود محیطی با در نظر گرفتن درصدهای مختلف پوشش تجزیه و تحلیل کردند. نتایج تحقیق نشان داد FSPV از دیگر جایگزین ها برای تولید انرژی و صرفه جویی در آب بهتر عمل می کند. گرچه ۵ تا ۶ سال طول می کشد تا هزینه سرمایه گذاری برگردد، اما با توجه به شرایط ایران، می توان به طور مؤثر از انرژی خورشیدی از طریق سیستم های FSPV استفاده کرد که علاوه بر حمایت از تولید انرژی پایدار، به حفظ آب نیز کمک می کند. جوشی و همکاران (Joshi et al., 2021) با بررسی روش عددی کنترل تبخیر آب سطحی ضمن مطالعه داده های هواشناسی ۵ ساله (۲۰۱۶ - ۲۰۲۱) از جمله رطوبت و دما در مخزن خارا کوسلا شهر ماهشهر کشور هند روش های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی را تجزیه و تحلیل کردند و به این نتیجه رسیدند که با روش های شیمیایی از جمله استفاده از بیستیل الکل و استریل الکل می توان به ۲۰ تا ۴۰ درصد کاهش تبخیر دست یافت. در روش فیزیکی نیز با کشت درختان در اطراف مخزن به عنوان بادشکن می توان به ۱۵ تا ۲۵ درصد کاهش تبخیر رسید. بر اساس این پژوهش در حالت کلی پوشش های شناور با ۷۰ درصد کاهش، بیشترین اثرگذاری را در کاهش تبخیر خواهند داشت. رضائی و ایلخانی پور (Rezaei & Ilkhanipour, 2023) به بهینه سازی اقتصادی پوشش کانال آب رسان سد نوروزلو پرداختند. در تحقیقات این پژوهشگران پتانسیل تابش خورشیدی و میزان پوشش سطح کانال بررسی شد و به این نتیجه رسیدند که با پوشش حدود ۶۷ درصد مساحت کانال - ها به وسعت حدود ۲۴۷۶۳ مترمربع از ۳۶۹۶۰ مترمربع کانال، سالانه ۷۳۷۷ مگاوات ساعت انرژی الکتریسیته با هزینه ای حدود ۸۲ میلیارد تومان و درآمد سالانه ۶/۵ میلیارد تومان با بازگشت سرمایه ۱۲/۴ سال تولید می شود.

¹Floating Solar Photovoltaic System

تولید انرژی روی تصفیه‌خانه، تبخیر و تعرق کاهش یابد. دما عاملی است که به موقعیت جغرافیایی، ارتفاع و اقلیم منطقه بستگی دارد (Alizadeh, 1998). داده‌های موجود در منطقه و میانگین دما برای سال‌های (۲۰۲۱-۲۰۰۵) نشان می‌دهد



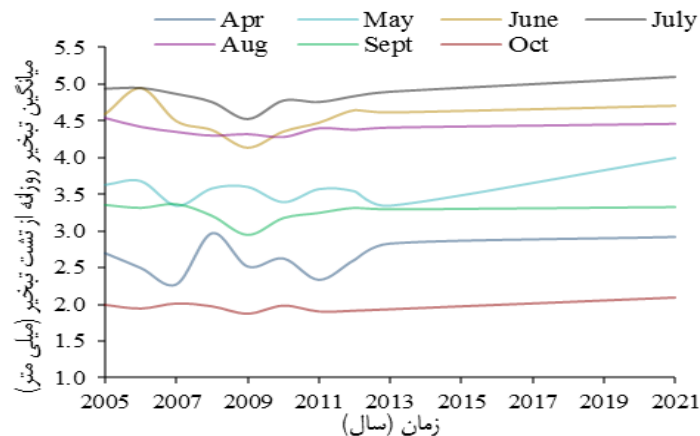
شکل ۱- عکس هوایی تصفیه‌خانه و مکان جاگذاری پنل‌های شناور

Figure 1- Aerial photo of the refinery and the location of the floating panels

منطقه از عوامل مؤثر بر میزان رطوبت و تبخیر است که بیشترین بارش مربوط به ماه میلادی آوریل با مقدار متوسط ۳/۳ میلی‌متر در روز است. با توجه به داده‌های تبخیر (شکل ۲)، بیشترین میزان تبخیر در ماه‌های فروردین تا مهر رخ داده است. در ماه تیر نیز بیشترین میانگین تبخیر سطحی روزانه ۵ میلی‌متر در سال ۲۰۲۱ اتفاق افتاده است. از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹، روند تبخیر نزولی است ولی از سال ۲۰۰۹ به بعد تغییرات دارای روند افزایش جزئی بوده است. در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ به دلیل ثبت نشدن داده‌ها، وضعیت نامشخص بوده است؛ بنابراین، با گذر زمان تأثیر اکثر عوامل بر تبخیر به دلایل متعدد از جمله تغییر اقلیم افزایش یافته است. یکی از مهم‌ترین این عوامل کمبود بارش همراه با افزایش نسبی دماست که سبب افزایش میزان تبخیر از سطوح مختلف در این محدوده شده است (West Azerbaijan Meteorological Organization, 2021).

کمترین دما در دی ماه به ۱۲/۳- درجه سلسیوس و بیشترین دما در تیر ماه به ۳۷ درجه سلسیوس رسیده است. یکی دیگر از عامل‌های اصلی، تبخیر باد است که مشابه دیگر پارامترهای اقلیمی به موقعیت جغرافیایی و ارتفاع و اقلیم منطقه بستگی دارد (Alizadeh, 1998).

بیشترین سرعت باد در ماه‌های اسفند و اردیبهشت به ترتیب ۱۱ و ۱۰/۷ کیلومتر در ساعت و کمترین سرعت باد حدود سه کیلومتر در ساعت در اکثر ماه‌های سال ثبت شده است. تابش و ساعات روشنایی نیز تأثیر بسزایی در تبخیر دارند که آن‌هم به موقعیت جغرافیایی منطقه بستگی دارد (Alizadeh, 1998). بیشترین ساعات تابش در تیرماه در حدود ۱۲/۸ ساعت و کمترین ساعات تابش مربوط به ماه‌های پاییز و زمستان و برخی روزهای فصل بهار است که در طول روز هوا کاملاً ابری بوده است. از دیگر پارامترهای مؤثر بر تبخیر رطوبت است (Alizadeh, 1998). بارش موجود در



شکل ۲- نمودار میزان تبخیر از تشت تبخیر

Figure 2- The diagram of the rate of evaporation from the evaporation pan

نرم افزار METEONORM

ماهانه دما، بارش و تشعشعات خورشیدی در مقیاس جهانی و با ترکیب آن‌ها با پایگاه داده و الگوریتم‌های درون‌یابی برای سناریوهای مختلف و در هر دوره زمانی (۲۰۱۰-۲۲۰۰) می‌توان پیش‌بینی تغییرات اقلیمی و آب و هوایی را محاسبه کرد. الگوریتم‌های آب‌وهوا^۴ با استفاده از مدل HadCM3 (که از یک مدل خود رگرسیون ساده شکل گرفته)، به منظور تولید داده‌های واقعی ماهانه آبی پیش‌بینی می‌شود (Remund et al., 2010).

در مطالعه حاضر، پیش‌بینی‌هایی برای سال ۲۰۳۰ است که با استفاده از نرم‌افزار متئونرم نسخه ۸، محل تصفیه‌خانه و قالب استاندارد تعریف‌شده و نتایج گزارش IPCC AR5 تحت سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5، و RCP 8.5 مورد استفاده قرار گرفته است که در جدول (۱) کارکرد سناریوهای هر دو گزارش قابل مشاهده است. از این سناریوها که در قسمت نتایج مفصل به آن پرداخته شده است به منظور پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی (میزان انرژی خورشیدی جهانی، میزان انرژی خورشیدی منطقه، دمای هوا، دمای نقطه شبنم و سرعت باد) استفاده گردید.

نرم‌افزار متئونرم ترکیبی منحصربه‌فرد از منابع داده قابل اعتماد و ابزارهای محاسبه پیچیده است که دسترسی به سال‌های نرمال و سری‌های زمانی ثبت‌شده را فراهم می‌کند. این نرم‌افزار به منظور ساخت داده‌های اقلیمی برای بسیاری از شهرها و نقاط جهان استفاده می‌شود. مشکلی که همواره در شبیه‌سازی‌های انرژی در ساختمان و هر نوع شبیه‌سازی وجود دارد و اطلاعات آب‌وهوایی محل در آن دخیل است، فقدان داده‌های وسیع اقلیمی (خصوصاً روزانه و ساعتی) است. ورودی نرم‌افزار متئونرم برای تشعشعات جهانی، تابش معمولی منطقه‌ای است که از آرشیو انرژی جهانی^۱ گرفته می‌شود. دیگر پارامترهای هواشناسی از جمله دما، بارش، سرعت باد از پایگاه‌های داده WMO^۲ و NCDC^۳ بر اساس مدل زنجیره مارکوف دوره‌های (۱۹۶۱-۱۹۹۰ و ۱۹۹۶-۲۰۰۵) گرفته شده است. نرم‌افزار متئونرم برای مطالعات تغییرات آب و هوایی نیز قابل استفاده است. در این نرم‌افزار از نتایج IPCC AR4 تحت سه سناریوی اقلیمی، به عنوان ورودی استفاده می‌شود. از تجزیه و تحلیل تغییرات سالانه و

^۴ <http://prudemnce.dmi.dk>

^۱Geba, <http://protogeba.ethz.ch>

^۲World Meteorological Organization

^۳National Climatic Data Centre

جدول ۱ - سناریوهای مورد استفاده در گزارش چهارم و پنجم

Table 1 - Scenarios used in the fourth and fifth reports

نام سناریو	حالت انتشار گازهای گلخانه‌ای	توضیح
B1	خوش‌بینانه	عملکرد کشورهای جهان واگرا و دوستدار محیط‌زیست، میزان رشد کند جمعیت، رشد سریع در ساختار اقتصادی ملت‌ها، تغییرهای فناورانه نسبت به سناریوهای خانواده A کمتر و پراکنده‌تر. (World Meteorological Organization., 2021; Mansouri et al., 2018; Soltani & Mousavi., 2016)
A1B	میان‌ه	عملکرد کشورهای جهان به‌صورت همگرا، میزان رشد جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ دارای روند افزایشی (به میزان ۹ میلیارد نفر) سپس دارای روند کاهشی، رشد سریع اقتصادی و تأکید بر استفاده متعادل از انواع منابع انرژی.
A2	بدبینانه	عملکرد کشورهای جهان به‌صورت واگرا و مستقل از هم، میزان رشد سریع جمعیت و توسعه اقتصادی منطقه محور
RCP 2.6	خوش‌بینانه	میزان غلظت کربن دی‌اکسید تا سال ۲۱۰۰، ۴۹۰ میلی‌گرم در لیتر و اثر آن بر نگهداشت تابشی ۲/۶ وات بر مترمربع، میزان جمعیت تا سال ۲۱۰۰ حدود ۷ میلیارد نفر، رشد تکنولوژی‌های جدید نسبت به دیگر سناریوها بیشتر و به دلیل میزان رشد پایین جمعیت و استفاده از انرژی‌های نو، میزان تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای پایین‌تر از دیگر سناریوها، میزان استفاده از زغال‌سنگ بیشتر از سناریوهای RCP4.5، میزان استفاده از انرژی‌های نو بیشتر از میزان استفاده از انرژی سوخت فسیلی.
RCP 4.5	میان‌ه متمایل به خوش‌بینانه	میزان غلظت کربن دی‌اکسید تا سال ۲۱۰۰، ۶۵۰ میلی‌گرم در لیتر و اثر آن بر نگهداشت تابشی ۴/۵ وات بر مترمربع، میزان رشد جمعیت کمتر از سناریوی RCP2.6، در دیگر پارامترهای مؤثر در تغییرات اقلیمی (مانند میزان استفاده از انرژی‌های نو، رشد تکنولوژی و غیره) ضعیف‌تر نسبت به سناریوی RCP2.6.
RCP 8.5	بدبینانه	میزان غلظت کربن دی‌اکسید تا سال ۲۱۰۰، ۱۳۷۰ میلی‌گرم در لیتر و اثر آن بر نگهداشت تابشی ۸/۵ وات بر مترمربع (Kouhestani et al., 2017)، میزان جمعیت در سال ۲۱۰۰ حدود ۱۲ میلیارد نفر، استفاده از انواع انرژی (به‌جز انرژی زیستی) در این سناریو بیش از دیگر سناریوها در نظر گرفته شده است (Van Vuuren et al., 2011; Riahi et al., 2011).

گزارش چهارم

گزارش پنجم

نرم‌افزار Pvsys

انحراف محوری بستگی دارد تا درنهایت به حداکثر تابش آفتابی دست‌یافت. با وارد کردن مختصات جغرافیایی، می‌توان میزان تابش در محل موردنظر را محاسبه کرد و نتایج شبیه‌سازی را واقعی‌تر کرد. این داده‌ها بر اساس اندازه‌گیری‌های ماهواره ناسا برای نقاط مختلف جهان است.

نتایج و بحث

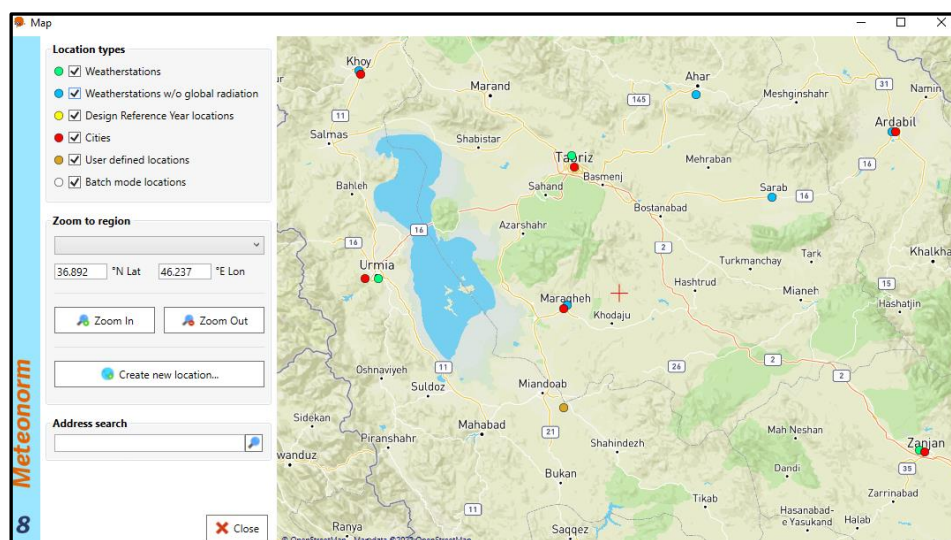
در این مطالعه، از خروجی مدل Meteo مربوط به پنجمین گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم AR5 استفاده شده است. این خروجی‌ها از سایت IPCC^۱ و بر اساس

در نرم‌افزار Pvsys، محاسبات جامع سیستم فتوولتائیک خورشیدی و شبیه‌سازی سیستم‌های متصل به شبکه، منفصل از شبکه و پمپ‌های خورشیدی، بررسی اثر سایه، وارد کردن داده‌های هواشناسی از منابع مختلف و نیز اطلاعات شخصی (به‌صورت دستی) و سپس آنالیز و گزارش‌گیری از آن‌ها قابل‌اجراست (Khammar et al., 2020). بهینه‌سازی سیستم‌های فتوولتائیک به دو ویژگی جهت‌گیری با توجه به مسیر خورشیدی (زاویه خورشید در ظهر محلی) و نیز

^۱www.ipcc-date.org

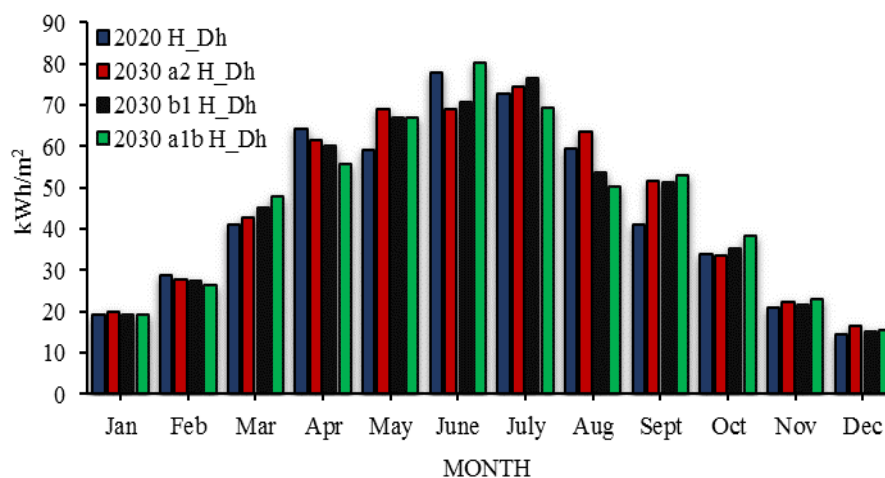
داده های منتشر شده از ایستگاه های هم جوار (ارومیه، تبریز، مراغه، زنجان و سراب) در منطقه که در شکل (۳) قابل مشاهده است، درون یابی و استخراج می گردد. داده ها تحت سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 استخراج گردید. با مشاهده نتایج استخراجی نرم افزار متئونرم، میانگین ماهانه سناریوهای گزارش چهارم برای سال ۲۰۲۰ و مقایسه پیش بینی ده ساله سناریوها (شکل ۴) نشان می دهد میزان تغییرات تابش در ماه های مختلف متفاوت است.

به طوری که در ماه های ابتدایی سال تغییرات چندانی نداشته است ولی در خرداد ماه شاهد کاهش پتانسیل تابش در ۱۰ سال آتی وجود خواهد داشت. شایان ذکر است، این مسئله بستگی به روند رو به رشد جمعیت و سیاست های پیشرو خواهد داشت که در صورت همگرا بودن عملکرد کشورها (سناریو A1B) پارامتر پتانسیل تابش و انرژی افزایش خواهد یافت و برای ماه های دیگر و سناریوهای دیگر با توجه به سیاست های فوق الذکر، این افزایش قابل مشاهده است.



شکل ۳- نقشه انتخاب محدوده تصفیه خانه و ایستگاه های هواشناسی

Figure 3- The map of the selection of the area of the refinery and meteorological stations



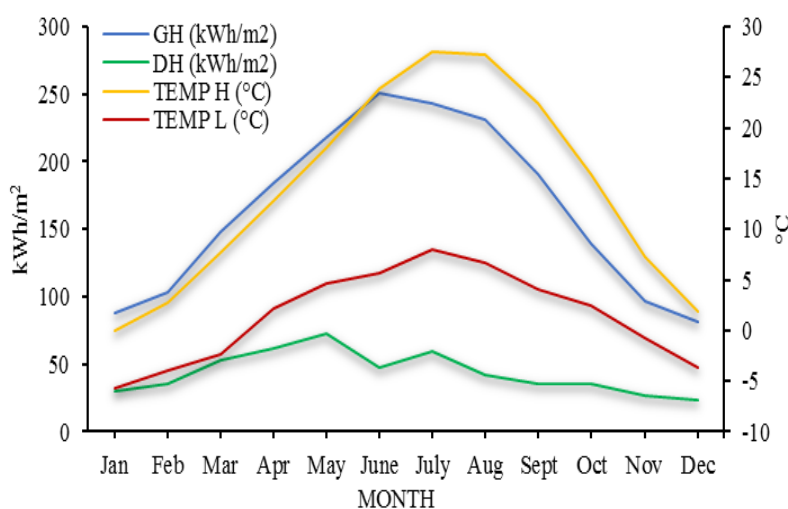
شکل ۴- نتایج استخراجی نرم افزار متئونرم، سناریوهای گزارش چهارم

Figure 4- Extractive results of Meteornorm software, scenarios of the fourth report

سه سناریو پیش‌بینی شدند که نشان‌دهنده پتانسیل برابر یا رو به رشد پتانسیل انرژی خورشیدی است و دما نیز با شیب خیلی کند در حال افزایش است.

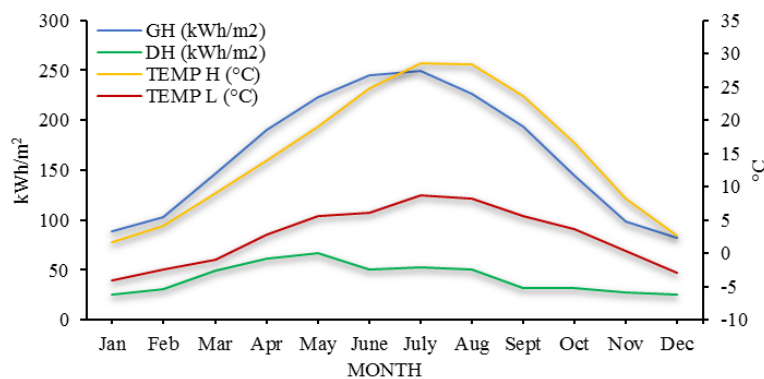
با توجه به بررسی‌های اجتماعی، اقتصادی، تکنولوژیکی و میزان غلظت برخی گازها برای دهه‌های آینده که در بخش مواد و روش‌ها به آن اشاره گردید، در سناریوی RCP 2.6 میزان غلظت کربن دی‌اکسید را تا سال ۲۱۰۰، ۴۹۰ میلی گرم در لیتر و اثر آن بر نگهداشت تابشی را ۲/۶ وات بر مترمربع تخمین زده است. این مقادیر در سناریوی RCP 4.5 به ترتیب ۶۵۰ میلی گرم در لیتر و ۴/۵ وات بر مترمربع و در سناریوی RCP 8.5 به ترتیب ۱۳۷۰ میلی گرم در لیتر و ۸/۵ وات بر مترمربع تخمین زده شده است. با بررسی نمودارهای سناریوهای استخراجی نیز می‌توان چنین گفت سناریو 2.6 به دلیل دوستدار محیط‌زیست بودن و کاهش تولید آلاینده‌ها افزایش دمای کمتری نسبت به بقیه سناریوها دارد. این مسئله بر میزان تابش خورشید نیز اثر می‌گذارد و به همین دلیل شاهد افزایش مقدار جزئی دما و انرژی خورشیدی در سناریو 8.5 نسبت به دو سناریو دیگر هستیم.

با توجه به اینکه پس از چهارمین گزارش، گزارش پنجم هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم AR5 توسط IPCC منتشر گردید، لذا داده‌ها تحت سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 برای دو پارامتر مهم، میزان انرژی خورشیدی و دما در شکل‌های (۵) تا (۸) استخراج گردید. همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، جهان شاهد پتانسیل بالای انرژی خورشیدی (GH) است. در منطقه مورد مطالعه میزان انرژی خورشیدی در اردیبهشت ماه نسبت به بقیه ماه‌ها برخلاف پتانسیل انرژی بالای ماه خرداد برای انرژی جهانی به‌دست‌آمده است. شیب نزولی انرژی جهانی برای بقیه ماه‌ها در منطقه مربوط نیز نشان‌دهنده کاهش پتانسیل انرژی خورشیدی است. نکته مهمی که نباید فراموش کرد توجه به دمای منطقه برای افزایش راندمان دریافتی صفحات خورشیدی است که آب‌وهوای متعادل شهرستان میاندوآب در این خصوص مزیت بسزایی دارد و منحنی‌های زرد و قرمز نیز میزان دمای بیشینه و کمینه استخراجی برای منطقه را نشان می‌دهند. بدین ترتیب با توجه به مطالب فوق‌الذکر برای شکل‌های (۶) تا (۸) نیز پارامترها برای سال ۲۰۳۰ تحت



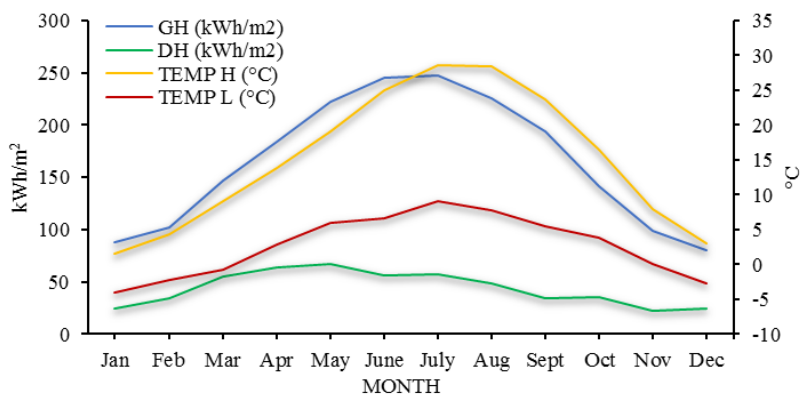
شکل ۵- انرژی جهانی (GH)، انرژی منطقه مورد مطالعه (DH)، دمای بیشینه (TEMP H) و دمای کمینه (TEMP L) برای ماه‌های مختلف سال ۲۰۲۰

Figure 5- Global horizontal irradiance (GH), diffuse horizontal irradiance (DH), high temperature (TEMP H) and low temperature (TEMP L) for different months in 2020



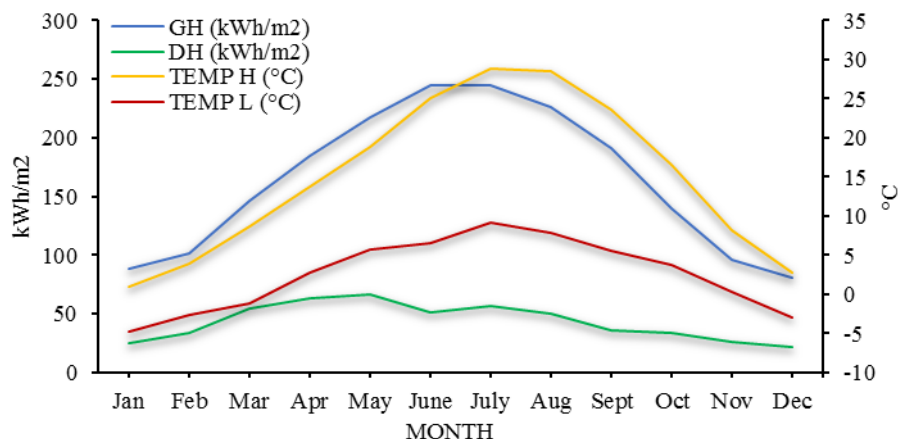
شکل ۶- انرژی جهانی (GH)، انرژی منطقه مورد مطالعه (DH)، دمای بیشینه (TEMP H) و دمای کمینه (TEMP L) برای سناریو RCP 2.6 در ماه های مختلف سال ۲۰۳۰

Figure 6- Global horizontal irradiance (GH), Diffuse horizontal irradiance (DH), high temperature (TEMP H) and low temperature (TEMP L) for RCP 2.6 scenario in different months of 2030



شکل ۷- انرژی جهانی (GH)، انرژی منطقه مورد مطالعه (DH)، دمای بیشینه (TEMP H) و دمای کمینه (TEMP L) برای سناریو RCP 4.5 در ماه های مختلف سال ۲۰۳۰

Figure 7- Global horizontal irradiance (GH), Diffuse horizontal irradiance (DH), high temperature (TEMP H) and low temperature (TEMP L) for RCP 4.5 scenario in different months of 2030



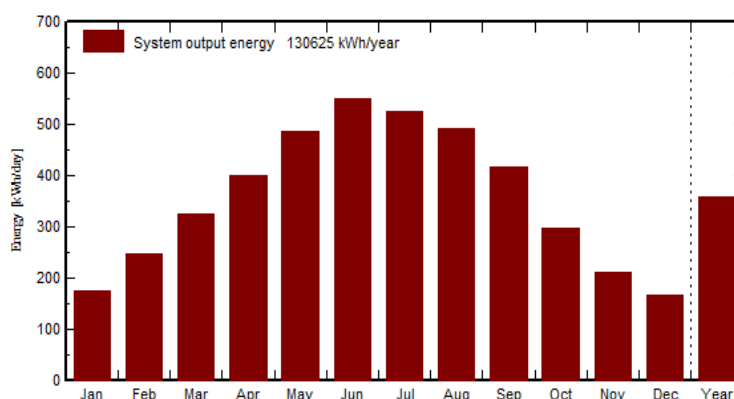
شکل ۸- انرژی جهانی (GH)، انرژی منطقه مورد مطالعه (DH)، دمای بیشینه (TEMP H) و دمای کمینه (TEMP L) برای سناریو RCP 8.5 در ماه های مختلف سال ۲۰۳۰

Figure 8 - Global horizontal irradiance (GH), Diffuse horizontal irradiance (DH), high temperature (TEMP H) and low temperature (TEMP L) for RCP 8.5 scenario in different months of 2030

برآورد میزان انرژی خورشیدی موجود در منطقه و انتخاب پمپ آب

پتانسیل سالانه انرژی خورشیدی سیستم مدنظر همان‌طور که در شکل (۹) مشاهده می‌گردد حدود ۱۳۱ هزار کیلووات ساعت است. بیشترین پتانسیل انرژی خورشیدی در ماه خرداد و کمترین آن در ماه‌های دی و آذر است. دلیل عملکرد بهتر ماژول‌های خورشیدی در ماه خرداد (در فصل بهار)، نسبت به ماژول‌های خورشیدی در تابستان، آن است که ماژول‌های خورشیدی در دماهای بسیار بالا شاهد مقداری افت عملکرد هستند.

میزان انتشار انرژی خورشیدی استخراجی سال ۲۰۲۰ بر اساس مدل استفاده‌شده، در مدل Pvsyst تحلیل شده است. در این راستا، میزان پوشش حوضچه تعیین و اثر سایه‌اندازی بررسی گردید و زاویه بهینه دریافتی صفحات خورشیدی انتخاب شد. در این تحقیق، از الگوی استاندارد با فناوری سلول‌های پلی‌کریستال با مساحت دو مترمربع استفاده گردید. بهترین زاویه شیب و جهت با بررسی زاویه‌های مختلف، به‌منظور دریافت انرژی حداکثری بررسی شد که زاویه ۳۷ درجه شیب و صفر درجه جهت، بهترین حالت ممکن برای دریافت انرژی در محدوده تصفیه‌خانه با انرژی سالانه حدود ۲۳۳۷ کیلووات ساعت بر مترمربع تشخیص داده شد و این زاویه نسبت به بقیه زاویه‌ها با اختلاف قابل‌توجهی برتری داشته است.



شکل ۹- پتانسیل سالانه انرژی خورشیدی سیستم

Figure 9- Annual solar energy potential of the system

۴۲۰۹۳۰۰ ریال در سال به مردم منطقه تحمیل می‌کند که با جاگذاری پنل‌ها مقدار تبخیر تا ۹۵ درصد کاهش پیدا خواهد کرد (Youssef & Khodzinskaya, 2019). برق مصرفی سالانه موردنیاز پمپاژ آب با احتساب ۶ ساعت کارکرد روزانه حدود ۴۸۱۸۰۰ وات برای پمپ آب ۲۲۰ وات‌ساعت برای یک سال برآورد گردید. با احداث صفحات خورشیدی شناور روی استخر تصفیه‌خانه، انرژی سالانه به میزان ۱۳۰ هزار کیلووات برای ۵۰۰ مترمربع برآورد گردید که میزان آب حفظ‌شده به ازای تولید یک وات انرژی ۳/۴ l/w (لیتر بر وات) است که مطابقت خوبی با نتایج تحقیقات قبلی دارد.

میزان انرژی دریافتی با مصرف پمپ آب با توان حداکثری ۲۲۰ وات با نسبت دبی ۰/۸ مترمکعب در ساعت و ارتفاع هیدرولیکی حدود ۳۰ متر انتخاب گردید. تبخیر از سطح آزاد آب منطقه نیز با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی دریافت شد. با اختصاص مساحت حدود ۵۰۰ مترمربع از تصفیه‌خانه و احتساب تبخیر و تعرق، سالانه به میزان ۹۳۵/۵ میلی‌متر در هر مترمربع، ۴۶۷/۷ مترمکعب هدر رفت آب از طریق تبخیر برای این مساحت اتفاق خواهد افتاد. با در نظر گرفتن پوشش صددرصدی بنا بر قیمت‌گذاری ۹۰۰۰ ریال به ازای هر مترمکعب آب، هزینه‌ای معادل

که صرفه جویی حاصل از استفاده از این فناوری طی ۶/۲ سال هزینه اولیه را جبران خواهد کرد.

نتیجه گیری

با توجه به مطالب ارائه شده، تصفیه خانه شهرستان میاندوآب پتانسیل خوبی برای تولید انرژی داراست. با اجرای پنل های خورشیدی روی استخر تصفیه خانه می توان انرژی الکتریکی را برای حدود ۲۷۱ موتور پمپ با کارکرد ۶ ساعته در ایستگاه پمپاژ آب تصفیه خانه آب شرب تبریز معروف به ایستگاه گلخانه (ساحل راست پایاب سد انحرافی نوروزلو) تأمین کرد. با توجه به اینکه تجهیزات ذخیره سازی انرژی (باتری) به دلیل هزینه بالا در سرمایه گذاری لحاظ نگردیده است. از این رو در صورت نیازداشتن به برق تولیدی توسط تصفیه خانه، می توان انرژی آن را برای مصارف ایستگاه های پمپاژ تازه تأسیس آبیاری تحت فشار مزارع و باغ ها و یا مصارف خانگی منطقه اختصاص داد. در خصوص کاهش تبخیر با فرض اثرگذار نبودن عوامل دیگر تبخیر و با اجرای پوشش کامل سطح استخر، حدود صد در صد برآورد گردید. مطالعات اقتصادی صورت گرفته بر اساس شرایط بهای برق در زمان مطالعات، بازگشت سرمایه نصب تجهیزات و تأسیسات مربوط پس از ۶/۲ سال اتفاق خواهد افتاد. در این بررسی مزایای دیگر این روش مانند کاهش تولید دی اکسید کربن و جلوگیری از آلودگی های زیست محیطی و نیز در هزینه اجاره و یا بهای زمین برای نصب صفحات لحاظ نشده است که این موارد در سرمایه گذاری اولیه صرفه جویی می شود.

مطالعات در ۱۱ نقطه مختلف در ساردینای ایتالیا، ۳ مورد در جزیره سیسیل و یک مورد در قبرس نشان می دهد مقدار آب حفظ شده از تبخیر به ازای هر وات انرژی تولید شده سه لیتر گزارش است (Kougiass et al., 2016). عملکرد نسبتاً بهتر صفحات در کاهش تبخیر در تحقیق حاضر می تواند به دلیل تفاوت اقلیمی و رطوبت بالا در حاشیه مدیترانه، نسبت به منطقه مورد مطالعه یعنی میاندوآب، باشد. درواقع، در مناطق با پتانسیل تبخیر بیشتر با سرعت وزش باد بالا عملکرد پنل ها در کاهش تبخیر می تواند از این مقدار نیز بیشتر باشد (Zarezadeh, 2024).

بدین ترتیب، میزان انرژی تولید شده از پنل های نصب شده انرژی مورد نیاز برای ۲۷۱ موتور پمپ آب را تأمین خواهد کرد. با برآوردی از بازگشت سرمایه خرید صفحات خورشیدی، هر پنل حدود ۳۰ میلیون ریال هزینه دارد که برای پنل های دو مترمربعی حدود ۲۵۰ پنل برای این مساحت مورد نیاز خواهد بود که هزینه کلی آن حدود ۷/۵ میلیارد ریال محاسبه گردید. اگر فرض بر این باشد که برق تولیدی مستقیم وارد شبکه توزیع برق گردد، با توجه به اینکه تعرفه خرید تضمینی برق تولیدی توسط اداره برق محاسبه می شود که بر پایه گزارش سازمان انرژی های تجدید پذیر برای مزرعه خورشیدی با ظرفیت ۱۰۰ کیلووات و کمتر، ۹۱۰۰ ریال است. لذا درآمد سالانه تولید برق برای ۱۳۱ مگاوات حدود ۱۱۹۲۱۰۰۰۰ ریال به دست می آید. براساس هزینه اولیه لازم برای خودکفایی برق مصرفی حدود ۷/۵ میلیارد ریال برای پمپاژ آب برآورد گردید. درآمد حاصل از تولید برق و کاهش تبخیر ۱۱۹۶۳۰۹۳۰۰ ریال خواهد بود

مراجع

- Afkhami, H., Esmailzadeh, 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)
- 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)
- 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.
- Babu, P. S., Eikaas, H. S., Price, A., & Verlee, D. (2010). Reduction of evaporative losses from tropical reservoirs using an environmentally safe organic monolayer. Singapore International Water Week, Singapore, 18.
- El Baradei, S. H. E. R. I. N. E., & Alsadeq, M. (2018). Impact of covering irrigation canals on evaporation rates in arid areas. Proceedings of International Structural Engineering and Construction.
- 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., & Javidi Sabakhian, 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.
- Goudarzi, M., Salahi, B., & Hosseini, S. A. (2018). Estimation of evapotranspiration rate due to climate change in the Urmia Lake Basin. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 12(41), 1-12. (in Persian)
- Hashemi Monfared, S. A., Rezapour, M., Rezapour, H., & Azhdary Moghaddam, M. (2018). Determination of the optimum angle of the floating solar panels to reduce evaporation and energy production by the ansys fluent model (Case Study: Chahnimeh No. 4 Sistan). Iranian journal of Ecohydrology, 5(4), 1297-1307.
- 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.
- Kougias, I., Szabo, S., Monforti-Ferrario, F., Huld, T., & Bódis, K. (2016). A methodology for optimization of the complementarity between small-hydropower plants and solar PV systems. Renewable Energy, 87, 1023-1030.
- Mazaheri, E., & Abdei Koupai, J. (2018). Reduction of evaporation from water reservoirs using floating covers in Isfahan. Iranian Journal of Soil and Water Research, 49(3), 597-605. (in Persian)
- Mojarad, F., & Moradi, K. (2014). A study of anomalies and trends of sunshine hours in Iran. Geography and Development, 12(34), 153-166. (in Persian)
- 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., Meftaholgi, 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*, 16(2). (in Persian)
- Reouf, M., & Rezaei, M. (2017). Reducing water evaporation and feasibility study of using solar panels for energy production in Shahid Kazemi Dam (Bukan). 16th Iranian Hydraulics Conference, Mohaghegh Ardabili University. (in Persian)
- Rezaei, M., & Ahmadi, H. (2021). Study of the application of solar cells on dam lakes (Case study: Nowruz Loo diversion dam). *Irrigation and Drainage Engineering Structures Research*, 22(82), 89-102. (in Persian)
- Rezaei, M., & Ilkhanipour, R. (2023). Economic optimization of irrigation canal covering with solar panels based on energy receiving angles (Case study: Nowruzloo dam irrigation canal). *Journal of Water Management in Agriculture*, 10(1), 111-130. (in Persian)
- Rezazadeh, A., Akbarzadeh, P., & Aminzadeh, M. (2020). Modelling and experimental investigation of the evaporation suppression using floating covers in the presence of surface flows. *Amirkabir Journal of Mechanical Engineering*, 52(7), 1193-2010. (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)
- Shams, M. H., Kia, M., & Mahdavi, B. (2013). Optimal design of a 100kw grid connected photovoltaic power plant in Tehran using pvsyst software. *Iranian Journal of Energy*, 16(2). (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.
- Torki, M., & Abedi, Z. (2012). External costs analysis electricity generation from fossil power plants : A case study of Iran, *Human and Environment Quarterly*, No. 19. (in Persian)
- Youssef, Y.W., & Khodzinskaya, A. (2019). A review of evaporation reduction methods from water surfaces. In *E3S web of conferences* (Vol. 97, p. 05044). EDP Sciences.
- Zarezadeh, M. (2024). Investigating the installation of solar panels in reducing the evaporation of water in canals. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab* (in persian), 34(6), 58-68.

Feasibility of Reducing the Evaporation of Water in the Treatment Plant And Supplying Electricity to the Pumping Station by Meteonorm and PVsyst Software (Case Study: Miandoab City)

***M. Rezaei, H. Ahmadi, M. Bayram**

***Corresponding Author:** PhD student in the Department of Engineering and Water Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 24 August 2024, **Accepted:** 20 October 2024

Email: rezaei.milad.uma@gmail.com

https://doi.org/ 10.22092/idser.2024.366799.1590

Extended Abstract

Introduction

In arid and semi-arid regions like Iran, which have recently faced a severe water crisis, evaporation negatively impacts the quality of surface and groundwater resources. Increased evaporation rates lead to a higher concentration of salts and minerals in water bodies, which degrades not only water quality but also soil quality, leading to soil erosion and diminished crop yields. Controlling evaporation is therefore critical in managing such crises and preventing further severe consequences.

The volume of water lost due to evaporation from water reservoirs, which have relatively large surface areas, compared to the volume of stored water, exceeds the amount used in crop production. Advanced countries use a variety of methods and cover the reservoirs to reduce evaporation from both water surfaces and soils. These include physical methods (applying used tires, floating bolls, making light-permeable concrete slabs), chemical methods (applying fatty alcohols, hexadecanol, octadecanol, etc.), as well as growing certain plant species like duckweed.

Water management strategies such as water demand management, reusing wastewater, applying water surface covers, and improving the efficiency of water resource use, particularly in agriculture are essential. Prioritizing water projects is also part of effective water management. However, methods that reduce evaporation while also generating energy are considered superior. One of the best covers for this purpose is solar panels for electricity generation.

Given Iran's low average precipitation (250 mm) compared to the global average (850 mm) and its high solar energy potential, utilizing this valuable resource can be highly beneficial in controlling evaporation from water surfaces. Consequently, this approach is cost-effective and economically viable compared to many other methods and is crucial for water conservation (Nematollahi et al, 2015; Álvarez et al, 2006; Soltani et al, 2018; Sepaskhah, 2018; Rezazadeh et al, 2020; Farzin & Alizadeh, 2015).

Materials and Method

In this research, climatic data for the city of Miandoab were obtained from the West Azerbaijan Province Meteorological Organization; data were analyzed. Key factors such as temperature, precipitation, humidity, solar radiation, and wind speed were studied to assess how the implementation of solar panels on irrigation canals might reduce their impact.

The analysis was carried out using Meteonorm software, a unique blend of trustworthy data sources and advanced calculation tools, providing access to normal years and registered time series. This software is used worldwide to create climatic data for a plethora of locations. It allows for the analysis of annual and monthly variations in temperature, precipitation, and solar radiation on a global scale, combined with databases and interpolation algorithms for different scenarios covering the period of 2010 to 2200.

Weather forecasts were generated with algorithms using the HadCM3 model, which is based on a simple autoregressive model, to produce realistic future monthly data (Remund et al, 2010). In the fourth IPCC report, the main emission scenarios, B1, A1B, and A2 ranged from the most optimistic to the most

pessimistic; these were replaced in the fifth report with RCP scenarios 2.6, 4.5, 6.0, and 8.5 (Mansouri et al., 2018). Furthermore, the study utilized PVSYST software for comprehensive simulations of solar photovoltaic systems, grid-connected, off-grid, and solar pump systems, analyzing shading effects and enabling the input of meteorological data from various sources, including personal data input manually. Finally, the analysis and reporting of these data were made possible (Khammar et al., 2020).

The optimization of photovoltaic systems depended on orientation according to the solar path (solar angle at local noon) as well as axial deviation to achieve maximum solar irradiance. Inputting geographical coordinates enhances the accuracy of the simulation results, adapting the projections to real-world settings. These data are based on NASA satellite measurements available for various geographical locations worldwide.

Results and Discussion

The study highlights the significant solar energy potential at the Miandoab wastewater treatment plant, with an estimated annual production of 131,000 kilowatt-hours. This capacity is sufficient to power around 271 water pump motors for six hours per day, demonstrating the viability of integrating solar energy into water management systems. Solar energy peaks in June, but higher summer temperatures reduce efficiency, illustrating the importance of temperature considerations when designing and placing solar modules. Additionally, floating solar panels serve the dual purpose of energy generation and reducing water loss through evaporation, preventing approximately 467.7 cubic meters of water loss annually, a critical factor in regions where water scarcity is a concern.

However, the study has some limitations. First, the analysis does not account for energy storage solutions such as batteries, which would be necessary for consistent power supply during off-peak solar hours. Second, while the panels reduce evaporation, their long-term impact on water quality and plant maintenance requires further investigation. Additionally, variations in solar radiation throughout the year may affect power consistency, especially during winter months. The economic analysis also assumes fixed energy prices and solar tariffs, which could fluctuate over time. Practically, the integration of floating solar panels can lead to self-sufficiency in energy production at the treatment plant, reducing dependency on external power sources and providing a return on investment within approximately 6.2 years. Furthermore, surplus electricity could be directed to nearby irrigation systems or local households, increasing the overall utility of the installation. Environmentally, the reduction in evaporation and carbon dioxide emissions supports sustainable development goals.

Conclusion

The study concludes that floating solar panels offer a cost-effective, environmentally beneficial solution to water evaporation and energy production. It is recommended that future work include detailed cost-benefit analyses of energy storage systems to improve reliability, along with monitoring the impact of solar panels on water quality. Expanding the project to similar facilities in water-scarce regions could further enhance sustainability efforts and maximize the benefits of this technology.

Keywords: Energy Efficiency, Evaporation Reduction, Floating Covers, Solar Energy, Water Storage

نوع مقاله: پژوهشی

برآورد شاخص های بهره‌وری آب آبیاری و عملکرد زراعت پنبه در شرایط مرسوم کشاورزی شهرستان های لارستان، داراب و فسا (مطالعه موردی: استان فارس)

امیر اسلامی^{۱*}، محمد مهدی نخبجوانی مقدم^۲، محمد مهدی قاسمی^۳ و اکبر جوکار^۴

* و ۴) استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

۲ و ۳) استادیار بخش تحقیقات آبیاری، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۹

چکیده

شناسایی و رفع موانع تولید گیاه پنبه، یکی از مهم ترین کالاهای استراتژیک، از قبیل تغییرات اقلیمی و چالش های خشکی و کم آبی از یک سو و ناپایداری عملکرد و کیفیت نامناسب محصول از سوی دیگر، اهمیت توجه به تحقیقات کاربردی و انتقال دانش فنی به عرصه تولید را دو چندان کرده است. تحقیق حاضر با هدف اندازه گیری آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری پنبه در شرایط مرسوم در شهرستان های لارستان، داراب و فسا در استان فارس به اجرا درآمده است. بدین منظور ۲۰ مزرعه (۱۸ مزرعه آبیاری سطحی و ۲ مزرعه آبیاری قطره ای نواری) منتخب در شهرستان های لارستان، داراب و فسا انتخاب و عملکرد محصول و میزان آب آبیاری در آن ها اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که میانگین شاخص های عملکرد، میزان آب آبیاری و بهره‌وری آب آبیاری پنبه در ۱۸ مزرعه منتخب استان که با روش سطحی آبیاری می شدند، به ترتیب برابر ۴۴۵۰ کیلوگرم بر هکتار، ۹۸۹۹ مترمکعب بر هکتار و ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. بر اساس نتایج این تحقیق، توصیه می شود از یک سو تاریخ کشت و برداشت به ترتیب ۲۰ خردادماه و اول آبان ماه رعایت گردد. از سوی دیگر با قبول ۲۰ تا ۲۵ درصد کم آبیاری تنظیم شده در دوره رشد، میزان آب آبیاری بهینه، بدون لحاظ کردن ضریب آبشویی برای گیاه پنبه، در این مناطق با روش آبیاری سطحی بین ۹۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مترمکعب در هکتار در نظر گرفته شود. همچنین تاکید می شود کشاورزان پیش از کاشت پنبه، از خاک نمونه برداری کنند و طبق توصیه های کارشناسان، کوددهی بهینه را دنبال کنند.

واژه های کلیدی: آب آبیاری، عملکرد پنبه، نیاز آبی، مدیریت آبیاری

مقدمه

آبی اگر رشد سبزینه ای را خیلی محدود کند باعث شروع

زود هنگام گل دهی می شود. در مراحل قبل و دوره گل دهی و همچنین تشکیل غوزه نسبت به آب حساسیت بیشتری نشان می دهد. به طور کلی، تأثیر خواص کیفی آب عمدتاً به رقم وابسته است. کمبود شدید آب درصد روغن دانه را کاهش می دهد و اثر مستقیم کمبود آب روی خواص الیاف پنبه به دلیل ریزش غوزه ها قابل مشاهده نیست (Kiani, 2013). بعد از انتخاب رقم، کاشت بذر و استقرار بوته، بزرگ ترین تصمیم

پنبه (*Gossypium spp.*) برای رشد مناسب و تشکیل و تکمیل غنچه، گل و غوزه های سالم نیاز به رطوبت مناسب در تمام فصل رشد دارد. اما مراحل مختلف رشد نسبت به آب واکنش یکسانی ندارند. آب زیاد در مراحل اولیه رشد باعث افزایش شاخ و برگ، افزایش توقع گیاه به آب و مواد غذایی، محدودیت جریان هوا، محدودیت رشد ریشه و تاخیر در گل دهی و باز شدن غوزه ها می شود. از طرف دیگر، تنش

مکعب بر هکتار گزارش کرده است. اسدی و همکاران (Asadi et al., 2012) گزارش داده‌اند که میزان آب مصرفی پنبه در منطقه اورزویی کرمان در صورت تامین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب برابر ۹۲۰۰، ۷۷۰۰ و ۶۰۰۰ متر مکعب بر هکتار است. نتایج تحقیقات رحیمیان و کاخکی (Rahimian and Kakhki, 2016) نیز نشان می‌دهد آب مورد نیاز پنبه در دوره رشد در منطقه کاشمر حدود ۶۰۰۰ تا ۹۰۰۰ مترمکعب بر هکتار است و در مناطقی که دمای هوا زیاد و خاک منطقه شنی باشد، آب مورد نیاز پنبه به ۱۱۰۰۰ مترمکعب بر هکتار نیز خواهد رسید.

نخجوانی مقدم و همکاران (Nakhjavani Moghadam et al., 2019) در پژوهشی آب کاربردی پنبه در کشور در ۱۲۱ مزرعه تحت مدیریت کشاورزان در استان‌های خراسان رضوی، فارس، گلستان، خراسان شمالی، اردبیل، سمنان و البرز طی سال ۱۳۹۷ را بررسی کردند. نتایج میانگین میزان آب مصرفی در استان‌های خراسان رضوی، فارس، گلستان، خراسان شمالی، اردبیل، سمنان و البرز به ترتیب برابر ۹۸۳۰، ۹۹۴۵، ۵۰۷۰، ۶۸۱۵، ۷۵۴۳، ۱۰۵۳۶ و ۸۳۹۳ مترمکعب در هکتار به دست آمده است. میانگین آب مصرفی پنبه کشور در دو روش آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب برابر ۹۰۹۷ و ۷۲۴۵ مترمکعب در هکتار تعیین شده است. میانگین عملکرد پنبه، حجم آب مصرفی و بهره‌وری فیزیکی آب در سطح کشور به ترتیب ۳۳۸۳/۵ کیلوگرم در هکتار، ۸۹۸۰ مترمکعب در هکتار و ۰/۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمده است. جعفرآقایی و جلالی (Jafari et al., 2013) برای مقادیر شوری آب ۴، ۷، ۱۰ و ۱۳ (دسی) اصفهان، زمینس بر متر) میزان آب مصرفی پنبه را به ترتیب برابر ۱۰۸۵۶، ۱۲۰۶۲، ۱۲۷۷۱ و ۱۳۵۷۰ مترمکعب در هکتار و بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری پنبه را به ترتیب برابر ۰/۳۹، ۰/۳۱، ۰/۲۴ و ۰/۱۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نمودند. مقایسه آبیاری قطره‌ای با آبیاری سطحی حکایت از برتری

مدیریتی در مزرعه پنبه، انتخاب زمان مناسب شروع آبیاری است (Sohrabi Moshkabadi, 2016). اولین آبیاری روی آبیاری‌های بعدی و فنولوژی گیاه اثر مستقیم می‌گذارد (Silvertooth et al., 2001). بر اساس آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی سطح زیرکشت پنبه (کشت آبی) در کشور ۸۷/۵ هزار هکتار است. استان‌های دارای بیشترین سطح زیرکشت پنبه در کشور، به ترتیب خراسان رضوی، فارس، گلستان، اردبیل و خراسان شمالی هستند (Agricultural Statistics, 2024). مطابق با مطالعات سهرابی مشک‌آبادی (Sohrabi Moshkabadi, 2016)، میزان آب مصرفی پنبه بین ۲۸۵۰ تا ۵۹۰۰ متر مکعب بر هکتار، عملکرد پنبه بین ۱۷۰۰ تا ۳۸۰۰ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری آب آبیاری پنبه بین ۰/۲ تا ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب در مناطق مختلف استان گلستان گزارش شده است. آذری (Azari, 1996) نیاز آبی پتانسیل پنبه رقم ساحل را به روش لایسیمتری در ایستگاه تحقیقات پنبه هاشم آباد گرگان مطالعه کرد و به این نتیجه رسید که تبخیر و تعرق پتانسیل رقم مذکور ۷۷۸ میلی‌متر و میانگین ضریب گیاهی پنبه ۰/۸۲ است. آب خالص موردنیاز پنبه با استفاده از برنامه نرم افزاری Cropwat توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب برای منطقه گرگان ۷۶۵ میلی‌متر محاسبه شده است (Farshi et al., 2015). در حالی که سهرابی مشک‌آبادی (Sohrabi Moshkabadi, 2013) در تحقیقات خود نیاز آبی واقعی پنبه در منطقه مذکور را حدود نصف مقدار اعلام شده و بین ۴۲۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر برآورد کرده است. به طور کلی میزان آب آبیاری فصلی پنبه تابع شرایط اقلیمی، رقم، طول دوره رشد و ویژگی‌های خاک است و دامنه تغییرات آن بسته به شرایط از ۴۰۰ میلی‌متر تا حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر در کشور در نوسان است. طول دوره رشد گیاه پنبه بسته به اقلیم و رقم از ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز متغیر است (Kiani, 2013). قائمی (Ghaemi, 2018) در تحقیقات خود مقدار آب آبیاری مورد نیاز کشت پنبه (رقم ورامین) را در منطقه ورامین حدود ۱۰۱۱۰ متر

قابل توجه اقتصادی به دلیل صرفه‌جویی مناسب آب در این روش آبیاری است (Aujla et al., 2005; Bakhtiyor et al., 2003). در مطالعه‌ای در منطقه جنوب شرق ترکیه، سه روش آبیاری شیاری، بارانی و قطره‌ای نواری برای گیاه پنبه مقایسه شدند. حداکثر عملکردهای وش پنبه ۴۳۸۰، ۳۶۳۰ و ۳۳۸۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب مربوط به روش‌های آبیاری قطره‌ای نواری، شیاری و بارانی بود. بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری در سه روش فوق به ترتیب ۴/۸۷، ۳/۸۷ و ۲/۳۶ کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار بود (Cetin and Bilgel, 2002). در تگزاس که منطقه‌ای است نیمه خشک، بیشترین عملکرد پنبه در روش آبیاری قطره‌ای نواری که به میزان ۷۴۰ میلی‌متر آب مصرف کرده بود، به‌دست آمد (Wanjura et al., 2002). با اجرای آزمایش مزرعه‌ای طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ مشخص شد که برای گیاه پنبه در مناطق خشک و نیمه خشک هندوستان، روش آبیاری قطره‌ای نواری بر روش آبیاری شیاری مزیت دارد. تامین ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه پنبه در روش آبیاری قطره‌ای نواری به‌ترتیب سبب صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی به میزان ۳۰ و ۱۷ درصد نسبت به روش آبیاری شیاری شده است (Rao et al., 2016). در تحقیقی اثر دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی طی دو سال بر عملکرد و بهره‌وری آب پنبه در منطقه کاشمر بررسی شد و مقدار عملکرد وش در دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب ۳۰۷۴ و ۳۹۸۸ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد که با هم اختلاف معنی‌دار دارند. بهره‌وری آب الگوهای مذکور به ترتیب ۰/۲۶۸ و ۰/۳۴۹ کیلوگرم وش به ازای مصرف هر مترمکعب آب بود (Jolaini and Mehrabadi, 2010). نتایج مقایسه دو روش آبیاری قطره‌ای نواری و نشتی در زراعت پنبه در خراسان رضوی نشان داد که با صرفه‌جویی قابل توجه در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به روش آبیاری شیاری (۴۲ درصد) میزان تولید کل پنبه بدون اضافه کردن منابع جدید آبی افزایش می‌یابد (Afshar and Mehrabadi, 2016).

ابراگیموف و همکاران (Ibragimov et al., 2007) طی تحقیقی ۳ ساله بهره‌وری آب پنبه را در دو روش آبیاری قطره‌ای نواری و شیاری مقایسه کردند و نتیجه گرفتند با کاربرد روش آبیاری قطره‌ای نواری نسبت به روش آبیاری شیاری به میزان ۱۸ تا ۴۲ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود و میزان بهره‌وری آب در روش آبیاری قطره‌ای نواری به میزان ۳۵ تا ۱۰۳ درصد نسبت به روش آبیاری شیاری افزایش می‌یابد.

اسلامی و همکاران (Eslami et al., 2019) در تحقیقی، برنامه‌ای ساده برای آبیاری مزارع پنبه مجهز به سامانه آبیاری قطره‌ای نواری در مناطق شهرهای داراب و لار ارائه دادند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین مدت زمان هر نوبت آبیاری پنبه معادل ۷۰۰ دقیقه در یک خاک لوم رسی با راندمان یکنواختی ۷۰ درصد سامانه و با فاصله ۳۰ سانتی‌متری و دبی ۲/۱ لیتر در ساعت روزنه‌ها به‌دست آمد. کمترین مدت زمان آبیاری مربوط به خاک رسی شنی با راندمان یکنواختی ۹۰ درصد سامانه و با فاصله ۲۰ سانتی‌متری و دبی ۸/۲ لیتر در ساعت روزنه‌ها و معادل ۱۰۰ دقیقه به‌دست آمد. حداکثر دفعات آبیاری به سه بار در هفته برای خاک رسی شنی در مرداد ماه توصیه شد. میزان کل نیاز آبی ناخالص پنبه در مناطق شهرستان‌های داراب و لارستان به ترتیب ۹۲۱۰ و ۱۰۰۲۰ مترمکعب در هکتار برآورد گردید. زارت و باستیانسن (Zwart and Bastiannsen, 2004) بر اساس تحلیل جامع از نتایج تحقیقات و آزمایش‌های ۲۵ ساله دریافتند که دامنه مقادیر بهره‌وری آب پنبه از مقادیر گزارش‌شده توسط سازمان فائو تجاوز می‌کند. دامنه تغییرات برای پنبه (دانه)، پنبه (الیاف)، به ترتیب برابر ۰/۹۵-۰/۴۱ و ۰/۳۳-۰/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب اعلام شد. این محققان نتیجه‌گیری کردند که پتانسیل و فرصت برای حفظ یا افزایش بهره‌وری آب پنبه زیاد است. شیروانیان و همکاران (Shirvanian et al., 2013) به منظور بررسی اقتصادی روش کم‌آبیاری پنبه و تعیین

وری آب پنبه تحت آبیاری قطره ای زیرسطحی تحقیقاتی کردند. طرح آزمایشی در قالب اسپلیت پلات با تیمارهای مقدار آبیاری در دو سطح ۳۱۷۷ و ۳۸۴۰ متر مکعب در هکتار و تعداد آبیاری در سه سطح ۹، ۸ و ۷ بار در نظر گرفته شد. نتایج تحقیق نشان داد که تیمار ۳۸۴۰ مترمکعب در هکتار و تعداد ۸ بار آبیاری بهترین تیمار بوده است و سبب افزایش کارایی مصرف آب غوزه پنبه، کاهش نوسان های دمای خاک و تجمع نمک سطحی شده است.

با توجه به جمع بندی سوابق تحقیق مشخص می شود که بر اساس اقلیم و شرایط مختلف مزرعه، مقادیر متفاوتی آب آبیاری به محصول پنبه داده می شود. این شاخص از ۲۸۵۰ تا ۱۷۶۲۰ متر مکعب در هکتار متغیر گزارش شده است. با توجه به اینکه پنبه جزو محصولات نسبتاً مقاوم به شوری است، مقدار بالای آب آبیاری مربوط به مناطقی است که شوری آب و خاک زیاد است و برای آبشویی باید آبیاری اضافه صورت گیرد. میانگین بهره وری آب این محصول در کشور ۰/۴۳ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمده است. نکته مهم دیگر، برتری روش آبیاری قطره ای نواری نسبت به روش سطحی است که در تمام سوابق تحقیق بر این نکته تاکید شده است که این روش می تواند حداقل ۳۰ درصد صرفه جویی آب را در پی داشته باشد. هدف اصلی در این پژوهش اندازه گیری آب آبیاری، عملکرد و بهره وری آب آبیاری پنبه در همان شرایطی است که کشاورزان در شهرستان های لارستان، داراب و فسا در استان فارس اعمال می کنند.

مواد و روش ها

ویژگی های مناطق مورد مطالعه

شهرستان لارستان در جنوب استان فارس و بین نوار ۵۳ درجه و ۸۷ دقیقه تا ۵۵ درجه ۴۴ دقیقه طول شرقی و ۲۷ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. لارستان از نظر آب و هوا جزء مناطق گرم و

آستانه اقتصادی اعمال آن در شهرستان داراب تحقیقاتی کردند و نشان دادند سطح آستانه اقتصادی کم آبیاری پنبه ۸۸۶۹ مترمکعب آب آبیاری در هکتار است که نسبت به میزان آب مصرفی در سطح آبیاری کامل موجب صرفه جویی ۳۱ درصد (۳۹۷۷ مترمکعب در هکتار) در آب آبیاری می شود. فیک و همکاران (Feike et al., 2017) برای افزایش درک کشاورزان پنبه کار چینی از بهره وری آب مطالعاتی در شمال غرب چین دنبال کردند. در این منطقه، استفاده بیش از حد از منابع محدود آب های سطحی نه تنها موجب تخریب محیط زیست شده است بلکه به دلیل رقابت میان کشاورزان، بهره برداری از آب های زیرزمینی نیز به شدت گسترش یافته است. این محققان در بررسی پرسشنامه های ۱۱۲ بهره بردار دریافتند که اندازه مزرعه، نوع محصول و تعداد کشت در سال در انتخاب سیستم آبیاری قطره ای موثر بوده اند.

عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2024) در تحقیقاتی جامع با هدف ارزیابی حجم آب آبیاری و بهره وری آب، ۳۵ محصول زراعی، باغی و سبزی و صیفی در ایران را در نظر گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد میانگین وزنی حجم آب آبیاری (نسبت به سطح زیر کشت) به تفکیک محصولات باغی، زراعی و سبزی و صیفی به ترتیب ۹۱۶۲، ۷۶۶۹ و ۷۲۴۷ مترمکعب بر هکتار است. حجم کل آب مورد استفاده برای ۳۵ محصول مورد مطالعه ۶۱/۷ میلیارد مترمکعب و حجم کل آب آبیاری دیگر محصولاتی که در این تحقیق ارزیابی نشده بودند، ۹/۴ میلیارد مترمکعب برآورد شد که در مجموع حدود ۷۰ درصد حجم کل آب تجدیدپذیر کشور است. میانگین وزنی بهره وری آب آبیاری و آب محصولات مورد مطالعه به ترتیب ۱/۹ و ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد که با مقدار هدف گذاری شده در برنامه چشم انداز ۲۰ ساله بسیار نزدیک است. لی و همکاران (Li et al., 2024) از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳ در شیپزی چین با هدف بهینه سازی استراتژی های آبیاری برای بهبود محیط خاک و افزایش بهره

با توجه به تعداد ساعت آبیاری، حجم آب آبیاری در هر نوبت آبیاری در هر یک از مزارع منتخب تعیین شد.

بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری

ساده‌ترین روشی که در مزارع کشاورزان برای برآورد بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری گیاه می‌توان به کار برد، اندازه‌گیری عملکرد و مقدار آب آبیاری در فصل زراعی است. با داشتن این مقادیر و با توجه به رابطه (۱) بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری محاسبه می‌شود (Abbasi et al., 2016).

$$WP_p = \frac{Y}{I} \quad (1)$$

که در آن: WP_p بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) و I عمق آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) است.

نیاز آبی خالص و ناخالص پنبه

برای برآورد نیاز آبی خالص پنبه در مناطق مورد مطالعه، ابتدا تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از نرم افزار ET_0 -calculator به روش فائو پنمن مانیتث محاسبه شد (Raes, 2012). بدین منظور از اطلاعات نزدیکترین ایستگاه‌های هواشناسی به مناطق مورد مطالعه استفاده گردید. اطلاعات هواشناسی مورد استفاده شامل متوسط روزانه مقادیر دمای حداکثر و حداقل هوا، درصد رطوبت نسبی حداکثر و حداقل هوا، سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری (متر بر ثانیه) و تعداد ساعات آفتابی در شبانه روز در یک دوره آماری ۱۰ ساله بودند. پس از تعیین مقادیر تبخیر - تعرق مرجع، میزان تبخیر-تعرق پتانسیل پنبه (نیاز آبی) در مناطق مورد مطالعه با استفاده از رابطه (۲) برآورد گردید.

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad (2)$$

که در آن: ET_c تبخیر-تعرق گیاهی (میلی‌متر بر روز)، K_c ضریب گیاهی (بدون بعد) و ET_0 تبخیر-تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز) است.

خشک به‌شمار می‌رود و دارای زمستان‌هایی معتدل و تابستان‌هایی بسیار خشک است. شهرستان داراب در جنوب غربی استان فارس قرار دارد. بیشتر مناطق شهرستان داراب از نظر آب و هوایی گرمسیری است که بارش در آن بیشتر به صورت باران است و از ۳۵۰ میلی‌متر در سال تجاوز نمی‌کند. شهرستان فسا در ارتفاع ۱۱۵۰ متری از سطح دریا قرار گرفته و بلندترین نقطه این شهرستان خرمن‌کوه در کنار روستای کچویی به ۳۲۲۰ متر ارتفاع است. فسا در منطقه نیمه‌خشک معتدل قرار گرفته‌است و میزان بارندگی آن به‌طور متوسط حدود ۳۲۰ میلی‌متر در سال است.

روش تحقیق

این تحقیق به‌صورت میدانی و به‌منظور تعیین آب آبیاری پنبه در مزارع تحت مدیریت کشاورزان طی یک فصل زراعی (۱۳۹۷-۱۳۹۸) در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا در استان فارس اجرا شد. مزارع آزمایشی در شهرستان‌ها با کمک کارشناسان معاونت تولیدات گیاهی، مدیریت هماهنگی ترویج و مدیریت آب و خاک سازمان جهاد کشاورزی استان و در نهایت کارشناسان مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان‌ها طوری شناسایی و انتخاب شدند که کشاورزان معمولی و نیز کشاورزان پیشرو در آنها وجود داشته باشند. در این پژوهش، اندازه‌گیری‌ها در خصوص تعیین حجم آب آبیاری با در نظر گرفتن عوامل مختلفی مانند روش آبیاری (سطحی و قطره‌ای نواری)، اندازه قطعات زراعی و کیفیت آب و خاک مزارع در نظر گرفته شد. بدین ترتیب در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا به ترتیب تعداد ۷، ۸ و ۵ مزرعه پنبه انتخاب شد.

میزان آب آبیاری محصولات از طریق مراجعه حضوری به مزارع و باغ‌های منتخب، اندازه‌گیری شد. برنامه آبیاری ثبت گردید و دبی منبع آب با استفاده از دستگاه فلوام WSC و کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. پس از تعیین دبی منبع آب،

برای تعیین مقادیر ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد پنبه، ابتدا با توجه به مشاهدات مزرعه‌ای، مراحل چهارگانه رشد پنبه مشخص شد. پس از آن ضریب‌های گیاهی مربوط به هر مرحله رشد بر اساس پیشنهاد نشریه فائو ۵۶ (Allen et al., 1998) انتخاب گردید. برای مقایسه میزان آب کاربردی توسط کشاورزان با نیاز آبیاری واقعی در مزارع منتخب پنبه، ابتدا از طریق تقسیم نیاز آبی پنبه بر راندمان آبیاری در هر یک از مزارع میزان نیاز آبیاری محاسبه گردید. با توجه به نظر کارشناسان و شیوه آبیاری در مزارع مورد مطالعه، پتانسیل راندمان آبیاری برای روش‌های قطره‌ای نواری و سطحی به ترتیب به میزان ۹۰ و ۶۰ درصد در نظر گرفته شد (Abbasi and Abbasi, 2023).

نتایج و بحث

بررسی مشخصات مزارع انتخابی

در این تحقیق ۲۰ مزرعه پنبه که از رقم گلستان برای کشت استفاده کرده بودند، در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا انتخاب شدند. مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین شاخص‌ها در جدول (۱) آمده است. منبع آب در تمامی مزارع از نوع زیرزمینی (چاه) بود. شوری آب مورد استفاده برای مزارع پنبه منتخب استان متغیر و بین ۰/۹ تا ۸/۳ دسی‌زیمنس بر متر و شوری خاک بین ۱/۵ تا ۱۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد (جدول ۱). در بین داده‌های شوری آب و خاک سه شهرستان، بیشترین انحراف معیار در شهرستان فسا محاسبه شده است. این شاخص برای شوری آب معادل (۲) و برای شوری خاک معادل (۳) در این شهرستان به‌دست آمده است (جدول ۱).

روش‌های آبیاری در شهرستان داراب با آزمون تی-استودنت تجزیه و تحلیل شد. برای بررسی تغییرات عملکرد، حجم آب آبیاری و شاخص بهره‌وری آب در تولید پنبه در شهرستان‌های مورد نظر از نرم افزار SPSS 26 برای تجزیه و

جدول ۱- مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین حجم آب آبیاری، شوری آب و خاک، مساحت و عملکرد مزارع پنبه منتخب در

شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا استان فارس در سال زراعی ۱۳۹۷-۹۸

Table 1- The minimum, maximum and average values of applied Irrigation water, water and soil salinity, area and yield of selected cotton farms in Larestan, Darab and Fasa cities of Fars province in the crop year 2017-2018

شهرستان City	پارامتر Parameter	حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) Applied irrigation water (m ³ /ha)	شوری آب (دسی زیمنس بر متر) Water salinity (dS/m)	شوری خاک (دسی زیمنس بر متر) Soil salinity (dS/m)	مساحت مزرعه (هکتار) Area (ha)	عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) Yield of cotton (kg/ha)
لارستان	حداقل	۵۶۱۶	۲/۰	۳/۴	۱۰/۰	۳۵۰۰
	حداکثر	۱۶۱۸۹	۵/۵	۸/۹	۲۴/۵	۴۹۰۰
	میانگین	۹۲۶۱	۳/۸	۶/۰	۱۳/۸	۴۳۰۰
	انحراف معیار	۳۶۰۹	۱	۲	۵	۴۵۰
داراب	حداقل	۶۹۱۲	۰/۹	۱/۵	۵/۰	۵۲۰۰
	حداکثر	۱۴۶۴۴	۱/۳	۲/۱	۵۳/۵	۷۰۰۰
	میانگین	۱۱۴۳۰	۱/۱	۱/۷	۱۷/۶	۵۷۷۵
	انحراف معیار	۲۸۳۱	۰	۰	۱۵	۵۳۳
فسا	حداقل	۵۷۳۹	۳/۱	۴/۷	۳/۰	۲۸۰۰
	حداکثر	۱۲۷۴۶	۸/۳	۱۲/۵	۱۲/۰	۳۲۰۰
	میانگین	۸۵۲۵	۵/۴	۸/۱	۶/۶	۳۰۸۰
	انحراف معیار	۲۳۸۰	۲	۳	۳	۱۶۰

مأخذ: داده‌های تحقیق

شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا به ترتیب معادل ۹۲۶۱، ۱۱۴۳۰ و ۸۵۲۵ مترمکعب بر هکتار اندازه‌گیری شده است. بیشترین و کمترین انحراف معیار این شاخص به ترتیب در شهرستان‌های لارستان معادل ۳۶۰۹ و فسا با مقدار ۲۳۸۰ مشاهده شده است.

تغییرات عملکرد پنبه در مزارع منتخب

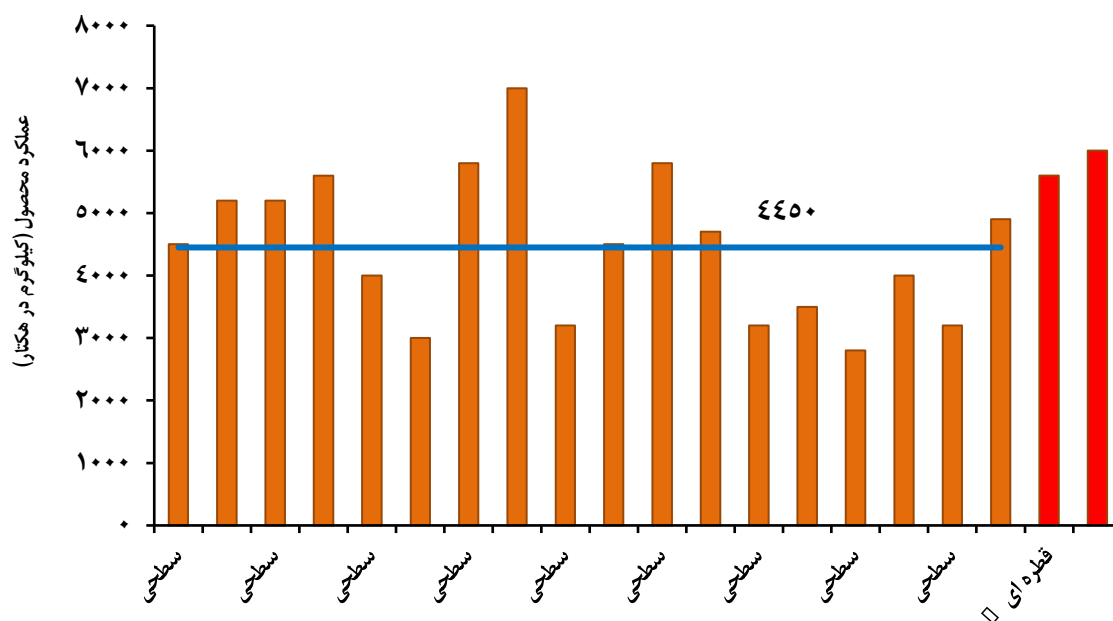
برای آبیاری مزارع منتخب پنبه استان، کشاورزان از دو روش آبیاری قطره‌ای نواری و سطحی به ترتیب ۲ و ۱۸ مورد استفاده می‌کردند (شکل ۱). توضیح اینکه، در سالی که مطالعات دنبال می‌شد، مزرعه دیگری وجود نداشت که به روش قطره‌ای نواری آبیاری شود و تنها همین دو مزرعه در شهرستان داراب به این روش آبیاری می‌شدند. دامنه تغییرات مقادیر عملکرد پنبه در مزارع منتخب استان زیاد و بین ۲۸۰۰ تا ۷۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار بود. مطابق شکل (۱)، متوسط عملکرد محصول در ۱۸ مزرعه منتخب استان که با روش سطحی آبیاری می‌شدند، برابر ۴۴۵۰ کیلوگرم بر هکتار بود که نسبت به میانگین استانی که در آمارنامه ذکر شده است، ۲۳/۷ درصد افزایش عملکرد به دست آمده است. بر اساس نتایج سوابق تحقیق (Cetin and Bilgel, 2002)، چنانچه تعداد مزارع منتخب با آبیاری قطره‌ای نواری افزایش می‌یافت انتظار می‌رفت که اختلاف این دو میانگین افزایش می‌یافت.

تغییرات حجم آب آبیاری در تولید پنبه

دامنه تغییرات مقادیر آب آبیاری در ۲۰ مزرعه منتخب استان زیاد و بین ۵۶۱۶ تا ۱۶۱۹۰ مترمکعب بر هکتار است. میانگین حجم آب آبیاری در ۱۸ مزرعه منتخب که با روش آبیاری سطحی آبیاری می‌شدند برابر ۹۸۹۹ مترمکعب بر هکتار به دست آمد (شکل ۲). در بین مزارع منتخب تنها دو مزرعه با آبیاری قطره‌ای نواری آبیاری می‌شدند، بنابراین در مورد این روش نمی‌توان ارزیابی دقیقی کرد به همین دلیل صرفاً به ارائه میانگین روش سطحی اکتفا شده است.

میانگین دوره رشد پنبه در مزارع منتخب نزدیک به ۱۴۱ روز بود. اما کیانی (Kiani, 2013) این شاخص را بین ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز گزارش داده است. همان‌طور که در جدول (۱) مشخص است مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین مساحت مزارع انتخابی به ترتیب ۳ (فسا)، ۵۳/۵ (داراب) و ۱۲/۷ هکتار بود. بیشترین انحراف معیار این شاخص در شهرستان داراب و معادل ۱۵ محاسبه شد (جدول ۱). میانگین عملکرد محصول پنبه در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا به ترتیب ۴۳۰۰، ۵۷۷۵ و ۳۰۸۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۱). بیشترین میزان تغییر در شاخص عملکرد در شهرستان داراب حاصل شده است به طوری که انحراف معیار آن معادل ۵۳۳ محاسبه شد. کمترین تغییرات نیز با انحراف معیار معادل ۱۶۰، در شهرستان فسا به دست آمد. کمترین عملکرد محصول در شهرستان فسا دیده می‌شود که علاوه بر شوری بالای خاک نسبت به سایر شهرستان‌ها به دلیل افزایش ناگهانی دما (بین ۴۴ تا ۴۶ درجه سانتی‌گراد) در زمان اوج گل‌دهی بوده که سبب ریزش گل و غوزه‌های تازه تشکیل شده گردیده است. از طرف دیگر، آفت سنک پنبه نیز در این زمان به اوج خود رسیده بود که این عامل نیز باعث ریزش غوزه‌ها شد. در شهرستان داراب که بیشترین عملکرد به دست آمده روش کشت در مزارع منتخب با ماشین کمپینات و ردیفکار بوده است، در مزارع منتخب شهرستان فسا کاشت به روش دست‌پاش یا با ماشین کودپاش کشت بوده است. برابر آمارنامه سال ۱۳۹۹ سازمان جهاد کشاورزی فارس (Statistics of Jihad-Agricultural Organization of Fars, 2021) میانگین عملکرد پنبه در استان ۳۵۹۷ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است که در مزارع منتخب شهرستان‌های لارستان و داراب به ترتیب ۱۹/۵ و ۶۰/۶ درصد افزایش و در شهرستان فسا ۱۴/۴ درصد کاهش عملکرد به دست آمده است.

در خصوص شاخص حجم آب آبیاری در جدول (۱)، همان‌طور که مشاهده می‌شود میانگین این شاخص در



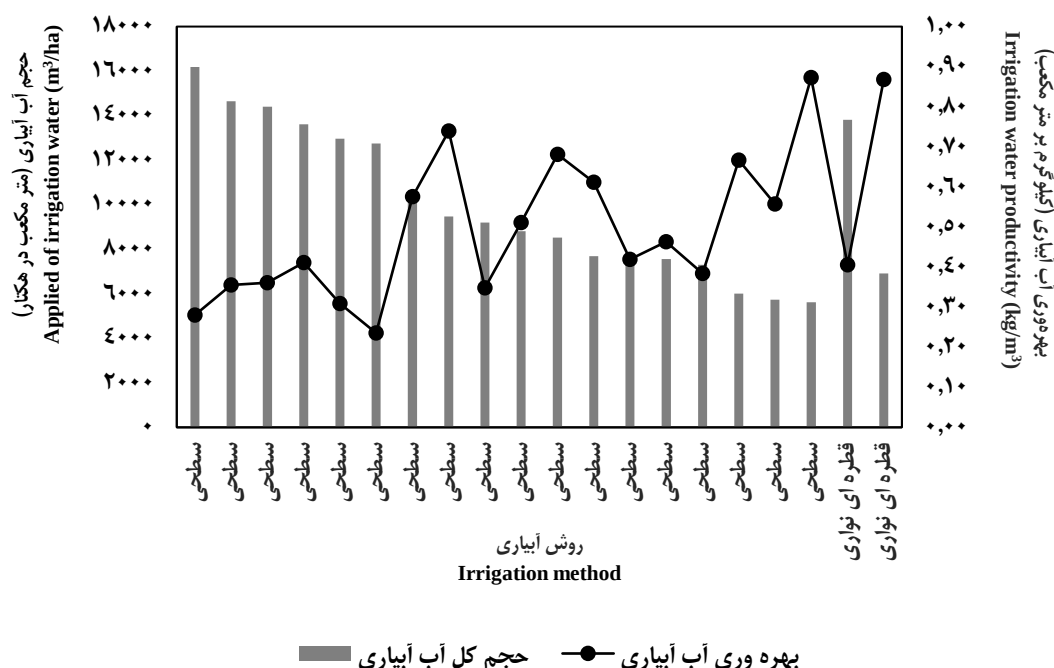
شکل ۱- تغییرات عملکرد محصول در مزارع پنبه در شهرستان های لارستان، داراب و فسا
Figure 1- Crop yield changes in cotton fields in Larestan, Darab and Fasa cities

تغییرات بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری در تولید پنبه با توجه به مقادیر عملکرد و آب آبیاری مزارع منتخب پنبه، شاخص بهره‌وری آب آبیاری و ش الیاف پنبه محاسبه و دامنه تغییرات آن بین ۰/۲۴ تا ۰/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. متوسط بهره‌وری آب در مزارع منتخب استان برابر ۰/۵ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شد که ۱۶/۳ درصد از میانگین کشوری که نخجوانی مقدم و همکاران گزارش داده‌اند، بیشتر است. میانگین بهره‌وری آب در روش آبیاری سطحی برابر ۰/۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب است (شکل ۲).

مقایسه میزان آب آبیاری و نیاز آبیاری خالص پنبه
نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد دو عامل موثر در میزان نیاز آبی گیاه پنبه تاریخ کاشت و طول دوره رشد گیاه هستند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، با تأخیر در کاشت گیاه و کاهش طول دوره رشد مقادیر به‌دست آمده برای نیاز آبی گیاه کاهش یافتند. میانگین نیاز آبی پنبه در مزارع منتخب استان فارس بر اساس داده‌های هواشناسی ۱۰ ساله،

نخجوانی مقدم و همکاران (Nakhjavani Moghadam et al., 2019) دامنه تغییرات حجم آب مصرفی در مزارع منتخب کشور را بین ۳۱۳۰ تا ۱۷۶۲۰ مترمکعب در هکتار گزارش کرده‌اند. میانگین آب مصرفی پنبه کشور در روش آبیاری سطحی برابر ۹۰۹۷ مترمکعب در هکتار در همین تحقیق به‌دست آمده است. بدین ترتیب، در مزارع منتخب فارس که با آبیاری سطحی آبیاری می‌شوند ۸/۸ درصد آبیاری بیشتری نسبت به میانگین کشوری دیده می‌شود. با نگاهی به سوابق تحقیق مشخص می‌شود که شاخص آب آبیاری در مناطق اقلیمی مختلف بسیار متفاوت است و در منطقه‌ای مانند گلستان ۴۵۰۰ متر مکعب در هکتار و در منطقه خشک و نیمه خشک ورامین، کرمان و کاشمر به ترتیب ۱۰۱۱۰، ۹۲۰۰ و ۹۰۰۰ متر مکعب در هکتار به‌دست آمده است که اختلاف زیادی با نتایج این تحقیق حاضر دیده نمی‌شود (Kiani, 2013; Ghaemi, 2018; Asadi et al., 2012; Rahimian and Kakhki, 2016).

برآورد شاخص‌های بهره‌وری آب آبیاری و عملکرد زراعت پنبه در شرایط مرسوم کشاورزی ..



شکل ۲- حجم کل و بهره‌وری آب آبیاری پنبه در مزارع منتخب شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا

Figure 2- Applied and productivity of cotton irrigation water in selected fields of Larestan, Darab and Fasa cities

کشوری، که پیش از این توضیح داده شد، همین کم‌آبیاری اعمال شده باشد.

بر اساس داده‌های تحقیق، در بین تمامی مزارع منتخب پنبه در سه شهرستان لارستان، داراب و فسا، بیشترین عملکرد (۷۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) در مزرعه‌ای ۱۰ هکتاری در داراب به‌دست آمد. در این مزرعه، با روش آبیاری سطحی به مقدار ۹۴۷۲ مترمکعب در هکتار و به تعداد ۷ بار با دبی ۲۳ لیتر در ثانیه طی ۱۳۵ روز آب داده شده بود. در این مزرعه، سه بار کود داده شده بود، از کودهای فسفات آمونیوم قبل از کشت، اوره و ریزمغذی‌ها طی دوره رشد استفاده شده است. بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری در این مزرعه معادل ۰/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. در این مزرعه، کیفیت آب مناسب بوده است و شوری آب آبیاری ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. با توجه به طول دوره رشد پنبه در این مزرعه، میزان نیاز خالص آبی گیاه با استفاده از روش فائو-پنمن-مانتیت در سال زراعی تحقیق و بلند مدت (داده‌های

داده‌های هواشناسی سال اجرای پروژه و سند ملی آب به‌ترتیب برابر ۸۴۹، ۸۸۸ و ۹۸۹ میلی‌متر محاسبه گردید.

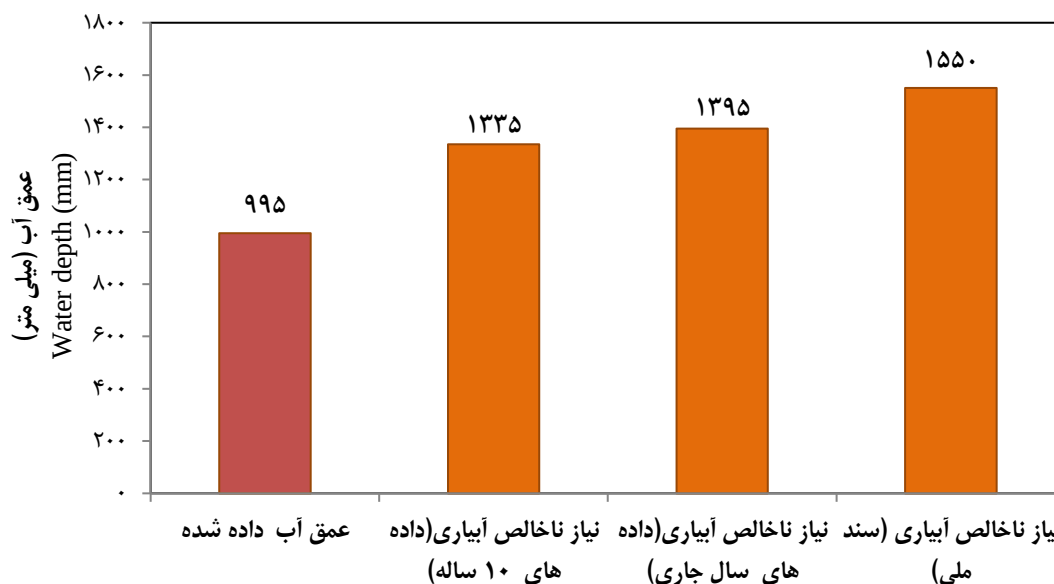
در این خصوص کیانی (Kiani, 2013) میزان نیاز آبی خالص پنبه را برای شرایط اقلیمی مختلف کشور بین ۴۵۵ تا ۹۸۰ میلی‌متر گزارش کرده است.

در شکل (۳)، متوسط عمق آب داده شده به مزارع پنبه در مناطق اجرا با مقادیر میانگین نیاز آبیاری ناخالص پنبه (برآورد شده به سه روش متفاوت و در مناطق مورد مطالعه) مقایسه شده‌اند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد، کشاورزان مزارع منتخب پنبه در سه شهرستان مورد مطالعه را به طور متوسط به‌میزان ۲۸/۷ درصد کمتر از حد نیاز آبیاری محصول در سال زراعی اجرای طرح آبیاری کرده‌اند (شکل ۳). چنانچه داده‌های تحقیق با نیاز ناخالص آبیاری داده‌های ۱۰ ساله مقایسه شود، میزان کم‌آبیاری به مقدار ۲۵/۵ درصد می‌رسد. به نظر می‌رسد یکی از دلایل بالاتر بودن میانگین بهره‌وری آب آبیاری مزارع منتخب نسبت به میانگین

۱۰ ساله) به ترتیب معادل ۷۴۴ و ۷۰۱ میلی متر محاسبه شد (باران موثر در این دوره صفر است). بدین ترتیب، در این مزرعه نیز نسبت به سال اجرای تحقیق ۲۳/۶ درصد و نسبت به بلند مدت ۱۸/۹ درصد کم آبیاری صورت گرفته است. هر چند برای تمام مزارع منتخب در سه شهرستان، نسبت به سال زراعی جاری ۲۸/۷ درصد کم آبیاری وجود داشته است.

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

از ۲۰ مزرعه منتخب در سه شهرستان لارستان، داراب و فسا، ۸ مزرعه در شهرستان داراب قرار داشت که ۲ مزرعه با روش آبیاری قطره ای نواری و ۶ مزرعه دیگر با روش سطحی آبیاری می شدند. نتایج تجزیه و تحلیل آماری با آزمون تی-استودنت برای مقایسه این دو روش آبیاری در جدول (۲) آورده شده است. همان طور که در این جدول مشاهده می شود، روش های آبیاری سطحی و قطره ای نواری در شهرستان داراب تفاوت آماری قابل توجهی در هیچ یک



شکل ۳- مقایسه میانگین عمق آب داده شده در مزارع منتخب در شهرستان های لارستان، داراب و فسا با میانگین نیاز ناخالص آبیاری پنبه، محاسبه شده به سه روش مختلف

Figure 3- Comparison of the average water depth given in selected farms in Larestan, Darab and Fasa cities with the average gross cotton irrigation requirement, calculated in three different ways.

برآورد شاخص‌های بهره‌وری آب آبیاری و عملکرد زراعت پنبه در شرایط مرسوم کشاورزی ..

جدول ۲- مقایسه روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای نواری در شهرستان داراب با آزمون تی-استودنت

Table 2- Comparison of surface and drip irrigation methods in Darab city with Student's t-test

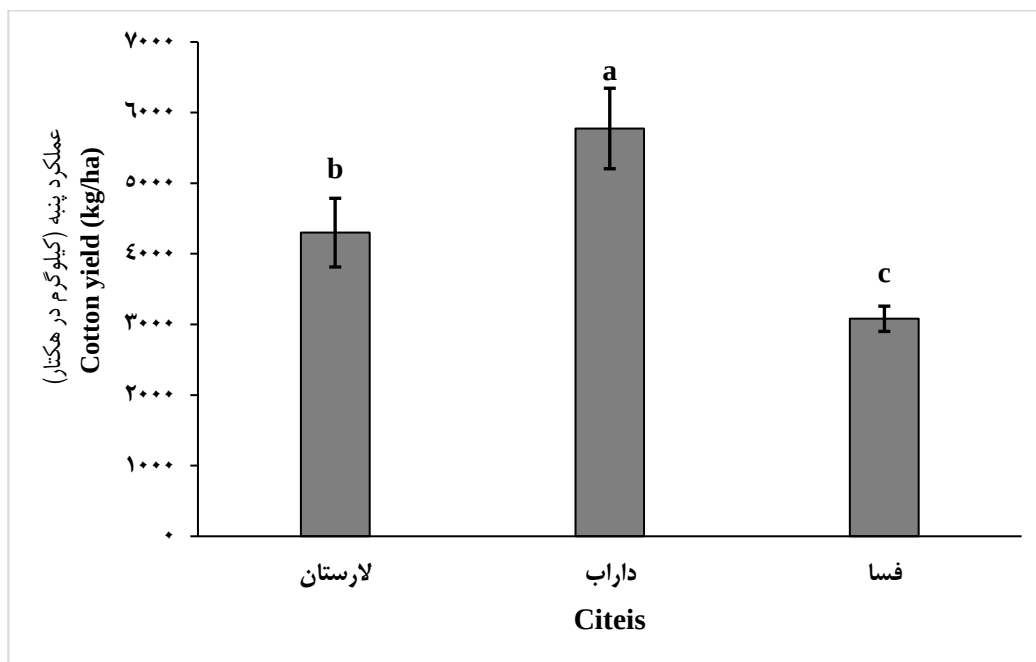
شاخص Index	درجه آزادی df	آماره t	احتمال p
عملکرد Yield	۶	-۰/۰۶۶	۰/۹۴۹
حجم آب آبیاری Applied irrigation water	۶	۰/۵۴۸	۰/۶۰۴
بهره‌وری آب آبیاری Irrigation water productivity	۶	-۰/۷۱۵	۰/۵۰۲

جدول ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های عملکرد (کیلوگرم در هکتار)، حجم آب آبیاری (متر مکعب در هکتار) و بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر متر مکعب) در دو روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای نواری شهرستان داراب

Table 3- Comparison of average yield index (kg/ha), applied irrigation water (m³/ha) and irrigation water productivity (kg/m³) in two methods of surface and drip irrigation in Darab city

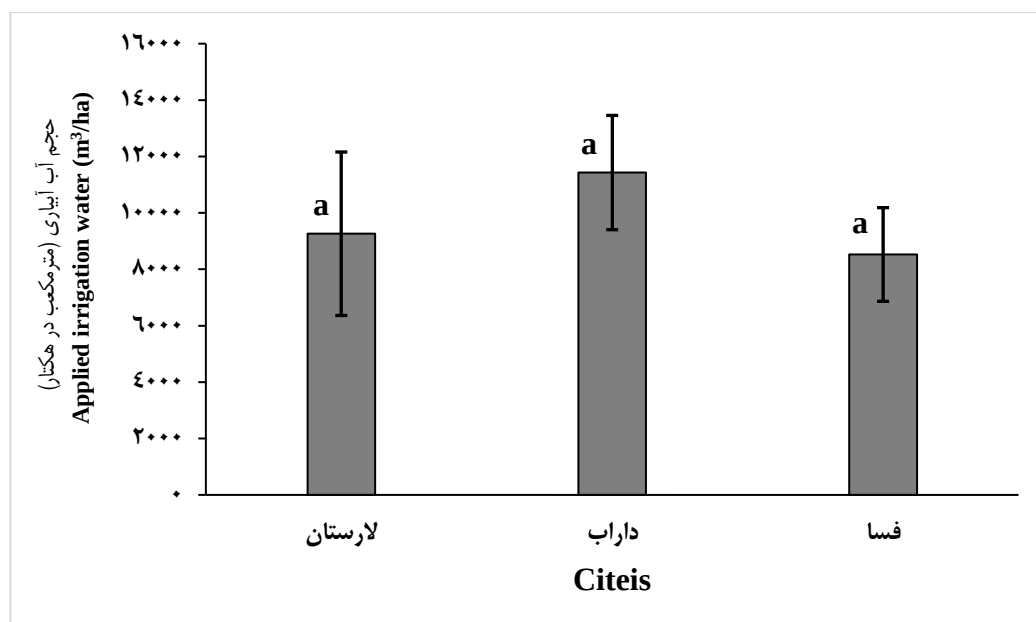
شاخص Index	روش آبیاری Irrigation method	میانگین Mean	انحراف استاندارد Std. deviation	خطای استاندارد Std. error
عملکرد Yield	سطحی surface	۵۷۶۶/۷	۶۶۲/۳	۲۷۰/۴
	قطره‌ای نواری Tape	۵۸۰۰	۲۸۲/۸	۲۰۰
حجم آب آبیاری Applied irrigation water	سطحی surface	۱۱۷۸۶/۸	۲۷۳۰/۳	۱۱۱۴/۶
	قطره‌ای نواری Tape	۱۰۳۶۰/۵	۴۸۷۶/۹	۳۴۴۸/۵
بهره‌وری آب آبیاری Irrigation water productivity	سطحی surface	۰/۵۲	۰/۱۷	۰/۰۶۸
	قطره‌ای نواری Tape	۰/۶۴	۰/۳۲	۰/۲۳

با توجه به اینکه داده‌ها در سه شهرستان لارستان، داراب و فسا جمع‌آوری شده بود تجزیه و تحلیل آماری شاخص‌های عملکرد، حجم و بهره‌وری آب آبیاری در این سه شهرستان نیز به انجام رسید و در شکل‌های (۴ تا ۶) آورده شده است. در شکل (۴) مشاهده می‌شود اختلاف شاخص عملکرد در هر سه شهرستان معنی‌دار است. اما برای شاخص حجم آب آبیاری بین سه شهرستان اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۵). به همین ترتیب برای شاخص بهره‌وری آب آبیاری نیز اختلاف معنی‌داری بین سه شهرستان مشاهده نمی‌شود (شکل ۶).



شکل ۴- مقایسه میانگین عملکرد پنبه (کیلوگرم در هکتار) در سه شهرستان لارستان، داراب و فسا

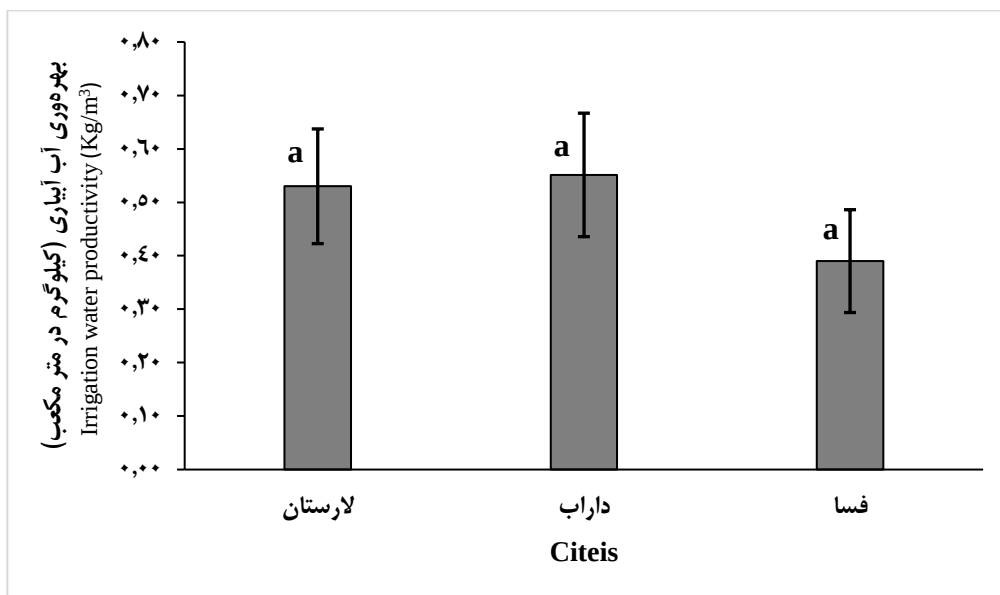
Figure 4- Comparison of the average of cotton yield (kg/ha) in the three cities of Larestan, Darab and Fasa



شکل ۵- مقایسه میانگین حجم آب آبیاری پنبه (مترمکعب در هکتار) در سه شهرستان لارستان، داراب و فسا

Figure 5- Comparison of the average of cotton applied irrigation water (m³/ha) in the three cities of Larestan, Darab and Fasa

برآورد شاخص‌های بهره‌وری آب آبیاری و عملکرد زراعت پنبه در شرایط مرسوم کشاورزی ..



شکل ۶- مقایسه میانگین بهره‌وری آب آبیاری پنبه (کیلوگرم در مترمکعب) در سه شهرستان لارستان، داراب و فسا

Figure 6- Comparison of the average of cotton irrigation water productivity (kg/m³) in the three cities of Larestan, Darab and Fasa

نتیجه‌گیری

توصیه می‌شود در چنین مزارعی میزان آب آبیاری محاسبه و به مقدار آب آبیاری اضافه شود. در شهرستان فسا، از یک سو افزایش ناگهانی دما در زمان گلدهی سبب ریزش گل و غوزه‌ها شده بود و از سوی دیگر طغیان آفت سنک از دلایل دیگر کاهش عملکرد بوده است با توجه به میانگین حجم آب آبیاری در مزارع منتخب پنبه استان برابر ۹۸۹۹ مترمکعب بر هکتار و احتساب آخرین آمار سطح زیرکشت پنبه در استان فارس (۱۹۲۶۹ هکتار)، حجم آب آبیاری استفاده شده در کل مزارع پنبه استان به میزان ۱۹۱ میلیون مترمکعب در سال برآورد می‌شود.

بر اساس نتایج این تحقیق و وضعیت نامناسب کمی و کیفی منابع آب استان توصیه می‌شود از یک سو تاریخ کاشت و برداشت بهینه به ترتیب ۲۰ خردادماه و اول آبان ماه توسط بهره‌برداران رعایت گردد و از سوی دیگر با قبول میزان ۲۰ تا ۲۵ درصد کم آبیاری تنظیم شده در دوره رشد، میزان آب آبیاری بهینه بدون لحاظ ضریب آبیاری برای گیاه پنبه در این مناطق با روش آبیاری سطحی بین ۹۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مترمکعب در هکتار در نظر گرفته شود. هر چند انتظار

در این پژوهش، حجم آب آبیاری و شاخص بهره‌وری آب آبیاری پنبه در شهرستان‌های لارستان، داراب و فسا در استان فارس بررسی گردید. نتایج مطالعات نشان داد میانگین حجم آب آبیاری در مزارع منتخب لارستان، داراب و فسا به ترتیب ۹۲۶۱، ۱۱۴۳۰ و ۸۵۲۵ مترمکعب بر هکتار اندازه‌گیری شد که به‌طور میانگین و به تعداد ۶، ۸ و ۱۰ نوبت در مزارع آبیاری شده است. میانگین شوری خاک نیز ۶، ۲ و ۷ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب در مزارع منتخب لارستان، داراب و فسا اندازه‌گیری شد. با این همه، میانگین شاخص عملکرد در مزارع منتخب این مناطق به ترتیب ۴۳۰۰، ۵۷۷۵ و ۳۰۸۰ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد. همان‌طور که مشخص است، در مزارع منتخب داراب که کمترین شوری وجود داشته و آب بیشتری داده شده است، عملکرد نسبت به دو شهرستان دیگر بیشتر و اختلاف معنی‌داری دارد. گیاه پنبه به شوری مقاوم است ولی به نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش عملکرد در دو شهرستان لارستان و فسا، بالا بودن شوری خاک باشد. به‌همین دلیل

می‌رود سامانه آبیاری قطره‌ای نواری برای مزارع پنبه‌کاری در استان توسعه یافته تا از این طریق نیز امکان افزایش بهره‌وری وجود داشته باشد، زیرا در اکثر نتایج سوابق تحقیق این امر محقق شده بود. با توجه به کاهش مصرف آب به میزان ۳۰ درصد در این روش نسبت به روش سطحی، حجم آب آبیاری کل مزارع پنبه استان به ۱۳۳ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، بر اساس نتایج تحقیقات لی و همکاران (Li et al., 2024) استفاده از روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در منطقه‌ای از چین که دمای حداکثر و دمای حداقل روزانه به ترتیب ۴۰ و ۳- درجه سانتی‌گراد با بارندگی ۸۲/۴ میلی‌متر در طول فصل رشد است، ۳۸۴۰ مترمکعب در هکتار توصیه شده است. مجموع آب کاربردی برای پنبه در این منطقه با توجه به ۵۷/۷ میلی‌متر باران موثر، معادل ۳۸۹۸ مترمکعب در هکتار به‌دست می‌آید. این استراتژی آبیاری نشان دهنده روشی موثر برای کشت پنبه و به حداکثر رساندن محصول و بهبود کارایی استفاده از منابع است. بدین ترتیب و با فرض اینکه تمامی مزارع استان به این سامانه مجهز شوند، مصرف آب در کل مزارع پنبه از ۱۹۱ میلیون مترمکعب به ۷۵ میلیون مترمکعب یعنی ۶۰ درصد کاهش پیدا می‌کند. از این رو، توصیه می‌شود توسعه سامانه‌های نوین آبیاری با تاکید بر آبیاری زیرسطحی در زراعت پنبه در دستور کار متولیان امر و بهره‌برداران قرار گیرد. برای جلوگیری از شور شدن خاک‌ها، به ویژه در مزارعی که با آب شور آبیاری می‌شوند، ضریب آبیاری محاسبه و به مقدار آب آبیاری اضافه شود. اجرای آزمون خاک قبل از کاشت پنبه به دو منظور کنترل شوری و نیاز تغذیه‌ای خاک تاکید می‌شود. با رعایت این توصیه‌ها افزایش شاخص بهره‌وری آب در محصول پنبه دور از انتظار نخواهد بود.

مراجع

- Abbasi, F., Akbari, M., Naseri, A., Abbasi, N., Baghani, J., Jolani, M. Shahrokhnia, M.A., Nakhjavani-Moghadam, M.M., Sepehri, S., Moayeri, M., Hasan-Oghli, A.R., Haghayeghi-Moghadam, A., Ghadami-Firoozabadi, A., Mousavi Fazl, H., & Yazdani, M.R. (2024). A review of water consumption management indicators of different crops in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 25(94): 1-16.
- Abbasi, F., Abbasi, N., & Tavakoli, A.R. (2016). Water productivity in the agricultural sector; Challenges and prospects. *Journal of water and sustainable development*, 4(1): 141-144. (in Persian)
- Abbasi, F., & Abbasi, N. (2023). An analysis of irrigation efficiencies over time in Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 17(6): 1025-1033. (in Persian)
- Afshar, H. & Mehrabadi, H. R. (2016). Investigating the performance of cotton and its components in two methods of drip and furrow irrigation. *Seedling and Seed Quarterly*, No. 4. (in Persian)
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration, (guidelines for computing crop water requirements). *FAO Irrigation and Drainage Paper*, No. 56.
- Anon. 2021. Statistics of Fars Jahad-Agricultural Organization. (in Persian)
- Anon. 2024. Agricultural Statistics. The First Volume of the Crops "Crop Year 2022-2023". Bureau of Statistics and Information and Communications Technology in Ministry of Agriculture, 126 p. (in Persian)
- Asadi, R., Hasanpour, F., Tabatabayi, S. M. & Kohi, N. (2012). Evaluation of surface and subsurface drip irrigation systems on cotton yield in Orzuiyeh, Kerman province. *Journal of Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources, Water and Soil Sciences*, 17(63): 11-20. (in Persian)
- Aujla, M.S., Thind, H.S. & Butter, G.S. (2005). Cotton yield and water use efficiency at various levels of

- water and N through drip irrigation under two methods of planting. *Agricultural Water Management*, 51:167-179.
- Ayars, J.E., Huttmacher, R.B., Vail, S.S., & Schoneman, R.A. (1991). Cotton response to nonuniform and varying depths of irrigation, *Agricultural water Management*, 19: 151-166.
- Azari, H. M. (1996). Final report of the plan to determine evaporation and transpiration potential by lysimetry method. Agricultural and Natural Resources Research Center of Golestan Province, Agricultural Research, Education and Promotion Organization. (in Persian)
- Bakhtiyor, K., Nazirbay, I., Yusupbek, E., Stevsn, E., & Lee, H. (2003). Irrigation scheduling study of drip irrigated cotton by use of soil moisture neutron probe. *International Water and Irrigation*, 23(1): 38-41.
- Cetin, O. & Bilgel, L. (2002). Effect of different irrigation methods on scheduling and yield of cotton. *Agricultural Water Management*, 54(1):1-15.
- Eslami, A., Shahrokhnia, M.A. & Ghafouri, V. (2019). Presenting a simple program for managing drip irrigation systems of cotton fields (case study: Darab and Larestan cities). *Oilseeds Extension Journal*, 2(2): 92-84. (in Persian)
- Farshi, A.A., Shariati, M.R., Jarollahi, R., Ghaemi, M.R., Shahabi Far, M. & Tavalai, M.M. (2015). *Estimation of water requirements for major garden and crop plants in the country*. Publications of Soil and Water Research Institute. (in Persian)
- Feike, T., Khor, L.Y., Mamitimin, Y., Ha, N., Li, L., Abdusalih, N., Xiao, H., & Doluschitz, R. (2017). Determinants of cotton farmers' irrigation water management in arid Northwestern China, *Agricultural Water Management*, 187: 1-10.
- Ghaemi, M. (2018). *Irrigation method in cotton cultivation in Varamin region*. Soil and Water Research Institute. (in Persian)
- Ghorbani Nasrabad, g. (2007). The effect of deficit irrigation in different stages of growth on the quantitative and qualitative properties of cotton. Publications of the country's cotton research institute, final report. (in Persian)
- Ibragimov, N., Evett, S. R., Esanbekov, Y., Kamilov, B. S., Mirzaev, L., & Lamers, J. P.A. (2007). Water use efficiency of irrigated cotton in Uzbekistan under drip and furrow irrigation. *Agricultural Water Management*, 90(1-2):112-120.
- Jafar Aghaei, M. & Jalali, A.H. (2013). The effect of irrigation water salinity on the yield and water use efficiency of three cotton cultivars. *Journal of agricultural and horticultural products processing production*, 2(5): 97-107. (in Persian)
- Jolaini, M. & Mehrabadi, H.R. (2010). Investigating the effect of surface and subsurface drip irrigation methods and round irrigation on the quantity and quality of cotton. The final report of the Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)
- Kiani, A.R. (2013). Cotton irrigation planning. Promotional publication of Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)
- Li, N., Shi, X., Zhang, H., Shi, F., Zhang, H., Liang, Q., Hao, X., Luo, H., & Wang, J. (2024). Optimizing irrigation strategies to improve the soil microenvironment and enhance cotton water productivity under deep drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 305:1-15.
- Nakhjavani Moghadam, M.M., Haqhayeghi Moghadam, A., Jolaini, M., Sohrabi Meshkabadi, B., Eslami A., Khosravi, H., & Akhwan, K. (2019). Determination of Cotton water consumption. The final report of the Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)

- Raes, D. (2012). *The ETo Calculator, Reference Manual, Version 3.2*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Division.
- Rahimian M. & Kakhki, A. (2016). Calculation of water requirement of cotton plant by lysimeter method in Kashmar region. *Journal of Water and Soil Sciences*, 21: 145-141.
- Rao, S.S., Tanwar, S.P.S., & Regar, P.L. (2016). Effect of deficit irrigation, phosphorous inoculation and cycocel spray on root growth, seed cotton yield and water productivity of drip irrigated cotton in arid environment. *Agricultural Water Management*, 169:14-25.
- Shirvanian, A., Haghighatnia, H. & Mehrjo, S. (2013). Determining the economic threshold of deficit irrigation of cotton in Darab city. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 28(4): 312-321. (in Persian)
- Silvertooth, J.C., Galadima, A. & Norton, E.R. (2001). *Evaluation of Irrigation termination effects on fiber micronaire and yield of Upland cotton*. The University of Arizona.
- Sohrabi Moshkabadi, b. (2013). Final report of determining the most appropriate time to start irrigation and its effect on yield and quality of cotton fibers. Publications of the country's cotton research institute. (in Persian)
- Sohrabi Moshkabadi, b. (2016). Cotton water productivity of the country. Technical publication of Cotton Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization. (in Persian)
- Wanjura, D.F., Upchurch, D.R., Mahan, J.R. & Burke, J.J. (2002). Cotton yield and applied water relationships under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 55(3):217-237.
- Zwart S.J. & Bastiansen W.G.M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton, and maize. *Agricultural Water Management*, 69:115-133.

Original Research

Estimation of Irrigation Water Productivity Indicators and Cotton Cultivation Yield in Conventional Agricultural Conditions of Larestan, Darab and Fasa Cities (Case Study: Fars Province)

***A. Eslami , M M. Nakhjavani Moghadam , M.M. Ghasemi, A. Jokar**

***Corresponding Author:** Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education And Extension Organization, Shiraz, Iran

Received: 1 October 2024, **Accepted:** 30 October 2024

Email: amireslami.50@gmail.com

https://doi.org/ 10.22092/idser.2024.367111.1593

Extended Abstract

Introduction

Recognizing and removing production obstacles such as climate changes and drought and water shortage challenges, on one hand, and performance instability and Inappropriate product quality, on the other hand, has doubled the importance of paying attention to applied research and transfer of technical knowledge to the field of production. Therefore, the present research was conducted with the aim of investigating the impact of farmers' management in different climates of cotton-producing areas of Fars province on the irrigation water productivity index.

Methodology

This research was carried out in the field in order to determine the cotton irrigation water in the fields under the management of farmers during one cropping season (2018-2019) in Larestan, Darab and Fasa areas in Fars province. A total of 20 experimental farms were selected. Registration of irrigation program and measurement of water source flow using WSC flume device and volumetric meter were also done. After determining the flow rate of the water source, according to the number of hours of irrigation, the applied irrigation water in each irrigation turn was determined in each of the selected fields. The simplest method that can be used in farmers' fields to estimate the physical productivity of irrigation water of a plant is to measure the yield and amount of irrigation water during the cropping season. In order to estimate the pure water requirement of cotton in the study areas, first, the reference evapotranspiration was calculated using the ETo-calculator software (Raes, 2012) according to the FAO Penman-Monteith method. The meteorological information used included daily average maximum and minimum air temperature, maximum and minimum relative humidity, wind speed at a height of 10 meters (m/s) and the number of sunny hours per day in a statistical period of 10 years. In order to determine plant coefficient values in different stages of cotton growth, first, according to field observations, the four stages of cotton growth were determined. Then the plant coefficients related to each growth stage were selected based on the proposal of FAO publication 56 (Allen et al., 1998). Considering the efficiency of 60 and 90% for surface and drip irrigation systems, respectively (Abassi *et al.*, 2015), the gross water requirement of farms was obtained.

Results and Discussion

The average yield of cotton in Larestan, Darab and Fasa cities is 4300, 5775 and 3080 kg per hectare, respectively. As it is known, the lowest crop yield was obtained in Fasa district, which could be due to high soil salinity. According to the research of Nakhjavani Moghadam et al. (Nakhjavani Moghadam *et al.*, 2019), the average yield of cotton in the country is reported to be 3383.5 kg per hectare, which has increased by 27 and 70 percent in Larestan and Darab, respectively, and the cotton average yield in Fasa is 9 The percentage has decreased. The average amount of irrigation water in selected farms and 18 farms that were irrigated by surface irrigation method was 9944 and 9899 cubic meters per hectare, respectively. The average water productivity in the selected farms of the province was 0.5 kg/m³, which is 16.3% higher than the national average reported by Nakhjavani Moghadam *et al.* Also, the average water productivity in the surface irrigation method was 0.49 kg/m³. The average water requirement of cotton in the selected farms of Fars province was calculated as 849, 888 and 989 mm, respectively, based on 10-year meteorological data, meteorological data of the project implementation year and the national water document. Surface and drip irrigation methods in Darab city did not have significant statistical differences in any of the indicators.

Conclusion

Taking into account the latest statistics on the area under cotton cultivation in Fars province (19,269 hectares), the volume of water consumed in all the cotton fields of the province is estimated at 191 million cubic meters per year. The results showed that the average indicators of yield, irrigation water and productivity of cotton irrigation water in 18 selected farms of the province that were irrigated by surface method were 4450 kg/ha, 9899 m³/ha and 0.5 kg/m³, respectively. Based on the results of this research, it is recommended that the optimal planting and harvesting dates are observed by the operators on June 20 and November 1, respectively. On the other hand, by accepting the amount of regulated deficit irrigation (20-25%) during the growth period, the optimal irrigation water amount regardless of the leaching coefficient for the cotton plant in these areas with the surface irrigation method should be considered between 9000 and 10000 cubic meters per hectare. It is also emphasized that before planting, farmers should take the soil sample and test it and perform optimal fertilization management according to the recommendations of experts.

Keywords: Cotton yield, Irrigation water, Irrigation management, Water requirement

بررسی تأثیر کربنات سدیم بر رفتار تورمی و انقباضی خاک‌های رسی در بستر سازه‌های آبی

نادر عباسی^{۱*}، مارال سرکاری^۲، افشین خورسند^۳، رضا بهراملو^۴

^{۱*} استاد، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
^۲ کارشناس ارشد، آبیاری و زهکشی، مدیریت آب و خاک و امور مهندسی، سازمان جهاد کشاورزی استان البرز، کرج، ایران
^۳ محقق، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
^۴ دانشیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹

چکیده

خاک‌های متورم‌شونده و منقبض‌شونده از خاک‌های مسئله‌دار هستند که اگر رفتار آن‌ها شناخته نشود و تمهیدات لازم به‌کار گرفته نشود، باعث تخریب سازه‌های ساخته شده روی آن‌ها می‌گردد. پتانسیل تورم یا انقباض خاک تابع عوامل متعددی مانند نوع کانی‌های رسی و مشخصات شیمیایی آب است. در این تحقیق اثر مقادیر مختلف کربنات سدیم بر رفتار تورمی و انقباضی خاک رسی بررسی شده است. بدین منظور یک نمونه خاک رسی با مشخصات فیزیکی، که بیانگر مشخصات غالب خاک‌های رسی ایران باشد، تهیه شد. پنج مقدار مختلف کربنات سدیم، ۰/۵، ۱، ۲، ۵ و ۱۰ درصد وزنی خاک، به آن اضافه و پنج نمونه خاک مصنوعی تهیه شد که با در نظر گرفتن نمونه طبیعی، شش نمونه خاک با شوری‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفتند. مشخصه‌های شیمیایی هر یک از خاک‌ها شامل میزان شوری (EC)، اسیدیته (pH)، آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در عصاره اشباع تعیین و آزمایش‌های تعیین شاخص‌های تورمی و انقباضی نمونه‌ها شامل فشار تورمی، درصد تورم، درصد انقباض خطی و انقباض حجمی در ۳ تکرار روی هر یک از نمونه‌ها اجرا شد. برای تعیین مشخصات تورمی از آزمایش تورم آزاد با استفاده از دستگاه تحکیم و برای تعیین شاخص‌های انقباضی، آزمایش تعیین حد انقباض (SL) بر اساس روش‌های استاندارد ASTM استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها مشخص گردید که چگونگی تأثیر نمک کربنات سدیم بستگی به میزان نمک دارد، به‌طوری‌که با افزایش نمک تا حدود یک درصد، سه ویژگی فشار تورمی، میزان انقباض حجمی و میزان انقباض خطی به ترتیب افزایش، کاهش و افزایش می‌یابد. برای مقادیر بین ۱ تا ۵ درصد، فشار تورمی و انقباض خطی کاهش می‌یابد و برای مقادیر بین ۱ تا ۱۰ درصد، میزان انقباض حجمی افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: خاک‌های مشکل‌آفرین، شوری خاک، مشخصات تورمی، انقباض حجمی، انقباض خطی

مقدمه

اصطلاح ژئوتکنیک، خاک مشکل‌آفرین به خاک‌هایی اطلاق می‌شود که در صورت استفاده از آن‌ها در سازه‌های خاکی، مشکلاتی را در دوران ساخت یا بهره‌برداری ایجاد می‌کنند. خاک‌های تورم‌پذیر^۱، واگرا، روانگرا، رمبنده، انحلال‌پذیر، ماسه‌ای ناپایدار، ضعیف و آلی و نیز رس‌های روان از جمله خاک‌های مشکل‌آفرین هستند. برای اصلاح خاک‌های مشکل‌آفرین یا به عبارتی دیگر بهسازی خاک در پروژه‌های اجرایی به روش شیمیایی، بسته به هدف از بهسازی خاک، معمولاً از

بررسی‌ها در خصوص وضعیت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی نشان داده‌اند که اغلب این شبکه‌ها در مراحل مختلف بهره‌برداری دچار مشکلات عدیده‌ای می‌شوند. این مشکلات که اغلب به‌صورت تخریب سازه‌ها بروز می‌کنند، معلول عوامل متعددی از جمله شرایط ژئوتکنیکی بستر و وجود خاک‌های مشکل‌آفرین در بستر این گونه سازه‌هاست (Abbasi & Bahramloo, 2018). در

وقوع یکی از آن‌ها وجود دارد. تغییر شکل‌های ایجاد شده در خاک‌های تورم‌پذیر اغلب غیریکنواخت و نامتعادل‌اند و ممکن است موجب ایجاد خسارت‌های قابل توجه به سازه بنا شده روی آن‌ها شوند (Rahimi & Abbasi, 2017; Asghari-Kaljahi *et al.*, 2019). این خاک‌ها با جذب رطوبت و کاهش رطوبت به ترتیب افزایش حجم (تورم) و کاهش حجم (انقباض) پیدا می‌کنند (Basma *et al.*, 1996; Bhavsar & Patel, 2014). خاک‌های متورم‌شونده احتمال دارد سبب خسارت به کانال‌های آبیاری، ساختمان‌ها و دیگر سازه‌های مهندسی شوند و کاهش عمر مفید را نیز به دنبال داشته باشند (Nowamooz & Masrouri, 2008). ساخت و ساز در خاک‌های متورم شونده، چالشی بزرگ برای مهندسان ژئوتکنیک در سراسر جهان است (Ramesh *et al.*, 2022; Elmasad *et al.*, 2012). این نوع خاک‌ها رفتار کاملاً پیچیده‌ای دارند و در دسته خاک‌های مشکل‌آفرین قرار می‌گیرند (Elmasad *et al.*, 2022). تکنیک‌های مختلفی برای بهبود خواص خاک از جمله ستون‌های شنی، ستون‌های سنگی، تکنیک‌های ارتعاشی و افزودن مواد شیمیایی وجود دارد و در این میان، تثبیت شیمیایی گران‌تر از سایر روش‌های تثبیت است (Ramesh *et al.*, 2012). تعیین درصد تورم و فشار تورم خاک‌های رسی ابزاری مهم برای پیش‌بینی رفتار رس‌ها رس‌هاست. یکی از مهم‌ترین مشخصات خاک‌های رسی، حساسیت آن‌ها به تغییر حجم به دلیل تورم و انقباض است که باعث حرکت ذرات خاک می‌شود که ممکن است به ساختمان‌ها آسیب برساند (Yilmaz & Marschalko, 2014). عواملی که ممکن است در کاهش تورم آزاد و فشار تورمی نقش داشته باشند، به این صورت بیان می‌شود؛ غلظت بالای نمک در آب ممکن است بر خواص فیزیکی خاک‌های رسی تأثیر بگذارد، زیرا باعث می‌شود ذرات ریز به یکدیگر متصل شوند و خاکدانه تشکیل دهند که این عمل ممکن است سبب کاهش سطح ویژه شود و سرانجام ممکن است تورم آزاد و فشار تورم را نیز کاهش دهد (Yong & Warkentin, 1975; Yilmaz & Marschalko, 2014). تبادل کاتیونی بین آب دریا و خاک رس ممکن است از ورود آب بین لایه‌ها جلوگیری کند و پتانسیل تورم کاهش یابد (Yilmaz & Marschalko, 2014).

ترکیبات شیمیایی مختلفی استفاده می‌شود که هر یک از این مواد مزایای و محدودیت‌های خاص خود دارد و اثرهای متفاوتی بر رفتار فیزیکی و مکانیکی خاک می‌گذارند. نتایج تحقیقات متعدد در خصوص تأثیر انواع کاتیون‌ها مثل کلسیم و سدیم و آنیون‌ها مثل کربنات، سولفات و کلرید بر خواص مهندسی خاک‌ها از جمله مقاومت برشی، تراکم‌پذیری، نفوذپذیری و خواص خمیریایی خاک‌ها نشان می‌دهد میزان تأثیر سدیم در پراکندگی ذرات بستگی به نوع آنیون موجود در خاک یا نمک مورد استفاده نیز دارد. به طور مثال تأثیر سدیم در قالب نمک‌های کربنات سدیم و کلرید سدیم بر رفتار فیزیکی و مکانیکی خاک متفاوت است (Abbasi & Nazifi, 2013). استفاده از ترکیبات سدیمی برای اصلاح ویژگی‌های مختلف خاک و با اهداف متفاوتی در کشاورزی و مهندسی سابقه‌ای بسیار طولانی دارد. در گذشته از ترکیبات سدیمی به دلیل خاصیت پراکندگی ذرات رس و در نتیجه کاهش نفوذپذیری خاک در کانال‌ها و مخازن خاکی، که در معرض فرسایش نباشند، استفاده شده است. امروزه نیز از ترکیبات مختلف این عنصر به عنوان یکی از روش‌های کنترل نشت در کانال‌های آبیاری استفاده می‌شود. لازم است یادآوری شود افزودن یک ماده به خاک ممکن است موجب اصلاح و تقویت ویژگی خاصی از خاک و تضعیف ویژگی دیگری از آن شود. از این رو بسته به هدف اصلاح خاک، افزودن مواد شیمیایی یا هر روش دیگر بهسازی خاک ممکن است اثرهای متفاوت و بر اساس نوع کاربری خاک عملکرد متضادی داشته باشد. برای مثال، تراکم خاک از دیدگاه کشاورزی تخریب خاک ولی از منظر مهندسی و مشخصات مکانیکی خاک بهبود محسوب می‌شود، این مسئله باید در برنامه‌های اصلاح و بهسازی خاک مدنظر قرار گیرد.

پیش‌تر اشاره شد که خاک‌های تورم‌پذیر یکی از انواع خاک‌های مشکل‌آفرین هستند که شناسایی و اصلاح نشدن آن‌ها ممکن است آسیب‌های جدی به سازه‌های بنا شده روی آن‌ها وارد کنند. به طور کلی، خاک تورم‌پذیر به آن دسته از مصالح خاکی گفته می‌شود که بر اثر تغییرات رطوبتی دچار افزایش حجم (تورم) یا کاهش حجم (انقباض) می‌شوند. می‌توان گفت که دو پدیده تورم و انقباض در واقع دو روی یک سکه‌اند و با توجه به جهت تغییرات رطوبتی خاک، امکان

تأثیر مقادیر مختلف محلول‌های کلرید پتاسیم و کلرید سدیم را روی مشخصه‌های دانه‌بندی، اتربرگ و واگرایی پنج نوع خاک مطالعه کردند و نشان دادند محلول کلرید پتاسیم تأثیر معنی‌دار بر خواص فیزیکی خاک داشته ولی تأثیر کلرید سدیم قابل توجه نبوده است. یوکسلین-آکسوی و همکاران (Yukselen-Aksoy *et al.*, 2008) اثر آب دریا را بر حدود اتربرگ شامل حد مایع، حد پلاستیک و SL خاک‌های رسی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که اثر آب دریا بر حدود اتربرگ خاک‌های با خمیری کم، ناچیز است. اوسینوبی و ابرمو (Osinubi & Eberemu, 2010) رفتار انقباضی خاک تیمار شده با مقادیر مختلف دوغاب را در سه وضعیت تراکمی (استاندارد پراکتور، استاندارد آفریقای غربی و استاندارد اصلاح شده) مطالعه کردند و نشان دادند که ماده مذکور اثری قابل توجه بر رفتار و مشخصات تغییر حجمی نمونه‌ها در سیکل‌های مختلف تر و خشک شدن ندارند. گرون‌بچ و همکاران (Grønbech *et al.*, 2010) اثر غلظت یون کلر و pH را روی حدود اتربرگ بررسی و اعلام کردند که با افزایش غلظت تا حدود ۸ درصد، میزان LL خاک مورد مطالعه تا حدود ۳۰ درصد تغییر می‌یابد. یلماز (Yilmaz, 2006) ضمن بررسی اثر کیفیت آب منفذی بر پتانسیل تورم خاک گزارش داد CEC تأثیر قابل توجهی در EP خاک دارد. وی همچنین روشی غیرمستقیم برای تخمین میزان تورم خاک‌ها با استفاده از دو پارامتر CEC و LL ارائه داد. رائو و تیاگراج (Rao & Thyagaraj, 2007) با آزمایش تحکیم، اثر محلول کلرید سدیم را بر رفتار تورم و فشردگی خاک رسی متورم‌شونده متراکم شده بررسی کردند و نشان دادند ورود محلول کلرید سدیم باعث تقلیل مقدار تورم و فشار تورمی می‌شود و حتی موجب به‌وجود آمدن کرنش فشاری در نمونه نیز خواهد شد. بام‌گارتنر و همکاران (Baumgartner *et al.*, 2008) آزمایش‌های تحکیم یک بعدی را روی نمونه‌های حاوی بنتونیت مورد استفاده به‌عنوان لایه‌بندی در اثر دو نوع کیفیت آب منفذی اجرا کردند. نتایج مقدماتی به‌دست آمده از این آزمایش‌ها نشان داد که کلرید کلسیم باعث کاهش پتانسیل تورم می‌شود و رفتار تحکیمی تحت تأثیر کیفیت آب منفذی تغییر می‌کند.

در تحقیقی دیگر نیز اشاره شده است که با افزایش غلظت سدیم در مایع، پتانسیل تورم کاهش می‌یابد (Alawaji, 1999). الماشاد (Elmashad, 2017) با اندازه‌گیری اثر افزودن مواد شیمیایی به خاک مانند کلرید سدیم، کلرید آمونیوم، آهک و کربنات سدیم بر مشخصات تورم، راه‌حلی برای مشخصات تورم ارائه داد. علاوه بر کیفیت شیمیایی آب و نوع نمک‌های موجود در خاک، مقدار و غلظت نمک‌ها در نوع رفتار و پتانسیل تورمی خاک بسیار تأثیرگذار است (Goli Kalanpa *et al.*, 2018). در تحقیقات گلی کلانپا و همکاران (Goli Kalanpa *et al.*, 2018) سه نمونه خاک شامل یک نمونه خاک متورم‌شونده (بدون شوری) و دو نمونه خاک با شوری ۲ و ۴ درصد وزنی با استفاده از NaCl تهیه شد و آزمایش تورم آزاد روی نمونه‌ها در معرض چرخه‌های تر و خشک صورت گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان تورم و انقباض در چرخه‌های دوم بیشترین مقدار را دارد. میزان پتانسیل تورم و انقباض پس از پایان حدود ۶ چرخه تا نزدیک به ۵۰ درصد کاهش یافت. عامری‌خواه و همکاران (Amerikhah *et al.*, 2004) در بررسی بیان تغییر قابلیت انبساط رس‌ها تحت تأثیر اشباع‌سازی با کاتیون‌های مختلف و استفاده از این امر به‌منظور شناسایی در مخلوط رس‌ها در خاک به این نتیجه رسیدند که می‌توان از پدیده تورم رس متأثر از تیمارهای کاتیونی مختلف به‌عنوان وسیله‌ای برای شناسایی نوع رس و تعیین درصد تشکیل‌دهنده هر یک از آن‌ها در خاک استفاده کرد. میرزابابایی و یثربی (Mirzababaei & Yasrebi, 2006) در بررسی اثر پلیمرها بر ویژگی‌های تورمی رس‌های متورم شونده، با استفاده از سه نوع رس متورم شونده با نشانه خمیری کم، متوسط و زیاد به‌منظور بررسی تأثیر پلیمرهایی بر فشار تورم خاک‌های مربوط ابتدا با اجرای یک سری آزمایش فشار تورم در وضعیت بهینه منحنی تراکم استاندارد و پس از آن با افزودن سه نسبت مختلف نسبت به وزن خشک خاک از هر پلیمر در وضعیت بهینه منحنی تراکم استاندارد، فشار تورم خاک را اندازه‌گیری کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد تعیین نسبت اختلاط و میزان کارایی این پلیمرها تابع نوع پلیمر، روش عمل‌آوری و نشانه خمیری خاک است. ایگو و اوکبالاما (Igwe & Okebalama, 2006)

مواد و روش ها

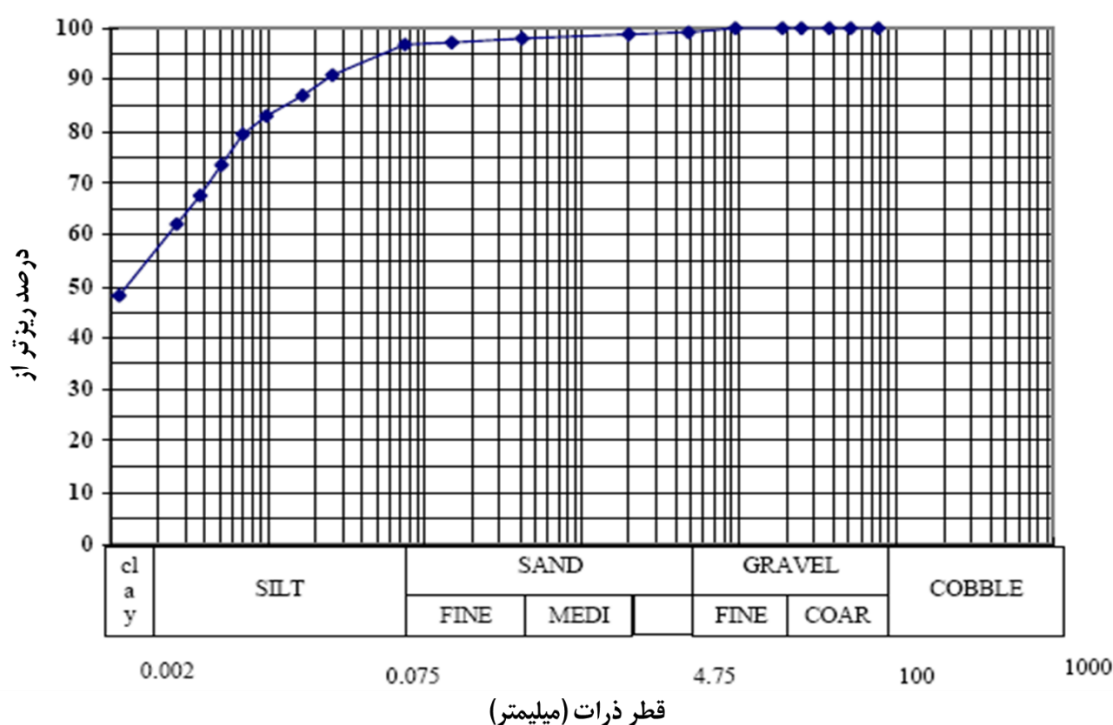
تهیه نمونه های آزمایشی

در این پژوهش به منظور بررسی اثر میزان کربنات سدیم بر مشخصات تورم و انقباضی خاک ها از نمونه های مصنوعی با مقادیر مختلف کربنات سدیم استفاده گردید. بدین منظور ابتدا یک نمونه خاک رسی از منطقه کمال آباد کرج تهیه شد و به منظور تعیین ویژگی های فیزیکی و مکانیکی خاک مورد استفاده، آزمایش هایی شامل دانه بندی، حدود اتربرگ، مشخصات تراکمی، وزن مخصوص، شاخص های تورم و انقباض و همچنین ویژگی های شیمیایی بر اساس استانداردهای ASTM^۱ روی آن صورت پذیرفت. شکل ۱ منحنی دانه بندی خاک مورد بررسی و جدول های ۱ و ۲ به ترتیب مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک اولیه مورد مطالعه را نشان می دهند.

پس از تهیه شدن نمونه خاک طبیعی، نمونه های مصنوعی با افزودن مقادیر مختلفی از نمک کربنات سدیم شامل ۰، ۰/۵، ۱، ۲ و ۵ و ۱۰ درصد وزنی به آن ها به منظور حصول نمونه با ویژگی های شیمیایی دلخواه ساخته شدند. ابتدا مقدار ماده خشک مورد نظر در آب حل و پس از آن خاک خشک و الک شده (رد شده از الک ۲ میلی متر) با وزن مشخص به محلول اضافه گردید. حجم محلول مورد استفاده برای تهیه نمونه ها به اندازه ای انتخاب گردید تا مخلوط حاصل به صورت دوغاب کاملاً رقیق درآید و اختلاط به خوبی پیش رود. رطوبت نمونه ها در این شرایط حدود ۱/۵ برابر حد روانی نمونه ها بود. مخلوط های حاصل به منظور خشک شدن تدریجی در محیط آزمایشگاه حدود دو ماه نگهداری شدند. نمونه ها بعد از خشک شدن کامل، با چکش پلاستیکی خرد و از الک شماره ۱۰ عبور داده شدند. مراحل مختلف آماده سازی نمونه های مصنوعی در شکل (۲) و مشخصات نمونه های مصنوعی تهیه شده در جدول (۳) ارائه شده است.

با توجه به مطالعات صورت گرفته در خصوص جنبه های مختلف تورم، انقباض و نیز تأثیر میزان و نوع شوری بر مشخصات خاک مانند ساختمان، پایداری خاکدانه، و مقاومت برشی چنین به نظر می رسد که تحقیقات زیادی در خصوص تأثیر میزان و نوع شوری بر رفتار تورمی و انقباضی خاک صورت نگرفته است و از این رو در این تحقیق سعی بر آن است که تا آنجا که مقدور باشد اثر مقادیر مختلف کربنات سدیم بر رفتار تورمی و انقباضی خاک های رسی بررسی شود. در این پژوهش اثر کربنات سدیم بر رفتار تورمی و انقباضی خاک های رسی بررسی شده است. کربنات سدیم به دلیل فراوانی مواد اولیه، قیمت مناسبی دارد و به راحتی در بازار یافت می شود. این ماده به طور کامل در طبیعت تجزیه می شود و به همین دلیل به عنوان ماده دوستدار محیط زیست شناخته می شود. کربنات سدیم، در مقایسه با بسیاری از مواد شیمیایی دیگر، درجه سمیت پایینی دارد. خاصیت قلیایی کربنات سدیم آن را به ماده ای ایده آل برای تنظیم pH در صنایع مختلف تبدیل کرده است. این ماده در آب انحلال پذیری بالایی دارد و به راحتی در آب حل می شود (Bernal, et al., 2015; Abdalqader et al., 2016). سودا اش یا کربنات سدیم یک باز بسیار قوی است که برای نگهداشتن شرایط قلیایی استفاده می شود. خاکستر سودا را می توان به جای سود سوزآور به عنوان جایگزینی کم هزینه برای تنظیم pH محلول و خنثی سازی اسیدها، تولید شیمیایی سدیم و ... استفاده کرد (Wisniak, 2003). هدف های متعددی در تدوین و اجرای این پژوهش وجود داشته اند که از جمله آن ها می توان به این موارد اشاره کرد: بررسی اثر مقادیر مختلف کربنات سدیم آب منفذی بر درصد تورم، بررسی اثر مقادیر مختلف کربنات سدیم آب منفذی بر فشار تورمی، بررسی اثر مقادیر مختلف کربنات سدیم آب منفذی بر انقباض حجمی و خطی و تعیین اثر مشخصات شیمیایی مانند EC بر شاخص های انقباض و تورم.

^۱ American Standards for Testing and Materials



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی نمونه خاک اولیه

Fig. 1- Gradation curve of the primary soil sample

جدول ۱- مشخصات فیزیکی نمونه خاک اولیه

Table 1- Physical characteristics of the primary soil sample

حدود اتربرگ (درصد)			مشخصات تراکمی				طبقه‌بندی	توده ویژه
Atterberg range (%)			Compaction characteristics				Classification	Special mass
حد روانی Liquid Limit	حد خمیری Plastic Limit	حد انقباض Shrinkage Limit	پراکتور		هاروارد		بر اساس سیستم طبقه‌بندی یونیفاید (USCS ¹)	Gs
			رطوبت بهینه	دانشیه ماکزیمم	رطوبت بهینه	دانشیه ماکزیمم		
			Optimal moisture	Maximum density	Optimal moisture	Maximum density		
			W _{opt} (%)	γ _{dmax} (g cm ⁻³)	W _{opt} (%)	γ _{dmax} (g cm ⁻³)		
47.5	23.59	16.48	23.4	1.61	21.1	1.58	CL	2.7

جدول ۲- مشخصات شیمیایی نمونه خاک اولیه

Table 2- Chemical characteristics of the primary soil sample

pH (-)	EC (dS m ⁻¹)	آنیون‌ها (میلی‌اکی والان بر لیتر)				کاتیون‌ها (میلی‌اکی والان بر لیتر)		
		Anions (meq lit ⁻¹)				Cations (meq lit ⁻¹)		
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺
7.88	1.47	-	8.6	10.0	2.87	3.0	4.0	14.5

¹ United States Soil Classification System



الف) دوغاب های تهیه شده
A) Prepared grouts
ب) نمونه های هوا خشک
B) Dry air samples

شکل ۲- مراحل مختلف تهیه نمونه های مصنوعی

Fig. 2- Different stages of preparation of synthetic samples

جدول ۳- نوع و درصد نمک های مصرفی برای تهیه نمونه های مصنوعی
Table 3- The type and percentage of salts used to prepare synthetic samples

شماره نمونه	نوع نمک	درصد نمک
Sample number	The type of salt	The percentage of salt
E- 0	–	0.0
E-0.5		0.5
E-1		1
E-2	کربنات سدیم	2
E-5	Sodium carbonate	5
E-10		10

آزمایش انقباض

خالی باقی خواهد ماند. وزن خاک خشک برابر (W_f) فرض می شود و حجم نمونه خشک شده به دو روش اندازه گیری ابعاد نمونه با کولیس و با استفاده از ظرف جیوه (شکل ۳) تعیین می گردد (V_f) . در این صورت رطوبت حد انقباض بر اساس رابطه زیر محاسبه می شود:

$$SL = \left[\left(\frac{W_i - W_f}{W_f} \right) \times 100 \right] - \left[\left(\frac{(V_i - V_f) \times \gamma_w}{W_f} \right) \times 100 \right] \quad (1)$$

که در آن: W_i وزن خاک مرطوب اولیه (گرم)، W_f وزن خاک پس از خشک شدن در کوره (گرم)، V_i حجم اولیه خاک مرطوب داخل ظرف که با حجم ظرف برابر است (سانتی متر مکعب)، V_f حجم نهایی نمونه خاک پس از خشک شدن در کوره (سانتی متر مکعب)، و γ_w وزن واحد حجم آب (گرم بر سانتی متر مکعب) است.

برای تعیین قابلیت و مشخصات انقباضی نمونه ها از حد انقباض استفاده گردید. برای تعیین حد انقباض، دو روش حجمی و خطی وجود دارد. روش آزمایشگاهی تعیین حد انقباض را موسسه ASTM با شماره D-427 به صورت استاندارد ارائه داده است. بر اساس این روش، یک کپسول چینی مدور به قطر ۴۴/۴ میلی متر (۱/۷۵ اینچ) و ارتفاع ۱۲/۷ میلی متر (۰/۵ اینچ) (شکل ۳) از خاک مورد آزمایش تحت رطوبت اولیه پر شد و وزن خاک مرطوب (W_i) ثبت می گردد (شکل ۴). ظرف مذکور در داخل کوره قرار داده می شود تا رطوبت خاک داخل آن به طور کامل تبخیر شود. بر اثر تبخیر رطوبت و کاهش حجم ناشی از انقباض، نمونه خاک از ظرف جدا می شود و قسمتی از حجم داخل ظرف

بررسی تاثیر کربنات سدیم بر رفتار تورمی و انقباضی خاک‌های رسی در بستر سازه‌های آبی



شکل ۳- ظرف‌های مورد استفاده در تعیین حد انقباض به روش حجمی
Fig. 3- Containers used to determine the shrinkage limit by volume method



a) Before the experiment



الف) قبل از آزمایش



b) After the experiment



شکل ۴- نمونه‌های انقباض حجمی و خطی تهیه شده قبل از آزمایش (الف) و بعد از آزمایش (ب)

Fig. 4- Samples of volumetric and linear shrinkage prepared before the experiment (a) and after the experiment (b)

آزمایش تورم

به اجرا در آمد و بارگذاری نمونه های مذکور صورت گرفت و سرانجام با رسم نمودار تغییر شکل محوری خاک با زمان، حداکثر پتانسیل تورم آن به همراه زمان لازم برای رسیدن به حداکثر تورم تعیین گردید. مشخصات دستگاه تحکیم مطابق با استاندارد آزمایش تحکیم D2435 است. این تجهیزات باید ظرفیت اعمال بار قائم به مقدار: الف) حداقل ۲۰۰ درصد بار بیشینه مورد نظر در طراحی یا ب) فشار مورد نیاز برای ثابت نگه داشتن ارتفاع نمونه پس از غرقاب شدن (حداکثر این دو مقدار) را داشته باشد. شکل (۵) دستگاه های تحکیم مورد استفاده را نشان می دهد.

به منظور تعیین درصد تورم و فشار تورمی خاک های حاوی درصد های مختلف کربنات سدیم، آزمایش تورم مطابق با استاندارد (ASTM D4546) اجرا شد. ابتدا نمونه خاک تهیه شده به روش دینامیکی در داخل رینگ های مخصوص کوبیده شد، پس از آن هر یک از رینگ های حاوی نمونه در داخل یک دستگاه تحکیم معمولی جاگذاری گردید. سپس با ریختن آب در محفظه دستگاه و اشباع کردن خاک، تغییر شکل محوری آن در فاصله های زمانی مشخص با گیج تغییر شکل دستگاه تعیین شد. این آزمایش برای سربار ۱ kPa



شکل ۵- تصویری از دستگاه های تحکیم مورد استفاده

Fig. 5- One-dimensional Consolidation Test Devices

نتایج و بحث

نتایج آزمایش های شیمیایی و تراکمی نمونه های مصنوعی

اندازه گیری شدند. سدیم با دستگاه فلیم فوتومتری و سولفات با دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه گیری گردید. نتایج حاصل از این آزمایش ها در جدول (۴) ارائه شده است. مقادیر رطوبت بهینه و دانسیته ماکزیمم نمونه های مصنوعی با آزمایش تراکم پراکتور به دست آمد و نتایج حاصل در جدول (۵) ارائه شده است. با توجه به جدول های (۴ و ۵)، دیده می شود، نمک کربنات سدیم تأثیر قابل توجهی بر مقادیر رطوبت بهینه و دانسیته خشک ماکزیمم نمونه های خاک های مورد بررسی نداشته است.

به منظور تعیین مقادیر دقیق ویژگی های شیمیایی نمونه های مصنوعی، مشخصات شیمیایی آنها شامل کاتیون ها، آنیون ها، EC و pH در رطوبت عصاره اشباع تعیین شد. کاتیون های کلسیم و منیزیم و آنیون های کربنات، بی کربنات و کلر به روش تیتراسیون با دستگاه بورت

بررسی تاثیر کربنات سدیم بر رفتار تورمی و انقباضی خاک‌های رسی در بستر سازه‌های آبی

جدول ۴- نتایج آنالیز شیمیایی نمونه خاک‌های مصنوعی حاوی کربنات سدیم

Table 4- Chemical analysis of syntethic soil samples

جمع کاتیون‌ها Sum of cations	کاتیون‌ها (میلی‌اکی والان بر لیتر) Cations (meq lit ⁻¹)				جمع آنیون‌ها Sum of anions	آنیون‌ها (میلی‌اکی والان بر لیتر) Anions (meq lit ⁻¹)				EC (dS m ⁻¹)	pH	مشخصات نمونه Sample specifications
	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻			
21.5	-	14.5	4	3	21.47	2.87	10	8.6	-	1.47	7.88	E 0
23.75	-	18.75	2	3	28.85	2.85	10	14	2	2.02	7.90	E 0.5
46.46	-	38.46	2	6	37.69	1.69	20	10	6	2.80	7.89	E 1
139	-	130	1	8	126.78	12.78	10	96	8	12.58	7.91	E 2
514.77	-	460	22	32	524.73	14.53	27	430	53.2	51.80	7.92	E 5
766	-	710	20	36	770.69	137.09	392	136.4	105.2	74.30	7.91	E 10

جدول ۵- مشخصات تراکمی نمونه‌های مصنوعی

Table 5- Compaction characteristics of synthetic samples

γ_{dmax} (g cm ⁻³)	W _{opt} (%)	درصد نمک کربنات سدیم Sodium carbonate salt percentage
1.6	22.35	0.0
1.58	23.28	0.5
1.56	23.19	1
1.58	21.59	2
1.63	21.72	5
1.6	23.44	10

تعیین شاخص‌های انقباض خاک‌های مورد بررسی

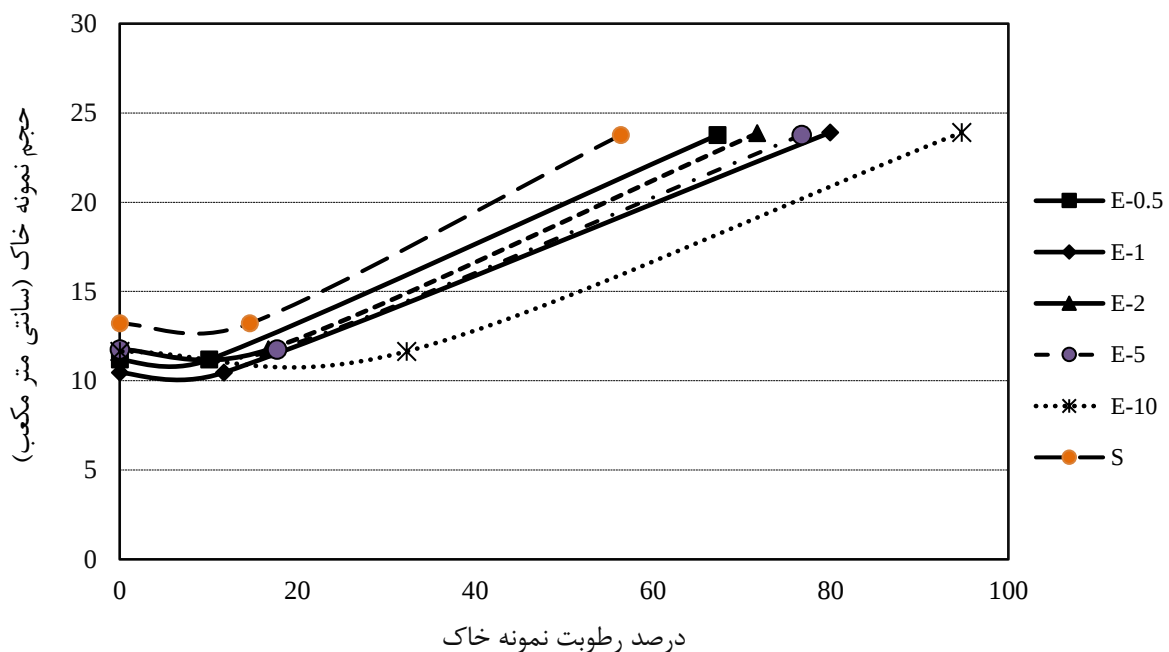
حجمی نیز با روند تقریباً منظمی افزایش و در نمونه با ds/m ۱۲/۵۸ EC=۱۲/۵۸ میزان انقباض خطی و حد انقباض حجمی کاهش می‌یابد. با افزایش میزان EC از ۱۲/۵۸ ds/m تا ۷۶/۷۲، میزان حد انقباض حجمی از ۷۱/۷۳ به ۷۶/۷۲ افزایش می‌یابد. با افزایش میزان EC از ۷۶/۷۲ تا ۹۴/۷۳، میزان حد انقباض حجمی از ۷۶/۷۲ به ۹۴/۷۳ افزایش یافته است.

شکل (۶) چگونگی وضعیت منحنی‌های انقباض حجمی نمونه‌ها، شامل درصدهای مختلفی از کربنات سدیم را نشان می‌دهد. شکل‌های (۷ و ۸) و نتایج مندرج در جدول (۶) نشان می‌دهند که با افزایش میزان EC ناشی از تغییر میزان کربنات سدیم در خاک اولیه، انقباض خطی و حد انقباض

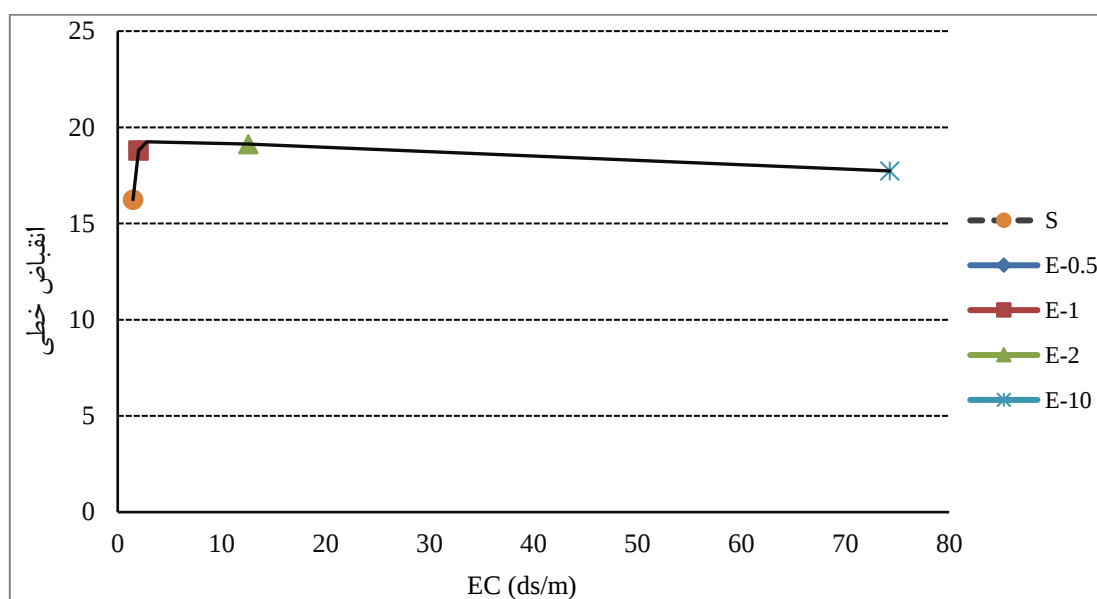
جدول ۶- تأثیر مقادیر مختلف کربنات سدیم بر انقباض حجمی و خطی نمونه ها

Table 6- The effect different percentages of sodium carbonate on volume and linear shrinkage of samples

میانگین رطوبت اولیه	میانگین حد انقباض حجمی	میانگین رطوبت اولیه	میانگین حد انقباض خطی	EC (ds/m)	کربنات سدیم (درصد) Sodium carbonate (%)
Average initial moisture (%)	Average volume shrinkage limit (%)	Average initial moisture (%)	Average linear shrinkage limit (%)		
56.37	14.65	55.66	16.24	1.47	شاهد S Control
67.24	10.05	76.94	18.79	2.02	کربنات سدیم ۰/۵ درصد (E-0.5) Sodium carbonate 0.5%
79.95	11.72	79.77	19.25	2.80	کربنات سدیم ۱ درصد (E-1) Sodium carbonate 1%
71.73	16.74	72.86	19.12	12.58	کربنات سدیم ۲ درصد (E-2) Sodium carbonate 2%
76.72	17.71	-	-	51.80	کربنات سدیم ۵ درصد (E-5) Sodium carbonate 5%
94.73	32.28	68.45	17.73	74.30	کربنات سدیم ۱۰ درصد (E-10) Sodium carbonate 10%

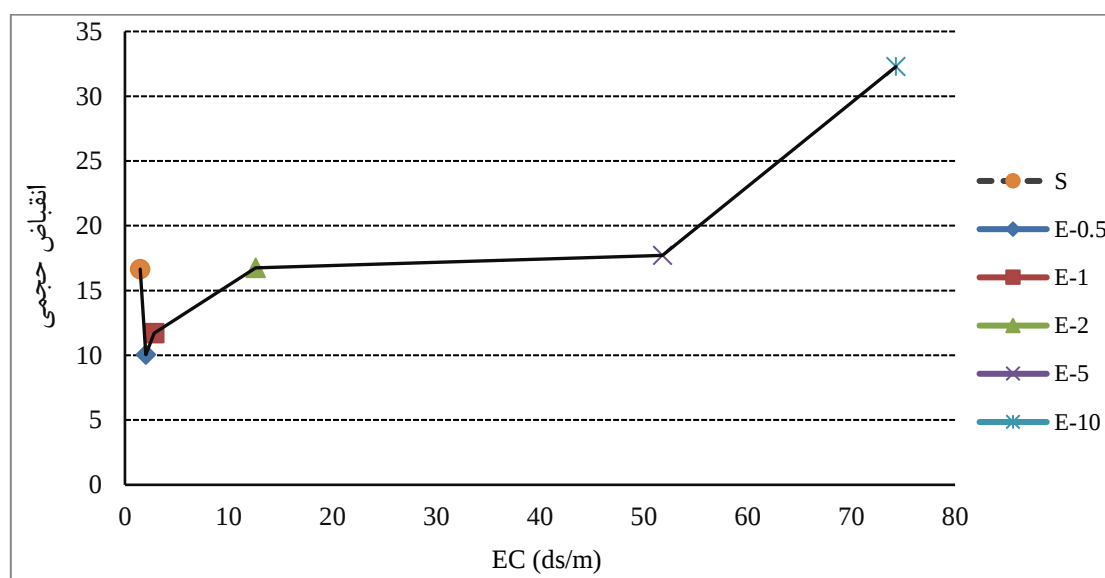


شکل ۶- تأثیر مقادیر مختلف کربنات سدیم بر انقباض حجمی نمونه ها
Fig. 6- The effect of sodium carbonate on volume shrinkage of samples



شکل ۷- تغییرات حد انقباض خطی با هدایت الکتریکی، EC

Fig. 7- Variation of linear shrinkage with EC



شکل ۸- تغییرات حد انقباض حجمی با هدایت الکتریکی، EC

Fig. 8- Variation of volume shrinkage with EC

در محفظه دستگاه و اشباع کردن خاک، تغییر شکل محوری آن در فاصله‌های زمانی مشخص با گنج تغییر شکل دستگاه تعیین شدند. این آزمایش برای سربار ۱ kPa اجرا شد و پس از ۴ روز تورم نمونه خاک مرجع به پایان رسید و سپس تنش‌های قائم ۰/۵، ۱، ۲، ۴ و ۸ کیلوگرمی روی هر یک از نمونه‌ها وارد شد (ASTM D4546). برای تعیین درصد تورم و فشار تورمی، اعداد قرائت شده هر یک از سه دستگاه در جدول‌های (۷ و ۸) آورده شدند و درصد تورم، نسبت پوکی

تعیین شاخص‌های تورم خاک‌های مورد بررسی

به‌منظور تعیین شاخص‌های تورم‌پذیری خاک مرجع در تحقیق حاضر و همچنین مدت زمان لازم برای اعمال هر چرخه تورم، ابتدا به نمونه خاک مرجع ۱۵/۴۲ درصد رطوبت اضافه شد و پس از آن با روش دینامیکی با ۱۲ ضربه کوبیده شد تا γ_d برابر با ۱/۶۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب حاصل گردد؛ سه نمونه بدین صورت ساخته شدند. هر کدام در یک دستگاه تحکیم معمولی جای‌گذاری گردیدند. با ریختن آب

درصد تورم از ۳۲/۷۵ به ۹/۸۷ کاهش و با افزایش EC از ۱۲/۵۸ به ۵۱/۸ dS/m، درصد تورم از ۹/۸۷ به ۱۱/۵۳ افزایش یافته است (شکل ۱۰). نمودارهای نحوه تغییرات فشار تورم با تغییرات EC و درصد کرنبات سدیم در شکل های (۱۱ و ۱۲) آمده است. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش EC از ۱/۴۷ تا ۲/۸ dS/m میزان فشار تورمی از ۱۰/۱۲ به ۷۹ کیلوپاسکال افزایش می یابد، با افزایش EC از ۲/۸ به ۱۲/۵۸ dS/m میزان فشار تورمی از ۷۹ به ۳۰/۱۷ کیلوپاسکال با شیب تندی کاهش و با افزایش EC از ۱۲/۵۸ به ۵۱/۸ dS/m میزان فشار تورمی از ۳۰/۱۷ به ۲۳ کیلوپاسکال با شیب خیلی ملایمی کاهش می یابد (شکل ۱۱). با افزایش کرنبات سدیم از صفر تا ۱ درصد، میزان فشار تورمی افزایش و با افزایش نمک از ۱ تا ۲ درصد میزان فشار تورمی کاهش می یابد، سپس با افزایش کرنبات سدیم از ۲ تا ۵ درصد میزان فشار تورمی با شیب ملایمی کاهش می یابد (شکل ۱۲).

و تبدیل وزن وزنه های بارگذاری از Kg به kPa محاسبه شد. نتایج نهایی حاصل از آزمایش های تورم آزاد نمونه های حاوی کرنبات سدیم برای هر تکرار در جدول (۷) و میانگین نتایج نهایی آزمایش های تورم آزاد نمونه های حاوی کرنبات سدیم در جدول (۸) آمده است.

نمودارهای نحوه تغییرات درصد تورم با تغییرات درصد کرنبات سدیم و EC در شکل های (۹ و ۱۰) آمده است. همان طور که مشاهده می شود، با افزایش کرنبات سدیم از صفر تا ۱ درصد میزان درصد تورم با شیبی تند افزایش و در ادامه با افزایش نمک کرنبات سدیم تا ۲ درصد، میزان درصد تورم از ۳۲/۷۵ به ۹/۸۷ کاهش می یابد. با افزایش نمک کرنبات سدیم از ۲ تا ۵ درصد، میزان درصد تورم از ۹/۸۷ به ۱۱/۵۳ با شیب ملایمی افزایش می یابد (شکل ۹). همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود، با افزایش EC از ۱/۴۷ تا ۲/۸ (dS/m) میزان درصد تورم از ۱۱/۱۳ به ۳۲/۷۵ افزایش یافته است، با افزایش EC از ۲/۸ به ۱۲/۵۸ dS/m، میزان

جدول ۷- نتایج آزمایش تورم آزاد نمونه های حاوی کرنبات سدیم

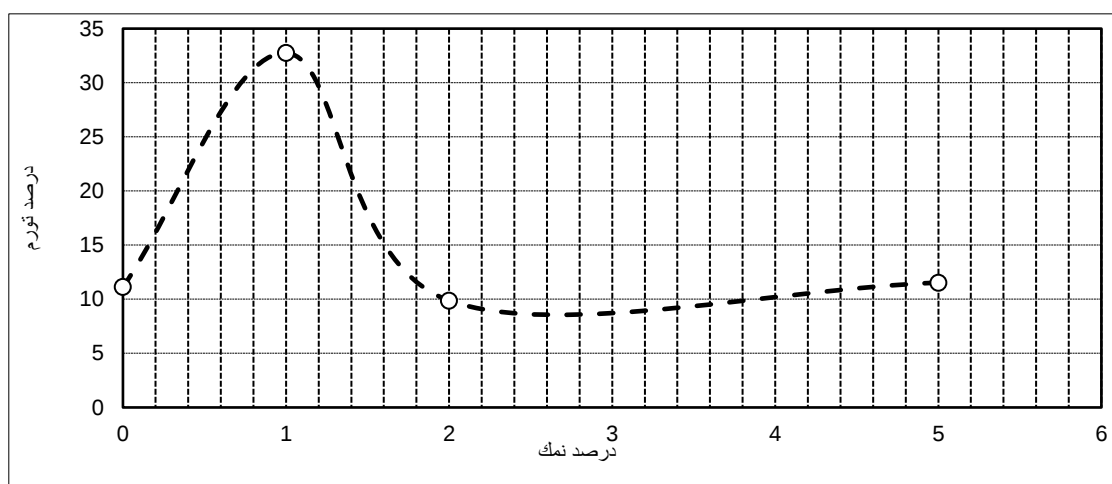
Table 7- Free swelling tests of samples containing sodium carbonate

شماره نمونه Sample number	رطوبت اولیه (درصد) Initial moisture (%)	γ_d (g cm ⁻³)	درصد تورم Swelling percentage	فشار تورمی (کیلوپاسکال) Swelling pressure (kPa)
S-G7	15.42	1.66	11.8	10.20
S-G6	15.42	1.64	12.0	10.10
S-G2	15.42	1.63	11.8	10.05
E-1-G4	20.38	1.63	33.0	100.0
E-1-G6	20.38	1.59	32.5	58.0
E-2-G1	19.53	1.72	14.5	30.5
E-2-G2	19.53	1.68	6.6	22.0
E-2-G3	19.53	1.69	8.5	38.0
E-5-G1	20.08	1.76	11.5	17.0
E-5-G2	20.08	1.75	11.5	22.0
E-5-G3	20.08	1.70	11.6	30.0

جدول ۸- میانگین تورم آزاد نمونه‌های حاوی کربنات سدیم

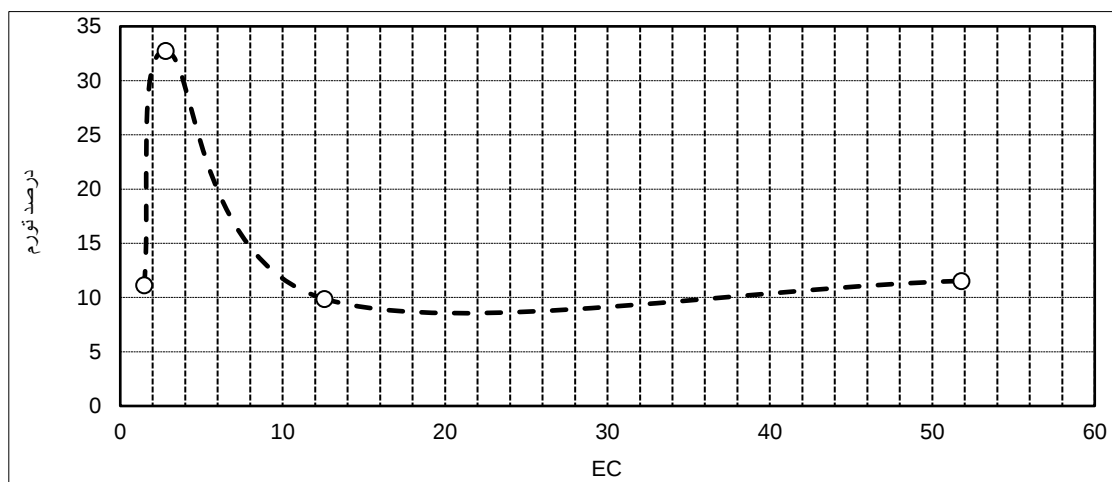
Table 8- The mean of free swelling tests of samples containing sodium carbonate

شماره نمونه	رطوبت اولیه (درصد)	γ_d (g cm ⁻³)	درصد تورم	فشار تورمی (کیلوپاسکال)
Sample number	Initial moisture (%)		Swelling percentage	Swelling pressure (kPa)
S	15.42	1.64	11.87	10.12
E-1 کربنات سدیم	20.38	1.61	32.75	79.0
E-1 sodium carbonate				
E-2 کربنات سدیم	19.53	1.70	9.87	30.17
E-1 sodium carbonate				
E-5 کربنات سدیم	20.08	1.73	11.53	23.0
E-1 sodium carbonate				



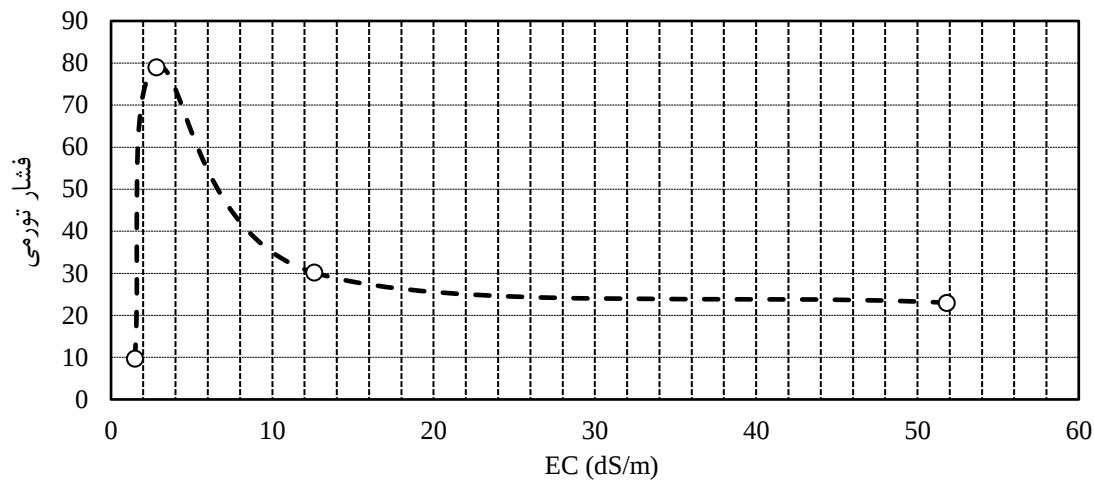
شکل ۹- تغییرات درصد تورم با درصد کربنات سدیم

Fig. 9- Variation of swelling percentage with sodium carbonate

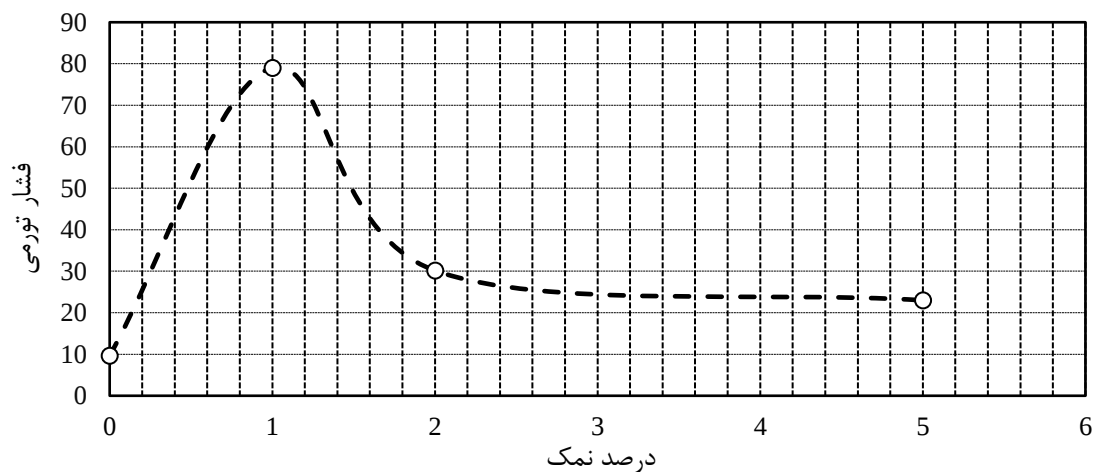


شکل ۱۰- نحوه تغییرات درصد تورم با تغییرات EC

Fig. 10- Variation of swelling percentage with EC



شکل ۱۱- تغییرات فشار تورم با تغییرات EC
Fig. 11- Variation of swelling pressure with EC changes



شکل ۱۲- نحوه تغییرات فشار تورم با تغییرات درصد کربنات سدیم
Fig. 12- Variation of swelling pressure with sodium carbonate

(Wang & Wei, 2015). در تحقیقات وانگ و وی (2018) تماس طولانی مدت انواع مختلف کاتیون ها بر رفتار خاک های متورم شونده صورت گرفت که نتیجه این تحقیق، کاهش پتانسیل تورمی در تأثیر کاتیون ها حاصل گردید که با توجه به جدول های (۷ و ۸)، وجود شوری های مختلف در نمونه های S و E، تأثیر قابل توجهی بر مشخصات تورمی خاک های متورم شونده داشته است. در تحقیقی، این نتیجه به دست آمد که با افزایش غلظت نمک از میزان تورم نمونه ها کاسته می شود. (Goli Kalanpa et al., 2018) که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. در تحقیقات گلی کلانپا و همکاران (Goli Kalanpa et al., 2018) معلوم شد با افزودن

با توجه به جدول (۷)، مشخصات تورم (فشار تورم و درصد تورم) برای نمونه S با شوری طبیعی (بدون افزودن نمک) مقادیری تقریباً ثابت حاصل گردید، ولی برای نمونه های E با درصدهای مختلف نمک، مقادیر مختلفی برای فشار و درصد تورم به دست آمد. به نظر می رسد در درصدهای خاصی، وجود نمک ها و کاتیون های سدیم باعث تشدید و افزایش پتانسیل تورمی می شود، با این حال می توان گفت تفاوت نتیجه مطالعات مبنی بر کاهش یا افزایش پتانسیل تورم پذیری خاک های متورم شونده ناشی از وجود عاملی با عنوان کیفیت و نوع مواد شیمیایی ترکیب شونده با خاک و همچنین غلظت این مواد است (Goli Kalanpa et al.,)

میزان اندکی نمک، پتانسیل تورمی خاک نزدیک به ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. لازم است گفته شود که در تحقیق حاضر نیز برای مقادیر بین ۱ تا ۵ درصد با افزایش درصد نمک، فشار تورمی کاهش یافته است که با نتایج تحقیق گلی کلانپا و همکاران (Goli Kalanpa et al., 2018) همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

براساس مجموعه بررسی‌ها و آزمایش‌ها در تحقیق حاضر، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای زیر را می‌توان بیان داشت. از نتایج آزمایش تراکم نمونه‌های مصنوعی نتیجه گرفته شد که چگونگی تأثیر نمک کربنات سدیم بستگی به میزان نمک دارد، به‌طوری‌که تا حدود یک درصد با افزایش درصد نمک رابطه خاصی بین درصد نمک و رطوبت بهینه و دانسیته خشک ماکزیمم وجود ندارد، ولی برای مقادیر بین ۱ تا ۵ درصد، رطوبت بهینه کاهش و حداکثر دانسیته خشک افزایش می‌یابد. از نتایج آزمایش تورم نمونه‌های مصنوعی نتیجه گرفته شد، که چگونگی تأثیر نمک کربنات سدیم بستگی به میزان نمک دارد، تا حدود یک درصد با افزایش درصد نمک، فشار تورمی افزایش ولی برای مقادیر بین ۱ تا

مراجع

- Abbasi, N., & Nazifi, M.H. (2013). Assessment and Modification of Sherard Chemical Method for Evaluation of Dispersion Potential of Soils, *Journal Geotechnical and Geological Engineering*, Springer, 31(1), 337-349, doi: 10.1007/s10706-012-9573-7.
- Abbasi, N., & Bahramloo, R. (2018). Investigation on Causes of Destruction of Concrete Lining of Irrigation Canals Constructed on Gypsiferous Soils (A Case Study for Shabankareh Irrigation Network). *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 70(19): 69-84. (In Persian)
- Abdalqader, A.F., Jin, F., & Al-Tabbaa, A. (2016). Development of greener alkali-activated cement: utilization of sodium carbonate for activating slag and fly ash mixtures. *Journal of Cleaner Production*, 113, 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.010>
- Alawaji, H.A. (1999). Swell and compressibility characteristics of sand-bentonite mixtures inundated with liquids. *Applied clay science*, 15(3-4), 411-430.
- Amerikhah, H., Khadem al-Rosoul, A., & Charm, M. (2004). Investigating the swelling of clays as an identification tool. The 9th Congress of Soil Sciences of Iran. 6 August. Soil and watershed protection research center of the country, Tehran, Iran. (In Persian)
- Asghari-Kaljahi, E., Salimi Chshmehe Mantash, M., & Hajjalilue-Bonab, M. (2019). Evaluation of Expansive Potential of Fine Grained Soils of Tabriz Northern Highway Based on Shrinkage Limit. *New Findings of Applied Geology*. 13(25): 48-61. (In Persian)
- Basma, A.A., Al-Homoud, A.S., Malkawi, A.I.H., & Al-Bashabsheh, M.A. (1996). Swelling-shrinkage behavior of natural expansive clays, *Applied Clay Science*, 11: 211-227.
- Baumgartner, P., Priyanto, D., Baldwin, J.R., Blatz, J.A., Kjartanson, B.H., & Batenipour, H. (2008). Preliminary results of one-dimensional consolidation testing on bentonite clay-based sealing

- components subjected to two pore-fluid chemistry conditions. Nuclear Waste Management Organisation, Toronto. Nuclear Waste Management Organization Report NWMO TR-2008-04. Toronto, Canada.
- Bernal, S.A., Provis, J.L., Myers, R.J., San Nicolas, R., & van Deventer, J.S. (2015). Role of carbonates in the chemical evolution of sodium carbonate-activated slag binders. *Materials and Structures*, 48, 517-529. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0412-6>
- Bhavsar, S.N., & Patel, A.J. (2014). Analysis of Swelling and Shrinkage Properties of Expansive Soil using Brick Dust as a Stabilizer, 4(12): 303-308.
- Elmashad, M.E. (2017). Effect of chemical additives on consistency, infiltration rate and swelling characteristics of bentonite. *Water Science*, 31(2), 177-188.
- Elmashad, M.E., Sharaf, M., & Abdelaziz, T. (2022). Improvement of swelling soil by using lime sludge and sodium chloride. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(24), 1761.
- Goli Kalanpa, R., Ahmadi, H., & Goli Kalanpa, E. (2018). The Effect of Salinity on the Swelling Behavior of Expansive Soils under Wetting and Drying Cycles. *Applied Soil Research*. 6(1): 85-97. (In Persian)
- Grønbech, G., Nielsen, B.N., & Ibsen, L.B. (2010). Chloride concentration and pHs influence on the Atterberg limits of Søvind Marl.
- Igwe, C.A., & Okebalama, C.B. (2006). Soil strength of some Central Eastern Nigeria soils and effect of potassium and sodium on their dispersion. *International agrophysics*, 20(2).
- Mirzababaei, M., & Yasrebi, Sh. (2006). Investigating the effect of polymer stabilizers on the swelling pressure of swelling clays. The 7th International Congress of Civil Engineering. Tehran, Iran. (In Persian)
- Nowamooz, H., & Masrouri, F. (2008). Hydro mechanical behaviour of an expansive bentonite/silt mixture in cyclic. *Journal of engineering geology*, 101, 154-164.
- Osinubi, K.J., & Eberemu, A.O. (2010). Desiccation induced shrinkage of compacted lateritic soil treated with blast furnace slag. *Geotechnical and Geological Engineering*, 28, 537-547.
- Rahimi, H., & Abbasi, N. (2017). *Geotechnical Engineering: Problematic Soils*. University of Tehran Press, 3rd Edition, 870 p. (In Persian)
- Ramesh, P., Rao, A.N., & Murthy, K.N. (2012). Efficacy of sodium carbonate and calcium carbonate in stabilizing a black cotton soil. *Int. J. Emerg. Technolo. Adv. Eng*, 2, pp.197-201.
- Rao, S.M., & Thyagaraj, T. (2007). Swell – compression behaviour of compacted clays under chemical gradients. *Canadian Geotechnical Journal*, 44(5), 520-532.
- Wang, G., & Wei, X. (2015). Modeling swelling–shrinkage behavior of compacted expansive soils during wetting–drying cycles. *Canadian Geotechnical Journal*, 52(6), pp.783-794.
- Wisniak, J. (2003). Sodium carbonate-From natural resources to Leblanc and back. *Indian journal of chemical technology*, 10(1), 99-112.
- Yilmaz, I. (2006). Indirect estimation of the swelling percent and a new classification of soils depending on liquid limit and cation exchange capacity. *Engineering geology*, 85(3-4), 295-301.
- Yilmaz, I., & Marschalko, M. (2014). The effect of different types of water on the swelling behaviour of expansive clays. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73, 1049-1062.
- Yong, R.N., & Warkentin, B.P. (1975). *Soil properties and behaviour*. Elsevier Scientific, Amsterdam, p 449
- Yukselen-Aksoy, Y., Kaya, A., & Ören, A.H. (2008). Seawater effect on consistency limits and compressibility characteristics of clays. *Engineering Geology*, 102(1-2), 54-61.

Investigating the Effect of Sodium Carbonate on the Swelling and Shrinking Behavior of Clay Soils in Hydraulic Structures

N. Abbasi^{*1}, M. Sarkari², A. Khorsand³, R. Bahramloo⁴

***Corresponding Author:** Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: 12 October 2024, **Accepted:** 9 November 2024

Email: nader_iaeri@yahoo.com

https://doi.org/ 10.22092/idser.2024.367300.1594

Extended Abstract

Introduction

Swelling and shrinking soils are problematic soils that destroy structures built on them if their behavior is not recognized and the necessary measures are not taken. The potential of swelling or shrinkage soils depends on various factors, such as the type of clay minerals and the chemical properties of the water. When developing the theoretical concept of swelling soil, factors such as mineralogy, soil structure, and pore water affecting physical factors (such as density, moisture value, and plastic properties) should be considered. Determining the swelling percentage and swelling pressure of clay soils is an important tool to explain and predict the behavior of clay soils. One of the most important properties of clay soils is their sensitivity to volume changes due to swelling and contraction, which lead to soil movement. According to the studies conducted on various aspects of swelling, shrinkage and also the effect of the amount and type of salinity on soil properties such as structure, grain stability and shear strength, it seems that much research on the effect of the amount and type of salinity on the swelling and shrinkage behavior of soil has not yet been conducted; therefore, this research attempts to investigate as much as possible the effects of different amounts of sodium carbonate on the swelling and shrinkage behavior of clay soils. Several objectives were pursued in compiling and conducting this research, including investigating the effects of different amounts of sodium carbonate on swelling percentage, swelling pressure, volumetric and linear shrinkage, and determining the effects of chemical characteristics such as EC on the indices of shrinkage and swelling.

Methodology

In order to investigate the effects of the amount of sodium carbonate on the swelling and shrinkage properties of soils, synthetic samples with different amounts of sodium carbonate were used in this study. For this purpose, a sample of clay soil from Kamalabad region of Karaj was first prepared. In order to identify and determine the physical and mechanical properties of the soil used, identification and classification tests were carried out including granularity, Atterberg limits, compaction properties, specific gravity, swelling and shrinkage indices and also chemical properties were studied on the samples based on ASTM standards. The shrinkage limit was used to determine the shrinkage capacity and specifications of the samples. There are two methods, volumetric and linear, to determine the shrinkage limit. The laboratory method for determining the shrinkage limit is provided as a standard by the ASTM Institute under the number D-427. To determine the percentage of swelling and the swelling pressure of soils with different proportions of sodium carbonate, the swelling test was carried out according to the standard (ASTM D4546). First, the soil sample prepared by the dynamic method was tamped into special rings, and then each of the rings containing the sample was placed in a normal consolidation device.

Results and Discussion

The results show that the sodium carbonate salt had no significant effect on the optimum moisture values and the maximum dry density of the soil samples tested. With the increase in the amount of EC, caused by the change in the amount of sodium carbonate in the original soil, the linear shrinkage and volume shrinkage

limit also increased with an almost regular trend, and for the sample with EC=12.58 ds/m, the linear shrinkage and volume shrinkage limit decreased.

The results show that when the sodium carbonate content is increased from zero to 1%, the swelling percentage increases with a sharp slope, and when the sodium carbonate salt content is increased to 2%, the swelling percentage decreases from 32.75 to 9.87. If you increase the percentage of sodium carbonate salt from 2 to 5%, the percentage of swelling increases from 9.87 to 11.53 with a slight slope. As you increase the EC from 1.47 to 2.8 (dS/m) the inflation percentage increases from 11.13 to 32.75 and as you increase the EC from 2.8 to 12.58 (dS/m) the inflation percentage decreases from 32.75 to 9.87 and as you increase the EC from 12.58 to 51.8 (dS/m) the inflation percentage increases from 9.87 to 11.53.

The graphs of changes in swelling pressure with changes in EC and percentage of sodium carbonate also showed that with an increase in EC from 1.47 to 2.8 (dS/m), the level of swelling pressure increased from 10.12 to 79 kilopascals, with an increase in EC from 2.58 to 12.58 (dS/m), the swelling pressure decreased from 79 to 17.30 with a steep increase, and with the increase in EC from 12.58 to 51.8 (dS/m), the swelling pressure decreased from 17.30 to 23 with a very slight increase. By increasing the percentage of sodium carbonate from zero to 1 %, the source pressure increased, and by increasing the percentage of salt from 1 to 2 %, the source pressure decreased, and by increasing the percentage of sodium carbonate from 2 to 5 %, the source pressure decreased with a slight gradient.

Conclusions

Based on the surveys and experiments carried out as part of this study, the following conclusions can be drawn and established:

- From the results of the density test of synthetic samples, it was concluded that the effect of sodium carbonate depends on the amount of salt; thus, up to about 1% with the increase of salt content, there is no particular relationship between salt content and optimum moisture and maximum dry density, but at values between 1 and 5%, optimum moisture decreases and maximum dry density increases.
- From the results of the swelling test of synthetic samples, it was concluded that the effect of sodium carbonate depends on the amount of salt; thus, up to about 1%, the swelling pressure increases with increasing salt content, but at values between 1 and 5%, the swelling pressure decreases.
- From the results of the volume contraction test of synthetic samples, it was concluded that the effect of sodium carbonate salt depends on the amount of salt; thus, up to about 1%, the amount of volumetric shrinkage decreases with the increase of the salt percentage, but at values between 1 and 10%, the amount of the volumetric shrinkage limit increases.
- From the results of the linear shrinkage test of synthetic samples, it was concluded that the effect of sodium carbonate salt depends on the amount of salt; so that up to about 1%, the linear shrinkage limit increases with the increase of salt content, but at values between 1 and 5%, the number of linear shrinkage decreases.

Keywords: Linear shrinkage, Problematic soils, Soil salinity, Swelling characteristics, Volume shrinkage

مسائل و چالش‌های مدیریت مشارکتی آب و انتقال پایدار مدیریت آبیاری در ایران

نادر حیدری*

*دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۰

چکیده

مدیریت مشارکتی و در نهایت، انتقال مدیریت آبیاری فرایندی است که در بخش آب اکثر کشورهای جهان به صورت علمی و رسمی آن در حال اجراست و تقریباً بیش از دو دهه از عمر آن می‌گذرد. در ایران نیز در این خصوص از ابعاد جاری سازی ادبیات موضوع، ورود آن به برنامه‌ها و قوانین و اسناد بالادستی، ایجاد تعداد معدودی تشکلهای آب‌بر، و در سال‌های اخیر اجرای مدیریت مشارکتی آبیاری در سطوح محدود و در پروژه‌های پایلوت فعالیت‌هایی شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد اجرای مطلوب مدیریت مشارکتی و ایجاد تشکلهای آب‌بر در کشور روند کند و پراکنده دارد و با مسائل و چالش‌های مختلفی مواجه است. مرور منابع علمی و بررسی و تحلیل‌ها از جنبه آسیب‌شناسی موضوع در این مطالعه، حاکی از آن است که اجرای مدیریت مشارکتی و انتقال مدیریت آبیاری در ایران، مسائل و چالش‌های مختلفی دارد. موارد مهم این مسائل و چالش‌ها عبارت‌اند از: (۱) مسائل تولی‌گری موضوع، (۲) ضعف در هماهنگی‌های لازم، موازی کاری و دخالت دستگاه‌های مختلف در امور یکدیگر، (۳) نبود یا کمبود اراده لازم در این موضوع به رغم اهمیت آن و تأکیدات مختلف در قوانین و اسناد بالادستی، (۴) گذشت زمان و لزوم اعمال تغییرات مختلف در ساختار مدیریت آب با توجه به بحران فزاینده کمبود آب در کشور، (۵) تمرکزگرایی و نداشتن و یا ندادن جایگاه لازم به تشکلهای آب‌بر از ابعاد ساختار، شرح وظایف و اختیارات و در نهایت استقلال آنها، (۶) ضعف در توانمندسازی تشکلهای تسهیلگری‌های لازم برای شکل‌گیری و پایداری آنها، (۷) کمبود زیرساخت‌های لازم از ابعاد مختلف مانند تحویل ندادن حجمی آب، اجرایی‌نشدن بعضی از قوانین و آئین‌نامه‌های مرتبط، بالاترکلیفی دستگاه‌ها در اجرای کار و رقابت دستگاه‌های توزیع آب (شرکت‌های بهره‌برداری) برای ایجاد تشکلهای و مسائل تعارض منافع، (۸) کمبود تحقیقات و مطالعات میدانی لازم در خصوص موضوع، (۹) پیدایش چالش‌های جدید در اهداف موضوع و واردشدن برخی واژه‌های جدید در تعریف تشکلهای آب‌بر خاص کشور ایران، مانند واردشدن بحث استفاده از اراضی به موضوع و نامیدن آن به عنوان تشکلهای بهره‌برداری توأمان از آب و زمین به جای صرفاً تشکلهای آب‌بر، و (۱۰) مسائل خاص ایجاد و پایداری تشکلهای آب‌بر چاه (آب‌های زیرزمینی). عواملی مانند: (۱) گذشت زمان زیاد (بیش از سه دهه) از ورود مفهوم مدیریت مشارکتی آبیاری به ادبیات علمی و اجرایی مدیریت آب کشور و وجود وقفه طولانی در اجرای کامل و مؤثر آن در کشور، (۲) ظهور بحث‌های جدید در مدیریت آب کشور (مانند مباحث ایجاد بازارهای محلی آب، حسابداری آب، باز تخصیص آب و غیره)، و (۳) بحران کمبود فزاینده منابع آب و تغییرات اقلیمی در این دوره زمانی، ادامه کار مدیریت مشارکتی در کشور را وارد عرصه جدیدی کرده است. این امر بیانگر ضرورت مطالعات جدیدتر (آن‌هم با در نظر گرفتن مسائل اجتماعی فرهنگی مناطق و به صورت موردی) و بازنگری‌های لازم برای شیوه‌های اعمال مدیریت مشارکتی در عرصه است.

واژه‌های کلیدی: تشکلهای آب‌بر، ذی‌نفعان، قوانین و اسناد، گروه مصرف‌کننده آب، نظام بهره‌برداری

مقدمه

مرتبط با پایداری و عدالت را در برگیرد و به ابزاری برای تغییر ساختار در بخش آب از جنبه های مذکور تبدیل شود (Joy, 2007). از این رو نیاز است تا برنامه های PIM و IMT از بحث و دیدگاه صرفاً واگذاری اختیارات و مسئولیت ها فراتر رود و دیدگاه تغییر ساختار در مدیریت آب ایجاد شود. در ایران به دلیل فشارهای مالی بر دولت و نیاز بر بهبود مدیریت منابع آب، تلاش هایی برای تقویت مشارکت بهره برداران آب کشاورزی از اواسط دهه ۱۳۷۰ آغاز شد. این تلاش ها شامل طراحی و اجرای پروژه های احیای منابع آب زیرزمینی نیز بود. طرح احیا و تعادل بخشی آب های زیرزمینی در سال ۱۳۹۳ به تصویب شورای عالی آب رسید و این طرح در ابتدا شامل لایه های مختلف بود که مدیریت مشارکتی منابع آب زیرزمینی یکی از این لایه ها بود.

یکی از ابزارهای مهم و اصلی اجرای برنامه های PIM و در نهایت IMT، ایجاد تشکلهای آببران (WUA)^۴ است که در اکثر کشورهای شروع کننده این برنامه ها (مانند بنگلادش، فیلیپین، مکزیک، نپال و غیره) به خوبی ایجاد شده است و عملکرد مناسبی نیز دارند. در اکثر کشورها، ایجاد تشکلهای و انجمن های آبر به عنوان یکی از راهکارها و راهبردهای مناسب و کارآمد در جهت افزایش مشارکت بهره برداران از آب (کشاورزان) در مدیریت آب کشاورزی، مورد توجه قرار گرفته است. از طرفی، تشکیل انجمن های آبر بدون بررسی و زمینه یابی مناسب برای ایجاد آنها موجبات شکست و ناکامی این تشکلهای را به همراه خواهد داشت. شاخص ترین نتایج و دستاوردهای قابل انتظار از تشکیل تشکلهای مردمی در زمینه انتقال مدیریت شبکه های آبیاری عبارتند از: ۱) ایجاد انگیزه و کسب مشارکت کشاورزان به منظور بهبود راندمان آبیاری و بهره وری در استفاده از منابع آب، ۲) ارتقای مشارکت کشاورزان برای کاهش هزینه های بهره برداری و نگهداری از تأسیسات آبیاری

مدیریت مشارکتی آبیاری (PIM)^۱ تفویض اختیارات و انتقال مدیریت آبیاری (IMT)^۲ و سرانجام واگذاری مدیریت و سرپرستی سیستم های آبیاری از بخش دولتی به گروه های مصرف کننده آب یا سایر مصرف کنندگان ذی نفع (بخش خصوصی)، گرایشی است که در بحث مدیریت آبیاری بیشتر کشورهای جهان از جمله ایران و به صورت رسمی و علمی آن در بیش از دو دهه اخیر در حال جریان بوده است. مدیریت مشارکتی آب سابقه ای طولانی در ایران دارد و بهره برداران به صورت سنتی در مدیریت و توزیع آب از جمله در موارد آبربندها، نظام قنات ها، نظام آبیاری سنتی و غیره مشارکت داشته اند. امروزه نیز مدیریت مشارکتی آب به عنوان یکی از راهکارهای مهم در مدیریت پایدار آب کشور مطرح است و در سال های اخیر، توسعه الگوهای نظام بهره برداری توأمان آب و زمین همراه با واحد مدیریت مشارکتی آب در سطوح محدود اجرا شده است.

انگیزه برای این تغییرات بیشتر از سوی دولت ها بوده است و هدف های اصلی دولت ها در این زمینه تاحدامکان کاهش تصدی گری و کاهش هزینه های جاری سیستم های آبیاری از طریق کاهش یا قطع یارانه ها، دریافت مخارج خدمات آبیاری، و تفویض وظایف بهره برداری و نگهداری (O & M)^۳ سیستم آبیاری به کشاورزان و استقلال مالی سیستم های آبیاری از طریق دریافت های مالی از خود کشاورزان است (Heydari, 2003 ; Hamdy, 2007). برای نمونه، برنامه های PIM در هند از جنبه حمایت های سیاستی و اجرایی پیشرفت خوبی داشته است و تاکنون منحصر به افزایش راندمان آبیاری و بهره وری آب شده است. ولی عقیده کارشناسان بر آن است که این چارچوب محدود شده به سستی بتواند به مسائل بحران آب کشور هند در این زمینه پاسخ دهد. از این رو این چارچوب باید گسترش یابد تا مسائل

³ Operatina and Maintenance⁴ Water Users Associations¹ Participatory Irrigation Management² Irrigation Management Transfer

فراموشی سپرده شده است (Statement of the Iranian Chamber of Commerce, 2021).

بر اساس آخرین آمار ارائه شده^۱، در حال حاضر ۱۵۷۳ شرکت تعاونی تولید در کشور وجود دارد که در ۱۹۷ مورد آنها واحد مدیریت مشارکتی آب فعال وجود دارد. البته، در ۶۰۹ مورد گروه "هم‌آب"^۲ در آنها تشکیل شده و از ۱۹۷ مورد فعال، در ۱۰۴ مورد قرارداد توزیع آب با شرکت‌های آب منطقه‌ای استانی و در سطحی حدود ۴۶۷ هزار هکتار از اراضی آبی و به‌طور عمده در استان‌های کرمانشاه، خوزستان، ایلام، گلستان، اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و خراسان رضوی منعقد شده است.

در این مقاله، ابتدا ادبیات و پیشینه موضوع مدیریت مشارکتی و انتقال مدیریت آبیاری بررسی شده است و پس از آن عوامل محرک و پیشران و سطوح اعمال آن، وضعیت آن در کشور از ابعاد جایگاه و الزام‌های قانونی، موانع و محدودیت‌های ایجاد تشکلهای آب‌بر پایدار، زیر ساخت‌های لازم برای انتقال موفقیت‌آمیز مدیریت آبیاری بر پایه تجربه‌های جهانی و کشوری، فرهنگ‌سازی‌ها و ظرفیت‌سازی‌های ایجاد شده برای تسری ادبیات و افزایش گسترش موضوع در کشور، شناسایی شده‌اند. آنگاه دلایل تشکیل نشدن تشکلهای آب‌بر و علل رکود و توقف فرآیند مدیریت مشارکتی آبیاری بررسی و آسیب‌شناسی اجمالی شده است که می‌توانست در صورت توجه لازم به آن، بستر و زیرساختی مهم برای مدیریت مناسب منابع آب‌های سطحی و زیر زمینی در اراضی پایاب شبکه‌های آبیاری و زهکشی و اراضی با منابع آب زیرزمینی (چاه‌ها) در کشور باشد.

و حفظ این تأسیسات، ۳) امکان توانمندسازی کشاورزان و بهره‌برداران برای اجرای مشارکتی فعالیت‌های موردنیاز از جمله جمع‌آوری و دسته‌بندی مشکلات در قالب فعالیت‌های گروهی، تعیین اولویت‌ها، برنامه‌ریزی، اجرا و نظارت بر برنامه‌های مربوط در سطح شبکه‌های آبیاری و زهکشی و ۴) اعتدالی دانش فنی و اجتماعی بهره‌برداران و مردم در سطح شبکه‌های آبیاری و در نتیجه، امکان اجرای مناسب‌تر طرح‌های توسعه، افزایش بهره‌وری از جمله یکپارچه‌سازی اراضی، ارتقای سطح مکانیزاسیون و کاهش مشکلات اجتماعی در محدوده اجرای طرح‌های آبیاری و زهکشی (Taghipour et al., 2014).

در ایران از اوایل دهه هفتاد افزایش کیفیت خدمات‌رسانی، کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری و واگذاری برخی از وظایف و فعالیت‌های دولت به تشکلهای آب‌بران و بخش خصوصی مورد توجه قرار گرفت. از این رو برای ایجاد تشکلهای آب‌بر تلاش‌های زیادی شد و تعداد محدودی تشکل نیز ایجاد گردید، بااین‌همه، به دلیل مشکلات مختلف، فرآیند کار کند و عملاً متوقف مانده است. تا جایی که محدود تشکلهای ایجاد شده نیز یا فاقد عملکردی مناسب هستند یا پایداری لازم را ندارند. توجه به اصل قبول فعالیت تشکلهای آب‌بران در کنار موضوع سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در طرح‌های آب کشور مستند به قوانین بالادستی کشور از جمله مبنای ورود هرچه بیشتر غیردولتی‌ها برای مدیریت امور آب کشور است. بااین‌حال، درون‌گرایی حاکم بر ساختار اجرائی وزارتخانه‌ها و نهادهای دولتی (به‌خصوص وزارتخانه‌های نیرو و جهاد کشاورزی)، این تحرک را در عمل عقیم کرده و تاکنون از ظرفیت نهادهای غیردولتی (آب‌بران و بخش خصوصی) استفاده مطلوب نشده است و محدود توفیقات مقطعی حاصل شده نیز به دلیل نبود حمایت، به‌دست

^۱ چشمه، قنات، شبکه‌های آبیاری (کانال اصلی و فرعی) و ایستگاه پمپاژ (دارای دریچه مشترک) استفاده می‌نمایند. این گروه‌ها در عمل عهده‌دار مدیریت مشارکتی آب و فعالیت‌های کشاورزی در محدوده تحت پوشش مربوط به منبع آب خود هستند (Alizadeh et al., 2019).

^۲ آمار و ارقام ارائه شده از سوی آقای دکترسید علیرضا رئیس‌السادات مدیرکل دفتر نظام‌های بهره‌برداری، شرکت‌های سهامی زراعی، و تعاونی‌های تولید سازمان مرکزی تعاون روستایی ایران به مؤلف مقاله طی تماس تلفنی در تاریخ ۱۳ مرداد ۱۴۰۳.

^۳ مطابق بند ۴ ماده ۵ و ماده ۲۴ اساسنامه شرکت‌های تعاونی تولید روستایی، هر گروه هم آب متشکل از کشاورزان همجوار است که از یک یا چند منبع آبی شامل چاه،

ادبیات و پیشینه و نیروهای پشران

ادبیات و پیشینه

بر حسب تعریف، IMT واگذاری مسئولیت‌ها و سرپرستی مدیریت آبیاری از بخش دولتی به گروه‌های کشاورزان یا دیگر گروه‌های غیردولتی مصرف‌کننده آب است. به‌طور کلی، این فرایند همراه با کاهش نقش دولت و گسترش نقش بخش خصوصی در مدیریت آبیاری است (Abernethy, 1997, Hamdy, 2007). در دو دهه اخیر، این فرایند تبدیل به یک سیاست کلی در بخش مدیریت آبیاری اکثر کشورهای جهان و به‌خصوص، کشورهای در حال توسعه شده است. در بسیاری از کشورها این فرایند از خیلی سال‌های قبل شروع شده بود. موارد اولیه برنامه‌های IMT در کشورهایی مانند آمریکا، فرانسه، کلمبیا و تایوان طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ میلادی به اجرا در آمد. ولی در بیشتر کشورهای در حال توسعه مانند شیلی، پرو، مکزیک، برزیل، جمهوری دومینیکن، هائیتی، سنگال، موریتانی، نیجر، زیمبابوه، تانزانیا، سودان، سومالی، ماداگاسکار، ترکیه، پاکستان، هندوستان، سریلانکا، بنگلادش، لائوس، ویتنام، چین، اندونزی، و فیلیپین، طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ اعمال شده‌اند که البته اوج این فرایند در دهه ۱۹۹۰ بود. در آسیا، کشورهای فیلیپین، نپال و بنگلادش از کشورهای پیشرو در این برنامه‌ها هستند (Vermillion, 1997, Munoz et al., 2007).

انتقال مدیریت آبیاری در کشورهای مختلف نام‌هایی متفاوت دارد. برای نمونه، در اندونزی و فیلیپین به نام واگذاری مدیریت و سرپرستی^۱، در ترکیه و مکزیک به نام انتقال مدیریت^۲ در بنگلادش به نام خصوصی‌سازی^۳، در

سنگال به نام رهاسازی و تفویض اختیارات^۴، در چین به نام سیستم مسئولیتی واگذار شده^۵، در هندوستان و سریلانکا مدیریت مشارکتی^۶، در نیجریه تجارتي کردن^۷، و در نیجر خودمدیریتی^۸ نامیده شده است.

بر اساس نتایج ارائه شده در کنفرانس بین‌المللی در شهر ووهان در چین به سال ۱۹۹۴ میلادی، ۱۲ سطح از انتقال مدیریت آبیاری شناخته شد که از پایین‌ترین سطح یعنی پرداخت هزینه برای سرویس‌ها و خدمات آبیاری تا بالاترین سطح آن یعنی خصوصی‌سازی کامل تسهیلات و سازه‌های آبیاری را شامل می‌شد. بر اساس تجربه‌های جهانی، انتقال مدیریت به طور عمده به گروه‌های مصرف‌کننده آب (WUA) بوده است و واحدهای انتقال مدیریت یافته اغلب زیر بخش‌های شبکه آبیاری هستند. در کشورهای در حال توسعه، انتقال مدیریت در مورد چاه‌ها کامل و در مورد کانال‌ها یا شبکه‌های آبیاری جزئی بوده است. در کشورهای توسعه‌یافته، اختیارات مالی به طور کامل انتقال یافته است. در نیمی از موارد، انتقال مدیریت آبیاری، کنترل و عملیات بهره‌برداری و نگهداری از شبکه (به‌خصوص برای شبکه‌های بزرگ) به‌صورت کامل نبوده و بخشی از آن منتقل شده است (جدول ۱). در ایران نیز با توجه به رهیافت‌های جهانی در توسعه و ارتقای مشارکت‌های ذی-نفعان در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، سیاست‌ها و برنامه‌های مرتبط زیر از سال ۱۳۸۰ در دستور کار مدیریت آب کشور قرار گرفت (Jabari & Jangi Marei, 2009: ۱). ارجاع عملیات بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی به بخش خصوصی، ۲) انتقال مدیریت و مالکیت تأسیسات آبی

^۵ Post-responsibility system^۶ Participatory management^۷ Commercialization^۸ Self-Management^۱ Turnover^۲ Management transfer^۳ Privatization^۴ Disengagement

جدول ۱- سطوح مختلف انتقال مدیریت آبیاری در کشورهای مختلف جهان

Table 1- Different levels of irrigation management transfer in different countries of the world (Kloezen and Samad, 1995)

تعداد موارد کشورهایی که اختیار مدیریت آب را در سطوح مختلف زیر واگذار نموده‌اند Number of countries where authority is				سطح انتقال مدیریت آبیاری (فعالیت‌ها و عملکردهای واگذار شده) Function devolved
کل موارد Total	واگذار نشده Not devolved	واگذاری جزئی Partially devolved	واگذاری کامل Fully devolved	
۴۳	۰	۱۲	۳۱	عملیات بهره‌برداری
۴۳	۰	۱۳	۳۰	عملیات نگهداری
۴۱	۱	۱۹	۲۱	مسائل مالی بهره‌برداری و نگهداری
۴۰	۰	۲۰	۲۰	اختیار اعمال مجازات‌ها و حل اختلافات
۳۵	۹	۹	۱۷	اختیار ایجاد تعاونی کسب‌وکار
۳۷	۹	۱۸	۱۰	مسائل مالی بازسازی و نوسازی سامانه

پروژه‌های آبیاری؛ ۲) نگهداری نامناسب سامانه‌های آبیاری و نیاز به بهبود و افزایش راندمان هیدرولوژیک و کشاورزی پروژه‌های موجود؛ ۳) ضرورت پرداختن به فعالیت‌هایی مانند اصلاحات در سیستم مزرعه، مدرن‌سازی و بهبود مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی و برنامه‌ریزی دوره‌های آموزشی و ظرفیت‌سازی کارکنان؛ ۴) وجود خلأ عملکرد^۲ در پروژه-های آبیاری به دلیل نبود توازن بین نقش دستگاه‌های دولتی اداره‌کننده و گروه‌های مصرف‌کننده آب در تمامی سطوح؛ ۵) عملکرد موفقیت‌آمیز سامانه‌های آبیاری که توسط کشاورزان در آن زمان مدیریت می‌شدند و به "سامانه‌های آبیاری با مدیریت زارعان" (FMIS^۳) موسوم بودند؛ ۶) درخواست و مطالبه‌گری کشاورزان برای مدیریت شبکه‌های آبیاری به‌دست خود آنها؛ و ۷) کمبود اعتبارات دولتی برای تخصیص به عملیات بهره‌برداری و نگهداری و ضعف مدیریت دولتی سامانه آبیاری در جمع‌آوری آب‌بها و دیگر هزینه‌های خدمات آبیاری از مصرف‌کنندگان آب.

جایگاه و الزام‌های قانونی مدیریت مشارکتی آبیاری

با توجه به اهمیت موضوع مدیریت مشارکتی آبیاری و ایجاد تشکلهای آب‌بر، این موضوع در قوانین، سیاست‌ها، و برنامه‌های مختلف کشور مورد توجه و تأکید قرار گرفته و در

به کشاورزان و آب‌بران، ۳) پیش‌بینی دوره‌های آموزشی مرتبط با رهیافت مدیریت آبیاری مشارکتی و ۴) خصوصی-سازی شرکت‌های بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی (وابسته به وزارت نیرو) با واگذاری سهام دولتی آن‌ها.

نیروهای پیشران و عوامل محرک برای مدیریت مشارکتی آب و انتقال مدیریت آبیاری

برنامه‌های PIM و IMT را می‌توان برآیند گرایش‌های جهانی خاص شامل اقتصاد بازار، خصوصی‌سازی، سیاست-های تمرکززدایی از دولت مرکزی و تقویت مجامع محلی در بخش آبیاری، فشار جنبش‌های مدافع حفظ محیط‌زیست، تمایل و فشار سازمان‌ها و آژانس‌های بین‌المللی و تأمین‌کنندگان مالی پروژه‌ها (مانند بانک جهانی)، فشارها از سوی سازمان‌های مرکزی (مانند سازمان برنامه‌وبودجه)، برنامه‌ها یا پیمان‌ها و موافقت‌نامه‌های منطقه‌ای و جهانی (مانند پیمان NAFTA بین آمریکا و مکزیک)^۱ دانست. در ادامه، تعدادی از نیروهای پیشران و عوامل محرک برای شروع جنبش انتقال مدیریت آبیاری ارائه شده‌اند (Heydari et al., 2007; Hamdy, 2007; Munoz et al., 2007): ۱) کاهش نقش و دیدگاه سازه‌ای در دستگاه‌های دولتی و گذار از دوره ساخت‌وساز و سازه‌گرایی به دوره عملکرد و مدیریت

^۳ Farmers Managed Irrigation Systems

^۱ North American Free Trade Agreement

^۲ Performance Deficit

در حال حاضر، سازمان مرکزی تعاون روستایی ایران (دفتر نظام های بهره برداری) از زیر مجموعه های وزارت جهاد کشاورزی متولی اصلی موضوع مدیریت مشارکتی آبیاری و مسائل مختلف شکل های آب بر تحت عنوان الگوهای نظام بهره برداری توأمان از آب و زمین است. وزارت نیرو، دفتر امور آب کشاورزی معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی و سازمان تحقیقات، آموزش، و ترویج کشاورزی نیز به عنوان دیگر متولیان و ذی نفعان^۱ موضوع با سازمان تعاون روستایی ارتباط و هماهنگی دارند. در این سازمان، بحث مدیریت مشارکتی آبیاری به طور عمده در قالب شرکت های تعاونی تولید روستایی دنبال می شود که در آنها واحد مدیریت آب و گروه هم آب ایجاد شده باشد. البته اخیراً بر اساس بند "ت" ماده ۴۰ برنامه هفتم توسعه کشور، استقرار مدیریت مشارکتی آب در آب های زیرزمینی (آبخوان ها) با ایجاد یا تقویت شکل های بهره برداران (موضوع ماده ۵ قانون افزایش بهره وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی مصوب ۱۳۸۹) در هریک از آبخوان های کشور، به وزارت نیرو محول شده است.^۲

با توجه به موارد تشریح شده در جدول (۲)، از جنبه الزام های قانونی و توجه مجامع و نهادهای علمی و اجرایی، موضوع مدیریت مشارکتی آبیاری و ایجاد شکل های آب بر در صورت مسئله از اهمیت و اولویت زیادی در کشور برخوردار است و حدود سه دهه از شروع عمر این امر مهم می گذرد.

رویدادهای علمی و اجرایی مختلف، توسط مسئولان تصریح شده است. در سه دهه گذشته، نهادهای مسئول در قالب احکام برنامه های پنج ساله توسعه، آیین نامه ها، و قوانین و مقررات تدوین شده به منظور تحقق مشارکت بهره برداران در مقوله های مدیریت آب کشاورزی و آبیاری از طریق ایجاد شکل های فعال و با کارایی مؤثر در سطح ملی و مناطق مختلف، گام هایی برداشته اند و فعالیت ها و تلاش های زیادی کرده اند. در جدول (۲)، نمونه هایی از مهم ترین تکلیف های قانونی برای ایجاد شکل های آب بر و سایر الزامات و جایگاه های قانونی موضوع مدیریت مشارکتی آبیاری و ایجاد شکل های آب بر در ایران ارائه و تشریح شده است.

با توجه به موارد تشریح شده در جدول (۲)، از جنبه الزام های قانونی و توجه مجامع و نهادهای علمی و اجرایی، موضوع مدیریت مشارکتی آبیاری و ایجاد شکل های آب بر در صورت مسئله از اهمیت و اولویت زیادی در کشور برخوردار است و حدود سه دهه از شروع عمر این امر مهم می گذرد.

فرهنگ سازی ها و ظرفیت سازی های ایجاد شده برای گسترش ادبیات و تسری موضوع در کشور

بر اساس قانون، ایجاد و ساماندهی شکل های آب بر (اخیراً موسوم به الگوهای نظام بهره برداری توأمان از آب و زمین) در کشور به عهده وزارت جهاد کشاورزی است و متولی اجرایی مستقیم آن در این وزارت، دفتر نظام های بهره برداری سازمان مرکزی تعاون روستایی کشور است.

آب و زمین با هم دیده شده و معیارهایی نظیر رعایت الگوی کشت، اجرای سامانه های نوین آبیاری، اجرای یکپارچه سازی اراضی و غیره لحاظ شود. لذا، لازم است ایجاد و تقویت شکل ها بر اساس وظایف ذاتی وزارت جهاد کشاورزی مورد توجه قرار گیرد.

^۱ Stakeholder

^۲ البته وزارت جهاد کشاورزی (سازمان مرکزی تعاون روستایی) با این بند موافق نمی باشد و تأکید دارد زمان مناسب برای اجرایی شدن این طرح کمتر از سه سال امکان پذیر نیست و با توجه به اینکه آب باید به اراضی تخصیص یابد که نظام بهره برداری از آب و زمین توانان در آنها اجرا شده باشد. به عبارت دیگر لازم است مسائل مدیریت

مسائل و چالش‌های مدیریت مشارکتی آب و انتقال پایدار مدیریت آبیاری در ایران

جدول ۲- تکلیف‌ها، الزام‌ها و جایگاه‌های قانونی مدیریت مشارکتی آبیاری و ایجاد تشکلهای آب‌بر در ایران

Table 2- Tasks, requirements and legal positions of participatory irrigation management and establishment of WUA in Iran

قانون/سند Law/document	الزام و تکلیف Obligation and duty or task
آئین‌نامه اجرائی بهینه‌سازی مصرف آب کشاورزی (مصوب سال ۱۳۷۵ دولت)	ایجاد تشکلهای آب‌بر و مستند به بند ط تبصره ۱۹ قانون برنامه دوم توسعه کشور. بر اساس ماده ۵ این آیین‌نامه، وزارت جهاد کشاورزی مکلف شده است ظرف حداکثر دو سال پس از تاریخ تصویب این آیین‌نامه، نسبت به ایجاد و سازماندهی تشکلهای قانونی مناسب در اراضی تحت پوشش شبکه‌های آبیاری موضع این آیین‌نامه، نظیر شرکت‌های تعاونی، کشت و صنعت تجارتي، انجمن‌های بهره‌برداری و تشکلهای کشاورزی برای تحویل حجمی آب در منطقه تحویل به این نوع تشکلهای اقدام نماید. همچنین، وزارت نیرو نیز مکلف شده است ضمن همکاری با وزارت جهاد کشاورزی در جهت ایجاد تشکلهای فوق‌الذکر نسبت به تحویل حجمی آب، تنها به تشکلهای بهره‌برداری معرفی شده از طرف وزارت کشاورزی اقدام نماید، وزارت جهاد کشاورزی موظف شده است نسبت به توانمندسازی ذی‌نفعان و دست‌اندرکاران و ظرفیت‌سازی لازم جهت ایجاد تشکلهای آب‌بر متناسب با شرایط موجود اقدام نماید. همچنین، وزارت نیرو نسبت به تحویل حجمی آب بر اساس سند ملی آب به تشکلهای آب‌بر یا بهره‌برداران در مناسب‌ترین نقطه تحویل اقدام نماید.
آئین‌نامه اجرایی ماده ۱۱ قانون تشکیل وزارت جهاد کشاورزی (مصوب ۱۳۷۹)	وزارت نیرو موظف است حداکثر یک سال پس از تصویب این قانون اقدامات لازم را برای تحویل حجمی آب به بهره‌برداران با اولویت تشکلهای قانونی بخش کشاورزی، بر اساس سند ملی آب، ظرفیت تحمل مجاز حوضه‌های آبریز و با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی، اجتماعی، زیست-محیطی و فنی با اولویت‌های تعریف شده برای تخصیص آب کشاورزی به عمل آورد.
ماده ۲۶ قانون افزایش بهره‌وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی (قانون شماره ۱۱۷۰۳ مصوب ۱۳۸۹)	قسمت یکم فصل چهارم (بندهای ۱۴-۴ و ۱۵-۴) قانون برنامه پنج‌ساله اول توسعه کشور (۷۳-۱۳۶۹)
برنامه‌های پنج‌ساله توسعه کشور	بندهای ۱۱-۳-۲ و ۱۲-۳-۲ قانون برنامه پنج‌ساله دوم توسعه کشور (۷۸-۱۳۷۴)
	ماده ۱۰۷ قانون برنامه سوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران (۱۳۷۹-۸۳)
سایر الزامات قانونی و تأکیدها بر موضوع مدیریت مشارکتی آب و ایجاد تشکلهای آب‌بر	مواد ۳ (بند ج)، ۵، ۶ و ۷ ضوابط ایجاد تعادل در منابع و مصارف آب (مصوب ۱۳۸۷)، اساسنامه بحران آب‌های زیرزمینی اتاق بازرگانی ایران (مصوب ۱۳۹۳)، متون سیاستی حاصل از همایش وزارت نیرو در دی‌ماه ۱۳۹۷ و تحت عنوان راهکارهای متخصصان علوم آب و محیط‌زیست برای اجرای برنامه وزارت نیرو در بخش آب و پساب، بیانیه نخستین هم‌اندیشی سیاست‌گذاران منابع آب با عنوان "بهره‌وری و حکمرانی پایدار آب" (برگزار شده توسط مرکز تحقیقات صنایع و بهره‌وری دانشگاه صنعتی امیرکبیر و با همکاری وزارت جهاد کشاورزی در دی‌ماه ۱۳۹۳)، اهداف کلان بخش آب و آبفا در برنامه ششم توسعه (راهبردهای فرابخشی آب و آبفا) (۹۹-۱۳۹۵)، سند ملی آمایش سرزمین (مصوب ۱۳۹۹).

فرهنگ سازی ها و ظرفیت سازی های ایجاد شده برای گسترش ادبیات و تسری موضوع در کشور

بر اساس قانون، ایجاد و ساماندهی تشکلهای آببر (اخیراً موسوم به الگوهای نظام بهره برداری توأمان از آب و زمین) در کشور به عهده وزارت جهاد کشاورزی است و متولی اجرایی مستقیم آن در این وزارت، دفتر نظام های بهره برداری سازمان مرکزی تعاونی روستایی کشور است.

در حال حاضر، سازمان مرکزی تعاون روستایی ایران (دفتر نظام های بهره برداری) از زیر مجموعه های وزارت جهاد کشاورزی متولی اصلی موضوع مدیریت مشارکتی آبیاری و مسائل مختلف تشکلهای آب بر تحت عنوان الگوهای نظام بهره برداری توأمان از آب و زمین است. وزارت نیرو، دفتر امور آب کشاورزی معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی و سازمان تحقیقات، آموزش، و ترویج کشاورزی نیز به عنوان دیگر متولیان و ذی نفعان^۱ موضوع با سازمان تعاون روستایی ارتباط و هماهنگی دارند. در این سازمان، بحث مدیریت مشارکتی آبیاری به طور عمده در قالب شرکت های تعاونی تولید روستایی دنبال می شود که در آنها واحد مدیریت آب و گروه هم آب ایجاد شده باشد. البته اخیراً بر اساس بند "ت" ماده ۴۰ برنامه هفتم توسعه کشور، استقرار مدیریت مشارکتی آب در آب های زیرزمینی (آبخوان ها) با ایجاد یا تقویت تشکلهای بهره برداران (موضوع ماده ۵ قانون افزایش بهره وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی مصوب ۱۳۸۹) در هریک از آبخوان های کشور، به وزارت نیرو محول شده است.^۲ به دلیل اهمیت موضوع از ابعاد جهانی و کشوری، علاوه بر الزام های قانونی و فعالیت های اجرایی مختلف دستگاه ها برای آن، بحث مدیریت مشارکتی آبیاری متولی دانشی زیادی در

کشور نداشته است و فعالیت های علمی و دانش افزایی آن به طور عمده توسط کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران (IRNCID)^۳ (زیر مجموعه کمیسیون بین المللی آبیاری و زهکشی-ICID)^۴ و در قالب برگزاری کنفرانس ها و کارگاه های فنی و نشست های تخصصی مختلف، اجرای پروژه های مطالعاتی و بازدیدهای میدانی، نشر کتاب های علمی مختلف، چاپ مقاله در کنفرانس ها، مجلات علمی، و غیره در خصوص موضوع، راهبری شده است. علاوه بر منابع علمی متعدد در جهان، گزارش ها و منابع علمی غنایی در خصوص موضوع در کشور نیز حداقل روی کاغذ وجود دارد. فعالیت های مرتبط با موضوع به طور عمده در گروه کار توسعه مدیریت مشارکتی منابع آب و خاک این کمیته ملی و از سال ۱۳۷۹ دنبال شده است. از فعالیت های علمی شاخص این کمیته (و حتی در سطح ملی) در خصوص موضوع می توان همکاری در برگزاری دهمین سمینار مدیریت مشارکتی آبیاری^۵ که در جریان چهارمین کنفرانس منطقه آسیا کمیسیون بین المللی آبیاری و زهکشی^۶ در سال ۲۰۰۷ میلادی (اردیبهشت ۱۳۸۶) در تهران برگزار شد، و همکاری با کارگروه ملی مدیریت مشارکتی آب کشور را نام برد.

در حال حاضر، فعالیت های اجرایی مدیریت مشارکتی آب در آب های سطحی و زیرزمینی توسط مشاورین و با بهره گیری از دستورالعمل مدیریت مشارکتی آب مصوب وزارتین نیرو (سال ۱۳۹۸) و جهاد کشاورزی (سال ۱۳۹۹) پیش می رود. کارگروه ملی مدیریت مشارکتی آب در دفتر نظام های بهره برداری سازمان مرکزی تعاونی روستایی متشکل از نمایندگان دستگاه های مرتبط، فعالیت ها را هماهنگ و تنظیم می کند.

نوبین آبیاری، اجرای یکپارچه سازی اراضی و غیره لحاظ شود. لذا، لازم است ایجاد و تقویت تشکلهای بر اساس وظایف ذاتی وزارت جهاد کشاورزی مورد توجه قرار گیرد.

^۳ Iran National Committee on Irrigation and Drainage

^۴ International Committee on Irrigation and Drainage

^۵ The 10th Seminar on Participatory Irrigation Management

^۶ The 4th Asian Regional Conference of ICID

^۱ Stakeholder

^۲ البته وزارت جهاد کشاورزی (سازمان مرکزی تعاون روستایی) با این بند موافق نمی باشد و تأکید دارد زمان مناسب برای اجرایی شدن این طرح کمتر از سه سال امکان پذیر نیست و با توجه به اینکه آب باید به اراضی تخصیص یابد که نظام بهره برداری از آب و زمین توانمند در آنها اجرا شده باشد. به عبارت دیگر لازم است مسائل مدیریت آب و زمین با هم دیده شده و معیارهایی نظیر رعایت الگوی کشت، اجرای سامانه های

عوامل کلیدی، شروط موفقیت، و تغییرات زیرساختی لازم در برنامه‌های انتقال مدیریت

بر اساس تجربه‌های جهانی مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI)^۱ و سازمان فائو (FAO)^۲، عوامل کلیدی در خصوص انتقال موفقیت‌آمیز مدیریت آبیاری عبارت‌اند از: (۱) لزوم شفافیت در قوانین، وظایف و اختیارات انجمن‌های آبر و سازمان آبیاری^۳، (۲) آموزش کارکنان دستگاه بهره‌برداری و اعضای انجمن‌های آبر، (۳) تغییر رویکرد و جهت در دستگاه بهره‌برداری و پرداختن به مسائل کارکنان آن بعد از انتقال آبیاری، (۴) وجود چارچوب حقوقی و قانونی لازم، (۵) پرداختن به ظرفیت‌های مالی انجمن‌های آبر طی فرآیند انتقال مدیریت آبیاری، (۶) ضرورت وجود یک عزم و اراده سیاسی در خصوص موضوع، (۷) وجود یا ایجاد حقوق شفاف در خصوص حقایق و سازه‌های آبیاری، (۸) مشارکت و دخیل نمودن ذینفعان مختلف موضوع، (۹) حمایت‌های مالی و اداری لازم و (۱۰) تحویل حجمی آب (Munoz et al., 2007; Hamdy, 2007; Hasan et al., 2007).

شروط موفقیت در برنامه‌های انتقال مدیریت آبیاری (IMT) شامل: (۱) روشنی برنامه‌ها در مورد نقش‌ها، مسئولیت‌ها و اختیارات WUA و دستگاه بهره‌برداری پس از انتقال، (۲) جهت‌دهی مجدد دستگاه بهره‌برداری و برنامه‌ریزی چگونگی حمایت از کارکنان دستگاه بهره‌برداری برای انطباق با وضعیت جدید در برنامه، (۳) حمایت ذی‌نفعان مانند دولت‌های محلی، بخش خصوصی و جامعه مدنی نیاز است تا برنامه‌ها بتوانند به هدف‌های خود برسند، (۴) ضرورت اعطای حقایق شفاف‌تر به تشکلهای آبر در برنامه‌ها، (۵) در حد نیاز بودن حمایت مالی دولت از نیازهای برنامه‌ها، (۶) توسعه ظرفیت قابل توجه و طولانی در دستگاه بهره‌برداری و تشکلهای آبر، (۷) پوشش‌های آگاهی‌رسانی عمومی سیستماتیک، مشاوره و مشارکت همه ذی‌نفعان کلیدی، (۸) خاص بودن برنامه‌های هر منطقه و تهیه شدن

موردی-سفارشی برنامه‌ها و انعطاف پذیر بودن آن‌ها، و (۹) ایجاد کنترل‌ها و توازن‌ها در برنامه‌ها برای حصول اطمینان از اینکه تشکلهای آبر مطابق با منافع اعضا عمل می‌کنند.

تغییر جهت‌های سازمانی و ساختاری لازم و خدمات پشتیبانی مورد انتظار در قبال تشکلهای آبر از سوی دستگاه بهره‌برداری

تغییر جهت‌های سازمانی و ساختاری در دستگاه بهره‌برداری

موارد و روش‌های تغییر جهت‌های سازمانی و ساختاری لازم در دستگاه بهره‌برداری در حین انتقال مدیریت آبیاری به انجمن‌های آبر یا پس از آن شامل موارد زیر هستند: (۱) واگذاری اختیار عملیات بهره‌برداری و نگهداری به سطوح هیدرولیکی پایین‌تر، (۲) تغییر ساختاری تمرکززدایی، (۳) تقویت نقش در ظرفیت‌سازی، (۴) کاهش نیروها یا به کارگیری آنها در مسئولیت‌های جدید، (۵) افزایش نقش در راهنمایی‌ها و مشورت‌های فنی و مالی به انجمن آبر، (۶) افزایش نظم و تنظیمات لازم در شبکه آبیاری، و (۷) افزایش مدیریت در سطوح شبکه اصلی و حوضه آبریز (Munoz et al., 2007).

خدمات پشتیبانی مورد انتظار از سوی دستگاه بهره‌برداری در قبال انجمن‌های آبر

خدمات پشتیبانی مورد نیاز عبارت‌اند:

(۱) ایجاد تشکلهای آبر و تایید اساسنامه آنها، (۲) ارائه خدمات و آموزش‌های فنی به انجمن‌های آبر، (۳) آموزش انجمن‌های آبر از جنبه‌های مالی، (۴) آموزش انجمن‌های آبر از جنبه‌های اداری، (۵) ارائه مشورت‌های فنی، (۶) پرداختن به فعالیت‌های ترویجی، تجارت کشاورزی و بازاریابی، (۷) آموزش و ایجاد انگیزه در دستگاه بهره‌برداری آبیاری^۴ برای انتقال مدیریت آبیاری، (۸) بازسازی و نوسازی سامانه (شبکه آبیاری)، فراهم کردن اعتبارات مالی برای

^۳ Irrigation Agency

^۴ Irrigation Agency

^۱ International Water Management Institute

^۲ Food and Agriculture Organization

نهادی، فنی و اجتماعی-فرهنگی نسبت داد. از جمله می توان به این موارد اشاره کرد:^۱ (۱) موانع ساختاری نهادی شامل ضعف هماهنگی بین نهادهای مختلف دولتی و محلی که باعث می شود تصمیم گیری ها و سیاست گذاری ها به صورت مؤثری اجرا نشوند، ضعف در قوانین و مقررات، نیاز به توانمندسازی و پایدارسازی تشکل و نهادهای اجتماعی مرتبط، (۲) موانع فنی و سخت افزاری (شامل نیاز به آموزش و توانمندسازی، زیرساخت های ناکافی و فرسودگی شبکه ها)، و (۳) مسائل اجتماعی و فرهنگی شامل بی اعتمادی و ضعف در فرهنگ مشارکت.

انتقال پایدار مدیریت آبیاری به کشاورزان در قالب الگوهای نظام بهره برداری راهکاری است برای بهبود کارایی و پایداری منابع آب در ایران و دستیابی به آن نیازمند مواردی است مانند حمایت های دولتی، حفظ بهبود تولیدات کشاورزی، آموزش و توانمندسازی بهره برداران و از همه مهم تر، داشتن رویکردی جامع و چندجانبه (شامل انجام اصلاحات نهادی، فنی، اجتماعی و فرهنگی).

مهم تر از ایجاد تشکل ها، نگهداری، ماندگاری و پایداری آنهاست. نگاهی آسیب شناسانه به وضعیت موجود بهره برداری و نگهداری از تأسیسات آب و آبیاری و شناسایی مسائل مرتبط با نظام های بهره برداری شکل گرفته در کشور حاکی از این است که اگرچه تا کنون دستگاه های دولتی و شرکت های مهندسی مشاور اقداماتی برای تشکیل و استقرار تشکل های بهره برداری انجام داده اند اما به علت نبود یک استراتژی و برنامه اقدام در سطح ملی و با مشارکت و هماهنگی کلیه ذی نفعان، هدف های مورد نظر محقق نشده است. در این راستا، برخی از چالش های کنونی مدیریت بهره برداری و نگهداری از سازه های آب و آبیاری و تشکل های بهره برداری در ایران عبارتند از:^۲ (۱) ندیدن سازوکار مناسب

انجمن های آب بر و کشاورزان، (۹) حمایت های قانونی و حل اختلافات، (۱۰) نظارت، تنظیم گری و بازرسی های فنی و مدیریتی، (۱۱) تهیه و اجرای قراردادهای نگهداری سامانه با انجمن های آب بر (۱۲) بررسی و تایید طرح و بودجه پیشنهادی برای عملیات بهره برداری و نگهداری از سوی انجمن های آب بر، (۱۳) تدوین نرخ خدمات آبیاری، و (۱۴) پایش و ارزیابی عملکرد مدیریت سامانه (Munoz et al., 2007).

مشکلات و موانع پیاده سازی مدیریت مشارکتی آب و انتقال

مدیریت آبیاری در ایران

برخی از نظریات در تشریح دلایل مشارکت نداشتن در مدیریت پایدار منابع آب، بر ناکارایی نقش دولت و سیاست های آن تأکید دارند که ریشه در انحصارطلبی و جلوگیری از مشارکت پیش از بحران مردم در مدیریت منابع آب دارد. برخی دیگر از نظریات نیز بر رفتار اسراف گرایانه مردم در منابع آب تأکید دارند که ریشه در ناآگاهی دارد (Policy text, 2018).

هدف از ایجاد تشکل های آب بر در سراسر جهان واگذاری امور تصدی گری دولت و مشارکت دادن کشاورزان در تصمیم گیری بوده است و قرار نبوده آنان مانند پیمانکار، بخشی از عملیات بهره برداری و نگهداری شبکه های آبیاری را به عهده گیرند. برای نمونه، در مورد ایجاد تعاونی آب بر در شبکه قزوین، تشکل آب بر نقش پیمانکار آن هم از نوع دست دوم را به عهده داشته است (Sheikh Hosseini et al., 2007; 2018).

مدیریت مشارکتی آب و انتقال پایدار مدیریت آبیاری در ایران با چالش های متعددی مواجه است که منشأ اصلی آنها را می توان به عوامل و موانع مختلفی از جمله ساختارهای

^۲ بخشی از نظرات و تجارب ارائه شده از سوی خانم مهندس لادن بینا کارشناس ارشد و خبره مدیریت مشارکتی آب دفتر امور آب کشاورزی معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی در جلسه کمیته آب مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب اتاق بازرگانی ایران در تاریخ ۲ خرداد ۱۴۰۰.

^۱ نظرات و تجارب کارشناسی آقای دکتر مجتبی راعی مدیرکل دفتر نظام های بهره برداری، شرکت های سهامی زراعی و تعاونی های تولید سازمان مرکزی تعاون روستایی ایران.

۲) موانع شکل‌گیری، و ۳) موانع پایداری (Water Research Institute, 2019). در این ارتباط در (جدول ۳) موانع اصلی و فرعی انتقال مدیریت آبیاری به همراه مصادیق مربوط ارائه شده است.

بر همین اساس، الزام‌های اجتماعی شکل‌گیری و پایداری تشکلهای آب‌بر، به شرح زیر شناسایی شده‌اند:^۱ (۱) موازی‌کاری نهادهای دولتی در زمینه کمک به ایجاد و استقرار تشکلهای آب‌بر و ایجاد تداخل در وظایف بین این نهادها (به خصوص وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی) و تعیین دقیق متولی و مسئول پاسخگویی، ۲) پیچیدگی مباحث اجتماعی که موجب ناهمگرایی دیدگاه‌های بهره‌برداران، کارشناسان دستگاه‌های دولتی و حتی شرکت‌های مشاور شده است و ضرورت دارد به دانش بومی مدیریت اجتماعی آب کشور در این زمینه توجه شود، ۳) نظارت بر عملکرد شرکت‌های مهندسين مشاور و پیمانکاران طرح‌های توسعه منابع آب، و کسب رضایت جامعه محلی از عملکرد مهندسين مشاور و پیمانکاران در اجرای طرح‌های توسعه منابع آب، ۴) احیا و نوسازی شبکه‌ها پیش از واگذاری مدیریت و پرهیز از واگذاری ضربتی آن، ۵) اولویت دادن به ایجاد تشکل و انتقال مدیریت در مناطقی که درخواست محلی نیز وجود دارد زیرا تشکلهای آب‌بر که به شکل بومی و خودجوش ایجاد شوند موفق‌تر هستند، ۶) آموزش و افزایش دانش کارشناسان و متولیان اجرای طرح‌های مشارکتی علاوه بر آموزش کشاورزان، و ۷) برگزاری نشست‌های هم‌اندیشی برای تبادل تجربه بین تشکلهای آب‌بر، زیرا تجربه‌های ناموفق قبلی در ایجاد تشکلهای، بر انگیزه‌های بهره‌برداران در شکل‌گیری تشکلهای جدید، اثر منفی خواهد گذاشت.

برای نگهداری از تأسیسات آب و آبیاری به‌رغم سرمایه‌گذارهای قابل‌توجه برای آنها، ۲) هدف‌گذاری و توجه بیشتر به توسعه کمی تشکلهای قانونمند ایجاد شده و توجه کمتر به توسعه کیفی و ظرفیت‌سازی آنها از نظر نیروی انسانی و تأسیسات موردنیاز در سال‌های گذشته، ۳) نبود راهکارها و زیرساخت‌های لازم به لحاظ ساختاری، اعتباری، قانونی و غیره برای توانمندسازی، آموزش و پایداری تشکلهای قانونمند ایجاد شده، ۴) نبود رویکرد منسجم و هماهنگ و وحدت رویه در استراتژی بین وزارت جهاد کشاورزی، وزارت نیرو و دیگر دستگاه‌های اجرایی کشور به مقوله نظام بهره‌برداری و کار طراحی، توانمندسازی، استقرار و پایداری تشکلهای ۵) مشخص نبودن ساختار، شرح وظایف و حدود اختیارات دستگاه‌های درگیر مسئله (ماتریس وظایف) و مشخص نبودن بستر حقوقی لازم برای ادامه کار اجتماعی.

جمع‌بندی اتاق بازرگانی ایران از مجموعه تلاش‌ها این است که نتایج نهایی کار نه تنها به تحقق هدف‌های این موضوع (ایجاد تشکلهای آب‌بر و مدیریت مصرف بهینه آب) نرسیده، بلکه چالش‌های جدیدی را نیز به همراه آورده است. از منظر اتاق بازرگانی ایران، اصلی‌ترین موانع و مشکلات در این راستا که حاصل بررسی‌های میدانی و مشورت با کارشناسان و مدیران مجرب بین‌رشته‌ای موضوع است، به شرح زیر دسته‌بندی می‌شوند: ۱) مسائل زیرساختی، حقوقی، برنامه‌ای و مالی، ۲) مسائل مرتبط با سازمان متولی و مسئول، و سازوکارهای هدایت موضوع و ۳) مشکلات و نارسایی مرتبط با آشنایی و شناخت صحیح مفهوم و ادبیات موضوع (Statement of the Iranian Chamber of Commerce, 2021). موانع اصلی انتقال مدیریت آبیاری در کشور به شرح زیر شناسایی شده‌اند: ۱) موانع سیاست‌گذاری

^۱ نامه شماره ۹۹/۱۶۲۳۸/۱۰۰ مورخ ۱۳۹۹/۵/۱۷ رئیس مؤسسه تحقیقات آب به وزیر وقت نیرو، حاوی خلاصه اجرایی پروژه اجرا شده در آن مؤسسه تحت عنوان "الزامات اجتماعی فعالیت مؤثر تشکلهای آب‌بر در کشور (از منظر کارشناسان و بهره‌برداران)".

جدول ۳- موانع و مشکلات مدیریت مشارکتی و انتقال مدیریت آبیاری در ایران

Table 3- Obstacles and problems of participatory management and transfer of irrigation management in Iran (Water Research Institute, 2019)

موانع اصلی سیاست گذاری در مدیریت مشارکتی The main obstacle: Policy making in participatory management		موانع اصلی شکل گیری مدیریت مشارکتی The main obstacle: Formation of participatory management		موانع اصلی پایداری The main obstacle: Sustainability	
موانع فرعی Secondary obstacles	مصادیق Examples	موانع فرعی Secondary obstacles	مصادیق Examples	موانع فرعی Secondary obstacles	مصادیق Examples
تداخلات عملکرد نهادها	تداخل منافع تداخل برنامه ریزی ضعف ارتباطات بین نهادی	ضعف اعتماد اجتماعی و نهادی تجارب نامناسب قبلی ضعف مسئولیت پذیری مردمی عادات نامناسب اجتماعی اختلافات اجتماعی	اجتماعی- فرهنگی	اقتصادی	هزینه های حفاظت و نگهداری شبکه هزینه های حفظ تشکلهای ضعف برندینگ و تجاری سازی تولید
انحصارگرایی در تصمیم گیری	ضعف جایگاه بهره برداران در شورای نظارت و تصمیم گیری نبود مشارکت پیش از اجرا ابهام در حقوق و اختیارات تشکلهای آب بر	نخبه گرایی ناکارآمد منفعت گرایی در اجرای پروژه ها	اجرایی	فنی	ضعف های فنی در شبکه های آبیاری ضعف گارانتی و ضمانت طرح-های فنی
اداری	مقاومت در برابر قدرت گیری تشکلهای کاهش اختیارات بخش دولتی و اداری	هزینه استقرار تشکلهای هراس از هزینه های بیشتر وابستگی به یارانه دولت	اقتصادی	فرهنگی و اجتماعی	کمبود دانش لازم در توانمند سازی توقعات فزاینده ضعف مسئولیت پذیری اختلافات اجتماعی

دیگر چالش های مرتبط با ناکامی ها در راستای مدیریت مشارکتی آب و ایجاد تشکلهای آب بر در ایران عبارتند از: ۱) نبود متولی واحد، مسئول و پاسخگو از منظر ساختاری و حاکمیتی و از طرفی تعدد متولیهای مدعی غیر مسئول در خصوص ایجاد تشکلهای و ساماندهی آنها، ۲) نهادینه نشدن باور و فرهنگ مدیریت مشارکتی آبیاری و تشکلهای آب بر برای دست اندرکاران بخش های آب و کشاورزی و متولیان برنامه ریزی منابع آب و آبیاری کشور، ۳) نارسایی قانونی در خصوص چگونگی انتقال مدیریت آبیاری به تشکلهای، ۴) مشخص نبودن منابع مالی برای هزینه های نگهداری و بهره برداری از تاسیسات آب و آبیاری واگذار شده، ۵) خودداری دستگاه های متولی از تفویض اختیارات لازم متناسب با مسئولیت های واگذار شده، ۶) وابستگی مستقیم حقوق و مزایای پرسنل شرکت های آب استانی (به اصطلاح آب منطقه ای) به منابع مالی حاصل از فروش آب (مجاز و غیرمجاز) و جرائم متعلقه به آن، ۷)

۱ نظرات و تجارب ارائه شده از سوی آقای مهندس عباس زارع کارشناس ارشد بازتئسته معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی در جلسه کارگروه آب مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب اتاق بازرگانی ایران در تاریخ ۲ مرداد ۱۴۰۰.

گردهمایی مراجع موردا اعتماد بسیار تعیین‌کننده و ضروری است. شرایط اجتماعی، اقتصادی، و ساختار فرهنگی هر دشت و ویژگی‌های فیزیکی آبخوان آن‌ها باید در انتخاب نوع تشکلهای و سازماندهی آن‌ها لحاظ گردد (Statement of the Iranian Chamber of Commerce, 2013). بر اساس نتایج و تجربه‌ها، نصب و مدیریت کنتورهای هوشمند چاه‌ها در دشت‌هایی مانند دشت مه ولات در استان خراسان رضوی و دشت اسفراین در استان خراسان شمالی و نتایج نشست همدانشی با خبرگان، پنج چالش اساسی در خصوص مدیریت مشارکتی آب‌های زیرزمینی شناسایی شد: (۱) چالش اعتماد (منظور سه نوع اعتماد دولت به مردم، مردم به دولت و مردم به مردم است و راه پیشنهادی برای حل این چالش گردش آزاد، شفاف، صحیح و متقارن اطلاعات برداشت از منابع آب زیرزمینی در بین همگان است)، (۲) چالش دادن مسئولیت‌های مدیریت آب به مردم، (۳) توجه به ارزش آب و شکل‌گیری اقتصاد آب، (۴) چالش نیاز متقاضیان جدید آب و (۵) چالش ساختار آب کشور است که خود را مسئول حفاظت آب کشور نمی‌داند بلکه مسئول تأمین آب می‌داند (Iran Water Management Think Tank, 2016).

علاوه بر چالش‌های مستند شده در منابع و اظهارات کارشناسان خبره موضوع که در این بخش شرح آن ارائه شد، بحث مدیریت مشارکتی آب و ایجاد و فعالیت تشکلهای آب‌بر در کشور دارای چالش‌های پنهان و عدیده‌ای نیز هست. بر اساس اطلاعات دریافته از کارشناس مسئول در سازمان مرکزی تعاونی روستایی، تحویل‌ندادن حجمی آب به بهره‌برداران، مسائل مرتبط با قانون تثبیت آب‌بهای زراعی، ضعف تسهیلهای و حمایت‌های لازم برای رفع موانع ایجاد شده بر سر راه شکل‌گیری تشکلهای نیز از موانع دیگر در این زمینه است. برای نمونه و بر اساس اطلاعات، تشکلهای درجهٔ صلاحیت^۲ خود را پیش‌تر از شرکت‌های آب منطقه‌ای

نامناسب بودن چگونگی محاسبه آب بها و شیوهٔ وصول و مصرف آن، (۸) صوری و واقعی نبودن اعتبارات و کمبود آن برای مطالعات امور اجتماعی و نظام‌های بهره‌برداری در مطالعات و اجرای پروژه‌های آب و خاک، (۹) ضعف در توجه و نداشتن جایگاه لازم برای اقدام‌های غیرسازهای، نرم‌افزاری و مدیریتی در مطالعه و اجرای پروژه‌های آب و خاک نسبت به اقدام‌ها و فعالیت‌های سازهای، (۱۰) ضعیف و نامناسب بودن نقش آموزش و ترویج برای توسعهٔ فرهنگ مدیریت مشارکتی آبیاری در دست اندرکاران، (۱۱) نهادینه نشدن آموزش و ترویج بهره‌برداران و ذی‌نفعان برای توانمند شدن آنها در مشارکت اصولی و واقعی در نگهداری و بهره‌برداری از تاسیسات آب و آبیاری تحت عنوان مدیریت مشارکتی آبیاری، (۱۲) تنوع اجتماعی و اقلیمی زیاد و پاسخگو نبودن مدل و دستورالعمل واحد برای کل کشور با توجه به تفاوت‌های اقلیمی و نظام‌های اجتماعی، (۱۳) ضعف در ارزیابی و پایش مناسب پایلوت‌های اجرا شده در کشور مانند پایلوت آب‌بران قزوین، اسفراین در خراسان شمالی و تازه‌آباد در گلستان و استفاده از نتایج آن برای توسعهٔ مدیریت مشارکت آبیاری با تشکلهای آب‌بر^۱ و (۱۴) مشارکت ندادن بهره‌برداران و ذی‌نفعان در جلسات تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری مرتبط با تشکلهای آب‌بر و مدیریت مشارکتی آبیاری. ایجاد تشکلهای آب‌بر چاه (آب زیرزمینی) موضوع نسبتاً جدیدی است که در مبحث استفادهٔ بهینه از منابع آب زیرزمینی و تعادل بخشی آنها، وارد بحث مدیریت مشارکتی آبیاری در کشور شده است. ولی به‌رغم اهمیت موضوع، هنوز توجه کافی به آن نشده و دانش و تسری موضوع در کشور نیاز به تکمیل و تحقیق و توسعهٔ بیشتری دارد. این تشکلهای باید بر اساس نیاز بهره‌برداران و ابراز تمایل واقعی آنان، و نه با اعمال فشار و اجبار، ایجاد شوند. در این زمینه، نقش اقدام‌های تسهیلهای، فرهنگی، و آماده‌سازی از طریق

^۱ بر اساس اطلاع پروژه تازه اباد گلستان قبل و بعد از اجرای آن توسط مؤسسه بین‌المللی جایکا (JICA) کشور ژاپن و کارشناسان ایرانی ارزیابی شد.

^۲ Grade

خدمات یکی برای آب های سطحی و دیگری در بخش آب های زیرزمینی توسط هر دو وزیر جهاد کشاورزی و نیرو ابلاغ گردید. هدف این دستورالعمل، پیاده سازی مدیریت مشارکتی، ساماندهی نظام بهره برداری موجود، افزایش توانمندی های فردی و همین طور تقویت مشارکت و همیاری بین کشاورزان در راستای مدیریت منابع آب و آبیاری است. نکته قابل توجه در این زمینه آن است که نظام مند کردن اجرای پروژه های مدیریتی مشارکتی آب، چه در منابع آب سطحی و چه در منابع آب زیرزمینی، باید با تعامل و هماهنگی بیش از پیش دستگاه های اجرایی، یعنی هم وزارت نیرو و هم وزارت جهاد کشاورزی، باشد و در حین پیاده سازی این مدیریت مشارکتی، هم از رهیافت های جدید و هم از مبانی جدید استفاده شود. از آنجا که مسائل منطقه ای با خواست ها و ذهنیات یکایک کشاورزان آمیخته است و باید این مسائل را از دید کشاورزان مناطق به دست آورد و دسته بندی و اولویت بندی کرد، ضروری است در هنگام اجرایی کردن این دستورالعمل، همان طور که در متن آن اشاره شده است، به این موضوع توجه جدی داشت^۱.

نتیجه گیری و پیشنهادها

علی رغم سطح بالای دانش نظری در خصوص مدیریت مشارکتی و انتقال مدیریت آبیاری در جهان و حتی در ایران، به دلیل پیچیدگی های موضوع به خصوص پیچیدگی های غیرفنی و مرتبط با مباحث اجتماعی و فرهنگی و هماهنگی های سازمانی که هسته اصلی این نوع فعالیت هاست و همچنین به دلیل ضعف در زیرساخت ها و الزام های متعدد مورد نیاز آن، این بحث هنوز به صورت مناسبی در کشور عملیاتی نشده یا برای موارد معدود به صورت کامل اجرا نشده یا اگر اجرا شده با موفقیت لازم همراه نبوده است. فرآیند مدیریت مشارکتی در ایران در

دریافت می کردند و اکنون باید از سازمان برنامه و بودجه به دست آورند که مشکل تر است. کمبود منابع آب در شبکه های آبیاری معضل دیگری است که سبب ناپایداری در تحویل و تخصیص آب بر اساس قراردادهای منعقد شده و عملاً قراردادهای یک طرفه شده اند و بر اساس آن آب تحویل نمی شود. تعطیلی قوانین و آیین نامه های مرتبط و بلا تکلیفی دستگاه ها در این زمینه از مشکلات پنهان موضوع هستند. برای نمونه و بر اساس اظهارات مسئولان، قانون تعاونی کردن تولید و یکپارچه شدن اراضی مصوب ۱۳۹۳ عملاً روی زمین مانده است. بر اساس بند ۲ ماده ۷ آیین نامه اجرایی این قانون (مصوب هیئت وزیران به شماره ۳۰۵۸۲/ت ۵۴۵۸۱ مورخ ۱۴۰۰/۳/۲۲)، وظایف مدیریت توزیع، بهره برداری، نگهداری و حفاظت از منابع آب سطحی و زیرزمینی، تأسیسات و شبکه های آبیاری و زهکشی، و جمع آوری هزینه ها و نیز دیگر وظایف تصدی گری به شرکت های تعاونی تولید روستایی معرفی شده از سوی وزارت جهاد کشاورزی (سازمان تعاونی روستایی) واگذار شده است مشروط به اینکه توانمندی ها و ظرفیت های لازم در آنها (با تأیید وزارت نیرو) وجود داشته باشد و نیز اینکه در چارچوب مقررات موجود باشد، تلاش هایی شده است تا الگوهای مختلف نظام بهره برداری در کشور را ساماندهی کنند. برای نمونه، توسعه مدیریت مشارکتی در بخش شمالی رودخانه حبله رود، پروژه الگویی استقرار مدیریت مشارکتی آب در تازه آباد استان گلستان، و همین طور اقدامات دیگری در دشت قزوین و دشت عباس (ایلام) و زرینه رود و مغان و بهبهان ساماندهی شده است. بر اساس تجربیات به دست آمده در این فعالیت ها، وزارت جهاد کشاورزی و وزارت نیرو در آبان ۱۳۹۸ سند مشترکی (شماره سند ۹۸/۲۵/۷۴۰ د ۹۸) را تحت عنوان دستورالعمل توسعه مدیریت مشارکتی آب تهیه کردند که این سند به همراه دو شرح

کشاورزی در جلسه کمیته آب مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب اتاق بازرگانی ایران در تاریخ ۲ خرداد ۱۴۰۰.

^۱ بخشی از نظرات و تجارب ارائه شده از سوی خانم مهندس لادن بینا کارشناس خبره مدیریت مشارکتی آب دفتر امور آب کشاورزی معاونت آب و خاک وزارت جهاد

برای مدیریت آب کشور ایجاد نموده است، باید بررسی کرد که چگونه مدیریت مشارکتی آب و ایجاد تشکلهای آب‌بر کشور را به استفاده درست از منابع و صرفه‌جویی واقعی آب رهنمون می‌سازد و چه الزامها و تمهیدهای دیگری در ساختار مدیریت منابع آب به موازات ایجاد تشکلهای آب‌بر (مانند تحویل حجمی آب و غیره) باید فراهم شود. از سوی دیگر، اجرای برنامه‌های مدیریت مشارکتی و ایجاد تشکلهای آب‌بر در کشور با رکود و تأخیر زمانی زیادی مواجه بوده است، و در این فاصله زمانی نظریه‌ها و رویکردهای جدیدی در مدیریت آب جهان و کشور (مانند بحث‌های ایجاد بازارهای محلی آب، حسابداری آب، و بازتخصیص آب) مطرح شده است. مجموعه این عوامل، نیاز به مطالعه و بررسی بیشتر تجارب به‌روز جهانی و درس‌آموخته‌ها از پروژه‌های اجرا شده جدید را مشهود می‌سازد^۱.

دانشگاه‌ها، مراکز پژوهشی و مدیران دولتی باید با خبرگان و نمایندگان جامعه بهره‌برداران در نواحی مختلف کشور تعامل و ارتباط لازم را داشته باشند تا ظرفیت‌سازی لازم و دانش بومی مدیریت اجتماعی آب در کشور تقویت شود. دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی همچنین، باید در تدوین پروژه‌های بزرگ و جامع در خصوص مدیریت مشارکتی آبیاری نقش پررنگ‌تری داشته باشند و از این‌رو افزایش ارتباط لازم بین دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی و متخصصان اجتماعی و متخصصان آب، و نیز دستگاه‌های اجرایی متولی ضروری است. در این خصوص باید پروژه‌های مطالعاتی میدانی و مقالات علمی کاربردی مرتبط با موضوع پرشمار شود، بودجه‌های اجرایی و تحقیقاتی کافی تخصیص داده شود، و اولویت موضوع در دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی، با توجه اهمیت زیاد آن در مدیریت آب کشور که شرح آن در بخش‌های قبلی ارائه شد، افزایش یابد.

واقعیت در حد مبانی نظری و در مرحله قانون و سیاست عملاً متوقف مانده است و صرف‌نظر از ایجاد گروه‌های هم آب و تشکلهای آب‌بر در تعدادی چند از تعاونی‌های تولید (سطحی حدود نیم‌میلیون هکتار یا تقریباً در شش درصد زمین‌های فاریاب کشور)، حتی مجموع سطح زمین‌های صرفاً دارای تعاونی تولید از یک‌چهارم (۲۵ درصد) زمین‌های فاریاب کشور فراتر نرفته است. علاوه بر مسائل و چالش‌های مستند شده در منابع که در این مقاله شرح آن ارائه شد، بحث مدیریت مشارکتی و شکل‌گیری و فعالیت تشکلهای آب‌بر در کشور دارای چالش‌های پنهان و خاصی نیز هست که مانعی شده‌اند برای ایجاد و شکل‌گیری گروه‌های هم‌آب و تشکلهای آب‌بر در تعاونی‌های تولید که باید با نظارت و اجرای مکانیسم‌های لازم تنظیم‌گری رفع شوند.

علاوه بر شکل‌گیری اراده‌ای سیاسی در دولت به‌عنوان شرط لازم، اجرای فرآیند باید تدریجی باشد و نمی‌تواند به‌صورت سیاست ضربتی و در دوره یک دولت به انجام برسد. داشتن راهبرد اصلی و مشخص، پایبندی به سیاست‌ها و برنامه‌های گذشته، و استمرار لازمه کار است. استمرار سیاست‌ها و حمایت‌ها از تشکلهای آب‌بر هم برای ایجاد و هم برای پایداری آنها اصل مهمی است که باید به طور ویژه بدان توجه کرد. اراده سیاسی و حاکمیت کشور در این زمینه و رویکرد ملی مربوطه برای ایجاد سازمان‌های مردم‌نهاد (مانند WUAs) اهمیت خاصی دارد و باید تقویت شود.

ایجادکردن و پایداری تشکلهای آب‌بر نیاز به سیاست‌ها و ساختارهای لازم داشته که یکی از موارد مهم و مرتبط با آن بحث تحویل حجمی آب است. همچنین شاخص‌های محلی ارزیابی و پایش موضوع مدیریت مشارکتی در کشور باید به میزان کافی توسعه یابند. با توجه به تغییرات اقلیمی، افزایش فزاینده تقاضا برای آب و کمبود شدید منابع آب در کشور که وضعیت فوق‌بحرانی و شرایط جدیدی را

عنوان الگوهای مکمل برای ارتقای بهره‌وری آب در هر منطقه‌ای بنا به شرایط و اقتضائات محلی به کار گرفته شوند.

^۱ البته مدیریت مشارکتی شاید در نگاه اول در تقابل بازار آب، حسابداری آب و تخصیص آب قرار گیرد، اما برخی می‌توانند الگوی متفاوتی از مشارکت را نمایندگی کنند و به

تقدیر و تشکر

نویسنده مقاله مراتب سپاس خود را از خانم مهندس لادن بینا کارشناس خبره مدیریت مشارکتی آب دفتر امور آب کشاورزی معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی، و آقایان دکتر علیرضا رئیس السادات مدیرکل دفتر نظام های بهره برداری، شرکت های سهامی زراعی و تعاونی های تولید، و دکتر مجتبی راعی رئیس گروه برنامه ریزی، توسعه و حمایت از تعاونی های تولید سازمان مرکزی تعاون روستایی ایران، بابت مشورت ها، راهنمایی ها و ارائه برخی اطلاعات ارزشمند مورد استفاده در تدوین این مقاله اعلام می دارد.

مراجع

- Abernethy, C. (1997). Irrigation system management. Lecture notes of the course: Irrigation system management, WEM Program, School of Civil Engineering, AIT University, Bangkok, Thailand.
- Alizadeh, N., Rais al Sadat, S.A., Jalilvand, S., Dehghani, S., Kia Hosseini, S.M., Mehrin Far, A.R., Zarnegar, H. R. & Kangari, H. (2019). Guidelines for the formation of water groups and the creation of a water management unit in the rural production cooperatives, Central Organization for Rural Coperatives of Iran (CoRC), July 2019, 42 p. (In Persian)
- Hamdy, A. (2007). Irrigation management transfer: Monitoring and evaluation concepts and approaches, Proceedings of the 4th Asian Regional Conference & 10th International Seminar on Participatory Irrigation Management, May 2-5, 2007, Tehran, Iran.
- Hasan, M. Qureshi, A.S. & Heydari, N. (2007). Implementation of irrigation management transfer in Iran: A proposed framework. Proceedings of the 4th Asian Regional Conference & 10th International Seminar on Participatory Irrigation Management, May 2-5, 2007, Tehran, Iran.
- Heydari, N. (2003). Recent trends in management of irrigation networks. Proceedings of the 11th Conference of Iran's National Committee on Irrigation and Drainage: Improving Agricultural Water Productivity, December 24-25, 2003. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID), Tehran, Iran. (In Persian)
- Heydari, N., Mamanpoush, A.R., Shahrokhnia, M.A., Khoramian, M. & Karimi, M. (2007) Potentials and obstacles on irrigation management transfer: a case study of four irrigation networks in Iran. Proceedings of the 4th Asian Regional Conference & 10th International Seminar on Participatory Irrigation Management, May 2-5, 2007, Tehran, Iran.
- Iran Water Management Think Tank (2016). Presentation by Mr. Mohsen Tarawat, Vice Chairman of the Board of Directors of Rahrovan Sepehr Andishe, an innovative company and producer of smart water and electricity meters, at the meeting of the participatory management of ground water, Iran Water Management Think Tank, Kerman Chamber of Commerce, January 31, 2016, Kerman, Iran. (In Persian)
- Jabari, A. & Jangi Marei, A. (2009). Policies and programs for the development of farmers' participation in the management of irrigation and drainage networks. Proceedings of the 5th technical workshop on the participation of water users in the management of irrigation and drainage networks, January 15, 2009, Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID), Tehran, Iran. (In Persian)
- Joy, K.J. (2007). Broadening the framework of participatory irrigation management: from efficiency to sustainability and equity. Proceedings of the 4th Asian Regional Conference & 10th International Seminar on Participatory Irrigation Management, May 2-5, 2007, Tehran, Iran.
- Kloezen, W. H. & Samad, M. (1995). Synthesis of issues discussed at the international conference on irrigation management transfer (Wuhan, China, 20-24 Sep.1994). Short report series on locally managed irrigation, no.12, International Water Management Institute (IWMI) , Colombo, Sri Lanka.

- Munoz, G., Garces-Restrepo, C., Vermillion, D.L., Renault, D. & Samad, M. (2007). Irrigation management transfer: Worldwide efforts and results. Proceedings of the 4th Asian Regional Conference & 10th International Seminar on Participatory Irrigation Management, May 2-5, 2007, Tehran, Iran.
- Policy text. (2018). Solutions of water and environmental science experts for the implementation of the program of the Ministry of Energy in the water and sewage sector. Policy texts derived from the conference of Ministry of Energy, Energy Research Institute, January, 2018, Tehran, Iran. (In Persian)
- Sheikh Hosseini, M., Mirzaei, F., Lashgari, A.R. & Nasiri, M. (2018). Water users Associations formations in the Qazvin plain irrigation network, past, present, future. Proceedings of the 4th Iran Water and Soil Engineering and Management Congress. November 13-14, University of Tehran, Agriculture and Natural Resources Campus, Karaj, Iran. (In Persian)
- Statement of the Iranian Chamber of Commerce (2013). Statement of the Iranian Chamber of Commerce in the Conference on the Crisis of Groundwater Resources Management, National Center for Strategic Agriculture and Water Studies of the Iranian Chamber of Commerce, Tehran, Iran. (In Persian)
- Statement of the Iranian Chamber of Commerce (2021). Statement of the Iranian Chamber of Commerce regarding the organizing of water users associations in order to optimal use of water in the agricultural sector. Water Committee of the National Center for Strategic Studies of Agriculture and Water of the Iranian Chamber of Commerce, June 2021, Tehran, Iran. (In Persian)
- Taghipour, M. Abbasi, A. Naimi, A. & Taghipour, M. (2014) Requirements and necessities in the establishment of water users associations. Proceedings of the first national conference on ways to achieve sustainable development: agriculture, natural resources and environment, Tehran, <https://civilica.com/doc/196764>. (In Persian)
- Vermillion, D.L., (1997). Impacts of irrigation management transfer (A review of evidence). Research report no. 11, International Water management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka.
- Water Research Institute. (2019). Reviewing and compiling the requirements and obstacles of participatory management of agricultural water in the country's plains. Research report, Department of Quantitative and Qualitative Management of Watersheds, Water Resources Studies and Research Department, Water Research Institute, Ministry of Energy, Tehran, Iran.

Technical note

Issues and Challenges of Participatory Management and Sustainable Irrigation Management Transfer in Iran

N. Heydari ¹

***Corresponding Author:** Associate Professor; Agricultural Engineering Research Institute (AERI); Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO); Karaj; Iran

Received: 19 August 2024, **Accepted:** 1 October 2024

Email: nrheydari@yahoo.com

https://doi.org/10.22092/IDSER.2024.366787.1588

Abstract

Participatory irrigation management (PIM) and at utmost level irrigation management transfer (IMT) are processes that have been carried out in the water sector of most countries all around the world for more than two decades. In Iran, such activities have also been carried out in different aspects including mainstreaming of its literature; entering it into the programs, laws, and macro-level policies, the establishment of a few number of Water Users Associations (WUA), and implementing PIM on a limited scale and in some pilot projects in recent years. According to surveys, the process of this issue in the country has been slow, scattered and has faced different problems and challenges. The review of scientific sources and the investigation and analysis carried out for the problem finding regarding the subject in this study indicate that the implementation of the PIM and IMT programs have various issues and challenges in Iran, which important ones are: 1) issues of being in charge of the matter, 2) lack of necessary coordination, parallel work and interference of different agencies in each other's affairs 3) absence or lack of necessary determination and will regarding the issue despite its importance and different emphasis in the laws and macro-level documents, 4) the long time passed and the necessity of various changes in the structure of water management due to the growing crisis of water shortage in the country, 5) centralization and not having or not giving the necessary place to WUA from the aspects of the structure, the description of duties and authorities and their ultimate independence, 6) weaknesses in the empowerment of WUA and necessary facilitations for their formation and sustainability, 7) lack of necessary infrastructures and inconvenience of work from various aspects such as non-volumetric delivery of water, closure and or non-implementation of some related laws and regulations, indecision of the relevant organization in doing their work, and competition of water distribution companies to create WUA and relevant conflict of interest issues, 8) lack of necessary research and field studies regarding the issue, 9) the emergence of new challenges in the objectives of the subject and the introduction of some new terms in the discourse of the definition of WUA, specifically in Iran, such as the introduction of the term "land use" into the topic, i.e., calling it as water and land exploitation associations instead of just WUA, and 10) special issues and challenges in the creation and stability of well or underground water users associations (W-WUA). A lot of time (more than three decades) has passed since the introduction of PIM to the scientific and executive literature on water management. There is a long pause in its complete and effective implementation in Iran. During this period some new debates in the country's water management such as creating local water markets, water accounting, water reallocation, etc., have emerged. Moreover, the growing shortage of water resources and the issues of climate change over this period bring the continuation of PIM in the country into a new field and environment. All these necessitate newer studies for revisions in PIM and IMT implementation methods and approaches by taking into account the socio-cultural issues of the regions and on a case-by-case basis.

Keywords: Exploitation system, Laws and policies, Stakeholder, Water Users, WUA.



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. 25, No. 95, Summer 2024

Print ISSN: 3060-6764 Online ISSN:3060-6772

Contents

Research Paper

- Nmerical investigation of the effect of vegetation in divergent floodplain on the flow pattern in compound channel**
Fatemeh Mahmoodi Monfared, Masome Rostamabadi, Hojatollah Younesi 1
- Experimental investigation of performance of stepped–pyramidal weir on the content of dissolved oxygen in water**
Ali Ranjbin, Mahdi Esmaeili varaki, Maryam Navabian, Shahram Niazi 21
- Feasibility of Reducing the Evaporation of Water in the Treatment Plant And Supplying Electricity to the Pumping Station by Meteonorm and PVsyst Software (Case Study: Miandoab City)**
Milad Rezaei, Hojat Ahmadi, Malihe Bayram 41
- Estimation of Irrigation Water Productivity Indicators and Cotton Cultivation Yield in Conventional Agricultural Conditions of Larestan, Darab and Fasa Cities (Case Study: Fars Province)**
Amir Eslami , Mohammad Mehdi Nakhjavani Moghadam, Mohammad Mehdi Ghasemi Akbar Jokar 57
- Investigating the Effect of Sodium Carbonate on the Swelling and Shrinking Behavior of Clay Soils in Hydraulic Structures**
Nader Abbasi, Maral Sarkari, Afshin Khorsand, Reza Bahramloo 75
- Technical Note**
- Issues and Challenges of Participatory Management and Sustainable Irrigation Management Transfer in Iran**
N. Heydari 93

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research

(Agricultural Engineering Research)

Vol. 25 No. 95 2024

Published by: Agricultural Engineering Research Institute (AERI)

Executive Director: H. Dehghani-sani, Professor

Editor in Chief: N. Abbasi, Professor
Assistant Editor: Dr. O. Raja

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	Professor, Tarbiat Modares University
A. Nasser	Associate Professor, East Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center
M. H. Omid	Professor, University of Tehran
A. Parvaresh Rizi	Associate Professor, University of Tehran
M. Shafai-Bejestan	Professor, Shahid Chamran University of Ahvaz

International Editorial

Board:

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: Sh. Jabbari

Reviewers:

- M. Akbari	- R. Daneshfaraz	- Z. Soltani	A. Malekpor
- J. Baghani	- O. Raja	- M.A. Shahrokhnia	Y. Mehri
- H. Besharati Kalate	- O.R. Rostapor	- F. Abbasi	
- F. Parchami Araghi	- S. Soltani	- N. Abbasi	

AERI Site: www.aeri.ir

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

E-mail: aridsej@areeo.ac.ir