Technical Strategies in Water Systems
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
ISSN (Online): 2981-1449
Autumn 2024: Vol 2, Issue 3, 186-197
https://doi.org/10.30486/TSWS.2025.1194093

Research Article

Preparation of a spatio-temporal map of the expansion of modern irrigation systems in the provinces of Iran using the t-map package of the R-Studio software

Iman Ahmadi

Department of Agronomy, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Corresponding Author email: i_ahmadi_m@yahoo.com

© The Author(s) 2025

Received: 21 Nov 2024 Accepted: 03 Feb 2025 Published: 06 Feb 2025

Abstract

The purpose of this research is to create a spatio-temporal map illustrating the expansion of modern irrigation systems across Iran's provinces using the t-map package in R-Studio. The raw data used in this research was obtained from the statistical tables provided by the statistics center of the Ministry of Agricultural Jihad regarding the development of advanced irrigation systems in Iran from 2009 to 2022. First, an Excel file was prepared using the raw data, ensuring its compatibility with the geographical information of Iran's provinces. This data was then integrated with geographic information in R-Studio software, and spatio-temporal maps were generated using the functions of the t-map package. For clustering analysis, functions from the factoextra package were used. This package allows for data standardization before clustering using various methods. Moreover, in this research, Iran's provinces were clustered according to three criteria: the percentage of completion of modern irrigation systems, the percentage of development of irrigation and drainage networks, and the percentage of coverage of traditional irrigation canals in 2022. The findings indicate that out of 6,014,211 hectares of irrigated agricultural land, 2,469,835 hectares have been equipped with modern irrigation systems, reflecting an average implementation rate of 41% nationwide. Furthermore, the development percentages of irrigation and drainage networks and the coverage of traditional canals were found to be 15% and 0.5%, respectively. The spatio-temporal map of modern irrigation system implementation revealed that provinces with the most extensive irrigated agriculture exhibited lower adoption rates of these systems compared to others. For example, Khuzestan and Fars, which cumulatively account for 31% of the country's irrigated lands, have only progressed by 9% and 18%, respectively, in establishing new irrigation systems. It is important to note that while advanced irrigation systems enhance irrigation efficiency at the farm level, their significant effect on levels of groundwater table requires the presence of smart meters for agricultural wells that supply these systems.

Keywords: Modern Irrigation Systems, Clustering, R-Studio Software, Spatial-Temporal Map

مجله راهبردهای فنی در سامانه‌های آبی
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
شاپا الکترونیکی: ۱۴۴۹-۲۹۸۱
پاییز ۱۴۰۳، دوره دو، شماره ۳، ۱۹۷-۱۸۶
https://doi.org/10.30486/TSWS.2025.1194093

مقاله پژوهشی

ایجاد نقشه مکانی- زمانی گسترش سامانه‌های آبیاری نوین در استان‌های ایران با استفاده از کتابخانه t-map نرم‌افزار R-Studio

ایمان احمدی

i_ahmadi_m@yahoo.com
© The Author(s) 2025

۰۹۰۱

چکیده

t-map

R-Studio

R-Studio

t-map

factoextra

واژه‌های کلیدی:

R-Studio

۱- مقدمه

امروزه با توجه به دسترسی به حجم زیادی از داده، روش‌های تحلیل داده توانایی خود را در حل برخی از مسائل نشان داده‌اند. به عنوان مثال مفهوم پردازش داده‌های کلان در رشته‌های مختلفی چون بیمه، بانکداری، بهداشت و درمان و مطالعات زیست محیطی (Batko & Ślęzak, 2022; Waga & Rabah, 2014; Cooper et al., 2013) وارد شده است. در علوم کشاورزی نیز پژوهشگران مشتاق انجام مطالعات در زمینه پردازش داده‌های کشاورزی هستند. به عنوان مثال Tesfaye et al. (2016)، Kempenaar et al. (2016) و Frelat et al. (2016) به ترتیب از مفهوم کلان داده برای بررسی مسائلی در زمینه تغییرات آب و هوایی و اقلیمی، پژوهش‌های علوم دامی و امنیت غذایی استفاده کردند. برای تحلیل کلان داده‌ها از مجموعه‌ای از نرم افزارها و ابزار رایانه‌ای مانند نرم‌افزارهای تحلیل تصویر، یادگیری ماشین، سکوهای ابری برای ذخیره سازی و پردازش کلان داده، سامانه اطلاعات مکانی (GIS)، مدلسازی و شبیه‌سازی، ابزارهای آماری و تحلیل سری‌های زمانی استفاده می‌شود (Kamilaris et al., 2017). یکی از سکوهای قوی برای انجام پردازش‌های کلان داده‌ای مورد نیاز در زمینه یادگیری ماشین و انجام عملیات آماری، زبان برنامه‌نویسی R است که در دسته زبان‌های برنامه‌نویسی متن باز قرار می‌گیرد. البته به منظور استفاده از قابلیت ویرایش کد، بهتر است برنامه‌نویسی در محیط نرم افزار R-Studio صورت پذیرد. همچنین این نرم افزار ابزار مناسبی برای مشهودسازی داده در اختیار کاربر قرار می‌دهد(Guleria & Kaur, 2021). به عنوان مثال Lemenkova (2020) از کتابخانه‌های مختلف R به عنوان نرم‌افزاری که در دسترس همه قرار دارد، برای آموزش علم جغرافیا استفاده کرده است. همچنین Ahmadi (2023) از کتابخانه t-map برای مشهودسازی مکانی- زمانی سهم فعالیت‌های کشاورزی در تولید CO_2 در سطح قاره‌های جهان بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ استفاده کرده است.

از سوی دیگر یکی از راه‌های افزایش راندمان آبیاری در بخش کشاورزی به‌کارگیری سامانه‌های پیشرفته آبیاری است که شامل سامانه‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای می‌شود (Shahnoushi et al., 2020). در صورت در اختیار بودن داده‌های چندین ساله از میزان تجهیز اراضی به سامانه‌های آبیاری نوین و با توسعه نقشه‌های مکانی- زمانی، امکان مقایسه دقیق‌تر استان‌های ایران از لحاظ تکمیل این‌گونه سامانه‌ها فراهم می‌شود. به‌خصوص اینکه نقشه‌های مکانی- زمانی حالت پویا داشته و در صورت وجود روندهای با تغییرات مکانی- زمانی در داده‌ها، امکان مشاهده این روندها با ایجاد این نقشه‌ها تسهیل می‌شود (Ahmadi, 2023). در پژوهش انجام شده توسط (Ghimire et al., 2025) به نمونه‌ای از کاربردهای مفهوم تغییرات مکانی- زمانی در مبحث آبیاری پرداخته شده است. آنها بر اساس این مفهوم تغییرات پیوسته کشت آبی (در مقابل کشت دیم) در کشور نپال را به منظور انجام برنامه‌ریزی دقیق‌تر در استفاده از آب کشاورزی مد نظر قرار دادند. در پژوهش دیگری (Pandey et al., 2020) به موضوع توزیع مکانی- زمانی آب در دسترس در حوضه آبریز Karnali-Mohana پرداختند تا تاثیر تغییرات آب و هوایی در مقدار آب در دسترس با وضوح بیشتری مشخص گردد. توسعه نقشه‌های مکانی- زمانی در این پژوهش‌ها با توجه به نوع داده‌ها، با استفاده از امکانات سکوی Google Earth Engine (GEE) انجام شده است، در حالیکه داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر سازگار با سکوی GEE نیست. بنابراین در این پژوهش ایجاد نقشه مکانی- زمانی با استفاده از امکانات نرم‌افزار R-Studio دنبال شد.

هدف از پژوهش حاضر توسعه نقشه‌های مکانی- زمانی مساحت پوشش داده شده و درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری نوین در استان‌های کشور در دوره زمانی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۱ با استفاده از کتابخانه tmap نرم افزار R-Studio است. همچنین در این پژوهش خوشه‌بندی استان‌های کشور با توجه به سه عامل درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری نوین، درصد ایجاد شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و درصد پوشش انهار و کانال‌های سنتی به کمک نرم‌افزار R-Studio، انجام شده است. با خوشه‌بندی استان‌ها، سیاستگذار قادر به تدوین سیاست‌های مدیریتی مشابه برای استان‌های قرار گرفته در هر خوشه می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

برای توسعه نقشه‌های مکانی- زمانی به دو سری داده احتیاج است که عبارتند از: داده‌های مرجع‌یابی مکانی شده در زمان‌های مختلف و داده‌های مربوط به نقشه جغرافیایی. در این پژوهش، داده‌های مربوط به توسعه سامانه‌های آبیاری پیشرفته در استان‌های ایران در دوره زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۱ (۱۳ سال) به عنوان داده‌های مرجع‌یابی مکانی شده در زمان‌های مختلف و فایل مربوط به مرز جغرافیایی استان‌های ایران به عنوان نقشه جغرافیایی در نظر گرفته شد. ساختار داده‌ای دو بعدی نهایی که در ایجاد نقشه‌های مکانی- زمانی مورد استفاده قرار گرفت، ساختاری دارای ٤٣٤ سطر و ۲۳ ستون بود که بخشی از آن در شکل (۱) نشان داده شده است.

شکل ۱- نمایش بخشی از ساختار داده‌ای مورد استفاده در ایجاد نقشه‌های مکانی- زمانی

	Shape_Leng	Shape_Area	ADM1_EN	ADM1_FA	year	province	area_covered_hec	percentage	A
1	4.346753	0.5231094	Alborz	البرز	1401	Alb	21255	57	
2	10.218890	1.8452731	Ardabil	اردبیل	1401	Ard	78387	40	
3	16.019141	2.0885448	Bushehr	بوشهر	1401	Bush	20292	77	
4	7.087819	1.5558969	Chaharmahal and Bakhtiari	چهارمحال و بختیاری	1401	Ch_Bakh	63546	85	
5	14.145806	4.6466061	East Azerbaijan	آذربایجان شرقی	1401	E_Azar	108116	75	
6	17.564258	11.3668556	Fars	فارس	1401	Far	109146	18	
7	7.177306	1.4272721	Gilan	گیلان	1401	Gil	16841	6	
8	7.950242	2.0493169	Golestan	گلستان	1401	Gol	79598	24	

Fig 1. Presentation of a part of the data frame used for developing spatio-temporal maps

ایجاد نقشه مکانی- زمانی به وسیله نرم افزار R-Studio انجام شد. کدهای مربوط به ایجاد نقشه مکانی- زمانی در پیوست مقاله آورده شده است.

برای جمع آوری و تحلیل داده‌های مربوط به توسعه سامانه‌های آبیاری پیشرفته در استان‌های ایران مراحل زیر انجام شد:

از داده‌های آماری وزارت جهاد کشاورزی در زمینه مقدار توسعه سامانه‌های آبیاری پیشرفته بر حسب هکتار در سال‌های مختلف دوره زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۴۰۱ در استان‌های ایران به عنوان داده‌های خام استفاده شد. داده‌ها به گونه‌ای وارد کاربرگ نرم‌افزار اکسل شد که ستون اول آن سال، ستون دوم آن نام استان و ستون سوم آن مساحت زمین‌های کشاورزی تجهیز شده به سامانه‌های آبیاری پیشرفته در یک استان و در یک سال باشد. سپس داده‌های کل کاربرگ با روش مرتب‌سازی دو عاملی ابتدا برحسب سال به ترتیب نزولی و سپس برحسب نام انگلیسی استان مرتب شدند. سپس با فرمول‌نویسی مقدار مساحت تجمعی زمین‌های کشاورزی تجهیز شده به سامانه‌های آبیاری پیشرفته در استان‌های مختلف بر حسب سال محاسبه شد. در نهایت از تقسیم مساحت تجمعی اراضی تحت سامانه‌های آبیاری پیشرفته در هر استان به مساحت کل زمین‌های دارای کشت آبی آن استان، درصد تجهیز تجمعی اراضی کشاورزی آبی آن استان به سامانه‌های آبیاری پیشرفته در هر سال به‌دست آمد. در نهایت فایل به‌دست آمده با پسوند csv. ذخیره شد و برای ایجاد نقشه مکانی- زمانی در مسیر کاری نرم‌افزار R-Studio قرار داده شد. با توجه به داده‌های موجود در فایل اکسل، دو سری نقشه مکانی- زمانی به‌دست خواهد آمد که عبارتند از نقشه مکانی- زمانی مساحت تجمعی زمین‌های تجهیز شده به سامانه‌های آبیاری پیشرفته برحسب هکتار و نقشه مکانی- زمانی درصد پیشرفت تجمعی زمین‌های تجهیز شده به سامانه‌های آبیاری پیشرفته. نکته مثبت ایجاد نقشه‌های مکانی- زمانی در این است که به علت پویا بودن این نقشه‌ها، به کارگیری آن‌ها باعث استخراج روندهای موجود در داده‌ها به صورت دیداری می‌شود.[۱]

[۱] شایان ذکر است که از راه‌های زیر می‌توان به نقشه‌های مکانی- زمانی مربوط به این گزارش دسترسی پیدا کرد:
کافی است آدرس زیر را در نوار آدرس مرورگر وب وارد کنید
https://drive.google.com/file/d/1MS76rk60QLgHucEuK3rwB5ColHhozvGr/view?usp=drive_link

در این پژوهش علاوه بر ایجاد نقشه‌های مکانی- زمانی مقدار و درصد پوشش مساحتی روش‌های آبیاری پیشرفته در استان‌های ایران، خوشه‌بندی استان‌ها با توجه به سه معیار درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری مدرن، درصد توسعه شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و درصد پوشش انهار و کانال‌های سنتی به صورت تجمعی در سال ۱۴۰۱ به شیوه‌های تقسیم‌بندی و سلسله‌مراتبی صورت گرفت. روش خوشه‌بندی تقسیم‌بندی به نوبه خود به روش‌های خوشه‌بندی K- میانگین و K- میانه تقسیم می‌شود. ذکر این نکته اهمیت دارد که قبل از اعمال هر کدام از روش‌های خوشه‌بندی، ابتدا باید داده‌های اولیه نرمال‌سازی شوند، یعنی تبدیل به داده‌هایی با میانگین صفر و واریانس یک شوند. در اجرای روش خوشه‌بندی K- میانگین ابتدا K عدد به طور تصادفی به عنوان مرکز خوشه‌ها تعیین شده و با محاسبه معیاری برای سنجش شباهت نمونه‌ها، مثل فاصله اقلیدسی بین نمونه‌ها، فاصله بین تمام نقاط و هر یک از مراکز محاسبه می‌گردد. سپس هر نقطه به مرکزی نسبت داده می‌شود که فاصله کمتری از آن داشته باشد. سپس با میانگین‌گیری از نمونه‌های متعلق به هر خوشه، مراکز جدید متعلق به خوشه‌ها محاسبه شده و دوباره فاصله نمونه‌ها از مراکز جدید محاسبه می‌گردد و هر نمونه به مرکز دارای کمترین فاصله اختصاص داده می‌شود و این عمل آنقدر تکرار می‌شود که یا تغییری در نمونه‌های متعلق به هر خوشه به وجود نیاید و یا تعداد تکرار محاسباتی کامل شود. ویژگی روش K- میانگین این است که این روش به داده‌های دارای فاصله زیاد از مرکز حساس بوده و وجود این داده‌ها در نمونه‌ها باعث تاثیرگذاری بر نتیجه خوشه‌بندی خواهد شد. روشی که این ویژگی K- میانگین را در فرآیند خوشه‌بندی ندارد، روش K- میانه است که تفاوت مراحل آن با روش K- میانگین در این است که به جای استفاده از میانگین نمونه‌های قرار گرفته در هر خوشه به عنوان مرکز آن خوشه، از میانه نمونه‌های قرار گرفته در آن خوشه به عنوان مرکز خوشه استفاده می‌شود. با این کار چون میانه از داده‌هایی که دارای فاصله زیاد از مرکز هستند و در مجموعه داده‌ها وجود دارند، تاثیر نمی‌پذیرد، خوشه‌بندی با این روش نیز این خاصیت را خواهد داشت.

در روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی ابتدا هر نمونه به عنوان یک خوشه در نظر گرفته شده و سپس به عنوان معیار شباهت، فاصله اقلیدوسی بین زوج نمونه‌ها محاسبه می‌گردد و نمونه‌هایی‌که کمترین فاصله را از هم دارند با هم ادغام شده و تشکیل یک خوشه در سطح بالاتر را می‌دهند و این عمل آنقدر ادامه داده می‌شود که در نهایت تمام نمونه‌ها در یک خوشه قرار گیرند. البته پس از تشکیل درخت سلسله مراتبی، امکان شکستن تک خوشه‌ای که کل نمونه‌ها را در بر گرفته به خوشه‌های زیر مجموعه وجود دارد.

۳- نتایج و بحث

ابتدا به نتایج مربوط به کارهای انجام شده درباره استقرار سامانه‌های آبیاری نوین، ایجاد شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و پوشش انهار و کانال‌های انتقال آب سنتی در سطح کشور پرداخته می‌شود. تا سال ۱۴۰۱ تکمیل سامانه‌های آبیاری پیشرفته در سطح ۲۴۶۹۸۳۵ هکتار، ایجاد شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی در سطح ۸۹۵۹۹۷ هکتار و پوشش انهار و کانال‌های سنتی در سطح ۲۸۳۱۸ هکتار از ۶۰۱۴۲۱۱ هکتار اراضی زراعی کشت آبی صورت گرفته است، در نتیجه درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری نوین در سطح کشور تا سال ۱۴۰۱ برابر با ۴۱٪، درصد ایجاد شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی برابر با ۱۵٪ و درصد پوشش انهار و کانال‌های سنتی

تا از طریق فضای ابری Google drive به نقشه‌های پویای مربوط به این گزارش دسترسی داشته باشید. البته فایل تصاویر به فرمت فشرده ذخیره شده است و برای مشاهده باید از حالت فشرده خارج شود. همچنین می‌توانید از QR-code زیر استفاده کرده و به فضای ابری Google drive دسترسی پیدا کنید:

برابر با ۰/۵٪ بوده است. از سوی دیگر ضریب پراکندگی در درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری پیشرفته در استان‌های ایران بالاست که شامل استان‌هایی با درصد تکمیل نزدیک ۱۰۰٪ مثل استان‌های هرمزگان و خراسان جنوبی، همچنین درصد تکمیل نزدیک صفر مثل استان‌های گیلان و مازندران می‌شود. از نظر عددی مقدار ضریب پراکندگی محاسبه شده برای این شاخص برابر با ۵۵/٦٪ به‌دست آمد. ضرایب پراکندگی به‌دست آمده برای درصد ایجاد شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و درصد پوشش انهار و کانال‌های سنتی نیز بسیار بالاست (به ترتیب ۱۲۸ و ۱۲٤ درصد) که نشان دهنده پراکندگی زیاد در درصد اجرای این پروژه‌ها بین استان‌های مختلف ایران است.

به کمک داده‌های مساحت پوشش داده شده و درصد تکمیل روش‌های آبیاری پیشرفته و استفاده از کد آورده شده در پیوست، امکان ایجاد نقشه‌های مکانی- زمانی مساحت پوشش داده شده و درصد تکمیل روش‌های آبیاری پیشرفته فراهم شد. به علت اینکه نقشه‌های مکانی- زمانی حالت پویا دارند و در فایل word قابل درج نیستند، برای مشاهده آن‌ها از روش توضیح داده شده در پاورقی فصل مواد و روش‌ها استفاده کنید. بنابراین در شکل (۲) فقط نقشه‌های مکانی مساحت پوشش داده شده و درصد تکمیل روش‌های آبیاری پیشرفته در استان‌های ایران برای سال ۱٤۰۱ نشان داده شده است. در یک نقشه مکانی- زمانی، مقدار پارامتر مورد نظر در هر استان با توجه به رنگ آن مشخص می‌شود. رنگ‌ها به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که اطلاعات دیداری مناسبی به خواننده منتقل شود. در این گزارش مقادیر کوچک و بزرگ به ترتیب با رنگ‌های روشن و تیره نشان داده شده‌اند. به کمک این شیوه نمایشی، امکان تشخیص روندهای مخفی در داده‌های ارائه شده وجود دارد.

شکل ۲- نقشه‌های مکانی a) مساحت پوشش داده شده و b) درصد استقرار سامانه‌های آبیاری پیشرفته در هر استان در سال ۱٤۰۱
(برای مشاهده نقشه‌های مکانی- زمانی از روش توضیح داده شده در پاورقی فصل مواد و روش‌ها استفاده کنید)

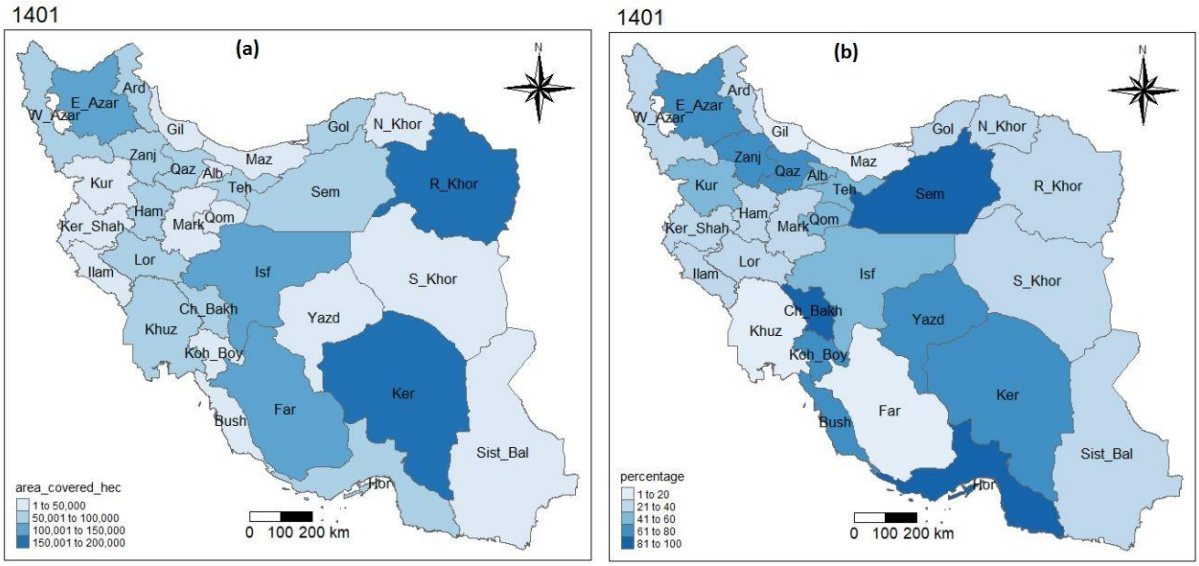


Fig 2. Spatial maps of showing a) the area covered and b) the percentage of the implementation of modern irrigation systems in Iran's provinces in 2022

نتیجه‌ای که می‌توان از نقشه مکانی- زمانی توسعه سامانه‌های آبیاری مدرن در استان‌های ایران به‌دست آورد این است که این سامانه‌ها با استقبال کمی در استان‌های پیشرو در زراعت محصولات دارای سیستم کشت آبی مواجه بوده‌اند. به عنوان مثال استان‌های خوزستان و فارس که به‌صورت تجمعی ۳۱٪ از اراضی زراعی دارای کشت به شیوه آبی را در اختیار دارند، از نظر مساحتی بترتیب ۹٪ و ۱۸٪ در استقرار سامانه‌های آبیاری نوین پیشرفت داشته‌اند. دو استان پیشرو بعدی در کشت آبی محصولات زراعی یعنی استان‌های خراسان رضوی و آذربایجان غربی نیز پیشرفت کمتر از ۳۰٪ در تجهیز اراضی به سامانه‌های آبیاری نوین داشته‌اند.

ذکر این نکته لازم است که صرف پیشرفت در استقرار سامانه‌های آبیاری نوین به بهبود شرایط در زمینه سطح آب‌های زیرزمینی منجر نمی‌شود. چون با استقرار این سامانه‌هاف کشاورزان به افزایش وسعت زمین‌های کشاورزی اقدام می‌کنند و همان مقدار آبی که در حالت عدم وجود سامانه آبیاری نوین مصرف می‌کرده‌اند را با وجود سامانه‌های آبیاری نوین مصرف می‌کنند. از سوی دیگر چون نفوذ آب به سفره‌های آب زیرزمینی و مقدار آب خارج شده از مزرعه در اثر زه‌کشی در سامانه‌های آبیاری نوین کمتر از سامانه‌های آبیاری سنتی است، با الگوی بالا وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی بدتر خواهد شد. نکته کلیدی در موثر بودن استقرار سامانه‌های آبیاری نوین به وجود نظارت صددرصدی روی مقدار برداشت از آب‌های زیرزمینی برمی‌گردد که این مهم با نصب کنتورهای هوشمند روی چاه‌های کشاورزی قابل انجام است. با این کار هم بازده مزرعه‌ای آب مصرف شده افزایش خواهد یافت و هم سطح سفره‌های آب زیرزمینی به تدریج افزایش خواهد یافت. به این موضوع در پژوهش (Kiani & Shaker, 2022) نیز اشاره شده است.

نتایج به دست آمده برای خوشه‌بندی استان‌های ایران با توجه به معیارهای درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری مدرن، درصد توسعه شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و درصد پوشش انهار و کانال‌های انتقال آب سنتی در دو حالت خوشه‌بندی از طریق قسمت‌بندی (Partitioning) به روش‌های K- میانگین و K- میانه و حالت سلسله مراتبی در شرایط هفت خوشه‌های در شکل (۳) نشان داده شده است.

با توجه به شکل(۳)، چون شکل و موقعیت مرکز خوشه‌بندی‌های انجام شده به روش‌های K- میانگین (شکل ۳a) و K- میانه (شکل ۳b) متفاوت است، وجود داده‌های دارای فاصله زیاد از مرکز در مجموعه داده‌ها محتمل می‌باشد، این وضعیت با شعاع‌های بیرون زده از ناحیه خوشه‌بندی در نمودارهای مربوط به روش K- میانگین خود را نشان داده است. از نظر کاربرد مدیریتیِ نتیجه به‌دست آمده برای فرآیند تصمیم‌گیری راجع به انتخاب یکی از روش‌های K- میانگین و K- میانه باید از معیار اطمینان به صحت داده‌های اولیه ای که خوشه‌بندی براساس آن‌ها انجام شده است، استفاده کرد: به این معنی که اگر به صحت داده‌های اولیه اطمینان بالایی وجود داشته باشد، خوشه‌بندی به روش K- میانگین باید برای دسته بندی استان‌ها مورد استفاده قرار گیرد و اگر به صحت داده‌های اولیه اطمینان کمی وجود داشته باشد، روش K- میانه انتخاب بهتری است.

علیرغم وجود شباهت‌هایی بین نتایج خوشه‌بندی به روش‌های مبتنی بر تقسیم‌بندی و سلسله مراتبی، تفاوت‌هایی نیز بین آنها وجود دارد. دلیل این مطلب می‌تواند متفاوت بودن فرآیند خوشه‌بندی روش سلسله مراتبی با روش‌های مبتنی بر تقسیم‌بندی باشد. چون در روش سلسله مراتبی ابتدا هر نمونه در یک خوشه قرار داده می‌شود و سپس با حرکت از پائین به بالا و با توجه به مشابهت بین نمونه‌ها، کار ادغام نمونه‌ها انجام می‌شود، در صورتیکه در روش‌های مبتنی بر تقسیم بندی، ابتدا K مرکز به تصادف انتخاب شده و سپس با فرآیند تکراری اختصاص نمونه‌ها به مراکز و محاسبه مراکز جدید عمل خوشه‌بندی کامل می‌شود.

نکته دیگر این‌که در نمودارهای K- میانگین و K- میانه دو محور با نام‌های Dim1 و Dim2 وجود دارند که در واقع دو امتدادی هستند که به عنوان Principal axes توسط نرم افزار در نظر گرفته می‌شوند. نحوه تشکیل این محورها به این صورت است که نرم‌افزار محوری را که بیشترین پراکندگی داده‌ها در راستای آن رخ می‌دهد به عنوان محورDim1 انتخاب کرده و محور Dim2 عمود بر محورDim1 در نظر گرفته می‌شود. البته لازم نیست که داده‌های اولیه حتماً دارای دو بعد باشند تا این محورها شکل بگیرند. اگر داده‌های اولیه بردارهایی با بیش از دو بعد هم باشند نرم افزار قادر به اختصاص محورهای Dim1 و Dim2 به داده‌ها می‌باشد. مزیت این کار در این است که چون داده‌های مسئله در یک شکل دو بعدی بر حسب این دو محور جانمایی می‌شوند، نمایش داده‌ها در این نمودارها براحتی قابل انجام است.

دلیل اینکه تعداد خوشه‌های در نظر گرفته شده در این پژوهش برابر با ۷ لحاظ شده این است که همانطور که در شکل(٤) مشاهده می‌شود بیشترین مقدار برای متوسط عرض پارامتر Silhouette در تعداد خوشه برابر با ۷ حاصل شده است، به این معنی که بیشترین فاصله بین خوشه‌های با در نظر گرفتن تعداد خوشه برابر با ۷ به‌دست می‌آید.

شکل ۳- خوشه‌بندی استان‌های ایران از نظر استقرار سامانه‌های آبیاری و زه‌کشی به روش‌های a) K- میانگین هفت کلاسه، b) K- میانه هفت کلاسه، و c) سلسله مراتبی هفت کلاسه

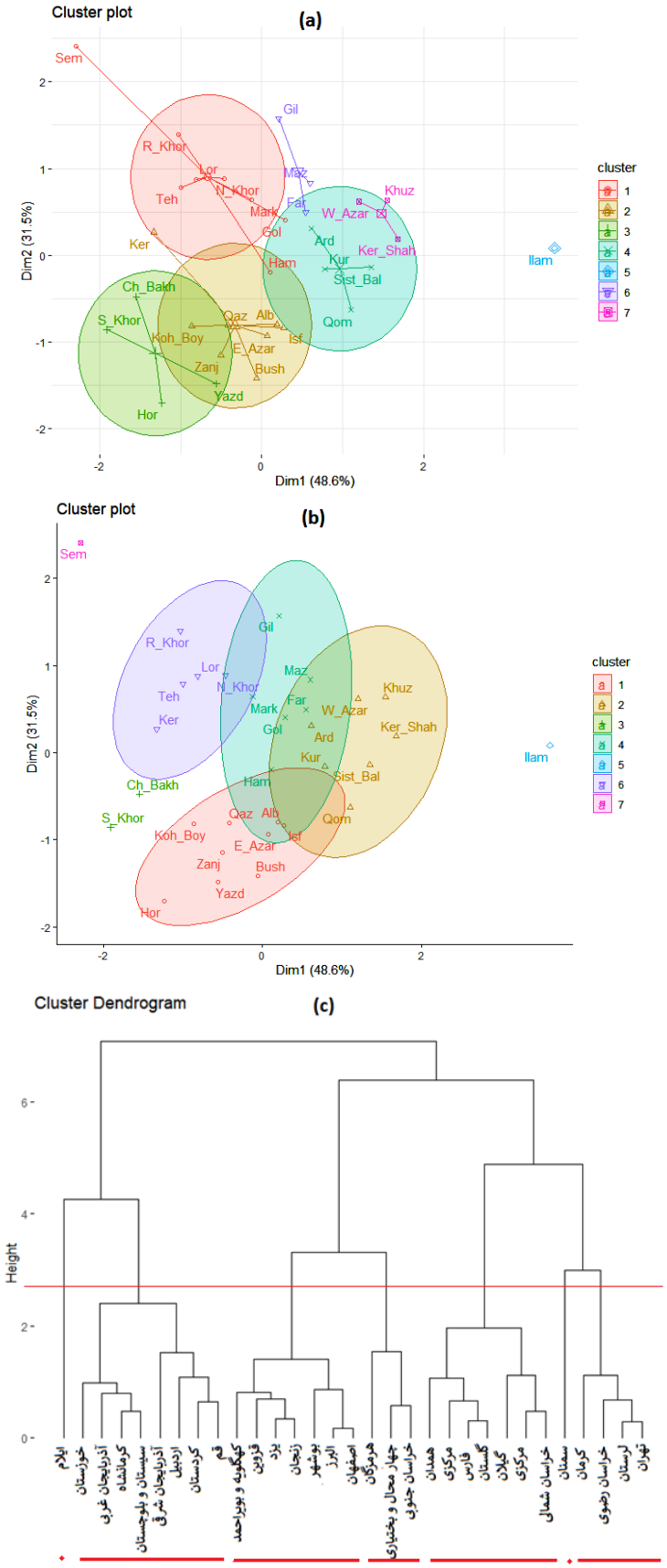


Fig 3. Clustering of Iran's provinces regarding to the implementation of irrigation and drainage systems using a) seven-class K-means, b) seven-class K-medians, and c) seven-class dendrogram

شکل ٤- نمودار تغییرات متوسط عرض پارامتر silhouette بر حسب تعداد خوشه

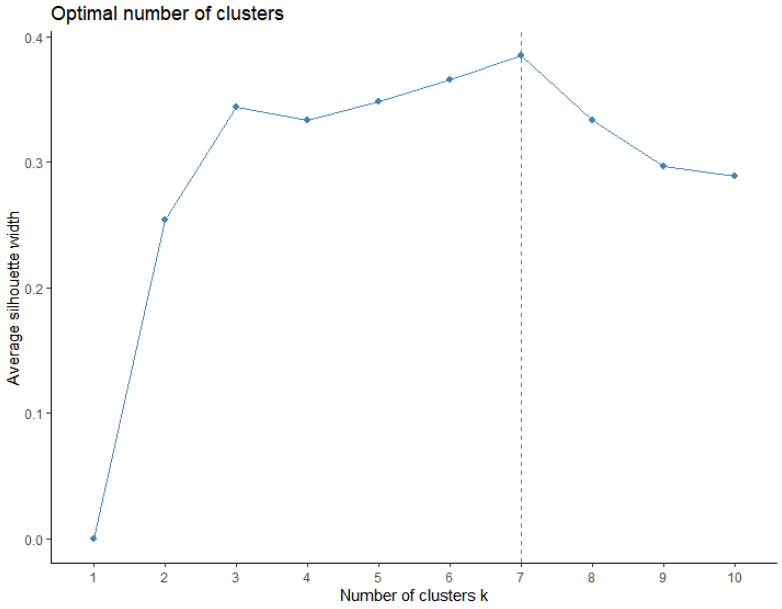


Fig 4- Variation of average silhouette width with respect to the number of clusters

از سوی دیگر مقدار شاخص Hopkins با انجام خوشه‌بندی۷ خوشه‌ای برابر با ۰/۸۲ به‌دست آمد که نشان‌دهنده وقوع خوشه‌بندی مناسب است.

خوشه‌بندی استان‌های ایران بر اساس معیارهای سه گانه ذکر شده در اعمال سیاست‌های مدیریتی کلان می‌تواند کاربرد داشته باشد، جایی‌که سیاستگذار می‌تواند سیاست‌های مدیریتی مشابهی را برای استان‌های قرار گرفته در هر خوشه تدوین کند و خواستار اجرای آنها توسط استان‌های قرار گرفته در آن خوشه شود.

۴- نتیجه‌گیری

قابلیت رسم نقشه‌های مکانی- زمانی پویای نرم افزار R-Studio می‌تواند به نمایش دیداری مناسبی از حجم زیادی داده متراکم در جداول آماری در زمان کم بیانجامد، این نقشه‌ها نسبت به جداول آماری در به دست آوردن روند تغییرات داده‌ها بهتر عمل می‌کنند. در این پژوهش از این قابلیت برای ایجاد نقشه‌های مکانی- زمانی مقدار و درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری مدرن در استان‌های ایران استفاده و نتایج حاصل ارائه داده شده است. همچنین در این پژوهش خوشه‌بندی استان‌های ایران با توجه به سه عامل درصد تکمیل سامانه‌های آبیاری مدرن، درصد ایجاد شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی و درصد پوشش انهار و کانال‌های سنتی به روش‌های K- میانگین و K- میانه و سلسله مراتبی صورت گرفت و شباهت و تفاوت‌های این روش‌ها از نظر الگوریتم‌های به کار رفته و نتایج حاصله تشریح شد. می‌توان این‌طور جمع‌بندی کرد که در صورت موجود بودن داده‌های آماری مطمئن و با توسعه نقشه‌های مکانی- زمانی و خوشه‌بندی، دید درستی از وضعیت موجود ارائه شده که به تصمیم‌گیران کلان بخش کشاورزی در جهت تدوین سیاست‌های مدیریتی صحیح می‌تواند یاری برساند.

۵- تضاد منافع نویسندگان

نویسنده این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارد.

۶- منابع

Ahmadi, I. (2023). A spatiotemporal analysis of the continent-wide contribution of agriculture in CO2-eq production from 1990 to 2019 using the t-map package of R software. *Journal of nature and spatial sciences*, 3(2), 17–24. https://doi.org/10.30495/jonass.2023.1974762.1060

Batko, K., & Ślęzak, A. (2022). The use of Big Data Analytics in healthcare. *Journal of Big Data*, 9(3). https://doi.org/10.1186/s40537-021-00553-4

Cooper, J., Noon, M., Jones, C., Kahn, E., & Arbuckle, P. (2013). Big data in life cycle assessment. *Journal of Industrial Echology*, 17 (6), 796–799. https://doi.org/10.1111/jiec.12069

Frelat, R., Lopez-Ridaura, S., Giller, K E., Herrero, M., Douxchamps, S., Andersson Djurfeldt, A., Erenstein, O., Henderson, B., Kassie, M., Paul, B K., Rigolot, C., Ritzema, R S., Rodriguez, D., van Asten, P J., & van Wijk, M T. (2016). Drivers of household food availability in sub-Saharan Africa based on big data from small farms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(2), 458-463. https://doi.org/10.1073/pnas.1518384112

Ghimire, P., Karki, S., Pandey, V P., & Pradhan, A M S. (2025). Mapping Spatio-Temporal dynamics of irrigated agriculture in Nepal using MODIS NDVI and statistical data with Google Earth Engine: A step towards improved irrigation planning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*,136. https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.104345

Guleria, D., & Kaur, G. (2021), Bibliometric analysis of ecopreneurship using VOS viewer and R-Studio Bibliometrix, 1989–2019, *Library Hi Tech*, 39(4), 1001-1024. https://doi.org/10.1108/LHT-09-2020-0218

Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú F X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers & Electronics in Agriculture*, 143, 23-37. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037

Kempenaar, C., Lokhorst, C., Bleumer, E. J B., Veerkamp, R F., Been, Th., Evert, F K. van, Boogaardt, M J., Ge, L., Wolfert, J., Verdouw, C N., Bekkum, M A. van, Feldbrugge, L. , Verhoosel, J P C., Waaij, B D. van der, Persie, M. van, & Noorbergen, H. (2016). Big data analysis for smart farming. Wageningen University & Research Publications, Wageningen.

Kiani, A R., & Shaker, M. (2022). Evaluating the effectiveness of pressurized irrigation system in Iran. *Water Management in Agriculture*, 8(2), 167-182. (In Persian)

Lemenkova, P. (2020). Using R packages ‘t-map’, ‘raster’ and ‘ggmap’ for cartographic visualization: an example of dem-based terrain modelling of Italy, apennine peninsula. *Zbornik radova - Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu*, 68, 99-116. 10.5937/zrgfub2068099L

Pandey, V P., Dhaubanjar, S., Bharati, L., & Thapa, B R. (2020). Spatio-temporal distribution of water availability in Karnali-Mohana Basin, Western Nepal: Climate change impact assessment (Part-B). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 29, 100691. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100691

Shahnoushi, N., Taherpour, H., Fatemi, M., & Allameh, A S. (2020). An investigation on effects of implementing under-pressure irrigation projects on agriculture sector productivity in Khorasan Razavi. *Agricultural Economics*, 13(4), 1-18. https://doi.org/10.22034/iaes.2020.47190.1332. (In Persian)

Tesfaye, K., Sonder, Kai., Caims, J., Magorokosho, C., Tarekegn, A., Kassie, Girma T., Getaneh, F., Abdoulaye, T., Abate, T., & Erenstein, O. (2016). Targeting drought-tolerant maize varieties in southern Africa: a geospatial crop modeling approach using big data. *International Food and Agribusiness Management Review*, 19(A), 1–18.

Waga, D., & Rabah, K. (2014). Environmental conditions’ big data management and cloud computing analytics for sustainable agriculture. *World Journal of Computer Application and Technology*, 2(3), 73–81. https://doi.org/10.13189/wjcat.2014.020303

پیوست: کدهای مورد نیاز برای ایجاد نقشه و خوشه‌بندی استان‌های کشور

```
library(sf)
library(tmap)
setwd("C:/Users/acer/Documents")                    #Setting the address of the working directory#
getwd()

iran <- st_read("irn_admbnda_adm1_unhcr_20190514.shp")

centroid<-st_centroid(iran$geometry)
x_y<-st_coordinates(centroid)
iran2<-cbind(iran,centroid)

N<-c("Alb","Ard","Bush","Ch_Bakh","E_Azar","Far","Gil","Gol","Ham","Hor","Ilam","Isf","Ker",
    "Ker_Shah","Khuz","Koh_Boy","Kur","Lor","Mark","Maz","N_Khor","Qaz","Qom","R_Khor","Sem",
    "Sist_Bal","S_Khor","Teh","W_Azar","Yazd","Zanj")

iran3<-cbind(iran2,N)

newcolumn1<-read.csv("ab1.csv")

library(dplyr)
modifyframe<-bind_rows(replicate(14, iran3, simplify = FALSE))
finalframe1<-cbind(modifyframe,newcolumn1)

library(gifski)
ab1<-tm_shape(finalframe1)+tm_polygons(col="area_covered_hec",palette = "Blues")+
  tm_facets(along = "year", free.coords = FALSE)+
  tm_text("N", remove.overlap = FALSE)+
  tm_compass(type = "8star", position = c("right", "top"),size=5) +
  tm_scale_bar(breaks = c(0, 100, 200), position = c("center", "bottom"),size= 2)

tmap_animation(ab1, filename = "ab3.gif", delay = 120)

ab2<-tm_shape(finalframe1)+tm_polygons(col="percentage",palette = "Blues")+
  tm_facets(along = "year", free.coords = FALSE)+
  tm_text("N", remove.overlap = FALSE)+
  tm_compass(type = "8star", position = c("right", "top"),size=5) +
  tm_scale_bar(breaks = c(0, 100, 200), position = c("center", "bottom"),size= 2)

tmap_animation(ab2, filename = "ab4.gif", delay = 120)

getwd()
data <- read.csv("AB.csv", row.names = 1)
df<- scale(data)
head(df, n = 3)

library(factoextra)
fviz_nbclust(df, kmeans, method = "wss") +geom_vline(xintercept = 0,linetype = 2)
set.seed(123)

km.res <- kmeans(data, 7, nstart = 25)
print(km.res)

fviz_cluster(km.res, data = df,
          ellipse.type = "euclid",                  # Concentration ellipse
          star.plot = TRUE,                                  # Add segments from centroids to items
          repel = TRUE,                             # Avoid label overplotting (slow)
          ggtheme = theme_minimal()
)

res.dist <- dist(df, method = "euclidean")
res.hc <- hclust(d = res.dist, method = "ward.D2")
fviz_dend(res.hc, cex = 0.5)

fviz_dend(res.hc, cex = 0.5, k = 7,
```

```
        k_colors = "jco", type = "circular")

fviz_dend(res.hc, cex = 0.5, k = 7,                 # Cut in seven groups
        k_colors = "jco")

library (cluster)

fviz_nbclust(df, pam, method = "silhouette")+
  theme_classic()

pam.res <- pam(df, 7)
print(pam.res)

fviz_cluster(pam.res,
          ellipse.type = "t",                              # Concentration ellipse
          repel = TRUE,                             # Avoid label overplotting (slow)
          ggtheme = theme_classic()
)

library(hopkins)
# Compute Hopkins statistic
set.seed(123)
hopkins(df)

fviz_dist(dist(df), show_labels = FALSE)
```

Technical Strategies in Water Systems
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
ISSN (Online): 2981-1449
Autumn 2024: Vol 2, Issue 3, 198-217
https://doi.org/10.30486/TSWS.2024.1126586

Research Artic

Comparative comparison of SWMM and SMADA models to estimate flood hydrograph (case study: Zendan catchment area - Hormozgan province)

Mohammad Ibrahim Afifi , Farshid Hashemipour Petkoi , Vahid Sohrabi*

Department of Geography, Faculty of Humanities, Islamic Azad University, Larestan Branch, Fars, Iran.

Corresponding author: sohrabiv@ymail.com

© The Author(s) 2025

Received: 15 Jul 2024 Accepted: 04 Feb 2025 Published: 06 Feb 2025

Abstract

Forecasting peak discharge and simulating flood hydrographs in streams and rivers is a complex process in hydrology. This study utilizes the SWMM and SMADA precipitation-runoff models, incorporating meteorological data (such as precipitation curves and evaporation rates) along with the physical characteristics of the catchment area and drainage basins to simulate the outflow hydrograph of the Zendan catchment area in Hormozgan Province. The aim of this study is to compare the perforcemece of the SWMM and SMADA models in flood hydrograph simulation to determine the more suitable model for flood management. The research applications include flood mitigation strategies, risk reduction, and infrastructure planning. The watershed was divided into 11 single-branch sub-basins, with each sub-basin characterized by its physical properties, drainage characteristics of the sub-basin, and precipitation parameters. Each sub-basin was simulated as a nonlinear reservoir, and individual hydrographs were calculated based on the given characteristics. These hydrographs were then routed to the watershed outlet using the kinematic wave method to determine the final discharge. The SWMM model demonstrated a higher accuracy in flood hydrograph simulation, mainly due to its capability for calibration with various algorithms. While the SMADA model also produced flood hydrographs, it exhibited a larger discrepancy between simulated and observed floods. This is largely attributed to its reliance on older equations with higher error rates. The results indicate that, for this specific catchment, the SWMM model is more efficient than the SMADA model.

Keywords: SWMM, SMADA, Flood hydrograph, Zendan Basin

مجله راهبردهای فنی در سامانه‌های آبی
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
شاپا الکترونیکی: ۱۴۴۹-۲۹۸۱
پاییز ۱۴۰۳، دوره دو، شماره ۳، ۲۱۷-۱۹۸
https://doi.org/10.30486/TSWS.2024.1126586

مقاله پژوهشی

مقایسه تطبیقی مدل‌های SWMM و SMADA جهت برآورد هیدرو گراف سیل (مطالعه موردی: حوضه آبریز زندان - استان هرمزگان)

محمدابراهیم عفیفی، فرشید هاشمی‌پور پتکوئی، وحید سهرابی*

گروه جغرافیا، دانشکده علوم‌انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان، فارس، ایران.

ایمیل نویسنده مسئول: sohrabiv@ymail.com
© The Authors 2025

دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۵ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۶ چاپ: ۱۴۰۳/۱۱/۱۸

چکیده

پیش‌بینی دبی اوج و شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در یک جریان آبراهه‌ای یا رودخانه‌ای، یکی از فرایندهای پیچیده در هیدرولوژی است. با مدل‌های بارش رواناب SWMM و SMADA و با استفاده از اطلاعات هواشناسی (مانند منحنی بارش، میزان تبخیر و...)، مشخصات فیزیکی حوضه آبریز، زهکش‌های حوضه، هیدروگراف خروجی از حوضه آبریز را می توان شبیه سازی کرد.هدف از این تحقیق مقایسه مدل‌های SWMM و SMADA برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در حوضه آبریز زندان در استان هرمزگان است تا مدل مناسب‌تری برای مدیریت سیلاب‌ها انتخاب شود.. ابتدا هر حوضه آبریز به زیرحوضه‌های آبریز کوچک‌تر تک شاخه‌ای تقسیم شد (۱۱ زیرحوضه). خصوصیات فیزیکی هر زیر حوضه، مشخصات زهکش زیر حوضه آبریز و مشخصات بارش به‌عنوان اطلاعات ورودی به مدل داده شد. سپس هر زیر حوضه آبریز به‌عنوان مخزن غیرخطی شبیه‌سازی و برای آن باتوجه به مشخصات داده شده، یک هیدروگراف واحد محاسبه شد. این هیدروگراف تا نقطه خروجی حوضه آبریز به‌صورت موج سینماتیکی روندیابی شده و در نهایت دبی خروجی از زیر حوضه تعیین شد. باتوجه به نتایج، مدل هیدرولوژی SWMM قادر به شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب تا حد قابل‌قبولی می‌باشد. زیرا که این مدل می‌تواند با الگوریتم‌های مختلف مورد کالیبراسیون قرار گیرد . در مدل SMADA نیز هیدروگراف سیلاب تا حدی شبیه‌سازی شد؛ اما به دلایل مختلف اختلاف بین سیلاب‌های رخداده و شبیه‌سازی‌شده توسط مدل نسبتاً زیاد بود. از دلایل مهم این اختلاف می‌توان به استفاده این مدل از چند رابطه که نسبتاً قدیمی و درصد خطای آنها بالاست اشاره نمود. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل SWMM نسبت به مدل SMADA کارایی بیشتری در این حوضه دارد.

واژه‌های کلیدی: SWMM، SMADA، هیدرو گراف سیل، حوضه آبریز زندان

۱- مقدمه

سیل همواره در ایران خسارات جانی و مالی فراوانی به همراه داشته است. در این زمینه می‌توان به سیل سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸٤ استان گلستان اشاره نمود که تنها براثر سیل مردادماه ۱۳۸۰ حدود ۲۱۷ نفر کشته، صدها نفر بی‌خانمان و حدود ۵۰۰ میلیارد ریال به تأسیسات زیربنائی اعم از جاده و پل خسارت وارد شد (Lar Consulting Engineers Company, 2019). وقوع مکرر چنین سیلاب‌هایی در هر منطقه سبب نگرانی شدید مردم و مسئولین شده تا جایی که بررسی این پدیده و ارائه راهکارهای مؤثر برای مقابله و یا پیشگیری از آن ضروری به نظر می‌رسد. بدیهی است جلوگیری از وقوع سیلاب و یا کنترل کامل آن ناممکن است ولی با اتخاذ تمهیداتی می‌توان خسارات ناشی از آن را به حداقل رسانید. انجام این تمهیدات خود ملزم به پیش‌بینی نحوه وقوع سیلاب و مشخصات آن است. اطلاع از میزان و چگونگی تغییرات دبی و حجم در زمان و مکان اهمیت ویژه‌ای در پیش‌بینی سیلاب دارد(Hosseinzadeh et al., 2016). حوضه‌های آبریز امروزه در بسیاری از زمینه‌های مدیریتی در محیط‌های طبیعی مانند منابع طبیعی، آب، محیط‌زیست، کشاورزی و بلایای طبیعی به‌عنوان واحد برنامه‌ریزی مورد پذیرش و استفاده قرارگرفته‌اند، به نحوی که تمامی برنامه‌ها در مقیاس وسیع و برنامه‌های اجرایی در مقیاس‌های کوچک‌تر در این حوضه‌ها مدنظر قرار می‌گیرند (Mahdavi, 2019). مدیریت حوضه آبریز، یکی از حساس‌ترین و درعین‌حال پیچیده‌ترین اشکال مدیریت منابع و تولید است (Mohammadi Motlagh & Jalal Kamali 2012). مدیریت حوضه آبریز برای کنترل یا کاهش جریان سطحی و تأثیر بر تولید رواناب انجام می‌شود.

تلاش دانشمندان و محققان، در جهت درک بهتر از پدیده‌های اساسی که رفتار فرایندهای ژئوفیزیکی در پیش‌گویی وضعیت‌های آتی را کنترل می‌کنند و همچنین ترکیب این وضعیت‌های پیش‌بینی‌شده برای طراحی، از موارد قابل توجه است. ازآنجایی‌که این فرایندها همواره در طبیعت پیچیده و پویا هستند، مدل‌هایی با درجات مختلف ساده‌سازی برای پیش‌بینی رفتار سیستم توسعه یافتند. از عوامل تأثیرگذاردر پیامد سیل می‌توان به رژیم بارش، دما، توپوگرافی، وضعیت پوش گیاهی، جنس خاک، رطوبت، ویژگی‌های فیزیولوژیکی حوضه‌ها و ناپایداری هوا اشاره کرد(Hajjarian, 2023). جهت حفاظت مناسب جامعه و محیط از اثرات وقوع سیلاب مانند: رواناب، فرسایش و آلودگی آب، انتخاب و کاربرد مدل‌های مناسب تجزیه و تحلیل مدیریت سیلاب لازم و ضروری است. این قبیل مدل‌ها بایستی ارائه مناسبی از رفتارهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی سیستم‌های زهکشی داشته باشند (Adams & Papa, 2021). به طور کلی اکوسیستم‌های طبیعی همراه با پیچیدگی، پویایی و عدم قطعیت هستند(Mazandaranizadeh & Khodabakhshi, 2024). مدل‌های شبیه‌سازی مبنای کامپیوتری دارند که بخشی از معادلات چرخه آب را ارائه می‌دهند و برای پیش‌بینی میزان و عمق جریان آب، پتانسیل شستشو و بار رسوب استفاده می‌شوند. مدل‌های مذکور باید در برگیرنده محاسبات زبری‌های سطحی، مقاومت جریان، حرکت آب، شیب‌های سطحی، عمق‌های رودخانه و خصوصیات خاک باشند(Westervelt, 2020). پیش‌بینی دبی اوج و شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در یک جریان آبراهه‌ای یا رودخانه‌ای، یکی از فرآیندهای پیچیده در هیدرولوژی است (Feyzi et al., 2007). هدف اصلی استفاده از مدل‌های هیدرولوژی، شبیه‌سازی رفتار حوضه آبریز و پیش‌بینی اثر تغییرات شرایط حوضه و متغیرها بر عملکرد سیستم آبریز است(Telluri, 1996). مدل‌های هیدرولوژی قادر به شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی سطح زمین به منظور بهبود مدیریت منابع آب هستند (Dovonce, 2019). مدل‌های بارش – رواناب یکی از روش‌های تخمین رواناب و ابزاری مناسب برای مطالعه فرآیندهای هیدرولوژیکی و ارزیابی منابع آبی هستند (Lange et al., 2014). دو کاربرد مهم مدل‌های بارش–رواناب، پیش‌بینی سیلاب و شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی است(Gautam, 2019). مهم‌ترین نقش مدل‌های کامپیوتری حوضه‌های آبریز، امکان‌پذیر ساختن ارتباط منطقی بین فرایندهای هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، کیفیت آب و اقتصادی – اجتماعی با صرف هزینه معقول است. انتخاب مدل مناسب باید پس از ارزیابی همه‌جانبه نیازها، شناسایی امکانات موجود و بررسی مدل‌های قابل دسترس صورت

گیرد. استفاده از مدل‌های کامپیوتری در سیستم‌های جمع‌آوری و تخلیه آب‌های مازاد غالباً با هدف بررسی وضعیت موجود یا تشخیص مشکلات و ارائه روش برای حل مشکلات صورت می‌گیرد (Taheri Behbahani & Bozorgzadeh, 1996). یکی از وظایف مهم دولت‌ها کاهش اثرات بلایای طبیعی هست. طبق بررسی‌های به‌عمل‌آمده بیش از چهل نوع بلای طبیعی در سطح جهان تشخیص داده شده که وقوع ۳۱ مورد آن در ایران ثبت‌شده است(Payab, 2025). بر اساس آمار ستاد حوادث غیرمترقبه کشور بالاترین میزان خسارات مالی ناشی از حوادث غیرمترقبه پس از خشکسالی بر اثر سیل بوده است. سیلاب یک پدیده طبیعی است که همواره جوامع انسانی را مورد تهدید قرار می‌دهد. لذا با استفاده از اقداماتی می‌توان میزان یا اثرات منفی سیلاب را کاهش داده و حتی‌المقدور از زیان‌های وارده به انسان و املاک و دارایی‌ها جلوگیری به عمل آورد. اقدامات مربوط به جلوگیری از زیان‌های سیلاب و مدیریت آن سعی بر آن دارد که اثرات سیلابی شدن را بر شرایط اجتماعی و اقتصادی که در اثر تغییر کاربری حوضه آبریز و به‌ویژه استفاده از سیلاب دشت به وجود آمده کاهش دهد. اقدامات جامع مدیریت و جلوگیری از زیان‌های سیل شامل دودسته‌اند: اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای (مدیریتی). اقدامات سازه‌ای، همانند بهسازی آبراه، ذخیره سیلاب و احداث گوره عموماً برای کاهش وقوع سیل یا جلوگیری از توسعه سیل‌زدگی انجام می‌گیرند. درحالی‌که، اقدامات غیرسازه‌ای، همانند بیمه سیل، طرح‌های هشدار سیل، پهنه‌بندی سیلاب دشت و یا ترکیبی از آن‌ها در اصل برای کاهش خسارت سیلاب هستند. سیلاب‌هایی که در ایران اتفاق می‌افتد به‌طورکلی به سه نوع، سیلاب‌های ناشی از انواع باران‌ها، ترکیب ذوب برف باران و در مواقعی تنها ذوب برف تعلق دارند. در نواحی گرم و خشک ایران از جمله مناطق جنوبی، شرقی و مرکزی سیلاب‌های ناشی از باران به‌ویژه باران‌های موسمی نیز دیده می‌شود. در مناطق معتدل و سرد کشور ازجمله شمال و شمال غربی و بخش وسیعی از غرب، سیلاب‌های ناشی از باران یا ترکیب ذوب برف باران وجه غالب سیلاب‌ها هستند. سیلاب‌ها، تند آب‌ها و طغیان‌ها عناوین مشابهی هستند که در موارد متفاوت به کار برده می‌شوند. درحالی‌که تعریف جامع و کاملی در این خصوص ارائه نشده است(Shabanloo & Karim Bakhsh, 2013). برخی از متخصصین هیدرولوژی، طغیان را به دبی‌هایی اطلاق می‌کنند که مساوی یا برابر مضربی از دبی متوسط سالیانه باشند مثلاً ٤ تا ٥ برابر، به عقیده برخی دیگر طغیان عبارت از یک دبی با احتمال وقوع کم مثلاً ۱ تا ۵ درصد است(Sohrabi et al., 2023). هر جریان سطحی صرف‌نظر از عامل ایجاد آن در صورتی سیل نامیده می‌شود که برحسب عرف و نظر کلی با افزایش حجم زیاد آب در یک مقطع مشخص همراه باشد. از تداوم زمانی محدودی برخوردار گردد. معمولاً از بستر طبیعی سرریز شده و اراضی حاشیه را در برگیرد و خسارات مالی و جانی به دنبال داشته باشد(Sohrabi & Afifi, 2023). طغیان رودها را که بر اساس آن ضمن بالا آمدن آب از حد معمول، اراضی مجاور را تحت پوشش قرار دهد سیل می‌گویند(Rajabizadeh et al., 2018). سیل پیامد جریان هرز آبی است که براثر بارش باران یا ذوب شدن برف رخ داده و به اندازه‌ای است که از سطح معمولی آب در نهرها و رودخانه‌ها بالاتر می‌آید(Ahmadi, 2019).

طغیان کردن جریان آب از یک رودخانه یا دیگر مجاری آب را که باعث خسارت شود سیل می‌گویند. همچنین جریان رودخانه‌ای نسبتاً زیاد که از مقطع طبیعی یا مصنوعی در یک بازه از رودخانه تجاوز کرده و سرریز شود را سیل می‌نامند (Hajjarian, 2023). کاهش اثرات سیل و پیش بینی اثرات سیلاب امری ضروری است در این راستا از مدل های مختلفی استفاده شده است به عنوان مثال (Ouyang et al., 2012)، در تحقیقی که در سطح شهر پکن انجام دادند، برای یک رخداد بارش نمونه، میزان غلظت اکسیژن موردنیاز(COD)، کل ذرات جامد معلق (TDS) و کل فسفر موجود (TP) را مورد بررسی قراردادند. آن‌ها با استفاده از مدل بارش رواناب SWMM منطقه موردم طالعه را مدل‌سازی کردند، با مشخص کردن میزان نرخ بارگذاری آلاینده‌ها در مدل در نهایت مدل را اجرا کردند. با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با داده‌های واقعی آن‌ها اعلام کردند که باید ۲۰ درصد میزان اولیه رواناب حاصل از بارش را

در محاسبات وارد نکنند که این امر می‌تواند در توضیح چگونگی انتقال آلودگی‌ها کمک کند. همچنین با بررسی‌های بیشتر به این نتیجه رسیدند که می‌توان با تنظیم سرعت جریان در منطقه بر روی کاهش دبی اوج و همچنین کاهش بار آلودگی تأثیر گذاشت.

(Zamani & Khalilizadeh, 2014)، درتحقیقی جهت ارزیابی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی در شهر بستک از مدل SWMM همراه با تلفیق آن با GIS استفاده نمودند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که ٦ نقطه از شهر بستک با مشکل سیل‌گیری مواجه بوده که برای هرکدام از مناطق راهکار مناسب جهت کنترل سیلاب پیشنهاد گردید. نتایج تحقیق نشان داد که می‌توان از مدل‌هایی نظیر SWMM جهت پیش‌بینی خطر آب‌گرفتگی، طراحی و برآورد مقدار و هزینه زهکشی، مدیریت حوزه‌های شهری و اولویت‌بندی مناطق جهت رفع مشکل آب‌گرفتگی استفاده نمود.

(Mozaffari & Kabarfard, 2016)، به تحلیل عدم قطعیت و آنالیز حساسیت عمق آب در منهول‌های (فاضلاب‌روهای زیرزمینی) مهم خط لوله‌های سیستم‌های زهکشی پرداختند. در این مطالعه که در مرکز شهر تاریخی شیراز در جنوب غرب ایران انجام شده است، از مدل SWMM برای شبیه‌سازی فرایند بارش رواناب و روندیابی جریان در مجاری آب استفاده شد. همچنین شبیه‌سازی Monte-Carlo و روش LHS برای آنالیز عدم قطعیت بکار گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که ضریب عمق آب در منهول‌های مختلف از ١٢ تا ٦٦ درصد متغیر است. همچنین پارامترهای مربوط به زیر حوزه‌ها و بارندگی بیشترین تأثیر را بر دبی پیک سیل و عدم قطعیت آن دارد.

(Motlabi & Khalilizadeh, 2016)، در تحقیقی جهت بررسی تغییرات کاربری اراضی و مدل‌سازی سیلاب‌ها در شهر جهرم از GIS و مدل SMADA استفاده کردند. ابتدا اقدام به تهیه نقشه‌های شهری مربوط به سال‌های ١٣٤٤ و ١٣٨٥ نموده و سپس آن‌ها را در محیط Arc GIS رقومی و کاربری‌های مختلف روی هرکدام مشخص شدند. سپس با توجه به همین نقشه‌ها اقدام به تهیه نقشه شماره منحنی (CN) برای هر دوره در محیط GIS گردند. سپس در نرم‌افزار SMADA هایتوگراف رگبارها در دوره‌های بازگشت مختلف برای تیپ‌های یک و دو ترسیم شدند. درنهایت کلیه داده‌ها در مدل حوزه آبریز شهری SMADA وارد شد و سیلاب تولیدی در حوزه به ازای تیپ‌های مختلف بارش و در دوره بازگشت‌های مختلف یک‌بار برای سال ١٣٤٤ و یک‌بار برای سال ١٣٨٥ مشخص شدند. نتایج مدل نشان دادکه تغییر کاربری اراضی مخصوصاً تبدیل باغات، اراضی زراعی و مرتعی به مناطق مسکونی و تجاری می‌تواند اثر قابل‌توجهی در دبی اوج و حجم سیلاب‌ها داشته باشد.

هدف از این پژوهش شبیه‌سازی هیدروگراف حوزه آبریز زندان استان هرمزگان با استفاده از مدل SWMM و SMADA و پیش‌بینی بهتر رفتار سیلابی حوزه آبریز زندان و انتخاب مدل برتر است.

٢- مواد و روش‌ها

در این تحقیق از مدل‌های کامپیوتری SWMM و SMADA برای شبیه‌سازی هیدروگراف جریان استفاده شده است. در این مدل‌ها با استفاده از اطلاعات بارش، مشخصات فیزیکی حوضه آبریز و زهکش‌های حوضه، هیدروگراف خروجی از حوضه شبیه‌سازی می‌شود. پس از آماده کردن نقشه‌های موردنیاز مانند: شیب، کاربری و پوشش اراضی، شماره منحنی، شبکه زهکشی و همچنین داده‌های هواشناسی و هیدرولوژی، پارامترهای موردنیاز مدل مانند اطلاعات بارش، خصوصیات فیزیکی حوضه و شبکه زهکشی حوضه به‌عنوان اطلاعات ورودی به مدل وارد شده و مدل جهت شبیه‌سازی جریان اجرا می‌گردد. حوضه آبریز به زیر حوضه‌های کوچک‌تر تقسیم شده و به‌عنوان مخزن غیرخطی شبیه‌سازی گردیده و برای آن با توجه به اطلاعات داده شده، یک هیدروگراف واحد

محاسبه شد. سپس این هیدروگراف تا نقطه خروجی حوضه با روش‌های مناسب روندیابی شده و دبی خروجی از زیرحوضه تعیین گردید. درنهایت با توجه به رویدادهای واقعی سیلاب و با استفاده از شاخص‌های ارزیابی کارایی دو مدل با هم مقایسه شدند.

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

گستره حوضه آبریز زندان در فاصله میان دو مدار جغرافیایی ۲۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۹ دقیقه عرض شمالی و ٥٦ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۷ دقیقه و ۳ دقیقه طول خاوری واقع است. جاده آسفالتی بندرعباس به میناب (قسمت جنوبی حوضه) و بندرعباس به سیرجان (قسمت شمالی حوضه) دو جاده اصلی هستند که خارج از گستره مورد بررسی‌اند و از راه‌های فرعی که از جاده‌های یادشده آغاز می‌شوند می‌توان به حوضه آبریز رسید(Hormozgan Regional Water Company, 2014). وجود جلگه‌ی پست و کم ارتفاع در کنار ارتفاعات کوتاه و بلند، دشت‌ها و دره‌های نسبتاً بلند و مرتفع، شرایط اقلیمی ویژه‌ای را برای این منطقه ایجاد نموده که ازنظر آب و هوایی در منطقه گرم و خشک ایران قرارگرفته و اقلیم آن تحت تأثیر آب‌وهوای بیابانی و نیمه‌بیابانی است. دمای متوسط سالانه‌ی این منطقه حدود ۲۷ درجه سلسیوس است. با توجه به قرارگیری استان در کمربند بیابانی متوسط بارش ۱۸۸ میلی‌متر در سال و یکی از مناطق کم آب و با درجه شوری نسبتاً زیاد است. تداوم دوره گرمای زیاد، تابستان‌های شرجی، بارش کم و تنوعی از مناطق با ویژگی‌های توپوگرافی متنوع، باعث ایجاد شرایط اقلیمی ویژه‌ای در این منطقه شده است(Rahimzadeh et al., 2011). با کاهش میزان بارش‌های سالانه و افزایش دمای هوا، میزان رواناب در مناطق کوهستانی مانند دهستان احمدی کاهش یافته است. با این حال، بارش‌های ناگهانی و شدید، منجر به سیلاب‌های موقتی شده‌اند که نفوذ آب به زمین را کاهش و تخریب زیست‌بوم‌های طبیعی را افزایش داده‌اند(Rahimzadeh et al., 2011). دهستان احمدی باتوجه به تقسیمات کشوری سال ۱۳۸۲ یکی از مراکز دهستان‌های شهرستان حاجی‌آباد است که شامل ٤٩ آبادی است. با عنایت به آمار و اطلاعات حاصل از سرشماری نفوس و مسکن مرکز آمار ایران در سال ۱۳۸۵ استان هرمزگان شهرستان حاجی‌آباد دارای جمعیتی حدود ٦٤٨٩٧ نفر است که از این تعداد ۱۱۲۳۰ نفر در آبادی‌های دهستان احمدی سکونت دارند (مهم‌ترین مرکز جمعیتی محدوده طرح) (Hormozgan Regional Water Company, 2019). این آبادی در فاصله حدود ۱۳۸ کیلومتری جنوب شرقی حاجی‌آباد و ١٦٨ کیلومتری شمال بندرعباس و در مسیر میمند-سراج قرارگرفته است. (Hormozgan Regional Water Company, 2021). کاهش بارش‌های فصلی و افزایش دما در منطقه هرمزگان، تأثیر مستقیم بر منابع آبی داشته و رواناب‌ها کاهش یافته است. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که تغییرات شدید اقلیمی می‌توانند منابع آب سطحی را تهدید کرده و موجب افزایش خشکسالی شوند(C.S. Pour, 2023).

۲-۲- مدل SWMM

ساختار مدل SWMM مشابه اکثر مدل‌های هیدرولوژیکی بوده و در عین سادگی پیشرفته است. در این مدل هر حوضه آبریز به زیر حوضه‌های آبریز کوچک‌تر تک شاخه‌ای تقسیم‌شده و خصوصیات فیزیکی هر زیرحوضه، مشخصات زهکش زیرحوضه آبریز و مشخصات بارش به‌عنوان اطلاعات ورودی به آن داده می‌شود. در این مدل هر زیرحوضه آبریز به‌عنوان مخزن غیرخطی شبیه‌سازی و سپس برای آن با توجه به مشخصات داده شده، یک هیدروگراف واحد محاسبه می‌شود. سپس این هیدروگراف تا نقطه خروجی حوضه آبریز به‌صورت موج سینماتیکی روندیابی شده و درنهایت دبی خروجی از زیرحوضه تعیین می‌شود.

۲-۲-۱- مفهوم مخزن غیرخطی

به‌منظور تشریح مخزن غیرخطی، ابتدا باید مفهوم مخزن خطی ارائه شود. یک مخزن خطی به منبعی اطلاق می‌گردد که میزان حجم و ذخیره آب در آن با دبی خروجی از مخزن رابطه خطی داشته باشد (معادله ۱) .

$$S = KQ \quad (۱)$$

چنانچه نسبت میزان حجم آب ذخیره‌شده در یک مخزن در طول زمان مشخص، به میزان جریان خروجی از آن مقدار ثابتی نباشد به آن مخزن غیرخطی اطلاق می‌گردد(Imam Gholizadeh et al., 2007). در مدل SWMM، هر زیر حوضه آبریز به شکل یک مخزن غیرخطی به‌صورت شکل (۱) فرض می‌شود که در این مدل عمق رواناب حاصل از بارش (y) پس از کسر عمق چالاب (yp) و میزان تبخیر و نفوذ محاسبه می‌گردد. منظور از چالاب، گودال‌هایی در سطح زیرحوضه آبریز یا مخزن است که رواناب در آن محصور می‌گردد و لذا عملاً از میزان رواناب جاری در زیر حوضه کسر می‌گردد.

شکل ۱- مدل شماتیک مخزن غیرخطی

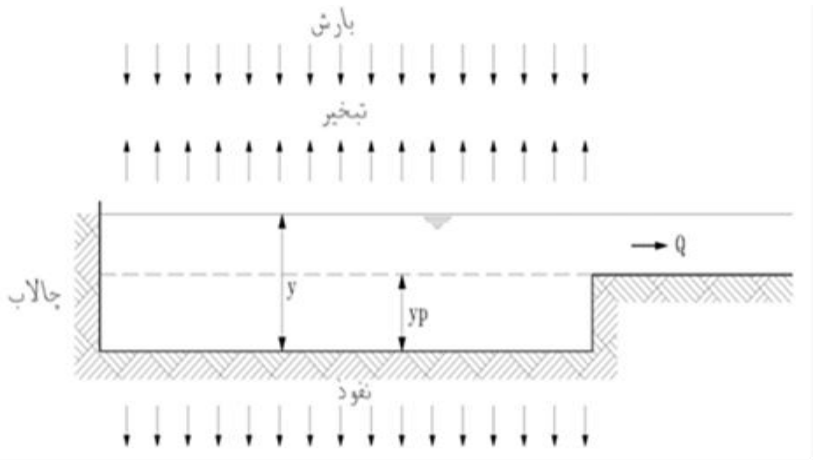


Fig1. Schematic model of the non-linear tank

در مخزن غیرخطی روابط پیوستگی و مانینگ برقرار است. این روابط (۲ تا ۵) به شرح زیر بسط داده شده‌اند:

$$\frac{dV}{dt} = A.\frac{dy}{dt} = A.i = Q \quad (۲)$$

$$V=A.y \quad (۳)$$

از ترکیب رابطه پیوستگی و مانینگ در مخزن غیرخطی یک رابطه دیفرانسیل غیرخطی حاصل می‌شود که در این رابطه عمق (y) مجهول است و به‌صورت زیر تقریب زده می‌شود (معادله ٤ و ٥).

$$\frac{dy}{dt} = i - \frac{1/2W}{(\frac{n}{A})}(y - y_p)^{5/3}S^{1/2} \quad (٤)$$

$$\frac{y_2 - y_1}{\Delta t} = i - \frac{1/2Ws^{1/2}}{A.n}\left[y_1 + 1/2 \times (y_2 - y_1) - y_p\right]^{5/3} \quad (٥)$$

این رابطه با روش نیوتن – رافسون برای تعیین y_2 به روش سعی و خطا حل می‌شود. از آن جهت این مدل پیشرفته محسوب می‌شود که کلیه پارامترهای ممکن مانند ذوب برف، بارندگی (به‌صورت مقدار بارش یا شدت مدت)، داده‌های تبخیر، اطلاعات زهکش‌ها یا کانال‌ها و اطلاعات زیرحوضه‌ها به‌طور کامل دریافت می‌گردند و پس از اعمال بر روی مدل مخزن غیرخطی، دبی زیر

حوضه به‌صورت هیدروگراف واحد استخراج می‌شود(Razzaghi et al., 2021). درنهایت هیدروگراف با روش موج سینماتیک تا انتها و محل خروج دبی از زیرحوضه، روندیابی می‌شود.

۲-۳- مدل SMADA

نرم‌افزارSMADA توسط ای‌گلین[1] در دانشگاه فلوریدا تهیه شده است. این برنامه دارای قابلیت‌های مختلفی ازجمله، انواع آنالیزهای آماری و ریاضی مورد استفاده در هیدرولوژی، روش‌های مختلف تعیین زمان تمرکز (۷ روش)، محاسبه مقادیر نفوذ (به روش هورتم و SCS) و غیره است. علاوه بر این مهم‌ترین قابلیت آن شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب به روش‌های مختلف (SCS، اشنایدر، کلارک و...) مخصوصاً در مناطق شهری است که به نام روش سانتاباربارا معروف است. برای تهیه هیدروگراف ابتدا باید اطلاعات مربوط به حوضه آبریز و بارندگی به برنامه وارد شود که مراحل استفاده از روش هیدروگراف سانتاباربارا در محیط این نرم‌افزار در ادامه ذکرشده است.

۲-۳-۱- روش هیدروگراف سانتاباربارا (SBUH)[2]

روش هیدروگراف شهری سانتاباربارا توسط استابچر، از بخش حفاظت آب و کنترل سیلاب ناحیه سانتاباربارا (کالیفرنیا) توسعه داده شده است و اولین بار در همایش ملی هیدرولوژی شهری و کنترل رسوب که در دانشگاه کنتوکی (۱۹۷۵) برگزار شد، بیان گردید. یکی از مزایای این روش این است که به زیاد برآورد کردن دبی اوج، تمایلی ندارد (Zehtabian et al, 2001). محاسبات این روش می‌تواند به صورت دستی و یا با کامپیوتر انجام شود. روابط مورداستفاده در این روش در روابط ٦ تا ١١ آمده است.

الف – ارتفاع رواناب برای هر پریود زمانی از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$R(\Delta t)=R(I)+R(P) \quad (٦)$$

هرکدام از پارامترهای موصوف در رابطه (٦) در رابطه‌های ذیل به دست می‌آید:

$$R(I)=d \quad (٧)$$

$$p(\Delta t)$$

$$R(P)=(1-d)\ \{p(\Delta t)-F(\Delta t)\} \quad (٨)$$

ب– هیدروگراف لحظه‌ای، به‌وسیله ضرب کردن ارتفاع کل رواناب برای هر پریود زمانی Δt در سطح حوضه A و تقسیم آن به زمان تجمعی Δt محاسبه می‌شود(رابطه ۹).

$$I(\Delta t)=R(\Delta t)A/\Delta t \quad (٩)$$

ج– هیدروگراف جریان خروجی به‌وسیله روندیابی هیدروگراف لحظه‌ای $I(\Delta t)$ با یک مخزن فرضی بازمان تأخیری برابر زمان تمرکز حوضه tc به دست می‌آید. این روندیابی سیل با استفاده از روابط (۱۰ و ۱۱) انجام می‌گیرد.

$$Q(2)=Q(1)+Kr\{I(1)+I(2)-2Q(I)\} \quad (١٠)$$

[1] Eaglin

[2] Santa Barbara Urban Hydrograph Method

$$Kr= \Delta t/ (2tc+\Delta t) \quad (۱۱)$$

با توجه به روابط فوق مشخص می‌شود که برای استفاده از روش هیدروگراف شهری سانتاباربارا باید زمان تمرکز باران، طراحی و میزان تلفات بارش محاسبه گردد که برای محاسبه تلفات بارش از روش شماره منحنی (CN) استفاده می‌گردد.

۲-۳-۲- مراحل ورود اطلاعات به مدل SMADA جهت شبیه‌سازی هیدروگراف سیل

الف- اطلاعات ورودی حوضه آبریز

در این بخش، ویژگی‌های حوضه آبریز به برنامه وارد می‌شود. در این روش حوضه به دو بخش قابل‌نفوذ و غیرقابل‌نفوذ تفکیک می‌گردد. در بخش غیر قابل‌نفوذ، اتلاف اولیه صورت می‌گیرد ولی نفوذ وجود ندارد. قسمتی از بخش غیرقابل‌نفوذ که بارندگی در آن مستقیماً به دهانه خروجی حوضه هدایت می‌شود، بخش غیرقابل‌نفوذ واصل به آبراهه نامیده می‌شود. اتلاف اولیه با استفاده از روش شماره منحنی و برابر ۰/۲S در نظر گرفته‌شد.

ب- اطلاعات ورودی بارندگی

در این بخش باید اطلاعات مربوط به ارتفاع بارندگی، زمان تداوم و نوع توزیع زمانی بارندگی به برنامه وارد شود. زمان تداوم بارندگی برابر زمان تمرکز حوضه در نظر گرفته شد. فواصل زمانی که بارندگی بر اساس آن‌ها تقسیم می‌گردد، ۱۵ دقیقه و به دلیل این‌که نوع توزیع زمانی بارندگی منطقه کاملاً مشخص نیست، از توزیع بارندگی تیپ یک و دو به صورت جداگانه استفاده شد. در مورد ارتفاع بارندگی نیز با استفاده از جدول شدت - مدت - فراوانی، ارتفاع بارندگی در هر دوره بازگشت وارد شده و درنتیجه هیدروگراف مربوط به آن دوره بازگشت با توجه به تیپ بارش به‌دست‌آمد.

ج-تهیه هیدرو گراف سیل

با انتقال اطلاعات ورودی حوضه آبریز و بارندگی به بخش تهیه هیدروگراف، پس از انتخاب روش موردنظر (سانتاباربارا) هیدرو گراف سیل مربوط به آن به دست می‌آید. لازم به ذکر است که در این تحقیق به ازای بارش‌های طراحی، هیدروگراف‌ها استخراج شدند.

۲-۴- شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل هیدرولوژی

برای ارزیابی کارایی مدل شاخص‌های مختلفی وجود دارد. به‌منظور ارزیابی کارایی مدل در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی از شاخص‌های زیر استفاده شد.

الف) شاخص کارایی ناش – ساتکلیف[3]: (Nash & Sutcliffe, 1970) یک ضریب بی‌بُعد به نام کارایی مدل NS ارائه دادند. که مقدار آن از منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است و مقدار یک در این شاخص، نشان‌دهنده تطابق کامل هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی است (رابطه۱۲) (Kolte, 2019; Ababaei & Sohrabi, 2008; Bridge, 2019; Bahremand, 2019).

$$C_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{Si} - Q_{Oi})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{Oi} - \overline{Q}_O)^2} \quad (۱۲)$$

[3]Nash-Sutcliff Efficiency Coefficient

ب) ضریب تبیین[4]: ضریب تبیین همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را نشان می‌دهد. هرچه این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد بیانگر همبستگی بیشتر داده‌های شبیه‌سازی‌شده با مشاهداتی است(رابطه ۱۳). (Ababaei & Sohrabi, 2008; Bridge, 2019)

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{Oi}-\overline{Q}_O\right)\left(Q_{Si}-\overline{Q}_S\right)\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{Oi}-\overline{Q}_O\right)^2\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{Si}-\overline{Q}_S\right)^2} \quad (۱۳)$$

ج) میانگین حداقل مربعات خطا[5]: میانگین حداقل مربعات خطا در ارزیابی هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده اختلاف دو هیدروگراف را به‌صورت مقدار اختلاف رواناب نشان می‌دهد. هرچه میزان میانگین حداقل مربعات خطا کمتر باشد، شبیه‌سازی صورت گرفته به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود(رابطه ١٤)(Ababaei & Sohrabi, 2008; Darabi, 2014)

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Q_{Si}-Q_{Oi}}{n}\right)^2} \quad (١٤)$$

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مدل رقومی ارتفاعی حوضه

ارتفاع حوضه در میزان بارش، دما، تبخیر و تعرق، تشعشعات خورشیدی، تیپ آب‌وهوایی و به همراه آن در تشکیل و توسعه خاک و تراکم پوشش گیاهی آن اثر دارد. بنابراین اطلاع از ارتفاع متوسط حوضه و نحوه توزیع سطح با ارتفاع به شناخت خصوصیات آبی حوضه آبخیز کمک می‌کند (جدول ۱).

همان‌گونه که در جدول(۱) مشاهده می‌گردد، طبقه ارتفاعی ۳ (۱۵۰۰-۱۰۰۰) بیشترین مساحت و طبقه ارتفاعی ۵ (۲۶۰۰-۲۰۰۰ متر) کمترین مساحت را در بین طبقات ارتفاعی دارد.

جدول ۱- توزیع کلاس‌های ارتفاعی در حوضه آبخیز زندان

Table 1. Altitude classes distribution in the Zendan watershed

طبقه ارتفاع	طبقه ارتفاعی (متر)	مساحت (درصد)
۱	۱۹۸ – ۵۰۰	۱/۵
۲	۵۰۰ -۱۰۰۰	۳٤/۷
۳	۱۰۰۰ – ۱۵۰۰	٤۸/۷
٤	۲۰۰۰-۱۵۰۰	۱۳/۸
۵	۲٦۰۰-۲۰۰۰	۱/۳

۳-۲- خصوصیات فیزیوگرافیک زیرحوضه‌ها

پس از تهیه مدل رقومی ارتفاعی، خصوصیات فیزیوگرافیک مورد نیاز در هر زیر حوضه با استفاده از نرم‌افزار HEC-GeoHMS استخراج و محاسبه گردید، که در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین تقسیمات مربوط به زیر حوضه‌ها و شماره آن‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است.

[4] Coefficient of Determination

[5] Root Mean Squared Error

جدول ۲- خصوصیات فیزیوگرافیک زیر حوضه‌های زندان

Table 2. Physiographic characteristics of the Zendan catchment sub-basins

نام زیر حوضه	مساحت	محیط	ارتفاع حداکثر	ارتفاع حداقل	ارتفاع متوسط وزنی	شیب متوسط حوضه	شیب متوسط وزنی آبراهه	طول آبراهه اصلی
	کیلومترمربع	کیلومتر	متر	متر	متر	درصد	درصد	کیلومتر
W۱۲۰	۵۱۱/۲۶	۱۶۶/۵۱	۲۵۳۷	۷۲۷	۱۳۱۸	۱۹/۲۱	۱/۷۷	۶۴/۴۳
W۱۳۰	۳۳۴/۹۰	۱۳۹/۱۳	۲۳۳۸	۸۸۲	۱۲۹۷	۲۱/۱۰	۱/۷۹	۵۱/۹۸
W۱۴۰	۱۵۳/۱۳	۹۳/۳۳	۲۳۱۵	۸۸۲	۱۳۰۹	۳۷/۶۶	۲/۹۴	۳۷/۱۷
W۱۵۰	۲۶/۹۲	۴۰/۶۱	۹۹۹	۸۰۲	۸۸۳	۲۰/۵۰	۱/۱۹	۱۴/۳۴
W۱۶۰	۱۳۹/۱۹	۸۷/۰۳	۱۸۸۱	۷۹۹	۱۰۷۱	۲۷/۲۶	۴/۱۲	۲۵/۱۵
W۱۷۰	۴۲/۸۱	۵۰/۶۸	۱۱۰۳	۷۲۷	۸۶۲	۳۱/۶۷	۱/۷۱	۱۵/۷۶
W۱۸۰	۵۹/۳۳	۵۲/۵۷	۱۴۹۴	۵۷۳	۸۶۵	۲۱/۰۵	۲/۵۷	۲۱/۱۱
W۱۹۰	۱۰۴/۰۷	۷۴/۷۶	۱۴۶۵	۵۷۰	۹۵۲	۲۷/۱۷	۱/۹۵	۲۶/۸۰

۳-۳- نتایج مربوط به تهیه نقشه و تعیین شماره منحنی (CN)

نتایج این بخش در شکل (۳) و جدول (۳) ارائه شده است. لازم به ذکر است که نقشه‌ها و اعداد شماره منحنی مربوط به شرایط متوسط رطوبت خاک است.

جدول ۳- شماره منحنی وزنی محاسبه‌شده در هر زیر حوضه در حوضه آبریز زندان

Table 3. Weighted curve number calculated for each sub-basin in the Zendan catchment area

شماره زیر حوضه	W۱۲۰	W۱۳۰	W۱۴۰	W۱۵۰	W۱۶۰	W۱۷۰	W۱۸۰	W۱۹۰	W۲۰۰	W۲۱۰	W۲۲۰
شماره منحنی متوسط وزنی	۷۷/۵	۷۷/۵	۷۷/۴	۷۹/۴	۷۹/۴	۷۹/۹	۸۰	۸۶	۸۶	۸۶	۷۹/۵

۳-۴- توزیع مکانی بارش مولد سیل

مقدار بارندگی در زمان رویداد سیل در ایستگاه‌های باران‌سنجی داخل و اطراف حوضه رودخانه زندان در جدول (٤) نشان داده شده است. همچنین مقدار متوسط بارش در زیر حوضه‌های بالادست ایستگاه هیدرومتری تنگه زندان نیز در جدول (۵) ارائه شده است. اشکال (۷ و۸) نیز نمونه‌ای از توزیع مکانی بارش را در رویدادها نشان می‌دهد.

شکل ۲- تصویر نقشه تقسیمات زیر حوضه‌ها و شماره آن‌ها

Fig 2. Map of sub-basin divisions and their numbers

شکل ۳- نقشه شماره منحنی حوضه زندان

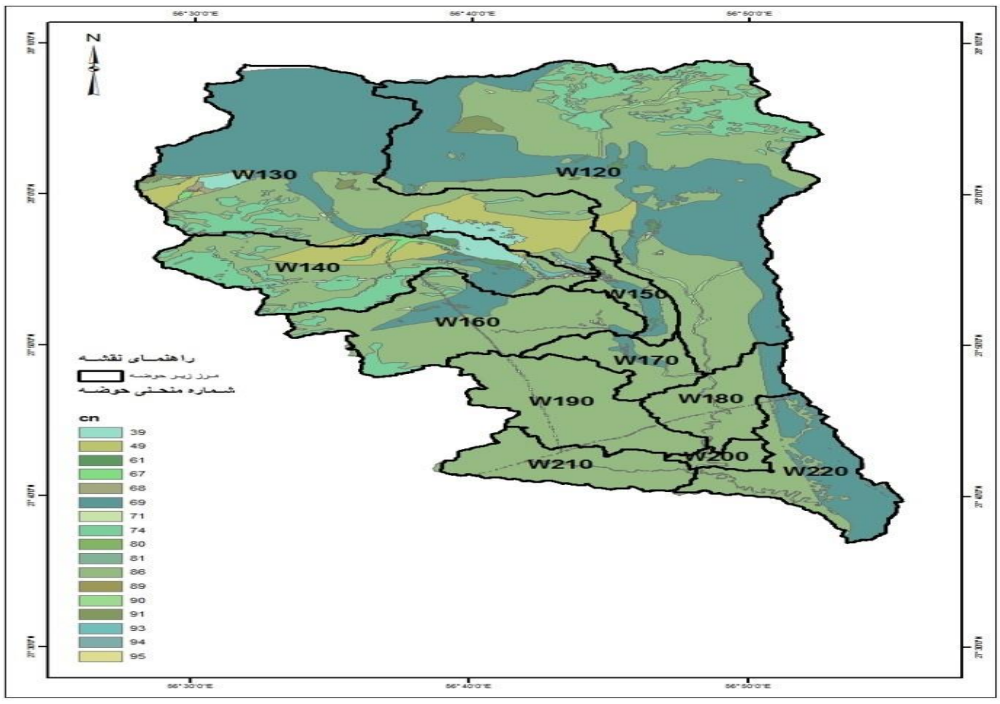


Fig 3. The map of the curve number of the Zendan basin

جدول ٤- مقدار بارندگی به میلی‌متر در زمان رویداد سیل در ایستگاه‌های باران‌سنجی

Table 4. The amount of rainfall in millimeters at the time of the flood event in the rain gauge stations

ایستگاه باران‌سنجی داخل و اطراف حوضه	تاریخ وقوع سیل در ایستگاه هیدرومتری "تنگه زندان"			
	۸۸/۱۲/۰۸	۹۰/۱۲/۰۷	۹۲/۱۱/۱۵	۹۳/۱۲/۲۰
پوراحمدی	۱۰/۰۱	۳٦/۵	۲٤/۵	۵۳
بر رودسر گز احمدی	۱۹	۱/۵	۲٦/۵	٤٦
گردکان احمدی	۳۵	٤۲	۲٤	۵۰
متوسط	۲۱/۳٤	۲٦/٦۷	۲۵	٤۹/٦۷

جدول ۵- مقدار بارندگی به میلی‌متر در زمان رویداد سیل در زیر حوضه‌ها

Table 5. The amount of rainfall in millimeters at the time of the flood event in the sub-basins

نام زیر	مقدار متوسط بارش مولد سیل در زیر حوضه‌ها			
حوضه	۸۸/۱۲/۰۸	۹۰/۱۲/۰۷	۹۲/۱۱/۱۵	۹۳/۱۲/۲۰
W۱۲۰	۱۰/۰۱	٤۰/۰۱	۲٤/۹	۵۳
W۱۳۰	۱۹	۱/۵	۲٦/۵	٤٦
W۱٤۰	۱۹	۱/۵	۲٦/۵	٤٦
W۱۵۰	۱۹	۱/۵	۲٦/۵	٤٦
W۱٦۰	۲۷	۲۱/۷۵	۲۵/۲۵	٤۸
W۱۷۰	۳۵	٤۲	۲٤	۵۰
W۱۸۰	۳۵	٤۲	۲٤	۵۰
W۱۹۰	۳۵	٤۲	۲٤	۵۰
W۲۰۰	۳۵	٤۲	۲٤	۵۰
W۲۱۰	۳۵	٤۲	۲٤	۵۰
W۲۲۰	۳۵	٤۲	۲٤	۵۰

۳-۵- توزیع زمانی بارش مولد سیلاب

توزیع زمانی بارش مولد سیلاب، با استفاده از توزیع زمانی بارش‌های هم‌زمان در ایستگاه باران‌سنج ثبات پوراحمدی تعیین‌شده است. شکل ٤ نمونه‌ای از منحنی تراکمی بارش را برای رویدادهای سیل در ایستگاه باران‌سنج ثبات پوراحمدی نشان می‌دهد. در مرحله بعد توزیع زمانی بارش مربوط به هر رویداد به بارش متوسط زیر حوضه‌های مربوطه انتقال داده شد.

۳-۶- نتایج اجرای مدل SWMM برای رویدادهای مشاهده‌شده

باتوجه به اینکه در این تحقیق از ٤ رویداد سیل مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری تنگه زندان استفاده شد. نتایج اجرای مدل به تفکیک هر رویداد در ایستگاه مربوطه ارائه می‌شود. در اکثر رویدادهای بررسی شده شکل هیدروگراف خروجی شبیه‌سازی شده از حوضه مطابقت چندانی با شکل هیدروگراف خروجی واقعی نداشته است که ازجمله دلایل این امر را می‌توان به علت کالیبره نبودن مدل اشاره کرد که باید برای منطقه مورد مطالعه این امر صورت بگیرد و از جمله دلایل دیگر می‌توان به اشکالات در برداشت‌های ایستگاه هیدرومتری و همچنین ایستگاه باران‌سنجی (به دلیل استفاده از آمار گذشته) اشاره کرد. بنابراین با کالیبراسیون مدل SWMM این مسئله تا حد امکان اصلاح گردید. شکل‌های (۵ تا ۸) هیدروگراف‌های رخ داده و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. جدول (٦) نیز نتایج را پس از کالیبراسیون نشان می‌دهد.

شکل ٤- نمودار منحنی بارش تجمعی ایستگاه باران‌سنجی پوراحمدی در رویدادهای سیل

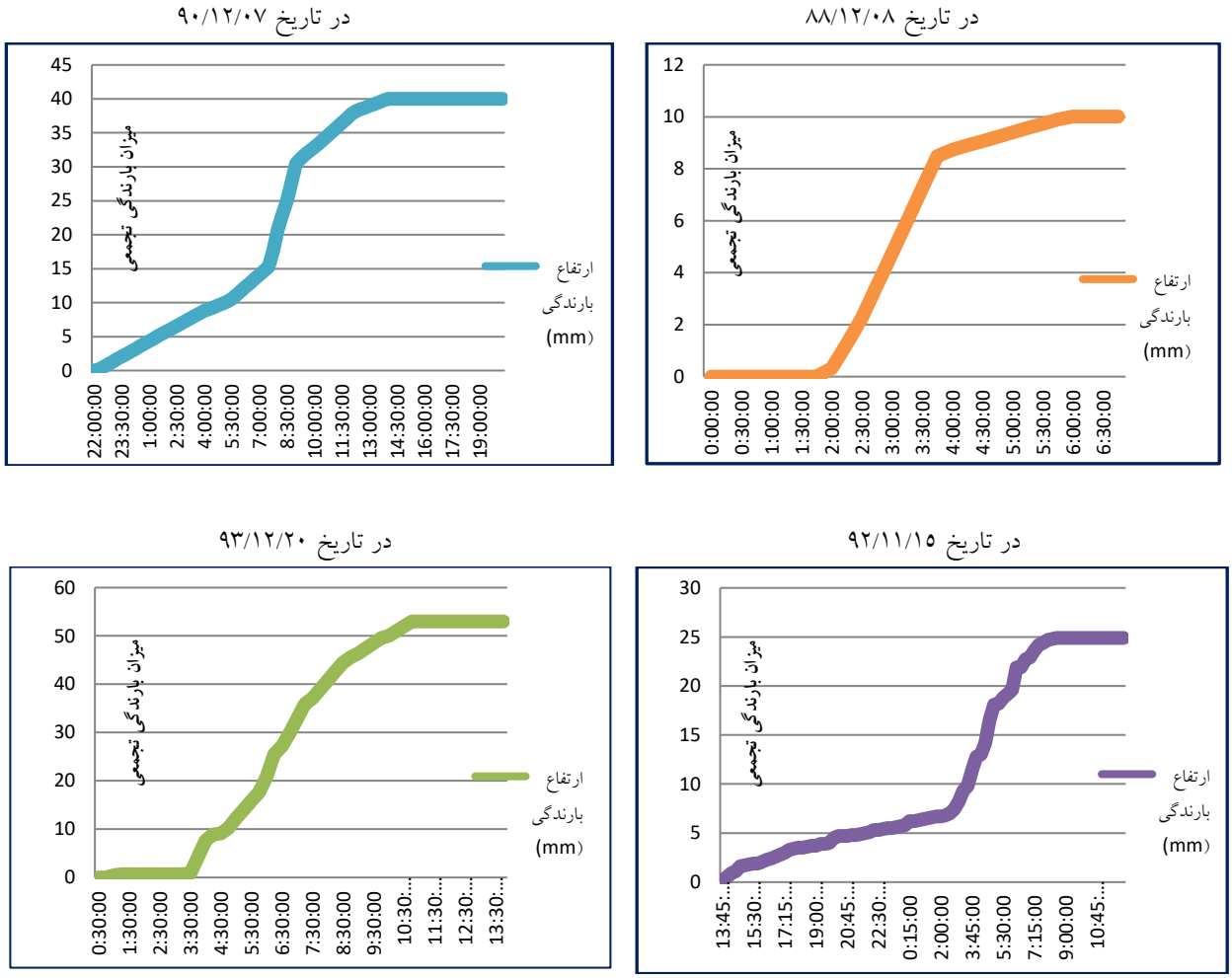


Fig 4. Cumulative precipitation curve diagram of Pourahmadi baranometer station at the time of the flood event

شکل ۵- هیدروگراف‌های سیل محاسباتی و مشاهداتی سال ۸۸

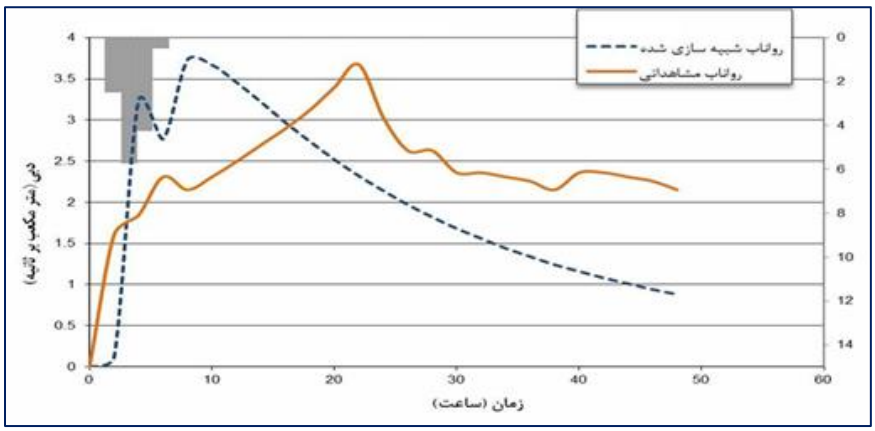


Fig 5. Computational and observational flood hydrographs in 2010

شکل ٦- هیدروگراف‌های سیل محاسباتی و مشاهداتی سال۹۰

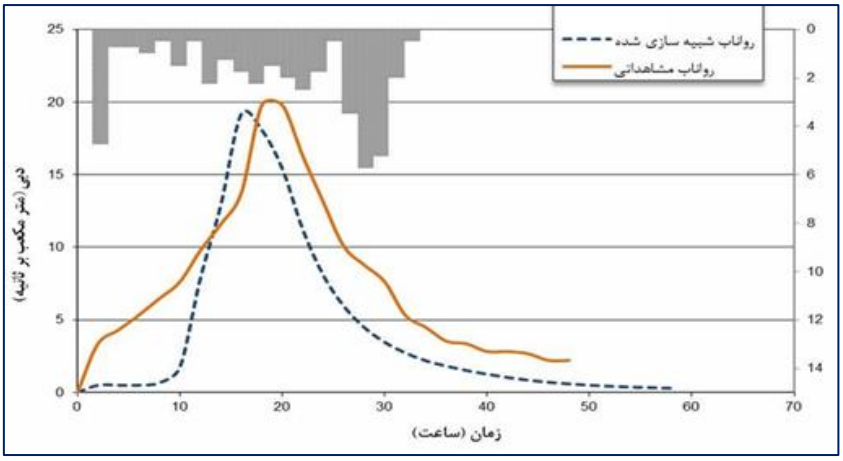


Fig. 6 Computational and observational flood hydrographs in 2012

شکل ۷- هیدروگراف‌های سیل محاسباتی و مشاهداتی سال۹۲

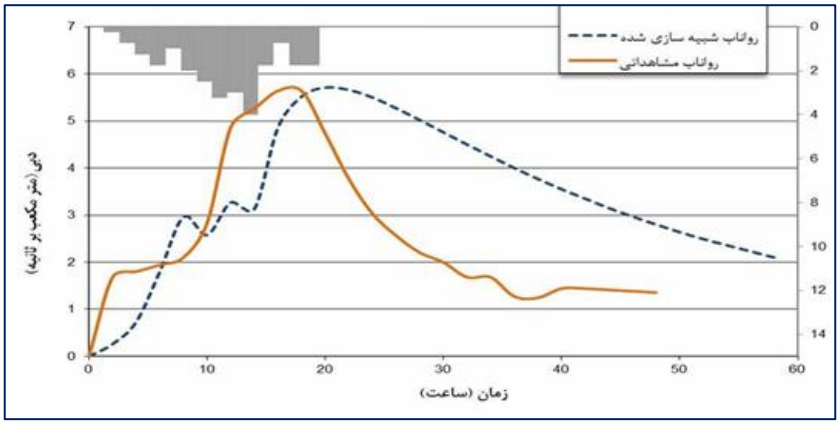


Fig. 7 Computational and observational flood hydrographs in 2014

شکل ۸- هیدروگراف‌های سیل محاسباتی و مشاهداتی سال۹۳

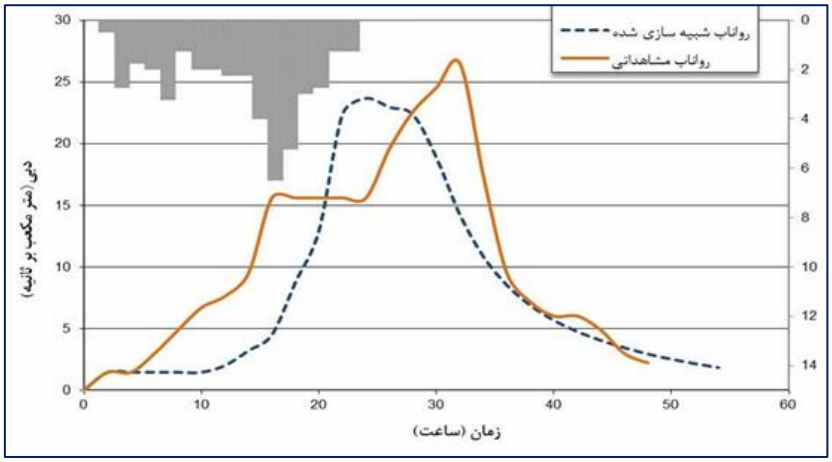


Fig 8. Computational and observational flood hydrographs in 2015

جدول ٦- مقایسه پارامترهای هیدروگراف‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی سیل‌های انتخابی در مدل SWMM

Table 6- Comparison of parameters of simulated and observed hydrographs of selected floods in SWMM model

پارامتر	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)			زمان تا اوج (ساعت)			حجم جریان (میلیون مترمکعب)		
رویداد	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	اختلاف (درصد)	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	اختلاف (درصد)	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	اختلاف (درصد)
۱۳۸۸/۱۲/۸	۳/٦۷	۳/۷۳	-۱/٦	۲۲	۸	٦۳/٦	۰/٤۲۹	۰/۳۵۳	۱۷/۸۵
۱۳۹۰/۱۲/۷	۱۹/۸	۱۹/۷۱۱	۰/٤	۱۸	۱۷	۵/٦	۱/۳٤۷	۰/۸۸۷	۳٤/۱۵
۱۳۹۲/۱۱/۱۵	۵/٦٤	۵/۷۱	-۱/۲	۱۸	۲۰	-۱۱/۱	۰/٤۵۳	۰/٦٤۳	-٤۱/۹٦
۱۳۹۳/۱۲/۲۰	۲٦/۵	۲۳/٦۸	۱۰/٦	۳۲	۲۵	۲۱/۹	۱/۸۸۵	۱/۵۱۳	۱۹/۷٤

۳-۷- نتایج اجرای مدل SMADA

باتوجه به اطلاعات ورودی به مدل از قبیل نقشه‌های شماره منحنی مربوط و همچنین هیدروگراف‌های با الگوی زمانی تیپ دو، هیدروگراف‌های متناظر با ٤ رویداد از مدل SMADA استخراج‌شده که نتایج آن در جدول (۷) نشان داده‌شده است.

جدول ۷- مقایسه پارامترهای هیدروگراف‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی سیل‌های انتخابی در مدل SMADA

Table 7. Comparison of parameters of simulated and observed hydrographs of selected floods in SMADA model

پارامتر	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)			زمان تا اوج (ساعت)			حجم جریان (میلیون مترمکعب)		
رویداد	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	اختلاف (درصد)	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	اختلاف (درصد)	مشاهداتی	شبیه‌سازی شده	اختلاف (درصد)
۱۳۸۸/۱۲/۸	۳/۶۷	۱۸/۱۲	+۷۹/۷	۲۲	۵	-۱۷	۰/۴۲۹	۰/۶۲۱	+۳۱
۱۳۹۰/۱۲/۷	۱۹/۸	۲۲/۱۰	+۱۸/۸	۱۸	۱۲	۵/۶	۱/۳۴۷	۱/۸۸۷	+۲۸/۶۱
۱۳۹۲/۱۱/۱۵	۵/۶۴	۱۱/۸۳	+۵۲/۳	۱۸	۱۱	-۱۱/۱	۰/۴۵۳	۰/۷۴۱	+۳۸/۸۶
۱۳۹۳/۱۲/۲۰	۲۶/۵	۳۲/۶۵	+۱۰/۶	۳۲	۲۰	۲۱/۹	۱/۸۸۵	۱/۹۲۶	+۲/۱۲

۳-۸- مقایسه مدل‌های SWMM و SMADA در برآورد سیلاب

به‌منظور ارزیابی کارایی مدل‌ها می‌توان از شاخص‌های آماری استفاده کرد که این مقادیر برای مدل SWMM در جدول (۸) و برای مدل SMADA در جدول (۹) نشان داده شده است. نگاهی اجمالی به جداول ذکرشده به‌خوبی نشان می‌دهد که مدل SWMM به‌خوبی توانسته است به تکامل لازم برسد. شاخص ناش – ساتکلیف در اکثر رویدادهای SMADA خیلی خوب نبوده‌اند این شاخص در مدل SWMM کارایی خوبی از مدل داشته است. شاخص ضریب تبیین نیز به خوبی این موضوع را تأیید می‌کند.

با توجه به نتایج این تحقیق مدل هیدرولوژی SWMM قادر به شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب تا حد قابل‌قبولی(با توجه به درصد به‌دست‌آمده) است که باتوجه به جدول (٦) در مورد رویدادهای سیل اختلاف دبی حداکثر لحظه‌ای حدوداً ۱۰ درصد در رویداد سال ۹۳ است. این مسئله اصولاً به این دلیل است که این مدل می‌تواند با الگوریتم‌های مختلف مورد کالیبراسیون قرار گیرد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل SMADA نیز توانسته هیدروگراف سیلاب را تا حدی شبیه‌سازی نماید؛ اما به دلایل مختلف اختلاف بین

سیلاب‌های رخ داده و شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبتاً زیاد است. از دلایل مهم این اختلاف می‌توان به استفاده این مدل از چند رابطه که نسبتاً قدیمی و درصد خطای آن‌ها بالاست اشاره نمود. باتوجه‌به جداول ٦ و ٧ می‌توان به این نتیجه رسید که مدل SMADA در مقایسه با مدل SWMM تمایل به برآورد بیشتر دبی اوج سیلاب دارد. این مسئله می‌تواند به این دلیل باشد که در مدل SMADA عواملی که باعث اتلاف بارش می‌شوند را کمتر در نظر می‌گیرد درنتیجه دبی رواناب بیشتر خواهد شد. می‌توان برای مقایسه بهتر جدول (١٠) را مشاهده نمود. همچنین در جدول (١٠) مقادیر دبی اوج ٤ رویداد انتخابی در کنار یکدیگر ارائه‌شده است.

جدول ٨- مقادیر شاخص‌های کارایی مدل SWMM در رویدادهای انتخابی

Table 8. Values of SWMM model performance indicators in selected events

شاخص‌های آماری	رویدادهای انتخاب‌شده			
	١٣٨٨/١٢/٨	١٣٩٠/١٢/٧	١٣٩٢/١١/١٥	١٣٩٣/١٢/٢٠
شاخص ناش – ساتکلیف (NS)	٠/٨٦	٠/٨١	٠/٨٤	٠/٧٣
ضریب تبیین (R2)	٠/٩٤	٠/٩٢	٠/٩٢	٠/٧٥
میانگین حداقل مربعات خطا (MSE)	١/٠٠	١/٥٥	٠/٤١	٦/٨٧

جدول ٩- مقادیر شاخص‌های کارایی مدل SMADA در رویدادهای انتخابی

Table 9. Values of performance indices of SMADA model in selected events

شاخص‌های آماری	رویدادهای انتخاب‌شده			
	١٣٨٨/١٢/٨	١٣٩٠/١٢/٧	١٣٩٢/١١/١٥	١٣٩٣/١٢/٢٠
شاخص ناش – ساتکلیف (NS)	٠/٥٢	٠/٥٥	٠/٣٩	٠/٧١
ضریب تبیین (R2)	٠/٥٨	٠/٦٧	٠/٦٢	٠/٥٦
میانگین حداقل مربعات خطا (MSE)	١/٠٩	١/٣٢	٣/٠٧	٥/٥١

جدول ١٠- مقایسه دبی اوج شبیه‌سازی‌شده توسط دو مدل هیدرولوژیک

Table 10. Comparison of peak discharge simulated by two hydrological models

پارامتر	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)		
رویداد	مشاهداتی	شبیه‌سازی‌شده (SWMM)	شبیه‌سازی‌شده (SMADA)
١٣٨٨/١٢/٨	٣/٦٧	٣/٧٣	١٨/١٢
١٣٩٠/١٢/٧	١٩/٨	١٩/٧١١	٢٢/١٠
١٣٩٢/١١/١٥	٥/٦٤	٥/٧١	١١/٨٣
١٣٩٣/١٢/٢٠	٢٦/٥	٢٣/٦٨	٣٢/٦٥

در هر دو مدل در برآورد فاکتور زمان تا اوج سیلاب به‌خوبی عمل‌نکرده‌اند و در مورد حجم کل سیلاب نیز تقریباً نتایج شبیه برآورد

دبی اوج سیلاب است. درنهایت باتوجه به مقادیر مربوط به شاخص‌های کارایی مدل‌ها در جداول مربوط به رویدادهای متوسط میزان شاخص ناش – ساتکلیف در مدل SWMM برابر با ۰/۸۱ و برای مدل SMADA برابر با ۰/۳۱ است که این نشان‌دهنده دقت مناسب مدل SWMM است (شاخص از منفی بی‌نهایت تا یک است، هرچه به یک نزدیک‌تر باشد بیانگر دقت بیشتر مدل است).
شاخص ضریب تبیین نیز در مدل SWMM برابر با ۰/۸۸ و در مدل SMADA برابر با ۰/٦ است که باز هم نشان‌دهنده دقت خوب مدل SWMM در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل است و همچنین با مراجعه به شاخص میانگین حداقل مربعات خطا، میزان خطای برآوردی نیز نشان‌دهنده دقت بیشتر مدل SWMM است. به‌طورکلی نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج تحقیق (Tajbakhsh & Khodashenas, 2012) مطابقت دارد. در تحقیق ایشان علاوه بر استفاده از مدل SWMM موقعیت مکانی هر یک از زیر حوضه‌ها نیز در سیل‌خیز بودن حوضه در نظر گرفته شده است. در مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیق (Eftekharian & Khalilizadeh, 2013) نیز حاکی دقت نسبتاً بالای مدل SWMM است.

۴- نتیجه‌گیری

مدل‌های هیدرولوژی قادر به شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی سطح زمین به‌منظور بهبود مدیریت منابع آب هستند. مدل‌های بارش- رواناب یکی از روش‌های تخمین رواناب و ابزاری مناسب برای مطالعه فرآیندهای هیدرولوژیکی و ارزیابی منابع آبی هستند. تجزیه‌وتحلیل نتایج مدل‌های هیدرولوژی ازجمله SWMM و SMADA در پیش‌بینی سیلاب و برنامه‌ریزی به‌منظور کنترل سیل، تغییرات کاربری و پوشش اراضی، به‌صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از GIS به‌منظور مدیریت داده‌ها و سنتز نقشه‌های لازم در این تحقیق سبب افزایش سرعت و دقت محاسبات پارامترهای مورد نیاز شبیه‌سازی جریان گردیده است. با توجه به نتایج این تحقیق مدل هیدرولوژی SWMM قادر به شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب تا حد قابل‌قبولی است.این تحقیق با استفاده از به کارگیری مدل SWMM انجام شد و باتوجه به این‌که حوضه زندان در بالادست سدهای شمیل ونیان واقع‌شده بنابراین پیشنهاد می‌شود از این مدل در پیش‌بینی سیلاب‌هایی که می‌تواند این سدها را تحت تأثیر قرار دهند استفاده نمود.
باتوجه به استفاده مدل SMADA در این تحقیق و مقایسه آن با مدل SWMM که نشان‌دهنده عدم کارایی مناسب این مدل در حوضه‌های طبیعی است، پیشنهاد می‌شود باتوجه به سوابق استفاده از آن بیشتر در حوضه‌های شهری بکار گرفته شود. درنهایت می‌توان گفت هرگونه اقدام کنترل سیلاب رودخانه‌ها باید با توجه به تبعات و تأثیرات آن اقدام در دیگر نواحی حوضه انجام پذیرد، بنابراین اقدامات موضعی برای مقابله با خسارت سیل را باید در برنامه‌ای عمومی و جامعی ادغام کرد که سراسر حوضه آبریز رودخانه، رژیم سیلابی، مراکز سیل‌گیر و پیامدهای انواع اقدامات را مدنظر قرار می‌دهد. در غیر این صورت با این اقدامات موضعی فقط مشکل سیلاب را از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل کرده و کاهش سیلاب در یک نقطه باعث افزایش سیلاب در نقطه دیگر می‌شود.

۵- تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

۶- منابع

Ababaei, B., & Sohrabi-Mollayousef, T. (2009). Performance evaluation of SWAT model in Zayandeh Rood watershed. *Soil and Water Conservation Research* (*Agricultural Sciences and Natural Resources*), 16(3), 41-58. (In Persian)

Adams, B., & Papa, F. (2021). Urban stormwater management planning with analytical probabilistic models. 358 p. Wiley.

Ahmadi, L. (2019). Investigation of erosion and sedimentation in the dry river of Shiraz by non-permanent method, Master's Thesis, Faculty of Agriculture, Shiraz University. (In Persian)

Bahremand, A. (2019). Fundamentals of hydrological models. Master's Degree Coursebook, Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 58 p. (In Persian)

Bridge, J.S. (2008). Rivers and Floodplains. Translated by Rezaei Moghadam, M., & Thaqafi, M. Vol 1: Dynamics and Processes, Ministry of Culture and Islamic Guidance Publications.

Darabi, M. (2014). Evaluation of the effects of watershed management projects on flood control and economic and social issues in the Khorami watershed, a tributary of the Sivand Dam in Fars Province. Proceedings of the Sixth National Conference on Watershed Science and Engineering and the Fourth National Conference on Erosion and Sedimentation, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, 8 p.

Dovonce, E. (2019). A physically based distributed hydrologic model. Master of Science Thesis, The Pennsylvania State University.

Eftekharian, M., & Khalilizadeh, M. (2013). Forecasting areas prone to flooding and proposing appropriate solutions for urban flood control (Case study: Jahrom city). Master's Thesis. Islamic Azad University - Larestan Branch. (In Persian)

Feyzi, M., Bagheri, M., & Azmati, H. (2007). Human-environmental approach in landscape architecture design, *Technology of Education Journal,* 1(2), 89-96.(In Persian). https://doi.org/10.22061/tej.2007.1248

Gautam, M.R. (2019). Advances in data-based approaches for hydrologic modeling and forecasting. World Scientific.

Hajjarian, A. (2023). Comparative study of modeling flood-sensitive areas (Isfahan Province), *Environmental Risk Management*, 10(3), 199-214. (In Persian). http//doi.org/10.22059/jhsci.2023.362467.786

Hormozgan Regional Water Company. (2014). Control and Stability Report of Shamil and Nian Dams. (In Persian)

Hormozgan Regional Water Company. (2019). Control and Sustainability Report of Shamil and Nian Dams. (In Persian).

Hormozgan Regional Water Company. (2021). Hydrological studies of Ahmadi study area. Farsab Sanat Consulting Engineers Company. (In Persian)

Hosseinzadeh, M., Imamgholizadeh, S., Ganji, Z., & Samadi, H. (2016). Comparison of flood trends by MIKE model and 11 HEC-RAS models in Bazfat river, 15th National Hydraulic Conference of Iran. (In Persian)

Imam Gholizadeh, S., Bina, M., & Ghomshi, M. (2007). Investigation of the effect of reservoir water height and outlet flow rate from the lower discharger on the rate of sediment discharge in pressure washing. *Agricultural Scientific Journal*, 30(4-A), 61-76. (In Persian)

Kolte, A. (2019). Evaluation of the performance of the LISEM physical model in the representative and paired Kechik watersheds of Golestan province. Master's Thesis in watershed management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 104 p. (In Persian)

Lange, A.L, George, S., & Aley, T. (2014). Karst hydrogeology and human activities, impacts, consequences, and implications. McGraw Hill Professional - 751 p.

Lar Consulting Engineers Company. (2019). Report on Golestan Province Floods. (In Persian)

Mahdavi, M. (2019). Comprehensive watershed management. Fourth National Conference on Watershed Engineering and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 1 p. (In Persian)

Mazandaranizadeh, H., & Khodabakhshi, F. (2024). Performance evaluation of CANFIS, MLPNN, MLR and M5 models in simulating meteorological drought index (Case study: Kermanshah synoptic station). *Irrigation Science and Engineering*, 47(1), 83-98. (In Persian). http//doi.org/10.22055/jise.2023.42231.2046

Mohammadi Motlagh, R., & Jalal Kamali, A. (2012). Investigating the role of sub-basin participation in flood severity, a case study of Dalaki watershed. *Iranian Irrigation and Water Engineering*, 4(13), 31-44.

Motlabi, A., & Khalilizadeh, M. (2016). Investigating land use changes and modeling floods in Jahrom city using GIS and SMADA model. Thesis, Islamic Azad University, Larestan Branch. (In Persian)

Mozaffari, J., & Kabarfard, M. (2016). Investigating the quantitative and qualitative management of urban floods with the EPA-SWMM Model, a Case study of Tehran Region 22. *Iranian Irrigation and Water Engineering*, 7(27), 47-59. (In Persian)

Nash, J. E., & Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology,* 10(3), 282–290. https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6

Ouyang, Y., Nkedi-Kizza, P., Wu, Q.T., Shinde, D., & Huang, C.H. (2012). Assessment of seasonal variations in surface water quality, *Water Research*, 40(20), 3800-3810.

Payab, M. (2025). Resilience of cities and risk of natural hazards. *Monthly Journal of Expert Reports of the Research Center of the Islamic Consultative Assembly*, 32(5). (In Persian)

Rahimzadeh, F., Hedayati Dezfuli, A., & Pourasgharian, A. (2011). Assessment of trends and extreme temperature and precipitation fluctuations in hormozgan province. *Geography and Development*, 9(21), 97-116. (In Persian)

Rajabizadeh, Y., Ayubzadeh, S.A., & Zahiri, A. (2018). Investigation of Golestan province flood in 2017-2018 and presentation of methods for its control and management in the future. *Ecohydrology*, 6(4), 921-942. (In Persian)

Razzaghi, A., Asgari Marnani, J., & Rouhanimanesh, M. S. (2021). Numerical evaluation of modified energy method in the analysis of structural problems with nonlinear geometry. *Structural and Construction Engineering*, 8(5), 83-109. (In Persian)

Shabanloo, S., & Karim Bakhsh, M. (2013). Simulation of flood events at the basin scale with the SWMM model, case study of Golestan province. Fourth Iranian Water Resources Management Conference in 2013 Hormozgan Regional Water Company. Report on the Control and Stability of Shamil and Nian Dams. (In Persian)

Sohrabi, V., Hashemipour-Petkoy, F., & Sheikhpour-Shahi, H. (2023). Sensitivity analysis of Manning's roughness coefficient of rivers in the HEC-RAS model for determining flood zones (Case study: Kor River - Fars Province). *Quarterly Journal of Geographic Information System and Remote Sensing Application in Planning*, 14(2).

Sohrabi, V., & Afifi, M. A. (2023). Temporal and spatial modeling of groundwater level using Kriging models and artificial neural networks (Case study: Minab Plain). *Journal of Technical Strategies in Water Systems*, 1(4), 1-22. https://doi.org/https://doi.org/10.30486/TSWS.2024/1106197

Taheri Behbahani, M., & Bozorgzadeh, M. (1996). Urban floods. Publications of the Center for Urban Planning and Architecture Studies and Research, Iran, 536 pp. (In Persian)

Tajbakhsh, M., & Khodashenas, S. R. (2012). Review of surface runoff drainage network using simulation and application of delay ponds (Case study: East Iqbal Catchment Basin, Mashhad). *Soil and Water Science Journal*, 22, 109–123. (In Persian)

Telluri, A. R. (1996). Hydrological models in simple language. Tehran University Press, 401 pp. (In Persian)

Westervelt, J. (2020). Simulation modeling for watershed management. Springer Science & Business Media.

Zamani, N., & Khalilizadeh, M. (2014). Evaluation of the surface water collection network of Bastak city using the SWMM model and its integration with GIS. Master's Thesis, Islamic Azad University, Larestan Branch. (In Persian)

Zehtabian, G., Ali Portomaj, A., & Afakhah, M. (2001). Study of the application of artificial unit hydrographs in flood analysis in watersheds of the north of the country. *Natural Resources of Iran*, 54(4), 331-344. (In Persian)

Technical Strategies in Water Systems
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
ISSN (Online): 2981-1449
Autumn 2024: Vol 2, Issue 3, 218-232
https://doi.org/10.30486/TSWS.2025.1185724

Research Article

Analysis of the effect of roughness height and spacing on hydraulic jump characteristics in the stilling basin downstream of an ogee spillway

Mohammad Hossein Ahmadi[1], Amir Vakili[1], Roozbeh Aghamajidi[2]

1 Department of Civil Engineering, Beyza Branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran.

2 Department of Civil Engineering, Sepidan Branch, Islamic Azad University, Sepidan, Iran.

Email Corresponding Author: Mohamadh.ahmadi@iau.ac.ir

© The Author(s)2025

Received: 02 Oct 2024 Accepted: 08 Jan 2025 Published: 20 Jan 2025

Abstract

In the present study, the aim is to investigate the effect of roughness and the change in their height and distance on the characteristics of the hydraulic jump in the downstream stilling basin of the ogee spillway. For this purpose, numerical simulation of the flow pattern and analysis of the geometric characteristics of the ogee spillway with the gate were performed using the Fluent software. The simulation method used in this study is the volume of fluid (VOF) method, which is used to model multiphase flows. The results showed that the use of roughness in the channel bottom has a significant effect on reducing the length and secondary depth of the hydraulic jump. In particular, with increasing roughness height, the ratio of secondary depth to primary depth decreases, which is due to the shortening of the hydraulic jump length and the closer proximity of the primary and secondary depths due to the flow encountering the roughness. On the other hand, increasing roughness height leads to greater flow deflection in the channel bottom. Based on the results, the best spacing for the roughness's is 2 cm between them, which provides optimal performance in terms of reducing the hydraulic jump length and regulating the flow. The results clearly show that changes in the roughness parameters, especially their height and spacing, play an important role in improving the performance of the stilling basin and controlling the hydraulic jump.

Keywords: Fluent software, Hydraulic jump, Ogee spillway, Roughness, Two-phase model

مجله راهبردهای فنی در سامانه‌های آبی
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
شاپا الکترونیکی: ۱۴۴۹-۲۹۸۱
پاییز ۱۴۰۳، دوره دو، شماره ۳، ۲۳۲-۲۱۸
https://doi.org/10.30486/TSWS.2025.1185724

مقاله پژوهشی

تحلیل تأثیر ارتفاع و فاصله زبری بر ویژگی‌های پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش پایین‌دست سرریز اوجی

محمد حسین احمدی[۱]، امیر وکیلی[۱]، روزبه آقا مجیدی[۲]

۱. گروه عمران، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران.

۲. گروه عمران، واحد سپیدان، دانشگاه آزاد اسلامی، سپیدان، ایران.

ایمیل نویسنده مسئول: Mohamadh.ahmadi@iau.ac.ir
© The Author(s) 2025

دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۱ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۹ چاپ: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر زبری و تغییر ارتفاع و فاصله آن‌ها بر روی خصوصیات پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش پایین‌دست سرریز اوجی است. بدین منظور با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت، شبیه‌سازی عددی الگوی جریان و تحلیل مشخصات هندسی سرریز اوجی به همراه دریچه انجام شد. روش شبیه‌سازی مورد استفاده در این مطالعه، روش حجم سیال (VOF) است که برای مدل‌سازی جریان‌های چندفازی به‌کار می‌رود. نتایج نشان داد که استفاده از زبری در کف کانال تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش طول و عمق ثانویه پرش هیدرولیکی دارد. به‌طور خاص، با افزایش ارتفاع زبری، نسبت عمق ثانویه به عمق اولیه کاهش یافت که این امر ناشی از کوتاه‌تر شدن طول پرش هیدرولیکی و نزدیک‌تر شدن عمق اولیه و ثانویه به یکدیگر به دلیل برخورد جریان با زبری است. از سوی دیگر، افزایش ارتفاع زبری منجر به انحراف بیشتر جریان در کف کانال می‌شود. بر اساس نتایج، بهترین فاصله برای زبری‌ها فاصله ۲ سانتی‌متری بین آن‌ها است که عملکرد بهینه‌ای از لحاظ کاهش طول پرش هیدرولیکی و تنظیم جریان ارائه می‌دهد. نتایج به وضوح نشان می‌دهند که تغییرات در پارامترهای زبری، به ویژه ارتفاع و فاصله آن‌ها، نقش مهمی در بهبود عملکرد حوضچه آرامش و کنترل پرش هیدرولیکی دارند.

واژه‌های کلیدی: نرم‌افزار فلوئنت، پرش هیدرولیکی، سرریز اوجی، زبری، مدل دوفازی

۱- مقدمه

در پایین‌دست سرریز سدها به دلیل اختلاف ارتفاع زیاد، سرعت جریان و نهایتا انرژی جنبشی، به شدت افزایش می‌یابد که عدم کاهش این انرژی باعث فرسایش کف و ایجاد گودال در پایین دست سد خواهد شد که در دراز مدت باعث واژگونی سد می‌شود؛ لذا برای کاهش این سرعت زیاد (انرژی جنبشی زیاد) در سیستم‌های هیدرولیکی باید راه حلی اندیشیده شود. از جمله راه‌های کاهش سرعت، استفاده از سازه‌های مستهلک‌کننده انرژی است. سازه‌های مستهلک‌کننده انرژی سازه‌هایی هستند که باعث کاهش انرژی جریان و پایین آوردن سرعت به حد قابل قبولی می‌شوند(Bahrevar, 2013). ساخت سرریز متداول‌ترین روش جهت استهلاک انرژی در پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی است. سرریزها سازه‌هایی هستند که بدلیل کاربرد بسیار آن در علم هیدرولیک مطالعات بسیاری بر روی آن صورت گرفته است. با توجه به موارد بالا، بررسی جریان موجود بر روی سرریز و در پایین‌دست آن از اهمیت زیادی برخوردار است و با توجه به این موضوع که مطالعات آزمایشگاهی دارای هزینه‌های بالای اجرایی هستند و زمان بسیار زیادی را به خود اختصاص می‌دهند و همچنین پارامترهای بسیار زیادی در مطالعات آزمایشگاهی قابل اندازه‌گیری نیست؛ بنابراین مطالعات عددی دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. سرریزهای اوجی (آبریز) یک لبریز کنترل دارند که به شکل منحنی اوجی (پیوند) یا دارای پروفیل s شکل است. معمولاً قسمت بالایی منحنی پیوند به شکلی طراحی می‌شود که هر چه نزدیک‌تر، بر پروفیل زیرین سفره آبی که از روی یک لبه تند هوادهی شده، فرو می‌ریزد منطبق باشد. (Tullis & Neilson, 2008) عملکرد سرریز اوجی مستغرق و روابط دبی–ارتفاع جریان (اشل) آن را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق چهار رابطه برای جریان مستغرق و یک رابطه برای جریان آزاد با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و به منظور پیش‌بینی تراز آب در بالادست در شرایط مستغرق، مورد ارزیابی قرار گرفت. (Swamee et al., 2011) به بررسی خصوصیات دبی بر روی سرریزهای مورب پرداختند؛ ایشان رابطه جدیدی برای محاسبه ضریب دبی در این نوع سرریزها ارائه دادند که رابطه پیشنهادی تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشت. (Kumar & Sreeja, 2012) به مطالعه ویژگی‌های دبی سرریز لبه‌تیز در شرایط قوس محوری به سمت بالادست پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که راندمان سرریز با افزایش نسبت هد موجود به ارتفاع سرریز، به دلیل تداخل امواج عرضی ناشی از همگرایی جریان در مقادیر بزرگ‌تر دبی، کاهش می‌یابد. (Morales et al., 2012) نیز به برررسی عملکرد سرریز اوجی یک سد انحرافی و نیمرخ سرعت و جریان روی آن با استفاده از مدل سه بعدی CFD[1] پرداختند. پارامترهای محاسبه شده از مدل عددی بر اساس داده‌های به دست آمده از یک مدل فیزیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی نتایج مربوط به نیمرخ سرعت نشان داد که مقدار حداکثر سرعت در وجه میانی سرریز رخ داده و این ناحیه با کاهش ارتفاع سرریز در دبی ثابت، به سمت بالادست و با کاهش دبی در ارتفاع ثابت سرریز به سمت پایین دست حرکت می‌کند.(Arvanaghi & Nasehi Oskuei, 2013) تاثیر ارتفاع سرریز را روی ضریب آبگذری در سرریزهای لبه‌تیز با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که بین داده‌های آزمایشگاهی و نتایج CFD تشابه خوبی برقرار است.

(Haktanir & Citakoglu 2016) به بررسی الگوریتم‌های مختلف و یافتن الگوریتم بهینه در بررسی عملکرد سرریزهای اوجی در فرآیند عبور دبی‌های مختلف ار روی سرریز اوجی در حالاتی که دریچه بالادست دارای بازشدگی‌های مختلف است، پرداختند و نتایج این الگوریتم را با الگوریتم‌های مختلف مقایسه کردند. (Date et al., 2017) به شبیه‌سازی جریان بر روی سرریزهای اوجی با استفاده از مدل VOF[2] پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روش مدل‌های CFD برای شبیه‌سازی جریان بر روی سرریزهای اوجی بسیار موثر است. (Esmaeili Varak & Safarrazavi Zadeh, 2013) در مطالعه آزمایشگاهی خود سرریزهای کنگره‌ای با هندسه‌های خطی– نیم دایره‌ای را مورد ارزیابی قرار دادند. ایشان دریافتند که دبی عبوری از سرریز کنگره‌ای در مقایسه با سرریزهای مستقیم حدود ۳۰ درصد بیشتر است. (Zhang et al., 2024) در تحقیق خود نشان دادند که استفاده از زبری با شکل

[1]CFD: Computational Fluid Dynamics
[2]VOF: Volume of fluid method

منشور مثلثی در کف کانال منجر به کاهش ۲۲ درصدی عمق ثانویه و ۵۰ درصدی طول پرش هیدرولیکی نسبت به کف صاف شده است. این نوع زبری با افزایش تنش برشی بستر و ایجاد آشفتگی بیشتر، به بهبود اتلاف انرژی کمک می‌کند. (Ahmadi et al., 2024) در تحقیقی به بررسی عددی هیدرولیک جریان در سرریز جانبی لبه تیز با ارتفاع تاج متغیر پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که تغییر ابعاد و اندازه های سرریز تأثیر قابل توجهی در پارامترهای سرعت جریان و سرعت برشی داشته است. بر این اساس هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر زبری، تغییر ارتفاع زبری و فواصل مختلف زبری بر روی خصوصیات پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش پایین‌دست سرریز اوجی است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مدل ساخته شده

یکی از عواملی که در نتایج مدل عددی بسیار تأثیرگذار است، نوع شبکه‌بندی و تعداد مش‌های استفاده شده در مدل‌سازی است. در این تحقیق به علت دارا بودن شکل خاص و هندسه مدل آزمایشگاهی از شبکه Pave Quad استفاده شد. خصوصیت این شبکه آن است که در نزدیکی زبری‌ها از شبکه مثلثی استفاده شده و با فاصله گرفتن از زبری، به شبکه‌های مربعی تبدیل خواهند شد. در این مرحله از شبیه‌سازی، فاصله شبکه در نزدیکی دیواره و زبری‌ها کم و با فاصله گرفتن از زبری‌ها افزایش خواهد یافت (شکل ۱). همانطور که از شکل (۱) مشخص است با افزایش تعداد نقاط شبکه از ۱۲۵۲۱ به ۳۳۶۵۲، تفاوت زیادی بین نتایج مدل عددی با هم و با مدل آزمایشگاهی وجود دارد. با تغییر تعداد سلول‌ها از۳۳۶۵۲ به تعداد ۴۰۰۵۲ در نتایج حاصل از مدل عددی تفاوت چندانی به وجود نیامده است و نتایج بدست آمده، به نتایج مدل آزمایشگاهی نزدیکتر گردیده است. بنابراین از شبکه‌بندی با تعداد نقاط ۳۳۶۵۲ استفاده گردید. با توجه به میانگین مربعات خطا که برای شبکه بندی با تعداد نقاط مختلف اندازه‌گیری شده است، میزان کمترین خطا مربوط به شبکه‌بندی با تعداد نقاط ۳۳۶۵۲ است (۲/۳ درصد). لازم به ذکر است که این انتخاب بر مبنای عمق جریان جهت مدل‌سازی اولیه بوده است و در ادامه مدل شبیه‌سازی شده و آزمایشگاهی بر اساس پارامترهای دیگری مانند فشار، شرایط مرزی مورد مقایسه قرار گرفته است. در مدل آزمایشگاهی از یک فلوم به طول ۸ متر عرض، ۰/۳۵ متر و ارتفاع ۰/٤ متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی عمران دانشگاه آزاد واحد یاسوج استفاده شد و بررسی آزمایشگاهی مشخصات پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بستری با زبری‌های عرضی مثلثی شکل، انجام شد. به این منظور تعداد ۹۰ آزمایش در محدوده اعداد فرود ۱۹/۵ تا ۱۲/۵ انجام شده است و زبری‌های انتخابی با سه ارتفاع مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۲- معرفی شرایط مرزی

پس از عملیات شبکه‌بندی، شرایط مرزی که محاسبه از این مقادیر شروع می‌شود به مدل معرفی می‌گردد. در این مدل از شرایط مرزی سرعت ورودی به عنوان شرایط مرزی بالادست، فشار ورودی برای سطح فوقانی و فشار خروجی برای پایین‌دست و از شرط مرزی دیواره برای جداره‌ها استفاده شد (شکل ۲).

۲-۳- تعیین مدل آشفتگی

در این بخش پس از حساسیت‌سنجی مدل عددی به شبکه‌بندی، به تعیین بهترین مدل آشفتگی پرداخته می‌شود. جدول (۱) محاسبه مقدار خطای مدل‌های آشفتگی مختلف (K-ε استاندارد، K-ε RNG، K-ω) را نشان می‌دهد. کمترین خطا مربوط به مدلی است که با مدل آشفتگی RNG حل گردیده است. شکل (۳) تغییرات عمق جریان در طول میدان را نشان می‌دهد که با مدل‌های مختلف آشفتگی شبیه‌سازی شده‌اند.

شکل۱- الف) شبکه بندی و ب) صحت سنجی میدان حل نسبت به ابعاد شبکه و مدل آزمایشگاهی

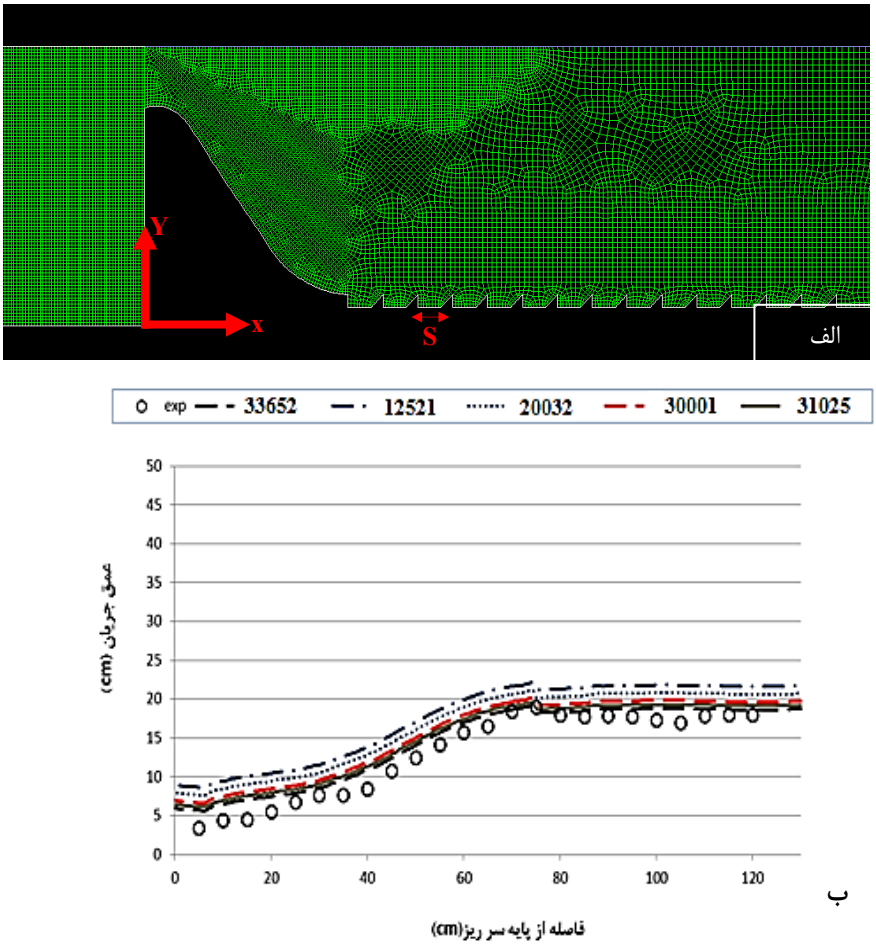


Fig 1. a) Gridding and b) Verification of the solution field with respect to the dimensions of the grid and the laboratory model

شکل۲- معرفی شرایط مرزی

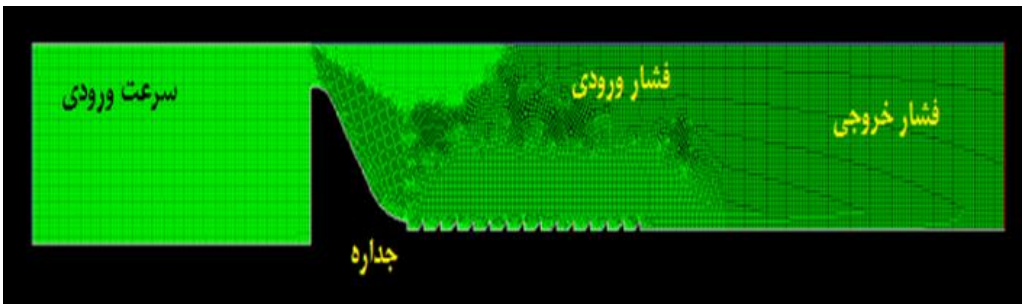


Fig 2. Introducing boundary conditions

جدول۱- محاسبه مقدار خطای مدل‌های آشفتگی مختلف

Table 1. Calculation of error value of different turbulence models

مدل آشفتگی	K-ε Stand-ard	K-ε RNG	K-ω Standard
میزان میانگین مربعات خطا(درصد)	۲/۹	۲/۳٦	۲/٤۸

شکل ۳- تعیین بهترین مدل آشفتگی

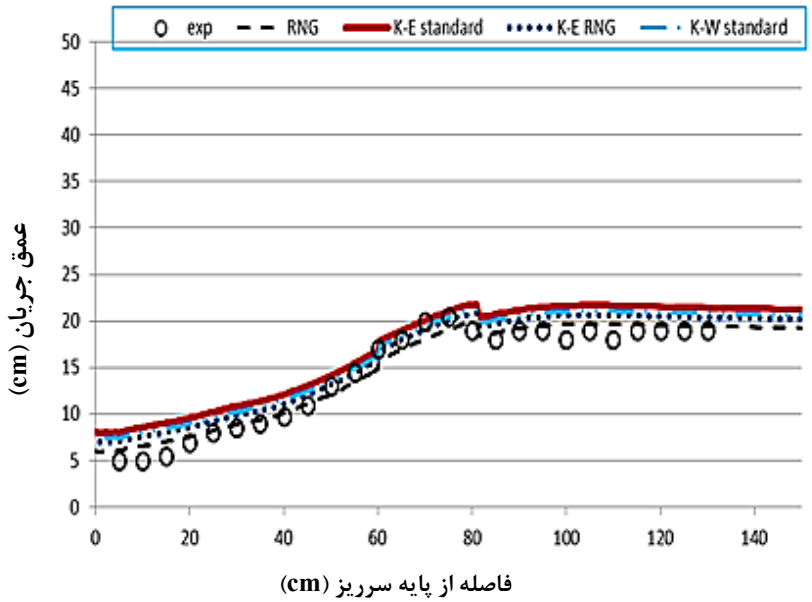


Fig 3. Determining the best turbulence model

۲-۴- بررسی صحت عملکرد مدل عددی

شکل (٤) به مقایسه پروفیل‌های سطح آب برای زبری‌ها با فواصل مختلف (S=4, 8, 12cm مطابق شکل ۱) در دو مدل عددی و آزمایشگاهی می‌پردازد. با اندازه‌گیری میزان مربعات خطا (RMSE) مشخص می‌گردد که حداکثر میزان خطا برابر با ۰/۰۲ درصد است که نشان‌دهنده عملکرد بسیار مناسب مدل عددی است. در مدل عددی ارتفاع فاز هوا، ۰/۷۵ برابر با ارتفاع سطح آب در نظر گرفته شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی تأثیر زبری بر پرش هیدرولیکی

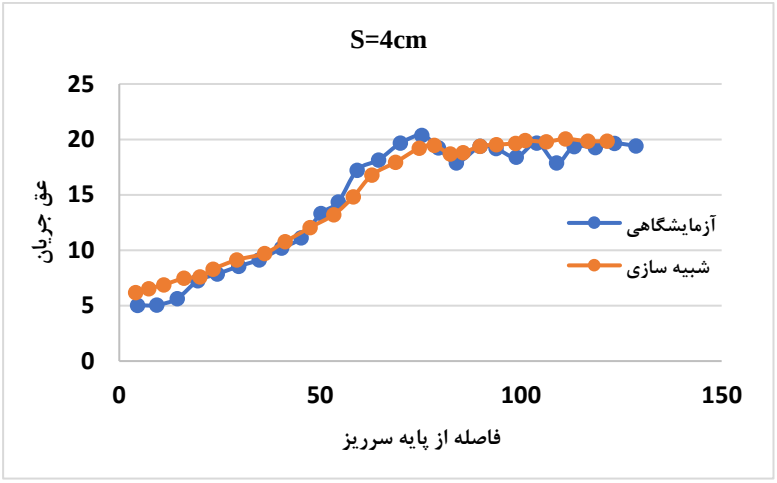
یکی از راه‌های کنترل پرش هیدرولیکی ایجاد زبری در کف کانال است، ایجاد زبری باعث تغییر خصوصیات پرش هیدرولیکی نسبت به پرش هیدرولیکی کلاسیک می‌گردد. در این بخش پرش هیدرولیکی بر روی زبری مثلثی شکل و پرش هیدرولیکی کلاسیک با هم مقایسه می‌گردند. همانطور که ادر شکل (۵) مشخص است در حالتی که زبری در کف کانال وجود دارد. پرش هیدرولیکی به جداره فلوم نزدیک می‌گردد که این نشان‌دهنده تأثیر زبری بر استهلاک انرژی جریان است. به علت وجود زبری ارتفاع آب در فاصله کمتری از حالت زیر بحرانی به حالت فوق بحرانی می‌رسد و پرش هیدرولیکی سریع‌تر اتفاق می‌افتد که این امر نشان دهنده تأثیر زبری بر انرژی مستهلک شده است. ایجاد پرش هیدرولیکی باعث استهلاک انرژی تولید شده توسط جریان می‌گردد؛ این موضوع باعث کاهش قدرت آبشستگی جریان خواهد شد. در حالت وجود زبری طول پرش هیدرولیکی کاهش‌یافته و عمق ثانویه نسبی پرش هیدرولیکی نسبت به حالت پرش هیدرولیکی کلاسیک کاهش پیدا می‌کند. بنابراین با استفاده از زبری در کف کانال طول پرش و عمق ثانویه نسبی پرش کمتر خواهد شد.

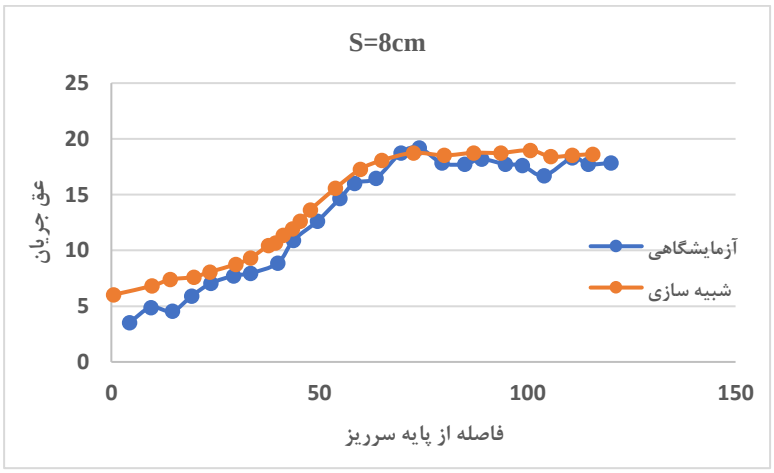
۳-۲- مقایسه الگوی جریان و کانتور فشار

در شکل(٦) خطوط جریان و کانتور فشار برای حالتی که بستر صاف بوده یا دارای زبری‌های مثلثی است با یکدیگر مقایسه گردیده است. همانطور که مشخص است در حالتی که کف کانال صاف است، خطوط جریان به صورت مستقیم حرکت می‌کنند و در کف

کانال هیچ انحرافی در خطوط جریان وجود ندارد؛ در حالی که خطوط جریان در بستر زبر دارای برگشت بوده و جریان حالت برگشتی به خود گرفته است که علت این امر برگشت جریان به ناحیه کم فشار پشت زبری است. این ناحیه کم فشار باعث کاهش سرعت جریان نسبت به حالت پرش هیدرولیکی کلاسیک خواهد شد. جریان همواره از ناحیه پرفشار به سمت ناحیه کم‌فشار حرکت می‌کند؛ به علت برخورد جریان به زبری در پشت زبری یک ناحیه با سرعت کم و فشار کم ایجاد می‌شود که در خطوط کانتور مشخص است.

شکل ٤- مقایسه پروفیل سطح جریان در مدل عددی با نتایج ازمایشگاهی در فواصل مختلف زبری





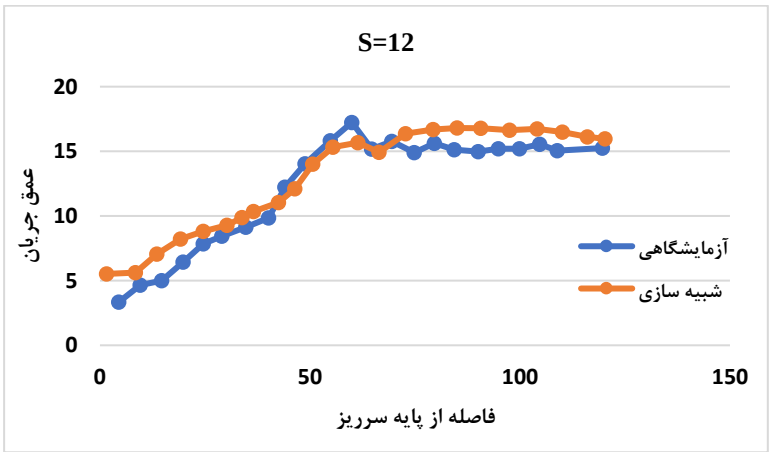
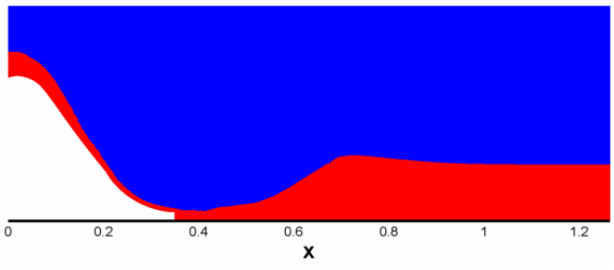
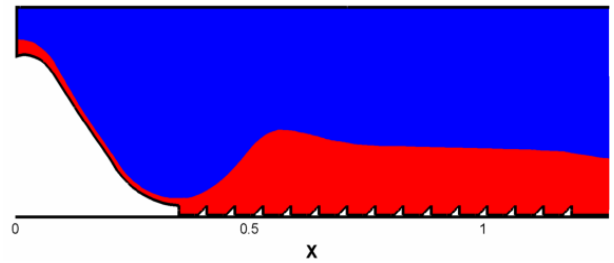


Fig 4. Comparison of flow surface profile in numerical model with experimental results at different roughness intervals

شکل ۵- مقایسه پرش هیدرولکی در بستر صاف و زبر



الف) پرش هیدرولیکی در بستر صاف



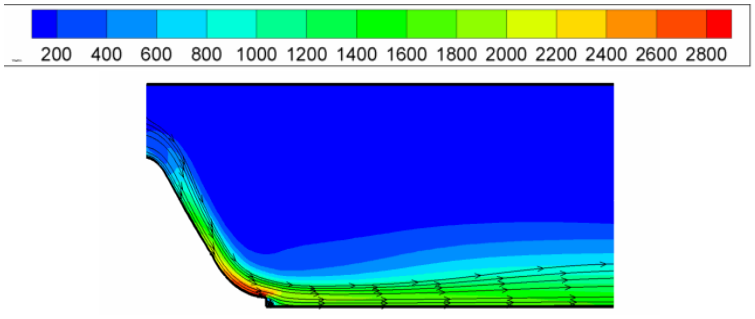
ب) پرش هیدرولیکی در بستر زبر

Fig 5. Comparison of hydraulic jump on smooth and rough bed

۳-۳- بررسی تغییر اثر عدد فرود بر خصوصیات فیزیکی جریان در بستر زبر

همانطور که در شکل‌های (۷) حاصل از شبیه‌سازی مشاهده می‌شود با افزایش عدد فرود (Fr) طول پرش هیدرولیکی کاهش می‌یابد و همچنین نسبت عمق ثانویه به عمق اولیه نیز دارای افزایش خواهد بود و دلیل این امر شدت گرفتن جریان و افزایش سرعت جریان است. این نتایج در شکل (۸) به صورت نموداری ارائه شده است. با افزایش عدد فرود عمق نسبی دچار افزایش می‌شود و تا عدد فرود ۱۱ ادامه خواهد داشت. پس از آن کاهش بسیار ناچیز در نتایج مشاهده شده است. نتایج آزمایشگاهی مورد نظر همان نتایج برای صحت سنجی مدل(Bahrevar, 2013) بوده است و علت تفاوت در اعداد فرود بالا محدودیت‌های آزمایشگاهی در بررسی پارامترها در اعداد فرود بالا به علت مشکلات مدل آزمایشگاه، فلوم و میزان دبی‌ها بوده است.

شکل٦- مقایسه کانتور فشار (برحسب پاسکال) و خط جریان در حالت وجود زبری و بدون زبری



الف) بستر صاف

ب) بستر دارای زبری

Fig 6. Comparison of pressure contour (in Pascals) and flow line in the presence and absence of roughness

شکل ۷- پروفیل طولی پرش هیدرولیکی با بستر زبر با عددهای فرود (Fr) مختلف

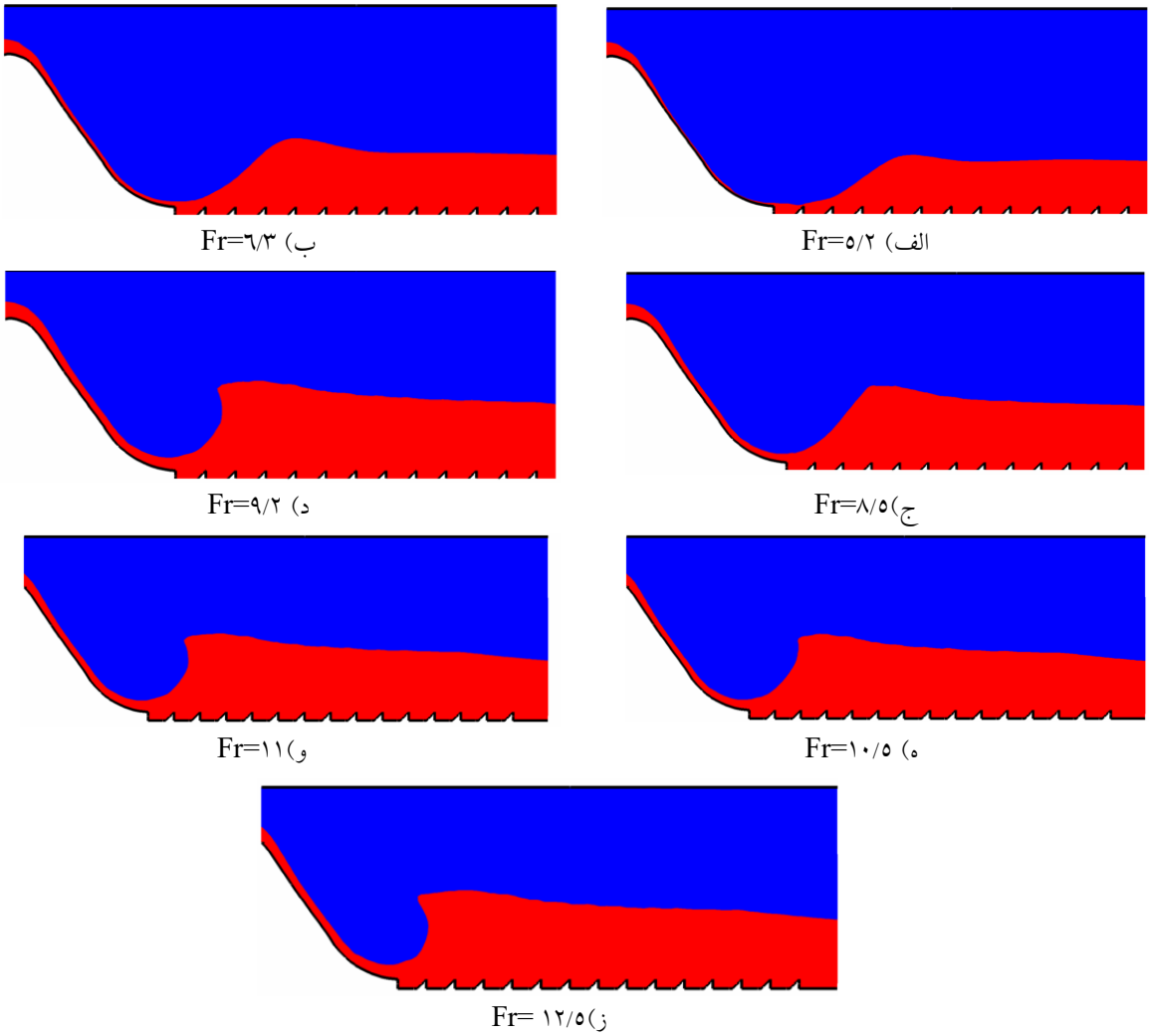


Fig 7. Longitudinal profile of rough bed hydraulic jump with different Froude numbers (Fr)

شکل ۸- تغییرات نسبی عمق به عدد فرود

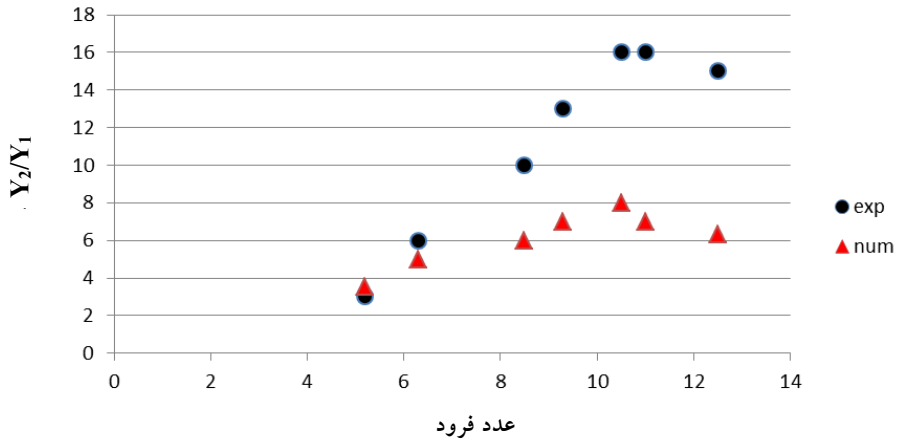
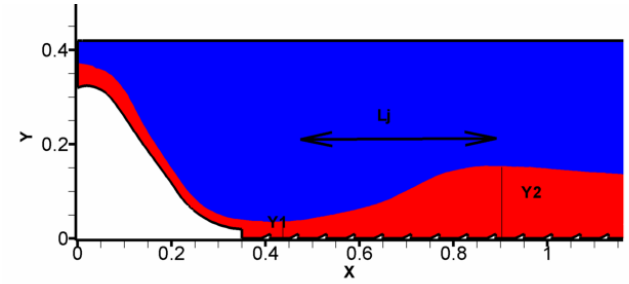


Fig 8. Relative changes in depth to Froude number

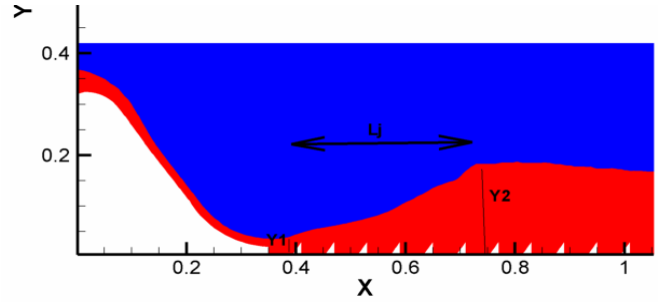
۳-۴- بررسی اثر تغییر ارتفاع زبری بر روی خصوصیات پرش هیدرولیکی

در این مرحله در کف کانال، زبری با چهار ارتفاع مختلف (۱، ۲، ۳، ٤ سانتی‌متر) شبیه‌سازی گردیده است. همانطور که مشخص است و در شکل (۹) نشان داده شده است، با افزایش ارتفاع زبری کف کانال طول پرش کاهش یافته است. همچنین نسبت عمق ثانویه (Y_2) به اولیه (Y_1)، با افزایش ارتفاع کاهش پیدا می‌کند که دلیل آن کوتاه شدن طول پرش هیدرولیکی (L_j) و نزدیک شدن ارتفاع عمق اولیه و ثانویه هم بر اثر برخورد جریان با زبری است (اشکال ۱۰ و ۱۱).

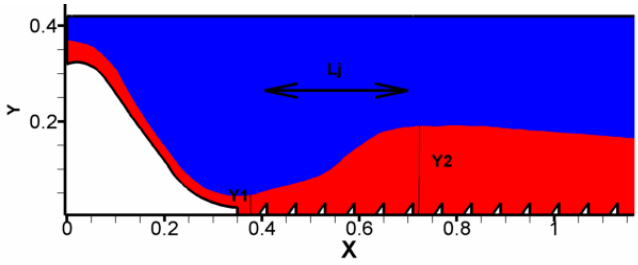
شکل ۹- مقایسه پروفیل طولی پرش هیدرولیکی با ارتفاع زبری مختلف



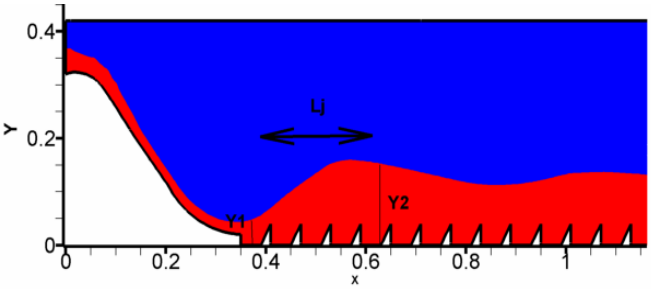
الف) ارتفاع زبری ۱ سانتی‌متر



ب) ارتفاع زبری ۲ سانتی‌متر



ج) ارتفاع زبری ۳ سانتی‌متر



د) ارتفاع زبری ٤ سانتی‌متر

Fig 9. Comparison of longitudinal profiles of hydraulic jumps with different roughness heights

شکل ۱۰- بررسی تغییرات عمق نسبی به ارتفاع زبری

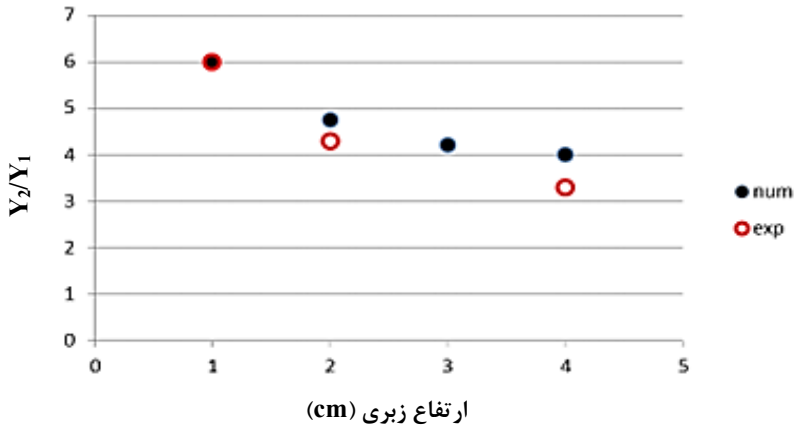


Fig 10. Investigating changes in relative depth to roughness height

شکل ۱۱- تغییرات نسبی طول پرش هیدرولیکی به تغییرات ارتفاع زبری

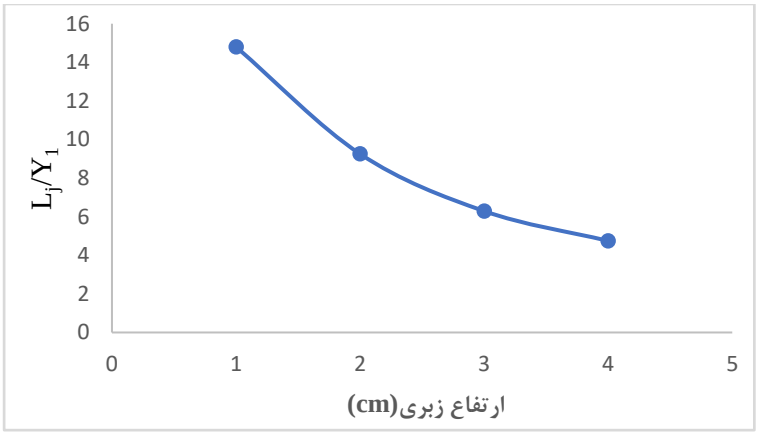


Fig 11. Relative changes in hydraulic jump length to changes in roughness height

۳-۵- خطوط جریان طولی

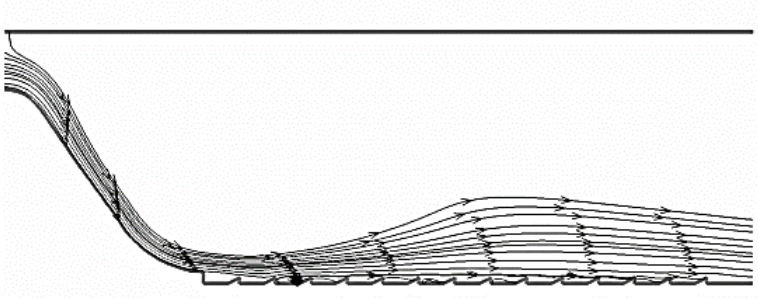
با برخورد جریان به زبری موجود در کف کانال جریان در پشت زبری حالت برگشتی پیدا کرده و یک گردابه در پشت آن به وجود می‌آید که می‌تواند در واقعیت باعث ایجاد چاله آبشستگی در اطراف شود. با افزایش ارتفاع زبری ابعاد این گردابه‌ها دارای افزایش است که به خوبی مشخص است. این گردابه‌ها نواحی با حداقل فشار هستند که باعث ایجاد پدیده کاویتاسیون در پشت زبری‌ها خواهند گردید. هر چقدر این گردابه‌ها در کف کانال بزرگ‌تر باشند عاملی برای استهلاک بیشتر انرژی خواهند بود و طول پرش را کوتاه‌تر خواهند کرد و بنابراین عاملی برای اقتصادی‌تر شدن حوضچه خواهند بود. در حالتی که ارتفاع زبری یک سانتی‌متر است انحراف جریان زیاد نبوده و خطوط جریان شبیه به حالت پرش هیدرولیکی کلاسیک می‌شود؛ اما با افزایش ارتفاع زبری میزان انحراف جریان در کف کانال بیشتر می‌گردد. علت تفاوت خطوط جریان برای زبری ۳ و ٤ سانتیمتر میزان بحرانی بودن ارتفاع ٤ سانتیمتری است که باعث ایجاد تغییرات گسترده شده است. در واقع با توجه به دبی جریان در نظر گرفته شده ارتفاع ٤سانتی‌متری یک مانع قابل توجه بوده و تغییرات زیادی در خطوط جریان را ایجاد کرده است. (شکل ۱۲).

۳-۶- بررسی تأثیر فواصل مختلف زبری بر روی خصوصیات فیزیکی پرش هیدرولیکی

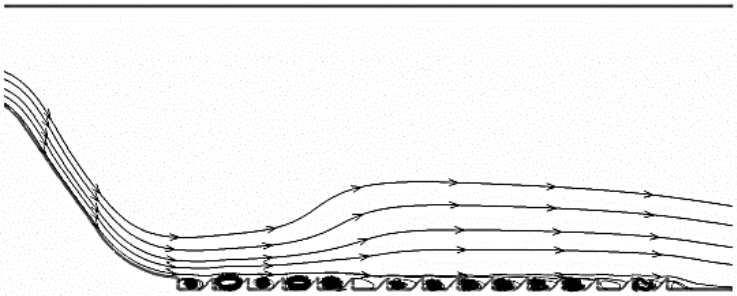
در این بخش به جایگذاری زبری‌های مختلف در فواصل ۲، ٤، ۸ و ۱۲ سانتی‌متری از هم پرداخته شده است و تأثیر آن‌ها بر روی خصوصیات فیزیکی پرش هیدرولیکی تعیین گردید. با نزدیک شدن زبری‌ها به هم دیگر طول نسبی پرش هیدرولیکی و عمق ثانویه

کاهش می‌یابد. کاهش عمق ثانویه بسیار نامحسوس است و بنابراین مشخص می‌شود که تغییر فاصله زبری‌ها تأثیر چندانی بر ارتفاع ثانویه پرش ندارد و پارامتر تأثیرگذاری بر روی این خصوصیت فیزیکی جریان نیست. به دلیل نزدیک بودن زبری‌ها به همدیگر و فشرده بودن آن‌ها آب سریعا از حالت فوق بحرانی به حالت زیر بحرانی تغییر وضعیت داده و پرش هیدرولیکی در طول کمتری تشکیل می‌گردد و علت این امر آشفته شدن بیشتر جریان در این حالات نسبت به حالات دیگر است. این امر نشان دهنده این موضوع است که با نزدیک شدن زبری‌ها به یکدیگر استهلاک انرژی جنبشی زودتر اتفاق می‌افتد که باعث طراحی اقتصادی حوضچه آرامش می‌گردد. بنابراین با توجه به این قسمت و نتایج حاصل می‌توان نتیجه گرفت که بهترین حالت و فاصله زبری‌ها فاصله ۲ سانتی‌متری آن‌ها از یکدیگر است. این موضوع به خوبی در شکل (۱۳) قابل مشاهده است.

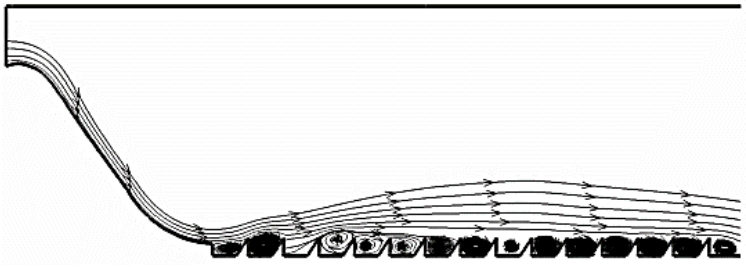
شکل ۱۲- خطوط کانتور در بستر با زبری‌های مختلف



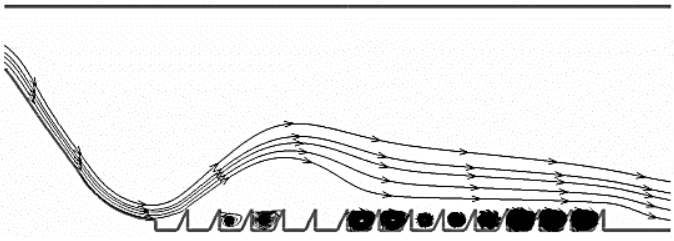
الف) ارتفاع زبری ۱ سانتی‌متر



ب) ارتفاع زبری ۲ سانتی‌متر



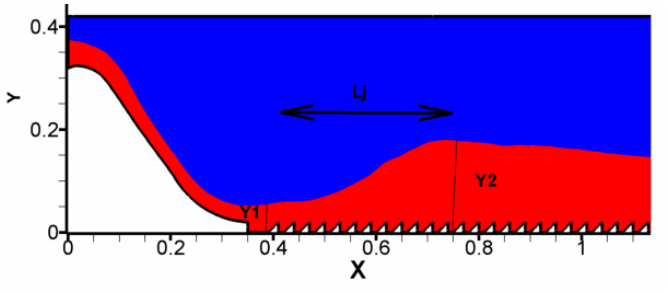
ج) ارتفاع زبری ۳ سانتی‌متر



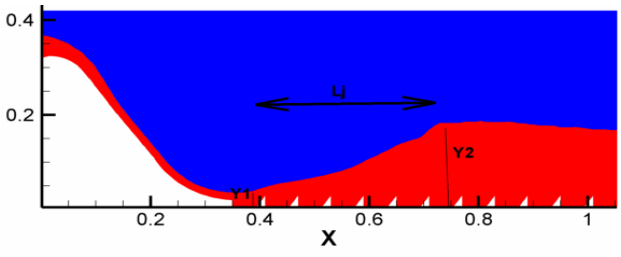
د) ارتفاع زبری ٤ سانتی‌متر

Fig 12. Contour lines on the bed with different roughnesses

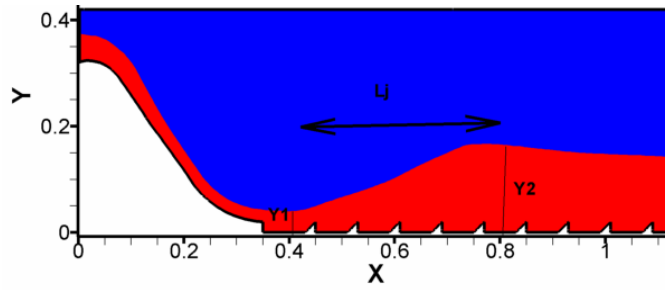
شکل ۱۳- مقایسه خصوصیات پرش



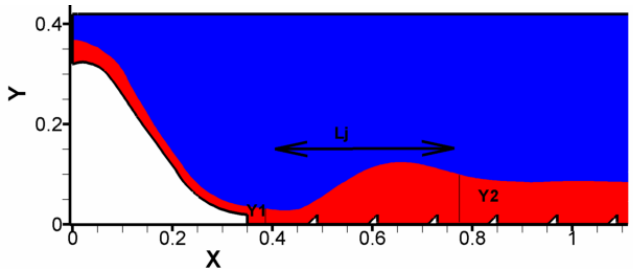
الف) فاصله ۲ سانتی‌متر



ب) فاصله ٤ سانتی‌متر



ج) فاصله ۸ سانتی‌متر



د) فاصله ۱۲ سانتی‌متر

Fig 13. Comparison of jump characteristics

در روی جداره فلوم به علت زیاد بودن سرعت جریان آب تنش برشی دارای حداکثر مقدار خود است؛ اما با برخورد جریان به زبری‌ها سرعت جریان به شدت کاهش یافته و تنش برشی کف کانال نیز دارای کاهش خواهد بود. نکته قابل توجه افزایش تنش برشی در فاصله بعد از زبری‌ها است. هدف اصلی از کاربرد زبری افزایش تنش برشی کف بوده تا این تنش برشی انرژی پرش هیدرولیکی را مستهلک کرده و طول آن را کاهش دهد. شکل (١٤) مقدار تنش برشی میانگین در فاصله انتهای فلوم تا انتهای زبری‌ها را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است با کاهش فاصله، میزان تنش برشی کف کانال افزایش پیدا می‌کند که این امر نشان می‌دهد در این حالت انرژی پرش هیدرولیکی زودتر مستهلک گردیده و کارایی این فاصله از حالات دیگر بیشتر است. با عبور جریان از زبری‌ها سرعت جریان دارای کاهش است؛ بنابراین ناحیه با حداقل تنش برشی پس از زبری‌ها به وجود می‌آید (شکل ١٤).

شکل ١٤- تغییرات میانگین تنش برشی بستر

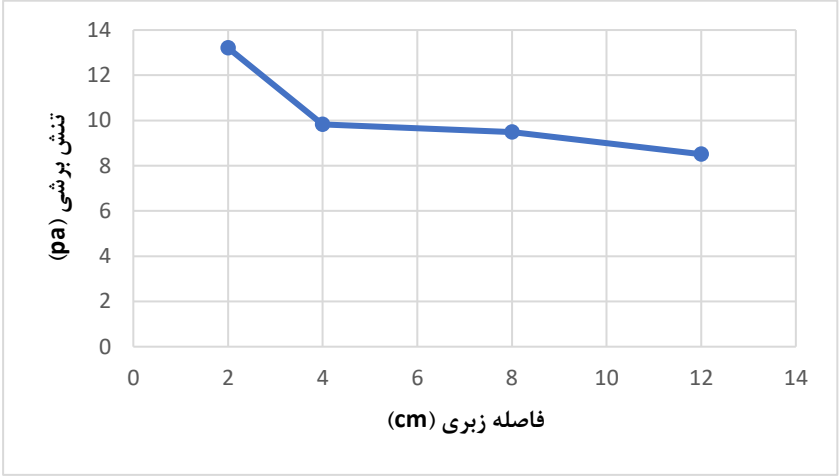


Fig 14. Changes in average bed shear stress

۴- نتیجه‌گیری

بررسی تأثیر زبری بر روی خصوصیات پرش هیدرولیکی نشان داده است که استفاده از زبری در کف کانال می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد هیدرولیکی ایفا کند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع زبری، طول پرش هیدرولیکی و عمق ثانویه نسبی کاهش می‌یابد. این پدیده به دلیل برخورد جریان با زبری و ایجاد تغییر در الگوی جریان در کف کانال است. زبری‌ها موجب می‌شوند که عمق اولیه و ثانویه به هم نزدیک‌تر شده و در نتیجه پرش کوتاه‌تر شود. همچنین، مشاهده شده است که با افزایش ارتفاع زبری، میزان انحراف جریان در کف کانال نیز بیشتر می‌شود. این انحراف باعث می‌شود که انرژی جریان به صورت مؤثرتری در کانال پخش شده و به کاهش عمق ثانویه و طول پرش کمک کند. این موضوع خصوصاً در کانال‌های با جریان سریع و پرش‌های بزرگ اهمیت دارد، چرا که می‌تواند به کاهش نیروهای مخرب و بهبود استحکام سازه‌های هیدرولیکی کمک کند. در نهایت، مطالعات مختلف نشان داده‌اند که فاصله بهینه زبری‌ها از یکدیگر در حدود ۲ سانتی‌متر است. این فاصله باعث می‌شود که زبری‌ها بتوانند به طور مؤثری جریان را منحرف کرده و اثرات مطلوبی روی کاهش طول و عمق ثانویه پرش داشته باشند. در فاصله‌های بزرگ‌تر یا کوچک‌تر، این تأثیر کمتر شده و نمی‌تواند به صورت مطلوبی انرژی جریان را کنترل کند. با این توضیحات، می‌توان نتیجه گرفت که زبری‌ها، علاوه بر کنترل طول و عمق پرش، نقش مهمی در پایداری جریان و کاهش انرژی مخرب در کانال‌های هیدرولیکی دارند و استفاده مناسب از آن‌ها می‌تواند به بهبود طراحی سازه‌های آبی کمک کند.

۵- تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

۶- منابع

Ahmadi, M. H, Aghamajidi, R., & Saeedifar, G. (2024). Numerical investigation of flow hydraulics in the side weir of a sharp edge with variable crown height. *Technical Strategies in Water Systems*, 1(2), 23-35.

Arvanaghi, H., & Nasehi Oskuei, N. (2013). Sharp-crested weir discharge coefficient. *Journal Civil Engineering. Urban*, 3(3), 87-91.

Bahrevar, V. (2013). Laboratory investigation of the effect of width and height of continuous triangular roughness on hydraulic jump coordinates in horizontal stilling basin, Master's thesis, Yasouj Azad University, Iran.

Date, V., Dey, T., & Joshi, S. (2017). Numerical modeling of flow over an ogee crested spillway under radial gate: VOF and MMF model. , 6(5), 195-203.

Esmaeili Varak, M., & Safarrazavi Zadeh, M. (2013). Study of hydraulic features of flow over labyrinth weir with semi-circular plan form. *Water and Soil*, 27(1), 224-234. http:\\doi.org.\10.22067/jsw.v0i0.22234

Haktanir, T., & Citakoglu, N. (2016) An efficient algorithm for ogee spillway discharge with partially- opened radial gates by the method of design of small dams and comparison of current and previous methods. *Hydrological Sciences Journal*, 58(5), 1013–1031.

Kumar, C., & Sreeja, P. (2012). Evaluation of selected equations for predicting scour at downstream of ski-jump spillway using laboratory and field data. *Engineering Geology*, 129, 98-103.

Morales V., Tokyay T.E., & Garcia M. (2012). Numerical modeling of ogee crest spillway and Tainter gate structure of a diversion dam on canar river. XIX *International Conference on Water Resources*. University of Illinois at Urbana-Champaign, Ecuador, USA. 17-22

Swamee, P.K., Shekhar, C.H. & Talib, M. (2011). Discharge characteristics of skew weirs. *Journal of Hydraulic Research*, 49:6, 817-820

Tullis, B.P. & Neilson, J. (2008). Performance of submerged ogee-crest weir head-discharge relationships, *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE, 134(4), 486-491.

Zhang, C., Li, X., Zhou, R., Engel, B. A., & Wang, Y. (2024). Hydraulic characteristics and flow measurement performance of portable primary and subsidiary fish-shaped flumes in U-shaped channels. *Flow Measurement and Instrumentation*, 96, 102539.

Technical Strategies in Water Systems
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
ISSN (Online): 2981-1449
Autumn 2024: Vol 2, Issue 3, 233-257
https://doi.org/10.30486/TSWS.2025.1193466

Research Article

Identification of behavioral components of water literacy from the perspective of institutional stakeholders and key informants in the agricultural sector: A case study of the Agricultural Jihad organization in Qarchak county, Iran

Mohammad Amotghi1[1], Sahar Faeghi[2]*

1 Master's Student in Public Administration, Deptment of Management, Faculty of Islamic governance, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

2 Department of Management, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

Corresponding Author email: s.faeghi@khuisf.ac.ir

© The Author(s) 2025

Received: 15 Oct 2024 Accepted: 29 Dec 2024 Published: 20 Jan 2025

Abstract

Water literacy is an emerging concept in water demand management research and a valuable tool for improving public awareness about water-related issues. It provides a framework for assessing society's knowledge, attitude, and behaviors toward water. This study aimed to redefine and identify the components of water literacy from the perspectives of institutional stakeholders and key informants within the Agricultural Jihad sector of Qarchak County. Using a qualitative approach and thematic analysis, data were collected through semi-structured interviews with 17 key informants selected via purposive homogeneous sampling. These participants, who were knowledgeable about farmers' water literacy and experienced in water management practices, provided insights that were analyzed to identify key themes. The findings revealed 10 overarching categories of water literacy components: optimizing water resources in agriculture (e.g., adopting modern irrigation technologies); sustainable management of underground water resources (e.g., groundwater conservation); water storage and management (e.g., improving water storage infrastructure); utilizing low-water greenhouse cultivation technologies (e.g., adapting greenhouse cultivation types); equitable access to water resources (e.g., fair water distribution); enhancing local participation (e.g., involving local communities in water management); sustainable utilization of water resources (e.g., recycling and reducing waste); conserving freshwater resources (e.g., minimizing freshwater consumption in agricultural practices); prioritizing wastewater treatment for reuse (e.g., emphasizing water recycling); and reducing water pollution (e.g., decreasing chemical pesticide use). The results indicate that by applying these dimensions and components of behavioral water literacy, tailored to the capabilities, technologies, infrastructures, and resources available in Qarchak County's agricultural sector, it is possible to effectively modify and improve farmers' practices and actions.

Keywords: Agricultural Jihad, Behavioral water literacy components, Farmers, Key institutional stakeholders, Qarchak county, Thematic analysis

مجله راهبردهای فنی در سامانه‌های آبی
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
شاپا الکترونیکی: ۱۴۴۹-۲۹۸۱
پاییز ۱۴۰۳، دوره دو، شماره ۳، ۲۵۷-۲۳۳
https://doi.org/10.30486/TSWS.2025.1193466

مقاله پژوهشی

شناسایی مؤلفه‌های رفتاریِ سواد آبی از منظر ذی‌نفعان نهادی و مطلعین کلیدی حوزهٔ آب در بخش کشاورزی مورد مطالعه: جهاد کشاورزی شهرستان قرچک، ایران

محمد عموتقی[۱]، سحر فائقی*[۲]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت دولتی، گروه مدیریت، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.
۲. گروه مدیریت، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

ایمیل نویسنده مسئول: s.faeghi@khuisf.ac.ir
© The Author(s) 2025

دریافت:۱۴۰۳/۰۷/۲۴ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۹ چاپ: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

چکیده

سواد آبی مفهومی جدید در پژوهش‌های مرتبط با مدیریت تقاضای آب و یکی از راهکارهای ارتقای آگاهی‌های عمومی در زمینه مسائل مرتبط با آب است و قابلیت این را دارد که برآوردی از دانش، نگرش و رفتار آبی جامعه ارائه دهد. پژوهش حاضر با هدف شناسایی مؤلفه‌های سواد آبی رفتاریِ جامعه کشاورزان قرچک از منظر ذی‌نفعان و مطلعین کلیدی بخش جهاد کشاورزی این شهرستان انجام شده است. رویکرد این مطالعه کیفی از نوع تحلیل مضمون و ابزار جمع‌آوری اطلاعات، مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته است که با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند از نوع متجانس با ۱۷ نفر از مشارکت‌کنندگانی که نسبت به سواد آبی کشاورزان شناخت داشته و تجربه مواجهه با اقدامات صورت گرفته از جانب کشاورزان را داشته‌اند، انجام پذیرفت. اطلاعات به دست آمده در این مطالعه با روش تحلیل مضمون تحلیل شدند. یافته‌های حاصل از تحلیل اطلاعات به ۱۰ مقولهٔ فراگیر و سازمان‌دهنده‌های مرتبط با آن‌ها شامل ۱- بهینه‌سازی منابع آب و مدیریت منابع آب پایدار زیرزمینی در بخش کشاورزی ؛ ۲- ذخیره و مدیریت منابع آب؛ ۳- استفاده از تکنولوژی‌های کشت گلخانه‌ای کم‌آب؛ ۴- عدالت در دسترسی به منابع آب؛ ۵- اقدم کشاورزان به تقویت مشارکت‌های محلی؛ ۶- بهره‌وری پایدار از منابع آبی، ۷-کاهش ضایعات به‌منظور استفاده بهینه از منابع آبی؛ ۸- حفاظت از منابع آب شیرین؛ ۹- اولویت قراردادن تصفیه پساب‌ها برای استفاده مجدد و ۱۰-کاهش آلودگی منابع آب، دسته‌بندی شدند. نتایج نشان‌دهندهٔ آن است که با به خدمت گرفتن ابعاد و مؤلفه‌های واکاوی شده رفتاریِ سواد آبی جامعه کشاورزان شهرستان قرچک متناسب با قابلیت‌ها، فناوری‌ها، زیرساخت‌ها و ظرفیت‌های مناسب موجود در بخش کشاورزی، امکان اصلاح و بهبود فعالیت‌ها و اقدامات‌شان امکان‌پذیر است.

واژه‌های کلیدی: جهاد کشاورزی، مؤلفه‌های رفتاریِ سواد آبی، کشاورزان، ذی‌نفعان نهادی کلیدی، شهرستان قرچک، تحلیل مضمون

۱- مقدمه

۱-۱- بیان مساله

ادامۀ حیات انسان و بقای وی به آب وابسته است؛ بدین معنا که هیچ انسانی بدون آب نمی‌تواند ادامۀ حیات دهد. امروزه آب‌شناسان یقین دارند که نحوۀ استفاده از منابع آب دنیا و چگونگی مصرف بهینه و مشترک از منابع آب شیرین موجود در جهان هم محدود و آسیب‌پذیر و هم عامل اصلی توسعه و پایداری است، اما همین امر می‌تواند زمینه‌هایی فراهم کند که توسعه‌نیافتگی را هم بازتولید و هم تشدید کند (Daneshmehr et al., 2019). بحران آب حتی می‌تواند تعیین‌کنندۀ وضعیت جنگ یا صلح در عصر حاضر باشد (Cheshmi & Ahmadi Seyedabadi, 2016) و در این میان، خاورمیانه یکی از مناطق بحرانی جهان محسوب می‌شود؛ بنابراین ارتباط بحران آب با توسعه‌نیافتگی، ارتباطی دوسویه است که مستلزم توجه به سیاست‌ها و برنامه‌های توسعه‌ای است (Daneshmehr et al., 2019).

ایران ازجمله کشورهایی است که بیشترین اتلاف انرژی و آب در آن صورت می‌گیرد (Asadollahzadeh Mousavi, 2011; Afshani & Shiri-Mohammadbadi, 2020). در واقع ایران از دیرباز با مشکل کم‌آبی روبه‌رو بوده است و به دلایلی چون خشک‌سالی‌های پیاپی، کاهش نزولات آسمانی، محدود شدن ظرفیت منابع آبی، افزایش جمعیت و مصرف نادرست آب باتوجه به رفتار مصرفی اشتباه با چالش‌های متعددی درزمینۀ تأمین و توزیع آب مواجه شده است (Babaee & Alijani, 2013)، چنانچه از کل آب مصرفی در سطح ایران، هرساله به‌طور میانگین حدود ۹۰ درصد از آن در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (Afshani & Shiri-Mohammadbadi, 2020).

مطالعات اخیر نشان داده است که استفاده ناپایدار از ظرفیت منابع آبی، نتیجه درک ضعیف از سیستم‌های آبی است (Defries & Nagendra, 2017). لذا دانش یک عامل مهم در مدیریت و استفاده پایدار از منابع آب است، چنانچه اعتقاد بر این است که مدیرانی که مشتریان خود را با دانش و اطلاعات درگیر می‌کنند، شفاف‌تر و قابل اعتمادترند (Cooper & Cockerill, 2015). در واقع پایداری آب باید بر اساس دانش و درک روشن از منابع آب و روابطاش با انسان‌ها و سیستم‌های جهانی در نظر گرفته شود؛ علاوه بر این، نیاز به چنین دانشی صرفاً محدود به مدیران، محققان و تصمیم‌گیران حوزه آب نیست، بلکه شامل هر ذینفعی نیز می‌شود؛ مدیریت پایدار آب نیز از این ایده مستثنی نیست و بنابراین نیاز به درک و مشارکت گسترده توده‌ها دارد. در نتیجه دانش آب از وجوه چندگانه قابل بررسی است و نه تنها از علم غربی بلکه از هیدرولوژی‌های تاریخی، سنت‌های فرهنگی و دانش معنوی نیز سرچشمه می‌گیرد (Hawke, 2012). افزون بر این، منابع آب به طور ذاتی با فرآیندهای اقتصادی و اجتماعی و مکانیسم‌هایشان مرتبط‌اند؛ بنابراین پایداری آب باید همه جنبه‌های متنوع دانش آب و ارتباطات‌اش در درون و بین فرهنگ‌ها را به رسمیت بشناسد، چنانچه بتوانند به فرصت‌هایی جهت کمک به عدالت اجتماعی پیرامون منابع آب منجر شود. بنابراین، هدف مهم و بین‌رشته‌ای در حوزه دانش آب در میان تمام مصرف‌کنندگان منابع آبی، دستیابی به پایداری آب و برابری اجتماعی در بهره‌مندی از این منبع مهم و حیات‌ساز است. (Dean et al., 2016) از رویکرد روان‌شناسی تربیتی بهره جسته‌اند تا بیان کنند که تلاش برای خلق یک شهروند حساس و متعهد به منبع آب می‌بایست دربرگیرنده حوزه‌های شناختی، عاطفی، فرهنگی و رفتاری وی شود. این رویکرد منعکس‌کننده اهداف یادگیری تعیین شده توسط آموزش و پرورش سازمان ملل متحد برای اهداف توسعه پایدار آب است (Rieckmann et al., 2017). از وجوه شناخت روزافزون اهمیت دانش آب، زمینه "سواد آبی" پدیدار شده است. پیدایی این مفهوم، نقطه اوج دانش، نگرش‌ها و رفتارهای مرتبط با آب است که اهمیت و منحصر به فرد بودن آن را از سایر عوامل رایج‌تر مانند سواد زیست محیطی متمایز می‌کند، استفاده از اصطلاح «سواد آب» منعکس‌کننده رشد مسائل و درگیری‌های آب در سراسر جهان است. در بین گروه‌های مختلف توافق نظری در مورد چگونگی تعریف، اعمال و ارزیابی سواد آبی به عنوان یک مفهوم مشخص وجود ندارد. در معنای کلی سواد آبی را به عنوان توانایی احساس آشنایی با حوزه آب، مشارکت فعال در مدیریت منابع آب و مواجهه با مسئله آب به عنوان مسئله، تعریف کرده‌اند. به بیان دیگر سواد آبی به معنای

درک نحوه تحویل و تصفیه آبی است که روزانه استفاده می‌کنیم، همچنین آگاهی از کیفیت و ایمنی آن، و میزان آبی که روزانه مصرف می‌کنیم و دقیقاً برای چه کاری از آن استفاده می‌کنیم. مفهوم سواد آبی، چند سالی است که به محافل آکادمیک و علمی جهان وارد شده است و در راستای آن شاهد برگزاری نشست‌های ویژه در خصوص ضرورت داشتن این سواد، همچنین تدوین مقالات و نگارش یا ترجمه کتاب‌هایی با کیفیت‌های متفاوت و خصوصاً پایان‌نامه‌هایی با بررسی باز تعریف سواد آبی و میزان این سواد در اقشار مختلف و ... هستیم، با این حال در این زمینه در ایران با تأخیر روبه‌رو هستیم چنانچه در خصوص تعریف بومی این سواد در جغرافیای فرهنگی ایران، آموزش عملی آن و رویکردهای متنوع آموزش این سواد و به تبع آن، بررسی و سنجش تأثیرات آن بر ذینفعان و بهره‌برداران به‌عنوان جامعه هدف این آموزش، کار جدی مشاهده نمی‌شود و اکثریت قریب به اتفاق دوره‌های سوادآبی برگزار شده، با روش‌های غیرکارگاهی، صرفاً اطلاعاتی در خصوص محدودیت منابع آبی و مشکلات مدیریتی آن به مخاطب گزارش می‌دهند؛ در واقع با رویکردهای منسوخ آموزش چون رویکرد حمایت‌گرا و پندگونه، سعی در آگاه‌سازی مخاطب دارند. نکته قابل تأمل دیگر راجع به سواد آبی آن است که با وجود پیشرفت‌های نسبتاً قابل توجه در این حوزه در جهان، پژوهشگران معتقدند که نتایج شرکت در برنامه‌های آموزش سواد آبی اغلب به طور کامل تعریف و حتی اندازه‌گیری نشده‌اند و فقط مفهومی کلی از آن وجود دارد، چنین تعمیم‌هایی به عنوان توسعه سواد آبی کافی نخواهد بود، بنابراین و با توجه به اهمیت موضوع طرفداران سواد آبی باید بازتعاریف بومی متناسب با جغرافیای فرهنگی جوامع‌شان را ارائه و زمینه تدوین ابزاری را برای اندازه‌گیری دقیق نتایج گزارش شده در اختیار داشته باشند تا نشان دهد که مهارت‌های مورد نظر در حال توسعه و پیشرفت است. شهرستان قرچک همجوار با پایتخت تهران از نظر جغرافیایی، اقتصادی و اجتماعی از جایگاه مهم و قابل توجهی برخوردار است، قرچک که تا پیش از سال ۱۳۹۱ به‌عنوان زیرمجموعه ورامین محسوب می‌شد در دولت دهم و بر اساس مصوبه هیئت دولت به شهرستان ارتقا پیدا کرد و اکنون به‌عنوان یکی از جوان‌ترین شهرستان‌های کشور به حساب می‌آید، از دیرباز تاکنون شغل بسیاری از ساکنان شهرستان قرچک کشاورزی بوده و فعالان بخش کشاورزی در این شهرستان در رونق و توسعه اقتصادی قرچک نقش مهم و غیرقابل انکاری ایفا کرده‌اند. گرچه شهرستان قرچک با زیر کشت بردن ۲۷۰۰ هکتار از اراضی قابل کشت خود برای تولید گندم و جو جایگاه ویژه‌ای در استان تهران دارد اما رونق بخشیدن به این محصولات نیازمند توجه بیشتر است، چراکه یکی از مهم‌ترین موانع پیش‌روی کشاورزی شهرستان قرچک، کمبود منابع آبی است به‌طوری که بسیاری از محصولات کشت شده در این منطقه نیازمند آب فراوان است اما منابع آب کافی به زمین‌های کشاورزی نمی‌رسد (Mehr News Agency, 2015).

به فراخور خلاء پژوهشی و محدود بودن داده‌های تجربی پشتیبان مرتبط که به‌نوعی نشان‌دهندهٔ اهمیت تجربی مطالعه حاضر است، هدف پژوهش حاضر شناسایی مؤلفه‌ها و ابعاد سواد آبی از منظر ذی‌نفعان و مطلعین کلیدی در حوزه کشاورزی متناسب با بافت فرهنگی جامعهٔ کشاورزان قرچک بوده است. بدیهی است که نتایج تحقیق حاضر می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای تحقیقات بعدی عمل کند و زمینه‌ای برای طراحی و مقایسه پژوهش‌های آتی فراهم آورد.

۱-۲- چارچوب مفهومی

در پژوهش‌های کیفی به‌جای به‌کارگیری چارچوب نظری برای تدوین و آزمون فرضیه‌ها، از چارچوب مفهومی برای استخراج پرسش یا پرسش‌های پژوهش استفاده می‌شود؛ چارچوب مفهومی مجموعه مفاهیم مرتبطی را شامل می‌شود که بر مفاهیم و موضوعات اصلی موردِنظر تمرکز دارد و آن‌ها را در قالب نظامی نسبتاً منسجم به یکدیگر پیوند می‌دهد (Daneshmehr et al., 2019).

امروزه مفهوم سواد فقط توان خواندن، نوشتن و حساب کردن نیست، به گفتهٔ آلوین تافلر در قرن بیست‌ویکم، بی‌سوادان آنهایی نیستند که نمی‌توانند بخوانند و بنویسند، بلکه کسانی هستند که نمی‌توانند یاد بگیرند و بازآموزی کنند (Kashi Nahanji, 2011). سواد آبی به‌معنای داشتن یک فهم اساسی از نحوه استفاده یا مدیریت پایدار آب در زندگی است (Wood, 2014)،

(Laport et al. 2013) نیز سواد آبی را به معنی درک این واقیعت در نظرگرفته‌اند که آب مورد نیاز بشر از کجا می‌آید و چه‌طور می‌بایست از آن استفاده کرد، از نگاه آنان این موضوع یک مفهوم ساده است؛ اما اطلاع داشتن از این که این آب چگونه تأمین می‌شود، می تواند بسیار پیچیده باشد. از بیانی دیگر سواد آبی به‌مجموعه‌ای از دانسته‌های شخص گفته می‌شود که موجب جهت‌گیری مناسب شخص نسبت به آب در یک موقعیت خاص می‌شود (Fazeli, 2018)، لذا می‌توان سواد آبی را اینگونه تعریف کرد: مجموعه‌ی دانسته‌ها و نگرش‌هایی که به افراد قابلیت جهت‌گیری برای پایدارترین رفتار در برابر حفاظت و استفاده درست از آب را می‌دهد. به‌علاوه سواد آبی به معنی درک این واقعیت است که آب موردِ نیاز ما از کجا می‌آید، ما چطور از آن استفاده می‌کنیم، موقعیت منابع آبی چگونه است و آب کشاورزی چگونه تأمین می‌شود (Zahedinia et al., 2014).

رفتار آبی شامل فعالیت‌ها و اقدامات در مواقع خاص‌است. این رفتار و اعمال باید خردمندانه بوده و منجر به کاهش اثرات منفی محیط‌زیستی شود. علایق، دغدغه‌ها و انگیزه‌های فردی یا نگرش‌های افراد عوامل محرک محسوب می‌شوند (Jamshidi & Dehghani, 2021). بنابراین در اساس این پژوهش که در مورد سواد آبی در حوزهٔ فعالیت‌ها و اقدامات کشاورزان است باید دانش بحران آبی، دانش مدیریت مصرف آب، دانش تکنولوژیک آبی، دانش عمومی آب و سواد کشت و آبیاری کشاورزان را مدّنظر قرار داد.

ذی‌مدخل[1] برای اولین‌بار توسط مؤسسه تحقیقات استنفورد[2] مطرح شد، براساس تعریف بانک جهانی توسعه، ذی‌مدخلان، مردم/جوامعی هستند که می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم، مثبت یا منفی بر نتایج برنامه‌ها اثرگذار باشند (Daneshmehr et al., 2019) به‌همین دلیل، شناسایی گروه‌های ذی‌مدخل و برقراری ارتباط و توجه به دیدگاه‌های آن‌ها در راستای تحقق سیاست‌گذاری‌های اصولی در حوزه منابع آبی اهمیت بسیاری در روند برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری و اجرای موفقیت‌آمیز دارد (Moayeri & Salmanmahiny, 2015).

ذی‌مدخلان به دو دستهٔ اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند؛ ذی‌مدخلان اولیه شامل ذی‌نفعانی هستند که به‌طور مستقیم در معرض عنصر مداخله‌گر توسعه‌ای (مثبت یا منفی) قرار می‌گیرند؛ به بیان دیگر، آنان مردم محلی هستند که در محدودهٔ طرح/برنامه قرار دارند. به‌طور مشخص کشاورزانی که تا کنون به‌طور سنتی از مشارکت در طرح‌های توسعه‌ای بازمانده‌اند، در این دسته قرار می‌گیرند. ذی‌نفعان ثانویه کسانی هستند که به‌طور غیرمستقیم از عنصر مداخله‌ای توسعه تأثیر می‌پذیرند. این افراد شامل وام‌گیرندگان از دولت، کارکنان پروژه در سطح ستادی، وزارتخانه، دستگاه‌های اجرایی، دولت‌های محلی، سازمان‌های مدنی اجتماعی (انجمن‌ها)، شرکت‌های بخش خصوصی و دیگر سازمان‌های توسعه‌ای درگیر، می‌شوند (Daneshmehr et al., 2019). از بیانی دیگر، ذینفعان ثانویه افرادی هستند که در سازمان تحت تأثیر یا تأثیرگذار بر طرح‌ها هستند و هر طرح دارای ذینفعانی است که برخی از آن‌ها ممکن است حامیان قدرتمند طرح باشند و برخی دیگر قدرت تضعیف آن را داشته باشند، از آنجا که اقدامات آنان تأثیر بسیاری بر طرح دارد و بیشترین تصمیم‌گیری‌ها را برای مدیریت منابع آب انجام می‌دهند و بر راه‌حل‌های فنی و تصمیم‌گیری بالا به پایین تأکید دارند، مدیریت ذینفعان از عوامل موفقیت طرح‌ها در سازمان محسوب می‌شود (Besthenegar & Alizadeh, 2013; Afshani & Shiri-Mohammadbad, 2020). بااین‌حال، تجربیات ذینفعان محلی بومی نباید نادیده گرفته شود (Luyet et al., 2012) چراکه این امر به اثبات رسیده است که حضور مردم در تمام طول پروژه در پیشبرد اهداف و تحقق‌پذیری آن مؤثر است (Zarabi & Farid Tehrani, 2009). بنابراین شناسایی مؤلفه‌های سواد آبی از منظر ذینفعان نهادی و مطلعین کلیدی حوزهٔ آب در بخش کشاورزی می‌بایست در اولویت برنامه‌های مدیریتی قرار گیرد، چراکه ضرورت به‌کارگیری توانمندی‌های ذینفعان ثانویه در مدیریت آب امری اجتناب‌ناپذیر است و کشاورزان به‌عنوان ذینفعان اولیه نیز در عرصه‌های منابع آبی از مؤلفه‌های حیاتی و اساسی محسوب می‌شوند که حضور و فعالیت

[1] Stakeholder
[2] Stanford Research Institute

آنان در این عرصه‌ها انکارناپذیر و فراهم‌کنندهٔ تضمین موفقیت در مدیریت مشارکتی است. همچنین با شناسایی و به خدمت گرفتن نقطه‌نظرات تخصصی ذینفعان ثانویه در بخش کشاورزی می‌توان از همکاری‌شان به شکل برنامه‌ریزی‌شده‌ای در اجرا و مدیریت طرح‌های سواد آبی در قالب توانمندسازی کشاورزان بهره برد و روند اجرای برنامه‌ها را تسهیل کرد و تا حدود زیادی از بروز مشکلات ناشی از اختلاف‌نظرها و تنوع سلایق و علایق، تضادها و کشمکش‌ها جلوگیری کرد (Afshani & Shiri-Mohammadbad, 2020). توانمندسازی به‌معنی تشویق افراد برای مشارکت بیشتر در تصمیم‌گیری‌هایی است که بر فعالیت آن‌ها مؤثر است، یعنی اینکه فضایی برای افراد فراهم شود تا بتوانند ایده‌های خوبی را بیافرینند و آن‌ها را به عمل تبدیل کنند (Evans, 1992).

هدف در مطالعهٔ حاضر، شناسایی مؤلفه‌های سواد آبی در بخش کشاورزی است و بدین منظور تلاش شد تا با مطالعهٔ یک نمونه از سازمان‌هایی که در حوزهٔ کشاورزی فعال است(جهاد کشاورزی شهر قرچک)، نقطه‌نظرات ذی‌نفعان نهادی و مطلعین کلیدی آن مورد واکاوی قرار گیرد.

۱-۳- پیشینه پژوهش

نتایج مطالعه (Razzaghi Borkhani et al., 2024) در پژوهشی تحت عنوان «واکاوی مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار بر امنیت آبی کشاورزی در استان مازندران» حاکی از آن بود که متغیر «مدیریت و حکمرانی خوب آب کشاورزی» در رتبه اول میزان اثرگذاری مستقیم قرار دارد که نشان‌دهنده اهمیت قابل توجه این متغیر در مدیریت بحران آبی است. «کاهش میزان نزولات جوی به‌واسطه وقوع تغییرات اقلیمی»، «میزان و تنوع منابع آبی» و «سطح دانش و سواد زیست‌محیطی روستاییان» در رتبه‌های بعدی از نظر میزان تأثیرگذاری مستقیم بر امنیت آبی قرار گرفتند. در این مطالعه اشاره شد که حکمرانی خوب آب با تقویت مشارکت هم‌افزای بخش‌های دولتی، خصوصی و مردم‌نهاد، به‌منظور برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری امنیت غذایی (مبتنی بر رویکرد پیوند آب، انرژی و غذا) باید مورد توجه قرار گیرد، در این راستا پژوهشگران، مدیریت بهینه مزرعه با عملیات خوب کشاورزی، روش‌های کشاورزی حفاظتی و تاب‌آوری کشاورزان نسبت به تغییرات اقلیم، آگاه‌سازی و توانمندسازی کشاورزان از طریق گسترش سواد آبی و سواد زیست‌محیطی با مشارکت نهاد ترویج کشاورزی را پیشنهاد کردند.

مطابق تحقیق(Behboudi & Ghorbani, 2023) با عنوان «تجزیه وتحلیل نقاط اهرمی الگوی پویایی سیستم کیفیِ حکمرانی منابع آب (مطالعه موردی: حوضه قرنقو)» در الگوی طراحی شده برای حکمرانی و مدیریت آب با الگوی پویایی سیستم کیفیِ حکمرانی منابع آب در حوضهٔ آبریز رودخانه قرنقو، در جنوب شرقی استان آذربایجان شرقی، اصلاح الگوی حکمرانی آب از طریق ایجاد تغییر در برداشت از منابع آب، ظرفیت سازگاری، ظرفیت توانمندسازی، ظرفیت گفتمان‌سازی، عامل تحقیق و توسعه، عامل قوانین‌ومقررات، ساختار مسئولیت، مؤلفه مشارکت، وابستگی به آب، وابستگی به دولت، آموزش و الگوی کشت امکان‌پذیر است.

(Afshani & Shiri-Mohammadbad, 2020) مطالعه‌ای با عنوان «ارزیابی ذی‌نفعان و مطلعین کلیدی استان یزد از راهکارهای عملیاتی بهره‌برداری از ظرفیت‌های اجتماعی در راستای مدیریت پایدار منابع آب» انجام دادند و به این نتیجه دست یافتند که کشاورزان در حوزهٔ آبی، کم‌سواد نیستند بلکه قادر به درک شرایط موجود بوده و از آگاهی نسبتاً مناسبی نیز برخوردارند و در مورد ظرفیت‌های اجتماعی نیز، استفاده از پتانسیل روحانیون، کشاورزان باتجربه، استفاده از ظرفیت آموزش‌وپرورش، بهره‌گیری از ظرفیت هنرمندان و نهادهای غیردولتی در اولویت بهره‌برداری است.

نتایج مطالعهٔ (Jamshidi & Dehghani, 2021) با عنوان «تحلیل ذینفعان و نهاد آب در راستای پایداری منابع آب (مورد مطالعه حوضه آبریز زاینده رود)» نشان داد که شورای عالی آب، استانداری‌ها، وزارتخانه‌های نیرو و جهاد کشاورزی و سازمان‌های تابع آن‌ها جزء کنشگران کلیدی در سطح حوضه هستند، همچنین نتایج نشان داد که نهاد آب دارای سه مؤلفه‌ی

اداره‌ی آب، سیاست آب و قوانین آب است که ضرایب استاندارد شده‌ی آن‌ها به ترتیب ۰/۸۰, ۰/٦٤, ۰/۵۳ بدست آمد و هر سه مؤلفه‌ی ذکرشده در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بودند.

(Tatar et al., 2018) مطالعه‌ای با عنوان «مدیریت تضاد آب کشاورزی در حوزه آبخیز گاوشان: راهکارهای مبتنی بر راهبرد همکاری» انجام دادند و به این نتیجه دست یافتند که اصلاح ساختار حکمرانی آب با تحویل آب به کشاورزان، توانمندسازی مردم محلی در مدیریت تضاد و مذاکره، ایجاد سازوکار برد-برد برای مدیریت تضاد در سطح محلی با مشارکت کشاورزان و برگزاری کارگاه و دوره‌های آموزشی در زمینهٔ نحوه کار و نگهداری از تجهیزات شبکه، از مهم‌ترین راهکارهای مدیریت تضاد آب در منطقه بودند.

(Rahmani et al., 2018) در مطالعه‌ای با عنوان «بررسی باورها و راهبردهای سازگاری کشاورزان با شرایط کمبود آب و عوامل مؤثر بر آن‌ها در شهرستان ممسنی» به این نتیجه رسیدند که متغیرهای فاصله مزرعه تا مرکز شهر، تجربه کار کشاورزی، آگاهی از عواقب خطر، احساس تعهد، ریسک‌پذیری و دسترسی به اعتبارات، ۳۲/۲ ٪از تغییرات متغیر باور کشاورزان نسبت به کمبود آب را تبیین می‌نمایند. همچنین نتایج رگرسیون عوامل مؤثر بر انتخاب راهبردهای سازگاری با کمبود آب نشان داد که متغیرهای اندازه مزرعه، تمایل به حفاظت آب، اهمیت خطر و سرمایه اجتماعی می‌تواند ٪۲۷ تغییرات متغیر راهبردهای سازگاری با کمبود آب را پیش‌بینی نمایند.

(Afsari et al., 2018) مطالعه‌ای با عنوان «مدلِ داده‌بنیاد بررسی جامعه‌شناختی حکمرانی آب در بحرانِ دریاچه‌ی ارومیه» انجام دادند و به این نتیجه دست یافتند که فقدان آموزش و آگاهی ذی‌نفعان از جمله بهره‌برداران کشاورزی، نبودنِ کشت‌های جایگزین، نبودنِ منابعِ معیشت پایدار و اختصاص یارانه به آب از بسترهای اصلی بحران دریاچهٔ ارومیه است. گسترش حفرِ چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در سال‌های اخیر و تغییرات اقلیمی از شرایط مداخله‌گر در بروز بحرانِ دریاچهٔ ارومیه بوده‌لند. پیامدهای این پدیده از بین‌رفتن اکوسیستمِ گیاهی و حیوانی و از دست‌دادن قابلیتِ زیستِ انسانی در زمان حال و آینده خواهد بود. استراتژی مورداستفاده مقابله و اصلاح در قالبِ تغییر نوعِ کشت، پلمپ و بستنِ چاه‌های غیرمجاز و صرفه‌جویی در مصرف آب به‌عنوان راهبردهای این پدیده شناسایی شدند.

(Goodarzi et al., 2012) به «بررسی مسائل و محدودیت‌های مدیریت آب کشاورزی از دیدگاه کشاورزان شهرستان کرج» پرداختند. رتبه‌بندی مسائل و محدودیت‌های مدیریت آب از دیدگاه کشاورزان نشان داد که در زمینهٔ استحصال: کاهش آبدهی منابع آب سطحی و افت سفره‌های آب زیرزمینی، در زمینهٔ انتقال: پوسیدگی پوشش کانال‌ها و چکه کردن لوله‌ها و در زمینهٔ مصرف آب در مزرعه: عدم استفاده از روش‌های مکانیزه آبیاری اولویت‌های اول را به خود اختصاص دادند.

(Lockwood et al., 2010) در پژوهش «اصول حکمرانی برای مدیریت منابع طبیعی در استرالیا، کانبرا» نشان دادند که مدیریت منابع طبیعی پایدار نیازمند خواسته‌های جدید و تعریف کردن تمهیداتی هنجاری در بدنهٔ حاکمیت است که دسترسی به آن‌ها برای مدیریت منابع پایدار طبیعی تاکنون محدود بوده است.

(Madani, 2014) در مقالهٔ «مدیریت آب در ایران: چه چیزی موجب بحران نوظهور می‌شود» خاطر نشان کرد که ایران همچون کشورهای دیگر در خاورمیانه درگیر بحران آب است و سه عامل اصلی بحران آب را این‌گونه دسته‌بندی کرد: رشد سریع جمعیت و توزیع نامناسب جغرافیایی جمعیت؛ کشاورزی ناکارآمد و عطش برای توسعه.

(Dean et al., 2016) معتقدند که سطوح بالاتر دانش آبی در میان مردم منجر به بحث‌های متعدد و سازنده‌تر و مشارکت عمومی می‌شود. همچنین می‌تواند بر ساختارهای قدرت، فرهنگ و جهت‌گیری شناختی تاثیرگذار باشد که در نهایت نحوه تعامل مردم با حاکمیت را شکل می‌دهد.

(Ningi et al., 2022) در مطالعهٔ عوامل تعیین‌کننده وضعیت امنیت آب برای خانوارهای روستایی از جوامع ملانی-داخلی و هامبورگ ساحلی در استان گیپ شرقی، آفریقای جنوبی از شاخص فقر آب برای محاسبه وضعیت امنیت آب خانوارها در دو

جامعه استفاده نمودند، یافته‌ها نشان داد که امنیت آب در مناطق مورد مطالعه ناچیز است که عمدتاً به دلیل دردسترس نبودن منابع آبی و زمان صرف‌شده برای جمع‌آوری آب است، عواملی مانند پرداخت هزینه آب، نوع سرویس بهداشتی مورد استفاده و زمان صرف شده برای جمع‌آوری آب، امنیت آب خانوارها را در مناطق مورد مطالعه تعیین می‌کرد.

(Nkiaka, 2022) در مطالعه خود با عنوان عوامل اجتماعی و اقتصادی تعیین‌کننده امنیت آب در مناطق درحال توسعه (آفریقا، آسیا- اقیانوس آرام و آمریکای لاتین و دریای کارائیب) شاخص امنیت آب را با استفاده از سه متغیر بیوفیزیکی (در دسترس بودن آب، خطر آب و هوا و حیات اکوسیستم) و دو متغیر اجتماعی-اقتصادی (دسترسی به آب و مدیریت یکپارچه منابع آب) بررسی کرد. پنج متغیر مستقل (دولت، تولید ناخالص داخلی(GDP) سرانه، درصد جمعیت شهری، کمک‌های رسمی توسعه برای خدمات آب و فاضلاب و نرخ تکمیل مدارس ابتدایی زنان) برای بررسی عوامل تعیین‌کننده امنیت آب استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل‌های آماری نشان داد که تولید ناخالص داخلی سرانه، نرخ تکمیل مدارس ابتدایی زنان و حاکمیت و دولت، عوامل کلیدی تعیین‌کننده امنیت آب هستند.

با مرور پژوهش‌های مرتبط مشخص می‌شود که در معدود مطالعات انجام شده به‌طور عمیق به نقش سواد آبی ذینفعان اولیه در استفاده بهینه از منابع آبی پرداخته نشده است، آنچه پژوهش حاضر را هم ضروری و هم متمایز می‌کند، جنبهٔ کاربردی- سیاستگذارانه و تأکید آن بر ترویج سواد آبی با استفاده از ظرفیت‌های محلی ذینفعان اولیه یعنی اقدامات و فعالیت‌های کشاورزان و ذینفعان ثانویه یعنی نقطه نظرات تخصصی و حرفه‌ای‌شان است. بررسی پژوهش‌های انجام شده در داخل و خارج نیز نشانگر آن است که توجه به کشاورزان به‌عنوان ذینفعان بومی در حل مسائل آبی وجود داشته است، اما در تحقیقات صورت گرفته مرتبط با منابع آب، بیشتر به مقولهٔ آب از لحاظ اکولوژیکی شامل کمّیت و کیفیت منابع آبی و ارائه راه‌حل‌های فنی توجه شده است که در آن‌ها، اثری از واکاوی نقطه‌نظرات و تجربیات ذینفعان بومی نیست.

۲- مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر برحسب ماهیت، کیفی، ازنظر نوع پژوهش، کاربردی و بر مبنای روش پژوهش، توصیفی و مقطعی است. سؤال و نوع نگاه غالب در مطالعهٔ حاضر ایجاب می‌کند که برای پاسخ‌گویی به سؤالات از روش‌های کیفی استفاده شود، درعین حال با توجه به اینکه موضوع شناسایی مؤلفه‌ها و ابعاد سواد آبی از منظر ذی‌نفعان و مطلعین کلیدی است، بر این اساس از میان انواع روش‌های کیفی، روش تحلیل مضمون از همه مناسب‌تر است.

تحلیل مضمون را می‌توان به مثابه روش تحقیقی برای تفسیر ذهنی محتوایی داده‌های متنی از طریق فرآیندهای طبقه‌بندی نظام‌مند، کدبندی، تم‌سازی یا طراحی الگوهای شناخته شده، دانست (Iman & Noshadi, 2011). به بیان دیگرتحلیل مضمون را می‌توان یکی از روش‌های بنیادین، ساده و کارآمد تحلیل داده‌های کیفی در نظر گرفت (Mohammadpour, 2013). طبقه‌بندی مضامین بر اساس جایگاه مضمون در شبکه‌ی مضامین است که مضامین را در سه دسته قرار می‌دهد: مضامین فراگیر که در کانون شبکه‌ی مضامین قرار می‌گیرد، مضامین سازمان‌دهنده که واسط مضامین فراگیر و پایه‌ی شبکه است و مضامین پایه که مبین نکته‌ی مهمی در متن است و با ترکیب آن‌ها، مضمون سازمان‌دهنده ایجاد می‌شود (Attride-Stirling, 2001). در مطالعهٔ حاضر، جهت گردآوری اطلاعات با ذی‌نفعان و مطلعین کلیدی در حوزه مدیریت منابع آبی در بخش کشاورزی، مصاحبه انجام شد و نقطه‌نظرات و تجربیات این افراد و چگونگی نقش مفهوم سواد آبی در شکل‌گیری نقطه‌نظرات و تجربیات این افراد، مورد واکاوی قرار گرفت. منطق انتخاب افراد مورد مصاحبه، نمونه‌گیری هدفمند بوده و در عین حال برای تعیین حجم نمونه نیز، آن‌گونه که در پژوهش‌های کیفی رایج است، از اشباع تئوریک استفاده شد «جمع‌آوری اطلاعات هنگامی به اشباع می‌رسد که موارد جدیدی یافت نشود و اضافه کردن اطلاعات جدید دیگر ضروری نیست، زیرا درک پدیدهٔ مورد بررسی را تغییر نمی‌دهد» (Nascimento et al., 2018). در این مطالعه با استفاده از معیار اشباع نظری با با ذی‌نفعان و مطلعین کلیدی حوزه آب، تحت

عنوان مشارکت‌کنندگان مطالعه، مصاحبه نیمه‌ساختاریافته صورت گرفت. برای تحلیل اطلاعات بدست آمده نیز از روش تحلیل مضمون استفاده شد. در روش تحلیل مضمون معمولاً ابتدا کدگذاری انجام می‌شود که طی آن کدهایی را به اطلاعات کیفی منتسب می‌کنند و در مرحلهٔ بعد اطلاعاتی که به شیوه‌های مشابه کدگذاری شده‌اند، دسته‌بندی و سازماندهی شده و به سبب ویژگی‌های مشترک‌شان، به صورت مقولاتی در می‌آیند. این مقولات نیز بار دیگر دسته‌بندی و سازماندهی شده و به مضامینی مشخص منتزع می‌گردند (Saldena, 2016). تحلیل اطلاعات بلافاصله بعد از انجام اولین مصاحبه و پیاده‌سازی آن شروع شد و با توجه به اهداف مطالعه سعی شد مقولاتی به‌صورت انتزاعی از دل اطلاعات استخراج شود. در ضمن جهت اعتباربخشی به ادعاهای پژوهشگران سعی شد که از نقل قول‌هایی مناسب از متن‌های مصاحبه ذکر شود.

۳- نتایج و بحث

یافته‌های مطالعه حاضر شامل دو بخش است؛ در بخش نخست، ویژگی‌های جمعیت‌شناختی مشارکت‌کنندگان مرور و در بخش دوم به تحلیل مصاحبه‌ها و شناسایی مؤلفه‌های سواد آبی از منظر ذی‌نفعان نهادی و مطلعین کلیدی حوزهٔ جهاد کشاورزی شهرستان قرچک پرداخته شده است.

۳-۱- ویژگی‌های جمعیت‌شناختی مشارکت‌کنندگان

در جدول (۱)، ویژگی‌های جمعیت‌شناختی مشارکت‌کنندگان گزارش شده است، چنانچه مشارکت‌کنندگان در دو جنسیت زن و مرد (٦ زن و ۱۱ مرد)، در رده‌های سنی ۲۷ تا ٦٦ سال (با بیشترین فراوانی در رنج سنی میان‌سال)، با مدارج متنوع تحصیلی از دیپلم تا دکتری (با بیشترین فراوانی در مقطع کارشناسی ارشد) و با سوابق خدمت ٤ تا ۲۳ ساله در پست‌های اجرایی و مسئولیت‌دار انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفتند.

جدول ۱- ویژگی‌های جمعیت‌شناختی مشارکت‌کنندگان

Table 1. Demographic characteristics of participants

مورد	جنسیت	سن	مدرک تحصیلی	سابقهٔ خدمت (سال)	حوزه خدمت	
					اجرایی	مسئولیت
مصاحبه شونده شماره ۱	مرد	٦٥ سال	دیپلم	۲۳	–	*
مصاحبه شونده شماره ۲	زن	٤٥ سال	کارشناسی	۱۲	–	*
مصاحبه شونده شماره ۳	مرد	۳۰ سال	کارشناسی	٦	*	*
مصاحبه شونده شماره ٤	مرد	۳٦ سال	کارشناسی ارشد	۱۱	*	*
مصاحبه شونده شماره ٥	زن	۳۲ سال	کارشناسی ارشد	۲	–	*
مصاحبه شونده شماره ٦	زن	٤۰ سال	دکتری	۹	–	*
مصاحبه شونده شماره ۷	مرد	۲۷ سال	کارشناسی ارشد	٥	*	*
مصاحبه شونده شماره ۸	زن	۳۹ سال	کارشناسی ارشد	۷	*	–
مصاحبه شونده شماره ۹	زن	۳۷ سال	کارشناسی ارشد	۷	–	*
مصاحبه شونده شماره ۱۰	مرد	٥٥ سال	کارشناسی	۱۲	*	*
مصاحبه شونده شماره ۱۱	زن	۲۷ سال	کارشناسی	٤	–	*
مصاحبه شونده شماره ۱۲	مرد	٤۱ سال	کارشناسی	٤	*	–
مصاحبه شونده شماره ۱۳	مرد	۳٥ سال	کاردانی	۷	*	–
مصاحبه شونده شماره ۱٤	مرد	۳۸ سال	کارشناسی ارشد	۱۰	*	–
مصاحبه شونده شماره ۱٥	مرد	٦٦ سال	دیپلم	۲٥	*	–
مصاحبه شونده شماره ۱٦	مرد	۲٦ سال	کارشناسی	٤	*	–
مصاحبه شونده شماره ۱۷	مرد	٤۳ سال	کارشناسی ارشد	۱٤	*	–

۳-۲- مؤلفه‌های سواد آبی از منظر ذی‌نفعان نهادی و مطلعین کلیدی حوزهٔ جهاد کشاورزی شهرستان قرچک

در جداول۲ تا ۹ یافته‌های تحقیق در قالب ارائه کدگذاری‌های پایه، سازمان‌دهنده و فراگیر مؤلفه‌ها و ابعاد واکاوی شده سواد آبی رفتاری کشاورزان از منظرذینفعان نهادی و مطالعین کلیدی ارائه شده است.

جدول ۲- مضامین برساخت‌شده از بهینه‌سازی منابع آب از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب در بخش کشاورزی

Table 2. Constructed themes of water resources optimization from the perspective of stakeholders and key informants in the field of water issues in the agricultural sector

واحدهای معنادار	مقوله‌های پایه		مقوله‌های سازمان‌دهنده		مقوله‌های فراگیر	هدف
کد۲: «آبیاری غرقابی اغلب به ایجاد شرایط مرطوب در سطح گیاهان و خاک منجر می‌شه که محیطی مناسب برای رشد بیماری‌های قارچی و آفات فراهم می‌کنه». کد٤: «بهره‌وری آبیاری سنتی نسبت به سیستم‌های نوین مثل آبیاری قطره‌ای یا بارانی بسیار کمتره. این یعنی به ازای هر واحد آب مصرفی، تولید محصول کمتری به دست می‌آد». کد۳: «در برخی مناطق، سیستم‌های سنتی آبیاری نیازمند پمپاژ آب از منابع دور هستن که مصرف انرژی زیادی را به همراه داره. این مصرف انرژی اضافی باعث افزایش هزینه‌های کشاورزی و فشار بیشتر بر محیط زیست می‌شه».	آبیاری قطره‌ای و تحت فشار	تغییر در سبک آبیاری زمین‌های کشاورزی	توسعه سیستم‌های کم آب‌بَر در بخش کشاورزی	استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری	بهینه‌سازی منابع آب در بخش کشاورزی	شناسایی مؤلفه‌ها و ابعاد سواد آبی رفتاری کشاورزان از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب
کد ۱۱: «وقتی می‌شه گفت سواد آبی داریم که کشاورزان می‌اومدن از روش‌های مدرن مثله طیف، سنترپیوت، بارانی و قطره‌ای (میکرو) برای کشاورزی استفاده می‌کردن، چون حدود بین ٤۰٪ تا ۸۰٪ از هدر رفت آب را می‌شه جلوش را گرفت، اما این روش‌ها استفاده نمی‌کنن و شاید بشه گفت در منطقهٔ ما فقط حدود ۲۰٪ ، آن‌هم فقط تحصیل کرده‌ها از این روش‌های جدید استقبال می‌کنند». کد ۲: «یکی از معضلات آب در بخش کشاورزی، استفاده روش‌های "جوی‌چی" هست که کلی باعث هدر رفت آب می‌شه، اگه کشاورزا بتونن تغییر روش بدن و از سبک‌های جدید استفاده کنن، باعث می‌شه آب مصرفش کمتر شه».	آبیاری طیف و سترپیوت و زیرسطحی					
کد ۱۰: «در مواردی من دیدیم که استفاده از آبپاش آلومینیومی یا آبپاش برنجی به جای سیستم آبیاری گان می‌تونه ۵٪ الی ۱۵٪ مصرف آب را تو بخش کشاورزی کاهش بده».	آبپاش برنجی					
کد۱: «یک راه‌حل برای به بهروری بهتر از آب، استفاده از دستگاه لایسیمتره که در آن از همان خاک زمین ریخته و در همان زمین قرار می‌گیرد و مقدار تبخیر وتعرق اتفاق افتاده در خاک را می‌سنجه و مدت زمان کار پمپ آب و مقدار ورود آب را بررسی می‌کنه این عمل نقش بسیار مهمی در بهره‌بری حداکثری آب داره».	استفاده از دستگاه لایسیمتر	بهره‌برداری مناسب از خاک کشاورزی				
کد۱٤: «می‌تونیم از کشت محورهای ترکیبی استفاده کنیم که یک روش کشاورزی است که در آن دو یا چند محصول به‌صورت همزمان یا در یک دوره رشد، در یک زمین مشترک کشت می‌شه. این روش به بهره‌برداری بهتر از منابع طبیعی مانند آب، نور و مواد مغذی خاک کمک می‌کنه و همچنین باعث افزایش تنوع زیستی و بهبود پایداری زمین‌های کشاورزی می‌شه».	کشت چرخشی محصولات					
کد۱۲: »این روش بر روی کاهش ورودی‌های کشاورزی مانند آبو کودها تمرکز دارن و دنیال روش‌های کتپایدار هستن که نیاز به منابع آبی کمتری دارن، استفاده از نالچ‌های آلی یا غیرآلی برای کاهش تبخیر و حفظ رطوبت خاک است«. کد۱۵: «توجه به جنس خاک نیز مهمه در بهره بری یا در مواردی مالچ پاشی در زمین انجام میشه که همان پاشیدن کاه، خاک اره و خاک برگ و... که رطوبت زمین را حفظ کنه و به بهره بری بهتری دست پیدا کنه».	بهره‌مندی از روش کشاورزی کم‌ورودی (کاهشی)					

ادامهٔ جدول ۲- مضامین برساخت‌شده از بهینه‌سازی منابع آب از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب در بخش کشاورزی

واحدهای معنادار	مقوله‌های پایه		مقوله‌های سازمان‌دهنده		مقوله‌های فراگیر	هدف
کد ۱۱: «میشه از کشاورزی خشک استفاده کرد که در فصل‌های خشک به آبیاری متکی نیس و از رطوبت در خاک از فصل بارانی قبل استفاده می‌کنه. این روش به حداکثر رساندن میزان رطوبت طبیعی خاک و تطبیق انتخاب محصول و شیوه مدیریت طبق آب و هوای محلی با هدف دستیابی به تولید پایدار محصولات با حداقل استفاده از آب تأکید می‌کنه».	بهره‌مندی از روش کشاورزی خشک	بهره‌برداری مناسب از خاک کشاورزی	توسعه سیستم‌های کم آب‌بَر در بخش کشاورزی	استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری	بهینه‌سازی منابع آب در بخش کشاورزی	شناسایی مؤلفه‌ها و ابعاد سواد آبی رفتاری کشاورزان از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب
کد۱٤: «امروزه برای تطبیق هرچه بیشتر با تغییرات آب‌وهوایی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، محققان و کارشناسان کشاورزان را به استفاده از شیوه‌های کشاورزی احیاکننده ترغیب می‌کنن،کشاورزی احیاکننده روشی برای پرورش محصولات با هدف افزایش تنوع زیستی، غنی‌سازی خاک و بهبود حوضه‌های آبخیزه، در این روش تمرکز بیشتر بر روی تامین سلامت خاکه، به‌این‌ترتیب می‌تونیم در زمان خشکسالی محصولات بَیشتری را تولید کنیم و شرایط را بهتر مدیریت کنیم».	بهره‌مندی از روش کشاورزی احیاکننده					
کد٤: « توسعه و استفاده از نرم‌افزارهای پیش‌بینی برای بهینه‌سازی مصرف آب در کشاورزی مفیده، این نرم‌فزارها می‌تونن بر اساس داده‌های آب و هوایی و نیاز آبی گیاهان، برنامه‌های آبیاری بهینه را پیشنهاد بدهند، یا برنامه‌های تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر منابع آب کشاورزی رو پیش‌بینی کنن که ین روند خودش، تاثیرات خوبی رو بر محصولات کشاورزی داشته و باعث شده تولیدات خوبی داشته باشیم».	استفاده از نرم‌افزارهای پیش‌بینی کننده جهت بهینه‌سازی مصرف آب					
کد ۳: «یک سری جوی‌های گلی در قدیم توسط کشاورزا رو زمین‌هاشون کَنده می‌شد تا آب‌های دخیره شده که ممکن بود از باران یا آب رودخانه‌ها درشون جمع می‌شد را دخیره کنه و در ساعت‌های مشخص برای هرکشاورز جهت آبیاری استفاده بشه، الان هم همین مکانیزم قدیمی با کانال‌های سیمانی در زمین‌های کشاورزی می‌تونه طراحی بشه که آب با کمترین هدر رفت به مصرف مجدد برسه، به‌علاوه ساعت‌های رها-سازی آب با این روش مشخص می‌شه که این یه دستاورد خوب از طریق سواد آبیه واسه کشاورزا».	بهره‌مندی از کانال‌های سیمانی ذخیره آب					
کد ۲: «بعضی کشاورزان با استفاده از کشت ارگانیسم می‌تونن کم‌آبی را مدیریت کنن، مثلاً کشت تناوبی (آیش‌بندی)، کشت مکانیکی، استفاده از کود حیوانی و کود ارگانیک و تمام این موارد باعث میشه خاک شاداب باشه و مدیریت بر مصرف آب هم صورت بگیره».	گرایش به کشت‌های ارگانیسم					
کد ۸: «استفاده از پنل‌های خورشیدی برای سیستم‌های آبیاری هوشمند، به کشاورزان این امکان را می‌ده تا به دقت بتونن مصرف آب رو کنترل کنن و هزینه‌های آبیاری را کاهش بدن، این راهکار باعث بهبود کیفیت خاک و افزایش بهره‌وری در کشت و زراعت می‌شه».	استفاده از انرژی خورشیدی در آبیاری					

ادامهٔ جدول ۲- مضامین برساخت‌شده از بهینه‌سازی منابع آب از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب در بخش کشاورزی

واحدهای معنادار	مقوله‌های پایه	مقوله‌های سازمان‌دهنده		مقوله-های فراگیر	هدف
کد۱۵: «با استفاده از سیستم سنسورهای مرتبط با داده‌های آب و هوا و الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای تعیین زمان مناسب آبیاری و تعیین حجم آب مصرفی برای گیاهان می‌تونیم بهره ببریم». کد۱۱: «سیستم آبیاری قطره‌ای هوشمند یکی از روش‌هایی است که آب را مستقیماً به‌طور دقیق و کنترل شده به ریشه گیاهان می‌رسونه، بنابراین در حالی که کارایی آبیاری افزایش پیدا میکنه، میزان هدر رفتن آب نیز به حداقل مقدار ممکن می‌رسونه». کد۵: «سنسورهای هوشمند مبتنی بر رطوبت خاک یکی از چندین فناوری شناخته‌شده برای اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک است. هنگامی که در ناحیه ریشه گیاهان و ... قرار می‌گیره، سنسورهاش به‌طور دقیق سطح رطوبت را در خاک تعیین می‌کنه و این میزان را به کنترل کننده انتقال می‌ده. آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه به هیچ برنامه ریزی برای مدت آبیاری نیاز نداره. فقط دارای یک آستانه پایین و بالا است که توسط کاربر تنظیم می‌شه». کد۱: «استفاده از فناوری‌های هوشمند مانند حسگرهای رطوبت خاک و داده‌های ماهواره‌ای برای مدیریت بهتر مصرف آب در کشاورزی می‌تونه به بهینه‌سازی استفاده از آب کمک کنه. این روش‌ها کمک می‌کنه تا آب به‌طور دقیق و به موقع به گیاهان داده شود و از آبیاری بیش از حد یا ناکافی جلوگیری بشه». کد ۱: «استفاده از فناوری‌های هوشمند مانند حسگرهای رطوبت خاک و ده‌های ماهواره‌ای برای مدیریت بهتر مصرف آب در کشاورزی می‌تونه به بهینه‌سازی استفاده از آب کمک کنه، این روش‌ها کمک می‌کنه تا آب به‌طور دقیق و به موقع به گیاهان داده بشه و از آبیاری بیش از حد یا ناکافی جلوگیری به عمل بیاد».	استفاده از حسگرها (سنسور) هوشمند	توسعه سیستم‌های کم آب‌بر در بخش کشاورزی	استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری	بهینه‌سازی منابع آب در بخش کشاورزی	شناسایی مؤلفه‌ها و ابعاد سواد آبی رفتاری کشاورزان از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب
کد۹: «سیستم‌های سنتی آبیاری معمولاً به نیروی کار بیشتری نیاز داره، چون اغلب نیازمند مدیریت دستی و تنظیم مداوم جریان آبه. این امر می‌تونه هزینه‌های تولید را افزایش و کارآیی عملیات کشاورزی را کاهش بده و از طرفی دقت در مدیریت هدررفت آب را بیشتر می‌کنه».	تغییر رویه در جهت کاهش تعداد و خطای نیروی انسانی در کار				

ادامه جدول۲- مضامین برساخت‌شده از بهینه‌سازی منابع آب از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب در بخش کشاورزی

واحدهای معنادار	مقوله‌های پایه		مقوله‌های سازمان‌دهنده		مقوله‌های فراگیر	هدف
کد۳: «مالچ‌های طبیعی و عدم شخم زدن زمین یکی از راه‌هایی که می‌تونیم از هدر رفت و تبخیر آب جلوگیری کرد، استفاده از مواد ارگانیک مانند کاه، برگ‌های خشک یا چوب تراشه روی سطح خاک به حفظ رطوبت کمک می‌کنه. این مواد تبخیر آب از سطح خاک را کاهش می‌ده و همچنین دمای خاک را معتدل می‌کنه. مالچ‌های پلاستیکی هم راه دیگه که در اطراف گیاهان می‌ریزن و باعث کاهش تبخیر و حفظ رطوبت خاک می‌شه. این روش در باغبانی و کشاورزی مدرن خیلی مؤثر است».	مالچ‌پاشی و عدم شخم زدن	اقدام در جهت کاهش تبخیر آب در سطح خاک	توسعه سیستم‌های کم آب‌بر در بخش کشاورزی	استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری	بهینه‌سازی منابع آب در بخش کشاورزی	شناسایی مؤلفه‌ها و ابعاد سواد آبی رفتاری کشاورزان از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب
کد۱۲: «یک راه برای جلوگیری از تبخیر، کاهش دادن سطح آب آزاده که از طریق آبیاری قطره‌ای که با استفاده از این روش، آب مستقیماً به ریشه گیاهان هدایت می‌شه و از تبخیر آب در سطح جلوگیری می‌کنه. این روش مصرف آب را بهینه می‌کنه و تبخیر را به حداقل می‌رسونه. آبیاری زیرسطحی مورد دومه که این نوع آبیاری با قرار دادن لوله‌های آبیاری زیر سطح خاک، آب را مستقیماً به ناحیه ریشه هدایت می‌کنه و تبخیر را به شدت کاهش می‌ده».	آبیاری قطره‌ایی					
کد٦: «استفاده از بادشکن‌ها یکی از روش‌هایی است که باعث کاهش تبخیر آب در سطح خاک می‌شه، کاشت درختان و بوته‌های بلند در اطراف مزرعه به‌عنوان بادشکن می‌تونه از تبخیر آب ناشی از باد جلوگیری کنه. باد، سرعت تبخیر را افزایش می‌ده و بادشکن‌ها این اثر را کاهش می‌دن».	بادشکن					
کد۷: «کاشت گیاهان پوششی مانند شبدر یا علف‌های خاص می‌تونه سطح خاک را پوشش بده و تبخیر آب را کاهش بده، این گیاهان باعث نگه‌داشتن رطوبت در خاک می‌شن و از فرسایش آن نیز جلوگیری می‌کنن».	گیاهان پوششی					
کد۳: «آبیاری در اوایل صبح یا غروب، زمانی که دمای هوا کمتره ، تبخیر آب را کاهش می‌ده. در این زمان‌ها، رطوبت بیشتری به ریشه گیاه می‌رسه».	زمان آبیاری					
کد۱: «اضافه کردن مواد آلی به خاک، مانند کمپوست، می‌تونه ظرفیت نگهداری آب را در خاک افزایش بده. خاک‌های غنی از مواد آلی آب بیشتری را در خود نگه می‌دارن و کمتر آب از سطح آنها تبخیر می‌شن». کد ۱۰: «بهبود خصوصیات خاک از طریق استفاده از مواد آلی، کودهای زیستی و تکنیک‌های خاک‌ورزی بهینه، باعث افزایش توانایی خاک در نگه‌داری آب می‌شه و این کار مصرف آب بهبود میده».	افزودن مواد آلی به خاک					
کد۵: «با مدیریت تراکم کاشت وکاشت گیاهان به گونه‌ای که فضای بین آن‌ها کمتر باشد، باعث می‌شه که سطح خاک کمتر در معرض نور مستقیم خورشید و تبخیر قرار بگیره».	تراکم کاشت					

جدول ۳- مضامین برساخت‌شده از بهبود زیرساخت‌های ذخیره آب و بهینه‌سازی منابع آب‌های زیرزمینی از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب در بخش کشاورزی

Table 3. Constructed themes of improving water storage infrastructure and optimizing groundwater resources from the perspectives of stakeholders and key informants in the field of water issues in the agricultural sector

واحدهای معنادار	مقوله‌های پایه		مقوله‌های سازمان-دهنده		مقوله‌های فراگیر	هدف
کد۱۳: «برخی مواد شیمیایی مانند پلیمرهای سوپر جاذب یا پوشش‌های ضد تبخیر می‌تونن برای کاهش تبخیر از سطح خاک یا آب مخازن استفاده شن، این مواد جلوی تبخیر را می‌گیرن و رطوبت خاک را حفظ می‌کنن».	استفاده از پوشش‌های ضد تبخیر	اقدام در جهت کاهش تبخیرآب در سطح خاک	توسعه سیستم‌های کم آب‌بر در بخش کشاورزی	استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری	بهینه‌سازی منابع آب در بخش کشاورزی	شناسایی مؤلفه‌ها و ابعاد سواد آبی رفتاری کشاورزان از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب
کد۷: «با استفاده از بیوتکنولوژی و مهندسی ژنتیک، گیاهانی که مقاومت بیشتری به خشکی و دماهای بالا دارن، توسعه داده می‌شن، این گیاهان به آب کمتری نیاز دارن و در شرایط سخت اقلیمی بهتر رشد می‌کنن و این باعث مصرف بهینه آب می‌شه».	بهره‌گیری از اصلاح ژنتیک گیاهی					
کد ۱۲: «توسط سازمان مدیریت کشاورزی، اراضی کشاورزی باید مرتب چک بشه که کشاورزا از منابع زیرزمینی استفاده نکنن، واسه همین واحدی را داریم به نام آب‌وخاک با کمک امور اراضی که اون هر روز اراضی کشاورزی را چک می‌کنه (این کار بر عهده آب و فاضلابه) که چاه‌های زیرزمینی حفر نشه، به‌علاوه چاه‌هایی وجود داره که به صورت موتور آب ساعتی، آب را بین اراضی کشاورزا تقسیم می‌کنه تا آب به یه اندازه برسه به مزارع».	مراقبت کردن از منابع آب زیرزمینی		حفاظت از منابع آب زیرزمینی		مدیریت منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی	
کد۶: «برداشت آب باران شامل جمع‌آوری و ذخیره آب باران برای کشاورزی را می‌توانیم از طریق ساخت سیستم‌های جمع‌آوری آب باران مانند مخازن روی پشت‌بام، مخازن زیرزمینی و حوضچه‌ها انجام بشه، و این نیازمنده اینه که زیرساخت‌های اونو فراهم کنیم چون برداشت آب باران یک روش پایدار برای ذخیره آب برای کشاورزی هست، و نیازی به ساخت انبارهای بزرگ نداره».	ذخیره‌سازی آب باران	ذخیره و مدیریت منابع آب	ذخیره‌سازی آب در مخازن		بهبود زیرساخت‌های ذخیره آب	
کد۸: «یکی از روش ذخیره آب برای مصارف کشاورزی استفاده از بانک‌های آبه. بانک آب یک سیستم ذخیره‌سازی زیرزمینی که می‌تونه برای ذخیره و مدیریت آب برای اهداف کشاورزی مورد استفاده باشه. می‌شه برای ذخیره آب از منابع مختلف ازجمله آب‌های سطحی، زیرزمینی و آب باران استفاده بشه. و می‌شه از اون برای ذخیره آب برای تامین آب شهری و صنعتی نام برد، بانک‌های آب مزایای متعددی نسبت به سایر روش‌های ذخیره آب هستن، به‌عنوان مثال می‌شه از آن‌ها برای ذخیره حجم زیادی آب استفاده کرد و به راحتی می‌تونیم اون‌ها رو مدیریت و کنترل کنیم. علاوه بر این، می‌شه از آن‌ها برای متعادل کردن عرضه و تقاضای آب استفاده کرد که می‌تواند به کاهش هدر رفت آب و بهبود بهره‌وری آب کمک کنند».	تعیینۀ بانک‌های آبی					
کد ۱۷: «مثلا استخر دو منظوره پرورش ماهی و کشاورزی یکی از روش‌های بهینه از منابع آبی پرورش ماهی در کنار کار کشاورزیه که علاوه بر کمک اقتصادی به کشاورزا و غنی شدن آب کشاورزی جهت افزایش محصول زراعی باعث ایجاد اشتغال هم میتونه بشه ».	تعیینۀ استخرهای چند منظوره					

جدول ٤- مضامین برساخت‌شده از کشت‌های گلخانه‌ای کم‌آب‌بر از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب در بخش کشاورزی
Table 4. Constructed themes of low-water greenhouse crops from the perspectives of stakeholders and key informants in the field of water issues in the agricultural sector

واحدهای معنادار	مقوله‌های پایه		مقوله‌های سازمان‌دهنده	مقوله‌های فراگیر	هدف
کد۵: «سبزیجاتی مانند کاهو، اسفناج، جعفری و گشنیز به‌دلیل داشتن دوره رشد کوتاه و نیاز آبی کمتر، گزینه‌های خوبی برای کشت گلخانه‌ای کم‌آب‌بر هستن، این محصولات به‌دلیل بهره‌وری بالا و سرعت تولید، به‌خصوص در سیستم‌های هیدروپونیک مناسب هستند».	انتخاب گیاهان و سبزیجاتی با دوره رشد کوتاه	انتخاب هوشمندانه کشت‌های گلخانه‌ای	تغییر نوع کشت گلخانه‌ای	کشت‌های گلخانه‌ای کم‌آب‌بر	شناسایی مؤلفه‌ها و ابعاد سواد آبی رفتاری کشاورزان از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب
کد۱: «مثلا گوجه‌فرنگی از محصولاتی که در سیستم گلخانه‌ای به‌خوبی قابل کشته و با مدیریت دقیق آب و تغذیه، به‌میزان کمتری آب نسبت به کشت‌های باز نیاز دارد. در این روش، می‌توان از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای یا هیدروپونیک برای کاهش مصرف آب استفاده کرد»					
کد۹: «خیار گلخانه‌ای از محصولات کم‌آب‌بر است که در محیط‌های گلخانه‌ای به‌خوبی رشد می‌کند. استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و مدیریت مناسب شرایط گلخانه می‌تونه مصرف آب در تولید خیار را کاهش و بهره‌وری را افزایش بده».					
کد٤: «در محیط‌های گلخانه‌ای که کنترل آب و هوا امکان‌پذیراند، استفاده از روش‌های کم‌آب‌تر مانند هیدروپونیک یا آکواپونیک در فضاهای گلخانه‌ایی برای مدیریت هدرفت آب مهم‌اند».	انتخاب گیاهان و سبزیجاتی سازگار با سیستم‌های آبیاری کم‌آب‌بر با بازده اقتصادی بالا				
کد٤: «قارچ به‌عنوان یک محصول کم‌آب‌بر در محیط‌های کنترل‌شده گلخانه‌ای به خوبی رشد می‌کنه، تولید قارچ به‌دلیل نیاز کم به آب و عدم نیاز به نور خورشید مستقیم، در محیط‌های گلخانه‌ای وحتی در فضاهای کوچک امکان‌پذیره».					
کد۱۵: «توت فرنگی، کدو و بادمجان از محصولاتی هستن که می‌تونن با سیستم‌های آبیاری کم‌آب‌بر مانند قطره‌ای یا هیدروپونیک در گلخانه‌ها کشت بشن، این محصولات در شرایط اقلیمی مختلف قابل کشتن و در محیط گلخانه‌ای می‌تونن بازدهی اون‌ها را با مصرف کم آب، زیاد کرد و پیشرفتی باشه تو کشت گلخونه‌ای».					
کد۱۰: «برخی گیاهان مانند زیتون و کاکتوس که به‌طور طبیعی به آب کمی نیاز دارن، می‌شه در گلخانه‌ها کشت کرد و با استفاده از سیستم‌های پیشرفته کنترل آب، بهره‌وری آن‌ها رو به حداکثر رسوند، اگرچه زیتون معمولاً در فضای باز، کشت می‌شه، اما استفاده از تکنیک‌های گلخانه‌ای می‌تونه تولید را افزایش و مصرف آب را کاهش بده». کد ۱۱: «کشت‌هایی با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پایین همانند چغندر و یونجه باید از الگوی کشت منطقه حذف و به جای آن‌ها کشت‌هایی نظیر ذرت علوفه‌ایی و با تناوب یکساله از کشت‌های بومی نظیر گندم و ارزن که هم باعث کاهش استحصال آب و هم متضمن منافع اقتصادی بالا برای بهره‌برداران کشاورزی باشه، جایگزین بشه».					
کد٤: «فلفل دلمه‌ای از محصولاتی است که به‌صورت کم‌آب‌بر در گلخانه‌ها قابل کشته، این محصول در شرایط کنترل‌شده می‌تونه با میزان کمتر آب به بازدهی مطلوب برسه و نیاز به کود و سموم شیمیایی کمتری داره».	انتخاب گیاهان و سبزیجاتی با کود و سموم شیمیایی کمتر				

ادامه جدول ٤- مضامین برساخت‌شده از کشت‌های گلخانه‌ای کم‌آب‌بر از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب در بخش کشاورزی

واحدهای معنادار	مقوله‌های پایه		مقوله‌های سازمان‌دهنده	مقوله‌های فراگیر	هدف
کد ۲: «بســـــیاری از گیاهان زینتی مثل گل رز، ارکیـــــده، و کاکتوس‌ها که نیاز به آب کمی دارن، در گلخانه‌ها به‌خوبی رشد می‌کنن. این گیاهان به‌دلیل مقاومت در برابر شرایط خشک و نیاز کمتر به آب، گزینه‌های مناسبی برای کشت گلخانه‌ای کم‌آب‌بر هستند و در مصرف هم صرفه جویی می‌شه با کشت‌های خوب». کد۳: «کشت‌هایی با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پایین مثله چغندر قند و یونجه باید از الگوی کشت منطقه حذف و به جای آن‌ها کشت‌هایی نظیر ذرت علوفه‌ای و یا تناوب یکساله‌ای از کشت‌های بومی نظیر گندم و ارزن که هم موجب کاهش استحصال آب و هم متضمن منافع اقتصادی بالا برای بهره‌برداران کشاورزی می‌شه، جایگزین بشه». کد۹: «مهم‌ترین محصولات کشاورزی کم‌مصرف منطقه ما که ناحیه بیابانی و نیمه‌بیابانیه، گندم و جو هست، پنبه هم در قدیم بوده که به دلیل کمبود دستگاه، متاسفانه کشت نمی‌شه. پسته هم چون با خاک و آب منطقه ورامین همخونی داره برای الگو کشت مناسب هست، در حالی که قبلا یونجه و .... که آب پر مصرف می‌طلبه را کاشت می‌کردن». کد۸: «با تغییر دوره‌ای محصولات در فصول مختلف و استفاده از گیاهانی که نیاز آبی کمتری در هر فصل دارند، می‌شه از منابع آبی بهینه‌تر استفاده کرد». کد١٤: « در جواد آباد، کشاورزان را تشویق به کشت ارزن می‌کنن چون هم در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شه و هم برای خود کشاورز سود داره».	انتخاب گل، گیاهان و سبزیجاتی مقاوم در شرایط خشک	انتخاب هوشمندانه کشت‌های گلخانه‌ای	تغییر نوع کشت گلخانه‌ای	کشت‌های گلخانه‌ای کم‌آب‌بر	شناسایی مؤلفه‌ها و ابعاد سواد آبی رفتاری کشاورزان از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب
کد ۱: «در روستاها چاه‌هایی باید وجود داشته باشه که با موتور آبی که یه مراقب به نام میرآب داره، بتونه آب را در ماه‌ها، روزها و ساعات مختلف بصورت عادلانه بین مزارع تقسیم کنه، مثلاً یک کشاورز در ماه، ۵ نوبت آب برای استفاده داره که در یک روز و ساعت مشخص توزیع می‌شه که بتونه کشت داشته باشه، این روش سنتی که از قدیم تا کنون اجرا می‌شده باعث می‌شه تا نابرابری در تقسیم آب وجود نداشته باشد».	استفاده از میرآب	عدالت در دسترسی به منابع آب	توزیع عادلانه منابع آب	دسترسی منصفانه به منابع آبی	
کد ۷: «زدن کانال‌های سیمانی باعث می‌شــه هدر رفتن آب در مسیر از بین بره و آب عادلانه تقسیم بشه».	استفاده از کانال‌های بتنی				

جدول ۵- مضامین برساخت‌شده از اقدام جهت مشارکت جامعه محلی و استفاده از منابع آبی غیرمتعارف از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب در بخش کشاورزی

Table 5. Constructed themes of action for local community participation and use of unconventional water resources from the perspective of stakeholders and key informants in the agricultural sector

واحدهای معنادار	مقوله‌های پایه			مقوله‌های سازمان‌دهنده	مقوله‌های فراگیر	هدف
کد۸: «مدیریت پایدار آب نیازمند همکاری نزدیک بین دولت‌ها، کشاورزان و جوامع محلیه، زیرا این جوامع بهترین درک از شرایط بومی و نیازهای خاص منطقه خودشون رو دارن، تشکیل سازمان‌ها و انجمن‌های محلی با حضور کشاورزان می‌تونه به مدیریت آب کمک کنه، در واقع خود کشاورزان مناسب‌ترین ترغیب‌کنندگان جوامع محلی به مشارکت هستند».	تقویت مشارکت‌های محلی توسط ترغیب کشاورزان			دعوت به مشارکت جوامع محلی در مدیریت منابع آب	اقدام کشاورزان جهت مشارکت جامعه محلی در مدیریت آب	شناسایی مؤلفه‌ها و ابعاد سواد آبی رفتاری کشاورزان از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب
کد ۱۳: «آب‌های غیرمتعارفی زیادی مثله پساب-های کشاورزی هست که می‌شه آن‌ها را تصفیه آبی‌اش کرد و مجدد به مصرف رسوندش، مثلاً جدیدن در منطقه ما یک سری دستگاه تصفیه آب اومده که کشاورزا می‌تونن آب‌های فاضلاب خانگی رو به مصرف برسونن، اگه چنین تجهیزاتی در صنایع کشاورزی استفاده بشه نشون می‌ده سواد زیست‌محیطی و آبی در حال رشده». کد ٤: «ورود آلاینده‌های شیمیایی و میکرو ارگانیسم‌های زیاد توی آب باعث می‌شه که سلامت محیط‌زیست و طبیعت رو به خطر بندازه، برای اینکه این اتفاق تو بخش‌های کشاورزی و شهری پیش نیاد از آب‌های خاکستری فاضلاب‌های شهری بواسطه تصفیه فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی برای بازیافت و بازچرخانی مجدد آب استفاده می‌شه که به بهبود و سلامت اکوسیستم‌ها کمک می‌کنه». کد ۱۵: «استفاده از مجموعه آب‌های تصفیه شده می‌تونه به کشاورزا کمک کنه تا با کمبود آب و تغییرات اقلیمی سازگار بشن»	استفاده از دستگاه تصفیه پساب فاضلاب انسانی (بهداشتی)	کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی		تصفیه و بازیافت آب (بازچرخانی آب)	استفاده از منابع آبی غیرمتعارف	
		کمک به سلامت اکوسیستم‌ها				
		سازگاری با تغییرات اقلیمی				
کد۱۵: «جمع‌آوری آب باران از سطوح بام‌های ساختمان‌های کشاورزی یا گلخانه‌ها است. آب باران از طریق ناودون به مخازن یا حوضچه‌های ذخیره هدایت می‌شن. این آب‌ها سپس می‌تونن برای آبیاری مزارع یا سایر مصارف کشاورزی استفاده بشن». کد٤: «ایجاد حوضچه‌های مصنوعی یا مخازن برای ذخیره آب باران یکی از روش‌های سنتی و مؤثره. این آب‌ها می‌تونه برای آبیاری و یا حتی پرورش ماهی استفاد بشن».	جمع آوری آب باران	حوضچه‌های ذخیره	بهره‌وری پایدار از منابع آبی			
کد٤: «برای جمع‌آوری آب باران از سطح زمین و زمین‌های شیبدار از تکنیک‌هایی مانند کلنال‌ها، خندق‌ها و تراس‌بندی برای هدایت آب باران به مخازن یا حوضچه‌های ذخیره، می‌بایست استفاده بشه».		کانال‌ها، خندق‌ها و تراس‌بندی‌ها				
کد٦: «قنات‌ها یکی از روش‌های قدیمی و سنتی برای جمع‌آوری و انتقال آب باران و آب‌های زیرزمینی هستن. قنات‌ها، آب زیرزمینی را از مناطق مرتفع به مناطق کم‌ارتفاع انتقال می‌ده و به آبیاری مزارع کمک می‌کنه».		قنات‌ها				

جدول ٦- مضامین برساخت‌شده از استفاده از منابع آبی غیرمتعارف و کاهش مصرف منابع آب شیرین در بخش کشاورزی از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب در بخش کشاورزی

Table 6. Constructed themes of the use of unconventional water resources and the reduction of freshwater consumption in the agricultural sector from the perspectives of stakeholders and key informants in the field of water issues in the agricultural sector

واحدهای معنادار	مقوله‌های پایه		مقوله‌های سازمان‌دهنده		مقوله‌های فراگیر	هدف
کد۱۳: « سیستم‌های آبیاری پیشرفته و کارآمد مثل آبیاری قطره‌ای، بارانی و تحت با رساندن آب به ریشه گیاه به صورت مستقیم، تبخیر و نفوذ غیرمفید که باعث تخریب گیاهه را کاهش می‌ده». کد ۱۲: «ضایعات ناشی از نشت لوله‌های انتقال آب یکی از منابع اصلی هدررفت آب در بسیاری از مناطق کشاورزیه که باید جلوی آن گرفته بشه». کد ١٦: «استفاده مجدد از آب‌های تصفیه شده می‌تونه هزینه‌های مربوط به تأمین آب را برای کشاورزان کاهش بده، بویژه در مناطقی که هزینه برداشت آب بالاست».	کاهش ضایعات در فرآیند کشاورزی	صرفه‌جویی در هزینه‌ها	کاهش ضایعات به‌منظور استفاده بهینه از منابع آبی	بهره‌وری پایدار از منابع آبی	استفاده از منابع آبی غیرمتعارف	شناسایی مؤلفه‌ها و ابعاد سواد آبی رفتاری کشاورزان از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب
کد۲: «آبیاری قطره‌ای و تحت فشار که به توزیع آب به صورت هدفمند و دقیق کمک می‌کنه و تلفات آب را کاهش می‌ده، آبیاری قطره‌ای مخصوصاً برای مناطقی با منابع آبی محدود مناسبه». کد۵: استفاده از آب بخش‌هایی مثل کشاورزی یا آبیاری فضاهای سبزَ، راهکار مؤثری برای کاهش فشار مصرف بر منابع آب شیرینه. همچنین، استفاده از آب‌های شور یا نیمه‌شور با بهره‌گیری از تکنیک‌های مناسب می‌تونه تو بهره‌بری آب شیرین کمک کنه». کد۷: «استفاده از فناوری‌های جدید مثل حسگرهای خاک و سیستم‌های مدیریت آبیاری هوشمند به کشاورزان کمک می‌کنه تا میزان دقیق نیاز آبی گیاهان را تشخیص بده و از اتلاف آب جلوگیری کنه».	استفاده از سیستم‌های آبیاری کارآمد	حفاظت از منابع آب کشاورزی و شیرین	حفاظت از منابع آب کشاورزی و شیرین		کاهش مصرف منابع آب شیرین در بخش کشاورزی	

جدول ۷- مضامین برساخت‌شده از کاهش مصرف منابع آب شیرین در بخش کشاورزی از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب در بخش کشاورزی

Table 7. Constructed themes of reducing freshwater resource consumption in the agricultural sector from the perspective of stakeholders and key informants in the field of water issues in the agricultural sector

واحدهای معنادار	مقوله‌های پایه		مقوله‌های سازمان‌دهنده	مقوله‌های فراگیر	هدف
کد٦: « استفاده از گونه‌های گیاهی که به آب کمتری نیاز داره، می‌تواند مصرف آب را به میزان قابل توجهی کاهش بده. به‌عنوان مثال، کاشت محصولات متناسب با شرایط اقلیمی منطقه (مانند کاکتوس و زیتون در مناطق خشک) به مصرف کمتر آب منجر می‌شه».	استفاده بیشتر از محصولات مقاوم در برابر خشکسالی	حفاظت از منابع آب کشاورزی و شیرین	حفاظت از منابع آب کشاورزی و شیرین	کاهش مصرف منابع آب شیرین در بخش کشاورزی	شناسایی مؤلفه‌ها و ابعاد سواد آبی رفتاری کشاورزان از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب
کد ۱۲: «مالچ‌های پلاستیکی ارگانیک و سیاه می‌توانند ۲۵ درصد در آب کشاورزی صرفه جویی کنند، پلاستیک سیاه یا مالچ مصنوعی، نه تنها باعث کاهش تبخیر آب می‌شه، بلکه به کنترل علف‌های هرز و گرم شدن خاک برای زودتر به بار نشستن محصول کمک می‌کنه، مالچ‌های آلی پس از تجزیه، مواد مغذی را به خاک می‌رسانند و رطوبت را حفظ می‌کنند». کد۹: «حفظ رطوبت خاک از طریق افزایش مواد آلی، مالچ‌پاشی و استفاده از روش‌های حفاظتی خاک مثل کشت تناوبی و عدم شخم‌زنی، می‌تواند مصرف آب را کاهش بده».	استفاده از مالچ‌های پلاستیکی و آلی برای صرفه جویی در مصرف آب				
کد ۱۰: «تولید محصولات ارگانیک برای صرفه جویی آب خیلی مهم هستند، روش‌های ارگانیک کشاورزی، به حفظ رطوبت خاک، افزودن آب زیرزمینی بیشتر و جلوگیری از ورود سموم و دفع آفات به رودخانه‌ها و دیگر آب‌ها کمک می‌کنه». کد ۱۵: « آبیاری گیاهان با استفاده از آبیاری قطره‌ای به جای روش سنتی می‌تونه باعث کاهش ۸۰ درصدی تبخیر و صرفه جویی آب در مصارف کشاورزی بشه. همچنین با آبیاری قطره‌ای از رسیدن آب به ریشه گیاهان اطمینان خواهیم داشت. که می‌تواند منجر به رشد بهتر می‌شه.»	تولید محصولات ارگانیک برای صرفه جویی آب				
کد ۱۳: «با افزایش کیفیت خاک، خاک بهتر می‌تونه رطوبت و اکسیژن را برای رشد گیاهان نگه دارد. با این کار مقدار آب مورد نیاز به‌طور منظم کاهش می‌یابد. روش‌های مناسب برای مدیریت خاک شامل: کوددهی با کود مرغوب، افزودن کمپوست و کاهش دفعات خاک‌ورزی است.»	افزایش کیفیت خاک				
کد۱۱: «استفاده از پساب‌های تصفیه‌شده شهری و بعضا صنعتی برای آبیاری کشاورزی و موارد صنعتی می‌تونه یکی از راه‌های مؤثر برای کاهش مصرف آب شیرین باشه». کد ١٤: «مثلا معمولا کارخانجات بزرگ که از دستگاه‌ها و ماشین‌آلات غول‌پیکر برای تولید محصولات خود استفاده می‌کنند، به‌نوعی نیازمند استفاده مجدد از فاضلاب هستند. این ماشین‌آلات در مواقعی شدیدا داغ می‌کنند و کارگران برای کاهش دمای آن‌ها، باید از آب استفاده کنند. مسلما استفاده از آب آشامیدنی در این مواقع، کار درستی نیست. به همین دلیل از آب حاصل از تصفیه فاضلاب صنعتی برای کاهش دمای ماشین‌آلات کارخانجات استفاده می‌کنند تا آب آشامیدنی شیرین و شرب هدر نره.»	استفاده از پساب‌های تصفیه‌شده				

جدول ۸- مضامین برساخت‌شده از اولویت قراردادن تصفیه پساب‌ها برای استفاده مجدد از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب در بخش کشاورزی

Table 8. Constructed themes of prioritizing wastewater treatment for reuse from the perspective of stakeholders and key informants in the field of water issues in the agricultural sector

واحدهای معنادار	مقوله‌های پایه		مقوله‌های سازمان‌دهنده	مقوله‌های فراگیر	هدف
کد۹: «تصفیه و استفاده مجدد از پساب‌های کشاورزی به کاهش فشار بر منابع آب طبیعی، به‌ویژه در مناطق کم‌آب کمک می‌کنه. این فرآیند منابع جدیدی از آب قابل استفاده برای آبیاری فراهم می‌کنه که کشاورزا باید بهش اهمیت بدن»	اهمیت قائل شدن به حفاظت از منابع آبی	اهمیت‌بخشی به تصفیه پساب‌ها برای استفاده مجدد کشاورزی	اهمیت‌بخشی به باز چرخانی آب در کشاورزی	اولویت قراردادن تصفیه پساب‌ها برای استفاده مجدد	شناسایی مؤلفه‌ها و ابعاد سواد آبی، رفتاری کشاورزان از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب
کد ۳: «با تصفیه پساب‌های کشاورزی، آلودگی‌های ناشی از کودها و سموم به منابع آبی کاهش پیدا می‌کنه و از تخریب محیط زیست جلوگیری می‌شه، اگر کاورزان به این مهم توجه نشون بدن خیلی خوب می‌شه»	اهمیت قائل شدن به کاهش آلودگی محیط‌زیستی				
کد ۱۰: «استفاده از پساب‌های تصفیه‌شده می‌تونن به بهبود کیفیت خاک و حفظ سلامت اکوسیستم‌ها کمک کنن، چراکه معمولاً حاوی مواد مضر مجاز هستند، کشاورزی کارشو خوب بلده که به این نکته توجه کنه و به عمل بیارتش».	اهمیت قائل شدن به بهبود کیفیت خاک				
کد۶: «استفاده مجدد از آب‌های تصفیه‌شده می‌تونه هزینه‌های مربوط به تأمین آب برای کشاورزی را کاهش بده ، به‌ویژه در مناطقی که هزینه برداشت آب بالا است و اینو باید کشاورزا خوب درک کنن».	اهمیت قائل شدن به صرفه‌جویی در هزینه‌ها				
کد۶: «استفاده مجدد از آب‌های تصفیه‌شده می‌تونه به کشاورزان کمک کنه تا با کمبود آب و تغییرات اقلیمی سازگار بشن و این خیلی برای کشاورزا و روال زندگی کشاورزی‌شون مهمه».	اهمیت قائل شدن به سازگاری با تغییرات اقلیمی				

جدول ۹- مضامین برساخت‌شده از کاهش آلودگی منابع آب از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب در بخش کشاورزی
Table 9. Constructed themes of reducing water pollution from the perspective of stakeholders and key informants in the field of water issues in the agricultural sector

واحدهای معنادار	مقوله‌های پایه		مقوله‌های سازمان‌دهنده	مقوله‌های فراگیر	هدف
کد۷: «به جای استفاده از کودهای شیمیایی، استفاده از کودهای آلی مانند کمپوست یا کود حیوانی می‌تونه به کاهش ورود مواد شیمیایی به آب‌های زیرزمینی کمک کنه». کد۱۰: «جایگزینی کودهای شیمیایی با کودهای زیستی یا طبیعی می‌تواند تأثیرات منفی بر کیفیت آب را کاهش بده. این کودها به تدریج آزاد می‌شن و خطر شستشوی سریع به آب‌های زیرزمینی را کاهش می‌دن. با استفاده از مدیریت یکپارچه آفات (IPM) می‌شه از سموم شیمیایی کمتر استفاده شه. این روش شامل استفاده از دشمنان طبیعی آفات، استفاده از تله‌ها و به کارگیری گیاهان مقاومه».	استفاده از کودهای آلی و زیستی	کاهش استفاده از مواد شیمیایی در آب	تلاش برای کاهش استفاده سوءموم شیمیایی	کاهش آلودگی منابع آب	شناسایی مؤلفه‌ها و ابعاد سواد آبی رفتاری کشاورزان از منظر ذینفعان و مطلعین کلیدی حوزه مسائل آب
کد۱۲: «استفاده از آفت‌کش‌های بیولوژیک مانند باکتری‌ها و قارچ‌ها به جای آفت‌کش‌های شیمیایی، به کاهش آلودگی آب کمک می‌کنه».	استفاده از آفت‌کش‌های بیولوژیک				
کد۵: «استفاده از آب‌های بازیافت‌شده برای آبیاری محصولات می‌تونن به کاهش نیاز به مواد شیمیایی و حفاظت از منابع آب کمک کنه».	استفاده از آب‌های بازیافتی				
کد۷: «ارائه اطلاعات دقیق و به‌روز از کشاورزا با تجربه به کشاورزای بی‌تجربه در مورد کیفیت آب و اثرات مواد شیمیایی بر اون می‌تونه به تصمیم‌گیری بهتر این دسته از کشاورزان کمک کنه».	اطلاع‌رسانی و آگاه‌سازی از طریق جامعه کشاورزان				
کد۳: «استفاده از حسگرها برای پایش وضعیت خاک و گیاه می‌تونه به کشاورزان کمک کنه تا زمان و مقدار دقیق مصرف مواد شیمیایی را تعیین کنن و از مصرف بی‌رویه آن‌ها جلوگیری بشه».	استفاده از حسگرها برای پایش و کنترل وضعیت خاک				
کد٤: «استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار مانند آبیاری قطره‌ای، که باعث کاهش مصرف آب و افزایش کارایی استفاده از آن می‌شود، می‌تونه نیاز به استفاده از مواد شیمیایی را کاهش بده، این روش همچنین به جلوگیری از شستشوی کودها به آب‌های سطحی و زیرزمینی کمک می‌کنه».	استفاده از آبیاری-های کارآمد				
کد ٤: «با استفاده از تکنیک‌های مناسب برای مدیریت آب باران و سیلاب، می‌شه از شستشوی مواد شیمیایی به منابع آب جلوگیری کرد».	کنترل و جمع‌آوری آب باران و سیلاب				
کد٦: «استفاده از روش‌های کشاورزی پایدار مفیده، مثلا کشاورزی ارگانیک، استفاده از روش‌های ارگانیک می-تونه به کاهش استفاده از مواد شیمیایی کمک کنه. این روش‌ها شامل استفاده از کودهای طبیعی و حذف سموم شیمیایی آن که می‌تونن به کاهش آلودگی آب‌ها کمک کنن».	بهره‌مندی از کشاورزی ارگانیک				
کد۷: «تغییر نوع گیاهان در یک زمین و کشت چندگانه و متناوب به‌طور مرتب می‌تونه به کاهش نیاز به کودهای شیمیایی و سموم کمک کنه و در نتیجه، آلودگی آب‌ها را کاهش بده».	بهره‌مندی از کشت چندگانه و تناوب زراعی				

با توجه به هدف و سؤال پژوهش، شناسایی مؤلفه‌های رفتاریِ سواد آبی از منظر ذینفعان نهادی و مطلعین کلیدی حوزهٔ آب در بخش کشاورزی لازم است. در این پژوهش با توجه به رویکرد سواد آبی و با به خدمت گرفتن رویکرد کیفی و روش تحلیل مضمون، در نهایت مؤلفه‌های سواد آبی رفتاریِ کشاورزان شهرستان قرچک به‌عنوان اصلی‌ترین دستاورد این پژوهش مورد تحلیل واقع شد. یافته‌های حاصل از تحلیل اطلاعات و مقایسهٔ اظهارات ذینفعان نهادی و مطلعین کلیدی جهاد کشاورزی شهرستان قرچک از سواد آبی در بخش اقدامات و فعالیت‌های مرتبط با کشاورزان به ۱۰ مقولهٔ فراگیر و سازمان‌دهنده‌های مرتبط با آن‌ها شامل بهینه‌سازی منابع آب در بخش کشاورزی (استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری)؛ مدیریت منابع آب پایدار زیرزمینی در بخش کشاورزی (حفاظت از منابع آب زیرزمینی)؛ ذخیره و مدیریت منابع آب (بهبود زیرساخت‌های ذخیره آب)؛ استفاده از تکنولوژی‌های کشت گلخانه‌ای کم‌آب (تغییر نوع کشت گلخانه‌ای)؛ عدالت در دسترسی به منابع آب (توزیع عادلانه منابع آب)؛ اقدام کشاورزان به تقویت مشارکت‌های محلی (دعوت به مشارکت جوامع محلی در مدیریت منابع آب)؛ بهره‌وری پایدار از منابع آبی(تصفیه و بازیافت آب، بازچرخانی آب، کاهش ضایعات به‌منظور استفاده بهینه از منابع آبی)؛ حفاظت از منابع آب شیرین (کاهش مصرف منابع آب شیرین در کشاورزی)؛ اولویت قراردادن تصفیه پساب‌ها برای استفاده مجدد (اهمیت‌بخشی به باز چرخانی آب در کشاورزی) و کاهش آلودگی منابع آب (تلاش برای کاهش استفاده سوموم شیمیایی)، دسته‌بندی شدند.

متناسب با اقلیم و شرایط آب‌وهوایی شهرسان قرچک، تغییر نوع رویکرد به مسائل آب و مدیریت آن در بخش کشاورزی، یک ضرورت است و این مهم از طریق به خدمت گرفتن مؤلفه‌ها و ابعاد سواد آبی و تغییر در رویه‌های رفتاری سواد آبی کنونی کشاورزان امکان‌پذیر خواهد بود. این امر در پژوهش(Madani, 2014) نیز مورد بحث واقع شده است، چنانچه به اهمیت تغییر و تحول رویه‌ایی به مسائل آب و مدیریت آن در بخش کشاورزی، اشاره کرده است؛ تغییری که به باور ذینفعان نهادی و مطلعین کلیدی حوزه آب کشاورزی شهرستان قرچک هنوز به‌درستی اتفاق نیفتاده است، این در حالی است که نظرات مصاحبه‌شوندگان حاکی از وجود ظرفیت‌های وسیعی جهت توسعهٔ کشاورزی در شهرستان قرچک است.

نتایج پژوهش(Lockwood et al., 2010) نیز گویای این واقعیت است. ذینفعان نهادی و مطلعین کلیدی جهاد کشاورزی قرچک معتقد بودند که ارتقاء سطح رفتاری سواد آبی کشاورزان، یکی از مهم‌ترین مسائل توسعه‌ای بخش کشاورزی این شهرستان است که باید مورد توجه جدی قرار گیرد؛ بنابراین می‌بایست توسعهٔ سامانه‌های نوین آبیاری و ارتقاء کیفیت فعالیت‌های کشاورزی از طریق ترویج سواد آبی در جامعه کشاورزان را در بطن سیاست‌های توسعه‌ای با تأکید بر توسعهٔ محلی قرار داد.

یافته‌های این مطالعه با بخشی از یافته‌های مطالعات(Behboudi & Ghorbani, 2023) و (Afsari et al., 2018) در قالب اصلاح الگوی حکمرانی آب از طریق ایجاد تغییر در برداشت از منابع آب، ظرفیت سازگاری، ظرفیت توانمندسازی، عامل تحقیق و توسعه، مؤلفه مشارکت، وابستگی به آب، آموزش و الگوی کشت و بخشی از یافته‌های (Razzaghi Borkhani et al., 2024) در قالب مدیریت بهینه زمین‌های کشاورزی و مزرعه با روش‌های کشاورزی حفاظتی و تاب‌آوری کشاورزان نسبت به تغییرات اقلیم، آگاه‌سازی و توانمندسازی کشاورزان از طریق گسترش سواد آبی، همچنین یافته‌های (Tatar et al., 2018) در قالب برگزاری کارگاه و دوره‌های آموزشی در زمینهٔ نحوه کار و نگهداری از تجهیزات شبکه به‌مثابه مهم‌ترین راهکارهای مدیریت تضاد آب و یافته‌های (Goodarzi et al., 2012) در قالب رتبه‌بندی مسائل و محدودیت‌های مدیریت آب از دیدگاه کشاورزان در زمینهٔ استحصال: کاهش آبدهی منابع آب سطحی و افت سفره‌های آب زیرزمینی، در زمینهٔ انتقال: پوسیدگی پوشش کانال‌ها و چکه کردن لوله‌ها و در زمینهٔ مصرف آب در مزرعه و عدم استفاده از روش‌های مکانیزه آبیاری همراستاست.

۴- نتیجه‌گیری

سواد آبی کشاورزی به عنوان یک راهکار کلیدی برای مدیریت پایدار منابع آب و بهبود بهره‌وری در بخش کشاورزی مورد توجه است، از این‌رو رفتار سواد آبی کشاورزان در منطقه قرچک به‌عنوان یکی از مناطق مهم کشاورزی در استان تهران به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی در مدیریت پایدار منابع آبی، نقشی حیاتی در بهره‌برداری بهینه از آب کشاورزی و حفاظت از این منبع ارزشمند ایفا می‌کند. در این مطالعه با واکاوی مؤلفه‌های بعد سواد آبی کشاورزی به مقولاتی همچون اصول مدیریت آب، بهره‌برداری بهینه از منابع، آبیاری مدرن و پایدار، و آگاهی از پیامدهای زیست‌محیطی مصرف نامناسب آب طبقه‌بندی شد. از آنجا که بخش عمده‌ای از مصرف آب در این منطقه مربوط به کشاورزی است، فقدان بعد رفتاری سواد آبی کشاورزی در جامعه کشاورزان منجر به هدررفت منابع آب، کاهش بهره‌وری تولیدات، و تشدید بحران‌های زیست‌محیطی می‌شود. افزون بر این یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که افزایش آگاهی و دانش کشاورزان در زمینه مدیریت منابع آب، اتخاذ رفتارهای مسئولانه‌تر و کارآمدتر را در پی دارد. همچنین، عوامل مدیریتی و سازمانی- ساختاری جهاد کشاورزی قرچک از یک‌سو و از سوی دیگر حمایت‌های نهادی، اجتماعی-فرهنگی و اقتصادی تأثیر مستقیمی بر تقویت سواد آبی کشاورزان دارند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاران و نهادهای مرتبط، برنامه‌هایی جامع برای ارتقای بعد رفتاری سواد آبی از طریق آموزش‌های کاربردی، اطلاع‌رسانی مناسب و ترویج فناوری‌های نوین در بخش کشاورزی طراحی و اجرا کنند. این امر می‌تواند منجر به کاهش فشار بر منابع آبی، افزایش بهره‌وری آب و حفظ پایداری زیست‌محیطی در بخش کشاورزی شود. تأکید بر اهمیت مشارکت جامعه محلی و ایجاد شبکه‌های ارتباطی میان کشاورزان نیز می‌تواند گامی مؤثر در ترویج رفتارهای مطلوب در زمینه مدیریت آب باشد.

۵- تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله وجود ندارد.

۶- منابع

Afsari, A., Haji Naseri, S., Fazeli, M., & Feirahi, D. (2018). A sociological examination of water governance in lake Urmia crisis: Grounded theory model. *Strategic Studies of public policy*, 7(25), 53-72. (In Persian)

Afshani, S., & Shiri-Mohammadbadi, H. (2020). Evaluation of benefactors and key informed people of Yazd province on operational strategies for utilizing social capacities for sustainable management of water resources. *Community Development (Rural and Urban)*, 12(1), 305-331. https://doi.org/10.22059/JRD.2021.312355.668594. (In Persian)

Asadollahzadeh Mousavi, M. (2011). Study of social factors affecting water consumption patterns in the city of Babol, Master's Thesis, Babolsar: University of Mazandaran, Iran. (In Persian)

Attride–Stirling, J. (2001). Thematic networks: An analytic tool for qualitative research. *Qualitative Research*, 1(3), 385-405.

Babaee, O., & Alijani, B. (2013). Spatial analysis of long duration droughts in Iran. *Physical Geography Research*, 45(3), 1-12. https://doi.org/10.22059/jphgr.2013.35831. (In Persian)

Behboudi, D., & Ghorbani, F. (2023). Analyzing the leverage points of qualitative system dynamic model of water governance (Case study: Qarranqu basin). *Iran-Water Resources Research*, *19*(1), 22-45. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1402.19.1.2.7

Besthenegar, M., & Alizadeh, S. (2013). Project stakeholder analysis. *Publications of the 8th International Project Management Conference*, pp.1-6. (In Persian)

Cheshmi, M., & Ahmadi Seyedabadi, S. (2016). The role of water sociology in water consumption management and water crisis reduction. University of Tehran, *Iranian Congress of Water and Wastewater Engineering Sciences*, 1149. (In Persian)

Cooper, C., & Cockerill, K. (2015).Water quantity perceptions in Northwestern North Carolina: Comparing college student and public survey responses. Southwest. *Geogr*, 55, 386–399.

Daneshmehr, H., Ahmadrash, R., & Karimi, A. (2019). Perceptional understanding by local elites and people around the Zab River's water transfer to Urumieh lake. *Quarterly of Social Studies and Research in Iran*, *8*(1), 1-32. https://doi.org/10.22059/jisr.2019.260880.707. (In Persian)

Dean, A.J., Fielding, K.S., & Newton, F.J. (2016). Community knowledge about water: Who has better knowledge and is this associated with water-related behaviors and support for water-related policies? *PLoS ONE*, 11. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159063

Defries, R., & Nagendra, H. (2017). Ecosystem management as a wicked problem. *Science*, 356, 265–270. https://doi.org/10.22059/jrd.2021.312355.668594

Evans, E.N. (1992). Liberation theology, empowerment theory and social work practice with the oppressed. *International Social Work*, 35, 135-147.

Fazeli, M. (2018). Paying attention to the social dimensions of water literacy in schools/our country is facing the "problem" of water, not the water crisis, Working group and brainstorming session on promoting water knowledge and literacy. https://wnn.wrm.ir/cs/NewsCrawler/559/30425. (In Persian)

Goodarzi, S., Shabanali Fami, H., Movahedmohmmadi, H., & Jalalzadeh, M. (2012). Challenges of agricultural water management in Karaj County: Farmers' viewpoints. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *42*(2), 243-253. https://doi.org/20.1001.1.20084838.1390.42.2.9.2. (In Persian)

Hawke, S.M. (2012). Water literacy: Another wise, active and cross-cultural approach to pedagogy, sustainability and human rights. *Continuum*, 26: 235–247. https://doi.org/10.1080/10304312.2012.664120

Iman, M.T., & Noshadi, M. R. (2011). Qualitative content analysis, *Research Quarterly*, 3 (2): 15-44. (In Persian)

Jamshidi, S., & Dehghani, H. (2021). Water literacy evaluation in urban society (Case study: Isfahan city). *Journal of Environmental Studies*, 46(4), 683-702. https://doi.org/10.22059/jes.2021.322250.1008160. (In Persian)

Kashi Nahanji, V. (2011). Health literacy in schools, Tehran: Kebatdar, 1st edition, Volume 1. (In Persian)

Laport, E., Ariganello, S., Samples, A., & Diana, J. (2013). Water literacy. *The Michigan Department of Environmental Quality*. https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/37824

Lockwood, M., Davidson, J., Curtis, A., Stratford, E., & Griffith, R. (2010). Governance principles for natural resource management. *Society and Natural Resources*, 23(10), 986-1001. https://doi.org/10.1080/08941920802178214

Luyet, V., Schlaepfer, R., Parlange, M. B., & Buttler, A. (2012). A framework to implement stakeholder participation in environmental projects. *Journal of Environmental Management*, 111, 213-219. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.06.026

Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 4, 315–328. https://doi.org/10.1007/s13412-014-0182-z

Mehr News Agency. (2015). The contribution of Qarchaki farmers to the tables of the people of the capital: Mehr News Agency: No. 2587188. (In Persian)

Moayeri, M., & Salmanmahiny, A. (2015). Stakeholders and criteria for their identification in natural resources management (Case study: Golestan province forests). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, *21*(4), 23-40. https://doi.org/20.1001.1.23222077.1393.21.4.2.3. (In Persian)

Mohammadpour, A. (2013). Beyond: Philosophical and practical foundations of integrated research method in behavioral sciences, *Sociologists Publications*, Tehran. (In Persian)

Nascimento, LCN., Souza, TV., Oliveira, ICS., Moraes, JRMM., Aguiar, RCB., & Silva, LF. (2018). Theoretical saturation in qualitative research: an experience report in interview with schoolchildren. *Rev Bras Enferm*, 71(1), 228-33. https://doi.org/10.1590/0034-7167-2016-0616

Ningi, T., Taruvinga, A., Zhou, L., & Ngarava, S. (2022). Determinants of water security for rural households: Empirical evidence from Melani and Hamburg communities, Eastern Cape, South Africa. *South African Journal for Science and Technology*, *40*(1), 37-49. https://doi.org/10.36303/SATNT.2021.40.1.802

Nkiaka, E. (2022). Exploring the socioeconomic determinants of water security in developing regions. *Water Policy*, 24(4), 608-625. https://doi.org/10.2166/wp.2022.149

Rahmani, S., Yazdanpanah, M., Forouzani, M., & Abdeshahi, A. (2018). Investigating farmers' beliefs and strategies to adapt to water scarcity and factors affecting them in Mamassani county. *Journal of Water Research in Agriculture*, 32(2), 321-340. https://doi.org/10.22092/jwra.2018.116973. (In Persian)

Razzaghi Borkhani, F., Azizi Khalkheili, T., & Barati, A. (2024). Analysing the most important variables affecting agricultural water security in Mazandaran province. *Journal of Agricultural Economics and Development*, *38*(3), 294-279. https://doi.org/10.22067/jead.2024.87497.1260. (In Persian)

Rieckmann, M., Mindt, L., & Gardiner, S. (2017). Education for sustainable development: Learning objectives; United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: Paris, France.

Saldena, J (2016). The Coding manual for qualitative researchers, Translated by Abdullah Gaviyan, Tehran: Scientific and Cultural Publications. (In Persian)

Tatar, M., Papzan, A., & Ahmadvand, M. (2018). Agricultural water conflict management in Gawshan Basin: Solutions based on cooperation strategy. *Iranian Agricultural Extension and Education Journal*, 14(1), 91-111. (In Persian)

Wood, G.V. (2014). Water literacy and citizenship: Education for sustainable domestic wateruse in the East Midlands. PhD Thesis, University of Nottingham. Access from the University of Nottingham Repository.

Zahedinia, SH., Shahbazi, A., & Veisi, H. (2014). Water literacy, the foundation of optimal water management in Iran, *National Conference on Water, Humans, Land, Governmental and Public Organizations and Centers*, 1, 1-7. (In Persian)

Zarabi, E., & Farid Tehrani, S. (2009). Participatory approach in renovation and rehabilitation of deteriorated urban fabrics. *Armanshahr Architecture & Urban Development Journal*, 2, 39-46.

Technical Strategies in Water Systems
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
ISSN (Online): 2981-1449
Autumn 2024: Vol 2, Issue 3, 258-271
https://doi.org/10.30486/TSWS.2025.1193692

Research Article

Identification and introduction of the underground water transfer system (Qanat) from the Shapur River to Genaveh Port in the Northern Bushehr Province

Omid, Azadijoo

Bushehr Regional Water Company, Bushehr, Iran

Corresponding Author email: o.azadijoo@Gmail.com

© The Author(s) 2025

Received: 16 Nov 2024 Accepted: 29 Jan 2025 Published: 05 Feb 2025

Abstract

The qanat is one of the most significant ancient water transfer systems. In the past, qanats were used to transport water over long distances. While large qanats have been extensively excavated and documented in Iran's desert areas, little research has focused on qanats in coastal regions. Consequently, limited information is available regarding the excavation methods and water transfer mechanisms of qanats in these areas. For this purpose, the study was conducted through an analysis of linear features in satellite images, aerial photographs, and field surveys. The results of this research led to the identification and introduction of the Boukeh-Tolborj qanat, with a detectable length of about 63 kilometers, which could be considered one of the important qanats in the Persian Gulf coast and Bushehr Province. This qanat transported water from the Shapur River in Abpakhsh (Dashtestan) to the northern and eastern areas of Genaveh Port. The average spacing between well shafts is approximately 60-65 meters, and the qanat follows a southeast-to-northwest direction. The existence of this extensive and costly qanat underscores the importance of long-distance water transportation for sustaining large settlements and supporting agricultural activities along the Persian Gulf coast.

Keywords: Qanat, River, Satellite images, Genaveh port, Bushehr province

مجله راهبردهای فنی در سامانه‌های آبی
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
شاپا الکترونیکی: ۱۴۴۹-۲۹۸۱
پاییز ۱۴۰۳، دوره دو، شماره ۳، ۲۷۱-۲۵۸
https://doi.org/10.30486/TSWS.2025.1193692

مقاله پژوهشی

شناسایی و معرفی سامانه انتقال زیرزمینی آب (قنات) از رودخانه شاپور به بندرگناوه در شمال استان بوشهر

امید آزادی‌جو

شرکت سهامی آب منطقه ای بوشهر،بوشهر، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: o.azadijoo@Gmail.com
© The Author(s) 2025

دریافت:۱۴۰۳/۰۸/۲۶ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰ چاپ: ۱۴۰۳/۱۱/۱۷

چکیده

قنات یکی از سازه‌های مهم برای احداث سامانه‌های انتقال آب است. در دنیای باستان، انتقال آب به مناطق دوردست توسط قنات انجام می‌شد. عمده قنات‌های بزرگ در مناطق کویری ایران حفر و معرفی شده‌اند و برای نواحی ساحل دریا قنات‌های بزرگ معرفی نشده است؛ بنابراین از شناخت روش‌های حفر قنات و انتقال آب در این ناحیه، اطلاعات چندانی در دست نیست. برای این هدف، مطالعه از طریق تجزیه و تحلیل عوارض خطی بر روی تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و بازدید میدانی انجام گردید. نتایج این پژوهش منجر به شناسایی و معرفی قنات بوکَه- تُل‌بُرج با طول قابل تشخیص در حدود ۶۳ کیلومتر گردید، که می‌تواند یکی از قنات‌های مهم در ساحل خلیج فارس، استان بوشهر و حتی ایران محسوب شود. این قنات آب رودخانه شاپور را از شهر آبپخش در دشتستان به نواحی شمالی و شرق بندرگناوه منتقل می‌نموده است. فاصله بین میله چاه‌ها بطور متوسط حدود ۶۵-۶۰ متر است و جهت آن از جنوب شرق به سمت شمال غرب است. وجود این رشته قنات بزرگ و پرهزینه، نشان از توان مهندسی، اراده بالا و اهمیت آبرسانی و انتقال آب به فاصله دوردست جهت تامین آب سکونتگاهی مهم بوده است، همچنین فعالیت‌های وسیع کشاورزی را در ساحل خلیج فارس نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: قنات، رودخانه، تصاویر ماهواره‌ای، بندرگناوه، استان بوشهر

۱- مقدمه

قنات فنی برای دستیابی به آب و انتقال آن به اراضی مستعد کشاورزی و ایجاد سکونتگاه می‌باشد و پایدارترین شیوه در تناسب با شرایط جغرافیایی گسترده مناطق خشک ایران محسوب می‌شود (Tabatabaei & Khozeymehnezhad, 2022). همچنین قنات یک سیستم مدیریت تامین آب قابل اطمینان برای آبیاری سکونتگاه‌های انسانی در آب و هوای گرم، خشک و نیمه‌خشک است که امکان زندگی را در مناطق بیابانی فراهم می‌کند (Boustani, 2008). بر اساس اطلاعات موجود، پراکندگی مکانی اکثر رشته قنات‌های استان بوشهر در مرکز و جنوب آن واقع شده‌اند. تعداد رشته قنوات در دشت‌های شمالی استان بوشهر یعنی حوزه شهرستان بندرگناوه و دیلم بسیار کم بوده و به ندرت می‌توان رشته قنات‌های معمول را مشاهده نمود. یکی از دلایل تعداد کم رشته قنوات در این ناحیه محدودیت ذخایر آب سطحی و زیرزمینی است. در بخش امام حسن شهرستان دیلم یک رشته قنات [متروکه] به نام امام حسن بین روستای بوالفتح و قنات به طول ۱۱۷۰ متر و قدمت ۸۰ سال وجود دارد که تا سده قبل دارای آب بوده است(ParsPiyab, 2007). آثار تک میله چاه‌های پر شده قنات مذکور هنوز به خوبی باقی است. این نوع ساختار متداول قنات را می‌توان به‌صورت انگشت شمار (تعداد سه رشته قنات) در نواحی شمالی و جنوب شهرستان بندرگناوه نیز مشاهده نمود. اما مهمترین رشته قنات شناسایی شده، رشته قنات جزیره با طول حدود ٤٢٣٥ کیلومتر است. موقعیت مظهر آن در مجاور روستای جزیره جنوبی از بخش ریگ واقع در شهرستان بندرگناوه و با فاصله حدود ۳۰۰ متری خط ساحلی خلیج فارس قرار دارد و از بزرگترین رشته قنات‌های استان بوشهر به شمار می‌رود که با انتقال آب به ساحل دریا، وجود بندرگاه تجاری- نظامی مهمی را در بخش شمالی خلیج فارس به اثبات می‌رساند (Azadijoo, 2023). قنات‌های منشعب از رودخانه بر خلاف قنات‌های ساده، آب را از کوهستان نمی‌گیرند، بلکه آب رودخانه‌ها را به زمین‌های زراعی منتقل می‌کنند و نمونه‌های بسیاری از آنها دیده شده است. یعقوبی در البلدان [قرن سوم هـ‌ق] «به قنواتی اشاره می‌کند که از رودخانه‌های منشعب از دجله و فرات آب را به داخل شهر بغداد منتقل می‌کرده‌اند» (Haeri, 2016). اقتداری در خصوص انتقال آب به سواحل دریای پارس می‌نویسد: «... با توجه به آبی که از رودخانه زهره از دشت زیدون، بوسیله تونلی که آثارش هم اکنون باقی است و از شرق امامزاده حیدر کرار به جلگه دیلم و گناوه آبرسانی می‌کرده‌اند، کشت کتان و بافتن پارچه‌های کتانی میسر بوده است» (Eghtedari, 1969). از طرفی نواحی شمالی استان بوشهر در ساحل و فراساحل دارای سکونتگاه‌های باستانی و تاریخی متعددی است که قدمت آنها را می‌توان به هزاره‌های ششم و پنجم قبل از میلاد تا قرون چهارم، پنجم و ششم هـ‌ق منتسب دانست (Zarei, 2022). این مناطق جزء قلمرو حکومت ایلامیان بوده و در دوره‌های بعدی به ویژه سلسله ساسانیان سکونت گسترده‌ای داشته‌اند و از حیث مکانی دارای اهمیت بوده است. طبیعتاً این مراکز جمعیتی تاریخی و باستانی بدون وجود آب شیرین به میزان کافی، قادر به سکونت، زندگی و امرار و معاش و بخصوص فعالیت‌های کشاورزی و تجاری نبوده‌اند. جغرافی‌نویسان قدیم پارچه کتانی این نواحی را لطیف و مشهور شمرده‌اند (Eghtedari, 1969). بنابراین نیاکان ما با داشتن دانش زمین‌شناسی و توان مهندسی، تلاش کردند تا بدون توجه به محدودیت‌های محیطی و به هر طریق ممکن منابع آب مناسب را شناسایی، مهار و به مناطق هدف خود برای مصارف شرب، کشاورزی و دامداری منتقل نمایند.عوامل زیادی وجود رشته قنات‌ها را در ایران تهدید می‌کند، که از آن جمله می‌توان به تغییرات آب و هوایی، بیابان‌زایی، مصرف بیش از حد منابع آب شیرین، رشد جمعیتو توسعه شهرها، فن‌آوری‌ها و آلودگی‌ها اشاره نمود (Esmaeili et al., 2022). یکی از دلایل مهم برای انجام این مطالعه، نبود رشته قنات در نواحی شمال استان بوشهر و خلاء اطلاعاتی در این زمینه بود که چگونه مردمان قرون گذشته و دوران باستان، سکونتگاه‌های خود را تامین آب می‌نموده‌اند؟ چرا با وجود سکونتگاه‌های مهم و متعدد، بر خلاف دیگر نقاط استان و کشور نام و نشانی از سازه تامین آب یعنی قنات نیست؟ کشاورزی گسترده در محیطی کم آب چگونه ممکن بوده است؟ این ابهامات و سئوالات پر شمار دیگر، باعث شد تا در این مطالعه بررسی دقیق‌تری در زمینه وجود قنات در نواحی ساحلی خلیج فارس انجام شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

سامانه انتقال آب باستانی (رشته قنات) بوکه-تل‌برج در دو دشت ساحلی محدوده‌های مطالعاتی برازجان و بندرگناوه قرار دارد و از جنوب شرق به سمت شمال غرب در یک راستای تقریباً مستقیم امتداد دارد. محل تقریبی مادر چاه و آبگیری رشته قنات در نزدیکی شهر امروزی آبپخش در شهرستان دشتستان و رودخانه شاپور قرار دارد. این قنات تقریباً به موازات خط ساحل خلیج فارس آب را با گذر از دو رودخانه بزرگ چهارروستایی و درّه‌گپ به نواحی شمال بندرگناوه و دامنه شرقی کوه بَنگ در نزدیکی روستای بوکه و احتمالاً به ناحیه باستانیتُل بُرج منتقل می‌کرده است. شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (الف) و مسیر رشته قنات(ب) را نشان می‌دهد.

شکل ۱- A: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در کشور ایران؛ B: موقعیت مسیر، امتداد و جهت رشته قنات بوکه – تُل‌بُرج و شهرها در ساحل شمالی خلیج فارس

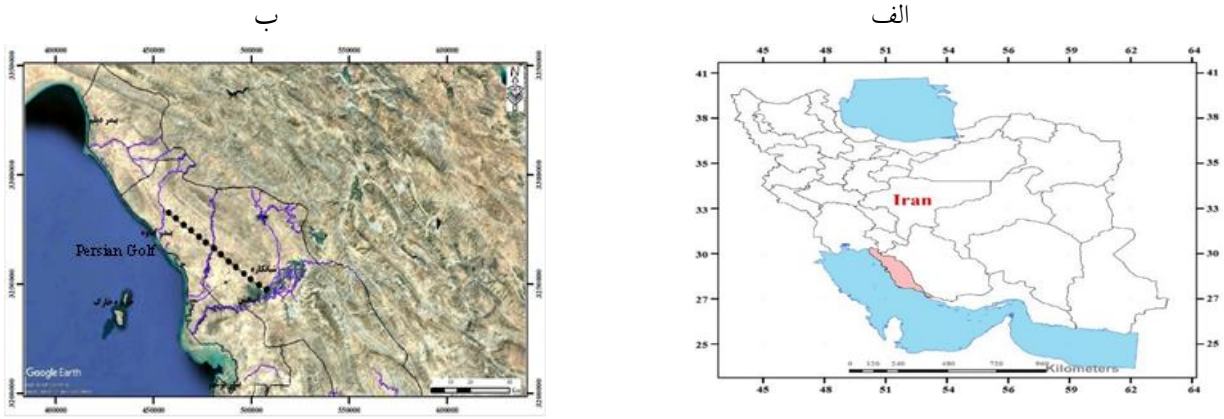


Fig 1. A: Geographical location of the study area in Iran; B: Route, extent, and direction of the "Boukeh-Tol Borj" Qanat system, along with cities on the northern coast of the Persian Gulf

۲-۲- روش کار

تصاویر ماهواره‌ای قابل دسترس، ابزار ساده و البته مهمی در شناسایی عوارض سطحی زمین در طول زمان‌های مختلف به شمار می‌روند. این تصاویر پوشش یکپارچه‌ای از سطح زمین را دارا هستند و کاربر قادر است برای زمان‌های مختلف و در یک بازه نسبتاً طولانی به مطالعه آثار سطحی و تغییرات سطح زمین بپردازد. برای انجام این پژوهش، بررسی‌های زمین‌شناسی و آب‌شناسی بر پایه مطالعات صحرایی، تفسیر عکس‌های هوایی بزرگ مقیاس و ماهواره‌ای صورت پذیرفته است. بطوریکه در ابتدا ناحیه‌ای به وسعت ۱۵۲۱ کیلومترمربع توسط تصاویر ماهواره‌ای (Google Earth) مورد بررسی قرار گرفت، سپس ساختارهای خطی انسان‌ساز (رشته قنات) شناسایی و تمام طول مسیر آن از طریق تصاویر ماهواره‌ای پیمایش شد. شناسایی ساختارهای خطی بر اساس شناخت ساختمان کلاسیک قنات و در مقایسه با آن صورت گرفت و توالی میله چاه‌ها با تکراری هدفمند در یک راستای مشخص، از شواهد و دلایل اصلی به حساب می‌آمد. اشکال موجود و قابل تشخیص بر روی تصاویر ماهواره‌ای با کمک GPS در صحرا شناسایی و تطبیق داده شد و از زاویه زمین ریخت‌شناسی و تفاوت‌های ناشی از فرسایش طبیعی و دخالت انسان، میله چاه‌های باقیمانده قنات در صحرا مطالعه گردید. اشکال شناسایی شده، ساخته دست انسان تشخیص داده شد. این اشکال که صرفاً شامل دهانه میله چاه‌ها و اثر باقی مانده آنهاست، دارای هندسه منحصر به فردی بوده که در اثر فرسایش طبیعی و گاه انسانی تا حد زیادی از بین رفته‌اند. فواصل حفر میله چاه‌ها و تکرار آن در صحرا پیمایش گردید و تطبیق‌های لازم صورت گرفت.در نهایت نقشه‌های هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی بر پایه آمار و اطلاعات آب‌شناسی و زمین‌شناسی در مسیر قنات رسم گردید تا از طریق آن موقعیت رودخانه‌ها، شرایط آبخوان از حیث عمق سطح آب، جهت جریان آب زیرزمینی، کیفیت آب، موقعیت

سازندهای زمین شناسی و ارتباط آنها با هم مورد ارزیابی و تحلیل و تفسیر قرار گیرد و بتوان تخمینی از موقعیت مادرچاه، عمق میله‌های قنات و کوره آن و همچنین درکی از پتانسیل ذخایر آبی قابل بهره‌برداری برای قنات در زمان احداث فراهم گردد. وجود منبع آب مهم یعنی رودخانه شاپور در نواحی جنوبی و همچنین وجود سکونتگاه باستانی مهم در مناطق شمالی همگی شواهد محکمی برای اثبات وجود انتقال آب به وسیله قنات بود که در تشخیص، محاسبات و تحلیل‌ها مدنظر قرار گرفته است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ژئومورفولوژی ناحیه

دشت شبانکاره و گناوه در دامنه جنوب غربی کوه گلخاری قرار دارد. سنگ‌شناسی ارتفاعات که شامل تشکیلات زمین‌شناسی آغاجاری و بختیاری است، عمدتاً دارای سیلت، مارن و کنگلومرا است؛ و فرسایش نواحی مرتفع‌تر، عمدتاً رسوبات ریزدانه سیلت و رسی را در پهنه دشت ته‌نشین و انباشته نموده است. نزدیک به ارتفاعات رسوبات نسبتاً دانه درشت‌تر و با فاصله از ارتفاعات تا ساحل، عمده رسوبات ماسه‌ای، سیلتی و رسی است. در این دشت و در مسیر رشته قنات مورد مطالعه، دو رودخانه بزرگ چهارروستایی و درّه‌گپ که هر دو آب شور دارند و مجموعاً ۸ آبراهه مهم بزرگ و کوچک عمود بر آن قرار دارد که سرمنشاء آنها ارتفاعات مشرف به دشت بوده و در نهایت به نواحی ساحلی و دریا ختم می‌شوند. توپوگرافی دشت نسبتاً هموار و یکنواخت بوده و جزء نواحی پست ساحلی به شمار می‌رود. ارتفاع سطح توپوگرافی و تراز آن نسبت به دریا در نواحی مادرچاه قنات حدود ۲۵ متر بوده و با شیب ملایم تا نواحی مظهر قنات تغییر زیادی در کاهش سطح ارتفاع زمین مشاهده نمی‌شود. وجود شن‌های روان، فرسایش‌پذیری رسوبات و همچنین سیلابی بودن مسیر قنات از ویژگی‌های بارز منطقه به شمار می‌رود.

۳-۲- آب زمین‌شناسی

عمده سازندهای منطقه رخنمون طبقات آغاجاری و بختیاری است که در تاقدیس گلخاری رخنمون دارند. دشت حدفاصل کوه مذکور و ساحل خلیج فارس، عمدتاً از رسوبات ریزدانه تشکیل شده است. منابع آب زیرزمینی در نواحی بویری و شبانکاره نزدیک به دامنه ارتفاعات از پتانسیل کمی و کیفی خوبی برخوردار بوده است، ولی در مناطق میانی و ساحلی پهنه دشت، آب زیرزمینی از پتانسیل کمی و کیفی مناسبی برخوردار نیست. جهت طبیعی جریان آب زیرزمینی از ارتفاعات شرقی به سمت غرب و دریاست و با فاصله از ارتفاعات شیب هیدرولیکی نیز کاهش می‌یابد. بهره‌برداری بی‌رویه این شرایط طبیعی را برهم زده است. تراز آب زیرزمینی از ۲۰ تا ۲۵ متر متغیر است (شکل ۲- الف). عمق آب زیرزمینی در مسیر ٦٣ کیلومتری قنات در دامنه ۹-٤ متر قرار دارد و بر خلاف دامنه ارتفاعات که شوری آب بسیار پایین است، در طول مسیر قنات و نواحی مرکزی دشت، شوری آب عمدتاً مقادیر بالایی را نشان می‌دهد. بطوریکه در شکل (۲- ب) و جدول (۱) قابل مشاهده است، دامنه شوری دشت از ۲۰۰۰۰ تا ٦٥۰۰۰ µmhos/cm متغیر است (به طور متوسط حدود ۳۰۰۰۰ µmhos/cm) و به همین علت در نواحی مرکزی دشت (پایین دست جاده آبپخش به بندرگناوه) چاه کشاورزی وجود ندارد و یا به ندرت دیده می‌شود.

این موضوع بیانگر آن است که امکان آبگیری در طول مسیر رشته قنات وجود نداشته و می بایست آبگیری از یک منبع آب با کیفیت و دارای حجم قابل قبول صورت گرفته باشد. با توجه به موقعیت رشته قنات، مناسب‌ترین منبع آبی از لحاظ کمیت و کیفیت رودخانه شاپور است که احتمالل می‌رود محل مادر چاه در ساحل راست آن انتخاب شده باشد و میله چاه‌های قابل شناسایی در نواحی نزدیک به موقعیت مادرچاه، حاکی از ارتباط بین قنات و رودخانه است. وجود آثار متعدد قنات، نشان می‌دهد این رودخانه نیز همانند دیگر رودخانه‌های مهم ایران در گذشته منبع آب مهمی برای انشعابات رشته قنوات و آبگیری بوده است. امروزه رودخانه شاپور در محل ایستگاه هیدرومتری شهر سعدآباد دارای آبدهی در محدوده ۲/۲ تا ٦/٥ m^3بوده و کیفیت آب در دامنه ٤۰۰۰ تا ٥۰۰۰ µmhos/cm قرار دارد که طبیعتاً در گذشته با رژیم متفاوت بارش، دبی پایه چشمه‌ها، نبود چاه و سازه‌های

متعدد سد، از کیفیت و کمیت مطلوب‌تری برخوردار بوده است. انتقال آب از طریـق رشته قنـات با عمق نسبتاً کم (بالای سطح ایستابی) و بطور متوسط در حدود ۷ متر تا ناحیه تل‌برج در شرق بندرگناوه ادامه داشته است و از این طریق آب مناسب کشاورزی و حتی شرب به آن منطقه مسکونی باستانی منتقل می‌شده است. جدول (۱)، ویژگی‌های کمی و کیفی آب در ناحیه مادر چاه (رودخانه شاپور) و آبخوان (در مسیر رشته قنات) را نشان می‌دهد.

شکل۲- الف: نقشه زمین‌شناسی، خطوط تراز سطح ایستابی، جهت جریان آب زیرزمینی و موقعیت رشته قنات؛ ب: محدوده مسیر رشته قنات، آب‌های سطحی و خطوط هم هدایت الکتریکی و موقعیت رشته قنات

ب الف

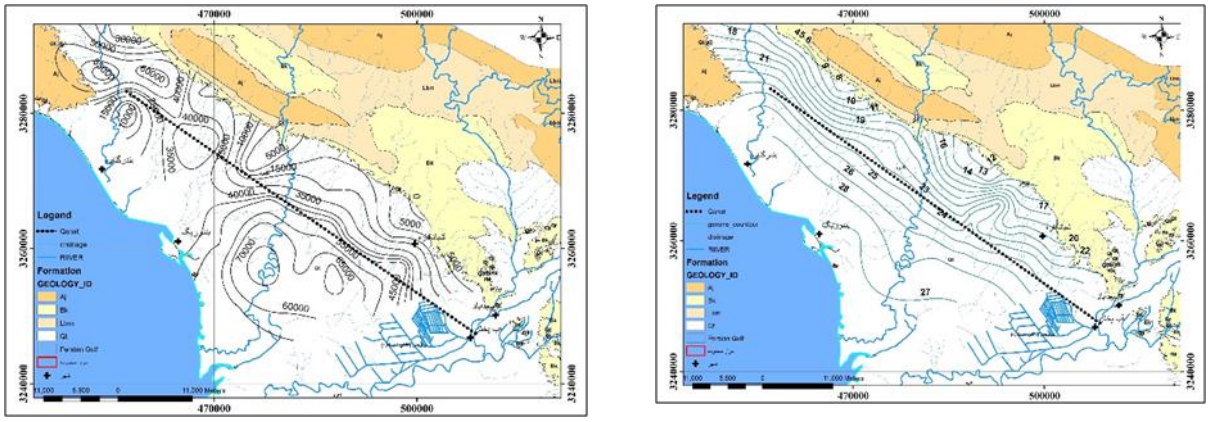


Fig 2. a. Geological map showing water table contour lines, groundwater flow direction, and the location of Qanat system; B: Route of the Qanat system, surface water distribution, electrical conductivity contour lines, and the Qanat system

جدول ۱- ویژگی‌های کمی و کیفی آب در ناحیه مادر چاه و آبخوان (Bushehr Regional Water Company, 2021)

Table 1. Quantitative and qualitative characteristics of water in the main well area and aquifer

آبدهی و شوری رودخانه شاپور (ایستگاه سعدآباد)			متوسط عمق	هدایت
فصل تر	فصل خشک	دامنه شوری	سطح ایستابی	الکتریکی
m^3s	m^3s	µmhos/cm	m	µmhos/cm
٦/٥	٢/٢	٤٠٠٠-٥٠٠٠	٧	٣٠٠٠٠

۳-۳- ویژگی‌های قنات و شواهد تشخیص از روی عکس‌های هوایی و تصاویرماهواره‌ای

برای تشخیص دقیق‌تر ساختمان قنات و آثار میله‌چاه‌ها، تصاویر ماهواره‌ای Google Earth در پهنه‌ای وسیع و همچنین عکس‌های هوایی بزرگ مقیاس در مناطق محدودی به‌کار گرفته شد. تجزیه و تحلیل تصاویر در دو حالت با بزرگنمایی کم و زیاد انجام پذیرفت. در بزرگنمایی کم، حین بررسی و مطالعه قنات شناسایی شده جزیره، یک عارضه با شباهت بسیار زیاد که زاویه‌ای در حدود ۳۰ درجه با رشته قنات مذکور داشت، شناسایی و کشف گردید که امتداد آن از یک طرف به یکی از رودخانه‌های پر آب استان بوشهر (شاپور) و از طرف دیگر به یک منطقه باستانی مهم (تل‌برج) ختم می‌شد. بررسی مکانی و زمانی محدوده مورد مطالعه نشان داد که عارضه خطی شناسایی شده دارای حداقل آثار ساختمانی است. علی‌رغم از بین رفتن بخش‌هایی از آثار میله چاه‌ها، اما می‌توان دقیقاً امتدادی تا نواحی شرقی روستای بوکه (شمال بندرگناوه) پیوسته از روی تصاویر ماهواره‌ای به طول ٦٣ کیلومتر شناسایی و پیمایش نمود. این قنات ممکن است تا ناحیه باستانی شناخته شده تحت عنوان نام تُل‌بُرج ادامه داشته و احتمالاً محل مظهر اصلی آن، آنجا قرار داشته که طول نهایی آن را با احتمال می‌توان تا ٦٧ کیلومتر تخمین زد. بخش زیادی از آثار

قنات بدلیل قرار گرفتن در دشت پست ساحلی و وجود فرسایش آبی و بادی از بین رفته و لذا در حال حاضر می‌تواند به عنوان یک قنات مدفون قابل تعریف باشد.

همانطور که در تصویر ماهواره‌ای شکل (۳) قابل مشاهده است، رشته قنات بوکَه – تُل‌بُرج با جهت جنوب شرق – شمال غرب امتداد داشته و در بخش‌هایی از مسیر طول رشته قنات، آثار سطحی مقطع میله چاه‌های آن نه به دلیل آثار ناشی از حفر میله چاه‌ها و وجود طوقه‌های گلی، بلکه به دلیل رویش متراکم گیاه به فاصله متوسط تقریباً هر ٦٠ تا ٦٥ متر در راستا و امتداد مشخصی به طول حداقل ٦٣٠٠٠ متر در بعضی نقاط به‌خوبی قابل تشخیص و ردیابی است. در بررسی تصاویر با بزرگنمایی بالا (بخش زوم شده شکل (۳) و تصاویر شکل (٤))، اختلاف رنگ متمایز یک عارضه خطی منقطع، از محیط پیرامون خود که ناشی از پوشش گیاهی و رطوبت‌گیری بیشتر محل اثر چاه‌ها بود، در کنار پایداری و تکرار آن، همچنین راستا و امتدادی معین، شاخص مهمی بود تا به عنوان رشته قنات مورد توجه و مطالعه قرارگیرد. بررسی‌های تکمیلی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که شکل‌گیری چنین پدیده‌ای غیر معمول، نه از روی تصادف و عوامل طبیعی، بلکه بطور قطع دلالت بر وجود یک ساختار رشته قناتی داشت که محاسبات انسانی در بوجود آوردن آن دخالت داشته و می‌بایست برای قطعیت بیشتر موضوع و نتیجه‌گیری نهایی، بازدید صحرایی انجام می‌شد.

شکل (۳) و شکل (٤)، به ترتیب بخشی از مسیر رشته قنات بوکه – تل برج را با جهت جنوب شرق به سمت شمال غرب در محل تقاطع با قناتجزیره از طریق تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و عکس هوایی بزرگ مقیاس نشان می‌دهد.

شکل ۳- تقاطع دو قنات جزیره (شرق به غرب) و بوکه-تل برج (جنوب‌شرق به شمال‌غرب) در جنوب غرب شبانکاره

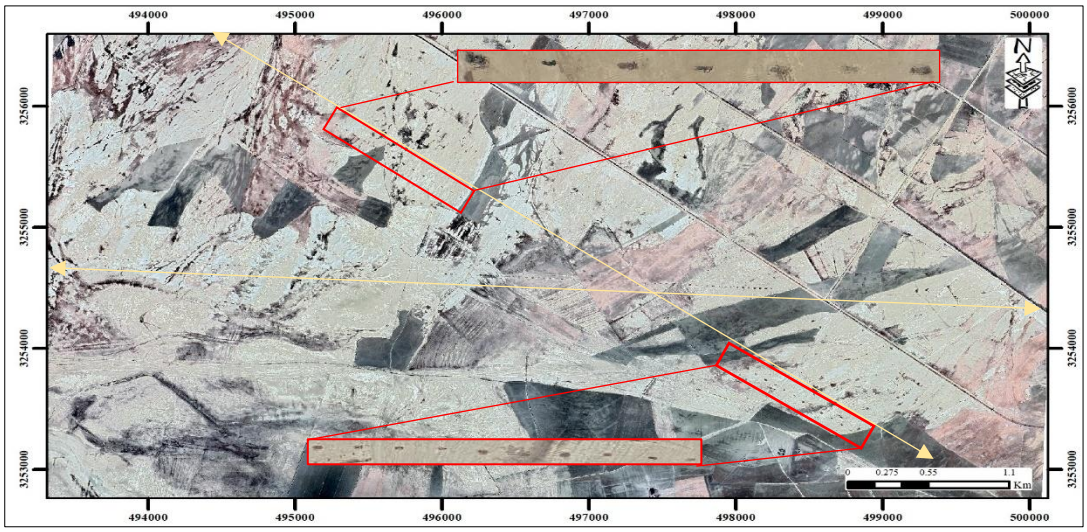


Fig 3. Intersection of two Qanat, "Jazireh" (oriented East to West) and "Boukeh-Tol Borj" (oriented Southeast to Northwest) in the southwest of Shabankareh.

شکل٤- الف و ب. عکس هوایی با مقیاس ۱/۱۰۰۰، (۱۳۸٦)، ساختمان سطحی و رد میله چاه‌ها در دو ناحیه از مسیر رشته قنات
(National Cartographic Center of Iran "NCC", 2007)

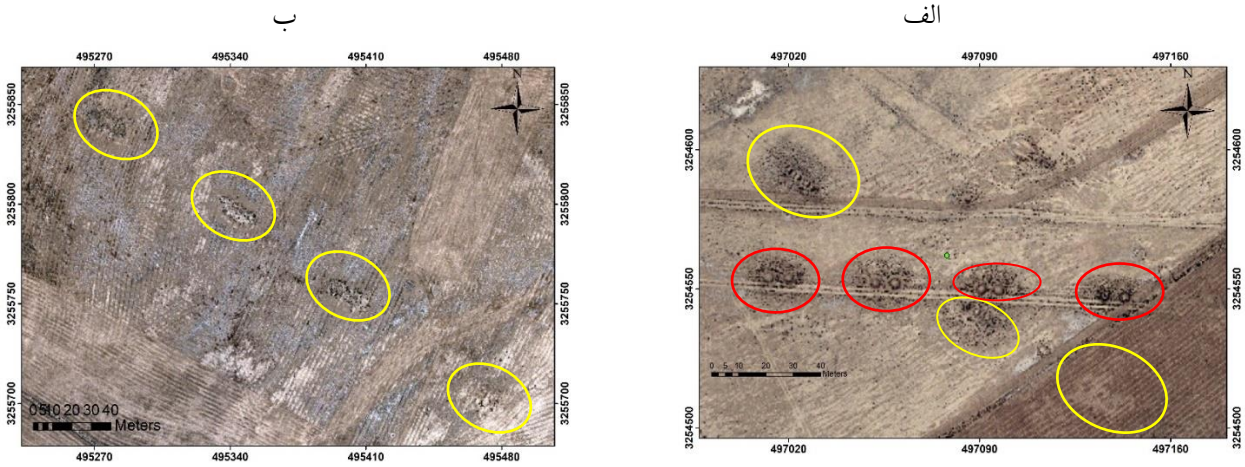


Fig 4. A, B: Aerial Photos (Scale:1/1000, 2007) showing the surface structure and the traces of the shaft wells in two areas of the Qanat route.

شکل (۵)، تصویر ماهواره‌ای از مقطع و برش قابل تشخیصی از مسیر یک کیلومتری رشته قنات مورد مطالعه را با امتداد جنوب شرق به شمال غرب نشان می‌دهد. موقعیت جغرافیایی سه نقطه از میله چاه‌ها به ترتیب در نقاط: A: X: 496141,Y: 3255236، B: X: 495689,Y: 3255559 و C: X: 495294,Y: 3255839 معرفی شده است. بزرگنمایی و مقیاس عوارض بر روی تصویر ارائه شده است.

شکل۵- بخشی از مسیر و آثار باقیمانده از توالی میله چاه های رشته قنات بوکه-تل برج در جنوب و غرب شبانکاره

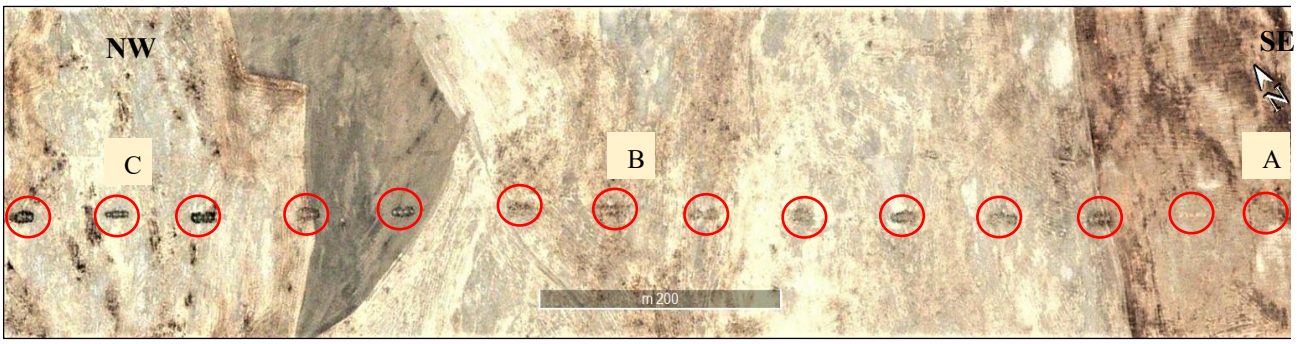


Fig 5. Section of the route and the remnants of the sequence of shaft wells of the "Boukeh-Tol Borj" Qanat system located in the south and west of Shabankareh (Google Earth, 2002).

۳-۴- شواهد صحرایی تشخیص آثار قنات

پس از آنکه تشخیص اولیه توسط عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای انجام شد، مطالعات زمینی و صحرایی آغاز گردید و موقعیت تصاویر ماهواره‌ای و انطباق آنها با اشکال صحرایی توسط GPS پیاده سازی شد. بررسی‌ها نشان داد بعضی از آثار کامل‌تر و تعدادی دیگر اثر فرسایش بر آنها نمود بیشتری داشت و لذا دو نوع شکل اثر باقیمانده قابل تشخیص بود؛ الف: وجود اشکال و مقاطع تقریباً یکپارچه مستطیل و بیضوی شکل با ابعاد متغیر و متوسط تقریباً ۲/۵ تا ۳ متر(عرض) در ۱۲ تا ۱۳ متر (طول) که فرسایش بیشتری را تجربه کرده بودند. ب: وجود اشکال چهار دایره متوالی با ابعاد تقریباً ٤ متر (عرض) در ۱۸ تا ۲۰ متر (طول) در اشکال سالم‌تر که فرسایش کمتری را درمقایسه با نوع اول تجربه کرده‌اند.

بافت رویش متراکم گیاهان علفی با فاصله منظم حدود هر ٦٠ تا ٦٥ متر در صحرا و با امتداد و راستایی مشخص و با پایداری و استقامت زیاد در مقابل فرسایش طبیعی و فعالیت‌های انسانی بخصوص شخم زدن هر ساله زمین‌های کشاورزی و حفظ موقعیت خود با قطع خطوط شیاری ناشی از شخم زدن زمین مشاهده گردید (شکل٦). همچنین در مقاطعی از مسیر طول رشته قنات، زمین‌های شوره‌زار و سبخایی وجود دارد که وجود کرت‌های کوچک علفی این تفاوت و تمایز را از محیط پیرامونی خود به طرز کاملاً معناداری متفاوت می‌کند. این اشکال مستطیلی و گاه بیضوی، دارای چهار حلقه چاه متوالی هستند که متاثر از شرایط رویش متراکم گیاهان صحرایی، ناهمواری سطحی در محل میله چاه و تبخیر آب زیرزمینی در محل میله چاه‌ها شکل خود را حفظ کرده‌اند. بنابراین وجود این اشکال با قرار گرفتن در راستا و فواصل مشخص و تکرار در طول ده‌ها کیلومتر از ناحیه‌ای با پتانسیل آبی مناسب به منطقه‌ای با سابقه سکونت باستانی، نشانه‌های قطعی از وجود یک رشته قنات کهن و باستانی است. شکل (٦- الف، ب، ج، د) شواهد صحرایی و توضیحات پیش گفته شده را به خوبی نشان می‌دهد.

شکل٦- تصاویر صحرایی از آثار میله چاه‌های رشته قنات بوکَه - تُل‌بُرج در ناحیه نزدیک به منطقه مادر چاه، جنوب شبانکاره در شهرستان دشتستان، دید به سمت شمال غرب

Fig 6. Field photographs of the remainings of the shaft wells of the "Boukeh-Tol Borj" Qanat system near the main well area, south of Shabankareh in Dashtestan County, looking towards the Northwest

٣-٥- وضعیت دهانه میله چاه

بطور متوسط دهانه میله چاه برای قنات‌های معمول که یا به‌صورت چهارگوش هستند و یا دایروی، در حدود یک متر و یا کمی کمتر از آن است. وقتی اثر میله چاه‌ها در این رشته قنات بررسی می‌شود، اندازه‌ها در دو طرف طول یک پشته خیلی بیشتر از اندازه‌های معمول بوده که دال بر ویژگی‌های منحصربه فردی است که در دیگر قنات‌های معمول وجود ندارد. یکی از دلایلی که می‌توان در این‌خصوص برشمرد، وجود فرسایش در گذر زمان است که برای ناحیه دشت ساحلی کاملاً طبیعی است. مقایسه تصاویر ماهواره‌ای در طول مسیر و همچنین در سال‌های متفاوت، وجود تفاوت را برای هر یک از آثار بر جای مانده میله‌ها تا حدود زیادی متفاوت نشان می‌دهد و این تفاوت را می‌تواند ناشی از تفاوت در موقعیت مکانی میله چاه‌ها و فرسایش در گذر زمان دانست. اما مسئله مهمتر را می‌توان به روش حفر میله چاه‌ها در زمین‌های با رسوبات دانه‌ریز و ماسه‌ای ساحلی نسبت داد.

بطوریکه به نظر می‌رسد از یک روش حفر منحصربه‌فرد یعنی به جای یک میله‌چاه از چهار میله‌چاه در طول هر پشته استفاده کرده باشند. به عبارتی در واقع قبل از فرسایش و از بین رفتن آثار دهانه چاه‌ها، چهار حلقه چاه مجزا به جای یک حلقه چاه حفر شده بود؛ به گونه‌ای که چهار حلقه چاه با قطر حدوداً یک متر و با فاصله حدوداً دو تا سه متر و یا بیشتر از هم (بسته به مقاومت رسوبات هر محل چاه) حفر می‌شده است و سپس فرسایش در گذر زمان بسیار طولانی یک اثر یکپارچه را برای آن شکل داده است. در واقع اندازه خود میله‌ها و فواصل بین آنها، طول فرسایش یافته اثر میله‌ها و بزرگی غیرمتعارف آنها را توجیه می‌نماید. این روش حفاری، ضمن اینکه می‌توانسته با هدف هوادهی بیشتر در هنگام حفر میله چاه‌ها و بخصوص کوره قنات در فواصل نسبتاً زیاد باشد، خروج گازهای سمّی احتمالی را نیز سبب می‌شده است. بررسی آثار سطحی و اشکال باقیمانده از میله چاه‌ها در طول مسیر چند ده کیلومتری رشته قنات بوکه-تل‌برج نشان می‌دهد که این ساختار حفر گرچه تا حدودی شباهت‌هایی را با قنات جزیره داراست، اما تا حدودی تفاوت‌هایی را نیز در ساختمان سطحی داشته است و به لحاظ ظاهری حداقل دو حالت متفاوت را می‌توان شناسایی نمود: الف: شکل ظاهری و مقطع تقریباً مستطیلی با ابعاد بزرگ، ب: شکل ظاهری و مقطع دایره‌ای با سیستم حفر چهار حلقه چاه؛ که نیازمند حفاری و کاوش‌های زیرزمینی و همچنین مطالعات زیرزمینی ساختمان هر دو رشته قنات است و قطعاً هزینه‌های سنگین حفاری را به دنبال خواهد داشت. این مکان میله چاهی، گرچه در شکل‌شناسی با هم متفاوت هستند، اما در طول و عرض یعنی ابعاد هندسی شباهت‌های بسیار نزدیکی دارند و در پیمایش طول مسیر، این تغییر اشکال کاملاً مشهود است که یا با احتمال کمتر ناشی از اختلاف در نحوه سیستم حفاری چاه‌ها بوده و یا با احتمال بیشتر، اثرات فرسایش طبیعی چنین وضعیتی را شکل داده است. اشکال به ظاهر مستطیل مانند در محل میله چاه‌ها با فاصله هر ٦٥-٦٠ متر در نیمه جنوبی رشته قنات و نزدیکتر به مادرچاه قرار دارند و اشکال دایره‌ای با سیستم چهارحلقه چاه با همان فاصله در نیمه شمالی رشته قنات واقع‌اند که در هر دو این حالت‌ها به دلیل موقعیت توپوگرافی دشت و فرسایش‌پذیری بالای کوهستان مشرف به دشت در ناحیه شرقی آن و رسوبات سطحی در اندازه‌های ماسه و سیلتی به شدت دچار فرسایش، تغییر شکل و حتی نابودی شده‌اند و تنها در موارد معدودی شرایط اولیه تا حدودی سالم باقیمانده است. همانطور که بیان گردید ضمن اینکه ممکن است تفاوت‌های در نحوه حفر میله چاه‌ها در طول رشته قنات در هنگام حفر اولیه قنات و یا تعمیرات بعدی رخ داده باشد، تغییرات طبیعی فرسایش نیز می‌تواند تا حدی اشکال سطحی را دستخوش تغییر کرده باشد. علاوه بر این، به تعریف نگارنده، ایجاد حفر سیستم چهار حلقه چاه برای محل میله چاه‌های قنات در بازدید صحرایی کاملاً واضح و مشهود است که می‌توانسته برای پشته‌های طولانی و حفر کوره‌ای به طول ٦٥-٦٠ متر در فاصله بین میله‌ها، شرایط سخت هوادهی و همچنین غلبه بر گازهای احتمالی در مسیر حفر را ممکن سازد؛ چرا که زمین‌شناسی مسیر حفر نشان از وجود رسوبات ماسه ای-سیلتی، رسی و گاه شبه باتلاقی و شولاتی بوده که شرایط خاصی را برای مدیریت حفر میله چاه و کوره قنات در مسیر طولانی دشت ساحلی اجتناب‌ناپذیر می‌کرده است. شکل (۷- الف، ب، ج، د، هـ و) تصویر ماهواره‌ای Google Earthتعدادی از محل میله چاه‌های رشته قنات مذکور با سیستم حفر چهار میله چاه را با حداکثر بزرگنمایی نشان می‌دهد. هر چند این تصاویر مربوط به دهه قبل بوده و در بزرگنمایی بالا، از قدرت وضوح نسبتاً کمی برخوردار هستند، اما به دلیل اینکه تنها اثر و شاهد باقیمانده از سازه آبی مذکور هستند، لذا می‌توانند بسیار با اهمیت باشند و شناخت ما را از وجود قنات و همچنین ویژگی‌های آن بیشتر نماید. بطوریکه در تصاویر مشخص است، میزان تغییرات و فرسایشبه معنای تفاوت در انعکاس چهار اثر میله چاه در هر یک از تصاویر و نقاط متفاوت است. شکل (۷- الف): موقعیت چهار حلقه چاه با فلش نشان داده شده است. اثر میله چاه‌ها به‌صورت دایره‌های روشن و یا به عبارتی سفید رنگ قابل تشخیص است. لکه تیره اطراف میله چاه‌ها نشان از پوشش گیاهی است. شکل(۷- ب): همانند تصویر الف، موقعیت میله چاه‌ها مشخص است و تفاوت تنها در تراکم بیشتر پوشش گیاهی اطراف اثر میله‌چاه‌ها است.شکل (۷- ج و د): تصاویر ثبت شده مربوط به فصل خشکسالی بوده و پوشش گیاهی بطور محسوس وجود ندارد. در شکل(د) به نظر می‌رسد تا حدی آثار تخریب شده طوقه گلی اطراف چاه‌ها قابل

تشخیص باشد. چهار شکل ذکر شده اثر پوشش گیاهی را نه در محل دهانه میله چاه، بلکه در اطراف آن نشان می‌دهد. شکل(۷- هـ و) اثر پوشش گیاهی را دقیقاً در محل دهانه میله چاه‌ها نشان می‌دهد، بطوریکه آثار دهانه میله چاه‌ها به‌صورت اشکال دایروی تیره دیده می‌شوند. تفاوت‌های مکانی، فصول خشک و تر سال، فرسایش طبیعی، انسانی و میزان آثار باقیمانده، سبب شده تا انعکاس اثر چاه‌ها در طول مسیر قنات و در سال‌های مختلف، متفاوت باشد.

شکل۷- تصاویر ماهواره‌ای Google Earth از تعدادی میله چاه قنات بوکه-تل‌برج با سیستم چهارمیله چاهی و تفاوت در میزان و نحوه فرسایش طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۱

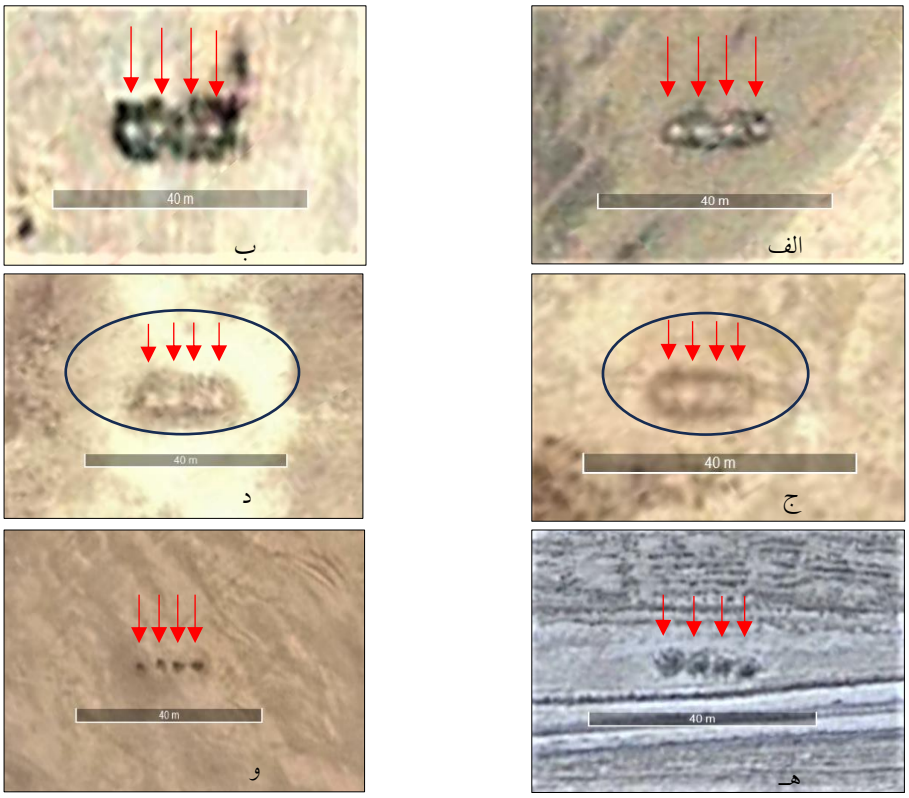


Fig 7. Satellite images (google earth) of several of Qanat shaft wells "Boukeh-Tol Borj" featuring a four-shaft well system, showing differences in the extent and pattern of erosion between 2002 and 2011

ارزیابی تصاویر هوایی و بازدیدهای زمینی نشان می‌دهد که یک رشته قنات بزرگ باستانی در ناحیه دشت ساحلی شمال استان بوشهر به‌صورت مدفون وجود دارد. ویژگی‌های ساختاری آن بسیار تحت فرسایش قرار گرفته و ساختمان داخلی آن نیز در گذر زمان مدفون شده است که برای کشف دانسته‌های بیشتر نیاز به کاوش‌های حفاری زیرزمینی است. به طوریکه در جدول (۲) گزارش شده، طول شناسایی شده و تخمین زده شده به ترتیب ٦٣ و ٦٧ هزار متر است و حداقل، تعداد حدود ٤٠٣٢ حلقه چاه در ١٠٠٨ محل اثر مجموعه چهار میله چاهی حفر شده است. همانطور که قبلاً بیان شد طول هر پشته به‌طور متوسط بین ٦٠ تا ٦٥ متر بوده و برای احداث قنات مذکور، حداقل ٦٣ هزار متر حفاری افقی و تقریباً ٢٨ هزار متر حفاری عمودی انجام شده است که در مجموع طول حفاری افقی و عمودی آن حدوداً معادل ٩١/٢ کیلومتر است؛ بنابراین از نظر طول و حجم خاک‌برداری در طبقه‌بندی و رده قنات‌های بزرگ ایران قرار می‌گیرد. شکل (۸)، رسم شماتیکی از مسیر خطی رشته قنات بوکه – تل‌برج را با فواصل میله چاها و طول پشته‌ها (بدون مقیاس) نشان می‌دهد.

جدول ۲- مشخصات ساختمانی (با تخمین) رشته قنات بوکه-تل برج

Table 2. Structural specifications (estimated) of the "Boukeh-Tol Borj" Qanat system

پارامتر	میزان/موقعیت	طول(متر)	میزان(متر)/موقعیت
تخمین طول کل (متر)	٦٧٠٠٠	طول شناسایی شده(حفر افقی)	٦٣٠٠٠
تعداد اثر مجموعه میله‌چاه در طول هر پشته	١٠٠٨	طول حفر عمودی(تخمین)	٢٨٢٢٤
تعداد کل حلقه چاه(تخمین)	٤٠٣٢	مجموع کل طول حفر(تخمین)	٩١٢٢٤
فاصله میله چاه(متر)	٦٠-٦٥	محل احتمالی مظهر	بوکه تا تل برج
محل احتمالی مادر چاه	رودخانه شاپور-حوالی آبپخش	جهت رشته قنات	جنوب شرق- شمال غرب

شکل ۸- رسم شماتیک توالی سیستم چند میله چاهی در طول مسیر رشته قنات بوکه-تل برج با تخمین تعداد۴۰۳۲ حلقه چاه(بدون مقیاس)

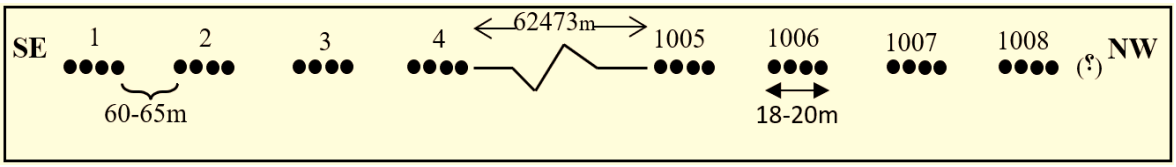


Fig 8. Schematic illustration of the sequence of the multiple shaft wells along the of the "Boukeh-Tol Borj" Qanat route, estimating 4032 wells (not to scale)

۳-۶- اهمیت انتقال آب و سکونتگاه باستانی

حفر چنین سازه بزرگی در رسوبات ریزشی و خطر ورود آب بسیار شور در طول مسیری در حدود ٦٣ کیلومتر نه تنها نشان از دانش بالای حفاری و فنون مهندسی در استحکام سازه برای مناطق ساحلی و سیلابی است، بلکه اهمیت سکونتگاه باستانی در محل مظهر قنات و لزوم آبرسانی به هر میزان هزینه و سختی به این منطقه را به اثبات می‌رساند. بنابراین محل مظهر قنات نه تنها وجود یک سکونتگاه را به اثبات می‌رساند، بلکه حکایت از یک محدوده مسکونی پرجمعیت و مهم دارد که فعالیت‌های کشاورزی گسترده‌ای در آن انجام می‌شده است. امروزه در نواحی مظهر قنات و اطراف آن روستاهای کوچکی قرار دارند که آثار باستانی در آن‌ها کشف و ضبط شده است. از این مناطق مهم باستانی روستای تُل‌بُرج و همچنین بوکَه است. همانطور که گفته شد تاکنون آثاری به قدمت دوره ساسانی در آن کشف شده است. حفر قنات برای تامین آب شرب انسان و دام، بهداشت، کشاورزی و باغداری انجام می‌شده است. نواحی مظهر قنات دارای آب و هوای گرم و خشک بوده و رطوبت کمتری نسبت به خط ساحلی دارد، زمین‌های وسیع حاصلخیز با قابلیت کشاورزی وجود داشته و از لحاظ موقعیت مکانی نسبت به ساحل می‌توانسته از موقعیت مکانی خاص و استراتژیکی برخوردار باشد. علاوه بر موارد گفته شده، این منطقه احتمالاً دارای مزیت‌هایی محیطی خوبی برای مردمان آن دوران بوده که جمعیت قابل توجهی را در خود سکونت داده است و نیاز به منبع آب مطمئن و پایدار اجتناب‌ناپذیر بوده است؛ از طرفی آب سطحی و زیرزمینی با کمیّت و کیفیّت مناسبی در منطقه متناسب با نیاز وجود نداشته و به همین دلیل نیاز به منبع آب کاملاً پایدار و با کمیت و کیفیت مدنظر احساس می‌شده است. به همین دلیل چنین پروژه بزرگ،

زمان‌بر و پر هزینه‌ای برای انتقال و توزیع آب به منطقه ساخته شده است. اینکه چرا با این فاصله آب انتقال داده شده و مناطق نزدیکتر به رودخانه‌های پر آب برای سکونت انتخاب نشده است، نیز نیازمند بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تر و اهمیت منطقه هدف دارد. ضمن اینکه وجود سکونتگاه و مراکز جمعیتی همزمان در ناحیه مبدا (مجاور رودخانه شاپور)، نیز خود می‌توانسته عاملی بر عدم امکان استقرار سکونتگاه بزرگ دیگری باشد.

۳-۷- دوره تاریخی ساخت قنات و اهداف آن

مطالعات تاریخی و باستان‌شناسی حکایت از آن دارد که منطقه در قلمرو حکومت ایلامی قرار داشته است. از طرفی به استناد کاوش‌های صورت گرفته، سازمان میراث فرهنگی و گردشگری قدمت سکونت در منطقه را به حداقل دوره ساسانیان نسبت می‌دهد. بطوریکه شواهد در محل روستای تل‌برج، آثاری را با قدمت و دیرینگی دوره ساسانی و پس از اسلام را نشان می‌دهد. (Zarei, 2022) بر اساس مطالعات و کاوش‌های باستان‌شناسی خود معتقد است: آثار سکونتگاهی در نواحی شرق و شمال بندر گناوه، تل برج و اطراف آن به دوره ساسانی، قرون اولیه اسلامی و تا سده‌های پنج و شش هجری قمری می‌رسد.

۳-۸- ارزیابی و تطبیق نتایج پژوهش اخیر در طبقه‌بندی ساختمانی قنوات

شناخت زیاد و البته گسترده‌ای از انواع رشته قنوات به خصوص در ایران وجود دارد. مقالات و پژوهش‌های بسیاری نیز در حوزه مطالعه قنات‌های ایران و سایر نقاط جهان ارائه شده و به طبقه‌بندی آنها پرداخته شده است. یکی از جدیدترین طبقه‌بندی‌های مهمی که در زمینه ساختمان قنوات وجود دارد، طبقه بندی ساختمانی است که اخیراً توسط (Tabatabaei & Khozeymehnezhad, 2022) صورت گرفته است. در این تقسیم‌بندی جامع که بر پایه پژوهش‌های قبلی در ایران است، به تفصیل مشخصات ساختمانی قنوات در مناطق کوهستانی و کویری (دشت‌ها) در شاخص‌های طول، دبی، آرایش هندسی، عمق متوسط کوره و ساختمان معرفی می‌شوند. ساختار قنات مورد مطالعه در قالب تقسیم‌بندی فوق، مورد ارزیابی و تطابق قرار گرفته است. طبق این تقسیم‌بندی، قنات شناسایی شده اخیر (بوکه-تل‌برج) به دلیل مدفون بودن، تنها از نظر طول و عمق متوسط کوره (تخمین) قابل ارزیابی است که در حوزه قنات‌های با طول زیاد (بزرگ) و عمق کم کوره (احتمالاً) قرار می‌گیرد. اما به دلیل عدم آبدهی و نبود شناخت از ساختمان داخلی چنین قنوات ساحلی، دیگر ویژگی‌های آن (طراحی و ساختمان میله چاه‌ها) فاقد تطبیق و ارزیابی است. چرا که این قنات از منظر ساختمانی دارای سیستم حفر چهار میله چاه در طول حفر هر پشته است و لذا از این منظر می‌توان آن را دارای ارزش و جایگاه متفاوتی از طبقه‌بندی‌های مذکور و سایر طبقه‌بندی‌هایی که تاکنون در ایران شناخته شده، قرار داد.

۴- نتیجه‌گیری

علی‌رغم وجود محدودیت‌های طبیعی از جمله کمبود ذخایر آب مناسب، سازندهای زمین‌شناسی تخریب کننده کیفیت آب و شوری بالای ذخایر آب زیرزمینی در بخش عمده پهنه آبخوان با رسوبات دانه‌ریز؛ ساحل شمالی استان بوشهر در کرانه خلیج‌فارس از منظر سکونتگاهی و ساخت سازه‌های آبی بزرگ، بسیار بکر و با اهمیت بوده و یک تمدن آبی ناشناخته و شگرفی را در خود جای داده که در عمده موارد با گذر زمان طولانی و در اثر فرسایش و رسوبگذاری یا کاملاً از بین رفته و یا تا حدود زیادی از نظرها پنهان گشته است. مطالعه تصاویر ماهواره‌ای آثار یک رشته قنات بزرگ و مدفون شده را نشان می‌دهد. وجود یک ساختار خطی طولانی و تفاوت در رنگ آن نسبت به محیط پیرامون، تکرار آثار و اشکال هندسی مشخص در فاصله هر ۶۵-۶۰ متر و انطباق با ساختار میله چاه و طول پشته در هر قنات، جهت و راستایی هدفمند (جنوب‌شرق - شمال‌غرب) از یک مبدا پر آب به یک مقصد باستانی جای تردیدی برای تشخیص احداث سازه‌ای آبی یعنی رشته قنات توسط انسان باقی نمی‌گذارد. برای احداث این رشته قنات، از الگوی حفر چهار حلقه چاه در حد فاصل هر طول پشته استفاده شده است. آثار فرسایش شده باقیمانده

از این سیستم حفر در قنات مذکور، شامل اشکال مستطیلی تا بیضوی به طول تقریباً ۱۲ تا ۲۰ متر و عرض ۲/۵ تا ٤ متر است که فرسایش باعث بزرگتر شدن اثر واقعی میله چاه گردیده است. رشته قنات مطالعه شده با نام بوکَه – تُل‌بُرج، یک نمونه از رشته قنات بزرگ شناسایی شده با ساختمان منحصر به فرد در ساحل شمالی خلیج فارس و استان بوشهر است. قنات شناسایی شده به دلیل مدفون بودن، تنها از نظر طول و تا حدودی عمق متوسط کوره (تخمین) قابل طبقه‌بندی بوده و در حوزه قنات‌های با طول زیاد و عمق کم کوره قرار می‌گیرد. همچنین این قنات از منظر ساختمانی دارای سیستم حفر چهار میله چاه بوده و از این منظر می‌توان آن را دارای جایگاه متفاوتی از طبقه‌بندی‌های متداول و شناخته شده در ایران، قرار داد. احداث رشته قناتی با طول شناسایی شده حداقل ٦٣ کیلومتر، اهمیت ناحیه هدف را برای محل سکونت در ایران باستان نشان می‌دهد. بر اساس سکونتگاه باستانی مهم تُل‌بُرج، ممکن است مظهر قنات تا فاصله ٦٧ کیلومتری نیز ادامه داشته است. مجموع طول حفر افقی و عمودی این قنات را می‌توان در حدود ۹۱/۲ کیلومتر تخمین زد و لذا می‌توان آنرا از لحاظ حجم حفاری در ردیف بزرگترین پروژه‌های قنات‌سازی در تاریخ ایران به شمار آورد. این قنات، آب را با احتمال قریب به یقین از ساحل راست رودخانه شاپور در نزدیکی شهر آبپخش تا شمال بندرگناوه منتقل می‌نموده است. این سازه آبی نماد دانش بالای مهندسی، فن حفاری و اراده بالای پیشینیان ایران زمین در این منطقه است. همچنین احداث این قنات بزرگ و منحصر به فرد، اهمیت سکونتگاه و استقرار مرکز جمعیتی در نواحی مظهر قنات (نواحی بوکَه، تُل‌بُرج، تُل‌پَرون) را نشان می‌دهد که این‌چنین انتقال پرهزینه‌ای برای جابجایی زیرزمینی آب انجام داده‌اند. دیرینگی سکونت در این ناحیه، به دوره ایلامی تعلق دارد. اما آنچه که با قطعیت و بر اساس نتایج مطالعات اخیر باستان‌شناسی می‌توان گفت: گستردگی جمعیتی و سکونتگاه‌ها حداقل مربوط به بازه زمانی حکومت ساسانیان تا سده‌های اولیه دوره اسلام و همچنین تا قرون ٥ و ٦ هجری قمری است.

۵- تضاد منافع نویسندگان

نویسنده این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارد.

۶- منابع

Azadijoo, O. (2023). Introducing and understanding the Qanat of the Jezireh, the largest water transfer structure of ancient times in Bushehr Province on the Persian Gulf coast, The Second International Conference on Research in Water. Wastewater and River Engineering,Tehran.(In Persian)

Boustani, F. (2008). Sustainable water utilization in arid region of Iran by qanats. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 2(7),152-155. https://zenodo.org/record/1080378/files/13037.pdf

Bushehr Regional Water Company. (2021). Office of Basic Studies of Water Resources, Data and Statistics Bank, Statistical Period of 2011-2021 water years. (In Persian)

Esmaeili, Gh., Habibi, A., & Esmaeili, HR. (2022). Qanat system, an ancient water management system in Iran: History, architectural design and fish diversity. *Iranian Journal of Ichthyology*, 10(2), 131-144.

Eghtedari, A. (1969). The remains of ancient cities on the coasts and islands of the Persian Gulf and the Sea of Oman. National Monuments Association Publications, Tehran, p.1136. (In Persian)

Haeri, MR. (2016). Qanat in Iran, Cultural Research Office Publications. Second edition,Tehran, p.126 (In Persian)

National Cartographic Center of Iran "NCC". (2007). Farazamin Consulting Engineers Co., Aerial Orthophoto Bushehr Province, (Scale:1/1000). (In Persian)

ParsPiyab. (2007). Planning for the organization of springs and Qanats in Deylam city, Bushehr Province Agricultural, Jahad Organization. (In Persian)

Tabatabaei, S.M., & Khozeymehnezhad, H. (2022). Assessment of protective methods and increase of qanats discharge in Iran, *Journal of Aqiufer and Qanat (semi-annual)*, 2(4), 17-28. (In Persian)

Zarei, H. (2022). Archaeological survey of the coastline of Bushehr-Daylam Peninsula and the Persian Gulf, Tehran. First edition, Ganjineh Hunar Publications, p.254. (In Persian)

Technical Strategies in Water Systems
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
ISSN (Online): 2981-1449
Autumn 2024: Vol 2, Issue 3, 272-284
https://doi.org/10.30486/TSWS.2025.1192517

Research Article

Feasibility study and integrated water resources management: Garmsar alluvial fan

Mehran Hosseini[1]*, Javad Hosseini[2]

1. Master of Geography and Urban Planning, Garmsar Branch, and Expert of Garmsar Plain Water Resources and Drainage Company

2. PhD student in Geography and Urban Planning, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Corresponding Author email: mehra.h.ac.garmsar1357@gmail.com

© The Author(s) 2025

Received: 04 Dec 2024 Accepted: 09 Feb 2025 Published: 09 Feb 2025

Abstract

In regions where both groundwater and surface water resources are utilized, groundwater serves as a suitable option for water supply during periods of river water shortages. The purpose of the research is to study the feasibility and management of integrated water resources utilization in the Garmsar alluvial fan. The research adopts an applied-theoretical approach in terms of objectives and a descriptive-analytical method in terms of methodology. Information and data were collected through both library research and field studies. First, the research factors were identified and extracted, then weighting using the SECA method. The feasibility and management study of integrated water resource utilization in arid regions, especially in marginal areas of Iran such as the Garmsar alluvial fan, are of great importance. The results indicate that optimal utilization of water supplied by the Garmsar alluvial fan requires implementing integrated and sustainable management methods. This includes the optimal use of drip irrigation in agriculture and improved coordination between urban and rural water use to ensure sustainable resource management. Overall, this research underscores the need to develop comprehensive, evidence-based strategies for water resources management in the arid regions of Iran, balancing sustainable development with natural resource conservation. Accordingly, the climate criterion with a weight of 0.1817 was identified as the highest priority, followed by the water consumption rate criterion (0.1564) and the water resources quality criterion (0.1521). Among the evaluated options, efficiency and productivity of resource use ranked first, Sustainability of water resources ranked second, and management and policy-making systems ranked third.

Keywords: Feasibility study, Exploitation management, Water resources, Garmsar alluvial fan, SECA method

مجله راهبردهای فنی در سامانه‌های آبی
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
شاپا الکترونیکی: ۱۴۴۹-۲۹۸۱
پاییز ۱۴۰۳، دوره دو، شماره ۳، ۲۸۴-۲۷۲
https://doi.org/10.30486/TSWS.2025.1192517

مقاله پژوهشی

مطالعه امکان‌سنجی و مدیریت بهره‌برداری تلفیقی منابع آب: مخروط‌افکنه گرمسار

مهران حسینی[۱*]، جواد حسینی[۲]

۱. کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه ریزی شهری واحد گرمسار و کارشناس شرکت بهره برداری از منابع آب و زهکشی دشت گرمسار، ایران
۲. دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: mehra.h.ac.garmsar1357@gmail.com
© The Author(s) 2025

دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۴ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۱ چاپ: ۱۴۰۳/۱۱/۲۱

چکیده

در مناطقی که استفاده تلفیقی از سفره آب زیرزمینی و رودخانه انجام می‌گیرد، سفره آب زیرزمینی در مواقع کم‌آبی‌های رودخانه به عنوان گزینه مناسبی جهت بهره‌برداری از منابع آب محسوب می‌شود. مطالعه امکان‌سنجی و مدیریت بهره‌برداری تلفیقی از منابع آبی در مناطق کویری، به ویژه در نواحی حاشیه‌ای ایران مانند مخروط‌افکنه گرمسار، از اهمیت زیادی برخوردار است. این تحقیق بر لزوم تدوین راهبردهای جامع و مبتنی بر شواهد جهت مدیریت منابع آبی در مناطق حاشیه کویری ایران تأکید دارد که می‌تواند به حفظ تعادل بین توسعه پایدار و حفاظت از منابع طبیعی کمک کند. این پژوهش از نظر هدف، کاربردی - نظری و از نظر روش، توصیفی–تحلیلی است. اطلاعات و داده‌های مورد نیاز از روش کتابخانه‌ای و میدانی جمع‌آوری شدند. در این پژوهش ابتدا عوامل پژوهش شناسایی و استخراج شده سپس عوامل با روش SECA وزن‌دهی شدند. بر این اساس معیار آب و هوا با وزن ۰/۱۸۱۷ اولویت اول، معیار نرخ مصرف شده آب با وزن ۰/۱۵۶۴ اولویت دوم و معیار کیفیت منابع آب با وزن ۰/۱۵۲۱ اولویت سوم را کسب کردند. از بین گزینه‌ها نیز کارایی و بهره‌وری استفاده از منابع رتبه اول، پایداری منابع آبی رتبه دوم و نظام مدیریت و سیاستگذاری رتبه سوم را کسب کردند. نتایج نشان دادند رویکردهای نوین و تلفیقی در مدیریت منابع آب می‌توانند به بهبود وضعیت منابع آبی و توسعه پایدار کمک کنند و بهره‌برداری پایدار منابع آبی مستلزم اجرای روش‌های مدیریت یکپارچه و پایدار است.

واژه‌های کلیدی: مطالعه امکان‌سنجی، مدیریت بهره‌برداری، منابع آب، مخروط‌افکنه گرمسار، روش SECA

۱- مقدمه

۱-۱- بیان مساله

در سال‌های اخیر افزایش جمعیت، تغییر و ارتقا استانداردهای زندگی و گسترش مناطق شهری و صنعتی سبب رشد روزافزون تقاضای آب در مناطق مختلف دنیا شده است. روند رو به رشد تقاضا در حالی است که محدودیت منابع آب به خصوص منابع آب شیرین به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا افزایش یافته است. با توجه به شناخت مناسب از منابع آب، آب سطحی و رودخانه‌ها که تمرکز و شدت جریان سطحی در آن‌ها بیش از سایر مناطق است، به عنوان اولین گزینه‌های مطرح جهت استحصال و مصرف در این مناطق می باشد (Sedghi et al., 2020). آب نیاز اولیه و اساسی برای حفظ بقا، توسعه صنایع و رونق اقتصادی می‌باشد. به عبارتی دیگر کلید توسعه در گرو گسترش منابع آب و استفاده بهینه از آن است. برای رسیدن به این مهم، مدیریت جامع منابع آب امری ضروری به نظر می‌رسد. یکی از جنبه‌های مدیریت جامع منابع آب، بحث بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی است(Shamsai & Forghani, 2011). منابع آب که از اجزای بنیادی در توسعه پایدار روستایی است باید ابعاد آنرا به دقت شناخت و امکان دستیابی به آن برای روستاییان فراهم شود. مدیریت تأمین و توسعه منابع آب به عنوان یک عامل پویا و موثر در جهت سیاستگذاری، برنامه‌ریزی و ایجاد امکانات لازم برای بهره‌گیری از منابع آب، از سال‌ها پیش شکل گرفته و توجه عمده خود را به توسعه منابع آب، موضوعات محیط‌زیستی، سیاسی، حقوقی و سازمانی معطوف کرده است (Taleshi & Kaffash, 2019). لزوم استفاده بهینه از منابع آب در بهره‌برداری تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی، امری ضروی است. چگونگی تخصیص بهینه‌ی منابع آب به عواملی مانند خصوصیات آب‌شناسی، اقتصادی و محیط‌زیستی بستگی دارد Taleb (Bidukhti et al., 2020). از دیدگاه شورای جهانی آب، ایجاد تعادل بین منابع آب موجود و زمین‌های قابل کشت، استفاده مجدد از آب در تمامی بخش‌های صنعتی، اجرای شیوه‌های نو در پالایش کیفی منابع آب، تدوین استانداردها و ایجاد تعادل درازمدت بین عرضه و تقاضا از جمله مهم‌ترین شاخص‌های کمی و کیفی مدیریت پایدار منابع آب است(Ahmadi, 2021).

بهبود منابع آب برای حفاظت از محیط زیست، توسعه اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و فرهنگی در یک کشور ضروری است. از طرفی در سال‌های اخیر، افزایش نیاز به آب و کاهش کیفیت و آلودگی منابع آب موجب بالا رفتن اهمیت بهره‌برداری مناسب از منابع آب زیرزمینی و سطحی شده است(Atashi Yazdi et al., 2023). یکی از راه‌های موثر برای جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان و مدیریت بهره‌برداری از منابع آب و کاربری اراضی است. وجود آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی در سطح زمین و نفوذ این آلاینده‌ها به آبخوان موجب کاهش کیفیت آب زیرزمینی می‌شود. ارزیابی آسیب‌پذیری روشی کم‌هزینه در شناسایی نواحی مستعد به آلودگی است که در مدیریت منابع آب نقش اساسی دارد (Elzain et al., 2022). در مورد مدیریت بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی مطالعات مختلفی در سالهای گذشته انجام گرفته است:

(Dashti et al., 2007) در مطالعه‌ای با عنوان مدیریت بهره‌برداری تلفیقی از سیستم منابع آب سطحی و زیرزمینی در مواقع کم آبی مدلی ارائه دادند که بتواند با تلفیق بهینه از آب سطحی و زیرزمینی به خصوص در شرایط کم‌آبی‌ها، الگوی مناسبی را جهت بهره‌برداری ارائه کند. در گام اول شبیه‌سازی سیستم رودخانه و سفره به صورت عددی انجام گردید. پس از مرحله کالیبراسیون و صحت سنجی مدل، بهره‌برداری بهینه از سفره و منابع آب سطحی توسط مدل بهینه‌سازی و با استفاده از نتایج مدل شبیه‌سازی و با بیشینه در نظرگرفتن برداشت از آبخوان و رودخانه در مقیاس سالانه و ماهانه و برای شرایط معمول و کم آبی صورت گرفت. نتایجی که از این تحقیق به دست آمد عبارت بود از مشاهده رابطه خطی بین برداشت از آبخوان و افت سطح آب توسط مدل شبیه‌سازی، افت شدید سطح آب با توجه به آرایش فعلی چاه‌های بهره‌برداری در منطقه، امکان استفاده بیشتراز آبخوان با توجه به آرایش جدید چاه‌ها، ارائه دو نمونه آرایش پیشنهادی چاه‌های بهره‌برداری در قسمت‌های مختلف دشت برای شرایط کم آبی‌ها و تعیین مقادیر بهینه برداشت از رودخانه و آبخوان برای شرایط مختلف آبدهی رودخانه.

(Shamsai & Forghani, 2011) در پژوهشی با عنوان بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در مناطق خشک به این نتیجه رسیدند که یکی از جنبه‌های مدیریت جامع منابع آب، بحث بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی است. در این پژوهش موضوع بهره‌برداری تلفیقی در مناطق خشکی که فقط دارای منبع آب سطحی انتقالی بوده و فاقد دیگر منابع آب سطحی می باشند، مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور ابتدا آب زیرزمینی منطقه توسط مدل Modflow-Pmwin شبیه سازی شد. از نتایج حاصل از مدل شبیه‌سازی، در تدوین مدل بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک استفاده گردید و گزینه‌های مختلف در جهت بهره‌برداری بهینه از منابع آب بررسی شدند.

(Zibaee et al., 2013) پژوهشی با عنوان ارزیابی سناریوهای استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در دشت فیروزآباد فارس انجام دادند. برای ارزیابی سناریوهای مختلف استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در دشت فیروزآباد فارس یک مدل ریاضی ارائه شد که در آن محدودیت‌های هیدرولوژیکی و مدیریتی برای رسیدن به الگوهای کشت بهینه به‌منظور استفاده‌ی بهینه از منابع آب در راستای حداکثر کردن بازده برنامه‌ای لحاظ شد. نتایج نشان داد که استفاده‌ی توامان آب سطحی و زیرزمینی اطمینان نسبت به منابع آب را بهبود می‌بخشد که می‌تواند زیان ناشی از عدم حتمیت مربوط به آب را کاهش دهد و بنابراین همچون یک سیستم مدیریت ریسک علیه عدم حتمیت آب عمل کند. همچنین نتایج نشان داد که بازده برنامه‌ای فراهم آمده از سیستم استفاده تلفیقی پیشنهادی در سطح دشت تقریبا دو برابر مقدار قبلی است یعنی از ۱۸۹ میلیارد به ۳۷۲ میلیارد ریال خواهد رسید و بهره‌وری آب به میزان ۱۳درصد افزایش می‌یابد.

(Sajjadi et al., 2018) در پژوهشی با عنوان استخراج قوانین جیره‌بندی تلفیقی برای مدیریت بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی از مدل WEAP به‌عنوان شبیه‌ساز و از الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA)، به‌عنوان بهینه‌ساز استفاده کردند و با توجه به لزوم اجرای شبیه‌سازی‌های متعدد در فرایند بهینه‌سازی جهت رسیدن به پاسخ بهینه، اتصال برنامه‌های مذکور در محیط نرم‌افزار Matlab انجام شد. به‌منظور بررسی عملکرد، سیاست‌های جیره‌بندی به‌دست آمده در دوره پایه، برای دوره آینده تحت تأثیر تغییرات اقلیمی بررسی شد. نتایج حاصل از اعمال سیاست جیره‌بندی تلفیقی نشان‌دهنده افزایش شاخص پایداری گروهی در تأمین نیازها، به‌میزان ۱۱ درصد نسبت به سیاست روند است، همچنین براساس شاخص پایداری گروهی در بخش منابع استفاده از سیاست جیره‌بندی تلفیقی پایداری منابع آب سطحی و زیرزمینی را به‌ترتیب به‌میزان ۵/۲ و ٦ درصد نسبت به سناریوی روند افزایش می‌دهد و این نشان‌دهنده عملکرد مناسب این سیاست، در مقایسه با سیاست بهره‌برداری روند بود.

(Valizadegan & Yazdanpanah, 2019) در پژوهشی با عنوان مدل کمی بهره‌برداری تلفیقی بهینه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت مهاباد یک مدل مدیریتی بر مبنای تکنیک‌های مؤثر بهینه‌سازی و شبیه‌سازی برای حل مسئله بهینه‌سازی توسعه دادند. ابتدا تغییرات سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی دشت مهاباد با استفاده از نرم‌افزار GMS شبیه‌سازی شد. سپس بر اساس نتایج بدست آمده از این شبیه‌سازی، شبکه عصبی مصنوعی آموزش داده شد تا در سیستم شبیه‌سازی – بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گیرد. جهت حل مسئله بهینه‌سازی نیز از الگوریتم ژنتیک استفاده گردید. نتایج بدست آمده حاکی از قدرت و کارایی مدل در حل مسائل بزرگ مقیاس و بهره‌برداری تلفیقی بهینه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت مهاباد است. بر اساس نتایج بدست آمده از تحقیق و اجرای مدل کمی بهره‌برداری تلفیقی بهینه، سهم تقریبی آب تأمینی از منابع آب، به ترتیب ۵/۱۳ درصد مربوط به آب‌های سطحی و ۵/۸٦ درصد مربوط به آب‌های زیرزمینی است. بنابراین نیاز آبی منطقه باید بر اساس این درصدها تأمین گردد، تا منابع آب در حالت تعادل قرار گیرد.

(Saheb Jami et al., 2019) در پژوهشی با عنوان ارزیابی کارایی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی با لحاظ شاخص‌های اطمینان پذیری به این نتیجه رسیدند که بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی دارای چالش‌های متعدد و در عین حال پیچیده‌ای است زیرا با تنوع مصرف و نیز تعدد مصرف کنندگان مواجه است. زمانی که تعداد سدها و مخازن

سطحی در منطقه مورد مطالعاتی بیشتر شود بهره‌برداری نیز سخت‌تر می‌شود. در این مطالعه بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت اردبیل بررسی شده است. علاوه بر نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی، تامین نیازهای زیست محیطی نیز مدنظر قرار گرفت. دو شاخص اطمینان‌پذیری زمانی و اطمینان‌پذیری حجمی نیز به عنوان شاخص‌های ارزیابی کارآیی بهره‌برداری از منابع آب سطحی مورد استفاده قرار گرفتند. نتیجه مطالعه نشان داد که با آمار ٤٠ ساله و با شرایط مصرف موجود، کمبود آب در اغلب بخش‌های مصرفی فراتر از حد استاندارد است و باید برای کاهش مصارف آبی تمهیدات جدی اندیشیده شود.

(Safavi et al., 2020) در پژوهشی با عنوان مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از الگوریتم جفت‌گیری زنبورعسل ضمن اتصال مدل‌های بهینه‌ساز و شبیه‌ساز به یکدیگر، به ارائه‌ی سیاست بهره‌برداری بهینه در ۳ دوره‌ی خشک، نرمال و ترسالی پرداختند. با توجه به نتایج حاصل، مدل شبکه‌ی عصبی منتخب با مقدار ضریب تبیین بیش از ۰/۹۹ و خطای کمتر از ١٦٪ در بخش اعتبارسنجی توانست، عملکرد سطح ایستابی آبخوان را به خوبی شبیه‌سازی کند. در بخش بهره‌برداری تلفیقی، مدل توانست میانگین سطح ایستابی در آبخوان را به ترتیب در ۳ دوره‌ی ترسالی، نرمال و خشکسالی در منطقه‌ی چپ زیرحوضه‌ی نجف‌آباد که یکی از مهم‌ترین محدوده‌های مطالعاتی در حوضه‌ی آبریز گاوخونی است به میزان ۲/۳، ۰/۷۵ و ۱/۳٦ متر و در منطقه‌ی راست مطالعاتی به میزان ۲/۱٤، ۱/۱٤ و ۰/۸ متر بهبود بخشد.

(Moradi et al., 2022) پژوهشی با عنوان نقش دانش بومی در مدیریت منابع آب دهستان شاسکوه شهرستان زیرکوه انجام دادند. در این پژوهش با روش توصیفی- تحلیلی مبتنی بر اسناد، تهیه پرسشنامه محقق ساخته، بازدید میدانی و مصاحبه‌های عمیق منطبق با تجربیات، دانش‌ها و بینش افراد مورد مصاحبه در ارتباط با ناشناخته‌ها و نایافته‌های دانش بومی در حوزه مدیریت منابع آب جوامع روستایی دهستان شاسکوه انجام شد. نتایج این پژوهش بیانگر کارآمدی رویکردهای سنتی و نظام مدیریت بومی منابع آب است و نشان داد که بهره‌برداران محلی در مقوله‌های آبیاری، مدیریت ذخیره، مصرف و توزیع آب از شیوه‌های مختلف زیست بوم سازگار بهره می‌گیرند.

(Hosseini, 2024) پژوهشی با عنوان ارزیابی مدیریت و بهره‌برداری تلفیقی آب‌های سطحی و زیرزمینی در مناطق مرکزی ایران انجام داد. در این پژوهش ابتدا عوامل پژوهش شناسایی و استخراج و توسط روش DANP فازی وزن‌دهی شدند. نتایج نشان داد در مناطقی که استفاده تلفیقی از سفره آب زیرزمینی و رودخانه انجام می‌گیرد، سفره آب زیرزمینی در مواقع کم آبی‌های رودخانه به عنوان گزینه مناسبی جهت بهره‌برداری از منابع آب محسوب می‌شود. در این راستا آگاهی از روش‌های مدیریت و بهره‌برداری تلفیقی بهینه منابع آب سطحی و زیرزمینی به عنوان یکی از جنبه‌های مدیریت جامع منابع آب و عملکرد آنها در تدوین برنامه‌های مختلف مدیریت بحران، حفاظت منابع آب و مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز امری ضروری به نظر می‌رسد.

در طول دهه‌های اخیر، مدیریت منابع آبی به یکی از چالش‌های حیاتی و ضروری در مناطق کویری ایران تبدیل شده است. این مسئله به ویژه در مناطق حاشیه‌ای نظیر مخروط‌افکنه گرمسار اهمیت بیشتری یافته است، جایی که کمبود طبیعی منابع آبی و توسعه روزافزون شهری و کشاورزی، نیاز به راهکارهای جدید و کارآمد در بهره‌برداری از این منابع را بیش از پیش آشکار کرده است. مناطق کویری ایران به دلیل داشتن اقلیمی خشک و بارش‌های محدود، با چالش‌های جدی در تأمین و مدیریت منابع آب روبرو هستند. در چنین شرایطی، رویکردهای سنتی در مدیریت منابع آب ناکافی به نظر می‌رسند و نیاز به ایجاد راهکارهای نوآورانه و تلفیقی برای بهره‌برداری از منابع آب، ضروری است. مخروط افکنه گرمسار به عنوان یکی از مناطق مهم و استراتژیک در حاشیه کویر، نمونه‌ای بارز از مناطقی است که برای حفظ تعادل اکولوژیکی و توسعه پایدار نیازمند مدیریت دقیق و کارآمد منابع آبی است. این پژوهش با هدف مطالعه امکان‌سنجی و مدیریت بهره‌برداری تلفیقی منابع آب مخروط‌افکنه گرمسار انجام شده است. همچنین بر آن است تا با پرداختن به چالش‌ها و فرصت‌های موجود، نقشی فعال در ارتقای آگاهی و توسعه سیاست‌های مناسب جهت مدیریت پایدار منابع آب در سطح ملی و منطقه‌ای ایفا کند. نتایج این تحقیق می‌تواند راهگشای دستیابی به

راه‌حل‌های کارآمدتر و توسعه‌پایدارتر برای بهره‌برداری از منابع آب در محیط‌های مشابه شود و به بهبود کیفیت زندگی ساکنان شهرها و روستاهای حاشیه کویر کمک کند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان گرمسار که از نظر جغرافیایی غربی‌ترین شهرستان استان سمنان است. از شمال به شهرستان دماوند از غرب به شهرستان ورامین از شرق به شهرستان آران و از جنوب به کویر مرکزی و در نهایت به شهرستان نائین استان اصفهان محدود می‌شود. گرمسار در طول جغرافیایی بین ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه و ۵۳ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی بین ۳٤ درجه و ۱۵ دقیقه و ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه واقع شده است. ارتفاع متوسط گرمسار از سطح دریا ۸۵٦ متر است فاصله شهر گرمسار تا مرکز استان ۱۱۰ کیلومتر و تا تهران ۹۵ کیلومتر است. مساحت شهرستان گرمسار ۵۱۸۲ کیلومتر مربع است (Aghvami & Kamyabi, 2023). مخروط افکنه گرمسار در غرب استان سمنان و بین ۵۲ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. از نظر زمین‌شناسی، در دامنه جنوبی رشته کوه البرز، حبله‌رود هم زمان با حفر و ایجاد دره، مخروط‌افکنه گرمسار را در پای این رشته کوه و شمال دشت ایجاد کرده است. قبل از احداث بند انحرافی بن‌کوه در ابتدای مخروط‌افکنه، پنج آبراهه وجود داشت که در فاصله کمی از آبراهه‌ها، نهشته‌گذاری نسبتاً مهمی از مواد درشت دانه صورت گرفته است. در حال حاضر، بقایای پنج مسیل اصلی که از منطقه رأس مخروط‌افکنه عبور کرده است، دیده می‌شود(Shayan et al., 2013)(شکل ۱).

شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

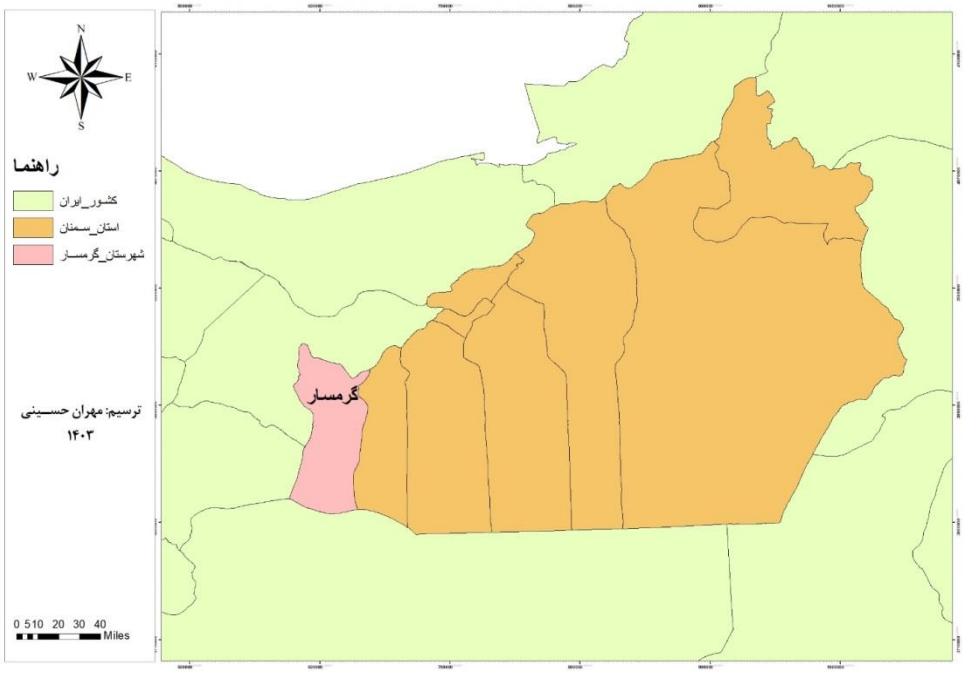


Fig. 1 Study area

۲-۲- روش پژوهش

تحقیق حاضر به لحاظ هدف، کاربردی و از لحاظ ماهیت و روش، توصیفی– تحلیلی پیمایشی می‌باشد. اطلاعات و داده‌های موردنیاز از طریق روش کتابخانه‌ای و میدانی جمع‌آوری شده است. در شیوه کتابخانه‌ای ابتدا به منظور بررسی سوابق و پیشینه

موضوع و تبیین چارچوب نظری – مفهومی پژوهش، کتب، مقالات و پایان‌نامه‌های موجود مورد مطالعه قرارگرفته است. در مطالعات میدانی نیز با استفاده از مشاهده، مراجعه به سازمان‌ها و ادارات، داده‌های موردنیاز تحقیق جمع‌آوری شد. در تنظیم اطلاعات و محاسبات در این پژوهش از ابزارها و تکنیک‌های جغرافیایی، نرم‌افزار GIS و مدل SECA[1] استفاده شده است.

روش SECA از تکنیک‌های جدید تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد که هدف آن رتبه‌بندی گزینه‌های پژوهش است. تفاوت آن با بقیه روش‌ها این است که در روش‌های مشابه که رتبه‌بندی گزینه انجام می‌دهند وزن معیارها با روش ثانویه دیگری اول محاسبه شده و سپس به‌عنوان ورودی به این روش‌ها داده می‌شود اما در روش SECA هم وزن معیار و هم رتبه‌بندی گزینه‌ها با هم صورت می‌گیرد که این باعث ایجاد دقت بیشتر و نتایج بهتر در محاسبات می‌شود. از طرفی ورودی این روش هم معیارهای کیفی و هم کمی را شامل می‌شود که این مورد نیز انعطاف‌پذیری این روش را افزایش می‌دهد.

عوامل پژوهش در قالب۳ متغیر بر اساس ۷ معیار تعریف شدند که مدل سلسله مراتبی آنها در شکل (۲) آورده شده است.

شکل ۲- مدل سلسله مراتبی پژوهش

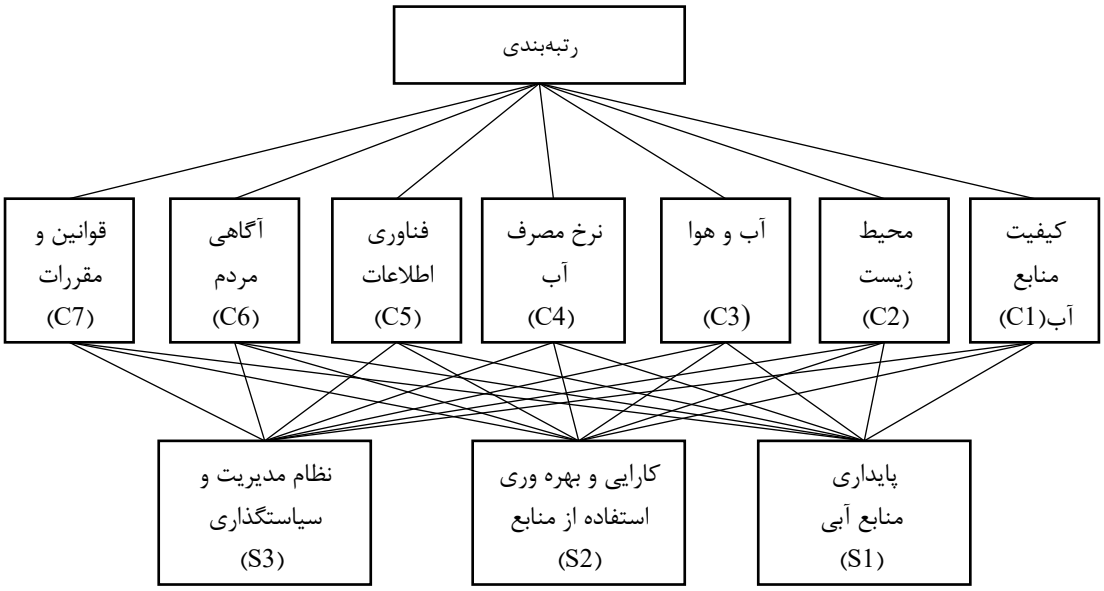


Fig 2. Research hierarchical model

۳- نتایج و بحث

نتایج بدست آمده از روش SECA شامل موارد ذیل است:

۳-۱- تشکیل ماتریس تصمیم

اولین گام در روش SECA تشکیل ماتریس تصمیم است. ماتریس تصمیم این روش یک ماتریس سطری- ستونی می‌باشد که سطرها را ۳ گزینه پژوهش و ستون‌ها را ۷ معیار تشکیل می‌دهند. این ماتریس تصمیم توسط ۱۳ خبره بر اساس طیف ۱ تا ۵ لیکرت (۱=اهمیت خیلی کم، ۲= اهمیت کم، ۳= اهمیت متوسط، ٤= اهمیت زیاد، ۵= اهمیت خیلی زیاد) تکمیل شدند. سپس امتیازها با روش میانگین حسابی ادغام و تحت عنوان ماتریس تصمیم در جدول (۱) آورده شده است.

[1] Simultaneous Evaluation of Criteria and Alternatives

جدول ۱- ماتریس تصمیم

Table 1. Decision matrix

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
S1	۳/۰۷۷	۲/۸٤٦	۳/٦۱٥	۲/۳۰۸	۳/۰۷۷	۳/٤٦۲	۳/۳۰۸
S2	۳/۱٥٤	۳/٦۱٥	۳/۳۰۸	۲/۸٤٦	٤/۰۰۰	۳/۸٤٦	۳/۷٦۹
S3	۲/۱٥٤	۲/۰۷۷	۲/۰۷۷	۳/۱٥٤	۲/۸٤٦	۳/۹۲۳	٤/۰۰۰

۳-۲- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم

این بخش برای نرمال‌سازی استفاده می‌شود. در این پژوهش تمامی معیارها جنبه مثبت دارند. ماتریس نرمال در جدول (۲) آورده شده است.

جدول۲- ماتریس نرمال

Table 2. Normal matrix

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
S1	۰/۹۷٦	۰/۷۸۷	۱/۰۰۰	۰/۷۳۲	۰/۷٦۹	۰/۸۸۲	۰/۸۲۷
S2	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۱٥	۰/۹۰۲	۱/۰۰۰	۰/۹۸۰	۰/۹٤۲
S3	۰/٦۸۳	۰/٥۷٤	۰/٥۷٤	۱/۰۰۰	۰/۷۱۲	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰

۳-۳- تعیین مقدار π_j

در این بخش میزان اختلاف همبستگی یک معیار با دیگر معیارها محاسبه می‌شود. بر این اساس ابتدا باید r_{jl} که همبستگی بین معیارها می‌باشد محاسبه گردد و بر اساس مقدار همبستگی هر معیار از عدد ۱ کم شود سپس به صورت سطری جمع - شوند که نتایج در جدول (۳) آورده شده است.

جدول۳- مقادیر π_j

Table 3. π j values

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	π_j
C1	۰	۰/۱۰۱	۰/۰۳۳	۱/۷۳۲	۰/۲۹٥	۱/٥۷۳	۱/۷۰۹	٥/٤٤٤
C2	۰/۱۰۱	۰	۰/۲٤٤	۱/۳٥۹	۰/۰٥٥	۱/۱٥٦	۱/۳۲۷	٤/۲٤۳
C3	۰/۰۳۳	۰/۲٤٤	۰	۱/۸۸۲	۰/٥۰۰	۱/۷٦٤	۱/۸٦٦	٦/۲۹۰
C4	۱/۷۳۲	۱/۳٥۹	۱/۸۸۲	۰	۱/۰۳٤	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱	٦/۰۳۱
C5	۰/۲۹٥	۰/۰٥٥	۰/٥۰۰	۱/۰۳٤	۰	۰/۸۲٤	۱/۰۰۰	۳/۷۰۷
C6	۱/٥۷۳	۱/۱٥٦	۱/۷٦٤	۰/۰۲۲	۰/۸۲٤	۰	۰/۰۱٦	٥/۳٥٥
C7	۱/۷۰۹	۱/۳۲۷	۱/۸٦٦	۰/۰۰۱	۱/۰۰۰	۰/۰۱٦	۰	٥/۹۱۸

۳-۴- تعیین مقادیر نرمال σ_j و π_j

در این بخش با استفاده از مقادیر نرمال، σ_j و π_j محاسبه می‌شود مقدار π_j در مرحله قبل محاسبه شد که برای نرمال‌سازی آن باید هر π_j را بر جمع کل π_j ها تقسیم کرد تا مقادیر نرمال حاصل شود. برای مقدار نرمال σ_j نیز باید ابتدا مقدار σ_j که همان

انحراف معیار است را محاسبه کرد جهت نرمال‌سازی هر σ_j بر جمع کل σ_j ها تقسیم می‌شود. نتایج در جدول (٤) آورده شده است.

جدول٤- مقادیر π_j و σ_j نرمال

Table 4 . Normalized π j and σ j values

	σ_j نرمال	$\boldsymbol{\pi_j}$ نرمال
C1	۰/۱٦۷٤	۰/۱٤۷۲
C2	۰/۲۰۱۹	۰/۱۱٤۷
C3	۰/۲۱۳٦	۰/۱۷۰۱
C4	۰/۱۲۸۸	۰/۱٦۳۰
C5	۰/۱٤٤۸	۰/۱۰۰۲
C6	۰/۰۵۹۸	۰/۱٤٤۸
C7	۰/۰۸۳٦	۰/۱٦۰۰

۳-۵- تشکیل مدل بهینه‌سازی و حل آن

در این بخش در واقع یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی تشکیل و توسط نرم افزار Lingo حل گردید. در این مدل به ازای مقادیر β از ۰/۱ تا ۷ مدل اجرا شده است و در هربار اجرا وزن معیارها و امتیاز گزینه‌ها حاصل شده است که مقادیر وزن معیارها (W) و امتیاز گزینه‌ها (A) به ترتیب در جداول ۵ و ٦ به ازای مقادیر مختلف β آورده شده است.

جدول ۵- وزن معیارها به ازای مقادیر مختلف β

Table 5. Weights of criteria for different values of β

	β										
	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/٤	۰/۵	۱	۲	۳	٤	۵	٦
C1	۰/۱۸۰۰	۰/۱۷۰۷	۰/۱۵۰٦	۰/۱۳۷۵	۰/۱۳۱۳	۰/۱۳۰۱	۰/۱٤۳۷	۰/۱٤۸۲	۰/۱۵۱۵	۰/۱۵۲۱	۰/۱۵۳۰
C2	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۰	۰/۰۳۱۸	۰/۰۵۵۱	۰/۰٦۸۰	۰/۱۰۳۹	۰/۱۳۱۱	۰/۱٤۰۱	۰/۱٤۵۸	۰/۱٤۷۷	۰/۱٤۹۵
C3	۰/۱۳۹۸	۰/۱۵٦۳	۰/۱٤۲٦	۰/۱۳٦۱	۰/۱۲۷۷	۰/۱۳۷٦	۰/۱٦٤٦	۰/۱۷۳۷	۰/۱۸۱۷	۰/۱۸۱۷	۰/۱۸۳۵
C4	۰/۱۲۷۲	۰/۱۸۷۳	۰/۱۹۹۸	۰/۲۱۱۳	۰/۲۰۹٦	۰/۱۹۸۰	۰/۱۷۱۹	۰/۱٦۳۲	۰/۱۵۹۱	۰/۱۵٦٤	۰/۱۵٤٦
C5	۰/۰۰۱۰	۰/۰۱۷۲	۰/۰۵٤٤	۰/۰٦۸۵	۰/۰۸۱۸	۰/۱۰۲۵	۰/۱۱۲۵	۰/۱۱۵۹	۰/۱۱٦۱	۰/۱۱۸۲	۰/۱۱۸۹
C6	۰/۳۰٦٦	۰/۲٤۲۱	۰/۲۱۰٦	۰/۱۸۹۷	۰/۱۸٤۳	۰/۱۵٤۲	۰/۱۲۸۳	۰/۱۱۹۷	۰/۱۱۲٤	۰/۱۱۲۱	۰/۱۱۰٤
C7	۰/۲٤٤٤	۰/۲۲۵۵	۰/۲۱۰۲	۰/۲۰۱۷	۰/۱۹۷۱	۰/۱۷۳۸	۰/۱٤۷۸	۰/۱۳۹۱	۰/۱۳۳۳	۰/۱۳۱۹	۰/۱۳۰۲

جدول ٦- امتیاز گزینه‌ها به ازای مقادیر مختلف β

Table 6. Option scores for different β values

	β										
	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/٤	۰/۵	۱	۲	۳	٤	۵	٦
S1	۰/۸۸۳	۰/۸۷٤	۰/۸٦۲	۰/۸۵۵	۰/۸۵۱	۰/۸۵۰	۰/۸۵٦	۰/۸۵۸	۰/۸٦۰	۰/۸٦۰	۰/۸٦۰
S2	۰/۹۵۵	۰/۹۵۰	۰/۹۵۲	۰/۹۵۲	۰/۹۵۳	۰/۹۵٦	۰/۹۵۸	۰/۹۵۹	۰/۹۵۹	۰/۹۵۹	۰/۹۵۹
S3	۰/۸۸۳	۰/۸۷٤	۰/۸٦۲	۰/۸۵۵	۰/۸۵۱	۰/۸۲٦	۰/۷۹٦	۰/۷۸٦	۰/۷۷۹	۰/۷۷۷	۰/۷۷۵

به صورت شماتیک نیز در شکل‌های ۳ و ٤ وزن معیارها و امتیاز گزینه‌ها آورده شده است. همانطور که هم جداول و هم نمودارها نشان می‌دهد از مقادیر $\beta > 5$ نمودارها همگرا شده‌اند و تغییرات زیادی ندارند پس می‌توان $\beta = 5$ را مقدار همگرا شده در نظر گرفت که وزن معیارها و امتیاز گزینه‌ها در این مقدار برای مساله ثابت می‌باشد.

شکل۳- تغییرات وزن معیارها به ازای مقادیر مختلف β

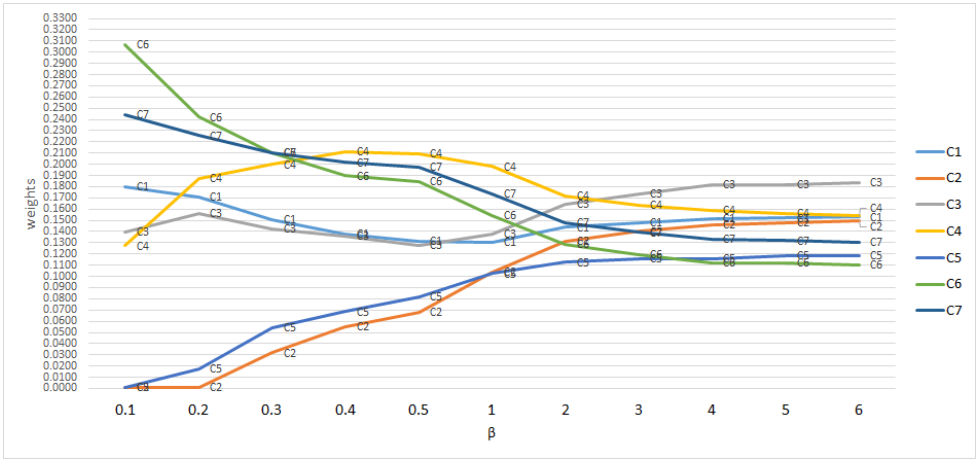


Fig 3. Variations in criteria weights for different β values

شکل٤- تغییرات امتیاز گزینه‌ها به ازای مقادیر مختلف β

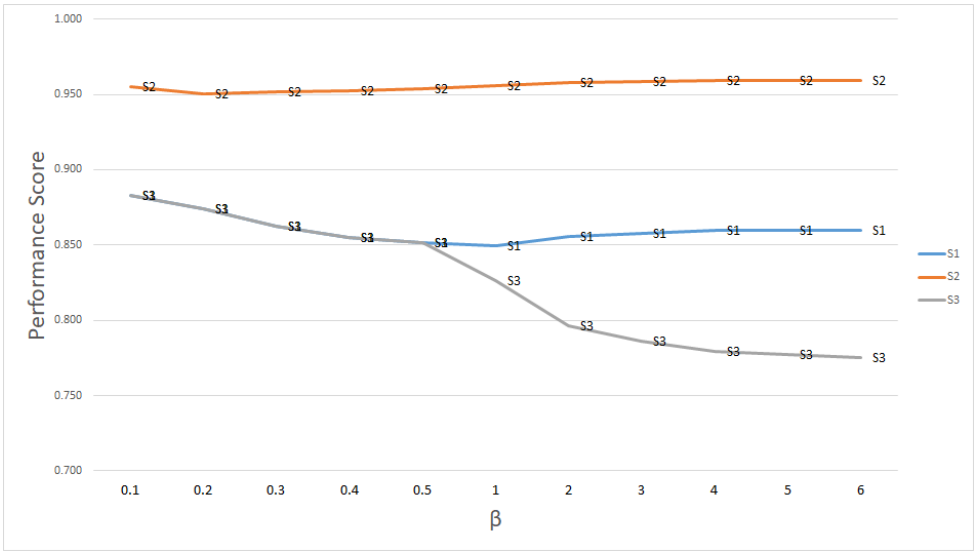


Fig 4. Variations in option scores for different β values

همانطور که از نتایج روش SECA مشخص شد در $\beta = 5$ وزن معیارها و امتیاز گزینه‌ها محاسبه شده است که در جدول (۷) آورده شده است. بر این اساس معیار آب و هوا با وزن ۰/۱۸۱۷ اولویت اول، معیار نرخ مصرف شده آب با وزن ۰/۱۵٦٤ اولویت دوم و معیار کیفیت منابع آب با وزن ۰/۱۵۲۱ اولویت سوم را کسب کردند. از بین گزینه‌ها نیز کارایی و بهره وری استفاده از منابع رتبه اول، پایداری منابع آبی رتبه دوم و نظام مدیریت و سیاستگذاری رتبه سوم را کسب کرده‌اند.

جدول۷- وزن معیارها و امتیاز گزینه‌ها

Table 7. Criteria weights and option scores

کد معیار	نام معیار	وزن معیار	کد گزینه	نام گزینه	امتیاز گزینه
C1	کیفیت منابع آب	۰/۱۵۲۱	S1	پایداری منابع آبی	۰/۸۶۰
C2	محیط زیست	۰/۱٤۷۷	S2	کارایی و بهره‌وری استفاده از منابع	۰/۹۵۹
C3	آب و هوا	۰/۱۸۱۷	S3	نظام مدیریت و سیاستگذاری	۰/۷۷۷
C4	نرخ مصرف شده آب	۰/۱۵٦٤			
C5	فناوری اطلاعات	۰/۱۱۸۲			
C6	آگاهی مردم	۰/۱۱۲۱			
C7	قوانین و مقررات	۰/۱۳۱۹			

۴- نتیجه‌گیری

در بعضی از مناطقی که آب سطحی و زیرزمینی به صورت توامان وجود دارد ممکن است در سال‌های پرآبی منابع آب سطحی نیاز را برطرف نماید و برداشت از منابع آب زیرزمینی ناچیز باشد اما در سال‌های کم آبی به ناچار می‌بایست از منابع آب زیرزمینی استفاده گردد. حال اینکه ممکن است برداشت بی‌رویه و بدون برنامه‌ریزی و مدیریت از سفره‌های آب زیرزمینی باعث خسارات جبران ناپذیری به منابع طبیعی شود. آن چه که در این برنامه‌ریزی و مدیریت می‌بایست مد نظر قرار گیرد این است که تغییرات سطح آب زیرزمینی در یک منطقه تابعی از میزان نفوذ آب‌های سطحی و نیز مقدار برداشت از آب‌های زیرزمینی می‌باشد. همچنین وضعیت آب‌های سطحی، ارتباط مستقیم با میزان نفوذ، بارندگی و تبخیر دارد. به عبارتی آب‌های سطحی و زیرزمینی با یکدیگر تداخل هیدرولیکی دارند، همین مسئله باعث می‌شود تا مدیریت بهره‌برداری از سیستم های مرکب آب سطحی و زیرزمینی از پیچیدگی خاصی برخوردار باشد. مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی نیاز به شناخت عملکرد سفره و رودخانه در شرایط طبیعی در وهله اول و سپس پیش‌بینی اثرات برداشت و یا تغذیه دارد. با روش‌هایی مانند شبیه سازی می‌توان با دقت قابل قبولی شرایط مشابه آنچه در طبیعت موجود است به وجود آورد و به نتایج رضایت بخشی دست یافت. این پژوهش نیز با هدف مطالعه امکان‌سنجی و مدیریت بهره‌برداری تلفیقی منابع آب، مخروط‌افکنه گرمسار انجام شد. در این پژوهش ابتدا عوامل پژوهش شناسایی و استخراج شدند سپس با روش SECA وزن‌دهی عوامل انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که به ترتیب معیار آب و هوا، نرخ مصرف شده آب و کیفیت منابع آب مهم‌ترین معیارها در بررسی هستند. از بین گزینه‌ها نیز به ترتیب کارایی و بهره‌وری استفاده از منابع، پایداری منابع آبی و نظام مدیریت و سیاستگذاری به عنوان مهم‌ترین گزینه‌ها در بررسی مورد نظر تعیین شدند. از آنجایی که رویکردهای نوین و تلفیقی در مدیریت منابع آب می‌توانند به بهبود وضعیت منابع آبی و توسعه پایدار کمک کنند. در جریان این تحقیق، ابعاد مختلفی از چالش‌ها و فرصت‌های پیش رو در بهره‌برداری از منابع آب در این منطقه پیشنهاد شدند:

۱- بهره‌برداری تلفیقی مؤثر: استفاده همزمان از منابع آب سطحی، زیرزمینی، و بازچرخانی آب می‌تواند با کاهش فشار بر منابع موجود، به دستیابی به یک الگوی پایدار در مصرف آب منجر شود. این رویکرد نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و همکاری گسترده بین نهادهای مختلف است.

۲- ارتقای بهره‌وری آب در کشاورزی: اجرای سیستم‌های آبیاری پیشرفته نظیر آبیاری قطره‌ای و توسعه فناوری‌های هوشمند می‌تواند بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی را به طور قابل توجهی افزایش دهد.

۳- پایش و مدیریت هوشمند: استفاده از فناوری‌های مدرن مانند سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، امکان پایش مستمر و دقیق منابع آبی را فراهم کرده و به بهبود تصمیم‌گیری‌ها در حوزه مدیریت آب کمک می‌کند.

با اینکه نتایج نشان‌دهنده اثرات مثبت رویکردهای تلفیقی در مدیریت منابع آب است، چالش‌هایی همچون کمبود سرمایه‌گذاری، عدم هماهنگی بین نهادها، و محدودیت‌های فرهنگی و اجتماعی همچنان وجود دارد. بر این اساس، توسعه طرح‌های جامع مدیریتی که شامل آموزش و آگاهی‌رسانی عمومی، ارتقای زیرساخت‌ها، و تشویق به همکاری‌های بین‌بخشی است، می‌تواند به غلبه بر این چالش‌ها کمک کند. اجرای موفقیت‌آمیز مدیریت تلفیقی منابع آب در منطقه گرمسار نه تنها می‌تواند به بهبود وضعیت آب در این منطقه منجر شود، بلکه می‌تواند به عنوان یک مدل قابل اجرا برای سایر مناطق کویری و حاشیه‌ای در ایران و حتی مناطق مشابه در سراسر جهان مورد استفاده قرار گیرد. به طور کلی، این نتایج نشان می‌دهند که با اتخاذ سیاست‌های هوشمندانه و مبتنی بر داده، می‌توان با چالش‌های جدی مرتبط با مدیریت منابع آبی در مناطق خشک روبرو شد و به توسعه‌ای پایدار و هماهنگ در این نواحی دست یافت.

۵- تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

٦- منابع

Aghvami, F., & Kamyabi, S. (2023). Survey of land tourism desert and desert city of Garmsar. *Journal of Application of Geographic Information Systems and Remote Sensing in Planning*, 13(1), 50-70.

Ahmadi, M. (2021). Role of agriculture water resource management in development of rural regions: a case study Ghani Beiglou County (Zanjan township). Serd, *Quarterly Journal of Spatial Economics and Rural Development*, 10(35), 137-154.

Atashi Yazdi, S. S., Motamedvaziri, B., Hosseini, S. Z., & Ahmadi, H. (2023). Reciprocal analysis of groundwater potentiality and vulnerability modeling in the Bahabad Plain, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(14), 39586–39604. https://doi.org/10.1007/s11356-022-24810-y

Dashti, S., Kahrakboudi, R. & Khayat Khalghi, M. (2007). Integrated management of surface and groundwater resource systems during water shortages. The first regional water conference, Islamic Azad University, Behbahan Branch, Iran.

Elzain, H. E., Chung, S. Y., Senapathi, V., Sekar, S., Lee, S. Y., Roy, P. D., Hassan, A., & Sabarathinam, C. (2022). Comparative study of machine learning models for evaluating groundwater vulnerability to nitrate contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 229, 113061. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113061

Hosseini, M. (2024). Evaluation of integrated management and exploitation of surface and groundwater in central regions of Iran (Case study: Garmsar County). First National Conference on Engineering and Management Strategies in Water Systems. Islamic Azad University, Isfahan Branch, Iran.

Moradi, F., Shateri, M., & Mekaniki, J. (2022). The role of indigenous knowledge in the management of water resources studied in Shaskoh village, Zirkoh city. *Indigenous Knowledge*, 9(18), 235-273. https://doi.org/10.22054/qjik.2023.71493.1350

Safavi, H.R., Kalantari, M., & Bozorg Haddad, O. (2019). Conjunctive management of groundwater and surface water using honey-bee mating algorithm, 2(35), 11-122. https://doi.org/10.24200/J30.2018.2188.2130

Saheb Jami, Y., Emami Skardi, M. J., & Safari, N. (2019). Evaluating the efficiency of integrated exploitation of surface and groundwater resources considering reliability indicators. The 8th National Conference on Water Resources Management, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Sajjadi S. M, Safavi H. R., & Haddad, O. (2018). Extraction of conjunctive hedging rules for the operation management of surface and groundwater resources. *Soil and Water Sciences-Agricultural Sciences and Technologies and Natural Resources* 22(3), 1-16. https://doi.org/10.29252/jstnar.22.3.1

Sedghi, H., Alaviany, F., Asghari Moghaddam, A., & Babazadeh, H. (2020). Optimization of conjunctive use of surface water, groundwater and wastewater resources in Hashtgerd plain. *Hydrogeology*, 4(2), 48-62. https://doi.org/10.22034/HYDRO.2020.10436

Shamsai, A., & Forghani, A. (2011). Conjunctive use of surface and ground water resources in arid regions. *Journal of Iran-Water Resources Research (IWRR)*. 7(2), 26-36.

Shayan, S., Sharifikia, M.R., & Zare G.H. (2013). Neotectonic, morphoclimatic and anthropogenic agents in appearance and genesis of alluvial fans (Case study: Garmsar alluvial fan). *Geography and Environmental Planning Journal*, 50(2), 17-20.

Taleb Bidukhti, N., Sadegh Khorshidi Alikordi, M., Haghighat, M., & Nikoo, M.R. (2020). Multi-objective conflict resolution model for conjunctive operation from surface and groundwater based on goal programming approach. *Water Resources Engineering Journal*, 4(12), 131-152. https://doi.org/20.1001.1.20086377.1398.12.43.11.3

Taleshi M., & Kaffash, H. (2019). Compilation and validation of the fundamental criteria for the integrated management of water resources in dry and semi-arid regions. *Geographical Explorations of Desert Areas*, 6(2), 81-108. https://doi.org/10.29252/grd.2018.1474

Valizadegan, E., & Yazdanpanah, S. (2017). Quantitative model of optimal conjunctive use of Mahabad plain's surface and underground water resources. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 50(4), 631-640. https://doi.org/10.22060/CEEJ.2017.12739.5266

Zibaee, M.H., Zibaee, M., & Ardokhani, K. (2013). Assessment of conjunctive use of surface and groundwater scenarios in Firouzabad plain. 5(1), 157-181. https://doi.org/20.1001.1.20086407.1392.5.17.9.4