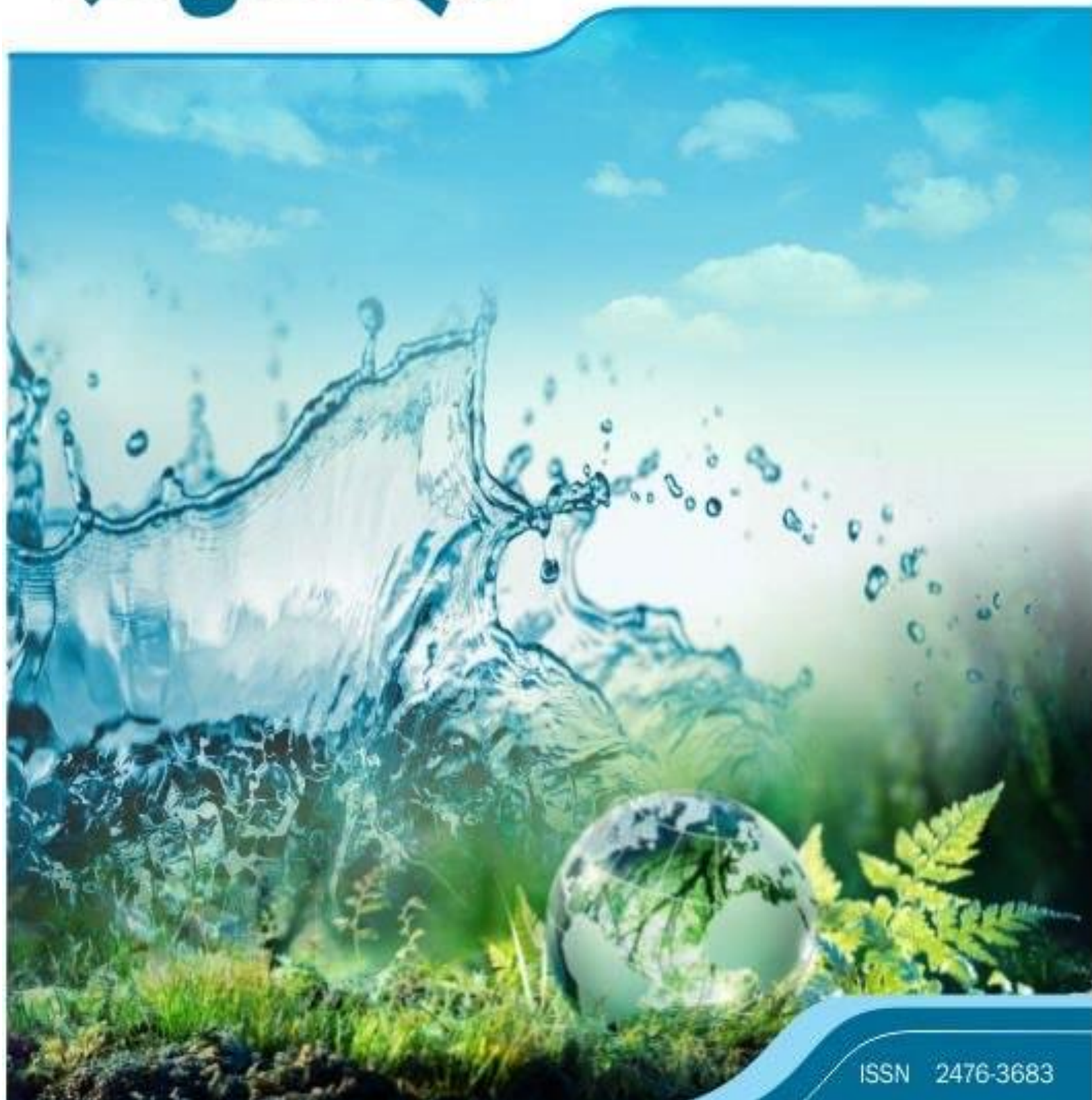




Quarterly Publications

www.jewe.ir

محیط زیست و مهندسی آب



ISSN 2476-3683

Environ. Water Eng., 9 (4), Winter, 2023



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



جلد ۹ شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۵۸۸-۴۳۷

صاحب امتیاز

انجمن علمی سیستم های سطوح آگیر باران ایران

مدیر اجرایی و مدیر مسئول

پروفسور بهزاد شاهمرادی (موسس مجله)

سر دبیر

پروفسور عطا امینی (موسس مجله)

رئیس هیئت تحریریه

پروفسور مقدار پیرصاحب

ایمیل

infojewe@gmail.com

آدرس پستی

سنندج، بلوار پاسداران، پردیس دانشگاه علوم

پزشکی کردستان، دانشکده بهداشت، دکتر بهزاد شاهمرادی

آدرس سایت

www.jewe.ir

شاپا الکترونیکی

2476-3683

این نشریه در پایتھا (بانک های) علمی ملی و بین المللی
زیر نمایه شده است



این نشریه در بررسی و انتشار مقالات علمی از اصول و معیارهای کمیته اخلاق نشر (COPE) پیروی می نماید. همه مقالات ارسالی با نرم افزار مشابهت یاب سمیم نور بررسی می شوند تا از اصالت آنها اطمینان حاصل شود.

درباره نشریه

نشریه محیط زیست و مهندسی آب، فصلنامه ای با دسترسی باز (به متن مقالات) است که از سیاست داوری تخصصی دو سو ناشناس در بررسی مقالات استفاده نموده و به مباحث مهم و اساسی محیط زیست و مهندسی آب می پردازد. این نشریه در بررسی و انتشار مقالات علمی از اصول و معیارهای کمیته اخلاق نشر (COPE) پیروی می نماید. همه مقالات ارسالی به وسیله نرم افزار مشابهت یاب سمیم نور بررسی می شوند تا از اصالت آنها اطمینان حاصل شود. سپس همه مقالات توسط داوران معتبر و مجرب به دقت مورد ارزیابی قرار می گیرند. این نشریه مقالات پژوهشی، مطالعه موردی، مقالات مروری و مقالات کوتاه را منتشر می نماید.

اهداف انتشار مجله محیط زیست و مهندسی آب:

- ایجاد و ارتقای دانش در حوزه پژوهش های محیط زیست و مهندسی آب
- ایجاد بستر تبادل دانش و نظر در حوزه مشکلات محیط زیستی و دغدغه های مربوط به مدیریت و مهندسی منابع آب
- تعامل دانش در حوزه های تخصصی محیط زیست و مهندسی آب
- ارزیابی مدیریت منابع آب و ایجاد زمینه مناسب بهره گیری از تجارب گذشته در راستای ارتقای این مدیریت ها
- تلاش برای تبیین اصول توسعه پایداری با معرفی مولفه های زیست محیطی و اصول مدیریت یکپارچه منابع آب

محورهای موضوعی نشریه

حوزه مطالب این مجله شامل موارد زیر است، اما محدود به آنها نیست:

- پژوهشهای نو با تمرکز بر ارائه راه حل های علمی و عملی برای بهبود مدیریت محیط زیست و منابع آب
- پژوهش های بنیادی و کاربردی در کلیه حوزه های علمی و فنی مرتبط با مدیریت محیط زیست، کیفیت آب و آبخیزداری
- روشهای نوین و سنتی مدیریت آب در بخش کشاورزی در شرایط خشکسالی
- تحلیل مصرف آب، آلودگی، و خطرات زیست محیطی آلودگی آب
- مدیریت یکپارچه منابع آب و آبخیزداری
- مدیریت آب در کشاورزی و روشهای ارتقای بهره وری آب
- تحلیل همبستهای آب-انرژی-غذا- و محیط زیست
- تغییر اقلیم، مهندسی آب و محیط زیست، هیدرولوژی اجتماعی، و مهندسی رودخانه
- بازیافت فاضلاب و برداشت آب و تصفیه آب/فاضلاب
- مدیریت پسماند
- کاربرد فنون و دانش جدید در حل مسائل زیست محیطی و مدیریت منابع آب

داوران محترمی که مقالات این جلد را در مجله « محیط زیست و مهندسی آب » داوری کرده‌اند:

نام	نام خانوادگی	شناسه پژوهشگر (ORCID)
شادیه	محمدی	0000-0002-0711-4305
زهرا	کریمی	-
آزیتا	بهبهانی نیا	0002-6568-5560
عاطفه	چمنی	0000-0002-9463-8579
امیر	قادری	0000-0002-8661-6302
سید محمد	تاجبخش	0000-0002-2097-9944
سمیرا	صدری	0000-0003-0246-205X
علی	قدمی فیروزآبادی	0000-0002-4391-887X
رسول	میر عباسی نجف آبادی	0000-0002-9897-0042
سعید	صمدیان فرد	0000-0002-6876-7182
عبدالمجید	لیاقت	0000-0002-3224-6529
محمد رضا	کوثری	-
علی	آرمان	0000-0001-9427-2987
بهروز	یعقوبی	0000-0002-4575-9200
الهام	درویشی	0000-0001-8753-0423
محمد	خسروی	0000-0001-6630-200X
حمزه علی	علیزاده	-
سهیل	سبحان اردکانی	0000-0002-6038-0514
رئوف	مصطفی زاده	0000-0002-0401-0260
مصطفی	گودرزی	0000-0002-0747-2356

فهرست مقالات منتشر شده در دوره ۹، جلد ۴، زمستان ۱۴۰۲

صفحات	مشخصات مقالات
437-448	بررسی اثرات ضدباکتریایی عصاره های آبی و الکلی گیاه شکر تیغال (<i>Echinops dichorus</i> L) بر سویه اشرشیا کلی در شرایط آزمایشگاهی مهسا سلمانیان؛ آرزو قادی؛ مازیار شریف زاده بائی
449-466	رده بندی زیستگاهی تالاب مهارلو در سامانه MedWet مهرداد زمان پور؛ مجتبی پاک پرور؛ احمد حاتمی؛ عاتکه ظهیریان
467-484	تحلیل دینامیکی خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از روش حد آستانه ثابت و نرم افزار Vensim منیر علیشاهی چگنی؛ شهلا پایمزد؛ مهدی رحیمی
485-498	شبیه سازی و تعیین مؤلفه های رواناب در بالادست سد قشلاق با استفاده از مدل SWAT سونیا مهری؛ حمید رضا مرادی؛ رئوف مصطفی زاده
499-514	ارزیابی دقت روش های تعیین مشخصات جت خروجی از جام پرتابی اقبال خرمی؛ محمد مهدی حیدری؛ رسول قبادیان
515-531	ارزیابی تناسب کیفیت آب های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت (مطالعه موردی: جنوب استان چهارمحال و بختیاری) سید محمدرضا حسینی وردنجان؛ مجتبی خوش روش؛ مرضیه قهرمان؛ مسعود نادری
532-547	کاربرد الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و درخت تقویت شده برای مدل سازی بارش- رواناب (مطالعه موردی: دشت تبریز) زینب بیگدلی؛ ابوالفضل مجنونی هریس؛ رضا دلیر حسن نیا؛ سپیده کریمی
548-562	مقایسه ارزیابی محصولات رطوبت خاک $GLDAS$, ESA CC SM و $SMAP$ با اندازه گیری های میدانی (مطالعه موردی: استان لرستان) عبدالنبی عبده کلاهچی؛ مرتضی میری؛ مهران زند؛ جهانگیر پرهت
563-579	واسنجی مدل بیلان انرژی سطحی سبال در تعیین تبخیر-تعرق دشت های متأثر از پخش سیلاب (قره چریان-استان زنجان) قباد رستمی زاد؛ پرویز عبدی نژاد؛ مجتبی پاک پرور؛ میر مسعود خیرخواه زرکش
580-588	بررسی برخی پیامدهای احداث سد فرخی شهرستان قائن مهدی ملازاده؛ زهرا یوسفی





Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Research Paper

In Vitro* Evaluation of Antibacterial Effects of Aqueous and Alcoholic Extracts of *Echinops dichorus L.* on *Escherichia coli

Mahsa Salmanian¹, Arezoo Ghadi^{2*} and Mazyar Sharifzadeh Baei³

¹PhD Scholar, Department of Chemical Engineering, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University

²Assist. Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran

³Assoc. Professor, Department of Chemical Engineering, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran

Article information

Received: April 06, 2022

Revised: July 25, 2022

Accepted: July 26, 2022

Keywords:

Antibiotic
Antimicrobial
Echinops dichorus L.
Escherichia coli
Medicine Resistance

*Corresponding author:

a.ghadi@iaumol.ac.ir



Abstract

The use of antibiotics as major drugs in infectious diseases has always been associated with two problems of side effects and drug resistance. The compounds found in various plants have been used as a treatment method since the past until today because medicinal plants possess side effects compared to other drugs. Given that different species of *Echinops dichorus L.* plant have indicated good antimicrobial effects, in this study antimicrobial effects of ethanol and aqueous extracts of *Echinops dichorus L.* plant have been investigated by disk diffusion method and determining the minimum inhibitory concentration (MIC) on the 24-hr culture of *Escherichia coli* (E. coli) standard strain. *Echinops dichorus L.* plant was dried after collection and its ethanol and aqueous extracts of were prepared by maceration method. Afterward, the concentrated and dried samples were stored in clean containers under standard conditions for further tests. The antibacterial effect of different concentrations of the extracts was determined by agar diffusion and compared with penicillin, gentamicin, and tetracycline antibiotics. Ethanol and aqueous extracts possessed a MIC of 31.25 µg/ml (diameter of the bacterial growth inhibition (halo): 12 mm) and 125 µg/ml (diameter of the bacterial growth inhibition (halo): 10 mm), respectively, as anti-microbial effect against E. coli.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

Antibiotics are one of the great advances in medicine; however, overprescribing them can be led to resistant bacteria. Indeed, the use of antibiotics as major drugs in infectious diseases has always been associated with two problems of side effects and drug resistance. Moreover, the

rapid emergence of resistant bacteria can decrease the efficacy of antibiotics, so many decades after the first patients were treated with antibiotics, bacterial infections have again become a threat. In this regard, the lack of new drugs development in the pharmaceutical industries due to decrease economic incentives, as well as challenges in regulatory requirements



have led to fueling these problems, although, in the past until today; the use of medicinal plants has been the focus of many researchers and possess special importance around the world to treat the different diseases. Hence, many studies have been carried out on different plants, and their antibacterial effects have been evaluated. The reports have shown that the compounds found in various plants have been used as a treatment method since the past until today because medicinal plants possess fewer side effects than other drugs. In this field, the secondary metabolisms existent in the plants have an important role in the treatment of diseases. Given that different species of *Echinops dichorus L.* plant have indicated good antimicrobial and anti-inflammation effects, in this study antimicrobial effects of ethanol and aqueous extracts of *Echinops dichorus L.* plant have been investigated by disk diffusion method and determining the minimum inhibitory concentration (MIC) on the 24-hr culture of *Escherichia coli* (*E. coli*) standard strain.

Material and Methods

The desired plant was collected from an herbal shop located in Babol City. Harvesting and collecting the aerial parts of the plant containing high sugar is done in August at an altitude of 450 meters in the city of Babol. It is caused by the activity of a insect species on the Tighal sugar

plant. The herbal samples were collected in the middle of autumn, washed in water, and dried by air, for 3-4 days (25 °C). Afterward, the samples were powdered and 25 g of powdered plant were added to 500 ml of ethanol and water, separately; and were stirred at 100 rpm, at 25 °C and 65° C, respectively, for 48 h. After that, the mixture of plant and solvents was filtered by 0.4 micron Whatman filter paper. The extracts were concentrated by a rotary device at 35 °C and 55 °C respectively for alcohol and water were stirred at 100 rpm and were placed in sterilized glass plates in the open air and exposed to air, free away from environmental dust. Finally, they completely lost their solvent and dried.

Results

The results showed that the aqueous extract of the *Echinops dichorus L.* plant can only inhibit bacterial growth at a high concentration. No anti-bacterial effect was observed in the 1.5 mg/ml concentration of its aqueous extract. While, the 1 mg/ml concentration showed the diameter of the bacterial growth inhibition (halo) of 10 mm, Table 1 and Fig. 1. Notably, the penicillin antibiotic disk could not suitably inhibit *E. coli* growth due to high drug resistance of *E. coli* against penicillin antibiotic. However, tetracycline and gentamicin antibiotics showed a diameter of bacterial growth inhibition (halo) of 17 and 25 mm, respectively.

Table 1 The diameter mean of *E. coli* growth inhibition (halo), against aqueous extract and penicillin, gentamicin, and tetracycline antibiotics

1 mg/ml concentration of aqueous extract of <i>Echinops dichorus L.</i> plant on <i>E. coli</i>			
aqueous extract	penicillin	gentamicin	tetracycline
9 mm	-	-	-
9 mm	-	25 mm	-
10 mm	-	-	18 mm



Fig. 1 The effect of aqueous extract of *Echinops dichorus L.* plant on *E. coli*, based on the bacterial growth inhibition (halo) on the disk containing extract and antibiotics

The ethanol extract of *Echinops dichorus L.* plant illustrated anti-bacterial effect in 0.5 mg/ml

concentration, so that, the 1 mg/ml and 0.5 mg/ml concentrations of this extract showed the

diameter of the bacterial growth inhibition (halo) of 12 mm and 8 mm, respectively (Table 2, Fig.2). The results also showed that the penicillin antibiotic could not suitably inhibit *E. coli* growth that can be due to drug resistance of *E. coli*, against penicillin antibiotic, as well as, antibacterial properties of the ethanol extract than

penicillin. Tetracycline and gentamicin antibiotics also showed the diameter of the bacterial growth inhibition (halo) of 19 mm and 26 mm (in 1 mg/ml concentration), and 25 mm and 18 mm (in 0.5 mg/ml concentration), respectively.

Table 2 The diameter mean of *E. coli*. Growth Inhibition (halo), against ethanol extract (0.5 mg/ml and 1 mg/ml) and penicillin, gentamicin, and tetracycline antibiotics

1 mg/ml concentration of ethanol extract of <i>Echinops dichorus</i> L. plant on <i>E. coli</i>			
ethanol extract	penicillin	gentamicin	tetracycline
12 mm	-		
12 mm		26 mm	
10 mm			19 mm
0.5 mg/ml concentration of ethanol extract of <i>Echinops dichorus</i> L. plant on <i>E. coli</i>			
ethanol extract	penicillin	gentamicin	tetracycline
8 mm	-		
8 mm		25 mm	
8 mm			8 mm



Fig. 2 The effect of ethanol extract of *Echinops dichorus* L. plant on *E. coli*, based on the bacterial growth inhibition (halo) on the disk containing extract and antibiotics

Conclusions

Screening, identification, and isolation of the active compounds of plants can help investigate their antimicrobial effects. In general, the sugarcane plant can be used as an antimicrobial agent; Especially for countries like Iran, where this plant is native to its regions and can be a suitable candidate for pharmaceutical industries. The results of this research can be stated as follows:

1. Both aqueous and alcoholic extracts of *Echinops dichorus* L. were effective on *Escherichia coli*.
2. The effect of alcoholic and aqueous extracts showed that at the lowest concentration, they cause sensitivity in *E. coli* and they were much more effective than selected antibiotics.

3. The antibacterial compounds present in the alcoholic (ethanolic) extract of *Echinops dichorus* L. have the ability and effectiveness to be used together with antibiotic regimens.

4. The used plant has an acceptable potential for medicinal use against diseases caused by Gram-negative bacteria.

Data Availability

The data used in this research are presented in the text of the article.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

بررسی اثرات ضدباکتریایی عصاره های آبی و الکلی گیاه شکر تیغال (*Echinops dichorus L.*) بر سویه /شرشیا کلی در شرایط آزمایشگاهی

مهسا سلمانیان^۱، آرزو قادی^{۲*} و مازیار شریف زاده بایی^۳

^۱دانشجو دکتری، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
^۲استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
^۳دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۱/۱۷]
 تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۰۵/۰۳]
 تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۰۵/۰۴]

واژه های کلیدی:

آنتی بیوتیک
 سویه اشرشیا کلی
 شکر تیغال
 ضد میکروبی
 مقاومت دارویی

*نویسنده مسئول:

a.ghadi@iaauamol.ac.ir


استفاده از آنتی بیوتیک ها به عنوان داروی عمده در بیماری های عفونی همیشه با دو مشکل اساسی عوارض جانبی و ایجاد مقاومت دارویی همراه است. ترکیبات موجود در گیاهان مختلف از گذشته تا امروز به عنوان درمان مورد استفاده قرار گرفته اند؛ زیرا گیاهان دارویی در مقایسه با سایر داروها، دارای عوارض جانبی کمتری هستند. از آنجاکه گونه های مختلف گیاه شکر تیغال اثرات ضد میکروبی خوبی از خود نشان داده اند، در این پژوهش اثرات ضد میکروبی عصاره اتانولی و آبی گیاه شکر تیغال با روش دیسک دیفیوژن و تعیین حداقل غلظت بازدارندگی بر روی کشت ۲۴ hr سویه استاندارد /شرشیا کلی بررسی شد. گیاه شکر تیغال پس از جمع آوری، خشک شده و عصاره های اتانولی و آبی با روش ماسراسیون تهیه شد. فراکسیون ها پس از تغلیظ و خشک شدن در ظروف تمیز و شرایط استاندارد تا زمان استفاده نگهداری شدند. تعیین اثر ضد باکتریایی غلظت های مختلف عصاره به روش انتشار در آگار انجام و با آنتی بیوتیک های پنی سیلین، جنتامایسین و تتراسایکلین مقایسه شد. عصاره اتانولی و آبی به ترتیب توانستند در MIC = ۳۱/۲۵ $\mu\text{g/ml}$ (۱۲ mm قطر عدم رشد هاله) و MIC = ۱۲۵ $\mu\text{g/ml}$ (۱۰ mm قطر عدم رشد هاله) اثر ضد میکروبی قابل قبولی علیه /شرشیا کلی از خود نشان دهند.

۱- مقدمه

امروزه درمان بیماری ها بیشتر از طریق مصرف داروهایی صورت می گیرد که منشأ صناعی داشته و اختصاصاً در آزمایشگاه ها تهیه می شوند؛ عوارض جانبی بسیاری از آنها ثابت شده و مصرف اکثر آنها به بدن زیان می رساند (Gonelimali et al. 2015). در اوایل قرن حاضر پیشرفت علم شیمی و کشف سیستم های پیچیده سنتز ارگانیک منجر به توسعه صنعت داروسازی و جایگزینی شیمی درمانی شد (Chugh et al. 2018). بدین طریق پزشکی مدرن توانست



تولید می‌کنند. انتروتوکسین حساس به حرارت این باکتری، دارای فعالیت آنزیمی مشابه با سم عامل بیماری وبا یا ویبریو *کلرا* می‌باشد، در حالیکه انتروتوکسین مقاوم به حرارت باکتری *اشرشیا کلی* چنین فعالیت آنزیمی ندارد. سندرم *گاستروانتریت* ناشی از باکتری *اشرشیا کلی* هنگامی ایجاد می‌شود که حداقل ۱۰ عدد از سلول‌های زنده باکتری از طریق لوله گوارش وارد بدن شده، در روده کوچک تجمع نموده و تولید انتروتوکسین نمایند (Pal et al. 2007). دوره بیماری مسمومیت غذایی ناشی از باکتری *اشرشیا کلی* به‌طور متوسط ۲ d می‌باشد. نشانه‌های بیماری شامل: اسهال، تب و تهوع است. این نشانه‌ها گاهی همراه با دل‌پیچه، دردهای عضلانی شکم، لرزه، استفراغ، دردهای متفرقه و سردرد می‌باشد (Mukherjee et al. 2008). از آنجا که تشخیص سریع باکتری‌های *اشرشیا کلی* و *کلی‌فرم‌ها*^۲ روز به روز اهمیت بیشتری پیدا می‌کرد، دانشمندان درصدد آن برآمدند تا با سرعت بیشتری بتوان به تشخیص قطعی این باکتری دسترسی پیدا کرد. یک روش تشخیص سریع این باکتری، آزمایش بررسی آنزیم *گلوکورونیداز* می‌باشد (Khan et al. 2005). یکی از مکانیسم‌هایی که منجر به مقاومت باکتری در برابر آنتی‌بیوتیک می‌شود، قابلیت تولید آنزیم ساده-ترین مکانیسم آن تولید آنزیم *پنی‌سلیناز* است که باعث هیدرولیز یا از بین بردن آنتی‌بیوتیک *پنی‌سلین* می‌شود. باکتری‌هایی که دچار جهش ژنتیکی شده‌اند، به‌محض قرار گرفتن در برابر *پنی‌سلین* تولید آنزیم می‌کنند (Amin et al. 2012).

مطالعات صورت گرفته در این زمینه بسیار محدود است و انجام این پروژه دیدگاه و اطلاعات مفیدی برای شکل‌گیری بررسی‌های هدفمند را در اختیار می‌گذارد. لذا، هدف از انجام این پژوهش، بررسی غلظت‌های مختلف عصاره‌های آبی و الکلی (اتانولی) *شکر تیغال* بر سویه *اشرشیا کلی* و بررسی حساسیت آنتی‌بیوتیک‌ها در شرایط آزمایشگاهی بود.

۲- مواد و روش‌ها

ابتدا گیاه مورد نظر از یک عطاری واقع در شهرستان بابل جمع‌آوری شد. برداشت و جمع‌آوری اندام هوایی گیاه حاوی مان شکر تیغال در مرداد ماه در ارتفاعات ۴۵۰ متری شهر بابل انجام می‌پذیرد. مان در اثر فعالیت یک گونه حشره

بسیاری از بیماری‌های غیرقابل علاج و غالباً مرگ‌آور را درمان کند. باوجود این گیاهان دارویی و داروهایی که از آنها تهیه می‌شدند، هرگز به طور کامل کنار گذاشته نشدند (Wikler et al. 2006). یکی از مشکلات کنونی درمان عفونت‌های باکتریایی افزایش مقاومت آنها به آنتی‌بیوتیک‌ها می‌باشد. باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک باعث مرگ‌ومیر قابل توجهی در مقایسه با باکتری‌های غیرمقاوم می‌شوند. از بین باکتری‌های گرم منفی مقاوم به آنتی‌بیوتیک که ایجاد عفونت‌های بیمارستانی^۱ می‌کنند، می‌توان به گونه‌های *انتروتوکسین‌ساز*، *سودوموناس*، *اسیتوباکتر* و از بین باکتری‌های گرم مثبت می‌توان به گونه‌های *استافیلوکوک*، *استرپتوکوک* و *انتروکوک* اشاره کرد (Gupta et al. 2017). گیاه دارویی دارای مواد مؤثره‌ای می‌باشد که برای مداوای برخی بیمارها مورد استفاده قرار می‌گیرد، که این مواد در قسمت‌های مختلف گیاه ممکن است تشکیل شود (Das et al. 2010). قدمت شناخت خواص دارویی گیاهان به دوران قبل از تاریخ برمی‌گردد و دقیقاً مشخص نیست که گیاهان از چه زمانی به‌عنوان دارو مورد استفاده بشر قرار گرفته‌اند. هزاران سال است که بشر از گیاهان به‌عنوان منابع مطمئن و کارآمد برای درمان بیماری‌ها استفاده می‌کند (Parasuraman et al 2018). تعدادی از مهم‌ترین داروهای با ارزش ضدسرطان مانند *پاکلی‌تاکسل* و *وینبلاستین* منحصرأ از منابع گیاهی به دست آمده‌اند (Mohammadi et al. 2019). *شکر تیغال* (*Echinops dichorus L.*) از خانواده *آفتابگردان* (*Asteraceae*) بوده و تاکنون ۱۲۰ گونه از شکر تیغال در سراسر جهان گزارش شده است. بر اساس فلور ایرانیکا، ۵۴ گونه شکر تیغال در نقاط مختلف ایران پراکنش دارد. گونه‌های این جنس به‌صورت خودرو در بسیاری از نقاط ایران از جمله ارومیه، تفرش، تبریز، خرم آباد، اطراف تهران، فارس، همدان و غیره می‌روید. شکر تیغال از گیاهان دارویی با ارزش می‌باشد که از قدیم‌الایام از بعضی گونه‌های آن برای مداوای بیماری‌های پوستی، بند آوردن خون، درمان آبسه، جوش و دمل، رفع التهاب حفرات بینی، درمان تشنج، سرماخوردگی و چشم درد استفاده شده است (Van Vuuren et al. 2008).

سویه‌های *انتروتوکسین‌ساز* باکتری *اشرشیا کلی* دو نوع سم شامل توکسین حساس به حرارت و توکسین مقاوم به حرارت

² Coliforms

¹ Infections Nosocomial

محیط کشت داخل پلیت‌ها سرد و سفت می‌شود و می‌توان در پلیت‌ها را بست و در یخچال نگهداری کرد.

۲-۱-۲- محیط کشت نوترینت

مطابق با دستور تهیه محیط مولر هینتون آگار (مرک آلمان) که بر روی برچسب آن ذکر گردیده است باید ۲۰ g آن را در ۱ L آب مقطر حل کرد. ارلن مایر حاوی این محتویات، باید روی شعله گاز حرارت داده شده تا محیط کشت کاملاً در آب مقطر حل شود. هر چند دقیقه یکبار با میله شیشه‌ای این محتویات را باید به هم زد تا از ته‌نشین شدن محیط جلوگیری شود. زمانی که یک محلول زلال، شفاف و زردرنگ به دست آمد که فاقد ذرات پراکنده باشد، ارلن مایر را از روی حرارت برداشته و در آن را با پنبه بسته و در اتوکلاو قرار داده تا به مدت ۱۵ دقیقه در فشار ۱۵ PSI و درجه حرارت 121°C استریل شود. میز کار را کاملاً ضدعفونی کرده و پس از اینکه دمای محیط کشت به دمای محیط رسید، به کمک پمپ یکبار مصرف مقدار ۱۳ ml از محیط را در پلیت‌های یکبار مصرف ۸ cm ریخته شدند. پس از مدت زمان کمی محیط کشت داخل پلیت‌ها سرد و سفت می‌شود و می‌توان در پلیت‌ها را بست و در یخچال نگهداری کرد. در انجام آزمون‌های باکتری /شرشیا کلی، روش ماکرودایلوشن (رقت لوله‌ای) جهت تعیین حداقل غلظت کشندگی (MBC) و حداقل غلظت بازدارندگی (MIC) بکار رفت. حداقل غلظت بازدارندگی، حداقل غلظتی از یک عصاره است که می‌تواند از رشد باکتری در شرایط آزمایشگاهی جلوگیری کند. در این روش از ۱۳ لوله استفاده شد که لوله اول شامل ۲ cc محیط کشت برات و باقی لوله‌ها ۱ cc از محیط کشت برات را دارا بودند. لوله‌های ۱۲ و ۱۳ نیز به عنوان کنترل مثبت و کنترل منفی تلقی گردید. کنترل مثبت شامل باکتری /شرشیا کلی PTCC 1330T و محیط کشت و کنترل منفی شامل عصاره و محیط کشت بوده است. در واقع مقدار ۱۰۰۰ mg عصاره در لوله اول ریخته شد و بعد از پیپتینگ ۱ cc از آن، به ترتیب در سایر لوله‌ها اضافه گردید. در ادامه کار، ۱ cc از سوسپانسیون میکروبی به هر کدام از لوله‌ها اضافه شده و ۲۴ ساعت در انکوباتور با دمای 37°C قرار گرفت. برای تنظیم غلظت سوسپانسیون میکروبی، مقداری از سوسپانسیون در لوله آزمایش حاوی محلول ریخته شد و کدورت آن توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد تا هنگام برابر شدن کدورت محلول با کدورت

سرخرطومی بر روی گیاه شکر تیغال به وجود می‌آید. نمونه‌های گیاهی توسط آب مقطر استریل شستشو و سپس داخل پارچه سفیدرنگ تمیزی به مدت ۲-۴ d در دمای محیط، در سایه و دور از نور و رطوبت خشک شد. در انتها توسط آسیاب برقی کاملاً پودر شده و در ظرف‌های شیشه‌ای تیره‌رنگ و در بسته و مقاوم در برابر نور و رطوبت نگهداری شدند. پس از اینکه گیاه مورد نیاز خشک شد و بافت‌های گیاهی به شکل پودر درآمد، ۲۵ g از پودر گیاه را در ۵۰۰ cc به صورت جداگانه در حلال‌های آب مقطر و اتانول اضافه شدند و طی دو مرحله‌ای دمایی مختلف (برای حلال اتانول 25°C و برای حلال آب 65°C) در انکوباتور شیکردار با دور ۱۰۰ rpm به مدت ۴۸ hr قرار داده شدند. بعد از گذشت این زمان مخلوط گیاه و حلال‌ها را توسط گاز استریل و کاغذ صافی واتمن ۴/۴ صاف شدند. پس از جمع‌آوری عصاره‌ها آنها را توسط دستگاه Rotary در دمای 35°C برای الکل و دمای 55°C برای آب و دور ۱۰۰ rpm تغلیظ کرده و با قرار دادن عصاره تغلیظ شده در پلیت‌های شیشه‌ای استریل شده در هوای آزاد و به دور از گرد و خاک‌های محیطی، کاملاً حلال خود را از دست داده و خشک شدند (Hymete et al. 2007).

۲-۱-۲- تهیه محیط کشت

۲-۱-۱- محیط کشت مولر هینتون آگار

این محیط، یک محیط انتخابی برای آزمون بیوگرام اکثر باکتری‌ها می‌باشد. pH مناسب برای این محیط 7.9 ± 0.2 می‌باشد. مطابق با دستور تهیه محیط مولر هینتون آگار که بر روی برچسب آن ذکر گردیده است باید ۳۴ g آن را در ۱ L آب مقطر حل کرد. ارلن مایر حاوی این محتویات، باید روی شعله گاز حرارت داده تا محیط کشت کاملاً در آب مقطر حل شود. هر چند وقت یکبار با میله شیشه‌ای این خطوط را باید به هم زد تا از ته‌نشین شدن محیط جلوگیری شود. زمانی که یک محلول زلال، شفاف و زردرنگی به دست آمد که فاقد ذرات پراکنده باشد، ارلن مایر را از روی حرارت برداشته و در آن را با پنبه بسته و در اتوکلاو قرار داده تا به مدت ۱۵ دقیقه در فشار ۱۵ PSI و درجه حرارت 121°C استریل شود. میز کار را کاملاً ضدعفونی کرده و پس از اینکه دمای محیط کشت به دمای محیط رسید، به کمک پمپ یکبار مصرف مقدار ۱۳ ml از محیط را در پلیت‌های یکبار مصرف ۸ cm ریخته شدند. پس از مدت‌زمان کمی

پژوهش در آزمایش‌هایی گسترده و مختلف خاصیت‌های درمانی مفیدی از خود نشان داده است (Falah et al. 2021). لذا در این پژوهش گزارش‌های علمی مهم انجام گرفته در زمینه گیاه شکر تیغال مورد بحث قرار گرفت تا با آگاهی از مطالعات گذشته، چگونگی اثرات فیزیولوژیک و فارماکولوژیک این گیاه بررسی شود.

۳-۱- اثرات ضد میکروبی عصاره آبی شکر تیغال

۳-۱-۱- انتشار دیسک آگار

نتایج حاصل از بررسی اثر ضد میکروبی عصاره آبی در جدول (۱) آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که عصاره آبی شکر تیغال فقط در غلظت بالا از رشد باکتری /شرشیا کلی مانع نموده است. به گونه‌ای که در غلظت $1/5 \text{ mg/ml}$ از عصاره، هیچ اثر ضدباکتریایی بر باکتری وجود نداشت.

جدول ۱- میانگین قطر هاله عدم رشد باکتری /شرشیا کلی در حضور عصاره آبی و آنتی‌بیوتیک‌های جنتامایسین، تتراسایکلین و پنی-سیلین

Table 1 The diameter mean of *E. coli* growth inhibition (halo), against aqueous extract and penicillin, gentamicin, and tetracycline antibiotics

1 mg/ml concentration of aqueous extract of <i>Echinops dichorus</i> L. plant on <i>E. coli</i>			
aqueous extract	penicillin	gentamicin	tetracycline
9 mm	-	-	-
9 mm	-	25 mm	-
10 mm	-	-	18 mm

بگذارد که نشان از مقاومت بالای باکتری /شرشیا کلی مقابل پنی‌سیلین بود؛ اما آنتی‌بیوتیک‌های تتراسایکلین و جنتامایسین به ترتیب توانستند حساسیتی به اندازه قطر هاله عدم رشد ۱۷ و ۲۵ mm را از خود نشان دهند.

۰,۵ محلول استاندارد مک فارلند، توسط محلول رقیق‌سازی شد. سوسپانسیون تولیدی باید حاوی $1.5 \times 10^8 \text{ CFU/ml}$ باشد (Valero et al. 2003).

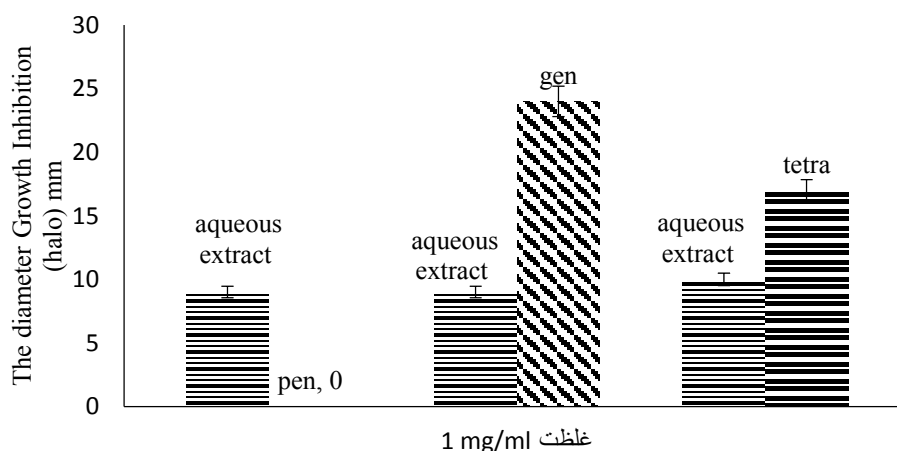
۳- یافته‌ها و بحث

موارد استفاده از گیاهان دارویی برای تجویز درمان بیماری‌ها از گذشته معمول بوده و بشر از اثرات مفید گیاهان و همچنین تنوع آن برای درمان استفاده می‌کرده است. با توجه به پیشرفت علمی و تحولات اجتماعی از جمله زندگی شهری به تدریج از مصرف گیاهان دارویی کاسته شده و داروهای شیمیایی که براساس نوع عامل بیماری به وجود آمده است، به نسبت زیادی جایگزین گیاهان دارویی شده‌اند. با مصرف این داروها عوارض جانبی و مشکلاتی از قبیل ایجاد مقاومت دارویی در میکروارگانیسم‌ها و کاهش اثر دارویی در اثر مصرف طولانی ایجاد شده است. گیاه مورد مطالعه در این

جدول ۱- میانگین قطر هاله عدم رشد باکتری /شرشیا کلی در حضور عصاره آبی و آنتی‌بیوتیک‌های جنتامایسین، تتراسایکلین و پنی-سیلین

سیلین

با توجه به شکل (۱) و (۲) عصاره آبی در غلظت 1 mg/ml توانست قطر هاله عدم رشد به اندازه ۱۰ mm را از خود نشان دهد؛ در صورتیکه دیسک آنتی‌بیوتیک پنی‌سیلین نتوانست از خود حساسیتی بر روی باکتری /شرشیا کلی به نمایش



شکل ۱- مقایسه آماری اثر عصاره آبی گیاه شکر تیغال بر باکتری /شرشیا کلی با غلظت 1 mg/ml

Fig. 1 Statistical comparison of the effect of aqueous extract of *Echinops dichorus* L. on *E. coli* bacteria with a concentration of 1 mg/ml



شکل ۲- تصاویر تأثیر عصاره آبی شکر تیغال بر اشرشیا کلی بر اساس هاله عدم رشد در اطراف دیسک‌های آغشته به عصاره و دیسک‌های آنتی‌بیوتیک

Fig. 2 The effect of aqueous extract of *Echinops dichorus* L. plant on *E. coli*, based on the bacterial growth inhibition (halo) on the disk containing extract and antibiotics

نتایج حاصل از بررسی اثر ضد میکروبی عصاره الکلی در جدول (۲) نشان می‌دهد عصاره اتانولی شکر تیغال بر خلاف عصاره آبی توانست در غلظت ۰/۵ mg/ml بر روی باکتری/شرشیا کلی اثر مثبت بگذارد. نتایج بیانگر عملکرد مناسب‌تر ضد میکروبی عصاره اتانولی می‌باشد زیرا عصاره‌های تهیه شده با حلال‌های آلی، اثر ضد میکروبی

پایدارتر و بیش‌تری دارند. اغلب ترکیبات فعال ضد میکروبی شناخته شده، در آب نامحلول هستند بنابراین عصاره‌های حاصل از حلال‌های آلی برای استخراج ترکیبات ضد میکروبی توانمندی بیش‌تری دارند که با نتایج پژوهش Mohebat and Bidoki (2018) مطابقت دارد.

جدول ۲- میانگین قطر هاله عدم رشد باکتری/شرشیا کلی در حضور عصاره اتانولی با رقت ۱ mg/ml و ۰/۵ mg/ml و آنتی‌بیوتیک‌های جنتامایسین، تتراسایکلین و پنی‌سیلین

Table 2 The diameter mean of *E. coli*. growth inhibition (halo), against ethanol extract (0.5 mg/ml and 1 mg/ml) and penicillin, gentamicin, and tetracycline antibiotics

1 mg/ml concentration of ethanol extract of <i>Echinops dichorus</i> L. plant on <i>E. coli</i>			
ethanol extract	penicillin	gentamicin	tetracycline
12 mm	-		
12 mm		26 mm	
10 mm			19 mm
0.5 mg/ml concentration of ethanol extract of <i>Echinops dichorus</i> L. plant on <i>E. coli</i>			
ethanol extract	penicillin	gentamicin	tetracycline
8 mm	-		
8 mm		25 mm	
8 mm			8 mm

بیوتیک‌های تتراسایکلین و جنتامایسین مطابق شکل (۵) توانستند به ترتیب قطر هاله عدم رشد به اندازه ۱۹ mm و ۲۶ mm در غلظت ۰/۵ mg/ml و ۱ mg/ml و قطر هاله عدم رشد ۱۸ mm و ۲۵ mm در غلظت ۰/۵ mg/ml از خود به نمایش بگذارند.

با توجه به شکل (۳)، (۴) و (۵) عصاره اتانولی شکر تیغال در غلظت ۱ و ۰/۵ mg/ml به ترتیب قطر هاله عدم رشد به اندازه ۱۲ mm و ۸ mm را از خود نشان داد. در این قسمت نیز آنتی‌بیوتیک پنی‌سیلین نتوانست اثر مثبتی از خود در مقابل باکتری نشان دهد که نشان از قوی بودن عصاره مورد مطالعه نسبت به پنی‌سیلین بود؛ اما آنتی-

محیط کشت داخل پلیت‌ها سرد و سفت می‌شود و می‌توان در پلیت‌ها را بست و در یخچال نگهداری کرد.

۲-۱-۲- محیط کشت نوترینت

مطابق با دستور تهیه محیط مولر هینتون آگار (مرک آلمان) که بر روی برچسب آن ذکر گردیده است باید ۲۰ g آن را در ۱ L آب مقطر حل کرد. ارلن مایر حاوی این محتویات، باید روی شعله گاز حرارت داده شده تا محیط کشت کاملاً در آب مقطر حل شود. هر چند دقیقه یکبار با میله شیشه‌ای این محتویات را باید به هم زد تا از ته‌نشین شدن محیط جلوگیری شود. زمانی که یک محلول زلال، شفاف و زردرنگ به دست آمد که فاقد ذرات پراکنده باشد، ارلن مایر را از روی حرارت برداشته و در آن را با پنبه بسته و در اتوکلاو قرار داده تا به مدت ۱۵ دقیقه در فشار ۱۵ PSI و درجه حرارت ۱۲۱ °C استریل شود. میز کار را کاملاً ضدعفونی کرده و پس از اینکه دمای محیط کشت به دمای محیط رسید، به کمک پمپ یکبار مصرف مقدار ۱۳ ml از محیط را در پلیت‌های یکبار مصرف ۸ cm ریخته شدند. پس از مدت زمان کمی محیط کشت داخل پلیت‌ها سرد و سفت می‌شود و می‌توان در پلیت‌ها را بست و در یخچال نگهداری کرد. در انجام آزمون‌های باکتری /شرشیا کلی، روش ماکرودایلوژن (رقت لوله‌ای) جهت تعیین حداقل غلظت کشندگی (MBC) و حداقل غلظت بازدارندگی (MIC) بکار رفت. حداقل غلظت بازدارندگی، حداقل غلظتی از یک عصاره است که می‌تواند از رشد باکتری در شرایط آزمایشگاهی جلوگیری کند. در این روش از ۱۳ لوله استفاده شد که لوله اول شامل ۲ cc محیط کشت براث و باقی لوله‌ها ۱ cc از محیط کشت براث را دارا بودند. لوله‌های ۱۲ و ۱۳ نیز به-عنوان کنترل مثبت و کنترل منفی تلقی گردید. کنترل مثبت شامل باکتری /شرشیا کلی PTCC 1330T و محیط کشت و کنترل منفی شامل عصاره و محیط کشت بوده است. در واقع مقدار ۱۰۰۰ mg عصاره در لوله اول ریخته شد و بعد از پیپتینگ ۱ cc از آن، به ترتیب در سایر لوله‌ها اضافه گردید. در ادامه کار، ۱ cc از سوسپانسیون میکروبی به هر کدام از لوله‌ها اضافه شده و ۲۴ ساعت در انکوباتور با دمای ۳۷ °C قرار گرفت. برای تنظیم غلظت سوسپانسیون میکروبی، مقداری از سوسپانسیون در لوله آزمایش حاوی محلول ریخته شد و کدورت آن توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد تا هنگام برابر شدن کدورت محلول با کدورت

سرخرطومی بر روی گیاه شکر تیغال به وجود می‌آید. نمونه‌های گیاهی توسط آب مقطر استریل شستشو و سپس داخل پارچه سفیدرنگ تمیزی به مدت ۲-۴ d در دمای محیط، در سایه و دور از نور و رطوبت خشک شد. در انتها توسط آسیاب برقی کاملاً پودر شده و در ظرف‌های شیشه‌ای تیره‌رنگ و در بسته و مقاوم در برابر نور و رطوبت نگهداری شدند. پس از اینکه گیاه مورد نیاز خشک شد و بافت‌های گیاهی به شکل پودر درآمد، ۲۵ g از پودر گیاه را در ۵۰۰ cc به‌صورت جداگانه در حلال‌های آب مقطر و اتانول اضافه شدند و طی دو مرحله‌ای دمایی مختلف (برای حلال اتانول ۲۵ °C و برای حلال آب ۶۵ °C) در انکوباتور شیکردار با دور ۱۰۰ rpm به مدت ۴۸ hr قرار داده شدند. بعد از گذشت این زمان مخلوط گیاه و حلال‌ها را توسط گاز استریل و کاغذ صافی واتمن ۴/۴ صاف شدند. پس از جمع‌آوری عصاره‌ها آنها را توسط دستگاه Rotary در دمای ۳۵ °C برای الکل و دمای ۵۵ °C برای آب و دور ۱۰۰ rpm تغلیظ کرده و با قرار دادن عصاره تغلیظ شده در پلیت‌های شیشه‌ای استریل شده در هوای آزاد و به دور از گرد و خاک‌های محیطی، کاملاً حلال خود را از دست داده و خشک شدند (Hymete et al. 2007).

۲-۱-۲- تهیه محیط کشت

۲-۱-۱- محیط کشت مولر هینتون آگار

این محیط، یک محیط انتخابی برای آزمون بیوگرام اکثر باکتری‌ها می‌باشد. pH مناسب برای این محیط 7.9 ± 0.2 می‌باشد. مطابق با دستور تهیه محیط مولر هینتون آگار که بر روی برچسب آن ذکر گردیده است باید ۳۴ g آن را در ۱ L آب مقطر حل کرد. ارلن مایر حاوی این محتویات، باید روی شعله گاز حرارت داده تا محیط کشت کاملاً در آب مقطر حل شود. هر چند وقت یکبار با میله شیشه‌ای این خطوط را باید به هم زد تا از ته‌نشین شدن محیط جلوگیری شود. زمانی که یک محلول زلال، شفاف و زردرنگی به دست آمد که فاقد ذرات پراکنده باشد، ارلن مایر را از روی حرارت برداشته و در آن را با پنبه بسته و در اتوکلاو قرار داده تا به مدت ۱۵ دقیقه در فشار ۱۵ PSI و درجه حرارت ۱۲۱ °C استریل شود. میز کار را کاملاً ضدعفونی کرده و پس از اینکه دمای محیط کشت به دمای محیط رسید، به کمک پمپ یکبار مصرف مقدار ۱۳ ml از محیط را در پلیت‌های یکبار مصرف ۸ cm ریخته شدند. پس از مدت‌زمان کمی

پژوهش در آزمایش‌هایی گسترده و مختلف خاصیت‌های درمانی مفیدی از خود نشان داده است (Falah et al. 2021). لذا در این پژوهش گزارش‌های علمی مهم انجام گرفته در زمینه گیاه شکر تیغال مورد بحث قرار گرفت تا با آگاهی از مطالعات گذشته، چگونگی اثرات فیزیولوژیک و فارماکولوژیک این گیاه بررسی شود.

۳-۱- اثرات ضد میکروبی عصاره آبی شکر تیغال

۳-۱-۱- انتشار دیسک آگار

نتایج حاصل از بررسی اثر ضد میکروبی عصاره آبی در جدول (۱) آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که عصاره آبی شکر تیغال فقط در غلظت بالا از رشد باکتری /شرشیا کلی مانع نموده است. به گونه‌ای که در غلظت ۱/۵ mg/ml از عصاره، هیچ اثر ضدباکتریایی بر باکتری وجود نداشت.

جدول ۱- میانگین قطر هاله عدم رشد باکتری /شرشیا کلی در حضور عصاره آبی و آنتی‌بیوتیک‌های جنتامایسین، تتراسایکلین و پنی-سیلین

Table 1 The diameter mean of *E. coli* growth inhibition (halo), against aqueous extract and penicillin, gentamicin, and tetracycline antibiotics

1 mg/ml concentration of aqueous extract of <i>Echinops dichorus</i> L. plant on <i>E. coli</i>			
aqueous extract	penicillin	gentamicin	tetracycline
9 mm	-	-	-
9 mm	-	25 mm	-
10 mm	-	-	18 mm

بگذارد که نشان از مقاومت بالای باکتری /شرشیا کلی مقابل پنی‌سیلین بود؛ اما آنتی‌بیوتیک‌های تتراسایکلین و جنتامایسین به ترتیب توانستند حساسیتی به اندازه قطر هاله عدم رشد ۱۷ و ۲۵ mm را از خود نشان دهند.

۰,۵ محلول استاندارد مک فارلند، توسط محلول رقیق‌سازی شد. سوسپانسیون تولیدی باید حاوی 1.5×10^8 CFU/ml باشد (Valero et al. 2003).

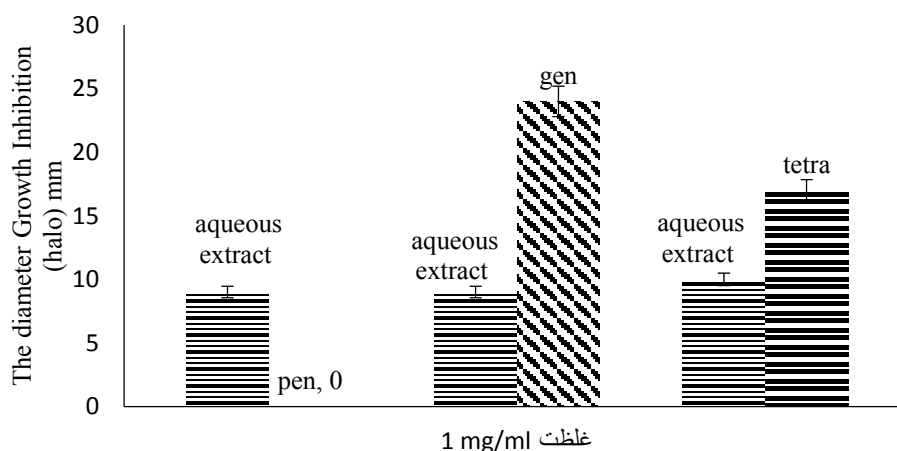
۳- یافته‌ها و بحث

موارد استفاده از گیاهان دارویی برای تجویز درمان بیماری‌ها از گذشته معمول بوده و بشر از اثرات مفید گیاهان و همچنین تنوع آن برای درمان استفاده می‌کرده است. با توجه به پیشرفت علمی و تحولات اجتماعی از جمله زندگی شهری به تدریج از مصرف گیاهان دارویی کاسته شده و داروهای شیمیایی که براساس نوع عامل بیماری به وجود آمده است، به نسبت زیادی جایگزین گیاهان دارویی شده‌اند. با مصرف این داروها عوارض جانبی و مشکلاتی از قبیل ایجاد مقاومت دارویی در میکروارگانیسم‌ها و کاهش اثر دارویی در اثر مصرف طولانی ایجاد شده است. گیاه مورد مطالعه در این

جدول ۱- میانگین قطر هاله عدم رشد باکتری /شرشیا کلی در حضور عصاره آبی و آنتی‌بیوتیک‌های جنتامایسین، تتراسایکلین و پنی-سیلین

سیلین

با توجه به شکل (۱) و (۲) عصاره آبی در غلظت ۱ mg/ml توانست قطر هاله عدم رشد به اندازه ۱۰ mm را از خود نشان دهد؛ در صورتیکه دیسک آنتی‌بیوتیک پنی‌سیلین نتوانست از خود حساسیتی بر روی باکتری /شرشیا کلی به نمایش



شکل ۱- مقایسه آماری اثر عصاره آبی گیاه شکر تیغال بر باکتری /شرشیا کلی با غلظت ۱ mg/ml

Fig. 1 Statistical comparison of the effect of aqueous extract of *Echinops dichorus* L. on *E. coli* bacteria with a concentration of 1 mg/ml



شکل ۲- تصاویر تأثیر عصاره آبی شکر تیغال بر اشرشیا کلی بر اساس هاله عدم رشد در اطراف دیسک‌های آغشته به عصاره و دیسک‌های آنتی‌بیوتیک

Fig. 2 The effect of aqueous extract of *Echinops dichorus* L. plant on *E. coli*, based on the bacterial growth inhibition (halo) on the disk containing extract and antibiotics

نتایج حاصل از بررسی اثر ضد میکروبی عصاره الکلی در جدول (۲) نشان می‌دهد عصاره اتانولی شکر تیغال بر خلاف عصاره آبی توانست در غلظت ۰/۵ mg/ml بر روی باکتری/شرشیا کلی اثر مثبت بگذارد. نتایج بیانگر عملکرد مناسب‌تر ضد میکروبی عصاره اتانولی می‌باشد زیرا عصاره‌های تهیه شده با حلال‌های آلی، اثر ضد میکروبی

پایدارتر و بیش‌تری دارند. اغلب ترکیبات فعال ضد میکروبی شناخته شده، در آب نامحلول هستند بنابراین عصاره‌های حاصل از حلال‌های آلی برای استخراج ترکیبات ضد میکروبی توانمندی بیش‌تری دارند که با نتایج پژوهش Mohebat and Bidoki (2018) مطابقت دارد.

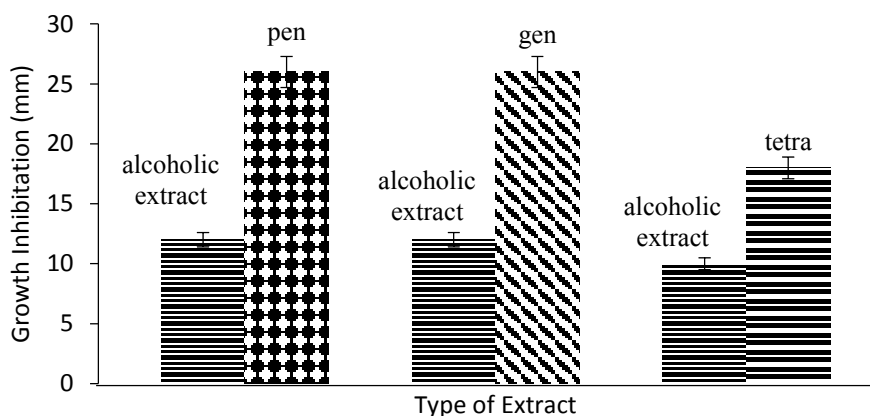
جدول ۲- میانگین قطر هاله عدم رشد باکتری/شرشیا کلی در حضور عصاره اتانولی با رقت ۱ mg/ml و ۰/۵ mg/ml و آنتی‌بیوتیک‌های جنتامایسین، تتراسایکلین و پنی‌سیلین

Table 2 The diameter mean of *E. coli*. growth inhibition (halo), against ethanol extract (0.5 mg/ml and 1 mg/ml) and penicillin, gentamicin, and tetracycline antibiotics

1 mg/ml concentration of ethanol extract of <i>Echinops dichorus</i> L. plant on <i>E. coli</i>			
ethanol extract	penicillin	gentamicin	tetracycline
12 mm	-		
12 mm		26 mm	
10 mm			19 mm
0.5 mg/ml concentration of ethanol extract of <i>Echinops dichorus</i> L. plant on <i>E. coli</i>			
ethanol extract	penicillin	gentamicin	tetracycline
8 mm	-		
8 mm		25 mm	
8 mm			8 mm

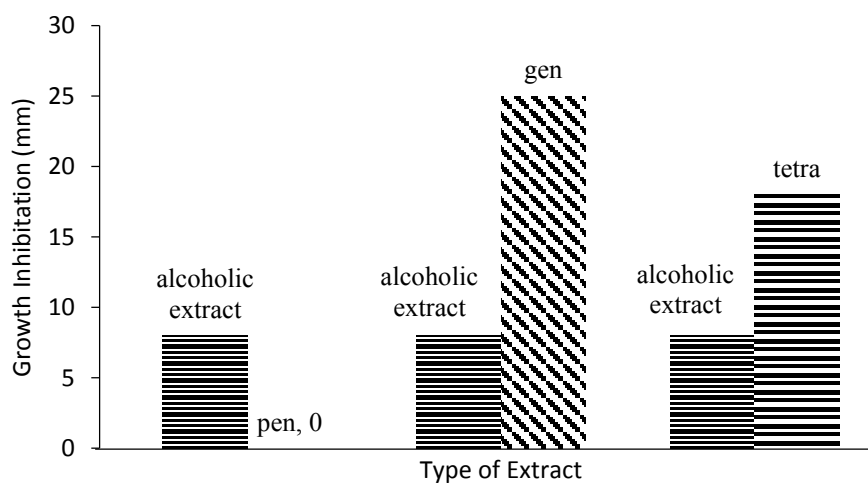
با توجه به شکل (۳)، (۴) و (۵) عصاره اتانولی شکر تیغال در غلظت ۱ و ۰/۵ mg/ml به ترتیب قطر هاله عدم رشد به اندازه ۱۲ mm و ۸ mm را از خود نشان داد. در این قسمت نیز آنتی‌بیوتیک پنی‌سیلین نتوانست اثر مثبتی از خود در مقابل باکتری نشان دهد که نشان از قوی بودن عصاره مورد مطالعه نسبت به پنی‌سیلین بود؛ اما آنتی-

بیوتیک‌های تتراسایکلین و جنتامایسین مطابق شکل (۵) توانستند به ترتیب قطر هاله عدم رشد به اندازه ۱۹ mm و ۲۶ mm در غلظت ۱ mg/ml و ۰/۵ mg/ml و قطر هاله عدم رشد ۱۸ mm و ۲۵ mm در غلظت ۰/۵ mg/ml از خود به نمایش بگذارند.



شکل ۳- مقایسه آماری اثر عصاره الکلی گیاه شکر تیغال بر باکتری /شرشیا کلی با غلظت ۱ mg/ml

Fig. 3 Statistical comparison of the effect of alcoholic extract of *Echinops orientalis* Trauv on *Escherichia coli* bacteria with a concentration of 1 mg/ml



شکل ۴- مقایسه آماری اثر عصاره الکلی گیاه شکر تیغال بر باکتری /شرشیا کلی با غلظت ۰/۵ mg/ml

Fig. 4 Statistical comparison of the effect of alcoholic extract of *Echinops dichorus* L. on *Escherichia coli* bacteria with a concentration of 0.5 mg/ml



شکل ۵- تأثیر عصاره الکلی شکر تیغال بر /شرشیا کلی بر اساس عدم رشد در اطراف دیسک‌های آغشته به عصاره و دیسک‌های آنتی-بیوتیک

Fig. 5 The effect of ethanol extract of *Echinops dichorus* L. plant on *E. coli*, based on the bacterial growth inhibition (halo) on the disk containing extract and antibiotics

۳-۱-۲- تعیین حداقل غلظت بازدارندگی عصاره آبی و اتانولی علیه باکتری/شرشیا کلی

نتایج به دست آمده از میزان کدورت لوله‌های شماره‌گذاری شده بر اساس غلظت و مطابق شکل‌های (۶) و (۷) نشان می‌دهد که عصاره‌های آبی و اتانولی گیاه شکر تیغال می‌توانند از رشد باکتری‌های /شرشیا کلی جلوگیری کنند. عصاره آبی گیاه شکر تیغال با غلظت $62/5 \mu\text{g/ml}$ دارای حداقل غلظت بازدارندگی (MIC) و با غلظت $125 \mu\text{g/ml}$ حداقل غلظت کشندگی (MBC) بر باکتری /شرشیا کلی می‌باشد. همچنین

عصاره اتانولی آن توانایی مهار باکتری /شرشیا کلی در غلظت $31/25 \mu\text{g/ml}$ و کشندگی باکتری در غلظت $62/5 \mu\text{g/ml}$ را دارا می‌باشد. عصاره‌های حاصل از حلال‌های غیرقطبی یا کمتر قطبی بر مهار رشد باکتری‌های گرم منفی موثرتر هستند. این یافته‌ها با قطبیت ترکیبات موجود در عصاره‌ها و توانایی آنها در نفوذ به دیواره سلول‌ها با ویژگی آب‌دوستی (باکتری‌های گرم مثبت) و ویژگی‌های آب‌گریزی یا چربی-دوستی (باکتری‌های گرم منفی) ارتباط دارد (Mehraban, 2007).



شکل ۶- کدورت لوله‌های حاوی محیط کشت براث، باکتری /شرشیا کلی و عصاره اتانولی بعد از گذشت ۲۴ hr
Fig. 6 Turbidity of tubes containing broth culture medium, Escherichia coli bacteria and ethanol extract after 24 hr



شکل ۷- کدورت لوله‌های حاوی محیط کشت براث، باکتری /شرشیا کلی و عصاره آبی بعد از گذشت ۲۴ hr
Fig. 7 Turbidity of tubes containing broth culture medium, Escherichia coli bacteria and aqueous extract after 24 hr

۴- نتیجه‌گیری

غربالگری، شناسایی و جداسازی ترکیبات فعال گیاهان می‌تواند در بررسی اثرات ضد میکروبی آنها موثر و کاربردی باشد. به‌طور کلی می‌توان گیاه شکر تیغال را به‌عنوان یک عامل ضد میکروبی مورد استفاده قرار داد؛ به‌ویژه برای کشورهای مانند ایران که این گیاه بومی مناطق آن است و می‌تواند به‌عنوان کاندیدایی مناسب برای صنایع دارویی قرار گیرد.

نتایج این پژوهش را می‌توان به‌صورت زیر بیان نمود.

- ۱- هر دو عصاره آبی و الکلی گیاه شکر تیغال، بر روی باکتری /شرشیا کلی تأثیر داشته است.
- ۲- اثر عصاره‌های اتانولی و آبی نشان دادند که در پایین‌ترین غلظت، باعث بروز حساسیت در /شرشیا کلی می‌شوند و بسیار مؤثرتر از آنتی‌بیوتیک‌های انتخابی عمل کردند.

- بررسی تأثیر روش‌های استخراج عصاره‌ها و اسانس‌ها بر میزان مبارزه با باکتری‌ها

- بررسی تأثیر ترکیب چند عصاره بر میزان رشد باکتری‌ها

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده (یا تولید شده) در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منفعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

- Amin, M., Anwar, F., Janjua, M. R. S. A., Iqbal, M. A., & Rashid, U. (2012). Green synthesis of silver nanoparticles through reduction with *Solanum xanthocarpum* L. berry extract: characterization, antimicrobial, and urease inhibitory activities against *Helicobacter pylori*. *Int. J. Molecul. Sci.*, 13(8), 9923-9941. DOI: [10.3390/ijms13089923](https://doi.org/10.3390/ijms13089923)
- Bitew, H., & Hymete, A. (2019). The Genus *Echinops*: Phytochemistry and Biological Activities: A Review. *Front. Pharmacol.*, 10, 1234, DOI: [10.3389/fphar.2019.01234](https://doi.org/10.3389/fphar.2019.01234)
- Chugh, N. A., Bali, S., & Koul, A. (2018). Integration of botanicals in contemporary medicine: road blocks, checkpoints and go-ahead signals. *Integr. Med. Res.*, 7(9), 109-125. DOI: [10.1016/j.imr.2018.03.005](https://doi.org/10.1016/j.imr.2018.03.005)
- Das, K., Tiwari, R. K. S., & Shrivastava, D. K. (2010). Techniques for evaluation of medicinal plant products as antimicrobial agents: current methods and future trends. *J. Med. Plant Res.*, 4(2), 104-111, DOI: [10.5897/JMPR09.030](https://doi.org/10.5897/JMPR09.030)
- Falah, F., Shirani, K., Vasiee, A., Yazdi, F. T., & Behbahani, B. A. (2021). In vitro screening of phytochemicals, antioxidant, antimicrobial, and cytotoxic activity of *Echinops setifer* extract. *Biocatal. Agri. Biotechnol.*, 35, 102102, DOI: [10.1016/j.bcab.2021.102102](https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102102)
- Gonelimali, F. D., Lin, J., Miao, W., Xuan, J., Charles, F., Chen, M., & Hatab, S. R. (2018). Antimicrobial properties and mechanism of action of some plant extracts against food pathogens and spoilage microorganisms. *J. Front. Microbiol.*, 9(50). DOI: [10.3389/fmicb.2018.01639](https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01639)
- Gupta, P. D., & Birdi, T. J. (2017). Development of botanicals to combat antibiotic resistance. *J. Ayurveda Integr. Med.*, 8(4), 266-275. DOI: [10.1016/j.jaim.2017.05.004](https://doi.org/10.1016/j.jaim.2017.05.004)
- Khan, M., Shaik, M. R., Adil, S. F., Khan, S. T., Al-Warthan, A., Siddiqui, M. R. H., Tahir, M. N. and Tremel, W. (2018). Plant extracts as green reductants for the synthesis of silver nanoparticles: lessons from chemical synthesis. *Dalton Trans.*, 47(35), 11988-12010, DOI: [10.1039/C8DT01152D](https://doi.org/10.1039/C8DT01152D)
- Manandhar, S., Luitel, S., & Dahal, R. K. (2019). *In vitro* antimicrobial activity of some medicinal plants against human pathogenic bacteria. *J. Tropic. Med.*, 2019. DOI: [10.1155/2019/1895340](https://doi.org/10.1155/2019/1895340)
- Mehrabian, S. (2007). The study of antioxidant and anticarcinogenic green tea and black tea. *Pakistan J. Bio. Sci.*, 10(6), 989-991, DOI: [10.3923/pjbs.2007.989.991](https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.989.991)
- Mohammadi, S., Piri, K., & Dinarvand, M. (2019). Antioxidant and antibacterial effects of some medicinal plants of Iran. *Int. J. Second. Metab.*, 6(1), 62-78, DOI: [10.21448/ijsm.514968](https://doi.org/10.21448/ijsm.514968)
- Mohebat, R., & Bidoki, M. Z. (2018). Comparative chemical analysis of volatile compounds of *Echinops ilicifolius* using hydrodistillation and headspace solid-phase microextraction and the antibacterial activities of its essential oil. *R. Soc. Open Sci.*, 5(2), 171424, DOI: [10.1098/rsos.171424](https://doi.org/10.1098/rsos.171424)
- Mukherjee, P., Roy, M., Mandal, B. P., Dey, G. K., Mukherjee, P. K., Ghatak, J., Tyagi, A. K., & Kale, S. P. (2008). Green synthesis of highly stabilized nanocrystalline silver

- particles by a non-pathogenic and agriculturally important fungus *T. asperellum*. *Nanotechnol.*, 19(7), 075103, DOI: [10.1088/0957-4484/19/7/075103](https://doi.org/10.1088/0957-4484/19/7/075103)
- Pal, S., Tak, Y. K., & Song, J. M. (2007). Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 73(6), 1712-1720, DOI: [10.1128/AEM.02218-06](https://doi.org/10.1128/AEM.02218-06)
- Parasuraman, S. (2018). Herbal drug discovery: challenges and perspectives. *Curr. Pharmacogenomics Person. Med.*, 16(1), 63-68(6), DOI: [10.2174/1875692116666180419153313](https://doi.org/10.2174/1875692116666180419153313)
- Valero, M., & Salmeron, M. (2003). Antibacterial activity of 11 essential oils against *Bacillus cereus* in tyndallized carrot broth. *Int. J. Food Micro.*, 85(1), 73-81. DOI: [10.1016/S0168-1605\(02\)00484-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00484-1)
- Van Vuuren, S. F. (2008). Antimicrobial activity of South African medicinal plants. *J. Ethnopharmacol.*, 119(3), 462-472, DOI: [10.1016/j.jep.2008.05.038](https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.05.038)
- Wikler, M. A. (2006). Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically: approved standard. *CLSI (NCCLS)*, 26, M7-A7. DOI: [10.1007/s10156-012-0543-z](https://doi.org/10.1007/s10156-012-0543-z)

How to cite this paper:

Salmanian, M., Ghadi, A., & Sharifzadeh Baei, M. (2023). *In Vitro* evaluation of antibacterial effects of aqueous and alcoholic extracts of *Echinops dichorus L.* on *Escherichia coli*. *Environ. Water Eng.*, 9(4), 437-448. DOI: [10.22034/ewe.2022.336375.1761](https://doi.org/10.22034/ewe.2022.336375.1761)

ب) بررسی تأثیر روش‌های استخراج عصاره‌ها و اسانس‌ها بر میزان مبارزه با باکتری‌ها

ج) بررسی تأثیر ترکیب چند عصاره بر میزان رشد باکتری‌ها

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده (یا تولید شده) در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منفعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

۳- ترکیبات آنتی‌باکتریال موجود در عصاره الکلی (اتانولی) شکر تیغال، توانایی و اثرگذاری کافی برای استفاده به‌همراه رژیم‌های حاوی آنتی‌بیوتیک در آینده را دارند.

۴- اثرات ضد میکروبی گیاه شکر تیغال مورد استفاده حاکی از پتانسیل قابل قبول این گیاه در کاربرد دارویی آن در مقابل بیماری‌های با منشأ باکتری گرم منفی / شرشیا کلی در تحقیق موجود می‌باشد.

پیشنهادها برای ادامه بررسی‌های مرتبط با پژوهش حاضر، عبارت‌اند از:

الف) بررسی تأثیر اثرات ضدباکتری گیاه مورد مطالعه در این تحقیق در شرایط برون‌آزمایشگاهی و در بدن موجود زنده

References

- Amin, M., Anwar, F., Janjua, M. R. S. A., Iqbal, M. A., & Rashid, U. (2012). Green synthesis of silver nanoparticles through reduction with *Solanum xanthocarpum* L. berry extract: characterization, antimicrobial, and urease inhibitory activities against *Helicobacter pylori*. *Int. J. Molecul. Sci.*, 13(8), 9923-9941. DOI: [10.3390/ijms13089923](https://doi.org/10.3390/ijms13089923)
- Bitew, H., & Hymete, A. (2019). The Genus *Echinops*: Phytochemistry and Biological Activities: A Review. *Front. Pharmacol.*, 10, 1234, DOI: [10.3389/fphar.2019.01234](https://doi.org/10.3389/fphar.2019.01234)
- Chugh, N. A., Bali, S., & Koul, A. (2018). Integration of botanicals in contemporary medicine: road blocks, checkpoints and go-ahead signals. *Integr. Med. Res.*, 7(9), 109-125. DOI: [10.1016/j.imr.2018.03.005](https://doi.org/10.1016/j.imr.2018.03.005)
- Das, K., Tiwari, R. K. S., & Shrivastava, D. K. (2010). Techniques for evaluation of medicinal plant products as antimicrobial agents: current methods and future trends. *J. Med. Plant Res.*, 4(2), 104-111, DOI: [10.5897/JMPR09.030](https://doi.org/10.5897/JMPR09.030)
- Falah, F., Shirani, K., Vasiee, A., Yazdi, F. T., & Behbahani, B. A. (2021). In vitro screening of phytochemicals, antioxidant, antimicrobial, and cytotoxic activity of *Echinops setifer* extract. *Biocatal. Agri. Biotechnol.*, 35, 102102, DOI: [10.1016/j.bcab.2021.102102](https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102102)
- Gonelimali, F. D., Lin, J., Miao, W., Xuan, J., Charles, F., Chen, M., & Hatab, S. R. (2018). Antimicrobial properties and mechanism of action of some plant extracts against food pathogens and spoilage microorganisms. *J. Front. Microbiol.*, 9(50). DOI: [10.3389/fmicb.2018.01639](https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01639)
- Gupta, P. D., & Birdi, T. J. (2017). Development of botanicals to combat antibiotic resistance. *J. Ayurveda Integr. Med.*, 8(4), 266-275. DOI: [10.1016/j.jaim.2017.05.004](https://doi.org/10.1016/j.jaim.2017.05.004)
- Khan, M., Shaik, M. R., Adil, S. F., Khan, S. T., Al-Warthan, A., Siddiqui, M. R. H., Tahir, M. N. and Tremel, W. (2018). Plant extracts as green reductants for the synthesis of silver nanoparticles: lessons from chemical synthesis. *Dalton Trans.*, 47(35), 11988-12010, DOI: [10.1039/C8DT01152D](https://doi.org/10.1039/C8DT01152D)
- Manandhar, S., Luitel, S., & Dahal, R. K. (2019). *In vitro* antimicrobial activity of some medicinal plants against human pathogenic bacteria. *J. Tropic. Med.*, 2019. DOI: [10.1155/2019/1895340](https://doi.org/10.1155/2019/1895340)
- Mehrabian, S. (2007). The study of antioxidant and anticarcinogenic green tea and black tea. *Pakistan J. Bio. Sci.*, 10(6), 989-991, DOI: [10.3923/pjbs.2007.989.991](https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.989.991)
- Mohammadi, S., Piri, K., & Dinarvand, M. (2019). Antioxidant and antibacterial effects of some medicinal plants of Iran. *Int. J. Second. Metab.*, 6(1), 62-78, DOI: [10.21448/ijsm.514968](https://doi.org/10.21448/ijsm.514968)
- Mohebat, R., & Bidoki, M. Z. (2018). Comparative chemical analysis of volatile compounds of *Echinops ilicifolius* using hydrodistillation and headspace solid-phase microextraction and the antibacterial activities

- of its essential oil. *R. Soc. Open Sci.*, 5(2), 171424, DOI: [10.1098/rsos.171424](https://doi.org/10.1098/rsos.171424)
- Mukherjee, P., Roy, M., Mandal, B. P., Dey, G. K., Mukherjee, P. K., Ghatak, J., Tyagi, A. K., & Kale, S. P. (2008). Green synthesis of highly stabilized nanocrystalline silver particles by a non-pathogenic and agriculturally important fungus *T. asperellum*. *Nanotechnol.*, 19(7), 075103, DOI: [10.1088/0957-4484/19/7/075103](https://doi.org/10.1088/0957-4484/19/7/075103)
- Pal, S., Tak, Y. K., & Song, J. M. (2007). Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 73(6), 1712-1720, DOI: [10.1128/AEM.02218-06](https://doi.org/10.1128/AEM.02218-06)
- Parasuraman, S. (2018). Herbal drug discovery: challenges and perspectives. *Curr. Pharmacogenomics Person. Med.*, 16(1), 63-68(6), DOI: [10.2174/1875692116666180419153313](https://doi.org/10.2174/1875692116666180419153313)
- Valero, M., & Salmeron, M. (2003). Antibacterial activity of 11 essential oils against *Bacillus cereus* in tyndallized carrot broth. *Int. J. Food Micro.*, 85(1), 73-81. DOI: [10.1016/S0168-1605\(02\)00484-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00484-1)
- Van Vuuren, S. F. (2008). Antimicrobial activity of South African medicinal plants. *J. Ethnopharmacol.*, 119(3), 462-472, DOI: [10.1016/j.jep.2008.05.038](https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.05.038)
- Wikler, M. A. (2006). Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically: approved standard. *CLSI (NCCLS)*, 26, M7-A7. DOI: [10.1007/s10156-012-0543-z](https://doi.org/10.1007/s10156-012-0543-z)

How to cite this paper:

Salmanian, M., Ghadi, A., & Sharifzadeh Baei, M. (2023). *In Vitro* evaluation of antibacterial effects of aqueous and alcoholic extracts of *Echinops dichorus L.* on *Escherichia coli*. *Environ. Water Eng.*, 9(4), 437-448. DOI: [10.22034/ewe.2022.336375.1761](https://doi.org/10.22034/ewe.2022.336375.1761)



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Research Paper

Habitat Classification of Maharlu Wetland Using MedWet Classification System

Mehrdad Zamanpoore^{1*}, Mojtaba Pakparvar², Ahmad Hatami³ and Atekeh Zahirian³

¹Assoc. Professor, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization of Iran (AREEO), Shiraz, Iran

²Assist. Professor, Department of Watershed Management, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization of Iran (AREEO), Shiraz, Iran

³Research Assist., Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization of Iran (AREEO), Shiraz, Iran

Article information

Received: August 31, 2022

Revised: November 01, 2022

Accepted: November 06, 2022

Keywords:

Aquatic Ecosystems

Protection

Playa

Saline Lake

*Corresponding author:

m.zamanpoore@areeo.ac.ir



Abstract

Identifying the different habitats in wetlands is essential for their protection. This research was carried out with the aim of classifying habitat areas of Maharlu wetland in Fars province using MedWet, Mediterranean Wetland Habitat Classification System. Information on dominant vegetation cover, soil, and hydrology of the wetland was prepared using field surveys. The data on the water regime were obtained with quarterly satellite images from 2016-2019 in remote sensing media using ArcGIS. Sampling was performed for wetland plants and lake bed outcrops from 39 stations in May 2020. Plants were identified and classified on the basis of being an annual or perennial presence and submerged or floating. By stacking this information in ILWIS, different habitat zones were separated. Each was then specified using habitat international standard codes, and habitat maps were prepared. In total, 42 habitats were identified in the Maharlu wetland. The most prevalent habitats were palustrine-emergent-persistent-seasonally flooded-Mixosaline- (P-EPSX-) (14,797,300 m²), palustrine-emergent-persistent-temporarily flooded-Mixosaline (P-EPSX-) (296,600 m²), lacustrine-littoral-emergent-persistent-seasonally flooded-mixosaline- (LLEPSX) (2,079,900 m²), and lacustrine-littoral-emergent-persistent-Semipermanently flooded-mixosaline- (LLEPLX-) (493,000 m²). The results of this research in recognizing habitats are useful for the protection of ecosystem sections, especially plant communities.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

MedWet (Mediterranean Wetland System) is a hierarchical classification method for the identification of wetland habitats. Wetland habitats were classified and mapped by interpretation of aerial photographs and field work for soil mapping and plant species inventory. The method was mostly used in European and North African countries having Mediterranean climates. MedWet method was tested for the first time in Iran in Fars province to identify different habitats, and prepare a habitat map with hydrology, soil types, and vegetation. It was also used in the study of Parishan, Shadgan and Zaribar wetland ecosystems in Iran. Maharlu is a saltwater ecosystem, 10 km southeast of Shiraz, and a unique natural habitat. Despite the high value and importance of Maharlu wetland in Fars province, a habitat map has not been yet prepared for it. The purpose of this research is to identify the habitats in the Maharlu wetland using the MedWet hierarchical method, and to prepare a habitat map by combining hydrological, vegetation, soil, and salinity information.

Material and Methods

Maharlu lake is located in the southeast of Shiraz, at the middle part of Maharlu watershed with the geographical position N 26° 31' 29", E 26° 43' 52". Its minimum and maximum altitude is 1461 and 1465 m asl., respectively. At the highest water level its area is 175-250 km², its mean depth is 55 cm with a maximum of 3 m, its length is 31 km, its maximum width is 11 km, and the average volume of the lake is estimated to be about 130 MCM. The maximum water intake was determined with aerial photographs of the lake in the high water period of 2005. Thirty-nine stations were visited in November 2018 to identify hydric soils using the soil color comparison method (USDA 2018). Aquatic plant samples were taken from 39 stations in November 2018 and May 2019. The percentage of wetland surface vegetation coverage (being more or less than 30%) was measured at each station. It was checked that they are annual or perennial, and floating or submerged. The bed profile was identified as being rock, cobbles/gravel, sand, mud, organic, or salt crust. Water salinity zones were classified using previous data measurements from Zamanpoore et al. (2019b). Ecological

boundaries of the wetland were demarcated on Google Earth. The change of the lake border in different years was analyzed with the time series of Landsat 5 and 8 images (USGS, 2020) in 2014-2018 using ENVI software. The Medvet method divides the wetland into system, subsystem, class, and subclass categories. Each habitat is then described by water regime, water salinity, dominant species, and artificial structures. A code (an alphabet letter) is used for each category and feature. Information was integrated in the GIS and ILWIS software, and by combining the data and maps, a zoned map and a classification table of wetland habitats were prepared.

Results

Two Lacustrine and Palustrine were recognized. Both persistent and non-persistent macrophyte groups were found in Palustrine subsystem. The main part of Maharlu is of Lacustrine, and the vegetation of the water bed or emergent plants can be seen. The lacustrine subsystems of the lagoon are littoral, from the shore line to a depth of about 2 m, and limnetic, more than 2 m. Two classes of non-vegetated and emergent were identified in the palustrine system. Most of the lake, except for parts of the periphery is non-vegetated. In the lacustrine-littoral subsystem, three classes of water surface, non-vegetated, and emergent were identified. For the lacustrine-limnetic subsystem, only water surface was identified. In this class only salt layers were seen on the bed, subclass salt crust. The dominant plants are *Halocnemum strobilaceum*, *Salsola crassa*, and *Petrosimonia glauca*. Five categories of permanently, semi-permanently, seasonally, and intermittently flooded were identified as water regime modifiers. The water salinity modifiers in the largest area of the lake is hypersaline (> 40 mg/l), but in a narrow strip in the west of the wetland is mixosaline (0.5-0.30 mg/l). After combining all habitat information, 42 different habitats were identified across the lake (Fig. 1). The widest habitat of the wetland with 110,330,000 m² area is in the middle. Its water regime is semi-permanent, having water in most periods of growing seasons. Its surface is non-vegetated and salt crust, and its water salinity is hypersaline (LLOALY). The largest area of the palustrine system with 14,749,300 m² is having emergent persistent vegetation, seasonally flooded, and mixosaline salinity, coded as P-EPSX-.

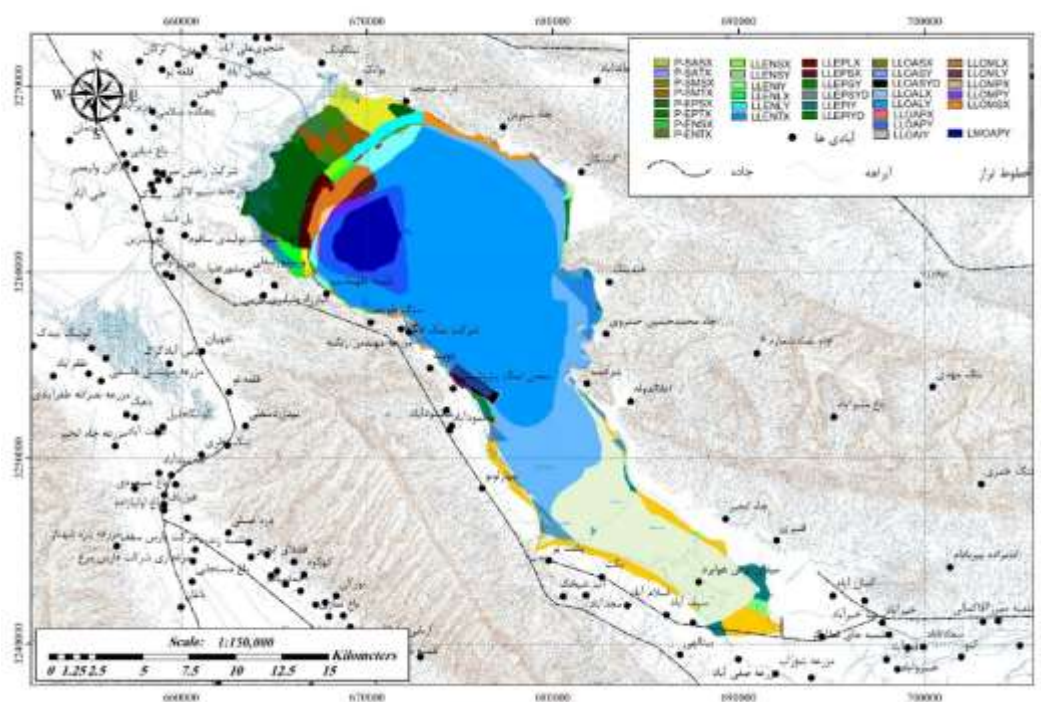


Fig. 1 Map of classified habitats in Maharlu wetland

The findings of this research showed several differences between the habitat composition of Maharlu and the other three studied wetlands. In Maharlu, most of the soil surface is covered by salt crust. The water regime of a large part of Zaribar is in permanent drainage, very different from Maharlu. The bed type of Parishan wetland is very different from Maharlu, all of it covered with loamy-clay fine-textured soil, while the main area of Maharlu is salt crust, with mud bed only in the palustrine parts. Vegetation in and around.

Conclusions

The water regime of Maharlu wetland is semi-permanent in its largest area, seasonal or intermittent in the west, and permanently flooded only in the mid-west. Bed cover in the main part of the wetland is salt crust. The largest habitat is in the middle of the lake with a semi-permanent water regime, in an area of 110,330,000 m², hypersaline water, and non-vegetated salt crust bed. Plant communities are rich in a large part of

palustrine habitats in the western entrance with identifiers P-EPSX-, P-EPTX-, P-ENSX-, P-ENTX-, the total area of which is 20,725,800 m². Scattered communities with LLE identifiers can be seen in the northern and southern margins with a total area of 10,252,100 m².

Acknowledgment

This paper is the result of a research in the Agricultural Research, Education and Extension Organization of Iran (24-50-12-018-980875). We would like to thank the General Department of Environmental Protection of Fars Province for funding the research (4435/400/96/S).

Data Availability

The data used in this research are presented in the text of the article.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

رده بندی زیستگاهی تالاب مهارلو در سامانه MedWet

مهرداد زمان پور^{۱*}، مجتبی پاک پرور^۲، احمد حاتمی^۳، و عاتکه ظهیریان^۴

^۱دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، شیراز، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
^۲استادیار، بخش آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، شیراز، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
^۳کارشناس ارشد پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۶/۰۹]
 تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۰۸/۱۰]
 تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۰۸/۱۵]

واژه های کلیدی:

بوم سازگان آبی
 پلایا
 حفاظت
 دریاچه آب شور

شناخت بخش های زیستگاهی گوناگون در تالاب برای حفاظت آن ضروری است. این پژوهش با هدف رده بندی پهنه های زیستگاهی تالاب مهارلو در استان فارس به روش مدوت، سامانه طبقه بندی زیستگاهی تالاب های مدیرانه، انجام شد. اطلاعات پوشش گیاهی غالب، خاک و آب شناسی از تالاب در بازدیدهای میدانی به دست آمد. داده های رژیم آبی با عکس های ماهواره ای فصلی از ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ در سامانه اطلاعات جغرافیایی در ArcGIS به دست آمد. اطلاعات گیاهان تالابی و رخنمون بستر دریاچه با نمونه برداری از ۳۹ ایستگاه در اردیبهشت ۱۳۹۹ گردآورده شد. گیاهان شناسایی و بر مبنای یک ساله یا چندساله بودن، و بن در آب یا غوطه ور بودن رده بندی شد. با روی هم گذاشتن و برخورد دادن لایه های رقومی دارنده ای این اطلاعات در نرم افزار ILWIS، پهنه های زیستگاهی جدا شد. سپس هر زیستگاه با شناسه های معیار بین المللی مشخص و نقشه زیستگاه ها تهیه شد. در مجموع ۴۲ زیستگاه در تالاب مهارلو شناسایی شد. مهم ترین زیستگاه ها ماندآب-پوشش گیاهی پدیدار-پایدار-آب گیری فصلی-چندگونه شور (P-EPSX) با مساحت $14,797,300 \text{ m}^2$ ، ماندآب-پوشش گیاهی پدیدار-پایدار-آب گیری گذرا-چندگونه شور (P-EPTX) با مساحت $2,079,900 \text{ m}^2$ ، دریاچه ای-کرانه ای-پوشش گیاهی پدیدار-پایدار-آب گیری فصلی-چندگونه شور (LLEPSX) با مساحت $2,079,900 \text{ m}^2$ و دریاچه ای-کرانه ای-پوشش گیاهی پدیدار-پایدار-آب گیری نیمه دائمی-چندگونه شور (LLEPLX) با مساحت $493,000 \text{ m}^2$ بود. نتیجه ای این پژوهش در شناخت زیستگاه ها برای حفاظت از بخش های زیست بوم به ویژه جامعه های گیاهی بسیار سودمند است.

*نویسنده مسئول:

m.zamanpoore@areeo.ac.ir



۱- مقدمه

برای دانستن این که کدام منطقه تالاب باید حفاظت و مدیریت شود شناخت محدوده زیستگاه‌ها ضروری است. پهنه‌بندی بخشی از فرآیند طرح‌ریزی محیط‌زیستی برای تشخیص دادن و جدا کردن ناحیه‌های مشخص (پهنه) است. با پهنه‌بندی می‌توان کاربری‌های ناسازگار را جدا، و فعالیت‌های مناسب را شناسایی کرد. برگزیدن سامانه مناسب رده‌بندی کاری پایه‌ای در تهیه شناختگان^۱ تالاب است. این کار زیرساختی فراهم می‌کند تا با آن بتوان ناهمگونی تالاب را شناخت. هر زیستگاه پستی‌بلندی، خاک، آب‌شناسی، و پوشش گیاهی غالبی دارد که منحصر به خود آن است. مدوت^۲ یا سامانه تالاب‌های مدیریت‌شده، روشی برای رده‌بندی کردن زنجیره‌وار (سلسله‌مراتبی)^۳ است که کمک می‌کند زیستگاه‌های تالابی تشخیص داده و شناسایی شود. بر پایه سامانه رده‌بندی رامسر که توسعه‌یافته سامانه کوواردین^۴ است، بهترین رویکرد تهیه شناختگان زیستگاه-مدار^۵ است (Ramsar Convention Secretariat 2010). شبیه سازمان ماهی‌گیری و حیات طبیعی ایالات متحد نیز بر پایه شناخت زیستگاه و با روش‌های ویژه نقشه‌برداری است. رده‌بندی و نقشه‌برداری از زیستگاه‌های تالابی با تفسیر عکس‌های هوایی و کارهای میدانی برای نقشه خاک و فهرست گونه‌های گیاهی انجام می‌شود (Zalidis et al. 1997). هدف بیش‌تر کارهای انجام‌شده در پهنه‌بندی کاربردی تالاب‌ها ارزیابی کردن وضعیت تالاب‌ها بوده است، و کم‌تر بر شناخت زیستگاه‌ها تمرکز شده است. بیش‌تر تالاب‌های میان‌رودان (میان دجله و فرات) در جنوب عراق از سامانه ماندابی است، اگرچه با گذشت زمان افت‌وخیز بسیاری در آن‌ها دیده می‌شود. (Jawad 2021) آن‌ها را در وضعیت طبیعی به سه گروه اصلی ماندآب‌های الحَمَّار، ماندآب‌های مرکزی و ماندآب‌های الهویزه تقسیم کردند. تشخیص داده شد که تالاب الحَمَّار نیمه‌شور، پرمغذی، و کم‌عمق (۱/۸ - ۳ m) است؛ تالاب مرکزی که آب خود را از دجله می‌گیرد بیش‌تر در بخش‌های شمالی است، و پهنه‌ی آن ۳۰۰۰ - ۴۰۰۰ km² است؛ و تالاب‌های الهویزه (هورالعظیم) که آب آن از دجله و

کرخه می‌آید در شرق و نزدیک مرز ایران است (Jawad, 2021). شناسایی و رده‌بندی ۱۲۳ جایگاه تالابی در ترکیه با روش کورین^۶ و بهره‌گیری از تصویرهای ماهواره‌ی لندست ۸ نشان داد که کاهش ورودی آب بر بیش‌تر آن‌ها در بلندی‌ها و اقلیم‌های گوناگون تاثیر گذارده‌است. بیش‌ترین شمار تالاب‌ها از نوع آبدار و سپس ماندآب^۷ بود (Ataol and Onmus, 2021). در پاکستان ۲۲۵ تالاب مهم ملی در آبخیز ایندوس شناسای شد، که ۱۵ تالاب آن در پیمان رامسر ثبت است؛ آب آن‌ها از کوهستان‌های هیمالیا، هندوکش، و کاراکورا می‌آید. Nawaz et al. 2018 این تالاب‌ها را در سامانه‌ی کوواردین به تالاب‌های بالادستی (کوهستانی)، میانه (دشت آب‌رُفتی)، و پایین‌دستی (دریاچه‌ای و رودخانه‌ای) رده‌بندی کردند. در رده دریاچه‌ای و رودخانه‌ای ماندآب‌های زه‌کش، خورها، و خلیج‌های با جمعیت درختان حرّاً یا بی آن ثبت شد (Nawaz et al. 2018).

در ایران، تالاب چغاخور (چهارمحال و بختیاری) برای نقشه‌سازی و پهنه‌بندی و گزینش پهنه‌های حفاظتی روش ارزیابی چندمعیاری مکانی به‌کار برده‌شد. زیستگاه، زیرمعیارهای تهدید، و درجه حفاظتی گونه‌ها مهم‌ترین معیارهای اصلی در گزینش پهنه‌های حفاظتی بود. بر پایه پراکندگی گیاهان آبزی و تعیین مرز تالاب گستره پهنه هسته مرکزی ۲۴/۱٪، گستره پهنه میانه در پهنه آبی ۱۹/۵٪، و گستره پهنه هسته مرکزی ۲۸/۵٪ بود (Asadollahi et al. 2012). Jamshidi Zanjani and Saeedi (2014) تالاب انزلی را بر پایه شاخص‌های سنجش آلودگی فلزات سنگین پهنه‌بندی کیفی کردند. آلودگی در بخش‌های شرق تالاب و ورودی رودهای پیربازار، پسیخان و شیجان بیش‌تر بود. بررسی شاخص‌های خطر بوم‌شناختی و درجه آلودگی اصلاح‌شده نشان داد که در شرق و جنوب شرق تالاب آلودگی در اندازه میانه، و خطر بوم‌شناختی در اندازه زیاد بود (Jamshidi Zanjani and Saeedi, 2014). ساحل رودسر (مازندران) نیز بر پایه معیارهای سازمان حفاظت محیط‌زیست پهنه‌بندی

⁵Habitat-Oriented Inventory

⁶CORINE

⁷Marsh

¹Inventory

²MedWet

³Hierarchichal

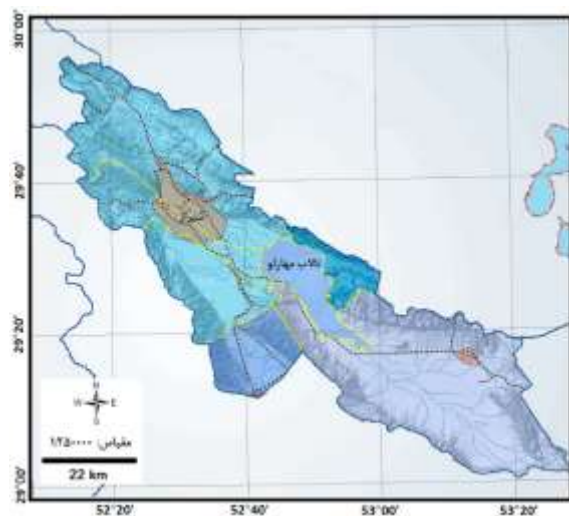
⁴Cowardin

طبیعی و نقش آن در زندگی مردم پیرامون بسیار است، تاکنون برای آن نقشه زیستگاهی تهیه نشده است. هدف از این پژوهش شناسایی زیستگاه‌های درون تالاب مهارلو به‌روش زنجیره‌وار (سلسله‌مراتبی) MedWet، و تهیه نقشه زیستگاه‌های آن با روی هم گذاشتن اطلاعات آبشناسی، پوشش گیاهی، خاک و شوری بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه پژوهش

دریاچه مهارلو با موقعیت جغرافیایی $26^{\circ}31'26''N$ ، $29^{\circ}31'26''E$ $43' 52''$ در جنوب شرقی شیراز و بخش میانی آبخیز مهارلو جای دارد (شکل ۱). کمینه و بیشینه بلندی آن از تراز دریا به ترتیب ۱۴۶۱ و ۱۴۶۵ m است. در سال‌های کم‌باران مانند دهه گذشته، مقدار آب دریاچه به شدت کاهش می‌یابد و گاهی نیز خشک می‌شود. در پرآب‌ترین هنگام گستره آن 175-km^2 250-m میانگین ژرفای آن ۵۵ cm با بیشینه ۳ m درازای آن ۳۱ km، بیش‌ترین پهنای آن ۱۱ km، و میانگین حجم دریاچه حدود ۱۳۰ MCM برآورد شد (NCKRS 1995).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی تالاب در آبخیز مهارلو (برگرفته از Sharifi 2015)

Fig. 1 Geographical location of the wetland in Maharlu catchment (Sharifi 2015)

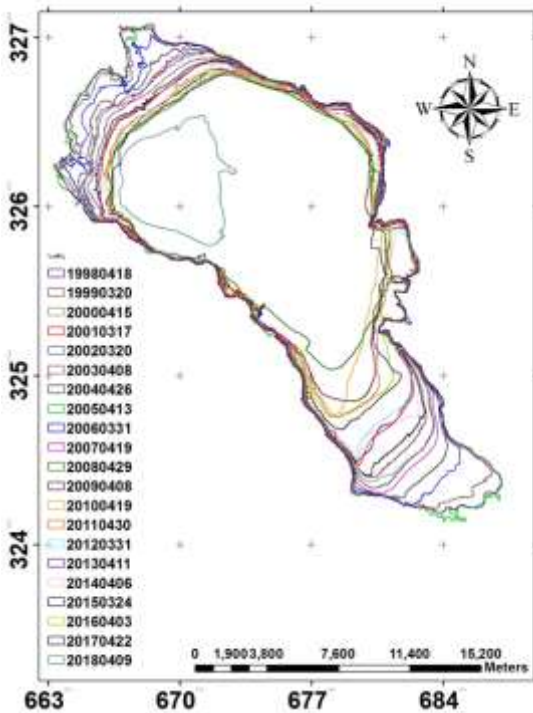
در آبخیز مهارلو چشمه‌های پرشماری هست که بیش‌تر آن‌ها در دامنه کوه‌های آهکی است. چشمه‌های بابونک، نیلگونک و برم‌شور از مهم‌ترین آن‌ها است (Mesbah 2011). میانگین بارندگی سالانه حوضه ۳۲۰ mm، میانگین دمای سالانه $17/31^{\circ}C$ و میانگین تبخیر و تعرق سالانه آن mm

بوم‌شناختی شد (Sepehr et al. 2018). به کمک شاخص‌های ریخت‌شناسی، منطقه ساحلی به چندین زیستگاه تقسیم و روی نقشه پهنه‌بندی مشخص شد.

روش مدوت بیش‌تر در کشورهای اروپایی و شمال آفریقا با اقلیم مدیترانه‌ای به کار گرفته شده است. برای نمونه در تالاب آب شور اولسینی در مونتنگرو (MedWet 2020b)، تالاب سیبو در مراکش (MedWet 2020a)، تالاب‌های گورپس-سانه‌ادیا، سیب‌خا، اوگلات اداپرا، و ال کالا در الجزایر، و تالاب‌های سیب‌خا سلیمان، کوربا، غار الماله، اسيجومی، شط الکتابیه، سیبخت ذریا، اود اکاری، اود میلا، و اود رخاما در تونس با این روش کار شد (MedWet 2017). بیش‌ترین بررسی‌ها بر تالاب‌های کشور کنیا انجام شد (MEMR 2012). ویژگی‌های تالاب‌های ایران همخوانی زیادی با شاخص‌های مدوت دارد، بنابراین می‌توان آن را در روش‌های مدیریت تالاب به کار برد (Nezakati et al. 2010). اگرچه سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران روش مدوت را برای شناخت زیستگاه‌های تالابی کشور توصیه کرده است، پژوهش‌های اندکی برای شناخت و رده‌بندی زیستگاهی تالاب‌های ایران به این روش انجام شده است. پهنه‌بندی به روش مدوت برای نخستین بار در ایران در تالاب پریشان استان فارس آزموده شد (Zahirian et al. 2012). پهنه‌بندی دقیق مدوت برای شناسایی زیستگاه‌های مختلف تالاب، و تهیه نقشه زیستگاه‌ها با معیارهای آب‌شناسی، خاک‌شناسی، و پوشش گیاهی در این تالاب انجام شد (Nezakati et al. 2010). Mohseni et al. (2015) نیز در بررسی بوم‌سامانه تالاب شادگان مدل مدوت را به کار گرفتند. Rashidi et al. (2015) تالاب زیربار را با سامانه مدوت ارزیابی کردند و نقشه پهنه‌بندی زیستگاهی را به دست آوردند.

تالاب مهارلو از بوم‌سازگان آب شور کشور در فاصله ۱۰ km جنوب شرقی شیراز، با شوری بسیار زیاد از زیستگاه‌های طبیعی منحصربه‌فرد استان فارس و کشور است. کاهش ورود آب به دشت شیراز، و خشک شدن چشمه برم‌شور و دیگر چشمه‌های منطقه موجب کاهش تراز دریاچه و خشک شدن تدریجی آن شده است (Zamanpoore et al. 2019a). افزایش برداشت آب در این منطقه نیز پیشروی آب‌های شور را به آبخوان‌های ابرفتی افزایش داده است. اگرچه ارزش و اهمیت تالاب مهارلو در استان فارس در تعادل زیست‌بوم‌های

دریاچه را نشان می‌دهد. در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۹۸، زمستان ۱۳۹۶ با سطح 20.3 km^2 پرآب‌ترین زمان، و پاییز ۱۳۹۶ با سطح 33 km^2 کم‌آب‌ترین زمان بود (شکل ۳). بخش‌های مختلف توصیف آبی زیستگاه‌ها بر پایه این یافته‌ها، و نقشه‌های خشکیدگی و خط ساحلی سال‌های مختلف شناسایی شد و در شکل (۳) آورده شده است.



شکل ۳ - نقشه تغییر خط ساحلی دریاچه‌ی مهارلو در دوره ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ (Pakparvar et al. 2021)

Fig. 3 Map of shoreline change for Maharlu lake during the period 1998 up to 20118 (Pakparvar et al. 2021)

۳-۲-۲- ترکیب اجتماع گیاهی

نمونه‌برداری برای به‌دست آوردن فهرست گیاهان آبی تالاب از ۳۹ ایستگاه در آبان ۱۳۹۸ و اردیبهشت ۱۳۹۹ انجام شد. هر گیاه به‌طور کامل یعنی همراه با ریشه، ساقه، گل‌آذین و میوه، برداشته و نمونه هرباریومی از آن‌ها تهیه شد (Kent 2011). گیاهان با منابع علمی معتبر شناسایی و گروه‌بندی شد (Rechinger 1963-2021). درصد پوشش گیاهی سطح تالاب در هر ایستگاه با کاربرد چهارچوب (قاب) 1 m^2 با ۱۰ تکرار با فاصله ۱۰۰ m از هم اندازه‌گیری شد. در هر چهارچوب درصد پوشش (بیش‌تر یا کم‌تر از ۳۰٪) ثبت شد. پس از شناسایی هر گیاه با کمک منابع (Rechinger 1963-2021)

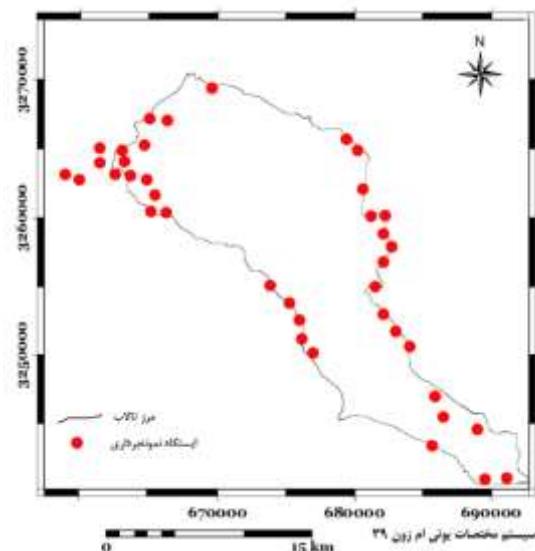
۳۱۹۳/۶ برآورد شده است. اطلاعات کامل از بوم‌شناسی دریاچه در Zamanpoore et al. (2019a) آورده شد.

۲-۲- روش‌شناسی پژوهش

روش‌شناسی این پژوهش نخست به‌کارگیری داده‌های کتابخانه‌ای و تفسیر و پردازش تصویرهای ماهواره‌ای بود، و هر جا که داده‌ای نبود، یا دقت داده‌ها کافی نبود با بازدیدهای میدانی تکمیل شد.

۲-۲-۱- مرز تالاب

مرز تالاب با سه عامل پوشش گیاهی آبی، خاک هیدریک، و حد آب‌گیری تعیین شد (Farinha et al. 1996). بیشینه حد آب‌گیری تالاب با کمک عکس هوایی از دریاچه در دوره پربابی ۲۰۰۵ مشخص شد. هر جا که خاک و پوشش گیاهی مناسب بود، از داده‌های آن‌ها بهره گرفته شد تا مرز تالاب دقیق‌تر تعیین شود. برای بررسی آبدار بودن خاک تالاب به روش مقایسه رنگ خاک (USDA 2018) از ۳۹ ایستگاه در آبان ۱۳۹۸ بازدید شد (شکل ۲).



شکل ۲- مرز تالاب مهارلو و ایستگاه‌های نمونه‌برداری از گیاهان و خاک تالاب

Fig. 2 Boundaries of Maharlu wetland and the stations where plants and soil samples were collected

۲-۲-۲- رژیم آبی تالاب

برای شناسایی رژیم آبی تالاب از داده‌های سنجش‌ازدور بهره‌گرفته شد. خط مرز آب‌گیری دریاچه در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۴ مبنای آب‌گیری سالانه تعیین شد (Pakparvar et al. 2017; Samiei et al. 2021). شکل (۳) خط مرز آب‌گیری

شوری آب، گونه غالب، و ساختارهای مصنوعی توصیف می شود (Farinha et al. 1996). برای هر رده و ویژگی یک شناسه (یک حرف الفبای لاتینی) به کار گرفته می شود، تا هر زیستگاه ویژه با ترکیب آن ها شناسانده شود. با داده های به دست آمده، نخست سامانه ها، زیرسامانه ها، رده ها، زیررده ها، و توصیف گرهای رژیم آبی و شوری بر پایه تعریف مدوت شناسایی و دسته بندی شد (Farinha 1996). مرزبندی محدوده های بوم شناسی تالاب بر نقشه گوگل ارث انجام شد. تغییر مرز دریاچه در سال های مختلف با مجموعه زمانی تصویرهای ماهواره ای لندست ۵ و ۸ (USGS, 2020) با نرم افزار ENVI بررسی شد. تلفیق اطلاعات در سامانه ای اطلاعات جغرافیایی و نرم افزار ILWIS انجام شد، و با تلفیق کردن داده ها و نقشه ها، نقشه پهنه بندی شده و جدول رده بندی زیستگاه های تالاب به دست آمد.

۳- یافته ها و بحث

برای هر مرحله از رده بندی نقشه ای تهیه شد. نقشه ها یک به یک و به شیوه زنجیره وار (سلسله مراتبی) از نقشه یکم تا نقشه آخر روی هم تلفیق شد، تا هر زیستگاه در نقشه نهایی با مجموع توصیف گرهای خود مشخص شود.

۳-۱- سامانه ها

از میان پنج سامانه ممکن دو سامانه دریاچه ای^۳ (شناسه: L) و ماندآبی^۴ (شناسه: P) در تالاب مهارلو تشخیص داده شد (شکل ۴-الف). بخش پایانی رودهای ورودی به دریاچه در میانه بخش ماندآبی دیده می شود، اما عمق چندانی ندارد و شکل مجرای^۵ کاملی نیز ندارد. بنابراین جزو سامانه رودخانه ای^۶ تشخیص داده نشد. البته بخش هایی از رودخشک یا آبراهه دیگر جزو سامانه رودخانه ای است، اما از محدوده تالاب مهارلو بیرون است و در این پژوهش مورد بررسی قرار نگرفت.

مشخص شد که سرشت آن ها یک ساله یا چندساله است، و شرایط رویش آن ها بن در آب یا غوطه ور است.

۲-۲-۴- اطلاعات بافت خاک

برای شناسایی بافت و رخ نمون بستر تالاب داده های برداشته شده از بازدیدهای میدانی و داده های Mesbah and Amidi (2006)، (Mesbah (2011)، Samiei et al. (2017) و (Pakparvar et al. (2021) به کار برده شد. در رده بندی زیستگاهی لازم است دانسته شود که نوع بستر تالاب از کدام یک از گروه های صخره سنگی^۱، قله سنگی/سنگ ریزه یی^۲، شنی^۳، گلی^۴، آلی^۵، یا پوسته نمکی^۶ است. مرزبندی و بررسی میدانی جنس بستر در اردیبهشت ۱۳۹۸ از ۳۹ ایستگاه (شکل ۲) انجام شد. جزئیات بیشتری از روش نمونه برداری در Mesbah et al. (2011) آورده شده است.

۲-۲-۵- شوری آب

پهنه های شوری آب بر پایه دستورکار مدوت رده بندی شد. شوری آب تالاب ها در سامانه مدوت در اکوسیستم آب های درونی با شوری های مختلف در هفت رده است: آب شیرین با شوری کمتر از ۵/۵ mg/l، کم شور^۷ ۵/۵ - ۵/۵۰ mg/l، میانه شور^۸ (مزوسالین) ۵/۵۰ - ۱۸/۰ mg/l، پر شور^۹ ۱۸/۰ - ۳۰/۰ mg/l، بسیار شور^{۱۰} ۳۰/۰ - ۴۰/۰ mg/l، فرا شور^{۱۱} با شوری < ۴۰ mg/l، و چندگونه شور^{۱۲} با شوری ۴۰/۵ - ۳۰/۰ mg/l (Farinha et al. 1996). رده بندی توصیف گر شوری آب در تالاب مهارلو با بهره گرفتن از داده های به دست آمده از اندازه گیری های Zamanpoore et al. (2019b) انجام شد. هر پهنه از دریاچه با معیارهای پیش گفته تطبیق داده و رده بندی شد.

۲-۲-۶- رده بندی و نقشه زیستگاهی تالاب

سازمان دهی رده بندی در سامانه مدوت به شیوه پلکانی است، که تالاب را به گروه های سامانه، زیرسامانه، رده، و زیررده تقسیم می کند. سپس هر زیستگاه با معیارهای رژیم آبی،

⁹ Polysaline

¹ Eusaline 0

¹ Hypersaline 1

¹ Mixosaline 2

¹ Lacustrine 3

¹ Palustrine 4

¹ Canal 5

¹ Riverine 6

¹ Rock

² Cobbles/gravel

³ Sand

⁴ Mud

⁵ Organic

⁶ Salt crust

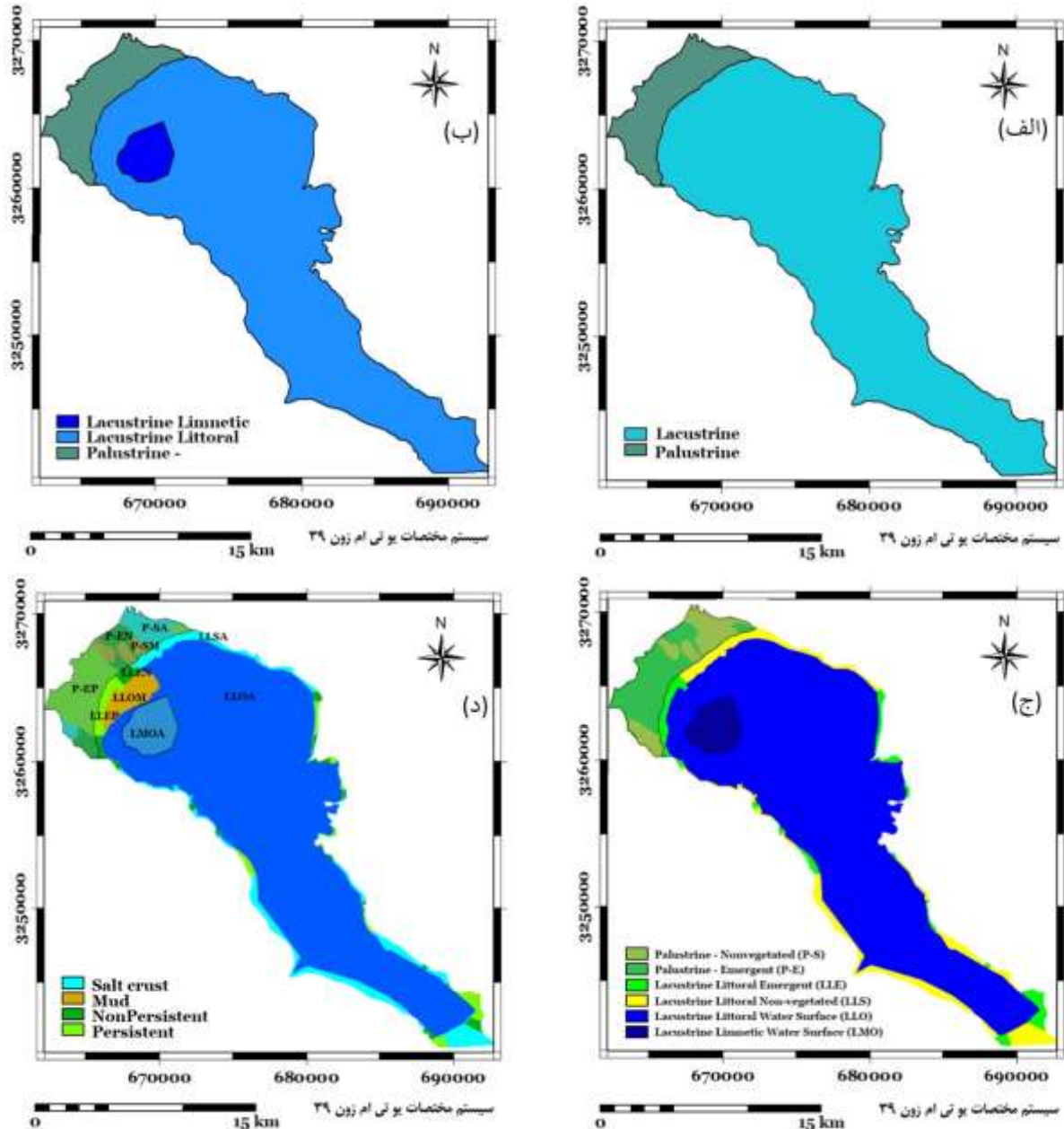
⁷ Oligosaline

⁸ Mesosaline

۳-۱-۱- سامانه ماندآبی

بخش کوچک‌تر در شمال غربی تالاب از سامانه ماندآبی است که آب رودها و سیل‌گذرها به آن می‌ریزد، و خاک بخش‌هایی از آن در بیش‌تر سال مرطوب است. آب‌گیری در بخش‌های

کناری آبراهه فصلی است، اما در بخش میانی ماندگارتر است. این ویژگی موجب می‌شود که گیاهان بن در آب در نیمی از این سامانه گسترده باشد. هر دو گروه گیاهان پایدار و ناپایدار در این بخش یافته می‌شود.



شکل ۴- بخش‌های زنجیره‌وار تالاب مهارلو: الف- سامانه‌ها، ب- زیرسامانه‌ها، ج- رده‌ها، و د- زیررده‌ها

Fig. 4 Hierarchical sections of Maharlu wetland: a) Syatems, b) Subsystems, c) Classes, and d) Subclasses

۳-۱-۲- سامانه دریاچه‌ای

بخش اصلی و بزرگ دریاچه مهارلو از نوع دریاچه‌ای است، زیرا پهنه آن بیش از ۸ ha است و پوشش گیاهی بستر آب یا گیاهان پدیدار در آن دیده می‌شود. زیستگاه‌های تالابی در

دریاچه کرکینی (یونان) با روش رده‌بندی زیستگاهی مشابه اما ساده‌تر از سامانه مدوت انجام شد. مهم‌ترین آن‌ها زیستگاه دریاچه‌ای-کرانه‌ای-سطح آب‌پوش-بستر شنی (۵۳٪)، سپس زیستگاه دریاچه‌ای آزادآب با سطح آبی و بستر شنی (۲۳٪)، و

کردستان) سه رده غرق آبی دائمی، نیمه دائمی و پیوسته در رده‌های عمدتاً مردابی و اندکی دریاچه‌ای دیده شد (Rashidi et al. 2015). به دلیل تفاوت سیستم‌های طبقه‌بندی متفاوتی که در این تالاب و تالاب مهارلو به کار برده شد، مقایسه مستقیم رده‌های این دو با هم ممکن نیست. با این حال، برپایه همین اطلاعات به نظر می‌رسد در مقایسه با تالاب مهارلو بیش‌تر گستره تالاب زیربار از نوع ماندآبی باشد. از سوی دیگر در تالاب پریشان سه سامانه دریاچه‌ای، مردابی، و آب‌راه‌ها شناسایی شد. این تالاب در زمان انجام پژوهش در ۱۳۸۹، آباد بود و بخش‌های ورود آب در آن نیز کاملاً پرآب بود. بنابراین سامانه رودخانه‌ای در آن تشخیص داده می‌شد. در حالی که در تالاب مهارلو در زمان این پژوهش آب رسیده به تالاب بسیار کم بود، به گونه‌ای که در آن بخش سامانه تالابی شکل نگرفته بود (Nezakati et al. 2010).

۳-۱-۵- زیررده‌ها

بر پایه داده‌های به دست آمده از جنس بستر و ترکیب و نوع پوشش گیاهی زیررده‌ها شناسایی شد (شکل ۴-د). در سامانه‌ی ماندآبی-رده نارسته بخشی از بستر تالاب از لایه‌های نمک پوشیده شده است، و بخشی کاملاً گلی است. بنابراین، دو زیررده پوسته نمکی^۱ (A)، (شناسه: P-SA) و زیررده گلی^۲ (M)، (شناسه: P-SM) شناسایی شد. در سامانه ماندآبی-رده گیاهان پدیدار در بخش‌هایی گیاهان یک‌ساله و در بخش‌های دیگر گیاهان چندساله دیده شد. بنابراین، این رده به دو زیررده پایدار^۳ (P)، (شناسه: P-EP) و زیررده ناپایدار^۴ (N)، (شناسه: P-EN) تقسیم شد.

در سامانه دریاچه‌ای کرانه‌ای-رده سطح آب پوش (O) نیز دیده شد که بستر تالاب از دو نوع پوشش نمک و گل است. بنابراین، به دو زیررده پوسته نمکی (A)، (شناسه: LLOA) و زیررده گل (M)، (شناسه: LLOM) تقسیم شد. سامانه دریاچه‌ای کرانه‌ای-رده نارسته تنها بخش‌هایی با پوشش لایه‌های نمک دارد. بنابراین، این رده تنها یک زیررده پوسته نمکی (A)، (شناسه: LLSA) دارد. در سامانه دریاچه‌ای کرانه‌ای-رده گیاهان پدیدار، هر دو گروه گیاهان یک‌ساله و دوساله دیده

زیستگاه دریاچه‌ای کرانه‌ای با بستر گیاهان آبزی برگ‌شناور (۳٪) بود. در دلتای نستوس یونان زیستگاه دریاچه‌ای-جنگلی-برگریز (۲۴٪) و دریایی-سطح آب پوش-بستر شنی (۲۳٪)، زیستگاه دریاچه‌ای-گیاهان پدیدار-پایدار (۱۶٪)، و خور سطح آب پوش-بستر شنی (۱۰٪) بود (Zalidis et al. 1997). هر سه نوع تالاب رودخانه‌ای، دریاچه‌ای و ماندآبی در رده‌بندی تالاب‌های درونی کنیا در آفریقا هست، و توصیف‌گرهای آن در آب‌های شیرین، شور، و مردابی دیده می‌شود (MEMR 2012). از سوی دیگر تالاب‌های پاکستان به روش کواردین رده‌بندی شد (Nawaz et al. 2018). با این روش نیز بخش‌های دریاچه‌ای و رودخانه‌ای در سرزمین‌های پایین دست آبخیز ایندوس با سامانه مدوت هم‌خوانی دارد، اگرچه در تالاب مهارلو سامانه رودخانه‌ای شکل نگرفته است.

۳-۱-۳- زیرسامانه‌ها

بر پایه داده‌های ژرفاسنجی (Pakparvar et al. 2021) زیرسامانه‌های دریاچه‌ای تالاب در دو بخش از خط ساحل تا ژرفای حدود ۲ m به نام کرانه‌ای^۱ (شناسه: LL)، و از ژرفای بیش‌تر از ۲ m به نام آزادآب^۲ (شناسه: LM) شناسایی شد. در شیوه‌نامه مدوت برای سامانه‌ی ماندآبی (شناسه: P-) زیرسامانه‌ای تعریف نشده است؛ به همین دلیل به جای شناسه آن نشانه - گذاشته می‌شود (شکل ۴-ب).

۳-۱-۴- رده‌ها

رده‌های هر زیرسامانه با مطابقت دادن داده‌های جمع‌آوری شده از گیاهان تالاب با دسته‌های تعریف شده در شیوه‌نامه‌ی مدوت مشخص شد (شکل ۴-ج). در سامانه ماندآبی دو رده نارسته^۳ (S)، (شناسه: P-S) و گیاهان پدیدار^۴ (پایه بلند) (E)، (شناسه: P-E) شناخته شد. جز بخش‌هایی از نوار پیرامونی، بیش‌تر دریاچه در رده نارسته است. در زیرسامانه دریاچه‌ای-کرانه‌ای از میان چهار رده تعریف شده، سه رده سطح آب پوش^۵ (O)، (شناسه: LLO)، نارسته (شناسه: LLS)، و گیاهان پدیدار (شناسه: LLE) در گستره دریاچه شناخته شد. برای سامانه دریاچه‌ای در زیرسامانه آزادآب (M) نیز تنها رده سطح آب پوش (شناسه: LMO) شناخته شد. در تالاب زیربار (ایران،

^۶Salt crust

^۷Mud

^۸Persistent

^۹Inpersistent

^۱Littoral

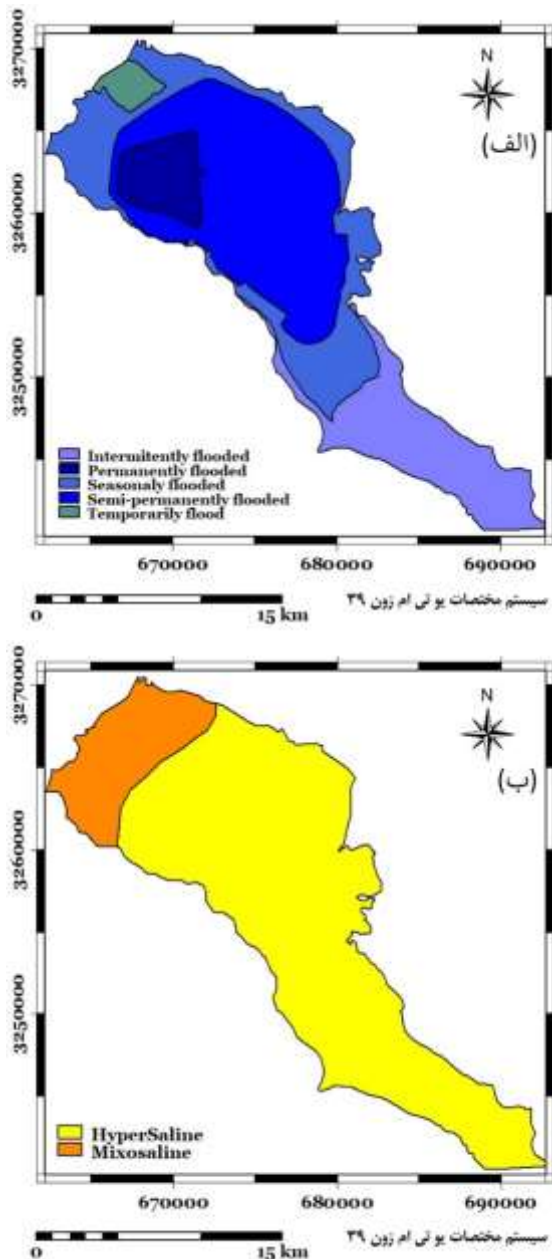
^۲Limnetic

^۳Non-vegetated

^۴Emergent

^۵Water Surface

رودها به اندازه‌های نزدیک به آب شیرین یعنی دسته چندگونه شوری می‌رساند.



شکل ۵- بخش‌های زنجیره‌وار تالاب مهارلو: الف-توصیف‌گرهای رژیم آبی و ب-توصیف‌گرهای شوری آب

Fig. 5 Hierarchical sections of Maharlu wetland: a) water regime modifiers and b) water salinity modifiers

شوری آب در بخش ماندابی بسیار متغیر است و بسته به فصل و مقدار آب شیرین ورودی، اندازه آن متغیر است. این ویژگی

شد، بنابراین دو زیررده پایدار (P)، (شناسه: LLEP) و زیررده ناپایدار (N)، (شناسه: LLEN) تشخیص داده شد. این دو زیررده در بیش‌تر جاها در اجتماع‌های نزدیک‌به‌هم، یا پیوسته به‌هم است، و گاهی نیز این دو اجتماع کاملاً درهم‌شده دیده می‌شود. در سامانه دریاچه‌ای-آزادآب نیز تنها بستری با لایه‌های نمکی دیده شد. بنابراین همه این بخش تنها یک زیررده پوسته نمکی (A)، (شناسه: LMOA) را تشکیل می‌دهد. جمعیت گیاه غالب در این دریاچه به‌ترتیب به‌صورت *Salsola*، *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) M. B. *Petrosimonia glauca* (Pall.) Bge. و *crassa* M. B. شناسایی شد. هر سه گونه از خانواده *Amaranthaceae* و زیرخانواده *Chenopodiaceae* است.

۳-۱-۶- توصیف‌گرهای رژیم آب، شوری آب و بخش ساختگی تالاب

نتایج داده‌های روش سنجش از دور دریاچه مهارلو نشان داد که در بازه زمانی ۱۳۹۴-۱۳۹۸، زمستان ۱۳۹۶ با سطح 1396 km^2 ۲۰۳ پرآب‌ترین، و پاییز ۱۳۹۵ با سطح 81 km^2 کم‌آب‌ترین بود. با کمک نقشه‌ها توصیف‌گرهای رژیم آب تالاب مهارلو تشخیص داده شد. پنج دسته آب‌گرفته دائمی، نیمه‌دائمی، فصلی، گذرائی و گاه‌به‌گاه، در تالاب مهارلو شناخته شد (شکل ۵-الف). تنها بخش کوچکی از دریاچه آب‌گیری دائمی دارد و بزرگ‌ترین مساحت سامانه دریاچه‌ای در سازگان آب‌گیری نیمه‌دائمی است. بخش‌هایی کوچک در غرب دریاچه با روند فصلی و گاه‌به‌گاه آب‌گیری می‌شود. بیش‌ترین شوری در سه ایستگاه اندازه‌گیری در ۱۲ ماه در درون بخش‌های دریاچه‌ای 650 mg/l و میانگین سالانه آن 290 mg/l بود (Zamanpoore et. al. 2019b). بر این پایه، توصیف‌گر شوری آب در دسته‌بندی مِدوت گستره بزرگ بخش‌های دریاچه‌ای تالاب را در گروه فراشور (بیش‌تر از 40 mg/l) می‌گذارد. شوری آب در نوار باریکی در غرب سامانه دریاچه‌ای، که موازی با مرز سامانه ماندابی است در هر هنگام از سال متغیر است، و در گروه توصیف‌گر چندگونه‌شوری (شوری $0/5$ تا 30 mg/l) دسته‌بندی می‌شود. در هنگام‌هایی که آب جریان دارد، بر شوری محیط اثر می‌گذارد و آن را در بخش ورودی

⁴Temporarily Flooded

⁵Intermittently Flooded

¹Permanently Flooded

²Semi-Permanently Flooded

³Seasonally Flooded

بستر گلی-نیمه‌دایمی-شور، و دریاچه‌ای-کرانه‌ای-نارسته-گلی-فصلی-شور مهم‌ترین زیستگاه‌ها بود (Nezakati et al. 2010). بخش‌های بزرگی از تالاب‌های الحمار، الویزه و مرکزی در جنوب عراق دچار کاهش‌های شدید آب در سال‌های پی‌درپی است. بخش‌های بزرگی از بیابان پیرامون تالاب در روی‌دادهای سیلاب به زیر آب می‌رود، و بخش‌های ماندآبی دور از هم به‌هم می‌پیوندند. بخش بزرگ این ناحیه در سامانه ماندآبی در بستر گلی است (Jawad 2021). از این دیدگاه شرایط آن به تالاب مهارلو شباهت دارد. از سوی دیگر جمعیت غالب گیاهان آن *Phragmitis communis* و *Typha augustata* است (Jawad 2021) که با گیاهان مهارلو هم‌خوانی ندارد. در این پژوهش با تلفیق همه لایه‌های استخراج شده (شکل‌های ۴ و ۵) نقشه نهایی زیستگاهی به صورت شکل (۶) به‌دست آمد.

برپایه یافته‌های این نقشه (شکل ۶)، سامانه ماندآبی تنها در بخش غربی دریاچه جا دارد و همه دیگر بخش‌های شرقی، شمالی، و غربی تالاب سامانه دریاچه‌ای است. گسترده‌ترین پهنه بخش ماندآبی با $14,749,300 \text{ m}^2$ که با شناسه P-EPSX نام‌گذاری شد پوشش گیاهی پدیدار و پایدار دارد. آبدهی آن فصلی و شوری آن چندگونه‌شور است و در نقشه با رنگ سبز مشخص شده است. پهنه بزرگ $6,274,200 \text{ m}^2$ از این سامانه نیز نارسته است و سطح آن از پوسته نمکی است. اگرچه آبدهی آن نیز فصلی و شوری آن چندگونه‌شور است. این پهنه در شمال سامانه ماندآبی است و در نقشه شکل (۶) به رنگ زرد است. تنها بخشی از تالاب که در سامانه دریاچه‌ای در زیرسامانه آزادآب دسته‌بندی شد با شناسه LMOAPY در میانه غربی این سامانه جا دارد. این از مهم‌ترین زیستگاه‌های تالاب است که به‌دلیل ژرفای بیش‌تر در همه فصل‌های سال آب دارد. گستره آن $10,989,400 \text{ m}^2$ و شوری آن مانند بیش‌تر بخش‌های تالاب هایپرسالین است. این بخش در نقشه با آبی تیره مشخص شده است. گسترده‌ترین بخش زیستگاهی تالاب با $110,330,000 \text{ m}^2$ مساحت در میانه آن است که در نقشه شکل (۶) رنگ آبی متوسط دارد. بوم‌سازگان آبی آن نیمه‌دائمی است و در بیش‌تر فصل‌های پاییز و زمستان

باعث می‌شود که سامانه ماندآبی نیز در گروه چندگونه‌شوری دسته‌بندی شود. در حالی که (Ataol and Onmuş 2021) ماندآب‌های ترکیه را در سامانه کورین به‌طور کلی به دو گروه آب‌های درونی (شیرین) و نمکی تقسیم کرده‌اند. شکل (۵-ب) پهنه‌بندی تالاب را از دیدگاه توصیف‌گر شوری آب نشان می‌دهد، که در آن بخش بزرگ تالاب در دسته فراشور به رنگ زرد، و بخش ماندآبی و بخشی کوچک در ناحیه ورودی سامانه دریاچه‌ای در دسته چندگونه به رنگ نارنجی مشخص شده است. تنها بخشی از تالاب که درون آن ساخت‌وساز شده و توصیف‌گر ساختگی مهمی در آن دیده می‌شود مجموعه نمک‌گیری دریاچه، وابسته به پتروشیمی فارس، در پیرامون میانه غربی دریاچه است. کاربرد این ساختمان و حوضچه‌های تبخیر برای جداکردن نمک‌ها از آب است. این توصیف‌گر از نوع خاک ریز/حصار دسته‌بندی شد.

۳-۱-۷- پهنه‌بندی تالاب

برپایه داده‌های به‌دست آمده، زیستگاه‌های درون تالاب شناسایی و شناسه‌گذاری شد. جدول (۱) نشان می‌دهد که پس از تلفیق کردن اطلاعات زیستگاهی، ۴۲ زیستگاه مختلف در سراسر دریاچه به‌دست آمد. مهم‌ترین آن‌ها در بخش‌های پرتنوع‌تر دریاچه زیستگاه ماندآب-پوشش گیاهی پدیدار-پایدار-آب‌گیری فصلی-چندگونه‌شور (P-EPSX)، ماندآب-پوشش گیاهی پدیدار-پایدار-آب‌گیری گذرا-چندگونه‌شور (P-EPTX)، ماندآب-پوشش گیاهی پدیدار-ناپایدار-آب‌گیری فصلی-چندگونه‌شور (P-ENSX)، ماندآب-پوشش گیاهی پدیدار-ناپایدار-آب‌گیری گذرا-چندگونه‌شور (P-ENTX)، در بخش ماندآبی، و دریاچه‌ای-کرانه‌ای-پوشش گیاهی پدیدار-پایدار-آب‌گیری فصلی-چندگونه‌شور (LLEPSX)، دریاچه‌ای-کرانه‌ای-پوشش گیاهی پدیدار-پایدار-آب‌گیری نیمه‌دایمی-چندگونه‌شور (LLEPLX)، دریاچه‌ای-کرانه‌ای-سطح آب‌پوش-پوشش نمکی-آب‌گیری نیمه‌دایمی-فراشور (LLOALY)، و دریاچه‌ای-کرانه‌ای-سطح آب‌پوش-پوشش نمکی-آب‌گیری دائمی-فراشور (LMOAPY)، در بخش دریاچه‌ای بود.

در تالاب پیریشان زیستگاه‌های دریاچه‌ای-کرانه‌ای-پوشش مستغرق-دائمی-شور-ناجاس، دریاچه‌ای-کرانه‌ای-نارسته-

¹Diked/Impounded

و بهار آب دارد. شوری آب آن هایپرسالین، و سطح آن پوسته نمکی و نارسه است، و با شناسه LLOALY نام‌گذاری شد.

جدول ۱- شناسه‌های بین‌المللی زیستگاه‌های تالاب مهارلو

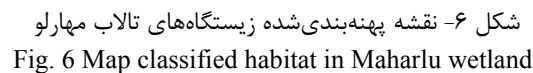
Table 1 international habitat codes for Maharlu wetland

System	Subsystem	Class	Subclass	Water regime	Water salinity	Artificial	Code	Area (m ²)
Palustrine	-	N.Veg	Salt crust	Seas.Fl.	Mixosaline	-	P-SASX-	6274200
Palustrine	-	N.Veg	Salt crust	Temp.Fl.	Mixosaline	-	P-SATX-	149300
Palustrine	-	N.Veg	Mud	Seas.Fl.	Mixosaline	-	P-SMSX-	28100
Palustrine	-	N.Veg	Mud	Temp.Fl.	Mixosaline	-	P-SMTX-	3529300
Palustrine	-	Emergent	Persistent	Seas.Fl.	Mixosaline	-	P-EPSX-	14797300
Palustrine	-	Emergent	Persistent	Temp.Fl.	Mixosaline	-	P-EPTX-	296600
Palustrine	-	Emergent	N.Pers.	Seas.Fl.	Mixosaline	-	P-ENSX-	2173100
Palustrine	-	Emergent	N.Pers.	Temp.Fl.	Mixosaline	-	P-ENTX-	3458800
Lacustrine	Litoral	Emergent	N.Pers.	Seas.Fl.	Mixosaline	-	LLENSX-	523900
Lacustrine	Litoral	Emergent	N.Pers.	Seas.Fl.	HyperSaline	-	LLENSY-	1646600
Lacustrine	Litoral	Emergent	N.Pers.	SeP.Fl.	Mixosaline	-	LLENLX-	42100
Lacustrine	Litoral	Emergent	N.Pers.	SeP.Fl.	HyperSaline	-	LLENLY-	27100
Lacustrine	Litoral	Emergent	N.Pers.	Temp.Fl.	Mixosaline	-	LLENTX-	8700
Lacustrine	Litoral	Emergent	N.Pers.	Int.Fl.	HyperSaline	-	LLENIY-	1373600
Lacustrine	Litoral	Emergent	Persistent	Seas.Fl.	Mixosaline	-	LLEPSX-	2079900
Lacustrine	Litoral	Emergent	Persistent	Seas.Fl.	HyperSaline	-	LLEPSY-	1111000
Lacustrine	Litoral	Emergent	Persistent	Seas.Fl.	HyperSaline	Diked	LLEPSYD	45700
Lacustrine	Litoral	Emergent	Persistent	SeP.Fl.	Mixosaline	-	LLEPLX-	493000
Lacustrine	Litoral	Emergent	Persistent	Int.Fl.	HyperSaline	-	LLEPIY-	2784400
Lacustrine	Litoral	Emergent	Persistent	Int.Fl.	HyperSaline	Diked	LLEPIYD	116100
Lacustrine	Litoral	W.Surf.	Salt crust	Seas.Fl.	Mixosaline	-	LLOASX-	493100
Lacustrine	Litoral	W.Surf.	Salt crust	Seas.Fl.	HyperSaline	-	LLOASY-	39286400
Lacustrine	Litoral	W.Surf.	Salt crust	Seas.Fl.	HyperSaline	Diked	LLOASYD	1965900
Lacustrine	Litoral	W.Surf.	Salt crust	Per.Fl.	HyperSaline	-	LLOAPY-	9303700
Lacustrine	Litoral	W.Surf.	Salt crust	Per.Fl.	Mixosaline	-	LLOAPX-	119100
Lacustrine	Litoral	W.Surf.	Salt crust	SeP.Fl.	Mixosaline	-	LLOALX-	4002300
Lacustrine	Litoral	W.Surf.	Salt crust	SeP.Fl.	Hypersaline	-	LLOALY-	110330000
Lacustrine	Litoral	W.Surf.	Salt crust	Int.Fl.	HyperSaline	-	LLOAIY-	43633800
Lacustrine	Litoral	W.Surf.	Mud	SeP.Fl.	Mixosaline	-	LLOMLX-	3880900
Lacustrine	Litoral	W.Surf.	Mud	SeP.Fl.	HyperSaline	-	LLOMLY-	1232800
Lacustrine	Litoral	W.Surf.	Mud	Per.Fl.	HyperSaline	-	LLOMPY-	1008000
Lacustrine	Litoral	W.Surf.	Mud	Per.Fl.	Mixosaline	-	LLOMPX-	488600
Lacustrine	Litoral	W.Surf.	Mud	Seas.Fl.	Mixosaline	-	LLOMSX-	83200
Lacustrine	Litoral	N.Veg.	Salt crust	Seas.Fl.	Mixosaline	-	LLSASX-	3032000
Lacustrine	Litoral	N.Veg.	Salt crust	Seas.Fl.	HyperSaline	-	LLSASY-	3741800
Lacustrine	Litoral	N.Veg.	Salt crust	Seas.Fl.	HyperSaline	Diked	LLSASYD	128400
Lacustrine	Litoral	N.Veg.	Salt crust	Temp.Fl.	Mixosaline	-	LLSATX-	11100
Lacustrine	Litoral	N.Veg.	Salt crust	SeP.Fl.	Mixosaline	-	LLSALX-	165200
Lacustrine	Litoral	N.Veg.	Salt crust	SeP.Fl.	HyperSaline	-	LLSALY-	96900
Lacustrine	Litoral	N.Veg.	Salt crust	Int.Fl.	HyperSaline	-	LLSAIY-	12144200
Lacustrine	Litoral	N.Veg.	Salt crust	Int.Fl.	HyperSaline	Diked	LLSAIYD	204200
Lacustrine	Limnetic	W.Surf.	Salt crust	Per.Fl.	HyperSaline	-	LMOAPY-	10989400

N.Veg: Non-vegetated; N.Pers.: Nonpersistent; W.Surf.: Water surface; Seas.Fl.: Seasonally flooded; Temp.Fl.: Temporarily flooded; Int.Fl.: Intermittently flooded; SeP.Fl.: Semi-permanently; Per.Fl.: Permanently flooded

یافته‌های این پژوهش تفاوت‌های زیادی میان ترکیب زیستگاهی تالاب مهارلو با سه تالاب پژوهیده دیگر نشان داد. سطح خاک را پوسته نمکی پوشانده است، و حتی اگر در

لایه‌های زیرین انباشت مواد آلی باشد، لایه‌های ضخیم نمک آن را کاملاً جدا کرده است و تأثیری بر زیستگاه سطحی ندارد. در مقایسه، Rashidi et al. (2015) در تالاب زربار نشان دادند که پیرامون تالاب را چمنزار و زمین‌های کشاورزی با خاک آبدار و آلی گرفته است، و این تفاوت مهمی در کیفیت



یافته‌های این پژوهش تفاوت‌های زیادی میان ترکیب زیستگاهی تالاب مهارلو با سه تالاب پژوهیده دیگر نشان داد. در تالاب مهارلو جز در بخش‌های مرطوب ماندآبی بیش‌تر سطح خاک را پوسته نمکی پوشانده است، و حتی اگر در لایه‌های زیرین انباشت مواد آلی باشد، لایه‌های ضخیم نمک آن را کاملاً جدا کرده است و تأثیری بر زیستگاه سطحی ندارد. در مقایسه، Rashidi et al. (2015) در تالاب زیربار نشان دادند که پیرامون تالاب را چمنزار و زمین‌های کشاورزی با خاک آبدار و آلی گرفته است، و این تفاوت مهمی در کیفیت آب و در نتیجه ماهیت زیستگاه‌های دو دریاچه ایجاد می‌کند. رژیم آبی تالاب زیربار نیز تفاوت بزرگی با مهارلو دارد، زیرا بخش بزرگی از آن در آبیگری دائمی است، در حالی که در مهارلو تنها بخشی فرورفته در بخش میانی-غربی آبیگری دائمی دارد. پی‌رو همین گوناگونی، ترکیب گیاهان زیربار نیز شامل *Nymphaea alba*, *Rorippa amphibian*

دو بخش، همه بخش‌های دیگر در دسته فراشور یعنی بیش از ۴۰ mg/l است.

۲- بزرگ‌ترین زیستگاه تالاب مهارلو با $110,330,000 \text{ m}^2$ مساحت در میانه دریاچه با رژیم آبی نیمه‌دایمی است، که در سال‌های با بارندگی عادی در بیش‌تر فصل‌های پاییز تا بهار آب دارد. شوری آب آن فراشور، و سطح آن پوخته نمکی و نارسته است.

۳- رژیم آبی تالاب در بزرگ‌ترین پهنه آن از نوع نیمه‌دایمی و در غرب دریاچه فصلی یا گاه‌به‌گاه است. آب‌گیری تنها در میانه غربی دائمی است. بیش‌ترین ژرفای تالاب در زیستگاه با آب‌گیری دائمی دیده شد که گستره آن $10,989,400 \text{ m}^2$ است و جز در خشک‌سالی‌های بسیار شدید در همه فصل‌های سال آب دارد.

۴- پوشش بخش اصلی تالاب پوخته نمکی است. جامعه‌های گیاهی تنها در بخش ورودی غرب تالاب در بخش بزرگی از زیستگاه‌های ماندآبی با شناسه‌های P-EPTX، P-EPSX، P-ENTX، P-ENSX- غنی است، که مجموع مساحت آن $20,725,800 \text{ m}^2$ است. به جز آن در حاشیه شمالی و جنوبی گروه‌های پراکنده با پیش‌شناسه‌های LLE به مجموع گستره $10,252,100 \text{ m}^2$ دیده می‌شود.

۵- در پهنه کامل تالاب ۴۲ زیستگاه گوناگون شناسایی و شناسه‌گذاری شد. مهم‌ترین این زیستگاه‌ها عبارت بود از زیستگاه ماندآبی با پوشش گیاهی پدیدار پایدار با آب‌گیری فصلی و شوری چندگونه‌شور (P-EPSX) با گستره $14,797,300 \text{ m}^2$ ماندآبی با پوشش گیاهی پدیدار پایدار با آب‌گیری گذرا و شوری چندگونه‌شور (P-EPTX) با گستره $2,96,600 \text{ m}^2$ دریاچه‌ای کرانه‌ای با پوشش گیاهی پدیدار پایدار با آب‌گیری فصلی و شوری چندگونه‌شور (LLEPSX) با گستره $20,799,900$ تا $493,000$ بود.

نمونه‌برداری از بخش‌های ورودی دریاچه از محدودیت‌های اصلی این پژوهش بود. این بخش‌ها ماندآبی است، و یکی‌شدن آب رودهایی که به تالاب می‌ریزند با بخشی از پساب آلوده‌ی شهر شیراز، پیمایش زمینی این بخش را دشوار کرد. این پژوهش بخش نخستین از پژوهش‌هایی است که برای مدیریت و حفاظت از تالاب ضروری است. لازم است زیستگاه‌های حساس شناسایی شود، و تراز حفاظت از آن بر پایه

بود (Nezakati et al. 2010). در مقایسه، یافته‌های این پژوهش نشان داد که پوشش گیاهی در درون و پیرامون مهارلو بسیار کم‌تر از پریشان است و برخلاف پریشان بخش نارسته بزرگ‌ترین بخش تالاب مهارلو است. یافته‌های تالاب شادگان نیز نشان داده است که این تالاب در مقایسه با مهارلو بسیار متفاوت است. خاک بستر شادگان از نوع ماسه نرم، آهک و گچ، و با بافت سنگین است، که از این نظر با بافت خاک بستر مهارلو تفاوت دارد. پوشش گیاهی آن نیز از نوع گیاهان تک‌لپه و دولپه‌یی گزارش شد، به‌دلیل مشخص نشدن گونه‌ها امکان مقایسه آن نیست. از سوی دیگر، سامانه تالاب شادگان از نوع مصبی شناخته شد، که کاملاً با هر دو سامانه‌ی مهارلو متفاوت است، اگرچه درون این سامانه و زیرسامانه‌های آن پهنه آب‌پوش و گیاهان پدیدار دیده شد، که با بخش‌هایی بزرگی از مهارلو همخوانی دارد. توصیفگر رژیم آبی در سراسر پهنه شادگان از نوع آب‌گرفته‌ی دائمی است، در حالی که در مهارلو تنها بخش کوچکی این ویژگی را دارد. از دیدگاه توصیفگرهای شوری آب نیز در تالاب شادگان همه گروه‌های آب شیرین، الیگوهالین، مزوهالین، پلی‌هالین، میکسوهالین، یوهالین، و هایپرهلین دیده شد (Mohseni et al. 2015)، که ویژگی تالاب‌های دریایی است، اما در این پژوهش در تالاب مهارلو تنها دو گروه میکوسالین و هایپرسالین، و ویژگی تالاب‌های درونی، ثبت شد، که نشان می‌دهد زیستگاه‌های تالاب مهارلو برخلاف شادگان گوناگونی زیادی ندارد.

۴- نتیجه‌گیری

تهیه شناسنامه تالاب (شناختگان) گام مهمی است که در آینده می‌توان به‌کمک آن تغییرها را شناخت و روندها را ارزیابی کرد. نقشه‌برداری از این بوم‌سازگان توجه‌ها را به‌سوی آن‌دسته از تالاب‌ها می‌کشد که در فشار، و نیازمند حفاظت یا بازسازی‌اند. نتیجه این پژوهش شناسایی و فهرست‌سازی زیستگاه‌های گوناگون تالاب مهارلو به‌روش مَدوت و تهیه نقشه آن‌ها با کمک دانسته‌های آب‌شناسی، پوشش گیاهی، جنس خاک، و شوری در آن بود. یافته‌های اصلی این پژوهش به شرح زیر است:

۱- شوری آب تالاب مهارلو در سامانه ماندآبی و انتهای بخش غربی سامانه دریاچه‌ای چندگونه‌شور است و به‌دلیل ورودی نامنظم آب شیرین، افت‌وخیز شوری آن زیاد است. به‌جز این

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منفعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

توانمندی‌های هر بخش مشخص شود. کاربرد عملی نتیجه این پژوهش در حفاظت و بهره‌برداری (احتمالی) پایدار از تالاب خواهد بود.

سیاسگزاری

این گزارش نتیجه پژوهشی است که به شماره ۲۴-۵۰-۱۲-۹۸۰۸۷۵-۰۱۸ در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به ثبت رسید. از اداره کل حفاظت محیط‌زیست فارس برای تأمین هزینه این پژوهش (۹۶/۴۰۰/۴۴۳۵/ص) سپاسگزاری می‌شود.

References

- Asadollahi, Z., Danekar, A., & Asadollahi, Z. (2012). Conservation zoning of Chaghakhor wetland through spatial multi-criteria evaluation. *Wetland Ecobio.*, 4(13), 35–47. [In Persian].
- Ataol, M., & Onmuş, O. (2021). Wetland loss in Turkey over a hundred years: implications for conservation and management, *Ecosyst. Health Sustain*, 7(1), 1930587, DOI: [10.1080/20964129.2021.1930587](https://doi.org/10.1080/20964129.2021.1930587).
- Cap-Net (2007). Integrated water resources management. Available online at: <http://www.cap-net.org/tutorialiwrml-1-iwrml-iwrml-1-2>. Accessed 15, August 2020.
- Farinha, J. C., Costa, L. T., Zalidis, G., Mantzavelas, A., Fitka, E., Hecker, N., & Tomas Vives, P. (1996). Mediterranean wetland inventory: habitat description system. MedWet/Instituto da Conservacao da Natureza / Wetlands International. Volume III. UK. 87 pp.
- Jamshidi Zanjani, A., & Saeedi, M. (2014). Metals Pollution Assessment of Surface Sediment in Anzali Wetland and Their Quality Zonation. *J. Environ. Stud.*, 39(4), 157–170. doi: [10.22059/jes.2014.36469](https://doi.org/10.22059/jes.2014.36469). [In Persian].
- Jawad, L. A. (2021). Southern Iraq's marshes: their environment and conservation. Springer Switzerland. DOI: [10.1007/978-3-030-66238-7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-66238-7).
- Kent, M. (2011). Vegetation description and data analysis: A practical approach, 2nd Edition. Wiley-Blackwell, 428 pp.
- MedWet. (2017). Wetlands sentinels in the Maghreb. Mediterranean wetland projects, Available online at: <https://medwet.org/medwetsonetwork/>. Accessed: August 03, 2019.
- MedWet. (2020a). Waman Sebou: Managing water resources in Morocco (the Sebou river basin). Mediterranean wetland projects, Available online at: <https://medwet.org/medwetsonetwork/>. Accessed August 03, 2019.
- MedWet. (2020b). Ulcinj Salina (Montenegro) protecting, restoring and conserving a key wetland for nature and people. Available online at: <https://medwet.org/medwetsonetwork/>. Accessed August 03, 2019.
- MEMR. (2012). Kenya wetlands Atlas, Ministry of Environment and Mineral Resources, Kenya. ISBN: 978-9966-21-178-1. 150 pp.
- Mesbah, S. H., & Amidi, J. (2006). Estimating the annual sedimentation rate of Maharlu Lake using cs137. Abstract book of the National Erosion and Sedimentation Conference, Tehran, Iran [In Persian].
- Mesbah, S. H. (2011). Investigating the deposits of Maharlu Lake. Final report of the research project. Agricultural Research, Education and Extension Organization of Iran 39711. 67 pp. [In Persian].
- Mohseni, F., Alimizadeh, H., & Changizi, F. (2015). Surveying and analyzing the Shadegan wetland ecosystem using the MedWet model. The First National Conference on Natural

- Environment, Rasht, Iran. Available online at: <https://civilica.com/doc/490351>. Accessed: December 25, 2020 [In Persian].
- NCKRS (National Center for Karst Research and Studies). (1995). Hydrogeology of Maharlu area. The final report of the comprehensive studies of Maharlu area. 112 pp. [in Persian].
- Nawaz, R., Dehlavi, A. and Bajwa, N. (2018). Indus river basin wetlands. In: Finlayson, C., Milton, G., Prentice, R. and Davidson, N. (eds) The wetland book. Springer, Dordrecht. DOI: [10.1007/978-94-007-4001-3_219](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4001-3_219).
- Nezakati, R., Haeripour, S. and Malmasi, S. (2010). Guidelines for zoning wetland habitats based on the MedWet system. Dayere ye Sabz Publications, Tehran, Iran. 105 pp. [in Persian].
- Pakparvar, M., Mesbah, S. H., Ghahari, G., Samii, M., Abbasi, A., Keshavarzi, H., Enayati, K., & Kooshafar, S. (2021). Monitoring the drying process of Maharlu wetland and their role in dust production. (Final report of the research project). Agricultural Research, Education and Extension Organization of Iran. 104 pp. [in Persian].
- Ramsar Convention Secretariat. (2010). Wise use of wetlands: Concepts and approaches for the wise use of wetlands. Ramsar handbooks for the wise use of wetlands, 4th edition, Vol. 1. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland. Available online at: <http://www.ramsar.org/pdf/lib/hbk4-01.pdf>. Accessed: August 03, 2020.
- Rashidi A., Fegghi, J., Sharifi, M., & Bayat, M. (2015). Evaluation and mapping of Zaribar wetland using MedWet classification system. The first national conference on the protection and restoration of wetlands and lakes with an emphasis on Zarivar Lake, Marivan, Sanandaj Branch, Islamic Azad University [in Persian].
- Rechinger, K. H. (Ed). (2021). Flora Iranica: Flora des iranischen Hochlandes und der umrahmenden Gebirge, Vols. 1–178. Akademische Druck- U Verlagsanstalt, Graz, Austria
- Samiei, M., Ghazavi, R., Pakparvar, M., & Vali A. A. (2017). The Effect of climate change on Maharlu lake level change using satellite image processing. *J. RS GIS Nat. Resour.*, 8(1), 1–18. [in Persian].
- Seddighi, E. (1999). Investigating the geological pollution and sewage entering the water of Shiraz Khosk River and Maharlu lake with emphasis on heavy metal pollution. Dissertation. University of Shiraz. 138 pp.
- Sepehr, M., Jamalzad-Fallah, F., Jamalzadeh, H., Shabani, R., & Karamirad, S. (2018). Zoning and Determining Ecological Sensitivity of Coastal Zones in Rudsar for Identifying Sensitive Coastal-Marine Areas. *Wetland Ecobio.*, 10 (3), 13–36. [In Persian].
- Sharifi, F. (2015). Atlas of watersheds of Iran. Agricultural Research, Education and Extension Organization of Iran. 0142929915. [In Persian].
- USDA (United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service). (2018). Field indicators of hydric soils in the United States, Version 8.2. Vasilas, L. M., Hurt, G. W. and Berkowitz, J. F. (eds.). USDA, NRCS, in cooperation with the National Technical Committee for Hydric Soils.
- USGS (United States Geological Survey). (2020). Earth explorer. Available online at: <https://earthexplorer.usgs.gov>. Accessed 5, May 2020.
- Zahirian, A., Padash, A., Jozi, S. A., Zamanpoore, M., & Nabavi, S. M. B. (2012). Wetland zoning to establish land conservation using MCE method (Case study: Parishan wetland, Iran). *Adv. Environ. Bio*, 6(3), 931–939.
- Zalidis, G., Fitoka, E. N., & Mantzavelas, A. L. (1997). Habitat inventory on two greek wetlands. *Wetland.*, 17(4), 439–446. DOI: [10.1007/BF03161509](https://doi.org/10.1007/BF03161509).
- Zamanpoore, M., Mesbah, H., Hosseinie-Marandi, H., Ghahari, G., Hatami, A., Zahirian, A., & Hasanshahi, H. (2019a). Rapid assessment of biodiversity for Maharlu Salt Lake. Agricultural Research, Education and Extension Organization of Iran. 54545. 140 pp. [in Persian].
- Zamnapoore, M., Ghaed-Abdi, M., & Ahmadi, N. (2019b) Chemical and physical properties of Maharlu Salt Lake prior to an extensive

drought. *Ecopersia*. 7(1). 59–67. DOI:
[20.1001.1.23222700.2019.7.1.6.8](https://doi.org/10.1001.1.23222700.2019.7.1.6.8)

How to cite this paper:

Zamanpoore, M., Pakparvar, M., Hatami, A. and Zahirian, A. (2023). Habitat Classification of Maharlu Wetland Using MedWet Classification System. *Environ. Water Eng.*, 9(3), 449–466. DOI:
[10.22034/ewe.2022.360015.1804](https://doi.org/10.22034/ewe.2022.360015.1804)



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Research Paper

Dynamic Analysis of Hydrological Drought using Constant Threshold Method and Vensim Software

Monir Alishahi Chegeni¹, Shahla Paimozd^{2*} and Mahdi Rahimi³

¹M.Sc. Alumni, Department of Water Engineering, College of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran

²Assist. Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran

³M.Sc. Alumni, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, Tehran University, Karaj, Iran

Article information

Received: December 10, 2022

Revised: January 14, 2023

Accepted: January 14, 2023

Keywords:

Drought Duration

Drought Volume

Frequency Analysis

System Thinking

*Corresponding author:

s-paimozd@araku.ac.ir



Abstract

This study aimed to present a dynamic simulation of hydrological drought using Vensim and the constant threshold level method in the Dorud-Borujerd basin in the 1991-2019 period. First, the threshold levels were estimated, and then the drought duration and volume were quantified. Next, the frequency of the highest duration and volume values was analyzed to determine the return periods. While confirming the superiority of the systems thinking approach, the results showed that the highest drought duration figures were 229 and 123 days, respectively, at the 70 and 90% threshold levels of the flow duration curve in the Bitun station. Tire station recorded 21.320 and 38.47 MCM for 70% and 90% threshold levels, respectively, which were the largest figures for drought volume. The frequency analysis of these figures obtained from dynamic simulation showed that the drought duration and volume will have a return period of 25 and 8 years and 4 and 14 years, respectively, at 70% and 90% threshold levels. Moreover, 2012 and 2015 were very dry years in terms of both duration and volume. Therefore, drought episodes have been occurring in the Dorud-Borujerd basin for many years and will continue with more intensity in the future.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

The drought recurrence, continued dry days, and falling surface water resource levels affect the management of water resource systems. Investigating the drop in river water level due to hydrological drought and implementing preventive measures require a thorough understanding of the complex systems of water resources and their behavior over time. The dynamic approach explores the behaviors of a

complex system, focusing on feedback loops and nonlinear effects. Therefore, considering the importance of factors such as the duration of dry, the volume of hydrological drought, and their role in water resources management and planning, this study conducted a simulation of hydrological drought in the Dorud-Borujerd basin using constant threshold level in the Vensim environment within the 1991-2019 period.



Material and Methods

Dorud-Borujerd basin is located in Lorestan province, covering an area of 2546 km² in the northernmost part of the Great Karun Watershed. Tire is one of the rivers flowing in this basin, which constitutes the basin's surface water resource together with Bitunn, Rahim Abad, and Mohammad Haji rivers. In the first step, the discharge levels of these rivers were evaluated in their respective stations in terms of homogeneity and accuracy. To start the simulation, the daily discharges were listed in a descending order. The probability of their occurrence was calculated and the Q_{70} and Q_{90} threshold values were estimated by drawing the flow duration curve in Vensim Software. Then, the model calculated the number of dry days (drought duration) after comparing the threshold level and the daily discharges of all the stations, which were fed to the model through the flow variable. In this stage, the model created a counter using the delay variable, which aggregates the number of dry days during the defined periods using the

stock variable. The drought volume is calculated by comparing the values of discharge threshold and daily discharge, and if necessary the aggregation and volume of drought during the period under study. In the next step, small droughts were eliminated using the Internal Criterion method. Then the initial model output which included the threshold levels, drought duration, and drought volume during the predefined periods was reviewed by the model and the maximum drought volume and duration were calculated. Easyfit was used to determine the best probability distribution and return period for the maximum drought duration and volume.

Results

By comparing the threshold and daily discharge values, the number of dry days was extracted as the basis for calculating the drought duration in the research periods. Fig. 1 shows the annual drought duration at the Q_{70} and Q_{90} thresholds in all stations of the region.

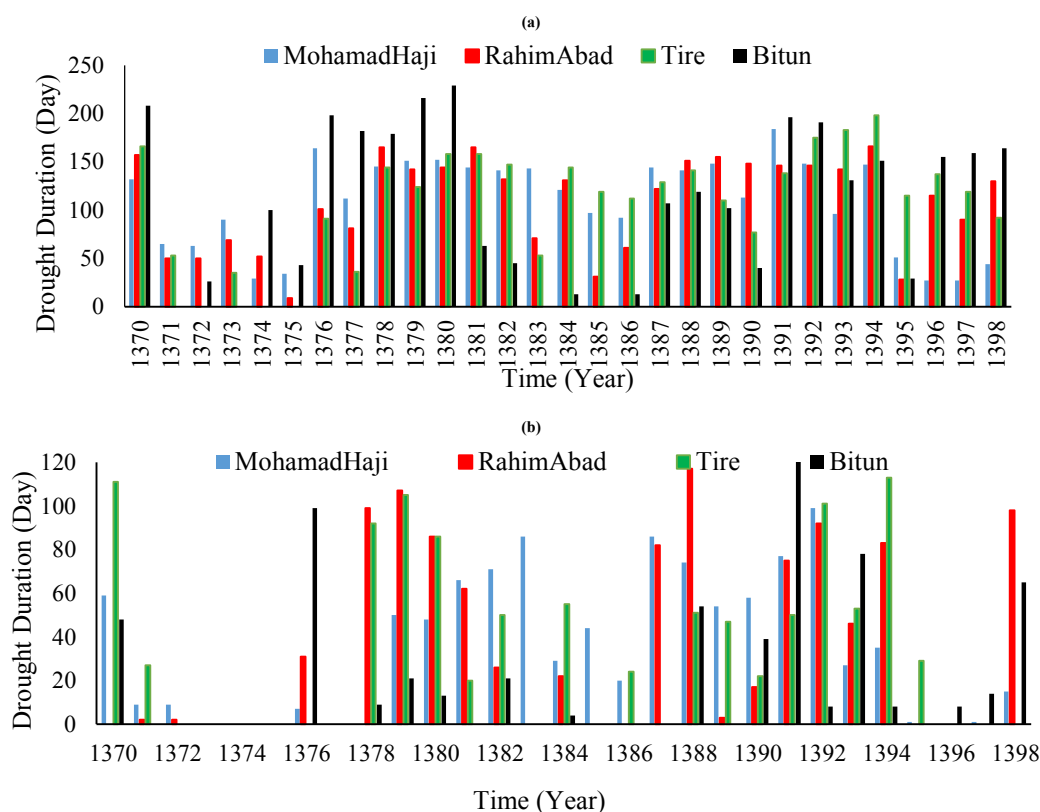


Fig. 1 Discharge drought duration in the study area stations at (a) 70% and (b) 90% of the flow duration curve

As shown above, the region shows similar behavior throughout the simulation period at 70 and 90% discharge threshold levels under the flow duration curve. In Fig. 1a, at the 70% of the flow duration curve, the Bitun station recorded 229 days of drought in the region in 2001, which

is higher than the values recorded by all stations throughout the research period. According to Fig. 1, in the entire period, the drought duration is 70% less than the threshold level, which is due to the lower discharge values at the 90% threshold level. According to Fig. 1b, the Bitun station

recorded the longest drought duration in the 90% threshold with 123 dry days in 2012. This is because of the lower amount of flow passing through this station compared to other stations in the region.

The highest drought volume values at the 70% level were recorded in the 1999-2002 and 2012-2015 periods. In 2014, Tire experienced a 198-day drought with the highest recorded drought volume of 21.320 (MCM). The highest drought volume values at the 90% level were recorded in Tire followed by the Rahim Abad station. The discharge showed smaller volumes in about 60% periods in Tire station, which affects the slope of this station's flow duration curve. Therefore, the 70 and 90% thresholds show higher figures than those in periods with lower and similar discharge trends throughout the whole period. As a result, droughts will occur with a higher volume and in shorter periods. The same can be seen in Rahim Abad and Mohammad Haji stations, respectively, with the same trend and less intensity. Regarding the Bitun station, the lowest and highest discharge were being repeated with fewer fluctuations throughout the period. Therefore, the discharge figures of the 70 and 90% threshold levels are closer to those of the entire period with higher duration and less drought volume.

The results of the frequency analysis showed that the highest drought duration at the 70 and 90% levels belonged to the Bitun and Rahim Abad stations, respectively, with 151 and 116 days. The return period of these drought events is 9 and 5 years, respectively. Regarding the drought volume, the highest deficiency at the 70 and 90% levels belonged to the flow of the Tire station at

198.3 (m^3/s) and 44.53 (m^3/s), respectively. At these levels, the return period of these drought events is 12 and 4 years.

Conclusions

In most of the years, short but continued droughts have occurred in the Dorud-Borujerd basin. The highest duration values were recorded at the Bitun station, indicating the greatest drought duration. Therefore, in similar climates within the Dorud-Borujerd basin, shallow rivers experience droughts with higher duration and smaller volumes. Tire station showed the highest drought volume. The drought duration and volume cannot be the same simultaneously considering the changes in the slope of the flow duration curve due to different fluctuations in each station. This region has completely different climates susceptible to drought. Therefore, the drought volume (magnitude) will involve short periods in high-discharge tributaries experiencing hydrological drought in basins with different climates. The return period of the maximum drought duration and volume in Dorud-Borujerd basin was at least one year. In addition, the high-discharge river of Tire will show signs of hydrological drought through reduced volume at least once every four years.

Data Availability

The data used in this research are presented in the paper.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

تحلیل دینامیکی خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از روش حد آستانه ثابت و نرم افزار Vensim

منیر علیشاهی چگنی^۱، شهلا پایمزد^{۲*} و مهدی رحیمی^۳

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران
^۲استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران
^۳دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۹/۱۹]	هدف پژوهش حاضر، شبیه سازی دینامیکی خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از نرم افزار Vensim و روش حد آستانه ثابت در حوضه دورد-بروجرد طی دوره آماری ۱۳۷۰ الی ۱۳۹۸ می باشد. لذا با برآورد مقادیر سطوح آستانه در محیط Vensim، تداوم روزهای خشک و حجم خشکسالی ها محاسبه شد. در ادامه، آنالیز فراوانی مقادیر حداکثر تداوم و حجم خشکسالی، جهت تعیین دوره بازگشت وقایع انجام شد. نتایج ضمن برتری تفکر سامانه ای، نشان داد حداکثر مقادیر تداوم خشکسالی معادل ۲۲۹ و ۱۲۳ day به ترتیب در سطوح آستانه ۷۰ و ۹۰٪ منحنی تداوم جریان در ایستگاه بیاتون رخ داده و ایستگاه تیره با ثبت مقادیری معادل ۲۱/۳۲۰ و ۳۸/۴۷ MCM به ترتیب برای سطوح آستانه ۷۰ و ۹۰٪، بیش ترین حجم خشکسالی را به خود اختصاص داده است. آنالیز فراوانی مقادیر حداکثر تداوم و حداکثر حجم خشکسالی های منتج از شبیه سازی دینامیک، نشان داد تداوم و حجم خشکسالی در سطوح آستانه ۷۰ و ۹۰٪، به ترتیب دوره بازگشتی معادل ۲۵ و ۸ yaer و نیز ۴ و ۱۴ year خواهند داشت. همچنین سال های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۴ از جمله سال های بسیار خشک به لحاظ تداوم روزهای خشک و حجم خشکسالی برآورد گردید. لذا در حوضه دورد-بروجرد وقوع خشکسالی از سال ۱۳۹۱ شروع شده و در آینده نیز با شدت بیش تری ادامه خواهد داشت.
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۱۰/۲۴]	
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۱۰/۲۴]	
واژه های کلیدی:	
آنالیز فراوانی	
تداوم خشکسالی	
تفکر سیستمی	
حجم خشکسالی	
*نویسنده مسئول:	
s-paimozd@araku.ac.ir	
	

۱- مقدمه

منابع آب و مدیریت آنها از جمله چالش های جدی سال های اخیر است. وقوع خشکسالی های متعدد باعث شده تأمین آب در اغلب نقاط دنیا و نیز کشور ایران، به عنوان یکی از مهم ترین مسائل مد نظر قرار گیرد. تصمیم گیری مدیران جهت برنامه ریزی طی سال های آتی، به منابع آب موجود،

خشکسالی های اتفاق افتاده و پیش رو بستگی دارد. لذا سامانه ای که بتواند از این تصمیمات پشتیبانی کند و اتفاقات درون سامانه ای را هم زمان به مدیران ارائه دهد، از اهمیت بالایی برخوردار است. در واقع در هر بررسی و شبیه سازی دو دیدگاه وجود دارد که به نوع خطی و غیرخطی (دینامیک)



منطقه‌ای خشکسالی می‌باشد. روش سطح آستانه همچنین توسط Edmund (2011) مورد بررسی قرار گرفت. تعریف سطح آستانه خشکسالی هیدرولوژیکی توسط این محقق با به‌کارگیری معیارهای مناسب منطقه صورت گرفت. معیارهای مختلفی که برای شناسایی یک خشکسالی هیدرولوژیکی استفاده می‌شوند براساس روش سطح آستانه ارائه می‌شوند. در این پژوهش معیارهای ژنتیکی و نیز تغییرپذیری زمانی تحلیل می‌شوند و در نهایت معیارهای ژنتیکی برای منطقه توصیه می‌شود. (Staudinger et al. 2015). جهت تعیین آنالیز حساسیت به خشکسالی، ۲۴ زیرحوضه در سوئیس را در تحقیقی، طبق دو سناریو از سری‌های زمانی دبی و بارش براساس مدل رواناب بارش بکار بردند. نتایج حاکی از آن بود که شیب، ارتفاع متوسط و مساحت زیر حوضه‌ها از ویژگی‌های اصلی حساسیت به خشکسالی در این مناطق می‌باشند. مقایسه دو شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی تحقیق دیگری است که (Abhishek et al. 2016) مورد توجه قرار دادند. نتایج هر دو شاخص نشان داد خشکسالی متوسط بین سال‌های ۱۹۸۶-۱۹۸۸ و ۲۰۰۱-۲۰۰۵ رخ داده است. (Salajegheh et al. 2017) با استفاده از روش حد آستانه ثابت به بررسی خشکسالی هیدرولوژیک در حوزه آبخیز سد کرج پرداختند. نتایج نشان داد که سال ۱۳۷۷ یکی از خشک‌ترین سال‌ها در این حوضه بوده‌است. بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی و تأثیر آن بر کیفیت آب رودخانه گدارخوش واقع در استان ایلام در بازه زمانی ۱۳۶۵ الی ۱۳۹۱، در پژوهش (Gheisouri et al. 2019) انجام شد. نتایج بررسی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI و خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از شاخص کمبود جریان Q_{90} حاکی از افزایش شدت و تداوم خشکسالی‌ها به‌ویژه خشکسالی هیدرولوژیک در سال‌های اخیر و وجود تأخیر زمانی ۱۲ ماهه بین وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک بوده است. مطالعه و تحلیل خشکسالی هیدرولوژیک رودخانه ارمند توسط (Ghorbani et al. 2019) انجام شد. در این پژوهش، با استفاده از شاخص‌های منحنی تداوم جریان، ویژگی‌های کمبود، تحلیل فراوانی جریان و شاخص جریان پایه و نیز آمار روزانه جریان مربوط به ایستگاه آب‌سنجی ارمند به تعیین آستانه خشکسالی، طول مدت خشکسالی، حجم و شدت کمبود جریان و فراوانی وقوع جریان‌های کم پرداختند. بر اساس نتایج، رودخانه ارمند طی ۲۸، ۲۲ و ۱۴ year (از کل دوره آماری) در تمام سطوح

تقسیم می‌شود (Paimozd 2021). درک رفتارهای یک سامانه پیچیده در طول زمان ویژگی اصلی دیدگاه دینامیک می‌باشد. دیدگاه دینامیک^۱ رفتارهای یک سامانه پیچیده را در طول زمان، با تمرکز بر حلقه‌های بازخورد، تأثیرات غیرخطی و تأخیرهای زمانی در میان متغیرها و همچنین ماهیت انباشتی و یا جریانی آن‌ها، مورد بررسی قرار می‌دهد (Paimozd 2021). لذا تحقیق در حیطه خشکسالی نیز می‌تواند به دو دیدگاه خطی و دینامیک تقسیم‌بندی شود. به موازات دیدگاه محققین، درک صحیحی از چگونگی برآورد خشکسالی و تأثیرات آن بر حوضه‌های مختلف و نتایج حاصل از آن بر تمامی بخش‌های یک جامعه، به‌خصوص تغییرات در سیاست‌گذاری‌ها، اهمیت بالای پرداختن به این موضوع و نحوه ارزیابی آن را دو چندان می‌کند. به عقیده Zhang et al. (2021) شاخص‌های خشکسالی متعددی برای پایش خشکسالی ایجاد شده‌اند. با این حال انواع خشکسالی و شاخص‌های وابسته به آن، ویژگی‌های متفاوتی دارند که بسته به محیط و نوع اقلیم منطقه انتخاب می‌شوند. تأخیر زمانی خشکسالی هیدرولوژیکی و دیگر خشکسالی‌ها، به مدیران و تصمیم‌گیران امکان ویژه‌ای خواهد داد تا فرصت اجرای اقدامات لازم جهت تعدیل اثرات سو خشکسالی را داشته باشند (Zandifar et al. 2021). متداول‌ترین تعریف کمی خشکسالی هیدرولوژیکی براساس تبیین یک حد آستانه می‌باشد. بدین‌صورت که اگر جریان رودخانه از سطح آستانه مد نظر، کمتر شود، خشکسالی هیدرولوژیک اتفاق افتاده است. روش حد آستانه پرکاربردترین روش برای تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی و کم‌آبی‌ها است. به‌عبارتی این روش پایه و اساس تعریف مشخصات خشکسالی‌ها و کم‌آبی‌ها می‌باشد (Bonacci 1993). در این روش، دوره‌های بالا و پایین سطح آستانه تعیین شده و مورد بررسی قرار می‌گیرند. این نوع ارزیابی و بررسی تحت عنوان تئوری دنباله‌ها مطرح شده است (Hisdal and Tallaksen 2003).

روش حد آستانه توسط (Saghafian and Byazedi 2011) با حد آستانه ۷۰٪، سری‌های حداکثر سالانه، تداوم و حجم خشکسالی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که عامل مساحت دارای بالاترین همبستگی با حجم جریان سطحی بوده ۳۶ و لذا همانند بسیاری دیگر از مدل‌های منطقه‌ای مؤثرترین متغیر مستقل در برآورد

^۱Dynamic

الی ۱۳۹۸ پرداخته شد. بدین منظور با استفاده از نرم افزار Vensim، شبیه سازی خشکسالی هیدرولوژیکی با روش حد آستانه ثابت^۳ انجام شد. در منطقه مطالعاتی پژوهش حاضر تاکنون خشکسالی هیدرولوژیک مورد بررسی قرار نگرفته و لازم به تأکید است تاکنون نیز تحقیقی با مبنای شبیه سازی دینامیکی شاخص خشکسالی صورت نگرفته است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان لرستان با میانگین بارش سالانه ۴۵۰ mm بعد از حوضه های دریای خزر و دریاچه ارومیه، سومین حوضه، پر باران کشور است. حجم بارندگی استان حدود ۱۷ km³ برآورد شده است که ۵۰٪ آن به جریان سطحی تبدیل می شود. در استان لرستان بیش از ۱۳۰ رودخانه دائمی و فصلی وجود دارد. سه رودخانه اصلی به نام های سیمره، کشکان و سزار به طول حدود ۱۴۵۴ km شریان های آبی اصلی استان را تشکیل می دهند. استان لرستان به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص از اقلیم متنوعی برخوردار می باشد. اقلیم حوضه دورود-بروجرد دارای نیمه مرطوب با تابستان گرم و زمستان سرد می باشد (Lashani Zand et al. 2011). حوضه دورود-بروجرد واقع در استان لرستان، با وسعتی معادل ۲۵۴۶ km² در شمالی ترین قسمت حوضه آبخیز کارون بزرگ واقع شده است. کمترین ارتفاع محدوده ۱۴۳۷ m، مربوط به بخش های خروجی حوضه و بیشترین ارتفاع محدوده ۴۰۱۵ m از سطح دریا، مربوط به جنوب شرقی محدوده است. به علت ورود جریانات سطحی به این محدوده و همچنین وجود بارندگی کافی و برف گیر بودن ارتفاعات این محدوده، مسیل های واقع در آن دائمی بوده و رودخانه های سیلاخور، ماربره و تیره زهکش اصلی این محدوده را تشکیل می دهند. میانگین بارش سالانه در دشت های این محدوده ۴۹۲/۸ mm، حداکثر دما ۴۷/۴ °C و حداقل دما ۳۶ °C- برآورد شده است (Beiranvand et al. 2022). در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی و موقعیت ایستگاه های هیدرومتری حوضه دورود-بروجرد مشخص شده است.

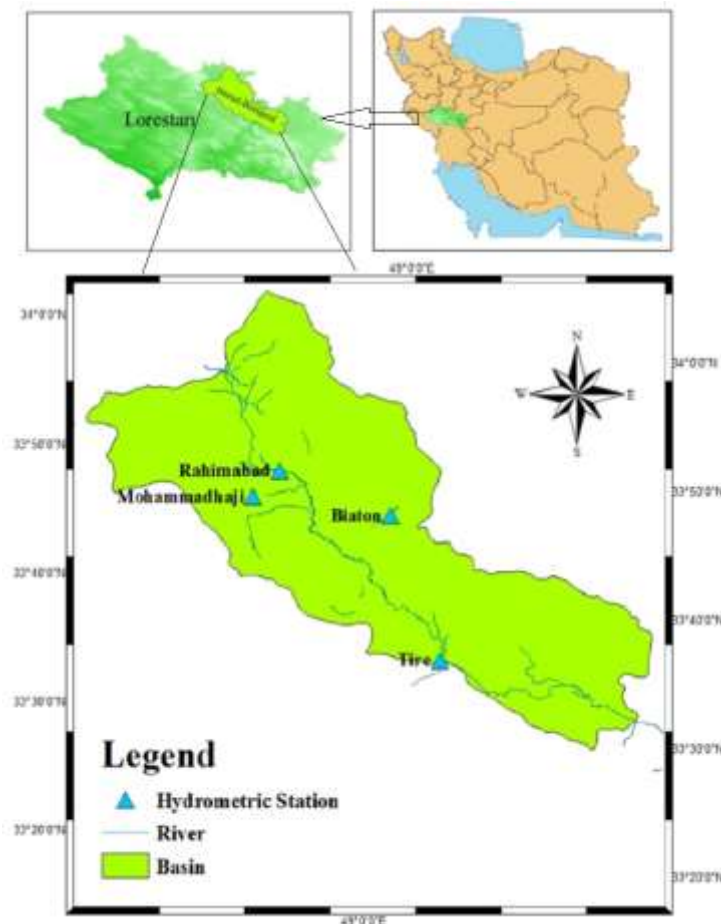
آستانه دارای جریان کمتر بوده است. Yarahmadi and Rostami zad (2019) به بررسی و تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی در رودخانه دریان چای در یک دوره ۳۱ year پرداختند. نتایج نشان داد در مجموع ۳۸ دوره خشکی هیدرولوژیک در این رودخانه رخ داده است. تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص خشکسالی جریان رودخانه ای توسط Jamal et al. (2020) مد نظر قرار گرفت. نتایج نشان داد طبق بررسی ۶۵ توزیع، جابه جایی طبقات خشکسالی به تابع توزیع بستگی دارد. همچنین بیشترین فراوانی جابه جایی طبقات خشکسالی حاصل از کاربرد توزیع برتر در طبقه نرمال رخ داده است. Mortezaei et al. (2020) با استفاده از شاخص منابع آب زیرزمینی^۱ (GRI) و شاخص خشکسالی جریانات رودخانه ای^۲ (SDI) به ارزیابی فاصله زمانی بین وقوع خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی پرداختند. مطابق نتایج، شاخص GRI در مقایسه با شاخص SDI در مقیاس زمانی و دوره آماری یکسان از مقادیر بالاتر بیشینه شدت خشکسالی و بیشینه تداوم خشکسالی برخوردار است. (Mozafari et al. 2022) به بررسی نقش خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در خشک شدن دریاچه های بختگان و زلشک پرداختند. با تعیین روند تغییرات مساحت دریاچه ها مشخص شد که وسعت پهنه آبی آنها از سال ۱۳۸۷ روند کاهشی به خود گرفته و از سال ۱۳۹۱ در بیشتر زمان ها این دریاچه ها خشک بوده اند.

توجه به مطالعات گذشته نشان می دهد تحقیقات صورت گرفته در خصوص خشکسالی هیدرولوژیک در کشور با توجه به اهمیت آن مورد توجه ویژه ای بوده است. اما آنچه که حائز اهمیت است، دیدگاه محققین به بررسی شاخص خشکسالی است که براساس تفکر خطی بوده است. حتی در موارد دینامیک بودن بررسی، شاخص خشکسالی مد نظر، به صورت دینامیکی شبیه سازی نشده و اغلب با تعریف سناریوها تأثیر خشکسالی بر مدیریت آب مورد توجه قرار گرفته است (Teimoori et al. 2019). لذا با توجه به اهمیت موضوع در زمینه خشکسالی هیدرولوژیکی و نقش مهم آن در مدیریت و برنامه ریزی های کوتاه مدت و بلندمدت، در این پژوهش با استفاده از روش غیرخطی به بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی حوضه دورود-بروجرد طی دوره آماری ۱۳۷۰

¹Ground Water Resources Index

²Surface Water Drought Index

³Constant Threshold Level



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه دورود-بروجرد
Fig. 1 Geographical location and hydrometric stations of Dorud-Borujerd Basin

۲-۲-آمار و اطلاعات

مورد بررسی قرار گرفت. در بین ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی، ایستگاه محمدحاجی دارای نقص آماری بود که با استفاده از روش رگرسیون و نرم‌افزار SPSS آمار این ایستگاه، بازسازی شد.

در این پژوهش از داده‌های دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری دورود-بروجرد، طی سال‌های آبی ۱۳۷۰ الی ۱۳۹۸ جهت بررسی خشکسالی هیدرولوژیک استفاده شد. جدول (۱) مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه دورود-بروجرد را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه دورود-بروجرد

Table 1 Specifications of the hydrometric stations of Dorud-Borujerd basin

Station	River	Height (m)	Latitude	Longitude
Biatun	Biatun	1620	33° 42' 00"	48° 58' 47"
Tire	Tire	1450	33° 28' 11"	49° 03' 36"
Mohamad Haji	Absardeh	1570	33° 43' 47"	48° 45' 00"
Rahim Abad	Silakhor	1490	33° 46' 48"	48° 47' 59"

۲-۳-روش حد آستانه

روش حد آستانه پایه و اساس تعریف مشخصات خشکسالی‌ها

یک دوره خشک طولانی است. در رابطه با مورد دوم می‌توان گفت در طول یک دوره خشکسالی، دبی جریان برای یک دوره زمانی کوتاه، از حد آستانه تجاوز نموده و باعث می‌شود خشکسالی به تعداد خشکسالی‌های کوچک‌تر و وابسته تفکیک شود. به‌منظور رفع این مشکل باید ترکیب خشکسالی‌های جزئی انجام شود که اغلب یکی از روش‌های معیار داخلی^۲، میانگین متحرک^۳ و الگوریتم دبی اوج متوالی^۴ انتخاب می‌شود.

۴-۲- روش‌های ترکیب خشکسالی‌های جزئی

در بین روش‌های ترکیب خشکسالی‌های جزئی روش معیار داخلی، دقت بیش‌تری دارد (Hisdal et al. 2004). در این پژوهش نیز روش معیار داخلی انتخاب شد. در این روش برای حذف خشکسالی‌های جزئی و ادغام خشکسالی‌های وابسته از ضرایب T_c ، D_{min} استفاده شد. a ضریبی است که برای حذف موارد خشکسالی جزئی به کار می‌رود، بدین ترتیب اگر در یک خشکسالی حجم (S_i) کمتر از حاصل‌ضرب a در حداکثر کمبود مشاهده شده باشد ($S_i < a \cdot S_{max}$) آن مورد حذف خواهد شد. مقدار آن معمولاً بین $0.05 - 0.1$ در نظر گرفته می‌شود. D_{min} نیز حداقل فاصله زمانی است که خشکسالی جزئی با تداوم مساوی یا کمتر از آن ($D_i < D_{min}$) حذف می‌شود و معمولاً کمتر از ۵ day در نظر گرفته می‌شود، T_c زمان بحرانی نامیده می‌شود. به نحوی اگر دو واقعه خشکسالی وابسته با فاصله‌ی زمانی $T_i < T_c$ به وقوع بپیوندند با هم ادغام خواهند شد و به جای S_i حجم کمبود بحرانی (S_c) در نظر گرفته می‌شود. در هر دو حالت تداوم و حجم وقایع ادغام شده (D_{pool} و S_{pool}) به‌صورت روابط (۴) و (۵) محاسبه می‌شود (Fleig et al. 2006).

$$D_{pool} = D_i + D_{i+1} \quad (4)$$

$$S_{pool} = S_i + S_{i+1} \quad (5)$$

با توجه به تحقیقات (Fleig et al. 2006) مقدار a برابر با 0.05 و D_{min} برابر با ۲ و T_c برابر با ۵ day در نظر گرفته شد.

۴-۵- مدل Vensim

در تفکر دینامیک (سامانه‌ای) با توجه به تئوری فرآیندهای بازخوردی، مدل‌سازی به‌صورت بسته در نظر گرفته می‌شود

و کم‌آبی‌ها می‌باشد. در این روش دوره‌های بالا و پایین آستانه مشخص شده مورد بررسی قرار می‌گیرند. اگر مقادیر دبی از یک حد آستانه کم‌تر باشد خشکسالی و یا کم‌آبی رخ می‌دهد. مهم‌ترین زمینه کاربرد تحلیل‌های آستانه خشکسالی طراحی نیروگاه‌های آبی، مدیریت منابع آب، سامانه‌های تأمین آب، برنامه‌ریزی آبیاری و حفظ کیفیت آب می‌باشد. در این پژوهش سطح آستانه مناسب جهت استخراج دوره‌های خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از منحنی تداوم جریان که نشان دهنده رابطه بین دبی‌های روزانه و احتمال وقوع آن‌ها می‌باشد، انتخاب می‌گردد (Ghorbani et al. 2019). این منحنی با استفاده از روش ترسیمی و با استفاده از داده‌های روزانه و رابطه ویبول^۱ که به‌صورت به‌صورت رابطه (۱) بیان می‌شود، برای هر ایستگاه قابل ترسیم است (Salajegheh et al. 2017).

$$P\% = \frac{m}{n+1} \times 100 \quad (1)$$

سطح آستانه می‌تواند دبی‌هایی از منحنی تداوم جریان روزانه بین 70% و 90% در نظر گرفته شود. اگر تفاضل سری زمانی دبی روزانه (Q_k) و مقدار دبی مرجع یا دبی حد آستانه (Q_a) منفی شود ($Q_k - Q_a < 0$)، بیان‌گر وقوع خشکسالی است و برای تحلیل خشکسالی باقی‌مانده‌های منفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. طول توالی منفی بیان‌گر تداوم خشکسالی یعنی تعداد روزهایی است که خشکسالی تداوم داشته است. مجموع این توالی‌ها بزرگی یا حجم خشکسالی را نشان می‌دهد. تداوم خشکسالی (D_i) و حجم (بزرگی) خشکسالی (S_i) به‌عنوان ویژگی‌های خشکسالی نقطه‌ای در نظر گرفته شده‌اند. با در نظر گرفتن سری زمانی دبی روزانه (Q_k) و مقدار دبی مرجع (Q_a) می‌توان رابطه بین مشخصات مدل را به‌صورت روابط (۲) و (۳) بیان نمود (Fleig et al. 2006):

$$D_Q = \{(Q_a - Q_k \text{ if } Q_k < Q_a \cap \text{if } Q_k \leq Q_a)\} \quad (2)$$

$$S_i = 86.4000 \sum_{j=1}^{D_i} D_Q \quad (3)$$

که، D_Q کمبود دبی روزانه (m^3/s) و S_i برابر با حجم خشکسالی i (به MCM) و $86/4000$ ضریب تبدیل مربوط به مقیاس زمانی است. گام زمانی به رژیم هیدرولوژیکی منطقه تحت مطالعه بستگی دارد. با وجود این، استفاده از مقیاس روزانه با دو مشکل مواجه می‌باشد، اول وابستگی بین خشکسالی‌ها و دیگری وجود خشکسالی‌های جزئی در طی

²Internal Criterion

³Moving Average

⁴Sequent Peak Algorithms

¹Weibull

محیط Vensim زیرسامانه‌ای تعریف شد تا آمار دبی روزانه چهار ایستگاه موجود به‌طور همزمان به مدل وارد، محاسبات انجام و خروجی‌ها در اختیار قرار بگیرد و نیاز به تکرار محاسبات نباشد. در ادامه با در نظر گرفتن تعداد روزهای خشک، به‌عنوان مبنای محاسبات، دوره‌های خشکسالی یا تداوم خشکسالی^۵ استخراج شد.

جهت محاسبه حجم خشکسالی^۶ با ورود متغیرهای جریان (دبی) به متغیر حالت و سطوح آستانه محاسبات انجام می‌شود. در این مرحله نیز حجم خشکسالی می‌تواند طی هر دوره تعریف شده به مدل، محاسبه گردد که می‌تواند کل دوره، ارقام سالانه یا دوره خاص دیگری باشد. پس از استخراج روزهای خشک، توالی و حجم آن‌ها، جهت ترکیب خشکسالی‌های وابسته و حذف خشکسالی‌های کوچک، ادغام‌سازی با به‌کار بردن روش معیار داخلی انجام شد. در شبیه‌سازی حاضر با استفاده از تعریف یک ایستگاه به‌صورت متغیر خارجی^۷ و معرفی ماتریس‌ها و آرایه‌های سه‌بعدی، کل منطقه در یک View شبیه‌سازی و نیازی به تکرار محاسبات متناسب با تعداد ایستگاه‌ها و تعداد دوره‌های خشکسالی نبود. با توجه به قابلیت ونسیم خروجی‌ها (جداول و نمودارها) هم‌زمان برای چهار ایستگاه و برای تمام متغیرها در کسری از ثانیه نمایش داده شد. در مرحله بعد خروجی اولیه مدل که شامل سطوح آستانه، تداوم خشکسالی و حجم خشکسالی طی دوره‌های تعریف شده به مدل هستند، توسط مدل بازخوانی شده و به محاسبه حداکثر حجم و حداکثر تداوم خشکسالی جهت تعیین مناسب‌ترین توزیع احتمالاتی (آنالیز فراوانی) پرداخت. در نهایت جهت تعیین بهترین تابع و دوره بازگشت حداکثر حجم و تداوم خشکسالی محاسبه شد.

۲-۶- آنالیز فراوانی خشکسالی هیدرولوژیکی

جهت انجام آنالیز فراوانی در وقایع هیدرولوژیکی، پس از تعیین توابع توزیع احتمال از نظر تئوری، داده‌های هیدرولوژی موجود با توابع توزیع تئوری برازش داده شده و با انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع، تعیین دوره بازگشت وقایع برآورد می‌گردند. در روش حد آستانه ثابت، هدف از آنالیز فراوانی خشکسالی هیدرولوژیکی، پیدا کردن توزیع احتمالاتی حداکثر حجم و تداوم خشکسالی است تا بتواند خطر خشکسالی‌های آینده را پیش‌بینی کند. لذا در پژوهش حاضر،

بازخوردها توسط ابزارهای نموداری بازنمایی و در قالب معادلات شبیه‌سازی سیستم، به‌صورت ریاضی نمادسازی و در نهایت مدل‌سازی صورت می‌گیرد (Clancy 2018). یکی از این مدل‌ها Vensim می‌باشد. متغیرهای اصلی در این مدل‌سازی، متغیرهای حالت^۱ و جریان^۲ هستند. در واقع متغیر حالت (انبار یا ذخیره) انتگرال یا تجمیع ورودی‌هایی است که از طریق جریان به آن وارد می‌شود. کلیه تصمیمات، برنامه‌ریزی‌ها و اقداماتی که در یک سیستم مورد نظر مدیران و تصمیم‌گیرندگان است در شبیه‌سازی با سیستم دینامیک توسط کاربر و در متغیر تصمیم نوشته می‌شود. متغیر تصمیم در Vensim اغلب جریان‌های ورودی یا متغیرهای خارجی هستند که تصمیمات را به سیستم اطلاع می‌دهند. در ادامه این نرم‌افزار با حل تکراری معادلات دیفرانسیل موجود در سیستم به روش تفاضل‌های محدود رفتار سیستم را در دوره شبیه‌سازی نشان می‌دهد (Paimozd 2021). شبیه‌سازی در محیط Vensim این قابلیت را دارا می‌باشد که به کاربر اجازه می‌دهد به‌عنوان یک سیستم پشتیبانی از تصمیم‌گیری از مدل خود بهره بگیرد. به‌گونه‌ای که پس از اجرای مدل، تمام جداول و نمودارها هم‌زمان در یک View نمایش داده خواهد شد و امکان تغییرات لحظه‌ای مدل را به کاربر خواهد داد. در تحقیق حاضر شبیه‌سازی خشکسالی هیدرولوژیک، با روش حد آستانه در محیط Vensim انجام شد. بدین منظور، پس از ورود آمار دبی روزانه ایستگاه‌های منطقه به مدل، داده‌ها به‌صورت نزولی مرتب شدند و با اختصاص یک شمارنده به هر یک از داده‌های مرتب شده، احتمال از رابطه (۱)، محاسبه شد. سپس منحنی تداوم جریان ترسیم و حد آستانه Q_{70} و Q_{90} که مقادیر دبی در احتمال ۷۰ و ۹۰٪ هستند، تعیین شد. در ادامه مدل، پس از مقایسه سطح آستانه و دبی‌های روزانه کل ایستگاه‌ها که با متغیر جریان به مدل معرفی شده‌اند، به محاسبه تعداد روزهای خشک متوالی طی یک سال و به تفکیک دوره (برای هر ایستگاه) پرداخت. در این مرحله، مدل با استفاده از متغیر تأخیر^۳ شمارنده‌ای ایجاد می‌کند که با ورود به متغیر حالت^۴ به انباشت تعداد روزهای خشک، طی دوره‌های تعریف شده می‌پردازد. تحت این شرایط تعداد دوره‌ها با انتخاب کاربر می‌تواند مرتبط با یک دوره خاص، سالانه یا کل دوره باشد. در این پژوهش، در

Stock

²Flow

³Delay variable

⁴Stock variable

⁵Drought Duration

⁶Drought Volume

⁷Exogenous Variable

آمار دبی روزانه چهار ایستگاه جهت شبیه‌سازی خشکسالی هیدرولوژیک، وارد مدل Vensim شد که در ادامه به نتایج اشاره شده است.

۲-۳- شبیه‌سازی در محیط Vensim

در شبیه‌سازی خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از امکانات Vensim به معرفی آرایه‌هایی پرداخته شد تا ضمن خلاصه نمودن محیط نرم‌افزار، بدون تکرار معادلات و به‌صورت هم‌زمان خروجی کل ایستگاه‌های منطقه در دسترس قرار گیرد. شکل (۲) شبیه‌سازی خشکسالی هیدرولوژیک در حوضه دورود-بروجرد را نشان می‌دهد. جهت پرهیز از تکرار متغیرها در تک‌تک ایستگاه‌ها و تقطیع خطوط بازخوردی، به معرفی زیرمجموعه‌ها، آرایه‌های چند بعدی و متغیرهای سایه پرداخته شد. در شکل (۲) پس از محاسبه سطوح آستانه، همزمان تداوم خشکسالی، حجم خشکسالی، حداکثر تداوم و حداکثر حجم خشکسالی در مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه و حتی دوره‌های خاص همانند خشکسالی‌های پیوسته، در سطوح آستانه ۷۰ و ۹۰٪ در قالب نمودارها و جداول برای تمام ایستگاه‌های واقع در منطقه مطالعاتی قابل مشاهده و دریافت است. تحت این شرایط نتایج هرگونه تغییر در متغیرها در کسری از ثانیه قابل استخراج است. نتایج محاسبات به ترتیب در ادامه آمده است.

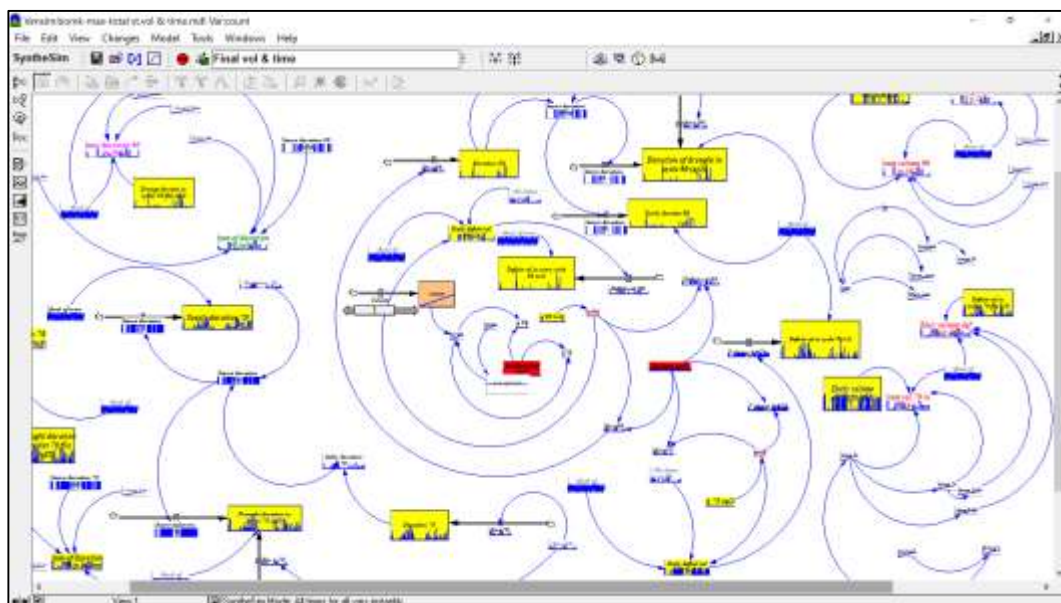
ابتدا با شبیه‌سازی در محیط Vensim، تداوم و حجم روزانه، دوره‌ای و سالانه خشکسالی و نیز حداکثر تداوم خشکسالی و حداکثر حجم خشکسالی در سطوح آستانه ۷۰ و ۹۰٪ منحنی تداوم جریان هر یک از ایستگاه‌ها استخراج شدند. سپس جهت تعیین بهترین تابع برازش داده شده از نرم‌افزار Easyfit استفاده شد. در نرم‌افزار Easyfit بر اساس آزمون‌های ناپارامتریک جهت رتبه‌بندی و تعیین بهترین تابع توزیع، استفاده می‌شود. در واقع توسط این آزمون‌ها، مطابقت توزیع جامعه آماری با یک تابع توزیع مشخص انجام می‌شود. در این پژوهش از سه آزمون موجود در نرم‌افزار استفاده شد. بدین منظور، سری‌های حداکثر حجم و تداوم خشکسالی برآورد شده در مراحل قبل، به نرم‌افزار Easyfit وارد شدند. سپس بر اساس رتبه‌بندی انجام شده توسط Easyfit، بهترین تابع انتخاب شد. در ادامه، بر اساس احتمال وقوع حاصل از توزیع احتمالاتی $F(x)$ ، دوره بازگشت حداکثر تداوم خشکسالی و حداکثر حجم خشکسالی در سطوح آستانه ۷۰ و ۹۰٪ منحنی تداوم جریان از رابطه (۶) محاسبه شد.

$$T = \frac{1}{F(x)} \quad (6)$$

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- داده‌های آماری

پس از بررسی همگنی داده‌ها و بازسازی داده‌های ایستگاه محمدحاجی (با استفاده از نرم‌افزار SPSS و روش رگرسیون)



شکل ۲- شبیه‌سازی خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از Vensim

Fig. 2 Hydrological drought simulation using Vensim Professional

پس از ورود آمار دبی روزانه، محاسبه احتمالات و ترسیم

۳-۳- تعیین سطح آستانه

خشکسالی را با تداوم‌های گوناگون تجربه نموده است.

جدول ۲- مقادیر حد آستانه دبی در سطح ۷۰ و ۹۰٪ منحنی تداوم جریان در حوضه دورود-بروجرد

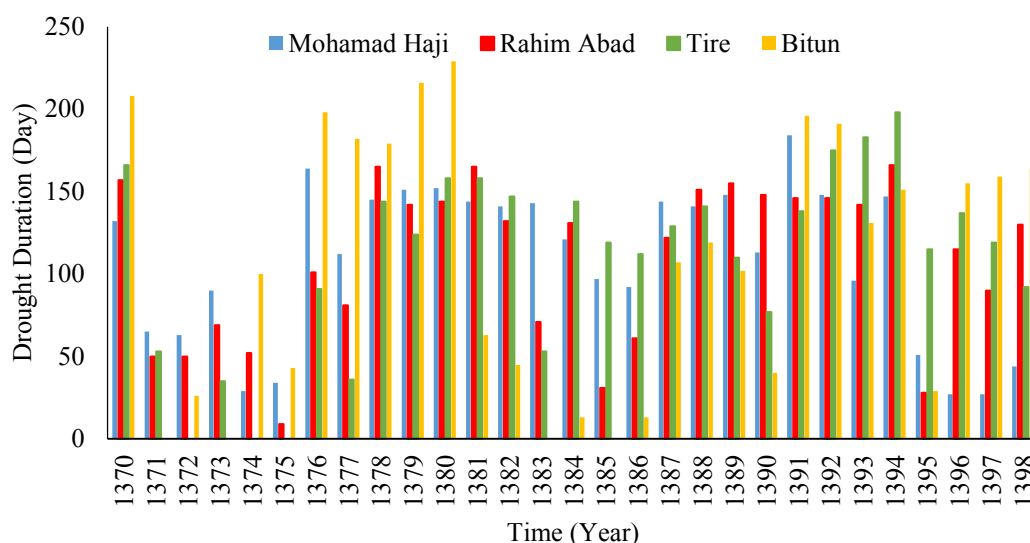
Table 2 Threshold limit discharge at the 70 and 90% level of the flow duration curve in Dorud-Borujerd basin

Station	basin	
	$Q_{70} (m^3/s)$	$Q_{90} (m^3/s)$
Bitun	0.06	0.02
Tire	2.18	0.96
Mohamad Haji	0.66	0.34
Rahim Abad	1.21	0.18

منحنی تداوم جریان در محیط Vensim، حد آستانه Q_{70} و Q_{90} تعیین شد. مقادیر حد آستانه Q_{70} و Q_{90} در جدول (۲) آمده است.

۳-۴- تداوم خشکسالی

در این مرحله با در نظر گرفتن سطوح آستانه و مقادیر دبی روزانه، تعداد روزهای خشک، به عنوان مبنای محاسبات، جهت محاسبه تداوم خشکسالی طی دوره‌های موجود استخراج شد. شکل (۳) تداوم خشکسالی سالانه در آستانه Q_{70} در کل ایستگاه‌های منطقه را نمایش می‌دهد. همان‌گونه که از شکل (۳) مشخص است، کل دوره شبیه‌سازی،

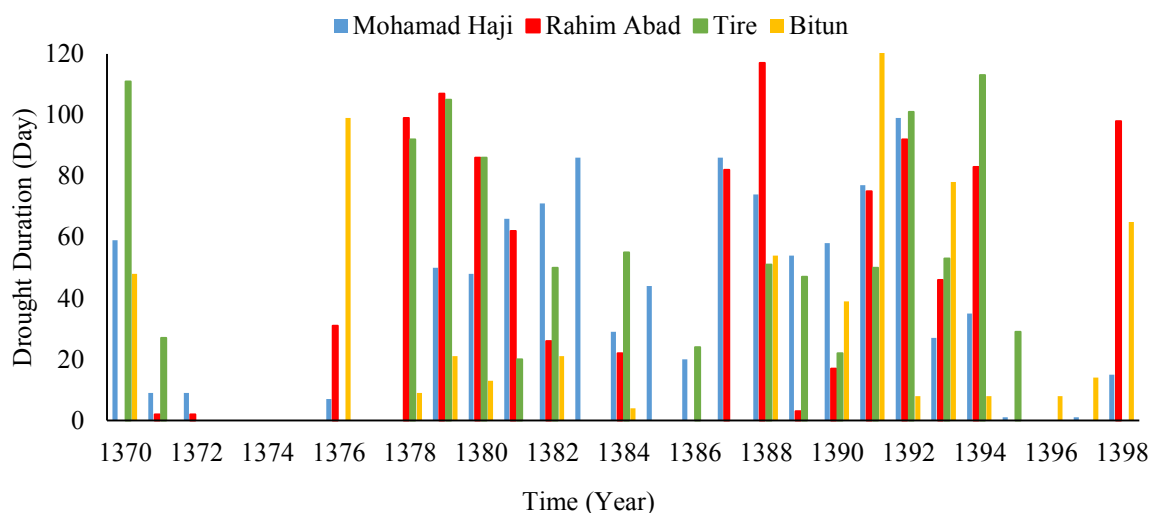


شکل ۳- تداوم خشکسالی دبی ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی در سطح آستانه ۷۰٪ منحنی تداوم جریان

Fig. 3 Discharge drought duration in the study area stations at the 70% of the flow duration curve

سال‌های ۱۳۷۸ الی ۱۳۸۰ و همچنین ۱۳۹۱ الی ۱۳۹۴ خشکسالی در کل ایستگاه‌ها تداوم بیشتری داشته است. در سال ۱۳۷۷ و از سال ۱۳۷۱ الی ۱۳۷۶ و ۱۳۹۵ الی ۱۳۹۷ تداوم خشکسالی نزدیک به صفر بوده است. در واقع، منطقه رفتار مشابهی را در کل دوره شبیه‌سازی خشکسالی هیدرولوژیک در سطوح آستانه دبی ۷۰ و ۹۰٪ منحنی تداوم جریان از خود نشان می‌دهد. در این شکل نیز، رفتار ایستگاه بیاتون در ثبت تعداد روزهای خشک همانند سطح آستانه ۷۰٪ است. مطابق شکل (۴) ایستگاه بیاتون بیشترین تداوم خشکسالی در آستانه ۹۰٪ منحنی تداوم جریان را با ۱۲۳ day خشک در سال ۱۳۹۱ به خود اختصاص داده است. دلیل این اتفاق در میزان دبی عبوری از ایستگاه بیاتون است که نسبت به دیگر ایستگاه‌های واقع در منطقه از جریان رودخانه بسیار کمتری برخوردار است.

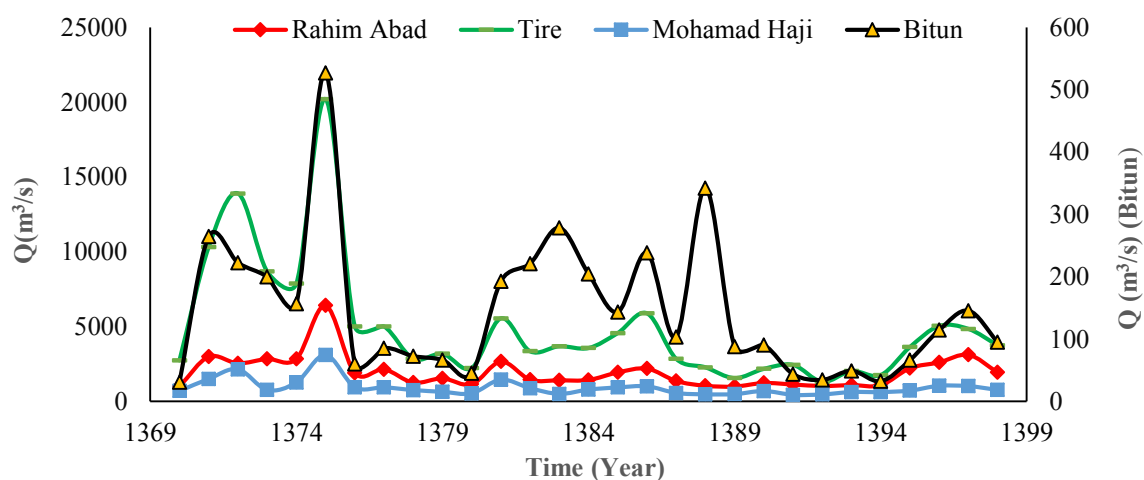
همچنین در کل منطقه بیشترین تداوم‌ها طی سال‌های ۱۳۷۶ الی ۱۳۸۰ و نیز طی سال‌های ۱۳۹۱ الی ۱۳۹۸ غیر از سال ۱۳۹۵ اتفاق افتاده است. با مقایسه تداوم خشکسالی متناسب با دبی‌های ثبت شده، ایستگاه بیاتون در سطح آستانه ۷۰٪ منحنی تداوم جریان شدت بیشتری از خود نشان داده است. به‌گونه‌ای که در سال ۱۳۸۰ با حداکثر مقدار نسبت به کل ایستگاه‌ها و کل دوره، ۲۲۹ day تداوم خشکسالی در منطقه را ثبت نموده است. از طرفی این ایستگاه طی سال ۱۳۹۰ تداوم خشکسالی کمتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها داشته است. جهت بررسی دقیق‌تر تداوم خشکسالی در سطح آستانه ۹۰٪ منحنی تداوم جریان در شکل (۴) آمده است. با مشاهده شکل (۴) می‌توان دریافت که در کل دوره تداوم خشکسالی نسبت به سطح آستانه ۷۰٪ کمتر است که البته این اتفاق به دلیل کمبود مقادیر دبی در سطح آستانه ۹۰٪ منحنی تداوم جریان است. طی



شکل ۴- تداوم خشکسالی دبی ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی در سطح آستانه ۹۰٪ منحنی تداوم جریان
Fig. 4 Discharge drought duration in the study area stations at the 90% of the flow duration curve

عبوری رودخانه در ایستگاه‌های رحیم‌آباد و تیره دارای روند مشابهی است با این تفاوت که جریان در ایستگاه تیره دارای حداکثر مقدار در کل منطقه و همچنین دارای مقادیر بیشتری نسبت به دبی عبوری از ایستگاه رحیم‌آباد می‌باشد. طی سال‌های ۱۳۷۱ الی ۱۳۷۵ نیز به دلیل افزایش دبی نسبت به کل دوره در تمام ایستگاه‌ها تداوم خشکی حداقلی ثبت شده است. از طرفی به نظر می‌رسد زمانی که میزان جریان عبوری از یک ایستگاه دارای افت‌وخیز مشهودی باشد، تداوم خشکسالی نمایان خواهد شد. در ایستگاه محمد حاجی در سال ۱۳۸۳ در پی توالی افت دبی از ۱۴۵۶ به $5.08 \text{ m}^3/\text{s}$ و همچنین افت دبی در سال ۱۳۸۷ از میزان $10.15 \text{ m}^3/\text{s}$ به ۵۶۸ تداوم خشکسالی با مقدار ۸۶ day در سطح دبی ۹۰٪ منحنی تداوم جریان رخ داده است.

شکل (۵) دبی سالانه ایستگاه‌های حوضه دورود-بروجرد و جدول (۳) حداقل و حداکثر دبی عبوری از ایستگاه‌های واقع در منطقه را نشان می‌دهند. با مقایسه مقادیر دبی کاملاً مشخص است که جریان رودخانه بیاتون دلیل تداوم خشکی طی کل دوره می‌باشد. اما علی‌رغم میزان کم دبی این ایستگاه، از سال ۱۳۸۱ الی ۱۳۹۰ تداوم خشکی در ایستگاه بیاتون کمتر از سایر ایستگاه‌ها می‌باشد. روند افزایشی دبی از سال‌های ۱۳۸۱ الی ۱۳۹۰ در این رودخانه، سبب شده است تداوم خشکی نسبت به سایر ایستگاه‌ها طی این دوره، کاهش داشته باشد. در خصوص دبی ایستگاه‌های رحیم‌آباد و تیره می‌توان مشاهده نمود که تداوم خشکسالی در این رودخانه‌ها، رفتار مشابهی را در سطوح آستانه ۷۰ و ۹۰٪ از خود نشان می‌دهند. همانطور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، جریان



شکل ۵- جریان رودخانه سالانه ایستگاه‌های رحیم‌آباد، تیره، محمد حاجی و بیاتون
Fig. 5 The annual river discharge of the Rahim Abad, Tire, Mohamad Haji and Bitun Station

بررسی قرار نگیرد، دلیلی بر شدت بیشتر خشکسالی، در تداوم‌های بیشتر نیست. در ادامه، حجم خشکسالی در دبی ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی محاسبه و تصویر شده‌اند.

۳-۵- حجم خشکسالی

در این مرحله نیز حجم خشکسالی می‌تواند برای هر دوره زمانی مشخص به وسیله مدل، محاسبه شود. این دوره‌ها می‌تواند کل دوره، ارقام سالانه یا دوره خاص دیگری باشد. شکل (۶) حجم خشکسالی در سطح آستانه دبی ۷۰٪ منحنی تداوم جریان ایستگاه‌های حوضه دورود-بروجرد را نشان می‌دهد.

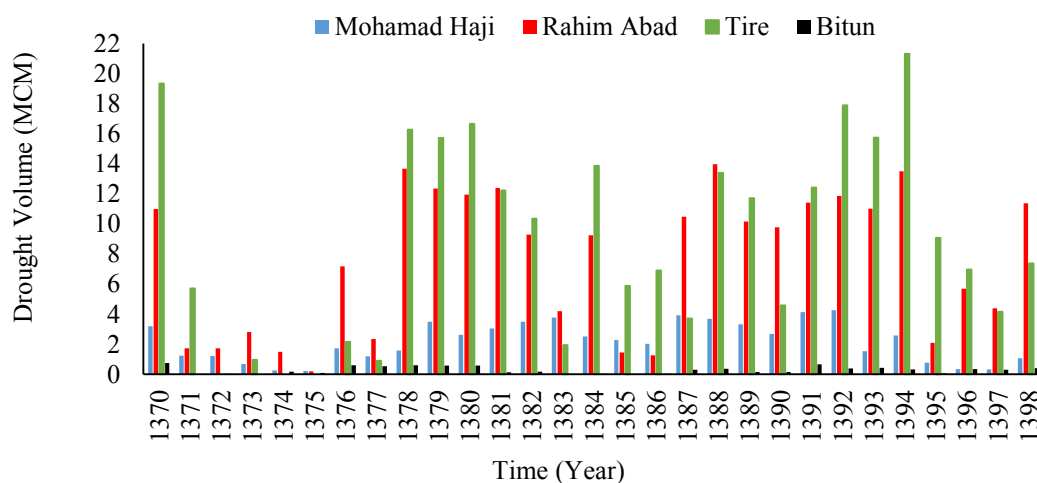
جدول ۳- مقادیر دبی‌های حداکثر و حداقل سالانه در

ایستگاه‌های واقع در حوضه دورود-بروجرد

Table 3 The maximum and minimum annual discharge values at the stations located in the Dorud-Borujerd basin

Row	Station	Q _{Max} (m ³ /s)	Q _{Min} (m ³ /s)
1	Bitun	527	31
2	Tire	20196	1310
3	Mohamad Haji	3106	444
4	Rahim Abad	6416	1005

بررسی تداوم خشکسالی تنها به تعداد روزهای خشک و توالی آنها اشاره می‌کند و تا زمانی که حجم خشکسالی نیز مورد



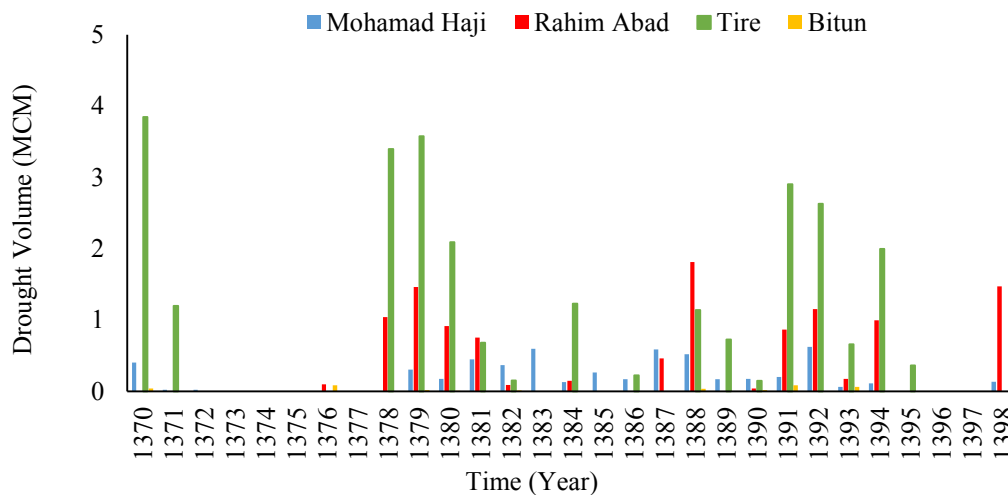
شکل ۶- حجم خشکسالی دبی ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی در سطح آستانه ۷۰٪ منحنی تداوم جریان

Fig. 6 Discharge of the drought volume in the study area stations at the 70% of the flow duration curve

از آنجا که ایستگاه تیره در پایین‌دست حوضه واقع شده است و جریان‌های ورودی به این ایستگاه تجمیع کل خروجی از بالادست می‌باشد، دارای دبی‌های کاملاً متفاوتی از سایر ایستگاه‌هاست. از طرفی روند دبی در شکل (۷) نشان می‌دهد جریان عبوری از این ایستگاه دارای مقادیر حداکثر m^3/s ۲۰۱۹۶ و حداقل m^3/s ۱۳۱۰ (۶٪ دبی حداکثر) است که تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای دارند. در واقع از ابتدای دوره تا سال ۱۳۷۶ مقادیر دبی دارای این ویژگی است که مقادیر حد بالا و پایین نزدیک به یکدیگر دارد و نسبت به سال ۱۳۷۶ الی ۱۳۹۸ از مقادیر بالاتری برخوردار است. از آنجا که حدود ۶۰٪ طول دوره (از سال ۱۳۷۶ الی ۱۳۹۸)، دبی مقادیر کمتری داشته است، این امر شیب منحنی تداوم جریان این ایستگاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌گونه‌ای که دبی حد آستانه ۷۰ و ۹۰٪ منحنی تداوم جریان دارای ارقام بالاتری نسبت به زمانی است که دبی‌ها از یک روند مشابه و حدود

مطابق شکل (۶) بیش‌ترین حجم خشکسالی طی دوره‌های ۱۳۷۸ الی ۱۳۸۲ و نیز ۱۳۹۱ الی ۱۳۹۴ اتفاق افتاده است. جریان‌های عبوری از ایستگاه تیره و سپس ایستگاه رحیم‌آباد دارای بیش‌ترین حجم خشکسالی بوده‌اند. در سال ۱۳۹۴ تیره تداوم خشکسالی معادل ۱۹۸ day را با بیش‌ترین حجم خشکسالی معادل MCM ۲۱/۳۲۰ تجربه کرده است. حجم خشکسالی در سطح آستانه دبی ۹۰٪ منحنی تداوم جریان در شکل (۷) نیز تأیید این مطلب است که به ترتیب تیره و سپس رحیم‌آباد نسبت به دبی دیگر ایستگاه‌ها، دارای حداکثر حجم خشکسالی می‌باشند و این در حالی است که دبی‌های ایستگاه بیاتون نسبت به جریان عبوری از سایر ایستگاه‌ها، کمترین حجم خشکسالی را داشته است. در حالی که بیش‌ترین تداوم خشکسالی در سطح ۷۰٪ منحنی تداوم جریان مربوط به این ایستگاه بوده است.

پایین تری در کل دوره، پیروی کنند.



شکل ۷- حجم خشکسالی دبی ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی در سطح آستانه ۹۰٪ منحنی تداوم جریان

Fig. 7 Discharge of the drought volume in the study area stations at the 90% of the flow duration curve

به ذکر است در مواردی که دبی‌ها در ایستگاه‌ها نسبت به کل دوره ارقام بالاتری داشته‌اند، همانند سال‌های ۱۳۷۱ الی ۱۳۷۵، خشکسالی با حجم حداقلی رخ داده است.

۳-۶- آنالیز فراوانی

زمانی که حدود تکرار وقایع خشکسالی در اختیار باشد، تصمیم‌گیری و مدیریت بحران با تدبیر بیشتری صورت خواهد گرفت. بدین منظور با استفاده از نرم‌افزار ونسیم مقادیر حداکثر تداوم و حداکثر حجم خشکسالی سالانه استخراج شدند. سپس مقادیر ذکر شده به نرم‌افزار Easyfit وارد و مناسب‌ترین توزیع با استفاده از آزمون کای‌اسکوآر برای هر یک از سری‌های حداکثر سالانه حجم و تداوم خشکسالی انتخاب شد. مناسب‌ترین توزیع آماری ایستگاه‌های واقع در منطقه در جدول (۴) آمده است.

تحت این شرایط در طول دوره و در مقیاس روزانه نمودار مقادیر دبی از تغییرات قابل‌ملاحظه و نوسانات بیشتر، در فاصله زمانی کمتر برخوردار خواهد بود. این امر سبب می‌شود حجم خشکسالی به دلیل تفاوت چشمگیر مقادیر ماکزیمم و مینیمم دارای مقادیر بالا و تداوم دوره کمتری داشته باشد. در واقع خشکسالی با حجم بالا و در دوره‌های زمانی کوتاه‌تر اتفاق خواهد افتاد. این امر در ایستگاه رحیم‌آباد و محمدحاجی به ترتیب با همان روند و شدت کمتر تکرار شده است. چراکه به ترتیب ایستگاه رحیم‌آباد و محمدحاجی دارای مقادیر دبی عبوری کمتری می‌باشند. در خصوص ایستگاه بیاتون چون در کل دوره مقادیر دبی حداکثر و حداقل با نوسانات کمتری تکرار شده است، این اتفاق سبب خواهد شد، دبی سطح آستانه ۷۰ و ۹۰٪ منحنی تداوم جریان به دبی‌های کل دوره نزدیک‌تر و قاعدتاً تداوم بیشتر و حجم کمتری از خشکسالی را تجربه کند. البته لازم

جدول ۴- مناسب‌ترین توزیع آماری هر یک از سری‌های حداکثر سالانه حجم و تداوم خشکسالی

Table 4 The most appropriate statistical distribution for each of the annual maximum series of drought volume and duration

Station	Maximum deficiency volume		Maximum Drought duration	
	Q ₇₀	Q ₉₀	Q ₇₀	Q ₉₀
Biaton	Gen Extreme value	Gen Pareto	Gen Pareto	Beta
Tire	Gen Extreme value	Gen Pareto	Johnson SB	Normal
Mohamad Haji	Normal	Gen Extreme value	Log.logestic	Gen Extreme value
Rahim Abad	Gen Pareto	Gen Pareto	Gen Extreme value	Gen Pareto

بازگشت براساس شدیدترین حجم خشکسالی (در سطح آستانه ۷۰٪ منحنی تداوم جریان)، از ۹ الی ۱۴ year در ایستگاه‌های گوناگون متغیر است، این بدان معنا است که

نتایج حاصل از آنالیز فراوانی در سطح آستانه ۷۰ و ۹۰٪ منحنی تداوم جریان با استفاده از نوع توزیع محاسبه شده و نتایج حاصل در جدول (۵) آمده است. طبق جدول (۵) دوره

داشت. لذا در منطقه مطالعاتی حوضه دورود-بروجرد حداکثر فاصله زمانی شدیدترین تداوم خشکسالی، ۲۵ year در سطح عنوان شده خواهد بود. همانند حجم خشکسالی، کمترین مقدار حداکثر تداوم خشکسالی، نیز همیشگی (دوره بازگشت 1 year) و برای تمام ایستگاه‌ها رخ خواهد داد.

شدیدترین حجم خشکسالی‌ها در فاصله زمانی حداکثر 14 و کمترین مقدار حداکثر حجم خشکسالی، همیشگی (دوره بازگشت 1 year) و در تمام ایستگاه‌های منطقه اتفاق می‌افتد. در خصوص تداوم خشکسالی‌ها، ماکزیمم یا در واقع شدیدترین خشکسالی در سطح منطقه با آستانه ۷۰٪ منحنی تداوم جریان، دوره بازگشتی بین ۱۱ تا ۲۵ year خواهد

جدول ۵- نتایج آنالیز فراوانی در حد آستانه ۷۰٪ و ۹۰٪ منحنی تداوم جریان

Table 5 Frequency analysis results at the threshold of 70% and 90% flow duration curve

Station	Longest Drought		Most Severe Drought	
	Max & Min's Drought Volume (m ³ /s)	Max & Min's Return Period (Years)	Max and Min's Drought Duration (Days)	Max & Min's Return Period (Years)
70% flow duration curve				
Bitun	7.10-9.43	1-9	1-151	1-9
Tire	0.39-198.63	1-12	1-134	1-19
Mohamad Haji	2.00-42.66	1-13	1-123	1-25
Rahim Abad	2.32-153.63	1-14	8-148	1-21
90% flow duration curve				
Bitun	0.002-0.97	1-4	1-98	1-2
Tire	0.089-44.53	1-4	1-111	1-5
Mohamad Haji	0.013-6.82	1-6	1-86	1-8
Rahim Abad	0.42-20.93	1-4	1-116	1-5

می‌کنند. همچنین از بررسی نتایج این‌گونه استنباط می‌شود که دوره بازگشت خشکسالی‌ها براساس تحلیل تداوم و تحلیل حجم در همه ایستگاه‌ها متفاوت بوده‌است و این بدان علت است که دوره‌های خشک که حداکثر حجم را داشته‌اند، دارای حداکثر تداوم نبوده‌اند. (Karimi et al. (2016 و Gheisouri et al. (2019 نیز در تحقیق خود اشاره داشته‌اند که لزوماً تداوم و حجم خشکسالی دارای یک توزیع نبوده و نیز دوره‌های خشک همزمان دارای حجم و تداوم حداکثری نیستند. در این پژوهش نیز اشاره شد به دلیل شیب منحنی تداوم جریان و تغییر سطح آستانه، حداکثر تداوم و حجم خشکسالی همزمان رخ نخواهند داد. آنچه که از اهمیت بالایی برخوردار است این است که در منطقه پژوهش حاضر، به‌طور پیوسته و دائمی در تمام رودخانه‌های منطقه حتی رودخانه پرآب تیره خشکسالی رخ داده است به‌گونه‌ای که سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۴ به لحاظ تداوم و حجم سال‌های بسیار خشک اعلام شد. (Ahmadi et al. (2021 نیز در تحقیق خود که به مقایسه روش‌های خشکسالی هیدرولوژیکی پرداخته‌اند، اشاره داشته‌اند که حوضه دورود-بروجرد دارای خشکسالی‌های پیوسته بوده و با بررسی شاخص خشکسالی مؤثر^۱ (EDI) سال‌های فوق را بسیار

جدول (۵) نتایج حاصل از آنالیز فراوانی دبی ۹۰٪ منحنی تداوم جریان را نشان می‌دهد. طبق جدول (۵) شدیدترین حجم خشکسالی در منطقه با دوره بازگشت ۴ الی ۶ year و کمترین مقدار حجم خشکسالی، به‌طور مداوم (دوره بازگشت 1 year) رخ خواهد داد. از طرفی شدیدترین تداوم خشکسالی نیز بین ۲ الی ۸ year تکرار خواهد شد و کمترین مقدار حداکثر تداوم خشکسالی، معادل ۰/۰۰۲ m³/s به‌طور پیوسته ادامه دارد.

مطابق جدول (۵) حداکثر تداوم خشکسالی در سطح ۷۰ و ۹۰٪ منحنی تداوم جریان با تعداد ۱۵۱ و ۱۱۶ day، به ترتیب متعلق به ایستگاه‌های بیاتون و رحیم‌آباد است. دوره بازگشت این وقایع نیز به ترتیب، ۹ و ۵ year است. در خصوص حجم خشکسالی نیز حداکثر حجم، در سطح ۷۰ و ۹۰٪ منحنی تداوم جریان، متعلق به جریان‌های ایستگاه تیره است که مقادیری به ترتیب معادل ۱۹۸/۳ و ۴۴/۵۳ m³/s خواهد داشت. در سطح آستانه ۷۰ و ۹۰٪ منحنی تداوم جریان این مقادیر هر ۱۲ و ۴ year یکبار رخ خواهند داد. نتایج آنالیز فراوانی در کل ایستگاه‌ها، صحت برآورد تداوم و حجم خشکسالی را توسط نرم‌افزار Vensim تأیید می‌کند. نتایج آنالیز فراوانی نشان می‌دهد، در این منطقه حداکثر تداوم و حجم خشکسالی از توزیع‌های آماری متفاوتی تبعیت

¹Effective Drought Index

باشد:

۱- در بیش تر سال ها در این حوضه تداوم خشکسالی به طور پیوسته هرچند برای مدت کوتاهی اتفاق افتاده است. با توجه به ثبت حداکثر مقادیر تداوم خشکسالی دبی در ایستگاه بیاتون، معادل ۲۲۹ و ۱۲۳ day به ترتیب در آستانه ۷۰ و ۹۰٪ منحنی تداوم جریان این ایستگاه بیشترین تداوم خشکی را به خود اختصاص داده است. لذا در اقلیم مشابه حوضه دورود-بروجرد، رودخانه های کم آب، خشکی با تداوم بیشتر در حجم خشکسالی کمتر اتفاق می افتد.

۲- در خصوص حجم خشکسالی ایستگاه تیره با ثبت حجم معادل ۲۱/۳۲۰ و ۳۸/۴۷ MCM به ترتیب برای سطوح آستانه ۷۰ و ۹۰٪ منحنی تداوم جریان، بیشترین حجم را به خود اختصاص داده است

۳- منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم های کاملاً متفاوت و مستعد خشکسالی است. این حوضه در ایستگاه های بیاتون و تیره به ترتیب با ارقام حداکثر دبی سالانه ۵۲۷ و ۲۰۱۹۶ m³/s خشکسالی را با تداوم و حجم حداکثری تجربه نموده است. لذا در حوضه های با اقلیم متفاوت در سرشاخه های پرآبی که خشکسالی هیدرولوژیکی را تجربه می کنند، حجم (بزرگی) خشکسالی در تداوم های کوتاه رخ خواهد داد.

۴- دوره بازگشت حداکثر تداوم و حجم خشکسالی در حوضه دورود-بروجرد حداقل ۱ year بوده است. همچنین در سطوح دبی ۷۰ و ۹۰٪ منحنی تداوم جریان دوره بازگشتی به ترتیب معادل ۲۵ و ۸ year برای تداوم و نیز ۱۴ و ۴ year برای حجم خشکسالی برآورد شد. لذا حداقل ۴ year یکبار رودخانه پرآب تیره خشکسالی هیدرولوژیکی را با کاهش حجم خود نشان خواهد داد.

دسترسی به داده ها

داده های استفاده شده یا تولید شده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که، هیچ گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

Abhishek, A., Channaveerappa, B., & Dodamani, M. (2016). Comparison of two hydrological drought indices. *Perspect. Sci.*, 8, 626-628.

خشک اعلام نمودند. لذا این بررسی نیز تأیید این مطلب است که خشکسالی در حوضه دورود بروجرد به طور پیوسته و دائمی در تمام رودخانه های منطقه رخ داده است و با وجود رودخانه ای پرآب همچون تیره، وقوع خشکسالی در کل منطقه به طور مشخص از سال ۱۳۹۱ شروع شده و در آینده نیز با شدت بیشتری ادامه خواهد داشت. در تحقیق حاضر، خشکسالی قبل از سال ۱۳۹۱ در دبی های ایستگاه های منطقه مشاهده گردید که در تحقیق Ahmadi et al. (2021) نیز به آن اشاره شده است. اما لزوماً شدت و حجم خشکسالی دبی ها در کل ایستگاه های منطقه بطور یکسان و همزمان رخ نداده است. لذا مطلب حائز اهمیت، در تفاوت شدت حجم و تداوم خشکسالی، در دبی ایستگاه های تحقیق حاضر بود. به گونه ای که خشکسالی با حجم بالا و در دوره های زمانی کوتاه تر در جریان های ایستگاه پر آب تیره مشاهده شد که تفاوت قابل ملاحظه ای در دبی حداکثر و حداقل آن با رقم ۱۸۸۸۶ m³/s وجود داشت. این امر به دلیل شیب منحنی تداوم جریان و نوع نوسانات دبی در طول دوره بود. شدت حجم و تداوم و نیز وقوع خشکسالی در دبی هر ایستگاه وابسته به سطوح آستانه و سطوح آستانه، وابسته به شیب منحنی تداوم جریان و تفاوت مقادیر دبی حداکثر و حداقل و نیز نوسانات دبی است. در ایستگاه های رحیم آباد و محمدحاجی که دارای مقادیر دبی عبوری کمتر و روندی مشابه دبی ایستگاه تیره بودند، تداوم و حجم خشکسالی با شدتی کمتر تکرار گردید. از طرفی در ایستگاه بیاتون که مقادیر دبی حداکثر و حداقل در کل دوره به گونه ای تکرار شده است که تفاوت چشمگیری نداشته و نیز از نوسانات کمتری برخوردارند، دبی سطوح آستانه به دبی های کل دوره نزدیکتر و تداوم بیشتر و حجم کمتری از خشکسالی ثبت گردید.

۴- نتیجه گیری

بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی هیدرولوژیکی در چهار ایستگاه حوزه آبخیز دورود-بروجرد در دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۸ هدف پژوهش حاضر بوده است که در این راستا با استفاده از نرم افزار Vensim روش حد آستانه ثابت شبیه سازی شده است. نتایج کلی پژوهش به صورت زیر می

DOI: [10.1016/j.pisc.2016.06.039](https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.06.039).

Ahmadi, M., Paimozd, S., & Rahimi, M. (2021). Comparison of hydrological and

- meteorological drought monitoring using RDI and EDI indices. *Environ. Water Eng.*, 7(4), 683–696. DOI: [10.22034/jewe.2021.276629.1531](https://doi.org/10.22034/jewe.2021.276629.1531) [In Persian].
- Beiranvand, I., Gabdomkar, A., Abbasi, A., & Khodaghali, M. (2022). Statistical-Synoptic Analysis of April 2019 Heavy Rainfall in Doroud-Boroujerd Basin. *J. Nat. Environ. Hazard.*, 11(32), 169-188. DOI: [10.22111/jneh.2022.38564.1806](https://doi.org/10.22111/jneh.2022.38564.1806) [In Persian].
- Byazedi, M., & Saghafian, B. (2011). Regional analysis of river flow drought in the southwestern regions of the country. *Iran-Watershed Manag. Sci. Eng.*, 14(5), 37-52 [In Persian].
- Bonacci, O. (1993). Hydrological Identification of drought. *Hydrol. Process.*, 7, 249-262. DOI: [10.1002/hyp.3360070303](https://doi.org/10.1002/hyp.3360070303).
- Clancy, T. (2018). Systems thinking: Three system archetypes every manager should know. *IEEE Eng. Manag. Rev.*, 4(6), 32-41. DOI: [10.1109/EMR.2018.2844377](https://doi.org/10.1109/EMR.2018.2844377).
- Edmund, T. (2011). Defining the threshold level of hydrological drought in lake catchments. *Limnol. Rev.*, 11(2), 81-88. DOI: [10.2478/v10194-011-0029-x](https://doi.org/10.2478/v10194-011-0029-x).
- Fleig, A. K., Tallaksen, L. M., Hisdal, H., & Demuth, S. (2006). A global evaluation of streamflow drought characteristics. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 10(4), 535-552. DOI: [10.5194/hess-10-535-2006](https://doi.org/10.5194/hess-10-535-2006).
- Gheisouri, M., Soltani-Gerdefaramarzi, S., & Ghasemi, M. (2019). Assessment of Meteorological and Hydrological Drought and its Effect on Water Quality: (Case Study: Godarkhosh River). *Irrig. Sci. Eng.*, 41(4), 91-105. DOI: [10.22055/jise.2017.20927.1499](https://doi.org/10.22055/jise.2017.20927.1499) [In Persian].
- Ghorbani, M., Mozayyan, M., & Zarei, H. (2019). Hydrological drought investigation of Armand River using low flows analysis. *J. Water Soil Conserv.*, 26(3), 247-263. DOI: [10.22069/jwsc.2019.15189.3037](https://doi.org/10.22069/jwsc.2019.15189.3037) [In Persian].
- Hisdal, H., Clausen, B., Gustard, A., Peters, E., & Tallaksen, L. M. (2004). Hydrological Drought Characteristics. Elsevier Science, The Netherlands, Developments in Water Science, chap. 5, 139-198.
- Hisdal, H., & Tallaksen, L. M. (2003). Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: A case study for Denmark. *J. Hydrol.*, 281(3), 230-247. DOI: [10.1016/S0022-1694\(03\)00233-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00233-6).
- Jamal, M., Ebrahimi, H., & Mousavi Jahrom, H. (2020). Hydrological drought index correction based on determining the most appropriate probability distribution. *J. Water Soil Resour. Conserv.*, 9(5), 135-152. DOI: [20.1001.1.22517480.1399.9.4.9.3](https://doi.org/20.1001.1.22517480.1399.9.4.9.3) [In Persian].
- Karimi, M., Shahedi, K., & Khosravi, K. (2016). Investigation of meteorological and hydrological drought using drought indicators in the Gharezu watershed. *Earth Space Phys.*, 1(42), 159-170 [In Persian].
- Lashani Zand, M., Parvaneh B., & Beiranvand, F. (2011). Climatic zoning of Lorestan Province using statistical methods and determining the most suitable experimental method. *Nat. Geogra. Quart.*, 4(9), 89-106 [In Persian].
- Mortezaei, G. H., lotfi, J., khalighi Sigarodi, S., Saravi, M., & Nazari Samini, A. (2020). Analysis and evaluation of hydrological drought indicators in Kurdistan Province. *J. Watershed Eng. Manag.*, 12(2), 441-453. DOI: [10.22092/ijwmse.2019.123305.1566](https://doi.org/10.22092/ijwmse.2019.123305.1566) [In Persian].
- Mozafari, M., Hosseini, Z., & Fijani, E. (2022). Assessing the role of meteorological and hydrological droughts on the drying up of the Bakhtegan and Tashk lakes. *J. Nat. Environ. Hazard.*, 11(34). DOI: [10.22111/jneh.2022.39448.1835](https://doi.org/10.22111/jneh.2022.39448.1835).
- Paimozd, S. (2021). Simulating surface water allocation and identifying systemic archetype using vensim software: A case study of Qorveh Dehgolan's basin. *Desert Ecosyst. Eng. J.*, 10(31), 123-141. DOI: [10.22052/DEEJ.2021.10.31.61](https://doi.org/10.22052/DEEJ.2021.10.31.61) [In Persian].
- Salajegheh, A., Mesbah zade, T., Soleimani sardoo, F., & Alipour, N. (2017). Assessment of hydrological drought using constant threshold level method (Case Study: karaj Dam Basin). *Iran-Watershed Manag. Sci. Eng.*, 11(39), 89-99. DOI: [20.1001.1.20089554.1396.11.39.10.8](https://doi.org/20.1001.1.20089554.1396.11.39.10.8) [In Persian].
- Staudinger, M., Weiler, M., & Seibert, J. (2015). Quantifying sensitivity to droughts –an

- experimental modeling approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19(3), 1371–1384. DOI: [10.5194/hess-19-1371-2015](https://doi.org/10.5194/hess-19-1371-2015).
- Teimoori, M., Mirdamadi, S. M., & Hosseini, S. J. F. (2019). Modeling of climate change effects on groundwater resources: the application of dynamic systems approach. *Int. J. Agri. Manag. Develop.*, 9(2), 107-118. DOI: [20.1001.1.21595852.2019.9.2.3.3](https://doi.org/10.1001.1.21595852.2019.9.2.3.3).
- Yarahmadi, J., & Rostami zad, G. H. (2019). Analysis of hydrological droughts in the north of Urmia Lake. *Hydrogeomorph.*, 6(19), 79-100. DOI: [20.1001.1.23833254.1398.6.19.5.6](https://doi.org/10.1001.1.23833254.1398.6.19.5.6).
- [In Persian].
- Zandifar, S., Dragahian, F., Fijani, E., & Naeimi, M. (2021). The trend of groundwater variations and drought in the Karkheh Watershed. *Watershed Manag. Res.*, 34(3), 53-73. DOI: [10.22092/wmej.2021.343333.1352](https://doi.org/10.22092/wmej.2021.343333.1352).
- Zhang, L., Jiao, W., Zhang, H., Huang, C., & Tong, Q. (2021). Studying drought phenomena in the Continental United States in 2011 and 2012 using various drought indices. *Remote Sens. Environ.*, 190(1), 96-106. DOI: [10.1016/j.rse.2016.12.010](https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.12.010).

How to cite this paper:

Alishahi Chegeni, M., Paimozd, S., and Rahimi, M. (2023). Dynamic analysis of hydrological drought using constant threshold method and vensim software. *Environ. Water Eng.*, 9(4), 467-484. DOI: [10.22034/EWE.2023.376058.1832](https://doi.org/10.22034/EWE.2023.376058.1832).



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Research Paper

Simulation and Determination of Hydrological Balance Components in The Upstream of Gheshlagh Dam using SWAT Model

Sonia Mehri¹, Hamid Reza Moradi² and Raoof Mostafazadeh³

¹Ph.D Scholar, Department of Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modarress University, Noor City, Mazandaran, Iran

²Professor, Department of Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modarress University, Noor City, Mazandaran, Iran

³Assoc. Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Article information

Received: September 03, 2022

Revised: January 21, 2023

Accepted: January 23, 2023

Keywords:

Resource Management

SUFT-2 Algorithm

Water Balance

Watershed Hydrology

*Corresponding author:

hmradi@modares.ac.ir



Abstract

The aim of this study was to simulate the runoff in the upstream of Chehlgezi hydrometry station in the Gheshlagh Dam watershed, Kurdistan province using SWAT hydrological model. In addition, the results have been evaluated using selected efficiency criteria in the calibration and validation stages, then the performance of the SWAT model is evaluated in simulating the monthly runoff in upland of Gheshlagh Dam. The input model parameters were optimized using the SWAT-CUP optimizer. The calibration and validation of the model was done using SUFI-2 algorithm during 1989-2016 and 2016-2018 periods, respectively. The sensitivity analysis shows that the SCS runoff curve number, Manning's "n" value for overland flow, minimum and maximum yearly rate of snowmelt, minimum water depth in the shallow aquifer for "revap" were sensitive parameters in flow simulation. The Nash-Sutcliffe and R^2 values were 0.62 and 0.65 in the calibration stage, and 0.61 and 0.68 in validation stage, respectively. The results proved the efficiency of the SWAT in monthly flow simulating. According to the results, 55% of the total rainfall entering the watershed has been converted to evapotranspiration, 30% infiltrated into soil and stored as soil moisture, and 15% converted into surface flow component. The results provide useful information on watershed water balance. Flow simulation in different climatic conditions and land-use scenarios in the future can help to sound water resources management.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

Heterogeneous spatio-temporal distribution of fresh water and rapid population growth have caused issues in water resources management. Therefore, mathematical models have been developed to study complex hydrological

processes. The processes related to the water cycle have relatively complex relationships, as well as very extensive and different temporal and spatial changes. Therefore, the relationship between hydrologic components and the recognition of their temporal-spatial changes in



different scales, have always been of interest to managers and researchers, especially in the watershed scale. Models as important tools provide the possibility of simulating and predicting how the water cycle changes in nature and estimating the components of the water balance. Hydrological models are used for planning the sustainable use of water resources. In addition, through model implementation, it is possible to evaluate different management scenarios without spending funds and in a short time and make the best decision for watershed management. Simulation models are the latest approaches to evaluate the environmental effects of human activities, land use, and climate changes on watershed response, therefore, the dynamics of the model can increase the capacities of the model in modelling purposes. The SWAT model as a computer-based model can be considered as one of the possible solutions to improve the water resource management and environmental protection, especially the reduction of the time required for scenario analysis. The SWAT model as a semi-physical and semi-distributed hydrological model is widely used in recent years. The aim of this study was to simulate the runoff in the upstream of Chehlgezi hydrometry station in the Gheshlagh Dam watershed, Kurdistan province, Iran using SWAT hydrological model. In addition, the results have been evaluated using selected efficiency criteria in the calibration and validation stages, then the performance of the SWAT model is evaluated in simulating the monthly runoff in upland of Gheshlagh Dam.

Material and Methods

The Gheshlagh dam watershed is located in Kurdistan province, northwest Iran, at a 12-km distance to Sanandaj city. There are 36 villages in the study area. The predominant land use in the area is pasture and dry agricultural land. The surface runoff of this watershed enters the Gheshlagh dam reservoir through Chehlgezi and Khalifa Tarkhan rivers. Based on the division of the country's comprehensive water plan, this area is a part of the Sirvan river basin. The area of the Gheshlagh dam watershed leading to the dam outlet is 1062.12 km². Therefore, it is important to measure the spatial variability in hydrological components and to know the hydrological processes of the watershed. The modeling of large-scale watersheds causes different hydrological responses due to their complexity and heterogeneity compared to small watersheds.

To run the SWAT model, the terrain data, soil, land use, hydrological and meteorological data of the study area are needed. These data include rainfall and minimum and maximum temperature, relative humidity and wind speed on a daily time interval. Also, river flow data is needed for model calibration and validation which helps to increase simulation accuracy. In this research, the required information including soil map, land use and digital elevation model was received from the General Department of Natural Resources and Watershed Management of Kurdistan Province. Regarding the meteorological data, the daily rainfall data of three rain gauge stations of Chehlgezi, Khalife Tarkhan, and Hossein Abad and the temperature data of Sanandaj synoptic station for the period of 1987-2018 were obtained from the Regional Water Company and the website of the Meteorological Organization of Kurdistan Province. The input model parameters of SWAT model were optimized using the SWAT-CUP optimizer. The calibration and validation of the model was done using SUFI-2 algorithm during 1989-2016 and 2016-2018 periods, respectively. The second destructive debris flow happened in April 2019 through a 122 mm intense rainfall and thawing of snow. Consequently, check dams were filled with coarse grain sediments, and the Sijan stream morphology has notably changed in forms of erosional and depositional features. Filed observations indicated the high performance of check dams to control and manage flash floods and relevant debris flow and protect the village from damages.

Results

The sensitivity analysis shows that the SCS runoff curve number, Manning's "n" value for overland flow, minimum and maximum yearly rate of snowmelt, minimum water depth in the shallow aquifer for "revap" were sensitive parameters in flow simulation. The Nash-Sutcliffe and R² values were 0.62 and 0.65 for the calibration period and 0.61 and 0.68 for the validation period, respectively. The results proved the efficiency of the SWAT in monthly flow simulating. The results of the uncertainty test in the period of calibration (1989 to 2016) and validation (2016 to 2018) of the monthly runoff at Chehlgezi hydrometric station are presented in Table 1.

Table 1 Evaluation criteria of SWAT model for the calibration and validation periods in Chelgazi hydrometry station

Variable	Calibration				Validation			
	P-factor	R-factor	R ²	NS	P-factor	R-factor	R ²	NS
Runoff	0.45	0.57	0.65	0.62	0.42	0.65	0.68	0.61

The rainfall and runoff water balance components of Chelgazi station are shown in Fig. 1.

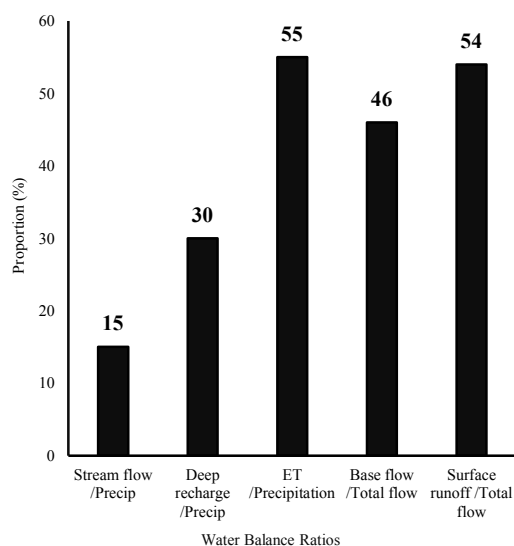


Fig. 1 The ratio of precipitation and runoff components in the water balance of Chelgazi river gauge station (1987-2018)

According to the results, 55% of the total rainfall entering the watershed has been converted to evapo-transpiration, 30% infiltrated into soil and stored as soil moisture, and 15% converted into surface flow component (Fig 1). Also, based on the results, it was found that 54% of the total runoff generated in the Chehalgezi watershed was surface runoff and 46% was converted into base flow (Fig 1). As a concluding remark, the results of the research indicate that the SWAT model has the ability to simulate the runoff of watersheds with complex and heterogeneous conditions with appropriate accuracy. It should be noted that the input data with appropriate accuracy will lead to acceptable results in river flow modeling and watershed response. Carrying out the sensitivity analysis and the appropriate calibration of the model will also have a great impact on increasing the accuracy of hydrological modeling.

Conclusions

Despite the appropriateness of the values of the model evaluation criteria in the Gheshlagh Dam watershed, in some years the simulated flow has been overestimated or underestimated compared to the observed flow and the base flow has been underestimated in some years, while there is no specific trend in the results. These inconsistencies between the simulated and observed flow are related to the complex nature of the dominant hydrological processes in the region, as well as human activities and interventions in the hydrological cycle in the study area. The results provide useful information on watershed water balance. The Gheshlagh dam watershed is of vital importance in terms of supplying drinking water to the city of Sanandaj as well as irrigation of the lands downstream of the dam. Also, the occurrence of land use change in the study area as well as the effects of climate change are some of the driving forces that make it necessary to estimate the changes in the river regime in this area. Flow simulation in different climatic conditions and land-use scenarios in the future can help to sound water resources management.

Acknowledgment

The meteorological and hydrometric data of the current research were received from the Regional Water Company of Kurdistan Province, which greatly appreciated.

Data Availability

The daily discharge data were obtained from the Regional Water Company of Kurdistan province and some data used (or produced) in this research are presented in the text of the article.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

شبیه سازی و تعیین مؤلفه های رواناب در بالادست سد قشلاق با استفاده از مدل SWAT

سونیا مهری^۱، حمیدرضا مرادی^{۲*} و رؤف مصطفی زاده^۳

^۱ دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده علوم دریایی و منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، شهرستان نور، مازندران، ایران

^۲ استاد، گروه علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده علوم دریایی و منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، شهرستان نور، مازندران، ایران

^۳ دانشیار، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۶/۱۲]
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۱۱/۰۱]
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۱۱/۰۳]

واژه های کلیدی:

الگوریتم SUFI-2
بیان آب
مدیریت منابع
هیدرولوژی آبخیز

*نویسنده مسئول:

hmradi@modares.ac.ir



هدف این پژوهش ارزیابی کارایی مدل SWAT در شبیه سازی جریان و تعیین مؤلفه های رواناب در آبخیز سد قشلاق است. با استفاده از بهینه ساز SWAT-CUP اقدام به بهینه سازی پارامترها شد. بدین منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از الگوریتم SUFI-2 به ترتیب برای سال های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۶ و ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ انجام شد. براساس نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای از جمله، شماره منحنی رواناب، ضریب مانینگ برای جریان سطحی در بالادست، حداقل و حداکثر ذوب برف در طول سال، کمینه عمق آب بیشترین تأثیر را در کارایی مدل در شبیه سازی جریان داشتند. نتایج نشان داد که مقدار NS و ضریب R^2 به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۶۵ برای دوره واسنجی و ۰/۶۱ و ۰/۶۸ برای دوره اعتبارسنجی به دست آمد. نتایج حاکی از کارایی بالایی مدل در شبیه سازی جریان ماهانه حوضه سد قشلاق است. نتایج نشان داد که از مجموع بارش ورودی، مقدار ۵۵٪ بارش صرف تبخیر و تعرق، ۳۰٪ تبدیل به نفوذ عمقی و مقدار ۱۵٪ به جریان سطحی تبدیل شده است. نتایج این پژوهش می تواند ضمن ارائه اطلاعات مفیدی در مورد بیان آبی حوضه، کارایی مدل SWAT را در شبیه سازی جریان در شرایط مختلف اقلیمی و کاربری اراضی در آینده فراهم نموده و به برنامه ریزی دقیق تر منابع آب، در این حوضه کمک نماید.

۱- مقدمه

توجه مدیران و محققین بوده است (Mehri et al. 2017). یکی از مهم ترین و در عین حال پیچیده ترین فرآیندها در حوزه های آبخیز شناخت و پیش بینی تغییرات آب سطحی است (Zorratipour et al. 2021; Naseri et al. 2018).

فرآیندهای مرتبط با چرخه آب در طبیعت دارای ارتباطات نسبتاً پیچیده و همچنین تغییرات زمانی و مکانی بسیار گسترده و متفاوتی هستند. به طوری که همواره شناخت تغییرات زمانی-مکانی آن ها در مقیاس حوزه آبخیز مورد



در این زمینه مدل‌ها از مهم‌ترین ابزارهایی هستند که امکان شبیه‌سازی و پیش‌بینی چگونگی تغییرات چرخه آب در طبیعت و برآورد مؤلفه‌های بیلان آب را مهیا می‌سازند (Kundu et al. 2017). در همین راستا، استفاده از مدل ارزیابی آب و خاک^۱ یا مدل‌های رایانه‌ای دیگر به دلیل کاهش هزینه عملیات میدانی، به‌ویژه کاهش زمان موردنیاز برای تحلیل مسائل، می‌تواند جزء راهکارهای ممکن به‌منظور ارتقای سطح مدیریت منابع آب و حفظ محیط‌زیست قلمداد شود. مدل‌های هیدرولوژیکی متعددی با هدف شبیه‌سازی رواناب و رسوب حوضه مورد استفاده قرار گرفته است. در برخی مطالعات صورت گرفته، نتایج حاصل از شبیه‌سازی رواناب و رسوب مدل SWAT با دیگر مدل‌ها مانند مدل برآورد آلاینده‌های غیر نقطه‌ای کشاورزی با شبکه عصبی مصنوعی^۲، اچ اس پی اف^۳، اکهارت^۴ مقایسه شده است که نتایج، دلالت بر برتری نسبی این مدل دارد (Golshan et al. 2015; Teshager et al. 2016; Parajuli et al. 2009). مدل SWAT به اطلاعات ویژه‌ای در مورد آب و هوا، ویژگی‌های خاک، پوشش گیاهی و عملیات مدیریت زمین نیازمند است که در حوضه آبخیز رخ می‌دهد. همچنین SWAT قابلیت ارائه نتایج در بازه‌های زمانی سالانه، ماهانه، روزانه و ساعتی را نیز دارا است. (Aghakhani et al. 2019; Abbaspour et al. 2015; Heidary et al. 2020). مطالعات مختلفی در این خصوص انجام شده است از جمله (Duan et al. 2009) در رودخانه چائوهی^۵ چین به برآورد رواناب با استفاده از مدل SWAT پرداختند. ضریب نش-ساتکلیف و ضریب تعیین، در شبیه‌سازی دبی جریان به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۹۳ برای دوره واسنجی، همچنین این ضرایب برای دوره اعتبارسنجی رواناب ۰/۵۱ و ۰/۷۸ به دست آمد. مطالعات مختلفی در این زمینه انجام شده است از جمله: (Tyagi et al. 2014) کاربرد مدل SWAT را در شبیه‌سازی دبی و رسوب حمل‌شده در دو حوضه در هند مورد بررسی قرار دادند. واسنجی و اعتبارسنجی مدل نشان داد که مدل توانایی بسیار خوبی در شبیه‌سازی رواناب و رسوب حوضه دارد و می‌توان با استفاده از این مدل

سناریوهای مدیریتی مختلف را در حوضه مورد مطالعه قرار داد. (Fukunaga et al. 2015) کارایی مدل SWAT را در حوضه آبخیز ایتمپرمیریم^۶ از مناطق استوایی برزیل ارزیابی نمودند. نتایج ارزیابی این محققان نشان داد که مدل در واسنجی اولیه به جریان پایه بسیار حساس است. (Das et al. 2019) به ارزیابی عملکرد مدل SWAT در حوضه رودخانه گمتی^۷ در هند پرداختند. به‌طوری‌که مقادیر ضریب R^2 و NS در دوره واسنجی به ترتیب معادل ۰/۸۷ و ۰/۸۵ و برای دوره اعتبارسنجی ۰/۷۹ و ۰/۷۶ محاسبه شد. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که مدل SWAT هم در دوره واسنجی و هم در دوره اعتبارسنجی عملکرد خوبی در شبیه‌سازی رواناب داشته است. (Zuo et al. 2016) تأثیر تغییرات اقلیم و کاربری اراضی بر روی رواناب و رسوب حوضه رودخانه فلات لس^۸ در کشور چین را با استفاده از مدل SWAT مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه حاکی از کاهش رواناب و رسوب سالانه در این حوضه در نتیجه تغییرات بارندگی، درجه حرارت و تغییرات کاربری اراضی است.

(Kumar Himanshu et al. 2017) بیلان آب در رودخانه هند را با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کردند، که نتایج بیلان برآورد شده ۴۴/۶٪ از بارش سالانه را به تبخیر-تعرق اختصاص داده است و سهم رواناب و نفوذ به آبخوان عمیق به ترتیب ۷/۳۴ و ۵/۱۹٪ بود. (Fatehi et al. 2018) با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT اقدام به شبیه‌سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه در حوضه روانسر سنجایی استان کرمانشاه کردند. نتایج نشان داد که مدل SWAT هم در دوره واسنجی و هم در دوره اعتبارسنجی دارای نتایج قابل‌قبولی در شبیه‌سازی رواناب ماهانه است. به‌طوری‌که مقادیر در دوره واسنجی به ترتیب معادل ۰/۷ و ۰/۸۰ و برای دوره اعتبارسنجی ۰/۸۱ و ۰/۹ محاسبه شد. (Nasiri et al. 2020) کاربرد مدل SWAT را در شبیه‌سازی جریان حوضه سملقان با مساحت ۱۱۴۸ km² بررسی کردند. نتایج نشان داد که مقدار شاخص نش-ساتکلیف و ضریب R^2 در محدود ۰/۶۵ تا ۰/۸۰ برای دوره واسنجی و ۰/۴۰ تا ۰/۶۵ در دوره اعتبارسنجی است. (Diriba 2021) به ارزیابی کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب سطحی رودخانه دابوس در کشور اتیوپی پرداخت. نتایج ضرایب آماری R^2 و NS در

در این زمینه مدل‌ها از مهم‌ترین ابزارهایی هستند که امکان شبیه‌سازی و پیش‌بینی چگونگی تغییرات چرخه آب در طبیعت و برآورد مؤلفه‌های بیلان آب را مهیا می‌سازند (Kundu et al. 2017). در همین راستا، استفاده از مدل ارزیابی آب و خاک^۱ یا مدل‌های رایانه‌ای دیگر به دلیل کاهش هزینه عملیات میدانی، به‌ویژه کاهش زمان موردنیاز برای تحلیل مسائل، می‌تواند جزء راهکارهای ممکن به‌منظور ارتقای سطح مدیریت منابع آب و حفظ محیط‌زیست قلمداد شود. مدل‌های هیدرولوژیکی متعددی با هدف شبیه‌سازی رواناب و رسوب حوضه مورد استفاده قرار گرفته است. در برخی مطالعات صورت گرفته، نتایج حاصل از شبیه‌سازی رواناب و رسوب مدل SWAT با دیگر مدل‌ها مانند مدل برآورد آلاینده‌های غیر نقطه‌ای کشاورزی با شبکه عصبی مصنوعی^۲، اچ اس پی اف^۳، اکهارت^۴ مقایسه شده است که نتایج، دلالت بر برتری نسبی این مدل دارد (Golshan et al. 2015; Teshager et al. 2016; Parajuli et al. 2009). مدل SWAT به اطلاعات ویژه‌ای در مورد آب و هوا، ویژگی‌های خاک، پوشش گیاهی و عملیات مدیریت زمین نیازمند است که در حوضه آبخیز رخ می‌دهد. همچنین SWAT قابلیت ارائه نتایج در بازه‌های زمانی سالانه، ماهانه، روزانه و ساعتی را نیز دارا است. (Aghakhani et al. 2019; Abbaspour et al. 2015; Heidary et al. 2020). مطالعات مختلفی در این خصوص انجام شده است از جمله (Duan et al. 2009) در رودخانه چائوهی^۵ چین به برآورد رواناب با استفاده از مدل SWAT پرداختند. ضریب نش-ساتکلیف و ضریب تعیین، در شبیه‌سازی دبی جریان به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۹۳ برای دوره واسنجی، همچنین این ضرایب برای دوره اعتبارسنجی رواناب ۰/۵۱ و ۰/۷۸ به دست آمد. مطالعات مختلفی در این زمینه انجام شده است از جمله: (Tyagi et al. 2014) کاربرد مدل SWAT را در شبیه‌سازی دبی و رسوب حمل‌شده در دو حوضه در هند مورد بررسی قرار دادند. واسنجی و اعتبارسنجی مدل نشان داد که مدل توانایی بسیار خوبی در شبیه‌سازی رواناب و رسوب حوضه دارد و می‌توان با استفاده از این مدل

¹Soil and Water Assessment Tool, SWAT

²Annualized Agricultural Non-Point Source, Ann AGNPS

³Hydrologic Simulation Program Fortran, HSPF

⁴Identification of Hydrographs and Components for Rainfall, Evapotranspiration and Stream Flow, IHACRES

⁵Chaohe

⁶Itampermirim

⁷Gomti

⁸Loess Plateau

بررسی نتایج با استفاده از شاخص‌های آماری منتخب در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی می‌باشد. سپس با بررسی نتایج و شاخص‌های آماری میزان توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهانه محدوده بالادست ایستگاه هیدرومتری چل‌گری مورد ارزیابی قرار گرفت.

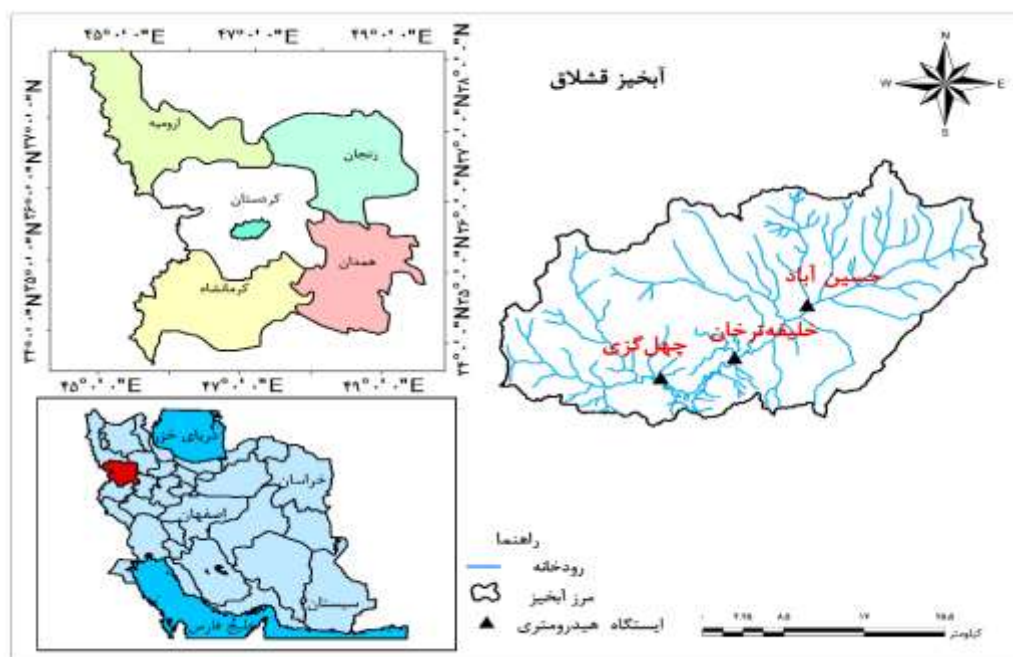
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سد قشلاق در استان کردستان و در شمال غربی ایران در فاصله ۱۲ کیلومتری شمال شهر سنندج واقع شده است. این حوزه بین مختصات $46^{\circ} 46'$ تا $47^{\circ} 20'$ طول جغرافیایی شرقی و $35^{\circ} 24'$ تا $35^{\circ} 43'$ عرض جغرافیایی شمالی قرار دارد که ۳۶ روستا را در برمی‌گیرد. رواناب‌های سطحی این حوزه از طریق دو رودخانه اصلی چل‌گری و خلیفه‌ترخان وارد دریاچه سد قشلاق می‌شود. این منطقه براساس تقسیم‌بندی طرح جامع آب کشور، بخشی از حوزه آبخیز رودخانه مرزی سیروان است که در شمال و شرق آن واقع شده است. مساحت حوزه آبخیز سد قشلاق منتهی به خروجی سد، $1062/12 \text{ km}^2$ است. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز سد قشلاق در ایران و استان کردستان، در شکل (۱) نمایش داده شده است.

دوره واسنجی $0/82$ ، $0/70$ و دوره اعتبارسنجی $0/78$ و $0/71$ به‌دست آمدند. نتایج نشان داد که مدل SWAT دارای عملکرد قابل‌قبولی در شبیه‌سازی رواناب سطحی است. (Zeiaei et al. (2021) در حوضه آبریز اهل ایمان با مساحت 7771 ha تغییرات روند هیدرولوژیکی جریان با سناریو و تغییر کاربری اراضی واقع در قسمت غربی استان اردبیل با استفاده از مدل SWAT بررسی نمودند. نتایج ضرایب آماری R^2 و NS در دوره واسنجی $0/75$ ، $0/71$ و دوره اعتبارسنجی $0/71$ و $0/68$ به‌دست آمدند که حاکی از عملکرد قابل‌قبول مدل در شبیه‌سازی رواناب است.

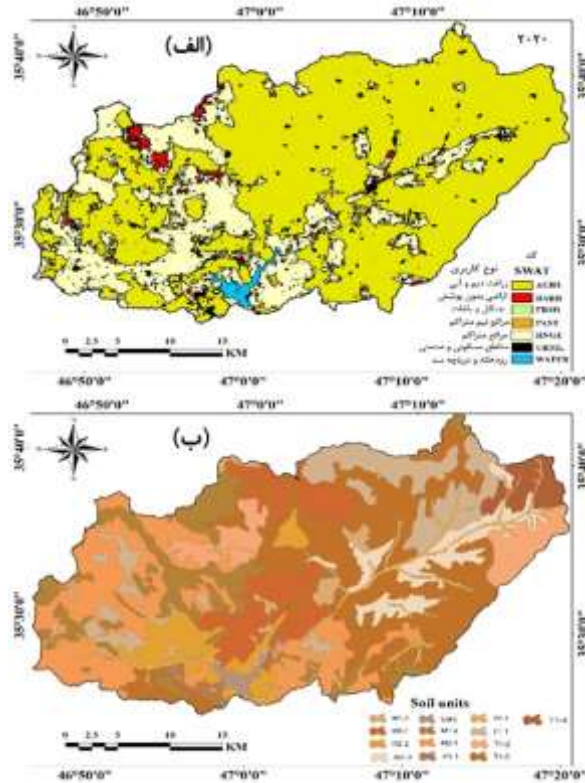
با توجه به اینکه حوضه سد قشلاق، از نظر تأمین آب شرب شهر سنندج و نیز آبیاری اراضی پایین‌دست سد مذکور دارای اهمیت حیاتی است. همچنین وجود سابقه تغییر کاربری اراضی در محدود مذکور و نیز اثرات ناشی از تغییرات اقلیمی از مواردی است که برآورد تغییرات رژیم رودخانه را در این منطقه ضروری نموده است. در این پژوهش در همین راستا، از نرم‌افزار SWAT برای مدل‌سازی حوزه آبخیز قشلاق واقع در شمال غرب کردستان که یکی از مهم‌ترین منابع آب استان کردستان است، استفاده شد. هدف از این پژوهش شبیه‌سازی رواناب در محدود بالادست ایستگاه هیدرومتری چل‌گری در حوزه آبخیز سد قشلاق در استان کردستان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT و همچنین ارزیابی و



شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز سد قشلاق در ایران و استان کردستان

Fig. 1 The location of the Gheshtlagh dam watershed in Kurdistan province, Iran

مسکونی در مدل ArcSWAT کاربری‌های مشابه موجود در جداول ArcSWAT، جهت معرفی خصوصیات هر کاربری به صورت کدهای چهار حرفی استفاده شد. به‌طور کلی کاربری‌های اراضی منطقه به هفت گروه شامل مراتع نیمه‌متراکم، مراتع متراکم (همراه با بوته‌زار و درختچه)، جنگل دست‌کاشت و باغات، زراعت آبی و دیم، رودخانه و دریاچه سد، مناطق مسکونی و صنعتی، اراضی بدون پوشش و تأسیسات تقسیم شدند.



شکل ۲- الف- نقشه کاربری اراضی و ب- اجزای واحدهای اراضی خاک در حوضه سد قشلاق

Fig. 2 a) Land use map and b) Land use map in Gheshlagh dam basin

۴-۲- اجرای مدل

مدل SWAT قابلیت اتصال به سیستم اطلاعات جغرافیایی را دارد. هم‌چنین نرم‌افزار ArcSWAT یک رابط گرافیکی برای مدل SWAT می‌باشد. در این مدل ابتدا از روی نقشه مدل رقومی ارتفاع، حوزه آبخیز اصلی به تعدادی زیرحوضه تقسیم می‌شود (Nasiri et al. 2020; Ghafari and Gorji, 2021). برای شروع کار با مدل SWAT، ابتدا مدل ارتفاع رقومی به افزونه ArcSWAT 2012 در نرم‌افزار ArcGIS 10.7 معرفی و با تعریف مرز حوضه و شبکه آبراهه زیر حوضه‌ها تعیین شد. با تعیین محل ایستگاه هیدرومتری چل-گزی به عنوان خروجی حوضه، پنج زیر حوضه تفکیک شد.

۲-۲- مدل SWAT

مدل SWAT، یک مدل حوضه‌ای، نیمه‌توزیعی و پیوسته-زمانی است. این مدل، برای پیش‌بینی تأثیر مدیریت اراضی بر هیدرولوژی حوزه‌های آبخیز پیچیده و بزرگ با خاک، کاربری اراضی و شرایط مختلف مدیریتی طراحی شده است. کوچک‌ترین واحد کاری در این مدل، واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (HRUs)^۱ است. هر یک از این واحدها ترکیب منحصر به فرد از کاربری زمین، خاک و شیب در زیر حوضه است (Arnold et al. Rezaei moghaddam et al. 2021). مطابق با هدف پژوهش و هم‌چنین مطالعات پیشین (2012)، در این پژوهش برای تخمین رواناب سطحی و برآورد دبی رواناب خروجی به صورت ماهانه از روش شماره منحنی مطابق رابطه (۱) در مدل SWAT استفاده شد.

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.25)^2}{(R_{day} + 0.85)} \quad (1)$$

که، Q_{surf} رواناب سطحی (mm)، R_{day} عمق بارش روزانه (mm)، و S پارامتر نگهداشت رطوبت (mm) است.

۳-۲- آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی و داده‌ها

برای آماده‌سازی و اجرای مدل SWAT نیاز به نقشه و اطلاعات مدل ارتفاع رقومی، خاک، کاربری اراضی، داده‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی از جمله بارندگی و دمای حداقل و حداکثر در مقیاس روزانه، رطوبت نسبی و سرعت باد است. هم‌چنین داده‌های دبی جریان به منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل نیز به افزایش دقت پیش‌بینی کمک می‌کند. در این پژوهش، به منظور شبیه‌سازی حوضه، اطلاعات مورد نیاز از جمله نقشه خاک، کاربری اراضی و مدل رقومی ارتفاع از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان دریافت شد. در شکل (۲) نقشه‌های کاربری اراضی، نقشه اجزاء واحد اراضی خاک نشان داده شده است (Gaffari (2018). در بخش هواشناسی نیز، داده‌های بارش روزانه سه ایستگاه باران‌سنجی چل‌گزی، خلیفه‌ترخان و حسین‌آباد و داده‌های دما مربوط به ایستگاه سینوپتیک سنندج برای دوره زمانی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ از شرکت آب منطقه‌ای و سایت سازمان هواشناسی استان کردستان اخذ و در شبیه‌سازی استفاده شد (جدول ۱). با توجه به وجود انواع کاربری‌ها و جداول کامل خصوصیات انواع کاربری‌های و پوشش‌های گیاهی مانند گیاهان زراعی، مرتعی، علوفه‌ای، درختان میوه و اراضی و

¹Hydrologic Response Units

جدول ۱ - مشخصات ایستگاه‌های سینوپیتک، باران‌سنجی و هیدرومتری حوضه سد قشلاق

Table 1 Specifications sinopitec, rain gauge and hydrometric stations of the Gheshlagh dam basin

Station Name	Station Type	Longitude	Latitude	Height(m)	Statistical period
Sanandaj	Sinopitec	47-0	20-35	1373/4	2018-1987
Chelgazi		57-46	27-35	1567	1397-1361
Khalifetarkhan		0-47	29-35	1600	1397-1352
Hosseini-Abad	Rain gauge	07-47	33-35	1687	1397-1371
Chelgazi		46-57	27-35	1567	1397-1361
Khalifetarkhan		0-47	29-35	1600	1397-1352

۲-۴-۱- تعیین HRUs

با ترکیب سه نقشه کاربری اراضی، نوع خاک و نقشه رقومی ارتفاع و طبقه‌بندی شیب زیرحوضه‌ها نیز به واحدهای کوچکتری تقسیم می‌شوند که به هر کدام از این واحدها یک واحد هیدرولوژیکی گفته می‌شود (Neitsch et al. 2011; Abbaspour et al. 2015). در مرحله بعد، به‌منظور تعیین HRUs حوضه، نقشه خاک در ۱۳ طبقه، نقشه کاربری اراضی حوضه با هفت طبقه و نقشه شیب با پنج طبقه به‌صورت ۰-۳، ۳-۸، ۸-۱۵، ۱۵-۲۵ و بیش‌تر از ۲۵ به مدل معرفی و حوضه به ۱۰۴ HRUs تقسیم شد.

۲-۴-۲- اطلاعات هواشناسی ورودی مدل

بعد از تهیه نقشه HRUs، در بخش اقلیم داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی و دمای حداکثر و حداقل از ایستگاه سینوپیتک تهیه شدند. در ادامه، داده‌های به‌دست آمده طبق فرمت مدل به تاریخ میلادی تهیه و در بخش ایستگاه‌های هواشناسی منطقه نیز به مدل معرفی شدند و مدل برای دوره زمانی ۱۹۸۷-۲۰۱۸ اجرا شد. دوره واسنجی و اعتبارسنجی داده‌های ماهانه رواناب به‌ترتیب برای سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۶ و سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ انتخاب شد. لازم به ذکر است که دو سال ابتدایی دوره آماری برای آموزش^۱ مدل در نظر گرفت شد (Rezaei Moghaddam et al. 2021). در این پژوهش از روش شماره منحنی، هارگریوز^۲ و ماسکینگام^۳ به‌ترتیب برای محاسبه رواناب‌سطحی، تبخیر و تعرق و روندیابی جریان رودخانه استفاده شد. هم‌چنین جهت اطمینان از صحت عملکرد مدل در تعیین وضعیت سطح ایستابی سفره‌های زیرزمینی حوضه، اقدام به بررسی منطقه از نظر میزان و محل آبدی برخی از چاه‌ها و چشمه‌های مهم شد و آبدی چشمه‌ها و چاه‌ها در مدل به‌وسیله افزایش دادن

تخلیه سفره آب زیرزمینی (کاهش پارامتر حداقل ذخیره آب زیرزمینی برای تولید جریان پایه) به‌صورت جریان پایه در نظر گرفت شد. لازم به ذکر است که مخزن سد قشلاق در پایین‌دست حوضه و بعد از ایستگاه هیدرومتری چهل‌گزی قرار گرفته است، از این‌رو در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل آب خروجی سد دخالت داده نشد (Gaffari 2018).

۲-۵- آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل
به‌منظور آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی SWAT، از الگوریتم SUFI-2 (Sao et al. 2015; Abbaspour et al. 2021) استفاده شد. الگوریتم نیمه‌خودکار SUFI-2 یک مدل معکوس است و داده‌های خروجی مدل SWAT را به‌عنوان ورودی دریافت می‌کند و مقدار بهینه پارامترهای مؤثر در واسنجی را برآورد می‌نماید. این الگوریتم، برای ارزیابی عدم قطعیت از دو معیار P-factor و R-factor استفاده می‌کند. شرایط ایده‌آل در یک شبیه‌سازی زمانی است که P-factor به یک و R-factor به صفر نزدیک شود (Shahoei et al. 2018; Abbaspour 2009).

در ادامه، به‌منظور آنالیز حساسیت پارامترهای مدل، با توجه به منابع مختلف (Rezaei Moghaddam et al. 2021; Tang et al. 2021) اقدام به انتخاب پارامترهای مؤثر بر دبی در منطقه مورد مطالعه شد. سپس آنالیز حساسیت به روش کلی بر روی ۲۶ پارامتر انتخاب‌شده برای دبی انجام شد. تعداد ۲۳ پارامتر حساس براساس نقش و اهمیت این عوامل در ایجاد و تولید رواناب مشخص شد. در بخش واسنجی مدل، آمار شبیه‌سازی‌شده رواناب در سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۶ با آمار مشاهده‌ای ایستگاه هیدرومتری چل-گزی (در همین سال‌ها) واسنجی شد. پس از اجرای واسنجی مدل، از داده‌های مشاهداتی سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ برای اعتبارسنجی مدل استفاده شده است. در نهایت برای به‌دست

^۱Warm up^۲Hargreaves^۳Muskingum^۴GWQMN

ضریب NS ارائه شده است (Mostafazadeh et al. 2017; Zeiaei et al. 2021).

$$R^2 = \frac{\sum_i^n Q_{obs} - Q_{sim}}{\sqrt{\sum_i^n Q_{obs}^2 \cdot \sum_i^n Q_{sim}^2}} \quad (2)$$

$$NS = 1 - \left[\sum_i^n (Q_{sim_i} - Q_{obs_i})^2 / \sum_i^n (Q_{obs_i} - Q_{avg_i})^2 \right] \quad (3)$$

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل

برای واسنجی، و آنالیز حساسیت و اعتبارسنجی مدل SWAT از نرم‌افزار SWAT-CUP استفاده شد. نتایج آنالیز حساسیت و واسنجی با استفاده از مدل SUFI-2 نشان می‌دهد که مدل نسبت به ۲۳ پارامتر حساسیت بیشتری دارد. در نتیجه از این پارامترها برای واسنجی و اعتبارسنجی استفاده شد که در جدول (۲) نشان داده شده است.

آوردن بهترین واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT از دو شاخص آماری، R^2 و ضریب NS استفاده شد. مقدار ضریب نش-ساتکلیف از منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است. هرچه این ضریب به یک نزدیک‌تر باشد، مدل از کارایی بالاتری برخوردار است، در روابط (۲) و (۳) نحوه محاسبه R^2 و Q_{sim_i} = دبی تعداد داده‌ها، Q_{obs_i} = دبی مشاهده‌ای و Q_{avg} = متوسط دبی مشاهده‌ای در مدت‌زمان شبیه‌سازی است. ضریب R^2 نشان می‌دهد که خط رگرسیون بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای تا چه میزان به حداکثر مقدار هماهنگی بین این دو سری مقدار نزدیک است و از ۰ تا ۱ متغیر است. Moriasi et al. (2007) پیشنهاد می‌کنند که مقادیر NS بهتر است بزرگ‌تر از ۰/۵ باشد تا بتواند در مقیاس ماهانه، نتایج مدل برای مطالعات هیدرولوژیک و همچنین شبیه‌سازی فرایندهای مرتبط قابل قبول منظور شوند.

جدول ۲- مقادیر حد بالا و پایین و بهینه محدوده پارامترها در مرحله شبیه‌سازی رواناب زیرحوضه چل گزی

Table 2 The optimum values of the parameters in the simulation of runoff in sub basin Chelgazi

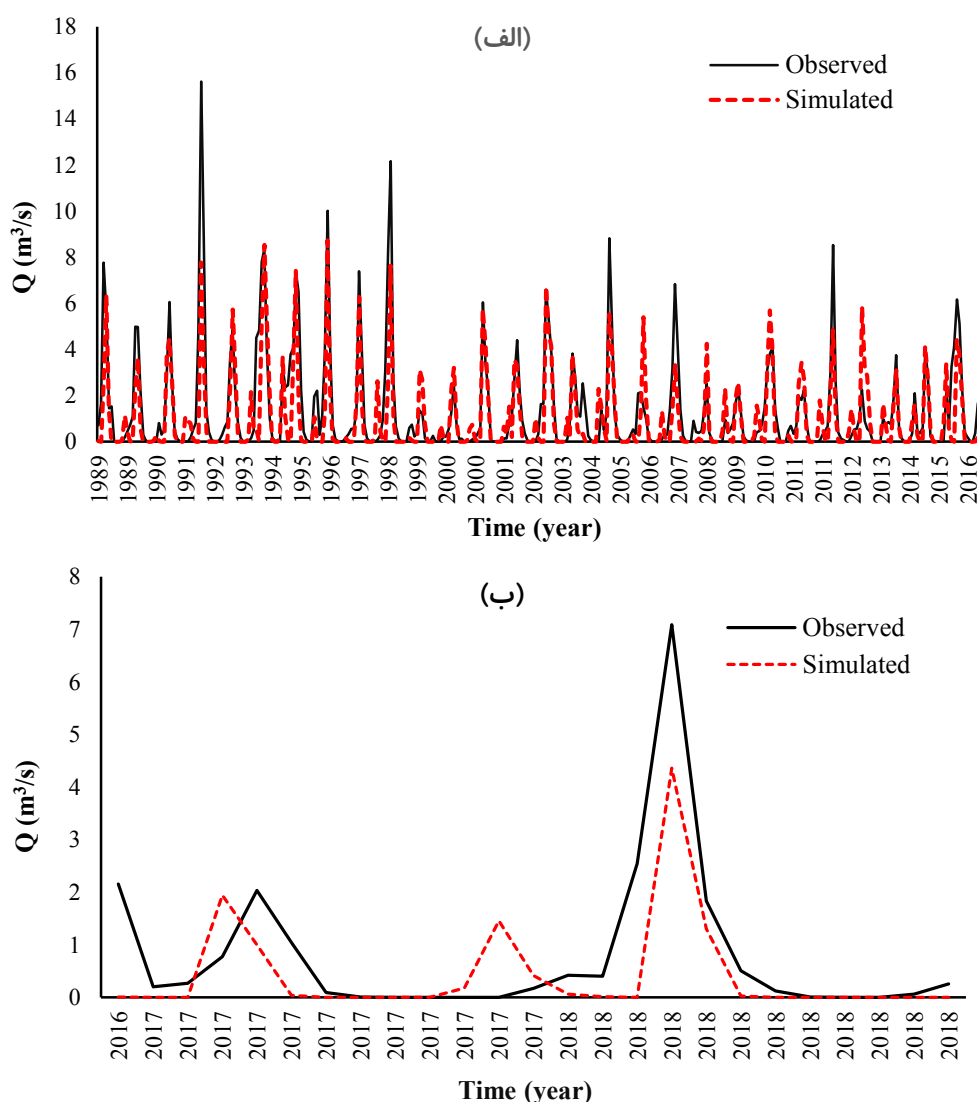
No	Parameter	Parameter name	Lower limit	Upper limit	Best Values
1	CN2.mgt	SCS runoff curve number	-0.400	0.400	0.253
2	ALPHA_BF.gw	Base flow alpha factor	0.777	0.895	0.826
3	SFTMP.bsn	Snowfall temperature	9.05	11.29	10.81
4	SMFMX.bsn	Maximum melt rate for snow during year	4.836	6.957	6.003
5	SMFMN.bsn	Minimum melt rate for snow during the year	0.048	0.580	0.181
6	GW_DELAY.gw	Groundwater delay	261.25	266.69	264.06
7	GW_REVAP.gw	Groundwater "revap" coefficient	0.151	0.188	0.171
8	RCHRG_DP.gw	Deep aquifer percolation fraction	0.797	0.851	0.823
9	ESCO.bsn	Soil evaporation compensation factor	0.773	0.936	0.879
10	SOL_K.sol	Saturated hydraulic conductivity	0.486	0.528	0.513
11	SOL_AWC.sol	Available water capacity of the soil layer	0.153	0.167	0.159
12	GWQMN.gw	Threshold depth of water in the shallow aquifer	0.001	0.244	0.200
13	HRU_SLP.hru	Average slope steepness	-0.788	-0.716	-0.731
14	OV_N.hru	Manning's "n" value for overland flow	3.262	5.573	4.379
15	SMTMP.bsn	Snow melt base temperature	-5.949	-4.550	-5.833
16	PLAPS.sub	Precipitation lapse rate	330.96	338.86	337.41
17	SURLAG.bsn	Surface runoff lag coefficient	2.731	13.45	11.84
18	SLSUBBSN.hru	Average slope length	68.21	150.78	91.61
19	RFINC.sub	Rainfall adjustment	0.92	2.78	2.50
20	REVAPMN.gw	Threshold depth of water in the shallow aquifer for "revap" to occur	33.51	101.48	77.69
21	LAT_TTIME.hru	Lateral flow travel time	75.31	180.00	115.44
22	CH_S2.rte	Average slope of main channel	-0.001	6.15	1.94
23	TMPINC.sub	Temperature adjustment	0.00	1.16	0.87

در جدول (۲) و ۷ کدهایی هستند که نوع تغییراتی را که برای پارامتر به کار برده می‌شود تعیین می‌کنند. ۷- به این معنی است که مقدار پارامتر با مقدار جدید جایگزین شود و -I یعنی مقدار پارامتر در (مقدار جدید +۱) ضرب شود.

مطابق با جدول (۲) تحلیل حساسیت پارامترها نشان داد که عمق آستانه آب در آبخوان عمیق، ضریب مانینگ برای مدل به پارامترهای شماره منحنی رواناب به روش SCS، جریان سطحی در بالادستی، کمینه میزان ذوب برف در طول

درصد نفوذ به سفره آب زیرزمینی عمیق، کمینه عمق آب سفره کم عمق برای شروع جریان برگشتی، هدایت هیدرولیکی مؤثر در آبراهه اصلی و نرخ کاهش دما را به عنوان پارامترهای حساس معرفی نمودند. همچنین نتایج این پژوهش در خصوص پارامتر شماره منحنی رواناب به روش SCS، به عنوان پارامتر حساس با پژوهش‌های قبلی مانند Shirzadi et al. (2018) و Ghaffari (2018) در حوزه آبخیز سد قشلاق مطابقت دارد. نتایج حاصل از واسنجی در دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۶ و اعتبارسنجی در دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ ماهانه رواناب در ایستگاه هیدرومتری چل‌گزی در شکل (۳) ارائه شده است.

سال، بیشینه میزان ذوب برف در طول سال، کمینه عمق آب در سفره کم عمق برای شروع تبخیر، به ترتیب حساسیت بیشتری نسبت به سایر پارامترها دارند، در حالی که، در پژوهش‌های Nasiri et al. (2020) در حوزه آبخیز سلمقان پارامترهای درصد نفوذ به سفره آب زیرزمینی عمیق، عمق آستانه آب در آبخوان عمیق، عامل آلفا جریان پایه، آب قابل دسترس خاک و شماره منحنی رواناب به روش SCS و Gholami et al. (2017) در ارزیابی کارایی مدل نیمه توزیعی SWAT در شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای، حوزه آبخیز تالار پارامترهای شماره منحنی رواناب به روش SCS، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، زمان تأخیر برای تغذیه آبخوان،



شکل ۳- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی ماهانه رواناب در ایستگاه هیدرومتری چل‌گزی (الف) واسنجی (ب) اعتبارسنجی
Fig 3. The results of monthly calibration and validation of the runoff in Chelgazi hydrometric station a) Calibration b) Validation

نتایج آزمون مدل در دوره واسنجی (سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۶) و اعتبارسنجی (سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸) ماهانه رواناب در ایستگاه هیدرومتری چل‌گزی، در جدول (۳) ارائه شده است. در محدود مطالعاتی سد قشلاق با توجه به وجود ایستگاه

معیارهای ضریب تعیین و ضریب نش-ساتکلیف، P-factor و R-factor مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش از ضرایب R^2 و NS بزرگ‌تر از ۰/۵ به‌عنوان استاندارد قابل‌قبول بودن شبیه‌سازی‌ها استفاده شد (Abbaspour 2009).

جدول ۳- معیارهای ارزیابی مدل SWAT در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی در ایستگاه هیدرومتری چل‌گری

Table 3 Evaluation criteria of SWAT model for the calibration and validation periods in Chelgazi hydrometry station

Runoff	Calibration				Validation			
	P-factor	R-factor	R^2	NS	P-factor	R-factor	R^2	NS
	0.45	0.57	0.65	0.62	0.42	0.65	0.68	0.61

شرایط پیچیده و ناهمگن را با دقت مناسب دارا است. البته به‌شرط اینکه داده‌های ورودی با دقت مناسب در مدل‌سازی استفاده شوند و نیز دقت و توجه کافی در واسنجی مدل صورت گیرد تا مدل هر چه بیش‌تر معرف شرایط واقعی حوضه باشد. این مطالعه اطلاعات مفیدی را در مورد جریان رودخانه حوضه سد قشلاق فراهم نموده و به برنامه‌ریزی دقیق‌تر پروژه‌های منابع آب کمک می‌نماید. براساس نتایج، مدل SWAT می‌تواند در پیش‌بینی تغییرات جریان رودخانه ناشی از تغییر کاربری اراضی مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، پیش‌بینی تغییرات هیدرولوژی با اعمال سناریوهای مختلف تغییرات اقلیمی از دیگر مواردی است که می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد.

۳-۲- بیان آبی

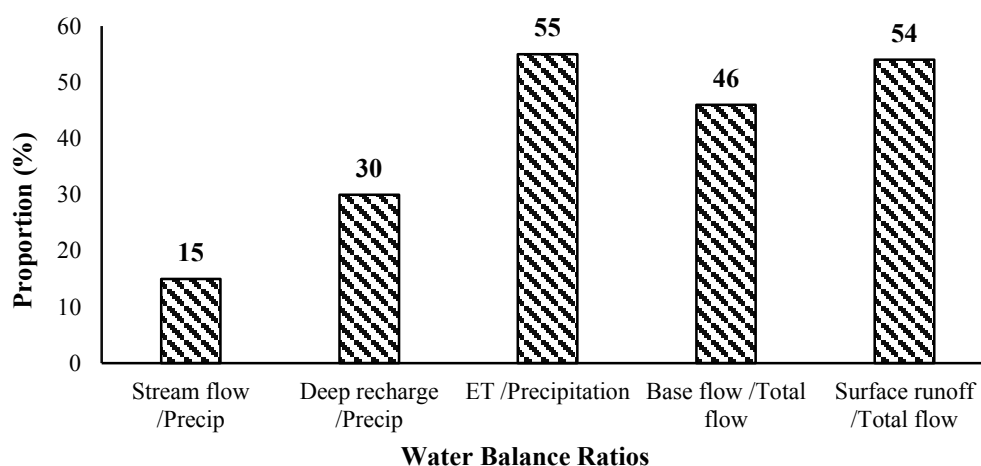
نسبت مؤلفه‌های بارش و رواناب در بیان آبی ایستگاه چل-گری واقع در حوزه آبخیز سد قشلاق در شکل (۴) ارائه شده است. بعد از واسنجی مدل، نتایج بیان آبی در ایستگاه چل-گری مطابق شکل (۴) نشان داد که از مجموع بارندگی ورودی به حوضه، مقدار ۵۵٪ از بارش صرف تبخیر و تعرق، ۳۰٪ تبدیل به نفوذ عمقی و ذخیره رطوبت خاک و مقدار ۱۵٪ به جریان سطحی تبدیل شده است. نتایج ارائه شده با یافته‌های مطالعات (Kumar Himanshu et al. 2017) و Zorratipour et al. (2021) در خصوص برآورد بیان آبی که عمده تلفات ناشی از تبخیر و تعرق است، مطابقت دارد. همچنین در این مطالعات بیان آبی، مثبت عنوان شده است زیرا مجموع تبخیر و تعرق، جریان جانبی، نفوذ و رواناب سطحی از مجموع بارش کمتر است، که با این بخش از پژوهش حاضر همخوانی دارد. همچنین، براساس اطلاعات ارائه شده در شکل (۴) مشخص شد که از کل جریان رواناب ایجاد شده در حوضه چل‌گری، مقدار ۵۴٪ به‌صورت رواناب

سنجش جریان رودخانه در محدوده، مدل برای کل محدوده مطالعاتی برای ایستگاه هیدرومتری چل‌گری، طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۶ واسنجی و سپس برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ اعتبارسنجی شد. عملکرد واسنجی مدل توسط

براساس جدول (۳) ضرایب R^2 ، NS، R-factor و P-factor برای دوره واسنجی رواناب ماهانه در ایستگاه چل‌گری به‌ترتیب ۰/۶۵، ۰/۶۲، ۰/۵۷ و ۰/۴۵ و برای دوره اعتبارسنجی ۰/۶۸، ۰/۶۱، ۰/۶۵ و ۰/۴۲ برآورد شد. به‌طور کلی نتایج نهایی واسنجی و اعتبارسنجی جریان رودخانه ماهانه قابل‌قبول بود. این ضرایب در ایستگاه هیدرومتری افزایش و مقادیر آن‌ها بهبود یافت که از جمله دلایل آن علاوه بر تعداد کافی و قدمت ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی و اقلیم‌شناسی می‌توان به امکان واسنجی مناسب نتایج با وجود ایستگاه هیدرومتری چل‌گری در انتهای رودخانه اصلی حوضه اشاره کرد. در ارزیابی نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مشاهده شد که معیارهای کنترلی در تمام موارد در دامنه مجاز و قابل‌قبولی قرار دارند و مدل در مجموع در ایستگاه هیدرومتری چل‌گری، در خروجی حوضه توانسته است تغییرات جریان را به‌خوبی شبیه‌سازی نماید.

نتایج این بخش از پژوهش با مطالعات Nasiri et al. (2020) و Ebrahimi et al. (2018) با توجه به ضرایب R^2 و NS در خصوص توانایی مدل در شبیه‌سازی رواناب هم‌خوانی دارد. علیرغم مناسب بودن مقادیر معیارهای ارزیابی مدل در حوزه آبخیز سد قشلاق، در برخی از سال‌ها مقدار جریان شبیه‌سازی شده نسبت به جریان مشاهده‌ای بیش برآورد و یا کم برآورد شده است و در برخی از سال‌ها نیز مقدار دبی پایه، کم برآورد شده است که البته روند مشخصی در این خصوص مشاهده نمی‌شود. لذا این عدم تطابق‌ها میان جریان شبیه‌سازی و مشاهده‌ای مرتبط با ماهیت پیچیده فرایندهای غالب هیدرولوژیک در منطقه و همچنین فعالیت‌ها و دخالت‌های انسانی در چرخه هیدرولوژیکی در حوضه است. در مجموع نتایج پژوهش حاکی از این است که مدل SWAT قابلیت شبیه‌سازی رواناب حوضه‌های آبخیز با

سطحی در حوضه جریان پیدا کرد و ۴۶٪ نیز به جریان پایه تبدیل شده است.



شکل ۴- نسبت مؤلفه‌های بارش و رواناب در بیلان آبی ایستگاه هیدرومتری چل‌گری در دوره سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۱۸
Fig. 4 The ratio of precipitation and runoff components in the water balance of Chelgazi river gauge station (1987-2018)

در حوضه چل‌گری، مقدار ۵۴٪ به‌صورت رواناب سطحی در حوضه جریان پیدا کرد و ۴۶٪ نیز به جریان پایه تبدیل شده است.

سپاسگزاری

داده‌های هواشناسی و هیدرومتری پژوهش حاضر از شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان دریافت شده است که از همکاری آن اداره تقدیر به‌عمل می‌آید.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری از شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان اخذ شده است و برخی داده‌های استفاده شده (یا تولید شده) در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

- Abbaspour, K. C. (2009). User manual for SWAT-CUP2, SWAT calibration and uncertainty analysis programs. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Duebendorf, Switzerland. 95 pp. DOI: [10.4236/ns.2020.127035](https://doi.org/10.4236/ns.2020.127035)
- Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., & Kløve, B. (2015). Continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *J. Hydrol.*, 524, 733-752. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2015.03.027](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.027)
- Aghakhani, M., Nasrabadi, T., & Vafaei Nejad, A. (2019). Hydrological simulation of Taleqan watershed using SWAT. *J. Environ.*

- Sci. Tech.*, 21(9), 149-159. DOI: [10.22034/JEST.2020.26325.3576](https://doi.org/10.22034/JEST.2020.26325.3576)
- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., & Kannan, N. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *Transact. ASABE.*, 55(4), 1491-1508. DOI: [10.13031/2013.42256](https://doi.org/10.13031/2013.42256)
- Das, B., Jain, S., Singh, S., & Thakur, P. (2019). Evaluation of multisite performance of SWAT model in the Gomti River basin, India. *Appl. Water. Sci.*, 9(134). 1-10 DOI: [10.1007/s13201-019-1013-x](https://doi.org/10.1007/s13201-019-1013-x)
- Diriba, B.T. (2021). Surface runoff modeling using SWAT analysis in Dabus watershed, Ethiopia. *J. Sustain. Water. Res. Manage.*, 7(96), 1-11. DOI: [10.1007/s40899-021-00573-1](https://doi.org/10.1007/s40899-021-00573-1)
- Duan, Z., Song, X., & Liu, J. (2009). Application of SWAT for sediment yield estimation in a mountainous agricultural basin, In *Geoinformatics, 2009 17th Int. Conf on IEEE.*, 1-5. DOI: [10.1109/GEOINFORMATICS.2009.5293447](https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2009.5293447)
- Ebrahimi, P., Salimi Kouchi, J., & Mohseni Saravi, M. (2018). Calibration and validation of SWAT model in runoff simulation, Case study: Neka watershed. *J. Watershed. Eng. Manage.*, 10 (3), 266-279. DOI: [10.22092/ijwmse.2018.117332](https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.117332)
- Fatehi, Z., & Shahoei, S.V. (2020). SWAT model application for simulating monthly runoff, Lake Urmia watershed, kurdistan province, Iran. *Environ. Water. Eng.*, 3(6), 293-303. DOI: [10.22034/jewe.2020.218842.1346](https://doi.org/10.22034/jewe.2020.218842.1346)
- Fukunaga, D. C., Cecilio, R. A., Zanetti, S. S., Oliveira, T. L., & Caiado, M. A. C. (2015). Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil. *Catena.*, 125, 206-213. DOI: [10.1016/j.catena.2014.10.032](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.032)
- Gaffari, G. (2018). Erosion intensity zoning by using SWAT model in Gheshlagh dam basin. *J. Geog. Dev.*, 50, 55-74. DOI: [10.22111/GDIJ.2018.3553](https://doi.org/10.22111/GDIJ.2018.3553)
- Ghafari, H., & Gorji, M. (2021). Evaluation of soil erosion effects on rainfall wheat (*Triticum aestivum*) yield using SWAT model. *J. Water. Soil. Mgmt. Model.*, 1(3), 53-66. DOI: [10.22098/MMWS.2021.9267.1029](https://doi.org/10.22098/MMWS.2021.9267.1029)
- Gholami, A., Shahedi, K., Habibnejad Rooshan, M., Vafakhah, M., & Soleimani, K. (2017). Assesment about efficiency of SWAT semi-distribution model for simulation of stream flow (Case study in Talar Watershed, Mazandaran Province). *J. Soil. Water. Res.*, 48(3), 463-688. DOI: [10.22059/IJSWR.2017.63414](https://doi.org/10.22059/IJSWR.2017.63414)
- Golshan, M., Kavian, A., Ruohani, H., & Esmali Ouri, A. (2016). Effect of scale on SWAT model performance in simulation of runoff (case study: Haraz catchment in Mazandaran province). *J. Soil. Water.*, 46(2), 293-303. DOI: [10.22059/IJSWR.2015.55934](https://doi.org/10.22059/IJSWR.2015.55934)
- Heidary, H., Mousavi, M., Esmaili, K., & Golkarian, A. (2020). The Impact of climate change on watershed runoff and sedimentation using SWAT and WEPP models (Case Study: Dehbar basin). *J. Soil. Water.*, 51(4), 1027-1040. DOI: [10.22059/IJSWR.2020.287152.668293](https://doi.org/10.22059/IJSWR.2020.287152.668293)
- Kumar Himanshu, S., Pandey, A., & Shrestha, P. (2017). Application of SWAT in an Indian river basin for modeling runoff, sediment and water balance. *J. Environ. Earth. Sci.*, 76(1), 3. DOI: [10.1007/s12665-016-6316-8](https://doi.org/10.1007/s12665-016-6316-8)
- Kundu, S., Khare, D., & Mondal, A. (2017). Past, present and future land use changes and their impact on water balance. *J. Environ. Manag.*, 197, 582-596. DOI: [10.1016/j.jenvman.2017.04.018](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.018)
- Mehri, S., Mostafazadeh, R., Esmali-Ouri, A., & Ghorbani, A. (2017). Spatial and temporal variations of base flow index (BFI) for the Ardabil province river, Iran. *J. Earth. Space. Phys.*, 43(3), 623-634. DOI: [10.22059/JESPHYS.2017.60293](https://doi.org/10.22059/JESPHYS.2017.60293)
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transact. ASABE.*, 50(3), 885-900. DOI: [media/90109/moriasimodeleval](https://doi.org/10.22059/media/90109/moriasimodeleval)
- Mostafazadeh, R., Sadoddin, A., Bahremand, A., and Sheikh, V. B., & ZareGarizi, A. (2017). Scenario analysis of flood control structures using a multi-criteria decision making technique in Northeast Iran. *Nat. Hazard.*,

- 87(3), 1827-1846. DOI: [10.1007/s11069-017-2851-1](https://doi.org/10.1007/s11069-017-2851-1)
- Naseri, F., Azari, M., & Dastoorani, M. T. (2018). Simulation of stream flow and sediment yield in Fariman dam watershed using SWAT model and genetic algorithm. *J. water. Soil.*, 32(3), 447-462. DOI: [10.22067/jsw.v32i3.68900](https://doi.org/10.22067/jsw.v32i3.68900)
- Nasiri, Sh., Ansari, H., & Ziaei, A. N. (2020). Simulation of stream flow in Samalqan watershed using SWAT hydrological model. *Water. Res. Eng.*, 13(43), 39-56. DOI: [10.1007/s12517-020-05366-y](https://doi.org/10.1007/s12517-020-05366-y)
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R., & King, K. W. (2011). Soil and water assessment tool theoretical documentation—version 2009, soil and water research laboratory, Agricultural Research Service. Blackland Research Center-Texas AgriLife Research.
- Parajuli, P. B., Nelson, N. O., Frees L. D., & Mankin, K. R. (2009). Comparison of Ann AGNPS and SWAT model simulation results in USDA-CEAP agricultural watersheds in south-central Kansas. *Hydrol. Process.*, 23, 748–763. DOI: [10.1002/hyp.7174](https://doi.org/10.1002/hyp.7174)
- Rezaei Moghaddam, M. H., Mokhtari, D., & Shafieimehr, M. (2021). Calibration and validation the SWAT model in the simulation of runoff and sediment in Shahr Chai of Miyaneh. *Geog. Plan.*, 25(76), 129-139. DOI: [10.22034/GP.2020.40775.2656](https://doi.org/10.22034/GP.2020.40775.2656)
- Sao, D., Kato, T., Tu, L. H., Thouk, P., Fitriyah, A., & Oeurng, Ch. (2021). Evaluation of different objective functions used in the SUFI-2 calibration process of SWAT-CUP on water balance analysis: A case study of the Pursat river basin, Cambodia. *Water.*, 12(10), 2901. DOI: [10.3390/w12102901](https://doi.org/10.3390/w12102901)
- Shahoei, S. V., Porhemmat, J., Sedghi, H., Hosseini, M., & Saremi, A. (2018). Monthly runoff simulation through SWAT hydrological model and evaluation of model in calibration and validation periods, case study: Ravansar Sanjabi basin in Kermanshah province, Iran. *Watershed. Eng. Manage.*, 10(3), 464-477. DOI: [10.22092/ijwmse.2017.109516.1273](https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.109516.1273)
- Shirzadi, G., & Ghaffari, S. (2018). The Soil Nutrient Loss Simulation in Gheshlagh dam basin using SWAT model. *J. Soil. Manage. Sust. Prod.*, 8(3), 96-79. DOI: [10.22069/EJSMS.2018.11859.1679](https://doi.org/10.22069/EJSMS.2018.11859.1679)
- Tang, X., Zhang, J., Wang, G., Jin, J., Liu, C., Liu, Y., He, R., & Bao, Z. (2021). Uncertainty analysis of SWAT modeling in the Lancang river basin using four Different algorithms. *Water.*, 13(3), 341. DOI: [10.3390/w13030341](https://doi.org/10.3390/w13030341)
- Teshager, A. D., Gassman, P. W., Secchi, S., Schoof, J. T., & Misgna, G. (2016). Modeling agricultural watersheds with the soil and water assessment tool (SWAT): Calibration and validation with a novel procedure for spatially explicit hrus. *Environ. Manage.*, 57(4), 894-911. DOI: [10.1007/s00267-015-0636-4](https://doi.org/10.1007/s00267-015-0636-4)
- Tyagi, J. V., Rai, S. P., Qaz, N., & Singh, M. P. (2014). Assessment of discharge and sediment transport from different forest cover types in lower Himalaya using Soil and Water Assessment Tool (SWAT). *Int. J. Water. Res. Environ. Eng.*, 6(1), 49-66. DOI: [10.5897/IJWREE2013.0448](https://doi.org/10.5897/IJWREE2013.0448)
- Zeiaei, Kh., Esmali, A., Mostafazadeh, R., & Golshan, M. (2021). Assessing the effects of various land use change scenarios on runoff using SWAT model in the Ahlman watershed. *Hydrogeomorphol.*, 8(27), 123-138. DOI: [10.22034/HYD.2021.44819.1578](https://doi.org/10.22034/HYD.2021.44819.1578)
- Zorratipour, M., Zarei, H., Sharifi, M., and Radmanesh, F. (2021). Hydrological simulation of Bakhtegan basin in Iran using the SWAT model. *Irriga. Sci. Eng.*, 44(2). DOI: [10.22055/jise.2021.36821.1964](https://doi.org/10.22055/jise.2021.36821.1964)
- Zuo, D., Xu, Z., Yao, W., Jin, S., Xiao, P., & Ran, D. (2016). Assessing the effects of changes in land use and climate on runoff and sediment yields from a watershed in the Loess Plateau of China. *Sci. Total. Environ.*, 544, 238-250. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2015.11.060](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.060)

How to cite this paper:

Mehri, S., Moradi, H. R. and Mostafazadeh, R. (2023). Simulation and determination of hydrological balance components in the upstream of Gheshlagh Dam using SWAT model. *Environ. Water Eng.*, 9(4), 485-498. DOI: [10.22034/ewe.2023.360340.1805](https://doi.org/10.22034/ewe.2023.360340.1805)



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Research Paper

Accuracy Evaluation of Methods for Determining Jet Trajectory Characteristics in Flip Bucket

Eghbal Khorami¹, Mohammad Mehdi Heidari^{2*} and Rasoul Ghobadian³

¹Ph.D. Scholar, Department of Water Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

²Assist. Professor, Department of Water Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

³Assoc. Professor, Department of Water Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran

Article information

Received: November 04, 2022

Revised: December 20, 2022

Accepted: December 21, 2022

Keywords:

Energy Dissipators

Jet Trajectory

Peak Point

Ski-Jump

*Corresponding author:

mm.heidari@razi.ac.ir



Abstract

The maximum scour of the flip-bucket occurs at the jet landing site, so it is important to know the exact path of the jet. In this research, by building two laboratory models of different sizes, the ability to exist relationships in predicting the jet path, length, and coordinates of the jet peak was evaluated. According to the results, Kawakami's relation had better accuracy in predicting the jet path. The average error percentage of the jet trajectory length prediction in USBR and Attari relationships was less than 10% and other relationships were more than 20%. USBR, Attari, and Kawakami relationships had a good estimate of the jet trajectory length along the edge. The error of other relationships in estimating this characteristic was more than 30%. In predicting the horizontal distance of the high point of the jet trajectory, the theoretical relationship and the profile of Kawakami and USBR had an average error of less than 10%. Theoretical relationships, Kawakami and USBR in estimating the maximum height of the jet, have an estimate with an error of 23.7, 33.9, and 21.4% and according to the Nash-Sutcliffe criterion, none of these relationships have been able to get a very good category.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

The flow passing through the spillway, especially during the flood, has the potential to destroy the river bed due to excess energy. To depreciate this kinetic energy and reduce its risks, they use energy dissipators structures. Flip bucket is one of the energies dissipators structures types, which is of hydraulic engineers' interest due to its construction cost compared to other structures. The ease of operation and

maintenance of this type of structure has made it more practical. The purpose of this research is to evaluate the various relationships related to the prediction of jet trajectory characteristics, such as the length of the jet along the water surface and the edge of the bucket, the height of the jet and the horizontal distance of the peak from the edge of the bucket using the experimental data of two models with different dimensions. In this research, the accuracy of the relationships has



been investigated and an attempt has been made to introduce relationships with acceptable predictions to be used in flip bucket design.

Material and Methods

In this research, the relationships of jet trajectory prediction and the estimation of its geometric characteristics are identified and the accuracy of these relationships is evaluated. The relationships evaluated in this research were USBR, Kawakami, Gunko, Taraimovich and Gunko, Lencastre, Attari, and Elvatorski. In this research, two laboratory models with different dimensions were designed and built in the laboratory. The first laboratory model is made of galvanized iron cut by CNC with 0.1 mm precision. The width, height and length of this model were 50, 45 and 49 cm. The radius of the bucket is 15 cm and the edge angle is 45° . The second laboratory model has a height difference between the overflow crest and the bottom of the cup equal to 1.45 m, width 0.35 m, total length 1.94 m, edge angle 30° and bucket radius 0.36 m. All cuts of this model are made by CNC. The Bottom of this model is made of 2 mm fiberglass and the walls are made of 4 mm thick glass. In both models, grid plates and flow stabilizers are installed between the inlet of the tank and the weir to prevent the transfer of water turbulence to the system. The chute before the bucket in the first and second models had an angle of 55° and 44° with the horizon. The tests in the first model is done for the flow rates of 17.1, 14.8, 10.8, 7.5 and 4.8 l/s and in the second model it is done for flow rates of 17.7, 15.5, 13.6, 12.9 and 9 l/s. The Froude number range in these experiments was from 6.8 to 12.3. The accuracy of relationships was evaluated based on the statistical criteria of coefficient of determination, R^2 , Mean Squared Error, MSE, Normalized Mean Square Error, NMSE, Nash-Sutcliffe Efficiency, NSE and Mean Absolute Percentage Error, MAPE.

Results

In Fig. 1 the observed and calculated jet trajectory profile is depicted by different relationships for the maximum and minimum flow, which are 4.8 and 1.17 l/s in the first model and 9 and 17.7 l/s in the second model, respectively. The predicted jet path by the relations have higher error at low flow rates than the higher flow rates. R^2 , MAPE and NSE criteria of the Kawakami relation for predicting the jet path are 0.99, 28% and 0.98, these values for the USBR relation are equal to 0.96, 22% and 0.94. MAPE criteria for USBR.

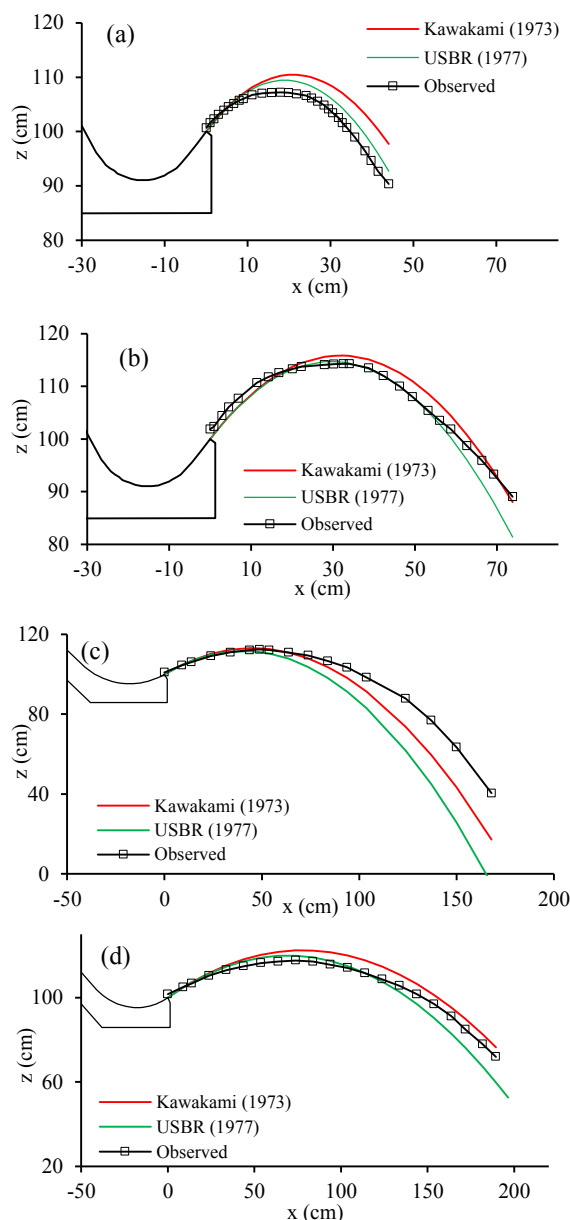


Fig. 1 Observational and computational profile of the jet trajectory for the a) first model $Q=4.8$ l/s b) first model $Q=17.1$ l/s c) second model $Q=9$ d) second model $Q=17.7$ l/s

Attari and jet theory profile in estimating the length of the jet trajectory along the downstream water level and the leve of the lip bucket have been estimated with an error of less than 10%. Other relationships did not have a good prediction of this characteristic. The observed and calculated values of different relationships are included in Fig. 2.

MAPE criteria of theoretical relations, USBR, Kawakami and Attari in estimating these characteristics is less than 10%. These relationships are in a very good category according to the Nash-Sutcliffe criterion.

MAPE criteria of Kawakami and USBR (relationships in predicting the horizontal distance of the peak point was 6 and 7%. This criterion is equal to 23.7, 34 and 21% in predicting the height of the peak point of theoretical relations, Kawakami and USBR.

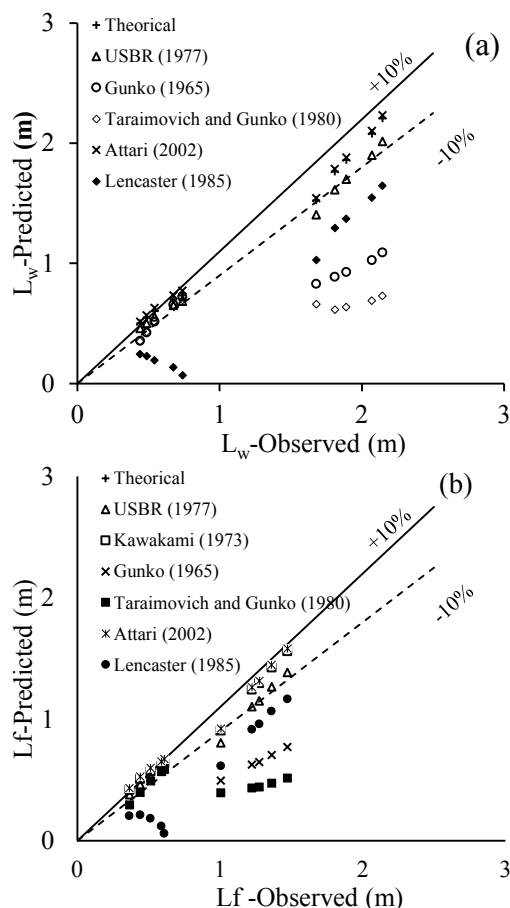


Fig. 2 Observational and computational values of the
a) length of the jet trajectory along the downstream water level and b) lip bucket level.

The range of coefficient in relation to USBR is announced from 0.85 to 0.9. In different models, this coefficient can be different or even out of the declared range, which has caused errors in the predicted profile and other predicted characteristics of relationships. The cause of error in some relationships such as Elvatorski is

due to the failure to predict all the influencing factors in the proposed relationship. Some relationships have also been experimental and unique to the studied models. The Attari relation is based on models made with different sizes in Iran's water research center, and in this research, it had acceptable predictions.

Conclusions

The most important results of the present study can be expressed as follows:

1. In the evaluation of the prediction relationships of the exit jet path, it was found that in terms of the NSE criterion, the Kawakami relationship with the NSE criterion of 0.9 compared to the USBR relationship of 0.685 was able to predict the jet path better.
2. In predicting the length of the jet trajectory along the downstream water level, theoretical relationships, USBR and Attari, the MAPE criteria was less than 10%
3. In estimating the length of the jet trajectory along the edge of the flip bucket, USBR, Attari and Kawakami relationships have an MAPE criteria of about 10%. This criterion has been more than 25% in other relationships.
4. The average absolute value of the relative error for theoretical relationships, Kawakami and USBR in estimating the horizontal distance of the peak point is less than 10% and in estimating the peak height, it is 23.7, 33.9 and 21.4%. All three relationships have a high error in projectile height estimation, and according to the Nash-Sutcliffe criterion, none of these relationships have been able to obtain an acceptable criterion.

Data Availability

The data can be sent on request by the corresponding author via email.

Conflicts of Interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مطالعه پژوهشی

ارزیابی دقت روش های تعیین مشخصات جت عبوری از جام پرتابی

اقبال خرمی^۱، محمدمهدی حیدری^{۲*} و رسول قبادیان^۳

^۱ دانشجوی دکترای، گروه مهندسی آب، دانشکده پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
^۲ استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
^۳ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۸/۱۳]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۰۹/۲۹]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۰۹/۳۰]

واژه های کلیدی:

پرش اسکی
مستهلك کننده انرژی
مسیر جت
نقطه اوج

پرتاب کننده جامی یکی از انواع مستهلک کننده های انرژی در پایین دست سريزه ها می باشد که هزینه کمتری نسبت به سایر سازه های استهلک انرژی دارد و در دهه های اخیر مورد توجه ویژه مهندسين قرار گرفته است. با توجه به اینکه آبستگي حداکثری در محل فرود جت پرتابی می باشد، شناخت دقیق مسیر حرکت جت، طول پرتابه و مختصات نقطه اوج جت حائز اهمیت است. به منظور بررسی روابط ارائه شده برای پیش بینی خصوصیات هیدرولیکی جت پرتابه ای، دو مدل آزمایشگاهی سرریز به همراه جام پرتابی به ارتفاع های ۱/۴۵ و ۰/۴۵m متر ساخته شد. پروفیل جت برای دبی های مختلف با استفاده از تکنیک عکس برداری و رقومی کردن تصاویر به کمک نرم افزار Grapher برداشت و مقادیر مشاهداتی با روابط ارائه شده توسط سایر محققین مقایسه شد. نتایج نشان داد که در پیش بینی مسیر جت خروجی از جام، معیار نش-ساتکلیف مربوط به رابطه ی کاواکامی ۰/۹۱ است که نشان دهنده ی مناسب بودن این رابطه می باشد. همچنین روابط USBR، عطاری و کاواکامی در پیش بینی طول پرتابه مناسب تشخیص داده شد. میانگین قدر مطلق خطای نسبی روابط تئوری حرکت پرتابه، کاواکامی و USBR در پیش بینی فاصله افقی نقطه اوج پرتابه کمتر از ۱۰٪ و همچنین در برآورد ارتفاع خیز پرتابه به ترتیب ۲۳/۷٪، ۳۳/۹٪ و ۲۱/۴٪ است.

*نویسنده مسئول:

mm.heidari@razi.ac.ir



۱- مقدمه

استفاده می شود (Parsaie and Haghiabi 2021). پرتاب کننده جامی یکی از انواع سازه های مستهلک کننده انرژی است که با توجه به هزینه ساخت آن نسبت به سایر سازه ها مورد توجه مهندسين هیدرولیک می باشد. سهولت در بهره برداری و نگهداری این نوع سازه باعث کاربردی تر شدن آن شده است (Barani et al. 2009). این نوع

جریان عبوری از سرریز خصوصاً در موقع عبور سیلاب دارای پتانسیل تخریب بستر پایاب به دلیل انرژی مازاد است (USBR^۱1987). برای مستهلک کردن این انرژی جنبشی زیاد در پایاب سدها از سازه های مختلفی از جمله حوضچه آرامش، سرریز پلکانی و جام پرتابه ای و ایجاد پرش اسکی

^۱United States Bureau of Reclamation



با استفاده از داده‌های مدل آزمایشگاهی و عددی بررسی و مسیر جت پرتابه‌ای را با رابطه کاواکامی مقایسه کردند. Farzin et al. (2018) تأثیر دبی بر طول جت پرتابه‌ای، سرعت، فشار و عدد فرود جریان خروجی از جام پرتابه‌ای را با استفاده از مدل عددی فلوتری دی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل آشفتگی $k-\epsilon$ دقت بالاتری نسبت به مدل RNG^2 دارد. Ebrahimnezhadian et al. (2020) جریان عبوری از پرتابه کننده‌ی جامی سد گاوشان را با استفاده از مدل عددی شبیه‌سازی و اثر تغییر زاویه لبه‌ی جام را بر توزیع فشار کف جام، سرعت جریان خروجی و طول جت پرتابه‌ای بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش لبه‌ی جام تأثیر قابل‌توجهی روی حداکثر فشار در جام ندارد و زاویه 30° ، زاویه‌ی بهینه جام است. با بهره‌گیری از مدل فیزیکی و عددی با تعبیه بلوک‌هایی بر روی بخش تنداب سرریز اوجی با انتهای جام پرتابه‌ای، افت انرژی و طول پرتابه را در شرایط بدون جام، جام پرتابه‌ای با زاویه 32° و 52° بررسی و مشخص شد که طول پرتابه در این شرایط و با حضور بلوک‌های تنداب ۸ تا ۵۸٪ کاهش می‌یابد (Daneshfaraz et al. 2020).

Mirsalari and Shafai-Bejestan (2020) در یک تحقیق آزمایشگاهی تأثیر تعدادی تیغه منحرف کننده غیر ممتد مثلی را بر میزان استهلاك انرژی و طول جت پرتابه‌ای بررسی کردند. آزمایش‌های این تحقیق در چهار دبی و سه عمق پایاب متفاوت برای دفلکتورهای مثلی با زاویه 47° و بدون دفلکتور بوده است. این محققین در نهایت به دلیل افزایش میزان افت انرژی و کاهش طول پرتابه پرتاب‌کننده با دفلکتور مثلی را توصیه نمودند. Mansouri et al. (2020) با استفاده از مدل عددی فلوتری دی خصوصیات هیدرولیکی جریان در پرتاب‌کننده جامی و همچنین پروفیل مسیر جت خروجی را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که پروفیل زیرین جت آب حساسیت کمتری نسبت به تغییرات هیدرولیکی جریان دارد. Karami Moghadam et al. (2020) اثرات تغییرات زاویه صفحه مورد اصابت جت در حوضچه پایاب، عمق فرورفتگی و دبی بر فشار دینامیکی جام ناشی از پرش اسکی را بصورت آزمایشگاهی بررسی نمودند. آن‌ها از چهار زاویه صفحه ضربه و چهار عمق آب پایاب استفاده نمودند. دبی‌های ۶۷، ۸۶، ۱۶۱ و 184 l/s انتخاب

مستهلك کننده جریان در جریان‌های با سرعت بیش از m/s ۱۵ توصیه شده است (Heller et al. 2005) و همچنین در شرایط زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی مناسب اقتصادی‌ترین مستهلك‌کننده در سدهای بلند می‌باشد (Khatsuria 2005). در این سازه، جریان پس از عبور از جام بصورت فواره به هوا پرتاب می‌شود و پس از طی مسیری در پایین‌دست فرود می‌آید. عموماً حداکثر آبشستگی بستر حوضچه در محل فرود جت ایجاد می‌شود و بررسی آن وابستگی مستقیم به جت پرتاب شده از جام و محل فرود آن دارد. موقعیت چاله آبشسته شده به نوع سازه استهلاك انرژی و الگوی جریان در بالادست جام نیز وابسته است (Parsaie et al. 2016). اهمیت دیگر شناخت کافی از مسیر حرکت جت این است که با توجه به شرایط خاص پایاب، عدم شناخت صحیح از محل فرود ممکن است باعث برخورد توده آب به سازه‌های پایاب و یا توده‌های طبیعی دارای مقاومت کم شود و خطراتی برای پایداری سازه‌های در جوار ایجاد کند (Juon and Hager 2000).

Kamanbedast and Aghamajidi (2013) با استفاده از مدل عددی، تأثیر زوایای جام سد گتوند علیا را بر طول جت خروجی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که جت خروجی جام سمت راست در زاویه 34° بیشترین و در زاویه 48° کمترین طول پرتاب را دارد. همچنین در جام سمت چپ، زاویه جام 28° و 48° به ترتیب باعث بیشترین و کمترین طول پرتاب جت می‌شود. Kakeshpour et al. (2016) اثر چهار مقدار بازشدگی دریچه شعاعی را با استفاده از نرم‌افزار فلوتری دی^۱ بر طول جت پرتابی و حداکثر ارتفاع جت بررسی کردند. این محققین براساس نتایج خود اعلام نمودند که دقت مدل فلوتری دی در مدل‌سازی جت خروجی از جام پرتابه‌ای مناسب است و می‌توان از آن برای بررسی مشخصات جت استفاده کرد. این محققین در پژوهش دیگر، با استفاده از مدل فیزیکی و عددی طول جت پرتابه‌ای را برای حالتی که سرریز دارای دریچه است و یا شکل انتهای جام مثلی است، بررسی و با روابط موجود مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که رابطه Kawakami (1973) دارای خطای زیاد و رابطه اداره عمران اراضی ایالات متحده دقت مناسبی در تعیین پروفیل جت خروجی است. Yavuz et al. (2016) افت انرژی، طول جت پرتابه‌ای و فشار دینامیکی کف جام را

²Renormalization Group

Flow 3D

شد. برای هر دبی، عمق پایاب و زاویه صفحه تنظیم و فشارهای دینامیکی توسط مبدل اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با افزایش زاویه صفحه، میانگین ضریب فشار دینامیکی کاهش می‌یابد و در زاویه 60° صفحه، ضریب فشار دینامیکی ناشی از افزایش عمق پایاب از ۳۴٪ تا ۹۵٪ متغیر بود. این محققین همچنین اعلام نمودند که افزایش عمق بالشتک آب در پایین دست منجر به کاهش میانگین فشار و نوسانات فشار شده است. با افزایش دبی و زاویه دیواره پایین متحرک، حداکثر مقدار ضریب نوسان در عمق کمتر بالشتک آب رخ داده و با رشد دبی، حداکثر نوسانات مثبت و منفی فشار ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است. Emre Ulu et al. (2022) با بهره‌گیری از مدل عددی، شکل خاصی از جداکننده جریان در جام سرریزهای جامی را ارائه داد که باعث کاهش ۵۵٪ سرعت جریان و کاهش طول پرتابه نسبت به حالت بدون جداکننده جریان شده است.

با توجه به اینکه مشخصات جت خروجی از جام پرتابه‌ای بر آبشستگی و پایداری سرریز تأثیر زیادی دارد، ارزیابی روابط موجود در تخمین مسیر جت و مشخصات آن به‌منظور استفاده در طراحی جام پرتابه‌ای ضروری است. هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی روابط مختلف مربوط به پیش‌بینی مشخصات جت پرتابه‌ای از قبیل طول پرتابه در راستای

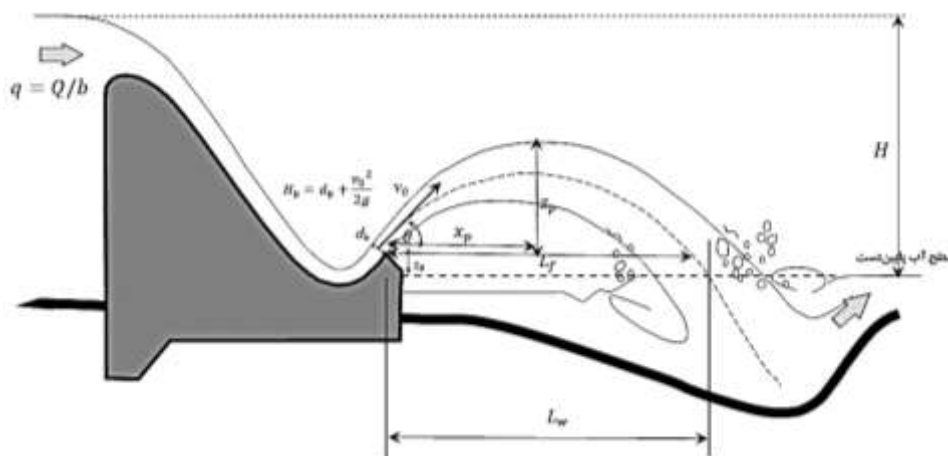
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- روش‌های برآورد مسیر و مشخصات هندسی جت

مسیر جت خروجی از جام با استفاده از مفهوم حرکت پرتابه‌ای به‌صورت تئوری مطابق رابطه (۱) می‌باشد (USBR 1987):

$$z = z_0 + xt \tan \theta - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta} \quad (1)$$

که در آن، v_0 سرعت متوسط جت خروجی از لبه جام، x فاصله افقی از لبه جام، z فاصله عمودی جت از تراز لبه جام، z_0 فاصله عمودی لبه جام نسبت به سطح آب پایاب، g شتاب ثقل و θ زاویه لبه جام با افق می‌باشد. شکل (۱) مشخصات هندسی و عوامل مؤثر بر حرکت جت خروجی از جام پرتابه‌ای را نشان می‌دهد. در این شکل b عرض سرریز می‌باشد.



شکل ۱- مشخصات هندسی و عوامل مؤثر بر حرکت جت خروجی از جام پرتابه‌ای

Fig. 1 Geometric characteristics and factors affecting the trajectory of the exiting jet from the Flip Bucket

$$L_w(t) = \frac{v_0^2}{2g} \left[\sin 2\theta + 2 \cos \theta \sqrt{\sin^2 \theta + \frac{z_0}{(v_0^2/2g)}} \right] \quad (2)$$

$$L_f(t) = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g} \quad (3)$$

$$z_p(t) = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g} \quad (4)$$

$$x_p(t) = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{2g} \quad (5)$$

با استفاده از رابطه (۱)، فاصله افقی محل برخورد با سطح آب پایین‌دست، L_w ، طول جت در تراز لبه جام، L_f ، ارتفاع اوج پرتابه، z_p ، و فاصله افقی اوج پرتابه نسبت به لبه جام، x_p ، به‌صورت تئوری مطابق روابط (۲) تا (۵) می‌باشد (USBR 1987):

$$z = z_0 + xt g \theta - \frac{x^2}{\kappa(4H_b \cos^2 \theta)} \quad (12)$$

$$L_w = kH_b \left[\sin 2\theta + 2\cos\theta \sqrt{\sin^2 \theta + \frac{Z_0}{kH_b}} \right] \quad (13)$$

که، H_b هدکل انرژی جت خروجی از سازه نسبت لبهی جام و k ضریب مربوط به مقاومت هوا که بین ۰/۸۵ تا ۰/۹ در نظر گرفته شده است. (Taraimovich and Gunko (1980) نسبت طول واقعی به طول تئوری جت پرتابی را به عدد فرود در لبهی جام مرتبط دانسته و رابطه (۱۴) را ارائه دادند

$$L = L_{(t)} e^{-5 \times 10^{-5} Fr_b^4} \quad (14)$$

(Lencastre (1985) نیز رابطه شماره (۱۵) را برای تخمین طول جت پرتابه ارائه نمود.

$$L = 0.072 L_{(t)} \sqrt{Fr_b^2 - 45} \quad (15)$$

برخی از محققان مانند (Khatsuria 2005; Peterka 1985; USBR 1987; Visser and Hager 1998) تحقیقات خود را برای محاسبه فاصله افقی محل برخورد با سطح آب پایین دست بر رابطه (۱۶) قرار دادند. در این رابطه K_a ضریب هوادهی می باشد (Savic 2010).

$$L_w = K_a \frac{v_0^2 \cos \theta}{g} \left[\sin \theta + \left(\sin^2 \theta + \frac{2gZ_0}{v_0^2} \right)^{1/2} \right] \quad (16)$$

(Attari (2002) براساس نتایج آزمایشگاهی در سدهای ایران رابطه (۱۷) را برای محاسبه طول جت پرتابه‌ای ارائه داد.

$$L = L_{(t)} \left[1 - \frac{(v_0/30)^{4.45}}{2.25(v_0/30)^{3.7+4}} \left(\frac{\theta}{40} \right)^{0.5} \right] \quad (17)$$

۲-۲- مدل‌های آزمایشگاهی

به‌منظور تعیین مسیر و مشخصات جت پرتابه‌ای، دو مدل آزمایشگاهی با ابعاد مختلف در آزمایشگاه هیدرولیک گروه آب دانشگاه رازی طراحی و ساخته شد. مدل اول آزمایشگاهی به اقتباس از سرریز سد Grand Coulee، شامل سرریز اوجی، شوت و پرتاب کننده جامی از جنس آهن گالوانیزه است که با دستگاه برش لیزری با دقت mm ۰/۱ ساخته شده است. مدل سرریز اوجی به عرض cm ۵۰، ارتفاع cm ۴۵ و طول cm ۴۹ طراحی شده است و دارای یک شوت با شیب ۱:۰/۷ و یک جام پرتابی با شعاع cm ۱۵ و زاویه لبهی خروجی 45° است کف این مدل با ورق گالوانیزه پوشش داده شده است. این مدل مطابق شکل (۲-الف) در کانال آزمایشگاهی دارای طول، عرض و ارتفاع ۱۵،

که، نمایه t ، نشان‌دهنده تئوری بودن رابطه براساس مبانی حرکت پرتابه‌ای است. مشخصات هندسی جت خارج شده از جام بستگی به زاویه لبهی جام، سرعت خروجی جت و فاصله لبهی جام تا سطح آب پایاب دارد. رابطه‌ی مسیر حرکت جت به‌صورت تئوری بدون در نظر گرفتن مقاومت هوا و آشفتگی جریان است. محققین مختلف روابطی را برای مسیر حرکت جت و مشخصات آن ارائه کرده‌اند آنها عمدتاً تأثیرگذاری مقاومت هوا و سایر موارد را با پارامترهای مختلف به‌عنوان ضریب اصلاحی اعمال نموده‌اند. Elvatorski (1959) براساس مشاهدات انجام شده سد Pin Flat رابطه (۶) را برای پیش بینی طول پرتابه پیشنهاد داد (W.R. I. (2003)

$$\frac{L}{H} = 2 \frac{Z_u}{H} \sin 2\theta \quad (6)$$

که در آن، L طول جت پرتابه‌ای، H اختلاف ارتفاع بین سطح آب مخزن و سطح پایاب و Z_u اختلاف ارتفاع بین سطح آب مخزن و کف جام است. (Gunko (1965) مقدار طول واقعی جت پرتابه‌ای را وابسته به عدد فرود جریان در نظر گرفت و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی رابطه (۷) را برای طول جت ارائه داد.

$$L = L_{(t)} e^{-0.12(Fr_b - c)} \quad (7)$$

که، Fr_b عدد فرود در خروجی جام، c یک مقدار ثابت بین ۵/۵ تا ۷ و L طول واقعی جت پرتابه‌ای است. Kawakami (1973) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و با تعریف ضریب k به‌عنوان تأثیر مقاومت هوا و وابسته نمودن آن به‌سرعت خروجی جت از جام، روابط (۸) و (۹) را با پارامترهای محاسبه شده از رابطه (۱۰) و (۱۱) برای تعیین مسیر جت پرتابه‌ای و طول جت در تراز لبهی جام ارائه داد (Savic 2010).

$$z = \frac{1}{gk^2} \ln[\cos \gamma + \sin \gamma \tan \alpha] + Z_0 \quad (8)$$

$$L_f = \frac{1}{gk^2} \ln(1 + 2kav_0 \cos \theta) \quad (9)$$

$$\gamma = [e^{(xgk^2)} - 1] / kv_0 \cos \theta \quad (10)$$

$$\alpha = \tanh^{-1}[kv_0 \sin \theta] \quad (11)$$

(USBR (1977) با در نظر گرفتن تأثیر مقاومت هوا، روابط (۱۲) و (۱۳) را برای مسیر و طول جت خروجی از جام تا سطح آب پایاب ارائه داده است.



شکل ۲- تصاویر مدل‌های آزمایشگاهی ساخته شده الف- مدل اول و ب- مدل دوم

Fig. 2 Laboratory models image a) first model b) second model

۲-۳- معیارهای آماری برای ارزیابی روابط

برای تعیین دقت روابط مختلف از معیارهای آماری ضریب تعیین (R^2) ^۱، مربع میانگین خطای استاندارد (MSE)^۲، مربع میانگین خطای استاندارد نرمال شده (NMSE)^۳، معیار نش-ساتکلیف (NSE)^۴، و میانگین قدر مطلق خطای نسبی (MAPE)^۵، مطابق رابطه‌های (۱۸) تا (۲۲) استفاده شد. معیارهای MSE و NSE به ترتیب دارای بدهای طول به

۰/۵ و ۱ m قرار داده شد. شکل (۲-الف) نمایی از مدل آزمایشگاهی سرریز را به همراه پرتاب‌کننده جامی نشان می‌دهد. اندازه‌گیری سطح آب در بالادست توسط یک دستگاه عمق سنج مجهز به متر لیزری با دقت ۰/۱ mm انجام شد، همچنین پروفیل جت با استفاده از فن عکس‌برداری و رقومی کردن تصاویر به کمک نرم‌افزار Grapher برداشت شد. دبی عبوری از مدل آزمایشگاهی با استفاده از سرریز مثلی اندازه‌گیری شد. آزمایش‌های در مدل شماره یک برای دبی‌های ۱۷/۱، ۱۴/۸، ۱۰/۸، ۷/۵ و ۴/۸ l/s صورت گرفت. تأمین آب در مجموعه‌های آزمایشگاهی بصورت گردشی بوده و از مخزن ذخیره توسط پمپ به ابتدای کانال پمپاژ شده است سپس با استفاده از آرام کننده امواج سطحی آن گرفته شده است. کنترل سطح آب در پایین دست توسط دریچه کشویی نصب شده انتهای کانال صورت می‌گیرد و در نهایت آب خارج شده از مجموعه آزمایشگاهی به مخزن ذخیره انتقال می‌یابد.

مدل آزمایشگاهی دوم به صورت مجزا و مطابق شکل (۲-ب) در گروه مهندسی آب دانشگاه رازی طراحی و ساخته شد. اختلاف ارتفاع بین تاج سرریز و کف جام برابر ۱/۴۵ m، عرض مدل آزمایشگاهی ۰/۳۵ m، طول کل سازه ۱/۹۴ m، زاویه لبه‌ی جام 30° و شعاع جام پرتابه‌ای ۰/۳۶ m است. آب از طریق پمپی که حداکثر ظرفیت پمپاژ ۲۳ l/s را دارد، از مخزن ذخیره بیرونی به پشت سرریز پمپاژ می‌شود. صفحات مشبک و آرام کننده‌های جریان جهت جلوگیری از تلاطم آب در قسمت ورودی آب به مخزن بالادست تعبیه شده است. دیوار قسمت سرریز و جام پرتاب‌کننده از شیشه و کف آن‌ها از فیبر شیشه ساخته شده است. دبی و تراز سطح آب در این مدل به ترتیب توسط فلومتر التراسونیک مدل قابل حمل ۳۰۰۱ و دستگاه عمق‌سنج اندازه‌گیری و مسیر جت پرتابه‌ای با استفاده از متر لیزری برداشت شد. آزمایش‌های بررسی مشخصات جت خروجی از جام پرتابه‌ای در مدل دوم برای دبی‌های ۱۷/۷، ۱۵/۵، ۱۳/۶، ۱۲/۹ و ۱ l/s انجام شده است. محدوده عدد فرود در این آزمایش‌های از ۶/۸ تا ۱۲/۳ بوده است.

^۱Coefficient of determination (R squared)

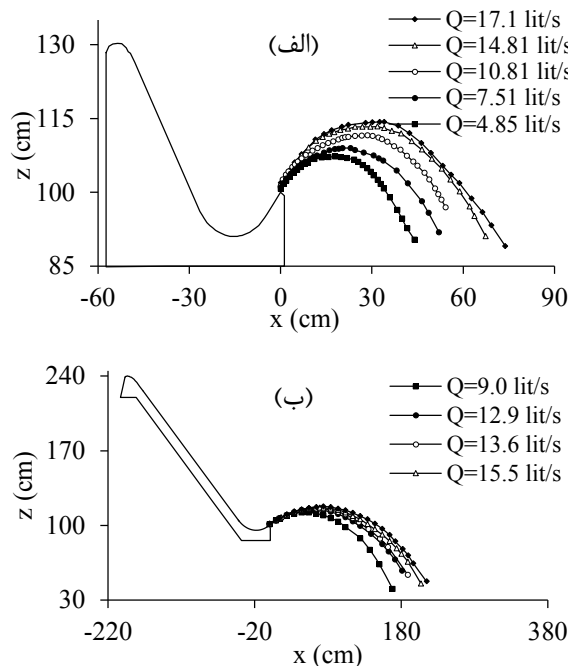
^۲Mean Squared Error

^۳Normalized Mean Square Error

^۴Nash-Sutcliffe Efficiency

^۵Mean Absolute Percentage Error

است. مقدار ضریب هوادهی در رابطه (1977) USBR به میزان ۰/۸۷۵ در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- پروفیل مسیر جت خروجی اندازه‌گیری شده مربوط به الف- مدل اول و ب- مدل دوم

Fig. 3 Profile of the measured output jet trajectory of the a) first model b) second model

حداکثر و حداقل ارتفاع خیز پرتابه در مدل اول به ترتیب ۱۴ و ۷ cm برای دبی‌های ۱۷/۱ و ۴/۹ l/s و در مدل دوم ۱۸ و ۱۲ cm برای دبی‌های ۱۷/۷ و ۹ l/s بود. در این دبی‌ها حداکثر و حداقل فاصله افقی اوج پرتابه از لبه‌ی جام برای مدل اول ۳۴ و ۱۸ cm و برای مدل دوم ۷۴ و ۴۹ cm بوده است. همچنین دبی‌ها حداکثر و حداقل طول جت پرتابه‌ای در راستای لبه‌ی جام ۶۱ و ۳۷ cm برای مدل اول و ۱۴۷ و ۱۰۰ cm برای مدل دوم است. همچنین با توجه به اینکه اختلاف ارتفاع بین سطح آب روی سرریز و لبه‌ی جام در مدل دوم بیشتر از مدل اول می‌باشد، طول جت در مدل دوم بیشتر از مدل اول است. پروفیل مسیر جت پرتابه‌ای مشاهداتی با مسیر پیش‌بینی شده به‌وسیله روابط موجود برای دبی‌های مختلف مقایسه شد. در شکل‌های (۴-الف)، (۴-ب)، (۴-ج)، (۴-د) و (۴-ه) پروفیل مسیر جت پرتابه‌ای مشاهداتی و محاسباتی روابط مختلف در مدل اول به‌ترتیب مربوط به دبی‌های ۴/۸، ۷/۵، ۱۰/۸، ۱۴/۸ و ۱۷/۱ l/s آورده شده است.

توان دو و درصد می‌باشند. سایر معیارها بدون بعد هستند.

$$R^2 = \left(\frac{\sum (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum (O_i - \bar{O})^2 \sum (S_i - \bar{S})^2}} \right)^2 \quad (18)$$

$$MSE = \frac{\sum (O_i - S_i)^2}{n} \quad (19)$$

$$NMSE = \frac{\sum (O_i - S_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (20)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum (O_i - S_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (21)$$

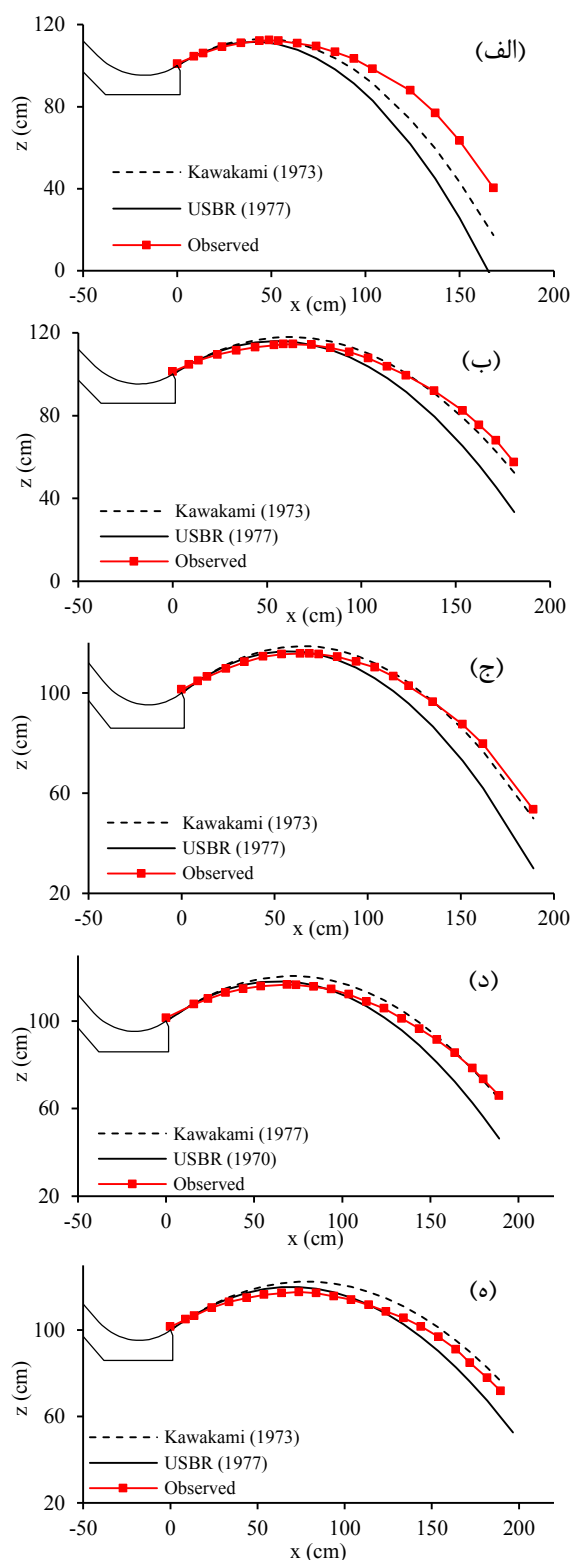
$$MAPE = \frac{100}{n} \sum \left| \frac{S_i - O_i}{O_i} \right| \quad (22)$$

که در آن، S_i مقدار محاسباتی، $\bar{S}$ میانگین داده‌های محاسباتی، O_i مقدار مشاهداتی و $\bar{O}$ میانگین داده‌های مشاهداتی است. بالا بودن ضریب تعیین بیانگر دقت قابل قبول مدل و برتری آن نسبت به مدل دیگر است، همچنین مقادیر MSE و NMSE اگر کمتر باشند یعنی دقت مدل بیشتر است. معیار نش-ساتکلیف از رابطه (۲۱) تعیین می‌شود. این شاخص می‌تواند در بازه $[-\infty, 1]$ تغییر کند و براساس مقدار کسب شده‌ی این معیار در محدوده‌های ۰/۷۵ تا ۱ نتیجه ارزیابی بسیار خوب، در محدوده ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ نتیجه خوب، در محدوده ۰/۵ تا ۰/۶۵ نتیجه رضایت‌بخش و در محدوده کمتر از ۰/۵ نتیجه غیر قابل قبول تعیین شده است (Moriassi 2007).

۳- یافته‌ها و بحث

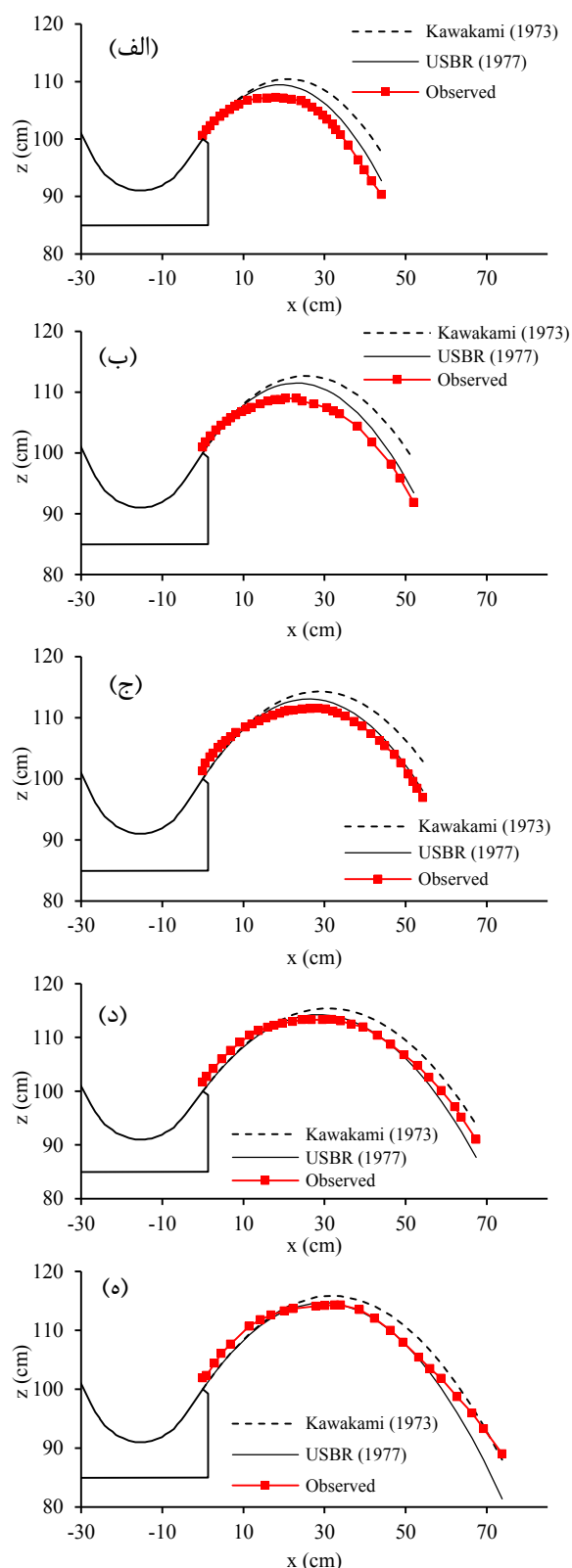
۳-۱- مسیر جت خروجی

مسیر جت خروجی از جام براساس رابطه تئوری حرکت پرتابه‌ای بستگی به سرعت جت خروجی و زاویه لبه‌ی جام دارد. با در نظر گرفتن رابطه انرژی بین سطح آب در مخزن سرریز و لبه‌ی جام، می‌توان سرعت تقریبی جت خروجی از جام پرتابه‌ای را محاسبه کرد. دبی عبوری از سرریز و اختلاف ارتفاع بین سطح آب روی سرریز و لبه‌ی جام دو متغیر اثرگذار بر سرعت جت خروجی از جام بودند. افزایش دبی و اختلاف ارتفاع بین هد آب بالادست و لبه‌ی جام باعث افزایش طول جت پرتابه‌ای می‌شود. در این تحقیق سرعت جریان خروجی از جام به‌صورت متوسط با استفاده از عمق آب اندازه‌گیری شده روی لبه خروجی جام محاسبه شده است. در شکل (۳) برای دو مدل آزمایشگاهی، پروفیل مسیر جت خروجی از جام پرتابه‌ای در دبی‌های مختلف آورده شده



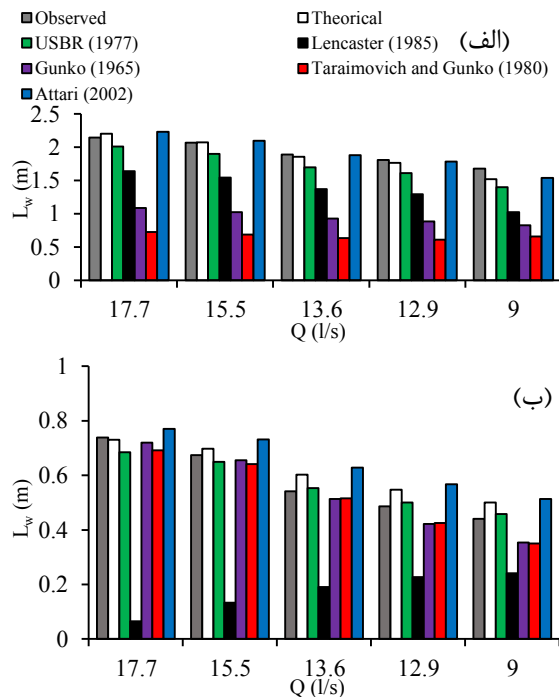
شکل ۵- ارزیابی روش‌های محاسباتی پروفیل مسیر جت با استفاده از داده‌های این تحقیق برای مدل آزمایشگاهی دوم
الف- ۹ ب- ۱۲/۹ ج- ۱۳/۶ د- ۱۵/۵ ه- ۱۷/۷ l/s

Fig. 5 Observational and computational profile of the jet trajectory for the second model model a) 9 b) 12.9 c) 13.6 d) 15.5 e) 17.7 l/s



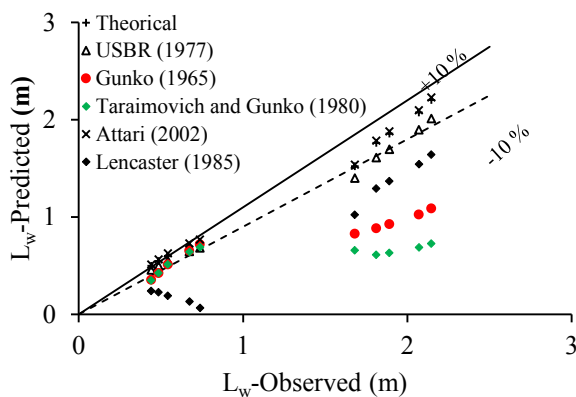
شکل ۴- ارزیابی روش‌های محاسباتی پروفیل مسیر جت با استفاده از داده‌های این تحقیق برای مدل آزمایشگاهی اول
الف- ۴/۸ ب- ۷/۵ ج- ۱۰/۸ د- ۱۴/۸ ه- ۱۷/۱ l/s

Fig. 4 Observational and computational profile of the jet trajectory for the first model a) 4.8 b) 7.5 c) 10.8 d) 14.8 e) 17.1 l/s



شکل ۶- مقایسه روابط مختلف تخمین مقدار طول جت پرتابه‌ای در راستای سطح آب پایین‌دست در: الف- مدل اول ب- مدل دوم

Fig. 6 Comparison of different relationships for estimating the length of the jet trajectory along the downstream water level in the: a) first and b) second model



شکل ۷- مقادیر مشاهداتی و محاسباتی طول جت پرتابه‌ای در راستای سطح آب پایین‌دست

Fig. 7 Observational and computational values of the length of the jet trajectory along the downstream water level

مقادیر طول پرتابه‌ای مشاهداتی و محاسباتی روابط مختلف در شکل (۷) درج شده است. همان‌طور که مشخص است سه رابطه USBR (1973)، Attari (2002) و تئوری در محدوده ۱۰٪ مقادیر مشاهداتی واقع شده و سایر روابط پیش‌بینی مناسبی از این مشخصه نداشته‌اند. برخی از روابط مانند Gunko (1965)، Taraimovich and Gunko (1980) و Lencaster (1985) طول پرتابه را خیلی کم‌تر از

در مدل آزمایشگاهی اول مسیر پیش‌بینی شده جت خروجی از جام با استفاده از رابطه USBR (1977)، انطباق بیشتری با داده‌های مشاهداتی دارد. همچنین افزایش دبی باعث افزایش سرعت جت خروجی از جام پرتابه‌ای و در نتیجه باعث افزایش طول جت پرتابه‌ای و ارتفاع اوج آن می‌شود. نتایج نشان داد، با افزایش دبی خطای روابط برای پیش‌بینی مسیر جت کمتر می‌شود. در شکل‌های (۵-الف)، (۵-ب)، (۵-ج)، (۵-د) و (۵-ه) پروفیل مسیر جت پرتابه‌ای مشاهداتی و محاسباتی روابط مختلف در مدل دوم به ترتیب برای دبی‌های ۹، ۱۲/۹، ۱۳/۶، ۱۵/۵ و ۱۷/۷ l/s درج شده است.

همان‌گونه که از شکل (۵) مشخص است در مدل دوم رابطه Kawakami (1973) توانسته است پیش‌بینی دقیق‌تری از مسیر خروجی جام داشته باشد مسیر جت پیش‌بینی شده در دبی‌های کم نسبت به دبی‌های بیشتر فاصله بیشتری از مسیر جت اندازه‌گیری داشته است. به‌منظور ارزیابی و بررسی دقت این روابط، ۲۰۰ نقطه (به‌طور متوسط از هر دبی ۲۰ نقطه) از مسیر جت پرتابه‌ای پیش‌بینی شده، مورد استفاده قرار گرفت. ضریب تعیین، میانگین قدر مطلق خطای نسبی و معیار نش-ساتکلیف رابطه Kawakami (1973) به ترتیب ۰/۹۹، ۰/۲۸ و ۰/۹۸ بوده است. این مقادیر در رابطه USBR (1977) به ترتیب ۰/۹۶، ۰/۲۲ و ۰/۹۴ بودند. مطابق این معیارها، رابطه USBR (1977) با میزان میانگین خطای ۰/۲۲، توانسته است بهتر از رابطه Kawakami (1973) مسیر جت را پیش‌بینی نماید.

۳-۲- طول جت پرتابه‌ای در راستای سطح آب پایاب

به‌منظور تخمین طول جت پرتابه‌ای در راستای سطح آب پایین‌دست می‌توان از روابط تئوری USBR (1977)، Gunko (1965)، Taraimovich and Gunko (1980)، Lencaster (1985) و Attari (2002) ذکر شده در بخش مواد و روش‌ها استفاده نمود. در شکل (۶) مقدار طول مشاهده‌ای جت پرتابه‌ای و مقادیر محاسباتی روابط مختلف برای هر دو مدل آزمایشگاهی درج شده است. لازم به ذکر است در این بخش سطح آب پایاب به‌عنوان سطح مبنا در نظر گرفته شده است. در رابطه Gunko (1965) ضریب ثابت برابر ۶/۲۵ در نظر گرفته شده است.

میزان واقعی آن برآورد نموده‌اند. به‌منظور ارزیابی بهتر روابط
موجود، معیارهای آماری و متوسط درصد خطای محاسباتی درج شده است.

جدول ۱- معیارهای آماری مربوط به ارزیابی روش‌های مختلف برآورد طول جت پرتابه‌ای در راستای سطح آب پایین‌دست
Table 1 Statistical criteria related to the evaluation of different methods of estimating the length of the jet trajectory along the downstream water level

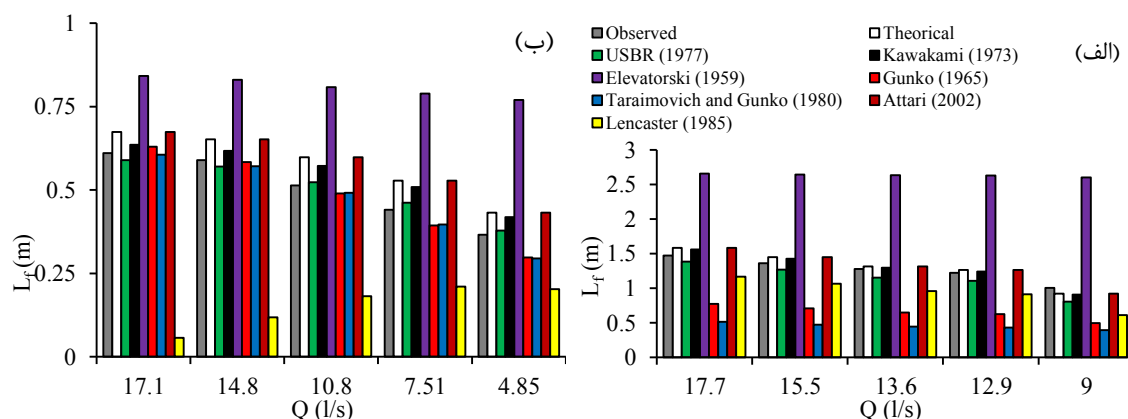
Relationship name	MAPE (%)	R ²	NMSE	MSE (m ²)	NSE
Theoretical	5.8	0.992	0.009	0.004	0.991
USBR (1977)	7.2	0.993	0.043	0.020	0.957
Gunko (1965)	29.6	0.896	1.003	0.473	-0.003
Taraimovich and Gunko (1980)	37.5	0.488	1.695	0.799	-0.695
Attari (2002)	7.8	0.480	0.011	0.005	0.989
Lencaster (1985)	47.9	0.885	0.523	0.247	0.477

پرتابه‌ای در سطح آب پایین‌دست جزو روابط با پیش‌بینی بسیار خوب بودند.

۳-۳- طول جت پرتابه‌ای در راستای لبه جام

به‌منظور تخمین طول جت پرتابه‌ای در راستای لبه خروجی جام می‌توان از روابط تئوری، USBR (1977)، Taraimovich (1959)، Elevatorski (1965)، Gunko (1980)، Lencaster (1985)، Attari (2002) و Kawakami (1973) استفاده نمود. در شکل (۸) مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی طول جت پرتابه‌ای در راستای لبه جام برای هر دو مدل آزمایشگاهی آورده شده است.

به‌جز روابط تئوری، USBR (1977) و Attari (2002) با میانگین قدر مطلق خطای نسبی ۷/۲ و ۷/۸٪، سایر روابط دارای میانگین قدر مطلق خطای نسبی بیش از ۳۰٪ در برآورد طول جت پرتابه‌ای در راستای سطح آب پایین‌دست می‌باشند. در برآورد این مشخصه رابطه تئوری نیز توانسته است برآورد و دقت خوبی داشته باشد. میانگین قدر مطلق خطای نسبی برآورد طول پرتابه رابطه تئوری حدود ۵/۸٪ است. روابط USBR (1977)، Attari (2002) و تئوری مطابق معیار نش-ساتکلیف در ارزیابی مشخصه طول جت



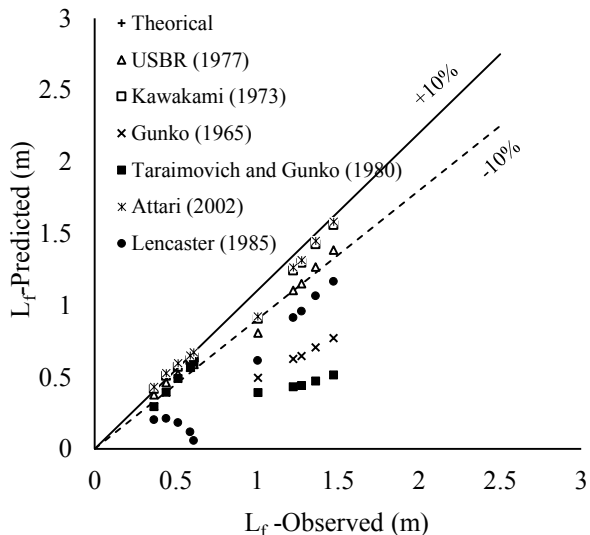
شکل ۸- مقایسه روابط مختلف تخمین مقدار طول جت پرتابه‌ای در راستای لبه جام در الف- مدل اول ب- و مدل دوم
Fig. 8 Comparison of different relationships for estimating the length of the jet trajectory along the edge of the flip bucket in a) first model b) second model

روابط خارج از محدوده ۱۰٪ میانگین قدر مطلق خطای نسبی قرار گرفته است. برخی از این روابط مانند Elevatorski (1959) دارای خطای بسیار زیادی از محاسبه طول پرتابه در راستای لبه جام می‌باشند و برخی از روابط نیز مانند Gunko (1965)، Taraimovich and

همچنین به‌منظور ارزیابی دقت روش‌های مختلف برآورد طول جت خروجی در راستای لبه جام، مقادیر مشاهداتی و محاسباتی از روابط مختلف و محدوده ۱۰٪ خطا در شکل (۹) درج می‌باشد. به‌جز روابط تئوری، USBR (1977)، Kawakami (1973) و Attari (2002) پیش‌بینی سایر

میانگین قدر مطلق خطای نسبی کمتر از ۱۰٪ توانسته‌اند با دقت مناسبی طول پرتابه را در راستای لبه‌ی جام پیش‌بینی نمایند. این روابط به لحاظ معیار نش-ساتنکیف در رده بسیار خوب قرار دارند. علت خطای رابطه Elevatorski (1959) در این است که این معادله را شکل اصلاح شده معادله تئوری مسیر جت پرتابی آزاد اعلام نموده و در آن اثر افت اصطکاک کف تنداب در نظر گرفته نشده است ضمن اینکه در رابطه این محققین مولفه بسیار مهم سرعت جت در خروج از جت در نظر گرفته نشده است که این موضوع می‌تواند خطای بسیار زیادی در برآوردها ایجاد نماید. دلیل خطای نسبتاً زیاد رابطه Taraimovich and Gunko (1980)، ناشی از این است که رابطه تجربی مذکور براساس آزمایش‌هایی بدست آمده است که در آنها، جریان روی سرریز تا حدود ۵۰٪ هوادهی شده باشد این در حالیست که مقادیر هوادهی در مدل‌های مورد آزمایش این پژوهش، متفاوت از این مقدار بوده است. رابطه Attari (2002)، براساس مدل‌های فیزیکی با ابعاد متفاوت در مرکز تحقیقات آب ایران ارائه شده است و مطابق داده‌های اندازه‌گیری شده در این پژوهش پیش‌بینی این رابطه از طول پرتابه قابل قبول اعلام می‌گردد.

(1980) و Lencaster (1985) طول پرتابه را خیلی کمتر از میزان واقعی آن برآورد نموده‌اند. به‌منظور درک بهتر از دقت این روابط، معیارهای آماری ارزیابی در جدول (۲) درج شده است.



شکل ۹- مقادیر مشاهداتی و محاسباتی طول جت پرتابه‌ای در راستای لبه جام

Fig. 9 Observational and computational values of the length of the jet trajectory along the edge of the flip bucket

جدول (۲) نشان می‌دهد که روابط تئوری، USBR (1977)، Kawakami (1973) و Attari (2002) با

جدول ۲- معیارهای آماری مربوط به ارزیابی روش‌های مختلف برآورد طول جت پرتابه‌ای در راستای لبه جام

Table 2 Statistical criteria related to the evaluation of different methods of estimating the length of the jet trajectory along the edge of the flip bucket

Relationship name	MAPE (%)	R ²	NMSE	MSE (m ²)	NSE
Theorical	10.4	0.984	0.035	0.006	0.965
USBR (1977)	6.9	0.984	0.054	0.009	0.946
Kawakami (1973)	7.4	0.985	0.021	0.003	0.979
Elevatorski (1959)	87.9	0.912	6.095	0.989	-5.095
Gunko (1965)	28.3	0.596	1.195	0.194	-0.195
Taraimovich and Gunko (1980)	35.9	0.013	2.098	0.340	-1.098
Attari (2002)	10.4	0.464	0.035	0.006	0.965
Lencaster (1985)	46.3	0.929	0.770	0.125	0.230

نقطه اوج جت از روابط پروفیل Kawakami (1973) و USBR (1977) استفاده شده است. در جدول (۳) مقادیر مشاهداتی و محاسباتی روابط مختلف برای فاصله افقی نقطه اوج از لبه‌ی جام و حداکثر ارتفاع خیز پرتابه در مدل اول و دوم آورده شده است.

۳-۴- مختصات نقطه اوج

ارتفاع و فاصله افقی نقطه اوج پرتابه از راستا و لبه‌ی جام از دیگر مشخصات جت پرتابه‌ای مورد بررسی بوده است. به‌جز رابطه تئوری، رابطه مشخصی برای پیش‌بینی مختصات نقطه اوج ارائه نشده است و در این تحقیق برای تخمین مختصات

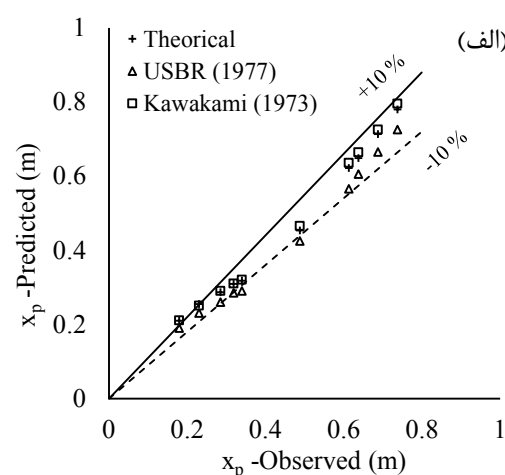
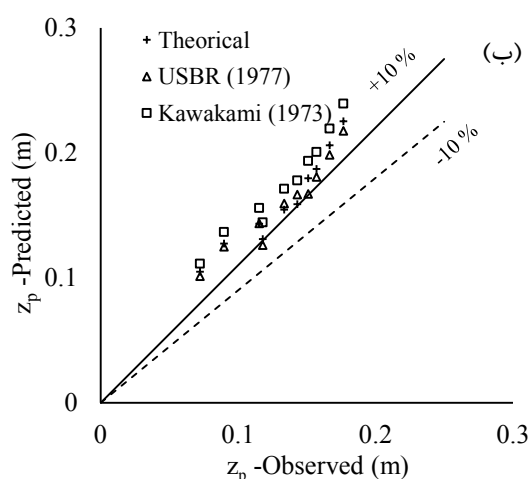
جدول ۳- مقادیر مشاهداتی مختصات نقطه اوج در مدل اول و دوم

Table 3 Observational and computational values of peak point coordinates in the first and second models

Model-Q (l/s)	x_p (m)				z_p (m)			
	Observed	Kawakami	Theoretical	USBR	Observed	Kawakami	Theoretical	USBR
Model1-4.85 L/s	0.219	0.21	0.209	0.19	0.072	0.111	0.105	0.101
Model1-7.51 L/s	0.23	0.25	0.254	0.23	0.089	0.136	0.127	0.125
Model1-10.8 L/s	0.285	0.29	0.286	0.26	0.115	0.156	0.143	0.144
Model1-14.8 L/s	0.318	0.31	0.308	0.285	0.133	0.171	0.155	0.159
Model1-17.1 L/s	0.34	0.32	0.318	0.29	0.143	0.178	0.159	0.166
Model2-9 L/s	0.488	0.465	0.453	0.425	0.118	0.144	0.131	0.126
Model2-12.9 L/s	0.613	0.635	0.622	0.565	0.151	0.193	0.179	0.167
Model2-13.6 L/s	0.638	0.664	0.648	0.605	0.157	0.2	0.187	0.181
Model2-15.5 L/s	0.688	0.725	0.713	0.665	0.166	0.219	0.206	0.198
Model2-17.7 L/s	0.738	0.795	0.78	0.725	0.177	0.239	0.225	0.217

افقی نقطه اوج از لبه جام عمدتاً در محدوده ۱۰٪ خطا واقع شده است. در برآورد مشخصه ارتفاع خیز پرتابه، روابط Kawakami (1973) و USBR (1977)، برآوردهای بیشتر از مقادیر مشاهداتی داشته‌اند.

مقادیر مشاهداتی و محاسباتی فاصله افقی نقطه اوج و حداکثر ارتفاع خیز جت پرتابه‌ای به همراه دامنه خطای ۱۰٪ در شکل (الف) و (ب) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود پیش‌بینی‌های روابط در مشخصه فاصله



شکل ۱۰- مقادیر مشاهداتی و محاسباتی مختصات نقطه اوج در روابط مختلف: الف- فاصله افقی نقطه اوج و ب- ارتفاع خیز

Fig. 10 Observational and computational values of peak point coordinates in different relationships a) x_p and b) z_p

وجود میانگین خطای نسبی بیش از ۲۰٪ ارتفاع خیز پرتابه استخراج شده از پروفیل‌های Kawakami (1973) و USBR (1977) این است که مقادیر در نظر گرفته شده برای ضرایب هوادهی با مدل‌های مورد بررسی متفاوت می‌باشد. در رابطه مسیر پرتابه USBR (1977) مقدار ضریب K به میزان ۰/۸۵ تا ۰/۹ ارائه شده است که با بررسی این مقدار در این پژوهش مشخص گردید که ضریب هوادهی در مدل‌های مختلف با هم متفاوت است طوریکه در یکی از مدل‌های پژوهش، این مقدار حدود ۰/۷۳ بوده است. با توجه به میزان واقعی و متفاوتی که بعضاً می‌تواند خارج از محدوده اعلامی USBR (1977) باشد، نباید انتظار داشت که مسیر پروفیل پیش‌بینی با ضریب هوادهی ۰/۹ - ۰/۸۵، کاملاً منطبق بر

مطابق معیارهای آماری، ضریب تعیین، میانگین قدر مطلق خطای نسبی و معیار نش-ساتکلیف رابطه Kawakami (1977) در پیش‌بینی فاصله افقی نقطه اوج به ترتیب برابر ۰/۹۹، ۶٪ و ۰/۹۸ بود همچنین این معیارها در پیش‌بینی‌های رابطه USBR (1977) برابر ۰/۹۹، ۷٪ و ۰/۹۷ بوده است. میانگین قدر مطلق خطای نسبی رابطه‌های تئوری، Kawakami (1973) و USBR (1977) در پیش‌بینی این مشخصه برابر ۲۳/۷، ۳۳/۹ و ۲۱/۴٪ می‌باشد. روابط موجود در برآورد ارتفاع خیز پرتابه در راستای لبه‌ی جام دارای میانگین قدر مطلق خطای نسبی بیش از ۲۰٪ بوده‌اند و از نظر معیار نش-ساتکلیف نیز هیچکدام از این روابط نتوانسته‌اند معیار بسیارخوب را کسب نمایند. دلیل

معیار نش-ساتکلیف این روابط در برآورد طول پرتابه در راستای سطح آب پایین دست، بسیار خوب ارزیابی شده‌اند.

۳- در برآورد طول پرتابه در راستای لبه‌ی جام مطابق ارزیابی صورت گرفته، روابط USBR (1977)، Attai (2002) و Kawakami (1973) توانسته‌اند برآورد با رده بسیار خوب از نظر معیار نش-ساتکلیف را داشته باشند. رابطه تئوری (تحلیلی) به دست آمده از روابط تئوری حرکت پرتابه در این برآورد دارای میانگین قدر مطلق خطای نسبی حدود ۱۰٪ است این معیار در سایر روابط بیش از ۲۵٪ بوده است.

۴- میانگین قدر مطلق خطای نسبی برای روابط تئوری، Kawakami (1973) و USBR (1977) در برآورد فاصله افقی اوج پرتابه کمتر از ۱۰٪ و در برآورد ارتفاع خیز پرتابه به ترتیب ۲۳/۷، ۳۳/۹ و ۲۱/۴٪ است. هر سه رابطه خطای بالایی در زمینه برآورد ارتفاع خیز پرتابه داشته‌اند و از نظر معیار نش-ساتکلیف نیز هیچکدام از این روابط نتوانسته‌اند معیار قابل قبولی را کسب کنند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده در این پژوهش در متن اصلی مقاله استفاده شده است

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

- Attari, J., Arefi, F., & Golzari, F. (2002). A review on physical models of scour holes below large dams in Iran. In *Proc., 2002 International Workshop on Rock Scour*. EPFL, Lausanne, Switzerland.
- Barani, G. A., & Abbasi-Parvin, E. (2009). *Energy dissipation in hydraulic structures*. Jahad Daneshgahi Publications, Tehran [in Persian].
- Daneshfaraz, R., Ghaderi, A., & Akhtari, A. A. (2020). On the effect of block roughness in ogee spillways with flip buckets. *Fluid*. 5(182), 1-17. DOI: [10.3390/fluids5040182](https://doi.org/10.3390/fluids5040182).
- Ebrahimnezhadian, H., Manafpour, M., & Babazadeh, V. (2020). Simulation of the effect of flip bucket edge angle on flow hydraulic characteristics. *J. Soil Water Res.*, 51(8), 2085-2100. DOI: [10.22059/IJSWR.2020.298275.668509](https://doi.org/10.22059/IJSWR.2020.298275.668509) [In persian].
- Emre Ulu, A., Aydın, M. C., & Işık, E. (2022). Energy dissipation potential of flow separators placed in spillway flip bucket. *Adv. Eng. Sci.*, 2, 60-66.
- Farzin, S., Karami, H., Fazlollahnejad, M., & Nayyer, S. (2018). Numerical modeling and analysis of flow hydrodynamics in flip bucket and approach channel. *Iran Watershed*

- Manage. *Sci. Eng.*, 12(41), 41-51. DOI: [10.22059/IJSWR.2020.298275.668509](https://doi.org/10.22059/IJSWR.2020.298275.668509) [in Persian].
- Heller, V., Hager, W. H., & Minor, H. E. (2005). Ski jump hydraulics. *J. Hydraul. Eng.*, 131(5), 347-355. DOI: [10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2005\)131:5\(347\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2005)131:5(347)).
- Juon, R., & Hager, W. H. (2000). Flip bucket without and with deflectors. *J. Hydraul. Eng.*, 126(11), 837-845. DOI: [10.1061/\(ASCE\)0733-429\(2000\)126:11\(837\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-429(2000)126:11(837)).
- Kakeshpour, M., Pirestani, M. R., & Zakeri Niri, M. (2016). Numerical simulation of overflow with effect of opening ratio gates on hydraulic of flow and jet trajectory. *J. Water Soil Conserv.*, 23(1), 293-300. DOI: [10.22069/JWFST.2016.3034](https://doi.org/10.22069/JWFST.2016.3034) [in Persian].
- Kakeshpour, M., Pirestani, M. R., & Zakeri Niri, M. (2016). Numerical simulation of jet flow and investigation effect of triangular shape of bucket, and gate opening ratio on flip bucket jet flow characters. *J. Water Soil Sci.*, 26(1), 291-304. [in persian].
- Kamanbedast, A. A., & Aghamajidi R. (2013). Cup Ski Jump Length of the Spillway Using FLOW3D Mathematical Model (Case Study: Gotvand Dam). *Techn. J. Eng. Appl. Sci.*, 3(23), 3399-3404.
- Karami Moghadam, M., Amini, A., Malek, M. A., Mohammad, T., & Hoseini, H. (2019). Physical modeling of Ski-Jump spillway to evaluate dynamic pressure. *Water*, 11(8), 1687. DOI: [10.3390/w11081687](https://doi.org/10.3390/w11081687).
- Karami Moghadam, M., Amini, A., & Hoseini, H. (2020). Experimental evidence dynamic pressures reduction on plunge pool floors downstream flip bucket for increasing downstream face slopes. *Water Suppl.*, 20(5), 1834-1846. DOI: [10.2166/ws.2020.091](https://doi.org/10.2166/ws.2020.091).
- Khatsuria, R. M. (2005). *Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators*, Marcel Dekker Publications, New York. 649 pp.
- Mansouri, R., Moafi, F., Beheshtirad, M., & Karbakhsh, A. (2020). Investigation of hydraulic properties in flip bucket using numerical model. *Iran. J. Irrig. Water Eng.* 10(38), 1-12. DOI: [10.22125/IWE.2019.100719](https://doi.org/10.22125/IWE.2019.100719) [in Persian].
- Mirsalari, F., & Shafai-Bejestan, M. (2020). Study of effect of number of tri-angular deflectors on energy dissipation and jet length at ski-jump spillway. *Irrig. Drain. Struct. Eng. Res.*, 21(78), 117-138. DOI: [10.22092/idser.2019.126593.1394](https://doi.org/10.22092/idser.2019.126593.1394) [in Persian].
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE*, 50(3), 885-900. DOI: [10.13031/2013.23153](https://doi.org/10.13031/2013.23153).
- Parsaie, A., Dehdar-Behbahani, S., & Haghiabi, A. H. (2016). Numerical modeling of cavitation on spillway's flip bucket. *Front. Struct. Civil Eng.*, 10(4), 438-444. DOI: [10.1007/s11709-016-0337-y](https://doi.org/10.1007/s11709-016-0337-y).
- Parsaie, A., & Haghiabi, A. H. (2021). Hydraulic investigation of finite crested stepped spillways, *Water Suppl.*, 21(5), 2437-2443. DOI: [10.2166/ws.2021.078](https://doi.org/10.2166/ws.2021.078).
- Peterka, A. J. (1958). *Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators*. United States Bureau of Reclamation, Washington, 225 pp.
- Savic, L., Kuzmanovic, V., & Milovanovic, B. (2010). Ski jump design. *Water Management*. 163(10), 523-527. DOI: [10.1680/wama.900052](https://doi.org/10.1680/wama.900052).
- USBR. (1987). *Design of Small Dams*, US Government Printing Office, Washington, 860 pp.
- Anonymous (2003). *Study report on the hydraulic model of the spillway of Gavoshan reservoir dam*. Water Research Insitute [in persian].
- Yavuz, C., Dincer, A. E., & Aydin, I. (2016). Head loss estimation for water jets from flip buckets. *Int. J. Eng. Sci.*, 5(11), 48-57. DOI: [10.9790/1813-05011048057](https://doi.org/10.9790/1813-05011048057).

How to cite this paper:

Khorami, E., Heidari, M. M. and Ghobadian, R. (2023). Accuracy evaluation of methods for determining jet trajectory characteristics in flip bucket. *Environ. Water Eng.*, 9(3), 499-514. DOI: [10.22034/EWE.2022.368442.1823](https://doi.org/10.22034/EWE.2022.368442.1823)



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Case Study

Evaluation of Suitability Groundwater Quality for Agricultural, Drinking and Industrial Purposes (Case Study: South of Chaharmahal and Bakhtiari Province)

Seyed Mohammad Reza Hosseini Vardanjani¹, Mojtaba Khoshravesh^{2*},
Marzieh Ghahreman³ and Masoud Naderi⁴

¹PhD Scholar, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

²Assoc. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

³M.Sc. Alumni, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

⁴M.Sc. Alumni, Department of Water Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Article information

Received: September 25, 2022

Revised: February 09, 2023

Accepted: February 09, 2023

Keywords:

Drought

Groundwater

Inverse Distance Weighting

Kriging

*Corresponding author:

m.khoshravesh@sanru.ac.ir



Abstract

The significant reduction of surface water resources and recent recurrent droughts have increased the reliance on groundwater sources, leading to a decline in their quality. In this study, 28 samples of well water from different locations in Khanmirza, Lordegan, Borujen, Ardal and Kiar were collected in 2020-2021 and underwent chemical analysis in the laboratory. To evaluate the quality of the samples for use in agricultural, drinking and industrial sectors, the Wilcox diagram, Schuler diagram and Langlier index were used. Using interpolation methods, the chemical properties of the samples taken within the study area were examined and qualitative zoning maps were prepared using Kriging and inverse distance weighting methods. The results showed that according to the Wilcox diagram, most of the samples are within the range of C₂S₁ and are suitable for agricultural purposes. According to the Schuler diagram, these samples are within the range of good quality for drinking and based on the Langlier index, they are within the range of precipitating and consumable. This study helps decision-makers to have a clear view and plan comprehensively and effectively for the exploitation and preservation of groundwater resources, taking into account the qualitative maps of groundwater.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

Groundwater is considered an essential and important part of the renewable water ecosystem, and compared to surface water, it has various advantages, such as higher quality and lower levels of pollution. Groundwater is occasionally

accessible in arid and semi-arid areas with very little surface water. However, the increase in population growth and water demand, the rise in standards of living, and the pollution of water resources due to the discharge of urban, industrial, and agricultural sewage and surface runoff have created an unfavorable



environmental situation and intensified water resource pollution. It has become very challenging to achieve rational management and logical decision-making regarding the quality of water used in various sectors, including industry, drinking and agriculture. The industrial sector is a fundamental element in the development and improvement of both product quality and societal health.

The lack of awareness regarding the quality of groundwater can lead to issues in managing water resources that could affect the health of people and hinder development in various regions. Thus, it is crucial to have knowledge of groundwater quality, its fluctuations, and to exercise control over it. Given the recent decline in rainfall, intermittent droughts, significant drops in groundwater levels in Lordegan and Borujen plains, and the increasing use of groundwater, assessing its quality is vital. Therefore, the objective of this study is to evaluate the quality of groundwater for agricultural, drinking, and industrial purposes in Khanmirza, Lordegan, Borujen, Ardal, and Kiar cities of Chahar Mahal and Bakhtiari provinces.

Material and Methods

The province of Chaharmahal and Bakhtiari, with an area of 16532 km², is situated between 31° 9' to 32° 48' north latitude and 49° 28' to 51° 25' east longitude. This province lies in the central part of the Zagros mountains, between the foothills of the Darn and Isfahan provinces. It is bordered by Isfahan province to the north and east, Khuzestan province to the west, Kahgiluyeh and Boyer Ahmad to the south, and Lorestan province to the northwest. This province is a mountainous region along the Zagros Mountain range that stretches from the northwest to the southeast. According to the Amberje method, the climate of the studied area varies from dry and cold in Borujen, Ardal, and Kiyar cities to humid in Lordegan and Khanmirza cities. In this study, 28 well water samples were collected from the cities of Khanmirza, Lordegan, Borujen, Ardal, and Kiar between 2020 and 2022 to investigate changes in groundwater and assess its suitability for agricultural, drinking, and industrial purposes. The collected samples were sent to the laboratory for analysis. The Wilcox diagram was used to evaluate the suitability of water resources for agricultural use. This diagram is a commonly used method for classifying water based on its agricultural potential. The diagram uses the horizontal axis to represent water salinity and the

vertical axis to represent the sodium absorption ratio, resulting in 16 classes that describe water quality based on these two factors. The Schuler diagram is another standard method for classifying water quality for drinking purposes, which allows for checking water quality at specific points in a desired area. The Schuler diagram is a semi-logarithmic chart that displays the concentration of primary ions in milliequivalents per liter. Calcium, magnesium, sodium, TDS, TH, chloride, sulfate and bicarbonate are among the indicators used in this method to analyze water quality. For chemical analyses of water samples, the Langelier Saturation Index (LSI) was used to measure the tendency of industrial water to form scale or corrode. To calculate this index, it is necessary to analyze the parameters of alkalinity, calcium hardness, total solids, temperature, and pH. The quality of water, temperature change, or evaporation can affect the index. To prepare a map for assessing the groundwater quality of the region, the study area was drawn in the ArcGIS 10.5 software environment, and the locations of the 28 sampled wells were determined on the map. The kriging method and inverse distance weighting method (IDW) were used to draw changes in the parameters.

Results

The increasing usage of groundwater and the necessity of evaluating its quality and suitability for agricultural, drinking, and industrial purposes are of great importance. Therefore, this study aimed to assess the quality of groundwater in the cities of Khanmirza, Lordegan, Borujen, Ardal, and Kiar in Chahar Mahal and Bakhtiari provinces for the aforementioned purposes. Based on the Wilcox diagram, most of the samples are categorized as C₂S₁ (slightly saline and suitable for agriculture) and have good quality for agricultural use. The samples falling under the C₃S₁ category (saline and suitable for agriculture with necessary measures) can also be used for agriculture with appropriate measures. According to the Wilcox diagram's qualitative classification of water and the frequency of data, approximately 82.14% of the samples are in the C₂S₁ and 17.86% are in the C₃S₁ qualitative range. The qualitative evaluation of water for drinking purposes according to the Schuler diagram indicates that small changes in sodium, chlorine, and sulfate in the studied range will still fall into the suitable category. Additionally, the number of dissolved solids and the total hardness

of the water in the tested samples are classified into three categories: good, acceptable and average (Table 1).

Table 1 The percentage of each of Schuler classification classes for drinking purposes in the entire range

SO ₄	Cl	Na	pH	TH	TDS	class
100	100	100	75	46.43	67.86	good
0	0	0	17.86	46.43	25	acceptable
0	0	0	7.14	7.14	7.14	medium
0	0	0	0	0	0	unsuitable
0	0	0	0	0	0	unpleasant
0	0	0	0	0	0	undrinkable

The Langelier index was used in this study to measure the tendency of the water to sediment or corrode in industrial applications. A negative index value indicates corrosive water, while positive values indicate sedimentary water. When the value is zero, the water is considered balanced (stable). The calculated LSI values for the samples in this study fell within the range of sedimentary and corrosive. To better understand the spatial changes in the study area, maps of the spatial distribution of parameters including EC, TDS, Na, Cl, TH, SO₄ and TDS, as well as the Langelier index, were created using ArcGIS 10.5 software. Choosing an optimal interpolation technique, is crucial for accurately estimating the studied characteristics in unsampled areas or spatially zoning the target area.

Conclusions

Considering the decrease in rainfall, recent intermittent droughts, the increase in withdrawal from groundwater tables, and the significant reduction in surface water resources, it is necessary to assess the quality of groundwater, including its suitability for drinking and other purposes. In this study, the qualitative assessment of groundwater for agricultural use was conducted in the Khanmirza, Lordegan, Borujen, Ardal, and Kiar counties of Chaharmahal and Bakhtiari provinces. To achieve this, 28 water samples were collected from underground sources (wells) in the region between 2020 and 2022 and subjected to

chemical analysis in the laboratory. Interpolation methods were used to investigate the chemical characteristics of the groundwater for drinking, agriculture, and industry uses, and zoning maps were prepared using the kriging and inverse distance weighting (IDW) methods. The results showed that, according to the Wilcox diagram, most samples fell within the C₂S₁ range, indicating they are suitable for agricultural use. Also, according to the Schuler diagram, these samples are of good quality for drinking purposes and are suitable for consumption. Based on the Langelier index, they fall within the range of sedimentary and corrosive. Geostatistical studies also demonstrate the superiority of the Kriging interpolation method in zoning and estimating the groundwater's qualitative components in the region for most of the analyzed chemical components. Additionally, the water's sedimentation ability in the studied samples is more significant in the southeast and eastern parts of the study area.

Data Availability

The data can be requested from the corresponding author via email.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مطالعه موردی

ارزیابی تناسب کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت (مطالعه موردی: جنوب استان چهارمحال و بختیاری)

سید محمدرضا حسینی^۱ وردنجانی^۱، مجتبی خوش‌روش^{۲*}، مرضیه قهرمان^۳ و مسعود نادری^۴

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندس زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
^۲ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
^۳ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
^۴ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۷/۰۳]
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۱۱/۲۰]
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۱۱/۲۰]

واژه‌های کلیدی:

آب زیرزمینی
خشکسالی
کریجینگ
وزن‌دهی عکس فاصله

*نویسنده مسئول:

m.khoshravesh@sanru.ac.ir



کاهش چشمگیر منابع آب سطحی و خشکسالی‌های متناوب اخیر استفاده از منابع آب زیرزمینی را بیشتر نموده و باعث کاهش کیفیت این آب‌ها شده است. در این پژوهش ۲۸ نمونه از آب چاه نقاط مختلف در شهرستان خانمیرزا، لردگان، بروجن، اردل و کیار در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ برداشت و در آزمایشگاه مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت. برای ارزیابی کیفی نمونه‌ها جهت استفاده در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت از دیاگرام ویلکوکس، دیاگرام شولر و شاخص لانژیلر استفاده شد. با استفاده از روش‌های درونیایی، خصوصیات شیمیایی نمونه‌های برداشت شده در محدوده مورد مطالعه بررسی و نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی با روش کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله تهیه شد. نتایج نشان داد که بر طبق دیاگرام ویلکوکس اکثر نمونه‌ها در محدوده $C2S1$ قرار دارند و برای مصارف کشاورزی مناسب هستند. این نمونه‌ها بر طبق دیاگرام شولر برای مصارف شرب در محدوده کیفیت خوب و برای شرب مناسب و بر مبنای شاخص لانژیلر در محدوده رسوب‌گذار و خورنده قرار می‌گیرند. این پژوهش کمک می‌نماید تا تصمیم‌گیران با داشتن دیدی روشن با توجه به نقشه‌های کیفی آب زیرزمینی، بتوانند برنامه‌ریزی جامع و مفیدی در خصوص بهره‌برداری و نگهداری از منابع آب زیرزمینی داشته باشند.

۱- مقدمه

آب‌های زیرزمینی به‌عنوان بخش مهمی از آب‌های تجدید-پذیر بوم‌سازگان به‌حساب می‌آیند و در مقایسه با آب‌های سطحی دارای مزیت‌های مختلفی مانند کیفیت بالاتر و آلودگی کمتر هستند. در اغلب موارد آب‌های زیرزمینی در



متوسط برخوردارند. در پژوهشی در کشور هند آب زیرزمینی منطقه‌ای را در جنوب غرب پنجاب هند برای مصارف شرب و کشاورزی با استفاده از استانداردهای آن کشور و نسبت جذب سدیم، نسبت منیزیم و نسبت خورندگی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه از نظر شیمیایی برای مصارف شرب و کشاورزی نامناسب بود (Kaur et al. 2017).

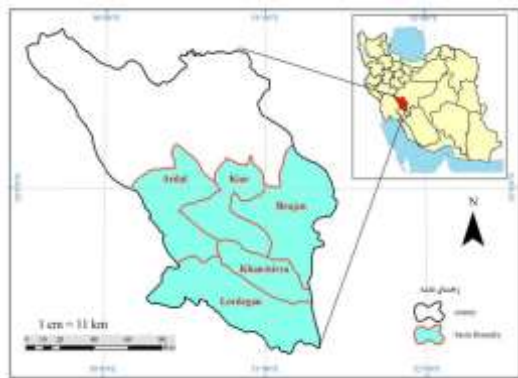
Eslami et al. (2018) به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت یزد اردکان برای اهداف کشاورزی با استفاده از آمار کیفی ۱۰ ساله ۷۵ حلقه چاه با نرم‌افزار GIS پرداختند. نتایج نشان داد که در ۵۳/۱۸٪ از نواحی دشت یزد اردکان کیفیت آب برای آبیاری مناسب، ۲۸/۶۵٪ کیفیت متوسط و در ۱۸/۱۷٪ کیفیت آب نامناسب است. (Pourkhabaz et al. 2017) به پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی جهت استفاده در کشاورزی بر اساس طبقه‌بندی ویلکوکس در دشت قزوین پرداختند. نتایج نشان داد که ۳۴٪ از منطقه برای کشاورزی مناسب، ۵۱٪ نسبتاً مناسب و ۱۵٪ نامناسب می‌باشند. پژوهشی در کشور غنا برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای آبیاری و تأمین آب خانگی در شهرداری گاغرب انجام شد. نتایج نشان داد که تمام پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب‌های موردبررسی به جز TDS، Na و Cl در محدوده قابل قبول سازمان جهانی (WHO) می‌باشد. همچنین نمودار ویلکوکس نشان‌دهنده خطر کم تا متوسط سدیم با مقادیر شوری زیاد تا بسیار زیاد که نشان‌دهنده مناسب بودن آب برای اهداف آبیاری می‌باشد (Sunkari and Suchullo 2019).

در پژوهشی در کشور ترکیه به بررسی قابلیت استفاده از آب‌های زیرزمینی جهت مصارف شرب و کشاورزی و اثرات آلودگی صنعتی و کشاورزی بر روی آب‌های زیرزمینی در استان کارابوک پرداخته شد. نتایج نشان داد که همه مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده از نظر آشامیدنی در حد بالایی بودند و از نظر کشاورزی فقط یکی از چاه‌ها قابل استفاده در فصل مرطوب است (Esmeray and Gokcokli 2020). MotamediRad et al. (2021) به ارزیابی کیفیت منابع آبی از نظر شرب، کشاورزی و صنعت در آبخوان کارستی روئین اسفراین استان خراسان شمالی پرداختند. نتایج نشان داد که از نظر آشامیدن و کشاورزی منابع آب موردبررسی در رده مناسب قرار می‌گیرند. در پژوهشی در کشور هند و ایالت

افزایش رشد جمعیت و تقاضای آب، بالا رفتن سطح زندگی، گسترش آلودگی منابع آب ناشی از تخلیه فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی و رواناب‌های سطحی، موجب ایجاد وضع نامساعد زیست‌محیطی و تشدید آلودگی منابع آب شده است و مدیریت معقول و منطقی آن را بسیار دشوار کرده است (Rezaei et al. 2015). افزایش جمعیت و بهره‌برداری از این منابع ارزشمند باعث گردیده است که علاوه بر کمیت، کیفیت این منابع نیز کاهش یابد (BamdadMachiani et al. 2014). عدم آگاهی از وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌تواند مشکلاتی را برای مدیریت منابع آب از نظر وضعیت بهداشتی و سلامت مردم و همچنین توسعه‌های موردنیاز در هر منطقه ایجاد نماید، لذا آگاهی از وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی، تغییرات و کنترل آن یکی از نیازهای مدیریتی بوده و بسیار ضروری است. ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی یکی از مباحث مهم در طرح‌های توسعه منابع آب کشور است (Sarbazay and Esmaili 2014).

در بررسی کیفی منابع آبی جهت استفاده در بخش‌های مختلف مطالعات متعددی صورت گرفته است. در پژوهشی در کشور سریلانکا به بررسی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت چوناکام جهت استفاده در کشاورزی پرداخته شد. نتایج نشان داد که ۱۶٪ نمونه‌ها با شوری متوسط و خطر قلیایی کم، جهت استفاده در کشاورزی مناسب هستند. همچنین مشخص شد که آب‌های زیرزمینی در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه کیفیت مناسب ندارند که به دلیل وجود دریاچه نمک در این منطقه می‌باشد (Sutharainy et al. 2012). Homayoonnezhad et al. (2016) به ارزیابی کیفیت آب مخازن چاه نیمه‌ی زابل از نظر شرب و کشاورزی با تکیه بر نمودارهای شولر و ویلکوکس پرداختند. نتایج نشان داد که بر طبق نمودار شولر کیفیت مخازن به لحاظ شرب در طبقه قابل قبول جای دارد. بر طبق دیگرام ویلکوکس به لحاظ کشاورزی در طبقه متوسط قرار دارد و به شرط بافت سبک خاک می‌توان از آن برای کشاورزی استفاده کرد. (Sajadi Minaab and Yaghob 2017) به ارزیابی ژئوشیمیایی کیفیت آب زیرزمینی دشت برازجان برای مصارف کشاورزی در شمال استان بوشهر پرداختند. آن‌ها از ۲۱ نمونه آب زیرزمینی در اردیبهشت ۱۳۹۱ استفاده نمودند. با بررسی مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی مشخص شد آب‌های زیرزمینی دشت مذکور برای مصارف کشاورزی از کیفیت

محدوده مورد مطالعه به چهار دسته اقلیم نیمه مرطوب معتدل سرد (شلمزار و ناغان در شهرستان کیار و بخش مرکزی شهرستان بروجن)، اقلیم مرطوب معتدل سرد (بخش دیناران در شهرستان اردل و نواحی امام قیس در شهرستان بروجن)، اقلیم نیمه مرطوب کمی سرد (شهرستان لردگان) و اقلیم نیمه مرطوب بسیار گرم (حاشیه رودخانه ارمند در شهرستان لردگان) می‌باشد (Anonymous 2023). به دلیل محدودیت عمق آبرفت، ذخیره دشت‌ها محدود است و برداشت‌های بی‌رویه که نتیجه عدم رعایت و شناخت بیلان دشت بوده باعث افت شدید سطح آب در این دشت‌ها شده و علاوه بر کمیت، بر کیفیت آن‌ها نیز اثرگذار است. از طرفی خشکسالی‌های متناوب اخیر و کاهش بارندگی و نزولات جوی نیز بر افت چشمگیر سطح آب زیرزمینی اثر گذاشته است (Anonymous 2021).



شکل ۱- محدوده مطالعاتی

Fig. 1 Study area

۲-۲- گردآوری داده‌ها

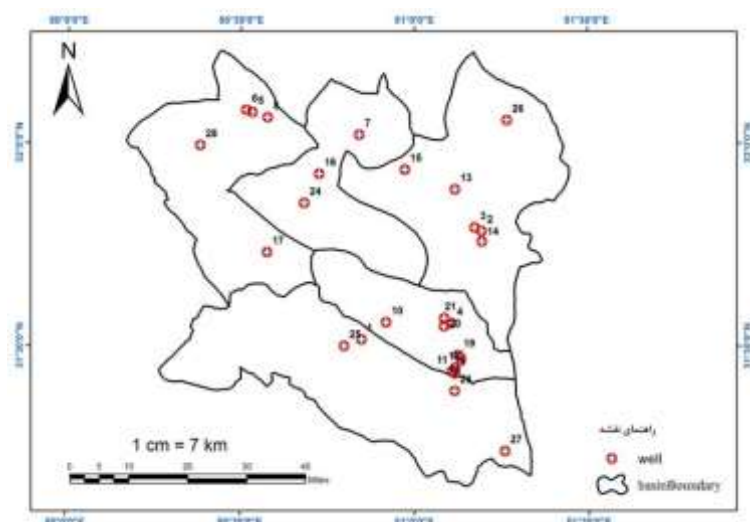
در این پژوهش جهت بررسی تغییرات آب زیرزمینی و ارزیابی تناسب آن برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت از ۲۸ حلقه چاه در شهرستان‌های خانمیرزا، لردگان، بروجن، اردل و کیار در بازه‌ی زمانی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ نمونه‌برداری شد. پراکنش چاه‌های نمونه‌برداری شده در شکل (۲) نشان داده شده است. نمونه‌های برداشت شده در آزمایشگاه مورد آنالیز و ارزیابی قرار گرفت. در جدول (۱) مشخصه‌های آماری مؤلفه‌های مختلف شیمیایی مورد آزمون، آورده شده است. در حال حاضر کاربری چاه‌های فوق برای مصارف کشاورزی می‌باشد. با توجه به خشکسالی‌های متناوب اخیر و کمبود منابع آب، قابلیت نمونه‌های موجود برای مصارف شرب و صنعت نیز مورد بررسی قرار گرفت.

راجستان به بررسی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی جهت مصارف شرب پرداخته شد. برای محاسبه شاخص کیفیت آب ۱۵ نمونه آب جمع‌آوری و برای اجزای مختلف موجود در آب به دلیل آلودگی صنایع چاپ و رنگرزی اطراف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که ۴۰٪ از نمونه‌های آب از نظر کیفیت برای مصارف آشامیدنی عالی، ۲۰٪ از نمونه‌ها خوب و ۴۰٪ از نمونه‌های آب باقیمانده به دلیل مقدار بیش از حد آلاینده موجود در آب زیرزمینی، برای مصارف آشامیدنی و کشاورزی بسیار مضر خواهند بود (Shahnawaz et al. 2021). با توجه به کاهش بارندگی‌ها و خشکسالی‌های متناوب اخیر و افت شدید سفره آب زیرزمینی در دشت‌های لردگان و بروجن، و افزایش روزافزون استفاده از آب‌های زیرزمینی، این تحقیق درصدد است به ارزیابی کیفی و تحلیل تغییرات مکانی آب زیرزمینی در شهرستان‌های خانمیرزا، لردگان، بروجن، اردل و کیار از توابع استان چهارمحال و بختیاری پرداخته و اطلاعات کاربردی از وضعیت کیفیت منابع آب این مناطق ارائه نماید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت 16532 km^2 بین 31° و 9° تا 32° و $48'$ عرض شمالی و نیز 49° و $28'$ تا 51° و $25'$ طول شرقی قرار دارد. این استان در بخش مرکزی کوه‌های زاگرس بین پیش کوه‌های داخل و استان اصفهان واقع شده است. از شمال و شرق به استان اصفهان، از غرب به استان خوزستان، از جنوب به کهگیلویه و بویراحمد و از شمال غرب به استان لرستان محدود است. این استان در مجموع منطقه‌ای است کوهستانی در امتداد سلسله کوه‌های زاگرس که از شمال غربی به طرف جنوب شرقی امتداد دارد. وجود تنوع ناهمواری از یک‌سو و قرارگیری این استان بر سر راه توده هوای غربی زمستانه از سوی دیگر سبب ایجاد خرد اقلیم‌های متمایزی در استان شده است (Abbassnia and Baaghdeh 2015). منطقه مطالعاتی در این پژوهش شهرستان‌های خانمیرزا، لردگان، بروجن، اردل و کیار می‌باشند که در شکل (۱) نشان داده شده است. اقلیم منطقه مورد مطالعه بر مبنای روش آمبرژه از خشک سرد در شهرستان‌های بروجن، اردل و کیار تا اقلیم مرطوب در شهرستان‌های لردگان و خانمیرزا متغیر است. همچنین اقلیم



شکل ۲- پراکنش چاه‌های مورد بررسی در محدوده مورد مطالعه

Fig. 2 Distribution of investigated wells in the studied area

جدول ۱- مشخصه‌های آماری مؤلفه‌های مختلف شیمیایی

Table 1 Statistical characteristics of different chemical components

Parameter	EC	TDS	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄
unit	μmho/cm	ppm	-	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
The number of samples	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Arithmetic mean	606.1	429.3	7.7	78.5	21.9	14.5	2.1	289.3	3.9	53.0	3.3
Standard deviation	290.9	238.99	0.35	34.11	11.13	9.21	1.79	137.1	5.13	29.33	5.35
Coefficient of Variation (%)	47.9	55.6	4.5	43.4	50.7	63.3	82.1	47.4	130.5	55.2	162.1
Maximum	1577	1225.7	8.7	188	60.7	35.2	7.02	744.8	15.6	116.4	29.2
Minimum	264	167.3	7.1	38.6	7.1	0.2	0.4	122.6	0	14.5	0.05
Mode	732	514.3	7.8	98.6	19.8	20.9	0.8	236.7	0	45.8	3.8
The middle	553.5	390.6	7.8	66.8	19.9	14.8	1.5	252.8	0.3	42.8	2.16
Range of changes	1313	1058.4	1.6	149.4	53.6	35.0	6.6	622.2	15.6	101.9	29.2
Skewness	1.8	1.9	0.6	1.8	1.7	0.3	1.5	2	1.1	1.1	4.5
Variance	84630	57115	0.1	1163.6	123.9	84.7	3.2	18809	26.3	860.2	28.6

(1955) به کمک غلظت‌های کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg) و

سدیم (Na) نسبت جذبی سدیم با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Mg+Ca}{2}}} \quad (1)$$

که، غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم بر حسب meq/l بیان می‌شود.

۲-۳- ارزیابی منابع آبی برای مصارف کشاورزی

برای ارزیابی منابع آبی جهت استفاده در کشاورزی از دیاگرام ویلکوکس استفاده شد. دیاگرام ویلکوکس روشی بسیار متداول در طبقه‌بندی آب‌ها از نظر کشاورزی است. در این دیاگرام محور افقی به شوری آب و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم اختصاص دارد. از تلفیق این دو عامل، کیفیت آب‌ها به ۱۶ طبقه تقسیم می‌شود. جدول (۲) که از C_1S_1 (عالی) شروع و به C_4S_4 (نامناسب) ختم می‌شود (Wilcox

جدول ۲- طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی بر اساس معیار ویلکوکس (Wilcox 1955)

Table 2 Classification of water in terms of agriculture according to Wilcox criteria

number	Class	Quality type for use in agriculture	SAR	Class	Description	EC	Class
1	C ₁ S ₁	Sweet and Harmless for use in agriculture	0-10	S ₁	Excellent	0-250	C ₁
2	C ₂ S ₁ ، C ₂ S ₂ ، C ₁ S ₂	A little salt is almost suitable for agriculture	10-18	S ₂	Good	250-750	C ₂
3	C ₃ S ₃ ، C ₃ S ₂ ، C ₃ S ₁ ، C ₂ S ₃ ، C ₁ S ₃	salt and suitable for agriculture by applying the necessary measures	18-26	S ₃	Normal	750-2250	C ₃
4	C ₄ S ₃ ، C ₄ S ₁ ، C ₄ S ₂ ، C ₄ S ₄ ، C ₃ S ₄ ، C ₂ S ₄ ، C ₁ S ₄	Too much salt is harmful for agriculture	26-32	S ₄	Unsuitable	2250-5000	C ₄

۴-۲- ارزیابی منابع آب برای مصارف شرب

آب زیرزمینی منبع قابل توجهی برای مصرف انسان است و حفظ آن از نظر کیفیت و در دسترس بودن برای نسل‌های آینده از اهمیت بالایی برخوردار است (Khanoranga and Khalid 2019). این منابع را می‌توان در مجموع ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، سموم، باکتریولوژیکی و رادیولوژیکی مورد بررسی قرار داد (Jahangir and Soltani 2018). از روش‌های متداول جهت طبقه‌بندی آب برای مصارف شرب، دیاگرام شولر^۱ می‌باشد که امکان بررسی آب را در یک نقطه خاص از منطقه موردنظر ارائه می‌دهد. سختی کل (بر حسب CaCO₃) نمونه‌های آب را می‌توان با استفاده از رابطه (۲) محاسبه کرد (Bhat et al. 2018).

$$[CaCO_2] = 2.5 [Ca^{2+}] + 4.1 [Mg^{2+}] \quad (2)$$

که، غلظت یون‌ها بر حسب meq/l می‌باشد. طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس دیاگرام شولر می‌باشد (Talebi et al. 2017).

۵-۲- ارزیابی منابع آبی برای مصارف صنعت

خواص خوردگی و یا باز دارندگی یون‌ها علاوه بر نوع آن‌ها به غلظت یون نیز بستگی دارد. غالباً مقدار یون‌هایی که خاصیت بازدارندگی دارند باید بیش از مقدار اکسیژن حل شده در محلول باشد تا سرعت واکنش کاتدی احیاء اکسیژن کاهش یابد (Sarbazay and Esmaili 2014). در این پژوهش برای بررسی‌های شیمیایی نمونه‌ی آب در سنجش تمایل به رسوب‌گذاری یا خوردگی در صنعت از شاخص لانژیلر (LSI) استفاده شد. برای محاسبه این شاخص تحلیل پارامترهای

قلیائیت، سختی کلسیمی، کل مواد جامد، درجه حرارت و pH ضروری است. کیفیت آب، تغییر درجه حرارت و یا تبخیر می‌تواند این شاخص را تحت تأثیر قرار دهد. این شاخص از رابطه (۳) محاسبه شد (Azari et al. 2016).

$$LSI = pH - pH_c \quad (3)$$

که، pH اسدیده آب اندازه‌گیری شده و pH_c اسدیده محاسباتی که از رابطه (۴) به‌دست می‌آید.

$$pH_c = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad (4)$$

که، A، B، C و D به ترتیب ضرایب مربوط به املاح محلول در آب بر حسب ppm، درجه حرارت بر حسب °C، سختی کلسیم بر حسب ppm کلسیم کربنات و قلیائیت بر حسب ppm کلسیم کربنات می‌باشند.

۶-۲- تهیه نقشه تغییرات مکانی پارامترها

برای تهیه نقشه ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی منطقه، مرز محدوده مطالعاتی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 تهیه شده و موقعیت ۲۸ حلقه چاهی که نمونه‌برداری از آن منابع صورت گرفته بود روی نقشه مشخص شد. سپس برخی مؤلفه‌های شیمیایی آب در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. از دو روش میانابایی کریجینگ و روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) جهت پهنه‌بندی و ترسیم نقشه رستری، تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب در محدوده مطالعاتی استفاده شد.

۷-۲- روش‌های درون‌یابی

درون‌یابی یک نوع تحلیل ریاضی-آماري است که با استفاده از آن می‌توان برای نقاطی که هیچگونه برداشت

¹ Schuler diagram

(Sadeghiet al. 2016; Ghahrodi Tali 2005). سپس داده‌ها از لحاظ نرمال بودن بررسی شد و مقایسه این دو روش با ابزار Geostatistical Analyst انجام و از شاخص آماری RMSE استفاده شد که از رابطه (۵) به دست آمد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (5)$$

که، O_i شاخص محاسبه شده؛ P_i شاخص پیش بینی شده؛ RMSE مجذور میانگین مربعات خطا که هر چه این شاخص به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده خطای کمتر و دقت بالای مدل می‌باشد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- ارزیابی بر اساس دیاگرام ویلکوکس

از ویژگی‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک مشکلات شوری و سدیمی بودن اراضی و منابع آبی مورد استفاده در آبیاری محصولات کشاورزی است (Osati and Nahvinia 2016).

اطلاعاتی انجام نشده است، مقادیری را برآورد نمود. یکی از معمول‌ترین روش‌های درون‌یابی روش وزن دهی عکس فاصله (IDW) برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری شده بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، وزنی بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرد. سپس این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود، به‌طوری‌که توان‌های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچکتر وزن‌ها را به‌طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کنند. از دیگر روش‌های درون‌یابی می‌توان به روش پیشرفته کریجینگ اشاره نمود که با کمترین واریانس تخمین، درون‌یابی نموده و میزان خطای آن تابع مشخصات تغییرنا می‌باشد و از دقت بالایی برخوردار است. این روش بر اساس میانگین متحرک‌وزنی به‌عنوان بهترین تخمین‌گر نارایب شناخته شده‌است

جدول ۳- کیفیت چاه‌های موردبررسی بر طبق دیاگرام ویلکوکس

Table 3 The quality of investigated wells according to the Wilcox diagram

number	Point	SAR	EC	Class	Quality for agriculture
1	Lordegan	0.21	468	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
2	Brujen	0.43	1325	C ₃ S ₁	salt and suitable for agriculture by applying the necessary measures
3	Brujen	0.3	730	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
4	khanmirza	0.02	570	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
5	Ardal	0.09	297	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
6	Ardal	0.41	1577	C ₃ S ₁	salt and suitable for agriculture by applying the necessary measures
7	Ardal	0.24	564	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
8	Ardal	0.38	880	C ₃ S ₁	salt and suitable for agriculture by applying the necessary measures
9	Lordegan	0.17	359	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
10	khanmirza	0.61	304	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
11	Lordegan	0.4	504	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
12	khanmirza	0.5	732	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
13	Brujen	0.19	488	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
14	Brujen	0.62	350	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
15	Brujen	0.1	318	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
16	kiar	0.53	761	C ₃ S ₁	salt and suitable for agriculture by applying the necessary measures
17	Ardal	0.86	543	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
18	khanmirza	0.5	732	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
19	khanmirza	0.27	715	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
20	khanmirza	0.26	535	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
21	khanmirza	0.43	548	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
22	khanmirza	0.26	559	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
23	Lordegan	0.44	546	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
24	Kiar	0.01	350	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
25	Lordegan	0.53	750	C ₃ S ₁	salt and suitable for agriculture by applying the – salty necessary measures for agriculture
26	Brujen	0.57	641	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
27	Lordegan	0.81	563	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty
28	Ardal	0.16	264	C ₂ S ₁	Suitable for agriculture – A little salty

محدوده کیفی C_2S_1 و میزان ۱۷/۸۶٪ از آن‌ها در محدوده کیفی C_3S_1 واقع است. BamdadMachiani et al. (2014) به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی استان گیلان برای مصارف کشاورزی و صنعت پرداختند. نتایج نشان داد که بر طبق دیاگرام ویلکوکس، آب‌های زیرزمینی منطقه اغلب در گروه‌های خوب و متوسط قرار گرفته و هیچ محدودیتی از لحاظ استفاده در بخش کشاورزی ندارند.

۳-۲- ارزیابی بر اساس دیاگرام شولر

برای ارزیابی کیفی منابع آب موردبررسی در این پژوهش برای مصارف شرب از دیاگرام شولر استفاده شد. از شاخص‌هایی که این روش برای تحلیل وضعیت آب از آنها استفاده می‌کند می‌توان به کلسیم، منیزیم، سدیم، کل املاح محلول در آب، سختی آب، کلر، سولفات و بی‌کربنات نام برد. سختی کل در نمونه‌های آب با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد. مقادیر محاسبه شده در جدول (۴) نشان داده شده است.

مهم‌ترین عوامل در تعیین کیفیت آب آبیاری، طبقه‌بندی ویلکوکس با استفاده از مقادیر هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذبی سدیم (SAR) می‌باشند. این دو نه تنها بر رشد گیاه مؤثرند، بلکه درجه تناسب آب را از نظر آبیاری و تأثیر آن بر نفوذپذیری خاک مشخص می‌سازند. با توجه به مقادیر نسبت جذبی سدیم و مقادیر هدایت الکتریکی حاصل از تجزیه شیمیایی به کمک دیاگرام ویلکوکس به ارزیابی کیفیت نمونه‌ها پرداخته شد (جدول ۳).

همان‌طور که از جدول (۴) مشخص است، اکثر نمونه‌ها در محدوده C_2S_1 (کمی شور و مناسب برای کشاورزی) قرار می‌گیرند و از کیفیت خوب برای استفاده در کشاورزی برخوردار می‌باشند و نمونه‌هایی که در محدوده C_3S_1 (شور برای کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم) قرار می‌گیرند که با اعمال تمهیدات مناسب می‌توان از آن‌ها برای کشاورزی استفاده کرد. با توجه به طبقه‌بندی کیفی آب به روش ویلکوکس و فراوانی داده‌ها حدود ۸۲/۱۴٪ از نمونه‌ها در

جدول ۴- کیفیت آب بر اساس سختی کل

Table 4 Water quality based on total hardness

Number	Point	TH (total)	Temporary hardness	Noncarbonate hardness
1	Lordegan	218.85	163.5	55.35
2	Brujen	594.8	523	71.8
3	Brujen	339.87	305.5	34.37
4	khanmirza	260.82	225.5	35.32
5	Ardal	144.98	133.5	11.48
6	Ardal	719.3	636.5	82.8
7	Ardal	264.61	240.5	24.11
8	Ardal	395.43	338.55	56.88
9	Lordegan	171.2	151	20.2
10	khanmirza	199.65	196	3.65
11	Lordegan	233.42	206.5	26.92
12	khanmirza	327.68	202	125.68
13	Brujen	229.2	192	37.2
14	Brujen	169.35	169.35	0
15	Brujen	275.49	237	38.49
16	kiar	323.56	216	107.56
17	Ardal	249.05	249.05	0
18	khanmirza	327.68	202	125.68
19	khanmirza	335.35	292	43.35
20	khanmirza	246.6	171	75.6
21	khanmirza	236.81	214	22.81
22	khanmirza	253.58	214.5	39.08
23	Lordegan	234.87	202	32.87
24	Kiar	167.86	107	60.86
25	Lordegan	324.48	270	54.48
26	Brujen	292.71	250.5	42.21
27	Lordegan	354.49	354.49	0
28	Ardal	125.52	100.5	25.02

شده است. ارزیابی کیفی آب جهت استفاده در مصارف شرب بر طبق دیاگرام شولر حاکی از آن است که تغییرات اندک

درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی دیاگرام شولر برای مصارف شرب در محدوده مورد مطالعه در جدول (۵) ذکر

از چاه‌ها پرداختند. نتایج نشان‌دهنده مناسب بودن اکثر نمونه‌ها برای آبیاری و شرب است.

جدول ۵- درصد هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شولر برای مصارف شرب در کل محدوده

Table 5 The percentage of each of Schuler classification for drinking purposes in the entire area

Class	TDS	TH	pH	Na	Cl	SO ₄
Good	67.86	46.4	75	100	100	100
Acceptable	25	46.4	17.9	0	0	0
Medium	7.14	7.14	7.14	0	0	0
Unsuitable	0	0	0	0	0	0
Unpleasant	0	0	0	0	0	0
Undrinkable	0	0	0	0	0	0

سدیم، کلر و سولفات در محدوده مورد مطالعه در طبقه خوب قرار خواهد گرفت. همچنین میزان املاح محلول و سختی کل آب در نمونه‌های آزمون شده در سه طبقه خوب، قابل قبول و متوسط دسته‌بندی شده است. لذا می‌توان گفت در این محدوده مطالعاتی میزان غلظت نمک‌های محلول و سختی کل، تعیین کننده کیفیت آب شرب خواهد بود. همچنین میزان نمک‌های محلول و سختی کل آب در نمونه‌های آزمون شده در سه طبقه خوب، قابل قبول و متوسط دسته‌بندی شده‌اند. (Ige et al. (2017 به بررسی تعیین مناسب بودن منابع آب منطقه ایو غربی نیجریه برای اهداف شرب و کشاورزی با استفاده از ۲۰ نمونه آب جمع‌آوری شده

جدول ۶- کیفیت آب برای مصارف صنعتی

Table 6 Water quality for industrial use

Number	Point	pHc	pH	pH-pHc	Water quality for industrial use
1	Lordegan	7.6	7.78	0.18	sedimentation
2	Brujen	6.8	7.82	1.02	sedimentation
3	Brujen	7.2	7.79	0.59	sedimentation
4	khanmirza	7.4	7.91	0.51	sedimentation
5	Ardal	7.08	7.87	0.79	sedimentation
6	Ardal	6.7	7.28	0.58	sedimentation
7	Ardal	7.4	7.38	-0.02	corrosive
8	Ardal	7.1	7.22	0.12	sedimentation
9	Lordegan	7.7	7.83	0.13	sedimentation
10	khanmirza	7.9	7.98	0.08	sedimentation
11	Lordegan	7.5	7.89	0.39	sedimentation
12	khanmirza	7.4	7.26	-0.14	corrosive
13	Brujen	7.584	7.6	0.016	sedimentation
14	Brujen	7.6	7.84	0.24	sedimentation
15	Brujen	7.5	8.79	1.29	sedimentation
16	kiar	7.4	7.84	0.44	sedimentation
17	Ardal	7.3	7.71	0.41	sedimentation
18	khanmirza	7.4	7.26	-0.14	corrosive
19	khanmirza	7.2	7.96	0.76	sedimentation
20	khanmirza	7.7	7.61	-0.09	corrosive
21	khanmirza	7.5	7.99	0.49	sedimentation
22	khanmirza	7.5	7.79	0.29	sedimentation
23	Lordegan	7.6	7.71	0.11	sedimentation
24	Kiar	7.8	7.15	-0.65	corrosive
25	Lordegan	7.6	7.4	-0.2	corrosive
26	Brujen	7.3	7.91	0.61	sedimentation
27	Lordegan	7	8.32	1.32	sedimentation
28	Ardal	8	7.82	-0.18	corrosive

رسوب‌گذار داشته باشد که هر دو اثرات نامطلوبی را در دستگاه‌ها و تأسیسات صنعتی و همچنین کیفیت تولید خواهند داشت. از آنجا که مهم‌ترین پارامتر تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی بررسی مسئله خوردگی و رسوب‌گذار بودن در شبکه‌های آبرسانی و تأسیسات صنعتی است. در

۳-۳- ارزیابی بر اساس شاخص لانتزلیر

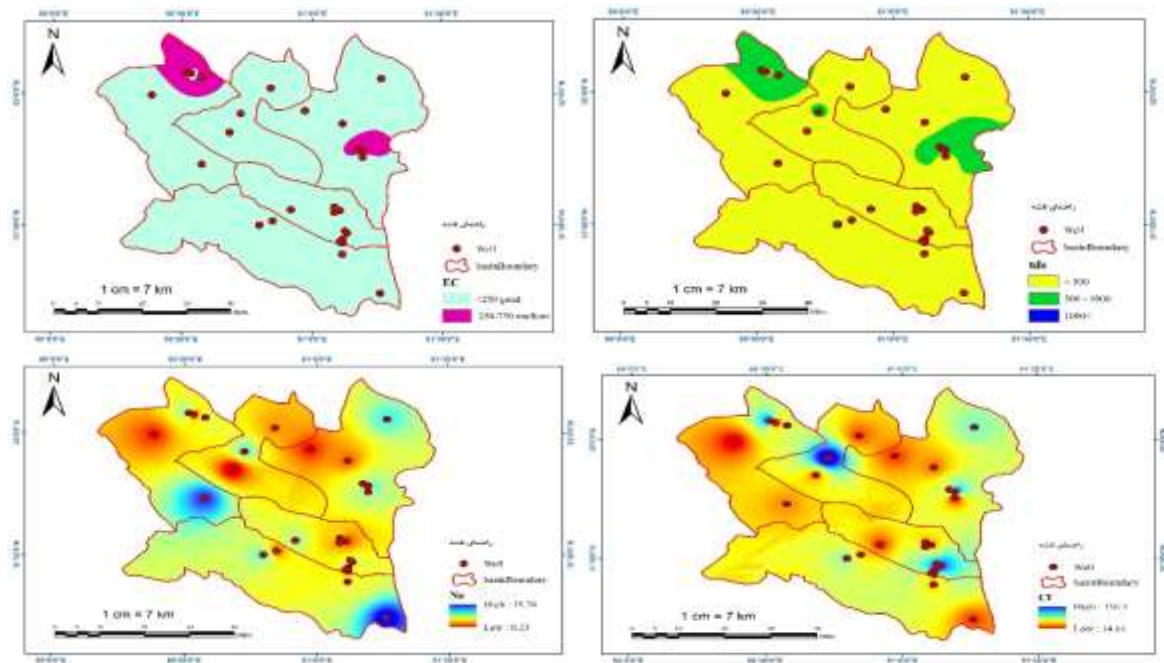
آب ماده حیاتی صنایع مانند کاغذسازی، نساجی و داروسازی است که در ترکیب تولید، در آماده‌سازی مواد و یا در سرد کردن دستگاه‌ها به کار می‌رود. آبی که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌تواند حالت خورنده و یا

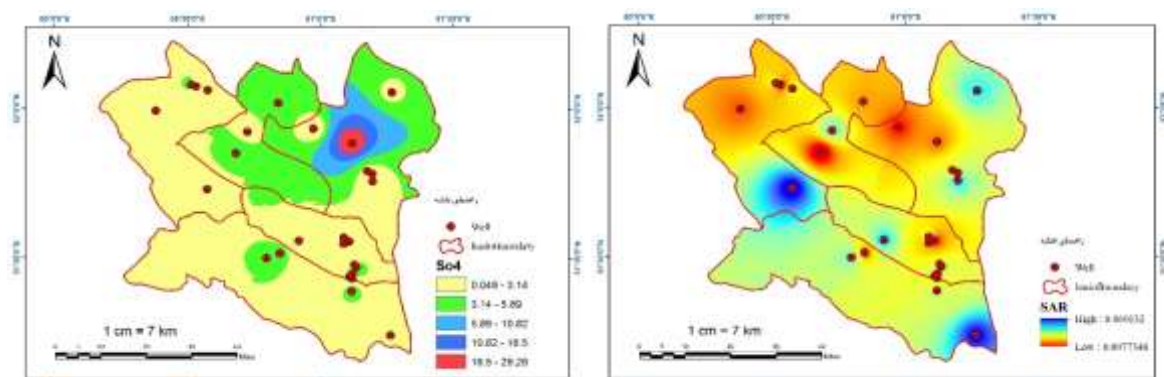
۳-۴- نقشه‌های پهنه‌بندی

برای بهتر مشخص شدن تغییرات در محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) نقشه تغییرات مکانی پارامترهای EC، TDS، Na، Cl، TH، SO_4 ، SAR و تغییرات مکانی شاخص لانژیر برای محدوده مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.5 ترسیم شد. در بررسی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی و بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی SAR و EC در محدوده مطالعاتی مشاهده می‌شود که تغییرات SAR در پهنه مطالعاتی ناچیز بوده و در طبقه عالی قرار خواهد گرفت. به همین منظور تغییرات هدایت الکتریکی می‌تواند تا حدودی گویای طبقه‌بندی کیفیت شیمیایی آب در کل محدوده برای مصرف کشاورزی در دو طبقه خوب C_2S_1 و متوسط C_3S_1 باشد. در مقایسه دو روش درون‌یابی کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله در پارامترهای مربوط به دیگرام ویلکاکس، می‌توان گفت روش کریجینگ ($RMSE=0.31$) برای EC و ($RMSE=0.215$ برای SAR) پهنه‌بندی دقیق‌تری را نسبت به روش وزن‌دهی عکس فاصله ($RMSE=0.44$ برای EC و $RMSE=0.26$ برای SAR) داشته است (شکل‌های ۳ و ۴).

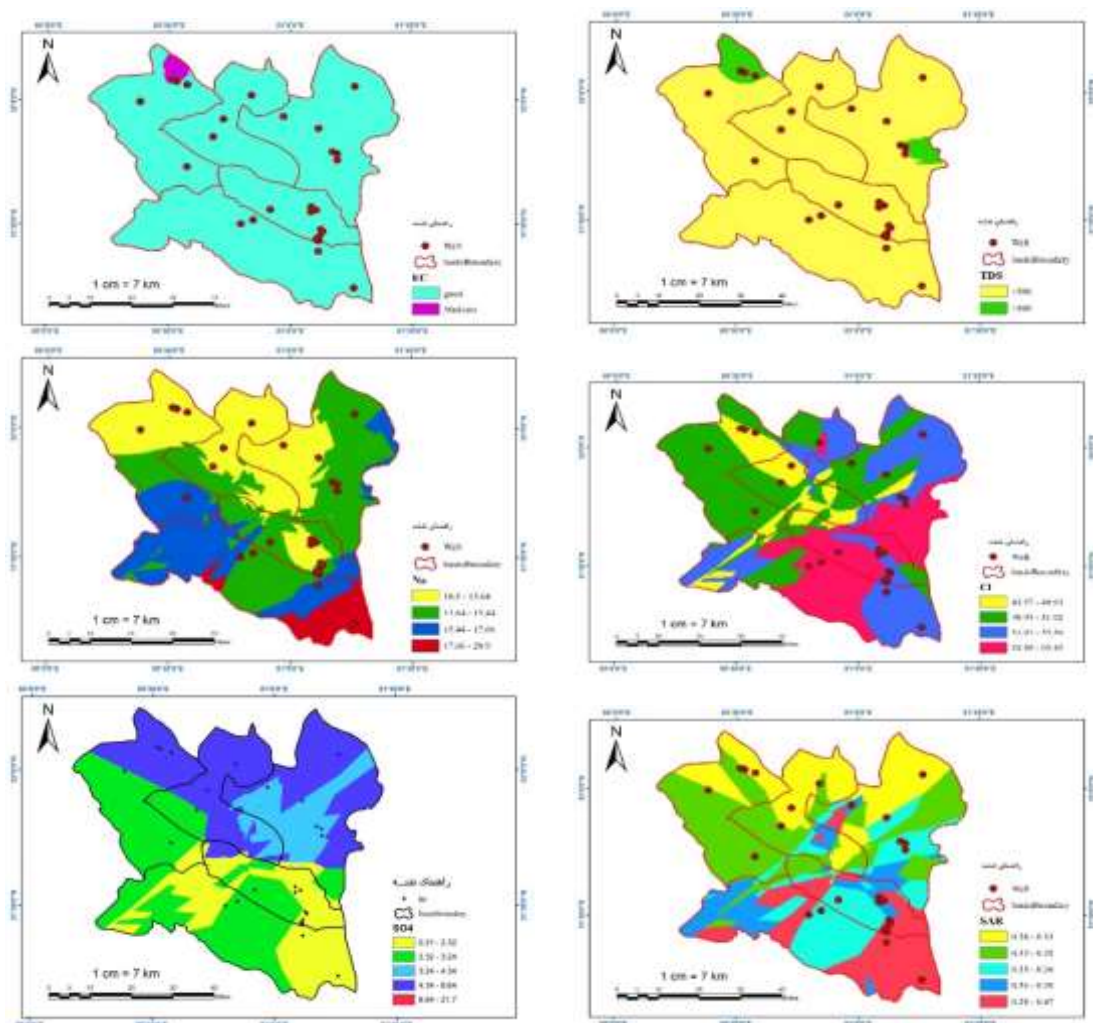
این پژوهش برای بررسی‌های شیمیایی نمونه‌ی آب در سنجش تمایل به رسوب‌گذاری یا خوردگی در صنعت از شاخص لانژیر (LSI) استفاده شد. نتایج محاسبه شاخص لانژیر برای منابع منتخب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی در جدول (۶) ذکر شده است.

با توجه به جدول (۶) دامنه شاخص LSI نمایانگر تمایل بخش عمده‌ای از منابع مورد آزمون در محدوده مطالعاتی به رسوب‌گذاری بوده و تنها ۲۵٪ از نمونه‌ها، تمایل به خوردگی فلزات و تأسیسات صنعتی دارند مثبت بودن این شاخص نشانگر وجود و انحلال سازندهای کربناتی در مجاورت آبخوان هر چاه محدوده مورد مطالعه است. (Jahangir and Soltani 2019) به بررسی کیفیت آب‌های سطحی منطقه جنوب غربی استان سیستان و بلوچستان از نظر شرب، صنعت و کشاورزی پرداخت. نتایج نشان داد که آب تمامی ایستگاه‌ها جزء یکی از کلاس‌های C_2S_1 ، C_3S_1 و C_3S_2 قرار گرفته و برای کشاورزی مناسب، برای صنعت در سه ایستگاه در وضعیت متعادل و مابقی ایستگاه‌ها حالت رسوب‌گذار و خورنده و برای شرب به غیر از کلسیم بقیه عناصر در محدوده خوب تا قابل قبول قرار گرفته‌اند.





شکل ۳- نقشه تغییرات مکانی پارامترهای EC، TDS، Na، Cl، SO₄ و SAR با روش وزن دهی عکس فاصله
Fig. 3 Map of spatial changes of EC, TDS, Na, Cl, SO₄, and SAR parameters by inverse distance weighting

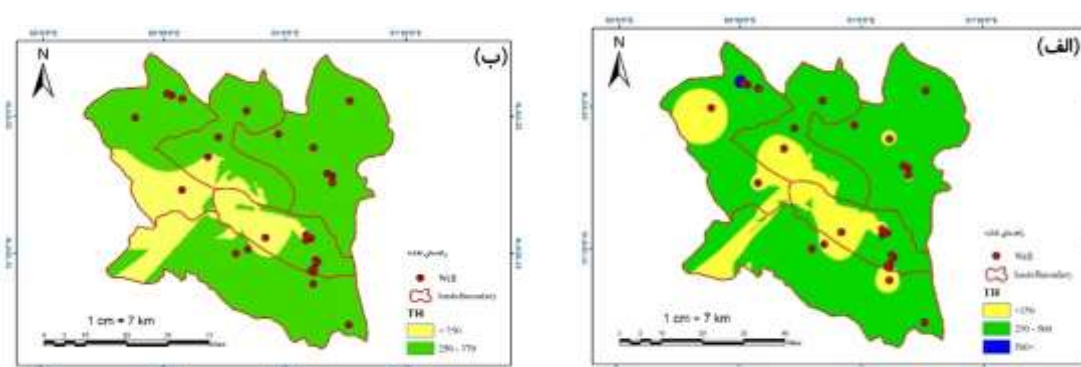


شکل ۴- نقشه تغییرات مکانی پارامترهای EC، TDS، Na، Cl، SO₄ و SAR با روش کریجینگ
Fig. 4 Map of spatial changes of EC, TDS, Na, Cl, SO₄, and SAR parameters by kriging method

زیرزمینی را در بخش‌های مرکزی و غربی محدوده مطالعاتی نسبت به سایر نقاط آن پایین‌تر نشان می‌دهد. در مقایسه دو روش درون‌یابی کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله در پهنه-بندی میزان سختی آب، روش کریجینگ با خطای کمتر

به‌منظور بررسی کیفیت شیمیایی آب منابع انتخابی در محدوده مطالعاتی برای مصارف شرب، پنج پارامتر سدیم، کلسیم، سولفات، نمک‌های محلول و سختی کل طبقه‌بندی شدند. نقشه‌های پهنه‌بندی در شکل (۵) میزان سختی آب

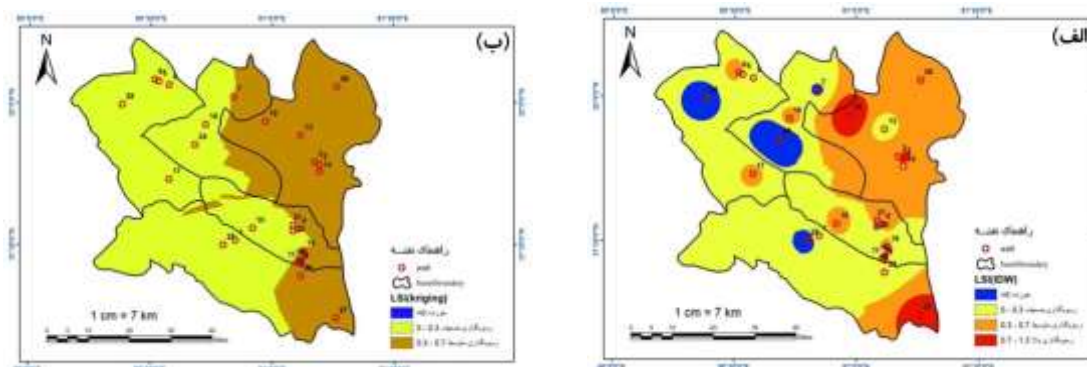
(RMSE=11.4) ، نسبت به وزن‌دهی عکس فاصله (RMSE=7.57) دقت بیشتری دارد (شکل ۵).



شکل ۵- نقشه تغییرات مکانی میزان سختی آب (TH) با استفاده از روش: الف- وزن دهی عکس فاصله و ب- روش کریجینگ
Fig. 5 Map of the spatial changes of TH (water hardness) dran using a) inverse distance weighting method and b) Kriging method)

دهی آب را در بخش شرق و جنوب شرقی منطقه بالاتر نشان می‌دهد (شکل ۶). مقایسه دو روش درون‌یابی کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله در پهنه‌بندی شاخص لانژیلر روش کریجینگ را با خطای کمتری (RMSE=0.47) نسبت به روش وزن‌دهی عکس فاصله (RMSE=0.6) پیشنهاد می‌دهد.

محاسبه شاخص لانژیلر نشان داد که در نمونه‌های موردبررسی (۷۵٪ نمونه‌ها) میزان تمایل آب به رسوب‌گذاری در تجهیزات صنعتی نسبت به خورندگی آنها (۲۵٪ نمونه‌ها) بیشتر است و لذا برای این منابع تمهیداتی به جهت کاهش رسوبات و اتلاف انرژی و گرفتگی‌های ناشی از آن به‌منظور استفاده در بخش صنعت دور از انتظار خواهد بود. همچنین بررسی شاخص لانژیلر در محدوده مطالعاتی قابلیت رسوب-



شکل ۶- نقشه تغییرات مکانی شاخص لانژیلر با استفاده از روش: الف- وزن دهی عکس فاصله و ب- روش کریجینگ
Fig. 6 Map of the spatial changes of the Langelier index using: a) inverse distance weighting method and b) Kriging method

شرب در محدوده کیفیت خوب و مناسب و بر طبق شاخص لانژیلر در محدوده رسوب‌گذار و خورنده قرار می‌گیرند. نتایج این تحقیق با تحقیقات انجام شده در این خصوص همخوانی دارد. (Merati et al. 2017) به پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آماری در سامانه اطلاعات مکانی GIS درحوضه آبخیز سلیمان‌شاه پرداختند. آن‌ها جهت درون‌یابی از روش‌های کریجینگ و IDW به‌منظور انتخاب مدل مناسب از شاخص RSS استفاده نمودند. نتایج نشان داد که برای پهنه‌بندی پارامترهای مذکور روش کریجینگ معمولی بر سایر روش‌ها ارجحیت دارد.

انتخاب یک فن درون‌یابی بهینه برای تخمین ویژگی‌های مورد مطالعه در نقاط نمونه‌گیری نشده یا پهنه‌بندی مکانی محدوده مورد نظر نقش مهمی در مدیریت داده‌ها دارد. به‌طورکلی انتخاب روش بهینه درون‌یابی به شرایط مکانی، نحوه نمونه‌برداری، توزیع مکانی نمونه‌ها و تراکم آن‌ها بستگی دارد. با استفاده از نقشه‌های فوق می‌توان برنامه‌ریزی‌های لازم را برای پیشبرد اهداف مدیریتی در محدوده مورد مطالعه انجام داد. نتایج حاصل از ترسیم دیاگرام ویلکاکس، شولر و شاخص لانژیلر نشان داد که اکثر نمونه‌ها در محدوده $C2S1$ قرار دارند و برای کشاورزی مناسب، برای مصارف

مصارف کشاورزی، شرب و صنعت انجام شد. نتایج این پژوهش بیانگر این بود که:

۱- دیاگرام ویلکوکس نشان داد که اکثر نمونه‌ها در محدوده C_2S_1 قرار دارند و برای کشاورزی مناسب هستند. همچنین با توجه به نتایج حاصل از دیاگرام شولر، منابع نمونه‌برداری شده و پهنه‌بندی آن‌ها در محدوده مطالعاتی برای مصارف شرب در محدوده کیفیت خوب قرار دارند و برای شرب مناسب هستند.

۲- نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد که میزان سولفات در شمال و شمال شرقی محدوده مطالعاتی نسبت به سایر بخش‌ها بیش‌تر است. همچنین قابلیت رسوب‌دهی آب نمونه‌های مورد بررسی در بخش شرق و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه بیشتر بوده که می‌تواند ناشی از انحلال ترکیبات کربناتی در آبخوان باشد.

۳- نتایج تحلیل مکانی حاصل از این امر نشان می‌دهد که روش درون‌یابی کریجینگ برای برآورد پارامترهای کیفی بخش کشاورزی از قبیل SAR, EC و شاخص صنعتی LSI و میزان TH در محدوده مطالعاتی ساختار فضایی قوی‌تری را نشان داده‌است.

نتایج این پژوهش کمک می‌نماید تا تصمیم‌گیران با داشتن دیدی روشن با توجه به نقشه‌های کیفیت آب زیرزمینی، بتوانند در خصوص بهره‌برداری و نگهداری از منابع آب زیرزمینی برنامه‌ریزی جامع و مفیدتری داشته باشند. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی محدوده کل استان بررسی و از منابع آب سطحی و چشمه‌ها نیز نمونه‌برداری شده و مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین توصیه می‌شود برنامه پایش مستمر کیفیت آب و توسعه شیوه‌های مدیریت مؤثر برای استفاده از منابع آب انجام گیرد.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست از طریق ایمیل نویسنده مسئول قابل ارسال می‌باشد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

Mousavi et al. (2020) به بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آمار در دشت لردگان در استان چهارمحال و بختیاری پرداخت. نتایج نشان داد که پارامترهای TH و TDS از نظر شرب شرایط مطلوب‌تری نسبت به پارامترهای Na, Cl و SO_4 در کل دشت دارند. همچنین از نظر کشاورزی پارامترهای SAR و EC در طول دوره‌ی آماری در کل دشت شرایط خوبی را دارا می‌باشد. GharehMahmoodlu et al. (2019) به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت سیدان- فاروق برای هدف‌های آبیاری و شرب پرداختند. نتایج نشان داد که این منابع آبی برای آبیاری مناسب و برای شرب در رده خوب قرار دارد. Jafari et al. (2021) به ارزیابی کیفی منابع آب جهت مصارف شرب و کشاورزی حوزه آبخیز گاماسیاب، استان کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان داد کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی این حوضه برای مصارف فوق عالی می‌باشد. در نواحی خشک و نیمه خشک پایش کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی اهمیت فراوانی دارد. Ud Din et al. (2023) به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای اهداف آشامیدنی و آبیاری در منطقه هانگو، پاکستان پرداختند. نمونه‌ها از منابع مختلف آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی جمع‌آوری و مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج نشان داد که این منابع جهت استفاده شرب از خوب تا ضعیف طبقه بندی شد. همچنین نتایج نشان داد که به جز ۵٪ از نمونه‌ها، مابقی برای آبیاری مناسب بودند. در این مطالعه ارزیابی تناسب کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت در بخش‌هایی از استان چهارمحال و بختیاری پرداخته شد. این مطالعه اطلاعات کاربردی در اختیار سیاست‌گذاران امر قرار داده، همچنین به طراحی یک استراتژی کارآمد برای استفاده بهینه از آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی و صنعت در این منطقه کمک خواهد کرد. در واقع یافته‌های این مطالعه می‌تواند به تعیین بهترین اقدام برای استفاده ایمن از آب‌های زیرزمینی برای اهداف مختلف کمک کند.

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش با استفاده از داده‌های ۲۸ حلقه چاه در شهرستان‌های خانمیرزا، لردگان، بروجن، اردل و کیار به‌منظور ارزیابی تناسب کیفیت آب‌های زیرزمینی برای

References

- Abbasnia, M., & Baaghideh, M. (2015). Climatic regionalization of Chaharmahal and Bakhtiari province using new statistical techniques. *Iran. Water Res. J.*, 9(2), 121-126. [In Persian]
- Anonymous (2021). Water Scarcity Adaptation National Workgroup. Available on: <http://www.wsanw.ir>. Accessed 27 September.
- Anonymous (2023). Chaharmahal and Bakhtiari meteorological Administration. Available on: <http://www.chbmet.ir>. Accessed 27 September.
- Azari, A., Nazemi, S., Kakavandi, B., & Rastegar, A. (2016). Survey of scaling and corrosion potential in drinking water resources of Shahrood city by using stability indexes in 2013. *J. Med. Sci.*, 22(6), 944-954. [In Persian]
- BamdadMachiani, S., Khaledian, M., Rezaei, M., & Tajdari, K. (2014). Evaluation of groundwater quality in Guilan province for agricultural and industrial uses. *Iran. J. Irrig. Drain.*, 8(2), 246-256. [In Persian]
- Bhat, M. A., Wani, A. S., Vijay, K., Jyotirmaya, S., Dinesh, T., & Sanswal, R. (2018). An overview of the assessment of groundwater quality for irrigation. *J. Agric. Sci. Food Res.*, 9(1), 1-9.
- Eslami, H., Almodaresi, S., Khosravi, R., Fallahzadeh, R., Peirovi, R., & Taghavi, M. (2018). Assessment of groundwater quality in Yazd-Ardakan Plain for agricultural purposes using geographic information system (GIS). *J. Health*, 8 (5), 575-586. [In Persian]
- Esmeray, E., & Gökçekli, C. (2020). Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes in Karabuk province, Turkey. *Environ. Earth Sci.*, 79(13), 1-17. DOI: [10.1007/s10661-008-0706-7](https://doi.org/10.1007/s10661-008-0706-7).
- Ghahrodi Tali, M. (2005). Geographic information systems in the 3D Arc GIS environment. First edition, Jihad academic publications, Tarbiat Moalem unit, 298 pp.
- GharehMahmoodlu, M., Heshmatpoor, A., Jandaghi, N., Zare, A., & Mehrabi, H. (2019). Assessment of groundwater quality in Seydan-Farooq plain for irrigation and drinking purposes. *Environ. Sci.*, 17(3), 89-106. DOI: [10.29252/envs.17.3.89](https://doi.org/10.29252/envs.17.3.89). [In Persian]
- Homayoonnezhad, I., Amirian, P., & Piri, I. (2016). Investigation on water quality of zabol chahnimeh reservoirs from drinking water and agricultural viewpoint with focus on schuler & vilcoks diagrams. *J. Environ. Sci. Technol.*, 18(1), 1-13. [In Persian].
- Ige, O. O., Okunola, N., Obasju, D. O., & Omrinoye, O. A. (2017). Hydrochemical evaluation of water resources in IWO southwestern Nigeria. *Ethiop. J. Environ. Stud. Manage.*, 10(7), 958-967.
- Jafari, N., Hafezparast, M., & Farhadi, B. (2021). Qualitative evaluation of water resources for drinking and agricultural uses (Case study: Gamasiab catchment, Kermanshah province). *J. Environ. Sci. Stud.*, 6(2), 3525-3532. [In Persian]
- Jahangir, M., & Soltani, K. (2018). Water Quality zonation based on chemical analysis on surface water supplies for drinking, agriculture and industry in the southeastern of Sistan and Baluchestan Province. *J. Water and Wastewater Sci. Engin.*, 3(4), 18-32. DOI: [10.22112/JWWSE.2019.138494.1098](https://doi.org/10.22112/JWWSE.2019.138494.1098). [In Persian]
- Kaur, T., Bhardwaj, R., & Arora, S. (2017). Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using hydrochemical studies in Malwa region, southwestern part of Punjab, India. *Appl. Water Sci.*, 7(6), 3301-3316. DOI: [10.1007/s13201-016-0476-2](https://doi.org/10.1007/s13201-016-0476-2).
- Khanoranga, & Khalid, S. (2019). An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. *J. Geochem. Explor.*, 197, 14-26. DOI: [10.1016/j.gexplo.2018.11.007](https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.11.007)
- Merati, E., Taheri Tizro, A., & Parsafar, N. (2017). Qualitative zoning of groundwater resources using geostatistical and GIS methods (Case study: Soleymanshah Watershed). *Water Soil Sci.*, 27(2), 237-248. [In Persian]
- MotamediRad, M., Goli Mokhtari, L., Bahrami, S., & Zanganeh Asadi, M. A. (2021). Assessment of the quality of water resources for drinking, agriculture and industry in

- karstic aquifer of Roeyn Esfarayen basin of North khorasan province. *J. Appl. Res. Geograp. Sci.*, 21 (62), 73-93. [In Persian]. DOI: [10.52547/jgs.21.62.73](https://doi.org/10.52547/jgs.21.62.73).
- Mousavi, A., Solaimani, K., Shokrian, F., & Roshun, S. H. (2020). Investigation of spatio-temporal variation in groundwater resource quality using geo-statistical methods (Case Study: Lordegan Plain, Chaharmahal and Bakhteyari Province). *Irrig. Water Engin.*, [In Persian]. 10(3), 262-275. DOI: [10.22125/IWE.2020.107108](https://doi.org/10.22125/IWE.2020.107108).
- Nas, B., & Berktaay, A. (2010). Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. *Environ. Monit Assess.*, 160 (1-4), 215-227. DOI: [10.1007/s10661-008-0689-4](https://doi.org/10.1007/s10661-008-0689-4).
- Osati, K., & Nahvinia, M. (2016). Spatial variations of ground water quality in Birjand Plain for agriculture. *Environ. Water Engin.*, 2(1), 25-36. [In Persian]
- Pourkhbaz, H., Aqdar, H., & Mohammadyari, F. (2017). Zoning groundwater quality for agriculture by classification WILCOX index (Case study: Qazvin plain). *J. Geograph. Space*, 58(17), 111-129. [In Persian]
- Rezaei, A., Sayadi, M. H., & Rezaei, M. R. (2015). The qualitative and quantitative assessment of water for drinking and agricultural purposes: A Case Study of Gharasoo River Watershed, Kermanshah Province, Iran, *Int. Bull. Water Res. Develop.*, 3(1), 81. [In Persian]
- Sadeghi, S. H., Ghasemieh, H., Moemeni Damaneh, J., & Mosavi, S. H. (2016). Irrigation and municipal water quality zoning by GIS. *Irrig. Water Engin.*, 6(4), 128-137. [In Persian]
- Sajadi Minaab, Z., & Yaghoobi, S. (2017). Geochemical evaluation of groundwater quality in Borazjan Plain for agricultural purposes. *J. Agric. Sci. Sustain. Produc.*, 27(1), 133-145. [In Persian]. DOI: [20.1001.1.24764310.1396.27.1.9.9](https://doi.org/10.1001.1.24764310.1396.27.1.9.9).
- Sarbazy A, A., & Esmaili, K. (2014). Investigation of groundwater resource quality change on agriculture and technology (Case study: The Plain of Neyshabour). *Iran. J. Irrig. Drain.*, 8(1), 74-85. [In Persian]
- Shahnawaz, H., Kirpalni, C., & Asif Iqbal, M. (2021). Investigation & assessment on groundwater water quality index from sanganer tehsil jaipur (rajasthan). *Mater. Today Proceed.*, 42(4), 1732-1736. DOI: [10.1016/j.matpr.2020.11.098](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.098).
- Sunkari, E. D., Abu, M., & Suchullo, P. (2019). Hydrogeochemical appraisal of ground water quality in the Ga west municipality Ghana: implication for domestic and irrigation purposes. *Groundwater Sustain. Develop.*, 8, 501-511. DOI: [10.1016/j.gsd.2019.02.002](https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.02.002).
- Sutharsiny, A., Pathmarajah, S., Thushyanthy, M., & Meththinka, V. (2012). Characterization of irrigation water quality of chunnakam aquifer in Jaffna Peninsula. *Tropic. Agric. Res.*, 23(3), 237-248. DOI: [10.4038/tar.v23i3.4661](https://doi.org/10.4038/tar.v23i3.4661).
- Talebi, B., Sajjadi, N., & Sharmad, T. (2017). Evaluation of drinking and agricultural water quality in the north of Qazvin plain's springs. *J. Marine Sci. Tech. Res.*, 12(2), 1-16. [In Persian]
- Ud Din, I., Muhammad, S., & urRehman, I. (2023). Groundwater quality assessment for drinking and irrigation purposes in the Hangu District, Pakistan. *J. Food Compos. Analys.*, 115, 104919. DOI: [10.1016/j.jfca.2022.104919](https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104919).
- Wilcox, L.V. (1955). Classification and use of irrigation waters, US DA, Circular 969, Washington Webster, R. and M. A. Oliver. 2000. Geostatist. Environ. Scientists. Wiley press.

How to cite this paper:

Hosseini Vardanjani, S. M. R., Khoshravesh, M., Ghahreman, M. and Naderi, M. (2023). Evaluation of suitability groundwater quality for agricultural, drinking and industrial purposes (case study: south of Chaharmahal and Bakhtiari Province). *Environ. Water Eng.*, 9(4), 515-531. DOI: [10.22034/EWE.2023.363252.1810](https://doi.org/10.22034/EWE.2023.363252.1810)



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Case Study

Application of Support Vector Machine and Boosted Tree Algorithm for Rainfall-Runoff Modeling (Case Study: Tabriz Plain)

Zeinab Bigdeli¹, Abolfazl Majnooni-Heris^{2*}, Reza Delirhasannia² and Sepideh Karimi³

¹Ph.D. Scholar, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²Assoc. Professor., Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³Postdoc Researcher, Department of Water Science Engineering, Faculty of Agriculture Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Article information

Received: October 23, 2022

Revised: April 27, 2023

Accepted: May 06, 2023

Keywords:

Aji Chai

Boosted Tree

Tabriz Plain

Support Vector Machine

Rain-Runoff Modeling

*Corresponding author:

majnooni@tabrizu.ac.ir



Abstract

This research focused on the application of Support Vector Machine (SVM) and Boosted Trees (BT) algorithms for simulating precipitation and runoff in two stations, Akhula and Pole Senikh, in the Tabriz Plain, Iran. Meteorological and hydrometric data were collected from 24 stations in the Tabriz watershed, obtained from the Regional Water Company and East Azerbaijan Meteorological Organization. Precipitation and runoff values were used as input to the model with a one-day time lag, and monthly runoff values were estimated and compared with monthly observations using evaluation criteria. The results showed that for both study periods, SVM model performed better than BT model for Akhula station, while BT model performed better than SVM model for Pole Senikh station. Additionally, the cross-correlation coefficient for the two study periods was found to be 0.83 and 0.82 for Akhula station, and 0.83 and 0.77 for Pole Senikh station, respectively. In the time series results, there was no clear trend in precipitation over the observation period. However, river flows at the Ahvaz and Pole Senikh stations, particularly after 1995, showed a significant decline, mainly due to factors such as runoff, agricultural expansion, and industrial development.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

The statement emphasizes the importance of estimating runoff resulting from rainfall in order to effectively plan water resources, especially in regions with limited hydrometric station information like East Azarbaijan province in Iran. To overcome the lack of data, this research

aims to develop runoff estimation methods by utilizing longer-term precipitation data and statistical modeling techniques. The specific goal is to simulate the rainfall-runoff process in the terminal hydrometric stations of Tabriz plain, Iran using STATISTICA software and create a



rainfall-runoff model based on Support Vector Machine and Boosted Tree models.

Material and Methods

The study area is located in the Tabriz plain, East Azarbaijan province, in northwest Iran. The Tabriz sub-basin has an area of 5428 km², with an average annual rainfall of 230.7 mm and average daily temperature of 12.1°C. The research utilized monthly rainfall, average monthly temperature, and outlet monthly flow data from two stations in the area, collected from 1976 to 2019. The data was divided into two periods: 1976-1994 and 1995-2019. The average rainfall of the Tabriz plain was calculated using a polygonal method and combined with the discharge from Akhula and Pole Senikh stations with a one-day time lag. Two models, Support Vector Machine (SVM) and Boosted Trees (BT), were used to simulate rainfall-runoff, with the data split into 70% for training and 30% for validation. Different combinations of runoff and rainfall inputs were evaluated, and the best-performing combinations were selected. The models were evaluated using statistical metrics including RMSE, correlation coefficient (r),

coefficient of determination (R²), and Nash-Sutcliffe Efficiency Coefficient (NSE). Thiessen polygons were used to define rainfall polygons, weighting rainfall based on the covered surface area. Support Vector Machines are data mining algorithms used for classification and regression tasks. The mentioned statistical metrics were employed to evaluate and compare the efficiency of the models in this research.

Results

Table 1 provides rainfall and runoff statistics (average, minimum, maximum) for Akhula and Pole Senikh stations in two study periods: the first period (1976-1994) and the second period (1995-2019). The analysis of the time series data indicates that there is no clear trend in rainfall for both stations, with some years showing an increasing trend and others showing a decreasing trend. However, in the second study period, a downward trend in outflow from both stations is observed, indicating a significant decrease in recent years. This decline in outflow raises concerns about the declining water level in Lake Urmia.

Table 1 Statistical parameters of the rainfall and runoff data during 1976-1994 and (1995-2019)

Station	Parameter	Entire data 1976-1994 (1995-2019)		Training set		Test set	
		P (mm/month)	Q (m ³ /s)	BT	SVM	BT	SVM
Akhula	Mean Minimum Maximum	21.97 (22.40)	11.74 (5.07)	11.32 (4.53)	10.46 (5.73)	11.13 (5.97)	11.90 (3.38)
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		(0.81)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)
		74.31	92.50	76.85	76.85	53.85	75.48
		(77.66)	(47.47)	(47.47)	(47.47)	(41.65)	(36.15)
Pole senikh	Mean Minimum Maximum	18.97 (20.39)	0.86 (0.52)	0.85 (4.53)	0.86 (0.54)	0.93 (0.51)	0.91 (0.41)
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)
		61.38	3.63	3.63	3.86	3.86	3.70
		(81.25)	(3.55)	(3.55)	(2.73)	(2.21)	(2.23)

Based on the table, it is evident that in both sections, the Akhula station has the highest average rainfall and runoff values, while the Pole Senikh station has the lowest average rainfall and runoff values. Since the selected data for the two training sets differ for each model, it is expected that the statistical parameters of these two models would also differ from each other.

Rainfall-runoff modeling using SVM and BT models

As mentioned, in order to model rainfall-runoff data using SVM and BT models, part of the data was used for training and another part was used for validation. Table 2 shows the values of the calculated statistical indicators related to the results of the training and validation section in both SVM and BT models.

Table 2 Performance of SVM and BT models in the training and testing sets during 1994-2019

Station	Entire data (1976-2019)	Cross Correlation		R ²		NSE		RMSE	
		BT	SVM	BT	SVM	BT	SVM	BT	SVM
1976-1994									
Akhula	Train	0.90	0.90	0.82	0.81	0.81	0.81	6.86	6.59
	Test	0.81	0.89	0.65	0.80	0.64	0.72	8.13	8.09
Pole senikh	Train	0.84	0.83	0.70	0.69	0.70	0.69	0.45	0.46
	Test	0.83	0.82	0.69	0.67	0.69	0.67	0.51	0.54
1995-2019									
Akhula	Train	0.79	0.83	0.62	0.68	0.62	0.67	4.23	4.53
	Test	0.69	0.75	0.48	0.57	0.47	0.55	6.00	3.65
Pole senikh	Train	0.80	0.80	0.65	0.64	0.64	0.64	0.31	0.29
	Test	0.77	0.76	0.59	0.58	0.58	0.57	0.35	0.32

The results from Tables 2 indicate that the SVM model outperformed the BT model in simulating flow rate and monthly rainfall in Akhula station during both study periods. Conversely, the BT model exhibited better performance than the SVM model in the case of the Pole Senikh station for the same periods. The test set results showed that the Cross Correlation values for Akhula station were 0.89 and 0.75 for the first and second study periods, respectively. Similarly, for the Pole Senikh station, the Cross Correlation values were 0.83 and 0.77.

Conclusions

This research used intelligent artificial neural network models, specifically Support Vector Machine (SVM) with kernel function and Boosted Tree (BT), to estimate monthly runoff in Akhula and Pole Senikh stations. The models were trained using rainfall and runoff data with a one-day time lag as inputs, and the observed monthly runoff values were used for evaluation. The results indicated that the SVM model with kernel function performed better than the BT model for the Akhula station, while the BT model performed better for the Pole Senikh station, in both study periods. The mutual correlation values for the test sets were 0.89 and 0.75 for Akhula station, and 0.83 and 0.77 for Pole Senikh station, in the first and second study periods, respectively. The time series analysis

revealed that there was no significant trend in rainfall for both stations. However, a declining trend in water flow was observed in Ajichai and Pole Senikh rivers over a 43-year period, possibly attributed to water usage in agriculture and industry. The successful performance of the machine learning models in simulating rainfall-runoff suggests their potential applicability in other stations within the Lake Urmia region.

Acknowledgment

The authors would like to thank the Iran Meteorological Organization and Regional Water Company of East Azerbaijan in Iran for providing access to weather, hydrological, and agriculture databases of the study area.

Data Availability

The data of this research was obtained from (Regional Water Company and Meteorological Organization of East Azarbaijan Province), which can be presented after obtaining permission from (Regional Water Company and Meteorological Organization of East Azarbaijan Province).

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مطالعه موردی

کاربرد الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و درخت تقویت شده برای مدل سازی بارش - رواناب (مطالعه موردی: دشت تبریز)

زینب بیگدلی^۱، ابوالفضل مجنونی هریس^{۲*}، رضا دلیر حسن نیا^۲ و سپیده کریمی^۳

^۱ دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۲ دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۳ محقق پسادکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
این پژوهش به استفاده از روش های یادگیری ماشین، به ویژه الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) و درخت تقویت شده (BT)، برای شبیه سازی بارش و رواناب در دو ایستگاه آخولا و پل سنخ پرداخته است. داده های هواشناسی و هیدرومتری از ۲۴ ایستگاه زیرحوضه تبریز از شرکت آب منطقه ای و سازمان هواشناسی استان آذربایجان شرقی جمع آوری شدند. مقادیر بارش و رواناب به عنوان ورودی به مدل با تأخیر زمانی یک روزه وارد شده و سپس مقادیر رواناب ماهانه با استفاده از معیارهای ارزیابی با مشاهدات ماهانه تخمین زده شده مقایسه شدند. نتایج نشان داد که در هر دو دوره مطالعه، برای ایستگاه آخولا، مدل SVM عملکرد بهتری نسبت به مدل BT داشت و در ایستگاه پل سنخ، مدل BT عملکرد بهتری نسبت به مدل SVM ارائه کرد. همچنین، مقدار همبستگی متقابل برای دو دوره مطالعاتی در ایستگاه آخولا به ترتیب برابر با ۰/۸۳ و ۰/۸۲ و ایستگاه پل سنخ ۰/۸۳ و ۰/۷۷ به دست آمد. در نتایج سری زمانی نیز، روند مشخصی برای بارش در طول دوره مشاهده نشد، اما دبی رودخانه ها در ایستگاه آخولا و پل سنخ، به ویژه بعد از سال ۱۳۷۴، روند کاملاً نزولی داشته است. از جمله دلایل اصلی این کاهش می تواند رواناب، توسعه کشاورزی و صنعت باشد.	تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۸/۰۱]
	تاریخ بازنگری: [۱۴۰۲/۰۲/۰۷]
	تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۰۲/۱۶]
	واژه های کلیدی: آبی چای آخولا دشت تبریز شبیه سازی بارش-رواناب یادگیری ماشین
	*نویسنده مسئول: majnooni@tabrizu.ac.ir



۱- مقدمه

داده های جریان رواناب، تخصیص منابع آب به این مصارف را تعیین می کنند (Worland et al. 2018). از طرفی دیگر سیلاب ها عموماً در دره های خشک که داده های اندازه گیری شده ندارند، رخ می دهند. در استان آذربایجان شرقی برای

به طور کلی بخش قابل توجهی از نزولات آسمانی به رواناب تبدیل می شود. رواناب حاصل از بارش و ذوب برف یکی از منابع اصلی برای تحقق نیازهای کشاورزی، صنعتی و مصارف خانگی است؛ به طوری که برنامه ریزان منابع آب با تکیه بر



کشورهای دیگر با استفاده از مدل‌های هوشمند جهت پیش‌بینی جریان بارش- رواناب، سیلاب انجام شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود.

Ghorbani et al. (2015) به بررسی فرآیند بارش رواناب روانه حوزه آبخیز بالیه لوچای با استفاده از ANN، SVM، هیبرید موجک ماشین بردار پشتیبان^۵ (WSVM) و هیبرید موجک شبکه عصبی^۶ (WANN) پرداخته‌اند. همه روش‌ها دارای دقت قابل قبولی بودند. Poursalehi et al. (2022) عملکرد الگوریتم جنگل تصادفی در پیش‌بینی نوسانات سطح ایستابی در مقایسه با دو مدل درخت تقویت‌شده و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: آبخوان آزاد دشت بیرجند) را مطالعه کردند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی نشان می‌دهد این الگوریتم توانایی نسبتاً زیادی در شبیه‌سازی تراز سطح ایستابی آبخوان دارد. در جدیدترین مطالعه انجام گرفته توسط Zarei et al. (2022) پتانسیل وقوع سیل با استفاده از مدل‌های داده‌کاوی ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی در حوزه آبخیز فریزی را ارزیابی نمودند. بر اساس نتایج، هم در داده‌های تعلیمی و هم در داده‌های آموزشی در الگوریتم (SVM) و مدل الگوریتم نوین جنگل تصادفی دارای نتایج دقیق‌تری می‌باشد. Bigdeli et al. (2023) در جدیدترین مطالعات خود مدل‌سازی بارش-رواناب حوزه آجی چای با استفاده از مدل‌های جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که برای حوزه آجی چای مدل ANN کارایی بالاتری نسبت به RF دارد. Lee et al. (2017) از پیش‌بینی مکانی حساسیت به سیل با استفاده از مدل‌های جنگل تصادفی و درختان تقویت‌شده در کلان شهر سئول، کره جنوبی استفاده کردند. در نتیجه، مدل جنگل تصادفی برای الگوریتم‌های رگرسیون و طبقه‌بندی به ترتیب ۷۸/۷۸ و ۱۸/۷۹٪ و مدل درخت تقویت‌شده دقت اعتبارسنجی ۷۷/۵۵ و ۷۷/۲۶٪ را برای الگوریتم‌های رگرسیون و طبقه‌بندی نشان داد. Hussain et al. (2020) جهت پیش‌بینی جریان رودخانه هنزه در پاکستان از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه، (MLP) رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) و جنگل تصادفی (RF) استفاده نموده‌اند. مجموعه‌ای از پنج پارامتر به‌اضافه سری زمانی جریان رودخانه با تأخیرهای مختلف به‌عنوان

حوضه‌ی کوچکتر از ۴۰ km² اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری موجود نمی‌باشد. بنابراین توسعه روش‌های تخمین رواناب برای این حوضه‌ها ضروری است. از آنجایی که اغلب داده‌های بارش در مدت‌های زمانی طولانی‌تری نسبت به داده‌های رواناب موجود می‌باشند، می‌توان از این موجودیت برای پر کردن خلأهای آماری داده‌های رواناب استفاده نمود. در این راستا، در دسترس بودن اطلاعات پیوسته بارش و سایر متغیرهای اقلیمی که می‌توانند برای مدل‌سازی مقدار رواناب مورد استفاده قرار گیرد، بسیار ضروری می‌باشد (Lorrai and Sechi 1995). مدل‌های زیادی از اوایل دهه ۱۹۶۰ توسعه داده شده است تا فرایند بارش-رواناب را شبیه‌سازی کنند. مدل ابزاری است که می‌تواند بخشی از واقعیت را شبیه‌سازی کند. هدف از مدل‌سازی، نشان دادن عملکرد و رفتار یک پدیده طبیعی تحت شرایط معین می‌باشد (Phomcha et al. 2011). به‌طور کلی، مدل‌های ریاضی شناخته شده بارش-رواناب را می‌توان در دو گروه مدل‌های دارای مبنای فیزیکی (همچون مدل‌های هیدرولوژیکی مفهومی) و مدل‌های داده محور (همچون شبکه عصبی مصنوعی) تقسیم‌بندی نمود. یک سری جدید از مدل‌های رگرسیون مبتنی بر رویکردهای یادگیری ماشین برای حل مشکلات مدل‌های سری زمانی کلاسیک ایجاد شده است. با استفاده از مدل‌های هوشمند می‌توان روابط ذاتی میان داده‌ها را که ریاضیات کلاسیک قادر به حل آنها نمی‌باشد، مدل‌سازی نمود. یادگیری ماشین و رویکردهای مدرن به‌طور گسترده‌ای در مطالعه منابع آب در سال‌های اخیر استفاده شده است. از جمله مدل‌های هوشمند می‌توان به مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ (ANNs)، برنامه‌ریزی بیان ژن^۲ (GEP) و مدل‌هایی همچون ماشین بردار پشتیبان^۳ (SVM) و درخت تقویت‌شده^۴ (BT) اشاره کرد. الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و درخت تقویت‌شده دو نوع روش یادگیری ماشینی هستند که از الگوریتم‌های ضروری برای پیش‌بینی‌های چندگانه مکرر استفاده می‌کنند (Kisi and Parmar 2016). از اولین کاربردهای روش SVM در مسائل آب می‌توان به (Dibike et al. 2001) برای شبیه‌سازی بارش رواناب اشاره کرد. تاکنون مطالعات زیادی در ایران و

¹Artificial Neural Networks

²Gene expression programming

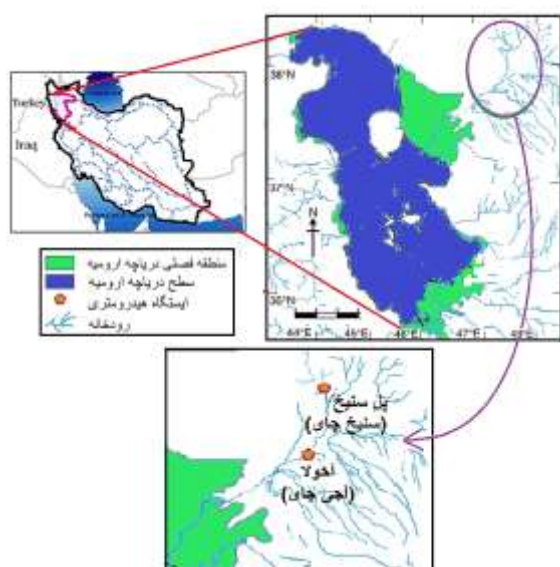
³Support Vector Machine

⁴Boosted Tree

⁵Wavelet Support Vector machine

⁶Wavelet Artificial Neural Network

انتهای دشت به دلیل شیب بسیار کم سطح زمین به چند شاخه تقسیم می‌شوند تا در نهایت به دریاچه ارومیه تخلیه شود. رودخانه آجی‌چای ۲۶۵ km طول دارد و در مناطق مرکزی استان در جریان می‌باشد (Bigdeli et al. 2023). مساحت حوزه آبخیز این رودخانه ۹۲۰۰ km² و حداکثر دبی آن ۴۰/۶ m³/s می‌باشد. بر روی آجی‌چای و سرشاخه‌های آن ۳۴ ایستگاه آب‌سنجی و هیدرومتری نصب شده است (Aji Chay - Wikipedia). طبق شکل (۱)، مطالعه حاضر بر روی آخرین ایستگاه‌های منتهی به دریاچه ارومیه (ایستگاه آخولا و پل سنیخ) بر روی رودخانه آجی‌چای و سنیخ‌چای انجام شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های آخولا و پل سنیخ
Fig. 1 Geographical location of Akhula and Pole Senikh stations

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی در این پژوهش، شامل داده‌های ماهانه بارش، میانگین دما و دبی خروجی از دو ایستگاه مورد مطالعه می‌باشد که از ۲۴ ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک از سال ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۷ و از شرکت آب منطقه‌ای و سازمان هواشناسی استان آذربایجان شرقی تهیه شد. صرفاً بر اساس مشاهده تغییر روند موجود در سری زمانی بارش و رواناب در سال ۱۳۷۴، داده‌های ۴۳ ساله به دو دوره ۱۳۷۴-۱۳۵۵ و ۱۳۹۷-۱۳۷۵ تقسیم شدند. این تغییر روند در مطالعات مختلفی از جمله Nazeri Tahroudi et al. (2017) و Fazli Fard et al. (2019) مشاهده می‌شود. نکته قابل ذکر رودخانه‌های زیر حوضه آجی‌چای می‌باشد که تمام این رودخانه‌های فصلی یا دائمی به شاخه اصلی رودخانه

به ترتیب مدل‌های RF، MLP و SVR^۱ بالاترین عملکرد را در پیش‌بینی جریان رودخانه هنزه داشتند. همچنین نتایج نشان داد که مدل‌های مبتنی بر الگوریتم‌های یادگیری ماشینی به‌ویژه مدل RF می‌توانند با دقت بسیار بالایی در پیش‌بینی جریان رودخانه به کار گرفته شوند. همچنین در زمینه استفاده از مدل‌های هوشمند برای پیش‌بینی جریان می‌توان به مطالعات Adnan et al. (2018) و Shafeizadeh (2019) اشاره کرد.

درواقع سؤال اساسی پژوهش این است که آیا برای شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب، در شرایط کمبود داده و اطلاعات، این مدل‌ها می‌تواند جوابگوی پیش‌بینی بارش و رواناب در این دو ایستگاه باشد. همچنین کدامیک از مدل‌ها در دو ایستگاه آخر دشت تبریز (منتهی به دریاچه ارومیه) عملکرد بهتری در شبیه‌سازی بارش - رواناب دارند. از اینرو، شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب در ایستگاه‌های هیدرومتری پایانی دشت تبریز (آخولا و پل سنیخ) در استان آذربایجان شرقی با استفاده از نرم‌افزار STATISTICA و ایجاد مدل بارش-رواناب با روش‌های ماشین بردار پشتیبان و درخت تقویت‌شده هدف این پژوهش می‌باشد.

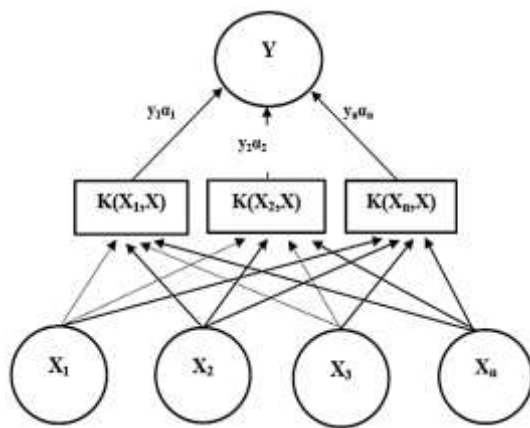
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در دشت تبریز در شمال غربی ایران و در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. مساحت زیر حوضه تبریز ۵۴۲۸ km² است که یکی از زیر حوضه‌های اصلی حوضه دریاچه ارومیه می‌باشد. اقلیم غالب منطقه تبریز نیمه‌خشک بوده و در فصل مرطوب، میانگین بارش سالانه ۲۳۰/۷ mm و میانگین دمای روزانه ۱۲/۱ °C است (Tabriz - Wikipedia). این زیر حوضه از شمال به حوزه آبخیز اهر چای، از جنوب به زیر حوضه آذرشهر و از شرق به زیر حوضه بیلوردی دوزدوزان و از غرب به دریاچه ارومیه محدود می‌شود. رودخانه آجی‌چای رودخانه دائمی در منطقه مورد مطالعه است و سایر رودخانه‌ها به این رودخانه اصلی می‌پیوندند. از ابتدای زیر حوضه آجی‌چای، رودخانه‌های بیوک‌چای، تاجیارچای، رازلیق‌چای، ونق‌چای و اوچان‌چای و در دشت تبریز نهندچای، مهران‌رود، گمناب‌چای و سنیخ‌چای از سمت راست و رودخانه‌های سردرود و عنصررود، ليقوان‌چای از سمت چپ به آجی‌چای پیوسته و در

¹Support Vector Regression

مهم‌ترین وظایف مدل ماشین‌های بردار پشتیبان، طبقه‌بندی و خطی‌سازی یا رگرسیون داده‌ها است. ماشین بردار پشتیبان یک سیستم یادگیری کارآمد بر مبنای تئوری بهینه‌سازی مقید است. روشی است که هم برای گروه‌بندی و هم برای تخمین و برآورد تابع برازش داده‌ها در مسائل رگرسیون به کار می‌رود به‌طوری که کمترین خطا در گروه‌بندی داده‌ها یا تابع برازش رخ دهد. SVM الگوریتمی است که نوع خاصی از مدل‌های خطی را می‌یابد که حداکثر حاشیه ابر صفحه را حاصل می‌کنند. به نزدیک‌ترین نقاط آموزشی به حداکثر حاشیه ابر صفحه، بردارهای پشتیبان گفته می‌شود و تنها از این بردارها (نقاط) برای مشخص کردن مرز بین طبقات استفاده می‌شود. شکل (۳) فرآیند روش SVM را نشان می‌دهد (Seyedian et al. 2014).



شکل ۳- فرآیند مدل SVM (Seyedian et al. 2014)

Fig. 3 SVM model process (Seyedian et al. 2014)

در مدل رگرسیونی SVM باید وابستگی تابع متغیر وابسته Y به مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل X تخمین زده شود. در این مطالعه متغیرهای مستقل، بارش و رواناب قبلاً ثبت شده و تابع متغیر وابسته، داده رواناب فعلی تعریف شده‌اند. برای اتصال سه لایه ورودی، پنهان و خروجی و ساخت مدل با بالاترین عملکرد، از کرنل تابع شعاعی استفاده گردید که در ادامه تعریف خواهد شد. فرض بر این است که مانند دیگر مسائل رگرسیونی، رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل با استفاده از یک تابع معین f به علاوه مقداری اغتشاش (خطای مجاز یا ϵ) مشخص می‌شود، در واقع هدف پیدا کردن فرم تابعی برای $f(x)$ است که در رابطه‌های (۲) و (۳) عنوان شده‌اند (Yoon et al. 2011):

$$f(x) = W^T \phi(x) + b \quad (2)$$

$$y = f(x) + \text{noise} \quad (3)$$

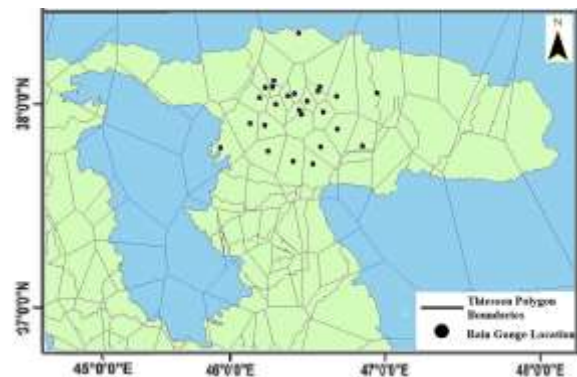
آبی‌چای می‌ریزند. در نهایت دبی رودخانه آبی‌چای و سنج‌چای در دو ایستگاه آخولا و پل سنج ثبت می‌شوند.

۲-۳- میانگین بارش از طریق روش چندضلعی تیسن

چندضلعی‌های تیسن، که سلول‌های ورونوی^۱ هستند، جهت تعریف چندضلعی بارش معادل مساحت سطح A_i برای وزن کردن بارش هر باران‌سنج I_i استفاده می‌شود. نهایتاً، بارش معادل با وزن مساحت با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Aurenhammer et al. 2013).

$$r_{th}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n r_i(t) \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

از نرم‌افزار GIS که برای توصیف پارامترهای جغرافیایی حوضه استفاده می‌شود. معمولاً می‌توان برای محاسبه بارش معادل از رابطه (۱) استفاده کرد. به این ترتیب با استفاده از ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود بارش متوسط در مقیاس ماهانه و سالانه برای هر زیر حوضه بر اساس چندضلعی‌های تیسن تعیین شد.



شکل ۲- تقسیم‌بندی چندضلعی تیسن حوضه دریاچه ارومیه شرقی

Fig.2 Thiessen polygon partitioning of the Eastern Lake Urmia Basin

همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، چندضلعی‌های تیسن حوضه دریاچه ارومیه شرقی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی کوانتومی (www.qgis.org) تولید شدند (Shekhar and Xiong 2007).

۲-۴- روش پژوهش

۲-۴-۱- الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

ماشین‌های بردار پشتیبان همانند دیگر روش‌های هوش مصنوعی بر مبنای الگوریتم داده‌کاوی عمل می‌کنند.

^۱Voronoi

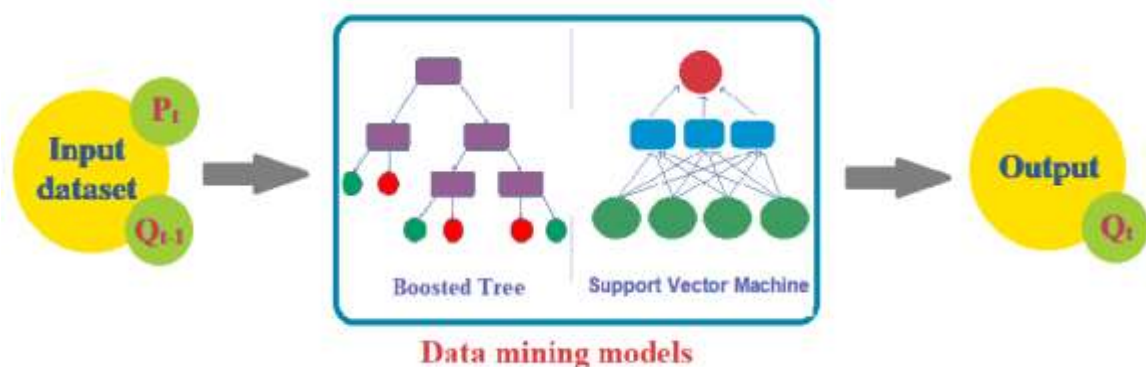
پیوسته و حساسیت به اندازه داده‌های نمونه دارد. اما وقتی درخت پیچیده‌تر می‌شود، مشکل اضافه برآزش به وجود می‌آید که نشان می‌دهد الگوریتم یک مدل بیش از حد تنظیم شده برای داده‌های ورودی ایجاد می‌کند (Friedman et al. 1999).

همان‌طور که اشاره شد برای شبیه‌سازی بارش - رواناب، ابتدا بارش متوسط زیر حوضه تبریز با روش پلیگون‌بندی محاسبه شد. سپس به همراه دبی خروجی از ایستگاه آخولا و پل سنخ به همراه تأخیر زمانی یک‌روزه وارد دو مدل SVM (تابع کرنل) و BT شدند. برای این منظور از ۷۰٪ داده‌ها برای مرحله آموزش و ۳۰٪ داده‌ها برای مرحله آزمون استفاده شد. لازم به ذکر است که انتخاب داده‌ها در این نرم‌افزار برای مجموعه آموزش کاملاً به صورت اتفاقی انتخاب شده‌اند و لزوماً داده‌های منتخب برای مجموعه آموزش دو مدل SVM و BT با یکدیگر برابر نمی‌باشند. سپس مجموعه آموزشی بارش به عنوان متغیر پیش‌بینی کننده و مجموعه آموزشی رواناب به عنوان متغیر هدف انتخاب شدند. چندین ترکیب ورودی رواناب و بارندگی برای مدل‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفت. ورودی‌ها مقادیر بارش (P_t) و دبی (Q_t) ماهانه قبلاً ثبت شده (P_{t-1} ، Q_{t-1}) را ارائه می‌دهند و خروجی مربوط به داده‌های رواناب فعلی (Q_t) است، که زیرنویس t نشان‌دهنده مرحله زمانی است. همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود دو ترکیب ورودی از داده‌های P و Q ایجاد و مدل SVM و BT برای مدل‌سازی بارش-رواناب برای تعیین ترکیب ورودی بهینه استفاده شد.

بردار ضریب W و ثابت b و تابع کرنل ϕ در این رابطه با حل مسئله بهینه‌سازی محدب و با استفاده از روش لاگرانژین و اصل کمینه‌سازی خطای ساختاری به دست می‌آیند. در مطالعات بارش-رواناب عمدتاً از تابع پایه شعاعی استفاده می‌شود. زیرا ماشین بردار پشتیبان با این نوع تابع در مقایسه با سایر توابع از دقت بیشتری در شبیه‌سازی این پدیده برخوردار است (Adamowski 2013).

۲-۴-۲- درخت تقویت‌شده

روش درخت تقویت‌شده یک روش ناپارامتریک است که برای مدل‌سازی داده‌های پیوسته و گسسته مناسب است. این روش قابل استفاده برای رگرسیون و طبقه‌بندی با استفاده از متغیرهای پیوسته و گسسته است و یک ابزار قوی برای داده‌کاوی و پیش‌بینی محسوب می‌شود. ارزیابی مدل با استفاده از داده‌های آزمون صورت می‌گیرد و دقت پیش‌بینی معیاری ارزیابی مهم است. الگوریتم درخت تقویت‌شده معمولاً در مسائل رگرسیون و پیش‌بینی متغیرهای پیوسته استفاده می‌شود. در صورتی که تعداد کلاس‌ها بیش از ۱۰۰ باشد، طبقه‌بندی دقیق‌تری نیاز دارد و زمان محاسباتی بیشتری ممکن است طول بکشد. روش درخت تقویت‌شده به عنوان یک رویکرد یادگیری مجموعه‌ای عمل می‌کند و شباهت زیادی به الگوریتم جنگل تصادفی دارد. در طبقه‌بندی گسترده، درختان دودویی ایجاد می‌شود و مجموعه داده را به دو نمونه تقسیم می‌کند. نقطه تقسیم‌بندی داده‌ها در هر گره با استفاده از روش درخت تقویت‌شده تعیین می‌شود. انتخاب معیارهای توقف ضروری است زیرا یک درخت ساده محدودیت‌هایی در متغیرهای



شکل ۴- شماتیک ورودی و خروجی مدل‌های SVM و BT
Fig. 4 Schematic of SVM and BT model inputs and outputs

۵-۲- معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی مدل‌ها و مقایسه کارایی آنها، در این پژوهش از معیارهای جذر میانگین مربعات خطا^۱، ضریب همبستگی^۲، ضریب تعیین^۳ و ضریب کارایی نش- ساتکلیف^۴ استفاده گردید. در ادامه، معادلات مربوطه با شماره‌های (۴)، (۵)، (۶) و (۷) ارائه شده است (Kumar et al. 2019, Shiri et al. 2016).

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

$$r = \frac{n(\sum_{i=1}^n O_i P_i) - (\sum_{i=1}^n O_i)(\sum_{i=1}^n P_i)}{\sqrt{(n \sum_{i=1}^n O_i^2 - (\sum_{i=1}^n O_i)^2)(n \sum_{i=1}^n P_i^2 - (\sum_{i=1}^n P_i)^2)}} \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})]^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (6)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (7)$$

که، n تعداد داده‌ها، P_i داده‌های مشاهداتی، $\bar{Q}$ میانگین داده‌های مشاهداتی و Q_i داده‌های محاسباتی می‌باشد. هر چقدر مقدار R^2 به عدد یک نزدیکتر باشد، براورد و برازش را بهتر نشان می‌دهد. ضریب کارایی نش- ساتکلیف می‌تواند از منفی بی‌نهایت تا ۱ تغییر کند، هرچه مقادیر به عدد یک نزدیکتر باشد، مدل برازش بهتری دارد و عدد یک برازش عالی را نشان می‌دهد. $RMSE$ جذر میانگین مربع خطاهای داده‌های محاسباتی و مشاهداتی را بیان می‌کند. هر چه مقدار این عدد کمتر باشد، عملکرد مدل در شبیه‌سازی داده‌ها بهتر است.

امروزه یکی از ابزارهای تعیین تغییرهای اقلیمی تحلیل روند می‌باشد. روش‌های مختلفی برای تعیین روند وجود دارند که به دو دسته روش پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم می‌شوند. در اصل آزمون‌های پارامتریک در صورتی که داده‌ها به صورت نرمال باشند، قوی‌تر از آزمون‌های ناپارامتریک هستند. حال - آنکه شرایط داده‌های غیرنرمال آزمون ناپارامتریک قوی‌تر از پارامتریک است (Sabouhi and Soltani 2008). از آنجایی که توزیع تعدادی از سری‌های اقلیمی از جمله بارش و دبی نرمال نیست، در چنین حالت‌هایی روش من- کندال مناسب‌تر است. تحلیل روند در این مطالعه با استفاده از

آزمون ناپارامتریک من-کندال انجام شد. آزمون من- کندال ابتدا توسط Mann (1945) مطرح و سپس توسط Kendall (1975) بسط و توسعه یافت.

این روش بطور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود (Lettenmaier 1994). از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره کرد. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌شوند نیز از دیگر مزیت‌های استفاده از این روش است (Turgay and Ercan 2005). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و وجود نداشتن روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. آزمون من- کندال با تعریف آماره S به صورت رابطه (۸) تعریف می‌شود.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(X_i + X_j) \quad (8)$$

که در آن X_i و X_j مقادیر مرتب شده‌ی نمونه و n تعداد نمونه است. مقدار $\text{Sign}(x_j - x_i)$ برای $0 < (x_j - x_i)$ برابر با منفی یک، $0 = (x_j - x_i)$ برابر با صفر و برای $0 > (x_j - x_i)$ برابر با یک است. مقدار نمره استاندارد شده Z و واریانس آماره S نیز از رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$Z_c = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & , S > 0 \\ 0 & , S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & , S < 0 \end{cases} \quad (9)$$

مقادیر مثبت Z نشان‌دهنده‌ی روندهای افزایشی و مقادیر منفی Z نشان‌دهنده‌ی روندهای کاهش‌ی است. در شرایطی که $S=0$ باشد داده‌ها فاقد روند بوده و هیچ روند معنی‌دار یا غیر معنی‌داری در داده‌ها وجود ندارد که این شرایط ایده‌آل برای داده‌های هیدرولوژیکی بندرت ممکن است اتفاق بیفتد. در این پژوهش سطح‌های معنی‌داری $P=0.05$ به کار گرفته شده است (Barani et al. 2019).

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- سری زمانی بارش و رواناب

سری زمانی مربوط به بارش و رواناب ایستگاه آخولا در شکل (۵-الف و ۵-ب) و پل سنخ (۵-ج و ۵-د) در دو دوره مطالعاتی قبل و بعد از سال ۱۳۷۴ نشان داده شده است.

¹ Root-mean-square deviation

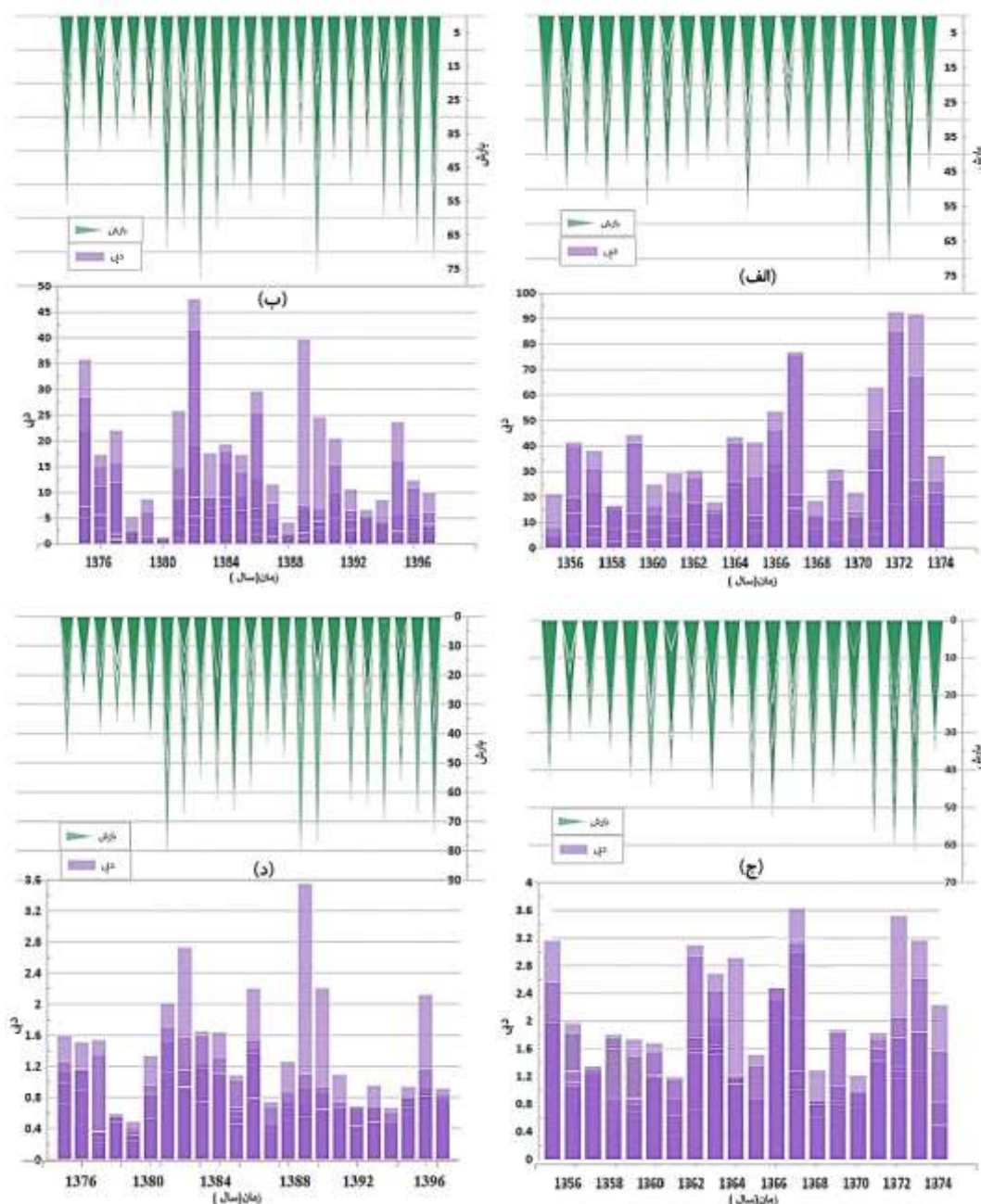
² Correlation coefficient

³ Coefficient of determination

⁴ Nash-Sutcliffe efficiency

بنابراین بارش سالانه در سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۷ دارای روند نبوده و سری زمانی بارش نوسانی است و روند در این دوره زمانی طبیعی می‌باشد. بررسی شکل (۵) همچنین نشان داد که در هر دو ایستگاه آخولا و پل سنیخ، بارش روند مشخصی نداشته و در برخی سال‌ها روند افزایشی و در برخی دیگر روند کاهشی داشته است.

مقدار آماره من کندال متغیر بارش در دو دوره مطالعاتی برای ایستگاه آخولا (الف) و (ب) به ترتیب برابر با ۰/۰۴۱ و ۰/۰۳۴ و برای ایستگاه پل سنیخ (ج) و (د) برابر با ۰/۰۳۹ و ۰/۰۲۸ تعیین شد که در سطح ۹۵٪ معنادار نمی‌باشد. این موضوع مؤید این است که بارش سالانه در این سال‌ها برای دو ایستگاه مورد مطالعاتی از نظر آماری معنادار نیست.



شکل ۵- سری زمانی متوسط بارش و دبی خروجی: الف- آخولا (۱۳۵۵-۱۳۷۴)، ب- آخولا (۱۳۷۵-۱۳۹۷)، ج- پل سنیخ (۱۳۷۴-۱۳۵۵) و د- پل سنیخ (۱۳۷۵-۱۳۹۷)

Fig. 5 Time series plots of the observed rainfall and runoff values: a) Akhula (1976-1994), b) Akhula (1995-2019), c) Pole Senikh (1976-1994) and d) Pole Senikh (1995-2019)

بارندگی‌های ماهانه کمتر از ۵ mm در سطح احتمال ۱٪ افزایش معنی‌داری داشته و در برخی محدوده‌ها روند

Salehi Babil et al. (2017) گزارش کردند که نوسانات بارش در زیر حوضه‌های دریاچه ارومیه وجود دارد و در

رودخانه‌ها نام برد. (Nazeri Tahroudi et al. (2018) روند کاهشی داده‌های سطح آب دریاچه ارومیه را یک سال پس از روند کاهشی داده‌های جریان گزارش کرد. مطالعات زیادی برای بررسی تغییرات روند جریان رودخانه و میزان بارش حوضه دریاچه ارومیه انجام شده است و همه آنها تأیید می‌کنند که کاهش رواناب رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه چشمگیر بوده است (Hosseini-Moghari et al. 2020 ، Bashirian et al. 2020).

۳-۲- پارامترهای آماری

جهت بررسی ایستگاه‌های آخولا و پل سنیخ در دو دوره، آمار بارندگی و رواناب (میانگین، حداقل، حداکثر) برای دوره ۱۳۷۴-۱۳۵۵ و دوره ۱۳۹۷-۱۳۷۵ در جدول (۱) ارائه شده است. مدل‌های BT و SVM (تابع کرنل) با داده‌های واقعی آموزش و آزمون شدند. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج مربوط به دوره اول مطالعاتی (۱۳۷۴-۱۳۵۵) در ردیف اول و نتایج مربوط به دوره دوم مطالعاتی (۱۳۹۷-۱۳۷۵) داخل پرانتز و زیر نتایج دوره اول نوشته شده است. طبق جدول (۱) در هر دو دوره، در ستون داده کل، ایستگاه آخولا بیشترین میانگین بارش و رواناب را داشته و کمترین مقادیر میانگین بارندگی و رواناب به ایستگاه پل سنیخ مربوط می‌شود. همان‌طور که اشاره شد به دلیل اینکه داده‌های منتخب دو مجموعه آموزش برای هر دو مدل متفاوت می‌باشد، طبیعتاً اعداد به دست آمده برای پارامترهای آماری این دو مدل، با یکدیگر تفاوت دارد.

معنی‌داری نشان نداده است، در حالی که محدوده ۱۰ mm تا ۱۵ روند کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد. اما شکل (۵) دبی خروجی از ایستگاه آخولا (۵-الف) و (۵-ب) و پل سنیخ (۵-ج) و (۵-د) در دو دوره مطالعاتی را نیز نشان می‌دهد. مقدار آماره آزمون من کندانال متغیر دبی خروجی برای دو دوره برای ایستگاه آخولا به ترتیب برابر با ۰/۲۱۳- و ۰/۳۶۹- به دست آمد که در سطح ۹۵٪ روند کاهشی دبی معنادار می‌باشد. همان‌طور که از شکل‌های (۵-الف) و (۵-ب) آخولا نیز مشهود است، دبی خروجی از این ایستگاه روند کاملاً نزولی دارد و این کاهش رواناب در دوره دوم مطالعاتی شدت بیشتری یافته است. همچنین در تحلیل شکل‌های (۵-ج) و (۵-د) می‌توان این کاهش روند دبی خروجی از ایستگاه پل سنیخ را هم مشاهده کرد، از طرفی دیگر مقدار آماره آزمون من کندانال متغیر دبی خروجی برای این ایستگاه به ترتیب برابر با ۰/۱۹۸- و ۰/۲۴۶- تعیین شد که نشان می‌دهد در سطح ۹۵٪ روند کاهشی دبی معنادار است. این موضوع تأیید می‌کند که سری زمانی دبی برای هر دو دوره مطالعاتی پل سنیخ روند کاهشی دارد. در نتیجه این تحلیل‌ها نشان داد که در سال‌های اخیر کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در روند جریان خروجی ایستگاه‌های مطالعاتی مشاهده می‌شود که هشدار برای خشک شدن دریاچه ارومیه محسوب می‌شود. عوامل بسیاری در کاهش جریان رواناب دخیل هستند که یکی از دلایل اصلی آن استفاده از آب رودخانه‌ها در کشاورزی و صنعت می‌باشد. دلیل بعدی را می‌توان احداث سد بر روی

جدول ۱- پارامترهای آماری داده‌های بارش و رواناب در مدت ۱۳۷۴-۱۳۵۵ و (۱۳۹۷-۱۳۷۵)

Table 1 Statistical parameters of the rainfall and runoff data during 1976-1994 and (1995-2019)

Station	Parameter	Entire data 1976-1994 (1995-2019)		Training set		Test set	
		P (mm/month)	Q (m ³ /s)	BT	SVM	BT	SVM
Akhula	Mean	21.97 (22.40)	11.74 (5.07)	11.32 (4.53)	10.46 (5.73)	11.13 (5.97)	11.90 (3.38)
	Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Maximum	(0.81)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)
		74.31	92.50	76.85	76.85	53.85	75.48
		(77.66)	(47.47)	(47.47)	(47.47)	(41.65)	(36.15)
Pole senikh	Mean	18.97 (20.39)	0.86 (0.52)	0.85 (4.53)	0.86 (0.54)	0.93 (0.51)	0.91 (0.41)
	Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Maximum	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)
		61.38	3.63	3.63	3.86	3.86	3.70
		(81.25)	(3.55)	(3.55)	(2.73)	(2.21)	(2.23)

۳-۳- مدل های ماشین بردار پشتیبان و درخت تقویت شده

به منظور نشان دادن قابلیت مدل ها برای مدل سازی بارش-رواناب، در این بخش فرآیند اعتبارسنجی مدل ها مورد بحث قرار می گیرد. مقادیر معیار ارزیابی کمی عملکرد مدل های SVM با تابع کرنل و BT در ایستگاه هیدرومتری آخولا و پل سنیخ در مدل های کاربردی در این مطالعه تحلیل و مقایسه شد. ضریب همبستگی، ضریب تعیین، کارایی نش سائکلیف و جذر میانگین مربعات خطا بر اساس مجموعه داده های

آموزش و آزمون محاسبه شد. نتایج نشان می دهد که هر دو مدل در هر دو دوره مطالعاتی عملکرد خوبی دارند. با توجه به نتایج جدول (۲)، در هر دو دوره مطالعاتی در ایستگاه آخولا مدل SVM نسبت به مدل BT عملکرد بهتری داشته است و با دقت خوبی توانسته دبی جریان و بارش ماهانه را شبیه سازی کند. همچنین در این دوره ها در ایستگاه پل سنیخ مدل BT کارایی بهتری را نسبت به مدل SVM نشان می دهد.

جدول ۲- عملکرد مدل های SVM و BT در مجموعه های آموزشی و آزمون در مدت ۱۳۹۷-۱۳۵۵

Table 2 Performance of SVM and BT models in the training and testing sets during 1976-2019

Table 2: Performance of SVM and BT models in the training and testing sets during 1976-2019									
Station	Entire data (1976-2019)	Cross Correlation		R ²		NSE		RMSE	
		BT	SVM	BT	SVM	BT	SVM	BT	SVM
1976-1994									
Akhula	Train	0.90	0.90	0.82	0.81	0.81	0.81	6.86	6.59
	Test	0.81	0.89	0.65	0.80	0.64	0.72	8.13	8.09
Pole senikh	Train	0.84	0.83	0.70	0.69	0.70	0.69	0.45	0.46
	Test	0.83	0.82	0.69	0.67	0.69	0.67	0.51	0.54
1995-2019									
Akhula	Train	0.79	0.83	0.62	0.68	0.62	0.67	4.23	4.53
	Test	0.69	0.75	0.48	0.57	0.47	0.55	6.00	3.65
Pole senikh	Train	0.80	0.80	0.65	0.64	0.64	0.64	0.31	0.29
	Test	0.77	0.76	0.59	0.58	0.58	0.57	0.35	0.32

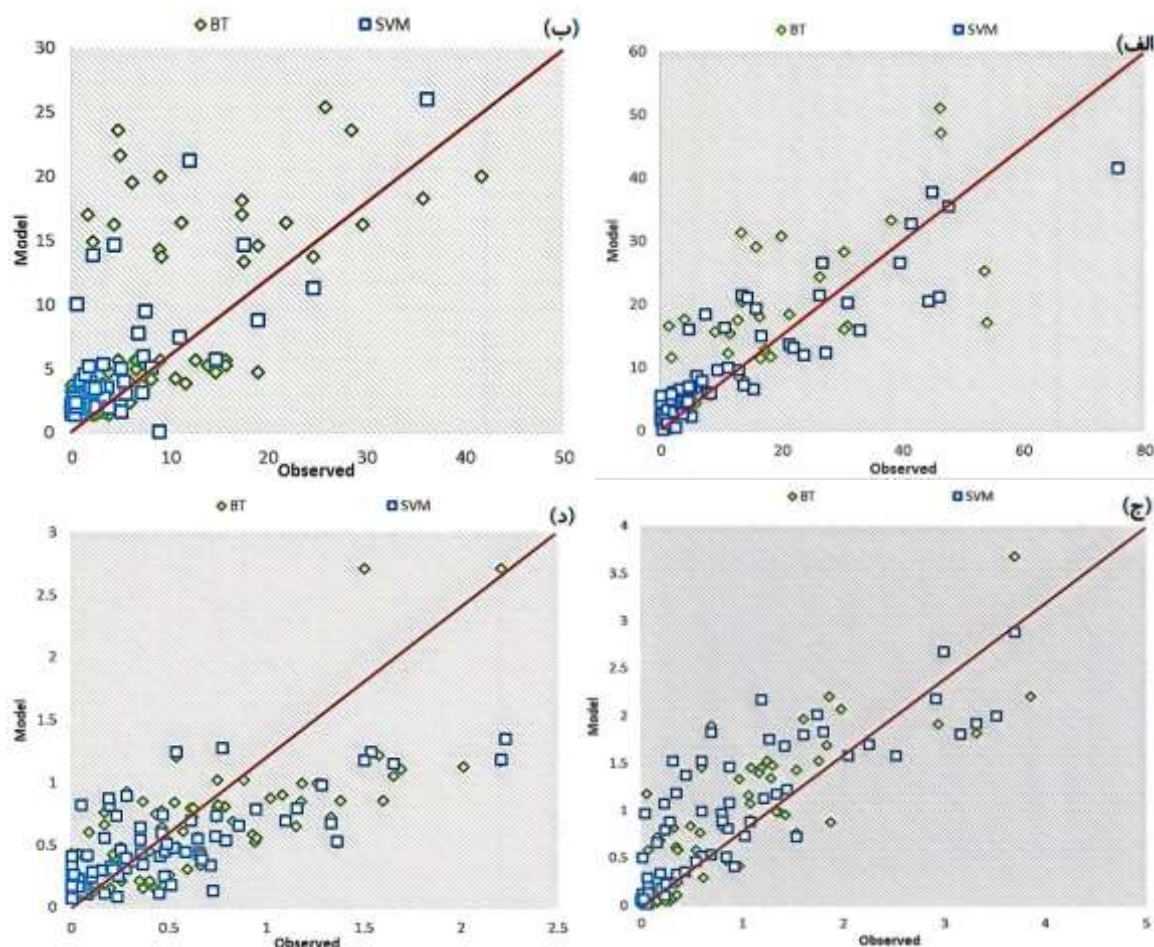
همان طور که در جدول (۲) (دوره اول) به وضوح دیده می شود همبستگی متقابل در مدل SVM در ایستگاه آخولا برای داده های آموزشی ۰/۹۰ و در داده های آزمون ۰/۸۹ به دست آمده است. عدد R² نیز در این مدل برای داده های آموزشی و آزمون به ترتیب برابر با ۰/۸۱ و ۰/۸۰ تعیین شد. شاخص کارایی نش سائکلیف داده های آموزشی و آزمون به ترتیب برابر است با ۰/۸۱ و ۰/۷۲ و آخرین شاخص که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است خطای جذر میانگین مربعات می باشد و مقدار آن برای داده های آموزشی و آزمون به ترتیب برابر با ۶/۵۹ و ۸/۰۹ به دست آمده است. اما در این دوره برای ایستگاه پل سنیخ، مقدار ضریب همبستگی برای دوره های آموزشی و آزمون مدل BT برابر با ۰/۸۴ و ۰/۸۳ ثبت گردید. مقدار R² برای این مدل، برای داده های آموزشی ۰/۷۰ و برای داده های آزمون ۰/۶۹ تعیین شد. شاخص NSE برای این مدل و دوره های آموزشی و آزمون، ۰/۷۰ و ۰/۶۹ تعیین شد. اما آخرین شاخص خطای جذر میانگین مربعات به ترتیب برابر با ۰/۴۵ و ۰/۵۱ برای مجموعه آموزشی و آزمون ثبت گردید. اما در دوره دوم (۱۳۹۷-۱۳۷۵) و برای ایستگاه آخولا، مقدار CC برابر با

۰/۸۳ و ۰/۷۵ (آموزشی و آزمون) به دست آمد. همچنین مقدار R² برای دوره های آموزشی و آزمون، ۰/۶۸ و ۰/۵۷ و مقدار شاخص NSE برای مجموعه آموزشی و آزمون ۰/۶۷ و ۰/۵۵ تعیین گردید. آخرین پارامتر خطای جذر میانگین مربعات برای دوره آموزش و آزمون به ترتیب برابر با ۴/۵۳ و ۳/۶۵ به دست آمد. اما مقادیر مدل BT برای ایستگاه پل سنیخ و برای پارامتر CC و مجموعه آموزشی و آزمون به ترتیب ۰/۸۰ و ۰/۷۷، پارامتر R²، ۰/۶۵ و ۰/۵۹، آماره NSE برابر با ۰/۶۴ و ۰/۵۸ و آخرین پارامتر RMSE به ترتیب با ۰/۳۱ و ۰/۳۵ تعیین گردید. نتایج نشان داد که در دوره دوم، به دلیل کاهش چشمگیر جریان آب خروجی از دو ایستگاه زیر حوضه تبریز نسبت به دوره اول، ارتباط بین بارش و رواناب کاهش یافته است. بنابراین، در دوره دوم، عملکرد مدل ها در تمامی شاخص های ارزیابی کاهش یافته است. با توجه به تأثیر ارتباط بارش و رواناب بر مدل ها، نتایج در دوره دوم منطقی به نظر می آید.

همچنین، نتایج در داده های آزمون نیز نشان می دهد که شاخص هایی مانند CC، R²، NSE و RMSE برای بارش و رواناب در داده های آزمون قابل قبول هستند و می توان

دانست. به عبارت دیگر، می‌توان از این مدل‌ها برای پیش‌بینی رواناب در آینده استفاده کرد.

مدل‌های ماشین بردار پشتیبان و درخت تقویت‌شده را برای ایستگاه‌های آخولا و پل سنیخ زیر حوضه تبریز مناسب



شکل ۶- نمودارهای پراکنده رواناب شبیه‌سازی شده با استفاده از SVM و BT: الف- آخولا (۱۳۷۴-۱۳۵۵)، ب- آخولا (۱۳۹۷-۱۳۷۵)، ج- پل سنیخ (۱۳۷۴-۱۳۵۵) و د- پل سنیخ (۱۳۹۷-۱۳۷۵)

Fig. 6 Verification scatter plots of simulated runoff using SVM and BT: a) Akhula (1976-1994), b) Akhula (1995-2019), c) Pole Senikh (1976-1994) and d) Pole Senikh (1995-2019)

از SVM می‌باشد. از طرف دیگر فاصله داده‌ها از محور یک‌به‌یک در مدل منتخب ایستگاه آخولا (مدل SVM) و همین‌طور در مدل منتخب ایستگاه پل سنیخ (مدل BT) در دوره دوم مطالعاتی نسبت به دوره اول بیشتر می‌باشد که در مقایسه با مطالعات انجام شده در این منطقه می‌توان به مطالعات (Bigdeli et al. 2023) اشاره کرد. در این مطالعه مدل‌سازی بارش- رواناب برای حوضه آجی چای با دو مدل RF و ANN انجام شد. نتایج نشان داد که برای این منطقه که شامل ۶ ایستگاه بود مدل شبکه عصبی مصنوعی کارایی بالاتری نسبت به جنگل تصادفی نشان داد. در مطالعه Nourani et al. (2009) برای پیش‌بینی رواناب ماهانه و روزانه در حوضه ليقوان‌چای از سه مدل هوشمند (شبکه‌های عصبی مصنوعی، سیستم استنتاج فازی و سیستم عصبی-

همچنین در شکل (۶) نمودار پراکنش مقادیر مشاهداتی در برابر مقادیر شبیه‌سازی شده دبی‌های ماهانه، با استفاده از مدل‌های ماشین بردار پشتیبان و درخت تقویت‌شده برای دو ایستگاه آخولا و پل سنیخ در دو دوره مطالعاتی نشان داده شده است. در شکل (۶)، در آخولا (۶-الف) و (۶-ب) به‌طور نسبی حالت بیش تخمینی دیده می‌شود. حال آنکه در قسمت پل سنیخ (۶-ج) بیش تخمینی و در پل سنیخ (۶-د) کم تخمینی اتفاق افتاده است. همچنین شکل (۶) قرار گرفتن بیشتر نقاط روی یا نزدیکی خط نیمساز ($Y=X$) و دقت بیشتر این مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش- رواناب را نمایش می‌دهد. پراکندگی داده‌ها در ایستگاه آخولا در هر دو دوره مطالعاتی و برای مدل SVM کمتر از BT بوده و در ایستگاه پل سنیخ نیز، پراکندگی داده‌ها برای مدل BT کمتر

آجی چای و پل سنیخ در ایستگاه آخولا و پل سنیخ، نشان داد که روند کاملاً نزولی برای جریان آب برای رودخانه‌ها برای دو دوره مطالعاتی ثبت شده است.

از دلایل مهم کاهش ورود دبی رودخانه‌ها به دریاچه ارومیه، در ایستگاه‌های مورد مطالعه، استفاده از جریان آب در بخش کشاورزی و صنعت می‌باشد. از دلایل دیگر می‌توان به احداث سد های متعدد بر روی رودخانه حوضه دریاچه ارومیه اشاره کرد. با توجه به عملکرد خوب این مدل‌ها در شبیه سازی بارش-رواناب، می‌توان برای سایر ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه از روش‌های یادگیری ماشین ذکر شده استفاده کرد.

سیاسگزاری

این مقاله با استفاده از داده‌های دریافتی از شرکت آب منطقه‌ای و سازمان هواشناسی استان آذربایجان شرقی نگارش شده است. از این رو نویسندگان مقاله از سازمان‌های نامبرده کمال تشکر را دارند.

دست‌رسی به داده‌ها

داده‌های این پژوهش از (شرکت آب منطقه‌ای و سازمان هواشناسی استان آذربایجان شرقی) اخذ شده است که بعد از اخذ مجوز از (شرکت آب منطقه‌ای و سازمان هواشناسی استان آذربایجان شرقی) قابل ارائه می‌باشد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

- Adamowski, J. (2013). Using support vector regression to predict direct runoff, base flow and total flow in a mountainous watershed with limited data in Uttaranchal, India. *Land Reclam.*, 45 (1). DOI: [10.29252/jwmr.8.16.22](https://doi.org/10.29252/jwmr.8.16.22)
- Adnan, R. M., Yuan, X., Kisi, O., Adnan, F., & Mehmood, A. (2018). Stream flow forecasting of poorly gauged mountainous watershed by Least Square Support Vector Machine, Fuzzy Genetic Algorithm and M5 Model Tree using climatic data from Nearby Station. *Water Resour Manag*, 32, 4469-4486. DOI: [10.1007/s11269-018-2033-2](https://doi.org/10.1007/s11269-018-2033-2)
- Aurenhammer, F., Klein, R., & Lee, D. T. (2013). Voronoi Diagrams and Delaunay Triangulations. World Scientific Publ. Co., Singapore, p. 337. DOI: [10.1142/8685](https://doi.org/10.1142/8685)
- Barani, N., & Karami, A. (2019). Annual trend analysis of climate parameters of temperature and precipitation in decuple agroecology regions of Iran. *Environm. Sci.*, 17(4), 75-90. DOI: [10.29252/envs.17.4.75](https://doi.org/10.29252/envs.17.4.75)

فازی (تطبیقی) استفاده کردند. نتایج سه مدل مذکور را با نتایج به دست آمده از روش‌های رگرسیون خطی و مدل سری زمانی ARIMA مقایسه کردند که مدل سازی فازی (تطبیقی و استنتاجی) بیشترین مقدار نش- ساتکلیف و کمترین خطا را در پی داشت.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش کارایی مدل‌های هوشمند ماشین بردار پشتیبان و درخت تقویت شده به منظور مدل سازی بارش-رواناب ایستگاه‌های پل سنیخ و آخولا برای بازه زمانی ۴۳ ساله و در دو دوره مطالعاتی (۱۳۷۴-۱۳۵۵) و (۱۳۹۷-۱۳۷۵) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده به شرح زیر می‌باشد:

۱- در هر دو دوره مطالعاتی برای ایستگاه آخولا مدل SVM با تابع کرنل کارایی بالاتری نسبت به مدل BT نشان داد و در ایستگاه پل سنیخ نیز برای دو دوره مطالعاتی، مدل BT عملکرد بهتری را نسبت به مدل SVM ارائه کرد.

۲- مقدار همبستگی متقابل برای مجموعه آزمون و در دو دوره مطالعاتی اول و دوم ایستگاه آخولا به ترتیب برابر با ۰/۸۹ و ۰/۷۵ تعیین و همین مقدار آزمون برای دوره‌های مطالعاتی اول و دوم ایستگاه پل سنیخ برابر با ۰/۸۳ و ۰/۷۷ به دست آمد.

۳- با توجه به نمودارهای سری زمانی بارش و رواناب طی ۴۳ سال و همچنین نتایج حاصل از آزمون من- کندال، برای هر دو ایستگاه و برای دو دوره مطالعاتی، روند مشخصی برای بارش دیده نشد، درواقع نمودارها نشان دادند که بارش در این مناطق به صورت نوسانی بوده است. اما نتایج آزمون من کندال و نمودارهای سری زمانی برای دبی رودخانه‌های

- Bashirian, F., Rahimi D., Movahedi S., & Zakerinejad, R. (2020). Water level instability analysis of Urmia Lake Basin in the northwest of Iran. *Arab. J. Geosci.*, 13(4), 1-14. DOI: [10.1007/s12517-020-5207-1](https://doi.org/10.1007/s12517-020-5207-1)
- Bigdeli, Z., Majnooni Heris, A., Delirhasannia, R., & Karimi, S. (2023). Rainfall-Runoff Modeling of Aji Chai Basin using random forest and artificial neural network models. *New Res. Sustain. Water Eng.*, 1(2), 27-42. DOI: [10.22103/nrswe.2023.20278.1013](https://doi.org/10.22103/nrswe.2023.20278.1013)
- Dibike, Y. B., Velickov, S., Solomatine, D. P., & Abbott, M. B. (2001). Model induction with support vector machines: introduction and applications. *J. Comput. Civ. Eng.*, 15(3), 208-216. DOI: [10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2001\)15:3\(208\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2001)15:3(208))
- Fazli Fard, P., Sheikh, V., Sadoddin, A., & Hessari, B. (2019). Study of trends in precipitation and stream flow of the lake Urmia Basin during the past four decades. *Water Soil Sci.*, 29(4), 27-41. [In Persian].
- Friedman, N., Goldszmidt, M., & Wyner, A. (1999). Data analysis with Bayesian networks: A bootstrap approach. Proceedings of the Fifteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. Burlington (MA): Morgan Kaufmann Publishers. DOI: [10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2001\)15:3\(208\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2001)15:3(208))
- Ghorbani, M., Azani, A., & Mahmoudi Vanolya, S. (2015). Rainfall-Runoff Modeling Using Hybrid Intelligent Models Iran. *Water Resour. Manag.*, 11(2), 146-150 [In Persian]. DOI: [20.1001.1.2008479.1400.52.5.18.2](https://doi.org/10.1001.1.2008479.1400.52.5.18.2)
- Hosseini -Moghari, S. M., Araghinejad, S., Tourian, M. J., Ebrahimi, K., & Döll, P. (2020). Quantifying the impacts of human water use and climate variations on recent drying of Lake Urmia basin: the value of different sets of spaceborne and *in situ* data for calibrating a global hydrological model. *Hydrol Earth Syst. Sci.*, 24(4), 1939-1956. DOI: [10.5194/hess-24-1939-2020](https://doi.org/10.5194/hess-24-1939-2020)
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Tabriz>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Aji_Chay
- Hussain, D., & Khan, A. A. (2020). Machine learning techniques for monthly river flow forecasting of Hunza River, Pakistan. *ESIN*, 13, 939-949. DOI: [10.1007/s12145-020-00450-z](https://doi.org/10.1007/s12145-020-00450-z)
- Kendall, M. G. (1975). Rank correlation methods. fourth ed. Charles Griffin, London.
- Kisi, O., & Parmar, K. S. (2016). Application of least square support vector machine and multivariate adaptive regression spline models in long term prediction of river water pollution. *J. Hydrol.*, 534, 104-112. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2015.12.014](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.12.014)
- Kumar, S., Roshni, T. and Himayoun, D. (2019). A comparison of emotional neural network (ENN) and artificial neural network (ANN) approach for rainfall-runoff modelling. *C. E. J.*, 5(10), 2120-2130. DOI: [10.28991/cej-2019-03091398](https://doi.org/10.28991/cej-2019-03091398)
- Lee, S., Kim, J. C., Jung, H. S., Lee, M. J., & Lee, S. (2017). Spatial prediction of flood susceptibility using random-forest and boosted-tree models in Seoul metropolitan city, Korea. *Geomat. Nat. Hazard. Risk*, 8(2), 1185-1203. DOI: [10.1080/19475705.2017.1308971](https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1308971)
- Lorrai, M., & Sechi, M. G. (1995). Neural nets for modeling rainfall-runoff transformation. *Water Resour. Manag.*, 9, 299 - 313. DOI: [10.1007/BF00872489](https://doi.org/10.1007/BF00872489)
- Mann, H. B. (1945). Non-parametric test against trend. *Econom.*, 13, 245-259.
- Nazeri Tahroudi, M., Ahmadi, F., & Khalili, K. (2017). Evaluation the trend and trend chang point of Urmia Lake Basin precipitation. *Journal of water and soil (Agricultural sciences and technology)*, 31(2), 644-659 [In Persian]. DOI: [10.22067/JSW.V31I2.55338](https://doi.org/10.22067/JSW.V31I2.55338)
- Nazeri Tahroudi, M., Ahmadi, F., & Khalili, K. (2018). Impact of 30 years changing of river flow on Urmia Lake Basin. *AJCE*, 2(1), 115-122. DOI: [10.22060/AJCE.2018.14520.5481](https://doi.org/10.22060/AJCE.2018.14520.5481)
- Nourani, V., Keynezhad, M., & Makani L. (2009). Using adaptive neuro-fuzzy inference system rainfall-runoff modeling. *J. Civil Environ. Eng.*, 39, 75-81 [In Persian].
- Phomcha, P., Wirojanagud, P., Vangpaisal, T., & Thaveevouthti, T. (2011). Suitability of SWAT model for simulating of monthly streamflow in Lam Sonthi Watershed. *J. Indust. Technol.*, 7(2), 49- 56.
- Poursalehi, F., Khasheisiuki, A., & Hashemi, S. R. (2022). Investigating the performance of random forest algorithm in predicting water

- table fluctuations compared with two models of decision tree and artificial neural network (Case study: unconfined aquifer of Birjand plain). *Iran. J. Ecohydrol.*, 8(4), 961-974 [In Persian]. DOI: [10.22059/IJE.2022.327263.1526](https://doi.org/10.22059/IJE.2022.327263.1526)
- Sabouhi, R., & Soltani, S. (2008). Analysis of the climate trend in the major cities of Iran. *J. Agric. Sci. Technol.*, 12(46). [In Persian]. DOI: [10.22059/JPHGR.2021.301111.1007528](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2021.301111.1007528)
- Salehi Babil, S., Zeinalzadeh, K., & Hessari, B. (2017). The changes in the frequency of daily precipitation in Urmia Lake basin, Iran. *Theor. Appl. Climatol.*, 1- 10. DOI: [10.1007/s00704-017-2177-7](https://doi.org/10.1007/s00704-017-2177-7)
- Seyedian, S. M., Soleimani, M., & Kashani, M. (2014). Predicting streamflow using data-driven model and time series. *Iran. J. Ecohydrol.*, 1(3), 167-179. [In Persian]. DOI: [10.22059/IJE.2014.54219](https://doi.org/10.22059/IJE.2014.54219)
- Shafeizadeh, M., Fathian, H., & Nikbakht Shahbazi, A. (2019). Continuous rainfall-runoff simulation by artificial neural networks based on efficient input variables selection using partial mutual information (PMI) algorithm. *Iran-Water Resour. Res.*, 15(2), 144-161 [In Persian]. DOI: [20.1001.1.17352347.1398.15.2.12.1](https://doi.org/20.1001.1.17352347.1398.15.2.12.1)
- Shekhar, S., & Xiong, H. (2007). Encyclopedia of GIS. Springer Science & Business Media, New York, USA, p. 1370.
- Shiri, J., Shamshirband, S., Kisi, O., Karimi, S., Bateni, S. M., Hosseini Nezhad, S. H., & Hashemi, A. (2016). Prediction of water-level in the Urmia Lake using the extreme learning machine approach. *Water Resour. Manag.*, 30, 5217-5229. DOI: [10.1007/s11269-016-1480-x](https://doi.org/10.1007/s11269-016-1480-x)
- Worland, S. C., Farmer, W. H., & Kiang, J. E. (2018). Improving predictions of hydrological low-flow indices in ungauged basins using machine learning. *Environ. Model. Software*, 101, 169-182. DOI: [10.1016/j.envsoft.2017.12.021](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.12.021)
- Yoon, H., Jun, S. C., Hyun, Y., Bae, G. O., & Lee, K. K. (2011). A comparative study of artificial neural networks and support vector machines for predicting groundwater levels in a coastal aquifer. *J. Hydrol.*, 396, 128-138. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2010.11.002](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.002)
- Zarei, M., Zandi, R., & Naemitabar, M. (2022). Assessment of flood occurrence potential using data mining models of support vector machine, chaid and random forest (Case study: Frizi watershed). *JWMR*, 13 (25), 133-144. [In Persian]. DOI: [10.52547/jwmr.13.25.133](https://doi.org/10.52547/jwmr.13.25.133)

How to cite this paper:

Bigdeli, Z., Majnooni-Heris, A., Delirhasannia, R. and Karimi, S. (2023). Application of support vector machine and boosted tree algorithm for rainfall-runoff modeling (Case study: Tabriz Plain). *Environ. Water Eng.*, 9(4), 532-547. DOI: [10.22034/ewe.2023.366913.1816](https://doi.org/10.22034/ewe.2023.366913.1816).



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Case Study

Comparative Evaluation of GLDAS, ESA CCI SM and SMAP Soil Moisture with *in situ* Measurements (Case Study: Lorestan Province)

Abdolnabi Abdeh Kolahchi^{1*}, Morteza Miri¹, Mehran Zand² and Jahangir Porhemmat³

¹Assist. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

²Assoc. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

³Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

Article information

Received: October 07, 2022
Revised: January 25, 2023
Accepted: January 28, 2023

Keywords:

ESA
GLDAS
SMAP
Soil Moisture

*Corresponding author:

kolahchi@scwmri.ac.ir



Abstract

The aim of this study was to evaluate the effectiveness of estimated soil moisture data obtained from the GLDAS, ESA and SMAP sensor databases with the observed data of the Silakhor Agricultural Meteorological Station to investigate the spatial and temporal variation of soil moisture in Lorestan province. The data used in this research include the soil moisture data of the Silakhor station, GLDAS database, ESA center and SMAP sensor products during a six-year period (2016-2021). Estimated soil moisture data were evaluated against observed data using R^2 , RMSE and MAD statistics. The results showed that the SMAP satellite is associated with underestimation and the GLDAS model and the ESA satellite are associated with overestimation of soil moisture. However, in general, the estimated soil moisture values of the three mentioned sources have good accuracy. The value of the correlation coefficient between observed soil moisture data with soil moisture data obtained from SMAP and ESA satellites and GLDAS model was obtained as 0.62, 0.59 and 0.72 respectively, and in the combined case (SMAP, ESA and GLDAS) the value of correlation coefficient was increased to 0.77, therefore, it is suggested to use combine data to use soil moisture estimation.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

Soil moisture is widely recognized as a key parameter in the mass and energy balance between the Earth's surface and atmosphere. Therefore, accurate measurement and estimation of soil moisture values play a key and very important role in various studies such as weather

forecasts, climate modeling, extreme climate events, atmospheric general circulation and etc. Limitations such as the lack of proper and insufficient distribution of weather stations and the unavailability of long-term soil moisture records in Iran have doubled the complexity of analyzing soil moisture in the country. These



conditions make it difficult to accurately estimate the soil moisture in a region. Satellite remote sensing data, in addition to solving these limitations and problems, can create a wide spatial coverage and temporal continuity and provide an acceptable level of confidence compared to *in situ* measurements.

Today, the expansion of meteorological satellites and network databases such as TRMM, GLDAS, ESA CCI SM, SMAP, etc. has created a new potential for better and more accurate estimation of rainfall and soil moisture in areas where ground measurements and observations are limited. If it is possible to establish a connection between satellite digital data and soil moisture, the use of satellite images will be able to facilitate, economic and fast the estimation of soil moisture on a wide scale. However, in order to properly use these databases, it is necessary to examine their accuracy and efficiency in different parts of the country. Therefore, in the current research, an attempt has been made to investigate and analyze the accuracy of soil moisture data estimated from satellite images and climate network databases against the recorded data of stations in Lorestan province using statistical tests.

Material and Methods

In this research, the soil moisture data at the Silakhor agricultural weather station in Lorestan province which is located 10 km south of Borujerd city, has been used (Figure 1). soil moisture data are collected at depths of 5, 20, 30, 50, and 100 cm by soil moisture sensors since 2016. The soil moisture of the station was used to evaluate the accuracy and validate the remote sensing soil moisture of SMAP, ESA, GLDAS and their combined (SGE). Several statistical indicators such as correlation coefficient (R), coefficient of determination (R^2), Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Deviation (MAD) was used for the validation of remote sensing data. For better comparison of different soil moisture production, the values of soil moisture were dimensionless by using the Z index.

Results

Fig. 1 shows the soil moisture values for Silakhor station and soil moisture of satellite data in the common period of 2018 to 2021. The value of soil moisture increase during the wet season (middle of Fall to the end of Spring) and decrease during dry season (Summer to the end of Fall) during the study period (2018-2021).

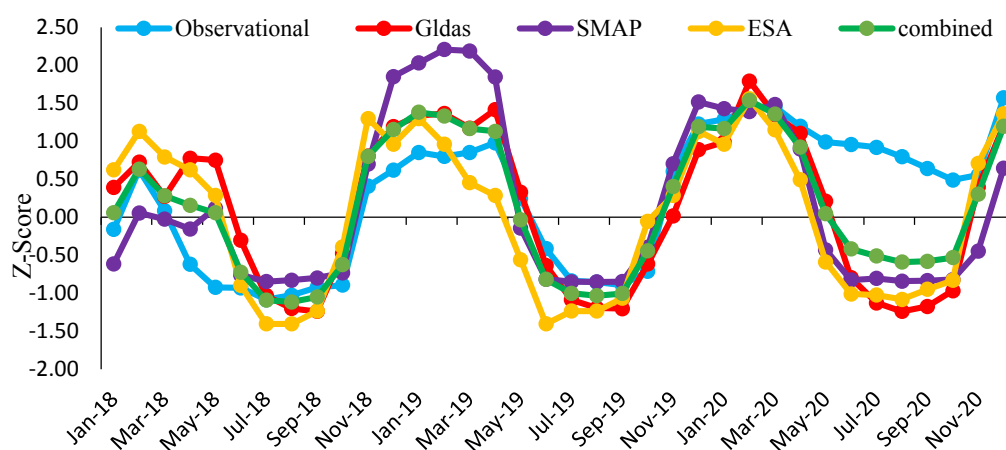


Fig. 1 Soil moisture values for SMAP, ESA CCI SM, GLDAS with Silakhor Station of Lorestan

When comparing the soil moisture of the station to the remote sensing data, SMAP underestimates while ESA and GLDAS overestimate the value of soil moisture. However, in general, remote sensing soil moisture data compared to the station indicates that the values differ more in wet seasons, but values are close to each other in dry seasons. The results show that the temporal behavior (wet and

dry seasons) of soil moisture obtained from remote sensing data is consistent with the data of Silakhor meteorological station and has been estimated with appropriate accuracy. The soil moisture of Silakhor station compared with combined (SGE) data indicate that in addition to the similarity of time behavior, these data are more similar in terms of value to the data recorded in Silakhor station.

Table (1) shows the statistical values of R^2 , RMSE and MAD between estimated remote sensing soil moisture data and the data recorded at the Silakhor meteorological station. Based on these statistical indicators the combined SGE performs better and more accurately to estimate soil moisture compare to GLDAS, ESA and SMAP.

Table 1 Statistical analysis of R, R^2 , RMSE and MAD between soil moisture of station and SMAP, GLDAS, ESA CCI SM, SGE

Soil Moisture	R^2	RMS E	MA D
Station –SMAP	0.39	0.70	0.58
Station – GLDAS	0.52	0.73	0.51
Station – ESA CCI SM	0.35	0.78	0.63
Station – SMAP, GLDAS, ESA (SGE)	0.59	0.51	0.38

Conclusions

The results of this research are as follows:

1. The monthly soil moisture values of SMAP, ESA, GLDA and combine (SGE) compared with the data of Silakhor station showed that despite of difference between the estimated and observed values, the satellite data are able to estimate the

overall behavior of the soil moisture in the region.

2. The SMAP underestimate and GLDAS, ESA and combine (SGE) overestimate soil moisture.

3. The value of the correlation coefficient between observed soil moisture data with soil moisture data obtained from SMAP and ESA satellites and GLDAS model was obtained as 0.62, 0.59 and 0.72 respectively, and in the combined case (SMAP, ESA and GLDAS) the value of correlation coefficient was increased to 0.77, therefore, it is suggested to use combine data to use soil moisture estimation.

4. This research proved that combine soil moisture data are more suitable, reliable and accurate than soil moisture estimation based on a single sensor. It is suggested to use combined soil moisture to study drought, flood, water resources and climate change.

Data Availability

The data used in this research are presented in the paper.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مطالعه موردی

مقایسه ارزیابی محصولات رطوبت خاک SMAP و GLDAS، ESA CC SM با اندازه گیری های میدانی (مطالعه موردی: استان لرستان)

عبدالنبی عبده کلاهچی^{۱*}، مرتضی میری^۱، مهران زند^۲ و جهانگیر پرهت^۳

^۱استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
^۲دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان پژوهشات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
^۳استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان پژوهشات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
هدف پژوهش حاضر ارزیابی کارایی داده های رطوبت خاک برآوردی حاصل از پایگاه داده GLDAS، ESA و سنجنده SMAP در مقابل داده های زمینی ایستگاه هواشناسی کشاورزی سیلاخور به منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی رطوبت خاک است. داده های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده های رطوبت خاک ایستگاه هواشناسی کشاورزی سیلاخور، محصولات رطوبت خاک به دست آمده از پایگاه داده های GLDAS، مرکز ESA و سنجنده SMAP طی دوره شش ساله ۲۰۱۶-۲۰۲۱ است. ارزیابی داده های رطوبت خاک برآوردی در مقابل داده های ایستگاهی با استفاده از آماره های R^2 ، RMSE و MAD انجام شد. نتایج نشان داد که هرچند مقادیر آماره های به کار برده شده بیانگر کم برآوردی ماهواره SMAP و بیش برآوردی مدل GLDAS و ماهواره ESA CCI SM از رطوبت خاک منطقه در برابر داده های ایستگاهی ثبت شده است، در حالت کلی مقادیر رطوبت خاک برآوردی از دقت مناسبی برخوردارند. مقدار ضریب همبستگی بین داده های رطوبت خاک مشاهداتی با داده های رطوبت خاک حاصل از ماهواره های SMAP و ESA CCI SM و مدل GLDAS به ترتیب ۰/۶۲، ۰/۵۹ و ۰/۷۲ به دست آمد که در حالت ترکیبی مقدار ضریب همبستگی به ۰/۷۷ افزایش پیدا می کند. با توجه به مقادیر همبستگی، پیشنهاد می شود برای بررسی رطوبت خاک از داده های ترکیبی استفاده شود.	تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۸/۰۵] تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۱۱/۰۵] تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۱۱/۰۸] واژه های کلیدی: ESA GLDAS SMAP رطوبت خاک *نویسنده مسئول: kolahchi@scwmri.ac.ir 

۱- مقدمه

اندازه گیری دقیق مقادیر رطوبت خاک نقش کلیدی در مطالعات مختلف همچون پیش بینی های آب و هوایی، مدل سازی اقلیمی، رخدادهای فرین اقلیمی (Chen et al., 2010; Seneviratne et al. 2013)، الگوهای گردش عمومی جو (Taylor et al. 2012)، تبخیر و نفوذ (Cashion et al. 2005)، پیش بینی رواناب، مدیریت منابع



بارندگی و رطوبت خاک در نواحی که اندازه‌گیری‌ها و دیدبانی‌های زمینی محدود هستند، ایجاد کرده است (Erfanian et al. 2014; Miri et al. 2016). (۲۰۱۱) Albergel et al. نشان داد که رطوبت خاک حاصل از داده‌های ماهواره‌ای و همچنین رطوبت خاک شبیه‌سازی شده توسط مدل جهانی ECMWF از دقت مناسبی برخوردارند. (۲۰۱۳) Chen et al. در پژوهشی دقت داده‌های رطوبت خاک به دست آمده از AMSR-E و رطوبت خاک شبیه‌سازی شده به وسیله مدل GLDAS را در برابر داده‌های زمینی در قسمت‌های مرکزی تبت ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که هیچ‌کدام از چهار محصول AMSR-E برآورد قابل قبولی از رطوبت خاک در فصل سرد ارائه نمی‌کنند. (2017) Yuan and Quiring در پژوهشی داده‌های رطوبت خاک شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های CMIP5 را برای ایلات متحده آمریکا با استفاده از داده‌های ایستگاهی و ماهواره‌ای طی دوره ۱۰ ساله (۲۰۱۲-۲۰۰۳) ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد مقادیر رطوبت خاک در غرب با رطوبت خاک شرق متفاوت هستند. (Babaeian et al. 2021) استفاده از داده‌های راداری و دورسنجی سنجنده ASAR در برآورد رطوبت خاک بیان کردند که می‌توان در مناطق خشک و نیمه‌خشک و در شرایط عدم پوشش گیاهی، رطوبت سطحی خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای را برآورد کرد. (2016) Miri et al. با استفاده از داده‌های شبکه‌ای GLDAS اثر تغییرات رطوبت خاک بر خشکیدگی جنگل‌های بلوط استان ایلام را بررسی و بیان کرد که کاهش این عنصر سبب سرخشکیدگی درختان این منطقه شده است.

باوجود اهمیت زیاد رطوبت خاک در مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی، به دلیل دشواری در اندازه‌گیری‌های پیوسته آن از نظر مکانی و زمانی و پرهزینه و وقت‌گیر بودن اندازه‌گیری‌های میدانی با روش مستقیم که عملاً انجام آن را به‌ویژه در مناطق صعب‌العبور و کوهستانی غیرممکن می‌سازد، این پارامتر مهم تاکنون به‌طور گسترده در مدل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده واقع نشده است (Babazadeh et al. 2003; Vilson et al. 2012). چنانچه بتوان ارتباطی بین داده‌های رقومی ماهواره و رطوبت خاک برقرار نمود، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، قادر خواهد بود، تخمین رطوبت خاک در سطح گسترده را تسهیل، ارزان، اقتصادی و سریع کند. همچنین تعیین وضعیت رطوبتی خاک، اهمیت فراوانی

آب، کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی، مطالعات کشاورزی (Das and Paul 2015; Dorigo et al. 2017)، تبادل جریان انرژی و آب بین سطح زمین و اتمسفر (Wang and Qu. 2009) دارد. از این‌رو تغییر در مقادیر رطوبت خاک به‌صورت کاهشی یا افزایشی می‌تواند در رخداد مخاطرات سیل و خشکسالی نقش مهمی ایفا کند (Koster et al. 2010; Brocca et al. 2012; Wang et al. 2011). اهمیت و نقش کلیدی رطوبت خاک در بسیاری از فرآیندهای کشاورزی و هیدرواقلمی، ارزیابی شرایط محیطی و بوم‌شناختی سطح زمین (Zarenejad et al. 2012) سبب شده است که تغییرات مکانی و زمانی این عنصر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته و پژوهش‌های مهمی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. بطوریکه برخی از شاخص‌های خشکسالی نظیر پالمر (۱۹۶۵) بر اساس رطوبت خاک طراحی شده است و در برخی مطالعات از جمله (Wu and Kinter 2009) و (Spennemann et al. 2015) در ایالات متحده، (Gwak et al 2017) در کره، در اصفهان (Ahmadi et al. 2013) و در بندرعباس (Dehghanpir et al. 2014) خشکسالی را در ارتباط با رطوبت خاک بررسی نموده‌اند.

با وجود این اهمیت، اندازه‌گیری رطوبت خاک در بسیاری از نقاط جهان به‌ویژه کشورهای در حال توسعه همانند ایران با مشکل مواجه است. دلیل این محدودیت، عدم توزیع مناسب و کافی ایستگاه‌های هواشناسی و در دسترس نبودن آمار طولانی‌مدت رطوبت خاک در ایران است که پیچیدگی واکاوی این عناصر را در کشور دوچندان کرده است (Azizi et al. 2016; Miri et al. 2016). این شرایط سبب می‌شود که برآورد دقیق رطوبت خاک در سطح یک منطقه با مشکل مواجه شود و انجام بسیاری از پژوهش‌ها و برنامه‌های پژوهشی را با مشکل همراه می‌کند. از این‌رو طی دهه‌های اخیر پژوهشگران مختلف برای رفع این مشکل از داده‌های دورسنجی و شبکه‌ای برای برآورد رطوبت خاک استفاده می‌کنند. چرا که استفاده از دورکاوی هوایی یا ماهواره‌ای علاوه بر رفع این محدودیت‌ها، می‌تواند باعث ایجاد پوشش مکانی وسیع و پیوستگی زمانی شده و سطح قابل قبولی از اطمینان را در مقابل اندازه‌گیری‌های درجا ارائه نماید (Babaeian et al. 2014). امروزه گسترش ماهواره‌های هواشناسی و پایگاه داده‌های شبکه‌ای از جمله TRMM، GLDAS پتانسیل جدیدی برای برآورد بهتر و دقیق‌تر

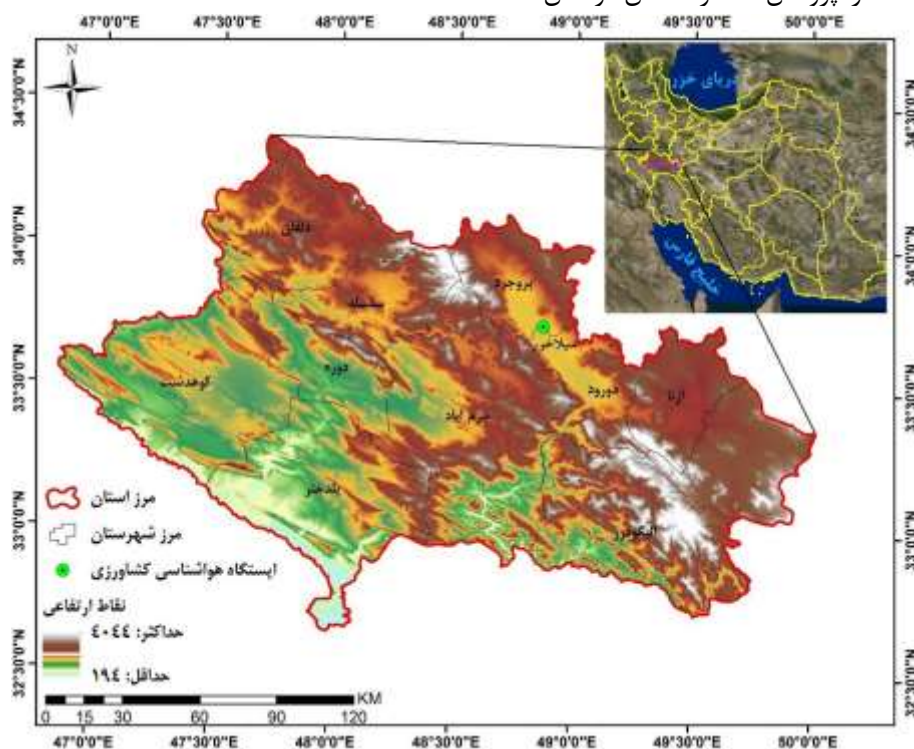
که در شکل (۱) نشان داده شده است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش دربرگیرنده داده‌های ماهواره‌ای SMAP و ESA، مراکز اقلیمی GLDAS و ایستگاه کشاورزی سیلاخور در استان لرستان است. ایستگاه هواشناسی کشاورزی سیلاخور در ۱۰ کیلومتری جنوب شهر بروجرود واقع شده است. در این ایستگاه از سال ۲۰۱۶ داده‌های رطوبت خاک در اعماق ۵، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ cm از سطح زمین به‌وسیله‌ی حسگرهای مربوطه برداشت می‌شود. قابل‌ذکر است که در سطح استان لرستان تنها ایستگاه سیلاخور داده‌های رطوبت خاک در اعماق مختلف را برداشت می‌کند. از این‌رو در این پژوهش برای ارزیابی دقت داده‌های رطوبت خاک برآوردی حاصل از مدل GLDAS، ESA و ماهواره SMAP تنها از داده‌های ایستگاه سیلاخور استفاده شد.

در مطالعات حفاظت خاک دارد (Bahmani and Ramazani 2014)، که با تسهیل در محاسبه‌ی رطوبت خاک و استفاده‌ی گسترده‌تر از این پارامتر در مطالعات حوزه‌های آبخیز، نخستین گام در حفاظت منابع آب و خاک برداشته می‌شود. با وجود این برای استفاده صحیح از این پایگاه داده‌ها، لازم است که دقت و کارایی آنها در نقاط مختلف کشور مورد بررسی قرار گیرد. از این‌رو در پژوهش حاضر سعی بر این شد با استفاده از آزمون‌های آماری دقت داده‌های رطوبت خاک برآوردی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و پایگاه داده‌های اقلیمی در مقابل داده‌های ثبت‌شده ایستگاه‌های استان لرستان بررسی و تجزیه و تحلیل شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر، استان لرستان است



شکل ۱- موقعیت استان لرستان به تفکیک شهرستان در ایران و ایستگاه هواشناسی کشاورزی سیلاخور

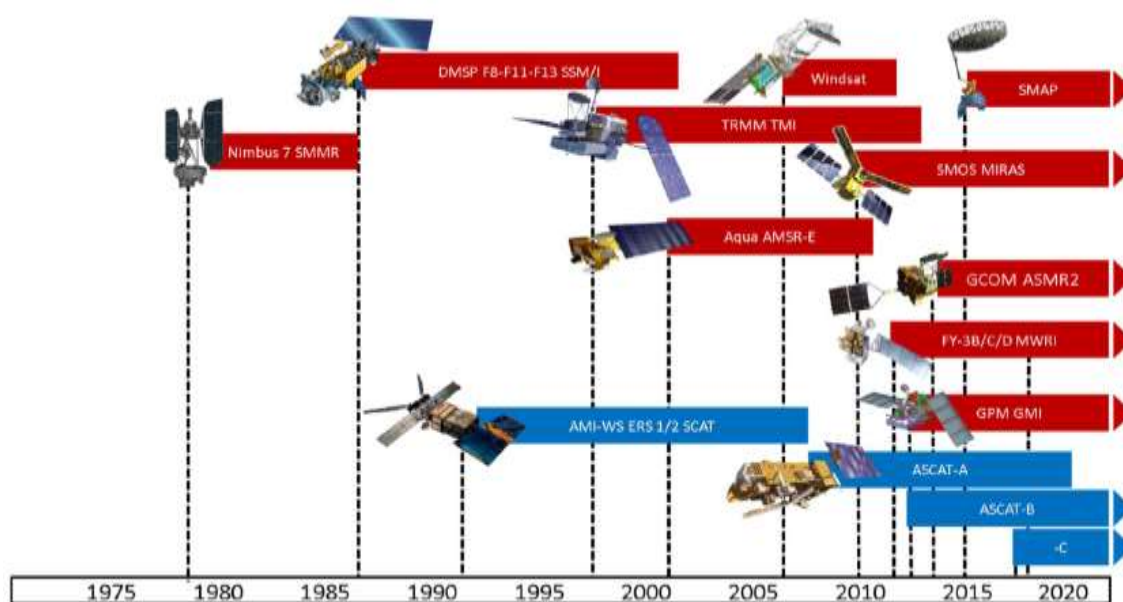
Fig. 1 The location of Lorestan province in Iran and Silakhor agriculture climate station

ماهواره در ۳۱ ژانویه سال ۲۰۱۵ میلادی به فضا پرتاب شد. محصولات این ماهواره با قدرت تفکیک مکانی ۹ km و هر سه روز یکبار در اختیار کاربران مختلف قرار می‌گیرد (Srivastava et al. 2016). محصولات این ماهواره از تارنمای <https://smap.jpl.nasa.gov> قابل دریافت می‌باشند.

۲-۲- ماهواره SMAP

ماهواره^۱ SMAP به‌وسیله ناسا با توصیه سازمان ملی پژوهش‌های علوم زمین با هدف جمع‌آوری مشاهدات مستمر جهانی از رطوبت خاک سطحی (تا عمق ۵ cm) و اندازه میزان انجماد/ ذوب شدگی سطح زمین توسعه یافت. این

¹Soil Moisture Active Passive



شکل ۲- حسگرهای مایکروویو فعال و غیرفعال مورد استفاده برای محصول رطوبت خاک ESA CCI SM (Scanlon et al. 2022)

Fig. 2 Active and passive microwave sensors used for the generation of the ESA CCI (Scanlon et al. 2022)

فضایی اروپا (ESA CCI SM)، تلفیقی از داده‌های چند سنجنده مایکروویو فعال و غیرفعال است. شکل (۲) حسگرهای مایکروویو فعال و غیرفعال مورد استفاده برای تولید رطوبت خاک توسط بخش تغییر اقلیم سازمان فضایی اروپا را نشان می‌دهد. محصول رطوبت خاک ESA CCI SM براساس چهارچوب پروژه‌های WACMOS و CCI آژانس فضایی اروپا توسعه یافته است. این محصول با قدرت تفکیک مکانی $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ درجه و به صورت روزانه در دسترس کاربران مختلف قرار می‌گیرد (Rahmanikam, 2015; Liu et al. 2011; Scanlon et al. 2022). داده‌های رطوبت خاک نسخه ESA CCI SM version v07.1 از سال ۱۹۸۷ الی ۲۰۲۱ قابلیت دریافت و استفاده دارد.

۳-۲- روش پژوهش

روش پژوهش ترکیبی از روش‌های آماری و سنجش از دوری است. بدین ترتیب که در ابتدا با مراجعه به سازمان هواشناسی استان لرستان، داده‌های رطوبت خاک ایستگاه سینوپتیک کشاورزی سیلاخور برای دوره چهار ساله (۲۰۱۶-۲۰۱۹) دریافت شد. در ادامه داده‌های دریافتی از نظر نقص داده و وجود یا عدم وجود داده پرت، کنترل کمی و کیفی شدند. قابل ذکر است که داده‌های ثبت شده برای این ایستگاه طی سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ با داده‌های ماهواره ای و مدل GLDAS تطابق مناسبی نداشت و با نقص زیادی همراه بود. از این رو در پردازش نهایی داده‌های مربوط به این

۳-۲- ماهواره GLDAS

مدل همسان‌سازی داده‌های زمین (GLDAS) به طور مشترک توسط دانشمندان مرکز پرواز فضایی گودارد (GSFC)، مرکز ملی پیش‌بینی محیط‌زیست (NCEP)، اداره ملی اقیانوس و جو (NOAA) و اداره ملی هوانوردی و فضا (NASA) توسعه داده شده است. مدل GLDAS با استفاده و تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و زمینی با استفاده از مدل‌های VIC، CLM، Noah، Mosaic و مؤلفه‌های بیلان آب و انرژی را شبیه‌سازی می‌کنند. در حال حاضر داده‌های این سیستم جهانی در دو نسخه ۲،۰ و ۲،۱ با طول دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۴۸ و ۲۰۱۵-۲۰۰۰ با قدرت تفکیک مکانی 0.25° و 0.12° درجه و قدرت تفکیک زمانی ۳ ساعته و ماهانه در دسترس می‌باشد (Miri et al. 2016; Benjamin et al. 2010). محصولات این مدل از تارنماهای ناسا و جیووانی قابل دریافت می‌باشند.

۴-۲- داده‌های ESA CCI SM^v

مجموعه داده‌های رطوبت خاک بخش تغییر اقلیم سازمان

¹Global Land Data Assimilation System

²Goddard Space Flight Center

³National Marine Environmental Forecasting Center

⁴The National Oceanic and Atmospheric Administration

⁵The National Aeronautics and Space Administration

⁶Giovanni

⁷European Space Agency Climate Change Initiative Soil Moisture

مستقیمی با ضریب همبستگی دارد؛ به این ترتیب که با جذر گرفتن از ضریب تعیین می‌توان ضریب همبستگی میان دو سری مورد بررسی را به دست آورد. همانند ضریب همبستگی هر چه مقدار ضریب تعیین به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده ارتباط قوی‌تر میان دو متغیر است. برای شاخص‌های RMSE و MAD هرچه این مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشند نشان‌دهنده دقت بالای مدل و خطای کمتر و مقدار صفر نشان‌دهنده عدم وجود خطا در برآورد مدل است. در روابط (۳) و (۴) بالا F_t مقدار پیش‌بینی شده، A_t مقدار مشاهده شده و N تعداد داده‌ها یا طول سری زمانی می‌باشد (Miri et al. 2016; Amini et al. 2019).

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- رطوبت خاک ایستگاه سیلاخور

شکل (۳) وضعیت رطوبت خاک ایستگاه سیلاخور طی دوره مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل (۳) مشخص است، به تبع از ویژگی‌های اقلیمی منطقه و به‌ویژه فصل بارش، مقادیر رطوبت خاک ایستگاه هم‌زمان با شروع فصل بارشی و کاهش دما، با افزایش همراه شده که این روند افزایشی تا شروع دوره گرم منطقه یعنی اواسط بهار ادامه پیدا می‌کند. در مقابل با شروع دوره گرم سال و به‌ویژه فصل تابستان روند کاهشی مقادیر رطوبت خاک منطقه شروع و تا اواسط پاییز و شروع دوره سرد سال و آغاز بارش‌ها ادامه پیدا می‌کند. در مقیاس ماهانه، معمولاً بیشینه مقادیر رطوبت خاک در ماه فروردین و کمینه در مهر صورت می‌گیرد. از نظر عمقی، کمترین مقدار رطوبت خاک ایستگاه سیلاخور طی دوره مورد مطالعه در عمق ۵ سانتیمتری و بیشترین رطوبت خاک در عمق ۱۰۰ cm ثبت شده است. اختلاف مقادیر رطوبت خاک در اعماق مختلف در زمستان - بهار کم ولی در تابستان - پاییز زیاد می‌شود. طی دوره ۳ ساله ۲۰۱۸-۲۰۲۰ متوسط حجمی رطوبت خاک منطقه مورد بررسی در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ cm به ترتیب ۱۳/۸۶، ۱۶/۷۴، ۲۰/۱۷، ۲۴/۷۵، ۲۷/۹۶ و ۲۹/۶۰٪ ثبت شده است. همان‌طور که از مقادیر متوسط رطوبت خاک در اعماق مختلف مشخص است، مطابق انتظار با فاصله از سطح زمین و حرکت به سمت عمق، مقدار رطوبت خاک به دلایلی چون کاهش دما، کاهش تبخیر و کاهش دخالت‌های انسانی افزایش می‌یابد.

دو سال حذف شد. داده‌های مرکز GLDAS و سنجنده‌های SMAP و محصول ترکیبی ماهواره‌ای ESA CCI SM از تارنمای ناسا برای دوره مورد مطالعه دریافت شد. با توجه به اینکه داده‌های مورد نظر با فرمت NC و همچنین به صورت تک فایل و با قدرت تفکیک مکانی روزانه در اختیار کاربر قرار داده می‌شود، داده‌های دریافتی برای GLDAS، SMAP و ESA CCI SM به صورت جداگانه در محیط متلب به داده‌های متنی برای سطح استان لرستان تبدیل شد. پس از پردازش داده‌های ایستگاهی و داده‌های برآوردی حاصل از GLDAS، SMAP و ESA CCI SM یک ماتریس همسان از داده‌های پردازش شده چهار منبع ایجاد شد. قابل ذکر است با توجه به اینکه واحدهای اندازه‌گیری مقادیر رطوبت خاک توسط منابع یاد شده، به صورت درصد، کیلوگرم-مترمربع و به صورت متفاوت است، از این رو قبل از انجام مقایسه داده‌ها با هم، در ابتدا با استفاده از رابطه (۱) شماره استاندارد داده‌های هر منبع به منظور یکسان‌سازی واحد آن‌ها محاسبه و در ادامه مقایسه و ارزیابی دقت آن‌ها در مقابل داده‌های ایستگاهی انجام شد.

$$Z = \frac{S_i - \bar{S}}{SD} \quad (1)$$

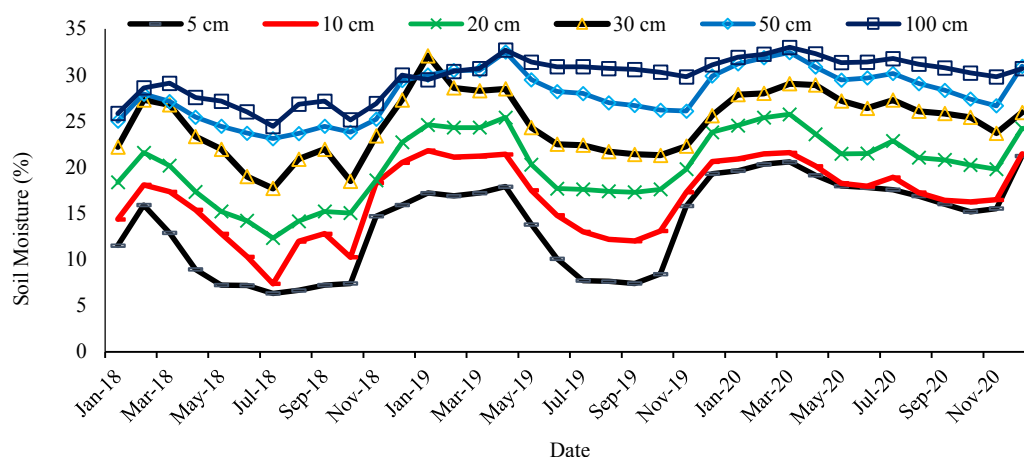
که، Z شاخص استاندارد رطوبت خاک، S_i رطوبت خاک یک دوره معین، $\bar{S}$ متوسط درازمدت رطوبت خاک و SD انحراف معیار داده‌ها می‌باشد. به منظور اعتبارسنجی داده‌های مدل GLDAS، سنجنده SMAP و ESA CCI SM در مقابل داده‌های ایستگاهی، از ضریب تعیین (R^2)، ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق خطا (MAD) بر اساس روابط (۲)، (۳) و (۴) استفاده شد. در نهایت نتایج حاصل از صحت سنجی داده‌های رطوبت خاک برآوردی در مقابل داده‌های رطوبت خاک ایستگاهی به صورت نمودار و جدول ارائه شد.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n O_i P_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n O_i^2 \sum_{i=1}^n P_i^2}} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (3)$$

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (4)$$

ضریب تعیین که به شکل رابطه (۲) بیان می‌شود یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی ارتباط میان دو متغیر X و Y است که به صورت بی بعد نمایش داده می‌شود. این ضریب ارتباط



شکل ۳- مقادیر رطوبت خاک در اعماق (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، و ۱۰۰ cm) طی دوره ۲۰۱۸-۲۰۲۰ در ایستگاه سیلاخور لرستان

Fig. 3 Soil moisture values in the depths of (5, 10, 20, 30, 50 and 100 cm) during the period of 2018-2020 in Silakhor Station of Lorestan

جدول ۱- مقادیر شاخص Z-Score رطوبت خاک برای ایستگاه سیلاخور، مدل GLDAS و ماهواره‌های SMAP و ESA CCI SM

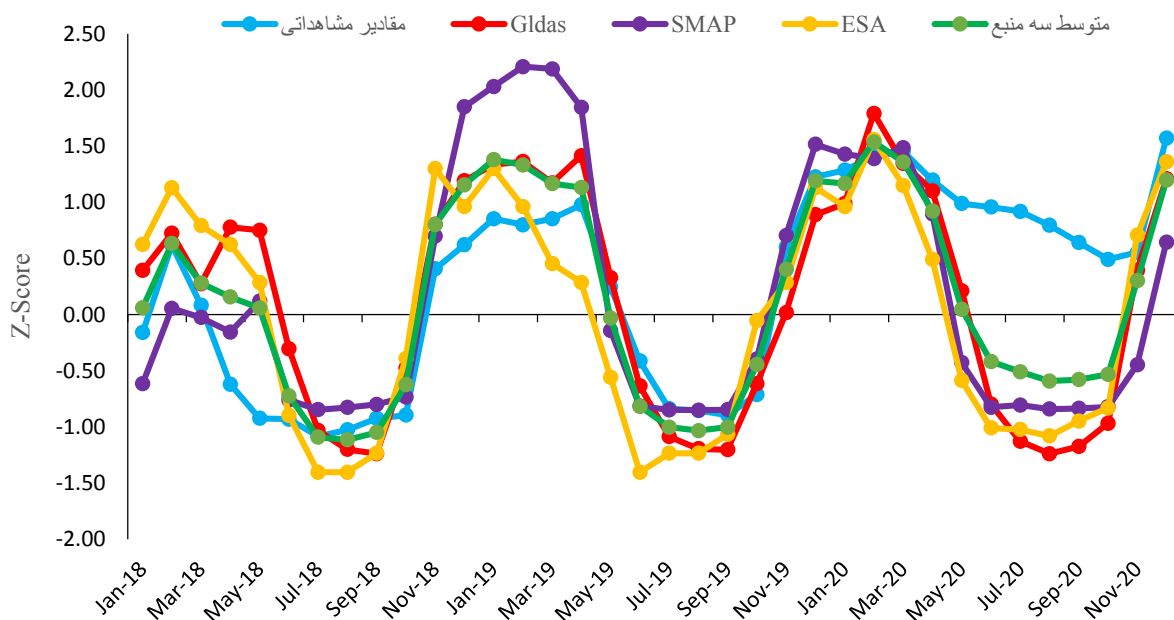
Table 1 Soil moisture Z-Score index values for Silakhor station, GLDAS model and SMAP and ESA CCI SM satellites

Time	Silakhor	Gldas	SMAP	ESA	Average
Jan-18	-0.16	0.39	-0.61	0.62	0.06
Feb-18	0.62	0.72	0.06	1.13	0.63
Mar-18	0.08	0.27	-0.03	0.79	0.28
Apr-18	-0.62	0.78	-0.16	0.62	0.16
May-18	-0.92	0.75	0.12	0.29	0.06
Jun-18	-0.93	-0.30	-0.76	-0.90	-0.72
Jul-18	-1.09	-1.03	-0.85	-1.40	-1.09
Aug-18	-1.03	-1.20	-0.83	-1.40	-1.11
Sep-18	-0.92	-1.24	-0.80	-1.24	-1.05
Oct-18	-0.89	-0.48	-0.73	-0.39	-0.62
Nov-18	0.41	0.80	0.70	1.30	0.80
Dec-18	0.62	1.19	1.85	0.96	1.16
Jan-19	0.85	1.34	2.03	1.30	1.38
Feb-19	0.80	1.36	2.21	0.96	1.33
Mar-19	0.85	1.17	2.19	0.45	1.17
Apr-19	0.98	1.42	1.85	0.29	1.13
May-19	0.25	0.33	-0.14	-0.56	-0.03
Jun-19	-0.41	-0.64	-0.82	-1.40	-0.82
Jul-19	-0.84	-1.09	-0.85	-1.24	-1.00
Aug-19	-0.85	-1.19	-0.85	-1.24	-1.03
Sep-19	-0.89	-1.20	-0.85	-1.07	-1.00
Oct-19	-0.71	-0.61	-0.39	-0.05	-0.44
Nov-19	0.60	0.02	0.71	0.29	0.40
Dec-19	1.23	0.89	1.52	1.13	1.19
Jan-20	1.29	0.99	1.43	0.96	1.17
Feb-20	1.41	1.79	1.39	1.56	1.54
Mar-20	1.45	1.35	1.49	1.15	1.36
Apr-20	1.20	1.10	0.90	0.49	0.92
May-20	0.99	0.21	-0.43	-0.59	0.05
Jun-20	0.96	-0.80	-0.83	-1.01	-0.42
Jul-20	0.92	-1.13	-0.81	-1.02	-0.51
Aug-20	0.80	-1.24	-0.84	-1.08	-0.59
Sep-20	0.64	-1.17	-0.84	-0.95	-0.58
Oct-20	0.49	-0.97	-0.82	-0.83	-0.53
Nov-20	0.55	0.39	-0.45	0.71	0.30
Dec-20	1.57	1.21	0.65	1.36	1.20

۲-۳- رطوبت خاک مدل GLDAS و ماهواره‌های ESA CCI SM و SMAP

منطقه مورد مطالعه با کم برآوردی همراه است. همان‌طور که در روش پژوهش بیان شد داده‌های رطوبت خاک برآوردی توسط مرکز فضائی تغییر اقلیم اروپا نیز در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت که مقایسه داده‌های این منبع با مقادیر ثبت شده در ایستگاه سیلاخور بیان کننده بیش برآوردی ESA CCI SM نسبت به ایستگاه است. با وجود این همانند GLDAS و SMAP این منبع نیز رفتار زمانی رطوبت خاک منطقه مورد مطالعه را به خوبی و با دقت مناسبی برآورد می‌کند. متوسط رطوبت خاک برآوردی توسط سه منبع یاد شده در مقابل داده‌های ایستگاه سیلاخور نشان داد که نه تنها رفتار زمانی آنها به داده‌های ثبت شده از شباهت بیشتری برخوردار شده است، بلکه از نظر مقدار نیز به داده‌های ثبت شده در ایستگاه سیلاخور شبیه‌تر شده است. پردازش و بررسی داده‌های رطوبت خاک حاصل از ماهواره SMAP، مرکز فضائی تغییر اقلیم اروپا و مدل GLDAS نشان داد که از نظر زمانی مقادیر ثبت شده توسط این منابع، رفتاری مشابه با داده‌های ایستگاهی دارند؛ چرا که کمینه‌ها و بیشینه‌های رطوبت خاک ثبت شده توسط این دو منبع همانند داده‌های ایستگاهی است.

جدول (۱) مقادیر شاخص Z-Score رطوبت خاک ثبت شده در ایستگاه سیلاخور و همچنین مقادیر رطوبت خاک برآوردی به وسیله سه منبع مورد بررسی را نشان می‌دهد. براساس مقادیر شاخص Z به دست آمده برای هر منبع و مقایسه آنها با هم می‌توان گفت که مقادیر برآوردی رطوبت خاک GLDAS در مقایسه با رطوبت خاک ایستگاه سیلاخور در فصول مرطوب اختلاف بیشتری دارند و در فصول خشک نزدیک به هم می‌شوند. این شرایط در دوره گرم سال و به‌ویژه در تابستان که شرایط جوی پایداری بر منطقه ساکن است به خوبی قابل مشاهده است. البته این در حالی است که می‌توان فصل خشک سال ۲۰۲۰ را استثنا کرد. در مجموع براساس جدول (۱) و شکل (۴) می‌توان گفت که مدل GLDAS در برآورد رطوبت خاک منطقه با بیش برآوردی همراه است. مقایسه مقادیر رطوبت خاک برآوردی حاصل از تصاویر ماهواره SMAP در مقابل داده‌های رطوبت خاک ثبت شده در ایستگاه هواشناسی سیلاخور نشان داد که در حالت کلی رفتار زمانی مقادیر رطوبت خاک این ماهواره نیز شبیه به داده‌های رطوبت خاک ثبت شده در ایستگاه است که از نظر کلی دارای دقت مناسبی است. با وجود این از نظر مقدار دقیق برآورد رطوبت خاک منطقه، ماهواره SMAP در



شکل ۴- مقادیر رطوبت خاک ماهواره SMAP، ESA CCI SM، GLDAS، ترکیبی سه منبع در مقابل مقادیر مشاهداتی رطوبت خاک

Fig. 4 Soil moisture values for SMAP, ESA CCI SM, GLDAS and their combined with Silakhor Station of Lorestan

۰/۵۹ به دست آمد. یکی از نکات قابل توجه در جدول (۲) و شکل (۵) این است که مقدار آماره ضریب تعیین برای داده‌های رطوبت خاک برآوردی حاصل از GLDAS در مقابل داده‌های ایستگاهی ۰/۵۲ و برای ماهواره SMAP مقدار آماره به ۰/۳۹ می‌رسد، این در حالی است که از نظر قدرت تفکیک مکانی داده‌های SMAP از قدرت تفکیک مکانی بالاتری نسبت به داده‌های GLDAS برخوردارند.

یکی از دلایل برآورد بهتر رطوبت خاک منطقه توسط GLDAS نسبت به داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند در نتیجه دخالت دادن تصاویر ماهواره‌ای و پارامترهای اقلیمی در شبیه‌سازی رطوبت خاک توسط GLDAS باشد، در حالی که داده‌های رطوبت خاک با منشأ ماهواره‌ای تنها براساس مقادیر انرژی دریافتی از عوارض سطح زمین برآورد می‌شود. بررسی مقادیر متوسط رطوبت خاک ترکیبی سه منبع یاد شده در مقابل داده‌های ایستگاهی سیلاخور نشان داد که ارتباط بین آن‌ها به میزان قابل قبولی افزایش پیدا می‌کند چرا که مقدار ضریب تعیین به ۰/۵۹ و مقدار ضریب همبستگی به ۰/۷۷ می‌رسد که این مقدار از ضریب همبستگی نشان‌دهنده دقت مناسب داده‌های ترکیبی رطوبت خاک در مقابل داده‌های مشاهده‌ای است. از این رو می‌توان گفت که داده‌های رطوبت خاک حاصل از منابع ترکیبی همانند مدل GLDAS و داده‌های ماهواره‌ای ESA CCI SM همانند مدل SM نسبت به داده‌های رطوبت خاک مبتنی بر یک حس‌گر و یا منبع از دقت بالاتری برخوردارند. در مطالعات انجام شده همچون (Dorigo et al., 2017; Chen et al., 2018; Gruber et al., 2019) نیز تأکید شده است که کارایی محصولات ادغام شده عموماً از محصولات ورودی تک حس‌گر بهتر است. با وجود این کارایی مناسب محصولات SMAP نیز در بسیاری مطالعات همانند (Colliander et al., 2017) تأیید شده است.

شکل (۴) نشان می‌دهد هر چند از نظر مقدار رطوبت خاک اندازه‌گیری شده در ایستگاه سیلاخور با مقادیر برآوردی بین منابع مورد بررسی، اختلاف وجود دارد، با این وجود هماهنگی با کاهش و افزایش مقدار رطوبت خاک مشاهداتی در ایستگاه سیلاخور، مقادیر رطوبت خاک برآوردی نیز با کاهش و افزایش همراه شده است و از رفتار مشابه‌ای برخوردارند.

۳-۳- ارزیابی صحت داده‌های رطوبت خاک برآوردی

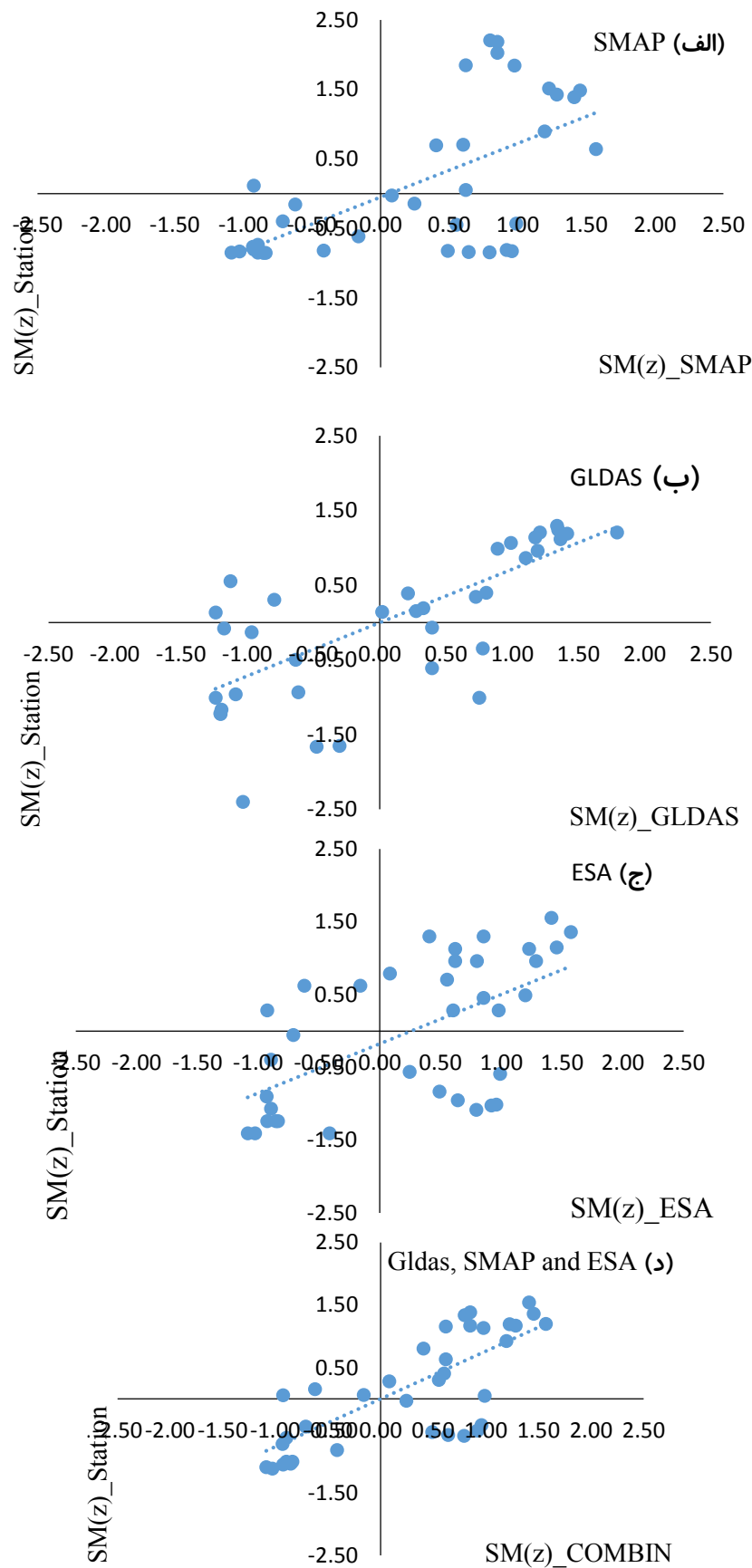
جدول (۲) مقادیر آماره همبستگی و ضریب تعیین بین داده‌های رطوبت خاک برآوردی حاصل از ماهواره SMAP، ESA CCI SM، مدل GLDAS و ترکیب سه منبع در مقابل داده‌های ثبت شده در ایستگاه هواشناسی سیلاخور را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقادیر آماره‌های ضریب تعیین، ریشه دوم میانگین مربع خطا و میانگین قدر مطلق خطا داده‌های رطوبت خاک GLDAS, SMAP, و ترکیب آنها در مقابل داده‌های ایستگاه سیلاخور

Table 2 R², RMSE and MAD values between Soil Moisture Silakhor Station and SMAP, ESA CCI SM, GLDAS

Soil Moisture	R ²	RMS E	MA D
Station- SMAP	0.39	0.70	0.58
Station - GLDAS	0.52	0.73	0.51
Station - ESA CCI SM	0.35	0.78	0.63
Station - SMAP, GLDAS, ESA	0.59	0.51	0.38

براساس مقادیر آماره ضریب تعیین، داده‌های مدل GLDAS نسبت به ماهواره SMAP و ESA CCI SM از دقت بالاتری برای برآورد رطوبت خاک منطقه برخوردارند. کمترین ارتباط بین داده‌های مشاهده‌ای با مقادیر برآوردی رطوبت خاک توسط منابع مختلف، برای داده‌های ESA CCI SM با مقدار ضریب تعیین ۰/۳۵ و ضریب همبستگی



شکل ۵- مقادیر ضریب تعیین بین رطوبت خاک بدون بعد (Z-Score) برآوردی توسط الف - ماهواره SMAP ب-مدل GLDAS

ج- داده‌های ESA، و د- ترکیب منابع مختلف در مقابل داده‌های رطوبت خاک بدون بعد (Z-Score) ایستگاه سیلاخور

Fig. 5 R^2 value between Soil Moisture (z) Station and Soil Moisture (z) of a) SMAP, b) GLDAS, c) ESA, and d) combinatorial

۴- نتیجه گیری

با توجه به نقش مهم و کلیدی رطوبت خاک در مطالعات هیدرو-اقلیم و همچنین عدم توزیع مناسب و کافی ایستگاه‌های هواشناسی کشاورزی برداشت کننده رطوبت خاک و در دسترس نبودن آمار طولانی مدت این متغیر در ایران و منطقه مورد مطالعه، این پژوهش با هدف اعتبارسنجی داده‌های رطوبت خاک برآوردی حاصل از ماهواره SMAP، ESA CCI SM و مدل GLDAS به منظور استفاده از داده‌های آنها به عنوان معرفی یک منبع جایگزین منبع در مطالعات مختلف هیدرو-اقلیم و مطالعات مرتبط، تدوین شد. برای این منظور از داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی سیلاخور، داده‌های روزانه رطوبت خاک برآوردی توسط ماهواره SMAP، ESA CCI SM و مدل GLDAS طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۲۰ استفاده شد. نتایج این پژوهش به صورت زیر می‌باشد:

۱- که مقادیر رطوبت خاک منطقه همانند سایر نواحی، تابع ویژگی‌های محیطی و اقلیمی است. همچنین مشخص شد هرچند بین مقادیر برآوردی با مقادیر مشاهداتی اختلاف وجود دارد و برخی منابع با بیش برآوردی و یا کم برآوردی رطوبت خاک همراه هستند، با وجود این تغییرات زمانی و رفتار کلی رطوبت خاک استان لرستان را به خوبی نشان می‌دهند.

۲- نتایج نشان داد که ESA CCI SM و GLDAS در برآورد رطوبت خاک منطقه با بیش برآوردی و ماهواره SMAP با کم برآوردی رطوبت خاک همراه هستند.

۳- مقایسه مقادیر ضریب تعیین سه منبع مورد بررسی در

مقابل داده‌های رطوبت خاک ایستگاه سیلاخور نشان داد که داده‌های مرکز GLDAS، ESA CCI SM و ماهواره SMAP به ترتیب از بیشترین دقت برخوردارند.

۴- ترکیب داده‌های رطوبت خاک برآوردی توسط سه منبع مختلف و مقایسه آن‌ها در برابر داده‌های مشاهده‌ای بیانگر افزایش قابل توجه دقت آنها در برابر داده‌های مشاهداتی است.

با توجه به اینکه داده‌های سه منبع فوق در حالت کلی از دقت مناسبی برخوردارند و در مقیاس وسیع می‌توانند تغییرات مکانی و زمانی رطوبت خاک مناطق مختلف کشور را نشان دهند، از این رو پیشنهاد می‌شود که از داده‌های ترکیبی دو منبع ماهواره‌ای ESA CCI SM و SMAP و داده‌های رطوبت خاک حاصل از مدل GLDAS برای مطالعات مرتبط با منابع آب و تغییر اقلیم استفاده شود. همچنین پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده به بحث ریزمقیاس نمایی داده‌های رطوبت خاک GLDAS، ESA CCI SM و SMAP پرداخته شود و ارزیابی دقت آنها در سطح بیشتری از کشور ایران انجام شود.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده (یا تولید شده) در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

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

References

- Ahmadi, M., Nosrati, K., & Salki, H. (2013). Drought and its relationship with soil moisture. *Geogra.*, 38, 77-91 [in Persian].
- Albergel, C., De Rosnay, P., Gruhier, C., Munoz-Sabater, J., Hasenauer, S., Isaksen, L., Kerr, Y. F., & Wagner, W. (2011). Evaluation of remotely sensed and modelled soil moisture products using global ground-based *in situ* observations. *Tech. Memor.*, 652, 1-25, DOI: [10.1016/j.rse.2011.11.017](https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.017).
- Amini, A., Abdeh Kolahchi, A., Nadhir Al-Ansari, N., Karami Moghadam, M., & Mohammad, T. (2019). Application of TRMM precipitation data to evaluate drought and its effects on water resources instability. *Appl. Sci.*, 9(24), DOI: [10.3390/app9245377](https://doi.org/10.3390/app9245377).
- Azizi, G., Safarrad, T., Mohammadi, H., & Faraji Sabokbar, H. A. (2016). Evaluation and Comparison of Reanalysis Precipitation Data in Iran. *Phys. Geogra. Res. Quart.*, 48(1), 33-49. DOI: [10.22059/JPHGR.2016.57026](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2016.57026), [in Persian].
- Babaeian, E., Homae, M., & Noroozi, A.A. (2014). Retrieving surface soil water content using ENVISAT ASAR RADAR data in a semi-arid region of Iran. *Water Res. Agri.*, 27(4), 611-622. DOI: [10.22092/jwra.2014.128867](https://doi.org/10.22092/jwra.2014.128867) [in Persian].

- Babazadeh, H., Norouzi Aghdam, Elnaz., Aghighi, H., Shamsnia, S. A., & Khodadadi dehkordi, D. (2012). Estimation of soil surface moisture in arid and semi-arid rangelands using remotely sensed temperature/vegetation index measurements, Case study: Khorasan Province. *Iran. J. Range Desert Res.*, 19(1), 120-132, DOI: [10.22092/ijrdr.2012.103074](https://doi.org/10.22092/ijrdr.2012.103074) [in Persian].
- Bahmani, O., & Ramazani, B. (2014). Evaluation of the performance of pedotransfer functions for estimating soil moisture retention curve with SWRC model. *J. Water Res. Agri.*, 28(4), 773-785. DOI: [10.22092/jwra.2015.100831](https://doi.org/10.22092/jwra.2015.100831) [in Persian].
- Benjamin, F.Z., Matthew, R., & Francisco, O. (2010). Evaluation of the global land data assimilation system using global river discharge data and a source-to-sink routing scheme. *Water Resour. Res.*, 46, W06507. DOI: [10.1029/2009WR007811](https://doi.org/10.1029/2009WR007811).
- Brocca, L., Moramarco, T., Melone, F., Wagner, W., Hasenauer, S., & Hahn, S. (2012). Assimilation of surface- and root-zone ASCAT soil moisture products into rainfall-runoff modeling. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 50(7), 2542-2555. DOI: [10.1109/TGRS.2011.2177468](https://doi.org/10.1109/TGRS.2011.2177468).
- Cashion, J., Lakshmi, V., Bosch, D., & Jackson, T. (2005). Microwave remote sensing of soil moisture: Evaluation of the TRMM microwave imager (TMI) satellite for the Little River Watershed Tifton, Georgia. *J. Hydrol.*, 307(1), 242-253. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2004.10.019](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.10.019).
- Chen, F., Crow, W. T., Bindlish, R., Colliander, A., Burgin, M. S., Asanuma, J., & Aida, K. (2018). Global-scale evaluation of SMAP, SMOS and ASCAT soil moisture products using triple collocation. *Remote Sens. Environ.*, 214, 1-13. DOI: [10.1016/j.rse.2018.05.008](https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.05.008).
- Chen, Y., Yang, K., Qin, J., Zhao, L., Tang, W., & Han, M. (2013). Evaluation of AMSR-E retrievals and GLDAS simulations against observations of a soil moisture network on the central Tibetan Plateau. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 1-10. DOI: [10.1002/jgrd.50301](https://doi.org/10.1002/jgrd.50301).
- Colliander, A., Jackson, T. J., Bindlish, R., Chan, S., Das, N., & Kim, S. B. (2017). Validation of SMAP surface soil moisture products with core validation sites. *Remote Sens. Environ.*, 191, 215-231. DOI: [10.1016/j.rse.2017.01.021](https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.01.021).
- Das, K., & Paul, P. K. (2015). Soil moisture retrieval model by using RISAT-1, C-band data in tropical dry and sub-humid zone of Bankura district of India. *Egypt. J. Remote Sens. Space Sci.*, 18, 297-310. DOI: [10.1016/j.ejrs.2015.09.004](https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.09.004).
- Dehghanpir, S., Bazrafshan, O., & Asgarinejad, A. (2014). Drought and its relationship with soil moisture (case study: Bandar Abbas meteorological station), The first regional conference on sea, development and water resources of the coastal areas of the Persian Gulf, Bandar Abbas. [in Persian].
- Dorigo, W.A., Wagner, W., Albergel, C., Albrecht, F., Balsamo, G., & Brocca, L., (2017). ESA CCI Soil Moisture for improved Earth system understanding: State-of-the art and future directions. *Remote Sens. Environ.*, 203, 185-215. DOI: [10.1016/j.rse.2017.07.001](https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.001).
- Erfanian, M., Kazempour, S., & Heidari, H. (2014). Calibration of TRMM satellite 3B42 and 3B43 rainfall data in climatic zones of Iran. *Phys. Geogra. Res. Quart.*, 48(2), 287-303 DOI: [10.22059/JPHGR.2016.59370](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2016.59370) [in Persian].
- Gruber, A., Scanlon, T., Schalie, R. V., Wagner, W., & Dorigo, W. (2019). Evolution of the ESA CCI Soil Moisture climate data records and their underlying merging methodology. *Earth Syst. Sci. Data*, 11, 717-739. DOI: [10.5194/essd-11-717-2019](https://doi.org/10.5194/essd-11-717-2019).
- Koster, R. D., Mahanama, S. P. P., Livneh, B., Lettenmaier, D. P., & Reichle, R. H. (2010). Skill in streamflow forecasts derived from large-scale estimates of soil moisture and snow. *Nat. Geosci.*, 3, 613-616. DOI: [10.1038/NGEO944](https://doi.org/10.1038/NGEO944).
- Liu, Y. Y., Parinussa, R. M., Dorigo, W. A., De Jeu, R. A. M., Wagner, W., Van Dijk, A. I. J. M., & Evans, J. P. (2011). Developing an improved soil moisture dataset by blending passive and active microwave satellite-based retrievals. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15(2), 425-436. DOI: [10.5194/hess-15-425-2011](https://doi.org/10.5194/hess-15-425-2011).
- Miri, M. (2016). Analysis of Relationship between Climate Change and Zagros forests decline (A case study: Ilam Region), PhD Thesis, Faculty of Geography, University of

- Tehran. [in Persian].
- Miri, M., Azizi, G., Mohammadi, H., & Pourhashemi, M. (2018). Introduction and evaluation of global model of land data assimilation. *Sci. Res. Quart. Geogra. Data (SEPEHR)*, 26(104), 5-17. DOI: [10.22131/sepehr.2018.30514](https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.30514) [in Persian].
- Miri, M., Razi, T., & Rahimi, M. (2016). Evaluation and statistically comparison of TRMM and GPCC datasets with observed precipitation in Iran. *J. Earth Space Phys.*, 42(3), 657-672. DOI: [10.22059/JESPHYS.2016.56102](https://doi.org/10.22059/JESPHYS.2016.56102) [in Persian].
- Rahmanikam, A. (2015). Extraction and trending of soil moisture using remote sensing satellite data, Master thesis, Shahrood University of Technology. [in Persian].
- Scanlon, T., Pasik, A., Dorigo, W., de Jeu, R. A. M., Hahn, S., van der Schalie, R., Wagner, W., Kidd, R., Gruber, A., Moesinger, L., Preimesberger, W., van der Vliet, M., & Stradiotti, P. (2022). Algorithm theoretical baseline document (ATBD) supporting product Version 07.1, Earth Observation Data Centre for Water Resources Monitoring (EODC) GmbH. Available at: <https://www.cen.uni-hamburg.de/en/icdc/data/land/docs-land/esa-cci-sm-rd-d2-1-v3-atbd-v07-1-issue-1-0.pdf>.
- Seneviratne, S. I., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E. B., Lehner, I., & Teuling, A. J. (2010). Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth Sci. Rev.*, 99, 125-161. DOI: [10.1016/j.earscirev.2010.02.004](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004)
- Spennemann, P. C., Rivera, J. A., Saulo, A. C., & Penalba, O. C. (2015). A comparison of GLDAS soil moisture anomalies against standardized precipitation index and multisatellite estimations over south America. *J. Hydrometeorol.*, 16, 159-171. DOI: [10.1175/JHM-D-13-0190.1](https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-0190.1).
- Taylor, C. M., De Jeu, R. A. M., Guichard, F., Harris, P. P., & Dorigo, W. A. (2012). Afternoon rain more likely over drier soils. *Nat.*, 489, 282-286. DOI: [10.1038/nature11377](https://doi.org/10.1038/nature11377).
- Wang, L., & Qu, J. J. (2009). Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review. *Front. Earth Sci. China*, 3(2), 237-247. DOI: [10.1007/s11707-009-0023-7](https://doi.org/10.1007/s11707-009-0023-7).
- Wu, R., & Kinter, J. (2009). Analysis of the relationship of U.S. droughts with SST and soil moisture: distinguishing the time scale of droughts. *J. Climat.*, 22, 4520- 4538. DOI: [10.1175/2009JCLI2841.1](https://doi.org/10.1175/2009JCLI2841.1).
- Yuan, S., & Quiring, S. M. (2017). Evaluation of soil moisture in CMIP5 simulations over the contiguous United States using in situ and satellite observations. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 2203-2218. DOI: [10.5194/hess-21-2203-2017](https://doi.org/10.5194/hess-21-2203-2017).
- Zarenejad, F. (2012). Estimation of surface soil moisture using improved triangle method and soil index, Master thesis, Faculty of Technology and Engineering, Isfahan University, pp 155. [in Persian].

How to cite this paper:

Abdeh Kolahchi, A., Miri, M., Zand, M. and Porhemmat, J. (2023). Evaluation of satellites and model-based surface soil moisture datasets with ground-based observations (Case study: Lorestan Province). *Environ. Water Eng.*, 9(4), 548-562. DOI: [10.22034/EWE.2023.367471.1819](https://doi.org/10.22034/EWE.2023.367471.1819).



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Case Study

Calibration of SEBAL Surface Energy Balance Algorithm in Determining Evapotranspiration of Plains Affected by Flood Spreading (Qaracherian-Zanjan Province)

Ghobad Rostamizad^{1*}, Parviz Abdinejhad¹, Mojtaba Pakparvar² and MirMasoud Kheairkhah Zarrkesh³

¹Assist. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Zanjan, Iran

²Assist. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Fars, Iran

³Assoc. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Tehran, Iran

Article information

Received: November 29, 2022

Revised: January 01, 2023

Accepted: January 02, 2023

Keywords:

Albedo

Evapotranspiration

Satellite Images

Sohrin Plain

*Corresponding author:

gh.rostamizad@areeo.ac.ir



Abstract

Evapotranspiration is one of the most important elements of the hydrological cycle. Estimation of evapotranspiration is imperative for effective forest, irrigation, rangeland and water resources management as well as to increase yields and for better crop management. The aim of this study is to calibrate the SEBAL algorithm in estimating evapotranspiration in the Sohrin-Qaracheryan plain, which is affected by flood spreading. In this study, Landsat 8 satellite images were used in 2020-2021 to obtain the coefficients of the relevant bands. Then, the net radiation flux on the earth's surface and the earth's heat flux is obtained using incoming-outgoing radiation fluxes from albedo, surface emissivity, land surface temperature, and plant indicators. Next, the sensible heat flux is calculated by determining the hot and cold pixels. Finally, evapotranspiration maps are plotted. Based on the results of this research evapotranspiration obtained from soil water balance model and SEBAL algorithm were estimated as 24115 and 19642 m³, respectively. Also, the calibration of the results obtained from the SEBAL algorithm with reference evapotranspiration was done using R² and RMSE statistical indices, and were calculated the values of these two indices as 0.64 and 2.15, respectively.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

Evapotranspiration (ET) is one of the most important factors in the hydrological cycle and is a key determinant of energy equations on the earth's surface. Evapotranspiration is a combination of two processes responsible for

water losses that include evaporation directly from the soil and transpiration from the plants. It is difficult to consider these two processes separately since they occur almost simultaneously at varied rates with high spatial variability. As a result, evapotranspiration estimates are important for hydrology, irrigation,



used of the daily and hourly meteorological data of Zanzan Airport synoptic station from 2020 to 2021. These the data included minimum and maximum temperature, minimum and maximum humidity, average wind speed, sunshine hours and pressure. The SEBAL algorithm was used to estimate the evapotranspiration in the Sohrin Qaracherian plain, which is affected by the flood spread on the Qaracherian aquifer. Using this algorithm, were calculated the evapotranspiration values during the satellite transmission time for each pixel. To check the application of SEBAL algorithm, were downloaded Landsat 8 images for 2020-2021 year and were done necessary corrections and preprocessing on them. These Landsat 8 satellite images are acquired by the Operational Terrain Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) on the satellites and are widely used for water resources applications. Landsat images are at 16-day intervals with a spatial resolution of 30 m and were obtained from the United States Geological Survey website (<http://glovis.usgs.gov>). After processing the images, the net radiation flux on the earth's surface and the earth's heat flux is obtained using

incoming-outgoing radiation fluxes from albedo, surface emissivity, land surface temperature, and plant indicators. Next, the sensible heat flux is calculated by determining the hot and cold pixels. Finally, evapotranspiration maps are plotted. The flowchart of the SEBAL algorithm is illustrated in Fig. 1.

Results

After radiometric and atmospheric correction of the images by using ENVI software, were obtained index values including Albedo, NDVI, vegetation percentage, LAI, plant height, LSE, and LST for each image and then were extracted their maps. In addition, for a better comparison of the results, were prepared and compared of the layers related to vegetation index, soil heat flux and land surface temperature in the different stages of the growth period. After extracting these indices, evapotranspiration map was extracted using Envi software. Fig. 2 shows the daily evapotranspiration changes, which clearly shows that at the initial of the growing season, when are low vegetation cover and NDVI, is also low of ET_{24} .

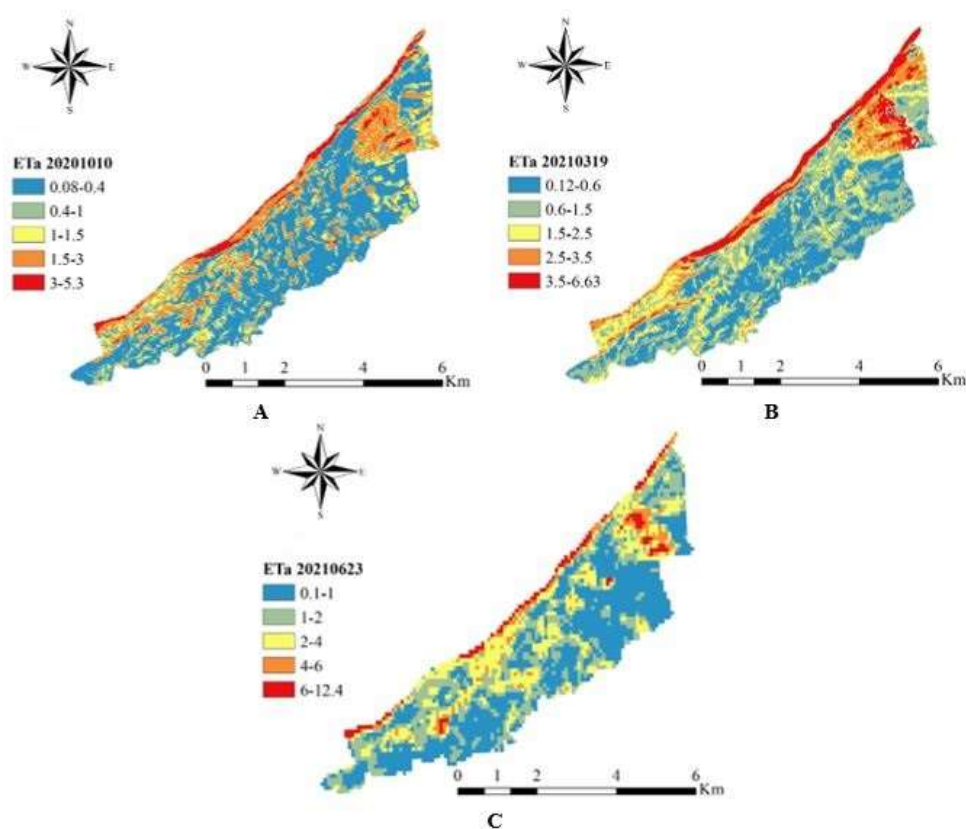


Fig. 2 Evapotranspiration map resulting from SEBAL algorithm in the different stages of the growth period: Initial (A), middle (B) and late (C)

On the other hand, with the increase in vegetation density, increases daily evapotranspiration. As it can be clearly seen in Fig. 2, at the initial of the growth period (fig2-A), the range of evapotranspiration is estimated between 0.08 and 5.3 mm/d, while this value in the middle and late of the growing season (fig5-B and C) is estimated in the range of 0.12 to 6.63 and 0.1 to 12.4 mm/d respectively. In other words, in the middle of the growth period, because is low the percentage of vegetation on the soil surface, is low evapotranspiration. However, as the late of the growth period approaches and vegetation increases, increases the amount of evapotranspiration. The results validity of the SEBAL algorithm was investigated in comparison with the actual evapotranspiration values of the soil water balance. Based on the results of this research, the evapotranspiration obtained from soil water balance model and SEBAL algorithm was estimated at 24115 and 19642 m³/year, respectively. Also, recalibration of the results obtained from the SEBAL algorithm with reference evapotranspiration (Fao Penman-Mantith) was done using R² and RMSE statistical indices, that the values of these indices were calculated as 0.64 and 2.15, respectively. Therefore, these results show that SEBAL algorithm is accurate enough to estimate evapotranspiration in the study area.

Conclusions

Based on the research results, in the middle of the growth period, is less the amount of evaporation and transpiration, because is also low the percentage of vegetation on the soil

surface at this time. This is while approaching the late of the growth period and increasing vegetation, increases the rate of evapotranspiration. To validate the results of the SEBAL algorithm, these results were compared with the results of the soil water balance model that was obtained the error coefficient equal to 22%. This error percentage shows that SEBAL algorithm is accurate enough to estimate evapotranspiration in the study area. In addition, the validation results of the model showed that the SEBAL algorithm with acceptable accuracy can be correctly used to estimate the actual evapotranspiration in the study area and other areas with similar conditions.

Acknowledgment

The present study was carried out in the form of a research project with the approved code of 0-29-29-027-970593 of the Soil Conservation and Watershed Research Institute. The authors hereby sincerely appreciate the support of those involved, especially the research and education center for agriculture and natural resources of Zanzan province, the research institute of soil and watershed management and the general meteorological office of Zanzan province.

Data Availability

Data can be sent by the responsible author via email.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مطالعه موردی

واسنجی مدل بیلان انرژی سطحی سبال در تعیین تبخیر-تعرق دشت های متأثر از پخش سیلاب (قره چریان - استان زنجان)

قباد رستمی زاد^{۱*}، پرویز عبدی نژاد^۱، مجتبی پاک پرور^۲ و میرمسعود خیرخواه زرکش^۳

^۱استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران
^۲استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، فارس، ایران
^۳دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۹/۰۸]
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۱۰/۱۱]
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۱۰/۱۲]

واژه های کلیدی:

آلبیدو
تبخیر و تعرق
تصاویر ماهواره ای
دشت سهرین

*نویسنده مسئول:

gh.rostamizad@areeo.ac.ir



تبخیر و تعرق یکی از مهمترین عناصر چرخه هیدرولوژیکی است. برآورد تبخیر و تعرق برای مدیریت مؤثر جنگل، آبیاری، مرتع و منابع آب و همچنین افزایش عملکرد و مدیریت بهتر محصول ضروری است. هدف از این پژوهش واسنجی الگوریتم SEBAL در تخمین تبخیر و تعرق در دشت سهرین-قره چریان که متأثر از پخش سیلاب است، می باشد. در این مطالعه تصاویر ماهواره ای لندست ۸ در دوره یکساله ۱۳۹۹-۱۴۰۰ برای به دست آوردن ضرایب باندهای مربوطه استفاده شد. سپس شار خالص تشعشع سطح زمین و شار حرارتی زمین با استفاده از شارهای تشعشعی ورودی-خروجی از آلبیدو، ضرایب انتشار سطحی، دمای سطح زمین و شاخص های گیاهی برآورد شد. در مرحله بعد شار حرارتی محسوس با تعیین پیکسل های سرد و گرم محاسبه و در نهایت نقشه های تبخیر و تعرق استخراج شد. بر اساس نتایج این پژوهش تبخیر و تعرق حاصل از مدل بیلان آب خاک و مدل سبال به ترتیب معادل ۲۴۱۱۵ و ۱۹۶۴۲ m^3 در سال برآورد شد. همچنین واسنجی نتایج حاصل از مدل سبال با تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از شاخص های آماری R^2 و RMSE انجام شد که مقادیر این شاخص ها به ترتیب معادل ۰/۶۴ و ۲/۱۵ محاسبه شد.

۱- مقدمه

تبخیر و تعرق یکی از مهم ترین عوامل در چرخه هیدرولوژیکی و یکی از عوامل تعیین کننده اصلی معادلات انرژی سطح زمین است. تبخیر و تعرق ترکیبی از دو فرآیند اصلی تلفات آب شامل تبخیر مستقیم از خاک و تعرق گیاهان می باشد. در نظر گرفتن این دو فرآیند به طور جداگانه دشوار است زیرا آنها تقریباً به طور همزمان با



ماهواره‌ای، امکان روش‌های جایگزین و قابل اعتماد را برای تخمین تبخیر و تعرق در مقیاس منطقه‌ای فراهم کرده است (Mao and Wang 2017).

مدل‌های متعددی برای تخمین تبخیر و تعرق با استفاده از روش‌های سنجش از دور توسعه یافته است. از بین تمام مدل‌های پیشنهادی برای تخمین تبخیر و تعرق (Allen et al. 2007)، الگوریتم تعادل انرژی سطحی برای زمین (SEBAL)^۲ بیشترین استفاده را در بین محققان در بیش از ۳۰ کشور جهان داشته است. این مدل توسط Bastiaanssen et al. (1998) توسعه یافته و توسط آلن بهبود یافته است (Shamloo et al. 2021). در مطالعات پیشین ثابت شده است مدل SEBAL تبخیر و تعرق را با دقت بهتری تخمین می‌زند و دقت ثبت شده آن ۸۵٪ در مقیاس مزرعه و بیش از ۹۵٪ دقت در مقیاس منطقه‌ای ثبت شده است (Seneviratne et al. 2006). تخمین تبخیر و تعرق SEBAL با داده‌های لایسیمتر در مزارع گندم، سورگوم و پنبه در منطقه تالاب گزیرا، سودان مقایسه شده است که در آن دقت بالا و عملکرد خوب ذکر شده است (Bashir et al. 2008). مقایسه دیگری با اندازه‌گیری‌های لایسیمتر و روش فائو پنمن مانیتث توسط Ramos et al. (2009) در منطقه فلومن در دشت ابرو، اسپانیا انجام شد. نتایج نشان داد که تبخیر و تعرق حاصل از مدل SEBAL بر روی چمن تنها ۳/۳ mm و ۳۶/۰ mm در روز در مقایسه با اندازه‌گیری‌های لایسیمتر و روش فائو پنمن مانیتث به ترتیب اختلاف داشته است. مطالعه‌ای توسط Rawat et al. (2017) جهت تخمین تبخیر و تعرق واقعی گندم در منطقه هاریانا، هند با استفاده از داده‌های SEBAL، لایسیمتر و فائو پنمن مانیتث انجام شد. نتایج همبستگی خوبی بین SEBAL با داده‌های لایسیمتر ($R=0.85$) و خطای کم با روش فائو پنمن مانیتث ($RMSE = 0.56$) نشان داد. تبخیر و تعرق ذرت با استفاده از الگوریتم سبال در استان خوزستان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد $RMSE$ و MAE تبخیر و تعرق برآورد شده با استفاده از الگوریتم سبال با روش فائو پنمن مانیتث به ترتیب معادل ۴۵/۰ mm و ۱۸/۰ mm در روز است (Valizadeh Kamran and langbaf 2018). در مطالعه‌ای دیگر تبخیر و تعرق جنگل-های هیرکانی با استفاده از مدل سبال مورد ارزیابی قرار

سرعت‌های مختلف و با تنوع مکانی بالا رخ می‌دهند (Allen et al. 1998b). تبخیر و تعرق تعادل آب و انرژی خاک را که عمدتاً در مدل‌های گردش عمومی و مدل‌سازی آب و هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد، هدایت می‌کند. در نتیجه، پیش‌بینی جریان آب رودخانه، پیش‌بینی عملکرد محصول، سیستم‌های مدیریت آبیاری، کیفیت آب رودخانه یا دریاچه همگی به سطوح تبخیر و تعرق بستگی دارند (Yamac 2021). به همین دلیل، برآورد دقیق بیلان آب ضروری است. برآوردهای بهتر و دقیق تبخیر-تعرق امکان برنامه‌ریزی موثر آبیاری و استفاده بهینه از آب را برای سایر اهداف کشاورزی فراهم می‌کند (Sattari et al. 2021).

سرعت تبخیر و تعرق به عوامل زیادی مانند دما، تابش خورشید، رطوبت، باد و پوشش گیاهی بستگی دارد. اساساً، تبخیر و تعرق مرجع (ET_0)^۱ با استفاده از تکنیک‌هایی مانند روش‌های فائو پنمن مانیتث و هارگریوز و یا مستقیماً با استفاده از لایسیمتر اندازه‌گیری می‌شود (Valayamkunnath et al. 2018). تاکنون روش‌های مختلفی از جمله اندازه‌گیری‌های مستقیم یا میدانی و معادلات تجربی برای تخمین تبخیر و تعرق توسعه یافته‌اند. با این حال، ET_0 شامل یک ساختار پیچیده و غیر خطی است که به پارامترهای متعددی برای تخمین نیاز دارد. این ماهیت غیرخطی و چند پارامتری، روش‌های تخمین را کسل‌کننده و زمان‌بر می‌کند (Sattari et al. 2021). نقطه ضعف روش‌های مرسوم این است که تنها می‌توانند ارزیابی دقیق تبخیر و تعرق را از یک منطقه همگن ارائه دهند به شرطی که یک ایستگاه هواشناسی در مجاورت آن باشد. اشکال دیگر این است که ET_0 را نمی‌توان به سایت‌های مختلف تعمیم داد. در نتیجه شبکه‌های رصد سطحی توسعه یافته‌اند اما انجام اندازه‌گیری‌های هواشناسی در همه مکان‌هایی که مناطق وسیعی را پوشش می‌دهند ممکن نیست و مشاهدات هواشناسی تغییرات مکانی تبخیر و تعرق واقعی یک منطقه را ارائه نمی‌دهد (Liu et al. 2011; Antonopoulos and Antonopoulos 2017). از سوی دیگر فن‌های سنجش از دور امکان پر کردن شکاف در ارائه داده‌های مشاهده شده مکانی مورد نیاز را فراهم می‌کنند (Rawat et al. 2019). پیشرفت در تکنیک‌های سنجش از دور در سال‌های اخیر همراه با دسترسی به تصاویر

²Surface Energy Balance Algorithm for Land

¹Reference Evapotranspiration

این پژوهش تلاش شد تا ضمن برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از مدل سبال در دشت سهرین - قره‌چریان که تحت تاثیر پخش سیلاب بر آبخوان قره‌چریان می‌باشد، جهت مدیریت بهینه منابع آب بتوان به بهترین برآورد تبخیر و تعرق واقعی رسید و به مناطق با شرایط مشابه تعمیم داد.

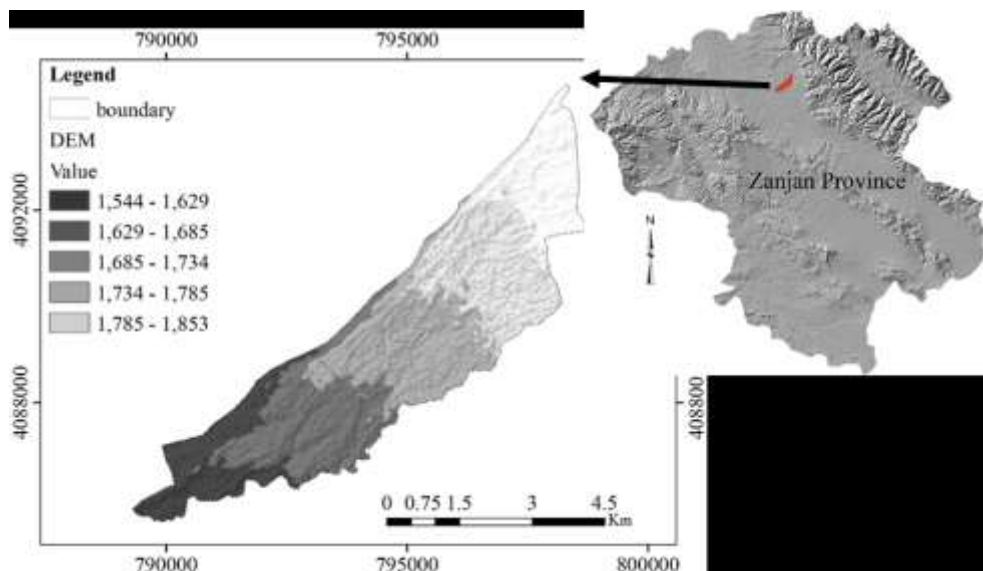
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

ایستگاه تحقیقاتی و آبخوانداری قره چریان در سهرین-قره-چریان و در شمال غربی شهر زنجان به فاصله ۳۰ km از آن قرار دارد. این ایستگاه در سال ۱۳۷۵ در عرصه‌ای به مساحت ۴۱۵ ha احداث شده است که در حدود ۲۱۵ ha از آن جهت پخش سیلاب و تغذیه آبخوان مورد استفاده قرار می‌گیرد. آبدی متوسط سالانه رودخانه قره چریان که سیلاب ورودی به ایستگاه از آن انحراف داده می‌شود، در حدود ۵۶۲/۳۷ l/s است. شروع آبیگری بر اساس سنوات گذشته از اسفندماه آغاز شده و با توجه به پتانسیل بارندگی منطقه و ایجاد رواناب‌ها تا اواخر خردادماه ادامه می‌یابد. حداکثر دبی رودخانه نیز مربوط به ماه‌های فروردین معادل ۱/۳۸ /۲۴۵۴ و اردیبهشت ۱/۱۶۵۱ است که بیش‌ترین حجم آب انحراف داده شده به ایستگاه نیز در این ماه‌ها صورت می‌گیرد.

گرفت. نتایج نشان داد MAE برآورد شده بین مقادیر تبخیر و تعرق روزانه سبال با روش فائو پنمن مانیتث معادل ۰/۶ و میانگین درصد خطای نسبی این دو پارامتر ۱۳/۵٪ به دست آمد (Abbasnezhad Alchin et al. 2020). برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سبال و مقایسه آن با تبخیر و تعرق استاندارد فائو ۵۶، به‌منظور تعیین باغات پسته تحت تنش خشکی در استان یزد مورد ارزیابی قرار گرفت. در ابتدا، تبخیر و تعرق در دوره‌های پانزده روزه فنولوژی پسته به‌دست آمد و سپس، با جمع تبخیر و تعرق در دوره‌های پانزده‌روزه، میزان تبخیر و تعرق در چهار مرحله اصلی فنولوژی پسته و کل دوره رشد سالیانه تعیین شد. مقایسه نتایج با روش استاندارد فائو ۵۶ نشان داد این دو روش مطابقت خوبی با یکدیگر دارند (Zare Khormizi et al. 2021).

با توجه به مطالب ذکر شده تحقیقات نشان می‌دهد که سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای قابلیت بالایی برای برآورد مقدار تبخیر و تعرق واقعی دارند و در سراسر جهان توسط محققین برای برآورد تبخیر و تعرق مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از طرفی با توجه به اهمیت و ضرورتی که برآورد تبخیر و تعرق واقعی در دشت‌های متأثر از پخش سیلاب (مخصوصاً پخش سیلاب بر آبخوان دشت سهرین-قره‌چریان) دارد، در



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه

Fig. 1 Location of the study area

از ۲۲ MCM آب به عرصه پخش سیلاب وارد شده‌است. با توجه به نفوذپذیری بالای رسوبات عرصه پخش سیلاب

بر اساس داده‌های ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری موجود در ورودی ایستگاه تا تاریخ ۳۰ فروردین ۱۳۹۹ بیش

۲-۲- داده‌های هواشناسی

در این پژوهش از داده‌های هواشناسی روزانه و ساعتی ایستگاه سینوپتیک فرودگاه زنجان از سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ استفاده شده است. داده‌ها شامل حداقل و حداکثر دما، حداقل و حداکثر رطوبت، میانگین سرعت باد، ساعات خورشید و فشار بود. جدول (۱) ویژگی‌های آماری متغیرهای هواشناسی را در روزهای تصویربرداری نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات متغیرهای هواشناسی در روزهای تصاویر ماهواره‌ای

Table 1 Characteristics of meteorological variables in the days of satellite images

Date	Wind speed (m/s)	Sunshine (h)	Rh (%)			T (°C)		
			Max	Min	Med	Max	Min	Med
2020/09/24	7	10.5	60	10	35	30.4	11.6	21
2020/10/10	3	10.9	93	25	59	17.9	0.6	9.25
2020/12/13	2	7.0	95	57	76	6.8	-6.6	0.1
2021/01/30	15	6.5	84	35	59.5	6.2	1.4	3.8
2021/02/15	9	10.4	52	16	34	17.2	0.4	8.8
2021/03/19	9	11.6	65	21	43	13.8	-2.0	5.9
2021/04/04	4	10.7	87	34	60.5	14.6	-3.0	5.8
2021/04/20	7	8.6	57	15	36	27.2	7.6	17.4
2021/06/07	5	13.2	37	13	25	30.2	11.4	20.8
2021/06/23	12	12.7	20	7	13.5	36.8	20.4	28.6
2021/07/09	13	12.5	66	24	45	28.5	17.8	23.15
2021/07/25	12	12	69	21	45	35.4	19.5	27.45
2021/08/10	9	9	23	10	16.5	36.8	21.2	29
2021/08/26	5	12.1	48	8	28	32.6	13.5	23.05
2021/09/11	8	11.0	43	6	24.5	32.8	16	24.4

حدودی با یکدیگر تفاوت دارند. فائو در سال ۱۹۸۸ (نشریه شماره ۵۶)، روش فائو-پنمن-مانتیت را به‌عنوان روش استاندارد برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع معرفی نمود. در پژوهش حاضر نیز بر مبنای اطلاعات اقلیمی تهیه شده مقادیر تبخیر-تعرق گیاه مرجع تعیین شد (رابطه ۱) (Heydarpour et al. 2007).

۲-۴-۲- الگوریتم تعادل انرژی سطحی SEBAL

در این مطالعه از مدل SEBAL برای تخمین تبخیر و تعرق در دشت سهرین قره‌چریان که متأثر از پخش سیلاب بر آبخوان قره‌چریان می‌باشد، با استفاده از تصاویر دیجیتالی مبتنی بر ماهواره لندست استفاده شد. فلوجارت شماتیک الگوریتم SEBAL در شکل (۲) نشان داده شده است. با استفاده از این الگوریتم، مقادیر تبخیر و تعرق در طول زمان انتقال ماهواره برای هر پیکسل محاسبه شد. معادله تعادل انرژی مانند رابطه (۲) برای محاسبه سطح تبخیر و تعرق

ایستگاه و شرایط جوی و تبخیر و تعرق بسیار کم منطقه، از این میزان حجم آبیگری، حداقل MCM ۶/۵ آب در سفره آب زیرزمینی یا آبخوان منطقه ذخیره‌سازی شده است. این حجم آب ذخیره شده مصارف آب کشاورزی و شرب و سایر نیازهای آبی ۱۳ روستای منتفع از آن را تأمین می‌کند. موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.

۲-۳- داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای

برای بررسی کاربرد مدل SEBAL، تصاویر Landsat 8 و برای سال آبی ۱۳۹۹ - ۱۴۰۰ دانلود و تصحیحات و پیش پردازش‌های لازم بر روی آنها انجام شد. این تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 به‌وسیله تصویرگر زمین عملیاتی (OLI)^۱ و سنسور حرارتی فروسرخ (TIRS)^۲ روی ماهواره‌ها به‌دست می‌آیند و به‌طور گسترده برای کاربردهای منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. سنسور OLI دارای ۹ باند و TIRS دارای دو باند حرارتی شماره ۱۰ و ۱۱ هستند. تصاویر لندست در فواصل ۱۶ روزه با وضوح مکانی ۳۰ m بوده و از وب سایت سازمان زمین شناسی ایالات متحده (<http://glovis.usgs.gov>) به‌دست‌آمد.

۲-۴-۲- محاسبه تبخیر-تعرق

۲-۴-۱- روش فائو پنمن-مانتیت

روش‌های مختلفی برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع پیشنهاد شده است که هرکدام از نظر داده‌های مورد نیاز تا

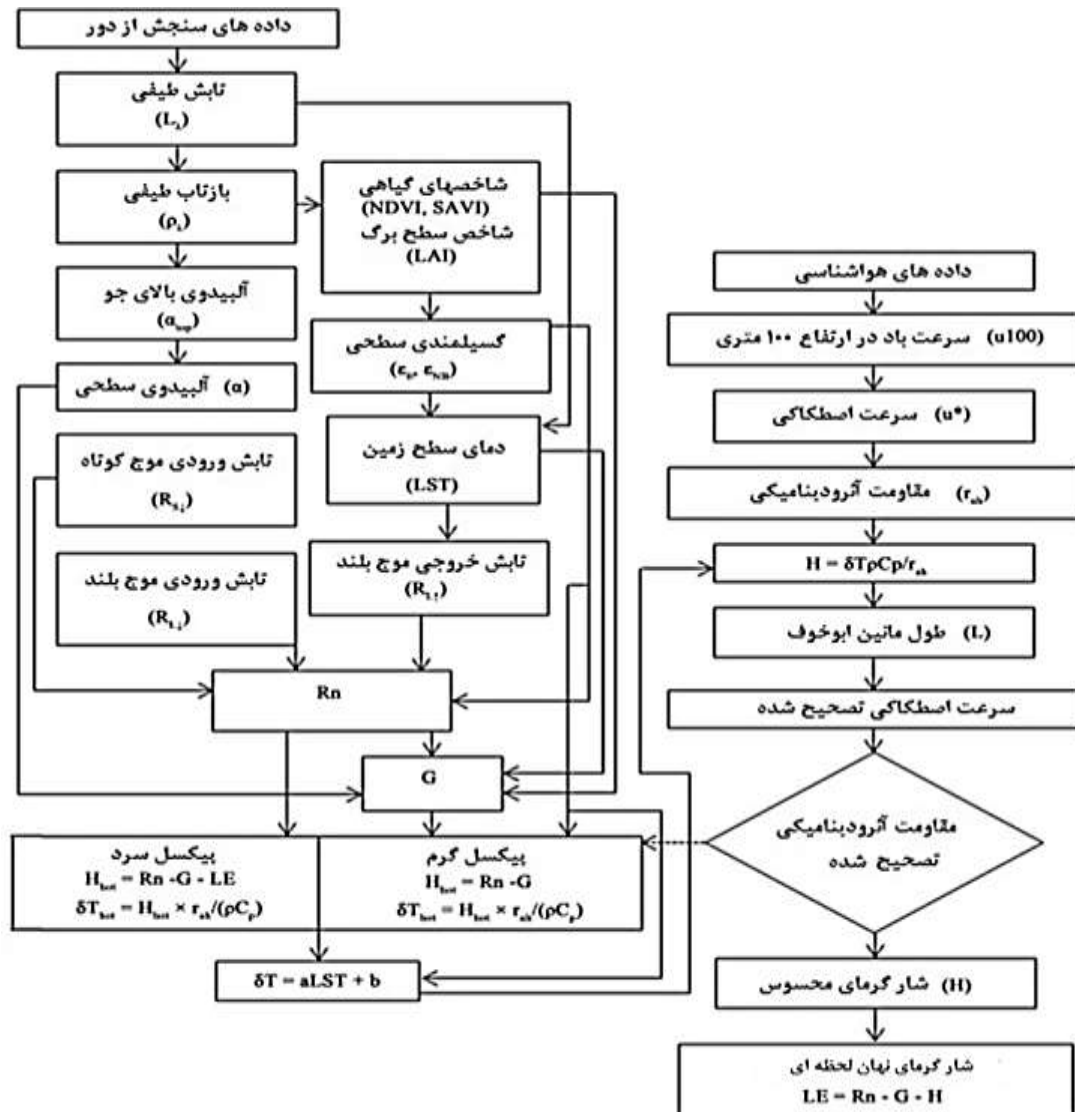
¹Operational Land Imager

²Thermal Infrared Sensor

استفاده شد. در ادامه R_n برای هر پیکسل با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Allen et al. 1998a).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma[900/(T + 273)] U_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

که، ET_0 تبخیر-تعرق مرجع (mm/d)، R_n تابش خالص ورودی به سطح گیاه (MJ/m²/d)، G شار گرمای خاک (MJ/m²/d)، T میانگین روزانه دمای هوا (°C)، U_2 سرعت روزانه باد در ارتفاع ۲ m (m/s)، e_a فشار بخار واقعی (kPa)، e_d فشار بخار اشباع (kPa)، Δ شیب منحنی فشار بخار (kPa/°C) و γ ضریب ثابت رطوبتی (kPa/°C) می‌باشد.



شکل ۲- فلوچارت محاسبه تبخیر-تعرق با استفاده از مدل سبیل (Bezerra et al. 2015)

Fig. 2 Flowchart of calculation of evapotranspiration using SEBAL algorithm (Bezerra et al. 2015)

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (2)$$

$$R_n = (1 - \alpha)R_{s\downarrow} + R_{l\downarrow} - R_{l\uparrow} - (1 - \epsilon_0)R_{l\downarrow} \quad (3)$$

که، λET شار گرمای نهان تبخیر (W/m²)، R_n شار تابش خالص، G شار گرمای خاک و H شار گرمای محسوس و در رابطه (۳): α آلبدوی تابش ورودی موج کوتاه، $R_{l\downarrow}$ تابش ورودی موج بلند، $R_{l\uparrow}$ تابش خروجی موج بلند و ϵ

آهنگ واقعی تبخیر و تعرق در لحظه انتقال ماهواره (ET_{inst}) بر حسب mm/d با استفاده از رابطه (۶) به‌دست آمد (Waters et al. 2002).

$$ET_{inst} = 3600 \times \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (6)$$

که، ET_{inst} تبخیر و تعرق لحظه‌ای بر حسب mm/d، λ گرمای نهان تبخیر بر حسب J/Kg و ثابت ۳۶۰۰ ضریب تبدیل زمان (یعنی s/h) است. λ با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد (Allen et al. 2011).

$$\lambda = [2.501 - 0.00236(T_s - 273)] \times 10^6 \quad (7)$$

مقادیر تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از کسر تبخیر و تعرق مرجع (ET_r) و مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_{rF}) محاسبه شد. ET_{rF} نسبت ET_{inst} محاسبه شده برای هر پیکسل به مرجع ET (یعنی ET_r) به‌دست آمده از داده‌های هواشناسی به صورت رابطه (۸) است (Allen et al. 2011).

$$ET_{rF} = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (8)$$

برای محاسبه مقادیر تبخیر و تعرق ۲۴h استفاده شد و برای پیکسل‌های گرم به مقدار "۰" و برای پیکسل‌های سرد مقدار "۱" در نظر گرفته شد (Allen et al. 2007). مقادیر روزانه تبخیر و تعرق (ET_{24}) اغلب کاربردی‌تر از مقادیر لحظه‌ای ET_{inst} هستند. در نهایت مقادیر تبخیر و تعرق روزانه به شرح رابطه (۹) محاسبه شد.

$$ET_{24} = ET_{rF} \times ET_{r-24} \quad (9)$$

که، ET_{r-24} تبخیر و تعرق تجمعی را برای روز تصویربرداری نشان می‌دهد که با افزودن مقادیر ساعتی آن روز به‌دست می‌آید.

۲-۵- واسنجی مدل

برای ارزیابی سطح تفاوت بین داده‌های ET مرجع و مقادیر تخمینی حاصل از مدل SEBAL، میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین درصد مطلق خطا (MAPE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به صورت روابط (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) محاسبه شد.

$$MAE = N^{-1} \sum_{i=1}^N |ET_{Sim} - ET_{Obs}| \quad (10)$$

$$MAPE = N^{-1} \sum_{i=1}^N \left| \frac{ET_{Sim} - ET_{Obs}}{ET_{Obs}} \right| \quad (11)$$

$$RMSE = [N^{-1} \sum_{i=1}^N (ET_{Sim} - ET_{Obs})^2]^{0.5} \quad (12)$$

تفاوت‌های گیاهی (NDVI)^۱ شاخص گیاهی تنظیم‌شده خاک (SAVI)^۲ و شاخص سطح برگ (LAI)^۳ محاسبه شد. سپس دمای نزدیک به سطح (T_s) و $R_{L\uparrow}$ بر اساس ϵ_0 برآورد شد. پس از آن، شار حرارتی خاک (G) با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد (Waters et al. 2002).

$$\frac{G}{R_n} = \frac{(T_s - 273.15)}{a(0.0038a + 0.0074a^2)(1 - 0.98NDVI^4)} \quad (4)$$

که، α دمای سطح زمین (LST)^۴ بر حسب K است. اگر مقدار NDVI کمتر از صفر باشد، سطح آب در نظر گرفته می‌شود و نسبت G/R_n معادل ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. شار حرارتی محسوس، حرارتی است که توسط انتقال مولکولی گرما به هوا منتقل می‌شود، در نتیجه تفاوت دمایی بین هوا و سطح، همانطور که در رابطه (۵) آمده است محاسبه می‌شود (Bastiaanssen et al. 2005).

$$H = \frac{\rho \cdot C_p \cdot dT}{r_{ah}} \quad (5)$$

که در آن ρ چگالی هوا (kg/m^3)، C_p گرمای ویژه هوا در فشار ثابت ($1004 J/kg/K$)، dT اختلاف دمای بین دو ارتفاع (Z_2 و Z_1) بر حسب درجه‌ی کلون و r_{ah} مقاومت آیرودینامیکی بین دو ارتفاع سطح نزدیک برای انتقال گرما (s/m) می‌باشد. پارامترهای موجود در رابطه فوق تابعی از گرادیان دما، زبری سطح و سرعت باد هستند. از آنجایی که در رابطه فوق دو پارامتر مجهول وجود دارد، یعنی r_{ah} و dT ، حل رابطه مشکل خواهد بود. بنابراین الگوریتم SEBAL از دو پیکسل گرم و سرد و سرعت باد در ارتفاع معینی برای غلبه بر این مشکل در عین حال ساده کردن محاسبات استفاده می‌کند. ترکیبی از مقاومت آیرودینامیکی با حداکثر و حداقل نوسانات دما بر روی سطوح ویژه انتخاب شده زمین (پیکسل‌های سرد و پیکسل‌های گرم) امکان ارزیابی دامنه تفاوت دمای هوا در نزدیکی سطح را فراهم می‌کند. سپس مقادیر قابل اعتماد H با فرض رابطه خطی بین دمای سطح و شیب‌های انتقال حرارت در دو پیکسل بالا محاسبه شد و پس از آن، مقادیر dT در این دو پیکسل برآورد شد.

از آنجایی که شار خالص تشعشع R_n ، شار گرمای محسوس H ، و شار دمای زمین G مقادیر لحظه‌ای در نقطه عبور ماهواره هستند، مقادیر شار گرمای نهان نیز لحظه‌ای هستند.

¹Normalized Difference Vegetation Index

²Soil Adjusted Vegetation Index

³Leaf Area Index

⁴Land Surface Temperature

مبنایی برای مقایسه با مقدار برآوردی مدل قرار گرفت. مقادیر ورودی آبیاری که در مزرعه انتخابی اندازه‌گیری شده، در اینجا مورد استفاده قرار گرفت. مقدار بارش مؤثر با استفاده از رابطه (۱۵) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (Qahari and Pakparvar 2021).

$$P_{eff} = 125 \frac{(125-0.2P)}{125} \text{ for } P \leq 250 \quad (15)$$

بر این اساس ابتدا مزرعه‌ای با کشت گندم و به مساحت ۵ ha در بالادست عرصه پخش سیلاب بر آبخوان قره‌چریان انتخاب شد. پیش از شروع آبیاری و در حالت خاک خشک، در سه نقطه ابتدا، وسط و انتهای مزرعه در امتداد مسیر آبیاری با دو تکرار، به وسیله آگر از عمق صفر تا ۱۵۰ cm با فواصل ۳۰ نمونه‌برداری خاک انجام و میزان رطوبت وزنی و نیز وزن مخصوص ظاهری اندازه‌گیری شد. در این پژوهش چون عمق نفوذ به دلیل وجود سخت کفه کمتر از ۷۰ cm بود عملاً میزان آب برگشتی صفر بوده و میزان تبخیر و تعرق واقعی معادل مجموع آب حاصل از آبیاری و بارش مؤثر برآورد شد.

که، ET_{sim} و ET_{obs} به ترتیب مقادیر ET_a برآورد شده توسط SEBAL و روش فائو پنمن - مانیتس هستند.

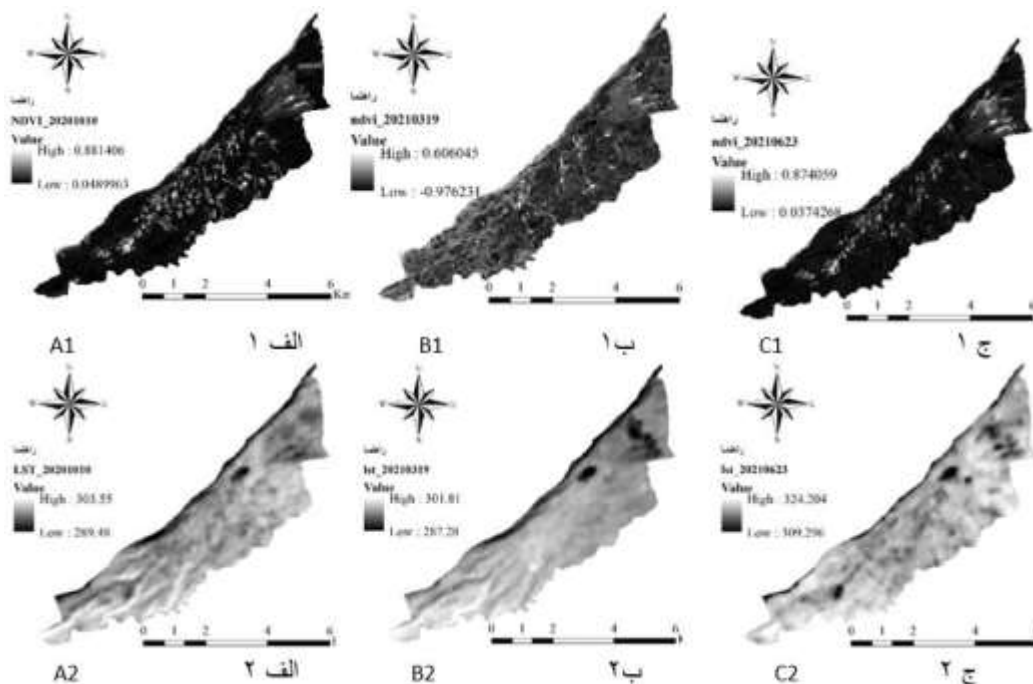
۲-۶- اندازه‌گیری تبخیر و تعرق با استفاده از بیلان آب خاک

بعد از محاسبه تبخیر و تعرق حاصل از مدل SEBAL، میزان تبخیر و تعرق واقعی زمینی نیز محاسبه گردید. میزان تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از معادله بیلان آب خاک (رابطه‌های ۱۳ و ۱۴) به دست آمد (Qahari and Pakparvar 2021).

$$\Delta S = P + I - R_o - RF - ET_a \quad (13)$$

$$ET_a = P_{eff} + I - RF \quad (14)$$

که، ET_a مقدار تبخیر-تعرق واقعی، P_{eff} مقدار بارندگی واقعی، I مقدار آبیاری، RF مقدار آب برگشتی کشاورزی، ΔS تغییر در ذخیره رطوبت خاک و مقدار رواناب خروجی از مزرعه، و P مقدار باران ثبت شده در فصل کشت است. مقدار ET_a برآمده از این رابطه، واقعیت زمینی در نظر گرفته شده و



شکل ۳- تغییرات زمانی NDVI و LST به ترتیب در مراحل مختلف دوره رشد: اوایل (الف و الف ۲)، اواسط (ب و ب ۲) و اواخر (ج و ج ۲)

Fig. 3 Temporal changes of the NDVI and LST indices in the different stages of the growth period: Initial (A1, A2), middle (B1, B2) and late (C1, C2)

همانطور که در جدول (۱) نشان داده شده است، از ۱۵ تصویر در بازه زمانی مهر تا شهریور سال آبی ۱۳۹۹ الی ۱۴۰۰ که میزان ابرناکی آنها کمتر از ۱۰٪ بود جهت برآورد تبخیر و

۳- یافته‌ها و بحث

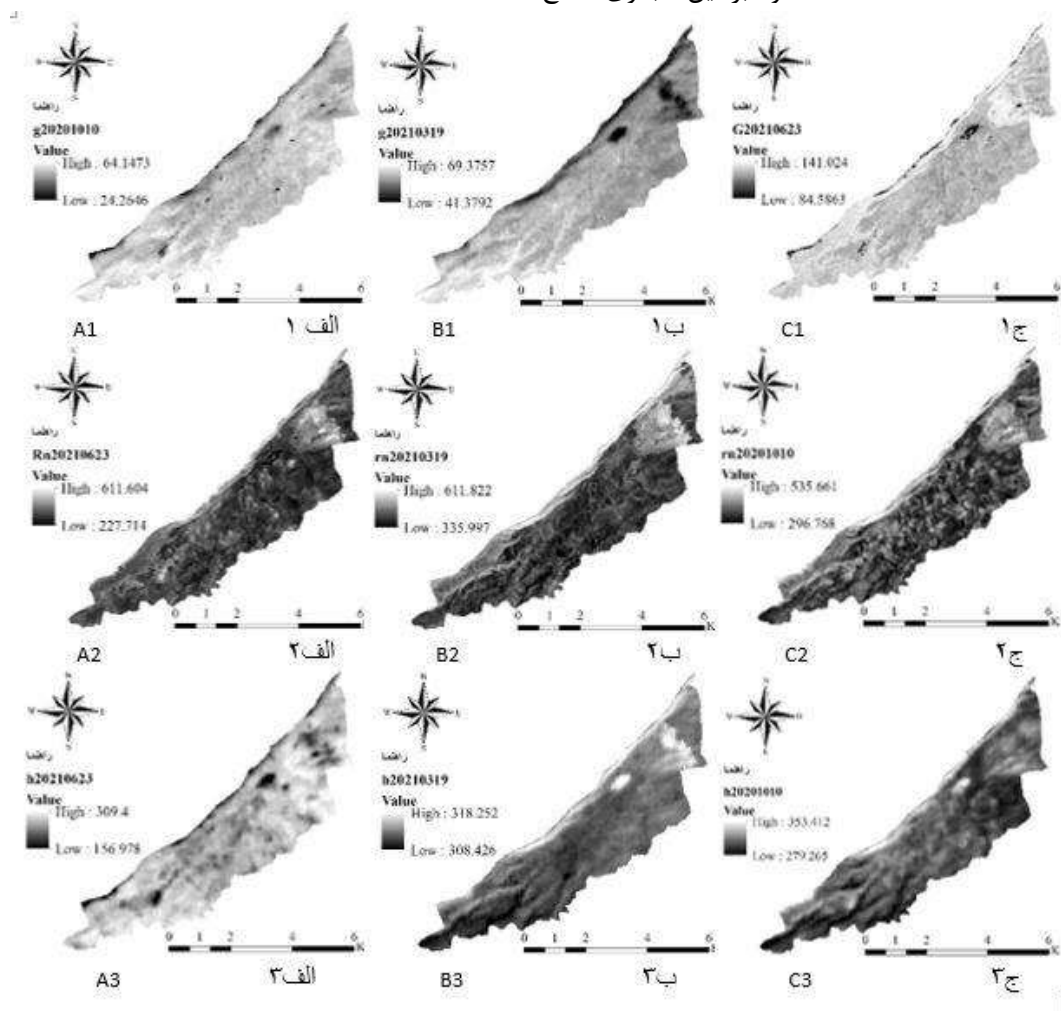
۳-۱- شاخص‌های ورودی مدل بیلان انرژی

برای این روزها نسبتاً کم است و مقادیر بالای NDVI نشان دهنده جذب بالای تابش توسط پوشش گیاهی در این دوره است (شکل ۳).

به گفته (Allen et al (2000)، مقادیر خالص تشعشع باید بین $700-1000 \text{ W/m}^2$ باشد. نتایج به دست آمده در شکل (۴) که به عنوان نمونه برای سه تصویر به ترتیب اول، اواسط و آواخر دوره رشد گیاه تهیه گردیده است، نشان داده شده است (۲۰۲۱/۱۰/۱۰، ۲۰۲۱/۰۳/۱۹ و ۲۰۲۱/۰۶/۲۳). به عبارتی مقادیر خالص تشعشع برای این سه تصویر به ترتیب بین دامنه ۲۹۶ الی ۵۳۵، ۳۳۵ الی ۶۱۱ و ۲۲۷ الی W/m^2 ۶۱۱ به دست آمده است که با این محدوده مطابقت دارد (شکل ۴).

تعرق استفاده شد. بعد از تصحیح اتمسفری تصاویر، با استفاده از نرم افزار ENVI مقادیر NDVI، Albedo، پوشش گیاهی، LAI، ارتفاع گیاه، انتشار سطحی، و LST برای هر تصویر بدست آمده و نقشه آن‌ها استخراج شد. علاوه بر این برای مقایسه بهتر نتایج، لایه‌های مربوط به شاخص پوشش گیاهی، شار گرمای خاک و دمای سطح زمین در سه دوره اوایل رشد، اواسط رشد و اواخر رشد تهیه و مورد مقایسه قرار گرفت. این لایه‌ها به تفکیک تاریخ در شکل (۳) نشان داده شده است.

با نزدیک شدن به اواخر دوره رشد، نرخ تبخیر و تعرق بالاتر است که نشان دهنده افزایش سطح پوشش گیاهی یا نشان دهنده مرحله سبز شدن محصولات کشت شده در منطقه است (Allen et al. 1998a). علاوه بر این آلودگی سطح



شکل ۴- تغییرات زمانی G، Rn و H به ترتیب در مراحل مختلف دوره رشد: اوایل (الف ۱ و الف ۲ و الف ۳)، اواسط (ب ۱، ب ۲ و ب ۳) و اواخر (ج ۱، ج ۲ و ج ۳)

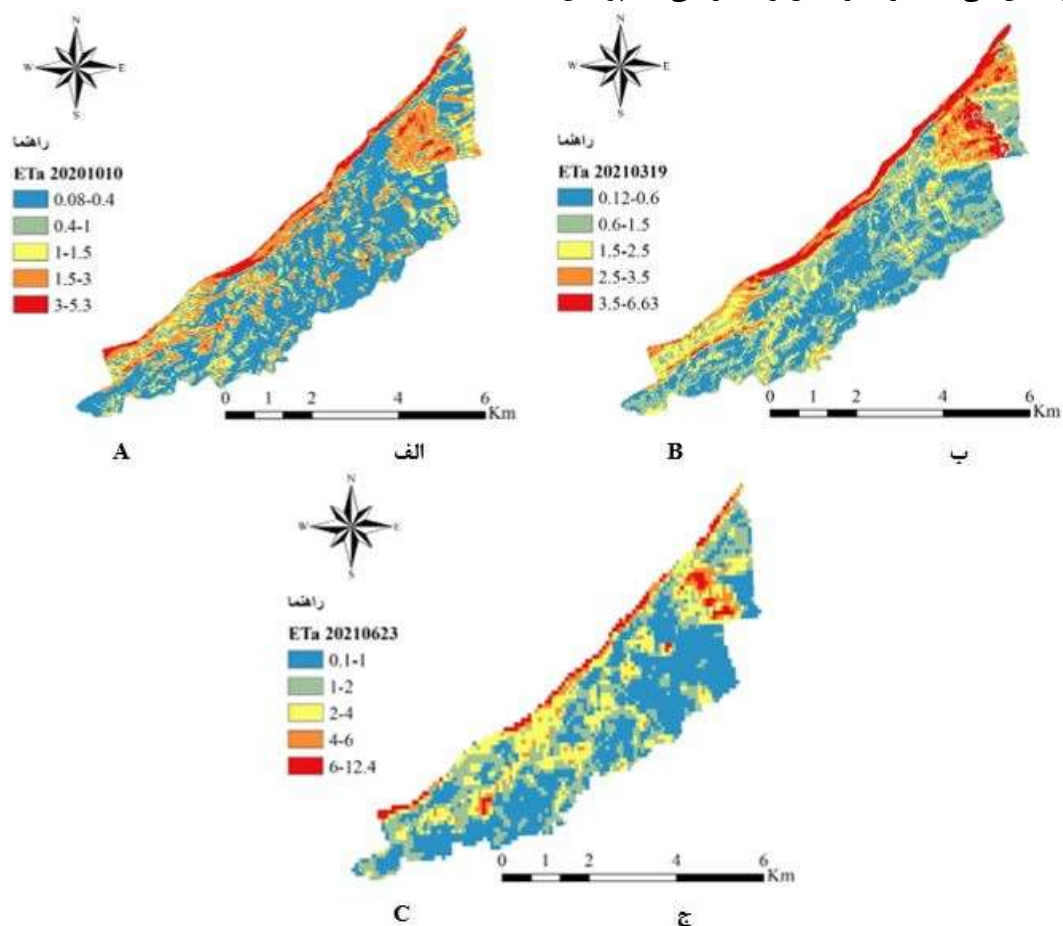
Fig. 4 Temporal changes of the G, Rn and H indices in the different stages of the growth period: Initial (A1, A2, A3), middle (B1, B2, B3) and late (C1, C2, C3)

گیاهی و NDVI کم است، ET24 نیز کم است. از طرفی با افزایش تراکم پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق روزانه نیز افزایش می‌یابد. همانطور که در شکل شماره (۵-الف) به وضوح قابل ملاحظه است در ابتدای دوره رشد دامنه تبخیر و تعرق بین ۰/۰۸ تا ۵/۳ mm/d برآورد شده است. در صورتیکه این مقدار در اواسط (۵-ب) و اواخر دوره رشد (۵-ج) به ترتیب در دامنه ۰/۱۲ الی ۶/۶۳ و ۰/۱ الی ۱۲/۴ برآورد شده است. به عبارتی در اواسط دوره رشد چون درصد پوشش گیاهی سطح خاک کم بوده تبخیر و تعرق نیز کم می‌باشد اما با نزدیک شدن به اواخر دوره رشد و افزایش پوشش گیاهی، میزان تبخیر و تعرق نیز افزایش می‌یابد. این نتایج با یافته‌های (Elkatoury et al. (2020 و Shamloo et al. (2021 مطابقت دارد.

تابش خالص خورشیدی مستقیماً به امواج بلند و موج کوتاه ورودی بستگی دارد که هر دو مستقیماً بر دمای سطح تأثیر می‌گذارند. بنابراین، مناطق با دمای سطح بالاتر، تابش خالص خورشیدی بالاتری دارند. علاوه بر این شار خالص تشعشع رابطه مستقیمی با پارامترهای NDVI، سبزشدگی و رطوبت دارد و به طور معکوس با albedo، درخشندگی و دمای سطحی مرتبط است که با نتایج سایر مطالعات مطابقت دارد (Shamloo et al. 2021؛ Firozjaei et al. 2019).

۳-۲- تبخیر و تعرق

مقادیر بالاتر NDVI نشانه افزایش سبزی پوشش گیاهی است، بنابراین اساساً افزایش تبخیر و تعرق انتظار می‌رود. شکل (۵) تغییرات تبخیر و تعرق روزانه را نشان می‌دهد که به وضوح نشان می‌دهد در آغاز فصل رشد، زمانی که پوشش



شکل ۵- نقشه تبخیر و تعرق حاصل از الگوریتم سبال در مراحل مختلف دوره رشد: الف- ابتدا، ب- اواسط و ج) اواخر دوره رشد

Fig. 5 Evapotranspiration map resulting from SEBAL algorithm in the different stages of the growth period: a) Initial, b) middle, and c) late

رشد محاسبه و مقایسه شد (شکل ۴). همانطور که در شکل شماره (۴) نشان داده شده است در مناطقی که NDVI بالاتری ثبت شده است مقادیر دمای سطحی کمتری به ثبت

برای تأیید بیشتر نتایج، مقایسه شاخص پوشش گیاهی (شکل ۳)، شار گرمای خاک، دمای سطح زمین و شار حرارتی محسوس برای سه دوره اوایل، اواسط و اواخر دوره

۳-۴- واسنجی مدل

برآورد تبخیر-تعرق واقعی روزانه با استفاده از الگوریتم سبال تنها در روزهایی که تصاویر آن گرفته شده بود به دست آمد. جهت تعیین تبخیر-تعرق واقعی سایر روزها تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) با استفاده از روش پنمن-مانتیت محاسبه گردید (جدول ۲). سپس برای روزهای متناظر تبخیر و تعرق برآوردی از مدل سبال و روش پنمن-مانتیت، ضریب گیاهی (K_c) برآورد شد. بدین صورت که اعداد بین دو عدد ET_a استخراج شده از تصویر ماهواره‌ای محاسبه و ET_0 تصاویر مد نظر نیز با استفاده از فرمول فائو پنمن-مانتیس اندازه‌گیری و میان‌یابی شد. سپس از تقسیم ET_a و ET_0 عدد واقعی ضریب گیاهی (K_c) به دست آمد. در ادامه برای سایر روزها با استفاده از درون‌یابی ضریب گیاهی محاسبه و در نهایت تبخیر و تعرق واقعی برای کل روزهای سال برآورد شد. علاوه بر این واسنجی نتایج حاصل از مدل سبال با تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از سه شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$)، میانگین قدرمطلق خطا (MSE) و میانگین اریبی خطا (MAD) مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر این سه شاخص به ترتیب معادل ۲/۱۵، ۴/۶۲ و ۱/۳۴ محاسبه شد (جدول ۲).

رسیده است. به عبارتی هرچه درصد پوشش گیاهی بیشتر باشد، دمای سطحی کمتر خواهد بود. علاوه بر این مناطق با مقادیر $NDVI$ بالا (که نشان دهنده تراکم پوشش گیاهی بیشتر است) مقادیر شار حرارتی خاک (G) کمتری را ثبت کردند. در نتیجه، در مناطق با $NDVI$ کم، مقادیر شار حرارتی خاک بالاتر بود. علاوه بر این، LST با تراکم پوشش گیاهی نسبت معکوس دارد. بنابراین با افزایش شاخص $NDVI$ ، تبخیر و تعرق در آن ناحیه افزایش یافت که باعث کاهش دمای سطح شد. این موضوع در شکل (۳ و ۴) نیز به وضوح قابل مشاهده است که مقدار H نیز با تراکم پوشش گیاهی نسبت معکوس دارد. علاوه بر این، نقشه‌های تبخیر و تعرق تأیید می‌کنند که تغییرات مکانی و زمانی به عناصر هواشناسی و ویژگی‌های گیاه مربوطه در طول دوره رشد بستگی دارد. این نتایج با یافته‌های shamloo et al (2021)، Rawat et al (2019) و Bashir et al (2008) که برآورد میزان تبخیر و تعرق را با استفاده از مدل $SEBAL$ مورد بررسی و واسنجی قرار دادند، مطابقت دارد. آنها دریافتند که تنوع توزیع مکانی مطابق با دوره رشد گیاه است.

جدول ۲- محاسبه شاخص‌های آماری ارزیابی نتایج مدل سبال

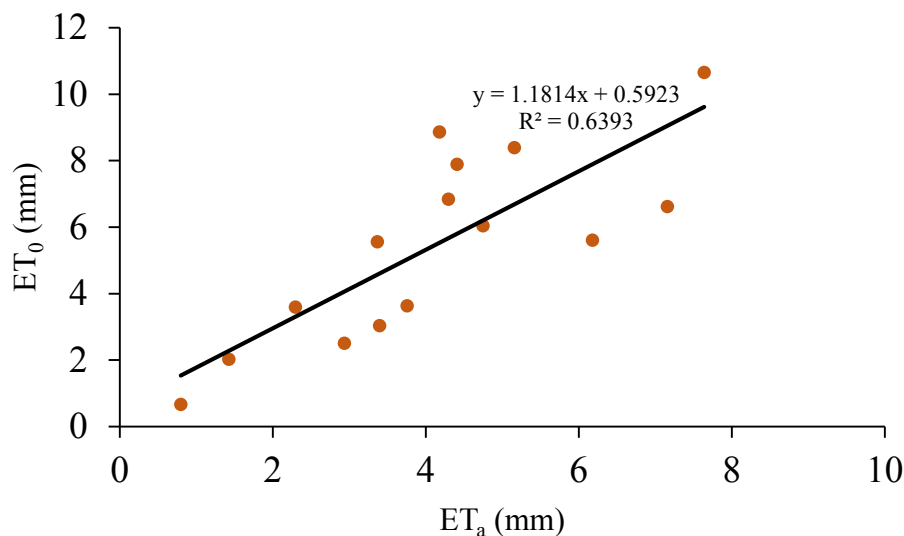
Table 2- Calculation of statistical indicators for evaluating the results of the $SEBAL$ algorithm

Id	Date	K_c	ET_0	ET (SEBAL)	R^2	MAD	MSE	RMSE
1	2020/09/24	0.61	5.56	3.37				
2	2020/10/10	1.17	2.50	2.94				
3	2020/12/13	1.20	0.67	0.80				
4	2021/01/30	0.71	2.02	1.43				
5	2021/02/15	0.64	3.59	2.30				
6	2021/03/19	1.04	3.63	3.76				
7	2021/04/04	1.12	3.04	3.40				
8	2021/04/20	1.10	5.60	6.18	0.64	1.34	4.62	2.15
9	2021/06/07	1.08	6.62	7.16				
10	2021/06/23	0.72	10.65	7.64				
11	2021/07/09	0.56	7.89	4.41				
12	2021/07/25	0.47	8.86	4.18				
13	2021/08/10	0.62	8.38	5.16				
14	2021/08/26	0.79	6.04	4.75				
15	2021/09/11	0.63	6.84	4.30				

می‌دهد که بین مقادیر تخمین زده شده بوسیله این الگوریتم و روش فائو پنمن-مانتیت ضریب تبیین ($R^2=0.64$) قابل قبولی وجود دارد. این نتایج نشان می‌دهد که مدل سبال دقت خوبی در برآورد تبخیر و تعرق واقعی داشته و برای برآورد ET_a در منطقه مورد مطالعه و مناطق دیگر با شرایط مشابه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این

بعد از برآورد تبخیر و تعرق متناظر مربوط به مدل سبال (ET) و روش فائو پنمن-مانتیت (ET_0)، رابطه رگرسیون بین این دو پارامتر برقرار شد که نتیجه حاکی از ضریب تبیین بالا ($R^2=0.64$) بین این دو می‌باشد (شکل ۶). مقایسه بین مقادیر تخمین زده شده بوسیله الگوریتم سنجنش از دور سبال و تبخیر و تعرق پتانسیل فائو پنمن-مانتیت نشان

نتایج با یافته سایر محققان مطابقت دارد (Valizadeh 2021).
Zare Khormizi et al.؛ Kamran and langbaf 2018



شکل ۶ - رابطه بین ET₀ و ET_a
Fig. 6 Relationship between ET₀ and ET_a

ارزیابی و واسنجی تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از مدل SEBAL و سنجش از دور مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ برای محصول گندم دیم در محدوده پخش سیلاب بر آبخوان دشت سهرین - قره‌چریان واقع در شمال غربی استان زنجان انجام شد. بطور کلی و با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که:

۱- در ابتدای دوره رشد دامنه تبخیر و تعرق بین ۰/۰۸ تا ۵/۳ mm/d برآورد شد. در صورتیکه این مقدار در اواسط و اواخر دوره رشد به ترتیب در دامنه ۰/۱۲ الی ۶/۶۳ و ۰/۱ الی ۱۲/۴ mm/d به دست آمد.

۲- مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده با استفاده از مدل سبال دارای ضریب تبیین ($R^2=0/64$) و همچنین خطا ($RMSE=2/14$) می‌باشد. این نتایج نشان داد که مدل سبال با دقت قابل قبول می‌تواند به درستی برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای، در محدوده زمانی مربوطه استفاده شود.

۳- نتایج مقدار تبخیر و تعرق حاصل از مدل سبال با مقدار تبخیر و تعرق واقعی حاصل از مدل بیلان آب خاک مقایسه شد که ضریب خطا معادل ۲۲٪ به دست آمد. این درصد

۳-۴-۱- اعتبار سنجی

برای اعتبارسنجی نتایج لازم بود که این نتایج با داده‌های واقعی زمینی مقایسه شود. بر همین اساس جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی زمینی از معادله بیلان آب خاک استفاده شد (رابطه ۱۴). در ادامه مقدار تبخیر و تعرق حاصل از مدل سبال و مقدار تبخیر و تعرق حاصل از مدل بیلان آب خاک برای سطح مزرعه برآورد و مقایسه شد. این مقادیر به ترتیب برای مدل سبال و مدل بیلان آب خاک معادل ۱۹۶۴۲ و ۲۴۱۱۵ برآورد و ضریب خطا معادل ۲۲٪ به دست آمد. این درصد خطا نشان می‌دهد که الگوریتم سبال برای برآورد ET_a در منطقه مورد مطالعه از دقت لازم برخوردار است. لازم به ذکر است در منطقه مورد مطالعه با توجه به عدم نفوذ عمقی آب حاصل از آبیاری به دلیل وجود سخت کفه آهکی و نبود آب برگشتی، میزان تبخیر و تعرق واقعی معادل مجموع آب حاصل از آبیاری و بارش موثر در نظر گرفته شد.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش جمعیت و کمبود منابع آبی به ویژه در بخش کشاورزی، پژوهشگران به دنبال راه‌هایی برای مدیریت بهتر منابع آبی هستند. مقدار تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین اجزای چرخه هیدرولوژیکی جهانی است و تأثیر قابل توجهی بر تعادل انرژی و اقلیم دارد. این مطالعه این مطالعه، با هدف

تبخیر و تعرق و تهیه نقشه‌های ضریب گیاهی از مناطق مختلف را فراهم می‌کند. این برآورد دقیق از نیاز آبی گیاه، مدیریت آب در بخش کشاورزی و سلامت گیاه را بهتر و کارآمدتر می‌کند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل قابل ارسال می‌باشد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

- Achite, M., Samadianfard, S., Elshaboury, N., & Sharafi, M. (2022). Modeling and optimization of coagulant dosage in water treatment plants using hybridized random forest model with genetic algorithm optimization. *Environ. Develop. Sustain.*, 1-19. DOI: [10.1007/s10668-022-02523-z](https://doi.org/10.1007/s10668-022-02523-z)
- Alipour, A., Yarahmadi, J., & Mahdavi, M. (2014). Comparative study of M5 model tree and artificial neural network in estimating reference evapotranspiration using MODIS products. *J. Climat.*, 2014. DOI: [10.1155/2014/839205](https://doi.org/10.1155/2014/839205)
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrig. Drain., paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learn.*, 45(1), 5-32. DOI: [10.1023/a:1010933404324](https://doi.org/10.1023/a:1010933404324)
- Douna, V., Barraza, V., Grings, F., Huete, A., Restrepo-Coupe, N., & Beringer, J. (2021). Towards a remote sensing data based evapotranspiration estimation in Northern Australia using a simple random forest approach. *J. Arid Environ.*, 191, 104513. DOI: [10.1016/j.jaridenv.2021.104513](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104513)
- Falamarzi, Y., Palizdan, N., Huang, Y. F., & Lee, T. S. (2014). Estimating evapotranspiration from temperature and wind speed data using artificial and wavelet neural networks (WNNs). *Agri. Water Manage.*, 140, 26-36. DOI: [10.1016/j.agwat.2014.03.014](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.03.014)
- Feng, Y., Cui, N., Zhao, L., Hu, X., & Gong, D. (2016). Comparison of ELM, GANN, WNN and empirical models for estimating reference evapotranspiration in humid region of Southwest China. *J. Hydrol.*, 536, 376-383. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2016.02.053](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.053)
- Hashemi, S., Samadianfard, S., & Sadraddini, A. A. (2022). Evaluation of random forest-genetic algorithm hybrid model in estimating daily solar radiation. *Environ. Water Eng.*, 8(3), 636-653. [In Persion]. DOI: [10.22034/jewe.2022.312038.1654](https://doi.org/10.22034/jewe.2022.312038.1654)
- Hobbins, M. T. (2016). The variability of ASCE standardized reference evapotranspiration: A rigorous, CONUS-wide decomposition and attribution. *Trans. ASABE*, 59(2), 561-576. DOI: [10.13031/trans.59.10975](https://doi.org/10.13031/trans.59.10975)
- Holland, J. H. (1992). Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. MIT press.
- Khotbehsara, E. M., Daemei, A. B., & Malekjahan, F. A. (2019). Simulation study of the eco green roof in order to reduce heat transfer in four different climatic zones. *Result. Eng.*, 2, 100010. DOI: [10.1016/j.rineng.2019.100010](https://doi.org/10.1016/j.rineng.2019.100010)
- Khoshkhoo, Y., & Nikmehr, S. (2021). Application of land surface temperature extracted from satellite images for zoning

خطا نشان می‌دهد الگوریتم سبال برای برآورد ET در منطقه مورد مطالعه از دقت لازم برخوردار است

از محدودیت‌های مدل SEBAL این است که برخی روابط تجربی در طول تخمین تبخیر و تعرق ممکن است باعث ایجاد خطا شود. از این‌رو لازم است ضرایب برای هر منطقه در طول پیش پردازش داده‌ها کالیبره و اصلاح شود. از دیگر از محدودیت‌های این مدل نیاز به تصاویر ماهواره بدون ابر در منطقه است زیرا حتی یک لایه ابر نازک می‌تواند انرژی تابش گرمای محاسبه شده را کاهش دهد و در نتیجه خطای قابل توجهی در برآورد نتایج ایجاد کند. از طرفی کارایی روش‌های ترکیبی با سنجش از دور می‌تواند در مطالعات آبی مورد استفاده قرار گیرد. این امکان، ارزیابی دقیق‌تری از میزان

- reference evapotranspiration. *Environ. Water Eng.*, 7(4), 708-722. DOI: [10.22034/jewe.2021.293156.1591](https://doi.org/10.22034/jewe.2021.293156.1591)
- Maeda, E. E., Wiberg, D. A., & Pellikka, P. K. (2011). Estimating reference evapotranspiration using remote sensing and empirical models in a region with limited ground data availability in Kenya. *Appl. Geogra.*, 31(1), 251-258. DOI: [10.1016/j.apgeog.2010.05.011](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.05.011)
- Moore, R., & Hansen, M. (2011). Google Earth Engine: a new cloud-computing platform for global-scale earth observation data and analysis. AGU Fall Meeting Abstracts. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2011AGUFMIN43C..02M/abstract>
- Pagano, T. S., & Durham, R. M. (1993). Moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS). Proc. SPIE 1939, Sensor Systems for the Early Earth Observing System Platforms. DOI: [10.1117/12.152835](https://doi.org/10.1117/12.152835)
- Tyralis, H., Papacharalampous, G., & Langousis, A. (2019). A brief review of random forests for water scientists and practitioners and their recent history in water resources. *Water*, 11(5), 910. DOI: [10.3390/w11050910](https://doi.org/10.3390/w11050910)
- Valipour, M. (2015). Temperature analysis of reference evapotranspiration models. *Meteorol. Appl.*, 22(3), 385-394. DOI: [10.1002/met.1465](https://doi.org/10.1002/met.1465)
- Wang, S., Lian, J., Peng, Y., Hu, B., & Chen, H. (2019). Generalized reference evapotranspiration models with limited climatic data based on random forest and gene expression programming in Guangxi, China. *Agri. Water Manage.*, 221, 220-230. DOI: [10.1016/j.agwat.2019.03.027](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.027)
- Wang, W., Liang, S., & Meyers, T. (2008). Validating MODIS land surface temperature products using long-term nighttime ground measurements. *Remote Sens. Environ.*, 112(3), 623-635. DOI: [10.1016/j.rse.2007.05.024](https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.05.024)
- Ye, X., Dong, L.-A., & Ma, D. (2018). Loan evaluation in P2P lending based on random forest optimized by genetic algorithm with profit score. *Electron. Commerce Res. Appl.*, 32, 23-36. DOI: [10.1016/j.elerap.2018.10.004](https://doi.org/10.1016/j.elerap.2018.10.004)
- Yu, W., Nan, Z., Wang, Z., Chen, H., Wu, T., & Zhao, L. (2015). An effective interpolation method for MODIS land surface temperature on the Qinghai-Tibet Plateau. *IEEE J. Select. Topic. Appl. Earth Observ. Remote Sens.*, 8(9), 4539-4550. DOI: [10.1109/JSTARS.2015.2464094](https://doi.org/10.1109/JSTARS.2015.2464094)
- Zhang, Z., Gong, Y., & Wang, Z. (2018). Accessible remote sensing data based reference evapotranspiration estimation modelling. *Agri. Water Manage.*, 210, 59-69. DOI: [10.1016/j.agwat.2018.07.039](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.039)

How to cite this paper:

Rostamizad, G., Abdinejad, P., Pakparvar, M. and Kheairkhan Zarrkesh, M. (2023). Calibration of SEBAL surface energy balance algorithm in determining evapotranspiration of plains affected by flood spreading (Qaracherian-Zanjan Province). *Environ. Water Eng.*, 9(4), 563-579. DOI: [10.22034/ewe.2023.374790.1829](https://doi.org/10.22034/ewe.2023.374790.1829)



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Short Paper

Investigating Some Consequences of Farrokhi Dam Construction in Qaen City

Mahdi Mollazadeh^{1*} and Zahra Yousefi²

¹Assist. Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

²MSc. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

Article information

Received: December 01, 2022

Revised: March 30, 2023

Accepted: March 31, 2023

Keywords:

Dam

Philips Model

Leopold Matrix

*Corresponding author:

mollazadeh.mahdi@birjand.ac.ir



Abstract

Dams leave various environmental effects on local communities and watersheds, during the stages of construction, operation and end of useful life. The current research was carried out to evaluate the environmental effects of the Farrokhi Dam in the operation phase on the physical, cultural, economic and social environments. In this research, the modified Leopold matrix and the modified rapid impact assessment matrix were used. Positive and negative effects were studied and valued. The stability of the Phillips method was evaluated and its results were compared with the modified Leopold matrix and the modified rapid impact assessment matrix. The results of the rapid impact assessment method showed that evaporation with a coefficient of -14.25 has the most negative effect. Besides, regardless of secondary consequences, agricultural development is the most positive effect of dam construction with a factor of 105. Based on the results, the Phillips stability factor for Farrokhi Dam was equal to 2.87. Therefore, despite the presence of some positive effects, it was found that the cultural effects of Farrokhi dam construction were completely negative and the most negative effect of Farrokhi dam is in the field of evaporation.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

Dams play an important role in the civil development plans of countries. Nevertheless, the negative consequences of dam construction on humans and the environment are of interest to researchers. For example, serious problems arise in water quality over time, including the production of taste, smell and microbial contamination. The concept of environmental impact assessment refers to the review, analysis and evaluation of planned activities with the aim of ensuring environmental health and their

sustainable development. There are various methods for evaluating and depicting the results of the activities of a project or development. The analysis of the effects is done using special methods, checklist, matrix, networks and map overlay. The matrix method itself is divided into several categories: simple matrix, step-by-step matrix, Leopold matrix, Moore matrix, weighted matrix, Peterson matrix, and rapid impact assessment matrix. Among these, the Leopold matrix has received much attention. In this research, the effects of the construction of



Farrokhi Dam in physical, chemical, cultural, socio-economic environments were investigated with the help of matrix type methods.

Material and Methods

Farrokhi storage dam is located near Farrokhi village, located 41 km from Qaen city in South Khorasan province. The Leopold matrix has many advantages, including summarizing the negative and positive effects of the project in the stages of implementation and operation. Other advantages of the matrix include its simple structure and the ability to perform multi-criteria evaluation. In this method, a matrix is formed in which the activities within the project in the construction phase are specified in its columns and various environmental factors (biological, economic-social, physical, chemical, cultural and strategic) are specified in its rows. In summarizing the effects, the average positive and negative effects are calculated for each activity and each environmental factor. Leopold matrix method has attracted the attention of researchers due to its high accuracy, investigation in two phases of construction and operation, and other positive features. The rapid impact assessment method is based on the average semi-quantitative values that can be rated for each of the criteria. Quantitative evaluation in this method is based on five separate criteria. Important evaluation criteria are divided into two categories: Group A, criteria that are important for the situation and can individually change the obtained score. The values of each group of these criteria are calculated using simple formulas. Investigating potential or actual sustainability in the environmental impact assessment process is an important factor in decision-making. The most important advantage of stability determination is that by choosing the most stable option, its results are compared with the results of the modified Leopold matrix and the most desirable and appropriate option is determined. The designed matrix was completed by the regional experts and the average scores were used as the evaluation criteria. The averaged positive and negative effects on environmental components were calculated using the Leopold matrix method.

Results

In this research, the calculations were done using Leopold's average matrix to calculate the environmental factors. The average result of positive and negative effects on the components is determined using the Leopold matrix method.

If things like historical monuments, shrines, elimination of people's livelihood and unemployment of villagers, the transformation of livelihood from producer to service or consumer, which are included in the cultural part, will make the construction of the dam less justified. The result of the present research was compared with the results of another study in which the environmental effects of Farrokhi dam were calculated using the ICOLD matrix method. In the results of the mentioned research, it is stated that the most negative effects of the Farrokhi dam in the construction phase and on the biological environment and then on the physical environment and the most positive effects have also been observed in the economic and social environment. This is consistent with the results obtained from the modified Leopold matrix of this research. To carry out the environmental assessment of Farrokhi dam by means of a rapid impact assessment matrix, according to the matrix obtained from the questionnaire and averaging, the values of ES, AT and BT were calculated. Then the final assessment (ES) for environmental effects has been done using the rapid impact assessment method (Table 1). According to the results, 11 of the 19 existing environmental effects (about 58%) were positive. The use of the environmental impact assessment method using the rapid assessment matrix also showed that the main part of the positive effects of the Farrokhi dam is in the case of agriculture and the most negative effect is in the field of evaporation. Also, the results show that the environmental effects of Farrokhi dam in the field of noise pollution, drinking water supply, air pollution, sedimentation of the dam reservoir and migration using the rapid assessment method are neutral. In this research, for the option of the conditions after the construction of the dam and based on the existing relationships, the environmental value was calculated as 1.6, the amount of conditions necessary for human life and survival was -1.27, and finally the stability coefficient was calculated as 2.87. Then the value of the stability coefficient is calculated and based on the positive or negative value of this coefficient, it is determined whether the dam is stable or unstable. Also, the results of the stability calculation are consistent with the results of the evaluation of the environmental effects by the modified Leopold matrix.

Table 1 Average matrix of Rapid Impact Assessment

	Employment	Livestock	Agriculture	Property Value	Drinking Water Supply	Water Pollution	Air Pollution	Noise	Soil Erosion	Land Degradation	Destruction of Pastures	Groundwater Level	Evaporation	Groundwater Quality	River Water Quality Reservoir	Dam Sedimentation	Migration	Tourism	Population
A ₁	2	2	2.5	1.5	0	1.5	0	0	2.5	1.5	1.5	2	1.5	2	0.5	1	1.5	2	1.5
A ₂	2	2	3	1	0	0.5	0	0	2.5	1.5	1.5	2	-1	1	0.5	0	0	2	1.5
B ₁	4	4	4	3	1.5	2	1	1	4	2.5	2.5	4	4	3.5	2.5	3.5	3	3.5	3.5
B ₂	3	4	4	3	0.5	2	0.5	0.5	4	2	2	3.5	2	2	1	3.5	2.5	2	3
B ₃	2.5	2.5	3	2	0.5	2	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2.5	2	1.5	2.5	2.5	2.5
B ₄	2	2	3	2	1	1.5	1.5	1	2	1.5	1.5	2	1.5	2	2	1.5	1.5	1.5	1.5
A _T	4	4	7.5	1.5	0	0.75	0	0	6.25	2.25	2.25	4	-1.5	2	0.25	0	0	4	2.25
B _T	11.5	12.5	14	10	3.5	7.5	3.5	3	11.5	7.5	7.5	11.5	9.5	10	7.5	10	9.5	9.5	10.5
E _S	46	50	105	15	0	5.63	0	0	71.9	16.9	16.9	46	-14	20	1.88	0	0	38	23.6

Conclusions

In this research, the cultural, physical, chemical and socio-economic consequences of the Farrokhi Dam project were determined using two modified Leopold matrix and rapid impact assessment methods, and the following results were obtained:

1. The dry weather conditions of the region have made the use of the dam to provide water for the downstream agricultural lands to be considered.
2. The stability of the Farrokhi Dam based on the Philips and Mondal method was a confirmation that the results of the modified Leopold matrix are correct.
- 3- The construction of the dam will increase the water shortage in the long term by increasing the evapotranspiration and preventing the infiltration of floods into the plains and the banks of the

river. It should be noted that, for a more comprehensive evaluation, many more variables need to be investigated in the environmental assessment of a dam. Without considering all of them, it is not possible to make a general conclusion about the environmental assessment. Therefore, the results obtained in this research were based on the limited number of parameters whose information was available, and also only for Farrokhi Dam.

Data Availability

The data can be sent by the corresponding author via email.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله کوتاه

بررسی برخی پیامدهای احداث سد فرخی شهرستان قائن

مهدی ملازاده^{۱*} و زهرا یوسفی^۲

^۱استادیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
^۲آدانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۹/۱۰] تاریخ بازنگری: [۱۴۰۲/۰۱/۱۰] تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۰۱/۱۱] واژه‌های کلیدی: سد مدل فیلیپس ماتریس لئوپولد *نویسنده مسئول: mollazadeh.mahdi@birjand.ac.ir 	سدها در مراحل ساخت، بهره‌برداری و پایان عمر مفید، اثرات زیست‌محیطی مختلفی بر جوامع محلی و حوزه‌های آبخیز می‌گذارند. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات احداث سد فرخی در فاز بهره‌برداری بر محیط‌های فیزیکی، فرهنگی، اقتصادی-اجتماعی انجام شد. در این پژوهش از ماتریس لئوپولد اصلاح‌شده و ماتریس ارزیابی اثرات سریع اصلاح‌شده استفاده شد. اثرات مثبت و منفی ساخت سد بر منطقه، مورد مطالعه و ارزش‌گذاری قرار گرفت. پایداری روش فیلیپس ارزیابی و نتایج آن با ماتریس لئوپولد اصلاح‌شده و ماتریس ارزیابی اثرات سریع اصلاح‌شده مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج روش ارزیابی اثرات سریع نشان داد که تبخیر با ضریب ۱۴/۲۵- دارای بیشترین اثر منفی است. ضمن اینکه بدون در نظر گرفتن عواقب ثانویه توسعه کشاورزی با ضریب ۱۰۵ بیش‌ترین اثر مثبت احداث سد می‌باشد. بر اساس نتایج، ضریب پایداری فیلیپس برای سد فرخی برابر با ۲/۸۷ به‌دست آمد. از اینرو علیرغم وجود برخی اثرات مثبت، مشخص شد که اثرات فرهنگی ساخت سد فرخی کاملاً منفی بوده و نیز بیشترین اثر منفی سد فرخی در زمینه تبخیر است.

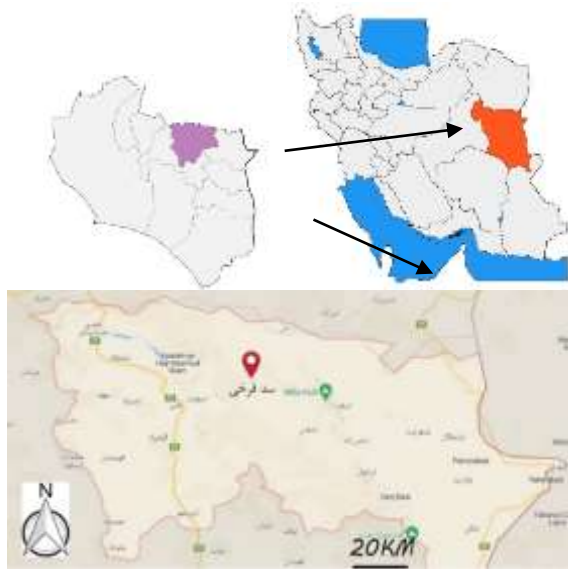
۱- مقدمه

الکتریکی آب را افزایش داده است (Velayati and Kamkar 2008). در نتیجه سدسازی از حرکت ماهی‌های بالادست با هدف تخم‌ریزی و تغذیه نیز جلوگیری می‌شود و جمعیت ماهی‌ها به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد (Stott and Smith 2001). ماهی‌ها در هنگام عبور از تاسیسات سدها نیز ممکن است دچار آسیب شوند. به سبب ساخت سدها، معمولاً راه‌های عبور حیوانات بومی منطقه دچار مشکل می‌شود. زه‌کشی مرداب‌ها و سایر تجمعات آب و عملیات حفاری نیز باعث ایجاد تغییراتی در بستر رودخانه

از مهم‌ترین دلایل ساخت سد در ایران، تامین آب شرب و کشاورزی و نیز کنترل سیل است. سدها نقش مهمی در طرح‌های توسعه عمرانی کشورها دارند. (Tahmiscioğlu et al. 2007). با این وجود، پیامدهای منفی سدسازی بر انسان و محیط زیست مورد توجه پژوهشگران می‌باشد. به‌طور مثال با گذشت زمان مشکلاتی در کیفیت آب ایجاد می‌شود که می‌توان به ایجاد طعم و بو و آلودگی میکروبی در برخی سدها اشاره کرد (Ghandehari 2010). بعلاوه، افت سطح آب زیرزمینی ناشی از احداث برخی سدها، میزان هدایت



فعالیت و هر عامل محیط‌زیستی محاسبه می‌شود. نمرات دامنه و اهمیت اثرات در یکدیگر ضرب می‌شوند و نتایج جبری جمع شده و با توجه به مقدار نتایج گزینه برتر انتخاب می‌شود.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1 Location of the region under study

پس از این‌که نتایج گزینه‌ها در جدول مشخص گردید، مجموع حاصل ضرب اعداد مربوط به هر یک از دو ویژگی بیانگر کمی تأثیر آن فعالیت بر تمام عوامل مورد بررسی خواهد بود (Sajjadi et al. 2017).

۳-۲- ماتریس ارزیابی سریع

این روش بر میانگین ارزش‌های نیمه کمی مبتنی بوده که در روابط (۱) تا (۳) بیان شده‌اند (Momeni, 2012). نمره دهی در این روش بر مبنای پنج معیار جداگانه است. معیارهای ارزیابی مهم به دو دسته تقسیم می‌شوند: معیار گروه A، معیارهای مهم برای تعیین وضعیت که به‌طور مجزا می‌توانند نمره به دست آمده را تغییر دهند. معیار گروه B، معیارهایی که برای وضعیت، ارزش‌گذاری می‌شوند. مقادیر هر گروه از این‌ها با استفاده از روابط ساده محاسبه می‌شوند که امکان رتبه‌دهی هر کدام از بخش‌ها را فراهم می‌کند. سیستم نمره‌دهی مطابق رابطه (۱) به ضرب ساده نمره‌های معیارهای گروه A نیاز دارد.

$$A_1 \times A_2 = AT \quad (1)$$

می‌شوند (Tahmiscioğlu et al. 2007). روش‌های ارزیابی اثرات ساخت سدها، سعی در اصلاح و نیز به حداقل رساندن پیامدهای منفی فعالیت‌های انسانی با استفاده از مجموعه اقدامات حفاظتی و اصلاحی دارند (Sajjadi et al. 2017; Taghavi et al. 2013; Sharif et al. 2016). وارنر و بروملی روش‌های ارزیابی پیامد فعالیت‌های یک طرح را به روش‌های ویژه، چک‌لیست، ماتریس، شبکه‌ها و روی هم‌گذاری نقشه‌ها تقسیم‌بندی کرده‌اند. روش ماتریس خود به ماتریس ساده، ماتریس گام‌به‌گام، ماتریس لئوپولد^۱، ماتریس مور^۲، ماتریس وزنی، ماتریس پترسون^۳ و ماتریس ارزیابی اثرات سریع^۴ تقسیم‌بندی می‌شود (Piri 2011). Hosseini and Ghannadzadeh (2018) برای مقایسه اثرات و پیامدهای دو گزینه اجرا و عدم اجرای سد چالیدره از روش ماتریس اصلاح شده استفاده کردند. نتایج نشان داد که بیشتر آثار منفی پروژه در مرحله ساخت بوده که با اجرای طرح‌های بهسازی قابل رفع است. در مرحله بهره‌برداری نیز آثار محیط‌زیستی در سطح خوب و متوسط، انجام پروژه را توجیه‌پذیر می‌سازد. در این پژوهش اثرات احداث سد فرخی قاین در محیط‌های فیزیکی، شیمیایی، فرهنگی، اقتصادی-اجتماعی به کمک روش‌های از نوع ماتریسی بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

سد مخزنی فرخی در ۴۱ کیلومتری شهر قائن در استان خراسان جنوبی و در نزدیکی روستای فرخی قرار دارد. وسعت حوزه آبخیز سد فرخی $38/3 \text{ km}^2$ است که حدود 190 ha از مناطق تحت کشاورزی را پوشش می‌دهد. حوزه آبخیز از سمت شمال به کوه‌های آبکوه، میکو، کمرمیز و کوه سیاه، از شرق به کوه‌های پاول، اشتاغول، چشمه ضربی و کوه سیاه، از طرف جنوب به کوه‌های سرگدار، ایچند و سرتخت و از سمت غرب به کوه‌های سیاهو، رول و وراز محدود می‌شود. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) آورده شده است.

۲-۲- ماتریس لئوپولد

روش ماتریس لئوپولد با ساختار ساده، قابلیت اجرای ارزیابی چند معیاره را داراست (Gholamalifard et al. 2014). در جمع‌بندی اثرات، میانگین اثرات مثبت و منفی برای هر

¹Leopold Matrix

²Moore Matrix

³Peterson Matrix

⁴Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM)

دسترس محیط زیست E بستگی و شرایط زندگی و بقای انسان را تضمین می نماید. ارزش محیط زیستی بر اساس رابطه (۵) تعیین می شود.

$$E(t) = \frac{\sum PC + \sum BE}{PC_{max} + BE_{max}} \quad (5)$$

که، PC: محیط فیزیکی-شیمیایی، BE: محیط بیولوژیکی، است. در ماتریس لئوپولد اصلاح شده فرآیند EIA بر روی اجزای محیط زیستی شامل: اجزای فیزیکی، شیمیایی، اجتماعی - اقتصادی و فرهنگی انجام شده است. لذا در این معادله محیط فیزیکی P جایگزین PC و محیط شیمیایی Ch جایگزین BE می شود (رابطه ۶).

$$H_{NI}(t) = \frac{(SC_{max} - \sum SC) + (EO_{max} - \sum EO)}{SC_{max} + EO_{max}} \quad (6)$$

که، SC محیط اجتماعی- فرهنگی و EO محیط اقتصادی- عملیاتی است. در صورتی که میزان H_{NI} (شرایط لازم برای زندگی و بقای انسان)، کمتر از میزان E (ارزش محیط زیستی) باشد، گزینه مورد بررسی پایدار و اگر بیشتر باشد، ناپایدار خواهد بود. ماتریس طراحی شده توسط کارشناسان اداره آب منطقه ای خراسان جنوبی تکمیل شد و میانگین امتیازهای کارشناسان، معیار ارزیابی قرار گرفت.

۳- یافته ها و بحث

۳-۱- ماتریس لئوپولد اصلاح شده

در این پژوهش، محاسبات با استفاده از ماتریس میانگین لئوپولد که در جدول (۱) آورده شده است و روشی که توسط Valizadeh and Shekari (2015) برای محاسبه عوامل محیط زیستی آمده است، انجام شد. همچنین دسته بندی عوامل محیط زیستی در جدول (۲) آورده شده است. در شکل (۲)، میانگین برآیند اثرات مثبت و منفی بر روی اجزا با استفاده از روش ماتریس لئوپولد نشان داده شده است و نتایج تأثیر جداگانه فاکتورهای محیط فیزیکی، اقتصادی - اجتماعی، شیمیایی و فرهنگی ارائه شده است. البته چنانچه مواردی مانند بناهای قدیمی، زیارتگاه ها، حذف معیشت مردم و بیکاری روستائینان، تبدیل معیشت از تولید کننده به خدمات یا مصرف کننده که در قسمت فرهنگی لحاظ شوند توجیه ساخت سد را کمتر می کند. این پژوهش بر اساس اطلاعات در دسترس نویسندگان صورت پذیرفته است.

نمرات معیارهای گروه B بر اساس رابطه (۲) با هم جمع می شود. این مورد این اطمینان را می دهد که اهمیت جمعی تمامی مقادیر گروه B به صورت کامل محاسبه می شود.

$$B_1 + B_2 + B_3 + B_4 = BT \quad (2)$$

سپس طبق رابطه (۳)، جمع نمرات گروه B با نتایج نمرات گروه A ضرب می شود تا ارزیابی نهایی صورت گیرد.

$$ES = AT \times BT \quad (3)$$

که، A_1 و A_2 امتیازهای جداگانه برای گروه A و نیز B_1 ، B_2 و B_3 امتیازهای جداگانه برای گروه B هستند. AT حاصل ضرب همه امتیازات گروه A، BT مجموع امتیازات گروه B و ES امتیاز ارزیابی به دست آمده برای شرایط مذکور است. اهمیت اثر (A_1)، مقیاسی برای بیان میزان اهمیت شرایط است. دامنه اثر (A_2)، به عنوان اندازه گیری میزان سود یا ضرر ناشی از شرایط تعریف می شود. مدت اثر (B_1) نشان دهنده دائمی یا موقت بودن شرایط است. برگشت پذیری (B_2) به نحوی تعریف می شود که شرایط قابل تغییر بوده و میزانی از کنترل روی اثر آن شرایط است. تجمعی بودن اثر (B_3)، بیانگر این است که عمل تأثیرگذار، اثر منفرد یا اثری تجمعی در طول زمان با سایر شرایط دارد. معیارهای تجمعی به معنی قضاوت در مورد پایداری سامانه ها است. عامل B_4 بر اساس اینکه منطقه هدف نسبت به تغییرات محیط زیستی بسیار حساس، حساس، بدون تغییر و یا نسبت به تغییرات پایدار برنامه ریزی شده است مشخص می شود. علامت اثرات را می توان با اعمال ارزش های مثبت و منفی به مرکزیت عدد صفر نشان داد. عدد صفر نشان دهنده تغییر بسیار کم اهمیت است (Komasi and Beiranvand 2019).

۲-۴- بررسی پایداری Mondal و Philips

بررسی پایداری بالقوه، عامل مهم در تصمیم گیری است. با انتخاب پایدارترین گزینه طبق رابطه های (۴) تا (۸)، نتایج آن با نتایج حاصل از ماتریس لئوپولد اصلاح شده مقایسه و بهترین گزینه تعیین می شود. (Phillips and Mondal 2014):

$$S(t) = E(t) - H_{NI}(t) \quad (4)$$

که، E: ارزش محیط زیستی، S: ضریب پایداری، H_{NI} نیازها و علایق انسان و t: زمان است. H_{NI} به منابع و خدمات در

جدول ۱- ماتریس میانگین لئوپولد
Table 1 Leopold average matrix

	Employment	Livestock	Agriculture	Property Value	Drinking Water	Water Pollution	Air Pollution	Noise	Soil Erosion	Land Degradation	Destruction of Pastures	Groundwater Level	Evaporation	Groundwater Quality	River Water Quality	Dam Sedimentation	Migration	Tourism	Population
Impact intensity	3	2.5	4.5	3	0	-1	-2	-0.5	-0.5	-1.5	-1.5	1	1	1	1	0.5	0	1.5	1.5
Impact importance	3	3	4	2.5	0	1.5	1	0.5	1	3	1	1.5	1.5	1	1.5	1.5	2.5	2.5	2.5

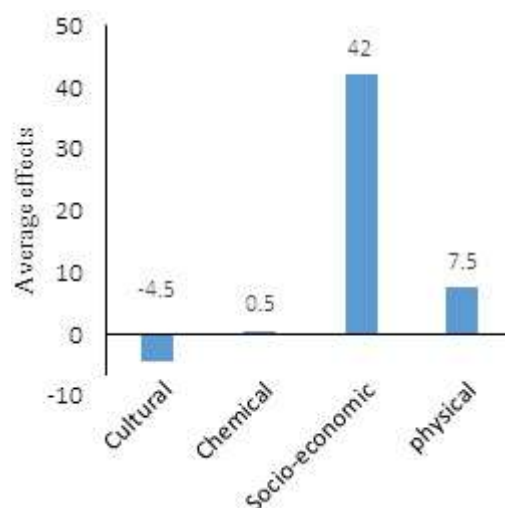
جدول ۲- دسته‌بندی متغیرهای زیست‌محیطی
Table 1 classification of environmental factors

Economic - Social	Cultural	Chemical	Physical
Employment	Migration	Water Pollution	Noise
Livestock	Tourism	Air Pollution	Soil Erosion
Agriculture	Population	Evaporation	Land Degradation
Property Value		River Water Quality	Destruction of Pastures
Drinking Water Supply		Groundwater Quality	Groundwater Level
			Reservoir Dam Sedimentation

لئوپولد اصلاح شده اثرات منفی دارد. ارزیابی آن‌ها بر منابع بیولوژیکی و در مرحله ساخت سد، افزایش آلودگی آب، خاک، هوا و صوت بود که این مورد با نتایج پژوهش حاضر تفاوت دارد. علت آن این است که اثرات ذکر شده در پژوهش حاضر در فاز بهره‌برداری بررسی شده و عامل‌های ذکر شده با مرور زمان خنثی یا مثبت ارزیابی شد.

۳-۲- ماتریس ارزیابی سریع

با توجه به ماتریس میانگین ارزیابی سریع که در جدول (۳) آمده است مقادیر ES، AT و BT بر اساس روابط (۱) تا (۳) محاسبه و ارزیابی نهایی (ES) برای اثرات با استفاده از روش ماتریس ارزیابی سریع انجام شد. بر این اساس، از میان کل ۱۹ اثر محیط‌زیستی موجود، ۱۱ مورد آن (حدود ۵۸٪) مثبت بود. استفاده از روش ارزیابی اثرات محیط‌زیستی با به‌کارگیری ماتریس ارزیابی سریع نیز نشان داد که قسمت اصلی اثرات مثبت سد فرخی، در مورد کشاورزی و بیشترین اثر منفی سد فرخی در زمینه‌ی تبخیر است. همچنین اثرات سد فرخی در زمینه آلودگی صوتی، تأمین آب شرب، آلودگی هوا، رسوب‌گذاری مخزن سد و مهاجرت با استفاده از روش ارزیابی سریع، خنثی است. با وجود آثار مثبت پروژه، بعضی اثرات منفی نیز مشاهده شد که حتماً باید مدنظر قرار گیرند.



شکل ۲- ارزیابی زیست‌محیطی سد فرخی با استفاده از روش ماتریس لئوپولد اصلاح شده

Fig. 2 Environmental assessment of Farrokhi dam using the modified Leopold matrix method

نتیجه بررسی با نتایج مطالعه (Ghaderi and Deymekar 2015) مقایسه شد. مشابه نتایج پژوهش حاضر، نتایج آن‌ها در محیط فیزیکی نشان داد که عملیات آماده‌سازی منطقه پایین‌دست اثرات منفی بر کیفیت آب سطحی و زیرزمینی، آلودگی خاک و فرسایش دارد. آن‌ها نشان دادند که اگرچه عامل کیفیت آب زیرزمینی در ماتریس ارزیابی سریع، مثبت ارزیابی شده است اما در مجموع، محیط فیزیکی در ماتریس

جدول ۳- ماتریس میانگین ارزیابی اثرات سریع
Table 3 Average matrix of Rapid Impact Assessment

	Employment	Livestock	Agriculture	Property Value	Drinking Water Supply	Water Pollution	Air Pollution	Noise	Soil Erosion	Land Degradation	Destruction of Pastures	Groundwater Level	Evaporation	Groundwater Quality	River Water Quality	Reservoir Dam Sedimentation	Migration	Tourism	Population
A ₁	2	2	2.5	1.5	0	1.5	0	0	2.5	1.5	1.5	2	1.5	2	0.5	1	1.5	2	1.5
A ₂	2	2	3	1	0	0.5	0	0	2.5	1.5	1.5	2	-1	1	0.5	0	0	2	1.5
B ₁	4	4	4	3	1.5	2	1	1	4	2.5	2.5	4	4	3.5	2.5	3.5	3	3.5	3.5
B ₂	3	4	4	3	0.5	2	0.5	0.5	4	2	2	3.5	2	2	1	3.5	2.5	2	3
B ₃	2.5	2.5	3	2	0.5	2	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2.5	2	1.5	2.5	2.5	2.5
B ₄	2	2	3	2	1	1.5	1.5	1	2	1.5	1.5	2	1.5	2	2	1.5	1.5	1.5	1.5
A _T	4	4	7.5	1.5	0	0.75	0	0	6.25	2.25	2.25	4	-1.5	2	0.25	0	0	4	2.25
B _T	11.5	12.5	14	10	3.5	7.5	3.5	3	11.5	7.5	7.5	11.5	9.5	10	7.5	10	9.5	9.5	10.5
E _S	46	50	105	15	0	5.63	0	0	71.9	16.9	16.9	46	-14	20	1.88	0	0	38	23.6

۲- پایدار بودن سد فرخی بر اساس روش Philips و Mondal تأییدی بر صحت نتایج ماتریس لئوپولد اصلاح شده است.

۳- احداث سد از طریق افزایش تبخیر تعرق و جلوگیری از نفوذ سیلاب به دشتهای و حاشیه رودخانه، در دراز مدت کمبود آب را تشدید خواهد کرد. لازم به ذکر است که برای ارزیابی جامع، متغیرهای بیشتری لازم است بررسی شود. بدون در نظر گرفتن تمامی آنها نمی‌توان نتیجه‌گیری کلی داشت. لذا نتایج اخذ شده در این پژوهش بر اساس تعداد پارامتر محدود، که اطلاعات آنها در اختیار بود، و نیز تنها برای سد فرخی بوده است.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل قابل ارسال می‌باشد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منفعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

- Ghaderi, A., & Deymekar, M. (2015). Environmental impacts assessment of Ghaen Farrokhi dam. Proc. 2015, 14th Iranian Hydraulic Conference, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Available: <https://civilica.com/doc/437929/> [In Persian].
- Ghandehari, G. (2010). Investigating the change in water quality due to the construction of dams. Proc. 11th National Seminar on

۳-۳- بررسی پایداری Mondal و Philips

در این پژوهش برای گزینه شرایط پس از احداث سد و بر اساس روابط (۴) تا (۶)، ارزش زیست‌محیطی، ۱/۶، میزان شرایط لازم برای زندگی و بقای انسان، ۱/۲۷- و در نهایت ضریب پایداری برابر با ۲/۸۷ محاسبه شد. همچنین نتایج حاصل از محاسبه پایداری با نتایج حاصل از ارزیابی اثرات محیط‌زیستی توسط ماتریس لئوپولد اصلاح‌شده مطابقت دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش پیامدهای فرهنگی، فیزیکی، شیمیایی و اجتماعی-اقتصادی پروژه سد فرخی با استفاده از دو روش ماتریس لئوپولد اصلاح‌شده و ارزیابی اثرات سریع مشخص و نتایج زیر حاصل شد:

- ۱- شرایط آب و هوایی خشک منطقه باعث شده است که استفاده از سد برای تأمین آب اراضی کشاورزی پایین‌دست مورد توجه قرار گیرد.

Irrigation and Evaporation Reduction, Kerman, Iran [In Persian].

- Gholamalifard, M., Mirzaei, M., Hatamimanesh, M., RiyahiBakhtiari, A., & Sadeghi, M. (2014). Application of rapid environmental impacts assessment matrix and Iranian matrix in environmental impact assessment of municipal solid waste landfill of Shahrekord.

- J. Shahrekord Univ. Med. Sci.*, 16(1), 31-46 [In Persian].
- Hosseini, A. A., & Ghannadzadeh, M. A. (2018). Environmental Assessment of Chalidare Dam Using the Leopold Matrix Method. *Proc. 2018, 13^{ed} Int. Symposium on Advances in Science and Technology: Sustainable Earth, Civil and Environmental Engineering, Mashhad, Iran* [In Persian].
- Komasi M. and Beiranvand B. (2019). Environmental impact assessment of the Eyvashan dam using the Leopold modified matrix and rapid impact assessment matrix (RIAM). *J. Res. Environ. Heal.*, 5(2), 133-143 [In Persian], DOI: [10.22038/jreh.2019.40232.1302](https://doi.org/10.22038/jreh.2019.40232.1302).
- Momeni, M. (2012). New topics in operations research, Iran, University of Tehran publication, 13-59 [In Persian].
- Phillips, J., & Mondal, M. K. (2014). Determining the sustainability of options for municipal solid waste disposal in Varanasi, India. *Sustain. Cities Soc.*, 10, 11-21, DOI: [10.1016/j.scs.2013.04.005](https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.04.005).
- Piri, H. (2011). Environmental impact assessment of Chah Nimeh Four construction in Zabol. *Town Country Plan.*, 3(5), 145-163 [In Persian].
- Sajjadi, S. A., Aliakbari, Z., Matlabi, M., Biglari, H., & Rasouli, S. S. (2017). Environmental impact assessment of Gonabad municipal waste landfill site using Leopold Matrix. *Electron. Phys.*, 9(2), 3714-3719, DOI: [10.19082/3714](https://doi.org/10.19082/3714).
- Sharif, M. R., Soltani, B., Moravveji, A., Erami, M. & Soltani, N. (2016). Prevalence and risk factors associated with extended spectrum beta lactamase producing escherichia coli and klebsiella pneumoniae isolates in hospitalized patients in Kashan (Iran). *Electron. Phys.*, 8(3), 2081-2087, DOI: [10.19082/2081](https://doi.org/10.19082/2081).
- Stott, R., & Smith, L. (2001). River recovery Project, restoring rivers and streams through dam decommissioning and modification. Outdoor Recreation Council of BC. 48 pp.
- Taghavi, S. M., Momenpour, M., Azarian, M., Ahmadian, M., Souri, F., Taghavi, S. A., Sadeghain, M., & Karchani, M. (2013). Effects of Nanoparticles on the Environment and Outdoor Workplaces. *Electron. Phys.*, 5(4), 706-712, DOI: [10.14661/2013.706-712](https://doi.org/10.14661/2013.706-712).
- Tahmisioglu, M. S., Anul, N., Ekmekçi, F., & Durmuş, N. (2007). Positive and negative impacts of dams on the environment. *Proc. Int. Congress on River Basin Management*, 759-769.
- Valizadeh, S., & Shekari, Z. (2015). Evaluation of Iranian Leopold matrix application in the environmental impact assessment (EIA) of solid waste management options in Birjand city. *J. Health Environ.*, 8(2), 249-262 [In Persian].
- Velayati, S., & Kamkar, M. (2008). The study of the effects of dams on the quality and quantity of underground water of detrital fan of the lowest area. *J. Geogr. Reg. Dev.*, 6(11), 167-185 [In Persian]. DOI: [10.22067/geography.v6i11.4284](https://doi.org/10.22067/geography.v6i11.4284).

How to cite this paper:

Mollazadeh, M. and Yousefi, Z. (2023). Investigating some consequences of Farrokhi Dam construction in Qaen City. *Environ. Water Eng.*, 9(4), 580-588. DOI: [10.22034/EWE.2023.375025.1830](https://doi.org/10.22034/EWE.2023.375025.1830)



Esteemed peer reviewers of Vol. 9, Issue 4 of "Environment and Water Engineering" journal

Name	Last Name	Researcher ID (ORCID)
Shadia	Mohammadi	0000-0002-0711-4305
Zahra	Karimi	-
Azita	Behbahaninia	0002-6568-5560
Atefeh	Chamani	0000-0002-9463-8579
Amir	Ghaderi	0000-0002-8661-6302
Seyed Mohammad	Tajbakhsh	0000-0002-2097-9944
samira	Sadri	0000-0003-0246-205X
Ali	Ghadami Firouzabadi	0000-0002-4391-887X
Rasoul	Mirabbasi	0000-0002-9897-0042
Saeed	Samadianfard	0000-0002-6876-7182
AbdulMajid	Liaqat	0000-0002-3224-6529
Mohammad Reza	Kothari	-
Ali	Arman	0000-0001-9427-2987
Behrooz	Yacoubi	0000-0002-4575-9200
Elham	Darvishi	0000-0001-8753-0423
Mohammad	Khosravi	0000-0001-6630-200X
Hamza Ali	Alizadeh	-
Soheil	Sobhan Ardakani	0000-0002-6038-0514
Raooof	Mostafazadeh	0000-0002-0401-0260
Mustafa	Goodarzi	0000-0002-0747-2356



List of the papers

Papers	Pages
In Vitro Evaluation of Antibacterial Effects of Aqueous and Alcoholic Extracts of Echinops dichorus L. on Escherichia coli Mahsa Salmanian; Arezoo Ghadi; Mazyar Sharifzadeh Baei	437-448
Habitat Classification of Maharlu Wetland Using MedWet Classification System Mehrdad Zamanpoore; Mojtaba Pakparvar; Ahmad Hatami; Atekeh Zahirian	449-466
Dynamic Analysis of Hydrological Drought using Constant Threshold Method and Vensim Software Monir Alishahi Chegeni; Shahla Paimozd; Mahdi Rahimi	467-484
Simulation and Determination of Hydrological Balance Components in The Upstream of Gheshlagh Dam Using SWAT Model Sonia Mehri; Hamid Reza Moradi; Raoof Mostafazadeh	485-498
Accuracy Evaluation of Methods for Determining Jet Trajectory Characteristics in Flip Bucket Eghbal Khorami; Mohammad Mehdi Heidari‏ Rasoul Ghobadian	499-514
Evaluation of Suitability Groundwater Quality for Agricultural, Drinking and Industrial Purposes (Case Study: South of Chaharmahal and Bakhtiari Province) Seyed Mohammadreza Hosseini Vardanjani; Mojtaba Khoshravesh; Marzieh Ghahreman; Masoud Naderi	515-531
Application of Support Vector Machine and Boosted Tree Algorithm for Rainfall-Runoff Modeling (Case Study: Tabriz Plain) Zeinab Bigdeli; Abolfazl Majnooni-Heris; Reza Delirhasannia; Sepideh Karimi	532-547
Comparative Evaluation of GLDAS, ESA CCI SM and SMAP Soil Moisture with in situ Measurements (Case Study: Lorestan Province) Abdolnabi Abdeh kolahchi; Morteza Miri; Mehran Zand; Jahangir Porhemmat	548-562
Calibration of SEBAL Surface Energy Balance Algorithm in Determining Evapotranspiration of Plains Affected by Flood Spreading (Qaracherian-Zanjan Province) Ghobad Rostamizad; Parviz Abdinejhad; Mojtaba Pakparvar; Mir Masoud Kherkhah Zarkesh	563-579
Investigating Some Consequences of Farrokhi Dam Construction in Qaen City Mahdi Mollazadeh; Zahra Yousefi	580-588





About the journal

The “**Environment and Water Engineering**” (EWE) journal is a quarterly publication with open access to full-text articles. It employs a double-blind peer review policy for evaluating articles and focuses on important and fundamental topics in environment and water engineering. The journal adheres to the principles and standards of the Committee on Publication Ethics (COPE) in reviewing and publishing scientific papers. All submitted articles are checked for originality using the Similarity Check software to ensure their authenticity. Subsequently, all articles are carefully evaluated by reputable and experienced reviewers. The journal publishes research paper, case studies, review papers, and short papers.

The objectives of EWE journal include

Creating and enhancing knowledge in the field of environment and water engineering

- Providing a platform for the exchange of knowledge and opinions on environmental issues and concerns related to water resource management
- Facilitating knowledge interaction in the specialized areas of environmental studies and water engineering
- Evaluating water resource management and creating a suitable platform for leveraging past experiences to improve current management practices
- Striving to elucidate the principles of sustainable development by introducing environmental components and principles of integrated water resource management

The thematic areas covered by this journal include, but are not limited to:

- Novel research focusing on providing scientific and practical solutions to improve environmental management and water resources
- Fundamental and applied research in all scientific and technical fields related to environmental management, water quality, and watershed management
- Innovative and traditional water management methods in agriculture under drought conditions
- Analysis of water consumption, pollution, and environmental hazards related to water pollution
- Integrated water resource management and watershed management
- Water management in agriculture and methods to enhance water efficiency
- Analysis of water-energy-food-environment interdependencies
- Climate change, water and environmental engineering, social hydrology, and river engineering
- Wastewater recycling, water harvesting, and water/wastewater treatment
- Waste management
- Application of new technologies and knowledge in solving environmental and water resource management issues



Environment and Water Engineering



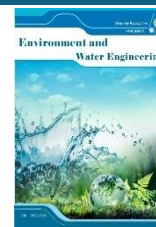
Environ. Water Eng., 9 (4), Spring, 2023

E- ISSN: 2476-3683



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



E-ISSN: 2476-3683

Volume 9, Issue 4, Winter 2023, pages: 437-588

Publisher:

Iranian Rainwater Catchment Systems Association

Director-in-Charge:

Behzad Shahmoradi (Journal Founder)

Editor-in-Chief:

Ata Amini (Journal Founder)

Chief of Editorial Board:

Meghdad Pirsaeheb (PhD)

Frequency:

Quarterly

Email:

infojewe@gmail.com

Homepage:

www.jewe.ir

Indexing and Abstracting



This journal follows the [Committee on Publication Ethics \(COPE\)](#) and complies with the highest ethical standards in accordance with ethical laws. All submitted manuscripts are checked for similarity through [Samim Noor](#) software to ensure their authenticity to be assured about its originality.

Quarterly Publications

www.jewe.ir



Environment and Water Engineering



ISSN 2476-3683