Razi University

Advanced Technologies in Water Efficiency

homepage:https://atwe.razi.ac.ir

Online ISSN:2783-4964

Evaluation of various irrigation management for the automation of the Sprinkler irrigation system

Raheleh Lorestani[1], Bahman Frahadi Bansouleh[2]✉, Gholam Hasan Sadeghi[3], Mahsa Rahmani[4]

[1] MS.c graduated of Irrigation and drainage, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: r.lorestani66@gmail.com

[2] Corresponding Author, Associate professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: bfarhadi2001@yahoo.com

[3] Ph.D student of Irrigation and drainage, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: hasangh2008@yahoo.com

[4] Ph.D graduated of Irrigation and drainage, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: mahsarahmani39@yahoo.com

ABSTRACT

Introduction

In Iran, pressurized irrigation systems cover a large area of agricultural land, but water use efficiency remains low because farmers tend to do deficit (over) - irrigation due to their lack of knowledge on crop water requirements. To address this issue, irrigation systems can be automated, and it is important to estimate crop water requirements accurately. This can be done based on soil moisture deficit or meteorological data. The water required can then be applied using a volume meter or by determining irrigation time based on sprinkler flow rate. The study aimed to compare crop water requirement estimates based on soil moisture deficit and meteorological data, as well as the amount of water applied using volume and time-based methods.

Methodology

The study was conducted in the research farm of Razi University, Kermanshah, Iran, on a sprinkler irrigation system equipped with pressure and flow measuring devices, pressure switches, and electrical valves. The field was under corn cultivation, and four types of irrigation management were evaluated, which included a combination of two methods of determining crop water requirement (soil moisture deficiency and meteorological data) and two methods of irrigation application (time or volume). The four treatments were soil moisture - time (MT), soil moisture - volume (MV), weather - time (WT), and weather - volume (WV). The crop water requirement was calculated using the Penman-Monteith formula based on daily weather data. Soil moisture was measured at different depths one day before irrigation, and the soil moisture deficit was calculated to determine the crop water requirement based on soil moisture. The irrigation volume for each sprinkler in the irrigation cycle was calculated using equations 1 and 2.

$$V = \sum_{i=1}^{n} ETc_i * \frac{S_m * S_l}{e_a} \quad \text{Method 1: Based on meteorological data} \tag{1}$$

$$V = \frac{d * S_m * S_l}{e_a} \quad \text{Method 2: Based on soil moisture deficiency} \tag{2}$$

where V is the irrigation volume, d is the water deficit depth in the root zone, n is the number of days after the previous irrigation, and Sm and Sl are the distance between the laterals and sprinklers respectively (21 m * 21m), and e_a is the irrigation application efficiency (0.8).

In the volumetric-based method (treatments WV and MV), the volume of water applied was measured using a water meter with a precision of 0.1 liters, and irrigation was stopped after passing the required volume of water. In the time-based method (treatments WT and MT), the irrigation time was calculated by dividing the irrigation volume by the average flow rate of the sprinklers (3 liters per second), and irrigation was stopped after the calculated duration. The actual sprinkler flow rate was calculated based on the volume of applied water and irrigation time in each treatment and irrigation round. Crop yield was measured at the time of harvest in the studied treatments and a control treatment managed by the Faculty of Agriculture. The irrigation treatments were not applied in the first month of the growth period due to field limitations.

Results and discussion

The results show that the crop water requirement calculated based on meteorological data at the beginning and end of the growing period was more than the method based on soil moisture. In total, the amount of crop water requirement calculated based on soil moisture was 8% more than meteorological based method. The volume of applied water in treatments of MT and WT was 14 and 8% more than in MV and WV treatments, respectively.

The actual flow rate of sprinklers was different from the design flow rate due to irrigation situations in other parts of the farm. The average discharge of sprinklers (12 irrigation events) in WT, MT, WV, and MV treatments was 2.79, 3.03, 3.27, and 3.12 l/s, respectively. The irrigation time in volume and time-based methods also showed a significant difference. The irrigation time in MT and MV treatments was 10 and 18% longer than in WT and WV treatments, respectively. The final grain yield, applied water, and crop water productivity (based on the treatment application period) are presented in Table 1.

Table 1. Grain yield, applied water, and crop water productivity

Parameter	Unit	Treatment				
		MT	MV	WT	WV	Control
Grain Yield	$Kg.ha^{-1}$	10770	10654	10036	8615	7828
Applied water	$m^3.ha^{-1}$	8332	7328	7082	6540	N. A.
Crop water productivity	$Kg.m^{-3}$	1.29	1.45	1.42	1.32	N.A.

Conclusions

The study found that due to the non-uniformity of sprinkler discharge, applying irrigation by volume method is better than the time-based method. The results suggest that the MV treatment, which determined the amount of irrigation based on soil moisture deficit and applied it using a volumetric method, is a suitable option for automating sprinkler irrigation systems in the studied region.

Keywords: Maize, Meteorology, Pressurized irrigation, Soil moisture, Water requirement**.**

Article Type: Research Article
Article history: Received: 30 May 2023 **Revised:** 28 July 2023 **Accepted:** 25 September 2023 **ePublished:** 15 December 2023

Cite this article: Lorestani, R., Farhadi Bansouleh, B., Sadeghi, GH.H., & Rahmani, M. (2023). Evaluation of various irrigation management for the automation of the Sprinkler irrigation system, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 3(2), 1-19. DOI: 10.22126/ATWE.2023.9310.1055

Publisher: Razi University
© The Author(s).

فناوری های پیشرفته در بهره وری آب
وبگاه نشریه: https://atwe.razi.ac.ir شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۹۶۴

ارزیابی مدیریت‌های مختلف آبیاری به‌منظور هوشمندسازی سامانه آبیاری بارانی

راحله لرستانی [۱]، بهمن فرهادی بانسوله [۲]✉ ، غلامحسن صادقی [۳] ، مهسا رحمانی [۴]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: r.lorestani66@gmail.com
[۲] نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: bfarhadi2001@yahoo.com
[۳] دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: hasangh2008@yahoo.com
[۴] دانش آموخته دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: mahsarahmani39@yahoo.com

چکیده

یکی از مسائلی که در بخش کشاورزی امروزه به نیازی مهم تبدیل شده، هوشمندسازی سامانه‌های آبیاری (تحت‌فشار) است. مقدار نیاز آبی و نحوه اعمال آن از جمله مباحث مهم در این موضوع است. هدف این مطالعه، مقایسه مقدار آب موردنیاز تعیین شده بر اساس داده‌های رطوبت خاک و هواشناسی و همچنین مقایسه مقادیر آب اعمال شده بر اساس روش‌های حجمی و زمانی است. برای این منظور، چهار نوع مدیریت آبیاری که شامل ترکیبی از دو روش تعیین نیاز آبی (کمبود رطوبتی خاک و داده‌های هواشناسی) و دو روش اعمال آبیاری (زمانی یا حجمی) بود، در یک سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در یک مزرعه ذرت، مورد ارزیابی قرار گرفتند. این چهار تیمار عبارت بودند از: کمبود رطوبتی خاک– زمانی (MT)، کمبود رطوبتی خاک– حجمی (MV)، هواشناسی– زمانی (WT) و هواشناسی– حجمی (WV). نتایج نشان داد که مقدار آبیاری در تیمارهای موردمطالعه با یکدیگر متفاوت بود. حجم آب کاربردی در تیمارهای مبتنی بر زمان (MT و WT) به ترتیب ۱۴ و ۸ درصد بیشتر از تیمارهای حجمی (MV و WV) بود. در بیشتر موارد، دبی آبپاش‌ها با دبی طراحی اختلاف داشت و اختلاف زیادی بین دبی آبپاش‌ها مشاهده شد. باتوجه‌به غیریکنواختی نسبتاً بالای دبی آبپاش‌ها در نقاط مختلف مزرعه، اعمال آبیاری به روش زمانی پیشنهاد نمی‌گردد. در نهایت تیمار MV که در آن میزان آبیاری بر اساس کمبود رطوبتی خاک تعیین و با روش حجمی اعمال شده بود به‌عنوان روش مناسب جهت سامانه آبیاری در مزرعه مورد بررسی، پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تحت‌فشار، ذرت، رطوبت خاک، نیاز آبی، هواشناسی.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی
سابقه مقاله: دریافت: ۰۹ خرداد ۱۴۰۲ **اصلاح:** ۰۶ مرداد ۱۴۰۲ **پذیرش:** ۰۳ مهر ۱۴۰۲ **چاپ الکترونیکی:** ۲۴ آذر ۱۴۰۲

استناد: لرستانی، ر.، فرهادی بانسوله، ب.، صادقی، غ.ح.، و رحمانی، م. (۱۴۰۲). ارزیابی مدیریت های مختلف آبیاری به‌منظور هوشمندسازی سامانه آبیاری بارانی، *فناوری های پیشرفته در بهره وری آب*، ۳(۲)، ۱۹-۱، شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2023.9310.1055

CC BY NC
© نویسندگان.
ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

باتوجه‌به این‌که بیشتر مناطق ایران در قسمت خشک و نیمه‌خشک دنیا قرار گرفته و ازآنجایی‌که منابع تولید از جمله آب‌های شیرین، ناکافی و محدود هستند و نهاده‌ها (نیروی کار، منابع انرژی، مواد و کودهای شیمیایی) گران‌تر می‌شوند، لذا به‌کارگیری روش‌های مناسب باهدف بهبود و افزایش بهره‌وری مصرف آب، ضروری به نظر می‌رسد. یکی از راهکارهای افزایش بهره‌وری در سامانه‌های آبیاری، استفاده از سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار است. در تحقیقی انواع سامانه‌های آبیاری مانند آبیاری سطحی، آبیاری زیرسطحی، آبیاری قطره‌ای و آبیاری هوشمند ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که بین سامانه آبیاری خودکار و سامانه آبیاری دستی تفاوت بوده و سامانه آبیاری خودکار با استفاده از مقدار آب کمتری در مقایسه با سامانه آبیاری دستی، عملکرد بالاتری را برای محصولات می‌دهد و مزایای آن عبارت از استفاده آسان، نصب آسان، مشاهده و نگهداری آسان است (سابل و همکاران[1]، ۲۰۱۹). آبیاری هوشمند می‌تواند به دستیابی به استفاده بهینه از آب در کشاورزی با استفاده از فناوری دیجیتال در دسترس کمک کند (ناجی و همکاران[2]، ۲۰۲۱.، تویل و همکاران[3]، ۲۰۲۲). میزان آب موردنیاز گیاهان در دوره رشد متغیر است و به پارامترهای هواشناسی، خصوصیات گیاه، وضعیت رطوبتی خاک و مرحله رشد گیاه بستگی دارد. علی‌رغم اینکه در منابع علمی روش‌های مختلفی برای تعیین نیاز آبی گیاهان وجود دارد؛ ولی کشاورزان به‌عنوان بهره‌برداران سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار از این روابط اطلاع چندانی ندارند. یکی از راهکارهای جبران این ضعف، هوشمندسازی سامانه‌های آبیاری است. روش برآورد نیاز آبی و نحوه اعمال مقدار آب برآورد شده توسط سامانه آبیاری از جمله مواردی است که در بحث هوشمندسازی سامانه‌های آبیاری بایستی به آن توجه نمود. مقدار آب موردنیاز گیاه معمولاً بر اساس اندازه‌گیری رطوبت خاک در منطقه ریشه و یا بر اساس داده‌های هواشناسی تعیین می‌شود. نیاز آبی گیاه به مقدار آبی گفته می‌شود که باید از طریق آبیاری به زمین داده شود تا گیاه با حداکثر توان خود رشد نموده و تولید محصول نماید (علیزاده، ۱۳۸۴). این پارامتر توسط عوامل مختلفی از جمله اقلیم و متغیرهای هواشناسی، رطوبت خاک، نوع گیاه و سامانه آبیاری تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد و پارامترهای آب‌وهوایی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر آن است (براتی و همکاران، ۱۳۹۷). تأثیر اقلیم بر نیاز آبی گیاهان به شکل تبخیر و تعرق بروز می‌کند؛ بنابراین اطلاع از میزان تبخیر و تعرق در یک منطقه جهت بهره‌برداری مطلوب از منابع آب موضوعی مهم است (سیلوا و همکاران [4]، ۲۰۱۰).

طراحی سامانه‌های آبیاری (تحت‌فشار) معمولاً بر اساس میانگین آمار طولانی‌مدت (۳۰ساله) هواشناسی و اطلاعات کلی در مورد گیاه، خاک و آب صورت می‌گیرد. این در حالی است که در دوران بهره‌برداری پارامترهای هواشناسی در سال‌های مختلف متفاوت بوده و این تفاوت، نیاز آبی متفاوتی را سبب می‌شود. رعایت‌نکردن اصول آبیاری که شناخت شرایط مزرعه از لحاظ میزان آب موردنیاز را می‌طلبد موجب بیش‌آبیاری و یا کم آبیاری و در نتیجه کاهش بهره‌وری مصرف آب می‌گردد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹). از طرف دیگر خطاهای انسانی ناشی از عملکرد اشتباه آبیار و یا تأخیر در انجام اقدامات لازم، از مواردی هستند که باعث کاهش بهره‌وری سامانه‌های آبیاری می‌شوند.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

نتایج کارهای پژوهشی محققان بیانگر کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری مصرف آن در صورت برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس نیاز آبی (طبق داده‌های به هنگام در مزرعه) است. تحقیقات مربوط به تعیین نیاز آبی گیاهان بیش از یک قرن است که شروع شده و کماکان ادامه دارد. آلن و همکاران [5] (۱۹۹۱) ضمن مقایسه ۲۰ روش محاسبه تبخیر و تعرق، از روش پنمن مانتیث به‌عنوان روش برتر نام‌برده و متوسط خطای این روش را یک درصد اعلام نمودند. میرموسوی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقات خود پنج روش محاسبه تبخیر و تعرق (پنمن مانتیث – فائو، ترنت وایت، بلانی کریدل اصلاح شده، هارگریوز و پنمن اصلاح شده) بر روی اطلاعات هواشناسی پنج ایستگاه منتخب در استان کرمانشاه مورد بررسی قرار دادند و نتایج آنها نشان داد از بین پنج روش مذکور، روش پنمن مانتیث – فائو برآورد دقیق‌تری ارائه داده است. رحمان و همکاران [6] (۲۰۱۴) گزارش کردند که در شرایط برآورد نیاز آبی با استفاده از داده‌های به هنگام هواشناسی مزرعه، کارایی مصرف آب در باغ‌های زردآلو افزایش یافته است. علیزاده و همکاران (۱۳۸۹) میزان مصرف آب آبیاری و تأثیر آن بر کارایی مصرف

---

[1] Sable et al
[2] Naji et al
[3] Touil et al
[4] Silva et al
[5] Allen et al
[6] Rehman et al

آب ذرت علوفه‌ای در منطقه کرج را در سه وضعیت که در آن‌ها میزان آبیاری بر اساس ۱) داده‌های به‌هنگام هواشناسی مزرعه، ۲) داده‌های به‌هنگام ایستگاه هواشناسی خارج از مزرعه و ۳) داده‌های میانگین هواشناسی منطقه محاسبه گردید بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که بین داده‌های هواشناسی (دما، رطوبت نسبی و سرعت باد) در سه شرایط مورد بررسی تفاوت وجود دارد. در وضعیتی که مقدار آب آبیاری بر اساس داده‌های هواشناسی به‌هنگام داخل مزرعه صورت گرفت، مصرف آب در هر هکتار ذرت ۶۸۳۸ مترمکعب و مقدار تولید ۷۸ تن و بنابراین کارایی مصرف آب ۱۱/۴ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. حال‌آنکه این ارقام در شرایطی که مقدار آبیاری بر اساس داده‌های به‌هنگام ایستگاه هواشناسی غیرکشاورزی خارج از مزرعه که در فاصله ۴ کیلومتری مزرعه آزمایشی واقع بود صورت گرفت، به ترتیب ۷۶۴۰، ۷۸/۲ و ۱۰/۲ و در شرایطی که از آمار میانگین ۲۰ساله هواشناسی برای آبیاری مزرعه استفاده گردید به ترتیب ۹۳۵۰، ۷۹/۹ و ۸/۵ به دست آمد. بر اساس نتایج این مطالعه، در صورت اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی در مزرعه و انجام آبیاری بر اساس آن‌ها کارایی مصرف آب نسبت به وضعیتی که از داده‌های میانگین هواشناسی منطقه استفاده شود ۲۷٪ افزایش پیدا می‌کند. کمپ و همکاران [1] (۱۹۸۵) روش مناسب مدیریت آبیاری را کنترل نیم‌رخ رطوبتی خاک بیان کردند. ادیسون [2] (۲۰۱۱) سیستم کنترل هوشمند آبیاری را با استفاده از حسگر رطوبت‌سنج خاک طراحی نمود. این سیستم باتوجه‌به رطوبت حجمی خاک که توسط حسگر مربوطه اندازه‌گیری می‌شد نیاز آبی گیاه را مشخص و آبیاری را انجام می‌داد که نتایج حاکی از بازدهی بالای این سامانه بود. با اجرای این طرح بیش از ۵ درصد در مدیریت زمان و انرژی نسبت به شرایط دیگر افزایش راندمان ایجاد شد. کامپوس و همکاران [3] (۲۰۰۳) در آزمایشی که برای بهبود مقاومت به خشکی روی محصول ذرت انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که ذرت در مرحله گل‌دهی و گرده‌افشانی بیشتر به خشکی حساس است. آن‌ها گزارش کردند که عملکرد در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی، همبستگی بسیار قوی با تعداد دانه در هر بلال دارد که همه این نتایج ضرورت آبیاری به‌موقع و به‌هنگام را هم در کاهش مصرف آب و هم جلوگیری از آسیب به کشت بیان کردند. تورس و همکاران [4] (۲۰۱۰) اعلام کردند پیش‌بینی حجم بهینه آبیاری امری ضروری برای توسعه سامانه مدیریت توزیع و تحویل آبیاری است و مهم‌ترین بخش پیش‌بینی رژیم آبیاری این است که ساده، واقعی و نزدیک به نیاز آبی گیاه باشد. سعیدالذاکرین و همکاران (۱۳۹۸) ۱۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب فضای سبز پارک رازی واقع در منطقه ۱۱ تهران را در اثر استفاده از هوشمندسازی سامانه آبیاری گزارش کردند. ابول پور و همکاران (۱۴۰۰) عملکرد یک سامانه هوشمند آبیاری را با روش سنتی و روش مبتنی بر داده‌های هواشناسی در قالب یک طرح آزمایشی مقایسه کردند. نتایج این آزمایش که در زرقان استان فارس انجام گرفت بیانگر کاهش ۲۷ درصدی در مصرف آب چغندرقند نسبت به روش سنتی بود.

باتوجه‌به آنکه سهم عمده‌ای از منابع محدود آب کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد، لذا سیاست‌گذاری برای مدیریت بهینه مصرف آب امری ضروری بوده و به همین دلیل تحقیقات اخیر محققان به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف آب، افزایش بازده آبیاری و بهره‌وری مصرف آب و به سمت هوشمندسازی (سامانه‌های خودکار آبیاری و آبیاری دقیق) سوق پیدا کرده است. علی‌رغم اهمیت موضوع تاکنون از این روش‌ها در کشور در سطح وسیع استفاده نشده و بیشتر در سطح پروژه‌های کوچک و تحقیقاتی بررسی شده‌اند (پورغلام آمیجی، ۱۳۹۹). آنچه از سامانه خودکار آبیاری نسبت به روش‌های سنتی آبیاری انتظار می‌رود، کاهش مصرف آب به‌شرط عدم کاهش راندمان تولید محصول است. این تحقیق در استان کرمانشاه که یکی از استان‌های مستعد کشاورزی بوده و در سالیان اخیر هم‌زمان با سایر استان‌های کشور سطح تحت پوشش سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار در این استان افزایش چشمگیری یافته است، انجام شده است. باتوجه‌به شرایط اقتصادی– اجتماعی موجود در منطقه، سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت – آبپاش متحرک رایج‌ترین سامانه آبیاری بارانی در استان هست. بررسی‌های میدانی انجام شده روی سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار استان بیانگر این است که عدم مدیریت و بهره‌برداری صحیح از این سامانه‌ها، از عوامل اصلی کاهش بازده این سامانه نسبت به اهداف مورد انتظار است. در یک سامانه آبیاری بهینه، گیاه باید به‌اندازه نیاز آبیاری شود، اما این‌که کشاورز متوجه شود که چه میزان و چه زمانی گیاه نیاز به آبیاری دارد همواره مورد سؤال است. ذرت یکی از گیاهان با مصرف نسبتاً زیاد آب است که باتوجه‌به درآمدزایی نسبتاً خوب آن در استان کرمانشاه و خیلی از مناطق کشور کشت می‌گردد. هدف از انجام مطالعه کنونی ارزیابی برخی از مدیریت‌های آبیاری قابل‌استفاده برای آبیاری هوشمند بوده است. در این پژوهش یک سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت – آبپاش متحرک تحت چهار مدیریت آبیاری که ترکیبی از دو روش برآورد نیاز آبی (کمبود رطوبتی خاک و داده‌های ایستگاه هواشناسی) و دو روش اعمال آبیاری (حجمی و زمانی) بود در مزرعه تحت کشت ذرت ارزیابی شد.

[1] Camp et al
[2] Edison
[3] Camposeo et al
[4] Torres et al

روش پژوهش

تحقیق حاضر بر روی یک سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت – آبپاش متحرک مجهز به وسایل اندازه‌گیری فشار و دبی، در مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی آب پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی، با موقعیت طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا انجام گردید. این مزرعه که مساحت آن ۴/۸ هکتار است مجهز به سوئیچ فشاری، شیر برقی، کنتور آب و فشارسنج در ابتدای تعدادی از بال‌های آبیاری هست. در این مزرعه، فاصله بین بال‌های آبیاری و همچنین فاصله بین آبپاش‌ها ۲۱ متر، لوله‌های اصلی و بال‌های آبیاری از جنس پلی‌اتیلن و به ترتیب با قطرهای ۱۶۰ و ۶۳ میلی‌متر هست. در اوایل دوره رشد از رایزرهای یک‌متری و از اواسط دوره رشد از رایزرهای دو متری که روی یک پایه نگهدارنده قرار گرفتند، استفاده شد. البته در این تحقیق تنها یک قطعه از مزرعه به مساحت ۱/۶ هکتار (۱۲۶ در ۱۲۶ متر)، به‌صورت کنترل‌شده و باقی‌مانده آن توسط آبیار مزرعه به‌صورت معمول آبیاری گردید. به‌منظور آبیاری گیاه ذرت، آبپاش‌های موجود با استفاده از سامانه اتوماسیون مبتنی بر وب (مانشتی و همکاران[1]، ۲۰۱۳) که قادر است توسط سامانه وایرلسی (بی‌سیم) کنترل شود، فعال و غیرفعال (خاموش و روشن) می‌شدند.

در خروجی ایستگاه پمپاژ علاوه بر بای‌پس یک سوئیچ فشاری قرار داشت و به‌گونه‌ای تنظیم شده بود که اگر فشار از مقدار مشخصی بیشتر یا کمتر شود ایستگاه پمپاژ خاموش می‌شد. طبق برنامه‌ریزی‌های صورت‌گرفته در زمان اعمال تیمارهای موردمطالعه ۹ آبپاش به‌صورت هم‌زمان در حال کار بودند که ۶ آبپاش در تیمارهای مورد آزمایش و ۳ آبپاش اضافی در خطوط ۷، ۸ و ۹ (خارج از تیمارها) مستقر گردیدند. ضمناً در زمان جابه‌جایی آبپاش‌ها، جریان آب به ۳ آبپاشی که قرار بود جابه‌جا شوند قطع و موقتاً ۳ آبپاش اضافی بر روی خطوط ۷، ۸ و ۹ فعال می‌شدند (به‌منظور جلوگیری از بالارفتن فشار و خاموش‌شدن ایستگاه پمپاژ) و بعد از استقرار آبپاش‌ها در محل جدید، جریان در آبپاش‌های اضافی قطع گردید.

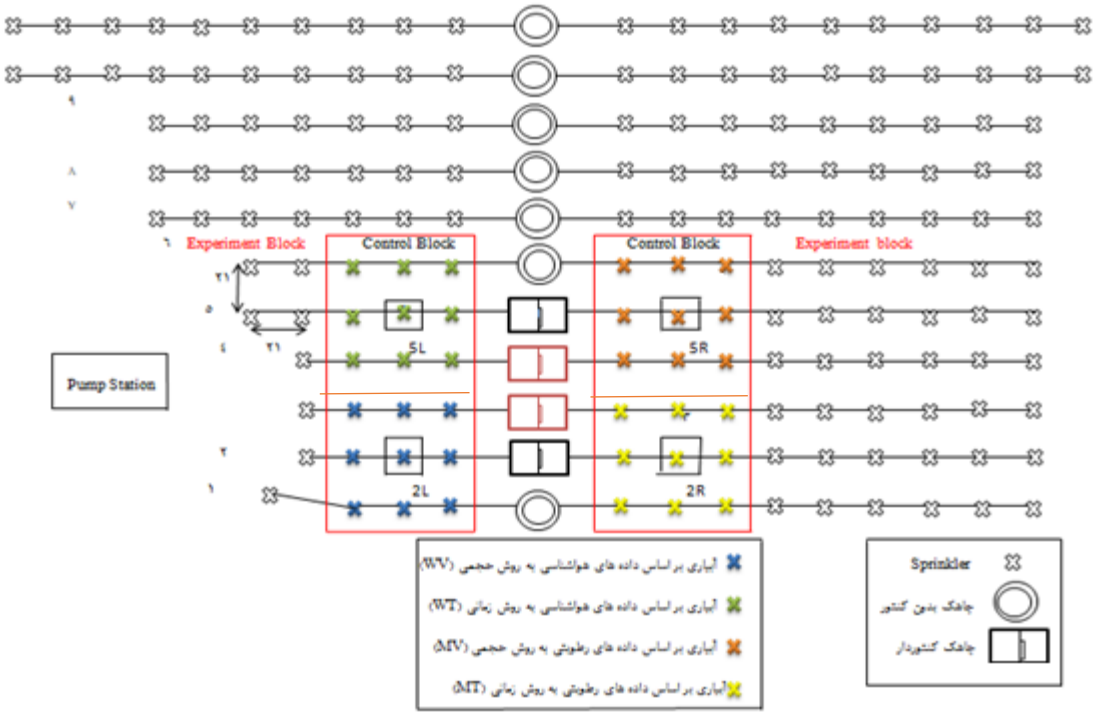
مشخصات طرح آزمایشی

بخشی از مزرعه که مجهز به وسایل اندازه‌گیری دبی و فشار بود، به چهار ناحیه تقسیم گردید و در شکل (۱) نشان داده شده است. در هر ناحیه یکی از تیمارهای آبیاری اعمال گردید. هر تیمار شامل محدوده تحت پوشش ۹ آبپاش بود. نیاز آبی در دو ناحیه بر اساس داده‌های هواشناسی (تیمارهای ۱ و ۲) و در دو ناحیه بر اساس داده‌های رطوبتی خاک (تیمارهای ۳ و ۴) تعیین شد. آبپاش‌های بکار رفته در این سامانه مدل Komet163 تنظیمی با قطر نازل ۱۲ بودند. بعد از تعیین نیاز آبی در دور آبیاری (نحوه محاسبه در ادامه توضیح داده شده است)، حجم آب مورد نیاز برای آبیاری محاسبه گردید. در تیمارهای ۱ و ۳ بعد از عبور حجم آب محاسبه شده، آبیاری قطع می شد اما در تیمارهای ۲ و ۴ زمان آبیاری از تقسیم حجم آب مورد نیاز بر دبی متوسط آبپاش‌ها (۳ لیتر درثانیه) محاسبه گردید و بعد از زمان مشخص شده آبیاری قطع شد. مشخصات تیمارهای آزمایشی در جدول (۱) ارائه‌شده است. پلان مزرعه به همراه جانمایی طرح آزمایشی در شکل (۱) نشان داده شده است. در بخش‌های دیگر مزرعه نیز ذرت کشت گردیده بود که آبیاری این بخش‌ها تحت مدیریت مزرعه بود و عملکرد آن به‌عنوان عملکرد شاهد جهت مقایسه با تیمارهای مورد مطالعه در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که عملیات کاشت در تاریخ ۲۰ اردیبهشت انجام گرفت و یک ماه اول دوره رشد تمام تیمارها همانند بقیه قسمت‌های مزرعه (خارج از طرح) و به طور یکسان آبیاری شدند. تیمارهای آبیاری در بازه زمانی ۲۳ خرداد تا ۱۶ شهریور اعمال گردیدند.

جدول ۱. مشخصات تیمارهای آزمایشی

تیمار	شماره بال	نماد	روش اعمال آبیاری	روش برآورد نیاز آبی
۱	2 L	WV	حجمی	هواشناسی
۲	5 L	WT	زمانی	هواشناسی
۳	5 R	MV	حجمی	رطوبت خاک
٤	2 R	MT	زمانی	رطوبت خاک

[1] Manashti et al



شکل ۱. موقعیت تیمارهای آزمایشی و آبپاش‌ها در مزرعه

خصوصیات خاک و آب منطقه موردمطالعه

برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی خاک نمونه‌هایی از خاک مزرعه از اعماق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری روی مسیرهای ۲ و ۵ برداشت برداشت و به آزمایشگاه منتقل گردید. بافت خاک در آزمایشگاه به روش هیدرومتری تعیین گردید. با توجه به مقادیر رس، سیلت، شن و ماده آلی خاک مقادیر رطوبت حجمی خاک در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دایمی برآورد گردید و در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به جدول (۳) آب موردنیاز این سامانه از یک حلقه چاه تأمین گردید که از نظر کیفیت باتوجه‌به مشخصات شیمیایی در کلاس C3S1 قرار داشت.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک در مزرعه مورد مطالعه

شماره بال آبیاری	عمق (سانتی‌متر)	بافت	رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی	رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی دایمی
۲	۳۰ - ۰	سیلتی لومی	۳۵	۱۵
	۶۰ - ۳۰	لوم رسی شنی	۳۸	۲۲
	۹۰ - ۶۰	سیلتی لومی	۳۳	۱۷
۵	۳۰ - ۰	سیلتی لومی	۳۳	۱۴
	۶۰ - ۳۰	سیلتی رسی	۴۳	۳۰
	۹۰ - ۶۰	سیلتی رسی	۴۳	۳۰

جدول ۳ – خصوصیات کیفی آب مورد استفاده

هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	کل جامدات محلول (*ppm*)	اسیدیته	طبقه بندی	غلظت (میلی اکی والانت درلیتر)					
				کربنات	بی کربنات	کلر	سولفات	سدیم	مجموع منیزیم و کلسیم
۰/۹۸	۹۲۵	۷/۴	*C3-S1*	۰	۶/۶	۲/۹	۱/۱۱	۰/۸۱	۹/۸

محاسبه نیاز آبی بر اساس داده‌های هواشناسی

به‌منظور تخمین نیاز آبی گیاه (ETc) از داده‌های ایستگاه هواشناسی خودکار واقع در اراضی ایستگاه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی استفاده شد. داده‌های این ایستگاه هواشناسی به‌صورت ساعتی در سامانه اینترنتی www.fieldclimate.com ذخیره می‌گردد. میانگین پارامترهای هواشناسی در ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی (نزدیک مزرعه مورد مطالعه) در جدول (۴) گزارش شده است. در این سامانه مقدار تبخیر – تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ETo) به‌صورت روزانه بر اساس فرمول پنمن مانتیث (آلن و همکاران، [1] ۱۹۹۱) محاسبه می‌شود. جهت محاسبات مربوط به برآورد نیاز آبی در رابطه (۱) طول مراحل چهارگانه و ضرایب گیاهی ذرت از سند ملی آب کشور برای دشت کرمانشاه استخراج و در سامانه وارد شد.

$$ETc = Kc * ETo \quad (۱)$$

که در آن ETc: تبخیر– تعرق پتانسیل گیاه زراعی (میلی‌متر بر روز)، ETo: تبخیر– تعرق پتانسیل گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز) و Kc: ضریب گیاهی هست. باتوجه‌به اینکه در زمان اعمال تیمارهای آبیاری بارندگی وجود نداشت مقدار نیاز آبی و ETc با هم برابر در نظر گرفته شد. حجم آب موردنیاز برای آبیاری توسط هر آبپاش در دور آبیاری با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$V = \sum_{i=1}^{n} ETc_i * \frac{S_m * S_l}{e_a} \quad (۲)$$

که دراین‌رابطه، V حجم آب آبیاری، n شماره روز بعد از آبیاری قبلی، S_m و S_l فاصله بین بال‌های آبیاری و فاصله بین آبپاش‌ها روی بال آبیاری که در این پروژه ۲۱ متر بود و e_a راندمان کاربرد آبیاری بر مبنای دفترچه طرح ۸۰ درصد (۰/۸) در نظر گرفته شد.

جدول ۴ – میانگین پارامترهای هواشناسی در زمان انجام مطالعه

ماه	دمای متوسط (درجه سانتی‌گراد)	رطوبت نسبی (٪)	سرعت باد (متر بر ثانیه) در ارتفاع ۲ متری	تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (میلیمتر در روز)
خرداد	۲۵/۶	۱۹/۷	۱/۴	۶/۴
تیر	۲۸/۰	۱۸/۳	۱/۲	۶/۱
مرداد	۲۸/۸	۱۸/۰	۱/۱	۵/۸
شهریور	۲۵/۴	۲۴/۹	۰/۹	۴/۷

[1] Allen et al

محاسبه نیاز آبی بر اساس رطوبت خاک

در این روش یک روز قبل از آبیاری رطوبت خاک بین آبپاش‌های ۲ و ۳ روی بال آبیاری (تیمارهای مبتنی بر رطوبت خاک) به روش وزنی در اعماق ۱۵، ۴۵ و ۷۵ سانتی‌متری اندازه‌گیری و کمبود رطوبتی خاک تا عمق ریشه طبق رابطه (۳) محاسبه گردید.

$$d = \sum_{i=1}^{3} \left((FC - \theta) \times D \times A_s \right)_i \qquad (۳)$$

که در آن d: کمبود رطوبتی خاک، FC: رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی، θ: رطوبت وزنی خاک، A_s: جرم مخصوص ظاهری خاک و D: عمق توسعه ریشه در هر لایه است. عمق ریشه در مرحله اولیه رشد برابر عمق بذرکاری به‌اضافه ۵ سانتی‌متر (علیزاده، ۱۳۸۴) و حداکثر عمق توسعه ریشه‌ها برابر ۹۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. حجم آب مورد نیاز برای آبیاری توسط هر آبپاش در این روش با استفاده از رابطه (۴) محاسبه گردید.

$$V = \frac{d * S_m * S_l}{e_a} \qquad (۴)$$

مدت‌زمان آبیاری

در تیمارهای ۱ و ۳ از روش حجمی و در تیمارهای ۲ و ۴ از روش زمانی برای اعمال آب موردنیاز استفاده گردید. در روش حجمی، حجم آب عبور کرده از ابتدای بال آبیاری توسط یک کنتور آب که دقت ۰/۱ لیتر داشت اندازه‌گیری و بعد از عبور مقدار آب تعیین شده، آبیاری قطع گردید. در روش زمانی، مدت‌زمان آبیاری از تقسیم حجم آب موردنیاز برای آبیاری بر دبی متوسط آبپاش‌ها (۳ لیتر در ثانیه) محاسبه و آبیاری بعد از مدت‌زمان محاسبه شده قطع گردید. لازم به ذکر است که در ابتدای هر دو بال آبیاری، کنتور جهت اندازه‌گیری حجم آب کاربردی وجود داشت و در هر ۴ تیمار حجم آب کاربردی در هر آبیاری اندازه‌گیری شد.

عملکرد گیاهی

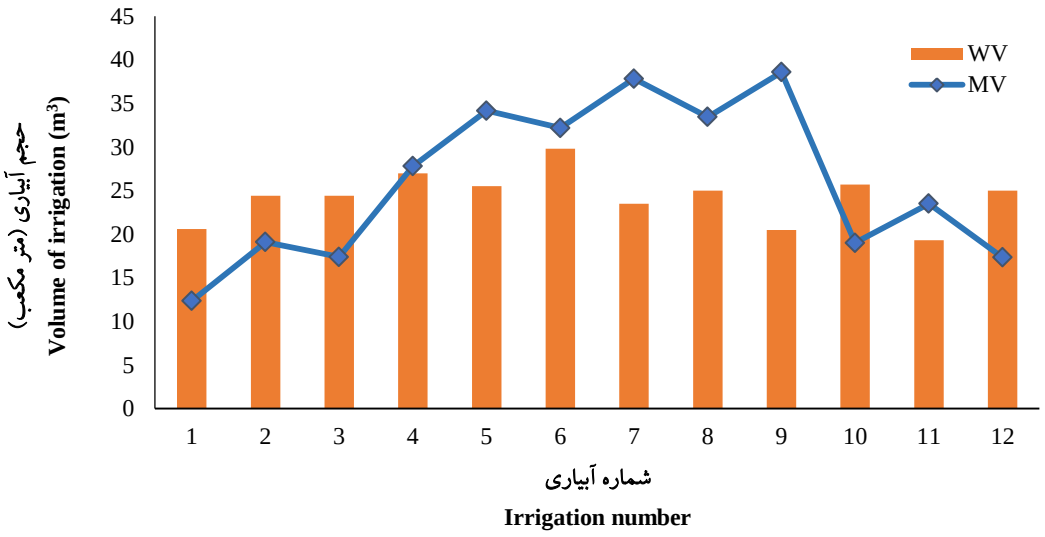
در زمان برداشت، عملکرد محصول در اطراف آبپاش مرکزی هر تیمار اندازه‌گیری گردید. برای این منظور در هر یک از تیمارها ۶۰ بوته در موقعیت‌های مشخصی در چهار طرف آبپاش مرکزی برداشت گردید. موقعیت مربع‌شکل روی شکل (۱) محدوده نمونه‌برداری گیاهی را نشان می‌دهد. در این شکل چهار ناحیه در اطراف هر آبپاش وجود دارد و از هر ناحیه ۱۵ نمونه (۵ نمونه روی سه خط در فواصل مختلف از بال آبیاری) برداشت گردید. موقعیت نمونه‌برداری‌ها در تمام تیمارها تقریباً یکسان بود. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد محصول در بخش‌هایی از مزرعه که تحت مدیریت مدیر مزرعه بود (عملکرد شاهد)، در دو سمت بال آبیاری شماره ۸ (شکل ۱) تعداد ۱۲۰ بوته ذرت در موقعیت-هایی متناظر با موقعیت نمونه‌های برداشت شده در تیمارهای موردمطالعه برداشت گردید. بعد از جداسازی دانه‌ها در آزمایشگاه، به مدت ۴ روز در داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و نهایتاً وزن خشک دانه نیز اندازه‌گیری شد.

یافته ها

قبل از هر آبیاری مجموع آب مورد نیاز از آبیاری قبلی تا زمان آبیاری جدید محاسبه و بر اساس آن حجم آب مورد نیاز برای هر آبپاش (با فواصل ۲۱ متر در ۲۱ متر) محاسبه گردید. در طول دوره اعمال تیمارهای آبیاری جمعا ۱۲ نوبت آبیاری با حداکثر فاصله ۸ روز انجام شد. نتایج بیانگر این است که در منطقه مورد مطالعه حجم آب مورد نیاز محاسبه شده بر اساس داده‌های هواشناسی در اوایل و اواخر دوره رشد بیشتر از روش مبتنی بر رطوبت خاک می‌باشد. یکی از دلایل این موضوع می‌تواند عدم قطعیت در تخمین عمق ریشه‌گیاه که بر اساس آن کمبود رطوبتی خاک محاسبه شده است باشد. نکته دیگر اینکه ذخیره‌رطوبتی در ابتدای دوره اعمال تیمارها در روش مبتنی بر رطوبت خاک لحاظ می-شود حال آنکه در روش هواشناسی لحاظ نمی‌گردد. در اواسط دوره رشد (از آبیاری چهارم تا آبیاری نهم) نیاز آبی محاسبه شده بر اساس رطوبت خاک بیشتر از روش مبتنی بر داده‌های هواشناسی بوده است و در شکل (۲) آورده شده است. در کل حجم آب مورد نیاز برای هر آبپاش در روش مبتنی بر رطوبت خاک (۳۱۳ متر مکعب) ۸ درصد بیشتر از روش مبتنی بر داده‌های هواشناسی (۲۹۱ متر مکعب) تعیین گردید. مدت زمان لازم برای آبیاری توسط هر آبپاش بر اساس دبی طراحی (۳ لیتر در ثانیه) نیز محاسبه گردید که در جدول (۵) گزارش شده است.

جدول ۵ – حجم و زمان آبیاری محاسبه شده برای هر آبپاش بر اساس دبی طراحی آبپاش

شماره آبیاری	تاریخ آبیاری	دور آبیاری (روز)	زمان آبیاری (دقیقه)		حجم آبیاری (مترمکعب)	
			رطوبت خاک	هواشناسی	رطوبت خاک	هواشناسی
۱	۳۱ خرداد	-	٦۹	۱۱۵	۱۲/۳	۲۰/٦
۲	۷ تیر	۷	۱۰٦	۱۳٦	۱۹/۱	۲٤/٤
۳	۱۵ تیر	۸	۹۷	۱۳٦	۱۷/٤	۲٤/٤
٤	۲۳ تیر	۸	۱۵٤	۱۵۰	۲۷/۸	۲۷
۵	۳۰ تیر	۷	۱۹۰	۱٤۲	۳٤/۲	۲۵/۵
٦	٦ مرداد	۸	۱۷۹	۱٦٦	۳۲/۲	۲۹/۸
۷	۱۳ مرداد	۷	۲۱۰	۱۳۱	۳۷/۹	۲۳/۵
۸	۲۰ مرداد	۷	۱۸٦	۱۳۹	۳۳/۵	۲۵
۹	۲٦ مرداد	٦	۲۱٤	۱۱٤	۳۸/٦	۲۰/۵
۱۰	۲ شهریور	۷	۱۰٦	۱٤۳	۱۹	۲۵/۷
۱۱	۹ شهریور	۷	۱۳۱	۱۰۷	۲۳/۵	۱۹/۳
۱۲	۱٦ شهریور	۷	۹٦	۱۳۹	۱۷/۳	۲۵



شکل ۲. حجم آب موردنیاز برای یک آبپاش در آبیاری‌های مختلف

در تیمارهای رطوبتی- حجمی (MV) و هواشناسی- حجمی (WV) حجم آب آبیاری با توجه به مقادیر ذکر شده در جدول ۵ از طریق قرائت کنتورها اعمال گردید و هم‌زمان ساعت آبیاری نیز یادداشت گردید. در تیمارهای رطوبتی - زمانی (MT) و هواشناسی - زمانی (WT) ساعت آبیاری از تقسیم حجم آب مورد نیاز برای آبیاری طبق جدول (۵) بر دبی طراحی آبپاش‌ها (۳ لیتر در ثانیه) محاسبه گردید. علیرغم اینکه انتظار این است که حجم آب اعمال شده توسط سه آبپاش روی هر کدام از بال‌های آبیاری سه برابر مقادیر ذکر شده در جدول (۵) باشد، اما در عمل به دلیل تفاوت دبی آبپاش‌ها نسبت به دبی طراحی و برخی مشکلات اجرایی در حین آبیاری (به عنوان مثال فراموش کردن زمان قطع جریان در آبیاری اول) تفاوت‌هایی با این مقادیر وجود دارد. در ادامه حجم آب اعمال شده برای سه آبپاش در تیمارهای مختلف در جدول (۶) گزارش شده است. حجم کل آب اعمال شده در تیمارهای مبتنی بر رطوبت خاک بیشتر از هواشناسی بود. ضمنا در شرایط مزرعه مورد مطالعه، حجم آب در تیمارهایی که مقدارآب با کنتور اعمال می‌شد (حجمی) کمتر از تیمارهایی بود که بر اساس زمان انجام می‌گرفت. حجم آب اعمال شده در تیمارهای MT و WT به ترتیب ۱۴ و ۸ درصد بیشتر از تیمارهای MV و WV بود.

جدول ٦. حجم آب پخش شده توسط سه آبپاش در هر تیمار (مترمکعب)

شماره آبیاری	WV	WT	MV	MT
۱	۷۳/۱	۸۰	۷۳/۳	۸۸/٤
۲	۷۵/۱	٦۹	۵۳/٦	۹٤/۱
۳	۸۵	۱۰۳	۵۵/۱	۱۰٤/٦
٤	۷٦/۵	۷۰	۸۲/۵	۷۰/۲
۵	۹۷	۱۰٤	۱۰۰	۱۲۰/۵
٦	٦۱	٦۳/۵	۹٦/۵	۱۳٤/۵
۷	۷٦	۹۹	۱۱۳	۹۲
۸	٦۵	۷۵	۱۰۰	٦۰
۹	۷۸/۵	۸۲	۱۱٦	۹۵
۱۰	٦۱/۵	٦۱	۵٦/۵	۷۷
۱۱	۷۳	۸۰/۵	۷۱/۵	۱۱٦/۵
۱۲	٤۳/۵	۵۰	۵۱/۵	٤۹/۵
کل	۸٦۵/۲	۹۳۷	۹٦۹	۱۱۰۲

در تیمارهای مبتنی بر زمان (WT و MT) سعی بر این بود که مدت‌زمان آبیاری هر آبپاش برابر با مدت‌زمان محاسبه‌شده با دبی ۳ لیتر در ثانیه باشد، اما در عمل به دلیل محدودیت‌های اجرایی کمی بیشتر از این زمان اعمال شد. مدت‌زمان آبیاری تیمارهای مختلف برای سه آبپاش روی بال در جدول (۷) گزارش شده است. همان گونه که مشاهده می‌گردد تفاوت مدت‌زمان آبیاری در تیمارهای مختلف نسبتاً زیاد هست که علت آن علاوه بر تفاوت مقادیر نیاز آبی برآورد شده با روش‌های موردمطالعه، به اختلاف نسبتاً زیاد دبی آبپاش‌ها در شرایط کار مرتبط بود. حجم و زمان آبیاری در تیمارهای مبتنی بر زمان بیشتر از روش حجمی بود که علت این امر نیز محاسبه زمان آبیاری بر اساس دبی طراحی ۳ لیتر در ثانیه بدون کنترل حجم آبیاری است. باتوجه‌به اینکه حجم کل آب اعمال شده در تیمارهای مبتنی بر رطوبت خاک بیشتر از هواشناسی بود، مدت‌زمان آبیاری در این تیمارها نیز بیشتر بود. مدت‌زمان آبیاری در تیمارهای MT و MV به ترتیب ۱۰ و ۱۸ درصد بیشتر از تیمارهای WT و WV بود.

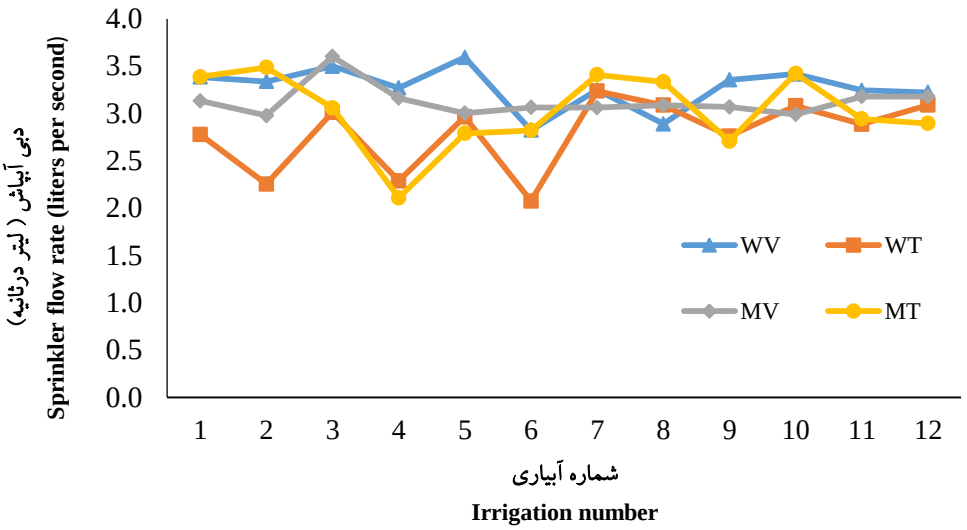
جدول ۷. مدت‌زمان آبیاری سه آبپاش در هر تیمار و نوبت آبیاری (دقیقه)

شماره آبیاری	WV	WT	MV	MT
۱	۳٦۰	٤۸۰	۳۹۰	٤۳۵
۲	۳۷۵	۵۱۰	۳۰۰	٤۵۰
۳	٤۰۵	۵۷۰	۲۵۵	۵۷۰
٤	۳۹۰	۵۱۰	٤۳۵	۵۵۵
۵	٤۵۰	۵۸۵	۵۵۵	۷۲۰
٦	۳٦۰	۵۱۰	۵۲۵	۷۹۵
۷	۳۹۰	۵۱۰	٦۱۵	٤۵۰
۸	۳۷۵	٤۰۵	۵٤۰	۳۰۰
۹	۳۹۰	٤۹۵	٦۳۰	۵۸۵
۱۰	۳۰۰	۳۳۰	۳۱۵	۳۷۵
۱۱	۳۷۵	٤٦۵	۳۷۵	٦٦۰
۱۲	۲۲۵	۲۷۰	۲۷۰	۲۸۵
کل	٤۳۹۵	۵٦٤۰	۵۲۰۵	٦۱۸۰

باتوجه‌به وجود اختلاف فشار در نقاط مختلف مزرعه، دبی آبپاش‌ها در شرایط واقعی بهره‌برداری با دبی طراحی متفاوت بود. دبی آبپاش‌ها از تقسیم حجم آبیاری بر ساعت آبیاری محاسبه گردید که نتایج برای هر کدام از تیمارهای آبیاری در جدول (۸) گزارش شده است. با توجه به اینکه دبی آبپاش‌ها تابعی از وضعیت آبیاری در سایر بخش های مزرعه هست، در تاریخ‌های مختلف آبیاری و در نقاط مختلف (تیمارهای مختلف) مقدار دبی آبپاش‌ها دارای تغییرات نسبتا زیادی بود. حداکثر و حداقل دبی آبپاش در طول دوره مورد مطالعه ۲.۰۸ و ۳.۶ لیتر در ثانیه محاسبه گردید. میانگین دبی آبپاش‌ها در تیمارهای WT و MT به ترتیب ۲/۷۹ و ۳/۰۳ لیتر درثانیه بود. درصد تغییرات دبی آبپاش‌ها در این تیمارها نسبت به دو تیمار دیگر بالاتر بود. البته نوسانات دبی آبپاش‌ها در این مزرعه در اواخر دوره رشد کمتر از نیمه اول دوره رشد گیاه بوده است (شکل ۳). دلیل این موضوع می‌تواند به نوسانات فشار سامانه در اثر مدیریت آبیاری خصوصاً در بخش‌های خارج از محدوده طرح باشد. به نظر می‌رسد در نیمه دوم دوره رشد که نیاز آبی بالاتر بود مدیریت بهتری در بخش‌های خارج از طرح اعمال شده است. میانگین دبی آبپاش‌ها در تیمارهای WV و MV با مقادیر ۳/۲۷ و ۳/۱۲ لیتر در ثانیه بالاتر از دبی طراحی بود. تغییرات نسبتاً زیاد دبی آبپاش‌ها می‌تواند عامل محدودکننده‌ای در استفاده از مدیریت آبیاری مبتنی بر زمان باشد.

جدول ۸. دبی متوسط آبپاش در هر یک از تیمارهای موردمطالعه در شرایط بهره‌برداری (لیتر بر ثانیه)

شماره آبیاری	WV	WT	MV	MT
۱	۳/۳۸	۲/۷۸	۳/۱۳	۳/۳۹
۲	۳/۳٤	۲/۲٥	۲/۹۸	۳/٤۹
۳	۳/٥۰	۳/۰۱	۳/٦۰	۳/۰٦
٤	۳/۲۷	۲/۲۹	۳/۱٦	۲/۱۱
٥	۳/٥۹	۲/۹٦	۳/۰۰	۲/۷۹
٦	۲/۸۲	۲/۰۸	۳/۰٦	۲/۸۲
۷	۳/۲٥	۳/۲٤	۳/۰٦	۳/٤۱
۸	۲/۸۹	۳/۰۹	۳/۰۹	۳/۳۳
۹	۳/۳٥	۲/۷٦	۳/۰۷	۲/۷۱
۱۰	۳/٤۲	۳/۰۸	۲/۹۹	۳/٤۲
۱۱	۳/۲٤	۳/۸۹	۳/۱۸	۲/۹٤
۱۲	۳/۲۲	۳/۰۹	۳/۱۸	۲/۸۹
میانگین	۳/۲۷	۲/۷۹	۳/۱۲	۳/۰۳
حداکثر	۳/٥۹	۳/۲٤	۳/٦۰	۳/٤۹
حداقل	۲/۸۲	۲/۰۸	۲/۹۸	۲/۱۱
انحراف از معیار	۰/۲۲	۰/۳۸	۰/۱۷	۰/٤۱
ضریب تغییرات (درصد)	٦/۸	۱۳/۸	٥/۳	۱۳/٦



شکل ۳. دبی متوسط آبپاش در هر تیمار در شرایط بهره‌برداری (لیتر بر ثانیه)

دبی آبپاش‌ها از نظر آماری نیز مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور هر تاریخ آبیاری به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. نتایج تجزیه واریانس مطابق جدول (۹) بیانگر تفاوت معنی دار دبی آبپاش‌ها در تیمارهای مورد مطالعه در سطح یک درصد می‌باشد. بر اساس همین آنالیز مشاهده می‌گردد که تفاوت دبی آبپاش‌ها در تکرار های مختلف (تاریخ های مختلف آبیاری) معنی دار نبوده است. مطابق جدول (۱۰) مقایسه میانگین دبی آبپاش‌ها نیز تفاوت معنی‌دار بین دبی آبپاش‌ها را در تیمارهای مورد مطالعه نشان داد.

جدول ۹ . تجزیه واریانس تیمارهای مورد بررسی از نظر دبی آبپاش

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	احتمال معنی‌داری
تکرار	۱۱	۰/۱٤٤ns	۰/۰۹۸
تیمار	۳	۰/٤۸۵ **	۰/۰۰۲۲
خطای آزمایشی	۳۳	۰/۰۸۱	
ضریب تغییرات		۹/۳۱	

ns و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است.

جدول ۱۰. مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی از نظر دبی آبپاش

تیمار	دبی آبپاش	انحراف از معیار
WV	۳/۲۷ a	۰/۲۲
MV	۳/۱۲ ab	۰/۱۷
MT	۳/۰۳b	۰/۴۱
WT	۲/۷۹ c	۰/۳۸

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها است ($LSD \leq 0.05$)

بعد از جداسازی دانه‌ها در آزمایشگاه، وزن خشک اندازه‌گیری و نهایتاً عملکرد محصول محاسبه شد که در جدول (۱۱) گزارش شده است.

جدول ۱۱. عملکرد دانه، حجم آب کاربردی و کارایی مصرف آب در تیمارهای موردمطالعه

پارامتر	واحد	تیمار				
		شاهد	WV	WT	MV	MT
عملکرد دانه	$Kg.ha^{-1}$	۷۸۲۸	۸۶۱۵	۱۰۰۳۶	۱۰۶۵۴	۱۰۷۷۰
حجم آب مصرفی در دوره اعمال تیمار	$m^3.ha^{-1}$	*	۶۵۴۰	۷۰۸۲	۷۳۲۸	۸۳۳۲
کارایی مصرف آب	$Kg.m^{-3}$	*	۱/۳۲	۱/۴۲	۱/۴۵	۱/۲۹

*- اندازه‌گیری نشده است

لازم به ذکر است که حجم آب مصرفی در کل دوره رشد بیشتر از دوره اعمال تیمارها بوده است (به دلیل مشکلات اجرایی داده‌های مربوط به مصرف آب در یک ماه اول دوره رشد اندازه‌گیری نشده بود. البته مقدار آن برای کلیه تیمارها یکسان بود). بنابراین کارآیی مصرف آب محاسبه شده کمتر از مقدار گزارش شده در جدول (۱۱) می‌باشد. با توجه به اینکه هدف از این مطالعه مقایسه تیمارهای مختلف بوده است، این موضوع تاثیر چندانی روی نتایج ندارد. تحلیل نتایج جدول (۱۱) نشان می‌دهد که بیشترین عملکرد دانه به ترتیب مربوط به تیمارهای رطوبتی - زمانی (MT)، رطوبتی - حجمی (MV)، هواشناسی - حجمی (WV) و هواشناسی - زمانی (WT) می‌باشد.

بحث

تحقیق حاضر بر روی یک سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت - آبپاش متحرک مجهز به وسایل اندازه‌گیری فشار و دبی، در مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی آب پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی، با موقعیت طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا انجام گردید. این مزرعه که مساحت آن ۴/۸ هکتار است مجهز به سوئیچ فشاری، شیر برقی، کنتور آب و فشارسنج در ابتدای تعدادی از بال‌های آبیاری هست. در این مزرعه، فاصله بین بال‌های آبیاری و

همچنین فاصله بین آبپاش‌ها ۲۱ متر، لوله‌های اصلی و بال‌های آبیاری از جنس پلی‌اتیلن و به ترتیب با قطرهای ۱۶۰ و ۶۳ میلی‌متر هست. به‌منظور انتخاب روش مناسب برای هوشمندسازی سامانه‌های آبیاری بارانی، چهار نوع مدیریت آبیاری شامل ترکیبی از دو روش تعیین نیاز آبی (بر اساس اندازه‌گیری کمبود رطوبتی خاک و داده‌های هواشناسی) و دو روش اعمال آبیاری (زمانی و حجمی) مقایسه گردید.

نتیجه‌گیری

نتایج بیانگر این بود که نیاز آبی برآورد شده با روش‌های مورد بررسی در زمان‌های مختلف با هم متفاوت هست. علی‌رغم اینکه در مجموع نیاز آبی برآورد شده با روش کمبود رطوبتی خاک ۸ درصد بیشتر از روش مبتنی بر داده‌های هواشناسی بود؛ اما این درصد تفاوت برای برخی از آبیاری‌ها از قبیل آبیاری‌های شماره ۷ تا ۹ بسیار بیشتر بود. نتایج تیمارهای آزمایشی بیانگر این بود که مقدار آبیاری اعمال شده در تیمارهای موردمطالعه با هم متفاوت بود. میانگین بیشترین و کمترین حجم آب مصرفی به ترتیب مربوط به تیمارهای زمانی – رطوبتی (WT) و حجمی– هواشناسی (WV) بود. نکته دیگری که در این مطالعه مشاهده شد اختلاف نسبتاً زیاد دبی آبپاش‌ها با دبی آبپاش‌ها در دفترچه طراحی بود. باتوجه‌به غیر یکنواختی دبی آبپاش‌ها اعمال آبیاری به روش حجمی نسبت به روش زمانی برتری دارد. میانگین بیشترین و کمترین زمان آبیاری به ترتیب مربوط به تیمارهای زمانی – رطوبتی (MT) و حجمی– هواشناسی (WV) بود. عملکرد محصول در تیمارهای مبتنی بر روش کمبود رطوبتی خاک بیشتر از تیمارهای مبتنی بر روش هواشناسی بوده و بیشترین عملکرد در تیمار (MT) گزارش شد. از دیدگاه افزایش بهره‌وری مصرف آب، تیمار حجمی – رطوبتی (MV) که در آن میزان آبیاری بر اساس کمبود رطوبتی خاک تعیین و با روش حجمی اعمال شده بود به‌عنوان روش مناسب جهت هوشمندسازی سامانه آبیاری پیشنهاد گردید. البته برای انتخاب تیمار برتر نیاز به انجام مطالعات اقتصادی نیز هست که جزو اهداف این مطالعه نبوده است.

منابع

ابول پور، بهروز.، شریفی، مستانه.، بذرافشان، محسن.، و جرعه نوش، محمد هادی. (۱۴۰۰). مدیریت هوشمند برنامه‌ریزی آبیاری به‌منظور افزایش بهره‌وری مصرف آب در گیاه چغندرقند. مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۲(۲)، ۱۷۰-۱۵۶. https://dx.doi: 10.22125/iwe.2021.14203

براتی، خدیجه.، عابدی کوپایی، جهانگیر.، درویشی، الهام.، آذری، آرش.، و یوسفی، علی. (۱۳۹۷). برآورد نیاز خالص آبیاری گیاهان الگوی کشت دشت کرمانشاه و مقایسه آن با داده‌های سند ملی آب. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۲ (۴)، ۵۵۳- ۵۴۳. https://dx.doi: 10.22092/jwra.2019.118523

پورغلام آمیجی، مسعود. (۱۳۹۹). مزایا، کاربردها و چالش‌های مربوط به اینترنت اشیاء در آبیاری. مدیریت آب در کشاورزی، ۷(۲)،۶۶-۴۷. https://wmaj. aid.ir/article_128249.html

سعیدالذاکرین، امیرناصر.، نظری، بیژن.، و رمضانی اعتدالی، هادی. (۱۳۹۸). میزان اثربخشی هوشمندسازی سامانه‌های آبیاری فضای سبز در کاهش مصرف مطالعه موردی: پارک رازی تهران. آب و توسعه پایدار، ۶ (۱)، ۲۸-۲۳. https://dx.doi: 10. 2067/jwsd.v6i1.71208.

علیزاده، امین. (۱۳۸۴). اصول و عملیات آبیاری قطره‌ای. آستان قدس رضوی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).

علیزاده، امین.، دهقانی سانیج، حسین.، و موسوی، مریم. (۱۳۸۹). تأثیر استفاده از داده‌های بهنگام هواشناسی مزرعه در محاسبه نیاز آبیاری بر افزایش کارایی مصرف آب در ذرت علوفه‌ای. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۴ (۲)، ۳۱۸-۳۰۸. https://sid.ir/paper/131546/fa

میرموسوی، سید حسین.، پناهی، حمید.، اکبری، حمید.، اکبرزاده، یونس. (۱۳۹۱). واسنجی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET0)و محاسبهٔ نیاز آبی گیاه (ETC) زیتون در استان کرمانشاه. جغرافیا و پایداری محیط، ۲(۲)، ۶۴-۴۵. https://ges.razi.ac.ir/article_166_en.html?lang=fa

References

Abolpour, B., Sharifi, M., Bazrafshan, M., & Jorenush, M. H. (2021). Intelligent management of Irrigation Planning on Increasing the Water Use Productivity in Sugar Beet (Beta vulgaris L.). Irrigation and Water Engineering, 12(2), 156-170. http://dx.doi: 10.22125/iwe.2021.142031. [in Persian]

Allen, R. G., Monteith, J. L., Perrier, A., Pereira, L. S., & Segeren, A. (1991). Report of the Expert Consultation on Procedures for Revision of FAO Guidelines for Prediction of Crop Water Requirements. Land and water development division. FAO. Roma (Italia). https://www.fao.org/publications/card/en/c/cb7185en.

Alizadeh, A. (2005). Principles and Operations of Drip Irrigation. Astan Qods Razavi. Imam Reza University (AS) Publishers. [in Persian]

Alizadeh, A., Dehghani Sanij, H., & Mousavi, M. (2010). The Effect of Using Real-time Field Meteorological Data in Calculating the Irrigation Requirement on Increasing the Efficiency of Water Consumption in Fodder Corn. Irrigation and Drainage Journal 2(4), 308-318. https://www.sid.ir/paper/131546/fa. [in Persian]

Barati, K., Abedikoupaee, J., Darvishi, E., Azari, A., & Yousefi, A. (2018). Estimation of Net Irrigation Requirement of the Crop Pattern in Kermanshah Plain and Comparison with the Data in the National Water Document. Journal of Water Research in Agriculture, 32(4), 543-553.

http://dx.doi: 10.22092/jwra.2019.118523. [in Persian]

Camp, C.R., Karlen, D. L. & Lambert, J.R. (1985). Irrigation Scheduling and Row Configurations for Corn in the Southeastern Coastal Plain. Trans. ASAE. 28(4), 59-65. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/60820000/Manuscripts/1985-1990/Man138.pdf.

Camposeo, S. & Rubino, P. (2003). Effect of Irrigation Frequency on Root Water Uptake in sugar Beet. Plant and Soil 253, 301–309. https://doi.org/10.1023/A:1024801312711.

Edison, SSR. (2011). Smart Irrigation Control System. Thesis at Bethlahem Institute of Engineering, Karungal. Available online at: www.worldcolleges. info.pdf.

Manashti, M. J., Farhadi Bansouleh, B., Amirian, S., Sadeghi, G. H., Kermajani, M. Mohammadnezhad, R., Amjadian, E. & Rezaei, S. (2013). Design and Implementation of a Web Based Automation System for Sprinkler Irrigation System. The Second International Conference on Agriculture and Natural Resources,Razi Univercity, Kermanshah, Iran, 1134-1136. https://www.researchgate.net/publication/261098083

Mirmousavi, H., Panahi, H., Akbari, H., & Akbarzadeh, Y. (2012). Calibration Methods to Estimate Reference Crop Evapotranspiration and Calculated Potential Water Requirements of Olive Plant in Kermanshah Province. Geography and Environmental Sustainability, 2(2), 45-64. https://ges.razi.ac.ir/article_166_en.html?lang=fa. [In Persian]

Al-Naji, A., Fakhri, A.B., Gharghan, S.K. & Chahl, J. (2021) .Soil color analysis based on a RGB camera and an artificial neural network towards smart irrigation: A pilot study. Heliyon, 7(1), e06078. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06078

Pourgholam Amiji, M. (2021). The Benefits, Applications, and Challenges of the IoT in Irrigation. Water Management in Agriculture, 7(2), 47-66. https://wmaj.iaid.ir/article_128249.html. [In Persian]

Rehman, A.U., Abbasi, A. Z., Islam, N., & Shaikh, Z. A. (2014). A Review of Wireless Sensors and Networks' Applications in Agriculture. Computer standards and interfaces 36(2), 263-270. https://doi.org/ 10.1016/j.csi.2011.03.004.

Sable, R., Kolekar, S., Gawde, A., Takle, S., & Pednekar1, A. (2019). A Review on Different Irrigation Methods. International Journal of Applied Agricultural Research, 14(1), 49-60. https://www.ripublication.com/ijaar19/ijaarv14n1_06.pdf

Saeedolzakerin, A. N., Nazari, B., & Etedali, H. R. (2019). Effectiveness of smart landscape irrigation systems in reducing water usage (Case study: Razi Park, Tehran). Journal of Water and Sustainable Development 6 (1), 23-28. https://doi.org/10.22067/jwsd.v6i1.71208. [In Persian]

Silva, D., Meza, F. J., & Varas, E. (2010). Estimating Reference Evapotranspiration (ETo) Using Numerical Weather Forecast Data in Central Chile. Journal of hydrology 382(1), 64-71. https://doi.org: 10.1016/j.jhydrol.2009.12.018.

Torres, A. F., Walker, W.R., & McKee, M. (2010). Forecasting Daily Potential Evapotranspiration Using Machine Learning and Limited Climatic Data. Agricultural Water Management, 98(4), 553-562. https://doi.org: 10.1016/j.agwat.2010.10.012.

Touil, S., Richa, A., Fizir, M., Argente García, J.A., & Skarmeta Gómez, A.F.(2022). A review on smart irrigation management strategies and their effect on water savings and crop yield.Irrigation and Drainage. 71 (5), 1396-1416. https://doi.org/10.1002/ird.2735

Advanced Technologies in Water Efficiency

homepage:https://atwe.razi.ac.ir

Online ISSN:2783-4964

Evaluation of bottom outlet effect on the behavior of entered turbidity current into the Dez Dam reservoir

Hossein Aryaei[1], Babak Lashkar-Ara[2]✉

[1] M.Sc. Graduated of Water and Hydraulic Structures Engineering, Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran. E-mail: hossein.aryaei@yahoo.com

[2] Corresponding Author, Associate Professor, Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran. E-mail: babak_lashkarara@yahoo.com

ABSTRACT

Introduction

Sediment deposition issues for reservoirs are important because the severe deposition could excessively decrease the reservoir lifecycle. Extreme storm events usually can carry a massive amount of sediment into reservoirs, and deposition will happen unless the incoming material can pass through sluice gates. When it comes with high concentration, the density current flow is prone to be generated, and the bottom outlets are the most effective sluice gate to release the sediment. Venting of turbidity currents is known as an efficient measure to prevent reservoir sedimentation and is applied in many reservoirs globally. It has several economic and ecological advantages compared with other evacuation methods. Dez Reservoir is one of the many reservoirs in Iran which suffer from sedimentation due to a lack of proper low-level outlet. Currently, the major issue which threatens the Dez Dam is the continual accumulation of silt in the reservoir near the dam endangering the operation of the entire hydraulic scheme. Mean annual sediment deposition in the reservoir is about 15 million tons. The elevation of sediment deposition has now reached to nearly 14 meters under the intakes of power stations (Research center of power Ministry, 2003). In this study, density current releasing through a proposed low-level outlet is considered as a proper solution to minimize the consequences of sedimentation.

Methodology

The aim of the study is to numerically assess the proposed low-level outlet. A high resolution 3-D numerical model is employed based on Navier-Stokes equations is employed to simulate the evolution of turbid density current in Dez Reservoir. Frist in order to calibrate the simulation model, several models including various roughness height in combination with RNG and LES turbulence models were employed. Then, the flow depth and velocity results were compared with field measurements (KWPA, 2007). In the next step, the proposed low-level outlet was added to the model and its impact on the behavior of turbidity current was investigated by using three turbidity current concentration and also three low-level outlet opening.

Results and discussion

The results indicated that using large eddy simulation turbulence model (LES) presents a higher accuracy than the simulation by comparing with the field measurements, so that the maximum error related to the calculation of the depth and velocity of the turbidity current is estimated to be 14.67 and 13.82%, respectively. In the next step, the proposed low-level outlet was added to the model and its impact on the behavior of turbidity current was investigated. Based on the simulated results the amount of sediments evacuated from the dam reservoir is directly related to the input concentration and the opening percentage of the low-level outlet. In such a way that by averaging the results for different inflow turbidity current concentrations, venting efficiency at the openings of 25%, 50% and 100% was calculated to be 15.4%, 20.8% and 25.1% respectively. In the next section of study, velocity profiles in the upstream sections of the low-level outlet were used in order to evaluate the water entrainment coefficient (Ew). It was found that as the opening low-level outlet increase from 25% to 50% and from 50% to 100%, the water entrainment coefficient increase 20% and 16% in avarage respectively.

Conclusions

In a general point of view, the numerical results show good accuracy in simulating the evolution of the density current in the reservoir. Based on the simulated results, as the turbid density current approaches the low-level, water entrainment coefficient increases in avarage. Moreover, water entrainment and also venting efficiency has direct relationship with low-level outlet opening and inflow density current concentration.

Keywords: Reservoir sedimentation, Turbidity current, Sediment management, Venting efficiency, Reservoir outlet

Article Type: Research Article

Article history: Received: 20 August 2023 **Revised:** 23 October 2023 **Accepted:** 11 November 2023 **ePublished:** 15 December 2023

Cite this article: Aryaei, H., & Lashkar-Ara, B. (2023). Evaluation of bottom outlet effect on the behavior of entered turbidity current into the Dez Dam reservoir, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 3(3), 20-36. DOI: 10.22126/ATWE.2023.9641.1061

Publisher: Razi University

© The Author(s).

فناوری های پیشرفته در بهره وری آب

وبگاه نشریه: https://atwe.razi.ac.ir شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۹۶۴

ارزیابی تأثیر تخلیه‌کننده تحتانی بر رفتار جریان گل‌آلود واردشده به مخزن سد دز

حسین آریایی[۱]، بابک لشکرآرا[۲]✉

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، عمران دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور، دزفول، ایران. رایانامه: hossein.aryaei@yahoo.com

[۲] نویسنده مسئول، دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور، دزفول، ایران. رایانامه: babak_lashkarara@yahoo.com

چکیده

تخلیه جریان غلیظ از طریق مجرای تخلیه‌کننده تحتانی سدها، به‌عنوان یک روش کارآمد در کاهش رسوب‌گذاری مخازن مطرح است. سد دز به‌واسطه عدم مدیریت حوزه آبخیز بالادست مخزن و فقدان دریچه تخلیه‌کننده تحتانی مناسب، با وضعیت نامطلوبی ازنظر رسوب‌گذاری مواجه گردیده است. در این پژوهش به‌منظور عبور دهی رسوبات ورودی به مخزن سد دز، احداث مجرای تخلیه‌کننده جریان حاوی رسوب به‌عنوان یک راهکار علاج‌بخش پیشنهاد گردید. همچنین رفتار جریان گل‌آلود واردشده به مخزن سد و میزان کارایی آن در عبور دهی رسوبات با استفاده از شبیه‌سازی عددی موردبررسی قرار گرفت. ابتدا به‌منظور واسنجی مدل، الگوی جریان غلیظ شکل‌گرفته درون مخزن با استفاده از مدل‌های مختلف با ارتفـاع زبـری دیواره متفاوت و همچنین دو مدل تلاطمی RNG و LES شبیه‌سازی گردید و نتایج عمق و سرعت جریان با اندازه‌گیری‌های میدانی مقایسه شد. در گام بعد مجرای تخلیه‌کننده تحتانی در موقعیت پیشنهادشده به مدل اضافه گردید و به ارزیابی تأثیر احداث این تخلیه‌کننده بر رفتار جریان غلیظ ورودی به مخزن پرداخته شد. بررسی‌ها نشان داد میزان خروج رسوبات از مخزن سد ارتباط مستقیمی با غلظت ورودی و درصد بازشدگی تخلیه‌کننده تحتانی دارد. به‌گونه‌ای که با متوسط گیری از نتایج در غلظت‌های ورودی مختلف، راندمان تخلیه رسوب در بازشدگی‌های ۲۵٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ به ترتیب برابر ۱۵/۴، ۲۰/۸ و ۲۵/۱ درصد محاسبه گردید. در ادامه پروفیل‌هایی از سرعت جریان در مقاطع بالادست تخلیه‌کننده به‌منظور ارزیابی شدت اختلاط و میزان انحراف خطوط جریان برداشت گردید. به‌طورکلی با نزدیک شدن جریان به دهانه ورودی دریچه تخلیه، مقادیر حداکثر سرعت و همچنین شدت اختلاط سیال پیرامون به درون جریان غلیظ افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش درصد بازشدگی دریچه، میزان اثرگذاری مجرای تخلیه بر انحراف و شتاب‌گیری خطوط جریان گسترده‌تر می‌شود.

واژه های کلیدی: رسوب‌گذاری مخزن، جریان غلیظ، مدیریت رسوب، راندمان تخلیه، تخلیه‌کننده تحتانی، شدت اختلاط

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۹ مرداد ۱۴۰۲ **اصلاح:** ۰۱ آبان ۱۴۰۲ **پذیرش:** ۲۰ آبان ۱۴۰۲ **چاپ الکترونیکی:** ۲۴ آذر ۱۴۰۲

استناد: آریایی، ح.، لشکرآرا، ب. (۱۴۰۲). ارزیابی تأثیر تخلیه‌کننده تحتانی بر رفتار جریان گل‌آلود واردشده به مخزن سد دز، *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*، ۳(۳)، ۳۶-۲۰، شناسه دیجیتال:10.22126/ATWE.2023.9641.1061

ناشر: دانشگاه رازی

©نویسندگان.

CC BY NC

مقدمه

یکی از مهم‌ترین چالش‌ها و مشکلات موجود در مسیر سدسازی و نگهداری از آن‌ها پدیده رسوب‌گذاری در مخزن سد است. مواد رسوبی درشت‌دانه و ریزدانه که حاصل عمل فرسایش بستر رودخانه و حوضه آبریز بالادست سد است، توسط جریان آب رودخانه به‌صورت بار شسته، بار معلق و بار بستر حمل و به مخزن سد وارد می‌گردد. میزان فرسایش بستگی به عوامل متعددی همچون شرایط آب و هوایی، خصوصیات زمین‌شناسی منطقه، وضعیت توپوگرافی، پوشش گیاهی و نوع کاربرد اراضی دارد. هنگامی‌که رسوبات وارد مخزن سد می‌شود، به دلیل تغییر در شرایط هیدرولیکی جریان، ترسیب می‌شوند. این روند درنهایت منجر به کاهش ظرفیت ذخیره و از دست رفتن حجم مفید مخزن سد می‌گردد. علاوه بر آن، رسوب‌گذاری در مخزن پیامدهای دیگری نیز به همراه دارد که از آن جمله می‌توان به ورود رسوبات به دریچه‌های نیروگاه و اختلال در کار توربین‌ها و خوردگی آن‌ها، انسداد و گرفتگی آبگیرها، افزایش تراز بستر در بالادست مخزن و به‌تبع آن گسترش دامنه و پهنه سیلاب، افزایش بار اضافی بر روی بدنه سد و موارد دیگر اشاره نمود.

سد دز واقع در شمال استان خوزستان نیز از این قاعده مستثنا نیست. بر مبنای نتایج عملیات هیدرو گرافی مخزن سد دز که در سال‌های ۱۳۵۱ توسط سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۶۱ توسط موسسه تماب و ۱۳۷۶ توسط شرکت دریانقشه به انجام رسیده و همچنین بر اساس آمار و اطلاعات دبی و رسوب ایستگاه تله زنگ، میزان رسوبات ورودی به مخزن سد بین ۱۵ تا ۲۰ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است (بصیر زاده و صمدی بروجنی، ۱۳۸۲). به‌عبارت‌دیگر نرخ کاهش حجم سالیانه مخزن در اثر رسوب‌گذاری در حدود ۰/۵ درصد از حجم ذخیره کل مخزن است. این مسئله ازآنجا ناشی می‌شود که عملیات آبخیزداری در حوضه آبریز آن به‌درستی مدیریت نشده و موجبات فرسایش شدید خاک را به دنبال داشته است، علاوه بر آن مجاری تخلیه تحتانی با ظرفیت کافی به‌منظور عبور دهی رسوبات ناشی از جریان‌های سیلابی پیش‌بینی و اجرانشده است. در حال حاضر، تراز رسوبات مخزن حدود ۴۰ متر بالاتر از رقوم دریچه‌های آبیاری بوده و تنها ۱۰ متر تا لبه آبگیر نیروگاه فاصله دارد. درصورتی‌که اقدام جدی در خصوص کاهش رسوب‌گذاری در مخزن به عمل نیاید، پیش‌بینی می‌شود در آینده نزدیک سطح رسوبات مخزن به رقوم آبگیر نیروگاه برسد و منجر به خروج نیروگاه از شبکه برق سراسری کشور گردد. لذا حفظ حجم مفید مخزن سد دز، تعدیل رسوبات ورودی به مخزن و همچنین تثبیت تراز فعلی رسوبات جهت ممانعت از ورود رسوب به آبگیرهای نیروگاه، امری لازم و ضروری است (شمعون و همکاران[1]، ۲۰۱۷ و مهران‌فر و همکاران[2]، ۲۰۲۳).

مشاهدات حاکی از آن است که جریان‌های گل‌آلود یکی از دلایل اصلی رسوب‌گذاری در مخزن این سد است (اشلایس و همکاران[3]، ۲۰۱۰)، لذا به‌کارگیری روش تخلیه جریان غلیظ برای عبور دهی رسوبات ناشی از جریان گل‌آلود سیلابی به خارج از مخزن سد می‌تواند منجر به کاهش نرخ رسوب‌گذاری گردد (ویلت و همکاران[4]، ۲۰۲۰). در این پژوهش، ایجاد ظرفیت تخلیه جریان غلیظ واردشده به مخزن سد دز به‌واسطه‌ی ایجاد یک مجرای تخلیه کننده‌ی تحتانی پیشنهادشده است. در این راستا تلاش گردید با بهره‌گیری از ابزار شبیه‌سازی عددی در جهت ارزیابی دقیق‌تر الگوی جریان غلیظ ورودی به مخزن در شرایط احداث تخلیه‌کننده تحتانی و میزان کارایی آن در عبور دهی رسوبات، گام برداشته شود.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

جریان‌های چگال یا غلیظ، که به آن‌ها جریان ثقلی نیز گفته می‌شود، جریان‌هایی هستند که براثر اختلاف چگالی بین دو یا چند سیال مختلف، که روی یک سطح شیب‌دار جریان می‌یابند، پدیدار می‌شوند. اصولاً زمانی که سیالی با جرم مخصوص $(\rho_a + d_\rho)$ به درون سیال دیگری با جرم مخصوص (ρ_a) جریان می‌یابد، پدیده جریان غلیظ اتفاق می‌افتد. اختلاف در چگالی ممکن است ناشی از اختلاف درجه حرارت، غلظت جسم جامد حل‌شده، شوری و یا ناشی از وجود سیالات مختلف باشد که در محیط اطراف جریان وجود دارند. جریان گل‌آلود نوعی از جریان غلیظ است که در آن مواد جامد ریز معلق لایه‌ای از رسوب با چگالی بیش‌تر از چگالی آب (سیال احاطه‌کننده محیط) ایجاد کرده و درروی شیب بستر به‌صورت ثقلی به سمت پایین‌دست حرکت می‌کند. جریان‌های گل‌آلود عمدتاً در شرایط سیلابی و هنگامی‌که رودخانه‌های ورودی به مخازن سدها حاوی مقدار زیادی رسوبات معلق بوده و عمق آب داخل مخزن به‌اندازه کافی زیاد باشد، رخ می‌دهند. به‌طورمعمول بهنگام شکل‌گیری جریان غلیظ اختلاف چگالی d_ρ در محدوده بین ۳۰ تا ۲۰۰

[1] Chamoun et al
[2] Mehranfar et al
[3] Schleiss et al
[4] Wildt et al

گرم در لیتر قرار دارد. مهم‌ترین ظهور و کاربرد این جریان‌ها در دریاچه‌ها و مخازن سدها بوده و نقش بسیار مهمی در مدیریت رسوب مخزن دارد (گراف و آلتیناکار[1]، ۱۹۹۸).

فان و موریس[2] (۱۹۹۲) اظهار داشتند که روش عبور دهی جریان غلیظ برای مخازن بزرگ که دارای ظرفیت ذخیره چندین سال می‌باشند و همچنین پایین آوردن رقوم سطح آب در آن‌ها صورت نمی‌گیرد، روش مناسبی است.

زانگ و همکاران[3] (۱۹۷۶) بیان داشتند ازآنجائیکه در مدت‌زمان تخلیه جریان غلیظ ممکن است آبگیری نیز صورت گیرد، بنابراین این روش بیشتر در مناطق خشک که کمبود آب وجود دارد به‌طور گسترده می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد (به نقل از اوهی[4]، ۲۰۰۲).

اوهی (۲۰۰۲) اظهار می‌دارد که بهترین زمان انجام عبور دهی جریان غلیظ زمانی است که جریان ثقـــلی به بدنه سد رسیده باشد. در این روش زمان صحیح باز و بسته کردن دریچه‌ها بسیار مهم است، چراکه تأخیر زیاد درباز کردن دریچه‌ها یا ناکافی بودن مقدار بازشدگی دریچه‌ها منجر به تخلیه بسیار کم رسوبات از سد خواهد شد. در عوض اگر دریچه‌ها خیلی زودتر از زمان مناسب بازشوند یا مقدار بازشدگی آن‌ها خیلی زیاد باشد، در آن صورت آب باارزش ذخیره‌شده در مخزن را از دست خواهیم داد. ظرفیت تخلیه کننده تحتانی بایستی به‌اندازه‌ای باشد که جریان غلیظ بتواند از آن خارج شود یعنی حداقل در حد دبی ورودی باشد.

امامقلی زاده و همکاران[5] (۲۰۱۸) چند استراتژی مختلف جهت مدیریت رسوب‌گذاری مخزن سد دز شامل مدیریت حوضه آبریز، فلاشینگ، تخلیه جریان غلیظ و ایجاد تونل کنارگذر را موردبررسی قراردادند. نتایج حاکی از آن بود که تخلیه جریان غلیظ توسط دریچه‌های آبیاری می‌تواند رسوب‌گذاری را در مخزن سد دز به میزان ۱۱ تا ۱۵ درصد کاهش دهد. عملیات فلاشینگ تحت‌فشار باعث کاهش تراز رسوبات در نزدیکی آبگیر نیروگاه می‌گردد و در حدود ۲ درصد از رسوب‌گذاری در مخزن سد می‌کاهد. با احداث یک‌بند در ۹ کیلومتری بالادست سد و به‌کارگیری تکنیک بایپس، می‌توان از ورود ۱/۸ میلیون مترمکعب رسوب در سال به درون مخزن، ممانعت به عمل آورد. درنهایت اجرای استراتژی‌های مدیریت حوضه آبریز در زیر حوضه سزار، میزان ۱۵ درصد از ورود رسوبات به درون مخزن سد دز را کاهش خواهد داد.

رمضانی و قمشی (۱۳۹۰) میزان تأثیر جریان‌های غلیظ بر روند رسوب‌گذاری مخزن سد سفیدرود در یک دوره ۳۰ ساله را مورد ارزیابی قراردادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در صورت خروج جریان‌های غلیظ از سد، بازده تله اندازی شاخه قزل‌اوزن حدود ۳۰ درصد و شاخه شاهرود حدود ۲۰ درصد نسبت به حالتی که تأثیر این جریان‌ها نادیده گرفته شود، کاهش می‌یابد و در صورت خروج جریان‌های غلیظ از سد، متوسط کاهش حجم سالیانه مخزن در شاخه قزل‌اوزن از ۱/۰۷ به ۰/۷۳ درصد و در شاخه شاهرود از ۰/۵۵ به ۰/۴۳ درصد کاهش می‌یابد.

زایری و قمشی (۱۳۹۸) از دو مدل یک‌بعدی و سه‌بعدی، جهت شبیه‌سازی پیشروی جریان گل‌آلود ورودی به مخزن سد دز استفاده نمودند. در این پژوهش کمیت‌های هیدرودینامیکی جریان گل‌آلود شامل ارتفاع و سرعت متوسط جریان به‌دست‌آمده از مدل عددی محاسبه و با نتایج داده‌های اندازه‌گیری شده مقایسه گردید که برای سرعت متوسط حداقل خطا ۶/۳ درصد و حداکثر خطا ۱۰/۵ مشاهده گردید. خطاهای مشاهده‌شده برای ارتفاع متوسط جریان حداقل ۴/۶ و حداکثر ۸/۷ درصد است. از تحلیل مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده‌شده می‌توان بیان داشت که دبی‌های بین ۲۳۰ تا ۶۰۰ مترمکعب در ثانیه با غلظت رسوب ۰/۵ تا ۱/۱۵ گرم در لیتر جریان گل‌آلود ضعیفی ایجاد نموده‌اند، به‌طوری‌که این جریان‌ها نتوانسته‌اند خود را به دیواره سد برسانند. دبی‌های بیش از ۶۰۰ مترمکعب در ثانیه با غلظت رسوب بیش از ۱/۲ گرم در لیتر جریان گل‌آلود نسبتاً قوی ایجاد نموده‌اند که توانسته‌اند خود را به دیواره سد برسانند.

لی و همکاران[6] (۲۰۱۴) مخزن تیسنگوِن[7] را با استفاده از ترکیب سه رویکرد آزمایشگاهی، تئوری و عددی عملیات تخلیه جریان غلیظ برای دو سیلاب مختلف موردبررسی قراردادند. نتایج حاکی از آن بود در حالتی که این عملیات از طریق آبگیر و یا تخلیه‌کننده تحتانی صورت می‌پذیرد، راندمان اندازه‌گیری شده از ۱٪ تجاوز نمی‌کند؛ درحالی‌که سرریز این سد می‌تواند رسوبات را با راندمان ۱۷٪ به سمت پایین‌دست منتقل کند.

---

[1] Graf & Altinakar
[2] Fan & Morris
[3] Zang et al
[2] Ohey
[5] Emamgholizadeh et al
[6] Lee et al
[7] Tsengwen Reservoir

در مخزن سد سفیدرود واقع در شهر منجیل، میزان اثربخشی عملیات تخلیه جریان غلیظ در دو حالت مقایسه گردید. حالت اول تنها از طریق دریچه‌های ورودی نیروگاه، حالت دوم دریچه کننده تحتانی و دریچه‌های نیروگاه به‌صورت هم‌زمان. نتایج نشان داد که راندمان تخلیه از ۲/۳ درصد در حالت اول به ۳۵ درصد در حالت دوم افزایش می‌یابد (موریس و فان، ۱۹۹۷). همچنین نتایج حاکی از آن است که رهاسازی جریان غلیظ از دریچه‌های تخلیه به افزایش عمر مفید مخزن این سد کمک شایانی می‌نماید.

امینی و همکاران[1] (۲۰۱۷) در پژوهشی راندمان تخلیه جریان غلیظ را برای سد رودبار لرستان موردبحث بررسی قراردادند. بدین منظور، شبیه‌سازی‌های سه‌بعدی از جریان غلیظ در طول ۱۱ کیلومتر و فرآیند خروج آن تحت سناریوهای مختلف بازشدگی تخلیه‌کننده تحتانی، با استفاده از نرم‌افزار ANSYS CFX مدل‌سازی و اجرا گردید. آن‌ها برای محاسبه راندمان تخلیه جریان غلیظ، از دو مفهوم راندمان کلی و راندمان موضعی استفاده نمودند. نتایج حاکی از آن بود که بازشدگی ۵۰٪ هر دو مجرای تخلیه‌کننده منجر به خروج ۳۵٪ از کل رسوبات واردشده توسط جریان غلیظ ورودی به مخزن خواهد شد. علاوه بر آن پیش‌بینی می‌شود، باز کردن هم‌زمان دو مجرای تخلیه در وضعیت ۵۰٪ بازشدگی و یا باز نمودن تنها یکی از مجراها در وضعیت ۱۰۰٪ بازشدگی، بهینه‌ترین حالت را برای دست یافتن به راندمان تخلیه مناسب درعین‌حال هدر رفت آب کمتر در پی خواهد داشت.

هووانگ و همکاران[2] (۲۰۰۵) یک مدل عددی برای شبیه‌سازی جریان غلیظ که از روی بستر متحرک عبور می‌کند ارائه دادند. مدل ساختار عمودی غلظت و سرعت را هم‌زمان با تغییر در بستر که درنتیجه فرسایش و رسوب‌گذاری حاصل می‌گردد را شبیه‌سازی می‌کند. در این مدل معادلات متوسط رینولدزی ناویر- استوکس برای محلول رقیق را به‌روش حجم محدود حل می‌کند. نتایج نشان داد که در جریان غلیظ و کدر لایه‌بندی شده عدد اشمیت متلاطم باید بزرگ‌تر از یک باشد. همچنین در جریان زیربحرانی ضریب اختلاط سیال پیرامون تقریباً ۱ یا ۲ برابر کوچک‌تر از جریان فوق بحرانی به دست آمد.

اسلوف[3] (۱۹۹۱) طول مخزن سد، دبی سیلاب ورودی به مخزن، ابعاد و رقوم ارتفاعی دریچه‌های خروجی را از عوامل مؤثر اصلی در فرایند تخلیه جریان غلیظ از دریچه تخلیه‌کننده تحتانی قلمداد نمود. بیسون[4] (۱۹۹۷) علاوه بر موارد یادشده توسط اسلوف، شیب مخزن سد، مدت‌زمان سیلاب ورودی به مخزن، دبی خروجی و زمان باز کردن دریچه‌های تخلیه کننده تحتانی را عوامل مرتبط با ضریب تخلیه جریان غلیظ از دریچه تخلیه کننده تحتانی برشمرد.

روش پژوهش

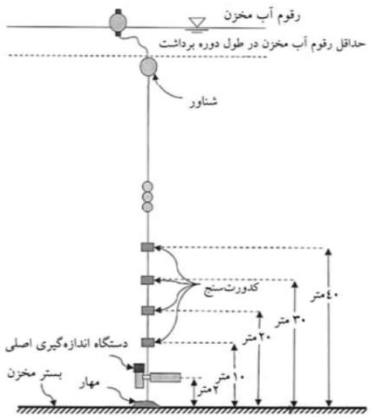
سد بتنی دو قوسی دز واقع در ۲۰ کیلومتری شمال شهرستان اندیمشک بر روی رودخانه دز روی سنگ‌هایی از جنس کنگلومرا ساخته شده است. طول تاج این سد ۲۱۲ متر و رقوم تاج سد ۳۵۴ متر از سطح دریا است، حداکثر تراز بهره‌برداری سد در رقوم ۳۵۲ متر از سطح دریا است. سطح دریاچه در این رقوم به ۶۵ کیلومترمربع می‌رسد که ظرفیت کل ۳/۳ میلیارد مترمکعب آب را دارد. حداقل تراز بهره‌برداری از مخزن ۳۱۰ متر و رقوم آستانه سرریزها ۳۳۵ متر از سطح دریا است. دهانه آبگیر نیروگاه در رقوم ۲۷۵ متر از سطح دریا قرار دارد. این سد ۱۲۵ هزار هکتار از اراضی پایین‌دست را آبیاری می‌کند و نقش مهمی در کنترل سیلاب‌های بالادست مخزن دارد. مساحت حوضه آبریز رودخانه تا محل احداث سد دز ۱۷۳۲۰ کیلومترمربع و میزان متوسط دبی سالانه رودخانه در محل سد معادل ۲۳۰ مترمکعب در ثانیه است (زلقی و همکاران[5]، ۲۰۲۰).

[1] Amini et al
[2] Huang et al
[3] Sloff
[4] Basson
[5] Zallaghi et al

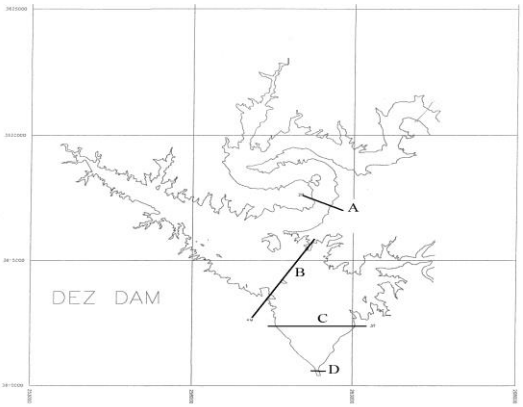
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی مخزن سد دز

مطالعات اندازه‌گیری جریان غلیظ در مخزن سد دز توسط مرکز تحقیقات آب و شرکت سهامی آب و برق خوزستان، در دو نوبت صورت پذیرفت؛ نوبت اول از تاریخ ۹ دسامبر ۲۰۰۲ لغایت ۱ جولای ۲۰۰۳ و در نوبت دوم از تاریخ ۳۰ دسامبر ۲۰۰۶ لغایت ۱۰ مارس ۲۰۰۷. بدین منظور در مسیر خط القعر آبراهه و در ایستگاه‌هایی که موقعیت آن‌ها در شکل (۱) نشان داده‌شده، نسبت به‌اندازه‌گیری مشخصات جریان اقدام گردیده است. دستگاه‌های مورداستفاده جهت برداشت پارامترهای هیدرولیکی جریان گل‌آلود شـامل دستگاه کدورت‌سنج، جریان‌سنج نقطه‌ای و نمونه‌بردار نانسن است. از ابزار RBR[1] جهت ثبت پارامترهای درجه حرارت، هدایت الکتریکی، کدورت، از ابزار RCM 9[2] جهت ثبت سرعت و جهت جریان و اندازه‌گیری پارامترهای درجه حرارت، هدایت الکتریکی، کدورت و اکسیژن محلول در آب و از ابزار ADCP[3] برای اندازه‌گیری و برداشت پروفیل قائم سرعت و جهت جریان مورداستفاده قرار گرفت. در شکل (۲) نحوه نمونه‌برداری پارامترهای جریان گل‌آلود در عمق‌های مختلف مخزن نشان داده‌شده است.

روی‌هم‌رفته در هر دو نوبت از اندازه‌گیری‌ها تعداد ۱۲ واقعه جریان غلیظ ثبت‌شده که بعضی از آن‌ها در همان ابتدای مخزن از بین رفته و تعدادی از آن‌ها نیز به دیواره سد رسیده‌اند و مقدار قابل‌توجهی از رسوبات را به دیواره سد رسانده‌اند. برای کالیبراسیون مدل، پروفیل غلظت رسوبات معلق حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی در ایستگاه‌های A و D با نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. علت انتخاب ایستگاه‌های فوق در اختیار داشتن داده‌های کاملی از اندازه‌گیری غلظت رسوبات است.



(الف)

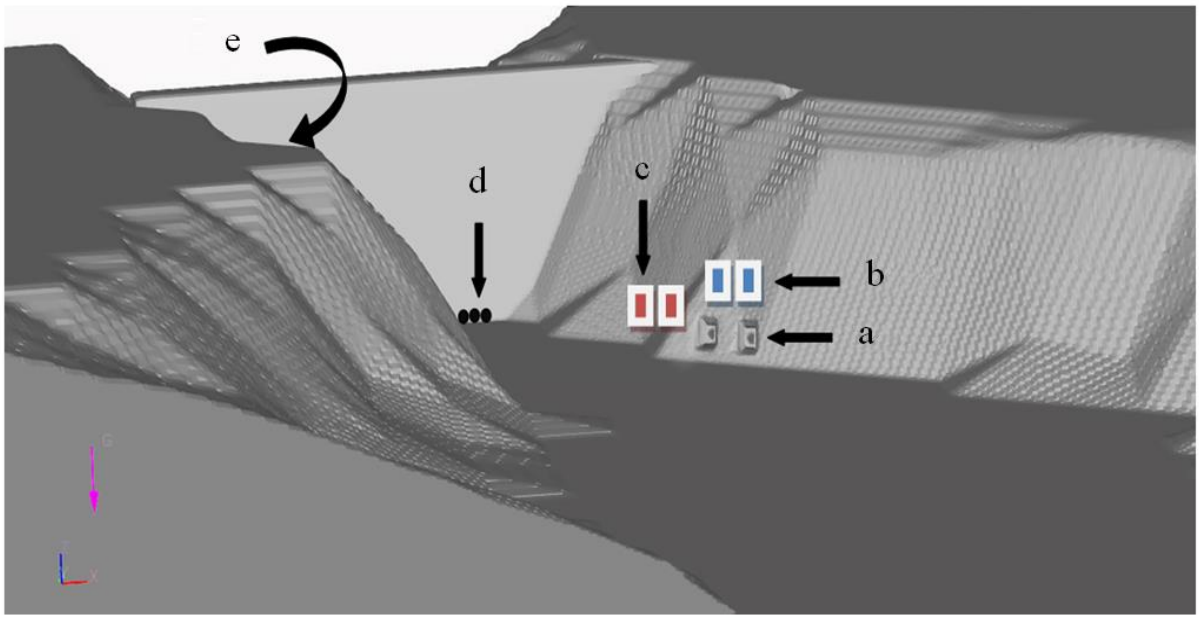


(ب)

شکل ۲. (الف) نحوه نصب دستگاه‌ها در مخزن سد دز، (ب) موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری

[1] Richard Brancker Research (RBR)
[2] Recording Current Meter-Model 9 (RCM9)
[3] Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)

جهت معرفی هندسه مخزن سد به مدل از نقشه‌های هیدروگرافی مخزن سد دز که توسط شرکت سهامی سازمان آب و برق خوزستان در سال ۱۳۸۹ به‌دست‌آمده بود استفاده گردید. همچنین جهت ایجاد مجرای تخلیه در هندسه کلی مخزن، با استفاده از مجموعه نرم‌افزار اتوکد، ابتدا هندسه سازه تخلیه‌کننده به‌صورت سه‌بعدی ترسیم شد و سپس در موقعیت پیشنهادی یعنی در زیر آبگیر نیروگاه دوم جانمایی گردید. لازم به ذکر است، بر اساس مطالعات توسعه نیروگاه دز، دهانه آبگیر نیروگاه دوم در تراز ۲۹۵ در نظر گرفته‌شده است. لذا در این پژوهش با توجه به تراز فعلی رسوبات (۲۶۰ متر)، مطابق شکل (۳) موقعیت تونل‌های تخلیه‌کننده جریان گل‌آلود در حدود ۴۰ متر بالادست نیروگاه اول و در تراز ۲۶۵ متر با قطر داخلی ۹ متر پیشنهاد گردیده است.



شکل ۳. موقعیت قرارگیری a) تخلیه‌کننده پیشنهادی، b) آبگیر نیروگاه اول، c) آبگیر نیروگاه دوم، d) دریچه‌های آبیاری و e) سرریزها

معادلات حاکم

معادله‌های حاکم که توسط مدل عددی حل می‌گردد، عبارت‌اند از (۱) معادله پیوستگی، (۲) معادلات ناویر استوکس برای جریان سیال به همراه فرضیات بوسینسک و (۳) معادلات انتقال برای کمیت اسکالر:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i}=0 \tag{۱}$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t}+u_j\frac{\partial u_i}{\partial x_j}=-\frac{1}{\rho_r}\frac{\partial P}{\partial x_i}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(S_{ij}\right)+g_i\frac{\rho-\rho_r}{\rho_r} \tag{۲}$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_i}(u_i\varphi)=\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\Gamma\frac{\partial \varphi}{\partial x_i}-\overline{u_i'\varphi'}\right) \tag{۳}$$

در معادله‌های فوق u_i مؤلفه سرعت در جهت x_i، P فشار کل، g_i شتاب ثقل در جهت x_i، ρ چگالی که تابعی از دما و غلظت رسوب است، ρ_r چگالی سیال مبنا، Γ انتشار مولکولی کمیت اسکالر φ، $\overline{u_i'\varphi'}$ شار آشفتگی کمیت اسکالر φ و S_{ij} تانسور تنش بوده که برای جریان آشفته به‌صورت معادله (۴) بیان می‌شود:

$$S_{ij}=\left[\rho(\nu+\nu_t)\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\right]-\left[\frac{2}{3}\rho(k+\nu_t)\frac{\partial u_i}{\partial x_i}\delta_{ij}\right] \quad (۴)$$

در معادله فوق ν_t لزجت گردابه‌ای است که تابع خصوصیات جریان و آشفتگی است، δ_{ij} برای کاربردی کردن تعریف لزجت گردابه‌ای استفاده می‌شود و k انرژی جنبشی آشفتگی بر واحد جرم است. در جریان‌های آشفته علاوه بر تنش برشی ناشی از مؤلفه متوسط جریان، تنش برشی دیگری ناشی از مؤلفه‌های نوسانی سرعت ایجاد می‌شود که به تنش‌های رینولدز معروف است و توسط رابطه (۵) بیان می‌گردد:

$$S_{ij}=-\rho\overline{u_i'u_j'}=\rho\nu_t\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)-\frac{2}{3}\rho k\delta_{ij} \quad (۵)$$

در معادله‌های فوق، انرژی جنبشی آشفتگی بر واحد جرم توسط رابطه (۶) بیان می‌شود:

$$k=\frac{1}{2}\left(\overline{u_i'^2}+\overline{u_j'^2}+\overline{u_k'^2}\right) \quad (۶)$$

شرایط مرزی و اولیه مدل

شرایط مرزی در این پژوهش به شرح زیر است:

Xmin: این مرز به‌عنوان مرز ورودی جریان به مخزن در نظر گرفته‌شده است. برای این مرز گزینه Specified pressure با تراز سطح آب ۳۵۲ متر که همان تراز نرمال سد دز است، در نظر گرفته‌شده است.

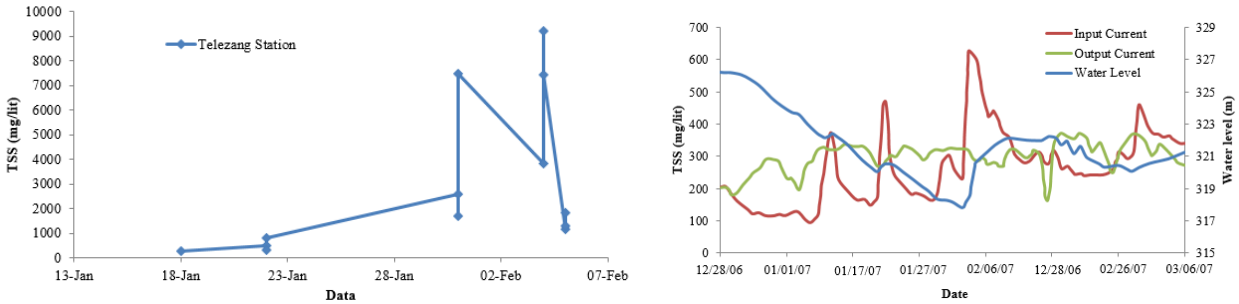
Xmax: این مرز به‌عنوان مرز خروجی جریان در نظر گرفته‌شده است. گزینه Out flow برای این مرز انتخاب گردید.

برای مرزهای Ymin، Ymax و Zmin شرایط مرزی Wall اتخاذ گردید.

Zmax: این سطح مرز مابین سیال و هوای آزاد را شامل می‌شود. گزینه Symmetry برای این مرز انتخاب شد.

شرایط اولیه متغیرهای هیدرودینامیکی در این شبیه‌سازی، ازآنجایی‌که محدوده موردبررسی مخزن یک سد است، از نوع فشار هیدرو استاتیک انتخاب گردید. همچنین ارتفاع اولیه سطح آب برابر با تراز نرمال مخزن ۳۵۲ متر در نظر گرفته‌شده است.

اطلاعات دبی متوسط روزانه به مخزن و تراز روزانه متوسط سطح آب در نزدیکی دیوار سد برای هر واقعه و هر ایستگاه توسط مؤسسه تحقیقات آب اندازه‌گیری شده است و به‌عنوان شرایط مرزی به مدل داده‌شده‌اند. شکل (۴، الف) نمونه‌ای از دبی ورودی را نشان می‌دهد. همچنین مؤسسه تحقیقات آب در نوبت دوم اندازه‌گیری غلظت رسوبات ورودی از ایستگاه هیدرومتری تله زنگ را به‌صورت هم‌زمان انجام داد. در شکل (۴، ب) نمودار TSS در ایستگاه هیدرومتری تله زنگ نشان داده‌شده است. شایان ذکر است در همه روزها این اندازه‌گیری سه مرتبه صورت پذیرفت که مقادیر آن‌ها در گراف مشخص گردیده است (گزارش نهایی اندازه‌گیری جریان غلیظ در مخزن سد دز، ۱۳۸۸).



(ب) (الف)

شکل ٤. (الف) هیدرو گراف ورودی به سد و خروجی از آن و تراز آب مخزن، (ب) نمودار TSS در ایستگاه هیدرومتری تله‌زنگ

لازم به ذکر است، جهت انجام کلیه شبیه‌سازی‌ها از یک سیستم رایانه‌ای ۶۴ هسته‌ای و با مشخصات پردازنده مرکزی و حافظه ذخیره‌سازی Intel Xeon CPU E5-2680 v4 @ 2.4GHz, 60GB Memory بهره گرفته شد.

محاسبه راندمان دریچه تخلیه‌کننده تحتانی

بنا به تعریف، راندمان تخلیه رسوب (VE) عبارت است از نسبت جرم رسوب خارج‌شده به جرم رسوب ورودی به مخزن توسط جریان غلیظ در مدت‌زمان سیلاب. (موریس و فان، ۱۹۹۷ و لی و همکاران، ۲۰۱۴)

$$VE=\frac{M_{VENT}}{M_{TC}}=\frac{\int_{t=0}^{t=T} C_{VENT}Q_{VENT}dt}{\int_{t=0}^{t=T} C_{TC}Q_{TC}dt} \quad (۷)$$

در رابطه فوق M_{VENT} و M_{TC} به ترتیب جرم کل رسوبات خروجی و ورودی، C_{VENT} و C_{TC} به ترتیب غلظت رسوبات خروجی و ورودی جریان غلیظ در لحظه t، Q_{VENT} و Q_{TC} به ترتیب دبی خروجی و دبی جریان غلیظ ورودی به مخزن در لحظه t و T مدت‌زمان کل سیلاب است.

محاسبه شدت اختلاط در بدنه جریان غلیظ

حرکت جریان غلیظ درون سیال پیرامون، باعث اختلاط جریان غلیظ و سیال پیرامون می‌گردد. درواقع شدت اختلاط ناشی از کشش سیال پیرامون و ورود آن از طریق حدفاصل جریان غلیظ و سیال پیرامون است و به‌صورت نسبت سرعت اختلاط به‌سرعت متوسط جریان غلیظ تعریف می‌شود (ترنر[1] ۱۹۷۳).

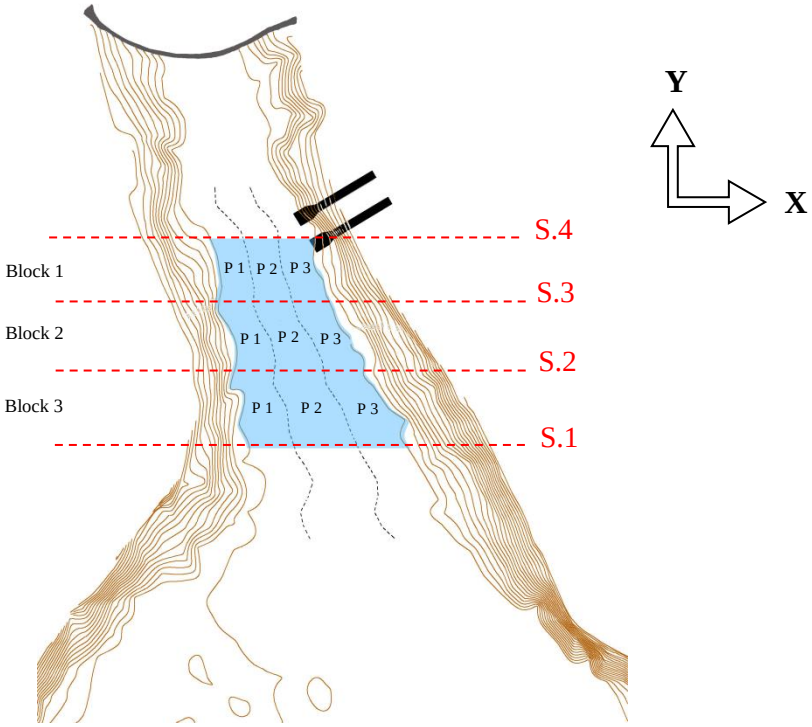
$$(E_w)_{j,j+1}=\left[\frac{2}{U_j+U_{j+1}}\right]\left[\frac{q_{j+1}-q_j}{x_{j+1}-x_j}\right] \quad (۸)$$

در رابطه فوق j و $j+1$ نشان‌دهنده دو مقطع متوالی در مسیر جریان می‌باشند. حال با محاسبه مقادیر سرعت متوسط (U) و دبی در عرض واحد جریان (q) در دو مقطع متوالی، می‌توان میزان شدت اختلاط را با استفاده از رابطه فوق به‌دست آورد.

به‌منظور ارزیابی تأثیر احداث دریچه تخلیه‌کننده بر جریان غلیظ ورودی به مخزن، از سه غلظت ۱، ۴ و ۸ گرم در لیتر و سه بازشدگی ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد دریچه تخلیه، به‌عنوان سناریوهای پژوهش برای محاسبه راندمان و همچنین تخمین شدت اختلاط سیال پیرامون در جریان غلیظ در بالادست تخلیه‌کننده استفاده شد. در این راستا مطابق شکل ۵، چهار مقطع عرضی در بالادست دریچه تخلیه در نظر گرفته شد. موقعیت مقطع S1 در فاصله ۱۲۰۰ متری، S2 در فاصله ۸۰۰ متری، S3 در فاصله ۵۰۰ متری و S4 در مجاورت دریچه تخلیه قرار

[1] Turner

دارد. برای افزایش دقت در محاسبه شدت اختلاط، هر یک از مقاطع مذکور به سه بخش مساوی تقسیم گردید. به‌عبارت‌دیگر، در هر مقطع سه پروفیل عمقی سرعت و سه دبی در واحد عرض برداشت گردید و درنهایت نسبت به پیش‌بینی شدت اختلاط بین مقاطع (بلوک ۱، ۲ و ۳) در نواحی p1، p2 و p3 پرداخته شد.



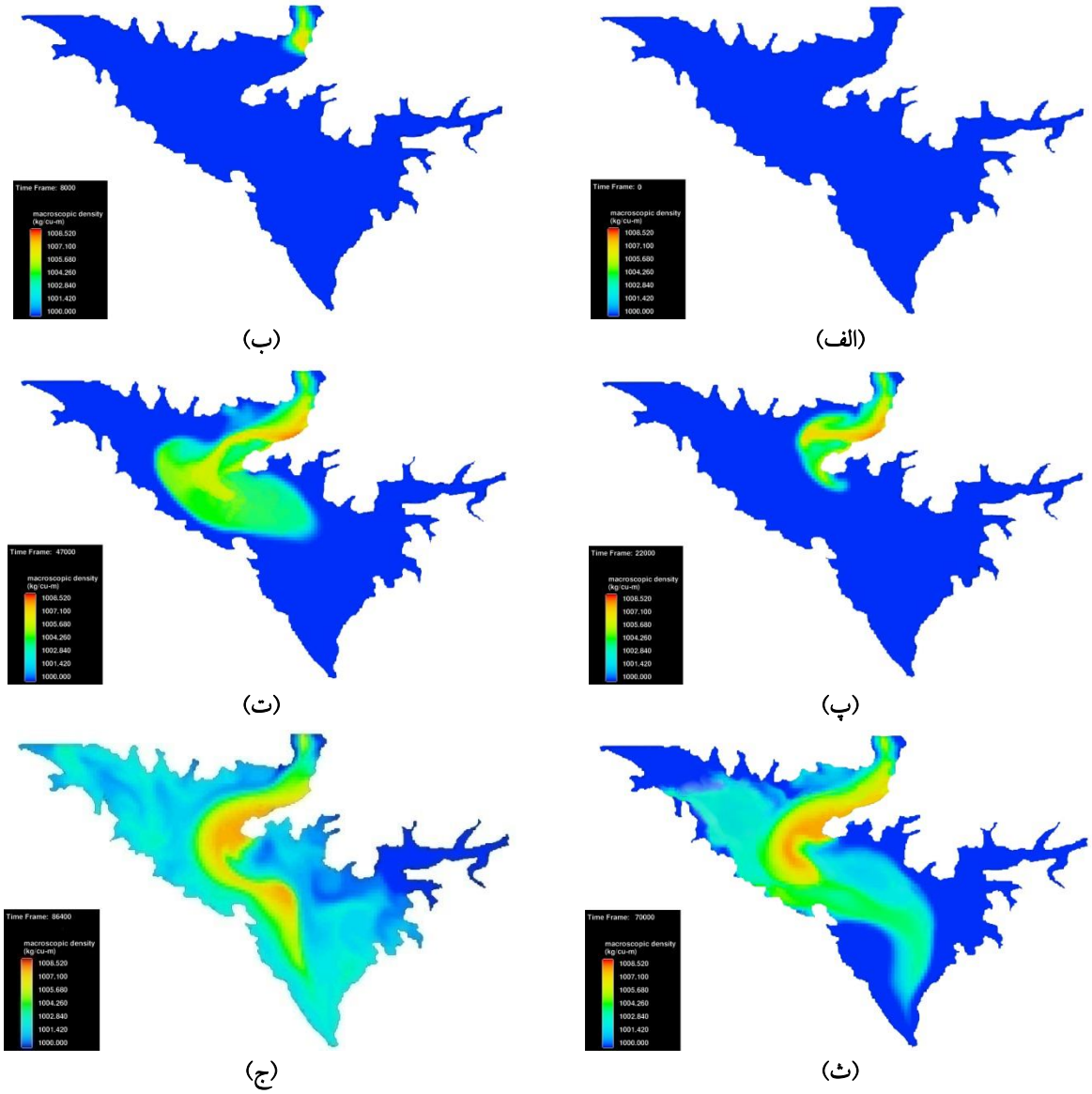
شکل ۵. موقعیت مقاطع عرضی بالادست دریچه تخلیه‌کننده تحتانی

یافته‌ها

واسنجی مدل عددی

با توجه به اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در مخزن سد که در تاریخ‌های ۲۰۰۳/۳/۲۷ تا ۲۰۰۳/۳/۲۹ و ۲۰۰۳/۴/۲۴ تا ۲۰۰۳/۴/۲۵ گزارش شده است، هیدرو گراف‌های ورودی به مخزن در تاریخ‌های مذکور به‌عنوان مرز ورودی به مدل معرفی شد.

در شکل (۶) توزیع غلظت بار معلق و نحوه حرکت جریان گل‌آلود در مخزن سد دز مربوط به سیلاب مورخه ۲۰۰۳/۳/۲۷ نمایش داده شده است. با توجه به هیدرو گراف سیلاب ورودی جریان گل‌آلود، مسیر ۲۲ کیلومتری تا بدنه سد را در زمان تقریبی یک روز طی خواهد کرد.

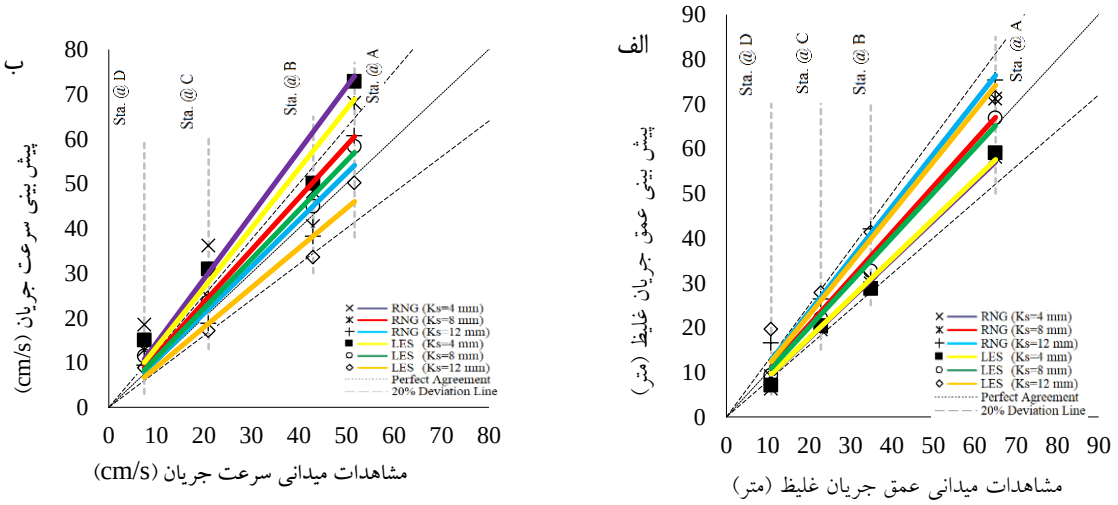


شکل ٦. پیشروی جریان غلیظ ورودی به مخزن سد دز و نحوه توزیع بار معلق پس از وقوع سیلاب مورخه ۲۰۰۳/۳/۲۷ در زمان: الف) ۰ ثانیه، ب)۸۰۰۰ ثانیه، پ) ۲۲۰۰۰ ثانیه، ت) ٤۷۰۰۰ ثانیه، ث)۷۰۰۰۰ ثانیه و ج)۸٦٤۰۰ ثانیه

به‌منظور واسنجی مدل، مقادیر عمق و سرعت جریان غلیظ پیش‌بینی‌شده حاصل از شبیه‌سازی عددی با مشاهدات میدانی در ایستگاه‌های اندازه‌گیری A، B، C و D مقایسه گردید. بدین منظور با تغییر ارتفاع زبری دیواره مخزن (Ks) و همچنین استفاده از مدل‌های تلاطمی مختلف، اقدام به تدقیق نتایج واسنجی گردید. سپس با تجزیه‌وتحلیل آماری و تعیین توابع خطای حاصل از پیش‌بینی مقادیر عمق و سرعت جریان غلیظ نظیر حداکثر خطا (ME)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) به ارزیابی کارایی بخش‌های مختلف صحت‌سنجی پرداخته خواهد شد.

برای نمونه، نمودارهای شکل (۷) محدوده پراکندگی مقادیر پیش‌بینی‌شده عمق و سرعت جریان غلیظ اندازه‌گیری شده را در مقابل نتایج حاصل از مشاهدات میدانی در تاریخ ۲۰۰۳/۳/۲۷ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد استفاده از مدل تلاطمی LES و اختصاص زبری دیواره مخزن معادل Ks=8mm در تخمین عمق، نتایج نزدیک‌تری با مشاهدات میدانی دارد. از طرفی در پیش‌بینی مقدار سرعت، مدل آشفتگی RNG و زبری دیواره Ks=12mm نتایج مطلوب‌تری ارائه می‌دهد. با توجه به جدول (۱) حداکثر خطای مربوط به محاسبه عمق و سرعت به ترتیب برابر ۶/۲۷ درصد و ۹/۴۳ درصد است.

تجزیه‌وتحلیل آماری گویای این مطلب است که نتایج پیش‌بینی‌شده حاصل از انتخاب مدل تلاطمی شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES) و همچنین اختصاص ارتفاع زبری دیواره معادل ۸ میلی‌متر، هماهنگی مطلوبی با داده‌های میدانی گزارش‌شده دارد.



شکل ۷. مقایسه نتایج پیش‌بینی‌شده و مشاهدات میدانی الف) عمق و ب) سرعت جریان غلیظ در تاریخ ۲۰۰۳/۳/۲۷

جدول ۱. توابع خطای حاصل از نتایج پیش‌بینی‌شده در مقابل مشاهدات میدانی در تاریخ ۲۰۰۳/۰۳/۲۷

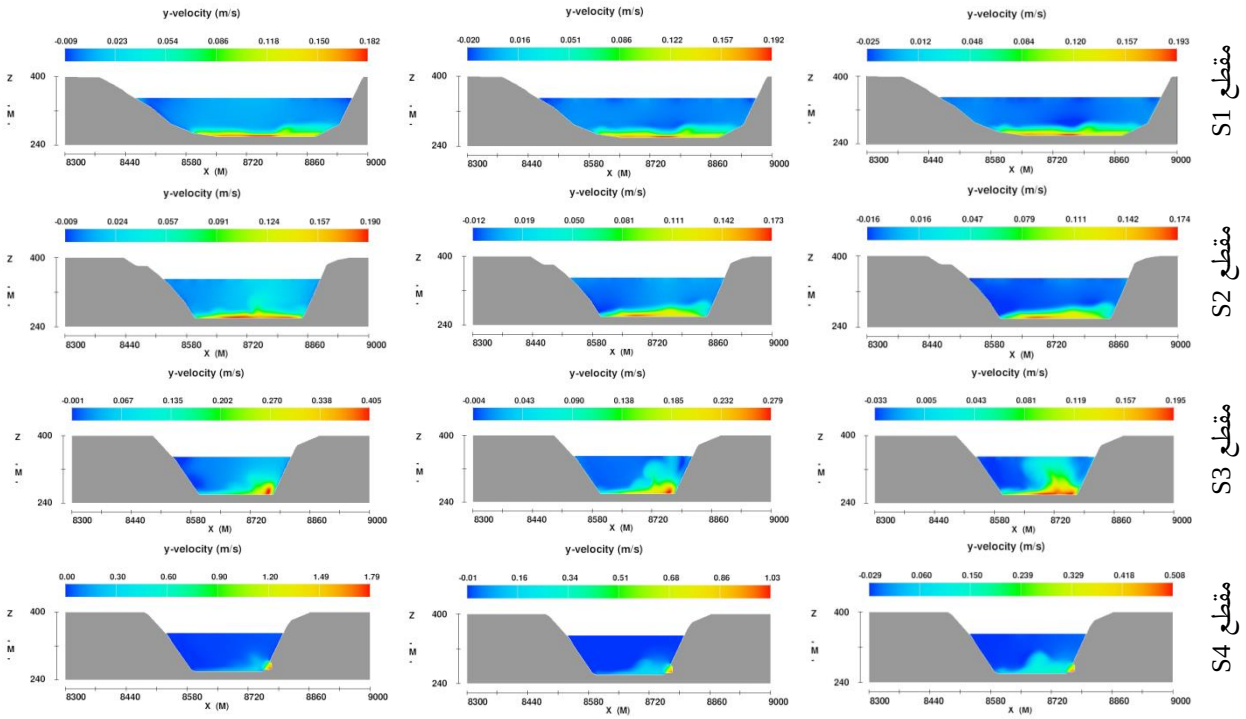
پارامتر	مدل تلاطمی	ارتفاع زبری (میلی‌متر)	ME	MAE	RMSE
عمق	RNG	4	10.89	4.94	5.10
	RNG	8	7.94	3.14	3.29
	RNG	12	9.50	6.66	7.10
	LES	4	9.17	4.58	4.84
	LES	8	6.27	1.61	1.69
	LES	12	8.97	7.07	7.22
سرعت	RNG	4	11.28	15.31	17.80
	RNG	8	10.45	6.97	8.91
	RNG	12	8.73	4.47	5.31
	LES	4	10.14	11.46	12.81
	LES	8	9.96	3.80	4.21
	LES	12	9.43	4.04	5.20

مجموعه محاسبات حاصل از توابع خطا برای کلیه تاریخ‌های مذکور حاکی از آن است که نتایج پیش‌بینی‌شده حاصل از انتخاب مدل تلاطمی شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES) و همچنین اختصاص ارتفاع زبری دیواره معادل ۸ میلی‌متر، هماهنگی مطلوبی با داده‌های میدانی گزارش‌شده دارد. لازم به ذکر است حداکثر خطای محاسبه‌شده در مقادیر پیش‌بینی‌شده سرعت و عمق جریان، به ترتیب ۱۴/۶۷ و ۱۳/۸۲ درصد است.

تأثیر احداث تخلیه‌کننده بر روند سرعت جریان گل‌آلود

همان‌طور که بیان گردید، سازه آبگیر مجرای تخلیه‌کننده رسوبات، به لحاظ موقعیت هندسی در زیر سازه‌های آبگیر نیروگاه دوم و در تراز ۲۶۵ متر در نظر گرفته‌شده است. در زمان تخلیه جریان غلیظ به‌واسطه انحراف خطوط جریان به سمت تخلیه‌کننده، الگوی جریان ورودی به مخزن علی‌الخصوص در فواصل نزدیک به بدنه سد تحت‌الشعاع قرار خواهد گرفت.

با دقت در شکل (۸) می‌توان بیان نمود که در مقاطع S1 و S2 با افزایش میزان بازشدگی دریچه تخلیه، تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در سرعت جریان مشاهده نمی‌گردد. درحالی‌که در مقطع S3 با افزایش میزان بازشدگی دریچه از ۲۵٪ به ۵۰٪ و همچنین از ۵۰٪ به ۱۰۰٪، ماکزیمم سرعت به ترتیب افزایش ۴۳ و ۴۵ درصدی را در پی خواهد داشت؛ اما در مقطع S4 با توجه به موقعیت استقرار آن در مجاورت مجرای تخلیه، با افزایش بازشدگی دریچه از ۲۵٪ به ۵۰٪ و همچنین از ۵۰٪ به ۱۰۰٪، آهنگ افزایش ماکزیمم سرعت به ترتیب ۱۰۲ و ۷۴ درصد پیش‌بینی گردید.



(الف) (ب) (ج)

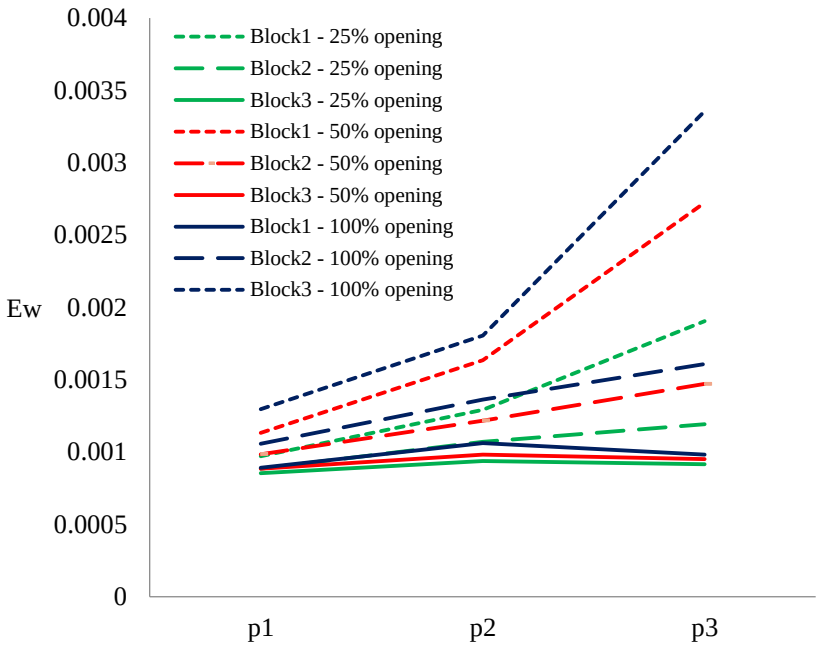
شکل ۸. پروفیل عرضی سرعت در مقاطع مختلف به ازای بازشدگی الف) ۲۵٪ ب) ۵۰٪ ج) ۱۰۰٪

تأثیر درصد بازشدگی درشدت اختلاط

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، شدت اختلاط ناشی کشش سیال پیرامون و ورود آن از طریق حدفاصل جریان غلیظ و سیال پیرامون است و بـه‌صورت نسبت سرعت اختلاط به‌سرعت متوسط جریان غلیظ تعریف می‌شود؛ بنابراین می‌توان افزایش میزان شدت اختلاط را به‌مثابه افزایش آشفتگی در جریان و معیاری بر کاهش آهنگ رسوب‌گذاری در مخزن سد تلقی گردد.

نمودار شکل (۸) به‌منظور بررسی اثر میزان گشودگی دریچه تخلیه برشدت اختلاط جریان غلیظ ترسیم گردیده است. در این نمودار مقادیر شدت اختلاط در محدوده‌های p1، p2 و p3 که واقع در حدفاصل مقاطع S1، S2، S3 و S4 است، به ازای درصد بازشدگی‌های مختلف محاسبه گردید. با توجه نمودارهای شکل (۹) در همه بازشدگی‌ها، تغییرات عرضی شدت اختلاط در بلوک ۱ تقریباً ثابت بود و در بلوک ۲ افزایش اندکی دیده شد. این امر می‌تواند گواهی بر تأثیر اندک اثر بازشدگی دریچه بر میزان شدت اختلاط در این نواحی باشد؛ اما در بلوک ۳ به‌ویژه در نواحی p2 و p3 افزایش قابل‌توجهی درشدت اختلاط جریان شاهد هستیم. علت این امر آن است که افزایش میزان بازشدگی دریچه منجر به انحراف بیش‌تر خطوط جریان به‌طرف تخلیه‌کننده می‌شود و به دنبال آن سرعت جریـان افزایش می‌یابد.

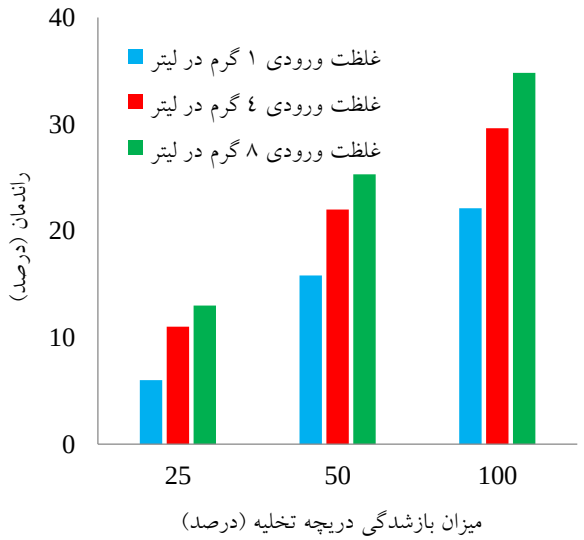
با متوسطگی‌ای از مقادیر شدت اختلاط، به‌طورکلی می‌توان به این نتیجه پی برد که با افزایش درصد بازشدگی میزان شدت اختلاط افزایش می‌یابد. آهنگ تغییرات شدت اختلاط به‌گونه‌ای است که با تغییر درصد بازشدگی از ۲۵٪ به ۵۰٪ به‌طور متوسط ۲۰ درصد و با تغییر درصد بازشدگی از ۵۰٪ به ۱۰۰٪ به‌طور متوسط ۱۶ درصد افزایش می‌یابد.



شکل ۹. محاسبه شدت اختلاط در بازشدگی‌های مختلف

راندمان دریچه تخلیه‌کننده تحتانی

همان‌طور که پیش‌تر بدان اشاره شد، راندمان تخلیه رسوب (VE) از نسبت جرم رسوب خارج‌شده به جرم رسوب ورودی به مخزن توسط جریان غلیظ در مدت‌زمان انجام عملیات تخلیه محاسبه می‌شود؛ بنابراین با استخراج مقادیر پیش‌بینی‌شده دبی و غلظت رسوب خروجی از تخلیه‌کننده و با دانستن دبی و غلظت ورودی اقدام به محاسبه راندمان می‌گردد. نتایج حاصل از محاسبه راندمان در شرایط مختلف میزان بازشدگی دریچه و همچنین غلظت‌های ورودی متفاوت در نمودار شکل (۱۰) قابل‌مشاهده است.



شکل ۱۰. محاسبه راندمان تخلیه رسوب از دریچه تخلیه‌کننده

با توجه به نمودار فوق، می‌توان دریافت که با افزایش میزان بازشدگی دریچه از ۲۵٪ به ۵۰٪ درصد، راندمان تخلیه رسوبات به‌طور متوسط ۳۵ درصد و با افزایش میزان بازشدگی دریچه از ۵۰٪ به ۱۰۰٪ درصد، به‌طور متوسط راندمان ۲۱ درصد افزایش می‌یابد. به‌طورکلی با افزایش غلظت در یک بازشدگی ثابت، در راندمان تخلیه افزایش نسبی مشاهده گردید؛ اما با افزایش بازشدگی دریچه، خطوط جریان بیشتری به سمت مجرای تخلیه منحرف می‌گردد و افزایش قابل‌توجه در راندمان خروج رسوبات را به دنبال دارد. بااین‌حال در بازشدگی ۱۰۰٪ هدر رفت آب زلال مخزن به حداکثر می‌رسد که این موضوع از منظر مدیریت آب مخزن سد می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد.

بحث

عدم پیش‌بینی دریچه تخلیه‌کننده تحتانی مناسب در مخزن سد دز یکی از مهم‌ترین عواملی است که موجب تشدید راندمان تله اندازی رسوبات و از دست رفتن حجم آن شده است. بالا آمدن تراز رسوبات و به دنبال آن اتمام عمر مفید سد دز، تبعات غیرقابل‌جبران اجتماعی و اقتصادی به دنبال خواهد داشت که از آن جمله می‌توان به کاهش سطح زیر کشت تابستانه و بیکاری ده‌ها هزار نفر شاغل در بخش کشاورزی شهرستان‌های پایین‌دست، وقوع سیلاب‌های مهلک، احتمال افزایش شوری رودخانه کارون بزرگ و از دست رفتن ۵۲۰ مگاوات ظرفیت برق درنتیجه کاهش توانایی کنترل فرکانس برق سراسر کشور اشاره نمود.

در این پژوهش، احداث و استقرار مجرای تخلیه رسوب در زیر ورودی تونل آب‌بر نیروگاه باهدف تثبیت تراز فعلی رسوبات نهشته شده و تخلیه سیلاب‌های حاوی ذرات رسوبی به پایین‌دست سد، به‌عنوان یک رویکرد کارآمد در مدیریت رسوب مخزن سد دز پیشنهاد گردیده است. در این راستا تلاش گردید با بهره‌گیری از ابزار مدل‌سازی عددی در جهت ارزیابی دقیق‌تر الگوی جریان غلیظ ورودی به مخزن در شرایط احداث تخلیه‌کننده تحتانی و میزان تأثیر آن در خروج رسوبات، گام برداشته شود. لذا پس از واسنجی مدل، شبیه‌سازی‌ها باهدف بررسی میزان شدت اختلاط سیال به درون جریان غلیظ در بالادست دریچه و همچنین محاسبه راندمان تخلیه رسوب با به‌کارگیری سه وضعیت بازشدگی دریچه (۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد) و سه غلظت ورودی ۱، ۴ و ۸ گرم در لیتر صورت پذیرفت.

نتیجه‌گیری

با توجه الگوی جریان شکل‌گرفته در مخزن سد دز (شکل ۶) مشاهده می‌شود که پیش از رسیدن جریان گل‌آلود به بدنه سد، پیشانی جریان گل‌آلود از نزدیکی جناح سمت چپ بالادست سد گذر می‌کند؛ بنابراین می‌توان اظهار داشت که قرارگیری سازه تخلیه رسوب در آن جناح، امکان عبور دهی جریان حاوی رسوبات معلق را باراندمان بالاتری فراهم می‌آورد. بااین‌حال استقرار مجرای تخلیه رسوب در جناح سمت راست و در موقعیت زیر سازه آبگیر نیروگاه دوم علاوه بر عبور دهی بخشی از جریان گل‌آلود ورودی به مخزن، از ورود رسوبات به آبگیرهای نیروگاه ممانعت به عمل می‌آورد.

تجزیه‌وتحلیل آماری حاصل از واسنجی مدل حاکی از آن است که نتایج پیش‌بینی‌شده توسط شبیه‌سازی عددی هماهنگی مطلوبی با داده‌های میدانی گزارش‌شده دارد. به‌گونه‌ای که انتخاب مدل تلاطمی شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES) و همچنین اختصاص ارتفاع زبری دیواره مخزن، معادل ۸ میلی‌متر، عمق و سرعت جریان غلیظ را به ترتیب با حداکثر خطای ۱۴/۶۷ و ۱۳/۸۲ درصد تخمین زده می‌شود.

میزان خروج رسوبات از مخزن سد ارتباط مستقیمی با غلظت ورودی و درصد بازشدگی تخلیه‌کننده تحتانی دارد. با متوسط گیری از نتایج در غلظت‌های ورودی مختلف، نسبت غلظت خروجی از دریچه تخلیه به غلظت ورودی مخزن در بازشدگی‌های ۲۵٪، ۵۰٪ و ۱۰۰٪ به ترتیب برابر ۱۵/۴، ۲۰/۸ و ۲۵/۱ درصد محاسبه گردید.

در ارتباط با تأثیر احداث تخلیه‌کننده برشدت اختلاط، می‌توان گفت به‌طورکلی با نزدیک شدن جریان به دهانه ورودی دریچه تخلیه، شدت اختلاط سیال پیرامون به درون جریان غلیظ افزایش می‌یابد. آهنگ تغییرات شدت اختلاط به‌گونه‌ای است که با تغییر درصد بازشدگی از ۲۵٪ به ۵۰٪ به‌طور متوسط ۲۰ درصد و با تغییر درصد بازشدگی از ۵۰٪ به ۱۰۰٪ به‌طور متوسط ۱۶ درصد افزایش می‌یابد.

با افزایش درصد بازشدگی دریچه، میزان اثرگذاری مجرای تخلیه بر انحراف و شتاب‌گیری خطوط جریان گسترده‌تر می‌شود. به‌گونه‌ای که در مقطع S3 با افزایش میزان بازشدگی دریچه از ۲۵٪ به ۵۰٪ و همچنین از ۵۰٪ به ۱۰۰٪، ماکزیمم سرعت به ترتیب افزایش ۴۳ و ۴۵ درصدی را در پی خواهد داشت؛ اما در مقطع S4 با توجه به موقعیت استقرار آن در مجاورت مجرای تخلیه، با افزایش بازشدگی دریچه از ۲۵٪ به ۵۰٪ و همچنین از ۵۰٪ به ۱۰۰٪، آهنگ افزایش ماکزیمم سرعت به ترتیب ۱۰۲ و ۷۴ درصد پیش‌بینی گردید.

منابع

بصیر زاده، حبیب ا... ،، و صمدی بروجنی، حسین. (۱۳۸۲). امکان‌سنجی هدایت جریان‌های غلیظ مخزن سد دز به سمت مجاری سرریز با استفاده از شافت قائم مستغرق، ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، اصفهان، ایران. https://civilica.com/doc/914

رمضانی، یوسف.، و قمشی، مهدی. (۱۳۹۰). بررسی میزان تأثیر جریان‌های غلیظ بر روند رسوب‌گذاری مخزن سد سفیدرود، نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی) ،(۴)۲۵، ۸۸۰-۸۷۴. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.10250

بی‌نام. (۱۳۸۸). گزارش نهایی اندازه‌گیری جریان غلیظ در مخزن سد دز، مرکز تحقیقات آب و شرکت سهامی آب و برق خوزستان، ایران.

فاضلی، میثم.، و قمی، راحله. (۱۴۰۰). بررسی عددی تخلیه جریان پر رسوب رودخانه در زمان سیلاب از مخزن سدها (مطالعه موردی سد رودبار). نشریه سد و نیروگاه برق‌آبی ایران، ۸(۳۱)، ۸۶-۷۴. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23225882.1400.8.31.4.3

زایری، محمدرضا.، و قمشی، مهدی. (۱۳۹۸). مدل‌سازی عددی جریان گل‌آلود در مخزن سد دز، نشریه مهندسی عمران و محیطزیست، (۱)۴۹، ۸۸-۷۷. 10.22034/ceej.2019.8958

References

Amini, A., Venuleo, S., Chamoun, S., De Cesare, G., Schleiss, A., & Takhtemina, F. (2017). Investigation of venting turbidity currents in the Rudbar-Lorestan reservoir in Iran. In Abstract Book of the 85th ICOLD Annual Meeting. https://infoscience.epfl.ch/record/229961?ln=en

Basirzadeh, H., Samadi-Boroujeni, H. (2003). Feasibility of diverting turbidity currents of Dez dam reservoir toward weir tunnels using a submerged vertical shaft. 6th International Conference on Civil Engineering, Isfahan, Iran. https://civilica com/doc/914 [In Persian]

Basson, G. A. (1997). Dealing with Reservoir Sedimentation. Water Research Commission Report, 1–4. https://cir.nii.ac.jp/crid/1573105974285976704

Chamoun, S., De Cesare, G., & Schleiss, A. J. (2017). Management of turbidity current venting in reservoirs under different bed slopes. Journal of environmental management, 204, 519-530. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.030

Emamgholizadeh, S., Bateni, S.M., & Nielson, J.R. (2018). Evaluation of different strategies for management of reservoir sedimentation in semi-arid regions: a case study (Dez Reservoir). Lake and reservoir management, 34(3), 270-282. https://doi.org/10.1080/10402381.2018.1436624

Fan, J., & Morris, G.L. (1992). Reservoir sedimentation. II: Desiltation and long-term storage Engineering. Journal of Hydraulic, 118(3), 370-384. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1992)118:3(370)

Fazeli, M., & Ghomi, R. (2022). Numerical study of river sediment venting during flood from the reservoir of dams (Case study of Rudbar dam). Iranian Dam and Hydroelectric Powerplant, 8(31), 74-86. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23225882.1400.8.31.4.3 [In Persian]

Graf, W.H., & Altinakar M.S. (1998). Fluvial Hydraulics: Flow and Transport Processes in Channels of Simple Geometry. John Wiley and Sons, Ltd, England.

Huang, H., Imran, J. & Pirmez, C. (2005). Numerical model of turbidity currents with a deforming bottom boundary. Journal of Hydraulic Engineering, 131(4), 283-293. https://doi.org/10.1061/ (ASCE) 0733-9429(2005)131:4(283)

Research Center Power Ministry. (2003). Turbidity Current measurement report of Dez Dam Reservoir. Khuzestan Water and Power Authority, Iran. [In Persian]

Lee, F.Z., Lai, J.S., Tan, Y.C., & Sung, C.C. (2014). Turbid density current venting through reservoir outlets. KSCE Journal of Civil Engineering, 18(2), 694-705. https://doi.org/10.1007/s12205-014-0275-y

Mehranfar, N., Kolahdoozan, M., & Faghihirad, S. (2023). Development of multiphase solver for the modeling of turbidity currents (the case study of Dez Dam). International Journal of Multiphase Flow, 168, 104586. https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2023.104586

Oehy, Ch. (2002). Effects of obstacles and jets on reservoir sedimentation due to turbidity currents, Communication No. 15 of the Laboratory of Hydraulic Structions LCH, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL, Switzerland. https://infoscience.epfl.ch/record/116164

Ramezani, Y., & Ghomeshi, M. (2011). Effect of Turbidity Currents on Sedimentation Process in Sefidroud Dam. Water and Soil, 25(4), pp. 874-880. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.10250 [In Persian]

Sloff, C. J. (1991). Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering. Delft, Netherlands: Faculty of Civil Engineering, Delft Univ. of Technology. http://resolver.tudelft.nl/uuid:27232f02-0e81-43ac-bebf-8e2459d6f076

Schleiss, A., De Cesare, G., & Jenzer Althaus, J.M.I. (2010). Reservoir sedimentation threatens the sustainable use of hydropower. Wasser, Energie, Luft–Eau, énergie, air, 102(1), 31-40. https://infoscience.epfl.ch/record/147714

Turner, J.S. (1973). Buoyancy Effects in Fluids. Cambridge University Press London, U.K, 178-181. https://doi.org/10.1017/CBO9780511608827

Wildt, D., Hauer, C., Habersack, H., & Tritthart, M. (2020). CFD modelling of particle-driven gravity currents in reservoirs. Water, 12(5), 1403. https://doi.org/10.3390/w12051403

Zallaghi, E., Akhoond-Ali, A. M., & Ashrafi, S. M. (2020). Dataset on sensitivity of water-energy nexus to Dez Dam power plant operation. Data in brief, 30, 105454. https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105454

Zayeri, M., Ghomeshi, M. (2019). Numerical Modeling of Turbid Density Current in Dez Reservoir. Journal of Civil and Environmental Engineering, 49, 1(94), 77-88. https://doi.org/ 10.22034/ceej.2019.8958 [In Persian]

Advanced Technologies in Water Efficiency

homepage:https://atwe.razi.ac.ir

Online ISSN:2783-4964

Analyzing the flow pattern changes caused by installing inclined plates upstream of bottom outlet using numerical simulation

Mehdi Daryaee[1]✉, Soraya Naderi[2], Mahmood Kashefipor [3], Nima Najafi [4]

[1] Associate Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: m.daryaee@scu.ac.ir

[2] Ph.D. student of Water Structures, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: so-naderi@stu.scu.ac.ir

[3] Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: kashefipour@scu.ac.ir

[4] Ph.D. student of Water Structures, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: nima-najafi@stu.scu.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

The low inflow rate of water into the dam reservoirs causes sedimentation, leading to a decrease in the service life of dam. As a result, the performance of the dam in controlling floods and generating energy through water release downstream will be affected. Additionally, sediment deposition near the bottom outlets and turbines causes their burial, leading to difficulties in their operation and utilization. Installing inclined plates in the upper of bottom outlets is suggested as a new method to increase the number of flushed sediments in pressurized flushing. Awareness of changes in the upstream flow pattern of the orifice is of great importance. In the present study, the effect of installing inclined plates on flow pattern changes in the upstream of the orifice was investigated using the Flow3D model.

Methodology

In this study, a numerical model calibration was performed using the results of experiments conducted in the hydraulic laboratory of the Faculty of Water and Environmental Engineering at Shahid Chamran University of Ahvaz, and the RNG turbulence model was chosen for conducting the simulation. The considered variables include plate width, plate installation angle, and plate installation distance to the orifice. In total, 5 scenarios (including the reference test (i.e., without installing plates)) have been defined for the numerical model.

Results and discussion

The results showed that the installation of inclined plates against the orifice led to the creation of vortexes and the development of a low-pressure zone, resulting in an increase in the volume of flushed sediment. Also, reducing the width of plates, increasing the installation angle, and increasing the installation distance of the plates will lead to a decrease in the intensity of eddies and a decrease in the range of low-pressure zone, which reduces the effect of installing inclined plates to increase flushed sediment volume.

Conclusions

Based on previous studies, the amount of sediment output in pressurized flushing is limited and confined to the vicinity of the dam body. Therefore, this method is not used to revive the dead storage capacity of the dam reservoirs. Ancillary facilities such as bottom outlets and hydro-power plant outlets are located near the dam structure, and sediment entry into these facilities can have destructive effects. Therefore, providing methods to increase sediment discharge from near the dam body can be highly beneficial. Additionally, by creating a low-pressure zone in the upstream of the outlet, a suction effect is created, which can be useful in increasing the volume of sediment discharged during turbidity current discharging from the bottom outlet.

Keywords: Bottom Outlet, Flushing Cone, Flushing, Flow Pattern.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 29 August 2023 **Revised:** 27 October 2023 **Accepted:** 21 November 2023 **ePublished:** 15 December 2023

Cite this article: Daryaee, M., Naderi, S., Kashefipour., S.M., & Najafi, N. (2023). Analyzing the flow pattern changes caused by installing inclined plates upstream of bottom outlet using numerical simulation, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 3(3), 37-52 DOI: 10.22126/ATWE.2023.9546.1059

Publisher: Razi University

© The Author(s).

فناوری های پیشرفته در بهره وری آب
وبگاه نشریه: https://atwe.razi.ac.ir شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۹۶۴

بررسی تغییرات الگوی جریان ناشی از نصب صفحات مورب در بالادست دریچه تخلیه کننده تحتانی با استفاده از شبیه‌سازی عددی

مهدی دریایی[۱] ✉ ، ثریا نادری[۲] ، سید محمود کاشفی‌پور[۳] ، نیما نجفی[۴]

[۱] دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: m.daryaee@scu.ac.ir
[۲] دانشجوی دکتری مهندسی سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه:soraya.naderi20@gmail.com
[۳] استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: kashefipour@scu.ac.ir
[۴] دانشجوی دکتری مهندسی سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: nima-najafi@stu.scu.ac.ir

چکیده

در تحقیق حاضر تاثیر نصب صفحات مورب روی تغییرات الگوی جریان در بالادست تخلیه کننده تحتانی با استفاده از مدل Flow3D مورد بررسی قرار گرفت. متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق عبارتند از عرض صفحات، زاویه نصب صفحات و فاصله نصب صفحات تا تخلیه کننده تحتانی. در مجموع ۵ سناریو (با در نظر گرفتن حالت شاهد (بدون نصب صفحات)) برای مدل عددی از جمله تاثیر افزایش فاصله قرار گیری صفحات مورب از تخلیه کننده‌ی تحتانی در عرض و زاویه قرار گیری یکسان، تاثیر عرض صفحات مورب بر الگوی جریان در فاصله و زاویه قرارگیری یکسان نسب به تخلیه کننده‌ی تحتانی و تاثیر زاویه قرارگیری صفحات مورب با عرض یکسان و فاصله‌ی برابر از تخلیه کننده تحتانی بر الگوی جریان تعریف شد. برای کالیبراسیون مدل عددی از سه مدل حل آشفتگی k-ε، Laminar و RNG استفاده شد که کالیبراسیون مدل عددی با استفاده از نتایج آزمایشگاهی انجام و مدل تلاطم RNG با R^2=0.9847 و RMSE=14.32 به منظور انجام شبیه‌سازی انتخاب شد. برای صحت سنجی مدل‌های حل آشفتگی از مقایسه سرعت‌های طولی در راستای مرکز تخلیه کننده تحتانی در حالت شاهد آزمایشگاهی و مدلسازی با سه مدل حل آشفتگی ذکر شده استفاده گردید. نتایج حاصل نشان داد که نصب صفحات مورب در مقابل تخلیه کننده تحتانی منجر به ایجاد گردابه‌ها و همچنین توسعه ناحیه کم‌فشار در بالادست شده که منجر به افزایش حجم رسوبات خروجی می‌شود. همچنین کاهش عرض صفحات، افزایش زاویه نصب و افزایش فاصله نصب صفحات منجر به کاهش شدت گردابه‌ها و کاهش محدوده ناحیه کم‌فشار خواهد شده که از تاثیر نصب صفحات مورب به منظور افزایش حجم رسوبات خروجی کاسته می‌شود. مقایسه کمی تغییرات ناحیه کم فشار و همچنین الگوهای جریان در حالت‌های مختلف در حالت آزمایشگاهی ممکن نبود. لذا مقایسه‌ی گرافیکی موارد ذکر شده از جمله مزایای مهم استفاده از مدل عددی نسبت به حالت آزمایشگاهی بود.

واژه‌های کلیدی: تخلیه کننده تحتانی، مخروط رسوبشویی، فلاشینگ، الگوی جریان.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی
سابقه مقاله: دریافت: ۰۷ شهریور ۱۴۰۲ **اصلاح:** ۰۵ آبان ۱۴۰۲ **پذیرش:** ۳۰ آبان ۱۴۰۲ **چاپ الکترونیکی:** ۲۴ آذر ۱۴۰۲

استناد: دریایی، م.، نادری، ث.، کاشفی‌پور، س.م.، و نجفی، ن. (۱۴۰۲). بررسی تغییرات الگوی جریان ناشی از نصب صفحات مورب در بالادست دریچه تخلیه کننده تحتانی با استفاده از شبیه‌سازی عددی، *فناوری های پیشرفته در بهره وری آب*، ۳(۳)، ۵۲-۳۷، شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2023.9546.1059

ناشر: دانشگاه رازی
© نویسندگان.
CC BY NC

مقدمه

سرعت کم جریان آب ورودی به مخزن سد، موجب ته‌نشین شدن رسوبات در مخزن شده و درنتیجه حجم مفید مخزن را کاهش می‌دهد. با کاهش حجم مفید مخزن، عملکرد آن در کنترل سیلاب‌ها و تولید انرژی از طریق رهاسازی آب به پایین‌دست تحت‌تاثیر قرار خواهد گرفت. از طرف دیگر نشست رسوبات در نزدیکی دریچه‌های تخلیه‌کننده تحتانی و توربین‌ها، موجب مدفون شدن آن‌ها شده و بهره‌برداری از آن‌ها را با مشکلاتی مواجه خواهد ساخت. تا کنون از روش‌های مختلفی از جمله عبور جریان غلیظ از مخزن، لایروبی کردن، سیستم کنارگذر و فلاشینگ جهت تخلیه رسوبات نهشته شده در مخزن استفاده شده است. از میان روش‌های مذکور، فلاشینگ یکی از روش‌های متداول و موثر جهت خروج رسوبات از طریق تخلیه‌کننده تحتانی سد به سمت پایین‌دست می‌باشد. به صورت کلی فلاشینگ به دو صورت آزاد و تحت‌فشار انجام می‌گردد. در فلاشینگ آزاد تراز آب درون مخزن تا ارتفاع تخلیه‌کننده تحتانی پایین آورده شده و یک جریان رودخانه‌ای در مخزن ایجاد می‌شود. در فلاشینگ تحت‌فشار تراز سطح آب درون مخزن به صورت تقریبا ثابت نگه‌داشته می‌شود (شن[1]،۱۹۹۹). فلاشینگ تحت فشار در مخازن بزرگ انجام می‌شود. حجم رسوبات تخلیه‌شده در فلاشینگ تحت‌فشار به عوامل مختلفی از جمله تراز سطح آب مخزن، نوع و اندازه رسوبات، تراز رسوبات در جلوی تخلیه‌کننده، ابعاد و شکل مقطع تخلیه‌کننده و... بستگی دارد. تا کنون مطالعات متعددی در زمینه‌ی فلاشینگ تحت‌فشار صورت گرفته است(شماع و همکاران[2]، ۲۰۰۵، امامقلی زاده و فتحی مقدم[3]،۲۰۱۴. بریانت و همکاران[4]، ۲۰۰۸. مشکاتی و همکاران[5]، ۲۰۰۹. پاول و خان[6]، ۲۰۱۵).

در فلاشینگ تحت فشار بر خلاف فلاشینگ آزاد تخلیه رسوبات به صورت موضعی و تنها در اطراف تخلیه‌کننده تحتانی صورت می‌پذیرد (شن، ۱۳۹۹). بررسی هیدرولیک جریان در بالادست تخلیه کننده تحتانی موجب شناسایی عوامل موثر بر الگوی جریان، توزیع سرعت و فشار و عوامل موثر بر تقویت گردابه‌های برخاستگی می‌شود. بر این مبنا در سال‌های اخیر مطالعاتی در این خصوص انجام شده است. لذا آگاهی از هیدرولیک جریان بالادست تخلیه کننده تحتانی منجر به یافتن راهکارهای مناسب جهت افزایش راندمان فلاشینگ تحت فشار می‌گردد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

جنزر و همکاران[7] (۲۰۱۵) با کارگذاری سازه متشکل از ۴ جت در بالادست تخلیه کننده تحتانی که یک الگوی جریان ورتکس مانند محوری ایجاد کردند. با این روش میزان رسوب منتقل‌شده از تخلیه‌کننده تحتانی را نسبت به آزمایش شاهد در حدود دو برابر افزایش دادند. در این آزمایشات جزئیات الگوی جریان و تاثیر آن بر میزان خروج رسوبات با اندازه گیری کدورت و سرعت جریان مورد ارزیابی قرار گرفت. مددی و همکاران[8](۲۰۱۶) با نصب شمع‌های استوانه‌ای دور تا دور بالادست تخلیه کننده‌ی تحتانی حجم رسوبات تخلیه شده را تا ۳/۵ برابرنسبت به حالت شاهد افزایش دادند. در این تحقیق هد برای تمامی آزمایشات ثابت و برابر با ۴۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. دو متغیر دبی و فاصله‌ی کارگذاری پایه‌ها در آزمایشات متفاوت تغییر می‌یافت. وجود شمع‌های استوانه‌ای به خودی خود باعث افزایش چاله آبشستگی می‌شد و افزایش قطر پایه عمق مخروط رسوبشویی را افزایش می‌داد. اما این افزایش قطر اگر از حدی بیشتر می‌شد، پایه‌ها مانند مانعی در مقابل جریان عمل کرده که در نتیجه کاهش سرعت و آشفتگی جریان باعث کاهش عمق رسوبشویی می‌شد. در تحقیق دیگر مددی و همکاران[9](۲۰۱۷) با طرح سازه PSC (Projecting Semi-Circular structure) و اتصال آن به بالادست تخلیه کننده تحتانی، میزان حجم رسوبات منتقل شده به سمت پایین‌دست را تا ۴/۵ برابر نسبت به حالت شاهد افزایش دادند. در این تحقیق با نصب این سازه در بالادست تخلیه کننده تحتانی طول، عرض و عمق مخروط رسوبشویی به ترتیب به میزان ۲۸۰، ۴۵ و ۱۴ درصد نسبت به حالت شاهد افزایش یافت که همین امر سبب افزایش راندمان رسوبشویی تحت فشار به میزان ۴۵۰ درصد نسبت به حالت شاهد گردید. مهتابی و همکاران[10] (۲۰۱۸) با تغییر آرایش صفحات مستغرق در بالادست تخلیه کننده تحتانی از حالت موازی به شعاعی، حجم رسوبات

---

[1] Shen
[2] Shammaa et al
[3] Emamgholizadeh & Fathi-Moghadam
[4] Bryant et al
[5] Meshkati et al
[6] Powell & Khan
[7] Jenzer et al
[8] Madadi et al
[9] Madadi et al
[10] Madadi et al

تخلیه‌شده به همراه جریان خروجی از تخلیه کننده تحتانی تا ۱۱/۳۳ برابر نسبت به حالت شاهد افزایش یافت. در این آزمایشات تاثیر آرایش این صفحات در افزایش قدرت جریان گردابی و افزایش راندمان رسوبشویی تحت فشار مورد آزمایش قرار گرفت که علاوه بر بدست آمدن مقادیر بهینه طول‌های بی بعد آرایش شعاعی این نتیجه حاصل گشت که در این نحوه قرار گیری افزایش عمق آب مخزن موجب افزایش راندمان رسوب‌شویی می‌گردد به عبارت دیگر عملیات رسوب‌شویی در حالت مخزن پر راندمان بالایی داشته و نیاز به تخلیه‌ی آب مخزن نیست. بیوض‌پور و همکاران[1](۲۰۲۱) با نصب پایه با سطح مقطع مثلثی در بالادست تخلیه کننده تحتانی، میزان رسوبات انتقال یافته به پایین‌دست را تا ۷/۵ برابر نسبت به حالت شاهد افزایش دادند. این آزمایشات با ۳ دبی متفاوت انجام شد و مشاهده گردید که در حالت استفاده از این پایه در بالادست تخلیه کننده‌ی تحتانی طول، عمق و عرض مخروط رسوب‌شویی به ترتیب ۱۳۳، ۱۳۶ و ۸۰ درصد نسبت به حالت شاهد افزایش یافت. در نهایت مشاهده شد که افزایش فاصله قرارگیری بین پایه و تخلیه کننده تحتانی تاثیر کارگذاری پایه روی حجم رسوب‌شویی را کاهش می‌دهد.

حق‌جویی و همکاران[2](۲۰۲۱) با استفاده از سازه DBE (Dendritic Bottomless Extended) متصل به بالادست تخلیه کننده کننده تحتانی، حجم رسوبات خروجی از تخلیه‌کننده را در حدود ۱۰ برابر نسبت به آزمایش شاهد افزایش دادند. مشابه سازه PSC معرفی شده در تحقیقات مددی و همکاران (۲۰۱۷) که از لوله ای که قسمت تحتانی آن حذف شده بود، سازه DBE نیز از لوله هایی تشکیل شده که قسمت تحتانی آنها حذف گردیده و به یکدیگر متصل شده اند، سازه DBE نیز از یک وجه به صورت کامل با رسوبات در تماس بوده و نیز برای کارگذاری آن باید به دریچه تخلیه کننده تحتانی متصل گردد. این آزمایشات با در نظر گرفتن سه ارتفاع رسوب، سه دبی و چهار ساختار سازه با زوایای مختلف انجام شد.

بیرامی‌پور و همکاران[3] (۲۰۲۱) با طرح سناریوی آرایش واگرا برای صفحات مستغرق در بالادست تخلیه کننده تحتانی، میزان ذرات رسوبی تخلیه شده از تخلیه کننده تحتانی را تا حدود ۴۸ برابر نسبت به حالت شاهد افزایش دادند. برای بررسی حجم مخروط رسوب‌شویی و راندمان حذف رسوبات آزمایشاتی با میزان استغراق‌های مختلف، زوایای مختلف در راستای جریان، فاصله و ترتیبات واگرا و همگرا انجام و با استفاده از نتایج تجربی سه معادله برای تخمین ابعاد مخروط رسوب‌شویی پیشنهاد شد. همانطور که مشاهده می‌شود در تمام این تحقیقات راهکارهای ارائه شده منجر به افزایش آشفتگی در بالادست تخلیه کننده تحتانی و به دنبال آن افزایش حجم رسوبات خروجی شده است. پاول و خان[4] (۲۰۱۲) با استفاده از مدل آزمایشگاهی نحوه جابجایی و همچنین گستردگی و شکل رسوب‌شویی بالادست یک تخلیه کننده تحتانی دایره‌ای را تحت شرایطجریان ماندگار و در سه ارتفاع آب بالای تخلیه کننده تحتانی برای سه نوع اندازه رسوب مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از این تحقیق نتیجه‌گیری کردند که انتقال رسوبات از تخلیه‌کننده تحتانی در فلاشینگ تحت‌فشار در دو مرحله صورت می‌پذیرد. در اولین مرحله، تحت اثر تنش برشی ایجاد شده روی بستر در مجاورت تخلیه کننده تحتانی، رسوبات جابه‌جا شده و سپس در مرحله‌ی بعد گردابه‌هایی در بالادست تخلیه کننده تحتانی ایجاد می‌شود. این گردابه‌ها موجب جابه‌جایی و انتقال حجم بیشتری از رسوبات همراه جریان خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی می‌شود. لذا با افزایش شدت گردابه‌ها میزان رسوبات بیشتری از تخلیه کننده تحتانی به پایین‌دست مخزن سد تخلیه خواهد شد. یکی از روش‌های افزایش شدت این گردابه‌ها کارگذاری صفحه مقابل جریان خروجی در بالادست تخلیه کننده تحتانی می‌باشد. برخورد جریان به صفحه باعث ایجاد پدیده‌ی جداشدگی جریان و افزایش آشفتگی و تلاطم در بالادست تخلیه کننده تحتانی می‌شود (شهریاری و همکاران[5]، ۲۰۲۱). با توجه به شعاعی بودن خطوط جریان در بالادست تخلیه کننده تحتانی در تحقیق دیگر نجفی و همکاران [6](۲۰۲۲) به منظور افزایش تلاطم جریان بالادست تخلیه کننده تحتانی از کارگذاری صفحات مورب استفاده کردند و توانستند حجم رسوبات خروجی را تا ۱۹ برابر افزایش دهند. در این تحقیق سه عرض و سه فاصله نصب صفحه با دو دبی بررسی شد که در کل ۵۶ آزمایش با استفاده از ترکیب عرض، فاصله، زاویه قرار گیری و دبی خروجی انجام گردید. شاهده شد که بیشترین تاثیر کارگذاری صفحات مورب را در نزدیک ترین فاصله به تخلیه کننده تحتانی خروجی اتفاق می‌افتد. همچنین نتیجه گیری شد که با افزایش اندازه عرض صفحه،

[1] Beyvazpour et al
[2] Haghjouei et al
[3] Beiramipour et al
[4] Powell & Khan
[5] Shahriari et al
[6] Najafi et al

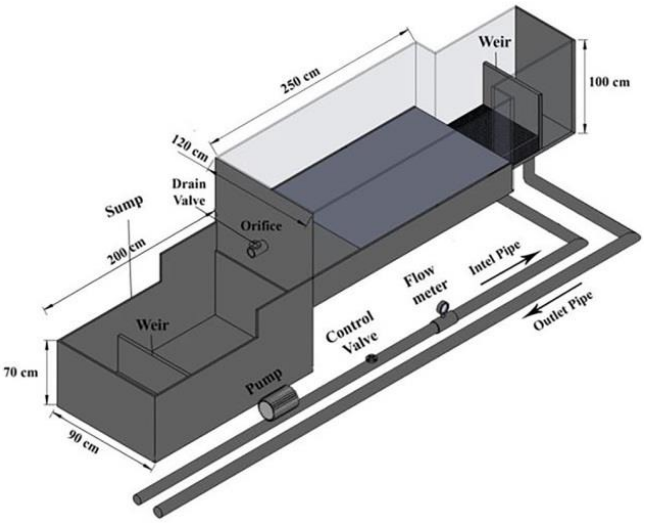
زاویه قرارگیری نسبت به تخلیه کننده تحتانی و دبی خروجی، حجم مخروط رسوبشویی افزایش خواهد یافت. به طوری که حجم مخروط رسوبشویی با کارگذاری صفحات مورب در نزدیکترین فاصله از تخلیه کننده تحتانی، بیشترین عرض صفحه، بیشترین زاویه قرارگیری صفحات نسبت به تخلیه کننده تحتانی و بزرگترین دبی خروجی، ۱۷۳۳ درصد نسبت به حالت شاهد افزایش یافت.

اندازه‌گیری مولفه‌های سرعت و فشار در آزمایشگاه در حضور صفحات مورب بالادست تخلیه کننده تحتانی به عنوان یک روش جدید در افزایش حجم رسوبات خروجی در فلاشینگ تحت فشار حین انجام آزمایش بسیار دشوار است. لذا در تحقیق حاضر تغییرات الگوی جریان ناشی از نصب صفحات مورب در بالادست تخلیه کننده تحتانی با استفاده از نرم‌افزار Flow3D شبیه‌سازی شد. با استفاده از نتایج شبیه‌سازی عددی، تاثیر نصب این صفحات روی تغییرات الگوی جریان و توزیع فشار بالادست تخلیه کننده تحتانی که منجر به افزایش میزان رسوبات خروجی می‌شود مورد بررسی قرار گرفت.

روش پژوهش

مدل آزمایشگاهی

در این تحقیق از اطلاعات آزمایشگاهی نجفی و همکاران (۲۰۲۲) استفاده شده است. برای انجام آزمایش‌ها، از یک مخزن مستطیلی با طول ۲/۵ متر، عرض ۱/۲ متر و ارتفاع ۱ متر به عنوان مدل فیزیکی استفاده شده است. در دیواره‌ی پایین‌دست این مخزن، یک تخلیه کننده تحتانی به قطر ۷ سانتی‌متر به عنوان دریچه تخلیه کننده تحتانی تعبیه شده و نیز از یک شیر تخلیه برای باز کردن تخلیه کننده تحتانی و انتقال جریان به سمت پایین دست استفاده گردید که در ادامه جریان خروجی را به درون یک مخزن در پایین دست فلوم آزمایشگاهی، برای ته‌نشینی رسوبات تخلیه شده از تخلیه کننده تحتانی هدایت می‌کرد. شکل (۱) شماتیکی از فلوم مورد استفاده ا نشان داده است.



شکل ۱. شماتیکی از فلوم مورد استفاده(نجفی و همکاران، ۲۰۲۲).

سناریوهای شبیه‌سازی

به منظور بررسی تاثیر نصب صفحات مورب روی میزان رسوب‌شویی و تغییر در الگوی جریان بالادست تخلیه کننده تحتانی ۵ سناریوی مختلف مطابق جدول (۱) از تحقیق نجفی و همکاران در نظر گرفته شد (نجفی و همکاران، ۲۰۲۲). متغیرهای موردنظر عبارتند از عرض صفحات مورب (B)، فاصله نصب صفحات مورب تا تخلیه کننده تحتانی (R) و زاویه قرارگیری صفحات نسبت به محور تخلیه کننده تحتانی (α) که در شکل (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱. پارامتر سناریوهای تعریف شده برای شبیه سازی در مدل Flow-3D

Senario	R (cm)	α (°)	B (cm)
A (Reference test)	-	-	-
B	۸/٤	٦۰	٦/۳
C	۸/٤	٦۰	٦/۳
D	۱۲/٦	٦۰	٦/۳
E	۸/٤	۳۰	٦/۳

(ب) (الف)

شکل۲. الف. نحوه نصب صفحات و ب. متغیرهای سناریوهای مختلف

در تحقیق نجفی و همکاران (۲۰۲۲) برای انجام آزمایشات از رسوبات غیر چسبنده با اندازه متوسط قطر ۰/۵ میلی‌متر با چگالی ذرات ۲/۶۵ و با انحراف استاندارد هندسی ۱/۵۵ استفاده شد. سطح آب درون مخزن در تراز ۴۹ سانتی متر در بالای مرکز تخلیه کننده تحتانی با قطر ثابت ۷ سانتی‌متر ثابت در نظر گرفته شد. دبی مورد استفاده در آزمایشات، ۸/۳۴ لیتر بر ثانیه بوده که توسط یک دبی سنج الکترومغناطیسی تنظیم گردید. برای انجام آزمایشات، در ابتدا صفحات مورب در بالادست تخلیه کننده تحتانی نصب می‌شد. به نحوی که لبه بالایی صفحات منطبق با لبه بالایی تخلیه کننده تحتانی باشد. سپس رسوبات در بالادست تخلیه کننده تحتانی تا زیر لبه‌ی پایینی تخلیه کننده تحتانی متراکم شده و با استفاده از متر لیزری تسطیح می‌شد. شکل (۲، الف) معرف این موضوع است.. در شروع آزمایش شیر تخلیه تخلیه کننده تحتانی و سیستم زهکشی بسته شده و با استفاده از پمپ، جریان آب با دبی مورد نظر به آهستگی و به تدریج وارد مخزن اصلی فلوم شده تا رسوبات از جای خود حرکت نکرده و به صورت تسطیح شده باقی بمانند. پس از استغراق کامل مقطع رسوبات، دبی جریان ورودی توسط دبی سنج الکترومغناطیس روی دبی مورد نظر تنظیم می‌شد. با رسیدن سطح آب درون مخزن به تراز مورد نظر شیر تخلیه کننده تحتانی کاملاً باز شده و جریان خروجی مخلوط آب و تخلیه رسوبات به سمت پایین دست آغاز می‌شد. لازم به ذکر است برای دبی مذکور عمق آب در مخزن پس از باز کردن کامل شیر تخلیه ثابت می‌ماند. پس از پایان هر آزمایش، شیر جریان خروجی بسته شده و آب موجود در مخزن توسط سیستم زهکشی موجود تخلیه می‌شد. پس از آن با استفاده از دستگاه متر لیزری Leica مدل Disto D510 با دقت 1 ± میلی‌متر، در مش‌بندی 1cm×1cm در جهت طولی و عرضی، در هر نقطه میزان عمق ایجاد شده نسبت به سطح مبنا برداشت می‌شد.

معرفی مدل عددی

نرم افزار Flow-3D یک نرم افزار تحلیل عددی است که قابلیت تحلیل دوبعدی و سه بعدی جریان را دارد. معادلات کلی حاکم بر مدل، معادلات ناویر استوکس و پیوستگی هستند که مدل مذکور به طور همزمان این معادلات را به صورت سه بعدی حل می‌کند. شکل کلی معادله‌ی پیوستگی جرم به‌صورت زیر است:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x)+R\frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z)+\xi\frac{\rho u A_x}{x}=R_{DIF}+R_{SOR} \qquad (۱)$$

که V_F کسر حجمی جریان، ρ دانسیته‌ی سیال، R_{DIF} عبارت پخش آشفتگی و R_{SOR} منبع جرم هستند. اجزا سرعت (u,v,w) در مختصات کارتزین در جهت (x,y,z) و در مختصات قطبی در جهت (r,θ,z) هستند. A_x، A_y و A_z برابر کسرهای سطحی برای جریان در سه جهت مختصاتی x ، y و z است و R نیز تابعی از سیستم مختصاتی است.

برای سیالات غیرقابل تراکم، ρ در معادله‌ی پیوستگی ثابت است و معادله‌ی (۱) به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$-(uA_x)+R\frac{\partial}{\partial y}(vA_y)+\frac{\partial}{\partial z}(wA_z)+\xi\frac{\rho u A_x}{x}=\frac{R_{SOR}}{\rho} \qquad (۲)$$

معادلات دیگر مورد استفاده در نرم‌افزار FLOW-3D ، معادلات مومنتم هستند. معادلات حرکت برای مولفه‌های سرعت سیال (u,v,w) در سه جهت مختصات یا به‌عبارت دیگر معادلات ناویر–استوکس به صورت معادله‌ی (۳) تا (۵) ارائه می‌شوند:

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{1}{V_F}\left\{uA_x\frac{\partial u}{\partial x}+vA_yR\frac{\partial u}{\partial y}+wA_z\frac{\partial u}{\partial z}\right\}+\xi\frac{A_y v^2}{xV_F}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+G_x+f_x-b_x-\frac{R_{SOR}}{\rho V_F}(u-u_w-\delta u_s) \qquad (۳)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{1}{V_F}\left\{uA_x\frac{\partial v}{\partial x}+vA_yR\frac{\partial v}{\partial y}+wA_z\frac{\partial v}{\partial z}\right\}+\xi\frac{A_y uv}{xV_F}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+G_y+f_y-b_y-\frac{R_{SOR}}{\rho V_F}(v-v_w-\delta v_s) \qquad (۴)$$

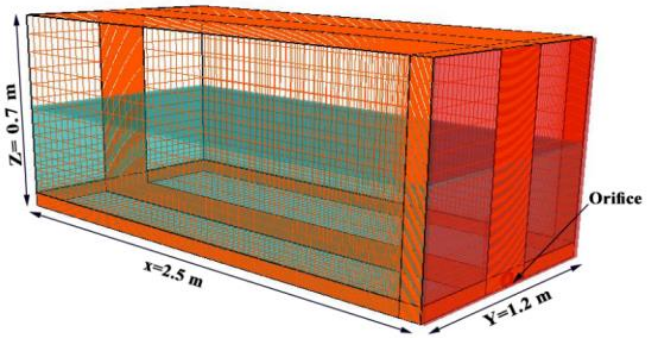
$$\frac{\partial w}{\partial t}+\frac{1}{V_F}\left\{uA_x\frac{\partial w}{\partial x}+vA_yR\frac{\partial w}{\partial y}+wA_z\frac{\partial w}{\partial z}\right\}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}+G_z+f_z-b_z-\frac{R_{SOR}}{\rho V_F}(w-u_w-\delta w_s) \qquad (۵)$$

در این معادلات (G_x,G_y,G_z) شتاب‌های بدنه، (f_x,f_y,f_z) شتاب‌های ناشی از لزجت، (b_x,b_y,b_z) افت جریان در محیط‌های دارای خلل و فرج و عبارت آخر سمت راست مربوط به تزریق جرم در سرعت صفر است. $U_w=(u_w,v_w,w_w)$ مولفه‌های سرعت جز منبع است که درصورت تعریف کردنGeneral Moving Object مقدارشان غیر از صفر است. $U_s=(u_s,v_s,w_s)$ مولفه‌های سیال در سطح منبع نسبت به خود آن است.

مش بندی، شرایط مرزی و اجرای مدل

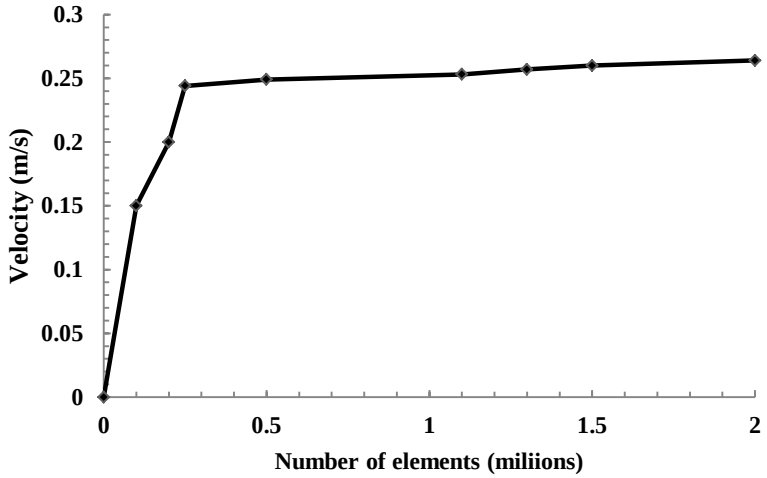
برای ایجاد شبکه حل در مدل عددی Flow-3D از شبکه حل مکعبی استفاده گردید. شبکه تعریف شده برای شبیه سازی دارای طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۲/۵، ۱/۲ و ۰/۷ متر بود که با اندازه میانگین مش کل هندسه ۲/۳ سانتی‌متری تعداد کل مش‌های شبکه حل به ۲۴۳۴۷۲ مش رسید. لازم به ذکر است که در مجاورت تخلیه کننده تحتانی و صفحات نصب شده به دلیل نیاز به مشاهده جزئیات بیشتر از ابعاد مش ریزتری استفاده گردید به نحوی که در بازه‌ی ۱۰ سانتی‌متری از هر طرف تخلیه کننده تحتانی در راستای y تعداد مش‌ها ۳۰ عدد و در فاصله کف تا بالای تخلیه کننده تحتانی در راستای z تعداد مش‌ها ۲۵ عدد در نظر گرفته شد که ابعاد مش‌ها در این نواحی به دلیل اهمیت دقت بالای نتایج کوچکتر از میانگین اندازه مش‌ها در سایر جهات است و در شکل (۳) نشان داده شده است. تعداد مش‌ها به

تفکیک در راستای طول شبکه ۱۰۹، در راستای عرض ۵۲ و در راستای ارتفاع فلوم ۴۳ عدد بود که کوچکترین ابعادمش تعریف شده در راستای ارتفاع فلوم و به اندازه‌ی ۰/۲۸ سانتی‌متر در راستای Z و y و بزرگترین ابعاد تعریف شده برای شبکه حل نیز در راستای عرض و در مجاورت دیواره‌ها و به اندازه‌ی ۱۱ سانتی‌متر بود.



شکل ۳. مش بندی تعریف شده برای شبیه‌سازی

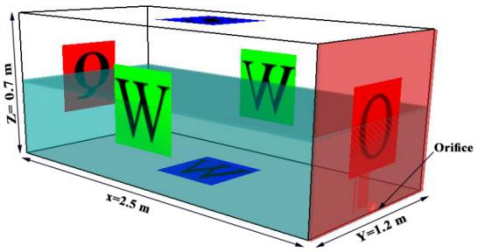
یکی از مهمترین مزایای استفاده از مدل عددی نسبت به مدل آزمایشگاهی صرفه جویی در وقت است. در مدل عددی به هر میزان که مش کوچکتری انتخاب گردد دقت نتایج بالاتر رفته و زمان شبیه‌سازی نیز افزایش می‌یابد ولی این نکته به آن معنا نیست که برای کیفیت بیشتر پیوسته می‌توان اندازه مش را کوچکتر کرد. کوچکتر شدن مش از اندازه‌ای به بعد نه تنها تاثیری بر دقت نتایج نداشته بلکه باعث وقوع عدم پایداری در حل عددی نیز می‌گردد. انتخاب اندازه‌ی بهینه‌ی مش به نحویکه هم نتایج از دقت کافی برخوردار باشند و هم زمان شبیه سازی بهینه باشد در هر شبیه سازی متفاوت است و با بررسی چندین اندازه‌ی مش در شبیه سازی یکسان و مقایسه نتایج حاصل می‌گردد. در این تحقیق با کوچکتر کردن ابعاد مش‌ها و مقایسه سرعت خروجی در زمان و مکان یکسان، اندازه مش‌بندی بهینه انتخاب گردید (شکل ۴). لازم به ذکر است محل اندازه‌گیری سرعت در امتداد محور عبوری از مرکز تخلیه‌کننده تحتانی و در ۵ سانتیمتری بالادست آن می‌باشد. در مدل Flow-3D به منظور در نظر گرفتن تاثیر لایه مرزی در نزدیکی جداره‌ها، پارامتر بدون بعد y^+ تعریف می‌شود. این پارامتر باید در محدوده $۱۱/۲۲۵<y^+<۳۰$ باشد. در تحقیق حاضر این پارامتر معادل ۱۵/۲۳ تعیین شد (محمدپور و همکاران[1]، ۲۰۱۳).



شکل ٤- ارزیابی تاثیر افزایش تعداد مش‌ها در دقت نتایج

[1]Mohammadpour et al

تعریف شبکه مرزی بر روی شبکه حل به اینگونه بود که در ورودی فلوم (X_{min}) شرط مرزی *Volume Flow Rate* با دبی ۰/۰۰۸۳۴ متر مکعب بر ثانیه و عمق ثابت آب ورودی ۴۹ سانتی‌متر از مرکز تخلیه کننده تحتانی، صفحه خروجی (X_{max}) شرط مرزی *OutFlow*، دیواره‌های جانبی و کف فلوم شرط مرزی *Wall* و سقف فلوم نیز *Symmetry* تعریف گردید (شکل۵).



شکل ۵- شرایط مرزی و اولیه مورد استفاده در شبیه سازی

برای بررسی دقت نتایج از شاخص‌های آماری ضریب تعیین (R^2) و مجذور مربعات خطا ($RMSE$) مطابق روابط (۶) و (۷) استفاده شد.

$$R^2=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(y_m-y_p\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(y_m-\bar{y}_p\right)^2} \quad (۶)$$

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(y_m-y_p\right)^2}{n}} \quad (۷)$$

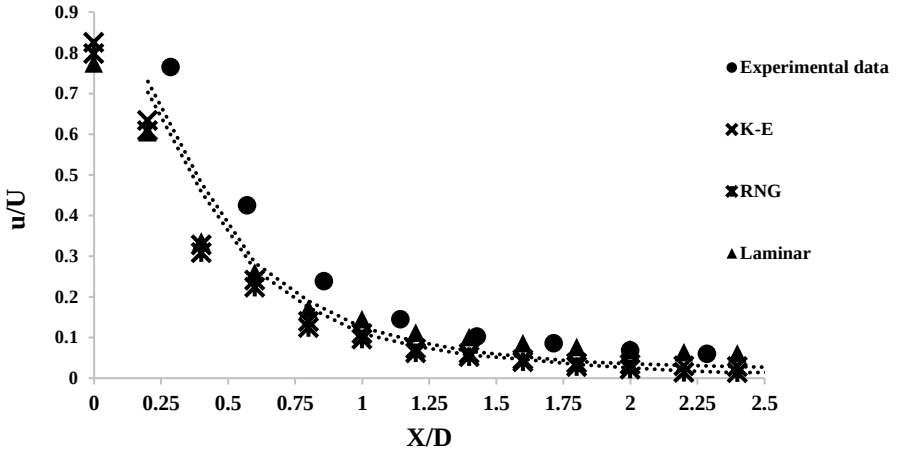
در این روابط n: تعداد داده‌ها، y_m: مقادیر اندازه‌گیری شده و y_p: مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد.

یافته‌ها

کالیبراسیون مدل عددی

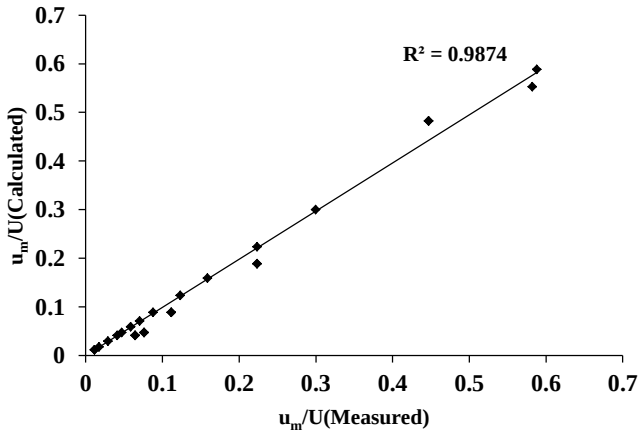
برای کالیبراسیون مدل عددی از نتایج مقاله (نادری و همکاران[۱]،۲۰۲۲) استفاده شد. در تحقیق آنها تراز رسوبات تا لبه پایین تخلیه کننده تحتانی تسطیح شده و برای جلوگیری از ایجاد اختلال ناشی از حرکت رسوبات در نتایج اندازه‌گیری، با استفاده از یک لایه نازک سیمان سطح رسوبات پوشیده شد. سپس پروفیل‌های طولی و عرضی سرعت در بالادست تخلیه کننده تحتانی با استفاده از دستگاه سرعت سنج الکترومغناطیس (JFE ALEC, Model ACM3-RS) با دقت اندازه گیری دستگاه ±2% اندازه‌گیری گردید. همانطور که در شکل ۵ ملاحظه می‌گردد مدل عددی Flow-3D قادر پیش‌بینی مولفه‌های سرعت در بالادست تخلیه کننده تحتانی با دقت قابل قبول می‌باشد. برای انتخاب معادله حل آشفتگی با دقت مناسب شبیه سازی از سه مدل حل آشفتگی k-ε، Laminar و RNG استفاده شد.د ر هر سه شبیه سازی سرعت در راستای ۲۰ سانتی‌متر بالادست مرکز تخلیه کننده تحتانی در راستای طولی و سرعت جریان خروجی از تخلیه کننده تحتانی استخراج گردید. سپس پروفیل نسبت سرعت طولی به سرعت خروجی از تخلیه کننده تحتانی در مقابل نسبت فاصله از بالادست تخلیه کننده تحتانی به قطر تخلیه کننده تحتانی ترسیم گردید و نتایج با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شد (شکل ۶). در شکل ۶، u سرعت طولی در راستای مرکز بالادست تخلیه کننده تحتانی، U سرعت جریان خروجی از تخلیه کننده، x فاصله از بالادست و D قطر تخلیه کننده را نشان می‌دهد.

[18] Naderi et al



شکل ۶- پروفیل طولی سرعت در راستای بالادست مرکز تخلیه کننده تحتانی

برای کالیبراسیون مدل پس از استخراج نتایج از دو شاخص R^2 و RMSE استفاده گردید که در مدل تلاطم *RNG* با R^2=0.9847 و RMSE=14.32 به عنوان مدل تلاطم برای سایر شبیه‌سازی‌ها استفاده شد. در این شکل u_m معرف اندازه سرعت برآیند در نقطه می-باشد.



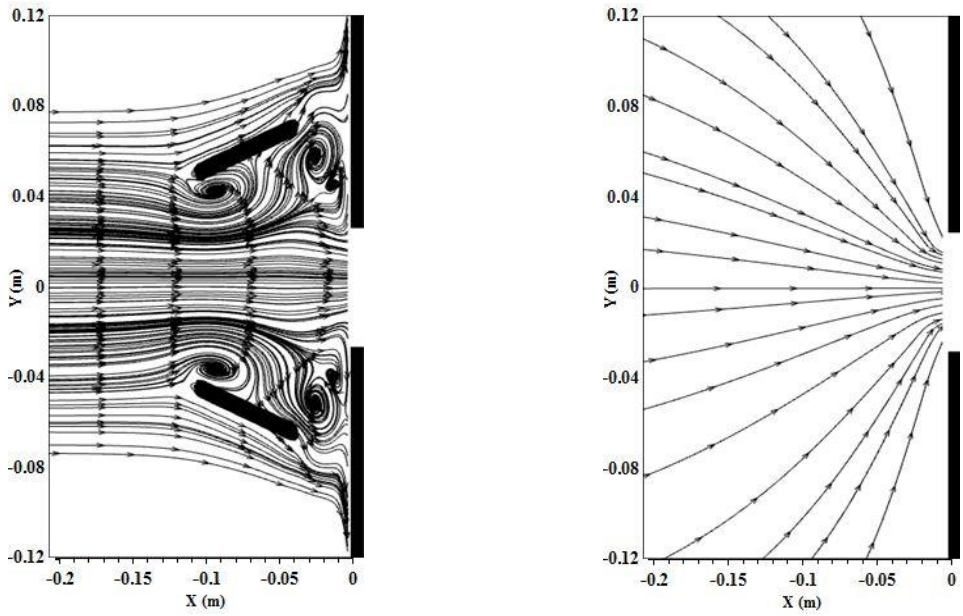
شکل ۷- نتایج کالیبراسیون مدل عددی با استفاده از نتایج آزمایشگاهی

تاثیر نصب صفحات مورب بالادست تخلیه کننده تحتانی روی الگوی جریان

همانطور که عنوان شد الگوی جریان در بالادست تخلیه کننده تحتانی به صورت شعاعی است. این خطوط با برخورد به صفحات مورب در بالادست تخلیه کننده تحتانی دچار پدیده جداشدگی می‌شوند. این جداشدگی باعث تشدید گردابه‌های برخاستگی در مقایسه با حالت شاهد (شکل ۸) و توسعه‌ی ناحیه کم فشار در بالادست تخلیه کننده تحتانی می‌گردد (شکل ۹). بعد از گذشت مدتی از عملیات فلاشینگ تحت فشار گردابه‌هایی در بالادست تخلیه کننده تحتانی تشکیل شده که عامل اصلی تخلیه رسوبات می‌باشد (پاول و خان۱۵، ۲۰۱۵). لذا تشدید این گردابه‌ها می‌تواند حجم رسوبات خروجی را افزایش دهد. در شکل‌های ۸- ب و ۹- ب نتایج سناریوی B ارائه شده است. بر اساس مطالعات نجفی و همکاران (۲۰۲۲) نصب صفحات مطابق با سناریوی B توانسته تا ۱۹ برابر حجم رسوبات خروجی را نسبت به حالت بدون نصب صفحات افزایش دهد. به منظور بررسی تاثیر زاویه نصب صفحات روی الگوی جریان، سناریوهای B و E با هم مقایسه شده‌اند.

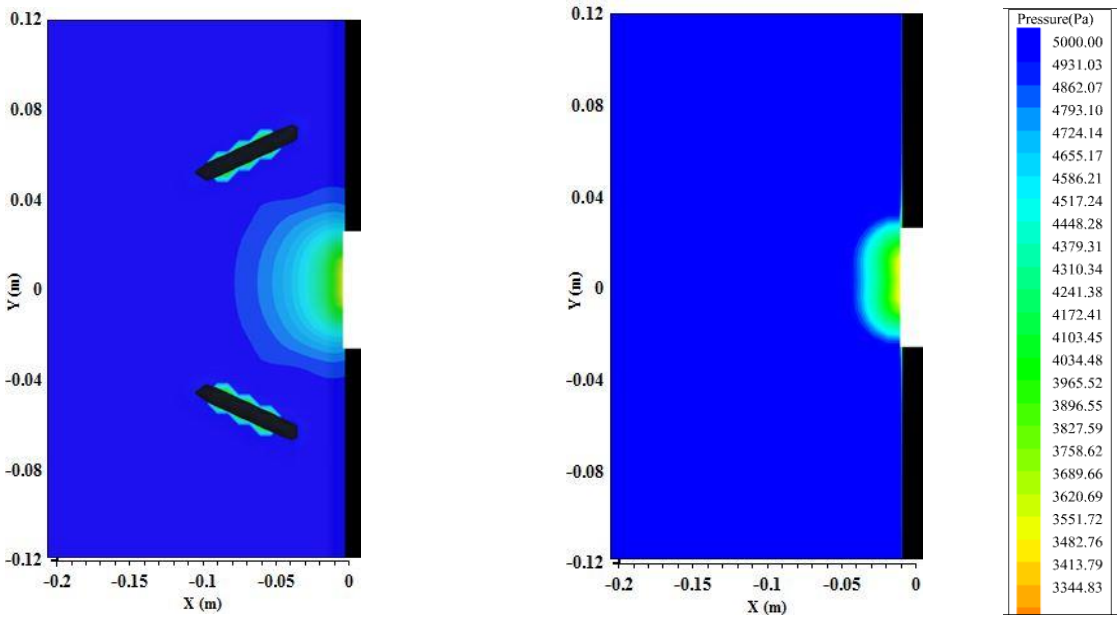
در شکل ۱۰ الگوی جریان و توزیع فشار مربوط به سناریوی E ارائه شده است. مولفه اصلی سرعت در جریان بالادست تخلیه کننده تحتانی عمود بر تخلیه کننده تحتانی می‌باشد (بریانت و همکاران۴، ۲۰۰۸) لذا چنانچه فاصله بین صفحات در تخلیه کننده تحتانی زیاد باشد حجم جریان بیشتری از بین دو صفحه عبور کرده که منجر به خروج بیشتر رسوبات خواهد شد. همچنین در این حالت گردابه‌ها در اطراف تخلیه کننده تحتانی تشکیل شده و منجر به ایجاد آشفتگی بیشتر در رسوبات در بالادست و در نزدیکی تخلیه کننده تحتانی می‌شود. در نتیجه رسوبات بیشتری به همراه جریان از تخلیه کننده تحتانی خارج می‌شوند. همچنین همانطور که مشاهده می‌شود با کاهش زاویه نصب از ۶۰ به ۳۰ درجه، فاصله بین صفحات در مقابل تخلیه کننده تحتانی کاهش یافته است. بر اساس شکل ۱۰ این موضوع باعث شده که بیشتر خطوط جریان به کناره‌ها منحرف شود. در نتیجه گردابه‌های اصلی و ناحیه‌های کم‌فشار در محل انتهایی صفحات تشکیل شده است. به دلیل عدم وجود مولفه اصلی سرعت در این محل بر اساس نتایج نجفی و همکاران(۲۰۲۲) حجم رسوبات خروجی در این حالت به میزان ۵۹ درصد نسبت به زاویه نصب ۶۰ درجه کاهش یافته است.

به منظور بررسی تاثیر عرض صفحات مورب روی الگوی جریان سناریوهای B و C با هم مقایسه شدند. همانطور که مشاهده می‌شود با کاهش عرض صفحات در سناریوی C از شدت گردابه‌ها نسبت به سناریوی B کاسته شده و همچنین وسعت ناحیه کم‌فشار کاهش یافته است (شکل ۱۱). می‌توان گفت با کاهش عرض صفحات میزان جداشدگی خطوط جریان در اثر برخورد با صفحات کاهش یافته و در نتیجه وسعت ناحیه کم‌فشار کاهش یافته است. لذا از شدت گردابه‌های برخاستگی نیز کاسته شده است. بر اساس مطالعات نجفی و همکاران(۲۰۲۲) میزان حجم رسوبات خروجی در سناریوی C نسبت به سناریوی B تقریبا ۳ برابر کاهش یافته است.



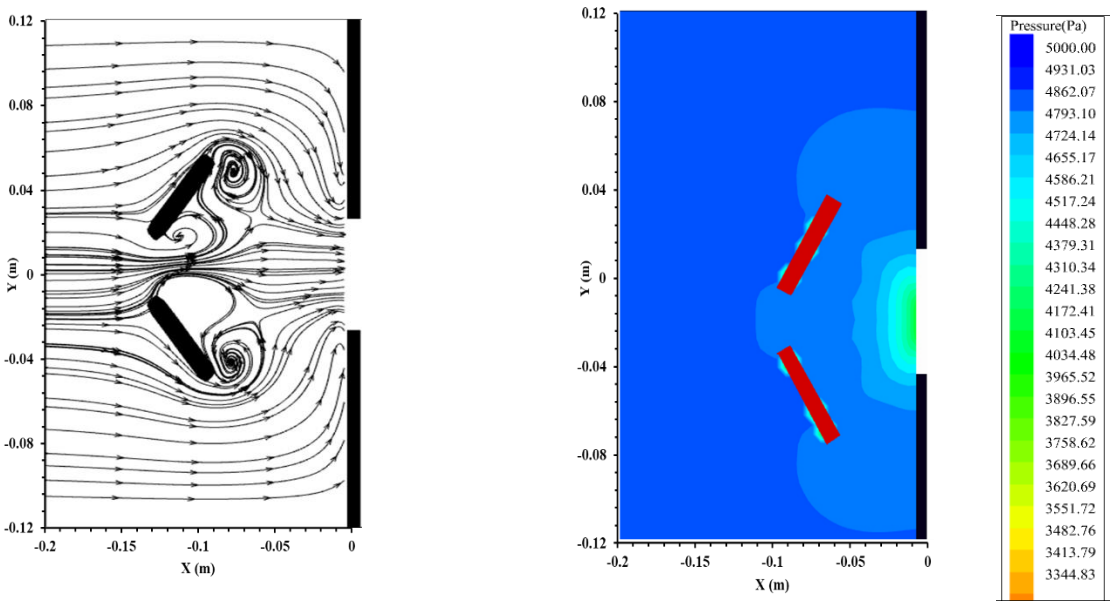
ب الف

شکل ۸- الگوی جریان، (الف) سناریوی A و (ب)سناریوی B



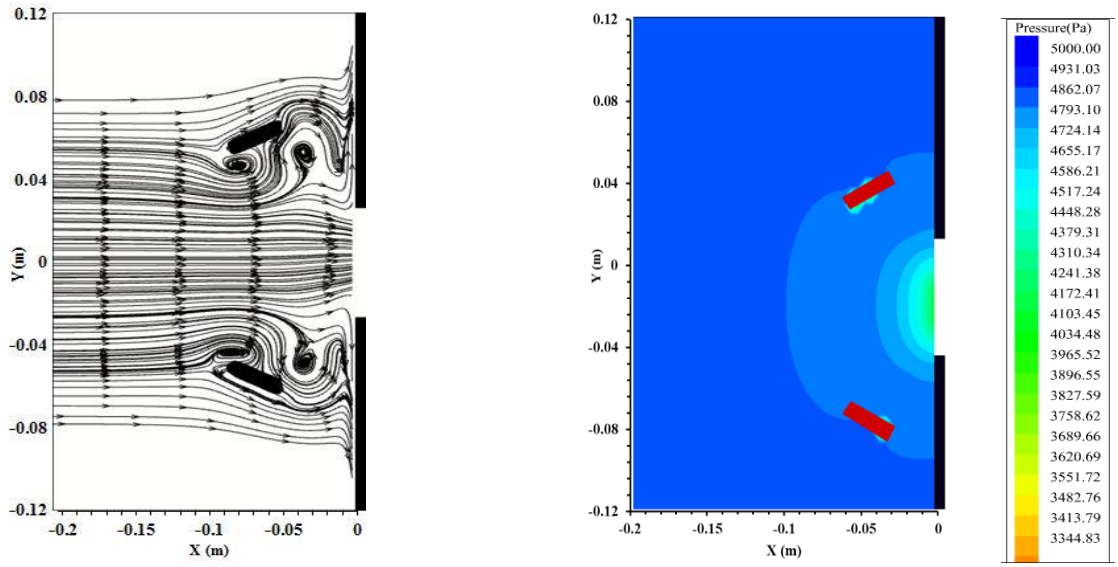
ب الف

شکل ۹- (الف) توزیع فشار سناریوی E و (ب) الگوی جریان سناریوی E



ب الف

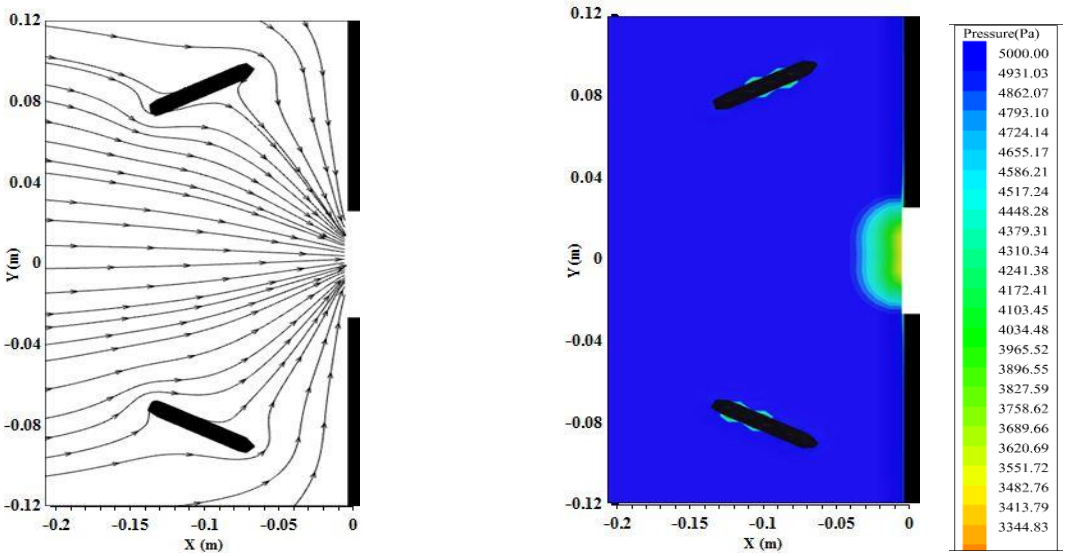
شکل ۱۰- (الف) توزیع فشار سناریوی E و (ب) الگوی جریان سناریوی E



الف ب

شکل ۱۱- (الف) توزیع فشار سناریوی C و (ب) الگوی جریان سناریوی C

به منظور تاثیر فاصله نصب صفحات سناریوهای B و D با هم مقایسه شدند. بر اساس مطالعات بریانت و همکاران با افزایش فاصله از بالادست تخلیه کننده تحتانی سرعت جریان کاسته شده و تقریبا به سمت صفر میل می‌کند (بریانت و همکاران [۴]، ۲۰۰۸). لذا در سناریوی D جریان با سرعت بسیار کمتری نسبت به سناریوی B به صفحات مورب در بالادست تخلیه کننده تحتانی برخورد نموده و در نتیجه میزان جداشدگی و به دنبال آن گردابه‌ها کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۱۲ مشاهده می‌شود توزیع سرعت و الگوی فشار در سناریوی D تقریبا مشابه حالت شاهد (سناریوی A) می‌باشد. بدین معنی که با افزایش فاصله نصب صفحات مورب تاثیر آنها در افزایش حجم رسوبات خروجی کاهش می‌یابد. بر اساس مطالعات نجفی و همکاران میزان حجم رسوبات خروجی در سناریوی D نسبت به سناریوی B تقریبا ۱۰ برابر کاهش یافته است (نجفی و همکاران[۱۷]، ۲۰۲۲).



الف ب

شکل ۱۲- (الف)توزیع فشار سناریوی D و (ب)الگوی جریان سناریوی D

بحث

اندازه‌گیری مولفه‌های سرعت و فشار در آزمایشگاه در حضور صفحات مورب بالادست تخلیه کننده تحتانی به عنوان یک روش جدید در افزایش حجم رسوبات خروجی در فلاشینگ تحت فشار حین انجام آزمایش بسیار دشوار است. لذا در تحقیق حاضر تغییرات الگوی جریان ناشی از نصب صفحات مورب در بالادست تخلیه کننده تحتانی با استفاده از نرم‌افزار Flow3D شبیه‌سازی شد. در این تحقیق از اطلاعات آزمایشگاهی نجفی و همکاران (۲۰۲۲) استفاده شده است. برای انجام آزمایش‌ها، از یک مخزن مستطیلی با طول ۲/۵ متر، عرض ۱/۲ متر و ارتفاع ۱ متر به عنوان مدل فیزیکی استفاده شده است. در دیواره‌ی پایین‌دست این مخزن، یک تخلیه کننده تحتانی به قطر ۷ سانتی‌متر به عنوان دریچه تخلیه کننده تحتانی تعبیه شده و نیز از یک شیر تخلیه برای باز کردن تخلیه کننده تحتانی و انتقال جریان به سمت پایین دست استفاده گردید.

نتیجه‌گیری

همانطور که عنوان شد هدف از تحقیق حاضر شبیه‌سازی الگوی جریان و توزیع فشار بالادست تخلیه کننده تحتانی با حضور صفحات مورب در فلاشینگ تحت فشار می‌باشد. نصب صفحات مورب بالادست تخلیه کننده تحتانی در فلاشینگ تحت فشار می‌تواند منجر به توسعه ناحیه کم‌فشار و افزایش گردابه‌های برخاستگی شده و در نتیجه حجم رسوبات خروجی را به مقدار قابل توجه افزایش دهد. نکته قابل توجه در این خصوص این است که در فلاشینگ تحت فشار مقدار رسوبات خروجی کم و محدود به ناحیه اطراف تخلیه کننده تحتانی می‌باشد. تاسیسات جانبی مانند تخلیه کننده تحتانی، خروجی نیروگاه و غیره در نزدیکی بدنه سد قرار داشته و ورود رسوب به این تاسیسات می‌تواند آثار مخربی به همراه داشته باشد. لذا ارائه راهکارهایی به منظور افزایش خروج رسوبات از نزدیک بدنه سد می‌تواند بسیار سودمند باشد. همچنین به دلیل ایجاد ناحیه کم‌فشار مقابل تخلیه کننده تحتانی یک حالت مکش ایجاد شده که می‌تواند در افزایش حجم رسوبات تخلیه شده هنگام وقوع جریان غلیظ در زمان سیلاب سودمند باشد.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN: SCU.WH1401.31370) در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

References

Wen Shen, H. (1999). Flushing sediment through reservoirs. Journal of Hydraulic Research, 37(6), 743-757. https://doi.org/10.1080/00221689909498509

Shammaa, Y., Zhu, D. Z., & Rajaratnam, N. (2005). Flow upstream of orifices and sluice gates. Journal of Hydraulic Engineering, 131(2), 127-133. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2005)131:2(127)

Emamgholizadeh, S., & Fathi-Moghdam, M. (2014). Pressure flushing of cohesive sediment in large dam reservoirs. Journal of Hydrologic Engineering, 19(4), 674-681. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000859

Bryant, D. B., Khan, A. A., & Aziz, N. M. (2008). Investigation of flow upstream of orifices. Journal of Hydraulic Engineering, 134(1), 98-104. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:1(98)

Meshkati, M. E., Dehghani, A. A., Naser, G., Emamgholizadeh, S., & Mosaedi, A. (2009). Evolution of developing flushing cone during the pressurized flushing in reservoir storage. World Academy of Science, Engineering and Technology, 58, 1107-1111. https://www.academia.edu/download/32092771/Venice_Italy_Paper.pdf

Powell, D. N., & Khan, A. A. (2015). Flow field upstream of an orifice under fixed bed and equilibrium scour conditions. Journal of Hydraulic Engineering, 141(2), 04014076. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000960

Jenzer Althaus, J. M., Cesare, G. D., & Schleiss, A. J. (2015). Sediment evacuation from reservoirs through intakes by jet-induced flow. Journal of Hydraulic Engineering, 141(2), 04014078. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000970

Madadi, M. R., Rahimpour, M., & Qaderi, K. (2016). Sediment flushing upstream of large orifices: An experimental study. Flow Measurement and Instrumentation, 52, 180-189. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2016.10.007

Madadi, M. R., Rahimpour, M., & Qaderi, K. (2017). Improving the pressurized flushing efficiency in reservoirs: an experimental study. Water Resources Management, 31, 4633-4647. https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-017-1770-y

Mahtabi, G., Karimi, S., & Mohamadiuon, M. (2018). Effect of the number of rows, height and arrangement of submerged vanes in flushing of dam reservoir. Journal of Water and Soil Conservation, 25(1), 285-296. 10.22069/jwsc.2018.13203.2786

Beyvazpour, A., Daryaee, M., & Kashefipour, S. M. (2021). Improvement of pressurized flushing efficiency by installing a single pile upstream of the orifice. Ain Shams Engineering Journal, 12(1), 47-55. https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.08.011

Haghjouei, H., Rahimpour, M., Qaderi, K., & Kantoush, S. A. (2021). Experimental study on the effect of bottomless structure in front of a bottom outlet on a sediment flushing cone. International Journal of Sediment Research, 36(3), 335-347. https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2020.11.002

Beiramipour, S., Qaderi, K., Rahimpour, M., Ahmadi, M. M., & Kantoush, S. A. (2021, October). Effect of submerged vanes in front of circular reservoir intake on sediment flushing cone. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management (Vol. 174, No. 5, pp. 252-266). Thomas Telford Ltd. https://www.icevirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/jwama.20.00032

Powell, D. N., & Khan, A. A. (2012). Scour upstream of a circular orifice under constant head. Journal of hydraulic research, 50(1), 28-34. https://doi.org/10.1080/00221686.2011.637821

Shahriari, R., Daryaee, M., & Kashefipour, S. M. (2022). The effect of a plate installation upstream of an orifice on the pressurized flushing efficiency. Canadian Journal of Civil Engineering, 49(5), 696-705. https://cdnsciencepub.com/doi/abs/10.1139/cjce-2020-0828

Najafi, N., Daryaee, M., & Kashefipour, S. M. (2022). Enhancement of flushed sediment in pressure flushing using inclined plates upstream of orifice. Water Supply, 22(10), 7701-7712. https://doi.org/10.2166/ws.2022.340

Mohammadpour, R., Ghani, A. A., & Azamathulla, H. M. (2013). Numerical modeling of 3-D flow on porous broad crested weirs. Applied Mathematical Modelling, 37(22), 9324-9337. http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2013.04.041

Naderi, S., Daryaee, M., Kashefipour, S. M., & Zayeri, M. (2022). Numerical and Experimental Study of Flow Pattern due to a Plate Installed Upstream of Orifice in Pressurized Flushing of Dam Reservoirs. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, 46(6), 4593-4603.https://link.springer.com/article/10.1007/s40996-022-00896-9

Razi University

Advanced Technologies in Water Efficiency

homepage:https://atwe.razi.ac.ir

Online ISSN:2783-4964

Increasing maize and sunflower seed yield using plastic mulch: an approach to optimum use of water

Salman Aliakbari[1], Hassan Heidari[2]✉, Mohsen Saeidi[3], Mohammad Eghbal Ghobadi[4]

[1] M. Sc. Graduated of Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: salmanakbari910@yahoo.com

[2] Corresponding Author, Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Kermanshah, Iran. E-mail: heidari1383@gmail.com

[3] Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Kermanshah, Iran. E-mail: msaeidi667@gmail.com

[4] Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Kermanshah, Iran. E-mail: eghbalghobadi@yahoo.com

ABSTRACT

Introduction

Drought is the most important abiotic stress in Iran, which leads to a significant decrease in plant yield. Crops need a lot of water. Evaporation and transpiration determines the plant's water requirement. Water is one of the rare resources in Iran, which is affected by the amount of rainfall. In Iran, the cultivation of maize has been greatly promoted in recent years, and its use in livestock and poultry feeding and industrial uses has been noticed. Sunflower, as the main source of vegetable oil in the world, is of special importance, which requires a lot of water. Plastic mulch is especially important in reducing water consumption in arid and semi-arid areas.

Methodology

An experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications at the Research Farm, Agricultural and Natural Resources Campus, Razi University, Kermanshah, Iran in 2016. The plants used in this experiment were maize and sunflower. Treatments included plastic mulch between the rows, plastic coating on the plant (only in maize) and control (without plastic). Treatments were applied at the beginning of the experiment and before germination.

Results and discussion

The plastic mulch between rows had the highest growth and yield of maize and sunflower than other treatments. In maize, plastic mulch between the rows had higher biological yield, harvest index, number of seeds per row, ear weight, and 100-seed weight than that of control, but there was no significant difference between plastic mulch between rows and plastic coating on the plant in terms of mentioned traits. There was no significant difference among treatments in terms of number of rows per ear, ear skin weight, and ear length. In sunflower, plastic mulch between rows had higher biological yield, head diameter, head weight, and 100-seed weight than control, and there were no significant differences between treatments in terms of harvest index, and number of seeds per head.

Conclusions

The results of this experiment show that by applying plastic mulch, especially between the planting rows and before the seeds germinate, while reducing the length of the growth period and better use of moisture, the seed yield of maize and sunflower can be increased compared to not using plastic mulch by 38 and 41 percent, respectively. Other possible reasons for increasing grain yield under the conditions of using nylon mulch included reducing evaporation and increasing soil temperature at the beginning of the growth period.

Keywords: Evaporation reduction, Leaf relative water content, Plastic mulch, Seed yield

Article Type: Research Article

Article history: Received: 25 September 2023 **Revised:** 27 November 2023 **Accepted:** 09 December 2023 **ePublished:** 15 December 2023

Cite this article: Aliakbari, S., Heydari, H., Saeidi, M., & Ghobadi, M.E. (2023). Increasing maize and sunflower seed yield using plastic mulch: an approach to optimum use of water, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 3(3), 53-67. DOI: 10.22126/ATWE.2023.9640.1062

Publisher: Razi University

© The Author(s).

CC BY NC

فناوری های پیشرفته در بهره وری آب

وبگاه نشریه: https://atwe.razi.ac.ir شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۹۶۴

افزایش عملکرد دانه ذرت و آفتابگردان با مالچ نایلونی: راهکاری برای استفاده بهینه از آب

سلمان علی‌اکبری[۱]، حسن حیدری[۲]✉ ، محسن سعیدی[۳]، محمد اقبال قبادی[۴]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: salmanakbari910@yahoo.com

[۲] نویسنده مسئول، دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: heidari1383@gmail.com

[۳] دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: msaeidi667@gmail.com

[۴] دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: eghbalghobadi@yahoo.com

چکیده

مالچ‌های پلاستیکی در کاهش مصرف آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. بدین منظور آزمایشی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه، در سال زراعی ۱۳۹۵ به اجرا درآمد. گیاهان مورداستفاده در این آزمایش ذرت و آفتابگردان بودند. تیمارها شامل مالچ پلاستیکی بین ردیف، پلاستیک‌کشی روی گیاه (در ذرت) و تیمار شاهد (بدون مالچ پلاستیک) بود. تیمارها در همان آغاز آزمایش و قبل از جوانه‌زنی اعمال گردیدند. مالچ پلاستیکی بین ردیف نسبت به تیمارهای دیگر بیشترین افزایش رشد و عملکرد ذرت و آفتابگردان داشت. در ذرت، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، تعداد دانه در ردیف، وزن بلال و وزن صد دانه در تیمار بین ردیف نسبت به شاهد بیشتر بود اما اختلاف معنی‌داری بین تیمار مالچ بین ردیف و پلاستیک‌کشی روی گیاه ازنظر صفات مذکور وجود نداشت. در صفات تعداد ردیف در بلال، وزن غلاف، طول چوب‌بلال و محتوای رطوبت نسبی برگ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در آفتابگردان، عملکرد بیولوژیک، قطر طبق، وزن طبق و وزن صد دانه در تیمار مالچ بین ردیف نسبت به شاهد بیشتر بود و در صفات شاخص برداشت، تعداد دانه در طبق و محتوای رطوبت نسبی برگ اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. در کل نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد مالچ در بین ردیف‌های کاشت احتمالاً به علت کاهش رشد علف‌های هرز، حفظ رطوبت و بهبود مصرف آب منجر به افزایش عملکرد گیاهان مذکور گردید.

واژه‌های کلیدی: عملکرد دانه، کاهش تبخیر، مالچ پلاستیکی، محتوای رطوبت نسبی برگ

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۰۳ مهر ۱۴۰۲ **اصلاح:** ۰۶ آذر ۱۴۰۲ **پذیرش:** ۱۵ آذر ۱۴۰۲ **چاپ الکترونیکی:** ۲۴ آذر ۱۴۰۲

استناد: علی‌اکبری، س.، حیدری، ح.، سعیدی، م.، و قبادی، م.ا. (۱۴۰۲). افزایش عملکرد دانه ذرت و آفتابگردان با مالچ نایلونی: راهکاری برای استفاده بهینه از آب، *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*، ۳(۳)، ۶۷-۵۳. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2023.9640.1062

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.

CC BY NC

مقدمه

تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی در ایران معرفی‌شده است، که در اغلب موارد منجر به کاهش چشم‌گیر عملکرد گیاهان می‌گردد. آب مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. گیاهان زراعی به آب فراوان احتیاج دارند و مقادیر عظیمی از آن را در فرایند تبخیر و تعرق از دست می‌دهند. آب یکی از منابع کمیاب در ایران است که تحت تأثیر میزان بارندگی است. اثر تنش آبی به مدت‌زمان، دوام و اندازه کمبود آن بستگی دارد. تنش خشکی از طریق بسته شدن روزنه‌ها و نرسیدن دی‌اکسید کربن به کلروپلاست بر فرآیند فتوسنتزی اثر می‌گذارد. از طرفی تنش خشکی عملکرد گیاهان را از طریق کاهش دریافت تشعشعات فعال فتوسنتزی توسط کانونی، کاهش کارایی مصرف نور و کاهش شاخص برداشت کاهش می‌دهد (هوگ و ریچارد[1]، ۲۰۰۲). در ایران، کشت ذرت در سال‌های اخیر رونق زیادی یافته و استفاده از آن در تغذیه دام و طیور و مصارف صنعتی موردتوجه قرارگرفته است. از طرفی، تأمین آب موردنیاز در مراحل خاص رشد رویشی و زایشی ذرت دارای اهمیت است (سیلسپور و همکاران[2]، ۲۰۰۶). آفتابگردان نیز به‌عنوان منبع عمده روغن نباتی در سطح دنیا از اهمیت خاصی برخوردار است که نیاز آبی بالایی دارد.

یکی از راهکارهای مناسب برای حفظ منابع موجود، جلوگیری از تلفات آب است که تبخیر از سطح خاک بخشی از آن است. به‌منظور کاهش تبخیر و حفظ رطوبت به مدت طولانی در خاک، استفاده از مالچ در سطح خاک می‌تواند مؤثر واقع گردد. مالچ را می‌توان پوشش غیرزنده‌ای نامید که به‌عنوان محافظی برای گیاهان در زمستان بکار می‌رود و گیاهان را در برابر تغییر دمای شدید خاک و از دست رفتن آب زمین محافظت می‌کند و نیز جلوی رشد علف‌های هرز را می‌گیرد (اسلامی و فرزام نیا، ۱۳۸۸). یکی از مناسب‌ترین، در دسترس‌ترین و شاید ازلحاظ هزینه باصرفه‌ترین مواد موجود، استفاده از ورقه‌های پلاستیکی که در مقیاس وسیع در زراعت‌های ردیفی و صیفی مورداستفاده قرار می‌گیرند (افشار و مهرآبادی، ۱۳۸۴). مالچ‌های پلاستیکی بر اساس نوع کاربرد، از رنگ‌های متفاوتی برخوردار هستند. انواع مختلف رنگ پوشش‌های پلی‌اتیلنی از طریق تأثیر مستقیم و متفاوت خود برجذب و بازتابش تشعشع خورشیدی، سبب کاهش یا افزایش دمای خاک (هم و کلویتنبرگ[3]، ۱۹۹۴) و تغییر ریز اقلیم اطراف گیاه می‌شوند (لیاکاتاس و همکاران[4]، ۱۹۸۶). افزایش یا متعادل کردن دمای خاک، کاهش آبشویی کودها، کاهش ایجاد حالت غرقابی برای گیاه، کاهش میزان تبخیر از سطح خاک (بهبود نگهداری رطوبت خاک)، کاهش فرسایش خاک، تولید محصول تمیزتر و با پوسیدگی کمتر، کاهش مشکل علف‌های هرز، کاهش جمعیت آفات مکنده به‌ویژه ناقلین بیماری‌های ویروسی، زودرس‌تر شدن محصول، افزایش رشد و عملکرد، محافظت گیاهان (چندساله) از سرمای زمستان و ... از مزایای استفاده از انواع مختلف خاکپوش‌هاست (جاونمردی[5]، ۲۰۱۰).

ازآنجاکه هنوز مقادیر قابل‌توجهی از آب در ردیف‌های آبیاری از طریق تبخیر مستقیم و نیز تعرق به‌وسیله علف‌های هرز سبز شده در آن‌ها تلف می‌گردد، به نظر می‌رسد که استفاده از یک مالچ پلاستیکی قرارگرفته بین ردیف‌های آبیاری بتواند ضمن حفظ رطوبت خاک از طریق کاهش تبخیر، مانع از رشد علف‌های هرز و درنتیجه کاهش مصرف آب شود (بلینده و برینارد[6]، ۲۰۰۴). علاوه بر این، کنترل علف-های هرز بدین طریق باعث کاهش هزینه‌های کارگری و سبب افزایش عملکرد از طریق کاهش رقابت آن‌ها با محصول می‌گردد. مورنو و همکاران[7] (۲۰۰۹) در آزمایشی بیان نمودند که اثر خاک‌پوش پلاستیک، کاه و کاغذ نسبت به بقیه تیمارهای خاک‌پوش تأثیر معنی‌داری روی عملکرد گوجه‌فرنگی داشت. دانگ و همکاران[8] (۲۰۱۴) در بررسی که روی رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب ارزن هیبرید که به‌صورت دیم در شرایط خاک‌پوش پلاستیکی و بدون خاک‌پوش کشت‌شده بود به این نتیجه رسیدند که خاک‌پوش پلاستیکی به‌طور قابل‌توجهی باعث کاهش مصرف و افزایش تعداد پنجه، افزایش عملکرد دانه و ماده خشک در ارزن می‌شود. فرهادی و اکبری[9] (۲۰۰۴) تحقیقی با عنوان اثرات مالچ‌های پلی‌اتیلن و روش‌های آبیاری بر عملکرد و زودرسی گرمک[1] انجام دادند. نتایج نشان داد خاک‌پوش‌های پلی‌اتیلن علاوه بر افزایش محصول و تولید میوه پیش رس در حفظ رطوبت خاک، کاهش تعداد دفعات آبیاری بخصوص در اول فصل، کاهش مصرف شن و کنترل علف‌های هرز به نحو مطلوبی مؤثر بودند. جالوتا[10] (۱۹۹۳) طی تحقیق خود اعلام کرده است که در مناطق

---

[1] Hugh & Richard
[2] Seilsepoor et al
[3] Ham & Kluitenberg
[4] Liakatas et al
[5] Javanmardi
[6] Bellinde & Brainard
[7] Moreno et al
[8] Dong et al
[9] Farhadi & Akbari
[10] Jalota

خشک و نیمه‌خشک حدود ۴۰ تا ۷۰ درصد از اتلاف آب از سطح خاک به‌وسیله تبخیر است که می‌توان به‌وسیله مواد پوشاننده خاک از آن جلوگیری نمود و در اختیار گیاه قرارداد. در تحقیقی که بوعذار (۱۳۹۳) با استفاده از مالچ نفتی روی سیب‌زمینی و هویج انجام داده است نشان داد که این نوع مالچ باعث افزایش عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت می‌شود. در آزمایشی که امینی و همکاران (۱۳۹۴) تحت عنوان اثر مالچ و تنش رطوبتی بر برخی صفات فیزیولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه لوبیا قرمز انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که مالچ باعث افزایش وزن صد دانه، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام و عملکرد دانه لوبیا قرمز شد.

احتمال می‌رود مالچ پلاستیکی با کاهش دوره رشد گیاه ذرت و آفتابگردان و هم‌زمانی آن با بارش‌های بهاری عملکرد را افزایش دهد. بنابراین هدف از اجرای این آزمایش تعیین بهترین روش کاربرد پلاستیک (روی گیاه و بین ردیف) است که باعث تولید بیشترین عملکرد دانه ذرت و آفتابگردان شود.

روش پژوهش

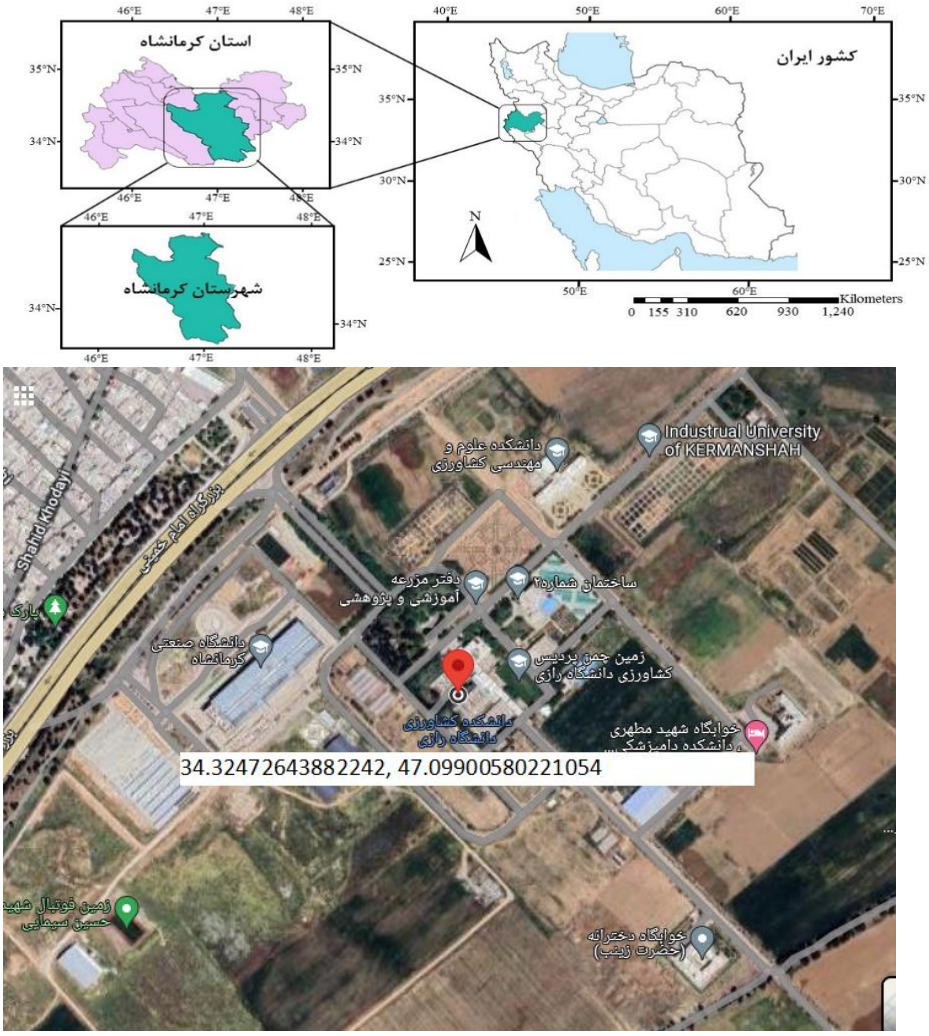
این آزمایش در مزرعه پژوهشی دانشگاه رازی کرمانشاه با موقعیت جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول خاوری از نصف‌النهار گرینویچ، با ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی ۴۵۰ تا ۴۸۰ میلی‌متر به اجرا درآمد که در شکل (۱) نشان داده‌شده است. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل مالچ پلاستیکی بین ردیف، پلاستیک‌کشی روی گیاه (در ذرت) و تیمار شاهد (بدون پلاستیک) بود که اطلاعات آن در جدول (۱) و شکل (۲) ارائه‌شده است. لازم به ذکر است که تیمار پلاستیک‌کشی (تونل پلاستیکی) روی آفتابگردان نیز اعمال گردید اما به دلیل سوختگی گیاه در اواسط فصل رشد در زیر نایلون و نامناسب بودن نتایج، این تیمار حذف گردید. به‌منظور اعمال تیمارهای پوششی از پوشش پلاستیکی پلی‌اتیلن استفاده شد. پوشش پلاستیکی مورداستفاده، فیلم پلی‌اتیلن شفاف به قطر ۲۰ میکرون بود که مخصوص کاشت صیفی‌جات زیر پلاستیک در منطقه است. این پلی‌اتیلن کم‌چگالی[1] است. پوشش‌های پلاستیکی قبل از جوانه‌زنی تیمارها اعمال گردید. با توجه به شکل (۳) لازم به ذکر است تیمار پوشش روی گیاه در ذرت تا تاریخ ۹۵/۰۲/۱۵ اعمال گردید و بعدازآن پوشش برداشته شد. اما پوشش بین ردیف‌های کشت برای هر دو گیاه و تا زمان برداشت حفظ گردید. به‌منظور خروج جوانه‌های گیاه در تیمار بین ردیف در ابتدای اعمال مالچ، برشی در راستای ردیف کاشت به مالچ نایلونی زده شد. برای نفوذ آب آبیاری و باران نیز سوراخ‌های ریزی در تمام سطح نایلون به‌طور یکسان در هر دو روش استفاده از پلاستیک ایجاد گردید.

ذرت در تاریخ ۲۹/ ۹۴/۱۲ و آفتابگردان در تاریخ ۹۵/۰۱/۰۵ کاشته شد. فاصله ردیف‌های کاشت ۷۵ سانتیمتر در نظر گرفته شد. ابعاد تیمارها ۹ مترمربع بود. فاصله بین تکرارها یک متر و فاصله بین تیمارها نیم متر بود. آبیاری تیمارها به‌صورت غرقابی و دور آبیاری نیز هفت روز در نظر گرفته شد. برداشت دو گیاه در تاریخ ۹۵/۰۵/۲۷ انجام گرفت. از هر کرت یک مترمربع به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه برداشت شد. زمان برداشت به‌منظور اندازه‌گیری صفات در مرحله رسیدگی کامل بود و از هر کرت پنج بوته به‌منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد برداشت شد. صفات اندازه‌گیری شده در ذرت شامل عملکرد دانه، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، طول چوب‌بلال، وزن بلال، وزن چوب‌بلال، وزن صد دانه، وزن غلاف، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و محتوی رطوبت نسبی برگ بود. صفات اندازه‌گیری شده در آفتابگردان شامل عملکرد دانه، قطر طبق آفتابگردان، وزن طبق بی‌دانه، تعداد دانه در طبق، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و محتوی رطوبت نسبی برگ بود.

محتوی رطوبت نسبی برگ نیز در اواخر فصل رشد و در مرحله پر شدن دانه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری محتوی رطوبت نسبی برگ با استفاده از قیچی از برگ رفرنس (آخرین برگ توسعه‌یافته و فاقد پارگی) نمونه‌گیری انجام گرفت. نمونه‌ها بلافاصله درون یخ قرارگرفته و در آزمایشگاه وزن‌تر آن‌ها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد سپس تمامی نمونه‌ها در آب مقطر قرار داده‌شده و به مدت ۲۴ ساعت در سردخانه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بعد از ۲۴ ساعت وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری و برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرارگرفته و وزن خشک هرکدام اندازه‌گیری شد. درنهایت با استفاده از معادله ریچی و

[1] LDPE

همکاران[1] (۱۹۹۰) محتوای رطوبت نسبی برگ اندازه‌گیری شد. به‌منظور تجزیه واریانس تیمارها از نرم‌افزار سس[2] استفاده شد. برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار[3] استفاده شد.



شکل ۱. نمایی از موقعیت جغرافیایی محل اجرای آزمایش

جدول ۱. تیمارهای آزمایش در مطالعه اثر پوشش پلاستیک بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت و آفتابگردان

گیاه	تیمارها
ذرت	شاهد (بدون مالچ پلاستیک) مالچ پلاستیکی بین ردیف کاشت پلاستیک‌کشی روی گیاه
آفتابگردان	شاهد (بدون مالچ پلاستیک) مالچ پلاستیکی بین ردیف کاشت

[1] Ritchie et al.
[2] SAS
[3] LSD

شکل ۲. عکس‌هایی از روش‌های مختلف استفاده از پوشش پلاستیک در مزرعه. نمایی از کرت‌های آزمایش (الف). مالچ پلاستیکی بین ردیف (ب). پلاستیک‌کشی روی گیاه (ج). استقرار نایلون‌ها در قسمت حاشیه با استفاده از خاک (د).

الف ب

شکل ۳. نمایی از کرت‌های آزمایش در مرحله رشد سریع گیاهان. مالچ پلاستیکی بین ردیف آفتابگردان (الف). مالچ پلاستیکی بین ردیف ذرت (ب).

یافته‌ها

عملکرد دانه: جدول (۲) نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های ذرت نشان می‌دهد که عملکرد تیمار مالچ بین ردیف ذرت نسبت به شاهد بیشتر است اما نسبت به تیمار پلاستیک‌کشی روی گیاه اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. جدول (۳) عملکرد تیمار مالچ بین ردیف آفتابگردان نیز نسبت به شاهد را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که این مقدار نسبت به حالت شاهد بیشتر بود. لازم به ذکر است که میزان رشد ابتدایی در تیمار پلاستیک‌کشی روی گیاه با توجه به این‌که اعمال تیمارها قبل جوانه‌زنی گیاهان اعمال گردید بیشتر بود که می‌تواند به دلیل شرایط دمایی و رطوبتی مناسب نسبت به دیگر تیمارها در آغاز مراحل رشدی باشد. اما در ادامه دوره رشدی گیاه با برداشته شدن پوشش پلاستیکی در تیمار پلاستیک‌کشی روی گیاه به دلیل شرایط دمایی مناسب و حفظ تیمار مالچ بین ردیف، میزان رشد و عملکرد مالچ بین ردیف نسبت به تیمار پلاستیک‌کشی روی گیاه بیشتر شد هرچند که در اکثر صفات مورد ارزیابی نسبت به پلاستیک‌کشی روی گیاه اختلاف معنی‌داری نداشت. جوانمردی و رضایی (۱۳۹۴) با استفاده از پوشش پلی‌اتیلنی سفید توانستند عملکرد فلفل دلمه‌ای نسبت به شاهد را تا چهار برابر افزایش دهند. محتوای آب بیشتر خاک و کاهش تبخیر که توسط مالچ‌ها حاصل می‌شود، از دلایل عمده افزایش جوانه‌زنی، سبز شدن و رشد گیاهچه‌ها هستند (ماهی و همکاران[1]، ۲۰۰۶). پانکویک و همکاران[2] (۱۹۹۹) در این رابطه اظهار داشتند که کمبود رطوبت طی مرحله غنچه‌دهی تا پایان گلدهی به خاطر کاهش قطر طبق و کاهش تعداد دانه در طبق، بیش‌ترین تأثیر منفی را بر عملکرد هیبریدهای آفتابگردان داشته است. خماری و همکاران[3] (۲۰۰۷) نشان دادند که عملکرد دانه در شرایط تنش آبی را می‌توان به کاهش طول دوره رشد و پر شدن دانه، قطر طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و افزایش درصد پوکی طبق نسبت داد. تنش رطوبتی در مرحله کاکل دهی و تشکیل بلال ذرت موجب کاهش شدید عملکرد دانه می‌شود (کاکیر[4]، ۲۰۰۴). افزایش رشد و عملکرد به‌وسیله خاک‌پوش‌های پلی‌اتیلنی به تغییر در دمای خاک و هوای اطراف پوشش، تعادل آب موجود در خاک و قابلیت دسترسی بهتر گیاه به مواد غذایی در خاک دارای پوشش نسبت به خاک بدون پوشش نسبت داده شده است (دکوتیو و همکاران[5]، ۱۹۹۸). تنش در مرحله کاکل دهی موجب تأخیر در ظهور گل‌آذین ماده می‌شود (نسمیت و ریچی[6]، ۱۹۹۲). به نظر می‌رسد آنچه باعث بیشترین عملکرد دانه شده است جوانه‌زنی و رشد سریع در ابتدای فصل رشد و استفاده از شرایط موجود (رطوبت و دمای مناسب) برای رشد و توسعه گیاه بوده است. صفاتی همچون وزن صد دانه، تعداد دانه در ردیف ذرت و طبق آفتابگردان، وزن بلال ذرت و وزن طبق آفتابگردان بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشته‌اند.

---

[1] Malhi et al
[2] Pankovic et al
[3] Khamari et al
[4] Cakir
[5] Decoteau et al
[6] Nesmith Ritchie

عملکرد بیولوژیک: مطابق جدول (۲) اختلاف عملکرد بیولوژیک در تیمار بین ردیف ذرت نسبت به شاهد مشاهده شد اما نسبت به تیمار پلاستیک‌کشی روی گیاه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به جدول (۳) در آفتابگردان نیز بین دو تیمار مورد ارزیابی، تیمار مالچ بین ردیف نسبت به شاهد عملکرد بیولوژیک بیشتری داشت. فاریاس و همکاران[1] (۱۹۹۴) گزارش کردند که افزایش عملکرد و زودرسی در کرت‌های با خاک‌پوش پلاستیکی بیشتر از کرت‌های بدون خاک‌پوش بوده است. افزایش عملکرد در سیستم مالچ می‌تواند درنتیجه نگه‌داشتن رطوبت کافی که باعث افزایش فعالیت میکروبی، افزایش تحرک مواد غذایی و استفاده بهتر محصول برای رشد مطلوب‌تر می‌شود، باشد (سچونبک و اوانیلو[2]، ۱۹۹۸؛ داهیا و همکاران[3]، ۲۰۰۷).

شاخص برداشت: مطابق جدول (۲) در ذرت مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که تیمار مالچ بین ردیف نسبت به شاهد ازنظر شاخص برداشت برتری داشت اما نسبت به تیمار پلاستیک‌کشی روی گیاه اختلافی وجود نداشت. با توجه به جدول (۳) در آفتابگردان بین تیمارها ازنظر شاخص برداشت اختلاف معنی‌دار نبود. در صورت وقوع تنش خشکی در مرحله گل‌دهی، شاخص برداشت کاهش جدی می-یابد. هرچه محدودیت منابع (شدت رقابت) بیشتر شود، به دلیل حساسیت زیادتر رشد زایشی ذرت، میزان کاهش عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیکی نیز بیشتر خواهد شد. به‌این‌ترتیب انتظار می‌رود که شاخص برداشت ذرت با افزایش شدت رقابت کاهش یابد (بختیاری و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج فررز و همکاران[4] (۱۹۸۶) نشان داد که تنش کمبود آب سبب کاهش شاخص برداشت در تمام ژنوتیپ‌های آفتابگردان شد و علت آن کاهش تعداد دانه در طبق و قطر طبق و افزایش پوکی دانه اعلام گردید. احتمالاً مالچ پلاستیکی با افزایش دمای خاک در ابتدای دوره رشد باعث افزایش رشد گیاه و استفاده بهتر از نور، رطوبت و سایر منابع در فصل بهار شده است، لذا بخش عملکرد دانه نسبت به بخش عملکرد بیولوژیک افزایش یافت و شاخص برداشت نیز در مالچ بین ردیف ذرت بیشتر از شاهد بود.

وزن صد دانه: در ذرت تیمار مالچ بین ردیف نسبت به شاهد ۳۰ درصد وزن صد دانه بیشتری داشت که در جدول (۲) نشان داده‌شده است. تیمار پلاستیک‌کشی روی گیاه نیز نسبت به شاهد برتری داشت. مطابق جدول (۳) در آفتابگردان نیز وزن صد دانه تیمار بین ردیف نسبت به شاهد ۱۸ درصد بیشتر بود. امینی و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند که وزن صد دانه لوبیا در تیمار دارای مالچ به‌طور معنی‌داری (هشت درصد) نسبت به تیمار بدون مالچ افزایش یافت. در مطالعه تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت نشان داده شد که تنش خشکی با تأثیر منفی بر رشد و نمو اندامک‌های زایشی موجب کاهش اجزای عملکرد شامل تعداد بلال در واحد سطح، تعداد دانه در ردیف و وزن صد دانه و درنهایت عملکرد دانه شد (رفیعی، ۱۳۸۱). تنش خشکی ممکن است با تأثیر روی انتقال جاری و مجدد مواد فتوسنتزی، باعث چروکیدگی و کاهش وزن دانه‌ها شود. در گزارشی وزن ۱۰۰ دانه دارای بیشترین اثر مستقیم معنی‌دار بر عملکرد دانه بوده، هرچند که وزن بلال و تعداد دانه در ردیف نیز اثر غیرمستقیمی از طریق وزن ۱۰۰ دانه روی عملکرد داشتند. در این گزارش وزن ۱۰۰ دانه و تعداد دانه در ردیف از صفات مهم و مؤثر بر عملکرد دانه بودند (واعظی و همکاران[5]، ۱۹۹۸). در تیمار شاهد آفتابگردان برخورد برخورد دوره پر شدن دانه با تنش رطوبتی بیشتر و کوتاه شدن این دوره به دلیل کاهش دوام سطح برگ احتمالاً عامل اصلی کاهش وزن دانه بود.

تعداد دانه (در طبق آفتابگردان و در ردیف بلال ذرت) : مطابق جدول (۲) تعداد دانه در ردیف بلال در تیمار مالچ نایلونی بین ردیف نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود. اما نسبت به تیمار روی گیاه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. با افزایش طول بلال، تعداد دانه در هر ردیف بلال افزایش می‌یابد که این موضوع اثر مستقیم در بالا رفتن عملکرد دانه دارد (نماکا و همکاران[6]، ۲۰۰۸). همان‌طور که در جدول (۳) نشان داده‌شده است، در مورد تعداد دانه در طبق اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. در بررسی اثر مالچ بر تعداد دانه در نیام مشاهده شد که کاربرد مالچ تعداد دانه در نیام لوبیا را به‌طور معنی‌داری (هشت درصد) نسبت به تیمار بدون مالچ افزایش داد (امینی و همکاران، ۱۳۹۴). در آزمایشی روی گیاه آفتابگردان افزایش شدت تنش خشکی به‌طور معنی‌داری موجب کاهش تعداد دانه در هر طبق گردید که علت اصلی کاهش تعداد دانه در هر طبق، تأثیر منفی تنش خشکی بر قطر طبق بود (قلی نژاد و همکاران[7]، ۲۰۰۹). سطح برگ و ریزش آن‌ها منجر به کاهش منبع فتوسنتزی گیاه و افت فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر این فرآیند می‌گردد. همچنین طی مرحله گلدهی و

[1] Farias et al
[2] Schonbeck & Evanylo
[3] Dahiya et al
[4] Fereres et al
[5] Vaezi et al
[6] Namakka et al
[7] Gholinejad

گرده‌افشانی کمبود آب باعث خشک شدن دانه‌های گرده و کلاله مادگی شده که این مسئله باعث اختلال در گرده‌افشانی توسط حشرات می‌شود. تمام عوامل مذکور درنهایت منجر به افت تعداد گلچه‌های بارور سطح طبق می‌گردد.

سایر صفات موردبررسی در ذرت و آفتابگردان: با توجه به جدول (۲) تیمار مالچ بین ردیف وزن بلال بیشتری نسبت به دو تیمار دیگر داشت. اما میان تیمار پلاستیک کشی روی گیاه و شاهد اختلاف معنی‌داری ازنظر وزن بلال مشاهده نشد. وزن چوب‌بلال نیز در تیمار مالچ بین ردیف نسبت به شاهد بیشتر بود اما نسبت به پلاستیک‌کشی روی گیاه اختلاف معنی‌دار نبود. معنی‌دار شدن اثر مالچ بر وزن چوب‌بلال نشانگر آن است که فتوسنتز، و به‌طورکلی تولید ماده خشک به‌وسیله گیاه، وابستگی زیادی با میزان آب قابل‌دسترس دارد و با حفظ رطوبت خاک، وزن خشک نیز افزایش می‌یابد. افشار و همکاران (۱۳۹۱) در آزمایشی روی پنبه با استفاده از مالچ نایلونی سفیدرنگ توانستند بیشترین عملکرد وش را به دست بیاورند. وزن بلال و تعداد دانه در ردیف اثر غیرمستقیمی از طریق وزن ۱۰۰ دانه بر عملکرد دانه‌دارند (سیدزوار و همکاران، ۱۳۹۴). در مورد صفات وزن غلاف، تعداد ردیف در بلال و طول چوب‌بلال در میان تیمارها اختلاف معنی داری طبق جدول (۲) مشاهده نشد. در آفتابگردان تیمار مالچ بین ردیف نسبت به شاهد وزن طبق بیشتری داشت که در جدول (۳) ارائه‌شده است. این افزایش وزن مربوط به افزایش قطر طبق است که حاکی از استفاده بهتر از منابع موجود در تیمار مالچ است. با محدود شدن منبع گیاه که با از دست دادن برگ‌ها به دلیل تنش خشکی بود، وزن طبق گیاه کاهش پیداکرده که دارای اثر محدودکننده بوده است. نستری نصرآبادی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از مالچ پلاستیکی در خربزه بیشترین وزن میوه را به دست آوردند. طبق جدول (۳) تیمار مالچ بین ردیف نسبت به شاهد قطر طبق بیشتری داشت. به گزارش مظفری و همکاران[1] (۱۹۹۶) تنش خشکی همیشه تأثیر منفی بر روی قطر طبق داشته است. گزارش تیما و محمود[2] (۱۹۹۴) حاکی از کاهش قطر طبق به‌واسطه کمبود آب در مرحله رشد رویشی است. به نظر می‌رسد آفتابگردان تا زمان شروع گلدهی، توان خود را برای انجام رشد رویشی و افزایش قطر طبق حفظ کند و از این مرحله به بعد به علت اختصاص مواد فتوسنتزی به مخزن قوی‌تری به نام گل‌آذین (شروع نمو زایشی)، افزایش قطر طبق (رشد رویشی) متوقف می‌شود (راضی و آساد، ۱۳۷۷). اختلاف معنی‌داری بین تیمارها ازنظر محتوای رطوبت نسبی در هر دو گیاه مشاهده نشد و جداول (۲) و (۳) مبین این موضوع هستند. عزیزی و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که مالچ پلاستیک سیاه در نعنا باعث افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ می‌شود. این بالاتر بودن میزان محتوی آب نسبی برگ در زیر مالچ می‌تواند به دلیل دمای مطلوب خاک و هم‌چنین میزان رطوبت بالاتر خاک در زیر مالچ باشد. برداشته شدن نایلون در تیمار پلاستیک‌کشی روی گیاه در اواسط فصل رشد و اندازه‌گیری محتوی رطوبت نسبی برگ در اواخر فصل رشد که محتوای آب گیاه کاهش‌یافته است (زیرا رطوبت نسبی برگ شاخصی لحظه‌ای است) می‌تواند از دلایل معنی‌دار نشدن محتوی رطوبت نسبی برگ در تیمارهای اعمال‌شده در این پژوهش باشد. افزایش دمای هوا و کاهش رطوبت نسبی هوا در انتهای دور رشد گیاه نیز می‌تواند از دلایل دیگر برای عدم تفاوت معنی‌دار محتوی رطوبت نسبی برگ باشد.

[1] Mozafari et al
[2] Teama & Mahmoud

جدول ۲. مقایسه میانگین تیمارها تحت تأثیر استفاده از مالچ پلاستیکی بین ردیف و پلاستیک‌کشی روی گیاه برای صفات مختلف ذرت

تیمار	SY (gr/m^2)	RPE	SPR	EWL (cm)	EW (gr)	EWW (gr)	WHS (gr)	ESW (gr)	BY (gr/m^2)	HI (٪)	RWC (٪)
شاهد	۵۶۱/۳۳^{b}	۲۳/۹۶^{a}	۱۲/۵^{b}	۱۵/۳^{a}	۹۱/۸^{b}	۱۵/۷^{b}	۲۴/۶^{c}	۶/۶^{a}	۱۱۸۰^{b}	۴۷/۴^{b}	۷۵^{a}
بین ردیف	۹۰۳/۳۳^{a}	۳۱/۸۳^{a}	۱۴/۰۰^{a}	۱۷/۴^{a}	۱۴۰/۶^{a}	۲۲/۱^{a}	۳۴/۶^{a}	۹/۵^{a}	۱۷۴۶^{a}	۵۱/۵^{a}	۸۰^{a}
روی گیاه	۶۴۶/۶۷^{ab}	۲۶/۴۰^{a}	۱۲/۹۰^{ab}	۱۵/۸^{a}	۱۰۱/۴^{b}	۱۸^{ab}	۳۰^{b}	۷/۳^{a}	۱۳۳۷^{ab}	۴۸/۴^{ab}	۷۴^{a}

- SY، RPE، SPR، EWL، EW، EWW، WHS، ESW، BY، HI، RWC: به ترتیب عملکرد دانه، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، طول چوب‌بلال، وزن بلال، وزن چوب‌بلال، وزن صد دانه، وزن غلاف، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و محتوی رطوبت نسبی برگ.
- حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است

جدول ۳. مقایسه میانگین تیمارها تحت تأثیر استفاده از مالچ پلاستیکی بین ردیف برای صفات مختلف آفتابگردان

تیمار	SY (gr/m^2)	SHD (cm)	WHWS (gr)	NSPH	WHS (gr)	BY (gr/m^2)	HI (٪)	RWC (٪)
شاهد	۳۹۶/۶^{b}	۱۲/۷۳^{b}	۲۸/۶۳^{b}	۴۹۶/۳^{a}	۱۰/۰^{b}	۱۴۳۹^{b}	۲۷/۴^{a}	۶۸/۶۶^{a}
بین ردیف	۷۳۳/۳^{a}	۱۵/۶۳^{a}	۵۳/۰۶^{a}	۷۶۹/۳^{a}	۱۲/۳^{a}	۲۴۶۱^{a}	۲۹/۶^{a}	۷۰/۳۳^{a}

- SY، SHD، WHWS، NSPH، WHS، BY، HI، RWC: به ترتیب عملکرد دانه، قطر طبق آفتابگردان، وزن طبق بی‌دانه، تعداد دانه در طبق، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و محتوی رطوبت نسبی برگ.
- حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است

بحث

تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی در ایران معرفی‌شده است، که در اغلب موارد منجر به کاهش چشم‌گیر عملکرد گیاهان می‌گردد. آب مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. گیاهان زراعی به آب فراوان احتیاج دارند و مقادیر عظیمی از آن را در فرایند تبخیر و تعرق از دست می‌دهند. هدف از اجرای این آزمایش تعیین بهترین روش کاربرد پلاستیک (روی گیاه و بین ردیف) است که باعث تولید بیشترین عملکرد دانه ذرت و آفتابگردان شود. بدین منظور آزمایشی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه، در سال زراعی ۱۳۹۵ به اجرا درآمد. گیاهان مورداستفاده در این آزمایش ذرت و آفتابگردان بودند. تیمارها شامل مالچ پلاستیکی بین ردیف، پلاستیک‌کشی روی گیاه (در ذرت) و تیمار شاهد (بدون مالچ پلاستیک) بود. تیمارها در همان آغاز آزمایش و قبل از جوانه‌زنی اعمال گردیدند.

نتیجه‌گیری

مالچ پلاستیکی بین ردیف نسبت به تیمارهای دیگر بیشترین افزایش رشد و عملکرد ذرت و آفتابگردان را داشت. در ذرت، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، تعداد دانه در ردیف، وزن بلال و وزن صد دانه در تیمار مالچ بین ردیف نسبت به شاهد بیشتر بود اما اختلاف معنی‌داری بین تیمار مالچ بین ردیف و پلاستیک‌کشی روی گیاه ازنظر صفات مذکور وجود نداشت. در آفتابگردان، عملکرد بیولوژیک، قطر طبق، وزن طبق و وزن صد دانه در تیمار مالچ بین ردیف نسبت به شاهد بیشتر بود. نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که می‌توان با اعمال مالچ نایلونی پلی‌اتیلن خصوصاً در بین ردیف‌های کاشت و کاربرد آن قبل از جوانه‌زنی گیاهان ضمن کاهش طول دوره رشدی و استفاده بهتر از رطوبت، عملکرد دانه ذرت و آفتابگردان را در سطح قابل‌توجهی (به ترتیب ۳۸ و ۴۱ درصد نسبت به عدم استفاده از مالچ پلاستیک) افزایش داد. .دلایل احتمالی دیگر برای افزایش عملکرد دانه در شرایط استفاده از مالچ نایلونی شامل کاهش تبخیر و افزایش دمای خاک در ابتدای دوره رشد بود. همچنین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده تأثیر کاربرد مالچ پلاستیکی سیاه بر علف‌های هرز (در ابتدای دوره رشد) و عملکرد گیاهان زراعی مطالعه شود.

منابع

اسلامی، امیر.، و فرزام نیا، مسعود. (۱۳۸۸). اثر انواع مالچ برافزایش ظرفیت نگهداری آب خاک و عملکرد درختان پسته. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۲، ۸۷-۷۹. https://sid.ir/paper/131535/fa

افشار، هادی.، صدر قاین، سید حسین.، و مهرآبادی، حمیدرضا. (۱۳۹۱). ارزیابی کاربرد مالچ پلاستیکی بر عملکرد و میزان آب مصرفی در زراعت پنبه. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۶(۶)، ۱۴۲۱-۱۴۲۷. https://sid.ir/paper/141408/en

افشار، هادی.، و مهر آبادی، حمیدرضا. (۱۳۸۴). بررسی الگوهای مختلف آبیاری شیاری یک در میان بر مقدار کل آب مصرفی و عمکرد پنبه. گزارش نهایی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان، مشهد، ۲۳-۱۹. https://kanrrc.areeo.ac.ir/fa-IR/kanrrc.areeo.ac/22836/page

امینی، روح اله.، دباغ محمدی نصب، عادل.، و قلندر زاده، الناز. (۱۳۹۴). اثر مالچ و تنش رطوبتی بر برخی صفات فیزیولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه لوبیا قرمز. نشریه پژوهشهای زراعی ایران، ۱۳(۴)، ۶۹۹-۶۸۷. https://doi.org/10.22067/gsc.v13i4.30532

بختیاری مقدم، مجید.، ورزان، سعید.، حمیدی، آیدین.، درویشی، بابک.، اسفینی فراهانی، مجید.، عزیزخانی، سیامک.، و رضایی، کیارش. (۱۳۹۱). تاثیر مالچ زنده ماش سبز بر مدیریت علف‌های هرز و عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای. مجله زارعت و اصلاح نباتات، ۸(۳)، ۶۷-۵۷. https://sid.ir/paper/190259/fa

بوعذار، صمد. (۱۳۹۳). اثر آلودگی سه نوع ماده نفتی بر صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی سیب زمینی و هویج. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه شهرکرد، ایران.

جوانمردی، جمال. (۱۳۹۰). کشت ارگانیک سبزی‌ها. انتشارات دانشگاه جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد، ایران. https://www.jdmpress.com › books

جوانمردی، جمال.، و رضایی، رضا. (۱۳۹۴). اثر خاکپوش‌های پلی‌اتیلنی رنگی بر ویژگیهای کمی و کیفی فلفل دلمه‌ای سبز. دو فصلنامه علوم سبزی‌ها، ۲، ۸-۱. https://doi.org/10.22034/iuvs.2015.15367

حسینی، آزاده.، و نعمتی، حسین. (۱۳۹۳). اثر فاصله آبیاری بر خصوصیات رشدی، عملکرد کمی و کیفی گوجه فرنگی در شرایط کاربرد و عدم کاربرد مالچ پلاستیکی. نشریه بوم شناسی کشاورزی، ۶، ۵۶۰-۵۵۲. https://civilica.com/doc/663234

خماری، سعید.، قاسمی گلعذانی، کاظم.، آلیاری، هوشنگ.، زهتاب سلماسی، سعید.، و دباغ محمدی نسب، عادل. (۱۳۸۶). اثر زمان قطع آبیاری بر فنولوژی و عملکرد دانه سه رقم آفتابگردان در تبریز. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۶)، ۷۲-۸۰. https://sid.ir/paper/460944/fa

راضی، هومن.، و آساد، محمدتقی. (۱۳۷۷). ارزیابی تغییرات صفات مهم زراعی و معیارهای سنجش تحمل به خشکی در ارقام آفتابگردان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۲(۱)، ۴۴-۳۱. http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-264-fa.html

رفیعی، مسعود. (۱۳۸۱). اثر کمبود اب، روی و فسفر بر ویژگی های ریشه و عملکرد و کیفیت ذرت. پایان نامه دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه ازاد اسلامی، علوم و تحقیقات. اهواز، ایران.

سیدزوار، جمیله.، نوروزی، مجید.، اهریزاد سعید.، و پندحق، علی. (۱۳۹۴). رابطه بین عملکرد و اجزای عملکرد دانه در هیبریدهای ذرت تحت شرایط مختلف آبیاری. نشریه علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ۹(۱)، ۱۰۸-۹۳. https://jcep.tabriz.iau.ir/article_516699.html

سیلسپور، محسن.، جعفری، پیمان.، و ملاحسینی، حمید. (۱۳۸۵). مطالعه اثرات تراکم بوته و تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و برخی خصوصیات زراعی ذرت (Sc301). پژوهش در علوم کشاورزی، ۲(۲)، ۱۳-۲۴. https://sid.ir/paper/115232/fa

عزیزی، مجید.، شهریاری، سهیلا.، آرویی، حسین.، و انصاری، حسین. (۱۳۹۴). بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و انواع مالچ بر خصوصیات رویشی و میزان اسانس نعنا فلفلی (*Mentha piperita*). نشریه علوم باغبانی، ۲۹(۱)، ۲۱-۱۱. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.45070

فرهادی، علی.، و اکبری، مهدی. (۱۳۸۲). اثرات مالچهای پلی اتیلن و روش‌های آبیاری بر عملکرد و زودرسی گرمک اصفهان. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی، ۲۹. http://www.aeri.ir/WebGenerator/PageView.aspx?src=779

قلی نژاد، اسماعیل.، آیینه بند، امیر.، حسن زاده قورت تپه، عبداله.، برنوسی، ایرج.، و رضایی، حسین. (۱۳۸۸). بررسی تاثیر تنش خشکی با سطوح نیتروژن و تراکم بر عملکرد, اجزای عملکرد دانه و شاخص برداشت رقم ایروفلور آفتابگردان در ارومیه. پژوهش های تولید گیاهی (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۶(۳)، ۲۷-۱. https://sid.ir/paper/155896/fa

مظاهری لقب، حجت اله.، نوری، فرخ.، زارع ابیانه، حمید.، و وفایی، محمد حسن. (۱۳۸۰). اثر آبیاری تکمیلی بر صفات مهم زراعی سه رقم آفتابگردان در زراعت دیم. مجله پژوهش کشاورزی، ۳(۱)، ۴۳-۳۳. https://sid.ir/paper/84834/fa

نستری نصرآبادی، حسین.، نعمتی، سیدحسین.، سبحانی، علیرضا.، و آرویی، حسین. (۱۳۹۱). بررسی اثر مالچ و دور آبیاری بر عمکرد و کیفیت میوه دو رقم خربزه استان خراسان رضوی. نشریه علوم باغبانی، ۲۶(۳)، ۳۳۳-۳۲۷. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.15217

References

Afshar, H., & Mehrabadi, H.R. (2005). Investigation of different patterns of alternate furrow irrigation on total water use and yield of cotton. Final Report of Khorasan Agricultural and Natural Resources Research Center, Mashhad, 19-23. https://kanrrc.areeo.ac.ir/fa-IR/kanrrc.areeo.ac/22836/page [In Persian]

Afshar, H., Sadrghaen, S.H., & Mehrabadi, H.R. (2013). Evaluation of application of plastic mulch on water used and seed cotton yield. Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology), 26(6), 1421-1427. https://sid.ir/paper/141408/en [In Persian]

Amini, R., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., & Ghalandarzade, E. (2015). Effect of mulch and water stress on some physiological traits, yield components and grain yield of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 13(4), 687-699. https://doi.org/10.22067/gsc.v13i4.30532 [In Persian]

Azizi, M., Shahriari, S., Aroiee, H., & Ansari, H. (2015). The effect of irrigation regimes and mulch application on vegetative indices and essential oil content of peppermint (*Mentha piperita* L.). Journal of Horticultural Science, 29(1), 11-21. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.45070 [In Persian]

Bakhtiari Moghadam, M., Vazan, S., Hamidi, A., Darvishi, B., Esfini Farahani, M., Azizkhani, S., & Rezaei, K. (2012). The effect of mungbean (*Vigna radiata* L.) living mulch on weeds management and yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding, 8(3), 57-67. https://sid.ir/paper/190259/en [In Persian]

Boozar, S. (2014). Effect of three types of petroleum pollution on physiological and morphological traits of potato and carrot. Master of Science Thesis in Agronomy. College of Agricultural and Natural Resources, Shahrekord University, Iran. [In Persian]

Brainard, D.C., & Bellinder, R.R. (2004). Weed suppression in a broccoli-winter rye intercropping system. Weed Science, 52, 281-290. https://doi.org/10.1614/WS-03-031R

Cakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research, 89, 1-16. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.01.005

Dahiya, R., Ingwersen, J., & Streck, T. (2007). The effect of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: experimental findings and modeling. Soil and Tillage Research, 96(1-2), 52-63. https://doi.org/10.1016/j.still.2007.02.004

Decoteau, D., Kasperbauer, M., Daniels, D., & Hunt, P. (1988). Plastic mulch color effects on reflected light and tomato plant growth. Scientia Horticulturae, 34(3), 169-175. https://doi.org/10.1016/0304-4238(88)90089-1

Dong, B. (2010). Growth, grain yield, and water use efficiency of rain-fed spring hybrid millet (*Setaria italica*) in plastic-mulched and unmulched fields. Agricultural Water Management, 143, 93-101. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.06.011

Eslami, A., & Farzamnia, M. (2009). Effect of mulch material on increasing soil water holding capacity and pistachio yield. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 3(2), 79-87. https://sid.ir/paper/131535/en [In Persian]

Farhadi, A., & Akbari, M. (2004). Effects of polyethylenemulches and irrigation methods on yield and precocity of Esfahan Melon. Agricaltural Engineering Resaerch Institude publication, 29. http://www.aeri.ir/WebGenerator/PageView.aspx?src=779 [In Persian]

Farias, L., Guzman, S., & Michel A. C. (1994). Effect of plastic mulches on the Growth and yield of cucumber in tropical region. Biological Agriculture and Horticulture, 10, 303-306. https://doi.org/10.1080/01448765.1994.9754682

Fereres, W., Gimenez, C., & Femandez, J. M. (1986). Genetic variability in sunflower cultivars under drought, yield relationships. Australian Journal of Agricultural Research, 37, 573-582. https://doi.org/10.1071/AR9860573

Gholinejad, E., Aeeneh band, A., Hasanzade ghortappe, A., Barnoosi, I., & Rezaei, H. (2009). Evalution of effective drought stress on yield, yield components and harvest index of sunflower hybrid Iroflor and different levels of nitrogen and plant population in Uromieh climate conditions. Journal of plant production, 16 (3), 1-27. https://sid.ir/paper/155896/en [In Persian]

Ham, J. M., & Kluitenberg, G. (1994). Modeling the effect of mulch optical properties and mulch-soil contact resistance on soil heating under plastic mulch culture. Agricultural and Forest Meteorology, 71(3), 403-424. https://doi.org/10.1016/0168-1923(94)90022-1

Hosseini, A., & Nemati, H. (2014). Effect of irrigation interval on growth characteristics, quantitative and qualitative yield of tomatoes under application and non-application of plastic mulch. Journal of Agoecology, 6, 552-560. https://civilica.com/doc/663234 [In Persian]

Jalota, S. K. (1993). Evaporation Through a soil mulch in relation to characteristics and evaporativity. Australian Journal of Soil Research, 31, 131-6. https://doi.org/10.1071/SR9930131

Javanmardi, J. (2010). Growing organic vegetables. Jihadedaneshgahie Mashad Press. Mashad. Iran. 349. https://www.jdmpress.com › books [In Persian]

Javanmardi, J., & Rezaei, R. (2021). The effect of colored polyethylene mulch on the quantitative and qualitative characteristics of green bell pepper. Journal of Vegetables Sciences, 1(2), 1-8. https://doi.org/10.22034/iuvs.2015.15367 [In Persian]

Khamari, S., Ghasemi, K., Alyari, H., Zehtab Salmasi, S., & Dabagh Mohammadinasab, A. (2007). The effect of irrigation on phenology and yield of three sunflower cultivars in Tabriz. Journal of Agriculture and Natural Resources Sciences, 14 (6), 72-80. https://sid.ir/paper/460944/fa [In Persian]

Liakatas, A., Clark, J., & Monteith, J. (1986). Measurements of the heat balance under plastic mulches. Part I. Radiation balance and soil heat flux. Agricultural and Forest Meteorology, 36(3), 227-239. https://doi.org/10.1016/0168-1923(86)90037-7

Malhi, S.S., Lemke, R., Wang, Z.H., & Chhabra, S. (2006). Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality, and greenhouse gas emission. Soil and Tillage Research, 90, 171-183. https://doi.org/10.1016/j.still.2005.09.001

Mazaheri Laghab, H., Nouri, F., Zare Abyaneh, H., & Vafaei, H. (2001). Effects of supplemental irrigation on important agronomy traits of three cultivars of sunflower in dry farming. Agricultural Research, 3(1), 33-43. https://sid.ir/paper/84834/en [In Persian]

Moreno, M.M., Moreno, A., & Mancebo, I. (2009). Comparison of different mulch materials in a tomato (*Solanum lycopersicum* L.) crop. Spanish Journal of Agricultural Research, 7(2), 454-464. https://doi.org/10.5424/sjar/2009072-1500

Mozafari, K., Arshi, Y., Zinali, H. (1996). Evaluation of the effect of drought stress on some morphophysiological traits and components of yield in sunflower. Seed and Plant, 12, 24-33. https://spj.areeo.ac.ir/browse?_action=issue&lang=en

Namakka, A., Abubakar, I.U., Sadik, I.A., Sharifai, A.I., & Hassas A.H. (2008). Effect of sowing date and nitrogen level on yield and yield components of two extra early maize varieties (*Zea mays* L.) in Sudan savanna of Nigeria. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science, 3(2), 1-5. https://www.arpnjournals.com

Nastari Nasrabadi, H., Nemati, S. H., Sobhani, A., & Aroiee, H. (2012). Effect of mulch and interval irrigation on yield and fruit quality of tow cultivar Khorasan Razavi province melon. Journal of Horticultural Science, 26(3), 327-333. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.15217 [In Persian]

Nesmith, D.S., & Ritchie J.T. (1992). Short-and long-term responses of corn to a preanthesis soil water deficit. Agronomy Journal, 84, 107-113. https://doi.org/10.2134/agronj1992.00021962008400010021x

Pankovic, D.Z., Sakac, S., Kcvroson, Plesnikar, M. (1999). Acclimation to long term water deficit in theleaves of two sunflower hybrid: Photosynthesis, electron transport and carbon metabolism. Journal of Experimental Botany, 50, 127-138. https://doi.org/10.1093/jexbot/50.330.127

Rafiee, M. (2002). Effect of water deficiency ،zinc and phosphorus on root characteristics and yield and quality of corn. Ph.D. Thesis of Crop Physiology. Islamic Azad University, Science and Research. Ahvaz, Iran. [In Persian]

Razi, H., & Assad, M.T. (1998). Evaluating variability of important agronomic traits and drought tolerant criteria in sunflower cultivars. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 2 (1), 31-44. http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-264-fa.html [In Persian]

Ritchie, S. W., & Nguyen, H. T. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science, 30, 105-111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x

Schonbeck, W.M., & Evanylo, G.K. (1998). Effects of mulches on soil properties and tomato production I. Soil temperature, soil moisture and marketable yield. Journal of Sustainable Agriculture, 13, 55-81. https://doi.org/10.1300/J064v13n01_06

Seilsepoor, M., Jaafari, P., & Mollahosseini, H. (2006). The effects of drought stress and plant density on yield and some agronomic traits of maize (SC 301). Journal of Research in Agricultural Science, 2, 13-24. https://sid.ir/paper/115232/fa [In Persian]

Seyedzavar, J., Norouzi, M., Aharizad, S., & Bandehhagh, A. (2015). Relationship between yield and yield components of maize hybrids under different irrigation. Journal of Crop Ecophysiology, 9(1), 93-108. https://jcep.tabriz.iau.ir/article_516699.html?lang=en [In Persian]

Teama, E.A., & Mohmoud, A.M. (1994). Response of sunflower to watering regions and nitrogen fertilization. J. Agriculturistics. Assuit Journal of Agricultural Sciences, 25, 29-37. https://www.aun.edu.eg › agriculture

Advanced Technologies in Water Efficiency

homepage:https://atwe.razi.ac.ir Online ISSN:2783-4964

Study of the spatial changes subsidence of Damghan plain and its prediction using artificial neural network model

Reza Ashouri[1], Samad Emamgholizadeh[2]✉, Hooman Haji Kandy[3], Saeed Jamali [3]

[1] Department of Civil Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: reza.ashouri1400@gmail.com

[2] Corresponding Author, Professor, Department of Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. Email: s_gholizadeh517@Shahroodut.ac.ir

[3] Department of Civil Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: hoo.haji_kandi@iauctb.ac.ir

[3] Department of Civil Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: sae.jamali@iauctb.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

Indiscriminate exploitation of groundwater has caused a decrease in the groundwater level and as a result, has caused land subsidence in many areas. This problem is especially visible in arid and semi-arid regions like Iran, where water supply for agriculture, drinking, and industry is done from groundwater water sources, and in recent years, it has seriously threatened the aquifers of the plains as a serious danger. In this research, due to the importance of the problem, land subsidence in the Damghan Plain aquifer located in Semnan province was studied and investigated.

Methods

In this research, the amount of subsidence was measured at the field, and then its spatial changes were investigated using conventional methods such as Kriging interpolation, Co-kriging, and inverse distance weighted interpolation (IDW). Also, the artificial neural network model was used to estimate and interpolate the amount of subsidence. Three statistical indices namely the coefficient of correlation (R^2), the root mean square error (RMSE), and the mean absolute error (MAE) were used to compare the estimation of subsidence values using an artificial neural network model, kriging interpolation method, cokriging, and IDW. To perform interpolation using kriging, cokriging, and IDW interpolation methods, the variogram of land subsidence data was drawn. Also, in order to increase the accuracy of the mentioned models in predicting the amount of subsidence, the auxiliary variable of water level reduction was used.

Results and discussion

Results show that the Gaussian function with segment-to-threshold ratio ($C_0/(C_0+C)$) equal to 0.26 has better performance compared to other models. Also, the artificial neural network has a better performance compared to the kriging method and the inverse weighted distance method and has been able to reduce the RMSE error value in the validation stage by 17.6% and 31.3%, respectively. It has also increased the value of the R^2 from 0.502 and 0.421 to 0.721. In this case, the comparison between the estimation of subsidence values using the artificial neural network model compared to the interpolation method of kriging, cokriging, and IDW shows that the artificial neural network model with a coefficient of determination (R^2) of 0.860 and 0.751 and 0.015 and 0.017, has a better performance compared to the mentioned methods and reduce the amount of prediction error. Therefore, the artificial neural network model can be used with good accuracy as an alternative method instead of conventional interpolation methods to investigate the spatial changes of land subsidence.

Conclusion

The research results showed:

Compared to circular, spherical, exponential, and linear functions, the Gaussian function can better estimate the spatial changes of land subsidence. The results of the kriging method were better than the inverse distance weighted (IDW) method.The artificial neural network model with Gauss function and two intermediate layers has better performance than other transfer models such as sigmoid, hyperbolic tangent, and hyperbolic Bade secant.The use of artificial neural network model has increased the accuracy of land subsidence estimation compared to conventional methods such as the kriging method and inverse weighted distance method.

Keywords: Modeling, Subsidence, Interpolation, Artificial Neural Network

Article Type: Research Article

Article history: Received: 04 October 2023 **Revised:** 23 November 2023 **Accepted:** 12 December 2023 **ePublished:** 15 December 2023

Cite this article: Ashouri, R., Emamgholizadeh, Haji Kandy, H., & Jamali, S. (2023). Prediction of the scour depth of bridge pier using artificial neural network model and comparison with empirical equations, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 3(3), 68-87. DOI: 10.22126/ATWE.2023.9801.1065

Publisher: Razi University

© The Author(s).

فناوری های پیشرفته در بهره وری آب

وبگاه نشریه: https://atwe.razi.ac.ir شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۹۶۴

بررسی تغییرات مکانی فرونشست دشت دامغان و پیش‌بینی آن با استفاده مدل شبکه عصبی مصنوعی

رضا آشوری[۱]، صمد امامقلی زاده[۲]✉، هومن حاجی کندی[۳]، سعید جمالی[۳]

[۱] گروه مهندسی عمران، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: reza.ashouri1400@gmail.com

[۲] نویسنده مسئول، استاد گروه آب و محیطزیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: s_gholizadeh517@shahroodut.ac.ir

[۳] گروه مهندسی عمران، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: hoo.haji_kandi@iauctb.ac.ir

[۳] گروه مهندسی عمران، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: jamali@iauctb.ac.ir

چکیده

فرونشست زمین در اثر بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و درنتیجه کاهش تراز سطح آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق جهان ازجمله ایران به‌عنوان یک خطر جدی آبخوان‌های دشت‌ها را مورد تهدید جدی قرار داده است. در این تحقیق با توجه به اهمیت مسئله، فرونشست زمین در آبخوان دشت دامغان واقع در استان سمنان موردمطالعه و بررسی قرار گرفت. بدین منظور، مقدار فرونشست به‌صورت میدانی در محل پیزومترها اندازه‌گیری گردید و سپس تغییرات مکانی آن با استفاده از روش‌های مرسوم مانند روش درون‌یابی کریجینگ، کو کریجینگ، درون‌یابی وزنی معکوس فاصله (IDW) موردبررسی قرار گرفت. همچنین از مدل شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد و درون‌یابی مقدار فرونشست مورداستفاده قرار گرفت. مقایسه بین برآورد مقادیر فرونشست با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با روش درون‌یابی کوکریجینگ و IDW نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی مصنوعی با ضریب تبیین ۰/۷۲۱ و همچنین مقدار خطای RMSE برابر با ۰/۰۱۷ متر، در مرحله صحت سنجی توانسته است عملکرد بهتری در مقایسه با روش‌های کوکریجینگ و IDW با مقدار خطای RMSE برابر با ۰/۰۳۱ و ۰/۰۳۷ متر داشته باشد. استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی مقدار خطای RMSE را در مقایسه با دو روش کوکریجینگ و IDW به ترتیب ۴۶/۳ و ۵۴/۴ درصد کاهش داده است. لذا مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند با دقت مناسبی به‌عنوان روش جایگزین به‌جای روش‌های مرسوم درون‌یابی یادشده برای بررسی تغییرات مکانی فرونشست زمین مورداستفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، فرونشست، شبکه عصبی مصنوعی، درون‌یابی

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۲ مهر ۱۴۰۲ **اصلاح:** ۰۲ آذر ۱۴۰۲ **پذیرش:** ۲۱ آذر ۱۴۰۲ **چاپ الکترونیکی:** ۲۴ آذر ۱۴۰۲

استناد: آشوری. ر، امامقلی زاده، ص.، حاجی کندی، ه، و جمالی، س. (۱۴۰۲). بررسی تغییرات مکانی فرونشست دشت دامغان و پیش‌بینی آن با استفاده مدل شبکه عصبی مصنوعی، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۳(۳)، ۸۷-۶۸ ، شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2023.9801.1065

ناشر: دانشگاه رازی

©نویسندگان.

CC BY NC

مقدمه

برداشت از آب زیرزمینی برای مصارف مختلف مانند کشاورزی، صنعت و شرب انجام می‌گردد. در سال‌های اخیر، در دشت‌هایی که مقدار برداشت بیشتر از مقدار تغذیه بوده است، سطح سفره‌های آب زیرزمینی کاهش‌یافته است. پایین رفتن سطح سفره‌های آب زیرزمینی و بحرانی شدن وضعیت منابع آب در دشت‌ها یکی از بزرگ‌ترین و چالشی‌ترین مشکلات بخش زیست‌محیطی در آینده بسیار نزدیک خواهد شد. در حال حاضر قسمت اعظم مصارف آب استحصالی در بسیاری از کشورها به بخش کشاورزی اختصاص دارد. در اثر کاهش سطح آب زیرزمینی، مشکلات عدیده‌ای در دشت‌ها شاهد خواهیم بود که می‌توان به از دست رفتن آبخوان در اثر فرونشست، از بین رفتن سازه‌های زیربنایی مانندِ جاده‌ها، راه‌آهن، ساختمان و ... اشاره نمود (خورشید دوست و همکاران[۱]، ۲۰۱۷).

هم‌زمان با افزایش رشد جمعیت و همچنین صنعتی شدن جوامع بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰، خطر فرونشست زمین در اثر پایین افتادن تراز سطح آب زیرزمینی مطرح‌شده است (والتام[۲]، ۱۹۸۹). این مشکل بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران که تأمین آب کشاورزی، شرب و صنعت توسط آب زیرزمینی انجام می‌شود، به‌عنوان یک خطر جدی مطرح است، چراکه بهره‌برداری بیش‌ازحد منابع آب زیرزمینی در این دشت‌ها موجب تشدید فرونشست زمین شده است (تورانی و همکاران، ۱۳۹۷). پدیده فرونشست زمین در دشت‌های مختلف کشور ازجمله دشت رفسنجان (تورانی و همکاران، ۱۳۹۷)، دشت ورامین (قوامی جمال و همکاران، ۱۴۰۱)، دشت مشهد (قره‌چلو، ۱۴۰۰)، استان فارس (گلیان و همکاران[۳]، ۲۰۲۱)، جنوب دشت تهران (محمودپور و همکاران[۴]، ۲۰۱۶)، دشت کاشان (قاضی فرد و همکاران، ۲۰۱۶)، دشت قزوین (بابایی و همکاران[۵]، ۲۰۲۰)، دشت اراک (رجبی و قربانی[۶]، ۲۰۱۶) گزارش‌شده است. برای مثال در دشت کرمان، کاهش حدود ۲۵ متری سطح آب زیرزمینی موجب فرونشست زمین به مقدار ۱۵ سانتی‌متر در سال شده است (تورانی و همکاران، ۱۳۹۷).

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

کلانتری و همکاران (۱۳۹۹) به ارزیابی فرونشست دشت ملارد و شهریار در اثر برداشت آب زیرزمینی پرداختند. آن‌ها در تحقیق خود تأثیر فرونشست را بر سازه‌های زیربنایی در منطقه موردمطالعه مورد ارزیابی قراردادند.

اغلب ویژگی‌های محیطی دارای پراکنشی پیوسته می‌باشند. از طرفی عملاً به دلیل اینکه امکان اندازه‌گیری و نمونه‌برداری به دلیل ایجاد هزینه زیاد امکان‌پذیر نیست، در این‌گونه موارد جهت توصیف و نمایش تغییرات پارامتر موردنظر در نقاطی که اندازه‌گیری صورت نگرفته است، می‌توان از اطلاعات اندازه‌گیری شده در سایر نقاط مقدار آن‌ها را برآورد نمود.

درون‌یابی فضایی[۷] که خود می‌تواند شامل درون‌یابی زمین‌آماری[۸] و درون‌یابی قطعی[۹] باشد، روشی برای تخمین داده‌ها در ناحیه پیوسته و پیش‌بینی نقاط ناشناخته (اطلاعاتی که گم‌شده است و یا نمی‌توان آن را به دست آورد) با استفاده از داده‌های مشاهداتی موجود است. درون‌یابی زمین‌آماری شامل درون‌یابی کریجینگ معمولی (OK)، درون‌یابی ساده کریجینگ (SK) و درون‌یابی جهانی کریجینگ (UK) است. درون‌یابی قطعی شامل درون‌یابی چندجمله‌ای جهانی (GPI)، درون‌یابی چندجمله‌ای محلی، درون‌یابی وزنی بافاصله معکوس (IDW)، درون‌یابی اسپلاین مسطح و درون‌یابی چندجمله‌ای محلی (LPI) است (لام[۱۰]، ۱۹۸۳؛ میتاس و میتاسوا[۱۱]، ۱۹۹۹).

---

[1] Khorshiddoust et al
[2] Waltham
[3] Golian et a
[4] Mahmoudpour et al
[5] Babaee et al
[6] Rajabi & Ghorbani
[7] Spatial interpolation
[8] Geo-statistical interpolation
[9] deterministic interpolation
[10] Lam
[11] Mitas & Mitasova

اندازه‌گیری فرونشست یکی از پارامترهای مهم در علوم مهندسی است که معمولاً در یک منطقه موردمطالعه به دلیل گستردگی و وسعت زیاد منطقه (دشت) و درنتیجه نیاز به هزینه خیلی زیاد، اندازه‌گیری آن در تمام نقاط امکان‌پذیر نیست. به عبارتی نمی‌توان مقدار آن را به‌صورت میدانی اندازه‌گیری کرد. در این‌گونه موارد می‌توان از روش زمین‌آمار که شاخه‌ای از علم آمار کاربردی است، جهت تخمین آماری پارامتر فرونشست در نقاطی که اندازه‌گیری صورت نگرفته است، استفاده کرد.

بررسی مطالعات سایر محققین نشان می‌دهد که تابه‌حال مطالعاتی مختلفی در ارتباط با اندازه‌گیری میدانی فرونشست، استفاده از روش سنجش از راه دور و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام‌شده است. برای مثال می‌توان به تحقیق آروین و همکاران (۱۳۹۸) اشاره نمود. آن‌ها با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل‌سازی مکانی فرونشست زمین را در دشت میناب در استان هرمزگان موردبررسی قراردادند. آن‌ها بیان داشتند در این دشت، به دلیل کاهش بارش در سال‌های اخیر و همچنین خشک‌سالی‌های متوالی و محدودیت منابع آب سطحی، به دلیل برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی و حفاری بی‌رویه چاه‌ها موجب شده است که تعادل آبخوان منطقه موردمطالعه به‌هم‌خورده و این امر موجب پایین رفتن سطح آب زیرزمینی شده است. آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای راداری Semtinel-1 به بررسی میزان و گسترش فرونشست زمین پرداختند و سپس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به پهنه‌بندی فرونشست دشت پرداختند. در این دشت مقدار فرونشست حدود ۱۳ سانتی‌متر بین سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۷ محاسبه گردید.

موراکامی و همکاران[1] (۲۰۰۶) با استفاده از درون‌یابی فضایی بر اساس زمین‌آمار نقشه فرونشست زمین را در دشت کانتو شمالی[2] موردمطالعه قراردادند. بدین منظور آن‌ها در مطالعه خود، از روش درون‌یابی فضایی بر اساس روش کریجینگ معمولی برای تهیه نقشه فرونشست زمین استفاده کردند و تغییرپذیری مکانی فرونشست را در منطقه موردمطالعه موردبررسی قراردادند و درنهایت نقشه پهنه‌بندی فرونشست را برای کل منطقه ارائه دادند.

ایکوئمونیسان و همکاران[3] (۲۰۲۰) اظهار داشتند، پیش‌بینی دقیق فرونشست زمین برای مدیریت مؤثر فرونشست زمین و سایر مخاطرات زمینی مرتبط بسیار مهم است. آن‌ها در تحقیق خود شهر لاگوس که یکی از پرجمعیت‌ترین شهر نیجریه است که تحت تأثیر فرونشست زمین گسترده قرارگرفته است را موردمطالعه قراردادند. آن‌ها در تحقیق خود کاربرد زمین‌آمار را جهت بررسی و تهیه نقشه فرونشست مورداستفاده قراردادند. هدف از مطالعه بررسی نرخ‌های فرونشست فعلی و ارزیابی تغییرپذیری مکانی فرونشست زمین در منطقه موردمطالعه با استفاده از روش زمین‌آمار بیان گردید. بدین منظور از ادغام نیم تغییر نمای تجربی (semivariogram) و کریجینگ معمولی بهره جستند. نتایج آن‌ها نشان داد که ابزارهای زمین‌آماری برای ارزیابی تنوع مکانی نرخ فرونشست موفقیت‌آمیز و مناسب است.

با توجه به اینکه دشت دامغان یکی از دشت‌های مهم استان سمنان است، افت سطح آب زیرزمینی در این دشت مشهود است. در این تحقیق بررسی تغییرات مکانی فرونشست دشت دامغان موردبررسی و ارزیابی قرار گرفت. بررسی منابع نشان می‌دهد تحقیقی در ارتباط با انجام درون‌یابی با استفاده از مدل هوشمند برای پارامتر فرونشست انجام نگرفته است. لذا در این تحقیق عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با روش‌های مرسوم درون‌یابی مانند روش درون‌یابی کریجینگ، کوکریجینگ و درون‌یابی وزنی معکوس فاصله (IDW) موردبررسی قرار گرفت و با استفاده از معیارهای آماری عملکرد و توانایی هر یک از روش‌های مذکور مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

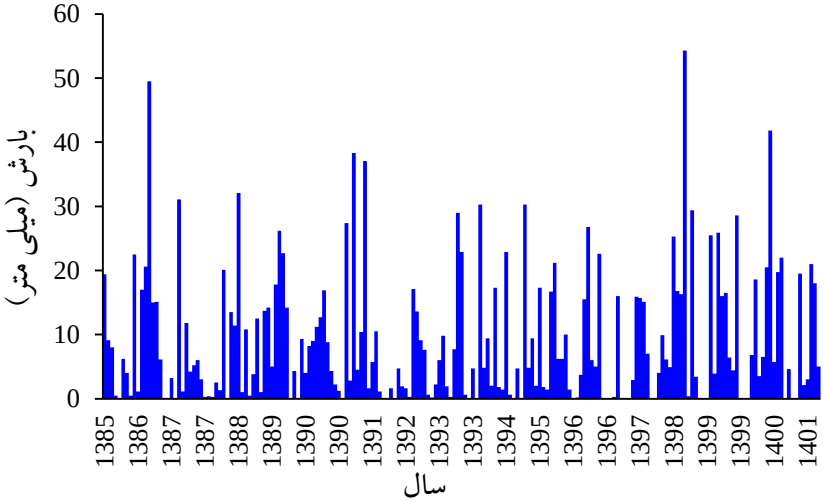
منطقه موردمطالعه

با توجه به شکل (۱) منطقه موردمطالعه، آبخوان آبرفتی شهر دامغان است که در استان سمنان واقع‌شده است. محدوده موردمطالعه در موقعیت جغرافیایی حدفاصل ۵۳ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. مساحت محدوده دشت آبرفتی حدود ۱۳۵۱/۲ کیلومترمربع است. مطابق شکل (۲) میانگین بارش،

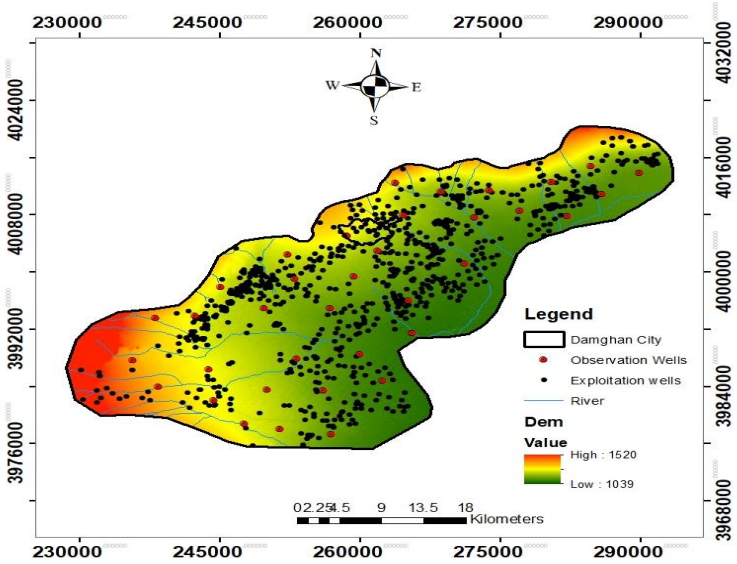
[1] Murakami et al
[2] Northern Kanto plain
[3] Ikuemonisan et al

دما و تبخیر سالیانه این دشت به ترتیب برابر با ۱۲۷ میلی‌متر، ۱۶/۴ درجه سانتی‌گراد و ۲۴۲۹ میلی‌متر است. تغییرات بارش سالیانه دشت دامغان بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۱ را نشان می‌دهد. بر اساس اقلیم بندی دومارتن، دشت دامغان دارای اقلیم گرم و خشک است. همچنین در شکل (۳) تغییرات ارتفاعی دشت، چاه‌های مشاهداتی و موقعیت چاه‌های بهره‌برداری نشان داده‌شده است. حداکثر، حداقل و متوسط ارتفاع حوضه آبریز دشت دامغان به ترتیب ۱۵۲۰، ۱۰۳۹ و ۱۲۵۰ متر از سطح آزاد است. نقشه خطوط هم‌پتانسیل آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دامغان مربوط به سال‌های ۱۳۸۵ و سال ۱۴۰۰ در شکل (۳) نشان داده‌شده است. بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی در آبخوان در دو سال ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ نشان می‌دهد در این دشت، متوسط افت سطح آب در طول آماری موردبررسی ۰/۴۹ متر در سال است.

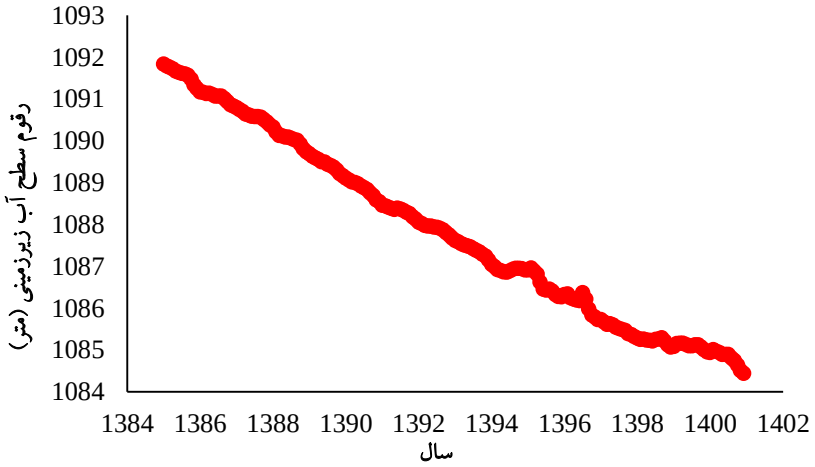
شکل ۱. محدوده موردمطالعه در دشت دامغان در محیط گوگل ارث



شکل ۲. تغییرات بارش سالیانه دشت دامغان بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۱



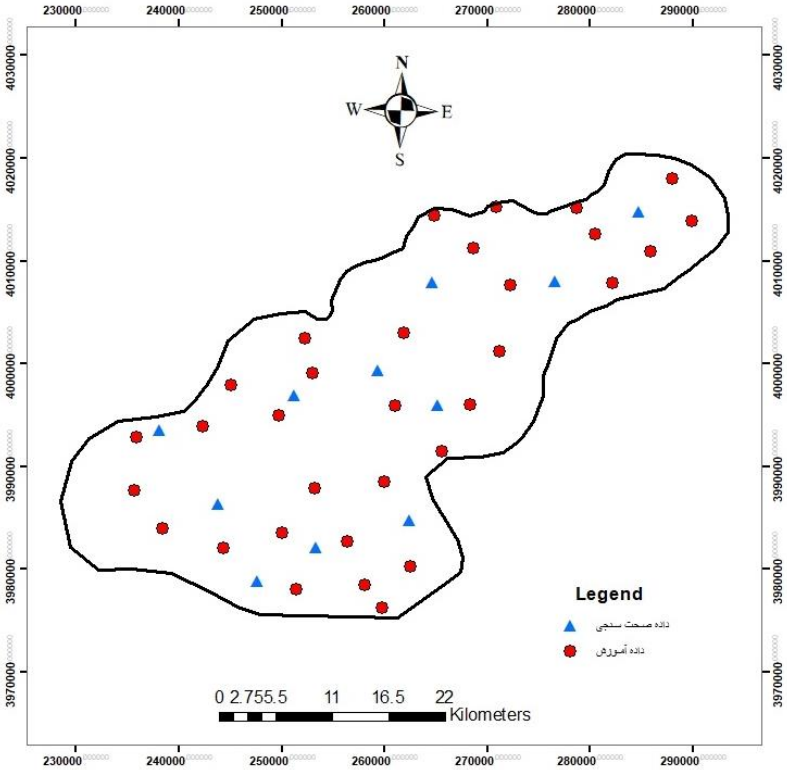
شکل ۳. تغییرات ارتفاعی منطقه موردمطالعه، موقعیت چاه‌های بهره‌برداری و چاه‌های مشاهداتی



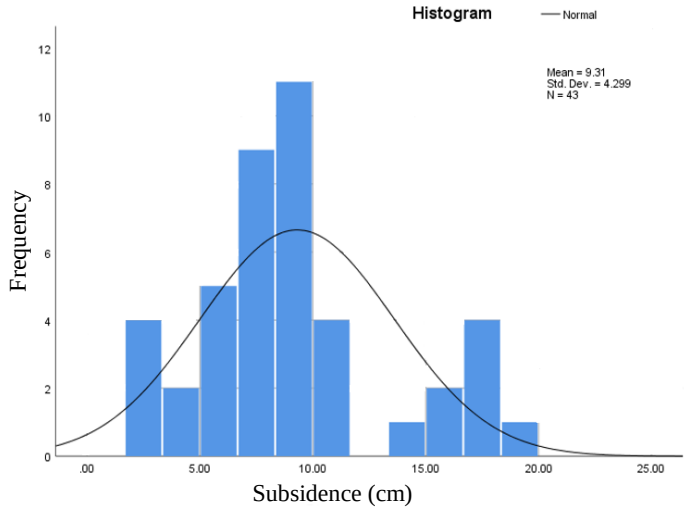
شکل ٤. تغییرات رقوم سطح آب دشت دامغان بین سال‌های ۱۳۸٤ تا ۱٤۰۱

داده‌های مورداستفاده

در این مطالعه جهت انجام تحقیق در منطقه موردمطالعه، مقدار فرونشست زمین در ۴۳ نقطه که پراکنش مکانی آن در شکل ۵ نشان داده شده است، اندازه‌گیری شد. شکل (۴) هیستوگرام داده‌های فرونشست اندازه‌گیری در محدوده دشت دامغان را نشان می‌دهد. برای ارزیابی و بررسی توانمندی سه روش کریجینگ، IDW یا معکوس فاصله، مدل شبکه عصبی مصنوعی به دو گروه آموزش و صحت‌سنجی تقسیم‌بندی شدند. از ۷۵ درصد داده‌های برای آموزش و ۲۵ درصد داده‌ها برای صحت‌سنجی مدل‌ها استفاده گردید. این داده‌ها کاملاً به‌طور تصادفی و به نحوی انتخاب شدند که دارای پراکندگی مناسب در منطقه موردتحقیق داشته باشند.



شکل ۵. موقعیت مکانی اندازه‌گیری فرونشست در محدوده دشت دامغان



شکل ٦. هیستوگرام داده‌های فرونشست اندازه‌گیری در محدوده دشت دامغان

مدل شبکه عصبی مصنوعی

بشر همواره در تلاش برای یافتن راه‌حل‌هایی بوده تا بتواند پردازش اطلاعات، مسائل و پدیده‌هایی را که به‌راحتی قابل‌حل نیست و یا یافتن روابط پیچیده میان پارامترهای پدیده‌های به‌راحتی امکان‌پذیر نیست را تسهیل نماید. لذا در این راستا با الگوبرداری از سیستم‌های بیولوژیک، به سیستم‌های هوشمندی دست‌یافته است که قادر به استخراج دانش الگوریتم یا نگاشت از دل محاسبات

عددی است. سامانه‌های دینامیکی یادشده که شبکه‌های عصبی مصنوعی نامیده می‌شوند، با پردازش بر روی‌داده‌های تجربی دانش یا قانون نهفته در ورای داده‌ها را ارائه می‌کنند. در حقیقت، یک شبکه عصبی مصنوعی مجموعه‌ای از تعداد زیادی واحدهای محاسباتی ساده مرتبط (نرون ها) است که شبیه به نرون‌های طبیعی مغز انسان هستند (هایکین[۱]، ۱۹۹۹). شبکه‌های عصبی مصنوعی اولین بار توسط مک کالوچ و پیت[۲] (۱۹۴۳) معرفی گردید. امروزه توانمندی‌های روش شبکه‌ی عصبی در مدل‌سازی مسائل غیرخطی باعث شده تا در علوم مختلف مهندسی به‌موازات کاربرد روش‌های متداول، از روش شبکه عصبی نیز استفاده شود (مسلمی و همکاران[۳]، ۲۰۱۴؛ کاشی و همکاران[۴]، ۲۰۱۴؛ امامقلی زاده و همکاران[۵]، ۲۰۱۴؛ امامقلی زاده و همکاران، ۲۰۱۵؛ بازوبندی و همکاران[۶]، ۲۰۲۲).

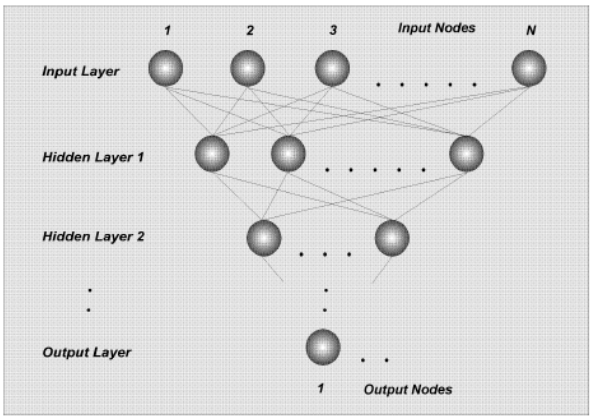
یک شبکه عصبی شامل اجزای سازنده لایه‌ها و وزن‌ها است. رفتار شبکه نیز به ارتباط بین اعضا وابسته است. در حالت کلی در شبکه‌های عصبی سه نوع لایه نرونی وجود دارد:

لایه ورودی: از این لایه جهت معرفی مقادیر داده‌های ورودی به مدل و همچنین معرفی داده‌ها به اولین لایه مخفی انجام می‌گیرد. تعداد گره‌های لایه ورودی برابر با تعداد مقادیر داده‌های ورودی به مدل است.

لایه‌های میانی یا پردازشگر مخفی: عملکرد این لایه‌ها به‌وسیله ورودی‌ها و وزن ارتباط بین آن‌ها و لایه‌های پنهان تعیین می‌شود. وزن‌های بین واحدهای ورودی و پنهان تعیین می‌کنند که چه وقت یک واحد پنهان باید فعال شود. انتخاب تعداد لایه‌های مخفی و تعداد گره‌های مخفی می‌تواند بر عملکرد شبکه اثرگذار باشد.

لایه خروجی: لایه‌ای که خروجی آن، خروجی نهایی شبکه است و عملکرد واحد خروجی بسته به فعالیت واحد پنهان و وزن ارتباط بین واحد پنهان و خروجی است.

تابه‌حال شبکه عصبی مختلفی معرفی‌شده است که شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون[۷] در زمره کاربردی‌ترین شبکه عصبی می‌باشند (رانا و همکاران[۸]، ۲۰۱۸؛ روملهارت و همکاران[۹]، ۱۹۸۶؛ زو و همکاران[۱۰]، ۲۰۰۹). این شبکه‌ها قادرند با انتخاب مناسب تعداد لایه‌ها و سلول‌های عصبی که اغلب زیاد هم نیستند، یک نگاشت غیرخطی را با دقت دلخواه انجام دهند. این همان چیزی است که در بسیاری از مسائل فنی مهندسی به‌عنوان راه‌حل اصلی مطرح است. در شکل (۷) شبکه عصبی مصنوعی و لایه‌های ورودی، میانی و خروجی نشان داده‌شده است.



شکل ۷. شبکه‌های عصبی مصنوعی چندلایه

---

[1] Haykin
[2] McCulloch & Pitts
[3] Moslemi et al
[4] Kashi et al
[5] Emamgholizadeh et al
[6] Bazoobandi et al
7 Perceptron
[8] Rana et al
[9] Rumelhart et al
[10] Zou et al

توابع انتقال گره، در ایفای هدف کنترل شدت سیگنال[۱] خروجی گره نقش دارد. این توابع شدت صوت خروجی را بین صفر و یک قرار می‌دهند. ورودی تابع انتقال حاصل‌ضرب نقطه‌ای سیگنال‌های ورودی تمامی گره‌ها و بردار وزن گره‌ها است. Qnet گزینه انتخاب چهار تابع انتقال را به کاربر ارائه می‌دهد که شامل سیگموئید[۲] با رابطه ریاضی ((1/(1+exp(-x))، گوس[۳] با رابطه ریاضی ((exp(-x*x))، تانژانت هیپربولیک[۴] ((tanh(x)) و سکانت هیپربولیک[۵] ((sech(x)) می‌باشند.

از الگوریتم پس انتشار خطا[۶] (BP) برای آموزش شبکه‌های عصبی چندلایه پرسپترون[۷] (MLP) استفاده می‌شود. به عبارتی توپولوژی این شبکه‌ها با یادگیری پس انتشار خطا تکمیل می‌شود. قانون پس انتشار خطا از دو مسیر اصلی تشکیل می‌شود. مسیر اول به مسیر رفت موسوم است که در این مسیر، بردار ورودی به شبکه چندلایه پرسپترون اعمال می‌شود. مسیر دوم به مسیر برگشت موسوم است و در این مسیر پارامترهای شبکه چندلایه پرسپترون تغییر و تنظیم می‌گردند. در حقیقت در این مدل خطاها در لایه خروجی به سمت لایه ورودی منتشر می‌شوند و وزن‌ها مطابق رابطه (۱) اصلاح می‌شوند:

$$\Delta w_{ij}(n)=-\varepsilon\times\frac{\partial E}{\partial w_{ij}}+\alpha\times\Delta w_{ij}(n-1) \qquad (۱)$$

در این رابطه $\Delta w_{ij}(n)$ و $\Delta w_{ij}(n-1)$ به ترتیب افزایش وزن بین گره i و j در طول گذر n و (n-1) یا دوره هستند، E خطا است و α را ضریب نرخ یادگیری و ضریب حرکت نامیده می‌شوند و نرخ یادگیری الگوریتم را کنترل می‌کنند. برای بهینه‌سازی سرعت یادگیری شبکه، این عوامل باید در طول فرآیند آموزش به‌درستی تنظیم شوند. محدوده معتبر برای ε و α بین صفر و یک است.

درون‌یابی

منطق روش رایج جهت درون‌یابی با خصوصیات مکانی، بر این اصل استوار است که احتمال شباهت نقاطی که در فضا به یکدیگر نزدیک‌تر هستند، بیشتر از نقاطی است که از یکدیگر دور هستند. با استفاده از توابع درون‌یابی، ارزش توصیفی نقاط نامعلوم یک منطقه بر پایه تعدادی مشاهده (نقاط معلوم) در داخل آن برآورد می‌گردند و داده‌های مربوط به نقاط نمونه‌برداری شده به‌تمامی منطقه تعمیم داده می‌شوند. داده‌های نقاط معلوم به روش‌های مختلف تهیه‌شده و می‌توانند به‌صورت نقاط، خطوط و یا با سطح پراکنش منظم و یا نامنظم باشند. ارزش‌های توصیفی نیز می‌توانند از نوع داده‌های ارتفاعی، اقتصادی، اقلیمی و ... باشند. درون‌یابی شامل دو گروه خطی و غیرخطی می‌شود. درون‌یابی خطی در دنیای واقعی صحت ندارد، مگر در سطوح بسیار کوچک. روش‌های درون‌یابی غیرخطی به‌منظور حذف اثرات فرضیه خطی بودن تغییرات طراحی‌شده‌اند که از مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان به روش-های وزنی معکوس فاصله (IDW)، اسپیلاین (RBF) و کریجینگ (Kriging) اشاره کرد.

درون‌یابی به روش کریجینگ[۸] و کوکریجینگ[۹]

شاخه‌ای از علم آمار کاربردی به نام زمین‌آمار قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به‌منظور برآورد خصوصیت موردنظر در مکان‌های نمونه‌برداری نشده با استفاده از اطلاعات حاصل از نقاط نمونه‌برداری شده است (هونیا و همکاران[۱۰]، ۲۰۱۸؛ رای و همکاران[۱۱]، ۲۰۰۲) کریجینگ یک روش زمین‌آمار برای درون‌یابی داده‌ها بر اساس واریانس فضایی است. درون‌یابی

1 Signal Strength
2 Sigmoid
3 Gaussian
4 Hyperbolic Tangent
5 Hyperbolic Secant
6 Back-Propagation
7 Multi-layer Perceptron
8 Kriging
9 CoKriging
10 Bhunia et al
11 Ryu et al

کریجینگ روش پیشرفته‌ای است که در مقایسه با سایر روش‌های درون‌یابی، محاسبات آن نیازمند زمان بیشتر است و با توجه به فرضیات پایه آن، معمولاً در سطوح کوچک به کار گرفته می‌شود. کریجینگ بهترین تخمین‌گر خطی نااریب با حداقل پراکندگی واریانس است (بوستان[1]، ۲۰۱۷). برتری کریجینگ نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی این است که همراه هر تخمین، مقدار خطای خطای آن را نیز می‌دهد که با استفاده از این ویژگی منحصربه‌فرد می‌توان قسمت‌های واجد خطای زیاد که برای کاهش خطا به داده‌های بیشتری نیاز دارند را مشخص نمود (حسنی پاک، ۱۳۸۹). برای برآورد مقادیر بر اساس کریجینگ روش‌های مختلفی وجود دارد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به روش‌های کریجینگ معمولی (OK)، کوکریجینگ (CK) و کریجینگ رگرسیون (RK) اشاره کرد.

کوکریجینگ در حقیقت بسط روش کریجینگ معمولی است. در این روش برای بهبود دقت روش کریجینگ برای تخمین یک متغیر با نمونه‌برداری ضعیف (پارامتر هدف) از یک متغیر کمکی استفاده می‌شود (واکرناگل[2]، ۲۰۰۳). دو روش کریجینگ و کوکریجینگ از توابع نیم تغییر نمای تجربی semivariogram و cross-semivariogram برای کمیت و توصیف الگوهای فضایی متغیر وابسته استفاده می‌کنند (وسترن و همکاران[3]، ۲۰۰۴). روش عمومی محاسبه کریجینگ بر اساس رابطه (۲) است:

$$Z_o' = \sum_{i=1}^{N} w_i z_i \qquad (۲)$$

در رابطه فوق، Z_o' مقدار برآورد شده، W_i برابر با وزن و Z_i برابر با مقادیر نمونه‌ها است. وزن‌ها به درجه همبستگی بین نقاط نمونه و نقاط برآورد شده بستگی دارد و همیشه جمع آن‌ها برابر با ۱ است. برای درک بهتر ساختار فضایی نمونه‌های برداشت‌شده و انتخاب بهترین روش درون‌یابی، خود همبستگی فضایی (spatial autocorrelation) بین نمونه‌ها مطالعه می‌شود. این بررسی را می‌توان با ترسیم فاصله بین نمونه‌ها و واریانس ارزش نمونه‌ها یا به‌عبارت‌دیگر سمی واریوگرام‌ها به دست آورد. سمی واریوگرام، بر این اساس که خواص پدیده‌ها در مکان‌های نزدیک‌تر شباهت بیشتری به هم دارند تا در فاصله‌های دورتر، درجه وابستگی یا همبستگی بین نقاط را اندازه‌گیری می‌کند. سمی واریوگرام، بر اساس نصف میانگین مربع واریانس بین نقاط محاسبه می‌شود. برای مشاهدات $Z_i, i=1,\ldots,k$ در مکان‌های $x_1,\ldots,x_k$، نیم‌واریوگرام تجربی $\gamma(h)$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود (کرسی[4]، ۱۹۹۳؛ مترون[5]، ۱۹۶۳):

$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}\left[Z(x_i)-Z(x_i+h)\right]^2 \qquad (۳)$$

تابع $\gamma_{ij}(h)$ یعنی نیم تغییرنمای تجربی متقاطع (Cross-variogram) برای تعیین وابستگی متقابل فضایی بین دو متغیر با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\gamma_{ij}(h) = \frac{1}{2N(\square)}\sum_{i=1}^{N(\square)}[Z_i(x_i) - Z_i(x_i+h)]\,[Z_j(x_i) - Z_j(x_i+h)] \qquad (۴)$$

که در آن تعداد داده‌های $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$ به ترتیب دو مقدار اندازه‌گیری شده در مکان‌های x_i و x_i+h که با یکدیگر فاصله h از هم دارند می‌باشند. همچنین $N(h)$ تعداد داده‌ها هست.

درون‌یابی وزنی معکوس فاصله[6] (IDW)

IDW یکی از تکنیک‌های درون‌یابی کاربردی و قطعی در رشته‌های مختلف ازجمله مهندسی آب مورداستفاده قرارگرفته است. در این روش برآوردهای IDW بر اساس مکان‌های شناخته‌شده انجام می‌گردد. وزن‌های اختصاص داده‌شده به نقاط درون‌یابی، عکس فاصله آن از نقطه درون‌یابی است. درنتیجه، نقاط نزدیک به‌گونه‌ای ساخته می‌شوند که وزن بیشتری داشته باشند؛ بنابراین، تأثیر

[1] Bostan
[2] Wackernagel
[3] Western et al
[4] Cressie
[5] Matheron
[6] Inverse distance weighting (IDW)

بیشتری نسبت به نقاط دور داشته باشند و بالعکس. نقاط نمونه شناخته‌شده به‌طور ضمنی از یکدیگر خودگردان هستند (روبینسون و مترنیچت[1]، ۲۰۰۶).

ارزیابی نتایج مدل

جهت ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، روش کریجینگ و روش درون‌یابی وزنی معکوس فاصله از سه شاخص آماری میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، ریشه مربع میانگین خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) که روابط آن‌ها در زیر آمده است، استفاده شد:

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(O_i-P_i\right)^2} \quad (۵)$$

$$MAE=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|O_i-P_i| \quad (۶)$$

$$R^2=\frac{\left(\sum_{i=1}^{N}(O_i-\bar{O}_i)(P_i-\bar{P}_i)\right)^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(O_i-\bar{O}_i)^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(P_i-\bar{P}_i)}} \quad (۷)$$

در این روابطN تعداد نقاط، O وP به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری و محاسباتی فرونشست زمین می‌باشند.

یافته‌ها

نتایج اندازه‌گیری میدانی مقدار فرونشست زمین

همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها توضیح داده شد، در این تحقیق از داده‌های اندازه‌گیری شده فرونشست در ۴۳ نقطه که پراکنش مکانی آن در شکل (۵) نشان داده‌شده است، استفاده گردید. مطابق شکل (۸) و بازدید میدانی انجام‌شده در این دشت، نشان می‌دهد فرونشست به‌وضوح در نقاط مختلف دشت قابل‌رؤیت است. همچنین در برخی از مکان‌ها (مانند قسمت جنوب غربی دشت) ترک‌های طولی نیز در نزدیکی سازه‌هایی مانند جاده، ریل راه‌آهن مشاهده‌شده است. این خطری جدی برای سازه‌های زیربنایی است. همچنین مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط فرونشست در کل دشت دامغان به ترتیب برابر با ۳، ۱۸/۵ و ۹/۳ سانتی‌متر بوده است. بیشترین مقدار فرونشست زمین در جنوب دشت دامغان مشاهده‌شده است. دلیل این امر مربوط تشکیلات رسی منطقه و خاصیت غیرقابل انعطاف‌پذیری آن در ارتباط با فرونشست است. از طرفی در این منطقه کاربری اراضی از نوع کشاورزی بوده و برداشت آب توسط چاه های منطقه بیشتر از سایر قسمت‌ها است.

شکل ۸. فرونشست اتفاق افتاده در محدوده دشت دامغان شامل ترک در سطح زمین و فرونشست اطراف پیزومتر مشاهداتی

[1] Robinson & Metternicht

نتایج درون‌یابی فرونشست زمین با استفاده از دو روش کریجینگ و وزنی معکوس فاصله

همان‌طور که قبلاً بیان شد، دو روش کریجینگ (زمین‌آماری) و وزنی معکوس فاصله IDW (قطعی) روش‌های درون‌یابی هستند که از آن‌ها می‌توان برای درون‌یابی استفاده کرد. برای بررسی همبستگی فضایی و ساختار فضایی متغیرها، پس از نرمال‌سازی، نیم تغییر نمای تجربی (Semivariogram) بر روی‌داده مقدار فرونشست ترسیم شد. نیم تغییر نمای تجربی، همبستگی فضایی را بین داده‌های مشاهداتی یا اندازه‌گیری شده در مکان‌های مختلف فراهم می‌کند و نشان می‌دهد که چگونه اندازه‌گیری در یک نقطه با اندازه‌گیری‌ها در نقاط همسایه همبستگی دارد. انواع مختلفی از توابع نیمه متغیر (به‌عنوان‌مثال، دایره‌ای، کروی، نمایی، گاوسی و خطی) را می‌توان برای مدل‌سازی نیم تغییر نمای تجربی استفاده کرد.

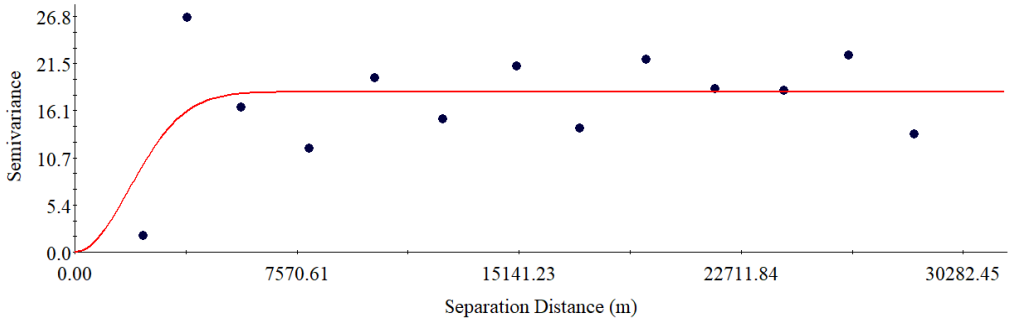
محاسبه پارامترهای کلیدی مربوط به نیم تغییر نمای تجربی در جدول (۱) آورده شده است. در این جدول C0/ (C0+C) نسبت قطعه (C0) به آستانه است و وابستگی مکانی مقدار فرونشست زمین را نشان می‌دهد. نسبت‌های ۰ تا ۰/۲۵، ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ و بیشتر از ۰/۷۵ به ترتیب وابستگی مکانی قوی، متوسط و ضعیف متغیرها را نشان می‌دهند (کامباردلا و همکاران[1]، ۱۹۹۴). اگر ضریب همبستگی مدل برازش داده‌شده بر داده‌ها کمتر از ۰/۵ باشد، همبستگی مکانی ضعیف تعریف می‌شود (دوفرا و همکاران[2]، ۲۰۰۷). همان‌طوری که نتایج این جدول نشان می‌دهد بهترین مدل مربوط به مدل گاوسی بوده است.

نتایج محققین دیگر نیز نشان داد استفاده از تابع گاوسی نتایج بهتری را در مقایسه با مدل‌های دایره‌ای، کروی، نمایی و خطی نشان می‌دهد و این مدل را در مطالعات خود استفاده. (امامقلی زاده و همکاران، ۲۰۱۷؛ ایوانسیک و همکاران[3]، ۲۰۱۴؛ وانگ و همکاران[4]، ۲۰۰۳)؛ بنابراین، در این تحقیق نیز از این تابع برای مدل‌سازی نیم تغییر نمای تجربی استفاده شد. شکل (۹) نیم تغییر نمای تجربی فرونشست زمین را با استفاده از مدل گاوسی نشان می‌دهد. همچنین شکل (۱۰) مقادیر فرونشست درون‌یابی شده در محدوده دشت دامغان با استفاده از روش کریجینگ و مدل گاوسی را نشان می‌دهد.

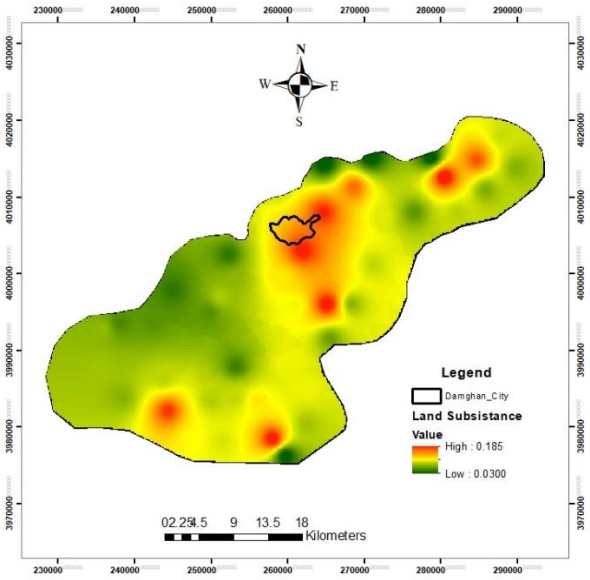
جدول ۱. بهترین مدل برازش داده‌شده بر نیم تغییر نمای تجربی و پارامترهای محاسبه‌شده برای پارامتر فرونشست زمین

نوع مدل	اثر قطعه‌ای C_0 (nugget)	مقدار آستانه C (partial sill)	دامنه تأثیر Range (m)	$+CC_0$	C0/ (C0+C)	R^2	RSS	وابستگی مکانی
خطی	0.376	0.136	28,583	0.512	0.266	0.073	0.265	ضعیف
کروی	0.001	0.467	5,000	0.468	0.998	0.387	0.204	ضعیف
توانی	0.001	0.476	7,230	0.477	0.998	0.23	0.224	ضعیف
گاوسی	0.010	18.200	4,503	18.210	0.999	0.366	0.194	متوسط

[1] Cambardella et al
[2] Duffera et al
[3] Ivajnšič et al
[4] Wang et al



شکل ۹. نیم تغییر نمای تجربی مقدار فرونشست زمین در منطقه موردمطالعه (دشت دامغان) با استفاده از مدل گاوسی



شکل ۱۰. فرونشست درون‌یابی شده در محدوده دشت دامغان با استفاده از روش کریجینگ با استفاده از مدل گاوسی

نتایج درون‌یابی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی

همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد، مدل ANN/MLP (با یک الگوریتم انتشار برگشتی) برای تخمین فرونشست استفاده شد. برای مدل MLP، تعداد لایه‌ها و همچنین تعداد گره‌ها ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی را تعیین می‌کند. دقت مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با مدل‌های کریجینگ و IDW مورد ارزیابی قرار گرفت. داده ورودی به مدل مانند مدل‌های قبلی همان مختصات نقاط اندازه‌گیری فرونشست یعنی X و Y است. انتخاب تعداد صحیح گره‌ها برای لایه پنهان در مدل شبکه عصبی مصنوعی مهم است، زیرا تعداد کمی از گره‌ها ممکن است منجر به زیر برازش می‌شود و تعداد زیادی گره‌ها ممکن است منجر به بیش‌ازحد برازش شوند و درنتیجه زمان آموزش مدل افزایش یابد. علاوه بر این، تابع انتقال برای لایه‌های مخفی یا خروجی باید انتخاب شود. در این مطالعه از چهار تابع انتقال به نام‌های سیگموید (Sigmoid)، (Gaussian)، (Hyperbolic Tangent) و (Hyperbolic Secant) استفاده گردید؛ مانند مطالعات بازوبندی و همکاران (۲۰۲۲)، کاشی و همکاران (۲۰۱۴) و امامقلی زاده و همکاران (۲۰۱۳ و ۲۰۱۸) از روش آزمون‌وخطا برای یافتن بهترین ساختار مدل ANN برای تخمین مقدار فرونشست در مکان‌های مختلف استفاده شد. برای توقف آموزش مدل MLP از دو معیار استفاده شد. خطای آستانه و عدد تکرار به‌عبارت‌دیگر، زمانی که RMSE بین برآوردها و مشاهدات کمتر از ۰/۰۰۰۱ بود یا زمانی که تکرارهای مدل به حداکثر ۱۰۰۰۰۰ رسید، تکرار مدل متوقف شد. فرونشست تخمین زده‌شده در جدول (۲) برای مراحل کالیبراسیون (آموزش) و اعتبارسنجی (آزمایش) نشان داده‌شده است. نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی با دولایه پنهان و تابع انتقال گاوسی بهترین نتایج را در مقایسه با سایر توابع انتقال را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه تابع گاوسین بهتر از سایر توابع انتقال بوده است، در ادامه برای بررسی تأثیر تعداد لایه میانی بر عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی، مدل با لایه‌های میانی از ۱ تا ۵ اجرا گردید که نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۳) نشان داده‌شده است. همان‌طوری که نتایج این جدول نشان می‌دهد، با افزایش تعداد لایه‌های از ۲ به بعد، میزان خطا افزایش‌یافته است که این امر به علت پیچیده‌تر مدل در تخمین مقدار فرونشست است. همچنین شکل (۸) نمودار پراکندگی فرونشست تخمین زده‌شده در مقابل فرونشست اندازه‌گیری شده از مدل ANN را در دو مرحله کالیبراسیون و اعتبار سنجی نشان می‌دهد.

جدول ۲. نتایج حاصل از اجرای مدل شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از توابع انتقال مختلف

نوع تابع	آموزش			صحت سنجی		
	MAE (m)	RMSE (m)	R^2	MAE (m)	RMSE (m)	R^2
سیگموئید	0.026	0.036	0.482	0.030	0.043	0.282
هیپربولیک سکانت	0.029	0.040	0.458	0.033	0.047	0.274
هیپربولیک تانژانت	0.031	0.043	0.447	0.036	0.052	0.266
گوسین	0.031	0.044	0.412	0.033	0.048	0.401

جدول ۳. نتایج حاصل از اجرای مدل شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از تابع انتقال گاوسین و تعداد لایه میانی مختلف

تعداد لایه میانی	آموزش			صحت سنجی		
	MAE (m)	RMSE (m)	R^2	MAE (m)	RMSE (m)	R^2
1	0.031	0.044	0.412	0.033	0.048	0.401
2	0.030	0.041	0.458	0.028	0.038	0.502
3	0.037	0.049	0.442	0.033	0.046	0.441
4	0.044	0.059	0.432	0.040	0.055	0.412
5	0.048	0.065	0.410	0.044	0.061	0.402

مقایسه بین نتایج درون‌یابی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی، روش کریجینگ و روش وزنی معکوس فاصله

به‌منظور مقایسه نتایج درون‌یابی بین سه روش مدل شبکه عصبی مصنوعی، روش کریجینگ و روش وزنی معکوس فاصله، بهترین عملکرد آن‌ها در این بخش با استفاده از شاخص‌های آماری مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به بخش قبلی، بهترین عملکرد مدل را شبکه عصبی مصنوعی با تابع انتقالی گاوس و دولایه میانی داشته است. همچنین برای دو روش درون‌یابی روش کریجینگ و روش وزنی معکوس فاصله، نتایج بررسی نیم تغییر نمای تجربی مقدار فرونشست زمین در دشت دامغان نشان داد که مدل گاوس بهتر از سایر مدل‌ها بوده است. نتایج حاصل از سه روش مذکور در جدول (۴) آمده است. با توجه به نتایج این جدول می‌توان نتیجه گرفت که شبکه عصبی مصنوعی دارای عملکرد بهتری در مقایسه با روش کریجینگ و روش وزنی معکوس فاصله داشته است و توانسته است مقدار خطا RMSE را در مرحله صحت سنجی به ترتیب ۱۷/۶ و ۳۱/۳ درصد کاهش دهد. همچنین مقدار ضریب تبیین را از ۰/۵۰۲ و ۰/۴۲۱ به ۰/۷۲۱ افزایش داده است.

جدول ٤. مقایسه بین نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی، روش کریجینگ و روش وزنی معکوس فاصله

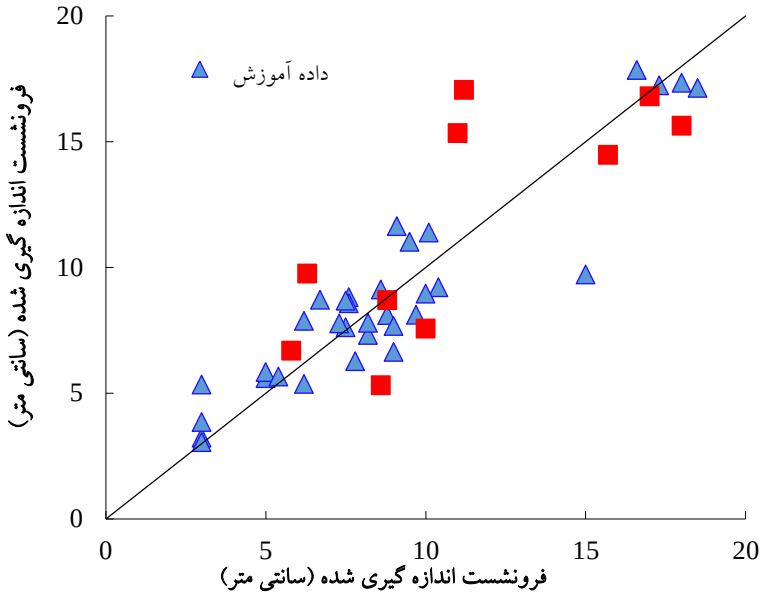
نوع تابع	آموزش			صحت سنجی		
	MAE (m)	RMSE (m)	R^2	MAE (m)	RMSE (m)	R^2
ANN	0.020	0.031	0.785	0.020	0.031	0.721
Kriging	0.030	0.041	0.458	0.028	0.038	0.502
IDW	0.037	0.049	0.487	0.033	0.046	0.421

درمجموع با توجه به معیارهای خطا، نتایج به‌دست‌آمده رضایت‌بخش نبوده است، لذا برای افزایش دقت سه روش مورداستفاده (مدل شبکه عصبی مصنوعی، روش کریجینگ و روش وزنی معکوس فاصله) از پارامتر کمکی یعنی کاهش سطح آب، به‌عنوان یک پارامتر ورودی به مدل برای پیش‌بینی فرونشست استفاده گردید. بدین منظور از مدل کوکریجینگ، روش IDW وزنی و مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی فرونشست زمین استفاده گردید. نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۵) نشان داده‌شده است. همان‌طوری که نتایج این جدول نشان می‌دهد، افزودن پارامتر کمکی افت سطح آب زیرزمینی به مدل‌های مذکور موجب بهبود عملکرد هر سه روش شده است. بطوریکه مقایسه بین کریجینگ معمولی نشان می‌دهد، مقدار خطای RMSE به مقدار درصد ۳۰/۲ و ۱۷/۹ درصد به ترتیب برای مرحله آموزش و صحت‌سنجی کاهش پیداکرده

است. همچنین برای مدل IDW و IDW وزنی نیز مقدار خطا RMSE به ترتیب برای مرحله آموزش و صحت‌سنجی ۵۵/۴ و ۳۲/۱ درصد کاهش‌یافته است. همانند دو روش مذکور، استفاده از پارامتر کمکی به‌عنوان داده ورودی به مدل شبکه عصبی مصنوعی موجب بهبود عملکرد مدل در تخمین مقدار فرونشست شده است و مقدار خطا RMSE به ترتیب ۴۹/۸ و ۴۶/۵ درصد به ترتیب برای مرحله آموزش و صحت‌سنجی کاهش پیداکرده است.

جدول ۵. مقایسه بین نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی، روش کوکریجینگ و روش وزنی معکوس فاصله با استفاده از متغیر کمکی

نوع تابع	آموزش			صحت سنجی		
	MAE (m)	RMSE (m)	R^2	MAE (m)	RMSE (m)	R^2
ANN	0.012	0.015	0.860	0.013	0.017	0.751
CoKriging	0.022	0.029	0.523	0.024	0.031	0.512
Weighted IDW	0.024	0.033	0.536	0.027	0.037	0.511



شکل ۱۱. فرونشست اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی‌شده با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی

بحث

پدیده فرونشست زمین در سال‌های اخیر در بسیاری از دشت‌های ایران به دلیل برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی ازجمله دشت دامغان اتفاق افتاده است. در این تحقیق با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده فرونشست زمین در این دشت به بررسی تغییرات مکانی آن با استفاده از روش کریجینگ و کوکریجینگ (روش زمین‌آمار) و روش وزنی معکوس فاصله (IDW) و IDW وزنی (روش قطعی) در کل دشت موردبررسی قرار گرفت. جهت ارزیابی مقادیر برآورد شده فرونشست دشت از سه شاخص آماری میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، ریشه مربع میانگین خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق با استفاده از ترسیم نیم تغییر نمای تجربی نشان داد، در منطقه موردمطالعه (دشت دامغان) استفاده از مدل گاوس دقت بهتری را در مقایسه با سایر مدل‌ها مانند دایره‌ای، کروی، نمایی و خطی بوده است. همچنین مقایسه بین نتایج روش‌های مذکور با مدل شبکه عصبی

مصنوعی نشان داد استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی موجب افزایش دقت برآورد فرونشست زمین در منطقه موردمطالعه شده است و بهتر می‌تواند تغییرات مکانی را تخمین بزند. به‌طوری‌که مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با دو روش کوکریجینگ و IDW وزنی توانسته است، مقدار خطای RMSE را در مرحله صحت‌سنجی به ترتیب برابر با ۴۶/۳ و ۵۴/۴ درصد کاهش دهد. همچنین ضریب تبیین نیز از ۰/۵۱۲ و ۰/۵۱۱ به ۰/۷۵۱ در مرحله صحت سنجی افزایش‌یافته است. درمجموع نتایج بررسی در این تحقیق نشان می‌دهد از شبکه عصبی مصنوعی می‌توان به‌عنوان روش جایگزین به‌جای روش‌های مرسوم مانند روش کریجینگ و روش وزنی معکوس فاصله در میان یابی مقدار فرونشست زمین استفاده کرد.

منابع

آروین، عبدالخالق.، وهابزاده کبریا، قربان.، موسوی، سید رمضان.، و بختیاری کیا، مسعود. (۱۳۹۸). مدل سازی مکانی فرونشست زمین در جنوب حوزه آبخیز میناب با استفاده از سنجش ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۰(۳)، ۳۴-۱۹. https://civilica.com/doc/963959

تورانی، مرجان.، آق آتابای، مریم.، روستایی، مه آسا. (۱۳۹۷). مطالعه فرونشست در شهر گرگان با استفاده از روش تداخل سنجی راداری. مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۸(۲۷)، ۱۲۸-۱۱۷. https://gps.gu.ac.ir/article_65973.html

حسنی پاک، علی اصغر. (۱۳۸۹). زمین آمار (ژئو استاتیستیک). موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران. https://www.gisoom.com/book/1686692

قره‌چلو، سعید.، اکبری قوچانی، حسام، گلیان، سعید.، و گنجی، کامران. (۱۴۰۰). فصلنامه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی ۱۲(۳)، ۶۱-۴۰. https://doi.org/10.30495/girs.2021.680336

قوامی جمال، صادق.، غلامی، حامد.، رجبی حران، مهرداد.، و مبینی، محمدحسین. (۱۴۰۱). تأثیر احداث سد مامله بر فرونشست اراضی دشت ورامین. فصلنامه انسان و محیط زیست، ۲۰(۲)، ۱۸۵-۱۷۱. https://dorl.net/dor/20.1001.1.15625532.1401.20.2.13.4

کلانتری، سعید.، عبادتی، ناصر.، و ذاکری نیری، محمود. (۱۳۹۹). ارزیابی فرونشست دشت شهریار و ملارد ناشی از برداشت آب های زیرزمینی و تاثیر آن بر سازه های زیربنایی. نشریه زمین شناسی محیط زیست، ۵۲، ۳۹-۲۳. https://magiran.com/p2311953

References

Arvin, A., Vahabzadeh, G., Mousavi, S. R., & Bakhtyari Kia, M. (2019). Geospatial modeling of land subsidence in the south of the Minab watershed using remote sensing and GIS. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 10(3), 19-34. https://civilica.com/doc/963959/ [In Persian]

Babaee, S., Mousavi, Z., Masoumi, Z., Malekshah, A. H., Roostaei, M., & Aflaki, M. (2020). Land subsidence from interferometric SAR and groundwater patterns in the Qazvin plain, Iran. International Journal of Remote Sensing, 41(12), 4780-4798. https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1724345

Bazoobandi, A., Emamgholizadeh, S., & Ghorbani, H. (2022). Estimating the amount of cadmium and lead in the polluted soil using artificial intelligence models. European Journal of Environmental and Civil Engineering, 26(3), 933-951. https://doi.org/10.1080/19648189.2019.1686429

Bhunia, G. S., Shit, P. K., & Maiti, R. (2018). Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 17(2), 114-126. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.02.001

Bostan, P. (2017). Basic kriging methods in geostatistics. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 27(1), 10-20. https://doi.org/10.29133/yyutbd.305093

Cambardella, C., Moorman, T., Parkin, T., Karlen, D., Novak, J., Turco, R., & Konopka, A. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil science society of America journal, 58(5), 1501-1511. https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x

Cressie, N. (1993). Statistics for spatial data: Wiley series in probability and statistics. Wiley-Interscience, New York, 15, 105-209. https://doi.org/10.1002/9781119115151

Duffera, M., White, J. G., & Weisz, R. (2007). Spatial variability of Southeastern US Coastal Plain soil physical properties: Implications for site-specific management. Geoderma, 137(3-4), 327-339. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.08.018

Emamgholizadeh, S., Bateni, S., & Jeng, D. S. (2013). Artificial intelligence-based estimation of flushing half-cone geometry. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 26(10), 2551-2558. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2013.05.014

Emamgholizadeh, S., Esmaeilbeiki, F., Babak, M., Zarehaghi, D., Maroufpoor, E., & Rezaei, H. (2018). Estimation of the organic carbon content by the pattern recognition method. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 49(17), 2143-2154. https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1499750

Emamgholizadeh, S., Kashi, H., Marofpoor, I., & Zalaghi, E. (2014). Prediction of water quality parameters of Karoon River (Iran) by artificial intelligence-based models. International Journal of Environmental Science and Technology, 11, 645-656. https://doi.org/10.1007/s13762-013-0378-x

Emamgholizadeh, S., Moslemi, K., & Karami, G. (2014). Prediction the groundwater level of bastam plain (Iran) by artificial neural network (ANN) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). Water resources management, 28, 5433-5446. https://doi.org/10.1007/s11269-014-0810-0

Emamgholizadeh, S., Parsaeian, M., & Baradaran, M. (2015). Seed yield prediction of sesame using artificial neural network. European Journal of Agronomy, 68, 89-96. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.04.010

Emamgholizadeh, S., Shahsavani, S., & Eslami, M. A. (2017). Comparison of artificial neural networks, geographically weighted regression and Cokriging methods for predicting the spatial distribution of soil macronutrients (N, P, and K). Chinese Geographical Science, 27, 747-759. https://doi.org/10.1007/s11769-017-0906-6

Gharechelou, S., Akbari Ghoochani, H., Golian, S., & Ganji, K. (2021). Evaluation of land subsidence relationship with groundwater depletion using Sentinel-1 and ALOS-1 radar data (Case study: Mashhad plain). Journal of RS and GIS for Natural Resources, 12(3), 40-61. https://doi.org/10.30495/girs.2021.680336 [In Persian]

Ghavami Jamal, S., Gholami, H., Rajabi, M., & Mobini, M. H. (2022). Effect of the construction of Mamloo dam on land subsidence in Varamin plain. Human & Environment, 20(2), 171-185. https://dorl.net/dor/20.1001.1.15625532.1401.20.2.13.4

Ghazifard, A., Moslehi, A., Safaei, H., & Roostaei, M. (2016). Effects of groundwater withdrawal on land subsidence in Kashan Plain, Iran. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 75, 1157-1168. https://doi.org/10.1007/s10064-016-0885-3

Golian, M., Saffarzadeh, A., Katibeh, H., Mahdad, M., Saadat, H., Khazaei, M., Sametzadeh, E., Ahmadi, A., Sharifi Teshnizi, E., & Samadi Darafshani, M. (2021). Consequences of groundwater overexploitation on land subsidence in Fars Province of Iran and its mitigation management programme. Water and Environment Journal, 35(3), 975-985. https://doi.org/10.1111/wej.12688

Haykin, S. (1999). Neural network a comprehensive foundation. Prentice-Hall, New Jersey. https://doi.org/10.1142/S0129065794000372

Hosnipak, A. A. (2010). Geostatistics. Tehran University Printing and Publishing Institute. https://www.gisoom.com/book/1686692 [In Persian]

Ikuemonisan, F. E., Ozebo, V. C., & Olatinsu, O. B. (2020). Geostatistical evaluation of spatial variability of land subsidence rates in Lagos, Nigeria. Geodesy and Geodynamics, 11(5), 316-327. https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.04.001

Ivajnšič, D., Kaligarič, M., & Žiberna, I. (2014). Geographically weighted regression of the urban heat island of a small city. Applied Geography, 53, 341-353. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.07.001

Kalantari, S., Ebadati, N., & Zakeri Nayyeri, M. (2020). Assessment of subsidence of Shahriar and Mallard plains due to groundwater abstraction and its effect on infrastructure. Iranian Journal of Environmental Geology, 52, 23-39. https://magiran.com/p2311953 [In Persian]

Kashi, H., Emamgholizadeh, S., & Ghorbani, H. (2014). Estimation of soil infiltration and cation exchange capacity based on multiple regression, ANN (RBF, MLP), and ANFIS models. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 45(9), 1195-1213. https://doi.org/10.1080/00103624.2013.874029

Khorshiddoust, A. M., Razmi, R., Maali, N., & Abbaszadeh, K. (2017). Studying the effective factors in subsidence in Tasuj, Iran using AHP method. Journal of Geography and Planning, 21(60), 1-21. https://www.researchgate.net/publication/319617912

Lam, N. S.-N. (1983). Spatial interpolation methods: a review. The American Cartographer, 10(2), 129-150. https://doi.org/10.1559/152304083783914958

Mahmoudpour, M., Khamehchiyan, M., Nikudel, M. R., & Ghassemi, M. R. (2016). Numerical simulation and prediction of regional land subsidence caused by groundwater exploitation in the southwest plain of Tehran, Iran. Engineering Geology, 201, 6-28. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.12.004

Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. Economic geology, 58(8), 1246-1266. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.58.8.1246

McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. The bulletin of mathematical biophysics, 5, 115-133. https://doi.org/10.1007/BF02478259

Mitas, L., & Mitasova, H. (1999). Spatial interpolation. Geographical information systems: principles, techniques, management and applications, 1(2), 481-492. http://fatra.cnr.ncsu.edu/~hmitaso/gmslab/papers/mitas_mitasova_1999_2005.pdf

Murakami, S., Yasuhara, K., Suzuki, K., & Komine, H. (2006). Reliable land subsidence mapping using a spatial interpolation procedure based on geostatistics. Soils and foundations, 46(2), 123-134. https://doi.org/10.3208/sandf.46.123

Rajabi, A. M., & Ghorbani, E. (2016). Land subsidence due to groundwater withdrawal in Arak plain, Markazi province, Iran. Arabian Journal of Geosciences, 9, 1-7. https://doi.org/10.1007/s12517-016-2753-7

Rana, A., Rawat, A. S., Bijalwan, A., & Bahuguna, H. (2018). Application of multi layer (perceptron) artificial neural network in the diagnosis system: a systematic review. 2018 International conference on research in intelligent and computing in engineering (RICE). https://doi.org/10.1109/RICE.2018.8509069

Robinson, T., & Metternicht, G. (2006). Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. Computers and electronics in agriculture, 50(2), 97-108. https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.07.003

Rumelhart, D. E., McClelland, J. L., & PDP Research Group, C. (1986). Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition, Volume1: Foundations. MIT press. https://doi.org/10.1109/JSAC.2023.3287614

Ryu, J.S., Kim, M.S., Cha, K.J., Lee, T. H., & Choi, D.H. (2002). Kriging interpolation methods in geostatistics and DACE model. KSME International Journal, 16, 619-632. https://doi.org/10.1007/BF03184811.

Tourani, M., Agh-Atabai, M., & Roostaei, M. (2018). Study of subsidence in Gorgan using InSAR method. Geographical Planning of Space, 8(27), 117-128. https://gps.gu.ac.ir/article_65973_en.html?lang=fa [In Persian]

Wackernagel, H. (2003). Multivariate Geostatistics, 3rd éd. In: Springer Verlag, Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/BF02769635

Waltham, A. (1989). Ground subsidence: Blackie & Son Limited. First published. https://www.taylorfrancis.com/chapters/mono/10.1201/9781482267785-29/ground-subsidence-tony-waltham.

Wang, K., Zhang, C., & Li, W. (2013). Predictive mapping of soil total nitrogen at a regional scale: a comparison between geographically weighted regression and cokriging. Applied Geography, 42, 73-85. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.04.002.

Zou, J., Han, Y., & So, S.S. (2009). Overview of artificial neural networks. Artificial neural networks: methods and applications, 14-22. https://doi.org/10.1007/978-1-60327-101-1_2.

Advanced Technologies in Water Efficiency

homepage:https://atwe.razi.ac.ir

Online ISSN:2783-4964

Estimation of flood in the catchment area of reservoir dams using a multi-criteria decision-making system (Case study of Kermanshah Province)

Naser Farzi[1], Ali Mohammad Akhundali[2]✉, Mohammad Reza Sharifi[3]

[1] PhD student of Water Management, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: nfarzi6@gmail.com

[2] Corresponding Author, Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: aliakh@scu.ac.ir

[3] Associate Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz. E-mail: msharifi@scu.sc.ir

ABSTRACT

Introduction

Undoubtedly, floods can be considered as one of the most effective natural hazards that cause many human and financial losses every year. A flood is defined as an overflow of water or its overflow in a river or spring, which is a threat to the life and property of residents near these sources. In simpler terms, any relatively high flow that impinges on natural or artificial banks in any direction of a stream is called a flood.

Methodology

In this research, the effective criteria related to the estimation of flood design discharge in reservoir dams in 17 in Kermanshah province were identified and prioritized, and then in order to review and analyze the effective factors in estimating the flood estimation separately for each reservoir dam, were evaluated using 8 different multivariate decision-making methods. Considering the large number of studied dams the four hydrological agents and comprehensive options such as design flood estimation in connection with the occurrence of hydrological events in the area by human origin, with natural origin, the quantity and quality of information and hydrometeorological data and the limitations of methods (statistical, experimental, models) were selected and prioritized with SAW, AHP, FAHP, VIKOR, TOPSIS, FTOPSIS, PROMETEE, Electre III methods. Based on the mentioned 8 methods, 22 criteria involved in estimating the flood yield of 17 reservoir dams were ranked.

Results and discussion

In the SAW method, experimental methods with 6 rank 1, statistical methods with 5 rank 1 and physiographic parameters with 2 rank 1 are the most important effective criteria in estimating the flood entering the reservoirs of dams studied in this research. In the AHP method, hydrometric stations and the true limit of the basin were the most important effective criteria with 5 and 3 ranks, respectively. In the FAHP method, experimental methods with 6 and statistical methods with 5 ranks were recognized as two important criteria. In TOPSIS method, statistical methods, physiographic parameters and conversion of maximum flow to maximum instantaneous flow rate each with 1 first rank, and Fuzzy TOPSIS experimental methods, statistical methods and conversion of maximum flow rate to instantaneous flow rate with 6, 4 and 2 first rank respectively. In ViKor's method, only experimental methods have 1 rank. In the Electra method, the criteria of meteorological stations, the true limit of the watershed and experimental methods were evaluated as effective criteria with 1 rank. Finally, in the PROMETHEE method, only the experimental method with one item was ranked 1 rank.

Conclusions

The results showed that more than 76% of the dams have priority in the option of conditions and limitations of flood estimation methods (statistical, experimental, model, etc.) and 24% have problems in the option of quantity and quality and water and meteorological information.. The option that has more frequency than other option of the conditions and limitations of the flood estimation method (V4) of each reservoir dam. Based on the review of documents and documents of flood analysis and achieving the design flood in the studies of the first and second stages of reservoir dams of the studied dams, this conclusion is confirmed, in the statistical methods, the length of the statistical period is low and the frequency distribution function is not recognized properly. In addition, the use of experimental methods, which are mainly applied without recalibration of relevant coefficients and without necessary precautions and checks, is one of the weaknesses of flood estimation.

Keywords: overflow flood discharge, maximum possible rainfall, maximum possible flood, multi-criteria decision making, reservoir dams

Article Type: Research Article

Article history: Received: 19 September 2023 **Revised:** 22 November 2023 **Accepted:** 15 December 2023 **ePublished:** 15 December 2023

Cite this article: Farzi, N., Akhundali, A.M., & Sharifi, M.R. (2023). Estimation of flood in the catchment area of reservoir dams using a multi-criteria decision-making system (Case study of Kermanshah Province), *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 3(3), 88-108. DOI: 10.22126/atwe.2023.9625.1060

Publisher: Razi University

© The Author(s).

فناوری های پیشرفته در بهره وری آب
وبگاه نشریه: https://atwe.razi.ac.ir شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۹۶۴

برآورد سیلاب در حوضه آبریز سدهای مخزنی با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی استان کرمانشاه)

ناصر فرضی [۱]، علی‌محمد آخوند علی [۲]✉ ، محمدرضا شریفی [۳]

[۱] دانشجوی دکتری منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیطزیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه:nfarzi6@gmail.com
[۲] نویسنده مسئول، استاد دانشکده مهندسی آب و محیطزیست دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه:aliakh@scu.ac.ir
[۳] دانشیار دانشکده مهندسی آب و محیطزیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: msharifi@scu.sc.ir

چکیده

در این پژوهش معیارهای مؤثر در ارتباط با تخمین دبی طراحی سرریز در سدهای مخزنی در ۱۷ سد مخزنی در استان کرمانشاه شناسایی و اولویت‌بندی گردید و پس‌ازآن به‌منظور بررسی و تحلیل گزینه‌های مؤثر در تخمین سیلاب طراحی به تفکیک هر سد مخزنی، گزینه‌های مختلف با استفاده از ۸ روش مختلف تصمیم‌گیری چندمتغیره ارزیابی گردید. با توجه به گستردگی تعداد سدهای موردمطالعه و اهمیت آب‌شناختی گزینه‌های مهم و فراگیری همچون تخمین سیلاب طراحی در ارتباط با وقوع اتفاق‌های هیدرولوژیکی در حوزه با منشأ انسانی، با منشأ طبیعی، کمیت و کیفیت اطلاعات و داده‌های آب و هواشناسی و محدودیت روش‌ها (آماری، تجربی، مدل‌ها) انتخاب و با روش‌های SAW, AHP, FAHP, VIKOR, TOPSIS, FTOPSIS, PROMETEE, Electre III اولویت‌بندی گردید. بر اساس روش‌های ۸ گانه گفته‌شده ۲۲ معیار دخیل در برآورد آورد سیلابی ۱۷ سد مخزنی موردمطالعه رتبه‌بندی گردید. در روش SAW روش‌های تجربی با ۶ رتبه یک، روش‌های آماری با ۵ رتبه یک و پارامترهای فیزیوگرافی با ۲ رتبه یک مهم‌ترین معیارهای اثرگذار در برآورد سیلاب ورودی به مخازن سدهای موردمطالعه در این تحقیق است. در روش AHP ایستگاه‌های هیدرومتری و حد حقیقی حوضه به ترتیب با ۵ و ۳ رتبه یک مهم‌ترین معیارهای مؤثر بودند. در روش FAHP روش‌های تجربی با ۶ و روش‌های آماری با ۵ رتبه یک دو معیار مهم تشخیص داده شدند. در روش تاپسیس روش‌های آماری، پارامترهای فیزیوگرافی و تبدیل دبی حداکثر به حداکثر لحظه‌ای هرکدام با ۱ رتبه یک و تاپسیس فازی روش‌های تجربی، روش‌های آماری و تبدیل دبی حداکثر به دبی لحظه‌ای به ترتیب با ۶، ۴ و ۲ رتبه یک اصلی‌ترین معیارهای ارزیابی شناخته شدند. در روش ویکور فقط روش‌های تجربی دارای ۱ رتبه یک شد. در روش الکتره نیز معیارهای ایستگاه‌های هواشناسی، حد حقیقی حوضه و روش‌های تجربی هرکدام با ۱ رتبه یک به‌عنوان معیارهای مؤثر ارزیابی شدند. نهایتاً در روش پرومته فقط روش تجربی حائز یک مورد رتبه ۱ گردید. نتایج نشان داد بیش از ۷۶ درصد از سدها در گزینه شرایط و محدودیت‌های روش‌های تخمین سیلاب (آماری، تجربی، مدل و ...) اولویت داشته و ۲۴ درصد در گزینه کمیت و کیفیت و اطلاعات آب و هواشناسی با مشکل مواجه‌اند.

واژه‌های کلیدی: دبی سیلابی سرریز، حداکثر بارش محتمل، حداکثر سیلاب محتمل، تصمیم‌گیری چندمعیاره، سدهای مخزنی

نوع مقاله: مقاله پژوهشی
سابقه مقاله: دریافت: ۲۸ شهریور ۱۴۰۲ **اصلاح:** ۰۱ آذر ۱۴۰۲ **پذیرش:** ۲۴ آذر ۱۴۰۲ **چاپ الکترونیکی:** ۲۴ آذر ۱۴۰۲

استناد: فرضی، ن.، آخوند علی، ع.م.، شریفی، م.ر. (۱۴۰۲). برآورد سیلاب در حوضه آبریز سدهای مخزنی با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی استان کرمانشاه) ، *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*، ۳(۲)، ۸۸-۱۰۸، شناسه دیجیتال: 10.22126/atwe.2023.9625.1060

CC BY NC
© نویسندگان.
ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

بدون شک سیلاب را می‌توان در زمره یکی از مخاطرات طبیعی اثرگذاری دانست که هرساله خسارات جانی و مالی فراوانی را به بار می‌آورد. سیل را طغیان آب یا سرریز آن در یک رودخانه یا چشمه تعریف می‌کنند که تهدیدی برای جان و اموال ساکنان نزدیک به این منابع است. به عبارتی ساده‌تر، هر جریان نسبتاً بالایی که بر روی سواحل طبیعی یا مصنوعی (به‌عنوان‌مثال، خاک‌ریزها) در هر مسیری از یک جریان قرار گیرد را می‌توان سیل نامید (بابروسکی[1]، ۲۰۱۳). سیلاب‌ها معمولاً زمانی رخ می‌دهند که در اثر بارش شدید در زمان کوتاه کانال‌های رودخانه‌ای و نواحی ساحلی ظرفیت نگهداشت آب اضافی را ندارند و شدت بارش فراتر از حد جذب خاک است. در چنین حالتی آب در دشت سیلابی یا در نواحی خارج از بستر رودخانه پخش‌شده و با توجه به قدرت تخریب آن می‌تواند هر چیزی را با خود حمل کرده و در بخش‌هایی از مسیر تبدیل به جریان‌های سنگین حاوی مواد معلق و جریان‌های خرده دار (دبری فلو) گردد. ازآنجایی‌که سیل‌ها می‌توانند حجم زیادی از رسوبات و زباله‌ها را منتقل کنند، اغلب با رانش زمین، گل‌ولای و جریان زباله همراه هستند.

عوامل مختلفی در ایجاد سیل نقش دارند، تغییرات اقلیمی منتج از گرمایش جهانی اثرات مختلفی ازجمله ریسک سیل به‌ویژه در مناطق آسیب‌پذیر را افزایش می‌دهد (فخری و همکاران[2]، ۲۰۱۲؛ نوری و همکاران[3]، ۲۰۱۴؛ عبدالحسینی و فرزانه[4]، ۲۰۱۴؛ وینگ و همکاران[5]، ۲۰۱۸؛ لایکانگبام و همکاران[6]، ۲۰۱۹).

در این میان بارش و ذوب برف از مهم‌ترین عوامل رخداد سیلاب است. در مناطقی که دوره‌های طولانی دمای زیر صفر وجود ندارد، سیل معمولاً در فصلی که بیشترین بارندگی وجود دارد رخ می‌دهد. در مناطقی که سیل ناشی از ذوب برف است، سیلاب در فصول بهار و اوایل تابستان رخ می‌دهد که اغلب با بارندگی شدید همراه است. علل دیگری همچون ایجاد موانع در مسیر رودخانه و معابر انهار به دلیل سازه‌های طبیعی یا ساخته دست بشر (به‌عنوان‌مثال پل‌ها و سرریزها)، شکست ناگهانی سد و ذوب سریع برف در حوضه آبریز می‌توانند موجب تشکیل سیلاب شوند (یونسکو[7]، ۲۰۰۱). بااین‌همه، سیلاب‌ها منابع عظیمی از آب هستند که در صورت مدیریت مناسب آن‌ها می‌توان هم از خسارات مالی و جانی جلوگیری کرد و هم می‌توان حجم زیادی آب در مخازن سطحی همچون سدهای بزرگ را ذخیره کرد. قبل از احداث هر سد بزرگ مطالعات مختلفی برای برآورد جریان و عوامل مؤثر بر آن انجام می‌گیرد (فرضی و همکاران، ۱۴۰۲). یکی از مهم‌ترین مسائل مرتبط با طراحی سرریز در سدهای مخزنی ارزیابی حداکثر سیلاب محتمل[8] یا PMF است. PMF هیدرو گرافی است که نشان‌دهنده شرایط حداکثر روانابی است که در اثر وقوع حداکثر بارش محتمل[9] یا PMP رخ می‌دهد (استاندارد USBR، ۱۹۸۷). ارزیابی سیلاب مستلزم وجود و یا استخراج داده‌های مناسب است. در برآورد روش‌های آورد (دبی) طراحی سرریز سدهای مخزنی با توجه به کمی طول دوره آماری و حتی در صورت تحویل داده‌ها گاهی ماندگاری[10] اثرات داده‌ای حفظ‌شده و موجب عدم قطعیت در ارزیابی نهایی می‌گردد. روش‌های استفاده PMP و دست‌یابی به PMF به دلیل عدم وجود داده‌های ناکافی با نتایج غیرقابل‌اعتماد باعث بازه وسیع با نتایج متفاوت می‌گردد. از طرفی با توجه به اینکه احتمال وقوع سیلاب‌های بزرگ در دوره بهره‌برداری سد، پایین است در محاسبات آبدهی طراحی سرریز به خاطر اطمینان بیشتر (بخصوص در سدهای خاکی) این برآورد را

---

[1] Bobrowsky
[2] Fakhri et al
[3] Nuri et al
[4] Abdolhosseini & Farzaneh
[5] Wing et al
[6] Laikangbam et al
[7] UNESCO
[8] probable maximum flood (PMF)
[9] Probable maximum precipitation (PMP)
[10] Persistence

دست بالا می‌گیرند که اثرات غیرواقعی در ابعاد سازه آبی ازجمله ابعاد سرریز و سازه‌های انحراف آب خواهد داشت و موجب اتلاف وقت و افزایش هزینه‌های طرح می‌گردد.

سیلاب‌های تاریخی نشان می‌دهند که عدم به‌کارگیری یک سیستم جامع برای ارزیابی آبدهی طراحی سیلاب‌ها در سدهای مخزنی و نادیده گرفتن معیارهای مختلف مؤثر در طراحی مانند حد واقعی حریم و بستر و بهره‌برداری از بالادست و پایین‌دست سد مخزنی می‌تواند خسارات فراوانی در کنترل سیلاب توسط سازه احداثی را به همراه آورد؛ بنابراین استفاده از یک سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره که بتواند عوامل مؤثر در محاسبات مربوط به سیلاب را توأمان تحلیل نماید می‌تواند به بسیاری از مجهولات پاسخ داده و تصمیم‌گیری نهایی را با اطمینان بیشتری همراه سازد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مقالات متعددی درباره استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیارِ در ارزیابی سیلاب و پهنه‌بندی ریسک آن انجام‌شده است مانند جعفری و همکاران (۱۴۰۱)؛ مابروک و هاوینگ[1] (۲۰۲۳)؛ موسوی و همکاران[2] (۲۰۲۲)؛ آکای[3] (۲۰۲۱)؛ سوسی و همکاران[4] (۲۰۲۰) و لوی (۲۰۰۵). این روش‌ها با استفاده از معیارهای مختلف تصمیم گیران و برنامه ریزان را برای حل مشکلات مرتبط با خطرات سیلاب یاری می‌رسانند.

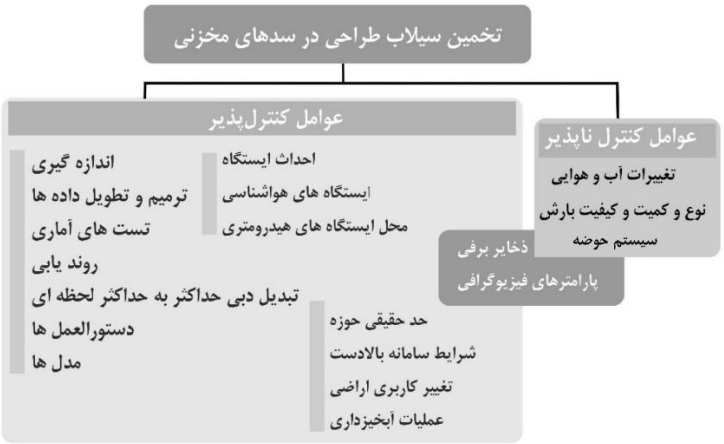
انواع مختلفی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیارِ وجود دارد که شناخته‌شده‌ترین آن تحلیل سلسله مراتبی AHP است که بر مبنای تجارب کارشناسی و اوزان معیارهای مختلف انجام می‌گردد (طاهری و همکاران[5]، ۲۰۲۰؛ طاهری و همکاران، ۲۰۱۵). استفاده از روش‌های دیگر تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند SAW, FAHP, VIKOR, TOPSIS, FTOPSIS, PROMETEE, ElectreIII در مباحث مختلف مدیریت منابع مرسوم است (فرضی و همکاران، ۱۴۰۲). هدف از این پژوهش برآورد سیلاب در حوضه آبریز سدهای مخزنی با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره است. برای این کار آمار و اطلاعات ۱۷ سد مخزنی در استان کرمانشاه در ارتباط با معیارهای مرتبط با مطالعات سیلاب و دبی طراحی سرریز شناسایی و به روش‌های شناخته‌شده تصمیم‌گیری چندمتغیره با روش‌های جمع ساده وزنی، تحلیل سلسله مراتبی، تحلیل سلسله مراتبی فازی، ویکور، تاپسیس، تاپسیس فازی، الکتره و پرومته این معیارها به تفکیک هر سد مخزنی اولویت‌بندی می‌گردد.

روش پژوهش

روش بررسی

در شکل (۱) عوامل مؤثر بر تخمین سیلاب طراحی در سدهای مخزنی ارائه شده است. این عوامل را می‌توان به دو دسته کنترل‌پذیر و کنترل ناپذیر تقسیم کرد. عوامل کنترل ناپذیر شامل تغییرات آب و هوایی و نوع و کمیت و کیفیت بارش و سیستم حوضه است. ذخایر برفی و پارامترهای فیزیوگرافی نیز در این دسته قرار می‌گیرند بااین‌حال می‌توانند از اثرات انسانی نیز تأثیرپذیری داشته باشند. عوامل کنترل‌پذیر توسط عوامل سازه‌ای و انسانی کنترل می‌شوند و طیف وسیعی به شرح شکل (۱) را در برمی‌گیرند.

[1] Mabrouk & Haoying
[2] Mousavi et al
[3] Akay
[4] Souissi et al
[5] Taheri et al



شکل ۱. عوامل و معیارهای مؤثر در مطالعه سیلاب طرح سدهای مخزنی

در بسیاری از پروژه‌ها با استفاده از روش‌های تجربی تبدیل بارش به رواناب و در قالب کاربرد مدل‌های شناخته‌شده‌ای همچون هکراس[1] برای طراحی سیلاب سرریز سدهای مخزنی استفاده می‌گردد. در صورت وجود داده و اطلاعات می‌توان از هیدروگراف شاخص حوضه‌های موردمطالعه نیز استفاده نمود. علاوه بر این در مواردی که استفاده از روش‌های آماری اجتناب‌ناپذیر است به‌کارگیری توزیع آماری داده‌های ثبت‌شده (علیرغم فرض یکسانی دوره بازگشت بارش و دبی یکسان و طولانی‌تر بودن داده‌های بارش نسبت به رواناب) به دلیل کم بودن طول داده‌های ثبت‌شده، معمولاً اطمینان‌پذیری لازم برای تخمین دوره‌های بازگشت بالا را به همراه نخواهد داشت. در تخمین PMP روش آماری (هرشفیلد) و یا سینوپتیک مورداستفاده قرار می‌گیرد و معمولاً از بارندگی‌های حداکثر ۲۴ ساعته سالانه استفاده می‌شود. این آمار پس از اعمال اصلاحات لازم نسبت به میانگین و انحراف معیار و اعمال ضرایب لازم و تبدیل PMP نقطه‌ای به PMP منطقه‌ای، مقدار نهایی به دست می‌آید. با استفاده از این مقدار و دستیابی به هیدرو گراف شاخص یا ساختگی حوضه PMF قابل‌محاسبه می‌گردد.

درروش سینوپتیک تهیه مدل هیدرولوژیکی تک واقعه بارش رواناب برای حوضه و زیر حوضه‌ها و واسنجی آن با انتخاب رگبارهای برتر حوضه که دارای اثر حداکثری در تولید بارش رواناب با سیلاب را دارند رگبارها جهت تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در زمان هر رگبار، طراحی الگوی زمانی بارش PMP را به دست می‌دهد، تحلیل شرایط رطوبتی رگبارهای مشاهداتی و تعیین شرایط حداکثری در وقوع PMP، بررسی و تعیین سهم ذوب برف در حالت‌های مختلف بارش و یا ناشی از شرایط دمایی به هنگام وقوع PMP، تعیین PMF با توجه به حداکثرهای صورت گرفته روی پارامترهای مؤثر در تولید آن انجام می‌شود. در این روند نکات مهمی به شرح وجود دارد که عدم رعایت هرکدام از آن نتیجه را با خطا توأم می‌سازد، این عوامل عبارت‌اند از: ۱) حجم اطلاعات و داده‌های موردنیاز بالا توأم با هزینه و وقت؛ ۲) حد حوضه موردبررسی مطالعات حداکثر سیلاب محتمل که معمولاً بسیار فراتر از حوضه موردمطالعه است؛ ۳) مطالعات حداکثر سیلاب محتمل نیازمند بررسی تعداد زیاد داده‌های مشاهداتی در حوضه است؛ ۴) کمبود داده و اطلاعات برف سنجی و تصاویر ماهواره‌ای؛ ۵) برآورد کم هزینه‌های ذی‌ربط با هزینه‌های در نظر گرفته‌شده مطالعات اصلی سامانه آبی؛ ۶) به دلیل کم بودن طول دوره آماری داده‌های حدی سیلاب در تحلیل فراوانی سیلاب، تناسبی بین سیلاب ده‌هزارساله و نتایج سیلاب حداکثر محتمل؛ ۷) عدم شناخت کافی از حوضه آبریز و رفتار هیدرولوژیکی آن و ناکافی بودن ایستگاه‌های هواشناسی به‌ویژه در ارتفاعات؛ ۸) اعمال روش‌های آماری و انتخاب توزیع‌های بدون کران بالا و عدم کنترل بر روی یافته‌ها؛ ۹) با ظرفیت‌های فیزیکی، هیدرولوژیکی و اقلیمی حوضه‌ها از زمینه‌های ایجاد خطا است و ۱۰) استفاده از مدل‌های نامناسب بارش رواناب و برآورد نامناسب

[1] HECRAS

پارامترهای مدل؛ بنابراین ضروری است صحت‌وسقم داده و اطلاعات و روش‌های بکار گرفته در مطالعات هیدرولوژی با جزییات کامل بررسی گردد تا علل عدم دستیابی به اهداف، مشخص و رتبه‌بندی گردد. با توجه به وقوع سیلاب سال‌های اخیر ازنظر حجم و فراوانی و تخریب ناشی از آن در پایین‌دست سدهای مخزنی حاکی از اشتباهات محاسباتی در برآورد جریان به مخزن سد است. تجربه نشان داده است که اعداد تخمینی دراین‌باره اگر با ملاحظات بهره‌برداری ازجمله تعیین حد بستر و حریم در بالادست و پایین‌دست سدهای مخزنی همراه نباشد امکان وقوع حوادث جبران‌ناپذیری را در پی خواهد داشت.

در این پژوهش آمار و اطلاعات ۱۷ سد مخزنی در استان کرمانشاه در ارتباط با معیارهای مرتبط با مطالعات سیلاب و دبی طراحی سرریز شناسایی و با روش‌های شناخته‌شده تصمیم‌گیری چند متغیره این معیارها به تفکیک هر سد مخزنی، اولویت‌بندی با تعریف گزینه‌هایی که مستقیماً در برآورد سیلاب طرح دخیل هستند اولویت‌بندی گردید. با توجه به عدم قطعیت‌های ذی‌ربط با استفاده از نرم‌افزار Splus و روش بوث اتراپ در داده‌های حداکثر لحظه‌ای هر سد مخزنی تولید آمار شده و مجدداً بازه اطمینان کنترل گردید. پس از معرفی معیارهای مؤثر در تخمین سیلاب سدهای مخزنی و لزوم اولویت‌بندی آن به تفکیک هر سد موردمطالعه و به‌منظور تکمیل ساختار لازم برای استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند متغیره، گزینه‌های مؤثر در تخمین سیلاب طراحی به تفکیک هر سد مخزنی با استفاده از ۸ روش مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره SAW, AHP, FAHP, VIKOR, TOPSIS, FTOPSIS, PROMETEE, Electre III ارزیابی گردید.

پس از تعیین معیارهای ارزیابی و گزینه‌های آن در این بررسی، روش‌های آنتروپی و MCDM را برای رتبه‌بندی اولویت‌های تخمین دبی سیلاب ورودی به مخازن سدها باهم ادغام می‌شوند. برای تعیین اهمیت هر معیار، وزن هر معیار با استفاده از آنتروپی شانون[1] محاسبه می‌گردد. سپس، از ۸ روش MCDM برای رتبه‌بندی گزینه‌ها و معیارها استفاده می‌شود. چارچوب تحقیق در شکل ۳ نشان داده‌شده است. برای تعیین وزن معیارهای مختلف می‌توان از دو شیوه وزن دهی ذهنی[2] و وزن دهی عینی[3] قابل‌تقسیم است. وزن ذهنی عمدتاً بر اساس تجارب کارشناسی و ذهنیت وزن دهنده ارزیابی می‌گردد مانند وزن دهی درروش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و دلفی[4]. وزن دهی عینی بر مبنای داده‌های واقعی معیارها تعیین می‌گردد. مثال این شیوه روش آنتروپی است که باعث کاهش تأثیر ذهنیت ارزیابی گران و افزایش عینیت توزان معیارها می‌گردد (لی و چانگ[5]، ۲۰۱۸). آنتروپی در اصل مفهومی در علم ترمودینامیک است که برای محاسبه بی‌نظمی در سیستم‌های مختلف به‌کاربرده می‌شود. نخستین بار شانون آنتروپی را برای حل مسائل مرتبط با تئوری اطلاعات به کاربرد و از آن روشی برای بحث درباره عدم قطعیت ساخت (زو و سان[6]، ۲۰۰۶). برمبنای این تئوری، مقدار آنتروپی کمتر اطلاعات بیشتری را می‌توان به دست آورد و بلعکس، آنتروپی بیشتر اطلاعات کمتری را به همراه دارد. برای یک ماتریس با m گزینه و nمعیار ماتریس اولیه به شکل زیر است (روابط (۱) تا (۵)):

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12}\cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22}\cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots \quad \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2\ldots} & a_{mn} \end{bmatrix}=[a_{ij}]m\times n \qquad (۱)$$

که aij یعنی i مین گزینه j مین معیار.

برای نرمال کردن ماتریس تصمیم بالا به شرح زیر باید عمل کرد:

$$r_{ij}=\frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}},\ i=1,2,\ldots,m \qquad (۲)$$

[1] Shannon's entropy
[2] subjective weight
[3] objective weight
[4] Delphi
[5] Lee and Chang
[6] Zou & Sun

از معادله زیر آنتروپی محاسبه می‌گردد:

$$e_j=-k\sum_{i=1}^{m} r_{ij}\ln r_{ij},\quad j=1,2,..,n \tag{۳}$$

که در آن:

$$k=\frac{1}{\ln m} \tag{۴}$$

وزن هر معیار با معادله زیر قابل‌محاسبه است:

$$w_j=\frac{1-e_j}{\sum_{i=1}^{n}(1-e_j)},j=1,2,\ldots,n \tag{۵}$$

روش وزن دهی ساده(SAW) [1]

این روش ساده‌ترین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره است. پس از نرمال کردن ماتریس تصمیم با استفاده از ضرایب وزنی معیارها، ماتریس تصمیم نرمال شده وزن‌دار به دست می‌آید. امتیاز هر گزینه با توجه به این ماتریس به دست می‌آید. امتیاز نهایی هر گزینه در وزن آن ضرب می‌گردد. در این روش بهترین گزینه، گزینه‌ای است که بالاترین مجموع امتیازات را داشته باشد.

روش تحلیل سلسله مراتبی ساده و فازی [2]

در اوایل دهه ۱۹۷۰ توماس ال ساتی، روش ساده‌ای را برای کمک به حل مسائل پیچیده بنیان‌گذاری کرد. انتشار کتاب «فرآیند تحلیل سلسله مراتبی» توسط ساتی در سال ۱۹۸۰ و تهیه نرم‌افزار Expert choice در سال ۱۹۸۳ که قابلیت استفاده در کامپیوترهای شخصی را داشت، باعث گسترش سریع استفاده از این روش در تحقیقات کاربردی علوم مختلف گردید. روش AHP بر اساس سه اصل ترسیم درخت سلسله مراتبی، تدوین و تعیین اولویت‌ها و ارزیابی سازگاری قضاوت‌ها تشکیل‌شده است. ماتریس مقایسات زوجی از مهم‌ترین رکن این مدل است. ماتریس مربعی است که حاوی مقایسه‌های زوجی عناصر موجود در یک سطح از درخت تصمیم نسبت به یکی از شاخص‌های حاضر در سطر بالایی آن‌ها است (رابطه (۶)).

$$A=\begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \tag{۶}$$

[1] Simple Additive Weighting
[2] AHP & FAHP

جدول ۱. مقایسه کمی و کیفی مورداستفاده جهت مقایسه زوجی معیارها درروش AHP (ساتی[1]، ۱۹۸۰)

مقدار کمی	وزن
تأثیر و اهمیت مساوی دو فاکتور	۱
تأثیر اهمیت مساوی تا کمی مهم‌تر و مؤثرتر	۲
کمی مهم‌تر و مؤثرتر	۳
کمی مهم‌تر و مؤثرتر تا مهم‌تر و مؤثرتر	٤
مهم‌تر و مؤثرتر	٥
مهم‌تر و مؤثرتر تا خیلی مهم‌تر و مؤثرتر	٦
خیلی مهم‌تر و مؤثرتر	۷
خیلی مهم‌تر و مؤثرتر تا کاملاً مهم‌تر و مؤثرتر	۸
کاملاً مهم‌تر و مؤثرتر	۹

روش‌های مختلفی برای محاسبه وزن شاخص‌ها وجود دارد ازجمله روش حداقل مربعات، روش مجموع ستونی، روش میانگین حسابی، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش مجموع سطری و روش میانگین هندسی. در AHP برای هر ماتریس مقایسات زوجی حد قابل قبولی از میزان ناسازگاری با عنوان نرخ ناسازگاری تعریف می‌شود ($I.R < 0.1$). اگر ماتریس مقایسات زوجی $A = [a_{ij}]_{n\times n}$ را در نظر بگیریم که در آن a_{ij} میزان ترجیح شاخص Cj, Ci باشد، ماتریس را سازگار میگوییم اگر $a_{ik} \times a_{kj} = a_{ij}$. برای محاسبه نرخ ناسازگاری (I, R) ابتدا بردار وزن نسبی (W) را با یکی از روش‌های گفته‌شده به دست می‌آید، سپس بردار مجموع وزنی (WSV) را مطابق رابطه (۷) به دست می‌آید:

$$WSV = D^* W \qquad (۷)$$

که در آن، D ماتریس مقایسات زوجی است.

برای محاسبه بردار سازگاری (CV) باید عناصر بردار مجموع وزنی (WSV) را بر بردار وزن‌های نسبی (W) تقسیم کرد. درنهایت λ_{max} باید محاسبه گردد و شاخص و نرخ ناسازگاری زیر ۰.۰۱ باشد (روابط (۸) و (۹)).

$$I.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \qquad (۸)$$

$$I.R = \frac{II}{IRI} \qquad (۹)$$

[1] Saaty

جدول ۲. شاخص ناسازگاری تصادفی (ساتی، ۱۹۸۰)

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
IRI	۰	۰	۰.۵۸	۰.۹۰	۱.۱۲	۱.۲۴	۱.۳۲	۱.۴۱	۱.۴۵	۱.۵۱

روش تحلیل شبکه (ANP)[1]

این روش برای اولین بار در سال ۱۹۹۶ توسط توماس ال ساعتی در راستای برطرف ساختن برخی محدودیت‌های ساختار سلسله مراتبی ارائه گردید و فرض بر این است که نیازی به استقلال شاخص‌ها نسبت به یکدیگر وجود ندارد. در AHP ارتباط بین همه عناصر یک‌طرفه بوده و همچنین عناصر هم‌سطح از یکدیگر مستقل فرض می‌شوند اما در دنیای واقعی الزاماً این‌چنین نیست و عناصر به‌طور تک‌تک و یا گروهی باهم در ارتباط هستند. همه بردارهای وزن محاسبه‌شده در مرحله قبل در یک ماتریس بزرگ بنام سوپرماتریس جمع می‌شوند. این ماتریس نمایش‌دهنده تمامی روابط بین عناصر حاضر در شبکه بوده و قدم اولیه برای تعیین همه اولویت‌های موجود بین گزینه‌ها، شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها است. ساختار این ماتریس به شکل رابطه (۱۰) زیر است:

$$W=\begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1m} \\ W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ W_{m1} & W_{m2} & \cdots & W_{mm} \end{bmatrix} \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_m \end{matrix} \qquad (۱۰)$$

C_i نماد خوشه‌ها هستند که می‌توانند حاوی یک یا چند عنصر باشند.W_{ij} ها نیز نماد بردارهای وزنی هستند که وزن یا اهمیت نسبی عناصر حاضر در خوشه C_i را نسبت به وزن عناصر حاضر خوشه C_j نشان می‌دهند. هر یک از W_{ij} ها نیز خود می‌توانند یک ماتریس باشند.

$W_{ij}=0$ زمانی رخ می‌دهد که در این مرحله سوپر ماتریس اولیه را آن‌قدر به توان می‌رسانیم تا با دو حالت ممکن روبرو شد:

اگر توان های ماتریس اولیه به یک ماتریس نهایی همگرا شود: ماتریس نهایی سوپر ماتریس حدی نامیده می‌شود:

$$\lim_{n \to \infty} W^n \qquad (۱۱)$$

اگر توان های ماتریس اولیه به‌صورت تناوبی به n ماتریس نهایی همگرا شوند میانگین ماتریس‌های نهایی را سوپر ماتریس حدی نامیده می‌شود:

$$\left(\frac{1}{n}\right) \lim_{n \to \infty} W_i^k \qquad (۱۲)$$

[1] Analytical Network Process

در مرحله بعد سوپر ماتریس نرمال شده و امتیازدهی به عناصر انجام می‌گیرد و خروجی نهایی امتیازها و رتبه‌ها شاخص‌ها و گزینه‌ها خواهد بود.

روش شباهت به گزینه ایده آل (تاپسیس) و تاپسیس فازی[1]

این روش برای اولین بار در سال ۱۹۸۱ توسط هوانگ و یون ارائه شد. رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس بیشترین میزان شباهت یا نزدیکی به گزینه ایده آل مثبت و کمترین میزان شباهت به گزینه ایدئال منفی انجام می‌شود. گزینه ایدئال مثبت گزینه‌ای است که بیشترین میزان مطلوبیت ممکن را داشته باشد؛ و الزاماً می‌تواند وجود خارجی نداشته باشد. در این روش معیار فاصله بین گزینه‌ها بر اساس فاصله‌های اقلیدسی است.

$$d\,(a,b)=\sqrt[2]{(x_a-x_b)^2+(y_a-y_b)^2} \qquad (۱۳)$$

نکات اساسی در استفاده از روش TOPSIS شامل: مطلوبیت شاخص‌ها (Ci) یکنوا باشد، یا افزاینده و یا کاهنده، شاخص‌ها باید مستقل از یکدیگر باشند و همان‌طور که قبلاً اشاره شد، فاصله گزینه‌ها از ایده آل مثبت و ایده آل منفی به‌صورت اقلیدسی محاسبه می‌شود.

مراحل عملیاتی کردن روش تاپسیس شامل تشکیل ماتریس تصمیم، بی مقیاس سازی یا نرمال‌سازی ماتریس تصمیم و نرمال‌سازی است (رابطه (۱۴)):

$$\mathbf{r_{ij}}=\frac{\mathbf{x_{ij}}}{\sqrt[2]{\sum_{i=1}^{m}(\mathbf{x_{ij}})^2}} \qquad (۱۴)$$

بعد از تعیین بردار وزن شاخص‌ها با استفاده از روش‌های مختلفی که قبلاً توضیح داده شد، وزن شاخص‌ها محاسبه می‌گردد (رابطه (۱۵)):

$$W=[w_1\,,w_2\,,\ldots\,w_n] \qquad (۱۵)$$

برای تعیین ماتریس تصمیم نرمال وزن‌دار، این ماتریس از ضرب ماتریس تصمیم نرمال در بردار وزن معیارها به دست می‌آید:

$$V_{ij}=w_j\times R_{ij} \qquad (۱۶)$$

گزینه ایده آل مثبت (برداری از بهترین گزینه‌های موجود در هر ستون):

$$A^{(*)}=\{\max\ v_{i1},\max v_{i2}\,,\ldots,\max v_{in}\} \qquad (۱۷)$$

گزینه ایدئال منفی (برداری از بدترین گزینه‌های موجود در هر ستون):

$$A^{(-)}=\{\min\ v_{i1},\min v_{i2}\,,\ldots,\min v_{in}\} \qquad (۱۸)$$

فاصله از گزینه ایدئال مثبت از رابطه (۳) قابل‌محاسبه است:

[1] TOPSIS & FUZZY TOPSIS

$$S_i^{(*)}=\sqrt[2]{\sum_{j=1}^{n}\left(v_{ij}-\max\ v_{ij}\right)^2} \quad (۱۹)$$

گزینه ایده آل منفی از رابطه (۳) قابل‌محاسبه است:

$$S_i^{(-)}=\sqrt[2]{\sum_{j=1}^{n}\left(v_{ij}-\min\ v_{ij}\right)^2} \quad (۲۰)$$

نزدیکی نسبی به ایده آل مثبت از طریق رابطه (۲۱) به دست می‌آید:

$$C_i^{(*)}=\frac{S_i^{(-)}}{S_i^{(*)}+S_i^{(-)}} \quad (۲۱)$$

این مقدار همواره بین صفر و یک است. هر چه گزینه به ایده آل مثبت نزدیک‌تر شود مقدار $C_i^{(*)}$ به یک نزدیک‌تر خواهد شد.

درروش Topsis فازی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها با روش تاپسیس در محیط فازی استفاده می‌شود.

روش راه‌حل توافقی و بهینه‌سازی چندمعیاره[1] (ویکور)

ویکور برای حل مسائل تصمیم‌گیری با معیارهای متناقض و غیرقابل مقایسه[2] (واحدهای مختلف) توسعه داده شد. در مدل VIKOR، رتبه‌بندی سازش را می‌توان با مقایسه معیار نزدیکی به راه‌حل ایده آل انجام داد. الگوریتم ویکور شامل چهار مرحله است (چیت‌ساز و بنی حبیب[3]، ۲۰۱۵).

مرحله یا گام اول: تعیین راه‌حل مثبت–ایده آل (PIS) f *j و راه‌حل منفی ایده آل(NIS) f j–

$$f_j^*=\{\max_i f_{ij}|j\in I_1\},f_j^*=\{\min_i f_{ij}|j\in I_2\},\forall j \quad (۲۲)$$

$$f_j^-=\{\min_i f_{ij}|j\in I_1\},f_j^-=\{\max_i f_{ij}|j\in I_2\}$$

که در آن I1 و I2 به ترتیب مجموعه‌ای از معیارهای مثبت و منفی هستند.

مرحله دوم: محاسبه مقادیر Si و Ri

$$S_i=\sum_{j=1}^{n} w_j\left(f_j^*-f_{ij}\right)/\left(\left(f_j^*-f_j^-\right)\right. \quad (۲۲)$$

$$R_i=\max_j\left[w_j\left(f_j^*-f_{ij}\right)/\left(\left(f_j^*-f_j^-\right)\right.\right]$$

که در آن wj وزن معیارها است.

مرحله سوم: محاسبه مقدار Q

$$Q_i=v\left(\frac{S_i-S^*}{S^--S^*}\right)+(1-v)\left(\frac{R_i-R^*}{R^--R^*}\right) \quad (۲۴)$$

---

[1] VIKOR
[2] noncommensurable
[3] Chitsaz and Banihabib

که در آن $S^*=\min S_i$ و $R^*=\min R_i$, $R^-=\max R_i$ و v به‌عنوان وزنی برای استراتژی حداکثر سودمندی گروهی شناسایی می‌شود، درحالی‌که (v−۱) وزن پشیمانی فردی است. به‌طورمعمول، مقدار v برابر ۰.۵ تنظیم می‌شود. بااین‌حال، v می‌تواند هر مقداری را از ۰ تا ۱ تنظیم کند.

مرحله چهارم: رتبه‌بندی گزینه‌ها به ترتیب کاهشی بر اساس مقادیر Q_i

روش تسلط تقریبی (الکتره)[1]

درروش تسلط تقریبی یا روش حذف و انتخاب سازگار با واقعیت، گزینه‌ها به‌صورت زوجی با یکدیگر مقایسه می‌شوند و گزینه‌های مسلط و ضعیف (غالب و مغلوب) مشخص‌شده و در مرحله بعد گزینه‌های ضعیف یا مغلوب حذف می‌شوند (عطایی ۱۳۸۹). الگوریتم الکتره به شکل زیر نشان داده می‌شود:

مرحله اول: ساختن ماتریس نرمال شده

$$r_{ij}=\frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}^2}} \qquad (۲۵)$$

مرحله دوم: ساختن ماتریس تصمیم نرمال وزن‌دار

مرحله سوم: تعیین مجموعه تطابق و ناسازگاری

اگر مقدار ترجیح برای جایگزین Ak بهتر از مقدار جایگزین A_i باشد، تحت معیار j ام، عنصر k در مجموعه تطابق (Cij) طبقه‌بندی می‌شود. در غیر این صورت در مجموعه ناسازگاری (Dij) طبقه‌بندی می‌گردد.

$$C_{ij} = \{k|V_{ik} \geq V_{jk}\},\ D_{ij} = \{k\ V_{ik} < V_{jk}\} \qquad (۲۶)$$

مرحله چهارم: جمع‌کردن وزن معیارها با مجموعه ناسازگاری هر عنصر و به دست آوردن ماتریس تطابق:

$$C_{ij}=\frac{\sum_{k\in c_{ij}} W_k}{\sum_{k=1}^{n} W_k} \qquad (۲۷)$$

مرحله پنجم: محاسبه ماتریس عدم تطابق و تجدیدنظر آن

$$d_{ij}=\frac{\frac{\max\{|V_{ik}-V_{jk}|\}}{k\in D_{ij}}}{\frac{\max\{|V_{ik}-V_{jk}|\}}{k\in S}},\ d'_{ij}=1-d_{ij} \qquad (۲۸)$$

مجموعه همه معیارها است. S

مرحله ششم: محاسبه ماتریس کلی تجدیدنظر شده (Y)،

$$y_{ij} = c_{ij}\times d'_{ij} \qquad (۲۹)$$

مرحله هفتم: محاسبه مقدار مزیت خالص

[1] Elimination et Choice Translating Reality (Electre)

درنهایت، گزینه‌های جایگزین را رتبه‌بندی کرده، بر اساس افزایش مقادیر Ck مرتب می‌گردد.

روش پرومته[1]

این تکنیک، روشی است که در سال ۱۹۸۵ ایجاد شد و توسط برانز و همکاران[2] (۱۹۸۶) بهبود یافت. پرومته یک مفهوم ساده است و استفاده از آن از سایر روش‌های تحلیل چند معیاره بسیار ساده‌تر است. این روش در مسائل با تعداد محدودی از گزینه‌های جایگزین برای رتبه‌بندی با توجه به معیارهای چندگانه و پیچیده بسیار عالی است. این روش به‌طور عمده به دو نوع اطلاعات اهمیت نسبی یا وزن معیارهای در نظر گرفته‌شده و اطلاعات مربوط به ترجیحات تصمیم‌گیرندگان شرکت‌کننده در تجزیه‌وتحلیل نیاز دارد.

روش DEMATEL

این روش به‌عنوان روش تحلیل استفاده‌نشده است بلکه برای شناخت رابطه علت و معلولی معیارها استفاده‌شده است. در این روش ابتدا یک ماتریس N برای شناسایی روابط نمایش داده می‌شود. سپس از خبرگان خواسته می‌شود که میزان تأثیر هر معیار X در تشکیل ماتریس پاسخ دهند. برای گردآوری دیدگاه خبرگان پیرامون شدت روابط میان معیارها از طیفی مانند جدول (۳) استفاده می‌شود.

جدول ۳. طیف پنج درجه دیمتل

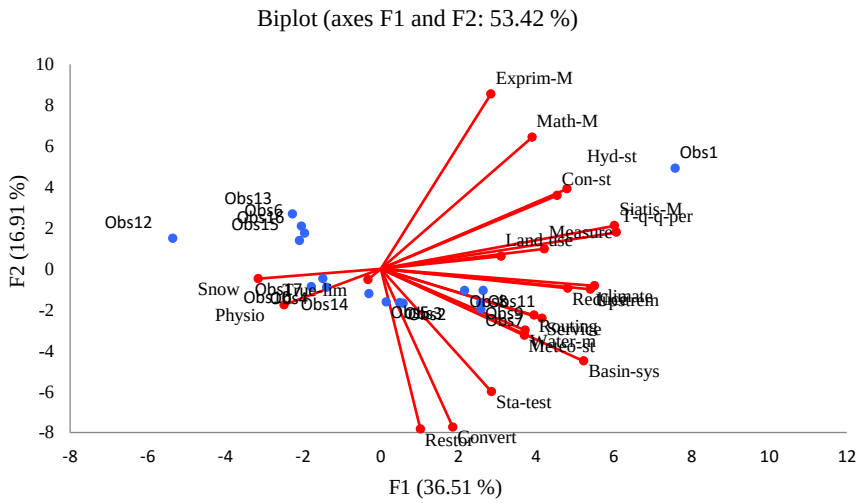
عبارت کلامی	بدون تأثیر	تأثیر خیلی کم	تأثیر کم	تأثیر زیاد	تأثیر خیلی زیاد
مقدار کمی	۰	۱	۲	۳	٤

یافته‌ها

در این تحقیق نتایج امتیازت خام معیارهای کیفی حاصل از مصاحبه با خبرگان و کارشناسان بخش آب به‌صورت حضوری و پرسشنامه‌ای و همچنین بررسی گزارش‌های مرتبط با سدهای مختلف، در طیف ده‌تایی لیکرت به مقادیر کمی تبدیل گردید (جداول (۴) و (۵)). با استفاده از نرم‌افزار SPSS آلفای کرون باخ در ارتباط با هر یک از پرسشنامه‌ها محاسبه شد که نتایج قابل‌قبولی برای همه موارد به دست آمد. با در نظر گرفتن تعداد معیارها با روش آنتروپی شانون (معادله (۱)) معیارهای مساوی و بالای ۰/۰۶ برای هر سد به‌عنوان معیار قابل ارزیابی انتخاب گردید (جدول (۶)). از آزمون فریدمن[3] برای بررسی اولویت یک معیار بر معیار دیگر در پیش‌پردازش معیارها استفاده شد (جدول (۷)) علاوه بر این از روش PCA[4] برای خوشه‌بندی و دسته‌بندی و بررسی کاهش معیارها و همچنین استقلال و درنهایت تغییرپذیری کمتر و استخراج معیارهای مهم (به شکل مؤلفه) استفاده شد که نتایج آن در نمودار شکل (۳) نشان داده‌شده است. نتایج این دسته‌بندی نشان داد که معیارهای مختلف را نمی‌توان به‌عنوان نماینده سایر معیارها برگزید و باید در ارزیابی همه معیارهای مرتبط مورد ارزیابی قرار گیرند.

[1] PROMETHEE
[2] Brans et al
[3] Friedman's test
[4] Principle Components Analysis

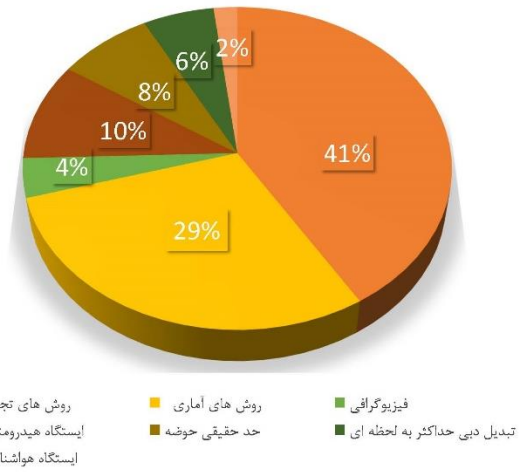
با استفاده از تست فریدمن داده‌ها در هر گروه ازنظر نرمال بودن بررسی و سپس با آزمون آنالیز واریانس با داده‌های تکراری، مورد ارزیابی قرار گرفتند. سطح معنی‌داری آزمون‌ها ۰.۰۵ در نظر گرفته شد. برای این کار دو فرض متصور است: H_0 که نمونه‌ها از یک جامعه می‌آیند و H_a که نمونه‌ها از یک جامعه نمی‌آیند. ازآنجایی‌که p-value محاسبه‌شده کمتر از سطح معناداری alpha=۰.۰۵ است، باید فرضیه صفر H_0 را رد کرد و فرضیه جایگزین Ha را پذیرفت. خطر رد فرضیه صفر H_0 درحالی‌که درست است کمتر از ۰.۰۱ است. پیوندها در داده‌ها شناسایی‌شده و اصلاحات مناسب اعمال‌شده است. تعداد معیارهای قابل ارزیابی در هر سد بر اساس نتایج آنتروپی شانون به دست آمد.



شکل ۳. نتیجه اعمال روش PCA

با توجه به شکل (۳) مشاهده شد که اکثر ضرایب همبستگی کمتر از ۰/۳ و غیرخطی بودن مدل است.

بر اساس روش‌های ۸ گانه گفته‌شده ۲۲ معیار دخیل در برآورد آورد سیلابی ۱۷ سد مخزنی موردمطالعه رتبه‌بندی گردید. بر اساس جداول (۴) و (۵) در روش SAW روش‌های تجربی با ۶ رتبه یک، روش‌های آماری با ۵ رتبه یک و پارامترهای فیزیوگرافی با ۲ رتبه یک مهم‌ترین معیارهای اثرگذار در برآورد سیلاب ورودی به مخازن سدهای موردمطالعه در این تحقیق است. در روش AHP ایستگاه‌های هیدرومتری و حد حقیقی حوضه به ترتیب با ۵ و ۳ رتبه یک مهم‌ترین معیارهای مؤثر بودند (شکل (۴)). در روش FAHP روش‌های تجربی با ۶ و روش‌های آماری با ۵ رتبه یک دو معیار مهم تشخیص داده شدند. درروش تاپسیس روش‌های آماری، پارامترهای فیزیوگرافی و تبدیل دبی حداکثر به حداکثر لحظه‌ای هرکدام با ۱ رتبه یک و تاپسیس فازی روش‌های تجربی، روش‌های آماری و تبدیل دبی حداکثر به دبی لحظه‌ای به ترتیب با ۶، ۴ و ۲ رتبه یک اصلی‌ترین معیارهای ارزیابی شناخته شدند. درروش ویکور فقط روش‌های تجربی دارای ۱ رتبه یک شد. در روش الکتره نیز معیارهای ایستگاه‌های هواشناسی، حد حقیقی حوضه و روش‌های تجربی هرکدام با ۱ رتبه یک به‌عنوان معیارهای مؤثر ارزیابی شدند. نهایتاً درروش پرومته فقط روش تجربی حائز یک مورد رتبه ۱ گردید.



شکل ٤. درصد فراوانی مؤثرترین معیارها در تخمین سیلاب طراحی ۱۷ سد مخزنی موردمطالعه

جدول ٤. نتایج امتیاز معیارهای ۲۲ گانه با روش‌های SAW(S), AHP(A), FAHP(Fa), VIKOR(V)

معیار	شرح خدمات مصوب و دستورالعمل ها				تبدیل دبی حداکثر به دبی لحظه ای				ترمیم و تطویل داده ها				اندازه گیری				تغییرکاربری اراضی				مدل های ریاضی				روش های آماری				روش های تجربی				حد حقیقی حوزه				پارامتر های فیزیوگرافی				ایستگاههای هواشناسی			
روش	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V
گیلقرب	-	-	-	-	3	6	3	4	2	5	2	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	1	6	2	1	2	1	3	4	4	4	3
تنگ حمام	8	5	8	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	3	4	3	1	2	1	3	3	4	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	2	4
آزادی	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	8	7	4	5	3	4	3	3	4	2	5	2	1	5	1	4	-	-	-	-	2	8	2	7	5	3	6	4
زاگرس	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	6	4	1	2	1	2	2	4	2	4	4	6	-	6	6	3	5	3	3	7	3	3
شیان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	7	5	6	3	4	2	5	2	8	3	7	1	1	1	2	5	6	5	7	4	5	4	6
گاوشان	-	-	-	-	4	6	2	4	-	-	-	-	7	-	3	4	-	-	-	-	2	3	1	4	6	4	5	4	3	5	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
دلیان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1	4	2	-	-	-	-	1	2	1	1	-	-	-	-	2	4	3	3	6	5	5	5
جامیشان	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	3	5	6	-	4	3	-	-	-	-	2	2	2	3	4	4	5	5	1	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	7	7	6	6
دیگلقرب	-	-	-	-	6	5	6	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	4	5	5	7	3	7	4	1	8	1	7	4	1	4	-	2	7	2	7	-	-	-	-
سلیمانداه	6	9	8	8	5	6	7	8	-	-	-	-	1	-	1	2	-	-	-	-	4	3	5	4	2	2	2	3	3	4	3	4	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-
قنداق	-	-	-	-	6	1	5	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2	6	3	7	5	7	6	1	3	1	3	4	4	3	-	2	7	2	8	-	-	-	-
کیترله	-	-	-	-	9	4	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	7	1	7	5	5	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	2	6	2	6
سومار	4	1	4	3	6	5	6	5	5	3	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	6	3	7	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	2	3	2	4	1	4
هواسان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4	5	-	-	-	-	3	4	3	5	7	7	5	7	1	6	1	5	-	-	-	-	2	3	2	4	5	5	6	4
زمکان	-	-	-	-	5	2	5	3	3	3	4	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	1	4	6	6	6	6	-	-	-	-	1	5	2	6	-	-	-	-
هرسین	-	-	-	-	4	5	2	3	1	6	1	2	6	-	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	3	7	3	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	4	4	4
جوانرود	7	7	8	8	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	8	7	-	-	-	-	4	4	3	5	1	2	1	3	2	6	2	6	-	-	-	-	3	5	4	6	6	3	7	3

ادامه جدول ٤. نتایج امتیاز معیارهای ۲۲ گانه با روش‌های SAW(S), AHP(A), FAHP(Fa), VIKOR(V)

معیار	کاهش دبی پایه				ایستگاه های هیدرومتری				عملیات آبخیزداری				احداث ایستگاه آب وهواشناسی				تست های آماری				روند یابی				ذخایر برفی				شرایط سامانه بالانست				نوع و کمیت و کیفیت بارش				تغییرات آب و هوایی				سیستم حوزه			
روش	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V	S	A	Fa	V
گیلانغرب	-	-	-	-	-	-	-	-	8	8	5	6	-	-	-	-	5	7	6	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	3	7	5	-	-	-	-
تنگ حمام	-	-	-	-	7	1	7	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	7	5	7	5	6	6	6	-	-	-	-
آزادی	-	-	-	-	7	1	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	6	8	8	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
زاگرس	-	-	-	-	10	1	7	7	-	-	-	-	9	9	8	7	-	-	-	-	8	8	8	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	11	10	7	10	10	10	-	-	-	-
شیان	-	-	-	-	7	3	6	7	-	-	-	-	8	2	8	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	7	9	-	-	-	-
گاوشان	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	1	7	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
داریان	-	-	-	-	5	3	6	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	6	2	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
جامیشان	-	-	-	-	5	5	7	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
د.گیلانغرب	-	-	-	-	3	2	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
سلیمانشاه	-	-	-	-	5	8	4	3	-	-	-	-	8	7	7	6	7	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
قشلاق	-	-	-	-	3	6	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-
کیوترلانه	-	-	-	-	7	2	5	5	-	-	-	-	8	1	6	6	-	-	-	8	-	-	-	-	6	3	7	3	-	-	-	-	4	-	9	9	3	-	8	9	-	-	-	-
سومار	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
هواسان	-	-	-	-	6	2	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
زمکان	-	-	-	-	4	1	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
هرسین	-	-		-	2	2	5	6	-	-	-	-	7	3	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
جوانرود	9	9	6	7	5	1	5	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

جدول۵. نتایج امتیاز معیارهای ۲۲ گانه با روش‌های TOPSIS(T), FTOPSIS(Ft), ELECTRE(E), PROMETHEE (P)

معیار	شرح خدمات مصوب و دستورالعمل ها				تبدیل دبی حداکثر به دبی لحظه ای				ترمیم و تطویل داده ها				اندازه گیری				تغییرکاربری اراضی				مدل های ریاضی				روش های آماری				روش های تجربی				حد حقیقی حوزه				پارامتر های فیزیوگرافی				ایستگاههای هواشناسی			
روش	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P
گیلانغرب	-	-	-	-	4	1	4	5	4	2	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	6	1	2	1	4	2	2	3	5	3	3
تنگ حمام	7	8	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	4	3	4	2	1	3	3	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	2	3
آزادی	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	4	5	4	4	3	2	4	5	5	3	3	3	1	2	2	-	-	-	-	3	2	3	3	5	6	5	6
زاگرس	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	6	3	3	2	1	4	3	2	2	1	3	3	4	5	3	6	5	5	7	2	3	3	4
شیان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	5	5	5	1	2	5	4	2	3	2	2	2	1	2	2	6	6	7	6	4	4	3	5
گاوشان	-	-	-	-	3	3	4	5	4	-	-	4	4	4	3	4	-	-	-	-	5	2	6	3	4	5	4	5	6	6	6	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
داریان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	4	3	3	-	-	-	-	-	1	2	2	-	-	-	-	4	2	2	3	5	5	6	7
جامیشان	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	4	3	4	4	4	4	-	-	-	-	4	2	3	2	4	5	4	4	4	1	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	5	6	5	6
د.گیلانغرب	-	-	-	-	5	6	6	8	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	3	5	3	3	6	7	6	6	3	1	2	2	5	4	5	5	2	2	3	4	-	-	-	-
سلیمانشاه	5	6	7	8	8	9	8	8	-	-	-	-	2	1	-	2	-	-	-	-	2	5	-	5	3	2	3	3	4	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
قشلاق	-	-	-	-	5	5	6	7	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	4	6	-	4	6	7	4	4	5	1	2	2	4	4	4	6	3	2	2	3	-	-	-	-
کیوترلانه	-	-	-	-	3	3	4	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	6	6	6	4	4	6	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	1	3
سومار	5	4	6	6	6	6	7	4	5	5	5	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	4	3	5	7	4	-	-	-	-	-	-	-	2	2	3	4	2	1	2	6
هواسان	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	4	3	-	-	-	-	5	3	4	4	5	5	5	3	6	1	6	2	-	-	-	-	2	2	3	3	5	6	7	5
زمکان	-	-	-	-	1	1	2	4	3	2	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	3	4	5	4	4	6	6	-	-	-	-	2	5	5	3	-	-	-	-
هرسین	-	-	-	-	2	2	3	4	2	1	2	3	8	7	8	8	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	5	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	4	5	6
جوانرود	7	8	7	7	-	-	-	-		-	-	-	7	8	8	7	-	-	-	-	6	3	5	5	2	1	3	2	2	2	5	3	-	-	-	-	3	4	4	4	6	7	8	7

ادامه جدول ۵. نتایج امتیاز معیارهای ۲۲ گانه با روش‌های TOPSIS(T), FTOPSIS(Ft), ELECTRE(E), PROMETHEE (P)

معیار	کاهش دبی پایه				ایستگاه های هیدرومتری				عملیات آبخیزداری				ادناث ایستگاه آب وهواشناسی				تست های آماری				روند یابی				ذخایر برفی				شرایط سامانه بالانست				نوع و کمیت و کیفیت بارش				تغییرات آب و هوایی				سیستم حوزه			
روش	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	P	T	Ft	E	-
گیلانغرب	-	-	-	-	-	-	-	-	5	6	7	6	-	-	-	-	6	7	5	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	8	6	7	-	-	-	-
تنگ حمام	-	-	-	-	7	7	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	5	6	7	6	6	7	5	-	-	-	-
آزادی	-	-	-	-	6	7	7	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	8	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
زاگرس	-	-	-	-	6	7	6	6	-	-	-	-	8	8	8	7	-	-	-	-	9	9	8	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	11	9	10	11	11	10	-	-	-	-
شیان	-	-	-	-	7	7	7	7	-	-	-	-	7	8	7	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	9	9	-	-	-	-
گاوشان	-	-	-	-	-	-	-	-	7	7	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	2	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
داریان	-	-	-	-	6	6	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	6	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
جامیشان	-	-	-	-	7	7	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
دگیلانغرب	-	-	-	-	4	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
سلیمانشاه	-	-	-	-	3	4	4	5	-	-	-	-	6	7	7	6	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
قشلاق	-	-	-	-	4	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	8	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-
کیوترلانه	-	-	-	-	5	5	5	5	-	-	-	-	7	6	6	7	-	-	-	-	-	-	-	-	5	7	3	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
سومار	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
هواسان	-	-	-	-	6	7	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
زمکان	-	-	-	-	3	6	7	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
هرسین	-	-	-	-	4	5	5	5	-	-	-	-	7	6	7	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
جوانرود	7	6	7	6	4	5	6	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

نتایج ارزیابی گزینه‌های چهارگانه

همه مراحل گفته‌شده برای ارزیابی معیارهای مختلف (۲۲ معیار) با هشت روش موردبررسی در این پژوهش برای ارزیابی چهار گزینه اصلی به کار رفت. این چهار گزینه شامل شرایط و محدودیت‌های روش تخمین سیلاب، کمیت و کیفیت اطلاعات و داده‌های آب و هواشناسی، وقوع اتفاقات هیدرولوژیکی در حوضه با منشأ طبیعی و وقوع اتفاقات هیدرولوژیکی در حوضه با منشأ انسانی است. بعد از تعیین اوزان هر گزینه با هر یک از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، رتبه وزن به‌دست‌آمده در کل اوزان گزینه مرتبط تعیین و تنظیم گردید (جداول (۴) و (۵)) بعد از تعیین رتبه‌های ۱۷ سد موردمطالعه با هشت روش منتخب در تصمیم‌گیری چندمعیاره، با اعمال نتایج در روش‌های استراتژیک میانگین، بردا و کپلند، گزینه‌های برتر برای هر گزینه تعیین و نهایتاً گزینه اصلی برمبنای تجمیع رتبه‌های بالاتر تعیین گردید. بر اساس یافته‌های پژوهش گزینه‌ای که دارای فراوانی بیشتری نسبت به سایر گزینه‌ها است، گزینه شرایط و محدودیت‌های روش تخمین سیلاب (V4) هر سد مخزنی است.

بحث

عوامل مؤثر بر تخمین سیلاب طراحی در سدهای مخزنی در قسمت‌های پیشین ذکر شد. این عوامل را می‌توان به دودسته کنترل‌پذیر و کنترل ناپذیر تقسیم کرد. عوامل کنترل ناپذیر شامل تغییرات آب و هوایی و نوع و کمیت و کیفیت بارش و سیستم حوضه است. ذخایر برفی و پارامترهای فیزیوگرافی نیز در این دسته قرار می‌گیرند بااین‌حال می‌توانند از اثرات انسانی نیز تأثیرپذیری داشته باشند. در این پژوهش معیارهای مؤثر در ارتباط با تخمین دبی طراحی سرریز در سدهای مخزنی در ۱۷ سد مخزنی در استان کرمانشاه شناسایی و اولویت‌بندی گردید و پس‌ازآن به‌منظور بررسی و تحلیل گزینه‌های مؤثر در تخمین سیلاب طراحی به تفکیک هر سد مخزنی، گزینه‌های مختلف با استفاده از ۸ روش مختلف تصمیم‌گیری چندمتغیره ارزیابی گردید. با توجه به گستردگی تعداد سدهای موردمطالعه و اهمیت آب‌شناختی گزینه‌های مهم و فراگیری همچون تخمین سیلاب طراحی در ارتباط با وقوع اتفاق‌های هیدرولوژیکی در حوزه با منشأ انسانی، با منشأ طبیعی، کمیت و کیفیت اطلاعات و داده‌های آب و هواشناسی و محدودیت روش‌ها (آماری، تجربی، مدل‌ها) انتخاب و با روش‌های SAW, AHP, FAHP, VIKOR, TOPSIS, FTOPSIS, PROMETEE, Electre III اولویت‌بندی گردید. بر اساس روش‌های ۸ گانه گفته‌شده ۲۲ معیار دخیل در برآورد آورد سیلابی ۱۷ سد مخزنی موردمطالعه رتبه‌بندی گردید.

نتیجه‌گیری

در این بررسی با اولویت‌بندی هر معیار در روش‌های به‌کاربرده شده برای هر سد، اولویت نهایی (۱۳ مورد از ۱۷ مورد) یعنی بیش از ۷۶ درصد از سدها در گزینه شرایط و محدودیت‌های روش‌های تخمین سیلاب آماری، تجربی، مدل و ... اولویت‌دارند و ۲۴ در صد در گزینه کمیت و کیفیت و اطلاعات آب و هواشناسی. بر اساس یافته‌های پژوهش گزینه‌ای که دارای فراوانی بیشتری نسبت به سایر گزینه‌ها است، گزینه شرایط و محدودیت‌های روش تخمین سیلاب (V4) هر سد مخزنی است (جداول (۶) و (۷)). بر اساس بررسی مدارک و مستندات تحلیل سیلاب و دست‌یابی به سیلاب طراحی در مطالعات مراحل اول و دوم سدهای مخزنی سدهای موردمطالعه این نتیجه‌گیری تأیید می‌گردد، در روش‌های آماری کم بودن طول دوره آماری ثبت‌شده و عدم‌تشخیص تابع توزیع فراوانی مناسب (علی‌رغم اعمال آزمون نیکویی برازش به‌صورت ناقص) از موارد آسیب این مورد بوده است. علاوه بر این به‌کارگیری روش‌های تجربی که عمدتاً بدون واسنجی ضرایب ذی‌ربط و بدون احتیاط و بررسی‌های لازم اعمال می‌شوند از موارد دیگر ضعف تخمین سیلاب است.

جدول ٦. اولویت‌بندی گزینه‌های دخیل در برآورد دبی سیلاب به تفکیک سدهای مخزنی

گزینه	شرایط و محدودیت‌های روش تخمین سیلاب V4								کمیت و کیفیت اطلاعات و داده‌های آب و هواشناسی V3								وقوع اتفاقات هیدرولوژیکی در حوضه با منشأ طبیعی V2								وقوع اتفاقات هیدرولوژیکی در حوضه با منشأ انسانی V1							
کد سد	AHP	VIKOR	PROMETEE	TOSIS	SAW	F.TOSIS	F.AHP	ELECTRE	AHP	VIKOR	PROMETEE	TOSIS	SAW	F.TOSIS	F.AHP	ELECTRE	AHP	VIKOR	PROMETEE	TOSIS	SAW	F.TOSIS	F.AHP	ELECTRE	AHP	VIKOR	PROMETEE	TOSIS	SAW	F.TOSIS	F.AHP	ELECTRE
I	2	1	2	1	2	۱	4	2	1	2	1	۲	۱	2	۳	1	4	3	3	4	3	3	۲	4	3	4	4	3	4	4	۱	3
II	1	2	1	2	1	4	4	1	3	1	2	1	2	3	3	2	4	3	3	4	3	2	2	4	2	4	4	3	4	1	1	3
III	1	1	2	1	1	4	4	2	2	2	1	2	2	3	3	1	4	3	3	4	3	2	2	3	3	4	4	3	4	1	1	4
IV	4	1	1	1	1	4	4	1	3	2	2	2	2	3	3	2	2	3	3	4	3	2	2	4	1	4	4	3	4	1	1	3
V	1	1	1	2	1	4	4	1	2	2	2	1	2	3	3	2	4	3	3	4	3	2	2	4	3	4	4	3	4	1	1	3
VI	1	1	1	1	1	4	4	1	3	2	2	2	2	3	3	2	4	3	3	4	4	2	2	4	2	4	4	3	3	1	1	3
VII	1	1	1	1	1	4	4	2	3	2	2	2	2	3	3	2	4	3	3	3	3	2	2	3	2	4	4	4	4	1	1	4
VIII	4	2	1	2	1	4	4	1	3	1	2	1	2	3	3	2	2	3	3	4	3	2	2	4	1	4	4	3	4	1	1	3
IX	1	1	2	1	1	4	4	1	2	2	1	2	2	3	3	1	4	3	3	4	3	2	2	3	3	4	4	3	4	1	1	4
X	1	1	1	2	1	4	3	1	2	2	2	1	2	3	2	2	3	3	3	3	3	2	1	4	4	4	4	4	4	1	1	3
XI	1	1	1	2	1	4	4	2	2	2	2	1	2	3	3	2	4	3	3	3	3	2	2	4	4	4	4	4	4	1	1	3
XII	1	2	1	1	1	4	4	2	2	1	2	2	2	3	3	2	4	3	3	4	3	2	2	4	3	4	4	3	4	1	1	3
XIII	1	1	2	1	1	4	4	2	2	2	1	2	2	3	3	1	4	3	3	3	3	2	2	4	3	4	4	4	4	1	1	3
XIV	1	1	1	2	1	4	4	1	3	2	2	1	2	3	3	2	4	3	3	4	3	2	2	3	2	4	4	3	4	1	1	4
XV	1	1	1	1	1	2	4	1	2	2	2	2	2	1	3	2	4	3	3	3	3	3	2	4	3	4	4	4	4	3	1	3
XVI	1	1	1	2	1	4	4	1	2	2	2	1	2	3	3	2	4	3	3	4	3	2	2	4	3	4	4	3	4	1	1	3
XVII	1	1	1	1	1	4	4	1	3	2	2	2	2	3	3	2	4	3	3	4	3	2	2	4	2	4	4	3	4	1	1	3

به‌کارگیری مدل‌های ریاضی که با فرض وقایع آینده تکرار وقایع گذشته است و بدون در نظر گرفتن موارد بهره‌برداری و اتفاقات هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبریز سدها از موارد دیگر ضعف در این ارزیابی‌ها است. در بررسی گزارش‌های مهندسین مشاور مواردی یافت گردید که در حوضه موردمطالعه هیچ‌گونه ایستگاه آب و هواشناسی وجود نداشته و حتی در دوره مطالعات نصب اشل موقت در رودخانه انجام نگرفته و حتی یک مورد اندازه‌گیری دبی هم‌زمان با اندازه‌گیری دبی در حوضه‌های مجاور صورت نپذیرفته است و هیچ‌گونه برداشت و نمونه‌گیری از آب و

رسوب نیز انجام‌نشده است و چند لیتر آب موجود در رودخانه موردبررسی نیز در ارتباط با تخلیه آب فاضلاب روستاهای بالادست بوده است. حتی در مطالعات رسوب یکی از سدهای مخزنی (سد در حال ساخت قشلاق) تحلیل‌های رسوب بر اساس داده‌های ایستگاه درجه سوم (کله جوب) در پایین‌دست سد (مجهز به یک اشل) صورت گرفته است. این واقعیات نشان می‌دهد نتایج حاصل از این پژوهش از درستی مناسبی برخوردار است و محدودیت‌های روش‌های تخمین سیلاب (آماری، تجربی، مدل و ...) مهم‌ترین عوامل در عدم ارزیابی درست تخمین سیلاب ورودی به سدهای مخزنی است.

جدول ۷. نتایج نهایی گزینه غالب در مطالعه سدهای مخزنی استان کرمانشاه

	میانگین	بردا	کپ لند	غالب
I	V 3	V 3 /V 4	V 3 /V 4	V3
II	V 3	V 3 /V 4	V 3 /V 4	V 3
III	V 3 /V 4	V 3 /V 4	V 3 /V 4	V 3
IV	V 4	V 4	V 4	V 4
V	V 4	V 4	V4	V 4
VI	V 4	V 3	V 3	V 4
VII	V 4	V 3	V 3	V 4
VIII	V 3	V 3	V 3	V 3
IX	V 4	V 4	V 3 /V 4	V 4
X	V 4	V 3 /V 4	V 3 /V 4	V 4
XI	V 3 /V 4	V 3 /V 4	V 3 /V 4	V 4
XII	V 3 /V 4	V 3 /V 4	V 3 /V 4	V 4
XIII	V 3 /V 4	V 3 /V 4	V 3 /V 4	V 4
XIV	V 4	V 4	V 4	V 4
XV	V 4	V 4	V 4	V 4
XVI	V 4	V 4	V 4	V 4
XVII	V 4	V 4	V 4	V 4

علاوه بر این در مورد کیفیت اندازه‌گیری‌های دبی نیز مواردی مشاهده گردید (بخصوص در فصول برداشت آب) که قبل از اندازه‌گیری علاوه بر شق النهرهای مختلف موتور تلمبه‌ها نیز در حال فعالیت بودند و همچنین در سراب و محل‌های سرچشمه رودخانه‌ها که در منطقه کارستی قراردادند، قبل از تخلیه آب چشمه به رودخانه شرکت‌های آب و فاضلاب روستایی برای شرب روستاها حجم قابل‌توجهی از آب را پمپاژ می‌نمایند که متأسفانه در آمار و اطلاعات موجود در بانک‌های اطلاعاتی آب ردی از آن وجود ندارد. دفتر تلفیق و بیلان وزارت نیرو قبلاً دستورالعمل‌هایی برای کنترل آمار و اطلاعات منتشر نموده و در سطح جهانی نیز دستورالعمل‌های استانداردی وجود دارد بااین‌حال با توجه به ماشینی شدن محاسبات دقت کمتری در مورد کیفیت آمار اعمال می‌گردد. همه این موارد در این بررسی در پرسشنامه و مصاحبه با کارشناسان فنی و بررسی‌های دفتری و میدانی مطالعات سدهای مخزنی موردمطالعه لحاظ گردید.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از همکاری خوب سازمان هواشناسی کشور و شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه برای در اختیار گذاشتن بخشی از آمار و اطلاعات این تحقیق سپاسگزارند.

منابع

جعفری، ندا.، حافظ پرست، مریم.، و فرهادی، بهمن. (۱۴۰۱). اولویت بندی زیرحوضه ها با استفاده از روش های تصمیم گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: حوضه آبریز گاماسیاب، کرمانشاه). مجله مطالعات علوم محیط زیست، ۴۷۴۰-۴۷۲۷، ۷(۱). https://doi.org/1022034/jess.2022.144732

References

Abdolhosseini, M., & Farzaneh, M. R. (2014). Investigation of internal uncertainty sources of change factor method in downscaling of climatic parameters of future period. Intl J Agric Crop Sci, 7(12), 941-949. https://www.academia.edu/9021424

Akay, H. (2021). Flood hazards susceptibility mapping using statistical, fuzzy logic, and MCDM methods. Soft Computing, 25(14), 9325-9346. https://dl.acm.org/doi/abs/10.1007/s00500-021-05903-1

Bobrowsky, P. T. (2013). Encyclopedia of natural hazards. Published by Springer. https://link.springer.com/referencework/10.1007/978-1-4020-4399-4

Chitsaz, N., & Banihabib, ME. (2015). Comparison of different multi criteria decision-making models in prioritizing flood management alternatives. Water Resour Manag, 29(8), 2503–25. http://dx.doi.org/10.1007/s11269-015-0954-6

Fakhri, M., Farzaneh, M. R., Eslamian, S., & Khordadi, M. J. (2012). Confidence interval assessment to estimate dry and wet spells under climate change in Shahrekord Station, Iran. Journal of Hydrologic Engineering, 18(7), 911-918. https://www.academia.edu/7922627

Laikangbam, L., Loukrakpam, CH, & Somchand Singh, T. (2019). Flood Hazard Zonation of Imphal River, Manipur, India, Using AWS Data, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), 8 (4), 1676-1680. https://www.ijeat.org/wp-content/uploads/papers/v8i4/D6689048419.pdf

Jafari, N., Hafezparast, M., & Farhadi, B. (2022). Prioritization of sub-basins using multi-criteria decision making methods (Case study: Gamasiab catchment, Kermanshah). Journal of Environmental Science Studies, 7(1), 4727-4740. https://doi.org/10.22034/jess.2022.144732 [In Persian]

Levy, J. K. (2005). Multiple criteria decision making and decision support systems for flood risk management. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 19, 438-447. https://link.springer.com/article/10.1007/s00477-005-0009-2

Mabrouk, M., & Haoying, H. (2023). A multicriteria approach for identifying urban flood-exposed risky districts using multiple-criteria decision-making tools (MCDM). International Journal of Disaster Risk Reduction,91, 103684. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103684

Mousavi, S. M., Ataie-Ashtiani, B., & Hosseini, S. M. (2022). Comparison of statistical and mcdm approaches for flood susceptibility mapping in northern iran. Journal of Hydrology, 612, 128072. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128072

Nuri, A. Z., Farzaneh, M., & Espanayi, K. (2014). Assessment of climatic parameters uncertainty under effect of different downscaling techniques. International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 8(9), 1316-1320. https://www.academia.edu/9021536

Saaty,T.L. (1980). Multi criteria Decision Making. TheAnalyticHierarchyProcess. McGrawHill, NewYork. https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1943982

Smith, K., & Petley, D. N. (2008). Environmental Hazards, Assessing Risk and Reducing Disaster, 5th edn. Routledge, London. https://www.routledge.com/Environmental-Hazards-Assessing-Risk-and-Reducing-Disaster/Smith-Smith/p/book/9780415681063

Souissi, D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M. H., Zghibi, A., & Dlala, M. (2020). GIS-based MCDM–AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia. Geocarto International, 35(9), 991-1017. http://dx.doi.org/10.1080/10106049.2019.1566405

Taheri, K., Gutiérrez, F., Mohseni, H., Raeisi, E., & Taheri, M. (2015). Sinkhole susceptibility mapping using the analytical hierarchy process (AHP) and magnitude–frequency relationships: A case study in Hamadan province, Iran. Geomorphology, 234, 64-79. http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.01.005

U.S. Bureau of Reclamations (USBR). (1987). Design of small dams. Water Resour. Technical Pub. https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/SmallDams.pdf

UNESCO. (2001). Guidelines on Non-Structural Measures in Urban Flood Management, Technical Documents in Hydrology, 50, Paris. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000124004

Wing, O., Bates, P., Smith, A., Sampson, C., Johnson, K., Fargione, J., Morefield, P. (2018). Estimates of present and future flood risk in the conterminous United States. Environ. Res. Lett. 13, 034023. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaac65

Zou, Z. H., Yi, Y., & Sun, J. N. (2006). Entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment. Journal of Environmental sciences, 18(5), 1020-1023. https://doi.org/10.1016/S1001-0742(06)60032-6