



Evaluation of rainfall simulation using WRF/WRF-Hydro model (case study: Abol-Abbas basin)

Farzaneh Yazdanpanah Gharaei¹ , Mohsen Pourreza Bilondi² , Ameneh Mianabadi³ ,
Morteza Babaei⁴ , Somaye Imani Amirabad⁵ 

¹ Ph. D. student of water resources, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran. Email: fyazdanpanah4@birjand.ac.ir

² Corresponding Author, Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran Email: Mohsen.pourreza@birjand.ac.ir

³ Assistant Professor, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. Email: a.mianabadi@kgut.ac.ir

⁴ M. Sc graduated of Meteorology, Tehran University, Tehran, Iran. Email: morteza_babaei@alumni.ut.ac.ir

⁵ Ph. D. student of water resources, Department of Environmental engineering, College of Engineering of Tehran University, Tehran, Iran. Email: s.imani@ut.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

Every year, the occurrence of heavy rains in the flood-prone basins of the country leads to the occurrence of floods and the resulting damages. Therefore, accurate prediction of rainfall is of great importance to take preventive measures. So far, various methods have been used to predict rainfall. The concept of connecting the hydrological model (WRF-Hydro) with the atmospheric model (WRF) is expected to reduce the uncertainties related to the spatial and temporal distribution of storm events, especially for areas with complex characteristics. In this study, the effectiveness of the WRF/WRF-Hydro model in rainfall forecasting and the evaluation of this model in coupled and uncoupled mode for several flood events in the Abu al-Abbas catchment are investigated.

Methodology

In this study, the WRF/WRF-Hydro model was used to simulate four rainfall events in 1979, 1983, 1984 and 1993 that led to floods. WRF is designed as an open source and very flexible, so that it can be implemented on a wide range of computing environments from supercomputers to personal computers. In this study, the simulation area consists of three nested grids with horizontal grid spacing of 9, 3, and 1 km in the horizontal direction. The simulations performed in this study, initial and boundary conditions are provided by ERA5 reanalysis data. Lin, Thompson and WSM6 microphysics were used to configure the model. WRF-Hydro is one of the free extensions of the WRF model, which is a distributed, physical and multi-scale hydrologic-hydraulic model. Therefore, WRF-Hydro is not an independent hydrological modelling structure, but a coupled system of hydrological models with atmospheric models, which were used in this study in two ways, coupled and uncoupled.

Results and discussion

Coupled simulation of all three microphysics had almost similar performance for all four events. In 1993, out of three rainfall peaks, only the first rainfall peak was simulated by the model, and the model performed relatively poorly for the next two peaks. The performance of the model in coupled mode is somewhat better than uncoupled mode. The 1979 performance in the coupled mode was almost identical to the real data and the performance of the model was very good. According to the precipitation curves, it can be concluded that in the general state of the WRF/WRF-Hydro model, both in its coupled and uncoupled states, it is underestimated. The amount of error in the coupled and uncoupled state in all three schemas are almost equal and often the amount of error in the coupled state is slightly better than the uncoupled state. The error in 1993 was higher in both coupled and uncoupled modes than in other years, which could be due to errors in ERA5 data or observational data for that year.

Conclusion

Advanced hydrological research in short-term weather forecasting is uncertain and its impact is still being investigated and understood. The concept of connecting the hydrological model (WRF-Hydro) with the atmospheric model (WRF) is expected to reduce the uncertainties related to the spatial and temporal distribution of storm events, especially for areas with complex characteristics. In this study, the results indicated that the WRF model has a good capability in predicting heavy rainfall and this model can be used to predict rainfall in mountain basins.

Key words: Abol-Abbas, climate model, ERA5 reanalysis data, rainfall simulation, WRF.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 02 October 2022 **Revised:** 06 November 2022 **Accepted:** 15 November 2022 **ePublished:** 28 February 2023

Cite this article: Yazdanpanah Gharaei, F., Pourreza Bilondi, M., Mianabadi, A., Babaei, M., & Imani Amirabad, S. (2023). Evaluation of rainfall simulation using WRF/WRF-Hydro model (case study: Abol-Abbas basin), *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(4), 1-14. DOI: 10.22126/ATWE.2023.8482.1031





ارزیابی شبیه‌سازی بارش با استفاده از مدل WRF/WRF-Hydro (مطالعه موردی: حوضه

ابوالعباس)

فرزانه یزدان پناه قرایی^۱ ID، محسن پوررضا بیلندی^۲ ID، آمنه میان‌آبادی^۳ ID، مرتضی بابایی^۴ ID، سمیه ایمانی
امیرآباد^۵ ID

^۱ دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: fyazdanpanah4@birjand.ac.ir
^۲ نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. رایانامه: Mohsen.pourreza@birjand.ac.ir
^۳ استادیار گروه اکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.
رایانامه: a.mianabadi@kgut.ac.ir

^۴ دانش آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشکده تهران، تهران، ایران. رایانامه: morteza_babaei@alumni.ut.ac.ir
^۵ دانشجوی دکتری منابع آب، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: s.imani@ut.ac.ir

چکیده

هر ساله وقوع بارش‌های سنگین در حوضه‌های سیل‌خیز کشور منجر به رخداد سیلاب و خسارت‌های ناشی از آن می‌گردد. بنابراین پیش بینی دقیق بارندگی برای انجام اقدامات پیشگیرانه از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو پیش‌بینی بارش یکی از مهمترین مسائل در حوزه مدیریت منابع آب می‌باشد. تاکنون روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی بارش استفاده شده‌است. پژوهش‌های هیدرولوژیکی پیشرفته در پیش-بینی‌های کوتاه مدت هواشناسی نامشخص است و هنوز در دست بررسی و درک تاثیر آن است. مدل تحقیق و پیش‌بینی آب و هوا (WRF) یک مدل پیش‌بینی عددی آب و هوا است که می‌تواند اطلاعات خوبی برای پیش‌بینی بارندگی ارائه دهد. انتظار می‌رود مفهوم اتصال مدل هیدرولوژیکی (WRF-Hydro) با مدل جوی (WRF) عدم قطعیت‌های مربوط به توزیع مکانی و زمانی وقایع طوفان، به ویژه برای مناطق با خصوصیات پیچیده را کاهش دهد.

در مطالعه حاضر به بررسی ارزیابی مدل WRF/WRF-Hydro جهت پیش‌بینی ۴ رویداد بارش که منتج به وقوع سیلاب شده اند، پرداخته شد. در شبیه‌سازی‌های بارش این مدل کم تخمین بود و مدل در حالت جفت‌شده نتایج بهتری ارائه داد. جهت اجرای مدل از داده‌های ERA5 استفاده شد که این داده‌ها عملکرد مطلوبی برای مدل در حوزه مذکور داشتند. همچنین برای پیکربندی مدل از سه طرح واره خرد فیزیک Lin، Thompson و WSM6 استفاده شد و با توجه به معیارهای ارزیابی خطا RMSE و NSE هر سه این طرح‌واره‌ها عملکرد مشابهی داشتند.

واژه‌های کلیدی: ابوالعباس، داده‌های بازتحلیل ERA5، شبیه‌سازی بارش، مدل اقلیمی، WRF

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۰ مهر ۱۴۰۱ اصلاح: ۱۵ آبان ۱۴۰۱ پذیرش: ۲۴ آبان ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۹ اسفند ۱۴۰۱

استاد: یزدان پناه قرایی، ف. پوررضا بیلندی، م. میان‌آبادی، الف. بابایی، م. و ایمانی امیرآباد، س. (۱۴۰۱). ارزیابی شبیه‌سازی بارش با استفاده از مدل WRF/WRF-Hydro (مطالعه موردی: حوضه ابوالعباس)، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، ۲(۴)، ۱-۱۴، شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2023.8482.1031



مقدمه

ایران کشوری با اقلیم خشک و نیمه خشک است که هر ساله شاهد اثرات نامطلوب رویدادهای حدی بارش کم (خشکسالی) و رویدادهای بارش زیاد (سیل) نیز بوده است (صدیقی و صدیقی، ۲۰۲۰)؛ از این رو پیش‌بینی بارش یکی از مهمترین مسائل در حوزه مدیریت منابع آب می‌باشد (زابل و موسر ۲۰۱۳). تاکنون روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی بارش استفاده شده‌است (لیو و همکاران، ۲۰۱۹؛ ژاو و همکاران، ۲۰۲۱؛ ژاو و همکاران، ۲۰۲۰؛ نی و همکاران، ۲۰۲۰). پیش‌بینی بارندگی در چند دهه گذشته یکی از نگرانی‌های مهم جهانی در جامعه علمی است. چالش‌های عمده‌ای که در فرآیند پیش‌بینی بارندگی با آن مواجه است شامل ماهیت تصادفی و فراوانی آن است. علاوه بر این، در دسترس نبودن داده‌های تاریخی طولانی‌مدت، فرآیند پیش‌بینی بارندگی را پیچیده‌تر می‌کند. همچنین بارندگی یک پدیده بهم پیوسته است که تحت تأثیر سایر متغیرهای هواشناسی مانند حداقل و حداکثر دما، فشار، رطوبت نسبی و سرعت باد قرار دارد. از آنجایی که بارندگی متغیری است که با برخی از پدیده‌های طبیعی نامطلوب مانند حرکت سیل همبستگی دارد، پیش‌بینی دقیق بارندگی می‌تواند به عنوان یک سیستم هشدار اولیه برای فرآیندهای طبیعی نامطلوب عمل کند (پیرس و همکاران، ۲۰۱۴؛ چن و همکاران، ۲۰۲۲؛ ایمانی و همکاران، ۱۳۹۹).

با گسترش کاربرد مدل‌های عددی در دهه اخیر، تحقیقات در ارتباط با ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی وارد مرحله تازه‌ای شده است. مدل‌های جهانی پیش‌بینی عددی آب و هوا در درک الگوهای جوی در مقیاس همدیدی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما به دلیل وضوح بالا، قادر به تعیین کمیت فرآیندهای مقیاس محلی یا منطقه‌ای نیستند. با این حال، مدل‌های منطقه‌ای مانند مدل تحقیق و پیش‌بینی هوا (WRF) (اسکاماروک و همکاران، ۲۰۰۸) برای پیش‌بینی‌های بارش کوتاه برد و با وضوح بالا استفاده شده‌اند (روندا و همکاران، ۲۰۱۷). مدل WRF سامانه‌ای برای پیش‌بینی عددی وضع هوا و حالت جو می‌باشد که برای کاربردهای پژوهشی و در عین حال عملیاتی طراحی شده است. طراحی مدل WRF نتیجه تلاش‌های مشترک نهادهای مختلفی از جمله مرکز تحقیقات جوی ملی ایالات متحده (NCAR)، بخش هواشناسی ریزمقیاس و میان‌مقیاس NCAR موسوم به MMM، مراکز اقیانوس‌شناسی و جوی آمریکا (NOAA)، مرکز پیش‌بینی محیطی (NCEP) و مرکز هواشناسی نیروی هوایی آمریکا (AFWA) است.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تا کنون مطالعات متعددی جهت ارزیابی مدل WRF انجام گرفته است. گودرزی و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی مدل WRF در پیش‌بینی بارش‌های سنگین در حوضه آبریز رودخانه کن تهران پرداختند؛ نتایج حاکی از آن بود که بارش‌های پیش‌بینی شده توسط NCEP بسیار کمتر از مقدار واقعی برآورد شده‌اند و مدل WRF عملکرد نسبتاً مطلوبی در پیش‌بینی بارش‌های سنگین داشت. اسفندآبادی و فاضلی (۱۳۹۸) به بررسی صحت داده‌های هواشناسی بصورت نقطه‌ای و حوضه‌ای (متوسط در سطح حوضه) در مقایسه با مقادیر مشاهداتی پرداختند. نتایج مدل‌سازی هواشناسی در مراجع مختلف، مانند مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا مانند WRF، GFS، MM5 استفاده و میزان صحت آن‌ها (البته

¹ Seddighi & Seddighi

² Liu et al

³ Zhao et al

⁴ Zhao et al

⁵ Ni et al

⁶ Pearce et al

⁷ Chen et al

⁸ Skamarock et al

⁹ Ronda et al

¹⁰ National Center for Atmospheric Research

¹¹ Mesoscale and Microscale Meteorology

¹² National Oceanic and Atmospheric Administration

¹³ National Centers for Environmental Prediction

¹⁴ Air Force Weather Agency

بصورت روزانه) بررسی شده است. با توجه به اختلاف محتمل بین داده‌های پیش بینی جوی و مقادیر مشاهداتی، سعی شد ارتباط معنی دار بین این داده ها ایجاد شود و از ارتباط بین داده های محاسباتی و مشاهداتی، برای پیش بینی سیل در حوضه های غرب کشور استفاده گردد. نتایج صحت سنجی نشان می دهد که مدل WRF قابلیت خوبی برای پیش بینی بارندگی در حوضه های غرب کشور دارد. ذاکری و همکاران (۱۳۹۳) به راستی آزمایی برون داد مدل WRF برای بارندگی بر روی کشور ایران در دوره فوریه تا انتهای می سال ۲۰۰۹ پرداختند. نتایج نشان داد که مهارت مدل در پیش بینی بارش برای آستانه های مختلف متفاوت است و با افزایش آستانه بارش مهارت مدل در پیش بینی مقدار بارندگی کاهش می یابد. در مجموع به نظر می رسد مدل از قابلیت نسبتا مطلوبی برای پیش بینی بارندگی در چارچوب عملیاتی در منطقه ایران برخوردار است. ال افندی و همکاران (۲۰۱۳) وقایع بارندگی شدید در شبه جزیره سینا را با استفاده از مدل WRF شبیه سازی کردند تا بتواند نحوه هشدارهای اولیه برای کاهش خطر سیلاب سریع را بررسی کنند. در بررسی یک سیلاب شدید در ۱۸ ژانویه به این نتیجه رسیدند که مقدار بارش مشاهداتی و مقدار شبیه سازی شده ی آن دارای RMSE کمتر از ۵ درصد بود. روگلیس و وارنر^۲ (۲۰۱۷) از مدل WRF برای پیش بینی بارش و رواناب در حوضه رودخانه تونجولا در کلمبیا استفاده کردند. نتایج کارایی این مدل را برای ارائه پیش بینی بارش در حوضه های آب و هوایی کوهستانی گرمسیری نشان داد.

ریز مقیاس نمایی با استفاده از WRF تحت تأثیر ویژگی های منطقه ای و انتخاب طرحواره های فیزیک است (گسلا و همکاران،^۳ ۲۰۱۴). لیو و همکاران^۴ (۲۰۲۱) دریافته اند که بهترین پیکربندی مدل برای رویدادهای بارندگی شدید در مصر شامل WRF Single Moment 6-class (WSM6) microphysical (MP)، MYJ PBL و طرح های Grell-Freitas CU است. پاتل و همکاران^۵ (۲۰۱۹) شش رویداد بارندگی را با استفاده از مجموعه داده های ERA-Interim Reanalysis با مدل WRF شبیه سازی کردند و نشان دادند که طرح های CU بر میزان بارندگی تأثیر می گذارند در حالی که طرح های MP تأثیر کمتری دارند. همچنین طرح شهری BEP، Grell-Devenyi 3D CU، و طرح Lin MP بهترین عملکرد را دارند. این مطالعات ثابت کردند که طرح های پارامترسازی فیزیکی عملکردهای متفاوتی در مناطق مورد مطالعه مختلف دارند و هیچ پیکربندی مدل یکسانی برای همه مناطق ندارند. مجموعه چند فیزیک می تواند راه حلی برای تعیین پیکربندی بهینه فیزیک تا حدی در یک منطقه مورد مطالعه باشد.

در این مطالعه جهت ارزیابی مدل WRF/WRF-Hydro، حوضه آبریز ابوالعباس انتخاب گردید. با توجه به کوهستانی بودن این حوضه و وقوع سیلاب های شدید، این حوضه به دقت شبیه سازی بیشتر بارش نیاز دارد. برای داده های ورودی مدل هواشناسی و شرایط اولیه مدلسازی آن از داده های بازتحلیل ERA5 که تاکنون از جمله بهترین داده های ورودی مدل های اقلیمی می باشد استفاده شده که در این مطالعه دقت و کارایی این داده ها برای مدل جفت شده و جفت نشده WRF/WRF-Hydro نیز بررسی شد. بدین منظور هدف اصلی این پژوهش بررسی کارایی مدل WRF/WRF-Hydro در پیش بینی بارش و ارزیابی این مدل در حالت جفت شده و جفت نشده برای چند واقعه سیلابی در حوضه آبریز ابوالعباس است.

روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه

حوضه ابوالعباس واقع در استان خوزستان، بزرگترین زیرحوضه رودخانه زرد می باشد. این حوضه به مساحت ۲۸۳ کیلومترمربع در محدوده ۴۹°۵۴' تا ۵۰°۰۵' طول شرقی و ۳۱°۴۲' تا ۳۱°۴۴' عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع این حوضه آبریز کوهستانی از ۹۶۱ تا ۳۲۱۱ متر از سطح دریا با ارتفاع متوسط ۱۱۱۳ متر تغییر می کند و ساختاری پیچیده با زیر حوضه هایی با اندازه های مختلف دارد. حوضه ابوالعباس با توجه به محل تقاطع رودخانه ها و نقاط با اهمیت به شش زیرحوضه تقسیم شد. شکل ۱ نقشه موقعیت حوضه ابوالعباس را در استان خوزستان نشان می دهد.

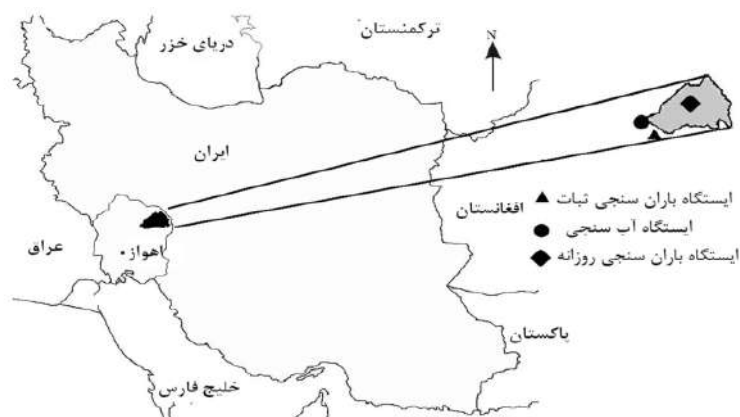
¹ El Afandi et al

² Rogelis & Werner

³ Gsella et al

⁴ Liu et al

⁵ Patel et al



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی زیر حوضه ابوالعباس در ایران و استان خوزستان

این حوضه‌ی کوهستانی دارای کوه‌های مرتفع پوشیده از درختان متنوع بلوط می‌باشد. متأسفانه با گذر زمان، پوشش جنگلی و زمین‌های زراعی این منطقه دستخوش تغییراتی شده است و خطر بروز سیل را افزایش داده که گویای اهمیت پیش‌بینی بارش در این حوضه می‌باشد.

دوره انجام شبیه‌سازی و داده‌ها

وقایع مورد استفاده در این تحقیق بایستی دارای ویژگی‌هایی باشد تا از خطای شبیه‌سازی تا حد امکان بکاهد. به‌طوریکه بتوان نسبت به هم‌زمانی بارش در تمامی نقاط حوضه اطمینان داشت. همچنین انتخاب وقایع باید به‌گونه‌ای صورت گیرد که هر رویداد سیل معرف یک واقعه مستقل باشد. در نهایت چهار واقعه در سال‌های ۱۹۷۹، ۱۹۸۳، ۱۹۸۴ و ۱۹۹۳ انتخاب گردید که مشخصات این رویدادها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. مشخصات رویدادهای منتخب در حوضه آبریز ابوالعباس

شماره سیلاب	تاریخ وقوع	مقدار بارش	دبی اوج برحسب m^3/s	شرایط رطوبتی خاک
۱	۱۹۷۹/۱۲/۱۳	۲۰	۱۴,۲۶	خشک
۲	۱۹۸۳/۰۱/۲۴	۴۳	۷۸	متوسط
۳	۱۹۸۴/۱۱/۱۵	۳۷	۲۵,۵	خشک
۴	۱۹۹۳/۰۱/۳۱	۷۴	۴۰	متوسط

در این مطالعه برای اجرای مدل از مجموعه داده‌های جوی در مقیاس جهانی، مانند داده‌های سیستم پیش‌بینی جهانی GFS و ECMWF (ERA5) Reanalysis v5 استفاده شد. از داده‌های GFS به‌عنوان شرایط اولیه برای مدل منطقه‌ای WRF با وضوح بالا انتخاب شد. دوره‌های داده با دوره‌های شبیه‌سازی مدل WRF با بازه زمانی ۳ ساعته و وضوح افقی $۰,۲۵ \times ۰,۲۵$ درجه برای همه متغیرها سازگار است. داده‌های ERA5 نسل پنجم داده‌های بازتحلیل مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت وضع هوا (ECMWF) برای اقلیم جهانی در ۴ تا ۷ دهه گذشته است. داده‌های بازتحلیل، داده‌های خروجی مدل است که با داده‌های مشاهداتی از سراسر جهان و با در نظر گرفتن رابطه فیزیکی-دینامیکی بین جو و اقیانوس و اثر توپوگرافی پیچیده کره زمین و توزیع دریاها، اقیانوس‌ها و جنگل‌های گسترده، ترکیب می‌شود. این اصل، که داده‌های گواهی نامیده می‌شود، مبتنی بر روشی است که توسط مراکز پیش‌بینی آب و هوا به کار می‌رود. در این روش، هر چند ساعت (۱۲ ساعت در ECMWF) پیش‌بینی قبلی با مشاهدات جدید موجود به روشی مطلوب برای ایجاد بهترین برآورد جدید وضعیت جو، به نام داده‌های تحلیلی، ترکیب می‌شود.

داده‌های بازتحلیل نیز به همین شیوه عمل می‌کنند، اما مدت زمان گوار داده‌ها کوتاه‌تر است. با استفاده از این روش برای چندین دهه گذشته، داده بازتحلیل ایجاد شده است. جزئیات بیشتر در مورد داده‌های ERA5 در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. جزئیات داده‌های ERA5

نوع داده	شبکه‌ای
طرح	شبکه منظم طول و عرض جغرافیایی
دامنه افقی	جهانی
تفکیک افقی	0.25*0.25
دامنه عمودی	1hpa تا ۱۰۰۰ hpa
وضوح عمودی	137 سطح فشار
دامنه زمانی	1979 تا کنون
وضوح زمانی	ساعتی
فرمت فایل	nc و GRIB

مدل WRF

مدل WRF به صورت کد باز و بسیار منعطف طراحی شده، به گونه‌ای که روی طیف گسترده‌ای از محیط‌های محاسبه‌ای از ابررایانه‌ها تا رایانه‌های رومیزی و خانگی قابل اجراست. گزینه‌های فیزیکی و دینامیکی آن حاصل تجربه و تلاش گروه علمی گسترده‌ای است. مدل WRF یک مدل غیرهیدروستاتیک (با گزینه اختیاری هیدروستاتیک) است که شبکه‌بندی افقی آن شبکه آراکاوای^۱ C است. در این مدل از طرحواره‌های انتگرال‌گیری مرتبه دوم و سوم زمانی رانگ-کوتا و طرحواره‌های مرتبه دو تا شش برای فرارفت در دو راستای افقی و قائم استفاده می‌شود (اسکاماروک و همکاران؛ ۲۰۰۸).

این مدل از دامنه چندگانه تودرتو پشتیبانی می‌کند. این نوع تکنیک اجازه می‌دهد تا وضوح را با وارد کردن یک شبکه (یا شبکه‌ها) اضافی در شبیه‌سازی بر روی منطقه مورد نظر متمرکز کنید. شبکه‌های تو در تو مستطیل هستند و با شبکه اصلی (بزرگ‌تر) که درون آن لانه شده‌اند، تراز می‌شوند. علاوه بر این، شبکه‌های تو در تو هر تصحیح مکانی و زمانی شبکه صحیح را امکان پذیر می‌سازد. شرایط مرزی شبکه ریزتر با درون‌یابی شبکه بزرگ فراهم می‌شود. نحوه تعامل بین دو شبکه می‌تواند لانه‌سازی یک طرفه یا تو در تو دو طرفه باشد. در روش اول تنها راه تبادل اطلاعات از شبکه بزرگ به شبکه کوچک وجود دارد. در راه دوم تبادل اطلاعات بین شبکه‌ها در هر دو جهت است که اتصال شبکه کوچک، شبکه اصلی را برای نقاط شبکه اصلی که در داخل شبکه کوچک قرار دارد جایگزین می‌کند.

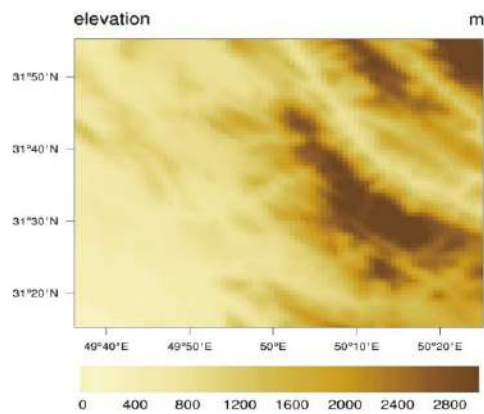
در این مطالعه با استفاده از نرم افزار domainwizard، منطقه شبیه‌سازی از سه شبکه تو در تو (لانه‌ای) با فواصل شبکه افقی ۹، ۳ و ۱ کیلومتر در راستای افقی تشکیل شده است (شکل ۲). لازم به ذکر است که در آزمایش های WRF/WRF-Hydro، اجزای روندیابی WRF-Hydro فقط در داخلی‌ترین دامنه اجرا می‌شوند.

تهیه توپوگرافی منطقه یکی دیگر از داده‌های ورودی مدل WRF می‌باشد که در این مطالعه با تفکیک افقی ۹۰۰ متر جهت ورودی به مدل در شکل ۳ داده شد.

¹ Skamarock et al



شکل ۲. حوضه آبریز ابوالعباس با پیکربندی تو در تو دامنه‌های WRF



شکل ۳. توپوگرافی مدل WRF با تفکیک افقی ۹۰۰ متر

مدل WRF به شرایط مرزی از مدل‌های جهانی (GCMs) نیاز دارد. در هر دو آزمایشی که در این مطالعه انجام شده است، شرایط اولیه و مرزی توسط داده‌های بازتحلیل ERA5 ارائه شده است. WRF به منظور توصیف بهتر ویژگی‌های اتمسفر از مقیاس بزرگ تا مقیاس کوچک، چندین گزینه فیزیک را ارائه می‌دهد. گزینه‌ها معمولاً از ساده و کارآمد تا پیچیده و از نظر محاسباتی پرهزینه‌تر هستند و از طرح‌های تازه توسعه یافته تا طرح‌های آزمایش شده می‌باشند. فیزیک مدل اجازه می‌دهد تا پارامترهای متفاوتی را در زمینه خردفیزیک، پارامترهای ابر کومولوس، فیزیک سطح، لایه مرزی سیاره‌ای و فیزیک تابش جو تنظیم کند. خرد فیزیک ابر شامل تمام جنبه‌های مربوط به خاصیت ابر در مقیاس کوچک از جمله غلظت و اندازه قطرات، تشکیل کریستال یخ، تعامل بین قطرات و تشکیل قطرات باران است و به همین دلیل بالاترین تاثیر را در بارش و فرآیندهای هسته‌ای ابر دارد. جدول (۳) خلاصه‌ای از طرحواره‌های خردفیزیک در WRF که در تحقیق حاضر استفاده شده را ارائه می‌دهد.

جدول ۳. خلاصه‌ای از خردفیزیک‌های به کار برده شده در تحقیق

منبع	توضیحات	طرحواره
لین و همکاران (۱۹۸۳)	شش طبقه بندی طرحواره با بخار آب، آب ابری، باران، یخ ابر، برف و گروپل. برای مطالعات تحقیقی مناسب تر است	Lin(Purdue)
تامپسون و همکاران (۲۰۰۸)	بروزرسانی جدید طرح قبلی تامپسون (۲۰۰۷) می‌باشد. این طرح طیفی پیچیده تری دارد که جداول جستجو و مفروضات جدید توزیع اندازه برف را در پیش می‌گیرد. طرح مناسب برای شبیه سازی با وضوح بالا.	Thompson
هانگ و لیم (۲۰۰۶)	طرحواره ای با یخ، برف و گروپل. مناسب برای شبیه سازی با وضوح بالا.	WSM6

جدول ۴. خلاصه‌ای از پیکربندی مدل WRF

گزینه انتخاب شده	موضوع
ERA5	داده‌های اجرا
27s	گام‌های زمانی
1 hr	فاصله زمانی خروجی‌ها
50hPa	فشار
lambert	وضوح طرح
Noah-MP	مدل سطح زمین
Lin Purdue/Thompson/WSM6	طرحواره‌های خرد فیزیک
Monin-Obukhov	طرحواره فیزیک سطح
Shin Hong	لایه مرزی (PBL)
Rrtm	فیزیک طول موج بلند
Dudhia	فیزیک طول موج کوتاه

مدل WRF-Hydro

WRF-Hydro از افزونه‌های رایگان مدل WRF است که مدل هیدرولوژیکی-هیدرولیکی توزیعی، فیزیکی و چند مقیاسی است (گوچیس و همکاران^۱ ۲۰۱۵). این مدل در سال ۲۰۱۳ با هدف تسهیل جفت کردن مدل‌های هیدرولوژیکی با مدل‌های جوی و سطح زمین توسعه یافته است (گوچیس و همکاران ۲۰۱۵). لذا WRF-Hydro یک ساختار مدل‌سازی هیدرولوژیکی مستقل نیست بلکه سیستم جفت شده از مدل‌های هیدرولوژیکی با مدل‌های جوی است.

WRF-Hydro دارای فیزیک‌های مختلفی می‌باشد که بسته به انتخاب هریک، مدل دارای قابلیت‌های مدل‌سازی یک بعدی سطح زمین (Noah, Noah-MP)، جریان سطحی، جریان زیرسطحی اشباع، روندیابی در شبکه جریان، جریان پایه و روندیابی در مخزن/دریاچه می‌باشد. این مدل می‌تواند هم به عنوان یک مدل هیدرولوژیکی مستقل و هم به عنوان یک مدل جفت شده با مدل جوی WRF استفاده شود. تنظیمات فیزیکی سطح زمین می‌تواند مدل‌های چند لایه‌ای از سطح زمین باشد که از یک مدل حرارتی ساده گرفته تا مدل‌های پوشش گیاهی و رطوبت

¹ Gochis et al

کامل خاک، پوشش برف و یخ دریا را شامل شود. در این تحقیق ما از مدل سطح زمین Noah-MP استفاده کرده‌ایم. مدل Noah-MP در واقع طرح مبتنی بر Noah LSM که از چندین گزینه برای فرآیندهای کلیدی تعامل جو زمین استفاده می‌کند، می‌باشد.

ارزیابی میزان خطا

خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)

انحراف جذر میانگین مربعات (RMSD) یا خطای میانگین مربعات (RMSE) یک معیار رایج برای استفاده از تفاوت بین مقادیری (نمونه یا مقادیر جمعیت) که توسط یک مدل یا برآورد کننده پیش‌بینی شده و مقادیر مشاهده شده می‌باشد (چای و دراکسلر ۲۰۱۴). این معیار برای سنجش بزرگی خطاها در پیش‌بینی‌ها برای نقاط مختلف داده در یک اندازه‌گیری واحد عمل می‌کند. تأثیر هر خطا بر RMSE متناسب با اندازه خطای مربع است. بنابراین خطاهای بزرگتر تأثیر نامتناسب زیادی بر RMSE دارند؛ در نتیجه، RMSE نسبت به داده‌های پرت حساس است. مقدار RMSE همواره مثبت بوده و مقدار صفر (تقریباً هرگز در عمل به دست نیامده است) نشان دهنده تناسب کامل با داده‌ها می‌باشد. به طور کلی، هر چه مقدار RMSE کمتر باشد نشان‌دهنده میزان خطای کمتری خواهد بود. این معیار از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (P_{sj} - P_{oj})^2} \quad (1)$$

در این فرمول M تعداد گام‌های زمانی، P_{sj} و P_{oj} به ترتیب داده‌های بارش شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای هستند.

ضریب نش-ساتکلیف (NSE)

از ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NSE) برای ارزیابی مهارت پیش‌بینی مدل‌های آب‌شناسی استفاده می‌شود. در ضریب نش-ساتکلیف نسبت واریانس خطای سری‌های زمانی شبیه‌سازی شده بر واریانس سری‌های زمانی مشاهده شده را از عدد یک کم می‌کنیم و به صورت زیر تعریف شده است (چاپتا و همکاران؛ ۲۰۰۹):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_m^t - Q_o^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \bar{Q}_o)^2} \quad (2)$$

در این رابطه \bar{Q}_o میانگین دبی مشاهده شده، Q_m^t دبی شبیه‌سازی شده و Q_o^t مقدار دبی مشاهده شده در زمان t. در حالت یک مدل کامل با واریانس خطای برآورد برابر با صفر، نش-ساتکلیف برابر ۱ است ($NSE = 1$)؛ برعکس، در مدلی که واریانس خطای برآورد برابر با واریانس سری‌های زمانی مشاهده شده باشد، مقدار نش-ساتکلیف برابر با صفر می‌شود ($NSE = 0$) در حقیقت، $NSE = 0$ نشان می‌دهد که مدل از نظر مجموع خطای مربع دارای مهارت پیش‌بینی یکسانی با میانگین سری‌های زمانی است. بازده کمتر از صفر ($NSE < 0$) زمانی رخ می‌دهد که میانگین مشاهده شده پیش‌بینی بهتری نسبت به مدل داشته باشد. در واقع هر چه مقادیر NSE نزدیک به ۱ باشد، نشان‌دهنده‌ی پیش‌بینی بهتر مدل است.

یافته‌ها

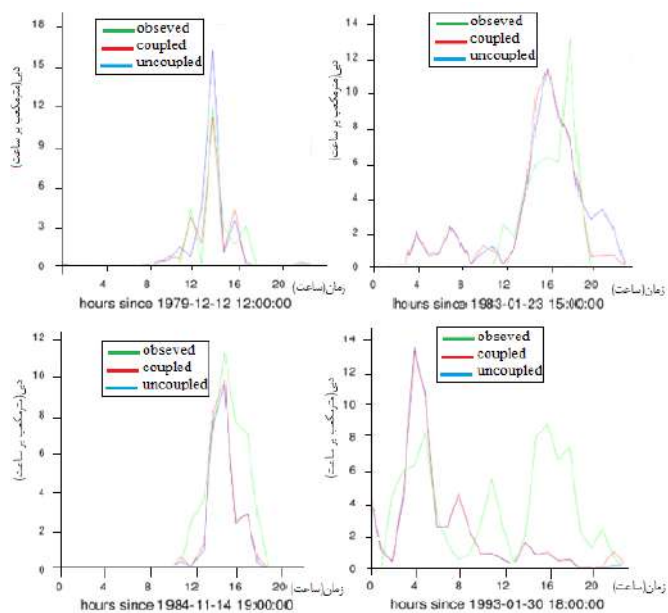
در این مطالعه به شبیه‌سازی بارش در ۴ رویداد سال‌های ۱۹۷۹، ۱۹۸۳، ۱۹۸۴ و ۱۹۹۳ با سه طرحواره میکروفیزیک Thompson, Lin و WSM6 در حالت جفت‌شده و جفت‌نشده اجرا شد. برای انجام شبیه‌سازی‌ها ابتدا از مدل WRF(V4.0) در فضای سیستم عامل لینوکس استفاده شد؛ پس از اجرای مدل WRF، برای پیش‌پردازش و اجرای مدل، از نسخه WRF-Hydro V5.1.1 استفاده می‌شود. از خروجی‌های

مدل WRF نمی‌توان به‌طور مستقیم برای مدل WRF-Hydro استفاده کرد. به همین دلیل با استفاده از کد زبان برنامه‌نویسی NCL، شبکه‌بندی خروجی‌های مدل WRF تغییر داده شدند و به‌عنوان ورودی مدل WRF-Hydro استفاده شدند.

بر خلاف مطالعات گسلا و همکاران (۲۰۱۴) و پاتل و همکاران (۲۰۱۹) که از چند طرحواره میکروفیزیک منتخب، طرحواره‌ها نتایج تقریباً متفاوتی ارائه دادند در این مطالعه در شبیه‌سازی به صورت جفت‌شده هر سه طرحواره برای سال‌های ۱۹۷۹، ۱۹۸۳ و ۱۹۸۴ عملکرد تقریباً مشابه‌ای داشتند. در سال ۱۹۹۳ از سه بیشینه‌ی بارش رخ داده، فقط بیشینه اول بارش توسط مدل شبیه‌سازی شده است و مدل برای دو بیشینه بعدی عملکرد نسبتاً ضعیفی داشته است.

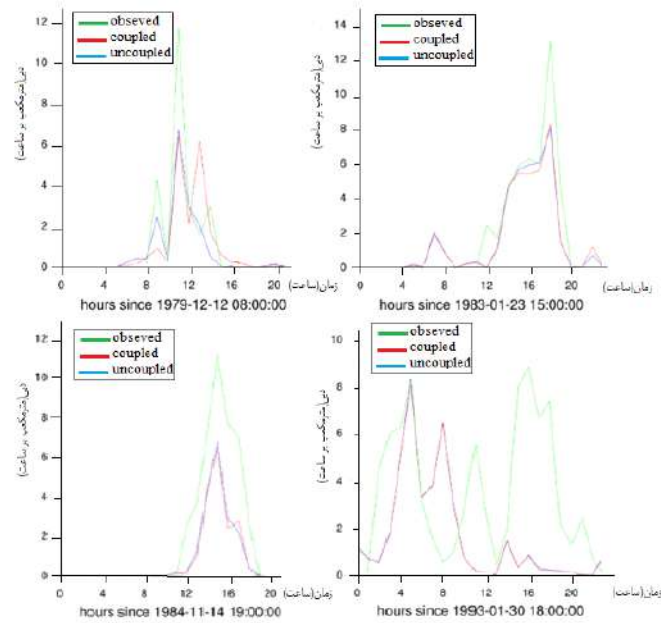
در مرحله بعد شبیه‌سازی بارش در حالت جفت‌شده اجرا شد. شرایط تمام شبیه‌سازی‌ها در حالت جفت‌شده مشابه شرایط حالت جفت‌نشده در نظر گرفته شد. برای سه رویداد ۱۹۸۳، ۱۹۸۴ و ۱۹۹۳ عملکرد مدل در حالت جفت‌شده تا حدودی بهتر از حالت جفت‌نشده است. اجرای سال ۱۹۷۹ در حالت جفت‌شده تقریباً مشابه داده‌های واقعی شدند و عملکرد مدل بسیار خوب بود.

اشکال ۵، ۶ و ۷ منحنی‌های بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی در حالت جفت‌شده و جفت‌نشده برای سه طرحواره مذکور نشان می‌دهد. با توجه به منحنی‌های بارش می‌توان نتیجه گرفت که در حالت کلی مدل WRF/WRF-Hydro هم در حالت جفت‌شده و هم در حالت جفت‌نشده‌ی آن کم برآورد (under estimate) می‌باشد.

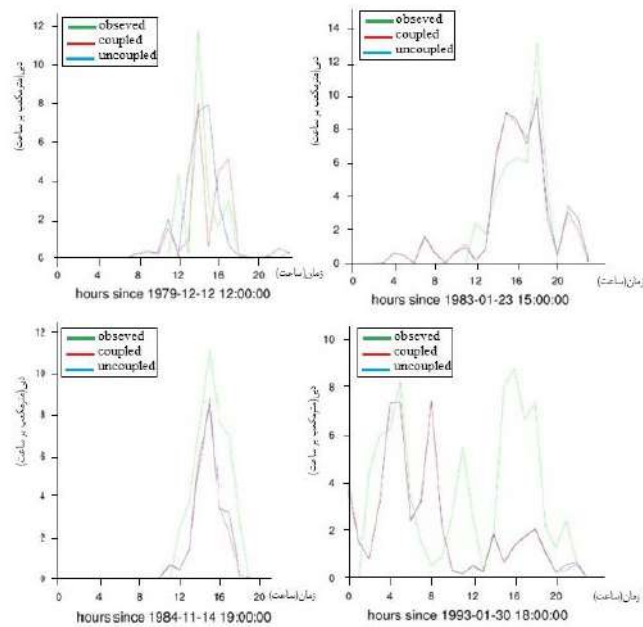


شکل ۴. منحنی‌های بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در طرحواره Lin

¹ NCAR Command Language



شکل ۵. منحنی های بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در طرحواره Thompson



شکل ۶. منحنی های بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در طرحواره WSM6

در ادامه برای ارزیابی خطا و مقایسه‌ی شبیه‌سازی‌ها در حالت‌های جفت‌شده و جفت‌نشده از معیار RMSE استفاده شد که در جدول ۵ مقادیر آن بیان شده‌است. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که میزان خطا در حالت جفت‌شده و جفت‌نشده در هر سه طرحواره تقریباً با هم برابرند و اغلب مقدار خطا در حالت جفت‌شده کمی بهتر از حالت جفت‌نشده می‌باشد. میزان خطا در سال ۱۹۹۳ در هر دو حالت جفت‌شده و جفت‌نشده بیشتر از دیگر سال‌ها بود که می‌تواند ناشی از خطای داده‌های ERA5 یا داده‌های مشاهداتی آن سال باشد.

جدول ۵. برآورد میزان خطای RMSE در شبیه‌سازی بارش در حالت جفت‌شده و جفت‌نشده در طرحواره‌های Lin, Thompson, Purdue و WSM6 (مقادیر بر حسب میلی متر بر ساعت)

WSM6 طرحواره	Lin Purdue طرحواره	Thompson طرحواره	
1.529586	0.9365454	1.212862	جفت‌شده ۱۹۷۹
1.445897	1.632094	1.620066	جفت‌نشده ۱۹۷۹
1.567547	2.014604	1.3729	جفت‌شده ۱۹۸۳
1.599869	2.176302	1.374915	جفت‌نشده ۱۹۸۳
1.434166	1.611722	1.942872	جفت‌شده ۱۹۸۴
1.536774	1.650395	1.994799	جفت‌نشده ۱۹۸۴
3.359717	3.839743	3.813318	جفت‌شده ۱۹۹۳
3.518452	3.834860	3.816754	جفت‌نشده ۱۹۹۳

بحث

ایران کشوری با اقلیم خشک و نیمه خشک است که هر ساله شاهد اثرات نامطلوب رویدادهای حدی بارش کم (خشکسالی) و رویدادهای بارش زیاد (سیل) نیز بوده است. از این رو پیش‌بینی بارش یکی از مهمترین مسائل در حوزه مدیریت منابع آب می‌باشد. تاکنون روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی بارش استفاده شده‌است. پژوهش‌های هیدرولوژیکی پیشرفته در پیش‌بینی‌های کوتاه مدت هواشناسی نامشخص است و هنوز در دست بررسی و درک تاثیر آن است. انتظار می‌رود مفهوم اتصال مدل هیدرولوژیکی (WRF-Hydro) با مدل جوی (WRF) عدم قطعیت‌های مربوط به توزیع مکانی و زمانی وقایع طوفان، به ویژه برای مناطق با خصوصیات پیچیده را کاهش دهد. همانند مطالعه گودرزی و همکاران (۱۳۹۷) و ذاکری و همکاران در این مطالعه هم نتایج حاکی از این بود که مدل WRF دارای قابلیت خوبی در پیش‌بینی بارش‌های سنگین دارد و می‌توان از این مدل برای پیش‌بینی بارش در حوضه‌های کوهستانی استفاده نمود.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر به بررسی ارزیابی مدل WRF/WRF-Hydro جهت پیش‌بینی ۴ رویداد بارش که منتج به وقوع سیلاب شده‌اند، پرداخت شد. در شبیه‌سازی‌های بارش این مدل کم تخمین بود و مدل در حالت جفت‌شده نتایج بهتری ارائه داد. جهت اجرای مدل از داده‌های ERA5

استفاده شد که این داده‌ها عملکرد مطلوبی برای مدل در حوزه مذکور داشتند. همچنین برای پیکربندی مدل از سه طرح واره خرد فیزیک Lin، Thompson و WSM6 استفاده شد و با توجه به معیارهای ارزیابی خطا RMSE و NSE هر سه این طرحواره‌ها عملکرد مشابهی داشتند.

منابع

- ایمانی، سمیه، حسن لی، امیر محمد، فرخ نیا، اشکان، جوادی، فاطمه، و نجفی، محمد سعید. (۱۳۹۹). ارزیابی کارایی مدل WRF-Hydro در توسعه سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب (مطالعه موردی حوضه آبریز کشکان). تحقیقات منابع آب ایران، ۱۶(۴)، ۲۲۵-۲۴۰. http://www.iwrr.ir/article_126926.html
- ذاکری، زینب، آزادی، مجید، و صحرائیان، فاطمه. (۱۳۹۳). راستی آزمایی برون‌داد مدل WRF برای بارندگی بر روی کشور ایران در دوره فوریه تا انتهای می سال ۲۰۰۹. نشریه نیوار، ۳۸(۸۶-۸۷)، ۳-۱۰. https://nivar.irimo.ir/article_13252.html
- عبداللهی اسفندآبادی، مینا، و فاضلی، میثم. (۱۳۹۸). ارزیابی دقت پیش‌بینی هواشناسی در برآورد سیل در حوضه‌های غرب کشور. سومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران، تبریز. <https://civilica.com/doc/950985>
- گودرزی، لیلا، بنی حبیب، محمدابراهیم، و غفاریان، پروین. (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد مدل WRF در شبیه‌سازی بارش‌های سنگین. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۵(۱)، ۲۴۲-۲۲۹. <https://sid.ir/paper/156374/fa>

References

- Abdullahi Esfandabadi, M., & Fazli, M. (2018). Evaluation of the accuracy of meteorological forecast in the estimation of floods in the western basins of the country. the third national hydrology conference of Iran, Tabriz. <https://civilica.com/doc/950985> [In Persian]
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)—Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific model development*, 7(3), 1247-1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- Chen, C., Zhang, Q., Kashani, M. H., Jun, C., Bateni, S. M., Band, S. S., & Chau, K. W. (2022). Forecast of rainfall distribution based on fixed sliding window long short-term memory. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 16(1), 248-261. <https://doi.org/10.1080/19942060.2021.2009374>
- Gochis, D. J., Yu, W., & Yates, D. N. (2015). The WRF-Hydro model technical description and user's guide, version 3.0. NCAR Tech. National Center for Atmospheric Research, 120. http://www.ral.ucar.edu/projects/wrf_hydro
- Gsella, a., de Meij, A., Kerschbaumer, A., Reimer, E., Thunis, P., & Cuvelier, C. (2014). Evaluation of MM5, WRF and TRAMPER meteorology over the complex terrain of the Po Valley, Italy. *Atmospheric Environment*, 89, 797-806. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.019>
- Guderzi, L., Bani Habib, M., Ghafarian, P. (2017). Evaluation of WRF model performance in simulating heavy rainfall. *Water and soil conservation research (agricultural sciences and natural resources)*, 25(1), 229-242 <https://sid.ir/paper/156374/fa> [In Persian]
- Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & Martinez, G. F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of hydrology*, 377(1-2), 80-91. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003>
- Imani, S., Hasan Lee, A., Farrokhnia, A., Javadi, F., & Najafi, M. (2021). Evaluating the efficiency of WRF-Hydro model in the development of flood forecasting and warning systems (case study of Kashkan watershed). *Iran Water Resources Research*, 16(4). http://www.iwrr.ir/article_126926.html [In Persian]

- Liu, Y., Chen, Y., Chen, O., Wang, J., Zhuo, L., Rico-Ramirez, M. A., & Han, D. (2021). To develop a progressive multimetric configuration optimisation method for WRF simulations of extreme rainfall events over Egypt. *Journal of Hydrology*, 598, 126237. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126237>
- Liu, Y., Zhao, Q., Yao, W., Ma, X., Yao, Y., & Liu, L. (2019). Short-term rainfall forecast model based on the improved BP–NN algorithm. *Scientific reports*, 9(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56452-5>
- Ni, L., Wang, D., Singh, V. P., Wu, J., Wang, Y., Tao, Y., & Zhang, J. (2020). Streamflow and rainfall forecasting by two long short-term memory-based models. *Journal of Hydrology*, 583, 124296. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124296>
- Patel, P., Ghosh, S., Kagainalkar, A., Islam, S., & Karmakar, S. (2019). Performance evaluation of WRF for extreme flood forecasts in a coastal urban environment. *Atmospheric Research*, 223, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.03.005>
- Pearce, W., Holmberg, K., Hellsten, I., & Nerlich, B. (2014). Climate change on Twitter: Topics, communities and conversations about the 2013 IPCC Working Group 1 report. *PloS one*, 9(4), e94785. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094785>
- Rogelis, M. C., & Werner, M. (2018). Streamflow forecasts from WRF precipitation for flood early warning in mountain tropical areas. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(1), 853-870. <https://doi.org/10.5194/hess-22-853-2018>
- Ronda, R. J., Steeneveld, G. J., Heusinkveld, B. G., Attema, J. J., & Holtslag, A. A. (2017). Urban finescale forecasting reveals weather conditions with unprecedented detail. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98, 2675–2688. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0297.1>
- Seddighi, H., & Seddighi, S. (2020). How much the Iranian government spent on disasters in the last 100 years? A critical policy analysis. *Cost effectiveness and resource allocation*, 18(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12962-020-00242-8>
- Skamarock, W. C., and J. B. Klemp, 2008: A time-split nonhydrostatic atmospheric model for weather research and forecasting applications. *Journal of Computational Physics*, 227, 3465-3485. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2007.01.037>
- Skamarock, W., Klemp, J., Dudhi, J., Gill, D., Barker, D., Duda, M., Huang, X.Y., Wang, W., & Powers, J. (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3. Technical Report June National Center for Atmospheric Research Boulder, Colorado, USA. <http://dx.doi.org/10.5065/D68S4MVH>
- Zabel, F., & Mauser, W. (2013). 2-way coupling the hydrological land surface model PROMET with the regional climate model MM5. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(5), 1705-1714. <https://doi.org/10.5194/hess-17-1705-2013>
- Zakari, Z., Azadi, M., & Sahraian, F. (2013). Verification of the output of the WRF model for rainfall over Iran in the period from February to the end of May 2009. *Newar*, 38(8786), 10-3. https://nivar.irimo.ir/article_13252.html [In Persian]
- Zhao, Q., Liu, Y., Ma, X., Yao, W., Yao, Y., & Li, X. (2020). An improved rainfall forecasting model based on GNSS observations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(7), 4891-4900. 10.1109/TGRS.2020.2968124
- Zhao, Q., Liu, Y., Yao, W., & Yao, Y. (2021). Hourly rainfall forecast model using supervised learning algorithm. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60, 1-9. 10.1109/TGRS.2021.3054582
- El Afandi, G., Morsy, M., & El Hussieny, F. (2013). Heavy rainfall simulation over sinai peninsula using the weather research and forecasting model. *Int. J. Atmos. Sci*, 11, 241050. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/241050>



Investigating the effect of salinity and nitrogen stress on the yield and yield components of panicum millet

Yazdan Khodarahmi¹ , Amir Soltani Mohamadi² , Saeed Broumand Nasab³ , Hamzeh Ali Alizadeh⁴ 

¹ Ph. D. Student of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran. E-mail: Khodarahmii02@gmail.com.

² Associate Professor, Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran. E-mail: A.soltani@scu.ac.ir.

³ Professor, Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran. E-mail: boroomand@scu.ac.ir.

⁴ Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: H.alizadeh@ilam.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

Fodder plants play an important role in resolving the needs of livestock and as a result, satisfying the human need for livestock products. Physiological mechanisms of plant response to different stresses such as salinity and drought stress are new and powerful tools for breeding programs.

Unfavorable management of irrigation causes the creation of secondary salinity in agricultural lands, which ultimately leads to the wastage of water resources and the reduction of agricultural lands. deficiency of proper quality irrigation water along with underground brackish water resources and insufficient amounts of rainfall has caused the loss of more soil resources.

Therefore, it is necessary not only to make serious efforts to improve the use of quality water resources (to reduce the salinization of agricultural lands), but also to expand the production of crops in these areas.

During the last decades, various solutions have been used to exploit saline water and soil in Iran. Saline organisms are plants that are able to complete their life cycle under salinity stress conditions. The objective of this study was to investigate the effects of combined stresses of irrigation salinity and nitrogen fertilizer on the yield and yield components of millet plant.

Methodology

The field experiment was conducted as a split plot experiment in a randomized complete block design with three replications at the research farm, Faculty of Agriculture, Ilam University during growing season in 2022.

Treatments included four levels of irrigation salinity including 0.63, 3, 5, and 8 dS/m (S₁, S₂, S₃ and S₄) as main plots and three nitrogen fertilizer levels including; 100, 75 and 50 % of fertilizer requirement (N₁, N₂ and N₃) as subplots.

Then plots with dimensions of 2 x 2 meters were created, the needed panicum millet seeds were disinfected with appropriate fungicides from the Agriculture Department of Jihad Keshavarzi, Ilam province, and the planting process was carried out manually and based on the density used in Ilam (about 30 up to 35 kilograms for fodder millets) was done on June 25, 1400.

The amount of fertilizer used was based on the soil test and the required amount, 50% of which was given to the soil at the beginning of the growing season and the remaining 50% at the 5th stage of leafing in the form of water solution.

Results and discussion

The results showed that the effect of salinity stress was significant on leaf/stem ratio and panicle length at P<5% and for the rest of the yield components at P<1%. Also, the effect of different nitrogen treatments was significant on all components yield of millet, except leaf/stem ratio, panicle length and plant height. The interaction effect of salinity and nitrogen stress was significant on thousand seed weight, biomass weight, yield and harvest index at the P<1% and had no significant on leaf/stem ratio, panicle length and plant height. The highest millet yield was 3.76 tons per hectare in S1N1 treatment and the lowest yield was 2.53 tons per hectare in S4N1 treatment. Also, the results showed that between the control treatment and the irrigation treatment of 5 decisiemens/meter, we see a decrease of 45 grams of grain yield per square meter, that is, by accepting this reduction, water with a salinity of 5 decisiemens/meter can be used to irrigate the millet plant. The results of the average comparison showed that there is no significant difference between different nitrogen treatments and it can be said that the resistance of this plant to the reduction of nitrogen fertilizer is high, that is, by accepting a reduction of 130 kg of seed yield per hectare, half of the fertilizer requirement (75 kg per hectare) can be achieved. provided to the plant. The results of this research showed that irrigation with saline water and less fertilizer is a suitable management solution for millet plant in saline conditions. because the lack of fresh water is one of the serious obstacles in the agricultural production of the region, it is possible to produce millet by saving fresh water and using alternative water sources (salt and brackish water) that have less economic value and use. In general, due to millet's resistance to salt and nitrogen stresses and its acceptable performance in unfavorable environmental conditions, this plant can be used as a suitable option in grain production (used by humans and animals).

Conclusion

The results showed that the effect of applied salinity stress levels on traits of leaf-to-stem ratio and panicle length was significant at the five percent probability level and for the rest of the traits at the one percent probability level. Also, different nitrogen treatments had a significant effect on the studied traits, except for the attributes of leaf-to-stem ratio, panicle length and plant height.

The interaction effect of salinity and nitrogen stress on thousand seed weight, shoot weight, seed yield and harvest index was significant at 1% probability level and had no significant effect on leaf to stem ratio, panicle length and plant height. The highest millet yield was 3.76 tons per hectare in S1N1 and the lowest yield was 2.53 tons in S4N1 treatment.

Key words: Split plot, Biomass weight, Salinity stress, Harvest index

Article Type: Research Article

Article history: Received: 06 September 2022 Revised: 12 October 2022 Accepted: 01 November 2022 ePublished: 28 February 2023

Cite this article: Khodarahmi, Y., Soltani Mohamadi, A., Broumand Nasab, S., & Alizadeh, H.A. (2023). Investigating the effect of salinity and nitrogen stress on the yield and yield components of panicum millet, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(4), 15-34. DOI: 10.22126/ATWE.2023.8740.1034

Publisher: Razi University

© The Author(s).





بررسی اثر تنش شوری و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ارزن پشاهنگ (panicum)

یزدان خدارحمی^۱، امیر سلطانی محمدی^۲، سعید برومند نسب^۳، حمزه علی علیزاده^۴

^۱ دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: Khodarahmii02@gmail.com

^۲ دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: A.soltani@scu.ac.ir

^۳ استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: boroomand@scu.ac.ir

^۴ نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: h.alizadeh@ilam.ac.ir

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی اثرات تنش های توأمان شوری و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه ارزن بود. آزمایش در سال ۱۴۰۰ در قالب طرح کرت خردشده بر پایه بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ایلام انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح شوری آب آبیاری شامل ۰/۶۳، ۳، ۵ و ۸ دسی زیمنس بر متر (S₁، S₂، S₃ و S₄) به عنوان تیمارهای اصلی و سه سطح کود نیتروژن شامل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز کودی (N₁، N₂ و N₃) به عنوان تیمارهای فرعی بود. نتایج نشان داد که اثر سطوح تنش شوری اعمال شده بر صفتهای نسبت برگ به ساقه و طول پانیکول در سطح احتمال پنج درصد و برای مابقی صفات در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. همچنین تیمارهای مختلف نیتروژن به جز در صفتهای نسبت برگ به ساقه، طول پانیکول و ارتفاع بوته تأثیر معنی دار بر صفات مورد مطالعه داشت. اثر متقابل تنش های شوری و نیتروژن بر وزن هزار دانه، وزن اندام هوایی، عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود و بر نسبت برگ به ساقه، طول پانیکول و ارتفاع بوته تأثیر معنی داری نداشت. بیشترین عملکرد ارزن به مقدار ۳/۷۶ تن در هکتار در S₁N₁ و کمترین عملکرد به مقدار ۲/۵۳ تن در تیمار S₄N₁ اتفاق افتاد.

واژه های کلیدی: کرت خردشده، وزن اندام هوایی، تنش شوری، شاخص برداشت

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۵ شهریور ۱۴۰۱ بازنگری: ۲۰ مهر ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۰ آبان ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۹ اسفند ۱۴۰۱

استناد: خدارحمی، ی.، سلطانی محمدی، ا.، برومند نسب، س.، و علیزاده، ح.ع. (۱۴۰۱). بررسی اثر تنش شوری و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ارزن پشاهنگ (panicum)، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، (۴)۲، ۱۵-۳۴، شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2023.8740.1034



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

گیاهان علوفه‌ای جایگاه مهمی در رفع نیازهای دامی و در نتیجه تأمین نیاز انسان به فرآورده‌های دامی را دارند. آشنایی با سازوکارهای فیزیولوژیک پاسخ گیاهان به تنش‌های مختلف مانند تنش شوری و خشکی ابزارهای مؤثر و قدرتمندی برای برنامه‌های اصلاح نژاد هستند (فراکسو و همکاران؛ ۲۰۱۵). مدیریت نامطلوب آبیاری باعث ایجاد شوری ثانویه در اراضی زراعی می‌گردد که در نهایت هدر رفت منابع آب و کاهش اراضی زراعی را به دنبال دارد. حدود یک میلیارد هکتار از سطح زمین تحت تأثیر شوری قرار گرفته و سالانه حدود دو میلیون هکتار به دلیل شوری ثانویه از سیستم تولید خارج می‌گردد. کمبود آب آبیاری باکیفیت مناسب همراه با منابع آب لب‌شور زیرزمینی و مقادیر ناکافی بارندگی موجب از دست رفتن بیش‌تر منابع خاک گردیده است (یامادا و همکاران؛ ۲۰۱۶). بنابراین ضروری است که نه تنها تلاش‌های جدی برای بهبود استفاده از منابع آب باکیفیت (برای کاهش روند شور شدن زمین‌های زراعی) صورت پذیرد، بلکه گسترش تولید محصولات زراعی مقاوم در این مناطق انجام گیرد. در طول دهه‌های اخیر راهکارهای مختلفی برای بهره‌گیری از آب‌وخاک شور در ایران مورد استفاده قرار گرفته است. شورزیست‌ها گیاهانی هستند که قادرند چرخه زندگی خود را تحت شرایط تنش شوری کامل کنند (ینسن؛ ۲۰۰۶). کشت گیاهان شورزیست از گونه‌های بومی و خارجی یک برنامه وسیع در ایران است و هدف آن استفاده از شورزیست‌ها به‌عنوان گیاهان علوفه‌ای، سبزی، زینتی و گیاهان پوششی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. مطابق آمار ۳۶۵ گونه از ۱۵۱ جنس و ۴۴ خانواده از گیاهان ایران در رنج گیاهان شورزیست معرفی شده‌اند (آخانی؛ ۲۰۰۶). نیتروژن نخستین عنصری است که کمبود آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل کمبود میزان مواد آلی که عمده‌ترین منبع ذخیره نیتروژن بشمار می‌آید، مطرح می‌شود (زوترالی و همکاران؛ ۲۰۰۹). کارایی پایین مصرف نیتروژن به دلیل تلفات ناشی از تصعید، رواناب سطحی، آبشویی، دنیتریفیکاسیون و پوشش گیاهی علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید، باعث ایجاد نگرانی‌هایی در مورد بهداشت و محیط‌زیست شده است (ملک و آشکار؛ ۲۰۰۹). پس بایستی در رابطه با مصرف کودهای شیمیایی، مدیریت صحیح صورت پذیرد، تا با انتخاب مقدار بهینه کود به بالاترین سطح تولید رسید. از طرفی تعیین حد موردنیاز از هر عنصر غذایی برای گیاه به پارامترهای متعددی وابسته است که مهم‌ترین آن‌ها میزان آب آبیاری است. آب و نیتروژن از عوامل اصلی تأثیرگذار بر عملکرد محصول هستند و مدیریت صحیح این دو، علاوه بر کاهش هزینه، افزایش کارایی مصرف آن‌ها را نیز به دنبال خواهد داشت (کراپف و همکاران؛ ۱۹۹۳). گیاهان زراعی کشت شده در اراضی خشک و نیمه‌خشک که با مشکل تنش‌های شوری و خشکی مواجه هستند، تحت هر دو تنش خشکی و شوری نسبت به حالتی که با هر یک از این تنش‌ها به‌تنهایی مواجه هستند، مشکل بیشتری برای استخراج آب از خاک خواهند داشت. از طرف دیگر این واقعیت وجود دارد که در شرایطی که خاک و آب شور باشند تقریباً هیچ محصول زراعی نمی‌تواند رشد مناسبی داشته باشد. با این وجود گیاهان شور دوستی وجود دارند که می‌توانند به‌عنوان گیاه علوفه‌ای، دارویی، احیاکننده خاک، سوخت زیستی، زینتی و فضای سبز و تثبیت‌کننده کربن مورد استفاده قرار گیرند (خان و انصاری؛ ۲۰۰۸). تولید گیاهان شورزیست با استفاده از آب‌وخاک شور برای تغذیه دام‌های اهلی یکی از پایدارترین روش‌های حفاظت از اکوسیستم‌های بیابانی در جهت تولید غذا برای ساکنین این مناطق است (کافی و همکاران؛ ۲۰۱۰). ارزش محصول مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری است که به علت پنجه‌زنی فراوان، قابلیت رشد مجدد، مقاومت در برابر تنش‌های محیطی و بیماری‌ها، عملکرد بالا در خاک‌های فقیر و عدم وجود اسید پروسیک موردتوجه است (راجندرا و همکاران؛ ۲۰۱۶). ارزش گیاهی چهارکربنه و گرما دوست از خانواده غلات است که از تحمل بالایی

¹ Fracasso et al

² Yamada et al

³ Yensen

⁴ Akhani

⁵ Zotarelli et al

⁶ Malak and Ashkar

⁷ Kropff et al

⁸ Khan and Ansari

⁹ Kafi et al

¹⁰ Rajendra et al

نسبت به تنش‌های محیطی به‌ویژه کمبود آب برخوردار است (مجنون حسینی و همکاران، ۲۰۰۱). در بیشتر تحقیقات تأثیر تنش شوری و نیتروژن به‌طور جداگانه در ارزن مورد بررسی قرار گرفته است، اما تاکنون اثر هم‌زمان این تنش‌ها بر گیاه ارزن صورت نگرفته است و همین امر ضرورت این تحقیق را چشمگیرتر می‌کند، در زمینه اثر تنش‌های محیطی بر ارزن مطالعات معدودی انجام شده است. در تحقیقی که بر روی عملکرد محصولات زراعی انجام گردید نشان داده شد که عملکرد محصولات زراعی با افزایش مقدار آب و نیتروژن تا سطوح بهینه مصرف افزایش می‌یابد. سطوح بهینه مصرف کود در سطوح مختلف آب کاربردی باهم متفاوت دارند. با افزایش تنش آبی، کاربرد کود مطابق نیاز کودی منجر به تشدید تنش آبی شده، بنابراین مقدار بهینه کود مصرفی کمتر از نیاز کودی خواهد بود (زند پارسا و سپاس خواه، ۲۰۰۱). در تحقیقی دیگر گزارش شد که افزایش تنش خشکی در وضعیت کم آبیاری مداوم، باعث کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه و ارتفاع بوته در ارزن مرواریدی شد. همچنین آنان در مطالعه خود اثر چهار تراکم ۴۰، ۳۰، ۲۰ و ۵۰ بوته در مترمربع را بر عملکرد علوفه ارزن مرواریدی مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آنان نشان داد بیشترین عملکرد علوفه ارزن در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع و کمترین مقدار آن در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع به دست آمد (نصیریپور و ذاکر نژاد، ۱۳۹۷). خرمی و توحیدی نژاد (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای اثر تنش خشکی و شوری مداوم بر عملکرد دانه سه رقم ارزن معمولی را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد تنش خشکی مداوم به‌طور معنی‌داری عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را کاهش داد. کم آبیاری مداوم باعث کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه و کارایی مصرف آب ارزن شد؛ به‌گونه‌ای که بیشترین عملکرد علوفه متعلق به تیمار بدون تنش آبی و کمترین مقدار آن متعلق به تیمار ۳۳ درصد نیاز آبی بود. در پژوهش دیگری اثر مصرف کود بر بهره‌وری آب در کشت ارزن مرواریدی بررسی شد. نتایج نشان داد که تجمع ماده خشک در برگ و ساقه به‌طور پیوسته تا ۸۰ روز پس از کاشت در دو تیمار بدون کود (شاهد) و با مصرف کود نیتروژن و فسفر افزایش پیدا کرد. عملکرد ماده خشک در تیمارهایی که کود دریافت کرده بودند، تقریباً دو برابر تیمار شاهد بود؛ باوجوداین، تفاوت معنی‌داری بین بهره‌وری آب این دو تیمار مشاهده نشد (استفحان و همکاران؛ ۲۰۱۵). تاهیر و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی عملکرد ارزن در مقابل تنش شوری پرداختند. آن‌ها گزارش دادند که تنش شوری بر تغییرات قابل‌توجهی در سطح تجمع اسمولیت‌ها مانند پرولین، گلیسین بتائین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تأثیر می‌گذارد. کاهش معنی‌داری از درصد جوانه‌زنی بذر، طول ریشه و اندام هوایی، رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و پروتئین‌ها در غلظت بالاتر NaCl مشاهده شد. از این‌رو، مشخص شد که محصولات ارزن را می‌توان در شرایط شوری مطلوب (۱۰۰ میلی مولار) حفظ کرد. همچنین نتیجه گرفته شد که سیستم‌های دفاعی آنزیمی و غیر آنزیمی نقش کلیدی در ایجاد تحمل در برابر تنش شوری ایفا می‌کنند. مطابق بررسی‌های انجام‌شده، بررسی اثر متقابل شوری و نیتروژن بر گیاه ارزن در شرایط آب و هوایی ایلام ملاحظه نگردید. همچنین بررسی اثر شوری و کمبود نیتروژن بر گیاهان زراعی نشان داد که ارزن از معدود گیاهانی است که شوری و کمبود نیتروژن را تا حد نسبتاً بالایی تحمل می‌نماید. با توجه به کمبود منابع آب شیرین در استان ایلام در سال‌های اخیر، همچنین وجود منابع آب‌شور در برخی از مناطق، استان ایلام را مستعد اجرای طرح‌های شور ورزی نموده است. لذا با توجه به نتایج رضایت‌بخش عملکرد گیاه ارزن در شرایط شوری و کمبود نیتروژن، مناسب بودن کیفیت علوفه‌ای آن و پتانسیل بالای آن در تبدیل شدن به سوخت زیستی، این آزمایش باهدف مطالعه گیاه ارزن در شرایط شوری آب آبیاری و کمبود نیتروژن، انجام شد.

روش پژوهش

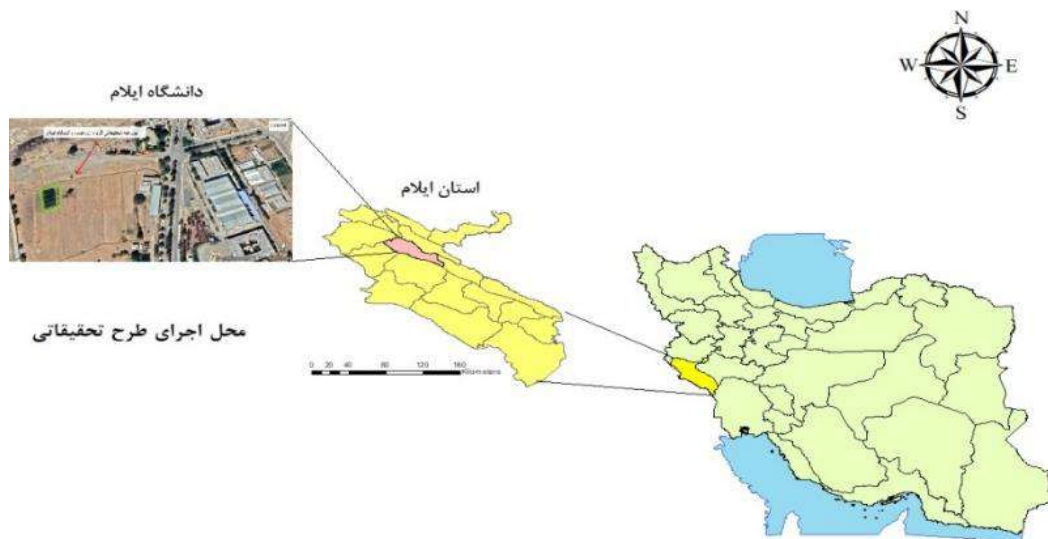
الف) موقعیت و خصوصیات منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر در قالب آزمایش در قالب طرح یک‌بار خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی گروه زراعت دانشگاه ایلام در سال ۱۴۰۰ انجام شد. منطقه مورد مطالعه در موقعیت طول جغرافیایی $28^{\circ} 46'$ عرض جغرافیایی 37° و ارتفاع ۱۱۷۴ متر از سطح دریا در شمال استان ایلام قرار گرفته است. بر اساس آمار سازمان هواشناسی این منطقه با میانگین بارندگی

¹ Zand-Parsa & Sepaskhah

² Steppuhn et al

سالانه ۲۵۰ میلی‌متر، حداکثر درجه حرارت ۴۶ درجه سانتی‌گراد و حداقل درجه حرارت ۱۲- درجه سانتی‌گراد دارای اقلیمی نیمه‌خشک است. عملیات تهیه بستر و آماده‌سازی زمین در اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۰ با انجام عملیات شخم، دیسک و تسطیح زمین انجام پذیرفت. سپس کرت‌هایی با ابعاد ۲*۲ متر ایجاد شد، بذور ارزن پیشاهنگ موردنیاز به‌صورت ضدعفونی شده با سموم قارچی مناسب از بخش زراعت جهاد کشاورزی استان ایلام تهیه شد و عملیات کاشت به روش دستی و بر اساس تراکم مورد استفاده در ایلام (حدود ۳۰ تا ۳۵ کیلوگرم برای ارزن‌های علوفه‌ای) در تاریخ ۲۵ خرداد ۱۴۰۰ انجام گرفت. میزان کود مصرفی بر اساس آزمایش از خاک و میزان موردنیاز در نظر گرفته شد که ۵۰ درصد آن در ابتدای فصل کشت و ۵۰ درصد باقیمانده در مرحله ۵ برگی شدن به‌صورت محلول در آب به خاک داده شد. به‌منظور دستیابی به اهداف پژوهش، این تحقیق در چهار سطح شوری شامل آب موجود در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ایلام (به‌عنوان تیمار شاهد با متوسط هدایت الکتریکی ۰/۶۳ دسی‌زیمنس بر متر)، ۳، ۵ و ۸ دسی‌زیمنس (به ترتیب S_1 ، S_2 ، S_3 و S_4) به‌عنوان عامل اصلی و سه سطح نیتروژن شامل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز کودی گیاه ارزن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در منطقه (به ترتیب N_1 ، N_2 و N_3) به‌عنوان عامل فرعی در سه تکرار (R_1 ، R_2 و R_3) به‌صورت کشت در مزرعه انجام پذیرفت. آبیاری نیز بر اساس روش وزنی و به‌صورت آبیاری با نوارهای تیپ انجام گرفت. شکل ۱ و ۲ به ترتیب نمایی از محل انجام طرح تحقیقاتی و مراحل مختلف رشد گیاه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه در استان ایلام



شکل ۲. نمایی از آماده‌سازی زمین، توزین کود نیترا ته و مراحل رشد گیاه

ب) اختلاط و ایجاد آب شور

با توجه به اینکه یکی از اهداف این پژوهش بررسی اثر تنش شوری بر پاسخ عملکرد محصول است بنابراین وجود منابع آب با شوری‌های مختلف در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ایلام از ملزومات انجام طرح محسوب می‌شود. برای اعمال تیمار شوری از آب رودخانه شور واقع در شهرستان مهران استفاده شد. تیمارهای شوری با استفاده از اختلاط آب رودخانه شور با آب چاه واقع در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ایلام تهیه شد. شکل ۳ نمایی از رودخانه آب شور شهرستان مهران را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نمایی از رودخانه شور شهرستان مهران

برای تهیه تیمارهای شوری، آب شور طبیعی و آب چاه با هم طبق معادله ۱ اختلاط داده شد.

$$\begin{cases} V_d \times C_d = V_w \times C_w + V_r \times C_r \\ V_d = V_w + V_r \end{cases} \quad (1)$$

که در آن V_d حجم آب حاصل از اختلاط (لیتر)، V_w حجم آب چاه (لیتر)، C_w غلظت شوری (میلی گرم بر لیتر) آب چاه، V_r حجم آب شور رودخانه (لیتر) و C_r غلظت شوری آب رودخانه (میلی گرم بر لیتر) است.

ج) نمونه برداری و آنالیز نمونه ها

جهت تعیین عملکرد و اجزا عملکرد ارزن پيشاهنگ در مرحله رسیدن بذر، اقدام به نمونه برداری از اندام های هوایی گیاه گردید. بدین صورت که تعداد ۵ نمونه از هر تکرار (سه تکرار) به طور تصادفی از گونه مورد مطالعه تهیه گردید. تمامی نمونه ها از یک سانتی متری سطح خاک (شامل برگ، ساقه، خوشه و بذر) و به میزان ۳۰۰ گرم برداشت و در پاکت های مخصوص قرار گرفته و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس عملکرد و اجزا عملکرد آن اندازه گیری و با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مشخصات خاک و خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در تحقیق به ترتیب در جدول های ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی خاک مزرعه مورد مطالعه

شن	سیلت	رس	بافت	جرم مخصوص واقعی	جرم مخصوص ظاهر	تخلخل	هدایت الکتریکی	اسیدیته
				(گرم بر سانتی متر مکعب)		(درصد)	(دسی زیمنس بر متر)	
۲۳/۵	۳۶/۵	۴۳/۵	رسی	۱/۴۸	۲/۶	۴۲	۱/۳۱	۷/۷۹

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در تحقیق

نمونه	EC (dS/m)	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SAR	کلاس کیفی آب
meq/l											
S1	۰/۶	۷/۶۷	۱۵/۳۶	۰/۱۱	۹/۲	۷/۵	۰	۷/۶	۲۲/۵	۵/۳۱	C2-S1
S2	۳	۷/۵۳	۳۰/۲۵	۰/۱۷	۱۵/۳	۱۴/۲	۰	۸/۱	۵۱	۷/۸۷	C4-S1
S3	۵	۷/۳۶	۳۶/۱۲	۰/۱۹	۱۸	۱۷/۱	۰	۹	۶۱	۸/۶۲	C4-S1
S4	۸	۷/۳۱	۵۰/۷۸	۰/۲۷	۱۷	۱۸/۵	۰	۴	۸۱/۸	۱۲/۰۵	C4-S2

همچنین جدول ۳ تقویم آبیاری گیاه ارزن را در طول دوره تحقیق نشان می دهد.

جدول ۳. تقویم آبیاری ارزن در پژوهش حاضر

تاریخ آبیاری	حجم آب آبیاری (لیتر)	تاریخ آبیاری	حجم آب آبیاری (لیتر)	تاریخ آبیاری	حجم آب آبیاری (لیتر)
۱۴۰۰/۴/۷	۴۸۰	۱۴۰۰/۴/۲۷	۴۶۰	۱۴۰۰/۶/۱	۴۹۰
۱۴۰۰/۴/۹	۴۸۰	۱۴۰۰/۵/۱	۴۶۰	۱۴۰۰/۶/۸	۴۸۰
۱۴۰۰/۴/۱۱	۴۸۰	۱۴۰۰/۵/۶	۴۸۰	۱۴۰۰/۶/۱۵	۴۶۰
۱۴۰۰/۴/۱۳	۴۸۰	۱۴۰۰/۵/۱۱	۴۹۵	۱۴۰۰/۶/۲۱	۴۵۰
۱۴۰۰/۴/۱۵	۴۸۰	۱۴۰۰/۵/۱۶	۴۹۵	۱۴۰۰/۶/۲۸	۴۵۰
۱۴۰۰/۴/۱۹	۴۸۰	۱۴۰۰/۵/۲۲	۴۹۵	۱۴۰۰/۷/۶	۴۴۰
۱۴۰۰/۴/۲۳	۴۸۰	۱۴۰۰/۵/۲۶	۴۹۵		

یافته‌ها

پس از برداشت ارزن عملکرد و اجزای عملکرد آن اندازه‌گیری شد و مورد تحلیل آماری قرار گرفت. جدول (۴) نتایج آنالیز واریانس عملکرد و اجزای عملکرد را نشان می‌دهد. بررسی نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های اندازه‌گیری شده در آزمایش نشان داد که اثر سطوح تنش شوری بر وزن برگ به ساقه، طول پانیکول، ارتفاع بوته، بایومس گیاهی، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین تیمارهای مختلف نیتروژن به جز در صفت‌های عملکرد دانه و نسبت وزن برگ به ساقه تأثیر معنی‌دار بر سایر صفات مورد مطالعه داشت. اثر متقابل تنش‌های شوری و نیتروژن بر ارتفاع بوته، بایومس گیاه، عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بر نسبت برگ به ساقه، طول پانیکول و وزن هزار دانه تأثیر معنی‌داری نداشت. در همین راستا تاهیر (۲۰۲۰) عملکرد ارزن را در مقابل تنش شوری مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش دادند که تنش شوری از جمله عملکرد دانه، وزن هزار دانه و ارتفاع بوته را تحت تأثیر معنی‌داری قرار می‌دهد. همچنین بیان داشتند که هرچند شوری بر رشد و میزان محصول ارزن تأثیرگذار است اما این گیاه مقاومت نسبتاً خوبی را در مقابل شوری دارد.

جدول ۴. نتایج آنالیز واریانس عملکرد و اجزای عملکرد ارزن

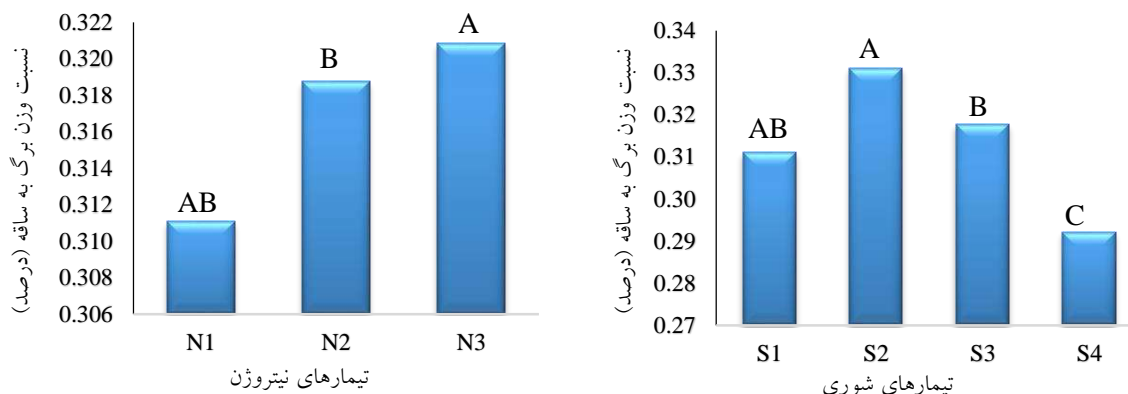
میانگین مربعات								منابع تغییرات
شاخص برداشت	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	وزن اندام هوایی	ارتفاع	طول پانیکول	نسبت وزن برگ به ساقه	درجه آزادی	
۰/۰۰۵۱۲۲۳*	۱۷۴۴۴/۷**	۲/۲۸۷۰۱**	۱۴۶۵۰۵**	۷۸۲/۱۸**	۲۵/۸۵۱۹*	۰/۰۰۲۲۱۸۰*	۳	تنش شوری (S)
۰/۰۰۱۱۷۸۵	۶۸۰/۳	۰/۰۲۸۳۶	۱۳۵۳	۶۱/۶۸	۴/۹۳۵۲	۰/۰۰۰۴۱۴۳	۶	خطای (S)
۰/۰۰۱۰۶۰۷**	۱۶/۸ns	۰/۰۷۳۱۰**	۳۹۰۰**	۸/۶۹ns	۲/۰۸۳۳ns	۰/۰۰۰۳۱۱۲*	۲	تنش نیتروژن (N)
۰/۰۰۰۰۸۴۱**	۲۷۶/۳**	۰/۰۵۶۷۰**	۲۴۱۵**	۱۰/۷۳ns	۱/۰۴۶۲ns	۰/۰۰۰۱۸۱۸ns	۶	S*N
۵/۹۸	۱۲/۷۵	۱۲/۳۴	۱۶/۵۹	۹/۸۹	۱۳/۵۹	۷		CV (%)

نتایج مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد تحت اثرات اصلی شوری و نیتروژن

نسبت وزن برگ به ساقه

تغییرات میانگین نسبت وزن برگ به ساقه گیاه ارزن در شوری و نیتروژن‌های مختلف در شکل (۴) نشان داده شده است. مطابق شکل، بین تیمارهای N_2 و N_3 تفاوت معنی‌داری حاکم است هرچند این دو با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری ایجاد نکردند. این بدان معنی است که مقادیر مختلف از نیتروژن بر صفت نسبت وزن برگ به ساقه تأثیر معنی‌داری ندارد اما با این وجود مشاهده می‌گردد که با کاهش میزان نیتروژن این نسبت افزایش می‌یابد یعنی گیاه ارزن با کمبود عنصر نیتروژن اندازه یا تعداد برگ‌های آن نسبت به قطر ساقه در آن کاهش بیشتری پیدا می‌کند. همچنین بین تیمار شاهد (S_1) با تیمارهای S_2 و S_3 تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما تیمار S_4 با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری ایجاد کرد. در شوری پایین‌تر (۳ دسی زیمنس بر متر) مشاهده می‌گردد که گیاه این صفت را در خود افزایش داده اما با افزایش شوری از میزان وزن برگ‌های گیاه کاسته شده (کاهش بیشتری نسبت به وزن ساقه) است. بالاترین تفاوت بین تیمار شاهد و تیمار ۸ دسی زیمنس بر متر با میزان ۶/۵ درصد بود. این نمودار

گواه این است که با افزایش شوری از نسبت برگ به ساقه کاسته می‌شود. نتایج این بخش از تحقیق در زمینه تأثیر شوری بر کاهش نسبت وزن برگ به ساقه را کاظمینی و همکاران (۲۰۱۶) نیز در تحقیق خود تایید می‌کند.



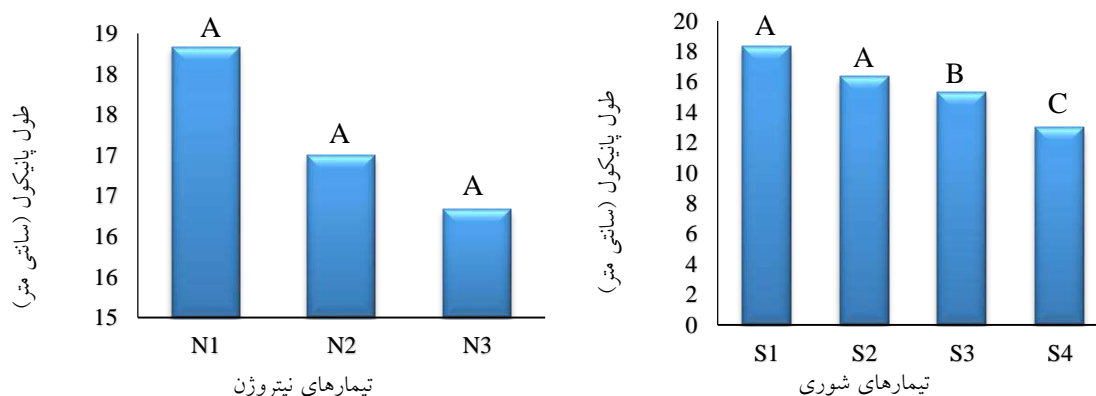
شکل ۴. نمودار نسبت وزن برگ به ساقه گیاه ارزن در شوری و نیتروژن‌های مختلف

طول پانیکول

تغییرات میانگین طول پانیکول در شوری و نیتروژن‌های مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است. در بررسی اثرات شوری بر طول پانیکول ارزن مشاهده گردید که بالاترین طول مربوط به تیمار شاهد با طول حدود ۱۸ سانتی‌متر است و با افزایش شوری از طول پانیکول کاسته شد به طوری که در شوری ۸ دسی زیمنس بر متر (S4) طول پانیکول به ۱۳ سانتی‌متر رسیده است، همچنین مشاهده شد که بین تیمار شاهد با تیمارهای شوری S3 و S4 تفاوت معنی‌داری وجود دارد اما این تفاوت با تیمار S2 معنی‌دار نشد. به طور کلی می‌توان گفت که با افزایش شوری آب آبیاری این فاکتور (طول پانیکول) تحت تأثیر قرار گرفته و از میزان آن کاسته شده است. در بخش تأثیر نیتروژن بر طول پانیکول مطابق شکل ۴ نیز مشاهده گردید که بالاترین طول پانیکول (۱۸/۳۳ سانتی‌متر) مربوط به تیمار شاهد N1 (کود دهی گیاه به طور کامل) است و پس از آن تیمار N2 و N3 به ترتیب با طول ۱۷ و ۱۶/۳ سانتی‌متر در رتبه دوم و سوم قرار گرفته‌اند. تیمار N3 با اینکه تفاوتی حدود ۰/۷۵ و ۱/۳۳ سانتی‌متر به ترتیب با تیمار N1 و N2 را داراست. به طور کلی از نظر معنی‌داری تفاوتی بین تیمارهای نیتروژن در تأثیر آن‌ها بر طول پانیکول مشاهده نشد. نتیجه تحقیقات مارانویل و ماداوان (۲۰۰۲) حاکی از آن است که با افزایش میزان کود نیتروژن در گیاه ارزن عملکرد دانه، نسبت برگ به ساقه، طول پانیکول و عملکرد علوفه کل افزایش می‌یابد که با نتیجه این بخش در تحقیق حاضر همسو است.

¹ Kazameini et al

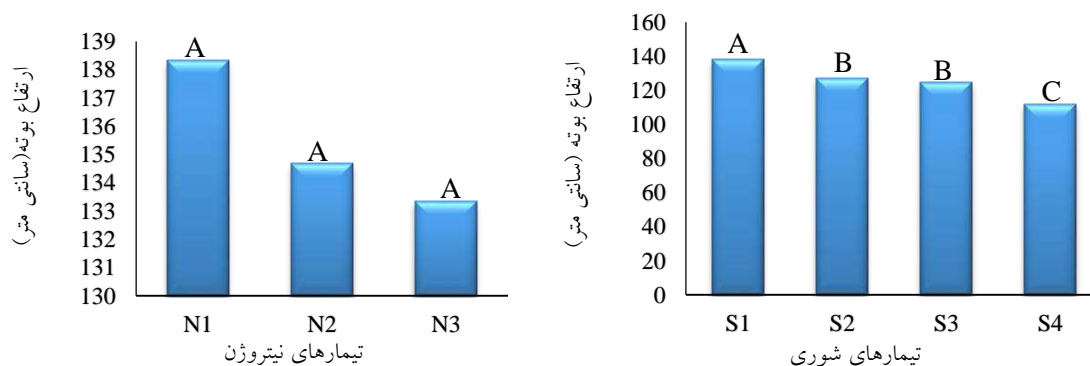
² Maranville and Madhavan



شکل ۵. نمودار تغییرات طول پانیکول در شوری و نیتروژن‌های مختلف

ارتفاع بوته

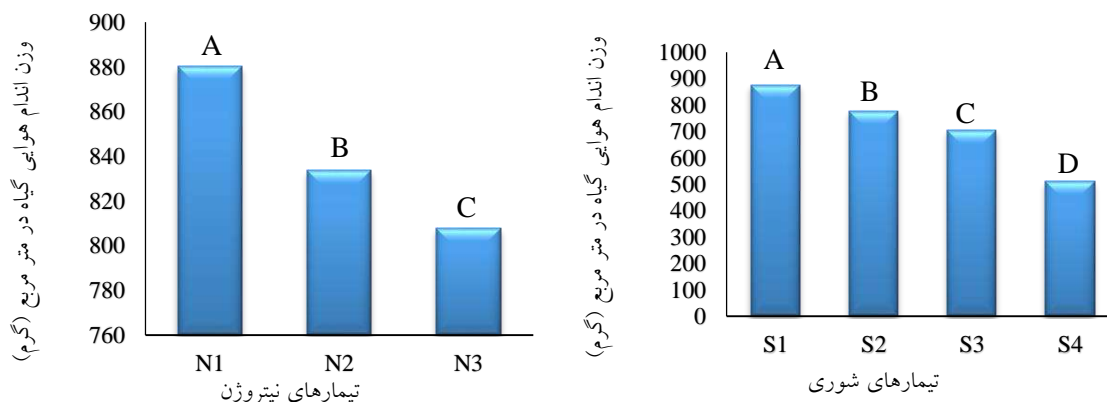
در شکل ۶ قابل ملاحظه است که ترتیب قدرت سطوح شوری بر کاهش ارتفاع بوته به صورت $S_4 > S_3 > S_2 > S_1$ بوده اما از نظر مرتبه، S_1 در یک مرتبه، S_2 و S_3 در یک مرتبه و S_4 نیز در یک گروه قرار دارند. تیمارهای S_2 ، S_3 و S_4 نسبت به تیمار S_1 به ترتیب در حدود ۸، ۱۰/۵ و ۱۹ درصد کاهش ارتفاع در بوته را نشان دادند. نتایج نشان داد که بین تیمار شاهد با سایر سطوح شوری تفاوت معنی‌داری حاکم است. همچنین مشاهده گردید که در سطوح شوری ۳ و ۵ دسی زیمنس بر متر، تغییرات ارتفاع بوته کمتر است به طوری که در بین تیمارهای S_2 و S_3 تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد مشاهده نشد. بالاترین و پایین‌ترین ارتفاع بوته در تیمارهای شوری به ارتفاع ۱۳۸ و ۱۱۲ سانتی‌متر به ترتیب مربوط به S_1 و S_4 است. نتایج نشان داد که افزایش تنش شوری می‌تواند باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته در ارزن شود. گزارش‌ها بیانگر ممانعت از افزایش ارتفاع بوته بر اثر افزایش شدت شوری است (مارانویل و ماداوان، ۲۰۰۲). در خصوص تأثیر نیتروژن، مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته بر اساس ارقام جدول ۴ و شکل ۶ نشان می‌دهند که بیشترین و کمترین میزان ارتفاع در بوته مربوط به تیمارهای N_1 و N_3 و به ترتیب برابر ۱۳۸ و ۱۳۳ سانتی‌متر است. با اینکه با کاهش نیتروژن در تیمارهای مختلف ارتفاع بوته نیز کاهش یافته است اما بین تیمارهای N_2 و N_3 با تیمار شاهد (N_1) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به بیانی دیگر با کاهش ۵۰ درصدی کود نیتروژن نسبت به تیمار کود دهی کامل کاهش حدود ۵ درصدی از ارتفاع بوته به وجود آمد.



شکل ۶. نمودار تغییرات ارتفاع بوته در شوری و نیتروژن‌های مختلف

وزن اندام هوایی (بیوماس) گیاه ارزن

مطابق شکل ۷ مشاهده می‌گردد که بیش‌ترین مقدار وزن اندام هوایی گیاه ارزن در یک مترمربع مربوط به تیمار S₁ با میانگین ۸۷۶/۵ گرم در مترمربع و کمترین آن مربوط به تیمار S₄ با میانگین ۵۱۲/۵ گرم در مترمربع است. تیمارهای S₂، S₃ و S₄ نسبت به تیمار شاهد به ترتیب به میزان ۱۱/۳۱، ۱۹/۴۱ و ۴۱/۵۳ درصد کاهش وزن داشتند. همچنین در تیمارهای S₂، S₃ و S₄ تغییرات معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد قابل مشاهده است. نتایج نشان داد که افزایش تنش شوری تا ۸ دسی زیمنس بر متر باعث کاهش بیوماس یک بوته گردید. قابل مشاهده است که با افزایش شوری از وزن اندام هوایی گیاه ارزن کاسته شده که این کاهش در شوری‌های پایین (۳ و ۵ دسی زیمنس بر متر) کمتر بوده و در شوری بالاتر (۸ دسی زیمنس بر متر) شدت بیشتری یافته است. یعنی می‌توان گفت که ارزن در شوری‌های پایین‌تر مقاومت خود را برای حفظ رشد به‌طور عادی (جذب حداکثری آب) انجام داده و با افزایش شوری در محیط توسعه ریشه و به طبع آن کاهش جذب آب این مقاومت کاسته شده است. در همین راستا نتایج تحقیق نیازی و همکاران (۲۰۱۲). در خصوص بررسی تأثیر تنش شوری در مراحل مختلف رشد بر خصوصیات کمی و کیفی علوفه ارزن بیان داشت که با افزایش تنش شوری از ۵ به ۱۰ دسی زیمنس بر متر وزن تر و خشک اندام هوایی بوته‌های ارزن با افزایش شدت تنش شوری کاهش معنی‌داری پیدا کرد. اثر تیمارهای مختلف نیتروژن بر بیوماس گیاهی ارزن در یک مترمربع معنی‌دار بوده به‌طوری‌که بالاترین بیوماس گیاه مربوط به تیمار N₁ به میزان ۸۸۰ گرم در مترمربع و کمترین آن مربوط به تیمار N₃ به میزان ۸۰۷ گرم در مترمربع است. از نظر مرتبه، تیمارهای N₁، N₂ و N₃ هرکدام در یک گروه قرار دارند. ترتیب اثر سطوح نیتروژن برافزایش وزن تر کل یک بوته به‌صورت N₁ > N₂ > N₃ است به‌طوری‌که تیمارهای N₂ و N₃ نسبت به تیمار N₁ به ترتیب ۶/۵۱ و ۹/۴۷ درصد کاهش وزن تر بوته در مترمربع را نشان می‌دهند. نتایج نشان داد که تنش نیتروژن باعث کاهش معنی‌داری وزن تر کل اندام هوایی یک بوته شد. به نظر می‌رسد تنش نیتروژن از طریق تأثیر منفی که بر تولید و حجیم شدن سلول‌ها و کاهش مواد فتوسنتزی ساخته‌شده در گیاه می‌گذارد تولید بیوماس را در گیاه کاهش داده است (کرافورد و همکاران، ۱۹۹۹). نتایج مقایسه تیمارهای شوری و نیتروژن نشان داد که تنش شوری اثر بیشتری نسبت به تنش نیتروژن در کاهش وزن تر کل اندام هوایی یک بوته داشت. به‌طوری‌که در تیمارهای نیتروژن بیشترین کاهش عملکرد در مترمربع مربوط به تیمار N₃ و به‌اندازه ۹/۴۷ درصد ولی در تیمارهای شوری، این کاهش نسبت به تیمار شاهد ۴۱/۵۳ درصد و مربوط به تیمار S₄ بود.



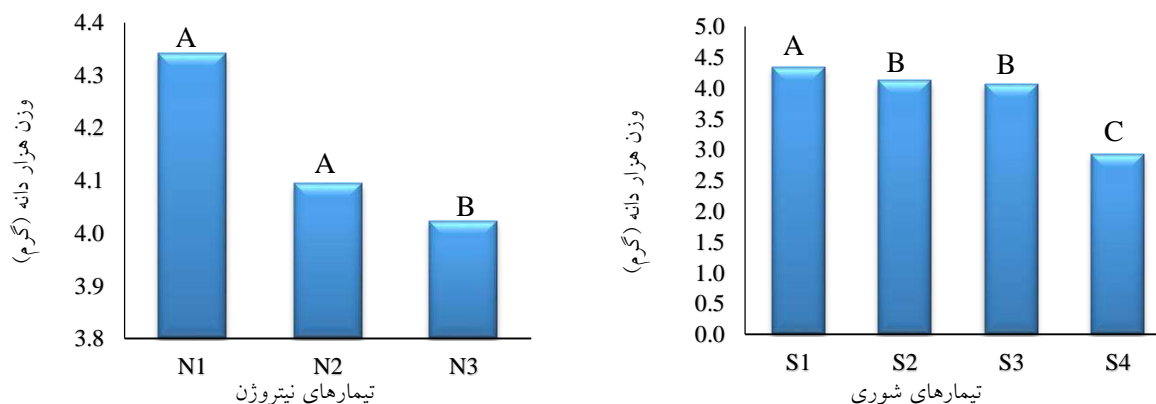
شکل ۷. نمودار تغییرات بیوماس گیاه ارزن در شوری و نیتروژن‌های مختلف

¹ Niyazi et al

² Craufurd et al

وزن هزار دانه

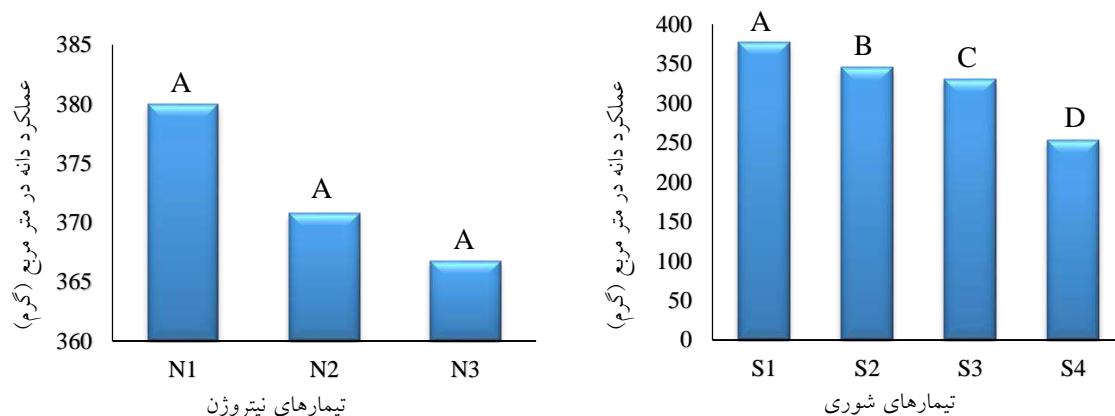
ترتیب اثر سطوح شوری بر پارامتر وزن هزار دانه به صورت $S_1 > S_2 > S_3 > S_4$ است. بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار S_1 با میانگین $4/341$ گرم و کمترین آن در تیمار S_4 با میانگین $2/927$ گرم مشاهده گردید. نتایج نشان داد که با افزایش شوری وزن هزار دانه کاهش پیدا کرد ولی در بین شوری‌های S_2 و S_3 تغییرات معنی‌داری از نظر وزن هزار دانه مشاهده نگردید و این تیمارها در یک گروه قرار گرفتند. تیمارهای S_2 ، S_3 و S_4 نسبت به شاهد به ترتیب به میزان $5/29$ و $32/66$ درصد کاهش وزن داشتند. بر اساس نتایج شکل ۸، از لحاظ اثر تیمارهای نیتروژن بر وزن هزار دانه تیمار N_1 و N_2 در یک گروه و تیمار N_3 نیز در یک گروه قرار گرفتند. به گونه‌ای که تیمار N_1 تیمار برتر و تیمارهای N_2 و N_3 به ترتیب با میانگین‌های $4/094$ و $4/023$ گرم باعث کاهش وزن هزار دانه شدند و این کاهش به میزان $5/69$ و $7/33$ درصد نسبت به تیمار شاهد بود. نتایج نشان داد که با افزایش تنش نیتروژن وزن هزار دانه کاهش یافت که با نتایج دایل و همکاران (۲۰۰۵) همخوانی دارد.



شکل ۸. نمودار تغییرات وزن هزار دانه در شوری و نیتروژن‌های مختلف

عملکرد دانه

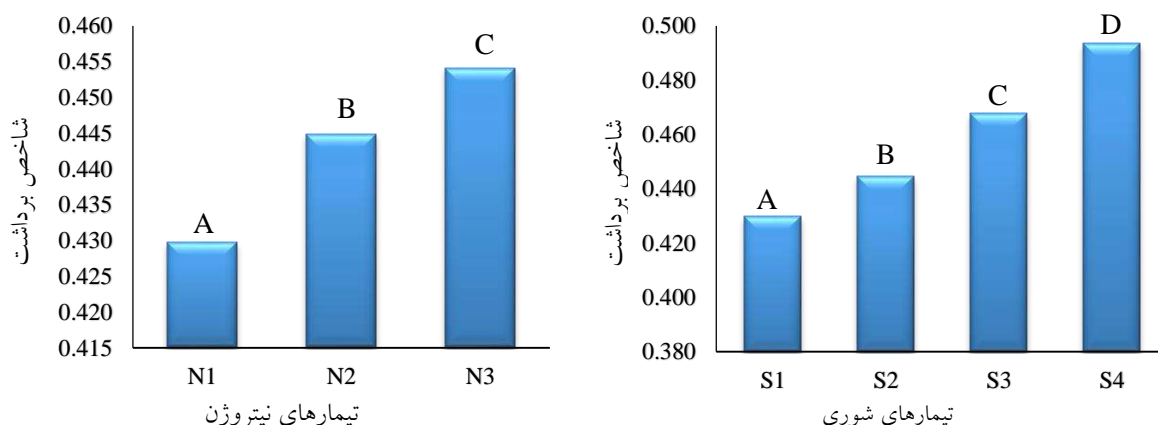
با توجه به نتایج آزمایش‌ها مشاهده گردید که بیشترین عملکرد دانه ارزن با میانگین $376/45$ گرم در مترمربع مربوط به تیمار شوری S_1 و کمترین آن 253 گرم در مترمربع مربوط به تیمار S_4 است. همان‌گونه که از جدول ۴ مشخص است، کاهش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد در تمام شوری‌های مختلف آزمایش تفاوت معنی‌داری داشته است. کاهش عملکرد دانه گیاه در شوری‌های S_2 ، S_3 و S_4 نسبت به تیمار S_1 به ترتیب $8/16$ ، $12/19$ و $32/80$ درصد محاسبه شد. همچنین بین تیمارهای S_2 و S_3 تفاوت معنی‌دار یافت نشد هرچند که شوری ۳ دسی زیمنس بر متر نسبت به شوری ۵ دسی زیمنس بر متر باعث کاهش تقریباً ۴ درصدی از عملکرد دانه گردید. در رابطه با تأثیر تیمارهای نیتروژن بر عملکرد دانه قابل‌ملاحظه است که با وجود کاهش عملکرد دانه به میزان $2/43$ و $3/48$ درصدی تیمارهای N_2 و N_3 نسبت به تیمار شاهد (N_1) تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف نیتروژن با تیمار شاهد مشاهده نشد. در مقایسه تیمارهای شوری و نیتروژن می‌توان گفت که بالاترین عملکرد دانه مربوط به تیمار شاهد با میزان 3804 کیلوگرم در هکتار و کمترین آن مربوط به تیمار شوری ۸ دسی زیمنس بر متر با عملکرد 2530 کیلوگرم در هکتار است و همچنین کمترین میزان عملکرد در بین تیمارهای نیتروژن مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیاز کودی گیاه ارزن با عملکرد 3668 کیلوگرم در هکتار است که با توجه به عملکردها می‌توان گفت که حساسیت گیاه ارزن نسبت به تنش شوری بسیار بالاتر از تنش نیتروژن است.



شکل ۹. نمودار تغییرات عملکرد دانه در شوری و نیتروژن‌های مختلف

شاخص برداشت

مطابق شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که پارامتر شاخص برداشت با افزایش شوری آب آبیاری روند صعودی و معنی‌داری داشته است. این بدان معناست که با افزایش میزان شوری در آب آبیاری میزان عملکرد دانه نسبت به بیوماس گیاه (عملکرد دانه، وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه) کاهش کمتری داشته است. تیمار شاهد با سایر تیمارهای شوری تفاوت معنی‌داری ایجاد کرده است به گونه‌ای که هر کدام از تیمارهای S₁، S₂، S₃ و S₄ در یک گروه متفاوت قرار گرفتند. میزان افزایش شاخص برداشت در تیمارهای S₂، S₃ و S₄ نسبت به تیمار S₁ (شاهد) به ترتیب برابر ۳/۴۹، ۸/۸۴ و ۱۴/۸۸ درصد بود. در بخش اثر تیمارهای نیتروژن بر پارامتر شاخص برداشت نیز قابل ملاحظه است که تیمارهای مختلف نیتروژن دارای تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد است. با کاهش میزان نیتروژن شاخص برداشت روندی صعودی را در پیش گرفته است به گونه‌ای که تیمارهای N₂ و N₃ به ترتیب ۳/۵ و ۵/۵۸ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد را داشته‌اند.



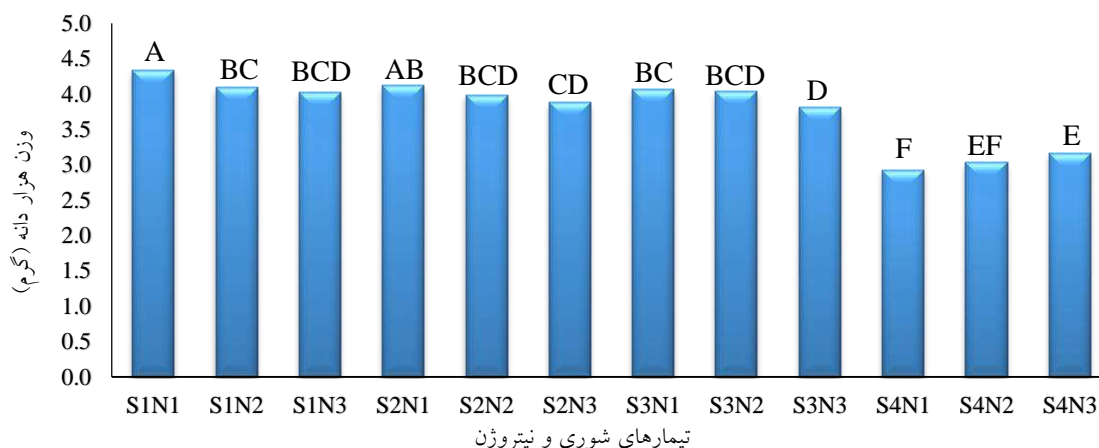
شکل ۱۰. نمودار تغییرات شاخص برداشت در شوری و نیتروژن‌های مختلف

نتایج مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد تحت اثر متقابل تنش‌های شوری و کم‌آبی

همان‌گونه که در قبل اشاره شد اثر توأم تیمارهای شوری و نیتروژن فقط بر وزن هزار دانه، بیومس گیاه، عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید. در ادامه در مورد این شاخص‌ها به تفسیر عملکرد پرداخته شده است.

وزن هزار دانه

تأثیر توأم تنش‌های شوری و نیتروژن بر روی میانگین‌های وزن هزار دانه در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین میزان وزن هزار دانه در تیمار S_1N_1 و کمترین آن در تیمار S_4N_1 و به ترتیب با میانگین $4/341$ و $2/927$ گرم در تحقیق حاضر ثبت شده است (کاهش وزن در تیمار S_4N_1 به میزان $32/57$ درصد کمتر از تیمار شاهد). همچنین تیمار S_4N_3 نسبت به تیمار S_1N_1 کاهش وزنی به میزان $27/29$ درصد داشته است. از نظر مرتبه نیز سطوح مختلف در گروه‌های مختلف قرار گرفتند. کمترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار S_4N_1 بوده است که دلیل آن می‌تواند این باشد که در شوری بالای ۸ دسی زیمنس بر متر در منطقه توسعه ریشه گیاه، میزان نیتروژن بالا در اطراف ریشه این شوری را تشدید کرده و میزان جذب آب توسط ریشه گیاه کاهش بیشتری داشته است. در همین راستا در تحقیقی گزارش شد که طول پانیکول و ارتفاع بوته تحت تأثیر کاربرد نیتروژن قرار نگرفت اما نسبت وزن برگ به ساقه، وزن هزار دانه و بیوماس گیاه افزایش یافت که با نتایج این بخش همسو است (قدوس و مفتاح^۱، ۲۰۱۵). همچنین نوروزی و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیق خود گزارش دادند که افزایش مقدار شوری آب آبیاری کاهش معنی‌داری را در سطح ۵ درصد بر وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش گیاه ارزن به ترتیب به میزان $9/2$ ، $13/6$ و $11/7$ درصد داشت و بر ارتفاع و تعداد خوشه در مترمربع تغییرات معنی‌دار نبود.



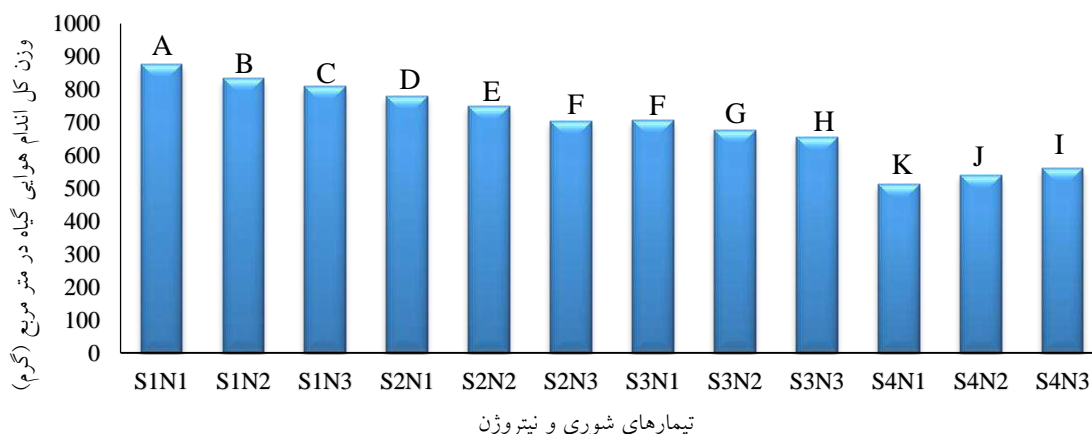
شکل ۱۱. نمودار تغییرات ارتفاع بوته تحت تأثیر توأم تیمارهای مختلف شوری و نیتروژن

وزن کل اندام هوایی گیاه ارزن

میانگین وزن اندام هوایی (بیوماس) گیاه ارزن تحت تأثیر دو تنش شوری و نیتروژن در شکل ۱۲ نشان داده شده است. قابل مشاهده است که بالاترین زیست‌توده گیاه ارزن مربوط به تیمار شاهد (S_1N_1) و به میزان $876/56$ گرم در مترمربع است و پس از تیمارهای S_1N_2 و S_1N_3 به ترتیب به میزان $833/57$ و $807/73$ گرم در بوته با کاهش $4/9$ و $7/8$ درصدی از تیمار شاهد در رتبه‌های دوم و سوم این رقابت هستند. با افزایش

^۱ Qados snd Moftah

شوری از میزان وزن اندام هوایی کاسته شده است و با حضور نیتروژن این شدت نیز افزایش بیشتری داشته است به طوری که تیمار S_4N_1 با میزان $512/5$ گرم در مترمربع کاهش $43/53$ درصدی نسبت به تیمار شاهد داراست. نیتروژن هرچند به تنهایی باعث افزایش بیوماس گیاه ارزن شد که در شکل ۶ نشان داده شد. اما مشاهده شد که ترکیب نیتروژن هم در شوری های پایین (S_2) و هم در شوری های بالاتر (S_3 و S_4) تفاوت معنی داری را بر بیوماس گیاه اعمال کرده است. البته این شدت کاهش در شوری های بالاتر بیشتر مشهود است. در بین تمام تیمارهای توأم موجود در شکل ۱۲ تنها تیمارهای S_2N_3 و S_3N_1 تفاوت معنی داری ایجاد نکردند و سایر تیمارها در گروه های متفاوتی قرار گرفته اند، به بیان دیگر با افزایش شوری و همچنین ترکیب نیتروژن با شوری وزن اندام هوایی گیاه ارزن کاهش یافت. ترکیب نیتروژن در شوری های بالا این تفاوت را به طرز چشمگیری افزایش داده است به طوری که تیمارهای S_4N_1 ، S_4N_2 و S_4N_3 به ترتیب $41/53$ ، $38/67$ و $36/21$ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش بیوماس داشته اند. اما این کاهش برای تیمارهای S_3N_1 ، S_3N_2 و S_3N_3 به ترتیب $19/44$ ، $22/81$ و $25/37$ درصد نسبت به تیمار شاهد بوده است. نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داده است که افزایش مقدار شوری آب آبیاری کاهش معنی داری را در سطح ۵ درصد بر عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش و وزن اندام هوایی (بیوماس گیاهی) به ترتیب به میزان $9/2$ ، $14/2$ و 16 درصدی در گیاه ارزن داشته است (نوروزی و همکاران، ۲۰۱۵).

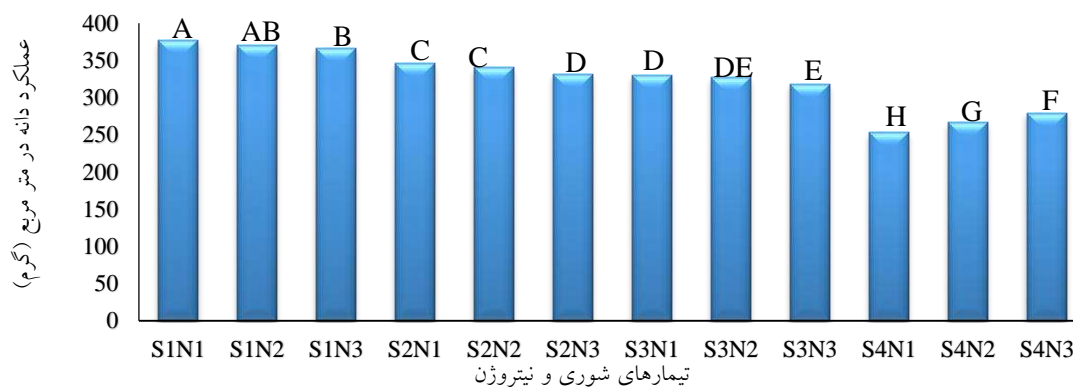


شکل ۱۲. نمودار بیوماس گیاه ارزن تحت تأثیر توأم تیمارهای مختلف شوری و نیتروژن

عملکرد دانه

در شکل ۱۳ عملکرد دانه ارزن تحت شرایط هم‌زمان تنش های شوری و نیتروژن قابل مشاهده است. مطابق شکل ۱۳ میانگین های مربوط به عملکرد دانه ارزن به ما این نتیجه را می دهند که تیمار S_1N_1 بالاترین عملکرد دانه به میزان $376/45$ گرم در مترمربع را داراست و پس از آن تیمارهای S_1N_2 و S_1N_3 به ترتیب با داشتن $370/75$ و $366/77$ گرم در مترمربع مقام دوم و سوم این آزمایش از نظر عملکرد دانه به خود اختصاص دادند. ترکیب نیتروژن در شوری های پایین (S_1 و S_2) در جهت مثبت و باعث افزایش عملکرد دانه در گیاه ارزن گردیده است اما ملاحظه می گردد که با افزایش شوری و ترکیب در مقدار بالا (N_1)، نه تنها سبب افزایش عملکرد نشده است بلکه تأثیر منفی بر این مهم گذاشته و کاهش عملکرد را به ارمغان آورده است. بالاترین اختلاف عملکرد با تیمار شاهد در ترکیب توأم تیمارهای شوری و نیتروژن مربوط به تیمار S_4N_1 با اختلاف $32/79$ درصد و پس از آن تیمارهای S_4N_2 و S_4N_3 به ترتیب با کاهش $29/15$ و $25/79$ درصدی نسبت به تیمار شاهد بوده است. قابل مشاهده است که جز تیمار S_1N_2 تمام تیمارهای آزمایش با تیمار شاهد تفاوت معنی داری ایجاد کرده اند. تیمار S_4N_3 یعنی تیماری که شوری

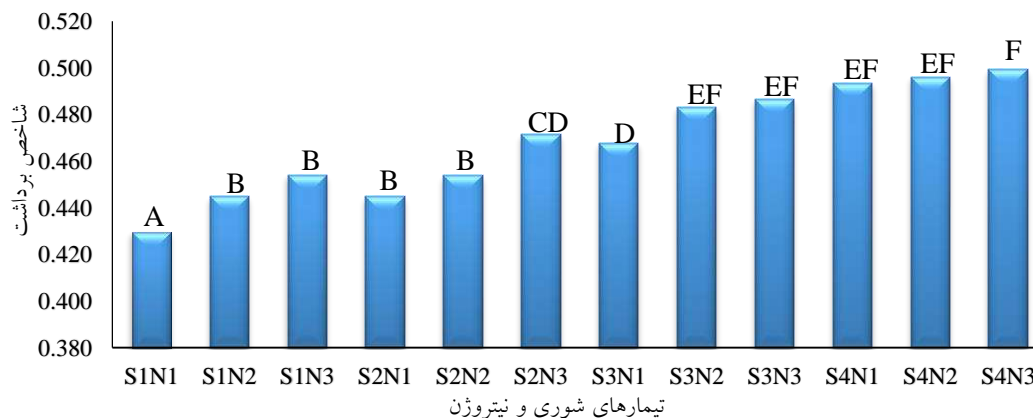
۸ دسی‌زیمنس بر متر با ۵۰ درصد نیاز کودی را دریافت کرده است دارای عملکردی به میزان ۲۷۹۳ کیلوگرم بر هکتار بوده است و تیمار شاهد ما (تیمار کود دهی کامل همراه با آب معمولی) دارای عملکردی به میزان ۳۷۶۴ کیلوگرم بر هکتار است. یعنی با شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر و نصف کردن مقدار کود نیتروژن کاهش عملکردی به میزان ۹۵۱ کیلوگرم در هکتار خواهیم داشت. تفاوت معنی‌داری در تیمارهای شوری بالای آزمایش (S₄) در ترکیب با سه مقدار مختلف نیتروژن نیز مشهود است که نشان‌دهنده اثرگذاری بالای نیتروژن در ترکیب با آب آبیاری در شوری‌های بالاتر است. ترکیب نیتروژن با شوری‌های میانی (S₂ و S₃) تفاوت زیادی از لحاظ عددی بر عملکرد دانه ایجاد نکرده است (مثلاً تیمارهای S₂N₃ و S₂N₂ ۹ گرم در مترمربع تفاوت عملکرد دارند یا تیمارهای S₃N₂ و S₃N₃ دارای تفاوت تقریباً ۸ گرمی عملکرد در مترمربع می‌باشند) به همین سبب قابل مشاهده است که این تیمارهای با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرده‌اند.



شکل ۱۳. عملکرد دانه گیاه ارزن تحت تأثیر توأم تیمارهای مختلف شوری و نیتروژن

شاخص برداشت

در شکل ۱۴ شاخص برداشت ارزن تحت شرایط هم‌زمان تنش‌های شوری و نیتروژن قابل مشاهده است. همان‌گونه که قابل مشاهده است، کمترین شاخص برداشت (به دلیل بالاترین وزن اندام هوایی) مربوط به تیمار شاهد (S₁N₁) است و بالاترین شاخص برداشت با اختلاف ۱۶/۲۹ درصدی نسبت به تیمار شاهد مربوط به تیمار S₄N₃ است.



شکل ۱۴. شاخص برداشت گیاه ارزن تحت تأثیر توأم تیمارهای مختلف شوری و نیتروژن

با توجه به شکل بالا، تیمارهای S_1N_2 ، S_1N_3 ، S_2N_1 و S_2N_2 تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشتند و در مقابل تیمارهای S_3N_1 ، S_3N_2 ، S_4N_1 ، S_4N_2 و S_4N_3 دارای تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد می‌باشند. به‌طور کلی می‌توان ادعا کرد که با افزایش شوری و کاهش مقدار کود نیتروژن شاخص برداشت افزایش می‌یابد. یا به‌عبارت‌دیگر گیاه ارزن در مقابله با شوری‌های بالا و کود نیتروژن پایین‌تر بخشی بیشتری از بیوماس خود را در مقایسه با عملکرد آن از دست می‌دهد به همین سبب شاخص برداشت افزایش یافته است.

بحث

تولید دانه و علوفه از گیاهان شورزیست در مقابل کود دهی کم یا حتی عدم کود دهی از اهداف اصلی زراعت در مناطق تحت تنش شوری است. کشاورزی با استفاده از منابع محدود (آب لب‌شور و مصرف کود کمتر) می‌تواند راه‌حلی برای بهره‌برداری از منابع غیرمعارف در جهت تأمین نیازهای انسان و دام باشد. گیاه ارزن یکی از گیاهانی است که به دلیل مقاومت نسبتاً خوب در مقابل تنش‌های شوری و نیتروژن موردتوجه محققان است. ارزن گیاهی چهار کربنه و گرمادوست و از خانواده غلات است که از تحمل بالایی نسبت به تنش‌های محیطی برخوردار است. ارزیابی عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه ارزن نشان داد که اثر توأم تیمارهای شوری و نیتروژن بر بیوماس گیاه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود و بر نسبت وزن برگ به ساقه، طول پانیکول و ارتفاع بوته اثر معنی‌داری نداشت.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه ارزن تحت تنش شوری و نیتروژن در استان ایلام پرداخته شد، که نتایج به دست آمده از تحقیق در زیر ارائه شده است.

- نتایج نشان داد که با اعمال تنش شوری، عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه ارزن را در تمامی صفت‌های مورد آزمایش تحت تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت.
- نتایج نشان داد که اعمال تنش نیتروژن بر صفت‌های طول پانیکول، ارتفاع بوته و عملکرد دانه اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نداشت اما بر صفت‌های نسبت وزن برگ به ساقه (در سطح احتمال پنج درصد)، بیوماس گیاه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ایجاد کرد.
- همچنین نتایج نشان داد که بین تیمار شاهد و تیمار آبیاری ۵ دسی زیمنس بر متر کاهش ۴۵ گرمی از عملکرد دانه در مترمربع شاهد هستیم، یعنی با قبول این میزان کاهش می‌توان از آبی با شوری ۵ دسی زیمنس بر متر برای آبیاری گیاه ارزن استفاده کرد.
- نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بین تیمارهای مختلف نیتروژن تفاوت معنی‌داری وجود ندارد و می‌توان گفت که مقاومت این گیاه در مقابل کاهش کود نیتروژن بالا است، یعنی با قبول کاهش ۱۳۰ کیلوگرمی از عملکرد دانه در هکتار می‌توان نصف نیازی کودی (۷۵ کیلوگرم در هکتار) را در اختیار گیاه قرارداد.
- نتایج نشان داد که آبیاری با آب شور و کود کمتر راهکار مدیریتی مناسبی برای گیاه ارزن در شرایط شور است. همچنین به دلیل اینکه کمبود آب شیرین از موانع جدی در تولیدات کشاورزی منطقه محسوب می‌شود، با صرفه‌جویی در مصرف آب شیرین و استفاده از منابع آب جایگزین (آب‌های شور و لب‌شور) که ارزش اقتصادی و کاربرد کمتری دارند می‌توان اقدام به تولید گیاه ارزن نمود.
- به‌طور کلی با توجه به مقاومت ارزن در مقابل تنش‌های شوری و نیتروژن و عملکرد قابل قبول آن در شرایط نامناسب محیطی می‌توان از این گیاه به‌عنوان یک گزینه مناسب در تولید دانه (مورد استفاده انسان و دام) بهره برد.

منابع

- خرمی، عباس، و توحیدی نژاد، عنایت اله. (۱۳۹۷). بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه سه ژنوتیپ ارزن معمولی. نشریه تنش‌های محیطی در علوم زراعی. شماره ۱۱(۱)، ۲۱-۱۱. <https://doi.org/10.22077/escs.2018.671>
- نصیرپور، مهدی، و ذاکرنژاد، سعید. (۱۳۹۷). تأثیر تراکم کشت و رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد علوفه ارزن مروری در شرایط آب و هوایی اهواز. فصلنامه علوم به زراعی گیاهی. ۲۸(۲)، ۱۸۲-۱۷۱. https://jpps.shoushtar.iau.ir/article_546039.html
- کاظمینی، سید عبدالرضا، علی نیا، مژگان، و شاکری، احسان. (۱۳۹۵). برهمکنش تنش شوری و نیتروژن بر رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت ارزن پادزهری (*Panicum antidotale* Retz.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۹(۳)، ۲۸۹-۲۷۹. <https://doi.org/10.22077/escs.2016.418>

References

- Akhani, H. (2006). Biodiversity of halophytic and sabkha ecosystems in Iran, In: Khan, M.A., Böer, B., Kust, G.S., Barth, HJ. (eds) Sabkha Ecosystems. Tasks for Vegetation Science, 42. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5072-5_6
- Duli Zhao, K., Gopal Kakani, V., & Reddy., R. (2005). Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and reflectance properties of sorghum. *European Journal of Agronomy*, 22, 391-403. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.06.005>
- Ellis, R.H., Williams, J.H., Wheeler, T.R., Summerfield, R.J., & Crawford, P.Q. (1999). Effect of temperature and water deficit on water-use efficiency, carbon isotope discrimination, and specific leaf area in peanut. *Crop sci*, 39, 136-142. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183X003900010022x>
- Fracasso, A., Trindade, L., & S. Amaducci. (2015). Drought tolerance strategies highlighted by two Sorghum bicolor races in a dry-down experiment. *J. Plant. Physiol*, 65, 175-183. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.10.009>
- Kafi, M., Asadi, H., & Ganjeali, A. (2010). Possible utilization of high salinity waters and application of low amounts of water for production of the halophyte *Kochia scoparia* as alternative fodder in saline agroecosystems. *Agr. Water Manage*, 97, 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.022>
- Kazemini, S.A., Alinia, M., & Shakeri, E. (2016). Interaction effect of salinity stress and nitrogen on growth and activity of antioxidant enzymes of blue panicgrass (*Panicum antidotale* Retz.). *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, 9(3), 279-289. <https://doi.org/10.22077/escs.2016.418> [In Persian]
- Khan, M.A., Ansari, R. (2008). Potential use of halophytes with emphasis on fodder production in coastal areas of Pakistan. *Biosaline Agriculture and High Salinity Tolerance*. Birkhäuser Basel. 157-162. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8554-5_15
- Khorami, A., & Tohidinejad, E. (2018). Effects of drought stress on yield of three common millet (*Panicum miliaceum* L.) genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(1), 11-21. <https://doi.org/10.22077/escs.2018.671> [In Persian]
- Kropff, M. J., Cassman, K. G., Van Laar, H. H., & Peng, S. (1993). Nitrogen and yield potential of irrigated rice. *Plant and Soil*, 155/156, 391-394. <https://edepot.wur.nl/216184>
- Majnoun Hosseini, N., Ellis, R.H., Yazdi-Samadi, B. (2001). Effect of plant density on yield and yield components of eight isolines of cv. Clark (*Glycine max* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 3(2), 131-139. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2001.3.2.2.7>
- Malak, A.E.R., & Al-Ashkar, E.A. (2007). The effect of different fertilizers on the heavy metals in soil and tomato plant. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(3), 300-306. https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/363406

- Maranville, J. W., & Madhavan., S. (2002). Physiology adaption for nitrogen use efficiency in sorghum. *Plant and Soil*, 245, 25-34. <https://doi.org/10.1023/A:1020660504596>
- Nasirpour, M., & Zakernezhad, S. (2019). Effect of Planting Density and Different Irrigation Regimes on of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.) Forage yield in Ahvaz climate condition. *Journal of Plant production Sciences*, 8(2), 171-182. https://jpps.shoushtar.iau.ir/article_546039.html [In Persian]
- Niyazi, S., Kafi, M., Nadimi, A., Rezvani, P., Masoumi, A., & Zare Mhregardi, M. (2012). Evaluation of Quantitive and Qualitative characteistic of forage Millet in different salinity levels and tim. *Irrigation Journal of field crops Research*, 17(4), 513-820. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1674658/v1>
- Qados, A.M.S., & Moftah, A.A.E. (2015). Influence of nitrogen and nano-silicon on germination, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress conditions. *American Journal of Experimental Agriculture*, 5, 509-524. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2015/14109>
- Rajendra, H., Devaraja, M., & Subash, G. (2016). Effect of stage of harvesting of seed crop, Nitrogen and Phosphorus level of the forage yield and ratoon ability if forage pearl millet. *Ind. J. Agric, Res*, 40 (3): 232 – 234. <https://arccjournals.com/journal/indian-journal-of-agricultural-research/ARCC2778>
- Steppuhn, H., Carpena, M. Th., & Scholberg, C. M. (2015). Crop ecology, management and quality: Root-Zone Salinity: II. Indices for Tolerance in Agricultural Crops. *Crop Sci*, 45(1), 221-232. https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20360500/pdf_pubs/P1976.pdf
- Tahir, I., Shah, W. H., Rasool, A., Rehman, R. U. (2020). Exogenously applied selenium (Se) mitigates the impact of salt stress in *Setaria italica* L. and *Panicum miliaceum* L. *The Nucleus*, 1–13. <https://doi.org/10.1007/s13237-020-00326-z>.
- Yamada, S., Yamaguchi, T., & Davaid Lopez Aguilar, R. (2016). Characteristics of Na, K, Ca, Mg and P absorption in *Kochia* plant (*Kochia Scoparia* (L.) Schrad.) under sainity stress. *Sand Dune Research*, 63(1), 1-8. <https://www.researchgate.net/publication/308339346>
- Yensen, N. P. (2006). Halophytes uses for the twenty-first century. A new hypothesis: the role of sodium in C4 physiology. *Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants*. Springer. 367-396. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20083223107>
- Zand-Parsa, Sh., & Sepaskhah, A. R. (2001). Optimal applied water and nitrogen for corn. *Agricultural Water Management*, 52(1), 73–85. [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378-3774\(01\)00106-8](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378-3774(01)00106-8)
- Zotarelli, L., Scholberg, J.M., Dukes, M.D., Carpena, R.M., & Icerman, J. (2009). Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agricultural Water Management*, 96(1), 23– 34. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.007>



Numerical simulation of scouring downstream of horizontal apron

Ali Babeli¹ , Ali Arman^{2✉} , Elham Darvishi³

¹ M. Sc Student of Water structures, Department of Water and Science Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: ali.babeli@yahoo.com

² Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: a.arman@razi.ac.ir

³ Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: e.darvishi@razi.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

Scouring occurs when the shear stress of the flow in the river is greater than the critical shear stress of the materials forming the bed. One of the kinds of scouring is the scouring of the bottom of the horizontal apron. The horizontal apron is one of the in-river structures, which is used downstream of stilling basin and as a bed for in-river structures. One of the most important problems of using aprons is their downstream scouring. Because the stream flows after passing through the aprons erodes the alluvial bed of the river and causes the erosion to intensify after that. Therefore, before using this protective structure, an accurate estimate of the erosion rate should be obtained.

Methodology

In this research, the numerical simulation downstream of the horizontal apron using the Flow3D model, for three Manning's roughness coefficients of 0.025, 0.02 and 0.014, five Froude numbers were 0.32, 0.3, 0.25, 0.2, and 0.15 and also for a particle diameter of 1.8 mm, a total of 15 currents tests were simulated. After comparing the data of this research with the laboratory data of Valizadeh et al. (1401), the validation of the model done accepted according to numerous implementations, finally Nelson's sediment transport model with the k- ϵ turbulence model had the most accuracy with the laboratory results.

Results and discussion

According to the results of the numerical model, it was observed that in all the scenarios related to the roughness coefficients, with the increase of the roughness coefficient of the apron, the amount of the maximum amount of scouring decreases. The reason for this is the increase in resistance to the flow in the aprons area, which reduces the scouring rate in the downstream. Also, with the increase of Froude number, the starting point of the scour hole has become closer to the bottom of the apron, and with the decrease of the Froude number, the scour hole has occurred in a place further away from the bottom of the apron. The reason for this is related to the strength of the flow in higher Froude numbers. In addition, with the increase in velocity, the amount of shear stress has decreased. According to Manning's equation, velocity decreases with increasing depth; As a result, it increases the shear stress in the scouring area. It was also demonstrated that the shear stress decreases with the increase of Froude number and decrease of bed depth.

Conclusions

The results showed that with the increase of the roughness factor of the horizontal apron, the amount of the maximum scour hole decreases. Also, with the increase of Froude number, the starting place of the scour pit has become closer to the bottom of the horizontal apron, and with the decrease of the Froude number, the scour hole has occurred in a place further away from the bottom of the apron.

Also, the results show that the rate of erosion increases with the increase in velocity along the apron. According to Manning's equation, velocity increases with decreasing depth; As a result, it increases the erosion along the horizontal apron. It was also observed that with the decrease of Froude number and increase of bed depth, erosion decreases and subsequently sedimentation increases.

Keywords: Manning's roughness coefficient, shear stress, horizontal apron, Flow 3D, bed depth, sediment load

Article Type: Research Article

Article history: Received: 22 November 2022 Revised: 05 January 2023 Accepted: 15 January 2023 ePublished: 28 February 2023

Cite this article: Babeli, A., Arman, A., Darvishi, E. (2023). Numerical simulation of scouring downstream of horizontal apron, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(4), 35 -49. DOI: 10.22126/ATWE.2023.8834.1038

Publisher: Razi University

© The Author(s).





شبیه‌سازی آبستگی پایین دست کف‌بند افقی با استفاده از مدل عددی

علی بابلی^۱، علی آرمان^۲، الهام درویشی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: ali.babeli@yahoo.com
^۲ نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: a.arman@razi.ac.ir
^۳ استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: e.darvishi@razi.ac.ir

چکیده

یکی از مهمترین عوامل آسیب و تخریب سازه‌های هیدرولیکی، وقوع آبستگی موضعی است. در بررسی و مطالعه سازه‌های هیدرولیکی درون رودخانه‌ای، تعیین میزان فرسایش و رسوب گذاری امری ضروری است. تعیین مقدار فرسایش و یا رسوبگذاری در زمانی که یک سازه هیدرولیکی اجرا شده است، می‌تواند از تخریب سازه و تغییر ژئومورفولوژی رودخانه ممانعت بعمل آورد و باعث کاهش هزینه‌های اقتصادی شود. در این تحقیق کارایی مدل عددی Flow 3D به منظور شبیه‌سازی آبستگی پایین دست کف‌بند افقی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج صحت سنجی این مدل عددی با مدل آزمایشگاهی ولی زاده و همکاران نشان‌دهنده قابلیت مدل مذکور در شبیه‌سازی پدیده مورد نظر بود. با توجه به ماهیت بستر و کارایی کف‌بند افقی، از سناریوهای مختلف شبیه‌سازی استفاده شد که این سناریوها شامل پنج عدد فرود، سه ضریب زبری مانینگ و یک قطر ذره به میزان ۱٫۸ میلی‌متر برای پایین دست کف‌بند افقی می‌باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که با افزایش ضریب زبری، سرعت جریان گذرنده و آبستگی پایین دست نیز کاهش یافته است. علاوه بر این، نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش ضریب زبری، رسوب گذاری و تنش برشی افزایش یافته است. با توجه به تاثیر پذیری پدیده آبستگی و رسوبگذاری نسبت به عدد فرود، نتایج نشان داد که با افزایش عدد فرود نیز آبستگی افزایش یافت.

واژگان کلیدی: ضریب زبری مانینگ، تنش برشی، کف‌بند افقی، نرم افزار Flow 3D، آبستگی، رسوبگذاری

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱ آذر ۱۴۰۴ اصلاح: ۱۵ دی ۱۴۰۱ پذیرش: ۲۵ دی ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۹ اسفند ۱۴۰۱

استناد: بابلی، ع، آرمان، ع، و درویشی، ا. (۱۴۰۱). شبیه‌سازی آبستگی پایین دست کف‌بند افقی با استفاده از مدل عددی، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۲(۴)، ۳۵-۴۹. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2023.8834.1038



© نویسندگان

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

آبشستگی زمانی رخ می‌دهد که تنش برشی جریان عبوری در رودخانه از تنش برشی بحرانی مصالح تشکیل دهنده بستر بیشتر باشد. یکی از انواع آبشستگی، آبشستگی پایین دست کف‌بند افقی می‌باشد. کف‌بند افقی ممکن است به عنوان بخشی از یک طرح نگهداری تراز آب یا کنترل تراز بستر در رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. کف‌بند افقی در عرض رودخانه معمولاً به گونه‌ای ساخته می‌شود که تراز تاج آن با تراز بستر تقریباً یکسان یا بالاتر و کف بستر در بالادست و پایین دست سازه تقریباً برابر باشد. این سازه ممکن است از مصالح سنگی، شمع کوبی یا سپری، بتنی، گابیون یا توری سنگی و یا به صورت ترکیبی از آنها ساخته شود.

کف بند افقی یکی از سازه‌های درون رودخانه‌ای می‌باشد که در پایین دست حوضچه‌های آرامش و بعنوان بستر سازه‌های درون رودخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مهمترین معضلات استفاده از کف بندها، آبشستگی پایین دست آنها می‌باشد. زیرا جریان رودخانه پس از گذر از کف بند، بستر آبرفتی رودخانه را دچار فرسایش می‌نماید و باعث تشدید فرسایش پس از آن می‌گردد. بنابراین قبل از استفاده از این سازه حفاظتی، لازم است تخمین دقیقی از میزان فرسایش پس از آن حاصل گردد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

حمیدی‌فر و امید (۱۳۸۹)، اثر نوع رس بر آبشستگی رسوبات چسبنده در پایین دست دریچه کشویی را با استفاده از دو نوع رس با اندازه‌های ۰/۷۳ و ۱/۸۵ میلیمتر در پایین دست کف‌بند بررسی نمودند. نتایج آزمایشهای این تحقیق نشان داد که به ازای میزان رس ثابت، حداکثر عمق آبشستگی در رسوبات با اندازه کوچکتر بیشتر است اما در مقادیر زیاد رس، چون ذرات رس کنترل رفتار فرسایشی خاک را در اختیار می‌گیرند، گسترش گودال در ذرات ریزدانه کمتر شده است.

کوچک و شفاعی بجستان (۱۳۹۱) با تحقیق بر روی چهار مدل کف بند، ضریب زبری و اعداد فرود متفاوت، آزمایشهایی را انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش ارتفاع زبری و همچنین افزایش قطر ذرات بستر می‌توان طول آبشستگی را در پنجه کف بند را کاهش داد. شهرکی و همکاران (۱۳۹۲) تاثیر آبشستگی و حمل رسوب بر اثر جت افقی از زیر دریچه را با استفاده از مدل آزمایشگاهی به انجام رساندند. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش طول کف می‌توان میزان آبشستگی در پایین دست کف بند افقی را کاهش داد. قادری و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از نرم‌افزار Flow 3D و مدل آشفتگی $k-\epsilon$ RNG در شرایط زیر بحرانی، شبیه سازی بر روی شیب شکن های قائم انجام دادند و مقایسه بین حالت تنگ شدگی و نرمال صورت را انجام دادند. در این مطالعه روابط عمق نسبی آب پایاب، عمق نسبی آب حوضچه در پایین شیب شکن و میزان انرژی نرمال با ضرایب همبستگی مورد قبول ارائه شد و میزان همبستگی روابط ارائه شده با مدل عددی مقایسه گردید.

فروهودی و اسمیت^۲ (۱۹۸۵)، در آزمایش‌های خود تشابه هندسی موجود در پروفیل‌های آبشستگی پایین دست پرش هیدرولیکی را مورد بررسی قرار دادند و نمودارهای بی‌بعدی برای تعیین پروفیل حفره آبشستگی در سه سطح عمق پایاب زیاد، متوسط و کم ارائه دادند.

لیم و یو^۳ (۲۰۰۲)، پدیده‌ی آبشستگی پس از یک دریچه کشویی در پایین دست کف‌بند را مورد بررسی قرار دادند. آنها با انجام چندین آزمایش و نیز جمع‌آوری یافته‌های محققین پیشین، یک معادله تجربی برای برآورد حداکثر عمق آبشستگی در حالت تعادلی در حضور کف‌بند ارائه نمودند.

¹ Horizontal Apron

² Farhoudi & Smith

³ Lim & Yu

درگاهی^۱ (۲۰۰۳)، به بررسی توسعه حفره آبستتگی در انتهای کفبند واقع در پایین‌دست یک سرریز پرداخت. وی هیچگونه تشابهی بین پروفیل‌های حفره آبستتگی، آنگونه که در گزارشات محققین پیشین از قبیل فرهودی و اسمیت (۱۹۸۵) آمده بود، مشاهده نکرد. همچنین نتایج آزمایش‌های وی، نشان‌دهنده عدم تقارن در عرض حفره آبستتگی بود.

ادیوس و اسکورتینو^۲ (۲۰۰۶)، به مطالعه عددی و آزمایشگاهی آبستتگی ناشی از جت متلاطم افقی پرداختند. اندازه‌گیری سرعت توسط آنها نشان داد که ساختار جریان بر روی کفبند، مشابه توزیع سرعت یک جت دیواره‌ای است. در حالیکه بلافاصله بعد از کفبند توزیع سرعت به جت آزاد تغییر می‌یابد. همچنین با افزایش دبی جریان، انطباق بین نتایج آزمایشگاهی و مدل عددی افزایش می‌یافت، زیرا در دبی‌های بالا، پروفیل آبستتگی به وضعیت دو-بعدی نزدیکتر می‌شد.

قادری و همکاران (۲۰۲۰) به شبیه‌سازی عددی پرش‌های هیدرولیکی آزاد و مستغرق بر روی حالت‌های مختلف ضریب زبری و شرایط گوناگون عدد فرود پرداختند. مدل‌ها با استفاده از سه شکل زبری اجرا گردیدند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که مدل عددی به خوبی قادر به شبیه‌سازی ویژگی‌های پرش آزاد و مستغرق است.

کامکیوم و ایسپایر^۳ (۲۰۲۲) با استفاده از مدل آزمایشگاهی و عددی نسبت‌های اتلاف انرژی بلوک‌های ساخته شده در حوضچه آرامش نوع III با اشکال هندسی مختلف را مورد بررسی قرار دادند. آنها همچنین این مطالعات را در برنامه نرم افزاری Flow 3D مورد بررسی قرار دادند و نتایج مطالعات آزمایشگاهی و عددی را با هم مورد مقایسه قرار دادند. نتایج حاصل از اجرای مدل عددی نشان داد که حدود ۵ درصد خطا با نتایج مدل آزمایشگاهی وجود دارد.

باتوجه به توضیحات فوق و اهمیت مطالعه آبستتگی پایین دست کف بند افقی، در این تحقیق به شبیه‌سازی آبستتگی پایین دست این سازه تحت سناریوهای مختلف پرداخته شده است.

روش پژوهش

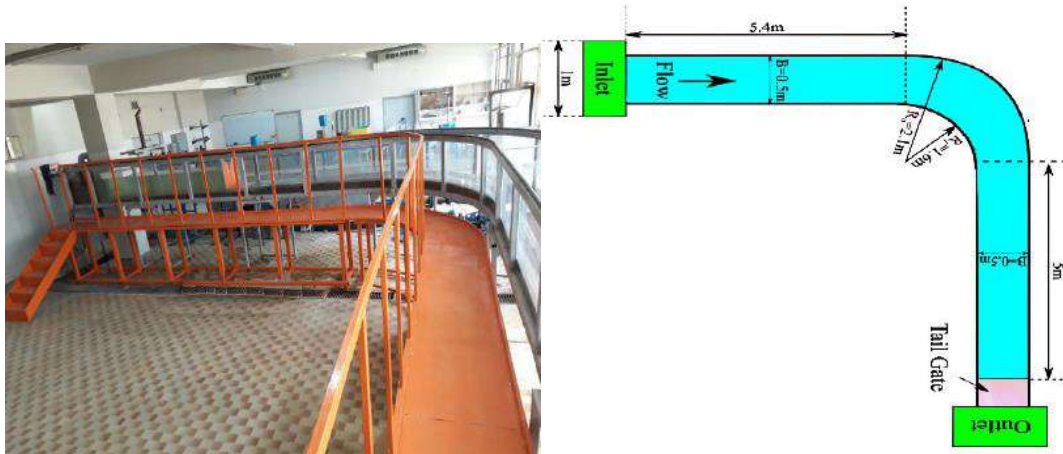
در پروژه‌های مهندسی رودخانه چنانچه هندسه مجرای جریان پیچیده نباشد، می‌توان از مدل‌های عددی بهره برد. مدل‌های فیزیکی در مقایسه با مدل‌های عددی دارای دقت بیشتری هستند اما بدلیل خطاهای ناشی از اثر مقیاس، هزینه ساخت و زمان انجام آزمایشها، معمولاً مورد توجه مهندسين هیدرولیک نمی‌باشند و در هندسه‌های ساده مجرا می‌توان از مدل‌های عددی بهره برد. در این تحقیق، شبیه‌سازی عددی در پایین دست کفبند افقی با استفاده از مدل Flow3D، با ازای سه ضریب زبری مانینگ ۰/۰۲۵، ۰/۰۲ و ۰/۰۱۴، پنج عدد فرود به مقادیر ۰/۳، ۰/۲۵، ۰/۲ و ۰/۱۵ و همچنین به ازای یک قطر ذره ۱/۸ میلی‌متر، مجموعاً ۱۵ آزمون جریان شبیه‌سازی شد که بعد از تطبیق داده‌های این پژوهش با داده‌های آزمایشگاهی ولی‌زاده و همکاران (۱۴۰۱) صحت سنجی مدل انجام پذیرفت.

مدل آزمایشگاهی که صحت سنجی سناریوهای این تحقیق بر آن بنا شده است، شامل یک کانال قوسی شکل در آزمایشگاه هیدرولیک و مدل‌های فیزیکی گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه رازی می‌باشد. همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، در این فلوم قوسی شکل طول بازه بالادست ۵/۴ متر، طول بازه پایین دست ۴/۵ متر، شعاع داخلی ۱/۶ متر، شعاع خارجی ۲/۱ متر، ارتفاع ۰/۶ متر و پهنای کف ۰/۵ متری باشد. صحت سنجی مدل عددی به کمک داده‌های شبیه‌سازی آزمایشگاهی صورت گرفته در ناحیه مستقیم بالادست انجام پذیرفت.

¹ Dargahi

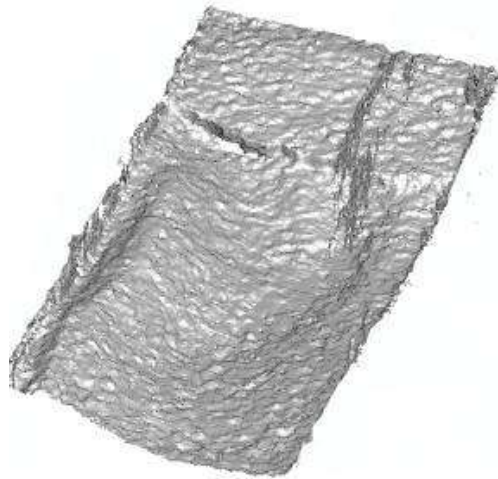
² Adduce & Sciortino

³ Kumcu & Ispir



شکل ۱. نمایی از فلوم آزمایشگاهی

به‌منظور برداشت پروفیل‌های آبستگي و رسوب‌گذاري از دستگاه اسکنر سه‌بعدي استفاده شد. اين اسکنر سه‌بعدي شامل یک دوربین Kinect ، کابل‌های رابط دوربین به PC و همچنین برنامه‌های مخصوص برای پردازش تصویر می‌باشد. این دوربین با دقت یک میلی‌متر می‌تواند توپوگرافی و جسم سه‌بعدي را اسکن نماید. شکل ۲ نمایانگر آبستگي برداشت شده جهت صحت سنجی مدل عددي با استفاده از دوربین Kinect است.



شکل ۲. آبستگي برداشت شده جهت صحت سنجی مدل عددي

برای محاسبه فرسایش و رسوب گذاری در پنجه کف بندهای افقی در رودخانه‌ها و همچنین تعیین الگوی مقاومت جریان از روابط مانینگ (n)، شزی (c) و دارسی ویسباخ (f) استفاده می شود و در مسائل حاکم بر رژیم جریان در رودخانه‌ها و در تمامی مدل‌های ریاضی که برای اجرای شبیه‌سازی جریان مانند سرعت، عمق، تنش برشی و... کاربرد فراوانی دارند.

این روابط پیوستگی بین سرعت متوسط (V) مقاومت جریان هیدرولیکی و هندسی رودخانه‌ها را بیان می‌کنند (ین؛ ۲۰۰۲).

$$V=C\sqrt{R_s f} \quad (۱) \text{ شزی}$$

$$V=\frac{K}{n}R^{\frac{2}{3}}S_f^{1/2} \quad (۲) \text{ مانینگ}$$

$$V=\sqrt{\frac{8g}{f}}\sqrt{R_s f} \quad (۳) \text{ دارسی-ویسباخ}$$

C: ضریب شزی، n: ضریب مانینگ و f: ضریب دارسی-ویسباخ، g: شتاب ثقل، K: ضریبی که مقدار آن در سیستم انگلیسی ۱/۴۸۶ و در سیستم SI برابر ۱ است، S_f: شیب خط انرژی، R: شعاع هیدرولیکی و V: سرعت متوسط جریان می‌باشد. در این تحقیق از رابطه مانینگ جهت شبیه سازی استفاده شده است.

معرفی نرم‌افزار Flow 3D

دینامیک سیالات محاسباتی یکی از شاخه‌های مکانیک سیالات است که با استفاده از آنالیز عددی و الگوریتم‌های عددی، مسائل مشتعل بر شاخه‌های سیالاتی را تجزیه و تحلیل می‌کند. این شاخه از مکانیک سیالات، مکانیک قدیم را به علوم رایانه و توانمندی‌های نوین محاسباتی متصل می‌کند. روابط حاکم بر جریان یک سیال تراکم ناپذیر لزج در وضعیت آشفته، رابطه پیوستگی (بقای جرم) و رابطه مومنتم (حرکت) توسط ناویر استوکس متوسط گیری شده و رینولدز (RANS) نام‌گذاری شده است.

معادله پیوستگی

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (۴)$$

معادله مومنتم

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + g_i + \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij}) \quad (۵)$$

در روابط فوق:

P : فشار کل، u_i : پارامتر سرعت در جهت x_i ، g_i : شتاب ثقل در جهت x_i ، ρ : چگالی سیال، τ_{ij} : تنش برشی جریان آشفته که در معادله ۶ ارائه می‌گردد:

$$\tau_{ij} = \rho(v - v_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho(k + v_t) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \delta_{ij} \quad (۶)$$

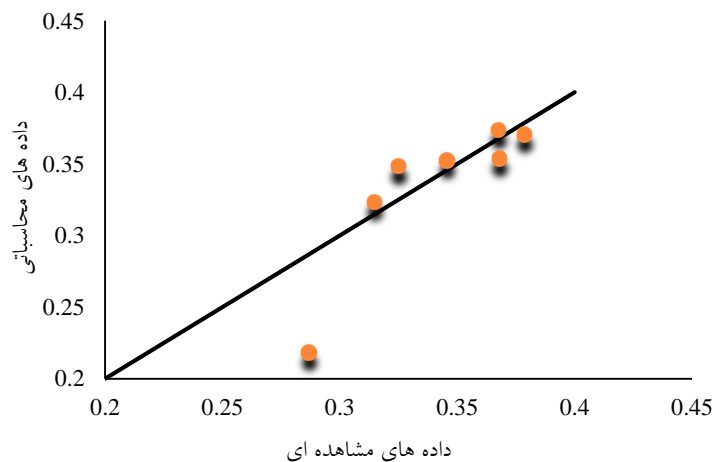
در حالتی که جریان آشفته باشد، تنش برشی در دو مرحله بیان می‌شود یک تنش برشی متأثر از پارامتر متوسط جریان. دوم تنش برشی ناشی از پارامتر نوسانی سرعت که در طول مسیر حرکت سیال ایجاد می‌شود به تنش‌های رینولدزی معروف بوده و در معادله ۷ بیان می‌شود:

$$\tau_{ij} = \rho \overline{u'_i u'_j} = \rho v_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (۷)$$

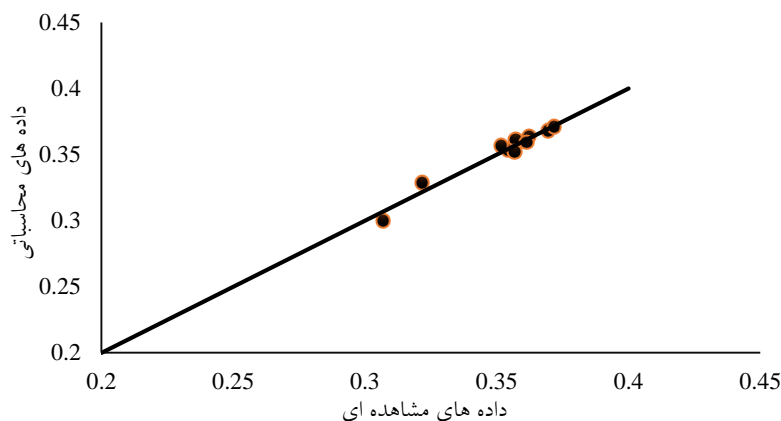
v_t : لزوجت گردابه‌ای است که تابع خصوصیت جریان و آشفتگی سیال می‌باشد و مقدار آن از یک سیال نسبت به سیال دیگر و در نقاط مختلف مسیر جریان باهم متفاوت می‌باشد. δ_{ij} : برای بیان لزوجت گردابه‌ای کاربرد دارد. k : انرژی جنبشی تلاطم در واحد جرم نامیده می‌شود و در معادله ۸ ارائه گردیده است:

$$k = \frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \quad \text{و} \quad \begin{cases} \delta_{ij} = 0 & i \neq j \\ \delta_{ij} = 1 & i = j \end{cases} \quad (۸)$$

در پژوهش حاضر مدل عددی بر اساس روش‌های انتقال رسوب میر پیتر - مولر، نلسون و وان راین و مدل‌های آشفتگی RNG و $k-\epsilon$ اجرا شد. باتوجه به اجراهای متعدد با سه معادله انتقال رسوب یاد شده، در نهایت مدل انتقال رسوب نلسون با مدل آشفتگی $k-\epsilon$ بیشترین دقت را با نتایج آزمایشگاهی دارا بود. در اشکال ۳ و ۴ نتایج حاصل از مقایسه میزان حداکثر گودال آبشستگی در شرایط آزمایشگاهی و معادله انتقال رسوب نلسون با استفاده از مدل‌های آشفتگی RNG و $k-\epsilon$ ارائه شده است.



شکل ۳. مقایسه نتایج حاصل از مدل رسوبی آزمایشگاهی و عددی با مدل آشفتگی RNG



شکل ۴. مقایسه نتایج حاصل از مدل رسوبی آزمایشگاهی و عددی با مدل آشفستگی k-ε

به منظور مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های آشفستگی RNG و k-ε، از پارامترهای آماری ریشه مربعات خطا (RMSE) و خطای مطلق متوسط (MAE) استفاده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(\tau_0) - (\tau_i)]^2} \quad (9)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n (|\tau_0 - \tau_i|)}{n} \quad (10)$$

جدول ۱ مقایسه نتایج حاصل از مدل های آشفستگی را نشان می دهد.

جدول ۱. مقایسه مدل‌های آشفستگی

مدل	RMSE	MAE	مدت زمان شبیه سازی (ساعت)
k-ε	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵۵	۲۷
RNG	۰/۰۶	۰/۰۱۱	۳۲

به منظور یافتن مش بهینه در این شبیه‌سازی از سه سایز ۶، ۴ و ۲ سانتیمتر استفاده شده است که مش ۴ سانتیمتری دارای نتایج بهتری بود. در کلیه شبیه سازی ها، زمان شبیه‌سازی ۲۰۰۰ ثانیه در نظر گرفته شد. مقایسه نتایج مدل ریاضی با مدل آزمایشگاهی نشان داد که این شبیه سازی عددی قابلیت تطبیق مناسبی برای پیش‌بینی مدل دو بعدی جریان و فرسایش کفبند افقی دارد. در جدول ۲، مقایسه نتایج سه سایز مش ۲، ۴ و ۶ سانتی متری ارائه شده است.

¹ Root Mean Square Error

² Mean Absolute Error

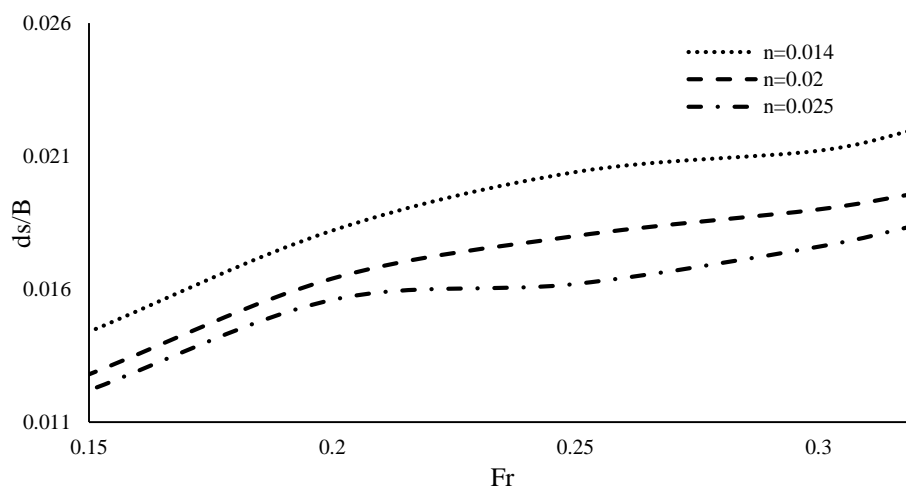
جدول ۲. مقایسه شبکه مش بندی

مدت زمان شبیه سازی (ساعت)	MAE	RMSE	سایز مش (سانتی متر)
۷۶	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۵	۲
۲۷	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۷	۴
۶	۰/۰۱۱	۰/۰۶	۶

همانگونه که از جدول ۲ مشخص است، چنانچه ابعاد میدان جریان کوچکتر از ۴ سانتی متر گردد، عملاً تاثیر زیادی بر روی نتایج حاصل شده ندارد و مدت زمان شبیه سازی بیشتر می گردد. بنابراین در این تحقیق در کلیه شبیه سازی ها ابعاد مش ها ۴ سانتی متر در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

شکل ۵ بیانگر نمودار تغییرات عمق آبشستگی نسبت به عدد فرود در ضرایب زبری متفاوت کف بند افقی به ازای قطر ذره ۱/۸ میلی متر می باشد.

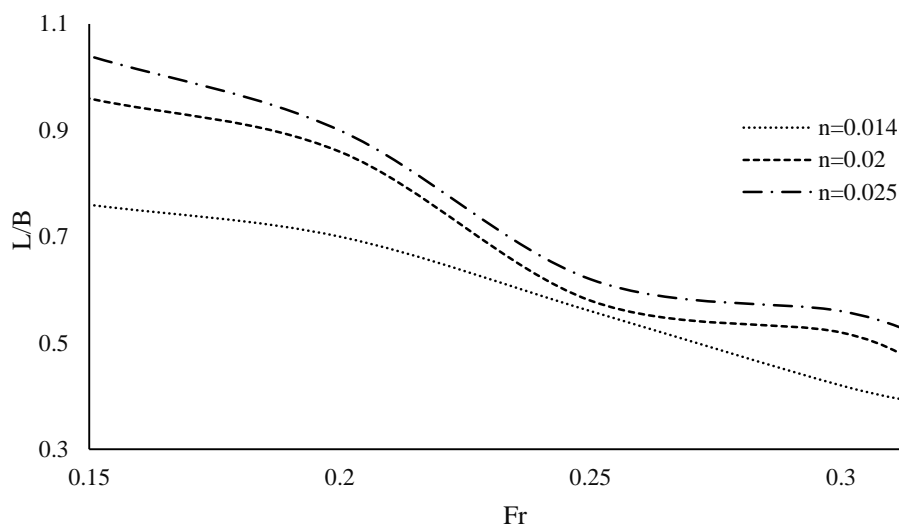


شکل ۵. نمودار تغییرات نسبت عمق آبشستگی به عرض کانال در برابر عدد فرود در ضرایب زبری متفاوت کف بند افقی

باتوجه به نمودار فوق مشاهده می شود که در تمامی سناریوهای مربوط به ضرایب زبری، با افزایش ضریب زبری کف بند، میزان حداکثر مقدار آبشستگی کاهش می یابد. علت این امر، افزایش مقاومت در برابر جریان در محدوده کف بند می باشد که باعث می شود در پایین دست میزان آبشستگی کاهش یابد. در عدد فرود ۰/۳۲، میزان نسبت عمق آبشستگی به عرض کف کانال در ضرایب زبری ۰/۰۱۴، ۰/۰۲ و ۰/۰۲۵ به ترتیب برابر ۰/۰۲۲، ۰/۰۱۹۶ و ۰/۰۱۸۴ می باشد. به بیان دیگر افزایش ضریب زبری کف بند از ۰/۰۱۴ به ۰/۰۲۵ باعث می شود که میزان نسبت عمق آبشستگی به عرض کف کانال ۱۷ درصد کاهش یابد.

با توجه به اینکه با تغییر عدد فرود انتظار می رود محل حفره آبشستگی تغییر کند، در ادامه به بررسی تاثیر عدد فرود بر حفره آبشستگی در سناریو های مختلف شبیه سازی پرداخته شده است.

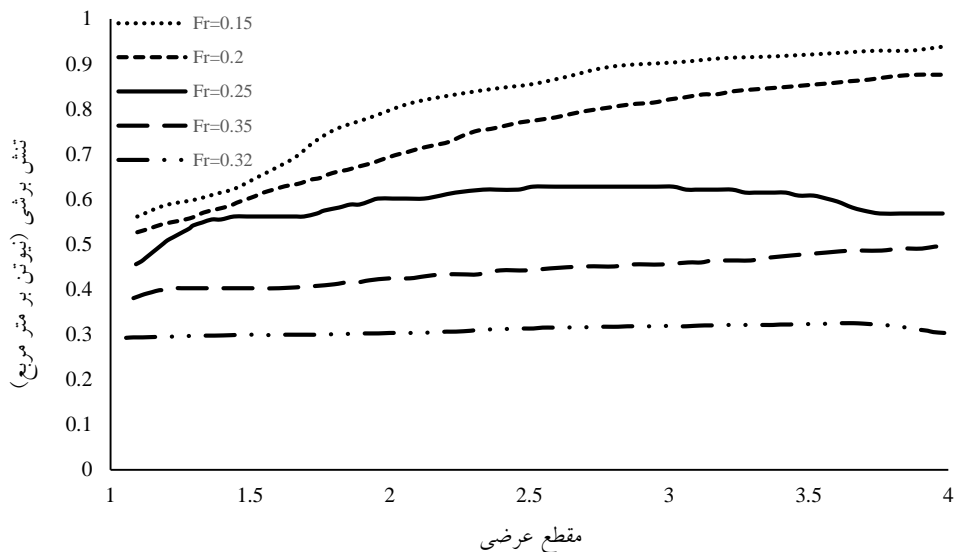
شکل ۶ بیانگر تاثیر عدد فرود بر محل حفره آبستگي به ازای ضرایب متفاوت زبری کف بند افقی می باشد.



شکل ۶. تاثیر عدد فرود بر محل حفره آبستگي به ازای ضرایب متفاوت زبری کف بند افقی

همانطور که در نمودار بالا مشاهده می گردد، با افزایش عدد فرود محل شروع گودال آبستگي به کف بند نزدیک تر شده است و با کاهش عدد فرود، گودال آبستگي در محل دورتری از کف بند اتفاق افتاده است. علت این امر به قدرت جریان در اعداد فرود بیشتر مرتبط می باشد. به بیان دیگر در ضریب زبری کف بند معادل ۰/۰۱۴، میزان نسبت طول حداکثر آبستگي به عرض کانال برابر ۰/۷۶ بوده است و در عدد فرود ۰/۳۲ این میزان به ۰/۴۲ رسیده است. به بیان دیگر با افزایش عدد فرود، میزان نزدیک شدن گودال آبستگي به کف بند افقی ۵۵ درصد اولیه می باشد. این میزان نزدیک شدن حفره آبستگي در ضرایب زبری ۰/۰۲ و ۰/۰۲۵ به ترتیب برابر ۴۵ درصد و ۴۸ درصد می باشد.

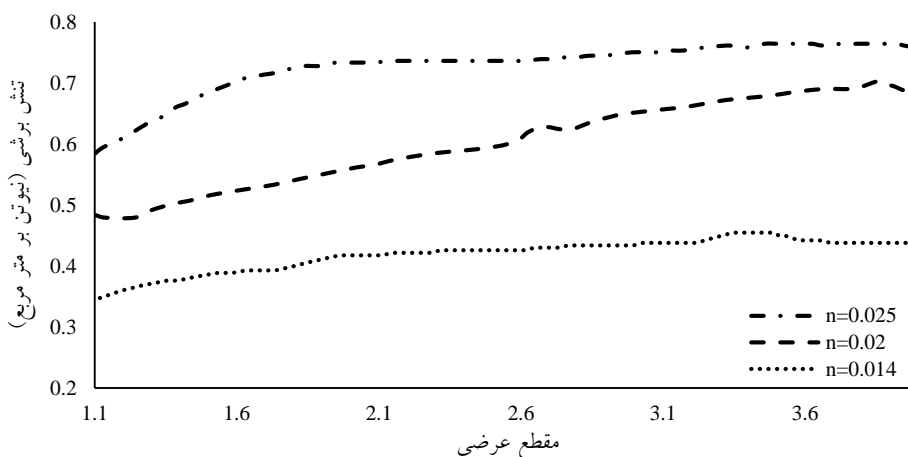
یکی دیگر از پارامترهای حائز اهمیت در آبستگي، تنش برشی می باشد. شکل ۷ بیانگر نمودار تغییرات تنش برشی نسبت به طول کف بند افقی با ضریب زبری ۰/۰۱۴ و اعداد فرود متفاوت به ازای قطر ذره ۱/۸ میلی متر می باشد.



شکل ۷. نمودار تغییرات تنش برشی نسبت به عدد فرود در ضریب زبری یکسان کف بند افقی

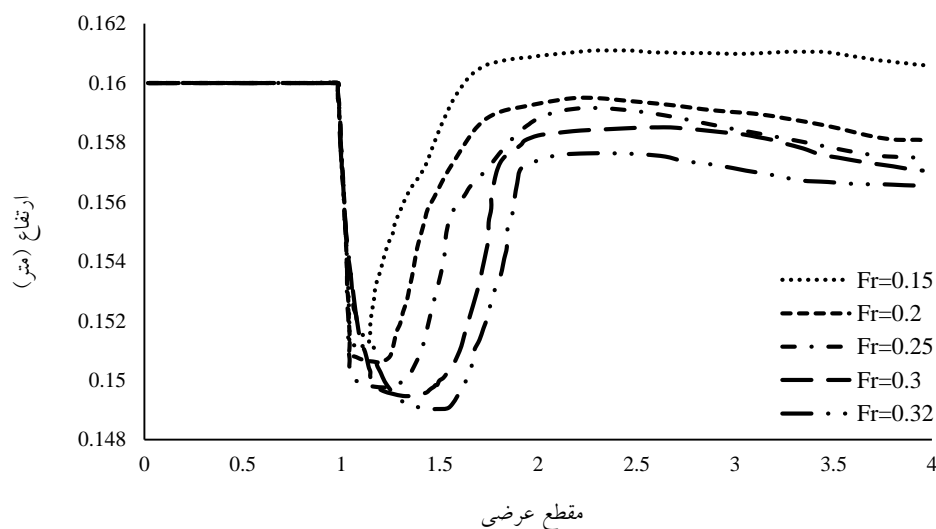
همانطور که در نمودار بالا مشاهده می‌گردد، با افزایش سرعت در طول کف بند، میزان تنش برشی کمتر شده است. با توجه به معادله مانینگ با افزایش عمق سرعت کاهش می‌یابد؛ در نتیجه باعث افزایش تنش در محل آبشستگی می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش عدد فرود و کاهش عمق آب، تنش کاهش پیدا می‌کند؛ بطوریکه به ازای ضریب زبری کف بند افقی به میزان 0.14 با افزایش عدد فرود از 0.15 به 0.2 میزان تنش برشی 67 درصد افزایش یافته است. این میزان افزایش به ترتیب برای اعداد فرود 0.2 ، 0.25 ، 0.3 و 0.32 به ترتیب برابر 64 درصد، 22 درصد، 20 درصد و 3 درصد می‌باشد.

شکل ۸ نمودار تغییرات تنش برشی نسبت به طول کف بند افقی با ضرایب زبری متفاوت و عدد فرود 0.3 به ازای قطر ذره $1/8$ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۸. تغییرات تنش برشی نسبت به طول کف بند افقی با ضرایب زبری متفاوت و عدد فرود 0.3

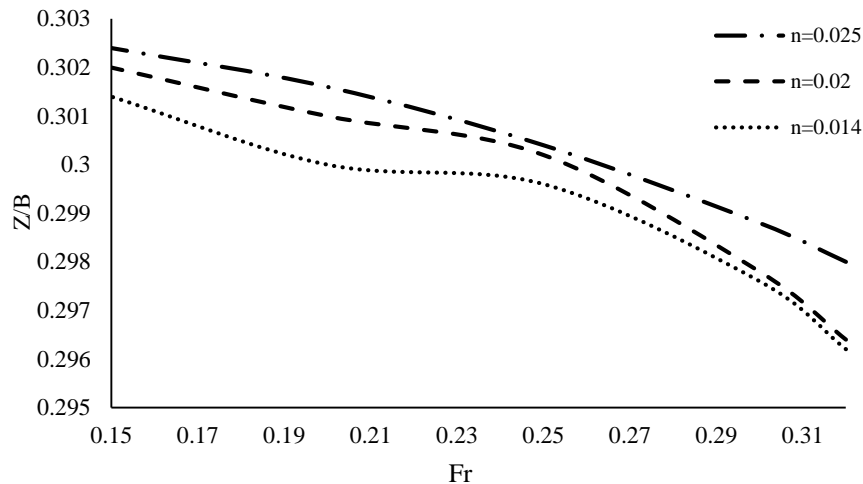
شکل (۹) بیانگر نمودار تغییرات فرسایش و رسوب‌گذاری نسبت به طول کف بند افقی با ضریب زبری ۰/۰۲۵ و اعداد فرود متفاوت به ازای قطر ذره ۱/۸ میلی متر می باشد.



شکل ۹. نمودار تغییرات فرسایش به عدد فرود در ضریب زبری ۰/۰۲۵ کف بند افقی

همانطور که در نمودار بالا مشاهده می گردد، با افزایش سرعت در طول کف بند، میزان فرسایش افزایش پیدا می کند. با توجه به معادله مانینگ با کاهش عمق سرعت افزایش می یابد؛ در نتیجه باعث افزایش فرسایش در طول کف بند می شود. همچنین مشاهده شد که با کاهش عدد فرود و افزایش عمق آب فرسایش کاهش می یابد و متعاقباً رسوب‌گذاری افزایش پیدا می کند بطوریکه به ازای ضریب زبری کف بند افقی به میزان ۰/۰۲۵ با افزایش عدد فرود از ۰/۰۱۵ به ۰/۳۲ میزان فرسایش به میزان ۲۰ درصد افزایش یافته است.

شکل ۱۰ نمودار تغییرات نسبت ارتفاع آبستگي به عرض کانال در برابر عدد فرود جریان به ازای قطر ذره ۱/۸ میلی متر را نشان می دهد. در این حالت مشاهده می شود با افزایش عدد فرود در تمامی سناریوهای مربوط به ضریب زبری، میزان حداکثر مقدار عمق آبستگي افزایش یافته است. بطوریکه در سناریوی مربوط به ضریب زبری ۰/۰۲۵ به ۰/۰۲ به میزان ۳ درصد و با کاهش ضریب زبری کف بند از ۰/۰۲ به ۰/۰۱۴ به میزان ۲ درصد افزایش یافته است.



شکل ۱۰. نمودار تاثیر عدد فرود بر عمق آبشستگی در ضرایب زبری متفاوت کف بند افقی

بحث

یکی از مهمترین عوامل آسیب و تخریب سازه‌های هیدرولیکی، وقوع آبشستگی موضعی است. در بررسی و مطالعه سازه‌های هیدرولیکی درون رودخانه‌ای، تعیین میزان فرسایش و رسوب گذاری امری ضروری است. تعیین مقدار فرسایش و یا رسوبگذاری در زمانی که یک سازه هیدرولیکی اجرا شده است، می‌تواند از تخریب سازه و تغییر ژئومورفولوژی رودخانه ممانعت بعمل آورد و باعث کاهش هزینه های اقتصادی شود در این تحقیق از نرم افزار Flow 3D که با مدل آزمایشگاهی ولی زاده و همکاران (۱۴۰۱) صحت سنجی گردیده، استفاده شده است. در این تحقیق ۱۵ آزمون با استفاده از نرم افزار Flow 3D بمنظور تعیین میزان آبشستگی، رسوبگذاری و تنش برشی انجام شد. شبیه سازی های این تحقیق شامل پنج عدد فرود به مقادیر ۰/۳۲، ۰/۳، ۰/۲۵، ۰/۲ و ۰/۱۵ و سه ضریب زبری مانینگ ۰/۰۲۵، ۰/۰۲ و ۰/۰۱۴ برای یک دانه بندی ۱/۸ میلی‌متر می باشد. پس از صحت سنجی مدل، حاصل شد که مدل انتقال رسوب نلسون به‌مراه مدل آشفتگی k-ε بیشترین تطابق را با داده های آزمایشگاهی دارد.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که با افزایش ضریب زبری کف بند افقی، میزان حداکثر گودال آبشستگی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش عدد فرود، محل شروع گودال آبشستگی به کف بند نزدیک تر شده است و با کاهش عدد فرود، گودال آبشستگی در محل دورتری از کف بند اتفاق افتاده است. همچنین نتایج بیانگر این مهم است که با افزایش سرعت در طول کف بند، میزان فرسایش افزایش پیدا می‌کند. با توجه به معادله مانینگ با کاهش عمق سرعت افزایش می‌یابد؛ در نتیجه باعث افزایش فرسایش در طول کف‌بند می‌شود. همچنین مشاهده شد که با کاهش عدد فرود و افزایش عمق آب فرسایش کاهش می‌یابد و متعاقباً رسوب‌گذاری افزایش پیدا می‌کند.

- حمیدی‌فر، حسین، و امید، محمد حسین. (۱۳۸۹). بررسی آزمایشگاهی رسوبات غیر چسبیده در پایین دست کف بند. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۱(۲)، ۱۷-۲۸. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.26454531.1389.11.2.2.3.17-28>
- شهرکی، نیما، فرسادی زاده، داود، و شهرکی، توحید. (۱۳۹۲). بررسی آزمایشگاهی آبستگي ناشی از جت مستغرق در پایین دست کف بند افقی. هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، زاهدان. <https://civilica.com/doc/216870>
- فتح الهی، سیاوش، اسماعیل لو، شیرین، و میرشاهی، دانیال. (۱۳۹۴). مطالعه آزمایشگاهی تاثیر اندازه ذرات رسوبی بر سرعت برشی. اولین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. <https://sid.ir/paper/869410/fa>
- قادری، امیر، دسینه، مهدی، و عباسی، سعید. (۱۳۹۷). بررسی تاثیر تنگ‌شدگی‌های قائم ورودی بر روی مشخصات هیدرولیکی شیب‌شکن قائم با استفاده از مدل عددی. مجله علمی-پژوهشی، زنجان. <https://sid.ir/paper/124243/fa>
- کوچک، پریسا، و شفاعی بجستان، محمود. (۱۳۹۱). بررسی تغییرات طول آبستگي پایین دست کف‌بند افقی زبر. نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز. <https://civilica.com/doc/186664/>
- ولی زاده، رضوان، آرمان، علی، قبادیان، رسول. (۱۴۰۱). بررسی تاثیر کف بند مایل حفاظت کننده بر میزان آبستگي زیر لوله نیمه مدفون در قوس ۹۰ درجه ملایم. بیست و یکمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز. <https://conf.iha.ir/paper?manu=58378>

References

- Adduce, C., & Sciortino, G. (2006). Scour due to a horizontal turbulent jet: Numrecul and experimental investigation. *J. hydra. Res*, 44(5), 663-673. <https://doi.org/10.1080/00221686.2006.9521715>
- Dargahi, B. (2003). Scour downstream of a spillway. *J. hydra. Res*, 41(4), 417-426. <https://doi.org/10.1080/00221680309499986>
- Farhodi, J., & Smith, K. V. H. (1985). Local scour profiles downstream of hydraulic jump. *J. Hydraul. Res*, 23(4), 342-358. <https://doi.org/10.1080/00221688509499344>
- Fath Elahi, S., Ismail Lu, sh., & Mirshahi, D. (2014). Laboratory study of the effect of sediment particle size on shear rate. The first national congress of irrigation and drainage of Iran. <https://sid.ir/paper/869410/fa>. [in Persian]
- Ghaderi, A., Dasineh, M., Aristodemo, F., & Ghahramanzadeh, A. (2020). Characteristics of free and submerged hydraulic jumps over different macroroughnesses. *Journal of Hydroinformatics*, 22 (6), 1554–1572. <https://doi.org/10.2166/hydro.2020.298>. [in Persian]
- Hamidifar, H., & Omid, M. H. (2018). Noncohesive Sediment Scour Downstream of an Apron. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 11(2), 7-28. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.26454531.1389.11.2.2.3>. [in Persian]
- Koochack, P., & Shafa'i Bejestan, M. (2011). Investigation of the changes in scour length downstream of the rough horizontal pavement. The 9th International Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz. <https://civilica.com/doc/186664/>. [in Persian]
- Kumcu, S. Y., & Ispir, K. (2022). Experimental and numerical modeling of various energy dissipater designs in chute channels. *Journal of Applied Water Science*, 12, 266. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01792-3>
- Lim, S., & Yu, G. (2002). Scouring Downstream of Sluice Gate. First International Conference of Scour Foundation, Texas Transportation Institute, Texas A and M University, Texas, USA, 17-20. <https://core.ac.uk/download/pdf/326240612.pdf>

- Shahraki, N., Farsadizadeh, d., & Shahraki, T. (2012). Laboratory investigation of scouring caused by submerged jet downstream of horizontal weir. 7th National Congress of Civil Engineering, Shahid Nikbakht Faculty of Engineering, Zahedan. <https://civilica.com/doc/216870>. [in Persian]
- Valizadeh, R., Arman, A., & Ghobadian, R. (1401). Investigation of the effect of the protective inclined floor on the amount of scour under the semi-buried pipe in a mild 90-degree bend. 21st Iranian Hydraulic Conference, Shahid Chamran University of Ahvaz. <https://conf.iha.ir/paper?manu=58378>. [in Persian]
- Yen, B. C. (2002). Open Channel Flow Resistance. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(1), 20-39. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2002\)128:1\(20\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2002)128:1(20))



Investigation the phenomenon of sediment flushing under submerged condition in the upstream of dams using physical model

Mohammad Javad Nasr Esafahani ¹✉ , Roozbeh Riazi ² , Sara Bani Naima ³ 

¹ Corresponding Author, Ph. D graduated of water structures, Head of applied research department of Khuzestan Water and Power Authority, Ahvaz, Iran. Email: mo.isfahani@gmail.com

² Assistant professor, Department of Civil engineering, Islamic Azad University, Dehdasht branch, Dehdasht, Iran. Email: roozbehriazi@yahoo.com

³ Ph. D student of Hydrology and Meteorology, Faculty of Humanities, Department of Geography, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran. Email: amiri.sara63@gmail.com

ABSTRACT

Introduction

Today, the most serious risk for the early death of dams is the risk of sedimentation of their reservoirs. Among the conventional methods in the field of sediment management in reservoirs of dams, we can refer to damming, construction of short dams upstream, dredging and flushing. Since flushing is one of the most important and cheapest methods of recovering the lost volume of the tank, therefore, the investigation of this phenomenon and the investigation of various parameters on it, as well as the investigation of its feasibility, have been of interest to researchers and engineers. Hydraulic sediment washing is called a method in which by opening the lower drains of the bottom or a lower number, it is used to cause erosion of erodible sediments that have already been deposited inside the tank, this method is done in two ways:

1- Free hydraulic sediment washing, in this method, the water level of the tank is lowered by the bottom dischargers until the river flow takes place in the tank.

2-Hydraulic sediment washing under pressure, in this method, during sediment washing, the lower drains of the dam are usually opened for a certain period of time.

Methodology

To check the mentioned parameters in this research, a physical model with a length of 1 meter, a width of 1 meter and a height of 1.10 meters and by performing various tests using 2 water heights inside the tank, 3 water heights inside the pond and with 3 types of sediment granulation (in total 81 experiments) were investigated and studied. In the research process, after data collection, the next step involves data analysis. Data analysis is not only in a statistical way and there are many researches that lack statistical aspects and mainly rely on documents and rational perception and analysis. Such research also follows the complete process of scientific research and has an analysis stage. Therefore, analysis is generally of two types: quantitative analysis and qualitative analysis.

Some have classified quantitative analysis into descriptive analysis and explanatory (causal) analysis. At the level of descriptive quantitative analysis, the distribution of experimental data of each of the independent and dependent variables is expressed through appropriate statistical indicators.

At the level of explanatory analysis, we are dealing with causal analysis, and the causal relationship between variables is sought. Qualitative analysis can be done at three levels: description, explanation and interpretation. In carrying out the model tests, various options that are desired by the designer are studied and the values of scour holes are measured in each of them.

In fact, the experiments were carried out both quantitatively and qualitatively, and when necessary, photographs were taken of the steps. Each test was recorded in order to obtain more accurate results.

In order to process the results easily and quickly, it is better that the process and steps of measurement are the same for all experiments and in a repetitive manner, so that while increasing the speed of the measurement, the error can be reduced as much as possible.

Results and discussion

The results of this research show that in sediment washing under pressure, when the lower discharger returns for sediment washing, a sediment washing cone is formed in front of it. The dimensions of the formed sediment washing cone depend on the discharge from the lower discharger, the height of the water inside the tank and the diameter of the sediments accumulated inside the tank, so that the measurement results show that in order to keep the height of submerged water constant, the height of water inside the tank increases.

It increases the volume and length of the sediment washing cone. Also, for a fixed height of water inside the tank, increasing the height of submerged water causes an increase in the volume and length of the sediment washing cone.

Conclusions

In general, it can be concluded that in this research, there was a trend in drawing tables and graphs that can be used for analysis, similar research, for observation and quick conclusions, And with the increase of D_{50} , the amount of sediment washing decreases.

The amount of water height h_2/h_1 has a direct relationship with the amount of sediment washing. The height of the water upstream is directly proportional to the amount of sediment discharge, and the reason for this is the high output flow and ultimately the increase in kinetic energy.

In this research, it was found that the amount of sediment washing has a more direct relationship with D_{50} than with the PI of the material. For this purpose, it is recommended to the operators, when the tank is full and the flow is submerged, the amount of sediment washing is quantitatively higher than when the water level is at lower levels. Better sediment washing, sediment washing operation should be done. If the flow is supposed to be submerged, the best flushing is done when the water level downstream is at the lowest level.

As mentioned, sediment washing usually causes water wastage, so for better sediment washing, first, past research on this matter should be used and then action should be taken. The results showed that with a 50% increase in the height of the water inside the tank for the constant water height inside the pond, the scour rate will also increase by approximately 50%. Also, for a 66% increase in the height of the water in the pond,

the amount of scour decreased by approximately 19% in the half-full state of the reservoir and 35% in the full-filled state. This increase and decrease were observed for all three soil samples used in the experiments.

Keywords: Sediment flushing, Submerged condition, dams, Physical model

Article Type: Research Article

Article history: **Received:** 07 October 2022 **Revised:** 21 November 2022 **Accepted:** 06 December 2022 **ePublished:** 28 February 2023

Cite this article: Nasr Esafahani, M.J., Riazi, R., & Bani Naima, S. (2023). Investigation the phenomenon of sediment flushing under submerged condition in the upstream of dams using physical model, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(4), 50 -67 . DOI: <https://doi.org/10.22126/atwe.2022.8057.1024>

Publisher: Razi University

© The Author(s).





بررسی پدیده رسوبشویی تحت جریان مستغرق در تخلیه رسوبات بالادست سدها با استفاده از مدل فیزیکی

محمدجواد نصر اصفهانی^۱✉، روزبه ریاضی^۲، سارا بنی نعیمه^۳

^۱ نویسنده مسئول، دانش‌آموخته دکتری سازه‌های آبی، رئیس گروه نوآوری و توسعه فناوری سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: mo.isfahani@gmail.com
^۲ استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دهدشت، دهدشت، ایران. رایانامه: roozbehriazi@yahoo.com
^۳ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: amiri.sara63@gmail.com

چکیده

در روش رسوبشویی تحت جریان مستغرق، مقدار حجم رسوبات تخلیه شونده به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که می‌توان به عمق آب داخل مخزن، عمق آب داخل حوضچه، دبی جریان خروجی از تخلیه کننده تحتانی، اندازه و نوع رسوبات تجمع یافته در داخل مخزن اشاره نمود. برای بررسی پارامترهای مذکور در این پژوهش از یک مدل فیزیکی به طول ۱ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۱/۱ متر و با اجرای آزمایش‌های مختلف با استفاده از ۲ ارتفاع آب داخل مخزن، ۳ ارتفاع آب داخل حوضچه و با ۳ نوع دانه‌بندی رسوب (در مجموع ۸۱ آزمایش) استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که در رسوبشویی تحت فشار زمانی که تخلیه کننده تحتانی برای رسوبشویی باز گردد، جلوی آن یک مخروط رسوبشویی تشکیل می‌شود. ابعاد مخروط رسوبشویی تشکیل شده به دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی، ارتفاع آب داخل مخزن و قطر رسوبات تجمع یافته در داخل مخزن بستگی دارد به طوری که ثابت نگه‌داشتن ارتفاع آب مستغرق و افزایش ارتفاع آب داخل مخزن، موجب افزایش حجم و طول مخروط رسوبشویی می‌گردد. همچنین به ازای یک ارتفاع آب ثابت در داخل مخزن، افزایش ارتفاع آب مستغرق موجب افزایش میزان حجم و طول مخروط رسوبشویی می‌شود. نتایج نشان داد با افزایش ۵۰ درصدی ارتفاع آب داخل مخزن به ازای ارتفاع آب ثابت داخل حوضچه، میزان آب شستگی نیز افزایش تقریبی ۵۰ درصدی خواهد داشت. همچنین به ازای افزایش ۶۶ درصدی ارتفاع آب داخل حوضچه، میزان آب شستگی به میزان تقریبی ۱۹ درصد در حالت مخزن نیمه‌پر و ۳۵ درصد در حالت مخزن پر کاهش یافت. این افزایش و کاهش برای هر سه نمونه خاک مورد استفاده در آزمایش‌ها مشاهده گردید.

واژه های کلیدی: رسوبشویی، جریان مستغرق، سد، مدل فیزیکی

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۵ مهر ۱۴۰۱ اصلاح: ۳۰ آبان ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۵ آذر ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۹ اسفند ۱۴۰۱

استناد: نصر اصفهانی، م.ج، ریاضی، ر.، بنی نعیمه، س. (۱۴۰۱). بررسی پدیده رسوبشویی تحت جریان مستغرق در تخلیه رسوبات بالادست سدها با استفاده از مدل فیزیکی، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۳(۱)، ۶۷-۵۰. شناسه دیجیتال: <https://doi.org/10.22126/atwe.2022.8057.1024>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

مواد رسوبی که وارد مخازن سدها می‌شوند، حاصل عمل فرسایش پوسته زمین است که توسط رودخانه حمل و به مخزن وارد می‌شوند. میزان فرسایش به عوامل متعددی همچون شرایط آب و هوایی، خصوصیات زمین‌شناسی منطقه، وضعیت توپوگرافی، پوشش گیاهی و نوع کاربرد اراضی و مشخصات رودخانه دارد. از این رو میزان فرسایش خاک ممکن است از ۰/۰۶ میلی‌متر در سال تا ۰/۱۶ میلی‌متر تغییر کند، به‌طور متوسط در حدود ۱۳۲ تن رسوب در هر کیلومترمربع در هر سال تولید می‌شود، (بنی‌هاشمی، ۱۳۸۷). بیشتر مواد رسوبی فرسایش شده به‌صورت بار شسته، بار معلق و بار بستر توسط رودخانه حمل و در مخازن سدها به دلیل تغییر شرایط هیدرولیکی جریان ترسیب می‌شود. مخازن سدها می‌تواند تا صد درصد از رسوبات را در خود ذخیره نماید. جمعیت جهان تا سال ۱۳۸۴ (۲۰۰۴) در حدود شش میلیارد و سیصد و پنجاه میلیون نفر بوده است که تا سال ۱۳۳۰ (۲۰۵۰) به ده میلیارد نفر خواهد رسید. این مسئله باعث افزایش تقاضا برای مصرف آب بخصوص آب‌های سطحی می‌گردد. جدول ۱، وضعیت منابع آب در مناطق مختلف جهان در سال ۱۳۸۴ را نشان می‌دهد. هرچند که به‌طور متوسط ۱۲ درصد از حجم منابع آب تجدیدشونده طبیعی در مخزن سدها ذخیره می‌شود، ولی این میزان در مناطقی نظیر خاورمیانه تا ۶۰ درصد هم می‌رسد. این جدول اهمیت حفظ و نگهداری مخازن موجود و نیاز به ساخت مخازن جدید را نشان می‌دهد، (هالی و همکاران، ۲۰۱۰). مخازن سدها باهدف ذخیره کردن بخشی از جریان‌های سیلابی رودخانه و به‌منظور کنترل سیل، ذخیره آب برای مصارف پایین‌دست، تولید انرژی و یا تفریحات احداث می‌شوند، ترسیب رسوب در آن‌ها باعث از دست رفتن حجم مفید مخزن می‌گردد. نرخ متوسط ترسیب سالانه درصد حجمی از مخزن که توسط رسوب اشغال می‌شود، در مناطق مختلف جهان متفاوت است. مطابق با جدول ۲، هر ساله به‌طور متوسط بین ۱ تا ۳٪ از حجم کل ذخیره مخازن سدهای جهان در اثر رسوب‌گذاری از دست می‌رود. متأسفانه در کشورهایی نرخ رسوب‌گذاری بالا است که جمعیت بالاتری دارند (ریکی و همکاران^۲، ۱۹۹۷). به‌منظور تأمین نیاز آبی جمعیت و جبران بخشی از حجم مخازن ازدست‌رفته، نیاز به ساخت مخازن جدید است. جدول ۳ تقاضا برای ساخت مخازن جدید را در مناطق مختلف جهان نشان می‌دهد، (موریس و فان^۳، ۱۹۹۷).

جدول ۱. وضعیت منابع آب تجدیدشونده در مناطق مختلف جهان (تا سال ۲۰۰۴) (هالی و همکاران، ۲۰۱۰)

منطقه	جمعیت (میلیون نفر)	منابع آبی تجدیدشونده داخلی (سال/کیلومتر مکعب)	منابع آبی تجدیدشونده طبیعی (سال/کیلومتر مکعب)	منابع آبی تجدیدشونده طبیعی برای هر نفر (سال/مترمکعب)	حجم مخازن (کیلومتر مکعب)	درصد منابع آب تجدیدشونده طبیعی که در مخزن نگهداری می‌شود
آسیا	۳۵۷۴	۱۱۱۱۷	۱۴۵۰۸	۴۰۵۹	۱۲۶۲	۹
اروپا	۷۲۹	۶۵۹۲	۷۷۷۱	۱۰۶۵۶	۱۰۸۳	۱۴
خاورمیانه و شمال	۴۳۵	۵۱۷	۶۵۴	۱۵۰۴	۳۹۲	۶۰
آمریکای شمالی	۳۲۶	۵۶۵۰	۵۹۵۳	۱۸۲۸۷	۱۸۴۵	۳۱
آمریکای مرکزی	۱۷۷	۱۲۱۱	۱۲۵۱	۷۰۷۴	۱۴۸	۱۲
آمریکای جنوبی	۳۶۷	۱۲۲۴۶	۱۷۱۹۵	۴۶۹۰۴	۸۹۱	۵
اقیانوسیه	۳۱	۱۶۹۴	۱۶۹۴	۵۵۱۴۳	۱۰۷	۶
صحرای آفریقا	۷۱۴	۳۸۸۷	۵۴۴۷	۷۶۳۴	۳۸۸	۷
جهان	۶۳۵۲	۴۲۹۱۳	۵۴۴۷۳	۸۵۷۶	۶۳۵۲	۱۲

^۱ Holly et al^۲ Ritchie et al^۳ Morris & Fan

جدول ۲. نرخ رسوب‌گذاری در مخازن سدها در مناطق مختلف جهان (ریکی و همکاران، ۱۹۹۷)

کشور	درصد رسوب‌گذاری سالیانه	درصد کل رسوب‌گذاری
چین	۲/۳	۱۴/۲
هندوستان	۰/۴۶	۹/۶
ژاپن	۰/۱۵	۸/۸
جنوب آسیا	۰/۳۰	۸/۰
جنوب آفریقا	۰/۳۴	۱۱/۴
ترکیه	۱/۵	۵۹/۷
انگلستان	۰/۱۰	—
آمریکا	۰/۲۲	۳/۹
جهان	۱/۰	۱۱/۸

جدول ۳. تقاضا برای احداث مخازن در مناطق مختلف جهان (ریکی و همکاران، ۱۹۹۷)

منطقه	حجم مخزن موردتقاضا (کیلومتر مکعب)		
	۲۰۳۰ تا ۲۰۲۰	۲۰۲۰ تا ۲۰۱۰	۲۰۱۰ تا ۲۰۰۰
اروپا	۵۴	۵۱	۴۹
آمریکای مرکزی و جنوبی	۴۲۴	۴۹۵	۴۶۷
آفریقا	۲۴۸	۲۰۳	۱۶۷
آسیا و اقیانوسیه	۲۱۳	۲۸۱	۳۱۵
مجموع	۹۳۹	۱۰۳۲	۹۹۸

امروزه جدی‌ترین خطر برای مرگ زودهنگام سدها، خطر رسوب‌گذاری مخازن آن‌ها است. از جمله روش‌های مرسوم در زمینه مدیریت رسوب در مخازن سدها، می‌توان به آبخیزداری، احداث سدهای کوتاه در بالادست، لایروبی و فلاشینگ اشاره نمود. از آنجا که فلاشینگ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و ارزان‌ترین روش‌های بازبایی حجم ازدست‌رفته مخزن است، لذا بررسی این پدیده و بررسی پارامترهای مختلف بر آن و همچنین بررسی امکان‌پذیری آن موردعلاقه محققین و مهندسين بوده است. رسوب شویی هیدرولیکی به روشی گفته می‌شود که در آن با بازنمودن تخلیه کننده‌های تحتانی در کف یا رقوم پایین‌تر برای ایجاد فرسایش رسوبات فرسایش پذیر که از قبل در داخل مخزن نهشته شده‌اند بکار می‌رود، این روش به دو طریق انجام می‌شود (فان، ۱۹۵۸):

۱- رسوب شویی هیدرولیکی آزاد، در این روش ارتفاع آب مخزن به‌وسیله تخلیه کننده‌های تحتانی تا جایی که جریان رودخانه‌ای در مخزن صورت گیرد، پایین آورده می‌شود.

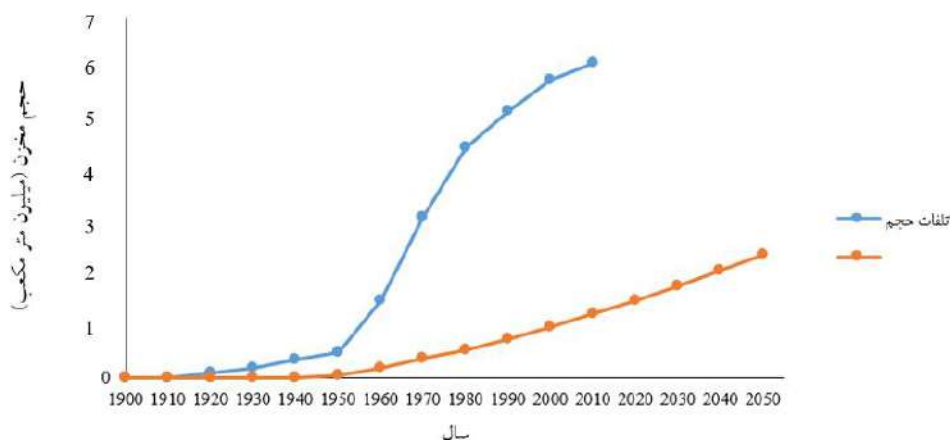
۲- رسوب شویی هیدرولیکی تحت فشار، در این روش در طول مدت انجام رسوب شویی، معمولاً تخلیه کننده‌های تحتانی سد برای مدت‌زمان معینی باز می‌شود. زمانی که آب از میان تخلیه کننده‌های تحتانی خارج می‌گردد، حرکت عمومی جریان آب به‌طرف تخلیه کننده‌های تحتانی موجب ایجاد نیروی فرساینده بر روی رسوبات نهشته شده می‌گردد، لذا همراه جریان آب، رسوبات نهشته شده از طریق تخلیه کننده‌های تحتانی از سد خارج می‌گردند. در این روش پس از مدتی از انجام رسوب شویی حفره یا چاله‌ای از آب شستگی به شکل مخروط یا قیف در جلوی

¹ Flushing

دریچه تحتانی در داخل مخزن به وجود آمده و توسعه می‌آید. این روش معمولاً زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بخواهند رسوبات نهشته شده در اطراف ورودی آبیگیر را برطرف نمایند، (موریس و فان، ۱۹۹۷).

در این روش شایسته است که دبی بهینه خروجی آب معلوم گردد زیرا در صورتی که دبی خروجی آب از حد ضروری برای حرکت دادن دانه‌ها کمتر باشد رسوبات درجایی در پایین دست سد تجمع می‌یابند و یا ممکن است در سرعت‌های کم اصولاً مسیر رودخانه را مسدود کنند و در صورتی که آب خیلی زیاد باشد موجب فرسایش‌های جدید و از طرفی موجب اتلاف آب می‌گردد. بدیهی است که مقدار بهینه این دبی تابع توپوگرافی مسیر رودخانه و از طرفی تابع میزان رسوبات و دانه‌بندی آن‌ها است.

سدسازی از جمله پروژه‌های بسیار پرهزینه است که مسئله رسوب‌گذاری در مخزن سد مهم‌ترین عامل محدودکننده عمر مفید آن است و نیز باعث کاهش حجم مخزن و بهره‌وری از آن می‌شود، به طوری که بر اساس گزارش کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ به طور متوسط سالیانه نیم تا یک درصد از حجم کل ذخیره سدهای موجود در اثر رسوب‌گذاری از دست می‌رود، (اتکینسون، ۱۹۸۸) و در حال حاضر بسیاری از سدهای در حال بهره‌برداری با این پدیده مواجه می‌باشند. از آنجایی که در اثر عواملی همچون جریان‌های غلیظ، کاهش سرعت آب در مخزن و غیره، در ابتدای مخزن سد رسوبات تشکیل می‌شوند و نیز قادر به پیمودن طول مخزن تا مجاورت سد می‌باشند، هدایت به موقع آن‌ها از تخلیه‌کننده‌های تحتانی سد می‌تواند مقدار رسوب‌گذاری در مخزن، به ویژه در قسمت‌های عمیق آن را کاهش دهد. روند کاهش حجم سدها در اثر رسوب‌گذاری در شکل ۱ نشان داده شده است، (اصغری‌پری، ۱۳۸۸).



شکل ۱. روند کاهش حجم سدها در اثر رسوب‌گذاری، (اصغری‌پری، ۱۳۸۸)

از راه‌های بررسی این موضوع این است که با دبی‌های فرضی و با توجه به شیب و مسیر رودخانه میزان رسوبات قابل حمل تعیین شود. همچنین با توجه به دبی خروجی تعیین شده و نوع رسوبات، اندازه قطر دریچه جهت تخلیه مشخص می‌گردد. آنگاه بر اساس نمونه‌گیری‌ها از مخزن سد و رسوبات آن مشخص گردد که آیا دبی لازم برای آن حجم از رسوبات تا چه حد مناسب است و در این حال با مطالعه کل مسیر رودخانه و در نظر گرفتن دبی‌های مختلف می‌توان نموداری تنظیم نمود که نشان‌دهنده مقدار دبی لازم برای رسوب‌گذاری و حمل آن تا انتهای مسیر از آن مخزن باشد. در تحقیق حاضر سعی گردید با انجام آزمایش‌هایی در جریان مستغرق و تأثیر آن در تخلیه رسوبات بالادست و میزان آب شستگی با استفاده از مدل فیزیکی مورد بررسی قرار گیرد.

تاکنون تحقیقات فراوانی در خصوص رسوب‌زدایی از مخزن سدها صورت گرفته است و نشان داده است که رسوب‌زدایی از مخازن سدها با ایجاد فرسایش پس‌رونده به‌عنوان یکی از مؤثرترین و کاربردی‌ترین روش‌های مقابله با پدیده رسوب در سدها است. جمع‌آوری اطلاعات بیش از

¹ Atkinson

۲۳۰۰ سد در ۳۱ کشور و آنالیز نتایج آن نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۰۰ میلادی چیزی در حدود ۷۶۵ کیلومتر مکعب (تقریباً ۱۰ درصد حجم کل مخازن دنیا) به واسطه رسوب‌گذاری ازدست‌رفته است. اهمیت حفظ ظرفیت مفید مخازن در دنیا و موفقیت‌های فراوانی که در بازیابی آن به روش رسوب‌شویی حاصل شده است لزوم بررسی امکان‌پذیری این روش مفید را در مراحل ابتدایی طراحی کلیه سدهایی که حوضه آن‌ها آورد رسوب قابل توجهی دارد را یادآور می‌شود. رسوب‌شویی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و ارزان‌ترین روش‌های بازیابی حجم ازدست‌رفته مخازن است. تاکنون تحقیقات زیادی بر روند این پدیده صورت گرفته، اما تحقیقات اندکی بر روی پارامترهای مختلف پدیده رسوب‌شویی و تأثیر آن در تخلیه رسوبات بالادست در جریان مستغرق صورت گرفته است. در این تحقیق تأثیر پارامترهای مختلف مانند: ارتفاع آب بالادست، ارتفاع آب پایین، دست میزان بازشدگی دریچه‌ها، جنس رسوبات بر کیفیت این عملیات بررسی می‌شود.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

نکوئیان فر (۱۳۸۵) برای اولین بار تأثیر فلاشینگ بر کاهش حجم رسوبات پشت دیواره سد شهید عباسپور و افزایش عمر مفید سد را مورد ارزیابی قرارداد. نتایج هیدرو گرافی‌های انجام‌شده قبل و بعد از فلاشینگ این سد مطالعه گردید، سپس حجم رسوبات تخلیه‌شده، شعاع تأثیر آن نسبت به زمان، درصد رسوبات تخلیه‌شده نسبت به کل رسوبات ناحیه تحت فلاشینگ و کل رسوبات مخزن مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با فرض عدم به‌روز شدن دستورالعمل بهره‌برداری، عدم بازسازی تأسیسات تونل تخلیه تحتانی سد به‌منظور انجام مانورهای سالیانه و در نهایت ثابت ماندن وضعیت پوشش گیاهی موجود حوزه آبخیز، عمر مفید باقیمانده سد پیش‌بینی گردید و دستورالعمل فلاشینگ بهینه ارائه شد. رحمانیان (۱۳۸۵) ضمن بررسی خصوصیات هیدرولیکی و معیارهای موفقیت روش رسوب‌شویی با آنالیز نتایج حاصل از یک برنامه کامپیوتری به تحلیل معیارهای تجربی عملیات فلاشینگ و تأثیر آن در مدیریت بهره‌برداری از یک سد فرضی پرداخته شد.

امامقلی زاده (۱۳۸۷) در تحقیقی نشان داد که در روش رسوب‌شویی تحت‌فشار، مقدار حجم رسوبات تخلیه‌شده به پارامترهای مختلفی نظیر عمق آب داخل مخزن، دبی جریان خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی، اندازه و نوع رسوبات تجمع یافته در داخل مخزن وابسته است. برای بررسی پارامترهای مذکور در این پژوهش یک مدل فیزیکی به طول ۷ متر، عرض ۱/۵ و ارتفاع ۱/۵ ساخته شد و با اجرای آزمایش‌های مختلف با استفاده از ۵ دبی، ۳ ارتفاع آب و با ۳ نوع دانه‌بندی رسوب (درمجموع ۴۵ آزمایش) به بررسی و مطالعه آن پرداخته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که در رسوب‌شویی تحت‌فشار زمانی که تخلیه‌کننده تحتانی برای رسوب‌شویی بازمی‌گردد، در جلوی آن یک مخروط رسوب‌شویی تشکیل می‌گردد. همچنین ابعاد مخروط رسوب‌شویی تشکیل‌شده به دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی، ارتفاع آب داخل مخزن و قطر رسوبات تجمع یافته در داخل مخزن بستگی دارد. نتایج این تحقیق نشان داده است که به ازای یک دبی ثابت، کاهش ارتفاع آب داخل مخزن موجب افزایش حجم و طول مخروط رسوب‌شویی می‌گردد. همچنین به ازای یک ارتفاع آب ثابت در داخل مخزن، افزایش دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی موجب افزایش میزان حجم و طول مخروط رسوب‌شویی می‌شود. علاوه بر آن کاهش قطر رسوبات در افزایش طول و حجم مخروط رسوب‌شویی تأثیر مثبت دارد.

صمدی بروجنی (۲۰۱۰) با استفاده از مدل‌های کامپیوتری انتقال رسوب، مناسب‌ترین وضعیت هیدرولیکی برای کاهش اثرات منفی ناشی از رسوب‌شویی و انتقال رسوبات پشت سد دز به پایین‌دست را مورد بررسی قرار داد.

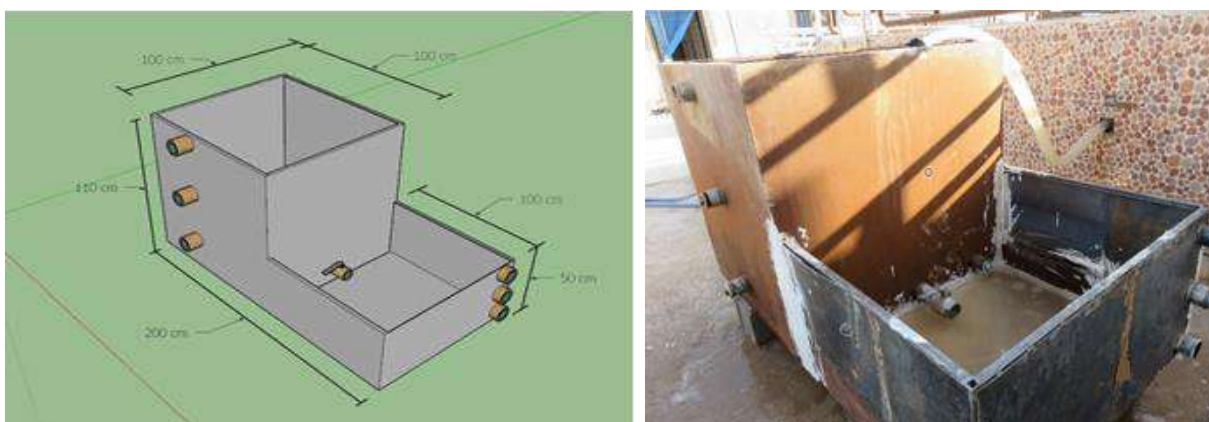
ساندرس براند (۲۰۱۰) با کمک واسنجی داده‌های آبنگاری محل و زمان رسوب‌گذاری طولی و عرضی در پایین دست رودخانه در اثر رسوب‌شویی را مورد مطالعه قرار داد. همچنین تفاوت تغییرات رودخانه در زمان قبل و پس از رسوب‌شویی را مقایسه نمود.

شمسایی و شاکری (۱۳۹۰) در تحقیقی برای تعیین چگونگی توزیع رسوب در مخازن سدها، مدل ریاضی GSTAR2.1 را مورد استفاده قرار دادند و در مدیریت داده‌های ورودی از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده کردند. در این تحقیق با مطالعه موردی بر روی مخزن سد میناب، از برنامه ILWIS به‌منظور دستیابی اطلاعات تکمیلی در زمینه روند رسوب‌گذاری مخزن این سد، به‌صورت تلفیقی با مدل ریاضی GSTAR2.1 استفاده گردیده است. نتایج حاکی از آن است که برای طراحی هیدرولیکی بهینه مخزن سدها، می‌توان با استفاده از روش ارائه‌شده،

نسبت به پیش‌بینی نحوه انتقال و توزیع رسوب در مخزن سدها اقدام نمود و این روش با استفاده از روش‌ها و تحلیل‌های بکار رفته در مدل GSTAR2.1 از دقت قابل قبولی برخوردار است و نتایج حاصل شده GIS و ابزارهای قدرتمند تحلیل‌های مکانی قابل اتکا می‌باشند. سروریان (۱۳۹۱) شبیه‌سازی و تحلیل پارامتریک مؤلفه‌های مؤثر بر اجرای عملیات فلاشینگ سد سفیدرود با استفاده از مدل عددی CCHE2D را مورد بررسی قرار داد. نتایج تحقیقات ایشان به‌خوبی با شرایط هیدرولیکی به وجود آمده در عملیات فلاشینگ مطابقت داشت. عبدالله‌پور و حسین زاده دلیر (۱۳۹۲) روشی را به‌منظور تخلیه رسوبات ارائه دادند تا به کمک آن بتوان بخشی از حجم مرده مخزن را بازیابی کرد. در این تحقیق با کارگذاری سازه نیم استوانه در جلوی تخلیه کننده تحتانی، تأثیر این سازه در ایجاد جریان گردابی برای تخلیه رسوبات مورد آزمایش قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که تغییرات حجم رسوب‌شویی در یک سطح آب حساسیت کمتری نسبت به طول شکاف دارد. در حالتی که نسبت قطر سازه به طول شکاف برابر ۲ بود، رسوب‌شویی بیشتری اتفاق افتاد. تغییرات حجم رسوب‌شویی نسبت به ارتفاع شکاف زیاد بوده است. در نسبت ارتفاع شکاف به قطر سازه نیم استوانه برابر ۰/۶، حجم رسوب‌شویی به میزان قابل توجهی افزایش یافت. همچنین با قطر سازه ۲/۵ برابر قطر تخلیه کننده، بیشترین حجم رسوب‌شویی حاصل شد و در این حالت حجم رسوب‌شویی نسبت به حالت بدون قرارگیری سازه ۳۰ برابر گردید.

روش پژوهش

برای انجام این تحقیق از مدل فیزیکی استفاده گردید. این مدل شامل یک مخزن مکعبی شکل با ابعاد سطح مقطع (۱×۱) m، ارتفاع (۱/۱) m، یک خروجی ۲ اینچی در کف، سه خروجی ۲ اینچی در جلو و سه خروجی ۲ اینچی در کناره می‌باشد.



شکل ۲. نمایی از مدل ساخته‌شده و شماتیک آن

بر روی این مدل، رسوب‌شویی در حالات زیر مورد آزمایش قرار گرفت:

الف) بازشدگی درجه وسط با ارتفاع متفاوت داخل مخزن ۰/۲۵m، ۰/۵۰، ۱/۰ و بازشدگی ۴۸، ۶۶ و ۱۰۰ درصد.

ب) بازشدگی درجه‌های:

۱- راست و چپ با ارتفاع داخل مخزن مختلف ۰/۲۵m، ۰/۵۰، ۱/۰ و بازشدگی ۴۸، ۶۶ و ۱۰۰ درصد.

۲- راست و وسط با ارتفاع داخل مخزن مختلف ۰/۲۵m، ۰/۵۰، ۱/۰ و بازشدگی ۴۸، ۶۶ و ۱۰۰ درصد.

رسوب شویی مستغرق که در آن یک قسمت اضافی به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر جهت مستغرق کردن خروجی به مدل اضافه و درجه وسط به‌طور کامل در ارتفاع‌های داخل مخزن مختلف (۰/۲۵m، ۰/۵۰، ۱/۰) آزمایش شد. تمامی حالت‌های بالا برای سه نمونه خاک، ریزدانه (لای)، متوسط (ماسه‌بادی) و درشت‌دانه (ماسه نرم) که به ترتیب اندازه متوسط دانه‌های آن‌ها (D₅₀) برابر ۰/۰۰۷۶، ۰/۰۴۴۹، ۰/۵۲۳ می‌باشند انجام شد و در مجموع ۸۱ آزمایش صورت پذیرفت. این خاک‌ها از ۶ نقطه واقع در دایکی که حدود ۵ کیلومتر طول دارد (واقع در سیل بندی در منطقه عقیلی

گنوند) و آزمایش‌های آن از لحاظ دانه‌بندی و حدود اتربرگ انجام شده است، در نظر گرفته شد و از میان این ۶ نمونه سه نمونه خاک که بیشترین اختلاف را داشتند انتخاب گردید. لازم به ذکر است که آزمایش دانه‌بندی برای مانده بر روی الک ۴۰ به صورت مکانیکی (با الک) و رد شده از آن با آزمایش هیدرومتری بر اساس سرعت ته‌نشینی ذرات انجام شد. مشخصات این سه نمونه خاک در جدول ۴ نشان داده شده است. معیار D_{50} برای انتخاب، در نظر گرفته شد و بدین ترتیب نمونه‌های D3، D1-2 و D2-3 انتخاب شدند، یعنی: درشت‌دانه (ماسه نرم)، اندازه متوسط (ماسه بادی) و ریزدانه (لای).

جدول ۴. مشخصات خاکهای استفاده شده در آزمایش‌ها

نمونه	درصدهای تشکیل دهنده			عمق نمونه‌گیری (m)	D_{50} (mm)	* PI	درصد آهک	درصد گچ
	Clay	Silt	Fine Sand					
D1-1	۳۰/۸۶	۴۹/۱۲	۲۰/۰۲	۰-۲	۰/۰۱۵۹	۱۰	۳۰	۰/۱۱۷
D1-2	۲۲/۹۲	۳۷/۰۶	۴۰/۰۲	۲-۵	۰/۰۴۴۹	--	۲۹	۰/۱۶۰
D2-1	۳۰/۱۷	۵۰/۸۱	۱۹/۰۲	۰-۲	۰/۰۱۷۵	--	۲۶	۰/۱۳۴
D2-2	۳۹/۳۶	۳۵/۸۲	۲۴/۸۲	۲-۵	۰/۰۱۱۶	۱۳/۴	۳۳	۰/۱۶۳
D2-3	۳۸/۶۹	۵۹/۵۱	۱/۸	۵-۸	۰/۰۰۷۶	۹/۷۵	۳۲	۰/۰۱۷
D3	۲۹/۸۵	۲۶/۱۳	۴۴/۰۲	۰-۲	۰/۵۳۳	۷/۱	۳۲/۲۵	۰/۰۹۸

(*شاخص PI محدوده رطوبتی است که خاک به ازای آن، خاصیت پلاستیکی از خود نشان می‌دهد. $PI=LL-PL$ که در آن LL حد روانی و PL حد خمیری است.)

به‌طور کلی روند انجام آزمایش‌ها به این گونه بود که ابتدا جهت یافتن زمان تعادل، (زمانی که طی عملیات رسوب شویی رسوبات شسته می‌شوند و بعد از آن هیچ‌گونه رسوبی از مخزن خارج نمی‌شود)، آزمایشی به شرح زیر انجام شد: در حالت پر دریاچه به‌طور کامل باز شد و به‌صورت سعی و خطا در زمان‌های مختلف شفافیت آب خروجی از دریاچه‌ها بررسی گشت که با توجه به کدورت آب، آیا در آن رسوبات وجود دارد یا خیر که بعد از انجام چند آزمایش زمان ۱۰۰ ثانیه برای زمان تعادل جهت تمام آزمایش‌ها انتخاب شد.

در انجام آزمایش‌های مدل، گزینه‌های مختلفی مورد مطالعه قرار گرفت و در هر کدام مقادیر چاله آب شستگی اندازه‌گیری گردید. تمامی مراحل آزمایش و اندازه‌گیری‌ها با دقت و به ترتیب انجام شد و در حین اندازه‌گیری تمام اطلاعات محیطی و مشاهدات مربوط به هر آزمایش ثبت گردید. جهت پردازش آسان و سریع نتایج، روند و مراحل اندازه‌گیری برای تمامی آزمایش‌ها یکسان و به‌صورت تکراری انجام شد، تا ضمن افزایش سرعت عمل در انجام اندازه‌گیری‌ها، خطا تا حد امکان کاهش یابد. در انجام آزمایش‌ها، ابعاد چاله شامل عرض، عمق و طول رسوبشویی اندازه‌گیری شد. در رسوب شویی تحت فشار علاوه بر دانستن حجم رسوبشویی، اندازه‌گیری طول حد رسوبشویی (L_f) نیز الزامی است. با اندازه‌گیری حد تأثیر رسوب شویی می‌توان محدوده شعاع تأثیر مخروط رسوب شویی را به دست آورد و از چگونگی گسترش طولی مخروط تشکیل شده در جلوی تخلیه کننده تحتانی آگاهی یافت. بدین منظور در پایان هر آزمایش طول مخروط رسوب شویی اندازه‌گیری می‌شد. برداشت‌های رسوب شویی مستغرق برای حالات مختلف ارتفاع آب بالادست (داخل مخزن) و ارتفاع آب پایین‌دست (داخل حوضچه) در جدول ۵ و ۶ آورده شده است. لازم به ذکر است این جداول مختصات را برای لای، ماسه بادی و ماسه، اول بر اساس ارتفاع آب بالادست (داخل مخزن) و دوم بر اساس ارتفاع آب پایین‌دست (داخل حوضچه) دسته‌بندی گردید، مثلاً در حالتی که ارتفاع آب بالادست (داخل مخزن) ۵۰ سانتی‌متر باشد، مختصات آب شستگی برای سه ارتفاع آب حوضچه به ترتیب آورده شده است که می‌توان آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کرد.

جدول ۵. کل آزمایش‌ها به تفکیک ارتفاع آب بالادست (داخل مخزن)

ماسه			ماسه‌بادی			لای			به تفکیک ارتفاع آب داخل مخزن اصلی	
مختصات m			مختصات m			مختصات m			ارتفاع آب داخل مخزن (cm)	ارتفاع آب داخل حوضچه (cm)
z	y	x	z	y	x	z	y	x		
-/۰.۴۱	-/۰.۶۹	-/۱.۰۶	-/۰.۴۵	-/۰.۸	-/۱.۳	-/۰.۴۵	-/۰.۷۲	-/۱.۲۰	۳۰	
-/۰.۲۹	-/۰.۶۰	-/۰.۹۸	-/۰.۳۲	-/۰.۷	-/۱.۲	-/۰.۳۲	-/۰.۶۳	-/۱.۱۱	۴۰	۵۰
-/۰.۱۹	-/۰.۲۱	-/۰.۴۵	-/۰.۲۷	-/۰.۳۱	-/۰.۷۰	-/۰.۲۲	-/۰.۲۲	-/۰.۵۱	۵۰	
-/۰.۴۵	-/۱.۰۳	-/۱.۲۳	-/۰.۵	-/۱.۲	-/۱.۵	-/۰.۵۱	-/۱.۰۸	-/۱.۳۹	۳۰	
-/۰.۳۲	-/۰.۷۳	-/۱.۱۴	-/۰.۳۶	-/۰.۸۵	-/۱.۴	-/۰.۳۶	-/۰.۷۶	-/۱.۲۹	۴۰	۱۰۰
-/۰.۳۶	-/۰.۳۴	-/۰.۶۵	-/۰.۴	-/۰.۴	-/۰.۸	-/۰.۴۰	-/۰.۳۶	-/۰.۷۴	۵۰	

استغرق در حوضچه وسط

جدول ۶. آزمایش‌های انجام‌شده به تفکیک ارتفاع آب پایین‌دست (داخل حوضچه)

ماسه			ماسه‌بادی			لای			به تفکیک ارتفاع آب داخل مخزن اصلی	
مختصات m			مختصات m			مختصات m			ارتفاع آب داخل مخزن (cm)	ارتفاع آب داخل حوضچه (cm)
z	y	x	z	y	x	z	y	x		
-/۰.۴۱	-/۰.۶۹	-/۱.۰۶	-/۰.۴۵	-/۰.۸	-/۱.۳	-/۰.۴۵	-/۰.۷۲	-/۱.۲۰	۳۰	۵۰
-/۰.۴۵	-/۱.۰۳	-/۱.۲۳	-/۰.۵	-/۱.۲	-/۱.۵	-/۰.۵۱	-/۱.۰۸	-/۱.۳۹	۳۰	۱۰۰
-/۰.۲۹	-/۰.۶۰	-/۰.۹۸	-/۰.۳۲	-/۰.۷	-/۱.۲	-/۰.۳۲	-/۰.۶۳	-/۱.۱۱	۴۰	۵۰
-/۰.۳۲	-/۰.۷۳	-/۱.۱۴	-/۰.۳۶	-/۰.۸۵	-/۱.۴	-/۰.۳۶	-/۰.۷۶	-/۱.۲۹	۴۰	۱۰۰
-/۰.۱۹	-/۰.۲۱	-/۰.۴۵	-/۰.۲۷	-/۰.۳۱	-/۰.۷۰	-/۰.۲۲	-/۰.۲۲	-/۰.۵۱	۵۰	۵۰
-/۰.۳۶	-/۰.۳۴	-/۰.۶۵	-/۰.۴	-/۰.۴	-/۰.۸	-/۰.۴۰	-/۰.۳۶	-/۰.۷۴	۵۰	۱۰۰

استغرق در حوضچه وسط

یافته‌ها

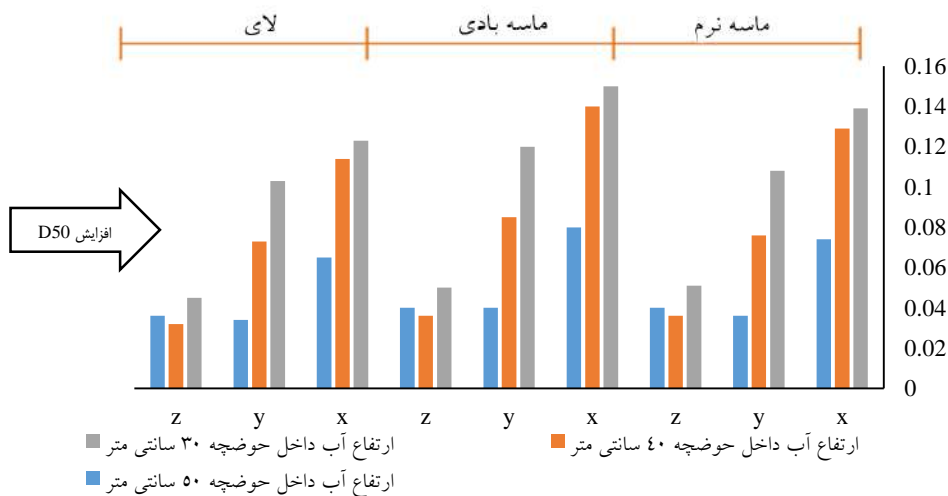
در ادامه نمودارهای مربوط به جداول ۵ و ۶ آورده شده‌اند.



شکل ۳. نمودار باز شدن دریاچه وسط و ارتفاع آب داخل مخزن ۵۰ سانتیمتر

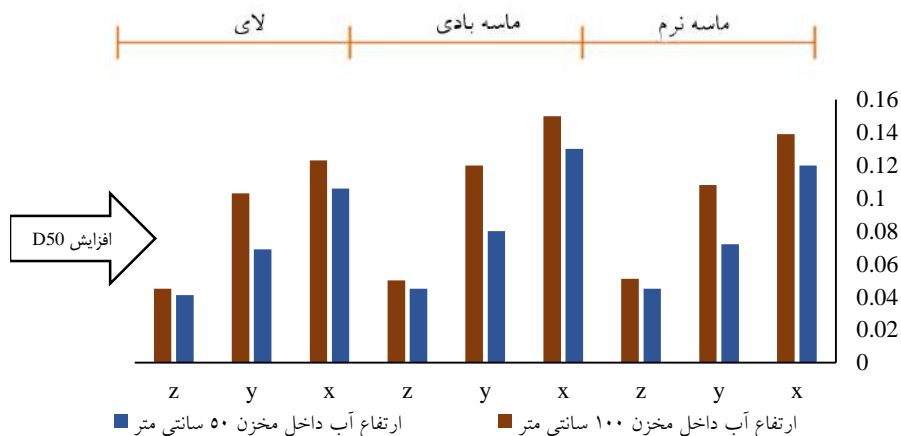
نمودار فوق نشان می‌دهد:

- با کاهش نسبت h_2/h_1 (ارتفاع آب داخل حوضچه و h_1 : ارتفاع آب داخل مخزن) آب شستگی افزایش می‌یابد که دلیل این امر افزایش سرعت جریان و بالتبع آن افزایش انرژی جنبشی است که باعث افزایش میزان آب شستگی می‌گردد.
- نسبت h_2/h_1 با میزان رسوب شویی نسبت عکس دارد.
- هنگامی که نسبت h_2/h_1 برابر با $0/6$ باشد، بیشترین مقدار رسوب شویی صورت می‌گیرد.
- هنگامی که نسبت h_2/h_1 برابر با ۱ باشد، کمترین مقدار رسوب شویی صورت می‌گیرد.
- در تمام چاله‌های ایجادشده، عرض چاله‌ها بیشتر از طول آن‌ها بوده است.



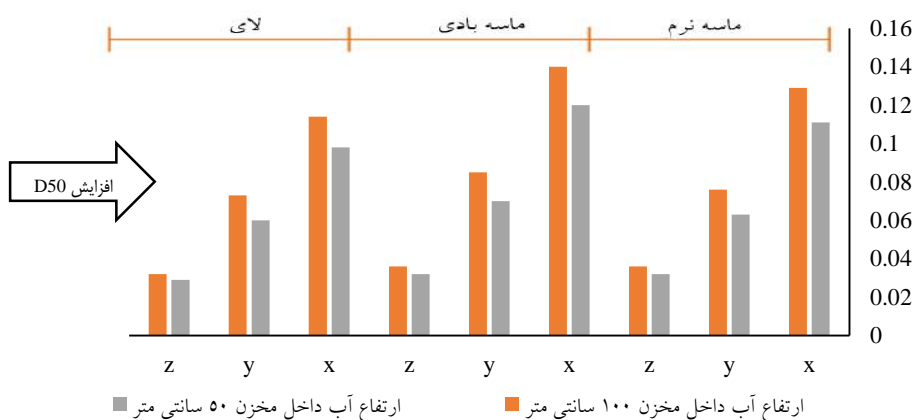
شکل ۴. نمودار باز شدن دریاچه وسط و ارتفاع آب داخل مخزن ۱۰۰ سانتیمتر

- با دقت در این نمودار چنین استنباط می‌شود که:
- میزان ارتفاع آب در قسمت مستغرق در مقدار رسوب شویی تأثیرگذار است.
 - نسبت h_2/h_1 با میزان رسوب شویی نسبت عکس دارد.
 - نوع دانه‌بندی و چسبندگی رسوب در رسوب شویی تأثیرگذار است.
 - در تمام چاله‌های ایجادشده، عرض چاله‌ها بیشتر از طول آن‌ها بوده است.



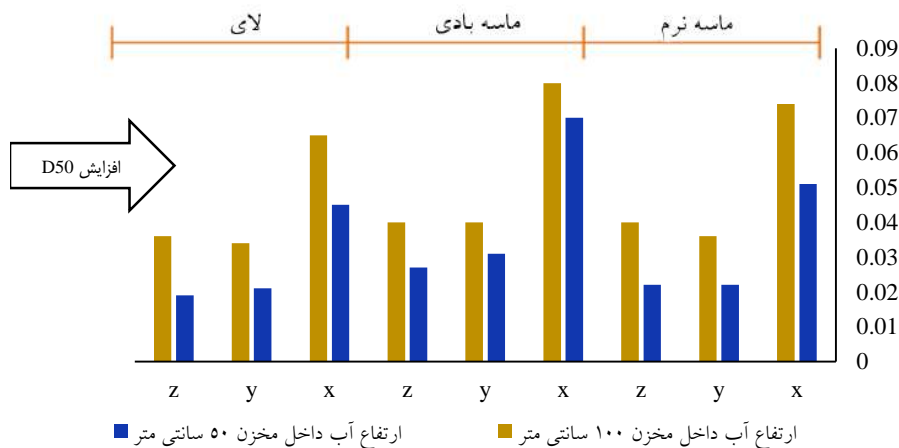
شکل ۵. نمودار باز شدن دریاچه وسط و ارتفاع آب داخل مخزن ۳۰ سانتیمتر

- با دقت در این نمودار چنین استنباط می‌شود که:
- ارتفاع آب در بالادست با میزان تخلیه رسوب نسبت مستقیم دارد و دلیل این امر بالا بودن دبی خروجی و نهایتاً افزایش انرژی جنبشی است.
 - ارتفاع آب در پایین دست با میزان تخلیه رسوب نسبت عکس دارد. دلیل این امر پایین آمدن انرژی جنبشی است.
 - در تمام چاله‌های ایجادشده، عرض چاله‌ها بیشتر از طول آن‌ها بوده است.



شکل ۶. نمودار باز شدن دریاچه وسط و ارتفاع آب داخل مخزن ۴۰ سانتیمتر

- با دقت در این نمودار چنین استنباط می‌شود که:
- ارتفاع آب در بالادست با میزان تخلیه رسوب نسبت مستقیم دارد و دلیل این امر بالا بودن دبی خروجی و نهایتاً افزایش انرژی جنبشی است.
 - ارتفاع آب در پایین‌دست با میزان تخلیه رسوب نسبت عکس دارد. دلیل این امر پایین آمدن انرژی جنبشی است.



شکل ۷. نمودار باز شدن درجه وسط و ارتفاع آب داخل مخزن ۵۰ سانتیمتر

- با دقت در این نمودار چنین استنباط می‌شود که:
- ارتفاع آب در بالادست با میزان تخلیه رسوب نسبت مستقیم دارد و دلیل این امر بالا بودن دبی خروجی و در نهایتاً افزایش انرژی جنبشی است.
 - ارتفاع آب در پایین‌دست با میزان تخلیه رسوب نسبت عکس دارد. دلیل این امر پایین آمدن انرژی جنبشی است.

جدول ۷. درصدهای وزنی حجم آبشویی در شرایط مختلف به تفکیک ارتفاع آب مخزن

درصد از کل آب شستگی ماسه نرم	حجم رسوب شویی ماسه نرم	درصد از کل آب شستگی ماسه‌بادی	حجم رسوب شویی ماسه‌بادی	درصد از کل آب شستگی لای	حجم رسوب شویی لای	ارتفاع آب داخل مخزن (cm)		استخراج درجه وسط
						ارتفاع آب داخل حوضچه (cm)	ارتفاع آب داخل مخزن (cm)	
۲۱/۰۷ %	۴/۷۹۸	۲۰/۷۷ %	۷/۵۸۲	۲۱/۰۶ %	۶/۳۵۳	۳۰	۵۰	
۱۲/۱۰ %	۲/۷۵۶	۱۱/۹۳ %	۴/۳۵۵	۱۲/۱۰ %	۳/۶۴۹	۴۰	۵۰	
۱/۲۸ %	۰/۳۹۱	۲/۶۵ %	۰/۹۶۹	۱/۲۹ %	۰/۳۸۸	۵۰	۵۰	
۴۰/۵۱ %	۹/۲۲۷	۳۹/۹۵ %	۱۴/۵۸۰	۴۰/۵۱ %	۱۲/۲۱۸	۳۰	۱۰۰	
۱۹/۲۸ %	۴/۳۹۲	۱۹/۰۱ %	۶/۹۴۰	۱۹/۲۸ %	۵/۸۱۶	۴۰	۱۰۰	
۵/۷۶ %	۱/۳۱۲	۵/۶۸ %	۲/۰۷۴	۵/۷۶ %	۱/۷۳۸	۵۰	۱۰۰	

داده‌های جدول ۷ نشان می‌دهد زمانی که ارتفاع آب داخل مخزن ۱۰۰ سانتیمتر و ارتفاع آب داخل حوضچه ۳۰ سانتیمتر بوده است برای ماسه‌بادی، بهترین حالت رسوب شویی اتفاق افتاده است. این داده‌ها همچنین نشان می‌دهد زمانی که ارتفاع آب داخل مخزن ۵۰ سانتیمتر و ارتفاع آب داخل حوضچه ۵۰ سانتیمتر بوده است، برای ماسه نرم، ضعیف‌ترین رسوب شویی اتفاق افتاده است.

تجزیه و تحلیل نمودارهای ۳ الی ۷:

- ۱- در تمام نمودارها و برای تمام حالت‌ها، ابتدا ماسه‌بادی، بعد لای و سپس ماسه نرم بیشترین X ، Y و Z را در رسوب شویی داشته‌اند.
 - ۲- در تمام حالات و برای تمام مصالح به ترتیب X ، Y و Z بزرگ‌تر بوده‌اند، یعنی عرض چاله از طول و عمق بیشتر بوده است.
 - ۴- در تمام نمودارها بیشترین آب شستگی زمانی رخ داده که به ترتیب ارتفاع آب پایین‌دست (در حالت مستغرق) ۳۰، ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متر بوده است.
 - ۵- در تمامی نمودارها آب شستگی با ارتفاع آب بالادست ۱۰۰ سانتی‌متر بیشتر از ۵۰ سانتی‌متر بوده است.
- داده‌ها همچنین نشان می‌دهند که تأثیر ارتفاع آب بالادست از تأثیر ارتفاع آب پایین‌دست (در حالت مستغرق) بیشتر بوده، رسوب شویی با ارتفاع آب بالادست رابطه مستقیم دارد.

بحث

حجم و طول مخروط رسوب شویی به عوامل دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی، ارتفاع آب داخل مخزن و قطر رسوبات بستگی دارد که تأثیر هر کدام از آن‌ها در ادامه بررسی شده است:

تأثیر دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی بر روی حجم و طول مخروط رسوب شویی:

الف- ارتباط بین حجم مخروط رسوب شویی و دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی: زمانی که دریچه تحتانی برای رسوب شویی باز می‌گردد، رسوبات نهشته شده تحت فشار آب همراه آب خروجی از تخلیه‌کننده خارج می‌شوند. در این حالت فرسایش پس‌رونده اتفاق می‌افتد که از نزدیکی دریچه شروع شده و به سمت بالادست مخزن حرکت می‌کند. ولی از آنجایی که ارتفاع آب مخزن ثابت است، میزان پیشروی تا حدی ادامه یافته و پس از آن متوقف می‌گردد.

در رسوب شویی تحت فشار زمانی که به ازای یک ارتفاع آب ثابت در مخزن، میزان ارتفاع آب داخل حوضچه (در حالت مستغرق) افزایش می‌یابد، میزان رسوب شویی (از لحاظ حجم رسوبات تخلیه‌شده و طول مؤثر رسوب شویی) کاهش می‌یابد. به طوری که وقتی ارتفاع آب داخل حوضچه از ۳۰ به ۵۰ سانتی‌متر افزایش یافت، به طور متوسط حجم رسوب شویی برای دو ارتفاع آب مخزن آزمایش شده برای رسوبات درشت‌دانه، برای رسوبات متوسط و برای رسوبات ریزدانه افزایش می‌یابد.

ب- تأثیر ارتفاع آب داخل مخزن بر روی حجم و طول مخروط رسوب شویی: چنان‌که نمودارها نشان می‌دهند، زمانی که ارتفاع آب مخزن از حالت نیمه‌پر به پر افزایش می‌یابد و در شرایط مستغرق بودن جریان، به ازای یک دبی ثابت، راندمان رسوب شویی تحت فشار در دفع رسوبات نهشته شده بیشتر می‌گردد. به طوری که وقتی ارتفاع آب مخزن از ۵۰ سانتی‌متر به ۱۰۰ سانتی‌متر افزایش می‌یابد، به طور متوسط میزان حجم رسوب شویی افزایش می‌یافت.

ج- تأثیر دانه‌بندی رسوبات بر روی حجم و طول مخروط رسوب شویی:

نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها نشان می‌دهد زمانی که دانه‌بندی از حالت ماسه درشت به ماسه متوسط و سپس به ماسه ریزدانه تغییر پیدا کرد، مقدار حجم و طول رسوب شویی افزایش یافت. به طوری که مقایسه نتایج به دست آمده نشان می‌دهد تغییر دانه‌بندی از رسوبات ماسه ریز به ماسه متوسط موجب کاهش حجم و طول رسوب شویی گردید. همچنین تغییر دانه‌بندی از حالت ماسه ریز به ماسه درشت موجب کاهش حجم و طول رسوب شویی شد.

د-تأثیر ارتفاع آب پایین‌دست در جریان مستغرق: تحقیقات بر روی این مدل نشان داد که هرچه ارتفاع آب پایین‌دست در جریان مستغرق کمتر باشد میزان رسوب شویی بهتر صورت می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

در حالت کلی نتیجه‌گیری می‌شود که با افزایش D_{50} از میزان رسوب شویی کاسته می‌شود. مقدار نسبت h_2/h_1 با میزان رسوب شویی نسبت عکس دارد. ارتفاع آب در بالادست با میزان تخلیه رسوب نسبت مستقیم دارد و دلیل این امر بالا بودن دبی خروجی و نهایتاً افزایش انرژی جنبشی است. هنگامی که مخزن پر و جریان در حالت مستغرق است مقدار رسوب شویی از لحاظ کمی نسبت به زمانی که رقوم آب در سطوح پایین‌تر است، بیشتر است، لذا در زمان سریز شدن مخزن جهت جلوگیری از هدر رفت آب و رسوب شویی بهتر، عملیات رسوب شویی انجام گردد. بدین ترتیب با افزایش ۵۰ درصدی ارتفاع آب داخل مخزن به ازای ارتفاع آب ثابت داخل حوضچه، میزان آب شستگی نیز افزایش تقریبی ۵۰ درصدی خواهد داشت. همچنین به ازای افزایش ۶۶ درصدی ارتفاع آب داخل حوضچه، میزان آب شستگی به میزان تقریبی ۱۹ درصد در حالت مخزن نیمه‌پر و ۳۵ درصد در حالت مخزن پر کاهش می‌یابد. این افزایش و کاهش برای هر سه نمونه خاک مورد استفاده در آزمایش‌ها مشاهده گردید. اگر قرار باشد جریان به صورت مستغرق باشد بهترین رسوب شویی زمانی صورت می‌گیرد که ارتفاع آب پایین‌دست در پایین‌ترین سطح قرار گرفته باشد.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از سازمان آب و برق خوزستان جهت همکاری و مساعدت در نگارش این مقاله تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- اصغری پری، سید امین. (۱۳۸۸). بررسی اثر ارتفاع مانع بر رسوب‌گذاری مخزن در جریان غلیظ، رساله دکتری، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، اهواز، ایران.
- امام قلی زاده، صمد. (۱۳۸۷). بررسی آزمایشگاهی عوامل موثر بر میزان تخلیه رسوبات در رسوب شویی تحت فشار. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵(۴)، ۲۳۴-۲۱۹. <https://sid.ir/paper/8893/fa.219-234>
- امام قلی‌زاده، صمد. (۱۳۸۶). بررسی و ارزیابی انجام فلاشینگ تحت فشار در سدهای مخزنی، پایان نامه دکتری، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- بنی هاشمی، محمد علی، زهرایی، بنفشه، اشرف واقفی، سید سعید، و بهرنگی، فرهنگ. (۱۳۸۷). بررسی پارامترهای موثر بر عملیات فلاشینگ در مخزن سد و تأثیر آنها در موفقیت عملیات با استفاده از معیارهای مدل RESCON (مطالعه موردی سد سفید رود ایران). هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، ۵۶۲۸۳. <https://civilica.com/doc/56283>
- حسن زاده، یوسف، و فیضی خانکندی، اتابک. (۱۳۸۷). پیش بینی روند رسوبگذاری در مخزن سد علویان با استفاده از مدل Gstars 3.0. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران. <https://civilica.com/doc/37642>
- حسن‌زاده، یوسف، کی‌نژاد، محمدعلی، روشنگر، کیومرث، و اعلمی، محمدتقی. (۱۳۸۸). ارائه مدل یک بعدی شبیه‌سازی جریان و رسوب، مطالعه موردی: رودخانه الوند. مجله آب و فاضلاب، ۲۱(۱)، ۱۴-۴. https://www.wvjournals.ir/article_1772.html
- خدابخشی، بهناز، و شبیه‌خوانی، روح الامین. (۱۳۸۷). تخلیه رسوب از مخازن سدها و اثرات محیط زیستی آن مطالعه موردی سد دز. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب. <https://civilica.com/doc/50481/>
- رحمانیان، محمدرضا. (۱۳۸۵). بازیابی حجم مفید مخازن سدها به روش فلاشینگ همراه با تحلیل نرم افزارهای معیارهای موثر حین بهره برداری. چهارمین همایش تبادل تجربه‌های پژوهشی، فنی و مهندسی. <https://civilica.com/doc/11724>
- رحمانیان، محمدرضا. (۱۳۸۵). رسوب‌زدایی از مخازن سدها به روش فلاشینگ (لزوم و روش کنترل امکان پذیری آن در مراحل اولیه طراحی سدها. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. <https://civilica.com/doc/12864>

- سروریان، جواد، ولی سامانی، جمال محمد، و محمدنژاد، بایرامعلی. (۱۳۸۷). شبیه سازی و تحلیل پارامتریک عملیات فلاشینگ سد سفیدرود با استفاده از مدل CCHE2D. هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران. <https://civilica.com/doc/56193>
- عبداله پور، میلاد، و حسین زاده دلیر، علی. (۱۳۹۲). تأثیر قرارگیری سازه نیم استوانه بر راندمان رسوب شویی تحت فشار مخازن. نشریه دانش آب و خاک، ۲۳(۲)، ۲۸۲-۲۶۹. https://journals.tabrizu.ac.ir/article_145.html
- علیپورشهربابکی، حامد، و خانجانی، محمدجواد. (۱۳۹۰). مدل بندی ریاضی رسوب زدایی مخازن پشت سدها. اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه. <https://civilica.com/doc/142799>
- محمودیان، میثم، حاجی کندی، هومن، و رحمانیان، محمدرضا. (۱۳۸۸). بررسی موفقیت عملیات فلاشینگ و تحلیل تاثیر پارامترهای موثر (مطالعه موردی سد سفیدرود). هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. <https://civilica.com/doc/86029>
- نکویان فر، مصطفی، معصومی، مصطفی، و چیت سازان، منوچهر. (۱۳۸۵). بررسی تاثیرات فلاشینگ بر افزایش عمر مفید مخزن سد (مطالعه موردی فلاشینگ سد شهید عباسپور)، هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. <https://civilica.com/doc/12611>
- ولیزادگان، ابراهیم، شفاعی بجستان، محمود، و سامانی، حسین محمد ولی. (۱۳۹۰). کمیته سازی رسوب گذاری در مخازن سدها با بهره برداری بهینه از تخلیه کننده های تختانی. نشریه علوم آب و خاک، ۱۵(۵۵)، ۶۷-۵۷. <http://cache.oalib.com/cache?m=A192DD7BB53624E43170A065B5DFE31E.html>
- یزداندوست، فرهاد، و حیدری، مهدی. (۱۳۸۸). مدیریت رسوب شویی مخازن سد ها با استفاده از مدل سه بعدی SSIIM و GIS. هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران. <https://civilica.com/doc/62474>

References

- Abdolahpour, M., & Hosseinzadeh Dalir, A. (2013). Effect of Semi-Cylinder Structure Position on Pressurized Flushing Efficiency of Reservoirs. *Knowledge of water and soil*, 23(2), 269-282. https://journals.tabrizu.ac.ir/article_145.html. [In Persian]
- Alipourshahrbabki, H., & Khanjani, M. J. (2011). Mathematical modeling of sediment removal of reservoirs behind dams. The first national conference on civil engineering and development. <https://civilica.com/doc/142799>. [In Persian]
- Asghari Pari, S.A. (2009). Investigating the effect of barrier height on reservoir sedimentation in thick flow, PhD Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, Faculty of Water Sciences Engineering, Ahvaz, Iran. [In Persian]
- Bani Hashemi, M.A., Zahraei, B., Ashraf Waghefi, S.S., & Behrangi, F. (2008). Investigating the effective parameters on the flushing operation in the reservoir of the dam and their effect on the success of the operation using the criteria of the RESCON model (case study of Sefid Rood dam in Iran). 7th Iranian Hydraulic Conference. <https://civilica.com/doc/56283>. [In Persian]
- Bonham-Carter, G.F., & Sutherland, A.J. (1968). Mathematical Model and Fortran IV program for computer simulation of Deltaic sedimentation. Kansas Geological survey computer program, the University of Kansas, Lawrence. <https://www.kgs.ku.edu/Publications/Bulletins/CC/24/CompContr24.pdf>
- Brandt, A. (2010). Conceptualization of hydraulic and sedimentary processes in downstream reaches during flushing of reservoirs. xxxi iahr congress, 2577-2589. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:119156/FULLTEXT01.pdf>
- Emamgholizadeh, S. (2008). The Experimental investigation of the effects of pressure flushing on flushed sediment through storage reservoir. *J. Agric. Sci. Natur. Resour*, 15(4), 219-234. <https://sid.ir/paper/8893/fa>. [In Persian]

- Fan J. & Morris G. L. (1992). Reservoir sedimentation, II: Reservoir Desiltation and Long Term Storage Capacity. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 118(3), 370-383. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1992\)118:3\(370\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1992)118:3(370))
- Fruchart, F. (2012). Reservoir Sedimentation, Different Type of Flushing - Friendly Flushing, Example of Genissiat Dam Flushing-Author manuscript. published in ICOLD International Symposium on Dams for a changing world, Kyoto, Japan. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR2021155811>
- Ghomeshi M. (1995). Reservoir Sedimentation Modelling. Ph.D. Thesis, University of Wollongong, Australia.
- Hasanzadeh, Y., & Faizi Khankandi, A. (2008). Forecasting the process of sedimentation in Alavian dam reservoir using Gstars 3.0 model. Fourth National Congress of Civil Engineering, University of Tehran. <https://civilica.com/doc/37642>. [In Persian]
- Hasanzadeh, Y., Keynejad, M. A., Roushangar, K., & Tagi Alami, M. (2010). One-Dimensional Simulation of Flow and Sediment Transport, A Case Study in the Aland River. *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab*, 21(1), 4-14. https://www.wjjournal.ir/article_1772.html. [In Persian]
- Holly, F. M., & Rahuel J.L. (2010). New Numerical/Physical Framework for Mobile-Bed Modeling. *Journal of Hydraulic Research*, 28(4), 401-411. <https://doi.org/10.1080/00221689009499057>
- Khodabakhshi, B., & Shabikhani, R. (2008). Sediment discharge from reservoirs of dams and its environmental effects, a case study of Dez Dam. The third water resource management conference. <https://civilica.com/doc/50481>. [In Persian]
- Mahmoodian, M., Haji Kandi, H., & Rahmanian, M. (2009). Investigating the success of flushing operations and analyzing the impact of effective parameters (case study of Sefidroud Dam). 8th International Seminar on River Engineering. <https://civilica.com/doc/86029>. [In Persian]
- Nekoian Far, M., Masoomi, M., & Chit Sazan, M. (2006). Investigating the effects of flushing on increasing the useful life of the dam reservoir (a case study of Shahid Abbaspur dam flushing). the 7th International Seminar on River Engineering. <https://civilica.com/doc/12611>. [In Persian]
- Rahmanian, M. (1385). De-sediment removal from dam reservoirs by flushing method (necessity and feasibility control method in the early stages of dam design. 7th International Seminar on River Engineering. <https://civilica.com/doc/12864>. [In Persian]
- Rahmanian, M. (2006). Recovery of useful volume of reservoirs of dams by flushing method along with software analysis of effective criteria during operation. The fourth conference on the exchange of research. technical and engineering experiences. <https://civilica.com/doc/11724>. [In Persian]
- Ritchie, J.C. & Mc Henry J.R. (1975). Fallout Cs-137: A Tool in Conservation Research, *J. of soil water Conservation*, 30, 283-288. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19760099611>
- Samadi Broujeni, H., Haghiabi, A.H., & Ardalan, E. (2010). Determination of appropriate hydraulic conditions to decrease the negative impacts of Dez dam flushing operation on the downstream. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 2 (1), 1-8. <https://doi.org/10.5897/IJWREE.9000012>
- Sarwarian, J., Vali Samani, J.M., & Mohammadnejad, B. (2008). Simulation and parametric analysis of Sefidroud dam flushing operation using CCHE2D model. 7th Iran Hydraulic Conference. <https://civilica.com/doc/56193>. [In Persian]
- Talebeydokhti, N., & Naghshineh, A. (2004). Flushing sediment through reservoirs. *Iranian Journal of Science & Technology*, 28(1). file:///C:/Users/ITech/Downloads/8542004b114.pdf
- Tetsuya, S. (1998). Integrated Management of Reservoir Sediment Routing by Flushing, Replenishing, and Bypassing Sediments in Japanese River Basins. Yichang, China, 110-122. <http://ecohyd.dpri.kyoto-u.ac.jp/content/files/sumi-paper/2010/cSS4F-5.pdf>

- Valizadegan, E., Shafai Bejestan, M., & Samani, H.M.V. (2011). Minimization of Reservoirs Sedimentation by Optimal Operation of Bottom Outlets. JWSS, 15 (55), 57-67. http://jstnar.iut.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-1484-1&slc_lang=fa&sid=1. [In Persian]
- Yazdandoost, Farhad., & Heydari, Mehdi. (2009). Sediment washing management of reservoirs of dams using 3D SSIIM and GIS model. 8th International Congress of Civil Engineering. <https://civilica.com/doc/62474>. [In Persian]



Simulation and determination of hydrodynamic coefficients and aquifer balance with Modflow mathematical model (Case study: Kermanshah Plain)

Kamran Azizi¹ , Arash Azari² , Bahman Farhadi Bansouleh³ 

¹ M. Sc graduated of Water Resources, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: kamran50azizi@gmail.com

² Corresponding Author, Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: a.azari@razi.ac.ir

³ Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: bfarhadi2001@yahoo.com

ABSTRACT

Introduction

In areas with dry and semi-arid climates, groundwater is one of the main sources of water supply for agriculture, industry and drinking. It is very necessary to prepare a simulation model to predict changes in the groundwater level and extract the components of the groundwater balance for better management of the operating of these resources. The aim of this research is to investigate hydrodynamic coefficients, plain balance and aquifer thickness in the study area of Kermanshah through aquifer simulation using MODFLOW model.

Methodology

In this research, based on information and data related to piezometers, operation wells, rivers, well logs, geophysical sections, bedrock map, topography and geology of the area, etc., a conceptual model of the plain was built. The numerical model developed based on the conceptual model of the plain was calibrated and validated in two steady and unsteady states, and the optimal values of hydraulic conductivity and specific yield were extracted. Then, balance components were extracted based on inflows and outflows from the aquifer, withdrawal from wells, recharge rate and seepage from rivers, feeding from the plain surface and boundary conditions and evaporation from the plain, and the most important balance parameters with the largest volume of exchanges were introduced.

Results and discussion

The results show that the thickness of the aquifer in the north and northeast of the plain is about 160.96 meters, and the lowest thickness in the southwest and west of the plain is 118.14 and 120.69 meters, respectively. Also, the coefficient of hydraulic conductivity varies between 0.9 and 40 m/day and the coefficient of specific yield varies between 1 and 35%. Based on the balance of the steady month (October 2016), the input of the aquifer was 2871427.5 cubic meters and the output of the aquifer was 2871472.3 cubic meters. The amount of input to the aquifer through the boundaries (general head cells) is 2500444 cubic meters and the output is 1653545.7 m³/month. The amount of inflow through the river was 7202.1 m³/month and the outflow from the river was 863470.4 m³/month. The amount of extraction from the wells was 261246.1 cubic meters and the amount of recharge was 363781.2 m³/month.

Conclusion

This research showed that the MODFLOW model can simulated the average level and the groundwater level of different areas of aquifer along with the balance of the plain, including the exchange of the aquifer with the river, the inflow and outflow from the boundaries of the aquifer, the parameters of withdrawal and recharge. In this simulation, the value of the root mean square error (RMSE) was calculated as 428 mm in the steady model and 535 mm in the unsteady model. That is, in the whole plain, the difference between the observed and simulated groundwater levels in the piezometers was less than one meter.

Keywords: Aquifer, Balance, Hydrodynamic coefficients, MODFLOW, GMS

Article Type: Research Article

Article history: Received: 07 December 2022 Revised: 05 January 2023 Accepted: 30 January 2023 ePublished: 28 February 2023

Cite this article: Azizi, K., Azari, A., Farhadi Bansouleh, B. (2023). Simulation and determination of hydrodynamic coefficients and aquifer balance with Modflow mathematical model (Case study: Kermanshah Plain), *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(4), 68. -87. DOI: 10.22126/ATWE.2023.8799.1036

Publisher: Razi University

© The Author(s).





شبیه سازی و تعیین ضرایب هیدرودینامیکی و بیلان آبخوان با مدل ریاضی Modflow (مطالعه موردی: دشت کرمانشاه)

کامران عزیزی^۱، آرش آذری^۲، بهمن فرهادی بانسوله^۳

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: kamran50azizi@gmail.com

^۲ نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: a.azari@razi.ac.ir

^۳ استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: bfarhadi2001@yahoo.com

چکیده

در مناطق دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک، آب های زیرزمینی یکی از منابع اصلی تأمین آب کشاورزی، صنعت و شرب می باشند. هدف این پژوهش بررسی ضرایب هیدرودینامیکی، بیلان دشت و ضخامت آبخوان در محدوده مطالعاتی کرمانشاه از طریق شبیه سازی آبخوان با استفاده از مدل MODFLOW است. در این روش ابتدا مدل مفهومی و سپس مدل عددی در دو حالت ماندگار و غیر ماندگار ساخته، سپس واسنجی و صحت سنجی گردید. نتایج نشان دهنده بیشترین ضخامت آبخوان در ناحیه شمال و شمال شرق دشت به ضخامت حدود ۱۶۰،۹۶ متر و کمترین ضخامت در نواحی جنوب غربی و غرب دشت به ترتیب ۱۱۸،۱۴ و ۱۲۰،۶۹ متر است. همچنین ضریب هدایت هیدرولیکی بین ۰/۰۹ تا ۴۰ متر در روز و ضریب آبدهی ویژه بین ۱ تا ۳۵ درصد متغیر است. محاسبات بیلان منفی بودن موازنه آبی در نواحی غربی و جنوب غربی دشت و مثبت بودن بیلان در نواحی شمال و شمال شرقی و جنوب شرقی را نشان می دهد

واژگان کلیدی: آبخوان، بیلان، ضرایب هیدرودینامیکی، MODFLOW، GMS

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۶ آذر ۱۴۰۱ اصلاح: ۱۵ دی ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۰ بهمن ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۹ اسفند ۱۴۰۱

استناد: عزیزی، ک، آذری، آ، و فرهادی بانسوله، ب. (۱۴۰۱). شبیه سازی و تعیین ضرایب هیدرودینامیکی و بیلان آبخوان با مدل ریاضی Modflow (مطالعه موردی: دشت کرمانشاه)، *فناوری های پیشرفته در بهره وری آب*، ۲(۴)، ۸۷-۶۸ شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2023.8799.1036



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

آب‌های زیرزمینی را می‌توان به‌عنوان منابع استراتژیک قلمداد کرد که در شرایط خشک‌سالی و کمبود آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما زمان تجدید پذیری آب‌های زیرزمینی نسبت به آب‌های سطحی طولانی‌تر است بنابراین باید رویکرد بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بسیار مدبرانه، بر اساس نیاز واقعی و آینده‌نگری باشد. آب‌های زیرزمینی مخازن طبیعی می‌باشند که نیازی به سرمایه‌گذاری جهت ایجاد مخزن ندارند، خود پالایش هستند، تبخیر در آن‌ها صورت نمی‌گیرد و یا حداقل ممکن است، آسیب‌پذیری کمی دارند و منابع مطمئن‌تری نسبت به آب‌های سطحی هستند که عموماً با کیفیت بالا و توزیع ذخیره‌سازی گسترده است. در سطح جهان، ۳۶ درصد از مصارف آب شرب و بهداشت، ۴۲ درصد از آب کشاورزی و ۲۱ درصد از مصارف آب صنعتی از آب‌های زیرزمینی تهیه می‌شود (دال و همکاران؛ ۲۰۱۲). ظرفیت بالای ذخیره آب زیرزمینی باعث می‌گردد به‌مانند یک بافر در مقابل تغییرات بزرگ مکانی و زمانی در نوسانات اقلیمی عمل نماید و همین امر باعث گردیده تا آب زیرزمینی محوری برای مدیریت پایدار آب در برابر تغییر اقلیم محسوب شود (گرین و همکاران؛ ۲۰۰۷).

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پورمحمدی و همکاران (۱۳۹۶) بررسی اثرات خشک‌سالی هواشناسی بر تغییرات بیلان آب زیرزمینی در دشت توپسرکان به کمک مدل‌سازی ریاضی MODFLOW را در نرم‌افزار GMS انجام دادند. بدین منظور سه سال شاخص به‌عنوان سال نرمال، خشک و تر انتخاب شد که سال نرمال به‌عنوان سال واسنجی مدل و سال‌های تر و خشک به‌عنوان صحت‌سنجی مدل استفاده گردیدند نتایج نشان داد که مدل MODFLOW به‌خوبی سطح ایستابی چاه‌های مشاهداتی را در سال نرمال، تر و خشک پیش‌بینی نمود

قبادیان و همکاران (۱۳۹۳) برای بررسی اثر احداث شبکه آبیاری و زهکشی پائین‌دست سد گاوشان بر منابع آب زیرزمینی دشت میان‌دریوند کرمانشاه، از بسته نرم‌افزاری GMS6.5 استفاده نمودند. بدین منظور مدل در شرایط ماندگار و غیر ماندگار کالیبره و مورد واسنجی قرار گرفت. در مرحله کالیبراسیون از ۱۲ دوره تنش و داده‌های سطح آب مشاهداتی ۲۴ پیژومتر در منطقه استفاده شد و صحت‌سنجی مدل در یک دوره خارج از بازه زمانی کالیبراسیون و سطح آب ۱۹ پیژومتر منطقه انجام گردید نتایج مدل نشان داد بعد از اجرای شبکه آبیاری و زهکشی سد گاوشان و استفاده از منابع آب سطحی به‌جای منابع آب زیرزمینی، بخش عمده‌ای از اراضی میانی دشت زهدار می‌شوند این موضوع لزوم توجه به استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی، بخصوص در نواحی مرکزی دشت را به همراه داشت.

پور حقی و همکاران (۱۳۹۳) به‌منظور مدیریت بهره‌برداری از آبخوان دشت نورآباد در شرایط خشک‌سالی و با روش تفاضل محدود MODFLOW منابع آب زیرزمینی را مدل نمودند. جهت تهیه مدل مفهومی دشت، از لاگ زمین‌شناسی، چاه‌های مشاهده‌ای و اکتشافی، مقاطع زمین‌شناسی و هیدروگراف چاه استفاده شد که نتایج پیش‌بینی افت آب زیرزمینی را نشان داد.

عابدی‌کوپایی و گلابجیان (۱۳۹۴)، منابع آب زیرزمینی زیرحوضه کوهپایه سگری و به‌طور خاص تخمین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان را موردبررسی و مدل‌سازی توسط بسته نرم‌افزاری GMS قرار دادند. پس از تهیه لایه‌های ورودی و پارامترهای مؤثر در مدل‌سازی، با استفاده از اطلاعات موجود اقدام به واسنجی مدل در حالت ماندگار (۱۳۸۱) و نا ماندگار (۱۳۸۱-۱۳۸۳) گردید و برای کسب اطمینان از نتایج، آزمون صحت‌سنجی را برای سال ۱۳۸۴ انجام گرفت. نتایج شبیه‌سازی و بررسی بیلان آبخوان نشان داد که تغذیه منابع آب زیرزمینی بیشتر از طریق تغذیه سطحی و مرزهای سیستم صورت می‌گیرد و مناطق تحت پوشش کانال‌های آبیاری بیشترین مقدار تغذیه را دارد.

¹ Doell et al

² Green et al

براتی و همکاران (۱۳۹۷) جهت تعیین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان دشت کرمانشاه از نرم‌افزار GMS7.1 استفاده نمودند. نتایج نمایانگر مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی بین ۰٫۱ تا ۳۰ متر در روز و مقدار آبدهی ویژه بین مقادیر ۰٫۰۲ تا ۰٫۴ بود. در این تحقیق ریشه میانگین مربعات خطا کمتر از یک متر و همبستگی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بالا بود که دقت قابل قبول برای شبیه‌سازی است. در تحقیق براتی و همکاران تمرکز بر روی استخراج ضرایب هیدرودینامیکی و محاسبه متوسط تغییرات تراز، است. اما در این تحقیق علاوه بر استخراج ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان و تهیه نقشه محدوده ضرایب، ضخامت آبخوان در نواحی مختلف به صورت سه‌بعدی برای تعیین مناطق دارای کاهش و یا افزایش تراز و همچنین محاسبه مولفه های بیلان آب زیرزمینی در قسمت‌های مختلف دشت به منظور مشخص نمودن میزان تبادلات رودخانه با آبخوان، تبادلات مرزی، میزان برداشت از آب زیرزمینی و تغذیه دشت شبیه‌سازی می‌گردد.

نوذ پور و همکاران (۱۳۹۴) بررسی ارتباط هیدرولیکی آبخوان دشت لور اندیمشک و رودخانه دز توسط مدل MODFLOW را مورد ارزیابی قرار دادند. ابتدا جریان آب‌های زیرزمینی در حالت ماندگار شبیه‌سازی و سپس با استفاده از داده‌های مربوط به مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹، جریان آبخوان در حالت ناپایدار واسنجی و در دوره شش‌ماهه صحت‌سنجی شد سپس ارتباط رودخانه دز با آبخوان تحت سه سناریو مختلف مدیریتی شامل کمترین دبی رودخانه، پیش‌بینی تبادلات آبخوان و رودخانه در دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی توسط بیلان بخشی انجام گردید. در سناریو کاهش سطح آب رودخانه حاکی از کاهش میزان ورودی و افزایش خروجی در آبخوان است و در سناریو خشک‌سالی میزان تغذیه سطحی کاهش و در اثر آن افت سطح ایستابی رخ می‌دهد. در اثر افت سطح ایستابی شیب هیدرولیکی به طرف آبخوان زیاد و موجب تغذیه بیشتر آبخوان توسط رودخانه می‌گردد. در سناریو ترسالی با افزایش تغذیه سطحی آبخوان و افزایش سطح ایستابی، شیب هیدرولیکی و در نتیجه ورودی از رودخانه به طرف آبخوان کاهش می‌یابد.

تاد و همکاران^۱ (۲۰۰۱) به منظور تعیین محدوده تغذیه چاه‌های آب شرب شهر استراگون‌بای در ایالت ویسکانسین آمریکا، آب‌های زیرزمینی منطقه را در دو حالت ماندگار و غیر ماندگار توسط MODFLOW را شبیه‌سازی نمودند. نتایج مدل و مقایسه آن با داده‌های مشاهداتی، نشان از رفتار بهتر آبخوان در حالت غیر ماندگار دارد. همچنین مشخص گردید ناحیه تغذیه‌کننده چاه‌ها در فواصل ۱۰ کیلومتر شمال و ۷ کیلومتری جنوب شهر است.

ایروان و همکاران^۲ (۲۰۰۱) به منظور ارزیابی تعامل هیدرودینامیکی آب سطحی و زیرزمینی در اطراف دریاچه سی سوپان از مدل تفاضل محدود MODFLOW استفاده نمودند. نتایج حاصل از مدل شبیه‌سازی آب زیرزمینی نشان داد آب دریاچه با آبخوان در ارتباط است و بهره‌برداری از دریاچه اثرگذار بر تراز آب زیرزمینی خواهد بود.

یانزان و همکاران^۳ (۲۰۱۱) از مدل MODFLOW VISUAL از برای شبیه‌سازی آب زیرزمینی حوضه بل سو استفاده نمودند. واسنجی و صحت‌سنجی مدل، بیانگر شرایط واقعی آبخوان بود. پس می‌توان از آن در پیش‌بینی آینده رفتار آب زیرزمینی استفاده کرد.

پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی بدون استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی معمولاً به صورت یک سری میانگین بوده و نقشه توزیعی برای دشت ارائه نمی‌دهد (نادیری و همکاران^۴، ۲۰۱۹، گازمان و همکاران^۵، ۲۰۱۹).

¹ Todd et al

² Irawan et al

³ Ciseupan

⁴ Yanxun et al

⁵ Nadiri et al

⁶ Guzman et al

بررسی تحقیقات انجام شده حاکی از اثر انکارناپذیر مدیریت برداشت از منابع آب زیرزمینی بر میزان افت آبخوان‌ها دارد. مطالعه روند پیشرفت مدل‌های ریاضی نشان می‌دهد مجموعه‌ای از عوامل مانند شرایط محیطی شامل دما، بارش، شوری آب، عوامل هیدرولیکی مانند مقاطع رودخانه و سطح خیس شده و پارامترهای هیدرولیکی آبخوان، نحوه توزیع و برداشت آب در حوضه و عوامل توپوگرافی و زمین‌شناسی و غیره در میزان تبادل آب سطحی و زیرزمینی و تغییرات ذخیره آب زیرزمینی مؤثر هستند (زینلی و همکاران؛ ۲۰۲۰، سلطان‌ی و آذری؛ ۲۰۲۲، زامپیری و همکاران؛ ۲۰۱۲). هدف از این پژوهش شبیه‌سازی سه‌بعدی تراز آب زیرزمینی در دشت کرمانشاه و استخراج ضرایب هیدرودینامیکی بهینه آبخوان و محاسبه مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی در قسمت‌های مختلف دشت است.

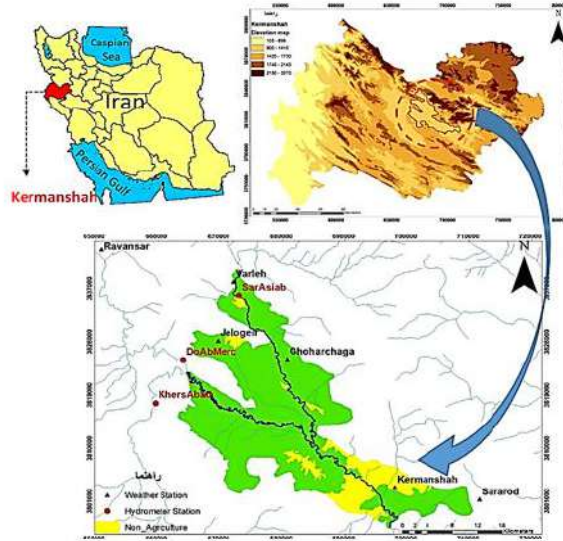
روش پژوهش معرفی محدوده مطالعاتی

محدوده مطالعاتی موردتحقیق بین طول جغرافیایی ۴۶،۷۷ تا ۴۷،۲۸ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴،۲۹ تا ۳۴،۶۸ درجه شمالی است. این محدوده واقع در شهرستان کرمانشاه شامل دهستان‌های میان دربند، بالا دربند، قره‌سو و درودفرمان با مساحت ۶۷۲،۶۶ کیلومترمربع یا ۶۷۲۶۶،۱۲ هکتار است. که بخش بزرگی از شهر کرمانشاه به مساحت ۷۷ کیلومترمربع نیز در این محدوده قرار می‌گیرد. در اراضی موردتحقیق دو رودخانه رازآور و قره‌سو جاری می‌باشند رودخانه رازآور از ارتفاعات شهرستان کامیاران واقع در استان کردستان سرچشمه می‌گیرد طول این رودخانه در دشت کرمانشاه ۴۷،۲ کیلومتر است و در جهت شمالی- جنوبی وارد دشت کرمانشاه می‌گردد. رودخانه قره‌سو از سراب روانسر سرمنشأ می‌گیرد طول این رودخانه در دشت کرمانشاه ۹۱،۴۷ کیلومتر است و در جهت شمال غربی به جنوب شرقی جریان دارد. این رودخانه علاوه بر رودهای مرک و رازآور که در نزدیکی شهر کرمانشاه به هم می‌پیوندند، آب نهرها و سراب‌های متعددی وارد آن شده و پس از عبور از شهر کرمانشاه در شهرستان هرسین به گاماسیاب پیوسته و مشترک رودخانه سیمره یکی از سرشاخه‌های کرخه را به وجود می‌آورند. بنابراین محدوده مطالعاتی در حوضه علیای کرخه که حوضه سیمره نیز نامیده می‌شود واقع گردیده است. میزان متوسط بارندگی محدوده موردپژوهش حدود ۴۵۰ میلی‌متر در سال است و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن، جزء اقلیم نیمه‌خشک و استپی قرار می‌گیرد. ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورداستفاده از بین ایستگاه‌هایی انتخاب گردیدند که فعال و دارای آمار بلندمدت حداقل ۳۰ ساله بودند. بدین سبب شش ایستگاه هواشناسی شامل دو ایستگاه سینوپتیک (کرمانشاه و روانسر)، یک ایستگاه کشاورزی (سرارود) و سه ایستگاه باران‌سنجی (ورله، گوهرچقا و جلوگیرعلیا) انتخاب شدند. همچنین از بین ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در محدوده مطالعاتی فقط سه ایستگاه سرآسیاب (رودخانه رازآور)، دو آب‌مرک (رودخانه قره‌سو) و خرس‌آباد (رودخانه مرک) از سرشاخه‌های قره‌سو) فعال و دارای آمار بلندمدت ۳۰ ساله بودند که مورداستفاده آماری قرار گرفتند. کاربری اراضی در محدوده دشت کرمانشاه شامل اراضی کشاورزی، شهری، مراتع، تالاب و صخره‌ای است که بیشترین کاربری را اراضی کشاورزی با ۸۴،۹ درصد پوشش دارد. در طبقه‌بندی خاک‌ها بر مبنای کاربرد آن‌ها در کشاورزی و قابلیت آبیاری، ۸ کلاس خاک تعریف می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۳) که شش کلاس از کلاس I تا VI در محدوده وجود دارد و بیشتر محدوده در کلاس II و III قرار می‌گیرد که در شکل ۱ نشان داده شده است.

¹ Zeinali et al

² Soltani & Azari

³ Zampieri et al



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی، کاربری اراضی، ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری

ساخت مدل آب زیرزمینی

در این پژوهش از نرم‌افزار GMS که رابط بین GIS و مدل MODFLOW است به منظور ساخت مدل مفهومی و تبدیل آن به مدل عددی MODFLOW جهت شبیه‌سازی آبخوان، استفاده گردید. مدل عددی MODFLOW بر پایه حل معادلات حاکم بر جریان آب زیرزمینی است که با توجه به شرایط جریان در دو حالت ماندگار و غیر ماندگار عمل می‌کند. مدل MODFLOW بر اساس معادله پیوستگی، حرکت سه‌بعدی جریان زیرزمینی را به وسیله معادله دیفرانسیل جزئی و به روش تفاضل محدود حل می‌کند. فرم کلی معادله در حالت پایدار رابطه ۱ و در حالت غیر پایدار رابطه ۲ است.

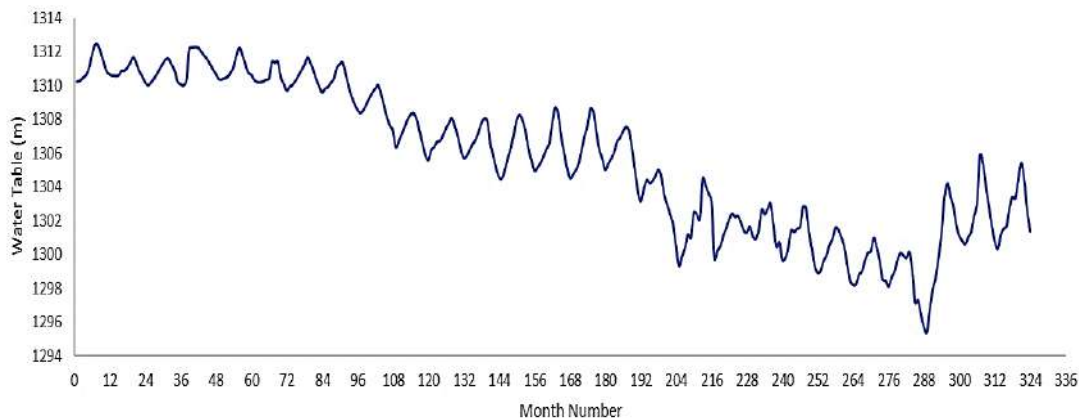
$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K_{xx} h \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_{yy} h \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_{zz} h \frac{\partial h}{\partial z} \right] \pm W = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K_{xx} h \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_{yy} h \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_{zz} h \frac{\partial h}{\partial z} \right] \pm W = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

در معادلات فوق K_{xx} ، K_{yy} و K_{zz} هدایت هیدرولیکی، W نشان‌دهنده تخلیه یا تغذیه آب زیرزمینی، h هد هیدرولیکی (بار پتانسیل)، t زمان و S_y آبدهی ویژه می‌باشد.

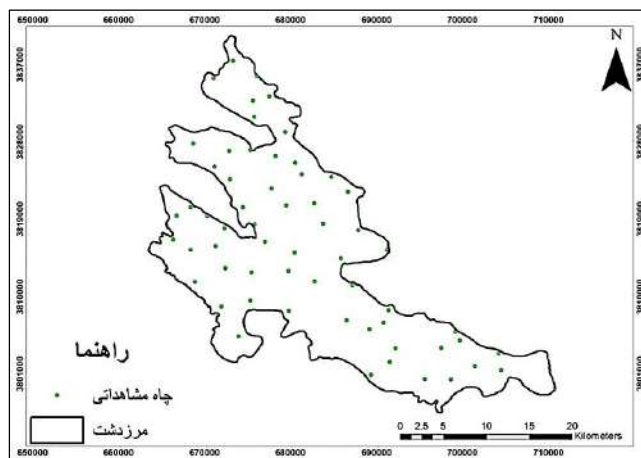
مدل ماندگار

برای ساخت مدل ماندگار ابتدا هیدروگراف دشت کرمانشاه بر اساس داده‌های چاه‌های مشاهداتی از ابتدای مهر سال ۱۳۷۰ تا پایان شهریور ۱۳۹۷ رسم گردید که در شکل ۲ نشان داده شده است.

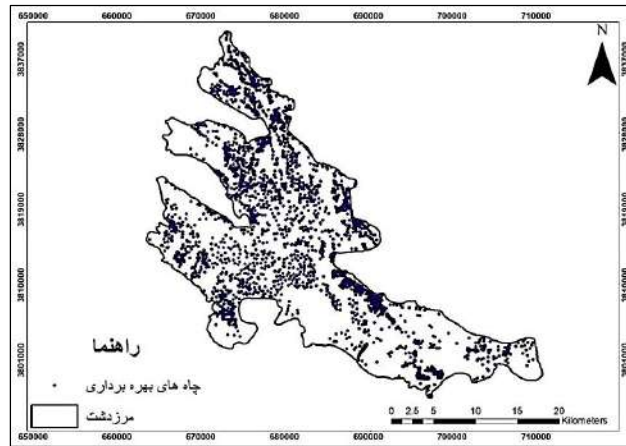


شکل ۲. هیدروگراف دشت کرمانشاه

با توجه به هیدروگراف رسم شده، مهر ماه سال ۱۳۹۵ که کمترین شیب تغییرات تراز را داشت به‌عنوان ماه ماندگار انتخاب گردید. بعد از انتخاب ماه ماندگار مدل مفهومی ساخته شد برای ساخت مدل مفهومی پکیج‌های محدوده یا مرز آبخوان، چاه‌های مشاهداتی، چاه‌های بهره‌برداری (چاه، قنات، چشمه)، ضریب هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه، رودخانه‌ها، سلول‌های بار عام، تبخیر و تعرق، تغذیه و زون بندی بیلان ساخته شد. تعداد چاه‌های مشاهداتی یا پیزومتری در محدوده مورد مطالعه ۶۰ حلقه است که از مهرماه سال ۱۳۷۰ خورشیدی تا پایان شهریور ۱۳۹۷ دارای آماربرداری است که در شکل ۳ نشان داده شده است. تعداد چاه‌های بهره‌برداری اعم از کاربری کشاورزی، صنعت و آشامیدنی در محدوده مورد مطالعه ۳۹۲۲ حلقه است که در شکل ۴ نشان داده شده است.

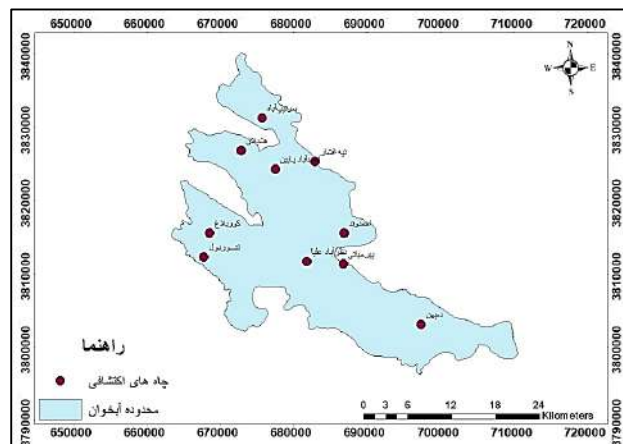


شکل ۳. موقعیت محدوده مطالعاتی و پیزومترها



شکل ۴. موقعیت و پراکنش چاه‌های بهره‌برداری

در مطالعات منابع آب، بررسی‌های اکتشافی توسط انجام مطالعات ژئوفیزیک سطحی، حفاری‌های اکتشافی، چاه‌نگاری، ردیابی و آزمایش‌های پمپاژ انجام می‌گردد. بررسی‌های انجام‌یافته در محدوده آبخوان دشت کرمانشاه شامل مطالعات ژئوالکتریک، لوگ چاه‌های اکتشافی و آزمایش‌های پمپاژ است. با انجام بررسی‌های اکتشافی، ضخامت و نحوه تغییرات رسوبات آبرفتی، جنس سنگ کف، وضعیت کمی و کیفی لایه‌های آبدار و نیز ضرایب هیدرودینامیک آبخوان مشخص می‌گردد. از آنجاکه دقت و صحت اطلاعات ثبت‌شده برای چاه‌های اکتشافی و آزمایش‌های پمپاژ بیشتر از مطالعات ژئوالکتریک انجام‌شده در منطقه مورد مطالعه است لذا این اطلاعات به‌عنوان مبنا در تعریف مدل مفهومی آبخوان مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس اطلاعات دریافتی از شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمانشاه، در محدوده آبخوان تعداد ۱۰ حلقه چاه اکتشافی حفاری شده است که در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. موقعیت چاه‌های اکتشافی در محدوده آبخوان دشت کرمانشاه

بررسی لوگ چاه‌های اکتشافی محفوره در دشت کرمانشاه نشان داد رسوبات دشت به‌طور عمومی از سطح تا اعماق ۵۰-۶۰ متری از مصالحی با درصد بیشتر رس و از این عمق به بعد حاوی مصالح درشت‌تر در حد گراول و ماسه است. واحدهای ریزدانه در محدوده طرح مقادیری نیز ماسه

دارند که باعث می‌شود قدرت انتقال کمی پیدا کنند و چاه‌های محفوره در این رسوبات نیز دارای آبدهی می‌باشند. عمق برخورد به سنگ کف و جنس سنگ کف بسیار مختلف بوده و از کنگلومرا، رادیولاریت، مارن، شیل و آهک تشکیل شده است. با توجه به اطلاعات موجود، حداکثر ضریب قابلیت انتقال ۱۰۰۰۰ مترمربع در روز در شمال آبخوان (محل لوگ سرتیپ آباد) است که به سمت جنوب آبخوان کاهش یافته و در قسمت جنوب غربی آبخوان (محل لوگ تنوردول) به مقدار ۱۵۰ مترمربع در روز می‌رسد که در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. اطلاعات و ضرایب هیدرودینامیک محاسبه شده در چاه‌های اکتشافی محدوده مطالعاتی

شماره	محل چاه	عمق (متر)	قطر حفاری (اینچ)	تاریخ حفاری	ضرایب سفره	عمق برخورد و جنس سنگ کف (متر)
۱	احمدآباد پایین	۲۴۰,۰	۸ و ۱۸,۵	۱۳۵۳/۴/۱	T=1750 , S=?	۲۳۹ - کنگلومرا و رادیولاریت
۲	تپه افشار	۱۹۸,۰	۸ و ۱۸,۵	۱۳۵۳/۹/۳	T=? , S=?	۱۸۳ - کنگلومرا
۳	هشیلان	۱۵۶,۰	۱۴ و ۱۸	۱۳۶۷/۷/۲۹	T=1200 , S=0.4%	۱۴۸ - مارن
۴	سرتیپ آباد	۱۳۲,۰	۱۳ و ۱۴ و ۱۸	۱۳۶۷/۸/۲۱	T=10000 , S=?	؟
۵	احمدوند	۸۲,۰	۱۸ و ۱۸,۵	۱۳۵۳/۷/۱۱	T=607 , S=2.5%	۷۷ - کنگلومرا
۶	پیرحیاتی	۷۱,۰	۱۸	۱۳۶۷/۷/۷	T=1570 , S=?	۶۷,۵ - رادیولاریت
۷	کوربلاغ	۸۶,۰	۱۸	۱۳۵۴/۲/۸	T=? , S=?	۸۶ - آهک
۸	تنوردول	۱۱۵,۰	۱۸,۵	۱۳۵۳/۶/۹	T=150 , S=?	۹۴ متری - آهک
۹	ده‌پهن	۲۱۵,۰	۱۸,۵	۱۳۵۴/۶/۲۰	T=1000 , S=?	۲۱۵ - شیل هوازده و کنگلومرا
۱۰	نظرآباد علیا	۲۰۹,۰	۱۸,۵	۱۳۵۳/۷/۶	T=750 , S=0.03%	۱۹۸ متری - شیل

برای تعیین مقادیر ابتدایی ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان (هدایت هیدرولیکی (K) و آبدهی ویژه (Sy)) و محدوده این ضرایب، محل چاه‌های اکتشافی در محیط GIS مشخص و در محیط GMS به مدل مفهومی اضافه شدند. تغییرات ضرایب هیدرودینامیک آبخوان در نقاط مختلف دشت بیشتر از آن است که بتوان اطلاعات این ۱۰ نقطه از آبخوان را به کل آن تعمیم داد. بنابراین به منظور تعیین مقادیر و محدوده‌های ضرایب هیدرودینامیک آبخوان یک پوشش مجزا تعریف گردید. برای تعیین محدوده‌های ضریب هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه در محدوده آبخوان از نقشه‌های تراز آب زیرزمینی، کاربری اراضی، و نقشه خاکشناسی منطقه استفاده و از مقادیر ضرایب هیدرودینامیک گزارش شده در محل چاه‌های اکتشافی به عنوان مقادیر حدس اولیه استفاده شد. جهت استخراج حدود تغییرات ضرایب هیدرولیکی علاوه بر آزمایش پمپاژ با توجه به لوگ حفاری و جنس مصالح در رسوبات و سنگ‌های مختلف، از جداول آبدهی ویژه و هدایت هیدرولیکی منتشر شده توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا (U. S. G. S 2002) استفاده گردید که در جدول ۲ و ۳ ارائه گردیده است.

جدول ۲. حدود تغييرات آبدهي ویژه در برخي از رسوبات در سفره‌های آزاد (U. S. G. S 2002)

Material	Maximum	Minimum	Average
Clay	0.05	0.	0.02
Sandy Clay	0.12	0.03	0.07
Silt	0.19	0.03	0.18
Fine Sand	0.28	0.10	0.21
Medium Sand	0.32	0.15	0.26
Coarse Sand	0.35	0.20	0.27
Gravelly Sand	0.35	0.20	0.25
Fine Gravel	0.35	0.21	0.25
Medium Gravel	0.26	0.13	0.23
Coarse Gravel	0.26	0.12	0.22

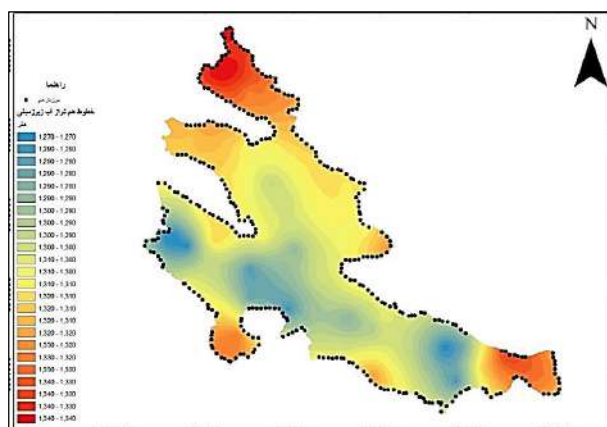
Source: Johnson, 1967

جدول ۳. حدود تغييرات هدايت هيدروليكي در برخي از رسوبات و سنگ‌ها (U. S. G. S 2002)

Aquifer Material	Extreme	Likely	Likely	Extreme	References
	Kmin, m/d	Kmin, m/d	Kmax,m/d	Kmax, m/d	
Unconsolidated Sedimentary Rock					
Gravel	30	90	900	900	1,5
Sand and Gravel Mixes	0.3	9	90	90	1
Coarse Sand	15	20	90	90	1
Medium Sand	0.3	6	20	60	1,5
Fine Sand	0.015	1	6	6	1,5
Gulf Coast Aquifer Systems (6603 values)	0.6	10	60	240	2
Stream Terrace Deposit, Fort Worth, Texas (59 values)	0.003	0.3	30	90	3
Surficial Aquifer, central Florida (fine sand and silt, 55 values)	0.003	0.03	10	15	4
Silt, Loess	0.00009	0.0003	0.03	2	5
Till	0.0000009	0.0009	0.09	0.2	1,5
Clay soils (surface)	0.003	0.003	0.3	0.3	1
Clay	0.0000003	0.000003	0.00003	0.0003	5,7
Carbonate Rocks					
Unweathered Marine Clay	0.0000006	0.0000006	0.0002	0.0002	5
Karst	0.1	3	300	3000	4,5,8
Reef Limestone	0.09	3	300	1800	5
Limestone, Dolomite	0.00009	0.001	0.03	0.6	5
Indurated Sedimentary Rock					
Fine-Grained Sandstone	0.00003	0.0003	0.3	2	1,6
Medium-Grained Sandstone	0.0003	0.3	3	24	6,9
Siltstone	0.0000003	0.000003	0.002	0.01	6
Claystone	9.00E-10	0.0000003	0.000003	0.00001	6,7,10
Anhydrite	0.00000003	0.00000003	0.002	0.002	5
Shale	0.000000003	0.00000003	0.00003	0.3	7
Metamorphic or Volcanic Rock					
Permeable Basalt	0.03	0.3	30	1800	5
Fractured Igneous and Metamorphic Rock	0.0003	0.02	3	30	1
Weathered Granite	0.03	0.3	3	6	6
Weathered Gabbro	0.03	0.03	0.3	0.3	6
Basalt	0	0.009	0.03	0.03	5
Unfractured Igneous and Metamorphic Rock	0	2.7E-09	0.00002	0.00002	1,5
Unfractured Igneous and Metamorphic Rock	0	2.7E-09	0.00002	0.00002	

برای تهیه پکیج رودخانه‌ها ابتدا دبی رودخانه رازآور از ایستگاه هیدرومتری سرآسیاب و دبی قره‌سو از ایستگاه‌های هیدرومتری دوآب مرک و خرس‌آباد استخراج شدند سپس رودخانه‌ها جهت شبیه‌سازی تبادل رودخانه و آبخوان با مشخصات تراز کف (m)، تراز آب (m) و کاندکتانس (ضریب گذردهی برحسب مترمربع در روز) تعریف و به مدل مفهومی اضافه شدند.

انتخاب شرایط مرزی را می‌توان گام مهمی در تهیه مدل مفهومی دانست. بطوریکه با انتخاب شرایط مرزی نامناسب مدل ساخته‌شده معیوب و پاسخ مدل به استرس‌ها متفاوت از پاسخ واقعی سیستم خواهد بود (فرانکی و همکاران، ۱۹۸۷). در این پژوهش برای شبیه‌سازی مرزهای ورودی و خروجی محدوده مطالعاتی دشت کرمانشاه از بسته مرز بار عام (GHB) استفاده شد. در این نوع مرز سطح آب ثابت نیست و دبی ورودی یا خروجی در مرز با توجه به گرادیان هیدرولیکی و ضریب گذردهی کاندکتانس سلول‌های مرزی تغییر می‌کند. از سوی دیگر حساسیت بارهای هیدرولیکی محاسبه‌شده مدل به ضریب گذردهی کاندکتانس در مرزهای GHB از سایر مرزها کمتر است. بنابراین اگر فرض‌های بکار رفته در مرز اشتباه باشد و یا در اثر استرس‌ها، مرزها رفتار غیرواقعی نشان دهند، نتایج و خروجی‌های مدل کمتر تحت تأثیر قرار خواهد گرفت (صدقی و چیت‌سازان، ۱۳۸۳). برای ساخت بسته GHB ابتدا خطوط هم‌تراز آبخوان در ماه ماندگار در محیط GIS رسم شد سپس محل ورودی و خروجی جریان‌های مرزی مشخص و Head Stage یا هد جریان و ضریب گذردهی محاسبه گردید. و در محیط GMS به مدل مفهومی اضافه گردید. در این تحقیق ۳۵۱ سلول مرز بار عام تعریف شد که در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶. تراز آب زیرزمینی و موقعیت سلول‌های بار عام

تغذیه دشت یکی از پارامترهای مهم در مدل آب زیرزمینی است. معمولاً به دلیل ویژگی‌های مختلف خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، شدت بارندگی، شیب زمین و کاربری اراضی در نقاط مختلف میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی متفاوت است. در مدل MODFLOW و در حالت ماندگار برای تغذیه از بسته RCH استفاده می‌گردد که در این پژوهش ۱۴ محدوده تغذیه تهیه گردید. همچنین بسته تبخیر و تفرق و بسته ناحیه بندی بیان در GIS تهیه و در GMS به مدل مفهومی اضافه گردید.

بعد از ساخت مدل مفهومی، برای ورود به مدل عددی چارچوب مدل تعریف شد. برای این کار در محیط GMS ابتدا قاب و سپس شبکه‌بندی ایجاد گردید. اندازه و جهت شبکه به‌گونه‌ای انتخاب شد که در حالت افقی (دو بعدی) محور X در راستای K_x و محور Y در راستای K_y قرار گیرد و در حالت سه‌بعدی محور Z هم‌جهت با K_z باشد. شبکه‌بندی در جهت شمال، با سلول‌هایی به ابعاد 500×500 متر ساخته شده برای ساخت مدل

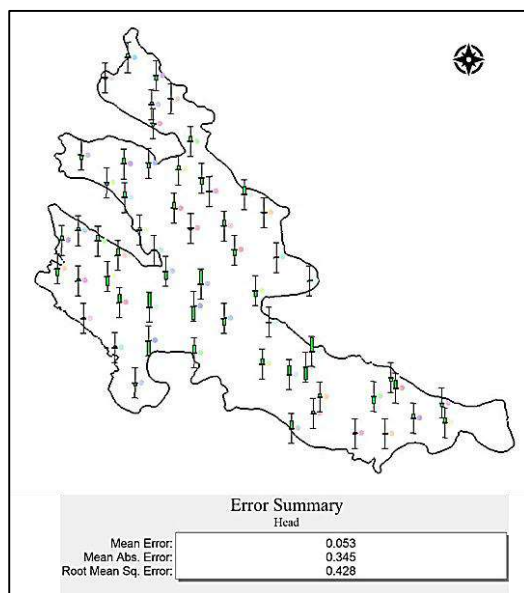
¹ Franke et al

عددی آب زیرزمینی تعداد ۹۸۸۸ سلول به ابعاد ۵۰۰×۵۰۰ متر تعریف (۹۶ ردیف \times ۱۰۳ ستون) گردید که تعداد ۲۷۰۱ سلول آن فعال و در محدوده مطالعاتی واقع شد (۶۷۵,۲۵ کیلومتر مربع)

در مدل ماندگار، ماه پایدار مهر سال ۱۳۹۵ انتخاب گردید. بنابراین تراز یا هد اولیه برای ورود به مدل، شهریور همان سال است. بدین منظور با داده‌های پیژومتری شهریورماه، تراز اولیه در محیط GIS به روش کریجینگ میانپایی و نقشه رستری آن رسم گردید. سپس برای تبدیل نقشه رستری به اعداد قابل ورود به مدل عددی MODFLOW از نرم‌افزار Global Mapper استفاده شد و اعداد خروجی در فرمت XYZ و در نهایت به صورت فایل تکست به مدل وارد شد. برای تهیه سقف لایه آبدار از نقشه رقومی محدوده مطالعاتی (DEM) و برای کف لایه آبدار یا سنگ کف از اطلاعات ژئوفیزیک منطقه استفاده گردید. رقوم سنگ کف استخراج و در محیط GIS به روش کریجینگ میانپایی و تبدیل به نقشه رستری کف گردید. که همراه با نقشه رقومی سطح زمین در نرم‌افزار Global Mapper (به‌مانند ساخت اعداد تراز اولیه) قابل ورود به مدل عددی MODFLOW گردید.

واسنجی (کالیبره) مدل

برای انجام کالیبره از داده‌های ثبت شده ۶۰ حلقه چاه‌های مشاهداتی دشت کرمانشاه در طول دوره شبه‌سازی مدل ماندگار یعنی مهرماه سال ۱۳۹۵ استفاده شد. واسنجی مدل با روش رگرسیون غیرخطی و استفاده از MODFLOW انجام گرفت. در این روش برآورد پارامترها با تخصیص مقدار اولیه به هر پارامتر شروع می‌شود. در مراحل تکرارهای برآورد پارامتر، و باهدف کاهش اختلاف بین مقادیر محاسباتی و مشاهداتی مقادیر اولیه تغییر می‌نماید. در کالیبراسیون حالت ماندگار، هدایت هیدرولیکی، کاندکتانس رودخانه‌ها و مرزهای بار عام (GHB) بهینه گردید. بعد از کالیبراسیون، مقدار انحراف جذر میانگین مربعات (RMSE) توسط مدل محاسبه و مقدار آن عدد ۰,۴۲۸ متر به دست آمد یعنی در کل دشت اختلاف داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در پیژومترها کمتر از یک متر و برابر ۴۲۸ میلی‌متر به دست آمد که در شکل ۷ نشان داده شده است.



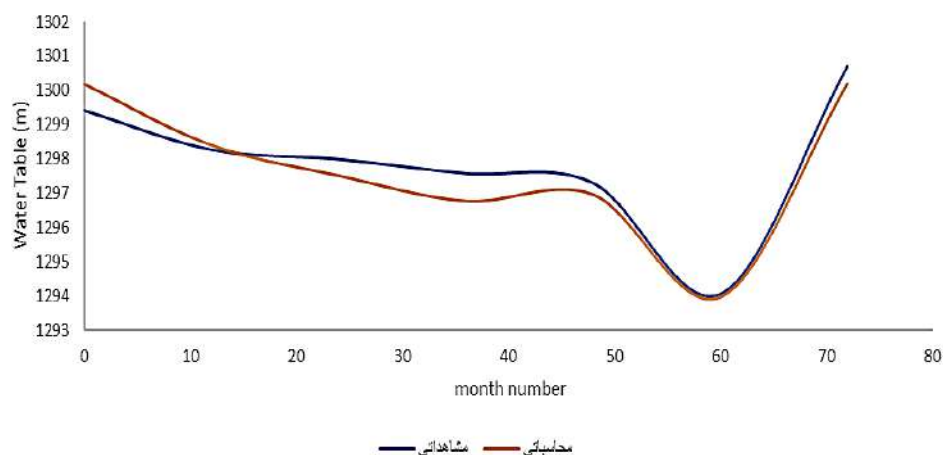
شکل ۷. کالیبراسیون مدل ماندگار و میزان RMSE

مدل غیر ماندگار

مدل غیر ماندگار به مدت دو سال از مهر سال ۱۳۹۳ تا شهریور ۱۳۹۵ با ۲۴ استرس پرپود ماهانه ساخته و کالیبره گردید در عملیات واسنجی مقادیر و ضرایب هیدرودینامیکی شامل K و Sy بهینه گردید و میزان RMSE محاسبه شده برای دشت برابر ۵۳۵ میلی‌متر بدست آمد.

صحت سنجی

پس از واسنجی برای تأیید عملکرد مدل، صحت سنجی صورت پذیرفت تا از دقت مدل شبیه‌سازی شده اطمینان حاصل شود طول مدت صحت سنجی پنج سال از مهر ۱۳۸۸ تا پایان شهریور ۱۳۹۳ انتخاب گردید. شکل ۸ هیدروگراف آبخوان را در طول مدت صحت‌سنجی در دو حالت مشاهداتی و محاسباتی نشان می‌دهد. تفاوت مقادیر تراز محاسباتی با مشاهداتی کمتر از ± 1 متر است که نشان‌دهنده دقت مدل و عملکرد مناسب آن در شبیه‌سازی آبخوان است.



شکل ۸. هیدروگراف آبخوان در دو حالت مشاهداتی و محاسباتی طی ۵ سال آبی ۱۳۸۸-۱۳۹۳

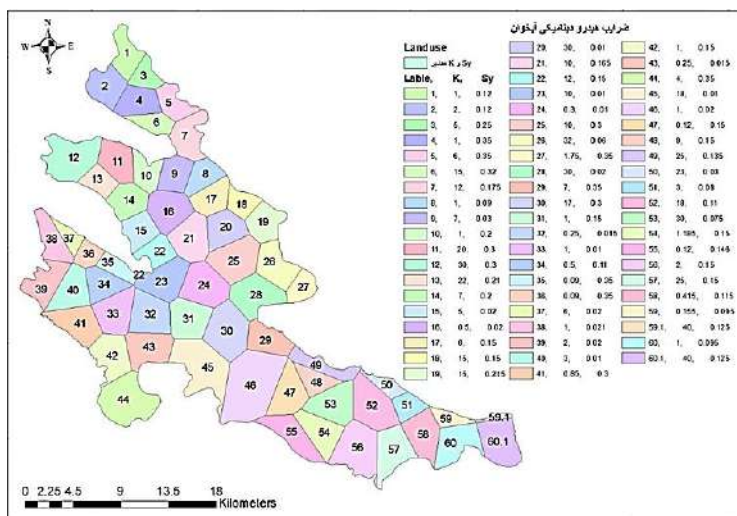
یافته‌ها

ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان

در حین کالیبراسیون مدل، محدوده‌ها و مقادیر ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان شامل ضریب هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه اصلاح شدند. مقدار بهینه ضریب هدایت هیدرولیکی بین ۰/۰۹ تا ۴۰ متر در روز و ضریب آبدهی ویژه بین ۱ تا ۳۵ درصد متغیر است که در جدول ۴ و شکل ۹ نشان داده شده است.

جدول ۴. ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان کرمانشاه

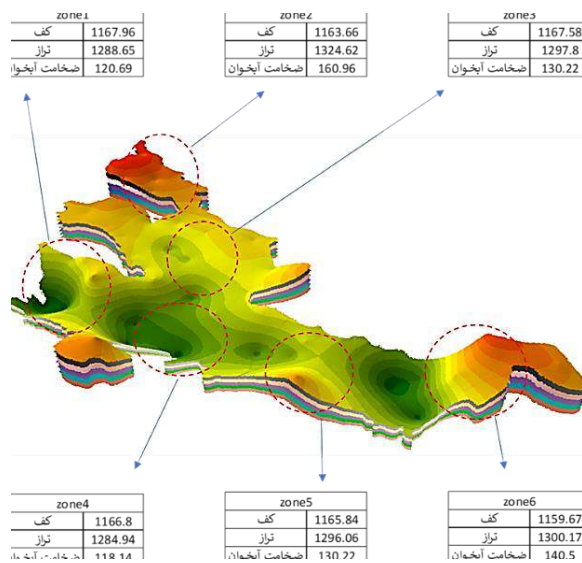
Name	K(m/day)	Sy	Name	K(m/day)	Sy	Name	K(m/day)	Sy
LU1	1	0.12	LU22	12	0.15	LU43	0.25	0.015
LU2	2	0.12	LU23	10	0.01	LU44	4	0.35
LU3	5	0.25	LU24	0.3	0.01	LU45	18	0.01
LU4	1	0.35	LU25	10	0.3	LU46	1	0.02
LU5	6	0.35	LU26	32	0.06	LU47	0.12	0.15
LU6	15	0.32	LU27	1.75	0.35	LU48	9	0.15
LU7	2	0.175	LU28	30	0.02	LU49	25	0.135
LU8	1	0.09	LU29	7	0.35	LU50	23	0.03
LU9	7	0.03	LU30	17	0.3	LU51	3	0.08
LU10	1	0.02	LU31	1	0.15	LU52	18	0.11
LU11	20	0.3	LU32	0.25	0.015	LU53	30	0.075
LU12	30	0.3	LU33	1	0.01	LU54	1.185	0.15
LU13	22	0.21	LU34	0.5	0.11	LU55	0.12	0.146
LU14	7	0.02	LU35	0.09	0.35	LU56	2	0.15
LU15	5	0.02	LU36	0.09	0.35	LU57	25	0.15
LU16	0.5	0.02	LU37	6	0.02	LU58	0.415	0.115
LU17	6	0.15	LU38	1	0.021	LU59	0.155	0.095
LU18	15	0.15	LU39	2	0.02	LU59-1	40	0.125
LU19	15	0.215	LU40	3	0.01	LU60	1	0.095
LU20	30	0.01	LU41	0.85	0.3	LU60-1	40	0.125
LU21	10	0.165	LU42	1	0.15			



شکل ۹. نقشه ضرایب هیدرودینامیکی

ضخامت لایه آبدار

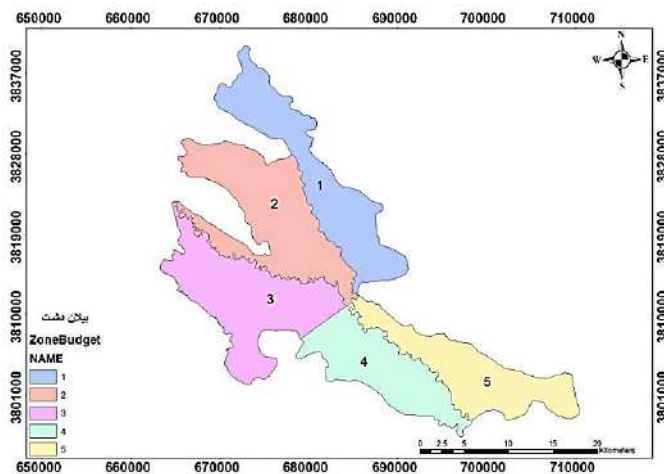
ضخامت لایه آبدار در ماه ماندگار (مهر ۱۳۹۵) به صورت میانگین در تمام محدوده آبخوان و در شش ناحیه مختلف دشت به مساحت هر ناحیه ۵۰ کیلومترمربع محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد بر اساس محاسبات میانگین ضخامت لایه آبدار در دشت کرمانشاه ۱۳۳,۹۸ متر بوده که بیشترین ضخامت در ناحیه شمالی دشت به میزان ۱۶۰,۹۶ و کمترین ضخامت مربوط به نواحی جنوب‌غربی و غرب دشت به ترتیب ۱۱۸,۱۴ و ۱۲۰,۶۹ متر است که در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰. ضخامت آبخوان دشت کرمانشاه (برحسب متر) در نواحی مختلف دشت

بیلان دشت

جهت تعیین بیلان دشت از پکیج Zone Budget در محیط نرم‌افزار GMS استفاده گردید. محدوده مطالعاتی مطابق شکل ۱۱ به ۵ ناحیه تقسیم گردید و برای مهرماه ۱۳۹۵ که به‌عنوان ماه ماندگار انتخاب گردیده بود بیلان محاسبه گردید که در جدول ۵ ارائه شده است.



شکل ۱۱. ناحیه بندی دشت

جدول ۵. بیلان دشت در مهرماه سال ۱۳۹۵

		GHB	River	Wells	Recharge	Total	In-Out
Zone_1	In	996743.8	827.2256	0	136193.8	1148506	21.05079
	Out	283414.5	734273.9	50763.05	0	1148485	
Zone_2	In	400797.5	4367.063	0	60930	578802	-14.1929
	Out	175038.3	44060.81	74407.32		578816.2	
Zone_3	In	803190	1291.326	0	12465	1010909	-62.2484
	Out	890847.2	46221.64	41012.72	0	1010971	
Zone_4	In	137338.2	429.7601	0	44050.75	223787.3	-0.57964
	Out	117766.6	11642.66	10258.03	0	223787.9	
Zone_5	In	162374.6	286.7685	0	110141.8	339875.5	11.16792
	Out	186479.1	27271.43	84805.01	0	339864.4	

همان‌گونه که از جدول ۵ پیداست جهت تهیه بیلان آبخوان در ماه ماندگار از مقادیر ورودی و خروجی چهار عامل مؤثر بر بیلان شامل تبادلات مرزی، تبادلات رودخانه و آبخوان، چاه‌ها و تغذیه استفاده گردید. بیشترین مقدار ورودی به آبخوان از طریق سلول‌های مرزی بار عام مربوط به ناحیه ۱ به میزان ۹۹۶۷۴۳٫۸ مترمکعب و کمترین مقدار ورودی ۱۳۷۳۳۸٫۲ مترمکعب در ناحیه ۴ است. اما بیشترین خروجی از طریق سلول‌های GHB در ناحیه سوم به میزان ۸۹۰۸۴۷٫۲ مترمکعب و کمترین خروجی در ناحیه چهارم به مقدار ۱۱۷۷۶۶٫۶ مترمکعب محاسبه گردید. در شبیه‌سازی تبادلات رودخانه و آبخوان بیشترین ورودی از رودخانه در ناحیه دوم به مقدار ۴۳۶۷ مترمکعب و کمترین ورودی در ناحیه ۵ به مقدار ۲۸۶٫۷ مترمکعب است اما بیشترین خروجی رودخانه در ناحیه ۱ به میزان ۷۳۷۲۷۳٫۹ مترمکعب و کمترین خروجی در ناحیه چهارم به مقدار ۱۱۶۴۲٫۶۶ مترمکعب محاسبه گردید. بیشترین برداشت از چاه در ناحیه ۵ به مقدار ۸۴۸۰۵ مترمکعب و کمترین برداشت در ناحیه ۴ به میزان ۱۰۲۵۸ مترمکعب است. بیشترین تغذیه مربوط به ناحیه ۱ به میزان ۱۳۶۱۹۳٫۸ مترمکعب و کمترین مقدار تغذیه مربوط به ناحیه سوم به مقدار ۱۲۴۶۵ مترمکعب محاسبه گردید.

در نهایت مجموع ورودی و خروجی‌های آبخوان در ناحیه ۱ و ۵ مثبت و در بقیه نواحی منفی است بطوریکه بیلان ناحیه ۱ معادل ۲۱ و بیلان ناحیه ۵ معادل ۱۱ مترمکعب بوده و بیلان نواحی ۲ و ۳ و ۴ به ترتیب معادل ۱۴-، ۶۲- و ۵٫۵- مترمکعب است با توجه به اینکه در ماه ماندگار بیلان باید صفر باشد میزان بیلان محاسبه‌شده مقدار ناچیز ۴۴٫۸- مترمکعب در ماه محاسبه گردید که این مقدار می‌تواند خطای مدل و قابل صرف‌نظر باشد.

بحث

آب‌های زیرزمینی را می‌توان به‌عنوان منابع استراتژیک قلمداد کرد که در شرایط خشک‌سالی و کمبود آب مورداستفاده قرار می‌گیرند. اما زمان تجدید پذیری آب‌های زیرزمینی نسبت به آب‌های سطحی طولانی‌تر است بنابراین باید رویکرد بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بسیار مدبرانه، بر اساس نیاز واقعی و آینده‌نگری باشد. آب‌های زیرزمینی مخازن طبیعی می‌باشند که نیازی به سرمایه‌گذاری جهت ایجاد مخزن ندارند، خود پالایش هستند، تبخیر در آن‌ها صورت نمی‌گیرد و یا حداقل ممکن است، آسیب‌پذیری کمی دارند و منابع مطمئن‌تری نسبت به آب‌های سطحی هستند که عموماً باکیفیت بالا و توزیع ذخیره‌سازی گسترده است. هدف این پژوهش بررسی ضرایب هیدرودینامیکی، بیلان دشت و ضخامت آبخوان در محدوده مطالعاتی کرمانشاه از طریق شبیه‌سازی آبخوان با استفاده از مدل MODFLOW است. در این روش ابتدا مدل مفهومی و سپس مدل عددی در دو حالت ماندگار و غیر ماندگار ساخته، سپس واسنجی و صحت‌سنجی گردید.

نتیجه‌گیری

این تحقیق نشان داد که مدل MODFLOW به‌درستی می‌تواند تراز متوسط و تراز نواحی مختلف آبخوان را به همراه بیلان دشت شامل تبادلات آبخوان با رودخانه، ورودی و خروجی از مرزهای آبخوان، مقادیر برداشت و تغذیه را مدل نموده و ضرایب هیدرودینامیکی را بهینه نماید. در این شبیه‌سازی مقدار انحراف جذر میانگین مربعات (RMSE) در مدل ماندگار ۴۲۸ میلی‌متر و در مدل غیر ماندگار ۵۳۵ میلی‌متر محاسبه گردید. یعنی در کل دشت اختلاف داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در پی‌زومترها کمتر از یک متر به دست آمد. مقادیر بهینه ضریب هدایت هیدرولیکی بین ۰٫۰۹ تا ۴۰ متر در روز و ضریب آبدهی ویژه بین ۱ تا ۳۵ درصد متغیر است. همچنین متوسط ضخامت لایه آبدار در دشت کرمانشاه ۱۳۳٫۹۸ متر و بیشترین ضخامت در ناحیه شمالی دشت به میزان ۱۶۰٫۹۶ متر و کمترین ضخامت مربوط به نواحی جنوب‌غربی و غرب دشت به ترتیب ۱۱۸٫۱۴ و ۱۲۰٫۶۹ متر است. بر اساس بیلان ماه ماندگار (مهر ۱۳۹۵) ورودی آبخوان ۲۸۷۱۴۲۷٫۵۴۳ مترمکعب و خروجی آبخوان ۲۸۷۱۴۷۲٫۳۴۶ مترمکعب محاسبه گردید. تفاوت ورودی و خروجی (بیلان) آبخوان ۴۴٫۸- مترمکعب در ماه به دست آمد. میزان ورودی به آبخوان از طریق مرزها (سلول‌های بار عام) ۲۵۰۰۴۴۴٫۱۴ مترمکعب و خروجی ۱۶۵۳۵۴۵٫۷۷ مترمکعب در ماه است. میزان ورودی از طریق رودخانه ۷۲۰۲٫۱۴ مترمکعب در ماه و خروجی از رودخانه ۸۶۳۴۷۰٫۴۵ مترمکعب در ماه محاسبه گردید. میزان برداشت از چاه‌ها ۲۶۱۲۴۶٫۱۳ مترمکعب

در ماه و میزان تغذیه ۳۶۳۷۸۱،۲۷ مترمکعب در ماه به دست آمد. بنابراین مدل MODFLOW می‌تواند به‌درستی آبخوان را شبیه‌سازی و از نتایج آن جهت برنامه‌ریزی منابع آبی استفاده نمود

منابع

- براتی، خدیجه، عابدی کوپایی، جهانگیر، آذری، آرش، درویشی، الهام، ویوسفی، علی. (۱۳۹۷). مدل‌سازی آب‌زیرزمینی به منظور تعیین ضرایب هیدرودینامیک در آبخوان آزاد، مطالعه موردی دشت کرمانشاه. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰(۳)، ۶۸۷-۷۰۰.
<https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.258115.667915>
- پورحقی، امیر، آخوندعلی، علی محمد، رادمنش، فریدون، و میرزایی، سید یحیی. (۱۳۹۳). مدیریت بهره برداری از منابع آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی با مدل MODFLOW، مطالعه موردی: دشت نورآباد. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، ۳۷(۲)، ۷۱-۸۲.
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.25885952.1393.37.2.7.7>
- پورمحمدی، سمانه، دستورانی، محمدتقی، جعفری، هادی، مساح بوانی، علیرضا، گودرزی، مسعود، باقری، فاطمه، و رحیمیان، محمدحسن. (۱۳۹۶). بررسی اثرات خشک‌سالی هواشناسی و هیدروژئولوژیکی بر بیان آب زیرزمینی دشت تویسرکان. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۹(۱)، ۴۶-۵۷.
<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.108773>
- صدقی، محمدمهدی، و چیت سازان، منوچهر. (۱۳۸۳). تعیین شرایط مرزی مناسب برای مدل جریان آب های زیرزمینی دشت ارسنجان. بیست و سومین گردهمایی علوم زمین. <https://gsi.ir/fa/articles/1061/>
- عابدی کوپایی، جهانگیر، و گلابچیان، مریم. (۱۳۹۴). برآورد ضرایب هیدرودینامیک منابع آب زیرزمینی حوضه آبخیز کوهپایه- سگری با استفاده از مدل MODFLOW. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۹(۷۲)، ۲۹۲-۲۸۱.
<http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.72.24>
- نوذرپور، لاله، چیت سازان، منوچهر، ندری، آرش، و فرهادی منش، معصومه. (۱۳۹۴). ارزیابی ارتباط هیدرولیکی آبخوان دشت لور اندیشک و رودخانه دز با استفاده از مدل MODFLOW. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۱۷، ۳۶-۲۳.
<https://doi.org/10.22055/aag.2015.11822>
- قبادیان، رسول، فتاحی چقباگی، علی، و زارع، محمد. (۱۳۹۳). تاثیر احداث شبکه آبیاری و زهکشی سد گاوشان بر منابع آب زیرزمینی دشت میان دربند با استفاده از مدل GMS 6.5. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۲۸(۴)، ۷۷۲-۷۵۹.
<https://doi.org/10.22092/jwra.2015.100830>

References

- Abedi Koupai, J., & Golabchian, M. (2015). Estimation of Hydrodynamic Parameters of Groundwater Resources in Kouhpayeh- Segzi Watershed Using MODFLOW. JWSS - Isfahan University of Technology, 19(72), 281-293. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.72.24>. [In Persian]
- Barati, K., Abedi Koupai, J., Azari, A., Darvishi, E., & ALi, Y. (2019). Ground Water Modeling to Determine Hydrodynamics Coefficients in Unconfined Aquifer (Case Study: Kermanshah Plain). Iranian Journal of Soil and Water Research, 50(3), 687-700. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.258115.667915>. [In Persian]
- Doell, P., Dobrev, H., Portmann, F., Siebert, S., Eicker, A., Rodell, M., Strassberg, G., & Scanlon. (2012). Impact of water withdrawals from groundwater and surface water on continental water storage variations. J. Geodyn, 59(60), 143-156. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jog.2011.05.001>
- Franke, O.L., Reilly, T.E., & Bennett, G.D. (1987). Definition of boundary and initial conditions in the analysis of saturated ground-water flow systems. An introduction: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, 3-B5, 15. <https://doi.org/10.3133/twri03B5>

- Ghobadian, R., Fatahi Chaghbagi, A., & Zare, M. (2014). Studying the Effects of Gavoshan Dam's Irrigation and Drainage Network on Groundwater of Miandarband Plain Using GMS 6.5 Model. *Journal of Water Research in Agriculture*, 28(4), 759-772. <https://doi.org/10.22092/jwra.2015.100830>. [In Persian]
- Green, T.R., Taniguchi, M., & Kooi, H. (2007). Potential impacts of climate change and human activity on subsurface water resources. *Vadose Zone Journal*, 6, 531-532. <https://doi.org/10.2136/vzj2007.0098>.
- Guzman, S. M., Paz, J. O., Tagert, M. L. M., & Mercer, A. E. (2019). Evaluation of Seasonally Classified Inputs for the Prediction of Daily Groundwater Levels: NARX Networks Vs Support Vector Machines. *Environmental Modeling & Assessment*, 24(2), 223-234. <https://doi.org/10.1007/s10666-018-9639-x>.
- Irawan, D., Puradimaja, D., & Silaen, H. (2011). Hydrodynamic Relationship between Man Made Lake and Surrounding Aquifer, Cimahi, Bandung, Indonesia. *Journal of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 58, 100-103. <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.1711.3284>.
- Nadiri, A. A., Naderi, K., Khatibi, R., & Gharekhani, M. (2019). Modelling groundwater level variations by learning from multiple models using fuzzy logic. *Hydrological sciences journal*, 64(2), 210-226. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2018.1554940>.
- Nozarpour, L., Chitsazan, M., Nadri, A., & Farhadimanesh, M. (2015). Evaluation of the Lour-Andimeshk Aquifer and the Dez-River Interaction: Using Modflow. *Advanced Applied Geology*, 5(3), 23-36. <https://doi.org/10.22055/aag.2015.11822>. [In Persian]
- Poormohammadi, S., Dastorani, M. T., Jafari, H., Massah Bavani, A., Goodarzi, M., Baqeri, F., & Rahimian, M. H. (2017). Assessing the effects of meteorological and hydrogeological droughts on groundwater balance in Tuyserkhan Plain. *Watershed Engineering and Management*, 9(1), 46-57. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.108773>. [In Persian]
- Porhaghi, A., Akhondali, A., Radmanesh, F., & Mirzaee, S. (2014). Manage the Groundwater Sources Exploration of the Nourabad Plain in the Drought Conditions with MODFLOW Modeling. *Irrigation Sciences and Engineering*, 37(2), 71-82. <https://doi.org/10.1001.1.25885952.1393.37.2.7.7>. [In Persian]
- Sedghi, M.M., & Chit Sazan, M. (2004). Determining appropriate boundary conditions for Arsanjan Plain groundwater flow model. 23rd Earth Sciences Meeting. <https://gsi.ir/fa/articles/1061>. [In Persian]
- Soltani, K., & Azari, A. (2022). Forecasting groundwater anomaly in the future using satellite information and machine learning. *Journal of Hydrology*, 612 (2), 128052. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128052>.
- Todd, W.R., & Kenneth, R.B. (2001). Report: Delineation of capture zones for municipal wells in fractured dolomite. Sturgeon Bay, Wisconsin, USA. *Hydrogeology Journal*, 9, 432-450. <https://doi.org/10.1007/s100400100154>.
- Yanxun, S., Yuan, F., Hui, Q., & Xuedi, Zh. (2011). Research and Application of Groundwater Numerical Simulation-A Case Study in Balasu Water Source. *Procedia Environmental Sciences*, 8, 146-152. <https://cyberleninka.org/article/n/1231525>.
- Zampieri, M., Serpetzoglou, E., Anagnostou, E. N., Nikolopoulos, E. I., & Papadopoulos, A. (2012). Improving the representation of river-groundwater interactions in land surface modeling at the regional scale: Observational evidence and parameterization applied in the Community Land Model. *Journal of Hydrology*, 420(421), 72-86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.041>.
- Zeinali, M., Azari, A. & Heidari, M. (2020b). Multiobjective Optimization for Water Resource Management in Low-Flow Areas Based on a Coupled Surface Water-Groundwater Model. *Journal of Water Resource Planning and Management (ASCE)*, 146(5), 04020020. [https://doi.org/10.1061/28\(ASCE\)9WR.1943-5452.0001189](https://doi.org/10.1061/28(ASCE)9WR.1943-5452.0001189).

Zeinali, M., Azari, A., & Heidari, M. (2020a). Simulating Unsaturated Zone of Soil for Estimating the Recharge Rate and Flow Exchange Between a River and an Aquifer. *Water Resources Management*, 34, 425–443. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02458-7>.



Investigating the physical and chemical properties of the soil of the main drains of the irrigation and drainage network in the Abbas plain

Roghayeh Javar¹ , Alireza Hosseini² , Mahmood Rostaminy³ 

¹ M. Sc graduated of Soil Science, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: roghyjavar@gmail.com

² Corresponding Author, Assistant professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: a.hosseini@ilam.ac.ir

³ Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: mrostaminy@ilam.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

It is very important to know the soil and its capabilities and limitations in order to increase the yield of agricultural products. Drainage networks are built in order to drain excess irrigation water and surface runoff, control the underground water level, and improve problematic soils. These networks are generally divided into two categories: surface drains and underground drains.

During operation, in order to maintain the optimal performance of surface drains, they may be dredged. Due to the salinity and the accumulation of various elements, the soils obtained from dredging should be investigated in terms of environmental restrictions and possible re-use in agricultural lands. The irrigation and drainage network of Dasht-Abbas is located in the south of Ilam province with an area of

This network has two main drains. Drain No. 1 is 20 km long and has a capacity of 81 cubic meters per second, and Drain No. 2 is 5 km long and has a capacity of 8 cubic meters per second. The capacity of these two drains was greatly reduced due to the characteristics of the soil texture of the region, the high rate of erosion, the lack of continuity of the network and the growth of plants.

To solve this problem, dredging of two main drains was done. Various solutions were proposed for the drainage of soil from dredging, including the use in leveling agricultural lands. Due to the characteristics of the soils obtained from dredging, a soil science study was conducted. In this research, by sampling the dredged soil, the soil inside the drain and the agricultural soils, the characteristics of each have been investigated separately.

Methodology

To examine the dredged soil a total of 20 samples were taken from the MD1 drain and 5 samples from the MD2 drain. In order to compare the characteristics of dredged soil with drainage bottom soil and agricultural soil, 6 samples of agricultural land soil and 6 samples of drainage bottom soil were also taken. The samples were coded and immediately transferred to the soil science laboratory of Ilam University.

Physical and chemical characteristics of soil samples include; Apparent specific gravity by lump method, true specific gravity by cylinder method, soil texture class by hydrometric method, pH of saturated mud by glass electrode, electrical conductivity in saturated mud extract, lime by back titration method, phosphorus by Elson method, sodium and Potassium by flame atomic emission method (flame photometry), magnesium and calcium by complexometric titration method, exchange base cations using ammonium acetate at pH=7, cation exchange capacity (CEC) using sodium acetate at pH=8.2 and acetate Ammonium, Soil organic carbon was measured by wet burning method with potassium bichromate in the vicinity of concentrated sulfuric acid and titration of the remaining potassium bichromate with ferroammonium sulfate and dissolved carbonate and bicarbonate by simple acid and base titration method. Statistical analysis of data was done using SAS statistical software.

Results and discussion

The results obtained from the electrical conductivity measurements showed that the EC of the dredged soil is 29.8 deciSiemens/meter and it is considered one of the salty soils and is not suitable for use in agricultural lands, and if it is used in agricultural lands, it should be salt-resistant plants. be planted in it. However, saline soils can be corrected with the help of washing. The acidity level of the saturated mud of the dredged soil is 7.77 and therefore it is in the category of alkaline soils. In addition to washing, modifiers can be used to improve alkaline soils.

The gypsum content of the dredged soil was 17.61% and it was placed in the category of gypsum soils. Therefore, it is not suitable for use in earth operations to build irrigation and drainage networks. Dredged soil with ESP<15, EC >4 and pH less than 8.5 is classified as saline soil. The amount of organic matter in the soil is less than 3 and in this sense it is poor. The amount of organic matter, organic carbon and nitrogen in dredged soil is lower than the recommended amount for agricultural soil. The amount of phosphorus in dredged soil is 11.5 mg/kg. For this reason, the dredged soil has a large amount of phosphorus.

The amount of calcium and magnesium in the dredged soil is 8.65 and 4 milliequivalents per liter, respectively, which shows that the dredged soil is poor in these elements. Dredged soil contains 419.02 milliequivalents/liter of potassium, which is more than the recommended limit for soil. The exchangeable sodium percentage in dredged soil is less than 15%, and its sodium absorption ratio is 9.35%. Dredged soil has a high amount of lime. Therefore, it is recommended to plant lime-resistant plants if it is used in agricultural land.

The lowest apparent specific gravity (1.38 g/cm³) and the lowest true specific gravity (2.35 g/cm³) are related to the soil of agricultural land. The results of the soil texture analysis showed that the agricultural soil and dredged soil have sandy loamy clay texture.

Conclusions

The results show that the soil obtained from the dredging of the drains has limitations, that before any use, their soil characteristics should be carefully examined. The soil obtained from the dredging of the main drains of the studied network is part of saline and alkaline soils. Therefore, without modification, it cannot be used in agricultural land. The percentage of gypsum in the soil obtained from dredging is also high. Therefore, irrigation and drainage networks have limitations for use in soil operations.

Keywords: Soil, drainage, dredging, Physical and chemical properties of soil

Article Type: Research Article

Article history: **Received:** 01 November 2022 **Revised:** 22 December 2022 **Accepted:** 06 January 2023 **ePublished:** 28 February 2023

Cite this article: Javar, R., Hosseini, A., & Rostaminy, M. (2023). Investigating the physical and chemical properties of the soil of the main drains of the irrigation and drainage network in the Abbas plain, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 2(4), 88-104. DOI: 10.22126/ATWE.2023.8205.1026

Publisher: Razi University

© The Author(s).





بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک زهکش های اصلی شبکه ی آبیاری و زهکشی

منطقه دشت عباس

رقیه جاوړ^۱ ID، علیرضا حسینی^۲ ID، محمود رستمی نیا^۳ ID

^۱ دانش آموخته ی کارشناسی ارشد خاکشناسی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: roghyjavar@gmail.com

^۲ استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: a.hosseini@ilam.ac.ir

^۳ استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: m.rostaminy@ilam.ac.ir

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک های حاصل از لایروبی زهکش های اصلی شبکه ی آبیاری و زهکشی دشت عباس در استان ایلام باهدف استفاده در اراضی کشاورزی صورت گرفته است. مساحت این شبکه ۱۶ هزار هکتار است. در این مطالعه از دو شاخه اصلی زهکش نمونه های حاکی تهیه شد. زهکش شماره یک به طول ۲۰ کیلومتر به رودخانه روفاییه و زهکش شماره دو به طول ۵ کیلومتر به رودخانه چیخاب تخلیه می شوند. نمونه برداری از خاک کف زهکش، خاک لایروبی شده زهکش و زمین های زراعی اطراف زهکش انجام شد. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی نمونه های خاک در سه محل مورد مطالعه شامل؛ وزن مخصوص حقیقی و ظاهری، پتاسیم، منیزیم، سدیم، کلسیم و فسفر، کربنات و بی کربنات، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم تبادل، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، سولفات، درصد اشباع بازی و نیتروژن اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که میزان پتاسیم خاک لایروبی و میزان فسفر و منیزیم خاک زراعی بیش تر و میزان سدیم و کلسیم خاک هر سه منطقه کم تر از حد بهینه توصیه شده برای خاک زراعی است. به دلیل وجود مواد مادری آهکی، مقدار آهک موجود در خاک هر سه منطقه زیاد و مقدار گچ آن به دلیل اقلیم گرم و خشک و بارندگی کم در خاک لایروبی و کف زهکش بالا است. pH همه خاک ها بیش از ۷ و جزو خاک های قلیایی و خاک لایروبی و کف زهکش از لحاظ هدایت الکتریکی خاک شور محسوب می شود. کلاس بافت خاک هر سه منطقه شنی رسی لومی است. با توجه به نتایج، استفاده از خاک لایروبی در زمین های کشاورزی مناسب نیست.

واژه های کلیدی: خاک، زهکش، لایروبی، ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۱۰ آبان ۱۴۰۱ اصلاح: ۰۱ دی ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۶ دی ۱۴۰۱ چاپ الکترونیکی: ۰۹ اسفند ۱۴۰۱

استناد: جاوړ، ر، حسینی، ع، و رستمی نیا، م. (۱۴۰۱). بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک زهکش های اصلی شبکه ی آبیاری و زهکشی منطقه دشت عباس، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، ۲(۴)، ۸۸-۱۰۴. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2023.8205.1026



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

خاک به‌عنوان بستر تولید از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که برای بهره‌وری مناسب از آن، شناخت خاک‌ها و اطلاع از قابلیت‌ها و محدودیت‌های آن راه‌گشای استفاده بهینه از این ثروت ملی است. به‌طور کلی برنامه‌های زهکشی در ایران بیشتر به خاطر اصلاح اراضی و یا کنترل مقدار املاح در خاک و همین‌طور خارج نمودن جریان‌های سطحی مازاد از سطح اراضی کشاورزی است. نیاز به زهکشی برای کنترل شوری و سطح ایستابی آب زیرزمینی در مناطق خشک و زراعت‌های آبی از اصول شناخته‌شده کشاورزی در مناطق خشک است، از طرفی هرچند زهکشی سطحی به‌ویژه در خاک‌هایی با سرعت نفوذ اندک، در کاهش شوری سطح خاک مؤثر است ولی منظور از زهکشی در مناطق خشک استفاده از زهکشی زیرزمینی یا انهار زهکشی عمیق است. زهکشی در مناطق خشک متفاوت از زهکشی در مناطق مرطوب است. زهکشی در مناطق مرطوب برای انتقال آب اضافی و در مناطق خشک برای انحلال و انتقال املاح است (بای بوردی، ۱۳۹۱). زهکشی با تخلیه آب اضافی و کنترل شوری خاک نقش ارزنده‌ای در تولیدات کشاورزی بازی می‌کند و با ایجاد شرایط هوازی در خاک به تجزیه آلاینده‌ها کمک می‌کند و در حقیقت در راستای بهبود محیط‌زیست قرار می‌گیرد (جبلی، ۱۳۸۰). هدف از ایجاد شبکه‌های زهکشی بهبود ویژگی‌های خاک برای افزایش تولید محصول و ازدیاد درآمد است. اگرچه کشور ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است اما هرساله زمین‌های زیادی تحت عوامل مختلف از جمله بارندگی بیش‌ازحد، بالا آمدن آب رودخانه‌ها و سیلاب، آبیاری نادرست و شیب کم زمین دچار مشکل ماندابی می‌شوند. حالت ماندابی باعث می‌شود که فضای هوای خاک به‌وسیله آب پر شده و ریشه‌ها با کمبود اکسیژن برای تنفس مواجه گردند. در این شرایط تنفس بی‌هوازی صورت گرفته و در نتیجه تولید انرژی کاهش می‌یابد. کاهش تولید انرژی به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم باعث کاهش؛ جوانه‌زنی، رشد، فتوسنتز و جذب آب می‌گردد. همچنین وجود آب اضافی در محیط ریشه باعث اختلالات یونی و تغذیه‌ای برای گیاه می‌گردد (گلدانی و همکاران به نقل از تاز و زایگز، ۱۳۷۸).

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

خرمالی و همکاران (۲۰۰۹) نقش جنگل‌زدایی و موقعیت شیب تپه بر ویژگی‌های کیفی خاک‌های لسی در استان گلستان را مورد بررسی قرار دادند. بررسی‌های میکرومورفولوژیکی نشان داد که خاک‌های FO دارای ریزساختار دانه‌ای و خرده‌ای قوی با تخلخل بالا هستند که نشان‌دهنده وجود مقدار زیادی ماده آلی است. فعالیت میکروبی و جانوری بالا از طریق حضور پدوفیجرهای دفعی در خاک سطحی FO تأیید شد. مواد آلی کمتر و در نتیجه فعالیت میکروبی در خاک سطحی DEF منجر به ریزساختار عظیم با تخلخل کم شده است.

خرسات و قدام^۲ (۲۰۰۵) شکل‌گیری و ویژگی‌های خاک‌های خشک حوضه ازرق در شمال شرقی اردن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد لایه خشک بیابانی سطوح این خاک‌ها را می‌پوشاند و مانعی برای توسعه کشاورزی ایجاد می‌کنند. محدودیت‌های عمده برای استفاده از زمین‌های کشاورزی در منطقه، میزان نفوذ بسیار کم، نفوذپذیری کم و فرسایش‌پذیری بالا است. همچنین یافتند اگر قرار است چنین خاک‌هایی کشت شوند باید شیوه‌های مدیریتی مناسب اتخاذ شود.

فقیه و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر تغییر کاربری اراضی جنگل به زمین زراعی بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک در منطقه گلوگاه شهرستان بابل را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان ماده آلی ۳۳ درصد در کاربری زراعی کاهش یافته است و با افزایش جرم مخصوص ظاهری که به علت ماده آلی کم در خاک زراعی بوده، هدایت هیدرولیکی اشباع کاهش یافته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تغییر کاربری موجب کاهش کیفیت شده و پیامدی منفی را برای خاک به دنبال خواهد داشت.

تاکنون مطالعه‌ای در رابطه با بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک زهکشی‌های شبکه‌ی آبیاری و زهکشی دشت عباس صورت نگرفته است. با توجه به اینکه گاهی خاک زهکش‌ها توسط کشاورزان منطقه در مزارع مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا بررسی آن‌ها از نظر محدودیت برای اراضی زراعی ضروری است. بنابراین این تحقیق برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک زهکش‌های مذکور باهدف شناسایی محدودیت‌های خاک برای استفاده در اراضی کشاورزی در دشت عباس دهلران انجام گردید.

مواد و روش‌ها

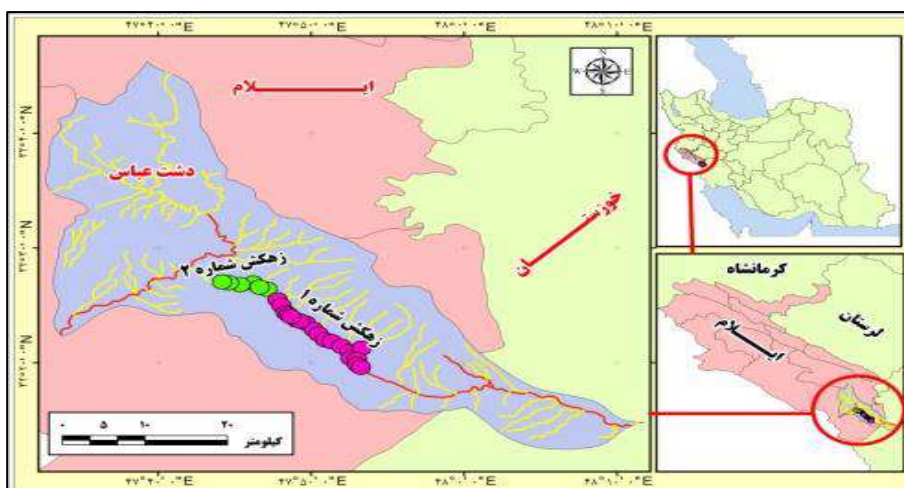
شبکه‌ی آبیاری و زهکشی دشت عباس در جنوب غربی ایران، در استان ایلام، در جنوب شرقی دهلران، با مختصات جغرافیایی ۱۵°، ۳۳° تا ۳۰°، ۳۲° عرض شمالی و ۴۰'، ۴۷° تا ۴۸'، ۱۰' طول شرقی در حوزه‌ی آبریز کرخه واقع شده است که در شکل ۱ نشان داده شده است. این منطقه از نواحی خشک و نیمه‌خشک ایران محسوب شده و میانگین بارندگی سالیانه آن ۲۹۰ میلی‌متر است. به‌منظور تأمین آب اراضی کشاورزی

¹ Khormali et al

² Khresat & Qudah

دشت عباس، انتقال آب از دریاچه سد کرخه به دشت عباس با احداث تونلی با طول ۷ کیلومتر انجام شده است. شبکه‌ی آبیاری و زهکشی دشت عباس حدود ۱۶ هزار هکتار (واحد عمرانی شمالی ۱۱ هزار هکتار و واحد عمرانی جنوبی ۵ هزار هکتار) از اراضی منطقه را تحت پوشش قرار داده است. بهره‌برداری از این شبکه عملاً از سال ۱۳۸۴ آغاز شده است. با انتقال آب از کرخه به دشت عباس و کاهش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، میزان تغذیه از آب زیرزمینی افزایش یافته است، به گونه‌ای که نشانه‌های زه دار شدن اراضی آشکار شده است. بر اساس مطالعات خاکشناسی طرح، بیش از ۷۵ درصد اراضی در کلاس I تا III بوده و مناسب برای طرح آبیاری و زهکشی است. شبکه اصلی زهکشی شامل کانال‌های خاکی روبازی است که جمع‌آوری رواناب سطحی مزارع، زه‌آب مزارع، آب‌های مازاد آبیاری و جریان سطحی حوزه‌های فرعی اطراف را به عهده‌دارند. شبکه‌ی آبیاری و زهکشی دشت عباس دارای دو زهکش اصلی MD1 به طول تقریبی ۲۰ کیلومتر و دبی ۸۱ مترمکعب بر ثانیه و MD2 به طول ۵ کیلومتر و دبی ۸ مترمکعب در ثانیه است که در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند. این دو زهکش رواناب‌های سطحی و زه آب‌های آبیاری را به دو رودخانه روفاییه و چپخاب تخلیه می‌کنند. ظرفیت این دو زهکش به دلیل ویژگی‌های بافت خاک منطقه، میزان بالای فرسایش، عدم پیوستگی شبکه و رشد گیاهان به شدت کاهش یافته بود. تغذیه بالای سفره زیرزمینی، زه‌دار شدن اراضی را به دنبال داشته است. با آغاز عملیات اجرایی شبکه‌ی فرعی آبیاری و زهکشی دشت عباس در سال ۱۳۹۴ و بالا آمدن سطح آب زیرزمینی منطقه، لایروبی این دو زهکش آغاز شد. حجم لایروبی این دو زهکش بیش از یک میلیون مترمکعب برآورد شده است. خاک‌های لایروبی در حاشیه دو زهکش دپو و از خاک لایروبی برای خاک‌ریزی و تسطیح اراضی در برخی نقاط شبکه استفاده گردید. از این‌رو بررسی کیفیت خاک لایروبی شده باهدف شناخت محدودیت‌های آن برای کشاورزی، انجام شد.

برای بررسی خاک لایروبی شده، از خاک دپو شده در طول زهکش MD1 و MD2 به فواصل یک کیلومتری، و در مجموع ۲۰ نمونه از زهکش MD1 و ۵ نمونه خاک از زهکش MD2 برداشت گردید. برای مقایسه خصوصیات خاک لایروبی شده با خاک کف زهکش و زراعی تعداد ۶ نمونه از خاک اراضی زراعی و ۶ نمونه از خاک کف زهکش برداشت گردید. نمونه‌ها کدگذاری و بلافاصله به آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه ایلام منتقل شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک شامل؛ جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه، جرم مخصوص حقیقی به روش استوانه، کلاس بافت خاک به روش هیدرومتر (گی و بودر^۳، ۱۹۸۳)، pH گل اشباع به‌وسیله الکتروود شیشه (مک لین^۴، ۱۹۸۲)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع (رودس^۵، ۱۹۸۲)، آهک به روش تیتراسیون برگشتی (نلسون^۶، ۱۹۸۲)، سدیم و پتاسیم به روش نشر اتمی شعله (فلاپم فتومتر) (رودس، ۱۹۸۲)، منیزیم و کلسیم به روش تیتراسیون کمپلکسومتری، کاتیون‌های بازی تبادلی با استفاده از استات آمونیم در pH=7، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) با استفاده از استات سدیم در pH=8/2 و استات آمونیم (رودس، ۱۹۸۲)، کربن آلی خاک با روش سوزاندن تر با بیکرومات پتاسیم در مجاورت اسید سولفوریک غلیظ و تیتره کردن بیکرومات پتاسیم باقی‌مانده با فروآمونیم سولفات و کربنات و بی‌کربنات محلول به روش تیتراسیون ساده اسید و باز اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گردید.



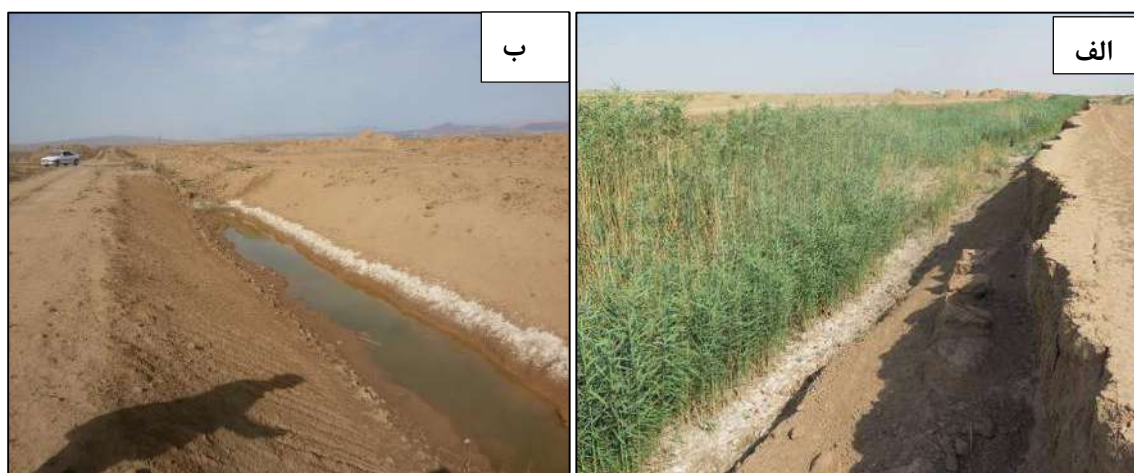
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شبکه آبیاری و زهکشی دشت عباس به همراه زهکش‌های اصلی

³ Gee & Bauder

⁴ McLean

⁵ Rhoades

⁶ Nelson



شکل ۲. زهکش اصلی MD1 قبل از لایروبی (الف) و بعد از لایروبی (ب)



شکل ۳. زهکش اصلی MD2 قبل از لایروبی (الف) و بعد از لایروبی (ب)

یافته‌ها

نتایج خصوصیات شیمیایی خاک

pH گل اشباع خاک

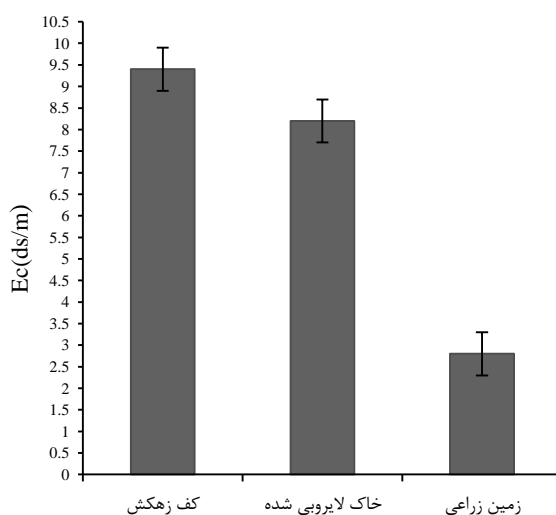
نتایج نشان داد که خاک کف زهکش با pH ۷/۷۹ دارای بیشترین pH است. غرقاب کردن خاک باعث افزایش pH خاک می‌شود (سها و مندل، ۱۹۹۸؛ نجفی و توفیقی (۱۳۹۱) مشاهده کردند که pH خاک‌های قلیایی آهکی پس از غرقاب ابتدا کاهش یافت و تقریباً ثابت ماند و سپس افزایش یافت. در شرایط غرقاب و بی‌هوایی به ترتیب NO_3^- , Mn^{4+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} , CO_2 احیا می‌شوند (سهاراوات؛ ۲۰۰۵). کمترین اسیدیته گل اشباع ۷/۵۲ است که در خاک زمین زراعی وجود دارد. میزان اسیدیته گل اشباع خاک لایروبی ۷/۷۷ است و در رده خاک‌های قلیایی طبقه‌بندی می‌شود. در مناطق با بارندگی اندک، آبشویی کاتیون‌ها خیلی شدید نیست و کاتیون‌های بازی به جای یون‌های H^+ و Al^{3+} در هم‌تافت تبادل باقی‌مانده و سبب ایجاد شرایط خنثی و یا حتی قلیایی می‌شوند (شاهویی، ۱۳۸۵). تجزیه واریانس pH سه منطقه‌ی موردنظر حاکی از عدم اختلاف معنی‌داری (ns) بین مناطق مورد مطالعه بود.

⁷ Saha & Mandal

⁸ Sahrawat

EC محلول خاک

با توجه به شکل ۴ نتایج نشان داد بیشترین میزان EC، ۹/۴ دسی‌زیمنس بر متر است که به خاک کف زهکش مربوط است. می‌توان گفت عامل اصلی بالا بودن EC خاک، ورود زه آب‌های اراضی آبی به داخل زهکش بوده که کیفیت آن به مراتب پایین‌تر از آب آبیاری است. همچنین غرقاب بودن خاک کف به مدت طولانی و دریافت آب سیلاب‌ها و زمین‌های اطراف که حاوی املاح و کودهای شیمیایی است دلیلی بر بیشتر بودن میزان هدایت الکتریکی خاک کف زهکش است. پونامپروما^۹ (۱۹۸۵) بیان داشت که EC محلول بیشتر خاک‌ها پس از غرقاب افزایش می‌یابد. به نظر محققان افزایش EC محلول خاک پس از غرقاب به دلیل افزایش غلظت Fe^{2+} ، Mn^{2+} ، NH_4^+ ، HCO_3^- و $RCOO^-$ و جابجایی کاتیون‌های سطح کلئیدهای خاک با Fe^{2+} ، Mn^{2+} و NH_4^+ و آزاد شدن آن‌ها به محلول خاک است. کمترین میزان هدایت الکتریکی ۲/۸۸ دسی‌زیمنس بر متر در خاک زمین زراعی است. می‌توان علت آن را چنین بیان کرد که EC خاک در اثر آبیاری کاهش می‌یابد. املاح همراه آب آبیاری به عمق رفته و با زه وارد زهکش می‌شوند. میزان هدایت الکتریکی خاک لایروبی ۸/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر و در رده خاک‌های شور قرار می‌گیرد. میزان EC خاک لایروبی بعد از نمونه‌های کف زهکش، بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. تجزیه واریانس EC بین خاک سه منطقه مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد ($p > 0.01$) را نشان داد. خاک‌های منطقه از لحاظ هدایت الکتریکی جزو خاک‌های شور است. وجود نمک‌های محلول، تبخیر و تعرق، زهکشی ضعیف، اقلیم، پستی و بلندی و غیره از عوامل مؤثر در شوری خاک محسوب می‌شوند. خاک‌های متأثر از نمک غالباً در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک یافت می‌شوند چراکه آب کافی جهت آبشویی نمک‌های محلول از پروفیل خاک وجود ندارد و Na^+ ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، K ، Cl^- ، SO_4^{2-} ، CO_3^{2-} و NO_3^- از کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی موجود در خاک‌ها و آب‌های شور می‌باشند (اوستان، ۱۳۸۹).



شکل ۴. میانگین مقادیر EC در نمونه خاک‌های سه محل نمونه‌برداری

پتاسیم خاک

بیشترین میزان پتاسیم ۴۱۹/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک لایروبی شده وجود دارد. منظور از تهویه بهتر وجود خلل و فرج بیشتر در خاک است که باعث آبشویی بیشتر خاک شده و میزان شستشویی سدیم را بالا برده و بر میزان پتاسیم افزوده می‌شود. زهکش‌های مورد نظر زه آب‌ها تمام زمین‌های اطراف را دریافت می‌کنند که این زه آب‌ها حاوی املاح و کودهای جذب نشده است. حد بحرانی پتاسیم برای خاک ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشخص شده است (ملکوتی، ۱۳۸۴). نتایج نشان می‌دهد که خاک لایروبی بیش از حد بحرانی حاوی پتاسیم است. کمترین مقدار پتاسیم ۸۷/۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک کف زهکش است. دلیل کم‌تر بودن مقدار پتاسیم در خاک کف زهکش این است که خاک کف زهکش تازه برداشت شده است و پتاسیم آن همراه خاک لایروبی شده انتقال یافته است. به عبارت دیگر خاک کف زهکش دارای بیشترین پتاسیم است ولی وقتی لایروبی صورت گیرد همراه آن منتقل می‌شود. میزان پتاسیم زمین ۱۵۷/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. تجزیه واریانس پتاسیم، حاکی از معنی‌داری در سطح یک درصد بود.

⁹ Ponnampereuma

سدیم خاک

بیشترین میزان سدیم ۳۲/۴۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است و در خاک کف زهکش وجود دارد. کمترین میزان سدیم ۱۲/۶۹ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و مربوط به خاک زمین زراعی است. دلیل کمتر بودن سدیم خاک زمین زراعی را می‌توان چنین بیان کرد که زمین زراعی مرتباً در معرض آبشویی قرار دارد بنابراین سدیم آن شسته شده است. میزان سدیم خاک لایروبی حد وسط بین زمین و کف زهکش ۱۷/۷۹ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. میزان سدیم با شوری نسبت مستقیم دارد. چون بیشترین شوری مربوط به خاک کف زهکش است به همین دلیل مقدار سدیم خاک کف زهکش بیشتر است. نتایج تجزیه واریانس اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد ($p > 0.01$) را نشان داد. خاک کف زهکش در حالت غرقاب است و دریافت‌کننده زه آب‌ها و سیلاب‌های زمین‌های اطراف است. لذا حاوی سدیم بیشتری نسبت به سایر نقاط زهکش است. حد قابل قبول سدیم برای خاک ۴۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. بنابراین خاک‌های مورد مطالعه کمتر از حد قابل قبول سدیم را دارا است.

منیزیم خاک

خاک‌های نواحی خشک با بافت سنگین و سنگ مادر محتوی مقداری قابل توجه از منیزیم است. منیزیم جزو عناصر غذایی ثانویه بوده که نقش عمده‌ای را در تغذیه گیاهان ایفا می‌کند. مقدار نرمال منیزیم در خاک‌ها ۱/۵-۰/۱۲ است. در این تحقیق بیشترین مقدار میانگین منیزیم در خاک زمین زراعی ۵/۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. دلیل بیشتر بودن منیزیم خاک زمین زراعی را می‌توان بکار بردن کودهای محتوی منیزیم دانست. بارش زیاد و بافت درشت خاک احتمالاً کاتیون‌های اساسی خاک را به صورت فشرده آبشویی می‌کند. کمترین مقدار منیزیم ۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و مربوط به خاک کف زهکش است. خاک کف در معرض شستشویی بیشتری نسبت به خاک زمین زراعی است شستشویی زیاد خاک یکی از دلایل کمبود منیزیم است. علاوه بر آن در اثر لایروبی زهکش مقدار منیزیم آن همراه خاک لایروبی منتقل شده است. مقدار منیزیم خاک لایروبی ۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. حد قابل قبول منیزیم در خاک ۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. بنابراین خاک زمین زراعی بیشتر از حد مورد نیاز خاک حاوی منیزیم است. خاک لایروبی از لحاظ وجود منیزیم در رده خیلی زیاد قرار می‌گیرد. نتیجه تجزیه واریانس منیزیم سه منطقه مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار در سطح ($p > 0.01$) را نشان داد.

فسفر خاک

فسفر از مهم‌ترین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بعد از ازت است. مقدار فسفر در خاک بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۸ درصد متغیر است. فسفر تقریباً در اثر آبشویی از دست نمی‌رود و در نتیجه کودپاشی، مقدار زیادی فسفر به خاک اضافه می‌شود که معمولاً در لایه‌های سطحی تمرکز پیدا می‌کند. روش و عمق شخم در پراکندگی فسفر مؤثر است. از این رو پراکندگی و مقدار فسفر خاک‌های زراعی بستگی به میزان کود و روش‌های زراعی معمول دارد. با این حال اگر سنگ مادر حاوی مقدار زیادی فسفر باشد در شرایط مساوی مقدار فسفر این خاک‌ها بیشتر است. بیشترین میزان فسفر ۱۲/۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و مربوط به خاک زمین زراعی است. در خاک‌های زراعی به علت افزایش کودهای فسفوری معمولاً مقدار فسفر افق‌های سطحی بیش از افق‌های عمقی است. کمترین مقدار فسفر ۱۱/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است و در خاک لایروبی زهکش وجود دارد. حد بحرانی فسفر در خاک ۷-۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (ملکوتی ۱۳۸۴). میزان فسفر خاک‌های مورد مطالعه در رنج زیاد قرار می‌گیرد. خاک‌های نسبتاً جوان (اینسپتی‌سول‌ها) در مقایسه با خاک‌های بالغ‌تر (ال‌تی‌سول‌ها) فسفر قابل جذب بیشتری دارند چون در خاک‌های بالغ‌تر یون‌های سه‌ظرفیتی آهن و آلومینیوم فراوانی وجود دارد و باعث می‌شود که فسفر قابل جذب به شکل‌های نامحلول تبدیل شود (سالک و همکاران، ۲۰۰۴). نتیجه تجزیه واریانس عدم اختلاف معنی‌دار (NS) را نشان داد.

کلسیم خاک

بیشترین مقدار کلسیم ۸/۶۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است و در خاک لایروبی زهکش وجود دارد. خاک لایروبی زهکش به دلیل دریافت آب سیلاب‌ها و آب زمین زراعی که حاوی کود و املاح است مقدار کلسیم بیشتری را دارا است. کمترین مقدار کلسیم ۶/۴۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و

مربوط به خاک کف زهکش است. دلیل کمتر بودن مقدار کلسیم خاک کف زهکش این است که خاک آن برداشت شده است. نتیجه این ارزیابی با نتایج دبرمن و فیرهوست همخوانی نداشت. تجزیه واریانس اختلاف معنی داری در سطح یک درصد ($p > 0.01$) را نشان داد. کلسیم (Ca^{++}) (از فراوان ترین عناصر پوسته زمین بوده که مقدار آن در خاک بسیار متغیر است. بطوریکه از کمتر از ۰/۱ درصد در خاک های اسیدی تا حدود ۲۰ درصد در خاک های آهکی تغییر می کند. مقدار کلسیم همانند منیزیم تابع مواد مادری، اقلیم و بافت خاک بوده، بطوریکه خاک های نواحی مرطوب که معمولاً اسیدی و دارای بافت سبک اند دارای حداقل میزان کلسیم و خاک های نواحی خشک و تا حدودی نیمه خشک با مواد مادری آهکی دارای حداکثر مقدار کلسیم می باشند. کلسیم در تکامل ماده آلی خاک، فعالیت موجودات زنده ی خاک، خصوصیات فیزیکی خاک و پایداری خاکدانه ها دخالت دارد. حد قابل قبول کلسیم برای خاک ۲۰ میلی اکی والان بر لیتر است. بنابراین خاک مورد مطالعه حاوی کلسیم کمی است.

آهک خاک

بیشترین درصد آهک ۴۳/۰۶ است که در خاک زمین زراعی وجود دارد. کمترین درصد آهک ۳۵/۶۴ است و در خاک کف زهکش است. خاک لایروبی ۳۵/۹۱ درصد آهک دارد. کربنات معدنی غالب در خاک های مناطق خشک و نیمه خشک، کربنات کلسیم است. کمبود بارندگی و نبودن CO_2 کافی برای انحلال آهک باعث تجمع آهک در سطح خاک های زراعی شده است. سازند منطقه مورد مطالعه بختیاری و آغا جاری است. سازند بختیاری خود دارای آهک است. مطالعه خرمالی و همکاران (۲۰۰۹) که در اراضی تپه ماهور یلسی انجام شد نشان داد که در اراضی کشت شده مقدار آهک سطحی در مقایسه با دیگر کاربری ها بیشتر بود که دلیل آن دست خوردگی و شخم است. خاک کف نیز چون در معرض شستشو قرار دارد حاوی آهک کمتری است. در محیط خشک و کم آب خاک کم و بیش غنی از آهک است زیرا نزولات آسمانی چندان زیاد نیست که آهک را از خاک خارج نماید. در خاک های اسیدی مسئله کمبود آهک مطرح است که برای اصلاح خاک های اسیدی از آهک استفاده می کنند ولی کمتر خاکی در ایران با کمبود آهک مواجه است و آهک به حدی است که بقیه ی صفحات خاک را تحت الشعاع قرار می دهد. نمونه برداری خاک در فصل گرم انجام شده که بارندگی ناچیز است. لذا می توان یکی دیگر از دلیل زیاد بودن آهک در خاک را عدم بارندگی و گرمای هوا دانست که باعث تجمع آهک در خاک می شود. نتیجه تجزیه واریانس اختلاف معنی دار در سطح یک درصد ($p > 0.01$) را نشان داد.

گچ خاک

بیشترین میزان گچ ۱۷/۶۱ درصد است و در خاک لایروبی شده وجود دارد. کمترین میزان گچ ۸/۴۶ درصد و مربوط به خاک زمین زراعی است. به این دلیل که خاک لایروبی قسمتی از خاک درون زهکش است، که آب آبیاری و سیلابه ای را دریافت کرده، که حامل گچ شسته شده از زمین های اطراف بودند. کمترین میزان گچ متعلق به خاک زمین زراعی بود. خاک زمین زراعی همواره در معرض شستشو و آبیاری بوده و لذا حاوی کمترین مقدار گچ است. گچ تأثیر مثبتی در از بین بردن سدیم خاک دارد. تقسیم بندی خاک ها بر حسب درصد گچ به صورت زیر است: خیلی زیاد > 25 ، زیاد ۱۰-۲۵، متوسط ۵-۱۰، کم ۵-۰. بنابراین تقسیم بندی خاک منطقه مورد مطالعه در رده زیاد قرار می گیرد. همان طور که در فصل سوم اشاره شد سازند منطقه دشت عباس بختیاری و آغا جاری می باشد. سازند آغا جاری خود محتوی گچ است. تجزیه واریانس گچ مناطق مورد مطالعه اختلاف معنی دار در سطح یک درصد ($p > 0.01$) را نشان داد.

درصد رطوبت اشباع

کمترین مقدار رطوبت اشباع ۲۶/۵۶ درصد است که به خاک لایروبی مربوط می شود. بیشترین مقدار رطوبت اشباع ۳۵/۷۵ درصد و ۳۹/۲۹ درصد مربوط به خاک کف زهکش و خاک زمین زراعی است. از جمله عواملی که بیشترین تأثیر را بر رطوبت اشباع خاک دارد می توان به میزان رس، تخلخل کل و همچنین ماده آلی اشاره کرد. می توان دلیل بیشتر بودن درصد رطوبت اشباع خاک کف زهکش را این گونه بیان کرد که: میزان رس خاک زهکش کمتر از میزان رس خاک کف زهکش است. و چون رس دارای قدرت جذب بالا رطوبت است می توان گفت خاک کف رطوبت اشباع بیشتری دارد. مواد آلی موجود در کف زهکش بیشتر از مواد آلی موجود در خاک زهکش است. هرچه درصد مواد آلی بیشتر باشد سطح کلونیدها آلی بیشتر و درصد رطوبت اشباع افزایش می یابد. ماده آلی و تخلخل نسبت مستقیمی با درصد رطوبت اشباع دارند. زیاد بودن میزان رس

و ماده آلی خاک زمین زراعی را می‌توان دلیل افزایش رطوبت اشباع دانست. نتایج تجزیه واریانس رطوبت اشباع تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد ($p > 0.05$) را نشان داد.

درصد کربن آلی

کمترین درصد کربن آلی ۰/۳۵ و مربوط به خاک زهکش است. بیشترین درصد کربن آلی ۰/۴۷ است و در خاک زمین زراعی وجود دارد. درصد کربن آلی با میزان ماده آلی نسبت مستقیم دارد. ماده آلی زمین بیشتر از سایر نقاط است بنابراین کربن آلی نیز بیشتر است. نتایج تجزیه واریانس بین خاک کف زهکش، خاک لایروبی شده زهکش و خاک زمین زراعی نشان داد که در سطح یک درصد ($p < 0.01$) اختلاف معنی‌دار بین خاک مناطق مورد مطالعه وجود دارد. نتایج چندین پژوهش نشان داد که میزان کربن آلی خاک با درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی رابطه مستقیم دارد. درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی زمین زراعی بیشتر از زهکش است. در پژوهش‌های نقش ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد رس و pH از جمله عوامل مؤثر بر میزان توان خاک در نگهداشت کربن آلی محلول عنوان شده است که افزایش سه مورد نخست و کاهش pH باعث جذب بیشتر کربن آلی و نهایتاً افزایش نگهداشت آن در خاک خواهد شد (وانگ، ۲۰۱۳).

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک

کمترین میزان ظرفیت تبادل کاتیونی ۲۱/۶۲ میلی‌اکی‌والان بر صد گرم خاک و در خاک لایروبی شده زهکش وجود دارد. بیشترین میزان آن ۲۳/۴۹ میلی‌اکی‌والان بر صد گرم خاک در خاک زمین زراعی است. اندازه ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به مقدار مواد آلی، بافت خاک و نوع کانی‌های رسی وابسته است (خرسات و قداح، ۲۰۰۵). از آنجاکه زمین زراعی مورد نظر حاوی بیشترین مقدار مواد آلی و بیشترین مقدار رس بود، میزان ظرفیت تبادل کاتیونی آن هم از دو خاک دیگر بیشتر بود. نتایج تجزیه واریانس بین خاک سه منطقه مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد ($p > 0.05$) را نشان داد.

کربنات و بی‌کربنات

بیشترین میزان کربنات ۲/۷۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و مربوط به خاک کف زهکش است. کمترین میزان کربنات ۰/۳۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و در خاک لایروبی شده زهکش وجود دارد. کربنات با pH رابطه مستقیم دارد. دلیل بیشتر بودن آن در کف میزان زیاد pH است. تجزیه واریانس کربنات عدم اختلاف معنی‌دار بین مناطق مورد نظر را نشان داد که مطابق جدول ۳ است. بیشترین میزان بی‌کربنات ۵/۱۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است و در خاک زمین زراعی وجود دارد. کمترین میزان بی‌کربنات ۴/۶۸ و مربوط به خاک لایروبی شده زهکش است. نتیجه تجزیه واریانس حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار (ns) بین خاک سه منطقه مورد مطالعه بود.

نیترژن

بیشترین میزان نیترژن ۰/۰۹ درصد است و متعلق به نمونه خاک زمین زراعی است. کمترین میزان نیترژن ۰/۰۳ درصد و مربوط به خاک لایروبی شده زهکش است. نیترژن خود بخشی از ماده آلی خاک است و هرچه مقدار مواد آلی با توجه به مقدار کود و بقایایی گیاهی و جانوری تغییر کند میزان نیترژن نیز تغییر می‌کند و این تغییر همسو است. نتیجه تجزیه واریانس نیترژن عدم معنی‌داری را (ns) نشان داد.

درصد ماده آلی

بیشترین درصد ماده آلی ۱/۱۹ درصد و مربوط به خاک زمین زراعی است. کمترین درصد آن ۰/۶۷ درصد و متعلق به خاک زهکش است. خاک‌های زراعی به دلیل خلل و فرج بیشتری که دارند و عملیات خاک‌ورزی که بر روی آن‌ها انجام می‌شود حاوی مقدار بیشتری مواد آلی هستند. به‌طور کلی برافزایش دما، کاهش بارندگی و درشت‌تر شدن بافت خاک میزان ماده آلی خاک کاهش می‌یابد. نتیجه تجزیه واریانس ماده آلی خاک

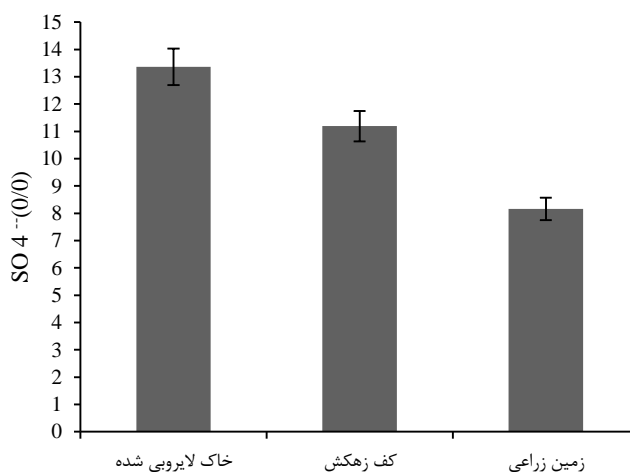
اختلاف معنی داری در سطح پنج درصد ($p > 0.05$) را نشان داد. ماده آلی خاک یک مخلوط پیچیده و متغیر از ترکیبات آلی است. بیشتر ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت نگهداری آب در خاک‌های سطحی توسط مواد آلی تأمین می‌شود. ترکیبات خاص ماده آلی در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها دارای نقش عمده‌ای است (شاهویی، ۱۳۸۵). مواد آلی اثر فوق‌العاده زیادی بر روی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد. عواملی چون نوع گیاه، پوشش گیاهی، اقلیم، پستی و بلندی و غیره بر مقدار و نوع مواد آلی اثر می‌گذارند. مواد آلی به علت سطح ویژه و CEC بالا جذب کننده مهم عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف مورد نیاز گیاه، کاتیون‌های فلزی سنگین و ترکیبات آلی نظیر علف‌کش‌ها است (اوستان، ۱۳۸۹).

نسبت جذب سدیم

بیشترین نسبت جذب سدیم ۱۵/۹۴ درصد است و در خاک کف زهکش قرار دارد. کمترین نسبت جذب سدیم ۵/۲۴ درصد است و در خاک زمین زراعی وجود دارد. خاک کف، به دلیل غرقاب بودن املاح زیادی دریافت می‌کند و در نتیجه نسبت جذب بیشتری دارد. نتیجه تجزیه واریانس حاکی از اختلاف معنی داری در سطح یک درصد ($p > 0.01$) بود. عمل آبکافت در طول انتقال محلول نمک شاخص، محبوس شدن NH_4^+ موجود در محلول شاخص یا جانشین شونده بین شبکه‌های کانی خاک، انحلال پذیری کربنات کلسیم یا گچ در محلول‌های شاخص یا جانشین شونده و مقادیر فراوان کانی‌های کم محلول (آنالیسم و لوسپین) در pH بالا همگی بر مقادیر SAR و ESP تأثیر به سزایی دارند. خاک کف زهکش جزء خاک‌های شور و قلیایی طبقه بندی می‌شود.

میزان سولفات خاک

بیشترین میزان سولفات ۱۳/۳۶ درصد است که در خاک لایروبی شده زهکش وجود دارد. کمترین میزان سولفات ۸/۱۶ درصد و مرتبط به خاک زمین زراعی است که در شکل ۵ نشان داده شده است. به این دلیل که خاک لایروبی قسمتی از خاک درون زهکش است که آب آبیاری و سیلاب‌های را دریافت می‌کرده، که حامل سولفات شسته شده از زمین‌های اطراف بودند. کمترین میزان سولفات متعلق به خاک زمین زراعی بود. خاک زمین زراعی همواره در معرض شستشو و آبیاری بوده و لذا حاوی کمترین مقدار سولفات است. همان‌طور که اشاره شد میزان اسیدیته گل اشباع در زمین زراعی کمترین مقدار و در خاک لایروبی و کف بیشترین مقدار بود، لذا می‌توان نتیجه گرفت که سولفات و اسیدیته گل اشباع هم‌سو هستند. نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی داری در سطح یک درصد ($p > 0.01$) را نشان داد.



شکل ۵. میانگین مقادیر سولفات در نمونه خاک‌های سه محل نمونه برداری

درصد سدیم تبادلی

بیشترین درصد سدیم تبادلی ۱۷/۷۶ است که در خاک کف زهکش وجود دارد. کمترین درصد سدیم تبادلی ۴/۹۸ است و در خاک زمین زراعی است. می‌توان دلیل را این‌گونه شرح داد که: خاک زمین زراعی دارای شوری کمتری نسبت به خاک کف است و شوری و درصد سدیم تبادلی نسبت مستقیم باهم دارند. بنابراین درصد سدیم تبادلی زمین زراعی کمتر از خاک کف است. عمل آبکافت در طول انتقال محلول نمک شاخص، محبوس شدن NH_4^+ موجود در محلول شاخص یا جانشین شونده بین شبکه‌های کانی خاک، انحلال‌پذیری کربنات کلسیم یا گچ در محلول‌های شاخص یا جانشین شونده و مقادیر فراوان کانی‌های کم محلول (آنالیسم و لوسپین) در pH بالا همگی بر مقادیر SAR و ESP تأثیر به‌سزایی دارند. چون $ESP > ۱۵$ و $SAR > ۱۳$ خاک کف به خاک شور و قلیا تبدیل شده است. نتیجه تجزیه واریانس حاکی از اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد ($p > ۰/۰۱$) بود.

نتایج خصوصیات فیزیکی

وزن مخصوص ظاهری

کمترین جرم مخصوص ظاهری ۱/۳۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب است که به خاک زمین زراعی مرتبط است. به دلیل وجود ماده آلی زیاد و فعالیت‌های ریشه‌ای، میزان جرم مخصوص ظاهری نسبت به دو منطقه دیگر کمترین مقدار را دارد. بیشترین جرم مخصوص ظاهری ۱/۶۴ و ۱/۵۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب در خاک کف زهکش و لایروبی است. دلیل بیشتر بودن وزن مخصوص ظاهری در خاک کف را می‌توان به این نحو توضیح داد که: وزن مخصوص ظاهری با عمق افزایش می‌یابد. علت این امر کاهش مواد آلی، دانه‌بندی ناقص یا عدم وجود دانه‌بندی و تراکم بیشتر خاک در اثر تردد ماشین‌آلات لایروبی است. این مطالعه با نتیجه پروژه فاطمه فقیه (۱۳۹۵) هم سویی نشان داد. وزن مخصوص ظاهری خاک‌ها با افزایش عمق افزایش می‌یابد. نتیجه تجزیه واریانس وزن مخصوص ظاهری حاکی از تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد ($p > ۰/۰۵$) است.

وزن مخصوص حقیقی

کمترین جرم مخصوص حقیقی ۲/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب است که مربوط به خاک زمین زراعی است. بیشترین جرم مخصوص حقیقی ۲/۴۹ و ۲/۴۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و مرتبط به خاک کف زهکش و لایروبی است. می‌توان گفت دلیل به دست آمدن این نتیجه این است که، تنها عاملی که بر وزن مخصوص حقیقی تأثیر دارد میزان مواد آلی است، بنابراین در سطح خاک‌ها که میزان مواد آلی بیشتر است، وزن مخصوص حقیقی کمتر و در اعماق خاک مقدار آن افزایش می‌یابد. نتیجه تجزیه واریانس وزن مخصوص حقیقی سه منطقه موردنظر حاکی از عدم اختلاف معنی‌داری (ns) بین مناطق مورد مطالعه بود. وزن مخصوص حقیقی برخلاف وزن مخصوص ظاهری به ریزی یا درشتی ذرات خاک (آرایش) و طرز قرار گرفتن ذرات به دورهم بستگی ندارد. ماده آلی تنها عاملی است که بر وزن مخصوص حقیقی اثرگذار است (بای‌بوردی، ۱۳۹۱).

بافت خاک

نتایج آنالیز بافت خاک نشان داد که خاک زراعی با مقادیر رس ۳۶/۲۵ درصد، سیلت ۱۷/۳۷ درصد و شن ۴۶/۳۹ درصد بافت شنی رسی لومی را دارا است. خاک لایروبی شده با ۳۳/۰۸ درصد رس، ۱۹/۸۵ درصد سیلت و ۵۴/۱۶ درصد شن دارای بافت شنی رسی لومی است و خاک کف زهکش دارای ۳۳/۴۵ درصد رس، سیلت ۱۲/۹۱ درصد و شن ۶۵/۱۸ درصد بود و بافت شنی رسی لومی را تشکیل داده بود. نتایج تجزیه واریانس ذرات رس، سیلت و شن در جدول ۱ نشان داده شده است. بین درصد رس خاک کف زهکش، زمین زراعی و خاک لایروبی شده زهکش تفاوت معنی‌داری در سطح ($p > ۰/۰۵$) وجود داشت و بیشترین مقدار رس در خاک زمین زراعی مشاهده شد. دلیل بیشتر بودن رس خاک زمین زراعی را می‌توان به وجود پوشش گیاهی در سطح خاک زمین و همچنین بیشتر بودن مقدار ماده آلی آن دانست. درصد ذره سیلت در خاک کف زهکش، زمین زراعی و خاک لایروبی شده زهکش در سطح یک درصد ($p > ۰/۰۱$) تفاوت معنی‌داری را نشان داد و بیشترین مقدار سیلت در خاک لایروبی

شده زهکش وجود داشت. منشأ خاک لایروبی شده فرسایش خاک زمین‌های زراعی در اثر بارندگی و آبیاری بوده که به‌مرور در کف زهکش‌ها ترسیب نموده است. چون سیلت در مقابل فرسایش مقاومت کمتری دارد از این‌رو مقدار سیلت خاک لایروبی شده بیشتر از خاک دیگر نواحی است. درصد شن بین خاک کف زهکش، زمین زراعی و خاک لایروبی شده معنی‌داری در سطح یک درصد ($p > 0.01$) را نشان داد و بیشترین مقدار شن در خاک کف زهکش بود. دلیل بیشتر بودن شن در خاک کف زهکش را می‌توان این‌گونه بیان کرد که به دلیل بافت خاک لایه‌های پایین‌تر که عمدتاً شنی هستند دانست. نتایج تجزیه واریانس داده‌های ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک در جداول ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۱. تجزیه واریانس خصوصیات فیزیک شیمیایی خاک مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	Ec (ds/m)	pH	کلسیم	منیزیم	میانگین مربعات			
						پتاسیم	سدیم	فسفر	
						Meq/Lit	mg.kg ⁻¹	آهک درصد	
تیمار	۲	۷۳/۰۷**	۰/۱ ^{ns}	۸/۷**	۲۱/۸**	۱۸۳۲۱۳/۲**	۶۲۹/۲**	۱/۵	۰/۰۰۰۲**
خطای آزمایش	۱۵	۰/۱	۰/۲	۰/۵	۰/۲	۵۵۴۲/۸	۵/۱	۰/۵	۶/۹
ضریب تغییرات	-	۶/۵	۶/۷	۹/۱	۱۲/۴	۳۳/۶	۵/۱	۶/۳	۶/۸

علائم ns و** به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری و اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد است

جدول ۲. تجزیه واریانس خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	سولفات درصد	رطوبت اشباع درصد	سیلت درصد	شن درصد	رس درصد	گج درصد	میانگین مربعات	
								نسبت جذب سدیم	سدیم تبادل
		درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد
تیمار	۲	۴۰/۹**	۳۳۶/۱*	۷۴/۱**	۵۳۴/۹**	۱۷/۹*	۱۴۸/۸**	۲۴۵/۴**	۱۷۴/۸**
خطای آزمایش	۱۵	۱/۲	۱۰/۷	۳/۳	۷/۹	۳/۳	۴/۲	۱/۵	۲/۱
ضریب تغییرات	-	۱۰/۲	۹/۳	۱۰/۹	۵	۵/۳	۱۴/۵	۱۰/۶	۱۴/۳

علائم * و** به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد و اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد است.

جدول ۳. تجزیه واریانس خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد مطالعه

منابع تغییرات		درجه آزادی	ظرفیت تبادل کاتیونی	کربن آلی	کربنات	جرم مخصوص حقیقی	جرم مخصوص ظاهری	مواد آلی	بی‌کربنات	نیتروژن
Meq/100 gr		درصد	Meq/Lit	(gr/cm ³)	درصد	Meq/Lit	درصد	Meq/Lit	درصد	درصد
تیمار	۲	۶/۱***	۰/۰۲***	۹/۶ns	۰/۰۳ns	۰/۱***	۰/۴*	۰/۳ns	۰/۰۷ns	۰/۰۰۷ns
خطای آزمایش	۱۵	۰/۶	۰/۰۰۷	۰/۵	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۴	۰/۴	۰/۴
ضریب تغییرات	-	۳/۵	۲۰/۵	۵۳/۲	۶	۸/۸	۳۱/۹	۱۲/۹	۳۴/۸	۳۴/۸

علامت ns، *، ** و *** به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد و اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد است.

بحث

خاک به‌عنوان بستر تولید از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که برای بهره‌وری مناسب از آن، شناخت خاک‌ها و اطلاع از قابلیت‌ها و محدودیت‌های آن راه‌گشای استفاده بهینه از این ثروت ملی است. به‌طور کلی برنامه‌های زهکشی در ایران بیشتر به خاطر اصلاح اراضی و یا کنترل مقدار املاح در خاک و همین‌طور خارج نمودن جریان‌های سطحی مازاد از سطح اراضی کشاورزی است. نیاز به زهکشی برای کنترل شوری و سطح ایستابی آب زیرزمینی در مناطق خشک و زراعت‌های آبی از اصول شناخته‌شده کشاورزی در مناطق خشک است، از طرفی هرچند زهکشی سطحی به‌ویژه در خاک‌هایی با سرعت نفوذ اندک، در کاهش شوری سطح خاک مؤثر است ولی منظور از زهکشی در مناطق خشک استفاده از زهکشی زیرزمینی یا انهار زهکشی عمیق است. این پژوهش به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های حاصل از لایروبی زهکش‌های اصلی شبکه‌ی آبیاری و زهکشی دشت عباس در استان ایلام باهدف استفاده در اراضی کشاورزی صورت گرفته است. مساحت این شبکه ۱۶ هزار هکتار است. در این مطالعه از دوشاخه اصلی زهکش نمونه‌های خاکی تهیه شد. زهکش شماره یک به طول ۲۰ کیلومتر به رودخانه روفاییه و زهکش شماره دو به طول ۵ کیلومتر به رودخانه چیخاب تخلیه می‌شوند. نمونه‌برداری از خاک کف زهکش، خاک لایروبی شده زهکش و زمین‌های زراعی اطراف زهکش انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک در سه محل مورد مطالعه شامل؛ وزن مخصوص حقیقی و ظاهری، پتاسیم، منیزیم، سدیم، کلسیم و فسفر، کربنات و بی‌کربنات، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم تبادلی، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، سولفات، درصد اشباع بازی و نیتروژن اندازه‌گیری شد.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی نشان داد که EC خاک لایروبی شده ۸/۲۹ دسی زیمنس بر متر و جزو خاک‌های شور محسوب می‌شود. میزان اسیدیته گل اشباع خاک لایروبی شده ۷/۷۷ و لذا در رده خاک‌های قلیایی است. با توجه به تقسیم‌بندی مقدار گچ در خاک، مقدار گچ به‌دست‌آمده از سه منطقه در رده زیاد ۱۰-۲۵ قرار می‌گیرد و مقدار گچ خاک لایروبی شده منطقه ۱۷/۶۱ درصد و در رده خاک‌های گچی است. اندازه‌گیری نسبت جذب سدیم و سدیم قابل تبادل نشان داد که $ESP > 15$ و $SAR > 13$ خاک کف جزو خاک‌های شور و قلیا است. خاک لایروبی دارای $ESP < 15$ ، $EC > 4$ و pH کمتر از ۸/۵ جزو خاک‌های شور طبقه‌بندی می‌شود. میزان مواد آلی خاک مورد مطالعه در سه

منطقه لایروبی، کف زهکش و زمین زراعی کمتر از ۳ و لذا خاک منطقه از این لحاظ فقیر است. میزان ماده آلی، کربن آلی و نیتروژن خاک لایروبی کم تر از حد توصیه شده برای خاک کشاورزی است. میزان فسفر موجود در خاک لایروبی ۱۱/۵ میلی گرم بر کیلوگرم است. حد بحرانی غلظت فسفر در خاک های زراعی ۷-۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم است (ملکوئی، ۱۳۸۴). به همین دلیل خاک لایروبی دارای میزان زیادی فسفر است. میزان کلسیم و منیزیم خاک لایروبی ۸/۶۵ و ۴ میلی اکی والان بر لیتر است که نشان می دهد خاک لایروبی از لحاظ وجود این عناصر فقیر است. خاک لایروبی حاوی ۴۱۹/۰۲ میلی اکی والان بر لیتر پتاسیم است حد مناسب پیشنهاد شده برای پتاسیم خاک ۲۰۰-۳۰۰ میلی اکی والان بر لیتر است (ملکوئی، ۱۳۸۴). بنابراین میزان پتاسیم خاک لایروبی بیش از حد پیشنهاد شده برای خاک است. خاک های منطقه مورد نظر جزء خاک های شور و قلیایی محسوب می شوند. خاک لایروبی با $EC = ۸/۲۹$ در رده خاک های شور قرار می گیرد. از این نظر مناسب استفاده در زمین کشاورزی نیست و اگر در اراضی زراعی استفاده شود باید گیاهان مقاوم به شوری در آن کاشته شود. همچنین مهم ترین راه اصلاح خاک شور آشویی است. خاک لایروبی در رده خاک های قلیایی قرار گرفته است ($pH = ۷/۷۷$). با توجه به نتایج به دست آمده پیشنهادهایی برای اصلاح خاک منطقه مطرح می شود: در اصلاح خاک های قلیایی به ویژه باید علاوه بر آشویی از مواد اصلاح کننده استفاده کرد. هدف از کاربرد این مواد تولید املاح محلول کلسیم برای جانشین کردن سدیم تبادل خاک است. این مواد شامل گچ، آهک، گوگرد، اسیدسولفوریک و غیره است. مناسب تر از دیگر اصلاح کننده ها همان گچ است. درصد سدیم تبدلی در خاک لایروبی کم تر از ۱۵ درصد است و درصد نسبت جذب سدیمی آن هم ۹/۳۵ درصد است. با توجه به میزان هدایت الکتریکی و اسیدیته گل اشباع، خاک این منطقه جزء خاک های شور محسوب می شود. بنابراین برای استفاده در زمین های کشاورزی مناسب نیست. مقدار متوسط گچ خاک لایروبی در رنج زیاد (۱۷/۶۱) قرار دارد و در رده خاک های گچی است. بنابراین توصیه می شود برای زمین های کشاورزی بکار نرود یا گیاهان مقاوم به گچ در این خاک ها کاشته شود. خاک لایروبی شده زهکش منطقه مورد مطالعه دارای مقدار زیاد آهک است. لذا توصیه می شود که اگر در زمین های کشاورزی بکار می رود گیاهان مقاوم به آهک مانند: یونجه، شبدر، گندم، جو و درختان اکالیپتوس و زبان گنجشک کاشته شود. همان طور که نتایج نشان داد غلظت منیزیم موجود در خاک لایروبی کمتر از حد بهینه برای خاک کشاورزی بود. پتاسیم موجود در خاک لایروبی بیش تر از حد توصیه شده برای استفاده در خاک کشاورزی بود. خاک لایروبی حاوی میزان کمی کلسیم (۸/۶۵) و منیزیم (۴) است. لذا از لحاظ وجود این دو عنصر فقیر است. در صورت استفاده در زمین باید از کودهای محتوی این دو عنصر برای جبران این کمبود استفاده شود. در مجموع خاک لایروبی زهکش ها دارای محدودیت های است که پیشنهاد می شود قبل از استفاده برای اهداف مختلف دقیقاً ویژگی های آن ها مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین بهتر است خاک لایروبی بلافاصله بعد از برداشت مورد استفاده قرار نگیرند. به مدت چند سال به صورت دپو شده با ارتفاع کم نگهداری شوند تا در اثر بارندگی و شستشو، ویژگی های شیمیایی آن بهبود یابد و سپس مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

- بای بوردی، محمد. (۱۳۹۱). اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک. انتشارات دانشگاه تهران. <https://www.iranketab.ir/book/67366-principles-of-land-drainage>
- فقیه، فاطمه، عمادی، مصطفی، صادق زاده، فردین، و بهمنیار، محمدعلی. (۱۳۹۵). تاثیر تغییر کاربری اراضی جنگل به زمین زراعی بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک در منطقه گلوگاه شهرستان بابل. دومین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط زیست (کیفیت، سلامت و امنیت خاک)، کرمان. <https://civilica.com/doc/558206>
- جلی، سیدجلال. (۱۳۸۰). اثرات زیست محیطی زهکشی اراضی. دومین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست. <https://civilica.com/doc/115768>
- زایگر، ادواردو، و تاز، لینکن. مترجمان: مرتضی گلدانی، اسکندر زند، حمیدرضا شریفی، محمد کافی، بهنام کامکار. (۱۳۸۷). فیزیولوژی و نمو گیاهی جلد دوم. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد مشهد. <https://www.gisoom.com/book/1509100>

نجفی نصرت اله، و توفیقی، حسن. (۱۳۹۱). اثر رایزوسفر گیاه برنج بر شکل‌های فسفر معدنی در خاک‌های شالیزاری شمال ایران: پس از کاربرد کود فسفر. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۳(۳)، ۲۳۱-۲۴۲. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2012.29285>.

شاهویی، صابر. (۱۳۸۵). سرشت و خصوصیات خاک‌ها. انتشارات نگاه کردستان، تهران. <https://www.gisoom.com/book/1396514>.

کاوسی، مسعود، و ملکوتی، محمدجعفر. (۱۳۸۵). تعیین حد بحرانی پتاسیم با عصاره گیر استات آمونیوم در شالیزارهای گیلان. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۰(۳ الف)، ۱۱۳-۱۲۲. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1385.10.3.9.3>.

ملکوتی، محمد جعفر، بای بوردی، محمد، بنایی، محمد حسین، و مومنی، عزیز. (۱۳۸۴). مدیریت حاصلخیزی خاک (خاک‌های ایران)، تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره برداری مؤسسه تحقیقات خاک و آب. انتشارات سنا. <https://www.gisoom.com/book/1307930>.

Refereces

- Baybordi, M. (2011). Principles of drainage engineering and soil improvement. Tehran University Publications. <https://www.iranketab.ir/book/67366-principles-of-land-drainage>. [In Persian]
- Faqih, F., Emadi, M., Sadeghzadeh, F., & Bahmanyar, M. A. (2015). The effect of changing the use of forest land to agricultural land on some physical characteristics of the soil in Gulogah area of Babol city. The second national conference on sustainable management of soil resources and environment (quality, health and security of soil), Kerman. <https://civilica.com/doc/558206>. [In Persian]
- Gee, G.W., & Bauder, J.W. (1986). Particle size analysis. In: A. Klute, (ed.) Methods of Soil Analysis, Part I, SSSA, Madison, WI, 383 – 411. [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1898399](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1898399).
- Jabali, S.J. (2001). Environmental effects of land drainage. The second drainage and environment technical workshop. <https://civilica.com/doc/115768>. [In Persian]
- Kavoosi, M., & Malakouti, M. J. (2006). Determination of Potassium Critical Level with Ammonium Acetate Extractant in Guilan Rice Fields. Journal of Crop Production and Processing, 10 (3), 113-123. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1385.10.3.9.3>. [In Persian]
- Khormali, F., Ajami, M., Ayoubi, Sh., Srinivasarao, C., & Wani, S.P. (2009). Role of deforestation and hill slope position on soil quality attributes of loess derived soil in Goleshan province, Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment, 134, 178-189. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.06.017>.
- Khresat, S.A., & Qudah, E.A. (2006). Formation and properties of aridic soils of Azraq Basin in northeastern Jordan. J. Arid En v I r o, 64, 116-136. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.05.009>.
- Malkouti, M.J., Baibordi, M., Banai, M. H., & Momeni, A. (2004). Management of soil productivity (soils of Iran), new developments in identification, management and utilization of soil and water research institute. Senate Publications. <https://www.gisoom.com/book/1307930>. [In Persian]
- McLean, E. O. (1982). Soil pH and lime requirement. In: Page, A.L. (ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, 199-224. [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1181150](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1181150).
- Najafi, N., & Towfighi, H. (2012). Effects of rhizosphere of rice plant on the inorganic phosphorus fractions in the paddy soils (in North Iran) following P fertilizer application. Iran. J. Soil Water Res, 43(3), 231-242. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2012.29285>. [In Persian]
- Nelson, R.E. (1982). Carbonate and gypsum. In: A.L. Page (ed.), Methods of Soil Analysis, part 2, American Society of Agronomy, Madison, WI, 181-199. <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.2134/agronmonogr9.2.2ed>.

- Ponnamperuma, F.N. (1972). The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron*, 24, 29-96.
[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60633-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60633-1).
- Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: D. L. Sparks et al. (ed.) *Method of soil analysis, Part III, 3rd Ed*, Am. Soc. Agron., Medison, WI, 417-436.
https://www.niordc.ir/uploads%5C86_106_Binder1.pdf.
- Saha, JK., & Mandal, B. (1998). Effect of submergence on copper fractions in Alfisols. *J Indian Soc*
- Sahrawat, K. (2005). Fertility and organic matter in submerged rice soils. *Current science*, 88(5), 735-739. <https://www.jstor.org/stable/24111259>.
- Saleque, M.A., Naher, U.A., Islam, A., Pathan, A.B.M.B.U., Hossain, A.T.M.S., & Meisner, C.A. (2004). Inorganic and organic phosphorus fertilizer effects on the phosphorus fractionation in wetland rice soil. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 68, 1635-1644. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1635>.
- Semhi, Kh., Al-Khirabash, S., Abdallah, O., Khan, T., Duply, J., Chaudhuri, S., & Al-Saidi, S. (2010). Dry Atmospheric Contribution to the Plant-Soil System Around a Cement Factory: Spatial Variations and Sources, a Case Study from Oman. *Water Air Soil Pollut*, 205, 343-357. <https://doi.org/10.1007/s11270-009-0079-8>.
- Shahavi, Saber. (2006). *Nature and characteristics of soils*. Nashgah Kurdistan Publications, Tehran.
<https://www.gisoom.com/book/1396514>. [In Persian]
- Soil Sci*, 46, 32-36. <https://eurekamag.com/research/003/113/003113406.php>.
- Wang, M., Liao, L., Zhang, X., & Li, Z. (2012). Adsorption of low concentration humic acid from water by palygorskite. *Applied Clay Science*, 67, 164-168.
[https://www.scrip.org/\(S\(czeh2tfqw2orz553k1w0r45\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2316171](https://www.scrip.org/(S(czeh2tfqw2orz553k1w0r45))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2316171).
- Zayger, E., & Taiz, L. Translators: Morteza Guldani, Eskandar Zand, Hamidreza Sharifi, Mohammad Kafi, Behnam Kamkar. (2008). *Physiology and plant growth, volume two*. Academic Jihad Publications, Mashhad branch. <https://www.gisoom.com/book/1509100>. [In Persian]