

**Web site:**

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 14
No. 4 (56)

Received:
2023-12-30

Accepted:
2025-01-20

Pages: 95-109

Investigating of Underground Water Level Based on Geological Drought Using Wavelet Theory (Case Study: Bushan Aquifer)

Mehrdad Donyadideh¹, Alireza Nikbakht Shahbazi^{1*}, Narges Zohrabi¹, Hosein Fathian¹
and Ali Afrous²

1) Department of Water Resources Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2) Department of Environmental Engineering, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

*Corresponding author emails: a.ar.nikbakht@iauahvaz.ac.ir, nikbakhta@gmail.com

Abstract:

Background and Aim: Due to the sharp decline of the underground water in the country's plains due to their indiscriminate extraction for agricultural purposes, managers are looking for solutions to manage and restore underground water tables. One of the solutions to compensate for the drop in the underground water level, which is one of the most effective factors in destroying the recharge capacity and reducing the quality loss in the groundwater area, is to prepare ban plans with the least uncertainty based on the regional sensitivity to pollution, along with the scenarios of reducing the withdrawal from agricultural wells. In this study, in order to extract rainfall-drought relationships in a selected area called Bushkan aquifer, the sum of hydrological relationships as well as numerical models were used up to the use of vulnerability index and zoning.

Method: Extraction of the volume and type of flow distribution in the aquifer, which is the center of the effect of hydrological drought, was done by the method of regional analysis and the extraction of droughts with a historical and at the same time probable return period from examining the hydrograph extracted from the MODFLOW model. The output of the hydrological studies which were prepared according to the physiographic elements were used as the inputs of the groundwater flow distribution model in the mentioned area. In order to prepare a structure for determining sensitive areas in drought, the processing of Sentinel-2 satellite images was used to prepare the NDWI index as a standardized index of water structure changes as well as land cover, and a refined land structure layer based on classification using machine learning and EO methods. The earth structure layer under Geology was chosen as the criteria for classifying areas in determining the priority of drought (from the point of view of underground water supply).

Results: The evaluation of the correctness of the mentioned method was to prepare a correlation table of changes in the NDWI index with the classes of the Geology layer. This correlation was not observed in the elevation change classification layer; however, the examination of the trend and frequency (wave) of the time series of water changes determined a specific relationship with the drop in the underground water level. From the specific results of this research, it can be pointed out that in order to determine the drought areas, or its opposite concept, i.e. the areas spreading drought to the underground water, the basic criterion should be the geological diversity in the analysis at the same time as the agricultural development of the region. By using the images of Sentinel satellites, it is possible to discover the classified intervals to receive the most changes of the NDWI index, according to the descriptions in this research. These spatial intervals better determine the decision-making limits for the implementation of flow diversion structures, and even the limits of cultivation in order to restore the climate against droughts resulting from agriculture. The initial and final values after the model calibration showed a similar form of hydraulic parameters. The RMS or RMSE relative error value was equal to 2.86, which indicates high simulation accuracy.

Conclusion: MODFLOW mathematical model was simulated in 126 monthly periods and validated in 25% of the final time period. The total margin of error was reduced to 18.3. This amount can be further reduced by developing the conceptual model and providing more basic data. The plain is mostly fed from the middle and northern areas of the aquifer. According to the study of the underground water level map, the water in this area flows from the north and northeast towards the center of the plain and then south and southwest; considering the expansion of agricultural areas, the direction of the flow is the cause of the spread of pollution. The results of the aquifer level for this period show that the water level in most parts of the plain is always going down and the rate of its rise in wet periods is always less than the rate of its fall in dry periods. Also, the results show that assuming that the amount of draining and feeding of the plain is the same as in previous years, most of the observation wells will face an intensification of the water level drop.

Keywords: Aquifer, Bushkan, EO Learn, Wavelet Method



شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۴۸۰
شاپا الکترونیکی: ۲۲۵۰-۷۴۰۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

iauwsrj@srbiau.ac.ir
iauwsrj@gmail.com

سال چهاردهم

شماره ۴ (۵۶)

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۱۱/۰۱

صفحات: ۹۵-۱۰۹

بررسی تراز آب زیرزمینی بر مبنای خشکسالی ژئولوژیک با استفاده از تئوری موجک (مطالعه موردی: آبخوان بوشکان)

مهرداد دنیادیده^۱، علیرضا نیکبخت شهبازی^{۱*}، نرگس ظهراهی^۱، حسین فتحیان^۱ و علی افروس^۲

۱) گروه مهندسی منابع آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۲) گروه مهندسی محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: ar.nikbakht@iauahvaz.ac.ir, nikbakhta@gmail.com

چکیده:

زمینه و هدف: با توجه به افت شدید آب‌های زیرزمینی دشت‌های کشور به دنبال برداشت بی رویه از آن‌ها برای اهداف کشاورزی، مدیران به دنبال راهکارهای مدیریت و احیا سفره‌های آب زیرزمینی هستند. یکی از راهکارهای جبران افت سطح آب زیرزمینی که خود از مؤثرترین عوامل نابودی ظرفیت تغذیه و کاهش افت کیفیت در پهنه آب زیرزمینی است، در کنار سناریوهای کاهش برداشت از چاه‌های کشاورزی تهیه طرح‌های ممنوعیت با کم‌ترین عدم قطعیت براساس حساسیت ناحیه‌ای به آلودگی است. در این مطالعه بمنظور استخراج روابط بارش-خشکسالی در یک محدوده منتخب تحت عنوان آبخوان بوشکان، از مجموع روابط هیدرولوژیکی و همچنین مدل‌های عددی مادفلو با استفاده از شاخص آسیب‌پذیری و ناحیه‌بندی استفاده شد.

روش پژوهش: استخراج حجم و نوع توزیع جریان در آبخوان که مرکز اثر خشکسالی هیدرولوژیک است، توسط روش تحلیل منطقه‌ای و استخراج خشکسالی‌های با دوره بازگشت تاریخی و در عین حال محتمل از بررسی هیدروگراف مستخرج از مدل MODFLOW صورت پذیرفت. خروجی مطالعات هیدرولوژیکی که بر طبق عناصر فیزیوگرافی تهیه شد به‌عنوان ورودی‌های مدل توزیع جریان آب زیرزمینی در ناحیه مذکور استفاده گردید. بمنظور تهیه یک ساختار تعیین مناطق حساس در خشکسالی، از پردازش تصاویر ماهواره Sentinel-2 در تهیه شاخص NDWI به‌عنوان شاخص استاندارد شده تغییرات ساختار آب و همچنین پوشش زمین، و یک لایه ساختار زمین تدقیق شده بر اساس طبقه بندی به روش یادگیری ماشین و روش EO استفاده شد. لایه ساختار زمین تحت عنوان Geology، ملاک کلاسه بندی نواحی در تعیین اولویت خشکسالی (از منظر تغذیه آب زیرزمینی) انتخاب شد.

یافته‌ها: ارزیابی درستی روش مذکور، تهیه یک جدول ارتباط تغییرات شاخص NDWI با کلاسه‌های لایه Geology بود. این همبستگی در لایه کلاسه بندی تغییرات ارتفاعی مشاهده نشد؛ با این حال بررسی روند و بسامد (موجک) سری‌های زمانی تغییرات آب رابطه مشخصی را با افت تراز آب زیرزمینی مشخص کرد. از نتایج مشخص این پژوهش می‌توان به این موضوع اشاره کرد که برای تعیین نواحی خشکسالی، و یا مفهوم مقابل آن، یعنی نواحی منتشر کننده خشکسالی به آب زیرزمینی، ملاک اساسی باید تنوع زمین شناسی در تحلیل همزمان با توسعه کشاورزی منطقه باشد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌های سنتینل می‌شود بر طبق تشریحات حاضر در این پژوهش، بازه‌های کلاسه بندی شده ای را جهت دریافت بیشترین تغییرات شاخص NDWI کشف کرد. این بازه‌های مکانی حدود تصمیم گیری برای اجرای سازه‌های انحراف جریان، و حتی محدودیت‌های کشت به جهت بازسازی اقلیم در مقابل خشکسالی‌های منتج از کشاورزی را بهتر معین می‌کند. مقادیر اولیه و نهایی پس از اجرای دوره واسنجی صورت مشابهی از پارامترهای هیدرولوژیکی را نمایش می‌دهد. مقدار خطای نسبی RMS یا RMSE معادل با ۲/۸۶ می‌باشد که دقت بالای شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

نتایج: مدل ریاضی MODFLOW در ۱۲۶ دوره ماهانه مورد شبیه‌سازی و در ۲۵٪ دوره زمانی نهایی مورد صحت سنجی قرار گرفت. حد کل خطا تا ۳/۱۸ کاهش یافت. این مقدار با توسعه مدل مفهومی و ارائه داده پایه بیشتر می‌تواند بیشتر کاهش یابد. دشت بیشتر از نواحی میانی و شمالی چند متبادل آبخوان، تغذیه می‌شود. با توجه به مطالعه نقشه تراز آب‌های زیر زمینی، آب این منطقه از جهت شمال و شمال شرق به طرف مرکز دشت و سپس جنوب و جنوب غرب جریان دارد؛ که با توجه به گسترش نواحی کشاورزی، از این نظر جهت جریان، عامل گسترش آلودگی می‌باشد. نتایج تراز آبخوان برای این مدت نشان می‌دهد که سطح آب در بیشتر قسمت‌های دشت، همواره در حال پایین رفتن بوده و میزان بالا آمدگی آن در دوره‌های تر همواره کمتر از میزان پایین افتادگی آن در دوره‌های خشک است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با فرض اینکه میزان تخلیه و تغذیه دشت همانند سال‌های قبل باشد، اکثر چاه‌های مشاهده‌ای با تشدید شیب افت سطح آب مواجه خواهند شد.

کلید واژه‌ها: آبخوان، بوشکان، روش موجک، مدل آب زیرزمینی

مقدمه

بررسی تئوریک و نرم‌افزاری برای دستیابی به بهترین مدل‌های تحلیل آبخوان‌ها در حیطه رخداد کاهش کیفیت آب، به عنوان یک دغدغه بزرگ دارای منابع متعددی از مطالعات می‌باشد. در این حوزه با تمرکز بر کدهای ریاضی که قادر به استخراج بهترین پیش‌بینی از شرایط یک منبع آب در لایه‌های زمین هستند، همچنین روش‌های های‌های بررسی ناهنجاری، تحلیل مطالعات و تجربیات گذشته در منابع داخلی و خارجی مد نظر بوده است. با این حال در زمینه ترکیب روش‌های مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختار آبخوان و تحلیل آماری خروجی‌های مدل-های تفاضل محدود در ترکیب با روش‌های عددی، مطالعات کمتری صورت پذیرفته است. زانینی و سلیکو^۱ (۲۰۱۷) در یک تحقیق بیان کردند که مدل MODFLOW امروزه محبوب ترین ابزار مدل سازی در تحقیق جریان آب در سفره‌های زیرزمینی و در مدل سازی آبخوان‌ها است. برای ساده سازی رابط MODFLOW، GUI‌های (منظور از GUI‌ها رابط‌های گرافیکی کاربر هستند. یعنی نرم‌افزارهایی که در محیط ویندوز بین کاربر و خود مدل‌های عددی به منظور تسریع و راحتی اجرای محاسبات واسطه می‌شود. در اینجا GMS برای مدل جریان آب زیرزمینی مصداق این واسطه هست) مختلف برای ایجاد فایل‌های تعریف مدل و برای تجسم و تفسیر نتایج به دست آمده است. شبیه‌سازی شبیه‌سازی از منظر استفاده از مدل‌های کیفیت آب به جهت تصمیم‌سازی در کنترل بحران می‌توان به موارد زیر مشابه با وضعیت موجود در منطقه مطالعاتی این مقاله اشاره کرد.

ژئونگ و همکاران^۲ (۲۰۱۷)، در یک پژوهش اقدام به شناسایی داده‌های پرت با توزیع غیر گاوسی آب‌های زیرزمینی بر مبنای ارزیابی اثر کلی روند دراز مدت کردند. در تحقیق این پژوهشگران، از سه روش شناسایی داده پرت - قاعده سیگما سه محدوده بین چارکی و میانگین انحراف مطلق که از روش رگرسیون گروهی استفاده می‌کنند، با توجه به خصوصیات غیر گاوسی داده‌های آب زیرزمینی استفاده کردند. روش‌های پیشنهادی آنها می‌توانند به عنوان ابزار بالقوه برای شناسایی ناهنجاری‌های آینده با بهره‌گیری از آموزش مدل بر اساس داده‌های موجود مورد استفاده قرار گیرند. البته با رویکرد صرف مدل سازی و انحرافات عمده پارامتری آنها، درک فصلی و جزیره‌ای از سیستم‌های طبیعی منجر به حصول تصمیم‌های مخرب مدیریتی با توجه به وجود تضاد منافع ذی‌نفعان و تصمیم‌سازان می‌گردد. به همین دلیل است که تعیین و جانمایی دقیق آسیب‌پذیری‌ها به صورت یکپارچه، هزینه دستیابی به یک اکوسیستم پایدار را بسیار کاهش می‌دهد (Minh et al, 2020). در یک سیستم تصمیم‌سازی محلی،

تعیین دقیق شرایط نهایی مستلزم وجود مطالعات مستند می‌باشد. مستند سازی یک ناحیه دقیق منتخب برای تعریف نقشه آسیب‌پذیری دشت در خطر رخداد‌های محتمل افت کیفیت، تنها با استفاده از نقشه‌های مکانی میسر خواهد بود. یک راهکار کاربردی، استفاده از نقشه‌های دارای ارقام کمی به منظور تعیین شانس کاهش خطرات ثانویه هر تصمیم مدیریتی است. بنابراین استفاده از مدل‌های آب زیرزمینی بعنوان روشی ارزان و سریع در تحقیق چگونگی حرکت، بررسی بیلان و مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، از اهمیت قابل توجهی برخوردار شده است. بر اساس نوع فرضیات معرف پدیده مورد نظر، مدل‌های مختلفی از نوع جعبه سیاه، مدل مفهومی و مدل ریاضی (تحلیلی و عددی) به عنوان نمایشگر سیستم وجود دارند. پس از مدل‌های نوع جعبه سیاه، می‌توان مدل‌های مفهومی را به واقعیت نزدیک تر دانست. این نوع مدل‌ها با توجه به آنچه در طبیعت آبخوان وجود دارد، مانند شرایط زمین شناسی، نوع جریان، اعم از ورقه‌ای و یا متلاطم، مؤلفه‌های جریان ورودی و خروجی، شرایط مرزی و غیره تهیه می‌شوند (آبفا، ۱۳۹۰).

شی و همکاران^۳ (۲۰۱۸) در یک مطالعه بیان داشتند، برای سیستم‌های مدیریت آب سطحی تهیه هشدارهای اولیه در مورد تغییرات ناگهانی و زیاد در کیفیت آب بسیار مهم است که احتمالاً وقوع حوادث را نشان می‌دهد. در این مطالعه، یک روش ترکیبی یک مدل شبکه عصبی مصنوعی موجک (موجک-ANN) و اندازه‌گیری‌های جانشین با فرکانس بالا به عنوان یک روش تشخیص ناهنجاری کیفیت آب و ارائه هشدار ارائه شده است. سری‌های زمانی با فرکانس بالا از شاخص‌های اصلی کیفیت آب (COD، TP، TN و ...) از طریق مدل جایگزین مبتنی بر رگرسیون تولید شدند. پس از تجزیه موجک و رسوب زدایی، یک سیگنال با فرکانس پایین برای پیش‌بینی یک مرحله‌ای برای شناسایی ویژگی‌های عمده تغییرات کیفیت آب، به یک شبکه عصبی با انتشار عقب وارد شد. دقیقاً آموزش دیده موجک-ANN مخصوص محل، سری زمانی خطاهای باقیمانده را خروجی می‌دهد. وقتی خطای باقیمانده واقعی بیش از یک آستانه داده شده باشد، یعنی الگوی پایه که بر اساس تغییرات کیفیت طولانی مدت آب تخمین زده می‌شود، هشدار ایجاد می‌شود. یک مطالعه موردی بر اساس برنامه نظارت بر حوضه رودخانه Potomac در ویرجینیا، ایالات متحده انجام شد. روش یکپارچه با موفقیت دو رویداد ناهنجاری از تغییرات TP را در مقیاس ۱۵ دقیقه‌ای از سنسورهای آنلاین با فرکانس بالا شناسایی کرد. یک رویداد طوفانی و ورودی منبع نقطه احتمالاً عامل این رویدادها هستند. نتایج نشان می‌دهد که مدل موجک-ANN برای پیش‌بینی کیفیت سطح آب با فرکانس بالا کمی دقیق تر از ANN است و از الزامات تشخیص ناهنجاری

برخوردار است. تجزیه و تحلیل عملکرد در ایستگاه‌های مختلف و طی دوره‌های مختلف ثبات روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. با ترکیب ابزارهای نظارتی و اقدامات جایگزین، رویکرد ارائه شده می‌تواند شناسایی ناهنجاری به موقع را پشتیبانی کند و برای محیط‌های آبخیزداری در محیط‌های آبی شهری اعمال شود.

خزاعی و همکاران^۴ (۲۰۱۹) در یک مطالعه بیان داشتند، پیش بینی دقیق و قابل اطمینان از جریان رودخانه، نگرانی عمده‌ای در تجزیه و تحلیل منابع آبی و هیدرولوژیکی است. در این مطالعه، از رگرسیون چند خطی (MLR) به عنوان یک روش آماری، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی (ANFIS) به عنوان یک روش غیر خطی و K-نزدیکترین همسایگان (KNN) به عنوان یک روش غیر پارامتری برای پیش بینی جریان ماهانه رودخانه سنت کلیر بین ایالات متحده و کانادا از روش رگرسیون استفاده شد. در روش‌های توسعه یافته، شش سناریو برای ترکیبات ورودی به منظور بررسی تأثیر داده‌های ورودی مختلف بر نتایج تعریف شده است. عملکرد مدل‌ها با استفاده از شاخص‌های آماری به عنوان معیار عملکرد ارزیابی می‌شوند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که افزودن زمان تأخیر جریان، دما و بارش به ورودی‌ها، دقت پیش‌بینی‌ها را به میزان قابل توجهی بهبود می‌بخشد. برای بررسی بیشتر، مدل‌های فوق با تبدیل موجک همراه هستند. با استفاده از تبدیل موجک، مقادیر Nash-Sutcliffe را با جفت شدن با مدل‌های ANN، MLR و ANFIS و KNN به ترتیب از ۰،۳۴۰، ۰،۴۰۴، ۰،۳۷۶ و ۰،۴۱۹ به ۰،۹۰۷، ۰،۹۳۰، ۰،۹۲۳ و ۰،۸۴۷ بهبود می‌بخشد.

مواد و روش‌ها

در یک حوضه آبریز بزرگ مقیاس نظیر مند، تا زمانی که اختلال قابل توجهی در منطقه وجود نداشته باشد، رابطه بین مصارف (خروجی) و آورد تجمعی موثر (ورودی خالص) خطی است. تأثیر تغییرات آب و هوایی عموماً در بارش خالص بررسی شده یا نرمال شده است. هرگونه انحراف قابل توجه از رابطه خطی منحنی جرم بین مصارف تجمعی و آورد تجمعی را می‌توان به اثر اختلال حوضه نسبت داد. ذخیره آب‌ها به عنوان پارامتری هیدرولوژیکی از مجموع میزان بارندگی، تبخیر آب، خروجی آب رودخانه و میزان نفوذ آن به آب‌های زیر زمینی، تشکیل شده است و اندازه‌گیری دقیق آن می‌تواند قید پارزشی برای مدل‌های آب باشد و کمک شایانی با دقت تر پیش‌بینی، مدیریت تغییرات منابع آب و محیطی مانند زیر نظر گرفتن آب موجود برای اهداف کشاورزی و همینطور ارزیابی نمودن خطر خشکسالی در مناطق بزرگ همچون حوضه‌ها، مفید و موثر واقع شود. با این حال، مطالعات در مورد پیامدهای هیدرولوژیکی اختلالات تامین آب حوضه، بیشتر بر میانگین جریان سالانه متمرکز شده است. این مطالعه به دنبال تعیین آستانه اختلال منطقه‌ای در ویژگی‌های خشکسالی هیدرولوژیکی حوضه آبریز مند بر اساس تغییرات دقیق تر و خرد مقیاس تر شاخص ساختارهای آبی است.

حوضه آبریز مند یکی از حوضه‌های آبریز درجه ۲ حوضه خلیج فارس و دریای عمان به شمار می‌آید که با مساحت ۴۷۸۰۲ کیلومترمربع در جنوب غرب کشور قرار دارد. این حوضه بین ۵۱ درجه و ۷ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۴۹ دقیقه طول شرقی و بین ۲۷ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی در

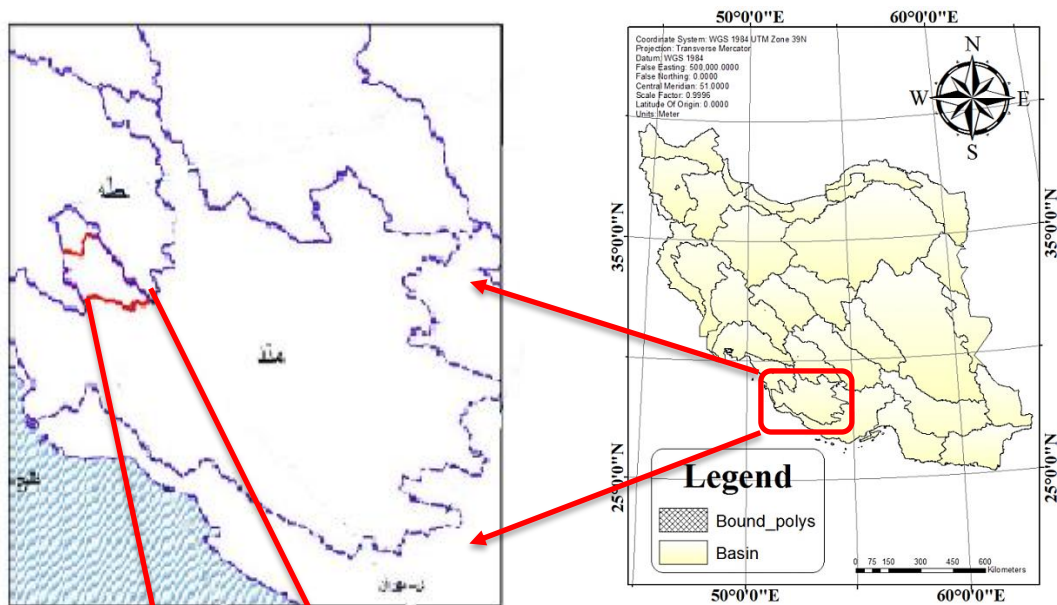
همچنان که از منابع مطالعه مهم در این حیطة بر می‌آید، وجود دوره‌های متعدد، گذرا و یا روند در سری‌های زمانی منابع آب، معمولاً روش‌های پیش‌بینی داده محور سنتی (سری‌های زمانی، یادگیری ماشین، هوش محاسباتی و غیره) (Solomatine and Ostfeld, 2008) را با مشکلاتی غیر قابل حل در حصول نتیجه همراه می‌کند. به عنوان مثال، میانگین متحرک خود همبسته (ARIMA)، رگرسیون خطی چندگانه (MLR)، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و غیره (Adamowski et al., 2012). این واقعیت که تبدیل موجک (به اختصار WT یا موجک) می‌تواند این اطلاعات (تجزیه موجک) را به مجموعه فرعی زمان (ضرایب موجک و مقیاس) جداگانه (با فرکانس بالا و پایین) تجزیه کرده و ساختار منسجم تری از سری‌های زمانی پیچیده (و متغیرهای مربوط به آن) به یک مدل داده ارائه دهد، اغلب منجر به پیشرفت‌های چشمگیری در دقت پیش‌بینی شده و به همین دلیل آن را به ابزاری محبوب در پیش‌بینی منابع آب تبدیل کرده است (Fahimi et al., 2017). بررسی‌های اخیر (Afan et al., 2016; Dixit et al., 2016; Fahimi et al., 2017; Nourani et al., 2014; Dogani et al., 2020; Sang, Chong, 2021; Shi, 2018; Zhang et al., 2021

کیلومترمربع از آن در دشت واقع شده است. مساحت آبخوان های این محدوده ۱۲۷ کیلومترمربع شامل دو آبخوان بوشکان و خرمایک می باشد.

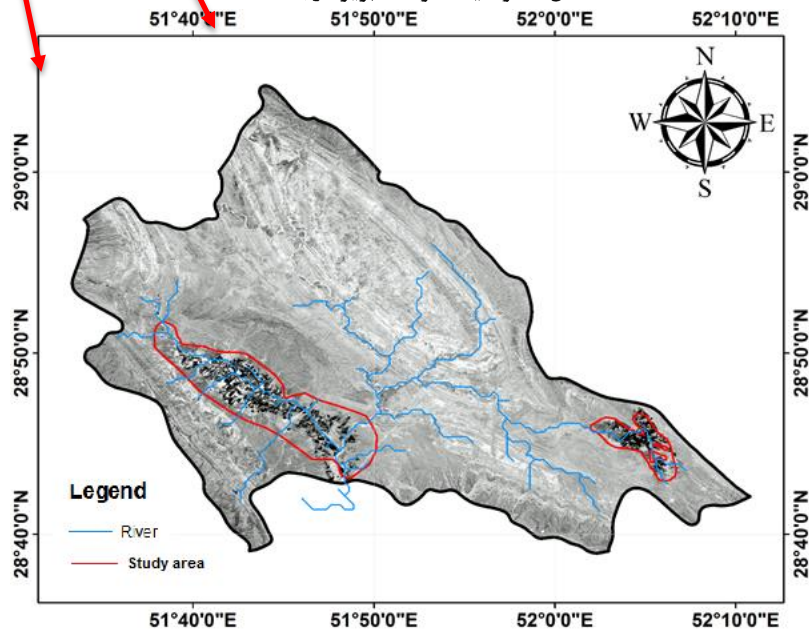
این حوضه شامل ۸ محدوده مطالعاتی در استان بوشهر می باشد. ۱۸ حلقه چاه مشاهده ای شبکه پایش کمی آبخوان را ایجاد نموده اند و با توجه به وسعت آبخوان، تقریباً تراکم ۱ حلقه چاه در هر ۷ کیلومتر مربع دارند.

راستای شمال غربی - جنوب شرقی شکل گرفته است. بخش عمده حوضه آبریز مند در استان فارس و پایاب آن در استان بوشهر قرار دارد. رود اصلی آن، رود مند است که از ارتفاعات شمال غربی شیراز سرچشمه می گیرد و در نهایت در غرب روستای زیارت در استان بوشهر وارد خلیج فارس می شود.

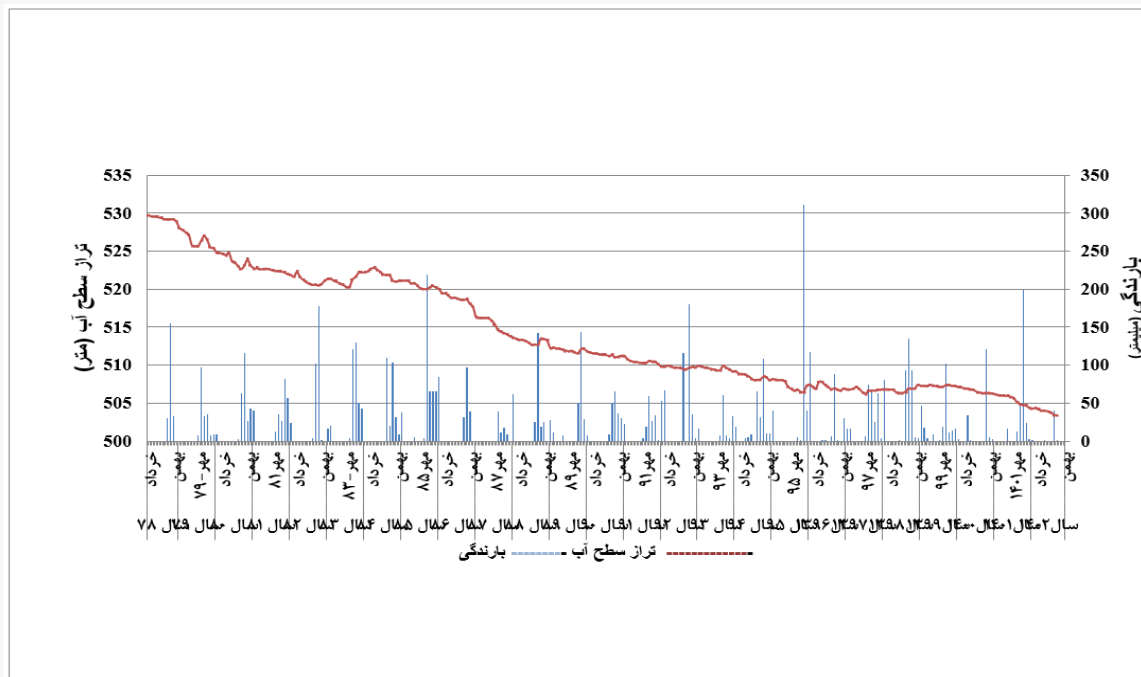
محدوده مطالعاتی بوشکان در غرب حوضه آبریز مند واقع شده است. مساحت این محدوده مطالعاتی ۱۳۶۷،۵ کیلومترمربع است که ۱۲۰۷ کیلومترمربع از آن در ارتفاعات و ۱۶۰،۵



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز درجه ۲ مند



شکل ۲. موقعیت محدوده مطالعاتی بوشکان



شکل ۳. نمودار هیدروگراف واحد بلندمدت محدوده مطالعاتی

شاخص استاندارد شده تغییرات ساختار آب و همچنین پوشش زمین استفاده شد. یک لایه ساختار زمین تدقیق شده بر اساس طبقه بندی به روش یادگیری ماشین و روش Eearth Object استفاده شد. لایه ساختار زمین تحت عنوان Geology، ملاک کلاسه بندی نواحی در تعیین اولویت خشکسالی (از منظر تغذیه آب زیرزمینی) انتخاب شد. ارزیابی درستی روش مذکور، تهیه یک جدول ارتباط تغییرات شاخص NDWI با کلاسه های لایه Geology بود. این همبستگی در لایه کلاسه بندی تغییرات ارتفاعی مشاهده نشد؛ با این حال بررسی روند و بسامد (موجک) سری های زمانی تغییرات آب رابطه مشخصی را با افت تراز آب زیرزمینی مشخص کرد. نتایج نشان داد می توان به این موضوع اشاره کرد که برای تعیین نواحی خشکسالی، و یا مفهوم مقابل آن، یعنی نواحی عامل خشکسالی به آب زیرزمینی، ملاک اساسی باید تنوع ژئولوژیک در تحلیل همزمان با توسعه کشاورزی منطقه باشد. با استفاده از تصاویر ماهواره های سنتینل می شود بر طبق تشریحات حاضر در این پژوهش، بازه های کلاسه بندی شده ای را جهت دریافت بیشترین تغییرات شاخص NDWI کشف کرد. این بازه های مکانی حدود تصمیم گیری برای اجرای سازه های انحراف جریان و حتی محدودیت های کشت به جهت بازسازی اقلیم در مقابل خشکسالی های منتج از کشاورزی را بهتر معین می کند.

در این محدوده از ۴ حلقه چاه بهره برداری آزمایش پمپاژ به عمل آمده و نکته قابل توجه در نتایج آزمون ها میزان قابلیت انتقال پایین در دو حلقه از چاه ها به ترتیب برابر با ۲۱ و ۷۱ متر مربع بر روز و قابلیت انتقال بالا در دو حلقه چاه دیگر واقع در مرکز دشت می باشد. در محدوده مطالعاتی بوشکان بیشترین رقم منحنی های عمق سطح آب زیرزمینی در حاشیه شمال شرق و کمترین مقدار آن در غرب آبخوان است. در قسمت های شمال، شرق و شمال غرب رقم منحنی های سطح آب از حاشیه به سمت مرکز دشت افزایش نشان می دهد، اما در نواحی شمال شرق و جنوب شرق این روند معکوس شده و منحنی ها در مرکز دشت رقم پایین تری نسبت به حاشیه دارند.

در این مطالعه به منظور استخراج روابط بارش-خشکسالی در یک محدوده منتخب تحت عنوان آبخوان بوشکان، از مجموع روابط هیدرولوژیکی و همچنین مدل های عددی تا استفاده از شاخص آسیب پذیری و ناحیه بندی استفاده شد. استخراج حجم و نوع توزیع جریان در آبخوان که مرکز اثر خشکسالی هیدرولوژیک است، توسط روش تحلیل منطقه ای و استخراج خشکسالی های با دوره بازگشت تاریخی و در عین حال محتمل از بررسی هیدروگراف مستخرج از مدل MODFLOW صورت پذیرفت. خروجی مطالعات هیدرولوژیکی که بر طبق عناصر فیزیوگرافی تهیه شد به عنوان ورودی های مدل توزیع جریان آب زیرزمینی در ناحیه مذکور استفاده گردید. به منظور تهیه یک ساختار تعیین مناطق حساس در خشکسالی، از پردازش تصاویر ماهواره Sentinel-2 در تهیه شاخص NDWI به عنوان

اهمیت تعیین مقدار بارش یک ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله، استفاده در فرمول‌هایی است که مقدار این دور رقم را به دلخواه به کاربر خواهد داد. رابطه زیر بارندگی با طول و دوره بازگشت مختلف را بدست می‌دهد:

$$P_T^t = (0.21 \ln(T) + 0.52)(0.54t^{0.25} - 0.5)P_{10}^{60} \quad ۲$$

این رابطه که به معادله بل مشهور است توسط یک دانشمند آمریکایی تهیه گردیده است. رابطه معادل با آن در ایران به صورت زیر مطرح شده است:

$$P_T^t = [0.4524 + 0.2471 \ln(T - 0.6)](0.3710 + 0.6184t^{0.4484}) P_{10}^{60} \quad ۳$$

نکته بسیار مهم در استفاده از رابطه بالا این است که بازه زمانی و مقدار آمار بارندگی بکار رفته در واسنجی و تهیه آن؛ و همچنین مناطق با ضریب بیشتر در سال‌های قبل از ۱۹۹۰ بوده است. به این ترتیب دقت این رابطه نیز مورد تردید است. در این پژوهش از مقدار متوسط این دو رابطه در گام اول استفاده گردید. خروجی دوره بازگشت برای ایستگاه‌های سینوپتیک، به دلیل همبستگی غیر خطی بالا با رقوم بارندگی، معادله‌ای را حاصل نمود که از طریق آن و با داشتن متوسط بارش برای نقاط مجهول، قادر به حدس و تخمین P_T^t در دیگر مناطق بودیم.

با توجه به وسعت مطالعاتی محدوده، لازم بوده است تا با استفاده از یک رابطه رگرسیون توانی، مقدار بارش در محل هر بخش منفک شده، در تهیه هیدروگراف واحد اشنایدر محاسبه شود. ارقام بارندگی پس از تبدیل به مقدار رواناب مستقیم، در ابعاد هیدروگراف واحد اشنایدر ضرب می‌گردد. در شکل بالا، ستون "بارش Line" اطلاعات بارندگی لایه خطوط هم مقدار بلند مدت است که به جهت عدم تطابق با آمار اخیر مورد استفاده نبوده است.

برای نقطه واسنجی، که معادل با یک زیرحوضه در نظر گرفته شده است، حجم آب باران با دوره بازگشت ۵۰ ساله در طول ۶ ساعت به صورت افزایشی با ضریب معین محاسبه شده است. این اعداد به صورت مستقیم در مدل بارش-رواناب بکار گرفته شده‌اند. اما نکته مهم تمایز ارتفاع کل بارش در هر زیرحوضه با رقم اولیه معادلاتی بدست داده شده است. علت این امر به واسنجی هیدروگراف واحد اشنایدر برای هر مورد باز می‌گردد که در نهایت منجر به تولید یک ضریب تغییر بارندگی با دوره بازگشت مد نظر بود. این ضریب واسنجی از طریق تطابق دبی اوج هیدروگراف واحد اشنایدر محاسبه شده با دبی هیدرومتری همان دوره بازگشت بدست آمد.

شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی با استفاده از کد MODFLOW در نرم افزار GMS

از جمله کدهایی که کاربرد گسترده‌ای داشته و از مقبولیت بالایی نزد هیدروژئولوژیست‌ها برخوردار بوده و در این تحقیق از آن برای حل معادلات جریان آب‌های زیرزمینی در آبخوان بوشکان استفاده شده است کد رایانه‌ای MODFLOW می‌باشد. لذا در این قسمت به ویژگی‌های این کد رایانه‌ای اشاره شده است. این ماژول‌ها به صورت بسته گروه‌بندی شده‌اند که هر بسته در ارتباط با قسمتی از سیستم هیدروژئولوژیک به‌کار گرفته می‌شود. تقسیم برنامه به تعدادی برنامه‌های فرعی باعث می‌شود که استفاده کننده به راحتی بتواند مؤلفه‌های مختلف هیدروژئولوژیکی را شبیه‌سازی نماید (Kresic, 2007). این مدل در واقع حل تفاضل محدود برای معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم بر جریان آب‌های زیرزمینی می‌باشد. مدل MODFLOW جهت شبیه‌سازی جریان آب‌های زیرزمینی در سفره‌هایی با حالت مرزی مشخص و با فرض مقادیر لازم جهت هدایت هیدرولیکی و دیگر پارامترهای سفره کاربرد دارد (Hoaglund, 2002).

محاسبه بارش

از آنجا که منبع خشکسالی مشخصاً بارندگی است و این مقدار در نقاط مورد مطالعه به صورت کاملی فاقد آمار می‌باشد، الزام به تخمین آن وجود داشت. یک روش جهت محاسبه صحیح‌تر مقدار بارش میانگین سالانه در سطح حوضه هدف جهت انجام محاسبات، استفاده از روش‌های میان‌یابی با بهره‌گیری از ابزار GeoStatistical Analyst بود. برای این منظور لازم بود تا به تعداد کافی نقاط مرجع در سطح مطالعاتی به نرم افزار معرفی می‌شد. اما آنچه در این پژوهش به عنوان هدف داده‌های بارندگی مد نظر است، مقدار حجم آب باریده در ناحیه واسنجی در مدل بارش-رواناب برای یک رخداد کوتاه مدت است که در تخمین مقدار آن رقوم متوسط بارش سالیانه در نهایت با ترجیح، از ارقام بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب بدست داده می‌شود. به این ترتیب که ابتدا با دریافت آمار از سامانه آنلاین سازمان هواشناسی کشور، ترتیب زمانی داده‌ها به صورت کاملاً همگن هماهنگ می‌شود.

روابط اساسی تهیه بارندگی با دوره‌های بازگشت به شرح زیر است:

$$P_{10}^{60} = 2.26(P_{24h})^{1.374} (P_{year})^{-0.3072} \quad ۱$$

که در آن P_{24h} متوسط حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته و P_{year} متوسط بارندگی سالانه منطقه برحسب میلی متر می‌باشد. خروجی رابطه بالا بارش یک ساعته با دوره بازگشت ۱۰ ساله است که برای مناطق مختلف ایران محاسبه شده است. در این پژوهش نیز برای حوضه مجاور از همین رابطه بهره گرفته شد.

پایش EO (Eearth Object)

بعنوان هدف اساسی پژوهش، اهمیت یابی یا ارجحیت بندی مناطق بالادست حوضه آبریز منتشر کننده خشکسالی آبخوان توسط مجموعه از مطالعات سنجش از دور و با استفاده از پایش منحصر شده EO انجام شد. در اصل EO-Learn یک کتابخانه پایتون منبع باز است که به عنوان پلی بین ارتباط زمین-مشاهده، سنجش از دور و اکوسیستم برای علم داده و یادگیری ماشین عمل می‌کند (sentinel-hub, 2021). این مجموعه کد از آرایه-های بی شماری و شماتیک منعطف به منظور ذخیره و اداره داده-های سنجش از دور استفاده می‌کند. هم اکنون در منبع GitHub ماهواره سنتینل دسترسی به اصل این کد موجود است. در این پژوهش این کد برای لایه ریخت-زمین تا استخراج شاخص NDWI (شاخص تفاوت آب نرمال شده) بر روی مرزهای کلاسه بندی شده از همین لایه، منحصر سازی شد.

برای توسعه مطالعات پایش فضایی در بخش اول، لازم است تا از طریق روند انتخاب و تقسیم یک منطقه مورد نظر و به دست آوردن اطلاعات مربوطه، مانند داده‌های باند Sentinel-2 و ماسک‌های ابری اقدام شود. تا این مرحله آنچه حاصل می‌شود، پردازش توسط خروجی سنجنده‌های ماهواره است. اما در بخش دوم، برای تهیه داده‌های یادگیری ماشین، اساس محاسبات مکانی با وضوح دقیق انجام می‌گردد که شامل نمونه گیری تصادفی از زیر مجموعه ای از پیکسل‌های آموزش، تست، فیلتر کردن کاهش صحنه‌هایی که بسیار ابری هستند، انجام درون یابی خطی در بعد زمانی به منظور "پر کردن شکاف‌ها" و غیره است. وقتی داده‌ها آماده شوند، ابزار طبقه بندی کننده ارائه می‌گردد. اعتبار سنجی شده و نتایج استخراج می‌گردد. این روند محاسبات EO است که برای هر محدوده، مستلزم محلی سازی یا منحصر سازی محاسبات می‌باشد.

مدل موجک (Wavelet) و ماشین بردار پشتیبان (SVM)

ماشین بردار پشتیبان^۵ یکی از روش‌های یادگیری با ناظر است که از آن برای طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده می‌کنند. این روش از جمله روش‌های نسبتاً جدیدی است که در سال‌های اخیر کارایی خوبی نسبت به روش‌های قدیمی‌تر برای طبقه‌بندی نشان داده است. مبنای کاری دسته‌بندی کننده SVM دسته‌بندی خطی داده‌ها است و در تقسیم خطی داده‌ها سعی می‌کنیم خطی را انتخاب کنیم که حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد. حل معادله پیدا کردن خط بهینه برای داده‌ها به وسیله روش‌های QP که روش‌های شناخته شده‌ای در حل مسائل محدودیت‌دار هستند صورت می‌گیرد. قبل از تقسیم خطی برای اینکه ماشین بتواند داده‌های با پیچیدگی بالا را دسته‌بندی کند داده‌ها را به وسیله تابع phi به فضای با ابعاد

محاسبه شاخص NDWI (The Normalized Difference Water Index)

NDWI برای نظارت بر تغییرات مربوط به محتوای آب در ساختار آبی استفاده می‌شود. از آنجا که بدنه‌های آبی مثل دریاچه‌ها و... به شدت نور را در طیف الکترومغناطیسی مادون قرمز قابل جذب، دریافت می‌کنند، NDWI از نوارهای سبز و نزدیک به مادون قرمز برای برجسته سازی آب‌ها استفاده می‌کند. این شاخص توسط McFeeters, ۱۹۹۶ ارائه شد. رابطه اساسی تحلیل باند تصاویر ماهواره برای این شاخص به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$NDWI = (B03 - B08) / (B03 + B08) \quad ۴$$

شرح مقادیر: مقادیر شاخص بیشتر از ۰/۵ معمولاً مربوط به بدنه‌های آب است. پوشش گیاهی معمولاً مربوط به مقادیر بسیار کمتر و مناطق ساخته شده به مقادیر بین صفر تا ۰/۲ است. شاخص NDWI اغلب مترادف با شاخص NDMI استفاده می‌شود، اغلب از ترکیب NIR-SWIR به عنوان یکی از دو گزینه استفاده می‌گردد. به نظر می‌رسد NDMI به طور مداوم با استفاده از ترکیب NIR-SWIR توصیف می‌شود. از آنجا که شاخص‌های دارای این دو ترکیب بسیار متفاوت عمل می‌کنند، با NIR-SWIR تفاوت در محتوای آب برگ‌ها را برجسته می‌کند، و GREEN-NIR تفاوت در محتوای ساختارهای آبی مثل دریاچه‌ها را برجسته می‌کند.

NDWI با استفاده از اصول مشابه اصول استفاده شده برای استخراج NDVI بدست می‌آید. در این شاخص B03 نواری است که نور سبز منعکس شده را در بر می‌گیرد و B08 نشان دهنده تابش نزدیک به مادون قرمز است. انتخاب این طول موج‌ها به این صورت بود که: (۱) به حداکثر رساندن بازتاب معمولی ویژگی‌های آب با استفاده از طول موج‌های نور سبز. (۲) بازتاب کم B08 توسط ویژگی‌های آب را به حداقل برساند و (۳) از انعکاس زیاد B08 توسط پوشش گیاهی خشکی و ویژگی‌های خاک استفاده کند. وقتی از معادله برای پردازش یک تصویر ماهواره ای چند طیفی استفاده می‌شود که شامل یک باند سبز قابل مشاهده و یک باند B08 است، ویژگی‌های آب دارای مقادیر مثبت هستند. در حالی که ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی خشکی دارای مقادیر صفر یا منفی هستند، به دلیل بازتاب معمولاً B08 آنها نسبت به نور سبز. نرم افزار پردازش تصویر می‌تواند به راحتی برای تحلیل مقادیر منفی پیکربندی شود. این مطلب به طور موثری اطلاعات مربوط به پوشش گیاهی و خاکی را جدا می‌کند و اطلاعات آب‌های آزاد را برای تجزیه و تحلیل منفک می‌کند. دامنه NDWI از صفر تا یک است اما آنچنان که اشاره شد، رقوم منفی ماهیت مشخصی دارند. ضرب معادله در یک عامل مقیاس (به عنوان مثال، ۲۵۵) تصویر حاصل را برای تفسیر بصری افزایش می‌دهد (sentinel-hub, 2021).

نتایج مدل کلاسه بندی لایه Geology

این لایه کامپوزیت به صورت اولیه خود از باند ۱۲ مادون قرمز موج کوتاه (SWIR) برای تمایز بین انواع مختلف سنگ استفاده می‌کند (باند منطقه ای از طیف الکترومغناطیسی است؛ یک سنسور ماهواره ای می‌تواند زمین را در باندهای مختلف تصویر کند) و با پردازش تصویر قابل تهیه نیز می‌باشد. هر نوع سنگ و ماده معدنی، نور مادون قرمز موج کوتاه را به صورت متفاوتی منعکس می‌کند و امکان ترسیم نقشه زمین شناسی با مقایسه نور SWIR منعکس شده را فراهم می‌کند. باند ۸ مادون قرمز (NIR) پوشش گیاهی را برجسته می‌کند و باند ۲ رطوبت را تشخیص می‌دهد، و هر دو به تمایز مواد زمینی کمک می‌کنند (sentinel-hub, 2021). این کامپوزیت برای یافتن سازه‌ها و ویژگی‌های زمین شناسی (به عنوان مثال گسل، شکستگی)، سنگ شناسی (به عنوان مثال گرانیته، بازالت و غیره) و کاربردهای استخراج مفید است؛ که در این پژوهش نوع متغیر بافت زمین مورد توجه بوده است. در اصل از بافت متفاوت زمین به منظور کلاسه بندی نواحی خشکسالی استفاده می‌شود. در اینجا با فرض اثر متفاوت بافت زمین در حرکت جریان خشکسالی چه در نفوذ و چه شکل هیدروگراف خروجی جریان، ابتدا ۶ کلاس مستخرج در محاسبات به عنوان ملاک مرز بندی و یا کلاسه بندی تعیین شد. شکل زیر لایه Geology در محدوده مورد مطالعه را با رنگ بندی پیوسته نمایش می‌دهد. در شکل ۵ می‌توان حدود قرار گیری لایه‌های مکانی کلاس‌های ۱ تا ۶ را بر لایه شاخص NDWI مشاهده کرد. خود شاخص NDWI به صورت آنچه تشریح شد از تحلیل باندهای تصاویر ماهواره Sentinel-2 محاسبه شد. مرز بندی‌ها نشان می‌دهد که پراکنش هر کلاس لزوماً منحصر به یک ارتفاع یا جهت جغرافیایی نیست. با این حال تراکم کلاس ۱ نسبت به کلاس ۶ بسیار اندک می‌باشد.

خیلی بالاتر می‌بریم. برای اینکه بتوانیم مسئله ابعاد خیلی بالا را با استفاده از این روش‌ها حل کنیم از قضیه دوگانی لاگرانژ برای تبدیل مسئله مینیمم‌سازی مورد نظر به فرم دوگانی آن که در آن به جای تابع پیچیده phi که ما را به فضایی با ابعاد بالا می‌برد، تابع ساده‌تری به نام تابع هسته که ضرب برداری تابع phi است ظاهر می‌شود استفاده می‌کنیم. از توابع هسته مختلفی از جمله هسته‌های نمایی، چندجمله‌ای و سیگموئید می‌توان استفاده نمود. در عین حال در این پژوهش از تبدیلات موجک نیز به منظور پیش بینی روند تغییرات نمونه‌ها استفاده شد. موجک^۶ دسته‌ای از توابع ریاضی هستند که برای تجزیه سیگنال پیوسته به مؤلفه‌های فرکانسی آن بکار می‌رود که رزولوشن هر مؤلفه برابر با مقیاس آن است. تبدیل موجک تجزیه یک تابع بر مبنای توابع موجک می‌باشد. موجک‌ها (که به عنوان موجک‌های دختر شناخته می‌شوند) نمونه‌های انتقال یافته و مقیاس شده یک تابع (موجک مادر) با طول متناهی و نوسانی شدیداً میرا هستند. برای مطالعه بیشتر در این خصوص مرجع Du et al., 2017 مطالعه شود. خلاصه مراحل اجرای پژوهش در شکل ۴ نشان داده شده است.

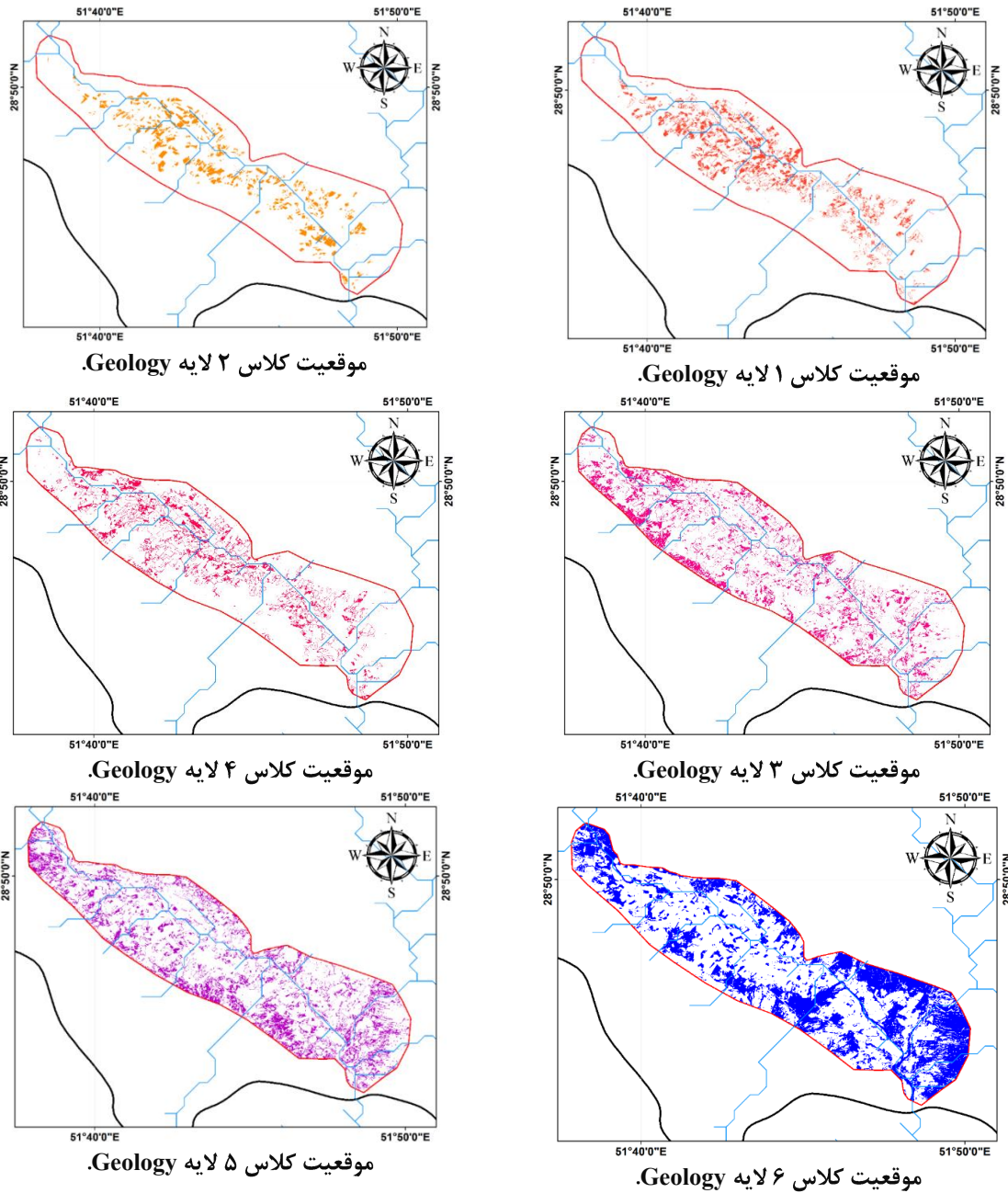
نتایج و بحث

نتایج مدل

هدف اساسی مطالعات حاضر کشف ارتباط بین لایه‌های سطحی ژئولوژیک زمین با کاهش تراز آب در محدوده آبخوان بر اساس فرض تغذیه آبخوان از سطح زمین است. در اصل بر پایه لایه تدقیق شده Geology به عنوان خروجی محاسبات طبقه بندی گر روش یادگیری ماشین، مرز بندی خشکسالی در محدوده آبخوان انجام می‌شود. رویکرد ارزیابی صحیح بودن این روش که بخش نوآورانه مطالعات حاضر نیز می‌باشد، با استفاده از تحلیل‌های آماری بر مجموعه مفصلی از تصاویر ماهواره Sentinel-2 و با ملاک شاخص نرمال شده تغییرات آب یعنی NDWI انجام شد.



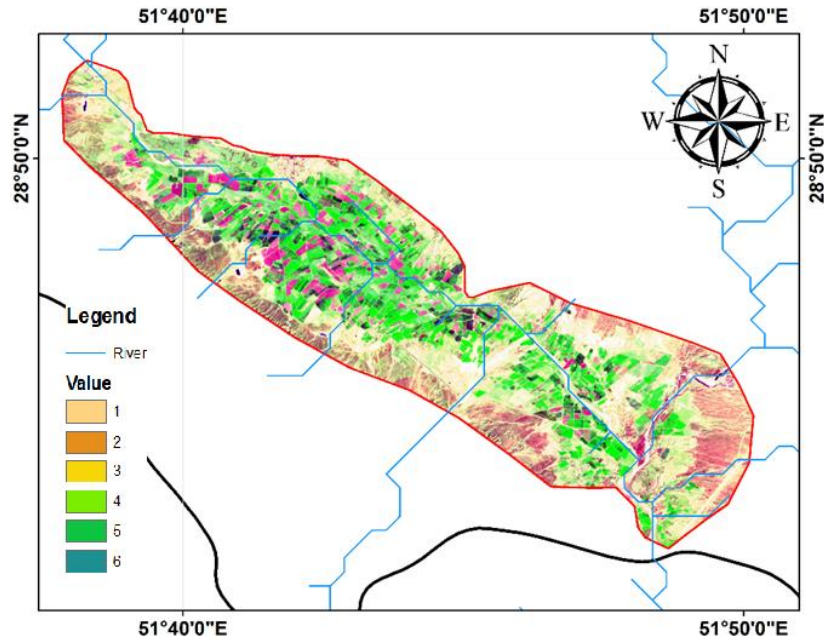
شکل ۴. مراحل اجرای مطالعه در بخش‌های کلی



شکل ۵. لایه‌های مکانی کلاس‌های ۱ تا ۶ را بر لایه شاخص NDWI

ذکر است که شاخص Moisture Index که رفتاری مخالف NDWI دارد را می‌توان به عنوان ارزیاب صحیح بودن نحوه محاسبه هر مورد استخراج NDWI بررسی کرد. برای ۶ کلاس تقسیم شده لایه Geology مقدار شاخص تغییرات NDWI بر پایه ده‌ها تصویر ماهواره Sentinel-2 محاسبه شد. نتیجه مشابه آنچه در مرحله قبل بدست آمد در شکل ۷ ترسیم شده است. بخوبی می‌توان مشاهده کرد که رفتار هر نمودار از نمودار کلی منطقه خشکسالی تبعیت می‌کند. در عین حال رفتار تغییرات کلی نمودار NDWI در محدوده خشکسالی آبخوان با رفتار حوضه آبریز درجه دوم همخوانی دارد.

همچنین در محدوده کلی خشکسالی آبخوان، مقدار شاخص NDWI و شاخص Moisture Index در طول بازه ۵ ساله از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ محاسبه شده است. شاخص NDWI در اینجا به منظور ردیابی اثر بارش‌های خشکسالی بر روی محدوده مورد مطالعه انتخاب شده است. این مقدار همچنین بر روی کل حوضه آبریز درجه دوم مادر، نیز محاسبه گردیده است. تصاویر مقادیر دو شاخص NDWI و Moisture Index را برای کل حوضه آبریز مادر منطقه مطالعاتی در آخرین بازه زمانی نشان می‌دهد. نتیجه این محاسبات که حاصل پردازش ده‌ها تصویر از ماهواره Sentinel-2 می‌باشد در نمودار ترسیم شده به صورت نمودارهایی دارای حدود تغییرات قابلیت اطمینان نشان داده شده است. لازم به



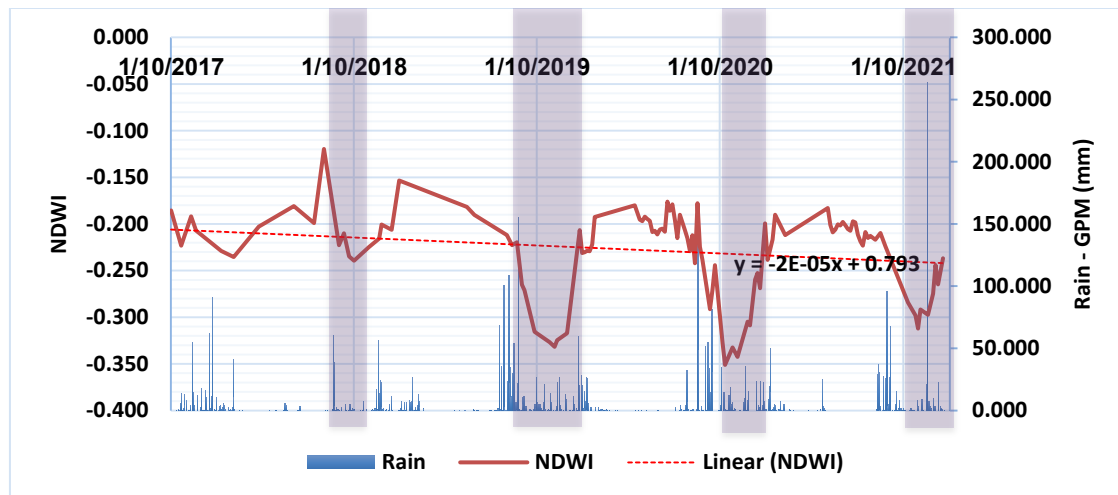
شکل ۶. لایه Geology حوضه آبریز موثر خشکسالی آبخوان



شکل ۷. تغییرات شاخص NDWI در بازه ۵ ساله ۶ کلاس Geology حوضه آبریز موثر خشکسالی آبخوان

منجر به افزایش مقدار شاخص NDWI می‌شود قابل حدس بوده است. با توجه به اینکه تغییرات مقدار شاخص NDWI به تغییرات ارتفاعی لزوماً وابسته نیست. و بنابراین می‌توان رخداد خشکسالی را به تغییرات پوشش زمین محدود کرد.

می‌توان مشاهده کرد که حداقل مقدار متوسط در کلاس-های ۱ تا ۴ و حداکثر مقدار شاخص متوسط در کلاس‌های ۵ تا ۶ رخ داده است. کلاس ۶ برای نمونه در اینجا بخش‌هایی را نشان می‌دهد که مرتبط با بستر گیاهی و زمین‌های کشاورزی است. بنابراین رشد پوشش گیاهی در دوره‌هایی از سال که



شکل ۸. متوسط شاخص NDWI در حوضه آبریز موثر

نتایج مدل SVM

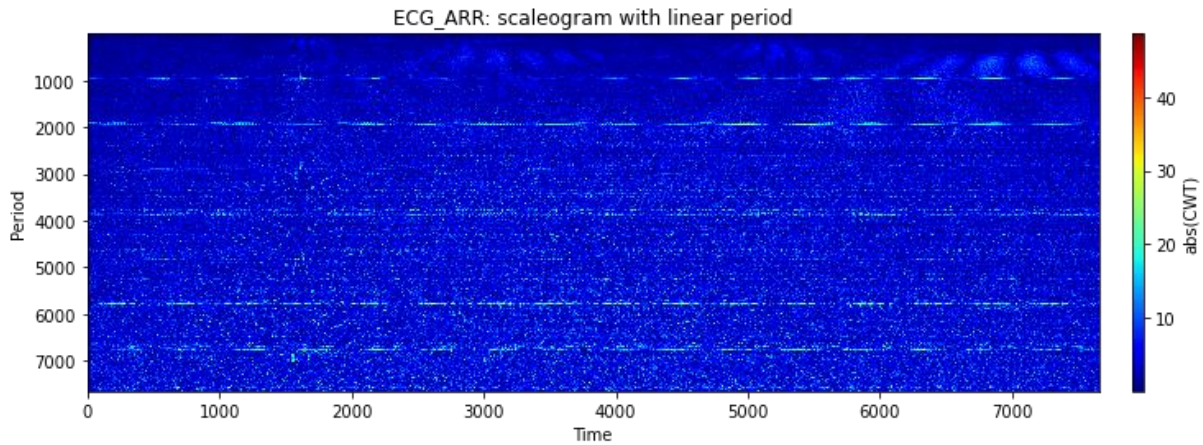
در این پژوهش، هدف اساسی به منظور پیش بینی وضعیت خشکسالی وابسته به ژئولوژیک منطقه، استفاده از روش SVM به عنوان یک رویکرد صحت یابی تا پیش بینی وضعیت پارامترهای افت تراز آب برداشت شده توسط کاربر است. در این مطالعه، ابتدا با استفاده از نتایج SVM نتایج تهیه سری زمانی برای داده‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت. اگر آنچه به عنوان رگرسیون در این روش تطابق خوبی با رگرسیون خطی، در روش تجربی تهیه سری زمانی داده داشته باشد، می‌توان نتیجه گرفت که رویکرد تجربی دارای عدم قطعیت قابل قبولی در بین داده‌ها می‌باشد. در عین حال از تبدیلات موجک به منظور کشف فرکانس تغییرات فصلی داده‌های سری زمانی تهیه شده استفاده شد. در گام نهایی ما برای تعیین تابع موجک، نوع Morl را انتخاب کردیم. این نمونه می‌تواند به درستی بر روی سیگنال‌های داده‌های محیطی منتخب و مفروض اقدام به استخراج دوره‌های تکراری فصلی جهت کاربرد در مدل‌های پیش بینی کند.

آنچه از شکل ۹ قابل تحلیل است، تحت عنوان اسکالوگرام، تغییرات زمانی در مقابل دوره برای CWT بدست داده شده است. CWT مخفف عبارت Continuous Wavelet Transformation است. تراکم بالای مقدار این واحد تعیین کننده تکرار چهار واحد فصلی از داده است. بنابراین در یک مدل پیش بینی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان از این یافته به منظور تنظیم پارامترهای ورودی تا استخراج پیش بینی‌های با کمترین خطا استفاده کرد.

دوره های خشک و تر تغذیه دشت متاثر از بارش های فصلی که در بخش پیش تحلیل روند شد، نشان می‌دهد که تغییرات ژئولوژیک در منطقه مشخصاً به صورت کلاسه بندی که تفکیک نواحی با تاثیر بیشتر تغذیه است، بخوبی منجر به بزرگنمایی اثر تغذیه بر دشت است.

خشکسالی آبخوان در مقابل بارش روزانه ماهواره GPM

علی رغم آنکه در دوره ۵ ساله در شکل ۸، مقدار بارندگی به شکل مشخصی دارای افزایش نیز بوده است، اما شیب رگرسیون خطی برازش شده بر تغییرات زمانی شاخص NDWI منفی است. همچنین می‌توان مشاهده کرد که تغییرات شاخص در دوره دوم بازه ۵ ساله بسیار بیشتر از دوره اول آن است. با توجه به آنکه بافت خاکی و ساختار Geology منطقه ثابت است، علت اصلی این موضوع مشخصاً به تغییرات پوشش گیاهی باز می‌گردد. پوشش گیاهی در کل محدوده به صورت آشکاری تنک شده و از بین رفته است. این موضوع می‌تواند با تحلیل بر روی شاخص استاندارد تغییرات پوشش برگ، موسوم به NDVI نیز بررسی شود. به عبارتی دیگر، برداشت‌های از منابع آب سطحی و تقسیمات اراضی پراکنده، تا حد بسیار زیادی بر خشکی نواحی بایر، از گیاهان خودرو منجر شده است. این گیاهان در دوره‌های سیلابی با تغذیه طبیعی رشد می‌کنند. تخریب پوشش منطقه مشخصاً عامل تخلیه سریع جریان به نواحی پایین دست و عدم تغذیه آبخوان است. در ماه‌های گذشته، از بررسی داده‌های بارش GPM می‌توان مشخص کرد که حتی بارش‌های روزانه تا بیش از ۲۵۰ میلیمتر نیز در برهه‌هایی از زمان در این مختصات صورت گرفته است. بارش‌های خشکسالی که با جاری شدن بر روی زمین‌ها خالی از پوشش گیاهی، علاوه بر فرسایش شدید خاک، منجر به طغیان بسیار شدید تر در ناحیه آبخوان می‌شود. نکته مهم آنکه اگر بارش‌های سهمگین در فصل‌های زراعی و یا آستانه کشت صورت بگیرد، عمدتاً جریان‌ات به سمت زمین‌های با کاربری باغی و کشاورزی منحرف می‌گردد، اما سیلاب‌های پاییزه در صورت رخداد با عامل کنترل زمین نه به صورت سازه های انتقال جریان سیلاب و نه پوشش‌های گیاهی روبرو نخواهد بود.



شکل ۹. خروجی محاسبات مدل موجک و مقدار CWT

نتیجه‌گیری و بحث

در این مطالعه به منظور استخراج روابط بارش-خشکسالی در یک محدوده منتخب تحت عنوان آبخوان، از مجموع روابط هیدرولوژیکی و همچنین مدل‌های عددی و هیدرولوژیکی تا استفاده از شاخص آسیب پذیری و ناحیه بندی استفاده شد. استخراج حجم و نوع توزیع جریان در آبخوان که مرکز اثر خشکسالی هیدرولوژیک است، توسط روش تحلیل منطقه‌ای و استخراج خشکسالی‌های با دوره بازگشت تاریخی و در عین حال محتمل از بررسی هیدروگراف مستخرج از مدل MODFLOW صورت پذیرفت. خروجی مطالعات هیدرولوژیکی که بر طبق عناصر فیزیوگرافی تهیه شد به عنوان ورودی‌های مدل هیدرولوژیکی توزیع جریان آب زیرزمینی در ناحیه مذکور استفاده گردیده. به منظور تهیه یک ساختار تعیین مناطق حساس در خشکسالی، از پردازش تصاویر ماهواره Sentinel-2 در تهیه شاخص NDWI به عنوان شاخص استاندارد شده تغییرات ساختار آب و همچنین پوشش زمین، و یک لایه ساختار زمین تدقیق شده بر اساس طبقه بندی به روش یادگیری ماشین و روش EO استفاده شد. لایه ساختار زمین تحت عنوان Geology ملاک کلاسه بندی نواحی در تعیین اولیت خشکسالی (از منظر تغذیه آب زیرزمینی) انتخاب شد. ارزیابی درستی روش مذکور، تهیه یک جدول ارتباط تغییرات شاخص NDWI با کلاسه‌های لایه Geology بود. این همبستگی در لایه کلاسه بندی تغییرات ارتفاعی مشاهده نشد.

نتایج نشان داد که برای تعیین نواحی خشکسالی، و یا مفهوم مقابل آن، یعنی نواحی منتشر کننده خشکسالی به آب زیرزمینی، ملاک اساسی باید تنوع ژئولوژیک در تحلیل همزمان با توسعه کشاورزی منطقه باشد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌های سنتینل می‌شود بر طبق تشریحات حاضر در این پژوهش، بازه‌های کلاسه بندی شده ای را جهت دریافت بیشترین تغییرات شاخص NDWI کشف کرد. این بازه‌های مکانی حدود

تصمیم‌گیری برای اجرای سازه‌های انحراف جریان، و حتی محدودیت‌های کشت به جهت بازسازی اقلیم در مقابل خشکسالی‌های منتج از کشاورزی را بهتر معین می‌کند. در آبخوان مورد مطالعه، منطقه ارتفاعی شماره ۱ کلاس ساختار زمین که در تماس مستقیم با ناحیه شهری و محدوده خشکسالی می‌باشد، ارقام و اعداد حاصله تغییرات پوشش گیاهی را حداقل در بازه ۵ ساله نشان نمی‌دهد. علت این موضوع می‌تواند فعالیت‌های کشاورزی در این ناحیه، و یا حداقل پایین دست بودن منطقه مذکور برای دریافت منابع آب سطحی تفسیر گردد. اما بخش‌های پراکنده شرقی عامل اساسی برای رخداد خشکسالی معرفی می‌گردد. به عبارتی دیگر، کشاورزی ساختار گسیخته در خشکسالی نواحی پر شیب و مرتفع تر حوضه آبریز مطالعاتی موثر واقع شده است. بنابراین در اجرای طرح‌های کنترل خشکسالی باید ارجحیت بر این بخش از حدود مختصاتی قرار گیرد. می‌توان با توسعه کد در کلاس‌های بیشتر، مرز بندی دقیق تری را از محدوده‌های خشکسالی تعیین کرد.

قاعداً خشکسالی‌های با دوره بازگشت بیشتر و در شرایط وقوع بحرانی‌تر منجر به آسیب بیشتری در این آبخوان خواهد بود. بدترین وضعیت هیدرولوژیکی لزوماً بر اساس آمار اقلیمی بدست نخواهد آمد.

در این پژوهش با استفاده از یک مدل تفاضل محدود جریان آب زیرزمینی، اقدام به توسعه شبیه ساز مفهومی به بهترین روش نرم افزاری و طبق داده‌های خام پردازش شده گردید، مدل جریان آب زیرزمینی با توجه به رویکرد خودکار واسنجی و صحت سنجی، کمترین انحراف آماری را بر روی پارامترهای بهینه سازی ایجاد نمود. به صورتی که مقادیر اولیه و نهایی پس از اجرای دوره واسنجی صورت مشابهی از پارامترهای هیدرولوژیکی را نمایش می‌دهد. مقدار خطای نسبی RMS یا RMSE معادل با ۲/۸۶ می‌باشد که دقت بالای شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. با توجه به روند تغییرات تراز آب دشت در

پارامترهای هدایت هیدرولیکی و ناهمسانگردی هدایت هیدرولیکی بخصوص در برخی از پابوت‌ها می‌باشد. بعلاوه یک تک گروه از رودخانه حدود دشت دارای حساسیت بالایی گزارش شده است. بر همین اساس، ویرایش‌های صورت گرفته بر مرزهای با بار هیدرولیکی پویا (مدل مفهومی) در حدود پارامترهای با حساسیت زیاد، خطای کل واسنجی را در آخرین مرحله از مراحل چهار گانه واسنجی به حداقل مطلوب کاهش داد.

به وضوح می‌توان تغییرات عمده در جهت گیری را در نواحی حساس تری که پارامترهای واسنجی را با بایاس آماری بدست آورده‌اند مشاهده کرد. بیشترین مقدار خطوط سرعت، در نواحی مرزی و در محدوده حاشیه مرزهای تراوا قابل مشاهده است. به این شکل می‌توان بیان داشت که حفر چاه‌های فراوان با دبی بهره برداری بالا در بخش‌های مرکزی آبخوان، منجر به استخراج نقشه‌های سرعت جریان با ساختار ناهمگن در محدوده دشت بوشکان شده است. روند موجود با توجه به رخدادهای خشکسالی اقلیمی در سال‌های اخیر و تشدید آن بر مبنای گرمایش جهانی و سو گیری یکسویه کاهش منابع تغذیه کننده، قطعاً وضعیت دشت را از مرحله بحران گذر خواهد داد.

محدوده شبیه ساز که با استفاده از صورت کوچکتر سلول‌های شبکه تفاضل محدود تدقیق شده بود، می‌توان بیشترین افت رخ داده را نواحی با بیشترین برداشت از منابع مرتبط دانست. تغییرات کاربری اراضی در قسمت‌های غربی دشت به صورت محسوس تری با تراکم جمعت و استفاده از آب منجر به افت سطح آب زیرزمینی شده است. لزوماً ارتباط مشخصی بین تغییرات تراز آب و نوع کاربری در دشت مورد مطالعه بر پایه خروجی نرم افزاری نمی‌توان یافت کرد، با این حال تعدد چاه‌های پمپاژ مشخصاً به تخریب ساختار عمودی دشت با نشست زمین منجر شده است.

فرآیند واسنجی با استفاده از مجموعه وسیعی از داده‌هایی که فرض بر وجود عدم قطعیت در آنها بوده است انجام شد. رویکرد تحلیل واسنجی بر پایه اندازه گیری بزرگترین مقدار موثر بر کاهش خطا در هر دوره، به صورت خودکار و با کد PEST بوده است. در این مدل سازی و در فرآیند بهینه سازی از روش تحلیل حساسیت تلفیق شده با مرحله واسنجی استفاده شده است. نتایج خروجی از آنالیز حساسیت پارامترهای موثر در واسنجی آبخوان مطالعاتی، نشان دهنده تأثیر حداکثری

Reference:

- Adamowski, J., Fung Chan, H., Prasher, S.O., Ozga-Zielinski, B., Sliusarieva, A., 2012. Comparison of multiple linear and nonlinear regression, autoregressive integrated moving average, artificial neural network, and wavelet artificial neural network methods for urban water demand forecasting in Montreal, Canada. *Water Resour. Res.* 48, W01528.
- Afan, H.A., El-shafie, A., Mohtar, W.H.M.W., Yaseen, Z.M., 2016. Past, present and prospect of an Artificial Intelligence (AI) based model for sediment transport prediction. *J. Hydrol.*
- Chong K. L., 2021, "Review on Dam and Reservoir Optimal Operation for Irrigation and Hydropower Energy Generation Utilizing Meta-Heuristic Algorithms," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 19488-19505.
- Dixit, P., Londhe, S., Deo, M.C., 2016. Review of Applications of Neuro-Wavelet Techniques in Water Flows. *Ina. Lett.* 1, 99–104.
- Dogani, A. Dourandish, M. Ghorbani and M. R. Shahbazbegian, 2020, "A Hybrid Meta-Heuristic for a Bi-Objective Stochastic Optimization of Urban Water Supply System," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 135829-135843.
- Du, K., Zhao, Y., Lei, J., 2017. The incorrect usage of singular spectral analysis and discrete wavelet transform in hybrid models to predict hydrological time series. *J. Hydrol.* 552, 44– 51.
- Fahimi, F., Yaseen, Z.M., El-shafie, A., 2017. Application of soft computing-based hybrid models in hydrological variables modeling: a comprehensive review. *Theor. Appl. Climatol.* 128, 875–903.
- Hoaglund III, J.R. and PoIllard, D., 2003. Dip and anisotropy effects on flow using a vertically skewed model grid. *Groundwater*, 41(6), pp.841-846.
- Jeong, C.B., Kang, H.M., Lee, M.C., Kim, D.H., Han, J., Hwang, D.S., Souissi, S., Lee, S.J., Shin, K.H., Park, H.G. and Lee, J.S., 2017. Adverse effects of microplastics and oxidative stress-induced MAPK/Nrf2 pathway-mediated defense mechanisms in the marine copepod *Paracyclopsina nana*. *Scientific reports*, 7(1), p.41323.
- Khazaei Poul, A., Shourian, M. & Ebrahimi, H. A, 2019, Comparative Study of MLR, KNN, ANN and ANFIS Models with Wavelet Transform in Monthly Stream Flow Prediction. *Water Resour Manage* 33, 2907–2923.
- Kresic, N., 2014. Hydraulic methods. In *Methods in Karst hydrogeology* (pp. 65-92). CRC Press.
- Minh, D., Wang, H.X., Li, Y.F. and Nguyen, T.N., 2022. Explainable artificial intelligence: a comprehensive review. *Artificial Intelligence Review*, pp.1-66.
- Nourani, V., Hosseini Baghanam, A., Adamowski, J., Kisi, O., 2014. Applications of hybrid Wavelet-Artificial Intelligence models in hydrology: A review. *J. Hydrol.* 514, 358–377.
- Saatsaz, M. A historical investigation on water resources management in Iran. *Environ Dev Sustain* 22, 2020, 1749–1785

- Sang, Y.-F., 2013. A review on the applications of wavelet transform in hydrology time series analysis. *Atmos. Res.* 122, 8–15.
- Schilling, J., Hertig, E., Trambly, Y. et al. Climate change vulnerability, water resources and social implications in North Africa. *Reg Environ Change* 2020 20, 15.
- Sentinel Hub, <https://www.sentinel-hub.com>, 2021, Sinergise Solutions d.o.o., a Planet Labs company.
- Shi, B. Wang, P. Jiang, J. Liu, R. 2018, Applying high-frequency surrogate measurements and a wavelet-ANN model to provide early warnings of rapid surface water quality anomalies, *Science of The Total Environment*, Volumes 610–611, Pages 1390-1399, ISSN 0048-9697.
- Shi, B. Wang, P. Jiang, J. Liu, R. 2018, Applying high-frequency surrogate measurements and a wavelet-ANN model to provide early warnings of rapid surface water quality anomalies, *Science of The Total Environment*, Volumes 610–611, Pages 1390-1399, ISSN 0048-9697.
- Solomatine, D.P., Ostfeld, A., 2008. Data-driven modelling: some past experiences and new approaches. *J. Hydroinformatics* 10, 3–22.
- Spiro D. Alexandratos, Naty Barak, Diana Bauer, F. Todd Davidson, Brian R. Gibney, Susan S. Hubbard, Hessa L. Taft, and Paul Westerhof *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 2019 7 (3), 2879-2888.
- Water Resources Report, 2020. Iran water resources management organization. [in Persian]
- Yaseen, Z.M., El-shafie, A., Jaafar, O., Afan, H.A., Sayl, K.N., 2015. Artificial intelligence-based models for stream-flow forecasting: 2000-2015. *J. Hydrol.*
- Zhang, Shuifeng; Zhang, Jinchi; Meng, Miaoqing; Chen, Peixian; Liu, Xin; Liu, Guoliang; Gu, Zheyuan. 2021. "A Multi-Objective Decision Making System (MDMS) for a Small Agricultural Watershed Based on Meta-Heuristic Optimization Coupling Simulation" *Water* 13, no. 10: 1338.

یادداشت‌ها

¹ *Zanini and Silico*

² *Jeong et al.*

³ *Shi et al.*

⁴ *Khazaei et al.*

⁵ *Support vector machines - SVMs*

⁶ *Wavelet*