

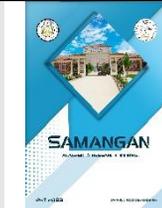


Samangan Scientific and Research Journal

<https://researchsparker.edu.af/index.php/SARJ>

DOI: 10.64226/sarj.v2i02.74

e-ISSN:3105-1715



Assessment of the Impact of the Deep Wells Utilization on Groundwater Level Decline (2000-2023): A Case Study of Hazrat Sultan District

Abdul Baser Qasimi^{1,}, Mohammad Khalid¹, Taiba Fazli²*

¹Department of Geography, Education Faculty, Samangan Institute of Higher Education, Aibak, Samangan, Afghanistan

²Department of Geography, Education Faculty, Balkh University, Mazar-e Sharif, Balkh, Afghanistan.

Corresponding Author: qasimi.abdul.a@gmail.com

Cite this study:

Qasimi, A., K., M. & Fazli, T. (2024). Investigating the Impact of Deep Wells on the Decline of Groundwater Levels (2000–2023): A Case Study of Hazrat Sultan District, Samangan Academic and Research Journal, 2(2), 189-204.

Keywords

Groundwater, deep wells, Hazrat Sultan, Samangan, IDW

Research

Received:

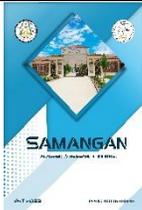
Revised:

Accepted:

Published:

Abstract

Groundwater resources, following polar glaciers, are considered the second-largest source of freshwater globally. Monitoring changes in groundwater levels is critically important for sustainable planning and management in any region. The objective of this study is to assess the impact of deep wells on the decline of groundwater levels in the Hazrat Sultan District from 2000 to 2023. This research is applied in nature and employs an analytical approach. The required data were collected through interviews and field surveys, including statistics and information from 65 observation wells during the time intervals of 2000, 2010, 2020, and 2023. After organizing and processing the exploratory data, changes, and subsidence in groundwater levels were analyzed using the Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation model within the ArcGIS software environment. The findings indicate that groundwater level fluctuations ranged from 0 to 60 meters. According to the IDW interpolation maps, groundwater levels across the entire study area have shown a declining trend, with significant subsidence observed. On average, the groundwater level in Hazrat Sultan District decreased by 27 meters over the 23-year statistical period. This consistent downward trend across all time intervals underscores the urgency of the issue and demands serious attention from relevant authorities and responsible institutions.



مجله علمی-تحقیقی سمنگان

<https://researchsparker.edu.af/index.php/SARJ>

DOI: 10.64226/sarj.v2i02.74

e-ISSN:3105-1715



بررسی تأثیر استفاده از چاه‌های عمیق بر افت سطح آب‌های زیرزمینی (۲۰۰۰-۲۰۲۳): مطالعه موردی ولسوالی حضرت سلطان

عبدالبصیر قاسمی^{۱*}، محمد خالد^۱، طیبه فضلی^۲^۱دیارتمنت جغرافیا، پوهنحی تعلیم و تربیه، موسسه تحصیلات عالی سمنگان، ایبک، سمنگان، افغانستان.^۲دیارتمنت جغرافیا، پوهنحی تعلیم و تربیه، پوهنتون بلخ، مزار شریف، بلخ، افغانستان* نویسنده مسؤول: qasimi.abdul.a@gmail.com

مرجع‌دهی: قاسمی ع.، م. خ. و فضلی ط. (۱۴۰۳). بررسی تأثیر استفاده از چاه‌های عمیق بر افت سطح آب‌های زیرزمینی (۲۰۰۰-۲۰۲۳): مطالعه موردی ولسوالی حضرت سلطان، ۲(۲)، ۱۸۹-۲۰۴.

کلمات کلیدی

چکیده

آب‌های زیرزمینی، چاه‌های عمیق، حضرت سلطان، IDW سمنگان

منابع آب‌های زیرزمینی پس از یخچال‌های قطبی، دومین منبع آب شیرین موجود در جهان به‌شمار می‌روند. بررسی تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار هر منطقه از اهمیت فراوانی برخوردار است. هدف از این مطالعه بررسی تأثیرات چاه‌های عمیق بر سقوط سطح آب‌های زیرزمینی از سال ۲۰۰۰-۲۰۲۳ ولسوالی حضرت سلطان که این پژوهش از نوع کاربردی است و روش آن به صورت تحلیلی می‌باشد. داده‌های مورد نیاز با مصاحبه و پیمایش میدانی اطلاعات و آمار ۶۵ حلقه چاه طی دوره زمانی (۲۰۰۰-۲۰۱۰-۲۰۲۰-۲۰۲۳) جمع‌آوری گردیده است. پس از ترتیب و تنظیم داده‌های اکتشافی، بررسی تغییرات و نشست سطح آب‌های زیرزمینی در محیط نرم افزار ArcGIS با استفاده از مدل IDW درون‌یابی شده. نتایج تحقیق نشان داده که بیشترین و کمترین تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی بین صفر تا ۶۰ متر بوده است طبق نقشه‌های بدست آمده از روش درون‌یابی IDW تراز آب‌های زیرزمینی در تمام منطقه مورد مطالعه روند کاهشی داشته و نشست سطح آب‌های زیرزمینی چشمگیر است. میانگین میزان کاهش آب‌های زیرزمینی ولسوالی حضرت سلطان در طول دوره آماری ۲۳ ساله کاهش نزولی ۲۷ متر را نشان داده که تغییرات سطح آب در تمام دوره‌های زمانی سیر نزولی را نشان می‌دهد. این امر نیازمند توجه جدی از طرف نهادهای مربوط و مراج ذیصلاح می‌باشد.

۱. مقدمه

منابع آب‌های زیرزمینی دومین منبع بزرگ آب‌های شیرین در جهان پس از یخچال‌های قطبی هستند، مطالعه نوسانات آب‌های زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار هر منطقه اهمیت چشمگیری دارد (اکبرزاده و همکاران، 2022). مدیریت پایدار منابع آب‌های زیرزمینی گران قیمت برای رشد حیات است به ویژه در مناطق خشک که آنها به شدت وابسته هستند (Alipour et al., 2018). آب‌های زیرزمینی یک منبع اساسی طبیعی است، برآورده شده است که یک سوم مصرف کل آب در جهان توسط سیستم‌های آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود (Jia et al., 2020). کاهش منابع آب‌های زیرزمینی به‌عنوان ارزشمندترین منابع آب‌های شیرین، ناشی از عوامل مختلف اقلیمی انسانی تأثیرات مخربی را از جمله کاهش تأمین آب آشامیدنی، کاهش مقاومت خاک، پدیده فرونشست زمین و... در یک منطقه ای برجا می‌گذارد. از سوی سطح سفره‌های آب‌های زیرزمینی در بلندمدت به‌گونه‌ی می‌توان کاهش یابد که برای بارش‌های بعدی قابلیت احیا را از دست بدهند. در نتیجه، رودخانه‌ها و تالاب‌ها خشک خواهند شد و پمپاژ این آب‌ها به سطح زمین امری غیرممکن می‌شود (فر و همکاران، 2019). اگر بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی بیش از حد ادامه یابد بحران‌های اجتماعی و اقتصادی می‌تواند در منطقه شکل بگیرد، علاوه بر این اثرات منفی بر سطح آب‌های زیرزمینی، محیط‌زیست و بلایای طبیعی مانند سیل نیز می‌شود که امروزه افغانستان نیز به برداشت از آب‌های زیرزمینی با استفاده از چاه‌آب روی آورده و تأثیرات نیز بر سطح آب‌های زیرزمینی گذاشته.

آب‌های زیرزمینی جزء مهم از منابع آبی ما هستند (Russo & et al., 2017). در سراسر جهان آب‌های زیرزمینی بیش از ۹۷ درصد آب شیرین قابل دسترس، نیمی از آب آشامیدنی و تقریباً نیمی از آب آبیاری برای زراعتی را فراهم می‌کنند (Mojid et al., 2019). همچنین به عنوان تأمین کننده حیاتی آب برای آبیاری خدمت می‌کند و سیستم های آب سطحی را دوباره پر می‌کند. با این حال بسیاری از مناطق به ویژه مناطق خشک و نیمه خشک آب‌های زیرزمینی به دلیل استفاده بیش از حد و اضافی آب‌های زیرزمینی تخلیه شده اند (Jia et al., 2020). پمپاژ بیش از حد آب‌های زیرزمینی و کاهش آبخوان‌ها در حال حاضر یک مشکل جدی در فشرده‌ترین مناطق زراعتی جهان است و آب چندین برابر سریعتر از آن چیزی که طبیعت بتواند آنرا دوباره پور کند، تخلیه می‌شود (Glenn et al., 2001)). کاهش آب‌های زیرزمینی یک مسئله جهانی است و شکاف دانش بر روی آن وجود دارد. به دلیل رشد بالای جمعیت، شهرنشینی برنامه ریزی نشده و سریع همراه با تغییر آب و هوا، کاهش آب‌های زیرزمینی چالش‌های را برای منابع آب‌های زیرزمینی در بسیاری از کشورها در سراسر جهان به عنوان مثال هند، بنگلادش، چین و ایالات متحده ایجاد کرده (Akter & Ahmed, 2021). در طول سال‌های متمادی بهره برداری و اقدامات غیرقابل تحمل از چاه‌های آب موجب کاهش شدید آب‌های زیرزمینی شده و دفع در بسیاری از مناطق در سراسر جهان شده. این یک مقدار از تأثیرات منفی بر جمعیت های انسانی و محیط طبیعی را ایجاد کرده است (Jia et al., 2020). آب‌های زیرزمینی منبع حیاتی تأمین آب برای بخش های داخلی، صنعتی و زراعتی در مناطق خشک و نیمه خشک است. زیرا این مناطق از آب های سطحی محدود و میزان تبخیر بالا رنج می‌برد. همان‌طور که جمعیت رشد می‌کند منابع آب زیرزمینی بطور فزاینده برای آب آشامیدنی مورد سؤاستفاده قرار می‌گیرند (Alipour et al., 2018). جمعیت و رشد اقتصادی، تاکید بیشتر بر منابع آب‌های زیرزمینی و تهدید امنیت آب برای دیدار به نیازهای مختلف افزایش یافته و دسترسی به آب‌های شیرین را تهدید می‌کند. نظارت بر سطح آب‌های زیرزمینی یکی از ابزارهای مهم توسعه پایدار است و اطلاعات مهمی را برای مدیریت آب فراهم می‌کند (Alipour et al., 2018). آب‌های زیرزمینی تقریباً برای دو میلیارد نفر آب آشامیدنی و ۴۰٪ از آب آبیاری جهانی را تأمین می‌کند. پمپاژ آب‌های زیرزمینی توسعه اجتماعی قابل توجهی را که برای کاهش فقر و رشد اقتصادی حیاتی است، تسهیل کرده است. امنیت غذایی را افزایش داده و خطرات ناشی از خشکسالی را در بسیاری از مناطق زراعتی کاهش داده است. متأسفانه منابع آب زیرزمینی در سطح جهانی در بسیاری از مناطق مختلف که هم کمیت و هم مسائل کیفیت را بیچ هستند، در معرض تهدید هستند، تأثیرات مستقیم استفاده از آب‌های زیرزمینی می‌تواند فرونشست زمین، افزایش خشکسالی، هیدرولوژیکی، شور شدن

آب‌های زیرزمینی و تاثیرات آن بر اکوسیستم‌های وابسته به آب‌های زیرزمینی می‌باشد، این تاثیرات مستقیم می‌تواند تاثیرات پایداری گسترده‌تری بر امنیت آب، غذا و انرژی داشته باشد (Gleeson et al., 2020). علاوه بر اثرات منفی که قبلاً ذکر شد. بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و کاهش متعاقب آن سطح آب‌های زیرزمینی اغلب منجر به اقامت زمین در سفره‌های آبرفتی و نفوذ آب دریا به سواحل می‌شود (Brückner et al., 2021). در سال‌های اخیر پمپاژ بیش از حد آب‌های زیرزمینی و همچنین کاهش بارندگی در دشت مشهد فرونشست را ایجاد کرده است که خسارت‌های را برای زیرساخت‌ها در پی داشته است. این مشکل به خاطر افزایش تقاضای برداشت آب از چاه‌های عمیق برای کشاورزی، صنایع و شرب است. به دنبال این تقاضای روزافزون حفر چاه‌های غیرمجاز نیز افزایش چندانی پیدا کرده است، بنابراین سطح آب زیرزمینی دایم در حال پایین رفتن بوده و نرخ فرونشست در حال افزایش است (چلو و همکاران، ۲۰۲۱).

یوسفی و همکاران (۲۰۲۳) برای بررسی و پایش زمانی شاخص GIR بر نوسانات سطح آب زیرزمینی از آمار ۶۹ حلقه چاه مشاهده‌ای طی سه دوره زمانی مورد بررسی قرار گرفت. بعد از ورود داده‌های آماری به سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) باروش درون‌یابی، نقشه‌های خطوط هم‌عمق، هم‌تراز و پهنه‌بندی تغییرات نشست سطح آب زیرزمینی تهیه گردید. آب نمود معرف آبخوان به منظور بررسی تغییرات درازمدت و نوسانات سطح آب زیرزمینی و نیز تشخیص دوره‌های افزایش و کاهش سطح آب در طول دوره‌های آماری تهیه شده و این تغییرات نیز در محیط نرم افزار Excel ترسیم شدند. از شاخص خشکسالی GIR جهت پایش زمانی خشکسالی منابع آب زیرزمینی دشت زنجان استفاده شده. نتایج این پژوهش نشان داده که تراز آب زیرزمینی دشت زنجان در تمامی پیژومترها روند کاهشی داشته و نشست تراز آب زیرزمینی چشم گیر است. شاخص GIR در طول بازه زمانی بیست ساله روند نزولی به سمت خشکسالی نشان داده است (نژاد & دهقانی، ۲۰۲۱) تحقیق را تحت عنوان بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی با استفاده از تخمین گر آماری انجام داده که در این تحقیق در مقیاس زمانی و مکانی تراز سطح آب زیرزمینی به دلیل تغییرات دائمی آن امری ضروری و اجتناب ناپذیر می‌باشد. در این تحقیق به منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی بر اساس ۳۵ حلقه چاه موجود برای سال آماری (۱۳۹۰-۱۳۹۱) در دو بهاری و خزانی از تخمین گره‌های زمین آماری استفاده گردید. پارامتر سطح آب زیرزمینی را پس از آزمون همگونی و نرمالیزی نمودند، به عنوان ورودی در روش‌های مختلف درون‌یابی کریجینگ و عکس وزن دهی فاصله با توان‌های ۱ تا ۵ مورد بررسی قرار دارد. معیارهای جذر میانگین مربعات خطا و میانگین انحراف خطا جهت مقایسه و ارزیابی روش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تحلیل‌های آماری نشان دادند سطح آب زیرزمینی دارای ضریب تغییرات زیاد بوده است که بیانگر وسعت دامنه تغییرات عمق آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (عمادالدین و همکاران، 2024) تحقیق را به عنوان بررسی فرونشست زمین به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی با تکنیک تداخل سنجی راداری در دشت فسا. به منظور محاسبه فرونشست از تصاویر سنتینل رادار با فرمت (SLC) تک منظر با پولاریزاسیون (VV) جهت محاسبه میزان نرخ جابه‌جایی استفاده می‌شوند. روش تداخل سنجی راداری روشی برای ترکی تصاویر SAR گرفته شده از سنجنده‌های راداری ماهواره Sentinel 1A سال‌های 2016 تا 2020 و همچنین اطلاعات چاه‌های پیژومتری موجود در منطقه اخذ و تغییرات آن‌ها در طول دوره ۱۳۷۲-1399 در نرم‌افزار GIS با استفاده از مدل درون‌یابی IDW نقشه سطح آب زیرزمینی تهیه مورد استفاده قرار گرفته است. طبق نتیجه به دست آمده یکی از دلایل اصلی فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی است و در نهایت با استفاده از نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست مشخص شد که به‌طور کلی 11401 نفر در محدوده خطر فرونشست زندگی می‌کنند (حسینی et al., ۲۰۲۴). تحقیق را به عنوان بررسی تغییرات مکانی و زمانی پارامتر کمی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش میان‌یابی وزن‌دهی فاصله معکوس مطالعه موردی: دشت مشهد انجام دادند با استفاده از شبکه پایش سطح آب زیرزمینی، در دوره آماری یازده ساله (۱۴۰۰-۱۳۹۰). به کمک روش میان‌یابی وزندهی فاصله معکوس (IDW) پرداخته شد بدین منظور آمار ۶۲ حلقه چاه مشاهده‌ای در طی دو دوره آماری پنج ساله (۱۳۹۵-۱۳۹۰ و ۱۴۰۰-۱۳۹۵) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد رسیدن به عمق آب زیرزمینی در این آبخوان برای دوره زمانی تعیین شده به طور متوسط در پنج سال اول ۰.۶ متر و در پنج سال دوم ۰.۳۲ متر

افزایش یافته است که بخش‌های مرکزی، جنوب شرقی و شمال غربی بیش‌ترین میزان برای رسیدن به سطح آب زیرزمینی را دارند. همچنین، هیدروگراف معرف آبخوان مشهد نشان می‌دهد در طی دوره ۱۱ ساله عمق آب زیرزمینی به طور متوسط سالانه ۰/۳۳ متر با کاهش مواجه شده است. افغانستان از جمله کشورهای محاط به خشکه دارای آب‌وهوای فصلی خشکه و نیمه خشک است و استفاده از آب‌های زیرزمینی در اواخر بیشتر صورت گرفته است. به خصوص در شمال افغانستان که از جمله ولسوالی حضرت سلطان از آب سطحی بی‌بهره بوده و به استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی روی آورده است که یکی از چالش‌های بزرگ آب‌های زیرزمینی مصرف بیش از حد آن در بخش زراعتی است. در این ولسوالی افزایش بی‌رویه حفر چاه و در پی آن برداشت بیش از حد بارویه نامناسب کنونی همچنان ادامه داشته باشد به یقین آب چاه‌ها، خود به عاملی برای تسریع در تبدیل بیابانی شدن زمین‌های زراعتی و مراتع دارد. به این لحاظ در این تحقیق به بررسی تغییرات استفاده از چاه‌های عمیق و تأثیرات آن بر سقوط سطح آب‌های زیرزمینی ولسوالی حضرت سلطان با استفاده از چاه‌های مشاهده‌ای در دوره آماری بیست و سه ساله (۲۰۰۰-۲۰۲۳) به کمک روش درون‌یابی وزن دهی فاصله معکوس (IDW) پرداخته شد.

۲. مواد و روش کار

این تحقیق از نوع کاربردی است و روش آن به صورت تحلیلی می‌باشد. تهیه نقشه‌های این تحقیق با نرم‌افزار Arc Gis انجام شده است. برای جمع‌آوری داده‌ها از ابزار جی‌پی‌اس (GPS) و مصاحبه به صورت پیمایش میدانی جمع‌آوری شده است. آمار و اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ی در طی دوره ۲۳ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۰-۲۰۲۰-۲۰۲۳) با پیمایش میدانی و حضور در منطقه مورد مطالعه با ابزار (GPS) از ۶۵ حلقه چاه به صورت تصادفی از تمام منطقه مورد مطالعه تهیه شده است.

۱.۲ داده‌ها

در تحقیق حاضر داده‌های میدانی جمع‌آوری شده در نرم‌افزار Excel ورژن ۲۰۱۶ به چهار در دوره زمانی (۲۰۰۰-۲۰۱۰-۲۰۲۰-۲۰۲۳) ترتیب شده. داده‌های مورد نیاز شامل مختصات چاه‌ها، سال و میزان سطح آب هر چاه در هر سال در جدول جدا مرتب شده است. در تحلیل کمی آب جمعاً ۶۵ حلقه چاه آب به منظور سنجش نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی ولسوالی حضرت سلطان برداشت شده. همچنان در نرم‌افزار (GIS) تهیه نقشه و برداشت ارتفاعات بلند منطقه مورد مطالعه انجام شده، و داده‌های مربوط به چاه‌ها در محیط نرم‌افزار (ARC GIS) وارد شده و تبدیل به نقطه شده است.

جدول (۱). داده‌های گردآوری شده توسط (GPS) از چاه‌های منطقه مورد مطالعه

شماره	۲۰۲۳	۲۰۲۰	۲۰۱۰	۲۰۰۰	سال حفر چاه	Y	X
۱	۱۴		۱۱		۲۰۱۹	36.46973	67.90045
۲	۱۷		۱۵		۲۰۱۵	36.47713	67.89747
۳	۱۸	۱۵			۲۰۲۰	36.46622	67.91117
۴	۲۲				۲۰۲۳	36.464	67.90212
۵	۲۴	۲۲			۲۰۲۲	36.45732	67.89853
۶	۱۷		۱۰		۲۰۱۵	36.4587	67.90512
۷	۱۹			۷	۲۰۰۰	36.45887	67.90515
۸	۴۵		۲۳		۲۰۱۶	36.44353	67.91892
۹	۴۰		۲۵		۲۰۱۶	36.44183	67.92278
۱۰	۳۴			۲۵	۲۰۰۷	36.44128	67.91853
۱۱	۲۷		۱۸		۲۰۱۷	36.43915	67.92278

X	Y	سال حفر چاه	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۲۰	۲۰۲۳	شماره
67.93417	36.41842	۲۰۱۸		۳۴		۴۵	۱۲
67.92475	36.42475	۲۰۱۸		۳۵		۵۰	۱۳
67.93332	36.44132	۲۰۲۰			۳۴	۳۶	۱۴
67.91637	36.45292	۲۰۱۷		۲۵		۲۸	۱۵
67.9243	36.78612	۲۰۰۹	۹			۱۵	۱۶
67.92952	36.4582	۲۰۲۰			۱۸	۳۰	۱۷
67.9309	36.45673	۲۰۱۵		17		۳۸	۱۸
67.9384	36.39838	۲۰۲۱			۲۲	۲۵	۱۹
67.96313	36.48863	۲۰۲۰			۲۵	۳۰	۲۰
67.9992	36.48922	۲۰۱۷		11		۱۹	۲۱
68.00785	36.49382	۲۰۱۶		14		۲۶	۲۲
68.08222	36.4985	۲۰۲۱			۲۵	۱۸	۲۳
68.06023	36.50938	۲۰۱۸		19		۲۸	۲۴
68.03467	36.50925	۲۰۲۳				۲۱	۲۵
68.0319	36.50172	۲۰۲۰			۲۰	۲۵	۲۶
68.03192	36.50173	۲۰۱۷		24		۳۳	۲۷
68.0154	36.50058	۲۰۰۸	۱			۱۱	۲۸
67.99808	36.50575	۲۰۱۷		7		۹	۲۹
67.95975	36.49548	۲۰۲۱			۵۴	۶۰	۳۰
67.97437	36.4836	۲۰۲۰			۱۸	۲۳	۳۱
67.97985	36.47502	۲۰۱۸		۲۵		۳۵	۳۲
67.97693	36.46848	۲۰۰۰	۱۳			۴۸	۳۳
67.95603	36.4711	۲۰۱۹			۱۲	۲۰	۳۴
67.9561	36.48037	۲۰۱۳		۱۲		۲۰	۳۵
67.9528	36.4939	۲۰۲۲			۲۰	۲۲	۳۶
67.94175	36.4842	۲۰۲۰			۸	۱۱	۳۷
67.92948	36.49108	۲۰۱۷		۵		۱۸	۳۸
67.91997	36.4475	۲۰۰۳	۴			۱۹	۳۹
67.90188	36.48953	۲۰۱۸		۲۴		۳۰	۴۰
67.90198	36.50172	۲۰۱۹		۱۱		۲۸	۴۱
67.9126	36.45908	۲۰۱۷		۱۲		۳۵	۴۲
67.92023	36.44677	۲۰۰۹	۲۴			۴۵	۴۳
67.9251	36.4668	۲۰۱۱		۱۸		۲۵	۴۴
67.91917	36.46195	۲۰۰۷	۲۱			۳۲	۴۵
67.91918	36.46193	۲۰۰۳	۵			۱۰	۴۶

X	Y	سال حفر چاه	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۲۰	۲۰۲۳	شماره
67.9251	36.46677	۲۰۲۰			۱۲	۱۵	۴۷
67.89635	36.4866	۲۰۱۰		۳		۷	۴۸
67.89432	36.49222	۲۰۱۳		۴۰		۶۰	۴۹
67.95252	36.50362	۲۰۱۲	۰	۸		۱۴	۵۰
67.87757	36.51123	۲۰۱۶		۸		۲۲	۵۱
67.09428	36.51118	۲۰۱۴		۱۷		۳۵	۵۲
67.86032	36.51028	۲۰۲۱			۲۸	۳۳	۵۳
67.85352	36.51025	۲۰۱۹		۴		۱۵	۵۴
67.84028	36.51235	۲۰۰۵	۲			۱۲	۵۵
67.82523	36.5272	۲۰۱۹			۱۸	۲۵	۵۶
67.7921	36.55345	۲۰۱۸			۳۰	۴۰	۵۷
67.82967	36.50057	۲۰۱۳		۱۶		۳۰	۵۸
67.82488	36.48547	۲۰۱۷		۲۰		۲۵	۵۹
67.91403	36.43168	۲۰۱۸		۱۸		۲۸	۶۰
67.91078	36.42292	۲۰۰۹	۴۰			۵۳	۶۱
67.8936	36.4175	۲۰۱۹		۲۵		۳۱	۶۲
67.8918	36.41047	۲۰۱۰		۳۵		۵۰	۶۳
67.88693	36.40622	۲۰۱۳				۴۰	۶۴
67.89027	36.3965	۲۰۱۹		۱۳		۱۸	۶۵

۲.۲ روش درونیابی

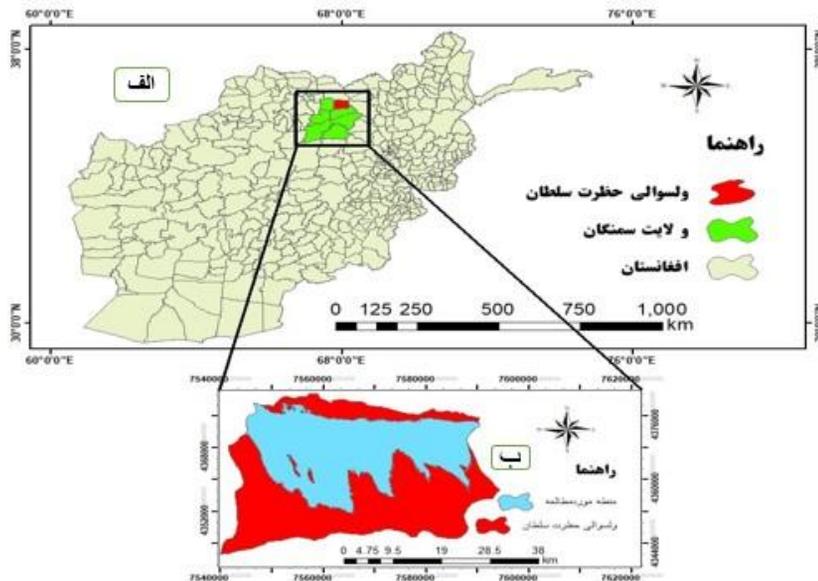
به منظور تهیه نقشه‌های سطح آب‌های زیرزمینی سال‌های (۲۰۰۰-۲۰۱۰-۲۰۲۰-۲۰۲۳) از روش زمین آمار و از نرم افزار (ARC GIS) بهره گرفته شده، پس از پردازش، مدل واریوگرام مناسب به ساختار فضایی داده‌ها و تعیین عامل‌های آن در ابتدا و انتهای دوره آماری روش‌های مختلف زمین آمار از جمله روش درونیابی قطعی وزن دهی عکس فاصله (IDW; Inverse Distance Weighted) نقشه‌های مساحت مکانی از ابتدا و انتهای دوره آماری مورد مطالعه در محیط نرم افزار (ARC GIS) ترسیم شده و روند تغییرات منابع آب‌های زیرزمینی مشخص شده است. برای ارزیابی دقت داده‌های درونیابی شده ۷۰ درصد داده‌های اصلی (مشاهده‌ی) برای انجام درونیابی (مقادیر پیش‌بینی شده) و ۳۰ درصد از داده‌ها که داده اصلی است برای ارزیابی دقت درونیابی تقسیم شده است که از معیار آماری، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شده، که این پارامتر تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی می‌باشد. این ارزیابی میزان دقت داده‌های اصلی و درونیابی شده را بررسی می‌کند. که در آن طبق معادله (۱)، x_i مقدار محاسبه شده به وسیله مدل و x مقدار مشاهده می‌باشد.

معادله (۱)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x)^2}{n}}$$

۳.۲ منطقه مورد مطالعه

ولسوالی حضرت سلطان یکی از ولسوالی‌های ولایت سمنگان است که این ولایت یکی از ولایات شاداب افغانستان بوده در شمال کشور واقع شده است. ولسوالی حضرت سلطان بدین جهت مسمما شده است که گویند مرقد سلطان بایزید بسطامی (رح) در آنجا موقعیت داشته، این ولسوالی در ۳۵ کیلومتری شمال شهر ایبک موقعیت دارد و تعداد نفوس آن ۳۹۶۰۰ تن تخمین شده است. برخی بیشتر مناطق این ولسوالی از کوه‌ها و تپه‌ها تشکیل شده است و در حدود ۸۵ درصد زمین آن للی است. ارتفاع آن از سطح بحر (۸۵۰) متر بوده در عرض البلد (۲۵-۰۰) شمالی و طول البلد (۱۰-۵۳-۶۷) شرقی موقعیت داشته و پیشه عمده مردم زراعت، مالداری و قسما باغداری تشکیل داده اکثریت زراعت این ولسوالی به شکل للی صورت می‌گیرد که فعلا در مناطق للی استفاده از آب‌های زیرزمینی و چاه آب رایج گردیده است. دریای کوچکی به نام (دریای سمنگان) یاد می‌شود از چشمه سارها و دره کوه‌های آنجا منبع گرفته پس از آبیاری اراضی زراعتی سمنگان از بین منطقه ولسوالی حضرت سلطان عبور و به طرف خلم می‌رود چون آب دریای مذکور برای آبیاری زمین‌های زراعتی کافی نبوده و در اکثر ماه‌های سال به قلت و کمی آب رخ می‌دهد. آب و هوای این منطقه گرم و خشک است حرارت اعظمی تابستان آن (۳۰ الی ۴۰) درجه و سردی زمستان آن به (۵- الی ۱۰-) درجه سانتیگراد تنزیل می‌یابد. مقدار بارندگی سالانه آن به ۳۰۰ الی ۴۰۰ میلی متر می‌رسد. دارای بادهای سرد توأم با برفباری بوده و بهار آن معتدل می‌باشد (انصاری، ۱۳۹۴). در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



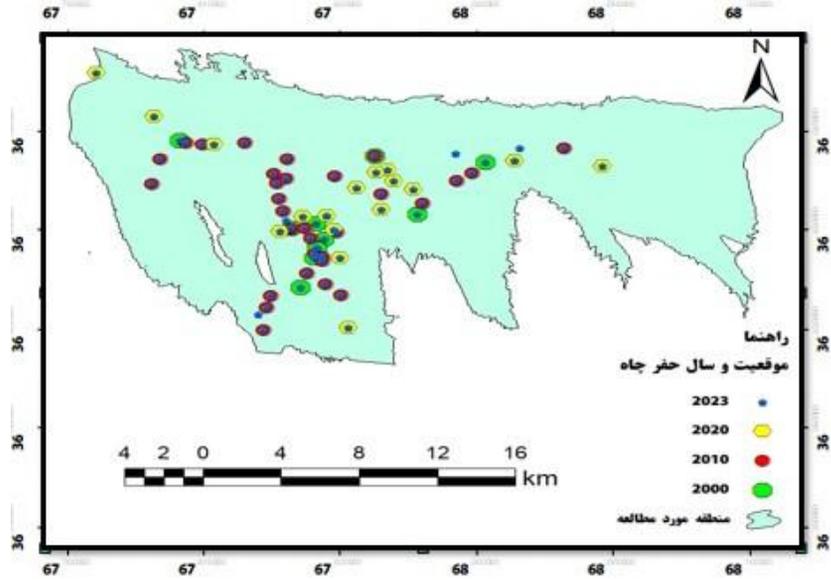
شکل (۱). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد؛ الف) نقشه افغانستان که در آن ولایت سمنگان

با رنگ متمایز نمایش داده شده است. ب) نقشه ولسوالی حضرت سلطان و منطقه مطالعه را نشان می‌دهد.

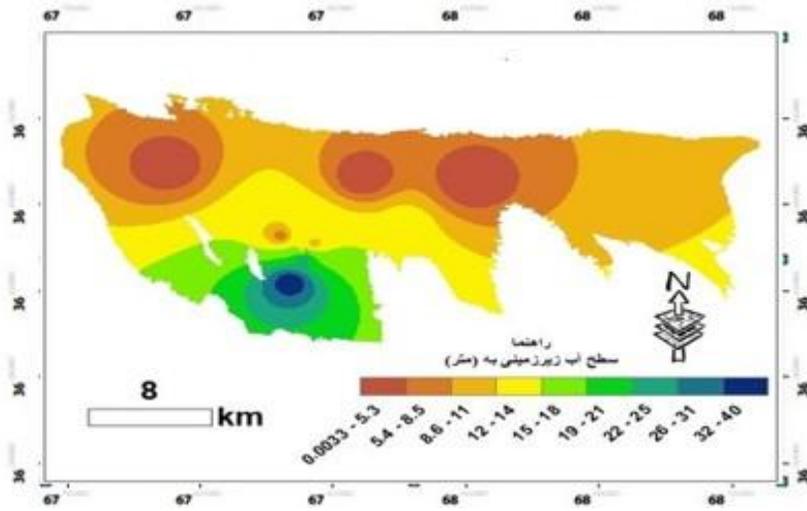
۳. نتایج

در این مطالعه از پایه مشترک آمار ۲۳ ساله طی سال‌های (۲۰۰۰-۲۰۱۰-۲۰۲۰-۲۰۲۳) برای بررسی تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی استفاده گردیده (شکل ۳). جهت تهیه نقشه‌های میدانی سطح آب‌های زیرزمینی اطلاعات ۶۵ حلقه چاه مشاهده‌ی وارد نرم افزار ArcMap 10.8.2 گردیده به کمک روش وزن دهی معکوس فاصله IDW درون یابی شده است. نقشه‌های میدانی سطح آب‌های زیرزمینی سال ۲۰۰۰ نشان می‌دهد که سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه بین ۰ تا ۴۰ متر بوده که ۰ الی ۱۱ متر در منطقه دولت‌آباد، خوجه بغلانک و توله گچی پایین ۱۱ الی ۱۸ متر در مرکز منطقه مورد مطالعه ۱۹ الی ۲۸ متر در منطقه آسیاب‌بالات بالا و دامن کوه دلخکی بوده که پایین‌ترین سطح آب زیرزمینی در قسمت کارته صلح و آسیاب‌بالات پایین بوده که اولین بار حفر چاه‌ها و استفاده از آن برای زراعتی در این منطقه صورت گرفته است (شکل ۴).

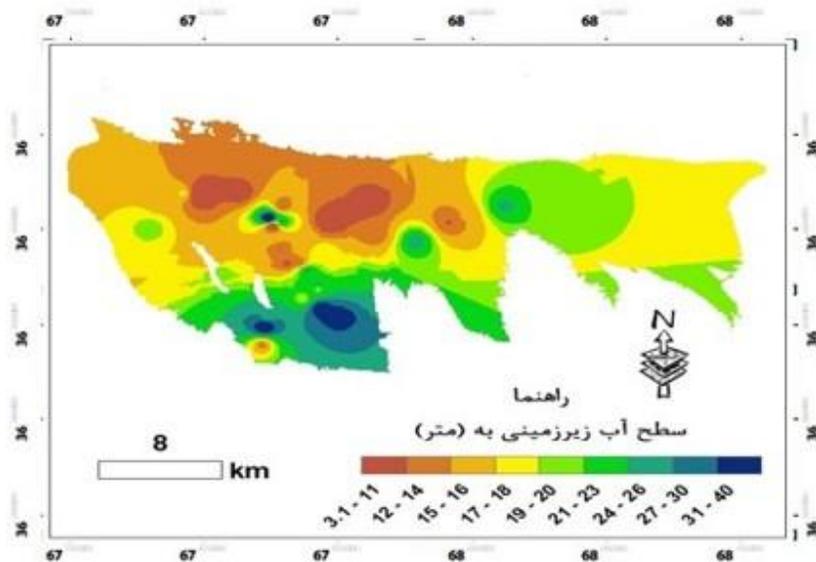
سطح آب‌های زیرزمینی در سال ۲۰۱۰ نشان می‌دهد که سطح آب‌های زیرزمینی بین ۳ تا ۴۰ متر بوده که در منطقه کارته صلح کاهش سطح آب نسبتاً ثابت باقی مانده اما در مناطق دیگر رشد نزولی را نشان داده که ۳ الی ۱۶ متر در منطقه دولت‌آباد و خواجه بغلانک که نسبت به ده سال اول نشست سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهد ۱۷ الی ۲۰ متر در منطقه الشه و شورقل ۲۱ الی ۲۶ متر در منطقه کوکه بلاق، مرکز و لرخابی بالا سطح آب‌های زیرزمینی نیز کاهش یافته ۱۷ الی ۴۰ متر کاهش آب‌های زیرزمینی نسبت به ده سال اول در ضمن کارته صلح در منطقه بالای دولت‌آباد نیز رشد نزولی داشته (شکل 5). سطح آب زیرزمینی در سال ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که نشست سطح آب در تمام منطقه مورد مطالعه نسبت به سال‌های دیگر کاهش قابل توجهی بین ۸ تا ۵۴ متر داشته که ۸ الی ۲۲ متر در منطقه پایین دولت‌آباد، مرکز و کوکه بلاخ ۲۳ الی ۲۷ متر در منطقه الشه و دولت‌آباد رشد نزولی داشته ۲۸ الی ۵۴ متر که پایین‌ترین سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه کارته صلح و بالای دولت‌آباد نشست چشمگیری از سطح آب‌های زیرزمینی را نشان می‌دهد (شکل 6). سطح آب زیرزمینی در سال ۲۰۲۳ نشان می‌دهد که بین ۷ تا ۶۰ متر روند نزولی دارد ۷ الی ۲۴ متر در منطقه الشه و جنوب مرکز منطقه مورد مطالعه ۲۵ الی ۳۱ متر در منطقه دولت‌آباد و شورقل ۳۲ الی ۴۰ متر در منطقه بالای آسیابات و دامن دلخکی کاهش یافته ۴ الی ۶۰ متر پایین‌ترین سطح آب‌های زیرزمینی در چهار قسمت از منطقه مورد مطالعه، کارته صلح، لرخابی بالا و پایین و بالای دولت‌آباد که بیشترین چاه‌ها حفر شده و در حال حفر شدن است و حفر این چاه‌ها به منظور استفاده برای زراعتی صورت گرفته است که بیشترین نشست سطح آب‌های زیرزمینی در این مناطق را نشان می‌دهد (شکل 7). همچنان مشخص شده است مرکز چاه‌ها در دور زمانی اول ۲۰۰۰ در مناطق که بیشترین چاه‌ها و اول‌ترین حفر شده نشست آب‌های زیرزمینی را نشان می‌دهد. که کمترین و بیشترین مقدار آن ۰ تا ۴۰ متر بوده است و کاهش میانگین سطح آب زیرزمینی در این دوره به ۲۰ متر می‌رسد. در طی دوره زمانی دوم ۲۰۱۰ فقط تعداد محدود از چاه‌های منطقه افزایش تغییرات اختلاف آب‌های زیرزمینی را نشان می‌دهد یعنی بهره برداری از چاه‌های که در دوره زمانی اول در مناطق با افزایش نشست قرار داشتند به نحوه بوده که این مناطق به مناطق با کاهش نشست تبدیل شده اند همچنین شدت آن نسبت به دوره اول کمتر بوده ولی در تمام قسمت‌های منطقه مورد مطالعه کاهش آب‌های زیرزمینی مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد این نواحی شرایط خوبی از نظر اختلاف آب‌های زیرزمینی ندارد و کاهش میانگین سطح آب‌های زیرزمینی در این دوره به ۲۳ متر می‌رسد. در دوره زمانی سوم ۲۰۲۰ بخشی از جنوب منطقه مورد مطالعه که از دور اول تا حالا سطح آب‌های زیرزمینی نشست افزایشی داشته در ضمن در قسمت از شمال و شمال غرب نیز بیش از ۵۰ متر کاهش داشته که نسبت به دوره زمانی دوم افزایش قابل توجه بوده. در برخی دیگر از مناطق نشست آب زیرزمینی به بیشتر از ۲۶ متر کاهش رسیده و بقیه تمام مناطق بین ۸ تا ۲۵ متر روند نزولی سطح آب‌های زیرزمینی را نشان داده است و کاهش میانگین سطح آب‌های زیرزمینی در این دوره به ۳۰ متر می‌رسد. در دوره زمانی چهارم ۲۰۲۳ که بیشتر از تمام دوره‌های این تحقیق سطح آب‌های زیرزمینی کاهش چشمگیری پیدا کرده است، بخشی از جنوب، جنوب شرق، شمال و شمال شرق مرکز منطقه مورد مطالعه تا ۶۰ متر سطح آب نشست داشته در قسمت جنوب بیشتر از ۲۷ متر نشست و در قسمت شرق و برخی از قسمت‌های دیگر منطقه مورد مطالعه به علت مدیریت نامناسب منابع آب‌های زیرزمینی و برداشت بیش از تغذیه با روند کاهشی ۸ تا ۲۵ متر مواجه شده است که کاهش میانگین سطح آب زیرزمینی در این دوره به ۳۵ متر می‌رسد.



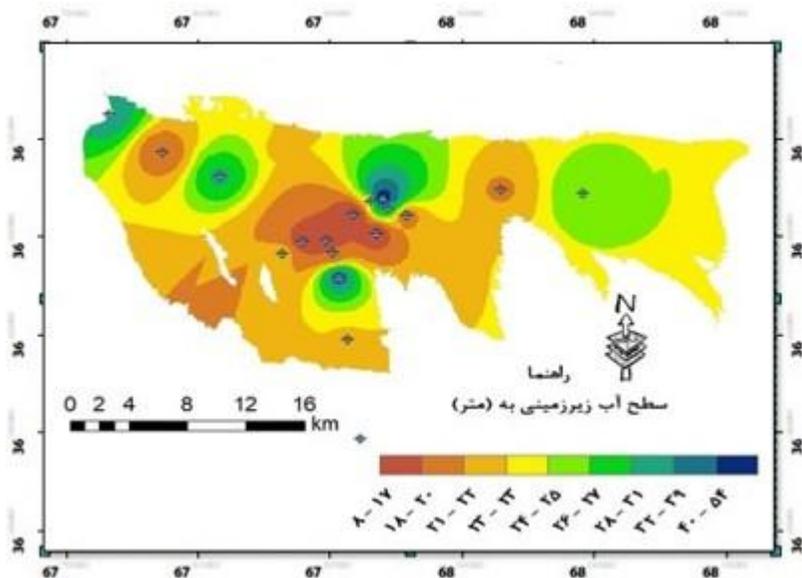
شکل(3). نقشه موقعیت و سال حفر چاه های منطقه مورد مطالعه



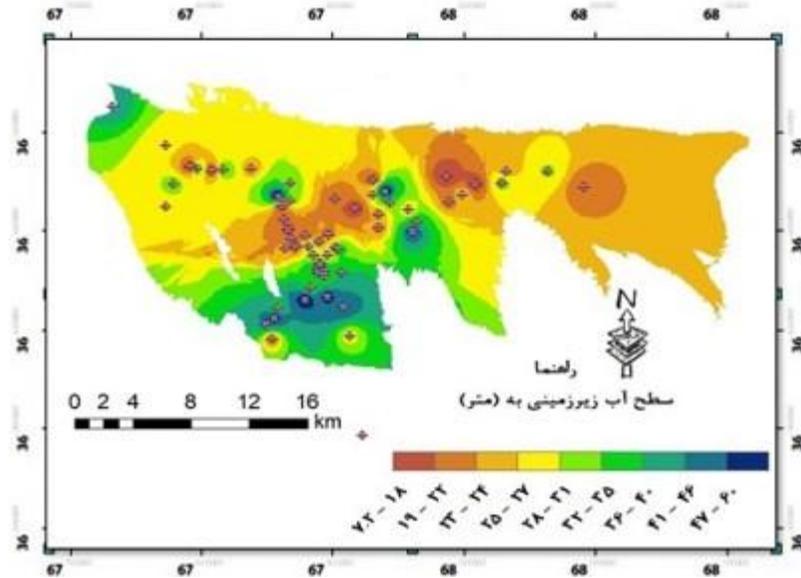
شکل(4). نقشه تغییرات سطح آب های زیرزمینی ولسوالی حضرت سلطان سال (۲۰۰۰)



شکل (5). نقشه تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی ولسوالی حضرت سلطان سال (۲۰۱۰).

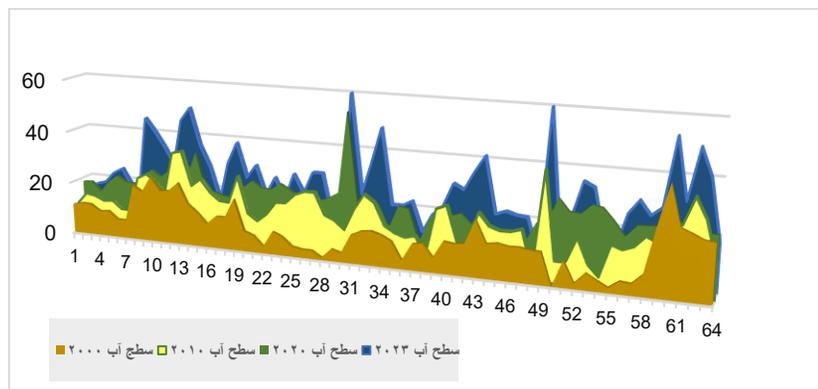


شکل (6). نقشه تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی ولسوالی حضرت سلطان سال (۲۰۲۰).

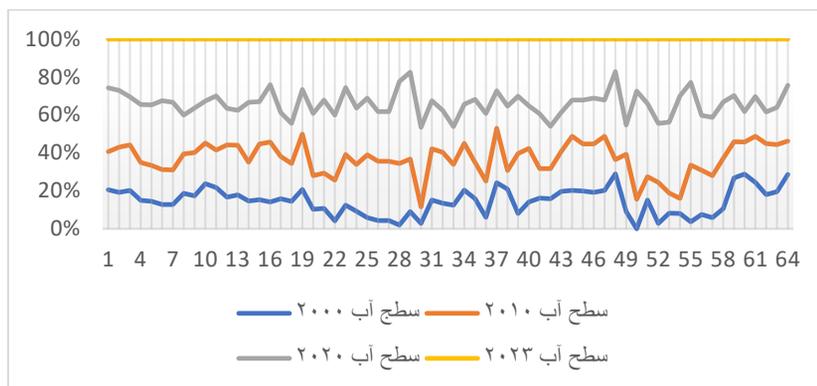


شکل (7). نقشه تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی ولسوالی حضرت سلطان سال (۲۰۲۳).

همچنان نمودار (۱) نیز تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی را به صورت واضح نشان می‌دهد که سطح آب‌های زیرزمینی در سال ۲۰۰۰ بین صفر تا ۳۵ متر کاهش نزولی را نشان می‌دهد در سال ۲۰۱۰ از ۳ تا ۳۷ متر کاهش سطح آب‌های زیرزمینی را نشان می‌دهد در سال ۲۰۲۰ از ۷ تا ۵۴ متر کاهش و در سال ۲۰۲۳ از ۸ تا ۶۰ متر کاهش نزولی سطح آب‌های زیرزمینی را نشان می‌دهد (نمودار ۱).



نمودار (۱). تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی ولسوالی حضرت سلطان از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳. نمودار (۲) تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی را از روی فیصدی نشان می‌دهد که این تغییرات در سال ۲۰۰۰ از صفر تا ۲۴٪ کاهش سطح آب زیرزمینی را نشان داده در سال ۲۰۱۰ از ۱۰٪ تا ۴۶٪ کاهش و در سال ۲۰۲۰ از ۴۵٪ تا ۸۳٪ کاهش نزولی را نشان می‌دهد که در سال ۲۰۲۳ همان ۱۰۰٪ را نشان می‌دهد (نمودار ۲).



نمودار (۲) تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی از روی فیصد

۴. بحث و مناقشه

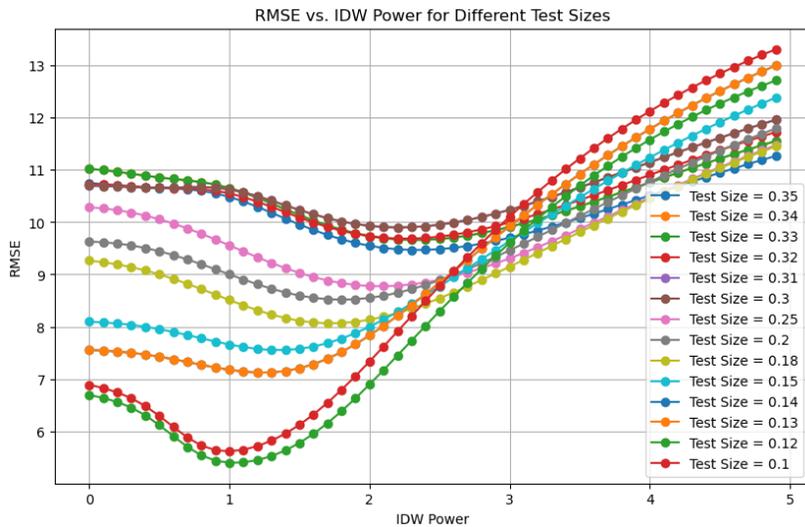
نتایج این تحقیق نشان داده که سطح آب‌های زیرزمینی در ولسوالی حضرت سلطان در بازه زمانی ۲۳ ساله با کاهش شدید و معناداری روبه‌رو شده است. که با استفاده از گردآوری داده‌های مشاهده‌ئی چاه‌های ولسوالی حضرت سلطان بامدل درون‌یابی IDW در محیط نرم افزار Arc GIS 10.8.2 نقشه مکانی آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را به خوبی به تصویر کشیده است. برای ارزیابی دقت این داده‌ها به دلیل مشکلات که در داده‌ها وجود داشت چندین روش ارزیابی دقت را امتحان کرده و در نهایت از ارزیابی دقت جذرمیانگین مربعات خطا (RMSE) در محیط نرم افزار پایتون استفاده شده که در (جدول ۲) نشان می‌دهد.

جدول (2) ارزیابی دقت داده‌های درون‌یابی شده به روش (IDW)

شماره	اندازه داده‌های تبیست	توان بهینه	جذرمیانگین مربعات خطا
1	٪۳۵	2.3	9.46
۲	٪۳۴	۲,۳	۹,۶۵
۳	٪۳۳	۲,۳	۹,۶۵
۴	٪۳۲	۲,۳	۹,۶۸
۵	٪۳۱	۲,۲	۹,۸۹
۶	٪۲۵	۲,۱	۸,۷۷
۷	٪۱۸	۱,۷	۸,۰۶۵
۸	٪۱۵	۱,۴	۷,۵۵
۹	٪۱۴	۱,۲	۷,۱۲
۱۰	٪۱۳	۱,۲	۷,۱۲
۱۱	٪۱۲	۱,۰	۵,۳۹
۱۲	٪۱	۱,۰	۵,۶۱

در این جدول نشان می‌دهد کاهش توان بهینه و اندازه داده‌های تبیست، دقت روش IDW را بهبود می‌دهد. با کاهش اندازه داده‌های تبیست از ۳۵٪ به ۱۲٪، مقدار RMSE کاهش یافته است. این نشان می‌دهد که کاهش تعداد داده‌های تبیست باعث افزایش دقت مدل شده است. در مقادیر توان بهینه بالاتر (2.3)، RMSE بیشتر است. اما با کاهش توان بهینه به

مقادیر کمتر (۱,۰ تا ۱,۲)، مقدار RMSE به طور قابل توجهی کاهش یافته است. توان بهینه ۱,۰ بهترین عملکرد را در این تحلیل داشته است. کمترین مقدار RMSE (5.39) در حالی به دست آمده که اندازه داده‌های تست ۱۲٪ و توان بهینه برابر با ۱,۰ بوده است (جدول (۲)).



شکل (8) ارزیابی دقت جذر میانگین مربعات خطا

این شکل نیز نشان میدهد که بهترین دقت برای این داده‌ها توان بهینه 1.0 و اندازه داده‌های تست 12% بوده است. این نتایج با سایر پژوهش‌های مشابه که از تکنیک‌های مشابه در مناطق خشک و نیمه خشک استفاده کرده‌اند، مطابقت دارد. به عنوان مثال، در مطالعاتی که با استفاده از مدل‌های درون‌یابی مشابه مانند IDW در مناطق مشابه صورت گرفته است، کاهش چشمگیر سطح آب زیرزمینی نیز گزارش شده و نتایج مشابهی از تغییرات مکانی سطح آب به دست آمده است. که از جمله (حسینی، ۲۰۲۴). تحقیق را به عنوان بررسی تغییرات مکانی و زمانی پارامتر کمی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش میان‌یابی وزن‌دهی فاصله معکوس مطالعه موردی دشت مشهد نیز آمده است که رسیدن به عمق آب زیرزمینی در این آبخوان برای دوره زمانی تعیین شده به طور متوسط در پنج سال اول ۰/۶ متر و در پنج سال دوم ۰/۳۲ متر افزایش یافته است که بخش‌های مرکزی، جنوب شرقی و شمال غربی بیشترین میزان برای رسیدن به سطح آب زیرزمینی را دارند. همچنین، هیدروگراف معرف آبخوان مشهد نشان می‌دهد در طی دوره ۱۱ ساله عمق آب زیرزمینی به طور متوسط سالانه ۰/۳۳ متر با کاهش مواجه شده است. که نشان دهنده برجستگی تحقیق حاضر می‌شود، استفاده از مدل درون‌یابی IDW در نرم‌افزار ArcGIS و به خصوص ارزیابی دقت آن با شاخص RMSE در محیط پایتون است. این ترکیب روش‌های تحلیلی باعث افزایش دقت نتایج شده و امکان تصویری دقیق‌تر از تغییرات سطح آب زیرزمینی را فراهم کرده است. همچنین، مقایسه نتایج با پژوهش‌های مشابه، اعتبار علمی تحقیق را تقویت می‌کند. با این حال، برخی پژوهش‌ها از مدل‌های درون‌یابی دیگر نظیر کریجینگ (Kriging) استفاده کرده‌اند که به دلیل لحاظ نکردن همبستگی مکانی دقیق‌تر، در برخی موارد نقشه‌های مکانی دقیق‌تری ارائه کرده‌اند با این حالی یکی از کاستی‌های این تحقیق، محدودیت در بررسی سایر روش‌های درون‌یابی مانند کریجینگ است. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های مختلف درون‌یابی می‌تواند بر دقت پیش‌بینی‌ها تأثیر بگذارد و ممکن است بررسی مدل‌های جایگزین، تصویری کامل‌تر از وضعیت سطح آب زیرزمینی در منطقه فراهم کند مانند نتایج (پیری et al., 2014). تحقیق را به عنوان بررسی روند تغییرات کمی سطح ایستابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از زمین‌آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی دشت سیرجان همچنین نشان داد که روش کریجینگ معمولی با تغییر ماگوسی در مقایسه با سایر روش‌های بکار رفته، برآورد عمق سطح ایستابی آب زیرزمینی در هر دو دوره آماری دقت بیشتری دارد. چینه‌بندی با روش کریجینگ معمولی نشان داد که سطح آب زیرزمینی در بیشتر نقاط دوره مطالعه نشست داشته است.

۵. نتیجه گیری

آب‌های زیرزمینی منبع اصلی تأمین نیازهای زراعی بخصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود؛ بنابراین داشتن یک زراعتی پایدار نیازمند مدیریت و برنامه‌ریزی دقیق در نحوه استفاده از منابع آب زیرزمینی است که این خوب مستلزم داشتن شناخت کافی در مورد تغییرات مکانی سطح آب‌های زیرزمینی در یک دوره زمانی مشخص است. آب‌های زیرزمینی در طی دهه‌های اخیر به دلیل برداشت بیش از تغذیه با کاهش روبه‌رو شده‌است.

در این تحقیق روند تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی در چهار دوره زمانی (۲۰۰۰-۲۰۱۰، ۲۰۱۰-۲۰۲۰، ۲۰۲۰-۲۰۲۳) در ولسوالی حضرت سلطان مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داده که بیشترین و کمترین تغییرات سطح آب زیرزمینی بین صفر تا ۶۰ متر بوده طبق نقشه‌های بدست آمده از روش درون یابی IDW تراز آب‌های زیرزمینی در تمام منطقه مورد مطالعه روند کاهشی داشته و نشست سطح آب زیرزمینی چشمگیر است. کمترین نشست آب زیرزمینی در دوره اول زمانی ۲۰۰۰ بیشتر مربوط به قسمت جنوب منطقه مورد مطالعه به صورت میانگین ۲۰ متر کاهش داشته، دوره زمانی چهارم ۲۰۲۳ که بیشترین کاهش سطح آب زیرزمینی در مناطق جنوب، جنوب شرق، شمال و شمال غرب مرکز منطقه مورد مطالعه بصورت میانگین ۳۵ متر روند نزولی داشته. درکل میتوان نتیجه گرفت که میانگین میزان کاهش آب‌های زیرزمینی ولسوالی حضرت سلطان در طول دوره آماری ۲۳ ساله کاهش نزولی ۲۷ متر را نشان داده که تغییرات سطح آب در تمام دوره زمانی کاهشی بوده.

مأخذ

- اکبرزاده، پیمان، & نیکو. (۲۰۲۲). بررسی اثر توسعه منطقه‌ای به شکل تغییر کاربری اراضی بر سطح ایستابی سفره آب زیرزمینی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دامغان). جغرافیا و پایداری محیط، ۱۲(۳)، ۲۱-۱.
- انصاری، س. م. (۱۳۹۴). *جغرافیای عمومی افغانستان*. انتشارات بین‌المللی سرور سعادت.
- پیری، حلیمه، & به امری. (۲۰۱۴). بررسی روند تغییرات کمی سطح ایستابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: دشت سیرجان). *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۵(۱)، ۲۹-۴۴.
- چلو، ق.، قوچانی، ا.، گلیان، گنجی، & کامران. (۲۰۲۱). ارزیابی میزان فرونشست زمین در ارتباط با آب‌های زیرزمینی به کمک داده ماهواره ای راداری سنتینل-۱ و الوس-۱ (منطقه مورد مطالعه: دشت مشهد). *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱۲(۳)، ۴۰-۶۱.
- حسینی، زهرا، س.، شهیدی، & حنفی. (۲۰۲۴). بررسی تغییرات مکانی و زمانی پارامتر کمی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش میانبایی وزندهی فاصله معکوس (مطالعه موردی: دشت مشهد). *آبخوان و قنات*، ۴(۲)، ۱۱۴-۱۰۳.

فر، س.، رحیمی، اصل، ل. ن.، خسروشاهی، & یزدانی. (۲۰۱۹). شناسایی عوامل مؤثر بر منابع آب زیرزمینی و پیش‌بینی سطح تراز و تغییرات آن در حوضه آبخیز جازموریان. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۶(۱)، ۱۴۳-۱۵۷.

نژاد، ش.، & دهقانی. (۲۰۲۱). بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی با استفاده از تخمین گر آماری (مطالعه موردی: دشت نورآباد). انسان و محیط زیست، ۱۹(۲)، ۳۴-۲۵.

Akter, A., & Ahmed, S. (2021). Modeling of groundwater level changes in an urban area. *Sustainable Water Resources Management*, 7(1). <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00480-x>

Alipour, A., Hashemi, S., Shokri, S. B. S., & Moravej, M. (2018). Spatio-temporal analysis of groundwater level in an arid area. *International Journal of Water*, 12(1), 66-81.

Brückner, F., Bahls, R., Alqadi, M., Lindenmaier, F., Hamdan, I., Alhiyari, M., & Atieh, A. a. (2021). Causes and consequences of long-term groundwater overabstraction in Jordan. *Hydrogeology Journal*, 29(8), 2789-2802. <https://doi.org/10.1007/s10040-021-0244-4>

Gleeson, T., Cuthbert, M., Ferguson, G., & Perrone, D. (2020). Global Groundwater Sustainability, Resources, and Systems in the Anthropocene. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 48(1), 431-463. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-071719-055251>

Glenn, S., Moreno-Earle, C., Wise, B., & Bedient, P. (2001). Modeling effects of groundwater overpumping on water levels near Tampa, Florida: Building a base for accurate water balances through the use of NEXRAD and GIS. Bridging the Gap: Meeting the World's Water and Environmental Resources Challenges,

Jia, X., Hou, D., Wang, L., O'Connor, D., & Luo, J. (2020). The development of groundwater research in the past 40 years: A burgeoning trend in groundwater depletion and sustainable management. *Journal of Hydrology*, 587. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125006>

Mojid, M. A., Parvez, M. F., Mainuddin, M., & Hodgson, G. (2019). Water Table Trend—A Sustainability Status of Groundwater Development in North-West Bangladesh. *Water*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/w11061182>

Russo, T. A., & Lall, U. (2017). Depletion and response of deep groundwater to climate-induced pumping variability. *Nature Geoscience*, 10(2), 105-108. <https://doi.org/10.1038/ngeo2883>