دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست ودوم، شماره‌ی ۷۸
تابستان ۱۴۰۱، صفحات ۷۱-۵۵

DOI:10.52547/GeoSpa.22.2.55

یاسر سبزواری[۱]
*حسین زینی‌وند[۲]

ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی جهت کاربردهای مختلف: مطالعه موردی دشت دلفان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۷

چکیده

رشد روزافزون جمعیت و افزاش برداشت آب از منابع زیرزمینی، علاوه بر مشکلات کمی، مشکلات کیفی این منابع را نیز به دنبال داشته است. در این پژوهش با استفاده از اطلاعات کلسیم، منیزیم، کلر، سدیم، سولفات، اسیدیته، هدایت الکتریکی، نسبت جذبی سدیم، سختی کل و کل نمک‌های محلول ۵ ساله‌ی (۱۳۹۵-۱۳۹۱) ۲۹ حلقه چاه عمیق در دشت دلفان به طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی جهت مصاف مختلف و شناسایی نواحی آسیب‌پذیر از نظر اجرای سامانه‌های قطره‌ای پرداخته شده است. نتایج نشان داد که بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس قسمت زیادی از منطقه جهت مصاف کشاورزی در وضعیت نامطلوب قرار دارد به طوری که ۸۲/۱٦ درصد در کلاس نامناسب و ۱۳/۰٤ درصد منطقه در کلاس قابل‌قبول قرار دارند و بهترین کیفیت را می‌توان در نقاط شرقی یافت. بر اساس طبقه‌بندی صورت گرفته برای مصارف شرب مطابق طبقه‌بندی شولر، بیش‌تر منطقه‌ی مورد مطالعه دارای کیفیت مناسبی است به طوری که ٤۸/۱٤ درصد در رده‌ی خوب و ۱۸/٤ درصد در رده‌ی قابل‌قبول قرار دارد که نامناسب‌ترین کیفیت در مرکز آبخوان قرار دارد. محاسبه شاخص LSI برای همه‌ی منابع دشت نشان داد که منابع دشت خورنده (LSI<۰) نبوده و میزان شاخص بزرگ‌تر و مساوی صفر بوده است که کیفیت را جهت مصارف

۱- گروه مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
*۲- گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (نویسنده مسئول). E-mail: zeinivand.h@lu.ac.ir

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]

صنعتی در دسته‌ی منابع رسوب‌گذار قرار می‌دهد. نواحی شرق و شمال منطقه دارای شاخص LSI بزرگ‌تر از ۲ است که منابع این مناطق را در رده‌ی رسوب‌گذار متوسط تا شدید قرار می‌دهد.

کلید واژه‌ها: آب زیرزمینی، دلفان، شولر، کیفیت آب، لانژیر، ویلکاکس.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین بحران‌هایی که زندگی بشر را تحت تأثیر قرار داده است، مسئله‌ی بحران آب است و یکی از چالش‌های این بحران سهم بالای مصرف آب در بخش‌های مختلف است (Schultz, 2017: 1). به دلیل این افزایش مصرف، حجم منابع آب زیرزمینی رو به کاهش است. کاهش حجم آب‌های زیرزمینی از یک‌سو و رشد منابع و فعالیت‌های انسانی از سوی دیگر موجب کاهش کیفیت منابع آب می‌گردد (Torabi and Dehghani, 1397: 2; Belkheiri et al., 2018: 2)؛ بنابراین برای مدیریت صحیح و کارآمد منابع آب و رشد اقتصادی که بر اساس آن بتوان به یک سطح از توسعه‌ی پایدار اقتصادی، اجتماعی دست یافت، مطالعه و بررسی کیفیت منابع برای کاربردهای مختلف اعم از کشاورزی و آبیاری، شرب و صنعت، ضروری است (Delbari and Poudineh, 1397: 2). فرآیند بررسی کیفیت منابع آب یک محدوده مطالعاتی، شامل نمونه‌برداری صحیح و منطقی، آزمایش فیزیکی و شیمیایی نمونه آب‌ها و پردازش داده‌های غلظتی آن‌ها است. این فرآیند امری هزینه‌بر و نیازمند دقت بالا است و تابع تعداد نمونه‌های آب برداشت‌شده از محل است. از آنجایی که معمولاً تعداد نمونه‌های برداشت شده از یک محدوده مطالعاتی کافی نیست، لذا سعی می‌شود تا با به‌کارگیری ابزارهای عددی و رایانه‌ای نسبت به شناخت و مدل نمودن کیفیت منابع آب در سطح گسترده اقدام گردد. از اواسط قرن بیستم شاخه‌ای از علم آمار بنام زمین‌آمار به عرصه علوم وارد شد که امکان پردازش داده‌ها و توصیف مکانی آن‌ها را فراهم آورد. در زمینه‌ی بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی تحقیقات زیادی انجام‌گرفته است. Abbasnia et al (2018) در تحقیقی به بررسی کیفیت آب زیرزمینی چابهار در سیستان و بلوچستان جهت اهداف آبیاری با کمک شاخص کیفیت آب آبیاری و پهنه‌بندی آن با GIS پرداختند. نتایج حاصله از بررسی چهل چاه نشان داد که ٤٠٪ نمونه‌های طبقه‌بندی شده به‌عنوان آب بسیار خوب و ٦٠٪ نمونه‌ها از طبقه آب خوب بودند. Belkhiri et al (2018) به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی و تناسب آن برای مصارف شرب و کشاورزی با استفاده از نقشه‌های خود–سازمان دهی پرداختند. نتایج نشان داد که کل نمونه‌ها به سه خوشه تقسیم شده که هدایت الکتریکی از خوشه ۱ تا خوشه ۳ به صورت افزایشی و نوع آب در خوشه‌های ۲ و ۳، لب‌شور بوده است. مطالعات نسبت یونی بیانگر نقش انحلال سنگ کربناته در افزایش سختی آب زیرزمینی به‌ویژه در خوشه ۱ است. Jafari et al (2018) به ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی در شهر ابهر ایران پرداختند. نتایج نشان داد که طبق استاندارد سازمان جهانی بهداشت و استاندارد ایران برای شرب، کیفیت کاهش یافته و مشکل اصلی در بخش کشاورزی، سختی کل آب برآورد شد. Jeihouni et al (2018) به

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]

ارزیابی بلندمدت بیلان آب زیرزمینی و نظارت بر کیفیت آب در شرق دشت‌های دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد که بیلان آب زیرزمینی در طول دوره مطالعه منفی است. علاوه بر این، کیفیت آبخوان‌ها در طی دوره مطالعه کاهش یافت که این کاهش، در غرب و جنوب غربی منطقه مطالعه شدید بود. Dev and Bali (2018) به بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی و مناسب بودن آن برای مصارف شرب و کشاورزی در منطقه کنگرا هیماکال پرادش، هند پرداختند. نتایج بیانگر این بود که اکثر متغیرهای کیفیت آب بیش ازحد تعیین شده توسط استانداردهای بین‌المللی و منطقه‌ای است. Pawar and Panaskar (2014) در بمبئی هندوستان با استفاده از شاخص کیفی آب زیرزمینی، به بررسی تغییرات زمانی و مکانی در کیفیت آب زیرزمینی پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که ۷۴٪ از نمونه‌های برداشتی در طبقه‌ی آب‌های غیرقابل‌شرب قرار دارند و برای شرب مناسب نیستند. Yousefi et al (2018) در مطالعه‌ای مقایسه و پهنه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی دشت بجنورد را طی دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی با استفاده از شاخص‌های SPI و RAI و PN انجام دادند و با استفاده از نمودارهای پایپر و ویلکاکس، کیفیت منابع آب زیرزمینی را مقایسه کردند. نتایج نشان داد که در دوره خشک‌سالی بیش از ۵۰ درصد چاه‌های نمونه در وضعیت بسیار شور و نامناسب برای کشاورزی قرار دارند. Torabipoodeh and Hamehzadeh (2018) در مطالعه‌ای به بررسی کیفیت شیمیایی آب و روند تغییرات پارامترهای کیفی در حوضه کشکان پرداختند و دیاگرام شولر را برای هر ایستگاه استخراج و تحلیل کردند و همچنین برای بررسی کیفیت آب از نظر کشاورزی از دیاگرام ویلکاکس استفاده نمودند. نتایج نشان داد که کیفیت آب در محدوده مورد مطالعه کاهش یافته است. Rafisharifabad et al (2017) به بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی جهت شرب و کشاورزی بر اساس دیاگرام شولر و ویلکاکس در دشت اردکان-یزد پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که به‌جز قسمت‌های شمال‌شرق، بقیه دشت جهت مصارف شرب از کیفیت آب خوب و قابل قبولی برخوردار است و با گذشت زمان نیز از کیفیت آب زیرزمینی کاسته شده است. در مورد مصارف کشاورزی نیز تقریباً به همین صورت بوده است و بیش‌ترین میزان آلودگی مربوط به قسمت‌های شمالی و شرقی بوده و وسعت آن نیز با گذشت زمان افزایش‌یافته است. Lalehzari and Ansarisamani (2014) در محدوده‌ی اندیمشک-دزفول جهت بررسی نواحی آسیب‌پذیر برای اجرای آبیاری قطره‌ای بر اساس کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از ArcGIS مطالعه‌ای را انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که ۹۰ درصد چاه‌ها دارای شاخص لانژیر مثبت هستند. Azareh et al (2014) کیفیت آب زیرزمینی را برای اهداف آبیاری با استفاده از نرم‌افزار GIS در جنوب‌غرب استان کرمان بررسی کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که ۴۸ درصد اراضی موردمطالعه برای کاربرد سیستم آبیاری قطره‌ای مناسب است. Barberis and Minelli (2005) به امکان‌سنجی اجرای روش‌های آبیاری در منطقه شویانگ چین پرداختند و نتایج نشان داد که ۶۲ درصد از وسعت اراضی دشت برای اجرای سامانه‌های قطره‌ای مناسب هستند. Ostvari et al (2011) به بررسی زمین‌آماری مؤلفه‌های مؤثر در طراحی سیستم آبیاری قطره‌ای پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد در بخش شمالی دشت لردگان خطر گرفتگی قطره‌چکان بیشتر و در بخش‌های شرقی و غربی کیفیت آب برای آبیاری قطره‌ای مناسب است. Ghaemizadeh and

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]

Akhavan (2014) به امکان‌سنجی اجرای روش‌های آبیاری تحت‌فشار با توجه به کیفیت آب زیرزمینی دشت‌های همدان پرداختند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین محدودیت ازنظر کیفیت آب در دشت‌های شمالی و مرکزی استان وجود دارد. Ejalali et al (2016) در پژوهشی به ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و کاربرد در سیستم آبیاری قطره‌ای در اراضی ساحلی مازندران پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که کیفیت بیش‌تر نمونه‌ها برای کشاورزی در کلاس C_3S_1 قرار دارد، ازلحاظ خطر گرفتگی قطره‌چکان به لحاظ pH در حد متوسط و زیاد و به لحاظ TDS در حد متوسط قرار دارد. مقدار LSI نیز در بیش‌تر نواحی مثبت بوده که نشان‌دهنده تمایل آب به تشکیل رسوبات کربناته است. Azad et al (2018) در پژوهشی با موضوع مکان‌یابی مناطق مستعد اجرای سیستم‌های آبیاری سطحی و تحت‌فشار با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی در دشت میاندوآب به بررسی وضعیت دشت برای اجرای روش‌های آبیاری پرداختند. نتایج نشان داد که روش‌های آبیاری در ۳۲/۳۲، ۱۹/۰۲ و ۵۱/۸۹ درصد از محدوده دشت دارای محدودیت جدی و خیلی زیاد جهت اجرای سیستم آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای می‌باشند.

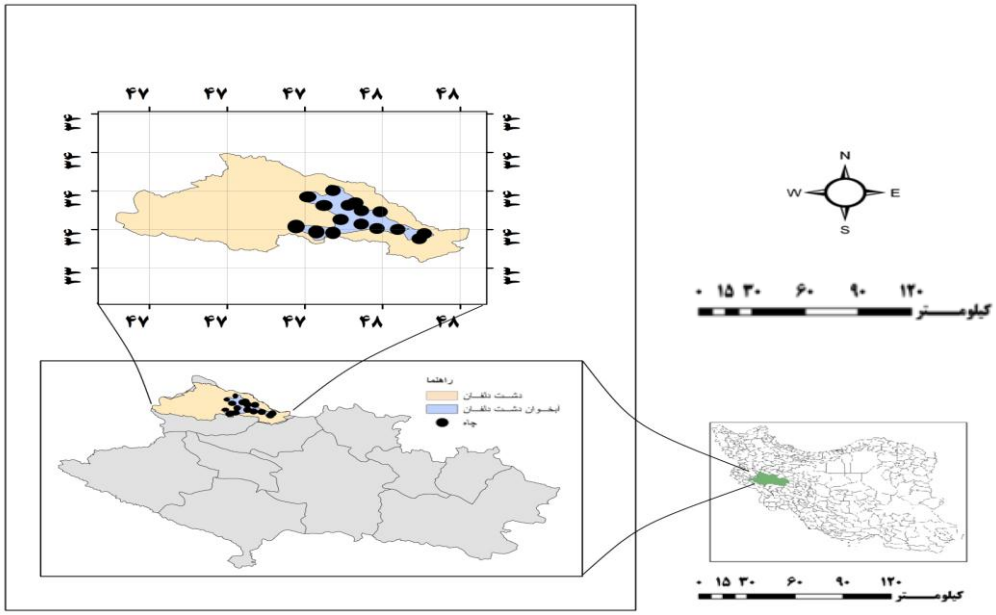
با مطالعه‌ی پژوهش‌های پیشین می‌توان به اهمیت بررسی تغییرات و طبقه‌بندی کیفیت منابع آب زیرزمینی برای هر منطقه پی برد. همچنین بر اساس مطالعات انجام شده، کیفیت آب، مهم‌ترین عامل در شکست پروژه‌های آبیاری قطره‌ای است که استفاده از این سامانه‌ها موجب افزایش میزان بهره‌وری مصرف آب شده و نقش مهمی در مقابله با بحران آب دارند. از این‌رو بررسی کیفیت منابع آب برای اجرای این سامانه‌ها الزامی است. با توجه به این‌که تاکنون پژوهشی در رابطه با محدودیت‌های کیفیت منابع آب برای اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در سطح استان لرستان صورت نگرفته است، بنابراین در پژوهش حاضر توزیع مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی مؤثر در گرفتگی قطره‌چکان‌ها و بررسی خطر آسیب‌پذیری سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نسبت به آب مصرفی بر اساس شاخص اشباع لانژیر (LSI) و با استفاده از روش‌های درون‌یابی در دشت دلفان مورد بررسی قرار می‌گیرد و همچنین با استفاده از طبقه‌بندی شولر و ویلکاکس کیفیت آب منطقه از نظر مصارف شرب و کشاورزی طبقه‌بندی می‌شود.

منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت دلفان در موقعیت جغرافیایی ٤٧ درجه و ٢٧ دقیقه تا ٤٨ درجه و ١٨ دقیقه طول جغرافیایی شرقی نصف‌النهار گرینویچ و ٣٣ درجه و ٥٠ دقیقه تا ٣٤ درجه و ١٨ دقیقه عرض جغرافیایی شمالی واقع شده است (شکل ١). این منطقه با وسعتی برابر ١٨٩٢ کیلومترمربع در ارتفاع ١٨٥٦ متری از سطح دریا و در قسمت شمال غرب استان لرستان واقع گردیده است. حدود ١٧٢٩ کیلومترمربع از مساحت این منطقه به ارتفاعات و بقیه به پهنه‌های آبرفتی تعلق دارد که بیانگر کوهستانی بودن این محدوده است. آبخوان این دشت به وسعت ٢٣٩ کیلومترمربع در پژوهش حاضر موردبررسی قرارگرفته است. منطقه‌ی موردمطالعه دارای آب‌وهوای مدیترانه‌ای با زمستان‌های نسبتاً مرطوب و سرد و تابستان‌های گرم و خشک است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی آبخوان و چاه‌های دشت دلفان در استان لرستان و کشور

Figure 1: Geographic location of delfan plain aquifer and wells in lorestan province and country

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به‌منظور بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی پارامترهای کیفی منابع آب و طبقه‌بندی آن‌ها جهت مصارف کشاورزی و شرب و همچنین شناسایی مناطق آسیب‌پذیر ازنظر اجرای سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با استفاده از شاخص اشباع لانژیر (LSI[3]) در منطقه‌ی دلفان از داده‌های ۵ ساله‌ی (۱۳۹۱-۱۳۹۵) ۲۹ حلقه چاه عمیق در این منطقه که توسط شرکت آب منطقه‌ای لرستان برداشت شده بود استفاده گردید. پارامترهای مورد استفاده در این بررسی شامل: کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، کلر (Cl)، سدیم (Na)، سولفات (SO4)، اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (شوری) (EC[4])، نسبت جذبی سدیم (SAR[5])، سختی کل (TH[6]) و کل نمک‌های محلول (TDS[7]) است.

روش‌های پهنه‌بندی

کریجینگ: یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است و به‌عنوان بهترین تخمین گر خطی نااریب شناخته می‌شود (Merati et al., 2017: 6). شرط استفاده از روش کریجینگ آن است که متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد. در غیر این صورت باید از روش کریجینگ غیرخطی استفاده و یا به نحوی توزیع متغیر نرمال گردد. رابطه کلی کریجینگ به‌صورت رابطه (۱) است.

3- Langelier Saturation Index
4- Electrical Conductivity
5- Sodium Attraction Ratio
6- Total Hardness
7- Total Dissolved Solid

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]

رابطه (۱)

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i)$$

که در آن، Z*(Xi): مقدار تخمینی متغیر در موقعیت Xi، λi: وزن مربوط به نمونه iام، Z (Xi): مقدار متغیر i ام و n نیز تعداد مشاهدات است.

روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW[8]): این روش بر این اصل استوار است که نقاط بافاصله کم‌تر از هم نسبت به نقاط دارای فاصله بیش‌تر، دارای مقدار متغیر نزدیک به هم می‌باشند. در این روش برای هریک از نقاط اندازه‌گیری، وزنی بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر گرفته می‌شود. سپس این وزن‌ها توسط توان وزن دهی کنترل می‌شود، به‌طوری‌که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد تخمین را کاهش داده و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به‌طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کنند. البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آن‌ها را در نظر می‌گیرد، یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه تخمین هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند (Merati et al., 2017: 6). در این روش مقدار فاکتور وزنی با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۲)

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-a}}{\sum_{i=1}^{n} D_i^{-a}}$$

که در رابطه بالا؛ λ_i: وزن ایستگاه i ام، D_i: فاصله ایستگاه i ام تا نقطه مجهول و α: توان وزن‌دهی هستند که در این پژوهش تا توان سوم استفاده شد.

روش تخمین گر موضعی (GPI[9]): این روش یک مدل رگرسیونی چندمتغیره بر اساس تمامی داده‌ها است و یک سطح تفهیمی ایجاد و مدلی را بر نقاط نمونه‌برداری برازش می‌کند که می‌تواند یک سطح چندضلعی با توان یک، دو و یا چهار باشد. بهترین کاربرد این روش در سطوح با تغییرات ملایم و تدریجی است (Einloo et al., 2016: 8).

روش تخمین‌گر عام (LPI[10]): این روش یک دامنه‌ی کوتاه از تغییرات در داده‌های ورودی را در نظر می‌گیرد و با فواصل همسایگی در پنجره مشترک حساس است. بدین گونه که پنجره حرکت می‌کند و مقادیر سطحی در مرکز هر پنجره در هر نقطه به‌وسیله‌ی برازش یک چندضلعی تخمین زده می‌شود. این روش انعطاف‌پذیری بالاتری نسبت به روش تخمین گر موضعی دارد. این دو روش هیچ فرضی برای داده‌ها نیاز ندارند.

روش توابع پایه شعاعی (RBF[11]): تابع شعاعی تابعی به‌صورت Φj(X)=Φ(X-Xj) است که وابسته به فاصله بین $x=R^d$ و نقطه ثابت $Xj\varepsilon R^d$ است. در این تابع Φ تابعی پیوسته و وابسته به هر زیرمجموعه $\varepsilon\Omega R^d$ است. R

8- Inverse Distance Weighting
9- Global Polynomial Interpolation
10- Local Polynomial Interpolation
11- Radial Basis Function

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]

نشان‌دهنده‌ی فاصله‌ی اقلیدسی بین هر جفت نقطه در مجموعه‌ی Ω است. این روش دارای ۵ تابع کرنل: Regularized Spline Completely، Spline With Tension، Multiquadratic، Inverse Multiquadratic و Thin Plate Spline است (Toranjian and Maroofi, 2017).

ارزیابی دقت

برای بررسی دقت هر روش و یا انتخاب پارامتر مناسب در آن‌ها نیاز به ارزیابی وجود دارد. در این زمینه روش‌های مختلفی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها روش اعتبارسنجی حذفی (Cross-Validation) یا تقاطعی است. در این روش، مقایسه‌ای بین نقاط اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی با استفاده از روش‌های مشخص صورت می‌گیرد. به این ترتیب که یک نقطه حذف شده و با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درون‌یابی مورد نظر، برای این نقطه تخمین انجام می‌گیرد. سپس این نقطه به محل خود برگردانده می‌شود و نقطه بعدی حذف می‌شود و به همین ترتیب برای تمام نقاط برآورد صورت می‌گیرد، به‌طوری که در پایان دو ستون شامل مقادیر مشاهده‌ای و مقادیر برآورد شده وجود دارد که می‌توان به مقایسه آن‌ها پرداخت. برای ارزیابی میزان دقت و خطا میان مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی معیارهای مختلفی نظیر مجموع مربعات باقی‌مانده، میانگین مربعات باقی‌مانده، استفاده از روش‌های مقایسه آماری نظیر آنالیز واریانس، کای اسکوار وجود دارد. در این پژوهش از شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) جهت تعیین روش مناسب استفاده گردید که به‌عنوان شاخصی مهم جهت نشان دادن دقت تحلیل مکانی در GIS شناخته می‌شود (Merati et al., 2017: 7) و از طریق رابطه (۳) و با استفاده از داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده می‌آید:

رابطه (۳)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}((x_i) - (\overline{x}))^2}{n}}$$

در این روش در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف‌شده و با استفاده از بقیه‌ی نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای کلیه‌ی نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌گردد و در پایان به ازای هر نقطه‌ی مشاهده‌ای یک نقطه برآورد وجود خواهد داشت. از بین روش‌های مختلف، روشی که دارای کم‌ترین میزان شاخص RMSE است به‌عنوان روش مناسب انتخاب می‌گردد.

طبقه‌بندی ازنظر مصارف شرب

دیاگرام شولر یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها جهت بررسی کیفیت آب ازنظر شرب است. دیاگرام شولر، یک دیاگرام نیمه لگاریتمی است که غلظت یون‌های اصلی را برحسب میلی‌اکی‌والان گرم در لیتر نشان می‌دهد. در این نمودار بر اساس پارامترهای شیمیایی سدیم، کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم و pH آب‌ها ازنظر مصارف آشامیدنی تقسیم می‌شوند (جدول ۱).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]

جدول ۱- طبقه‌بندی آب شرب طبق دیاگرام شولر (meq/lit)

Table 1- Classification of drinking water according to Schuller diagram (meq / lit)

طبقه‌بندی آب	Ph	Ca	Mg	Na	So4	Cl
قابلیت شرب (خوب)	<۷/۲	<۲۰	<۴/۵	<۶۹	<۳۷	<۲۸
قابلیت شرب (قابل‌قبول)	۷/۸	۲۵	۶	۷۳	۴۸	۳۵
نامناسب	۹	۸۵	۳۷	۱۰۴	۵۷	۵۴
بد	۱۰	۱۳۰	۷۲	۷۳۰	۶۵۰	۵۵۰

طبقه‌بندی آب از نظر مصارف کشاورزی

برای تعیین کیفیت آب کشاورزی از طبقه‌بندی ویلکاکس که یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها در این زمینه است استفاده‌شده است. در این طبقه‌بندی آب کشاورزی بر اساس (EC) و (SAR) به چهار گروه باکیفیت خوب، قابل‌قبول، نامناسب و بد تقسیم می‌شوند (جدول ۲).

جدول ۲- طبقه‌بندی آب کشاورزی طبق دیاگرام ویلکاکس

Table 2- Agricultural water classification by Wilcox diagram

کیفیت آب	EC (µmhu/cm)	رده	SAR	رده
عالی	EC< ۲۵۰	C_1	SAR< ۱۰	S_1
خوب	۲۵۰< EC< ۷۵۰	C_2	۱۰ <SAR< ۱۸	S_2
متوسط	۷۵۰< EC< ۲۲۵۰	C_3	۱۸ <SAR< ۲۶	S_3
نامناسب	EC< ۲۲۵۰	C_4	SAR> ۲۶	S_4

طبقه‌بندی از نظر مصارف صنعتی

جهت تعیین کیفیت آب برای مصارف صنعتی، از شاخص اشباع لانژیر استفاده می‌شود (Alizadeh, 2002: 420). این شاخص طبق رابطه (٤) محاسبه می‌شود.

رابطه (٤) $LSI= pH-pH_c$

که pH میزان قلیائی‌ات آب و pH_c از رابطه‌ی (۵) قابل‌محاسبه است.

رابطه (۵) $$pHc=(pk_2 \quad pk_{so})+p(Ca+Mg)+p(CO_3+HCO_3)$$

قسمت اول معادله مربوط به ثابت یونیزاسیون و ضریب حلالیت ترکیبات کربنات و وابسته به مجموع غلظت‌های کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم است. پارامترهای این معادله بر اساس مجموع غلظت کاتیون‌های مختلف آب برحسب میلی‌اکی‌والانت در لیتر از طریق جداول (Alizadeh, 2002: 420) و یا به کمک نرم‌افزارهای کیفیت منابع آب به‌دست می‌آید. چنانچه LSI>0 باشد آب تمایل به پوسته گذاری دارد و اگر LSI<0 باشد آب خورنده بوده و اگر LSI=0 باشد آب حالت خنثی دارد. در جدول (۳) به تفسیر مقادیر مختلف LSI پرداخته‌شده است. لازم به ذکر

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]

است که این شاخص، مهم‌ترین شاخص ارزیابی کیفیت آب برای پیاده‌سازی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای است زیرا در سیستم‌های با سرعت کم آب کاربرد دارد (Alizadeh, 2002: 420). لذا در این پژوهش نقشه‌ی توزیع مکانی این شاخص برای شناسایی نواحی آسیب‌پذیر دشت دلفان برای اجرای این سامانه‌ها، تهیه گردید.

جدول ۳- تفسیر شاخص اشباع لانژیر

Table 3- Interpretation of langier saturation index

مقدار شاخص	تفسیر	مقدار شاخص	تفسیر
-۵	خورندگی شدید	۰	متعادل
-٤	خورندگی متوسط	۰/۵	رسوب‌گذاری ضعیف
-۳	خورندگی متوسط	۱	رسوب‌گذاری ملایم
-۲	خورندگی متوسط	۲	رسوب‌گذاری ملایم
-۱	خورندگی کم	۳	رسوب‌گذاری متوسط
-۰/۵	خورندگی کم	٤	رسوب‌گذاری شدید

بحث و یافته‌ها

بررسی شاخص RMSE روش‌های مختلف درون‌یابی نشان داد که کریجینگ معمولی روش مناسب برای پهنه‌بندی SAR، Na، Cl، SO4 و شاخص LSI، روش RBF روش مناسب برای پهنه‌بندی EC، TDS و Mg، روش IDW با توان یک روش مناسب جهت پهنه‌بندی TH و Ca و IDW با توان دو روش مناسب برای پهنه‌بندی pH است. اطلاعات این بررسی در جدول (٤) آورده شده است.

جدول ٤- مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی بر اساس شاخص RMSE

Table 4- Comparison of different interpolation methods based on RMSE index

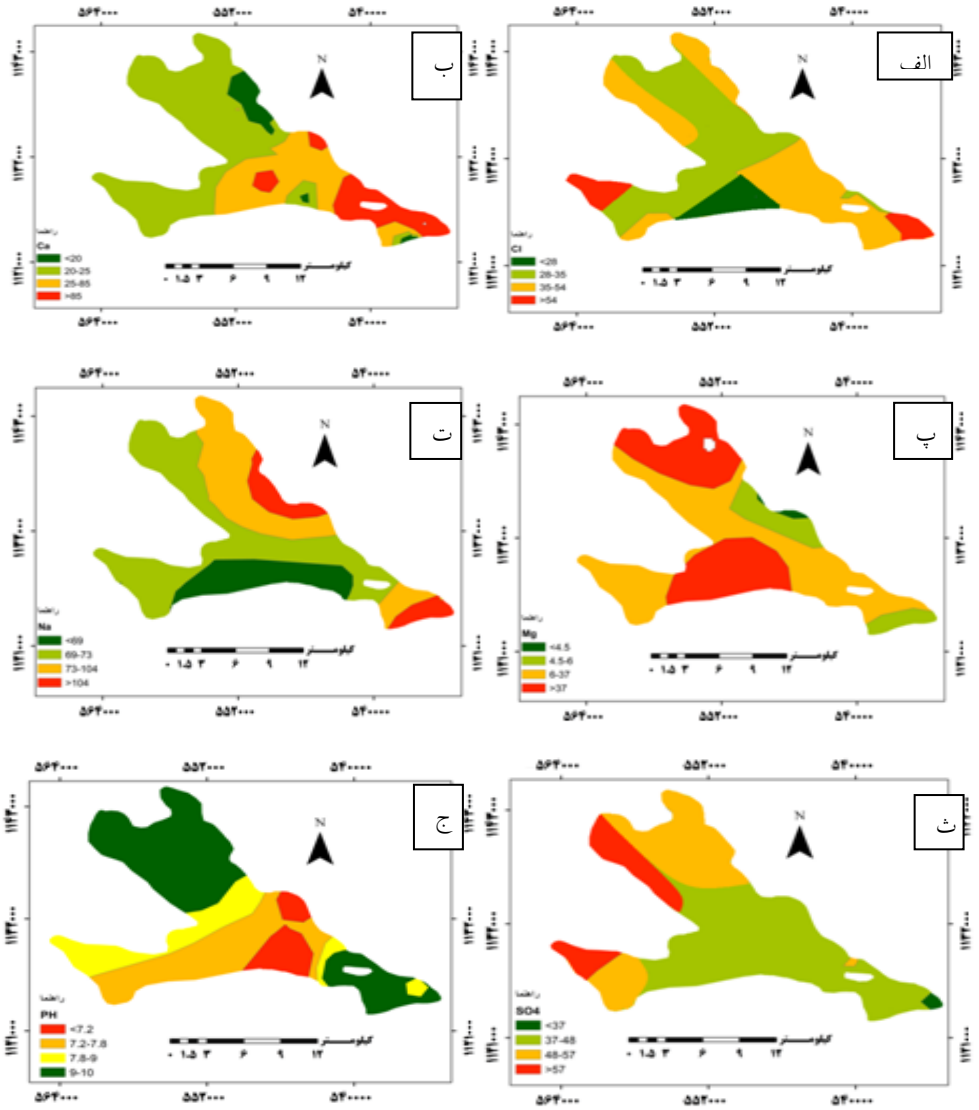
روش درون‌یابی	EC	SAR	Na	TDS	TH	Mg	Ca	PH	Cl	SO4	LSI
کریجینگ معمولی	۵۳/۳۱	۰/۰۳	۰/۰٤۷	۳٤/۲٤	۲۳/۸٤	۰/۲۲	۰/۳٦	۰/۱۰۷	۰/۰۸۸	۰/۰٤۹	۰/۲۸۲
IDW توان ۱	۵۲/۷۵	۰/۰٤	۰/۰۵۹	۳۳/۸٦	۲۳/٤۳	۰/۲۲	۰/۳۵	۰/۱۰۵	۰/۱۰٤	۰/۰۵۷	۰/۲۹۱
IDW توان ۲	۵۹/۹۵	۰/۰۳٦	۰/۰۵٤	۳۸/۵۱	۲۷	۰/۲۱	۰/٤۳	۰/۱۰۳	۰/۱۲۲	۰/۰٦۳	۰/۳۰۱
IDW توان ۳	٦۳/٤۷	۰/۰۳۲	۰/۰٤۹	٤۰/۷۸	۲۸/۵۳	۰/۱۹	۰/٤۷	۰/۱۰٤	۰/۱۳۵	۰/۰٦۵	۰/۳۰۵
GPI	٦٦/۳۵	۰/۰۳۹	۰/۰٦۵	٤۲/۷	۲۹/٤۳	۰/۳۱	۰/٤۲	۰/۱۱٤	۰/۱۱۵	۰/۰٦	۰/۳۳۷
LPI	٦۰/۷۱	۰/۰۳۸	۰/۰۵۷	۳۹/۰۱	۲۷/۷۸	۰/۱۷	۰/٤٤	۰/۱۱۲	۰/۱۱۹	۰/۰٦٦	۰/۳٦۵
RBF	۵۲/٦٤	۰/۰٤۱	۰/۰٦	۳۳/۸۱	۲۳/۵٦	۰/۱٤	۰/۳٦	۰/۱۰٦	۰/۱۰۳	۰/۰۵٦	۰/۲۸۹

بعد از انتخاب روش مناسب درون‌یابی بر اساس شاخص RMSE، برای همه‌ی پارامترهای کیفی نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس طبقه‌بندی‌های صورت گرفته تهیه گردید. به‌منظور طبقه‌بندی منابع آب منطقه برای مصارف شرب مطابق طبقه‌بندی شولر پارامترهای pH، کاتیون‌های Ca، Mg، Na، آنیون‌های Cl و SO4 پهنه‌بندی گردیدند. نقشه‌های شکل

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]

(۲) نشان‌دهنده‌ی تغییرات مکانی این پارامترها است. با توجه به این نقشه‌ها مشاهده می‌شود که: میزان منیزیم در قسمت اعظم آبخوان دارای مقدار بالاتر از حد قابل‌قبول بوده که بیش‌ترین آلودگی در نقاطی از شمال و جنوب و کم‌ترین آن، در شمال‌شرق مشاهده می‌شود. میزان کلسیم به‌جز در نواحی شرقی و مرکزی در تمامی نقاط دارای غلظت کمتر از ۲۵ میلی‌اکی‌والانت در لیتر است که بیش‌ترین میزان آن در شرق آبخوان است. بیش‌ترین آلودگی ازنظر کلر در شرق و از نظر منیزیم در بیش‌تر نواحی وجود دارد. از نظر غلظت سولفات در محدوده مطالعاتی، در نواحی غربی و شمال‌غربی در رده‌ی نامناسب برای مصارف شرب قرار دارد. میزان pH محدوده در بیش‌تر مناطق در طبقه‌ی خوب و قابل قبول قرار دارد که میزان آن در نواحی مرکزی افزایش می‌یابد.



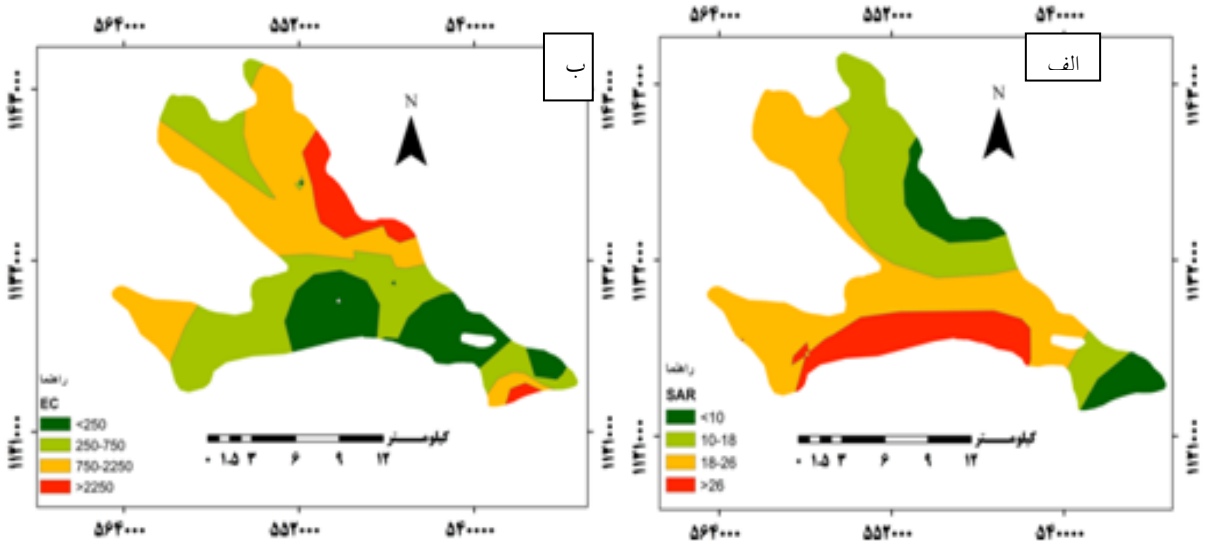
شکل ۲: نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت منابع آب جهت شرب بر اساس طبقه‌بندی شولر

Figure 2: Zoning maps of drinking water quality by Schuller classification

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]

شکل (۳) شامل نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای کیفی SAR و EC است که بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس برای مصارف کشاورزی مورد بررسی قرار می‌گیرند. با توجه به این نقشه‌ها مشاهده می‌شود که بیش‌ترین غلظت SAR در جنوب آبخوان وجود دارد. میزان این پارامتر در قسمت‌های شمال و شرق در وضعیت خوب و قابل‌قبول قرار دارد. همچنین با توجه به نقشه‌ی هم‌ارزش EC، غلظت این مشخصه در نقاطی از مرکز و شرق کم‌ترین است (کم‌تر از ۲۵۰ میکرو موس بر سانتی‌متر).



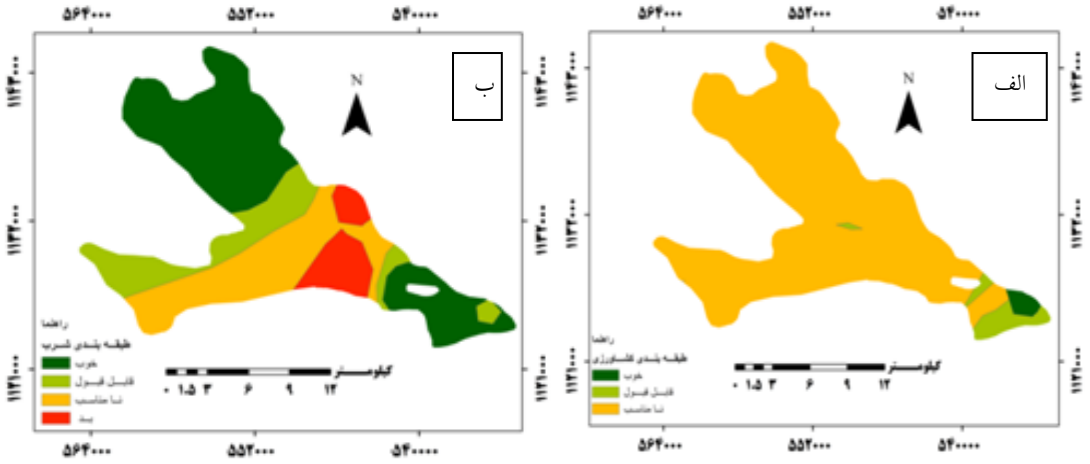
شکل ۳: نقشه‌های پهنه‌بندی کیفیت منابع آب جهت کشاورزی بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس

Figure 3: Water resource quality zoning maps for agriculture by Wilcox classification

در ادامه با تلفیق لایه‌های Ca، Mg، Cl، Na، SO4 و pH وضعیت کیفی آب منطقه بر اساس طبقه‌بندی شولر برای کل منطقه ازنظر مصارف شرب (شکل ٤- ب) و با تلفیق SAR و EC وضعیت کیفی جهت مصارف کشاورزی بر اساس طبقه‌بندی ویلکاکس (شکل ٤- الف) بررسی شد. جدول (۵) در بردارنده‌ی مساحت و درصد مربوط به هرکدام از طبقه‌های خوب، قابل‌قبول، نامناسب و بد است. با توجه به بررسی صورت گرفته مشخص شد که بر اساس طبقه-بندی ویلکاکس قسمت زیادی از منطقه جهت مصاف کشاورزی در وضعیت نامطلوب قرار دارد به‌طوری که ۸۲/۱٦ درصد در کلاس نامناسب و ۱۳/۰٤ درصد منطقه در کلاس قابل‌قبول قرار دارند و بهترین کیفیت را می‌توان در نقاط شرقی یافت. بر اساس طبقه‌بندی صورت گرفته برای مصارف شرب مطابق طبقه‌بندی شولر، بیش‌تر منطقه‌ی مورد مطالعه دارای کیفیت مناسبی است به‌طوری که ٤۸/۱٤ درصد در رده‌ی خوب و ۱۸/٤ درصد در رده‌ی قابل‌قبول قرار دارد که بدترین کیفیت در مرکز آبخوان قرار دارد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]



شکل ٤: الف- طبقه‌بندی جهت مصارف کشاورزی، ب- طبقه‌بندی جهت مصارف شرب

Figure 4: A- Classification for agricultural use B- Classification for consumption purposes

جدول ٥- مساحت رده‌های مختلف بر اساس ویلکاکس و شولر

Table 5- Area of different categories based on Wilcox and Schuler

سال	وضعیت آب	درصد	مساحت (کیلومترمربع)
بر اساس ویلکاکس	کیفیت خوب	٤/٨	۱۱/٤۷۲
	کیفیت قابل‌قبول	۱۳/۰٤	۳۱/۱٦
	کیفیت نامناسب	۸۲/۱٦	۱۹٦/۳٦
	کیفیت بد	۰	۰
بر اساس شولر	کیفیت خوب	٤۸/۱٤	۱۱٥/۰٥
	کیفیت قابل‌قبول	۱۸/٤	٤۳/۹۷
	کیفیت نامناسب	۲۳/۸۷	٥۷/۰٥
	کیفیت بد	۹/٥۹	۲۲/۹۲

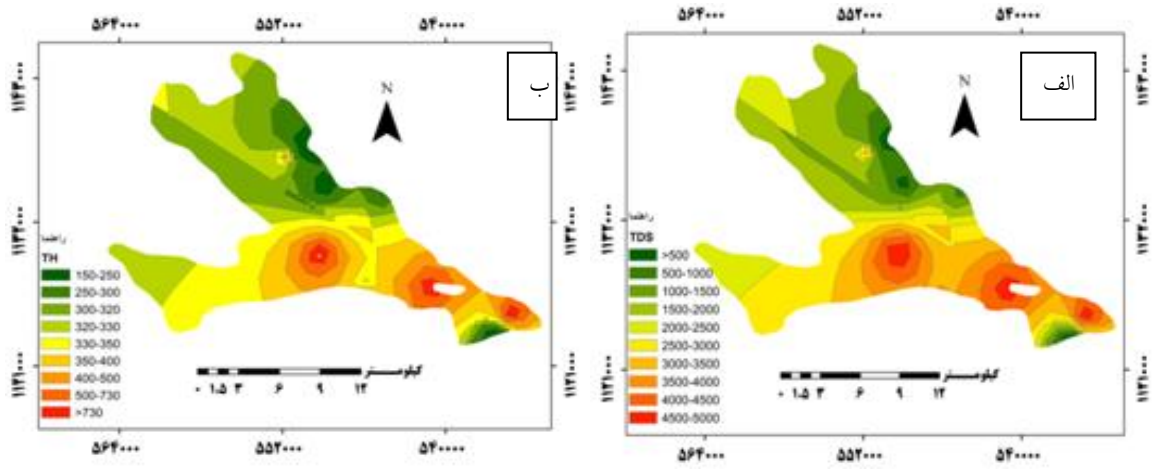
پارامترهای TDS و TH از عوامل قابل‌بررسی در زمینه‌ی رسوب‌گذاری و گرفتگی قطره‌چکان‌ها می‌باشند، لذا در این پژوهش برای منطقه‌ی دلفان مورد بررسی قرار گرفتند. مقادیر TDS کم‌تر از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر مناسب، ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متوسط و بالاتر از آن خطرساز است (Alizadeh, 2002: 420). سختی آب پارامتری است که معمولاً به‌صورت مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم برحسب میلی‌گرم در لیتر به‌دست می‌آید؛ بنابراین، اگر غلظت این کاتیون‌ها برحسب میلی‌گرم در لیتر باشد TH برحسب رابطه (٦) محاسبه می‌شود.

رابطه (٦) $$TH = 2/5 \times Ca^{2+} + 4/1 \times Mg^{2+}$$

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]

چنانچه آبی دارای شاخص TH بالاتر از ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد، در طبقه‌ی آب کاملاً سخت قرارگرفته و با افزایش دما و قلیائی‌ات خطر رسوب املاح در آب را افزایش می‌دهند (Alizadeh, 2002: 420). شکل (۵ الف و ب) به‌ترتیب نقشه‌ی پهنه‌بندی TDS و TH را نشان می‌دهد. با توجه به این نقشه‌ها پراکنش این دو مشخصه‌ی کیفی در سطح آبخوان مشابه است. میزان TDS در نواحی شمالی و جنوب‌شرقی در وضعیت خوب قرار دارند و در قسمت‌های جنوب تا شرق آبخوان به دلیل غلظت بالای ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر خطر رسوب‌گذاری را به وجود می‌آورد. وضعیت پراکنش میزان TH نیز تقریباً مانند TDS است به‌طوری‌که در جنوب و شرق آبخوان، میزان TH افزایش می‌یابد.



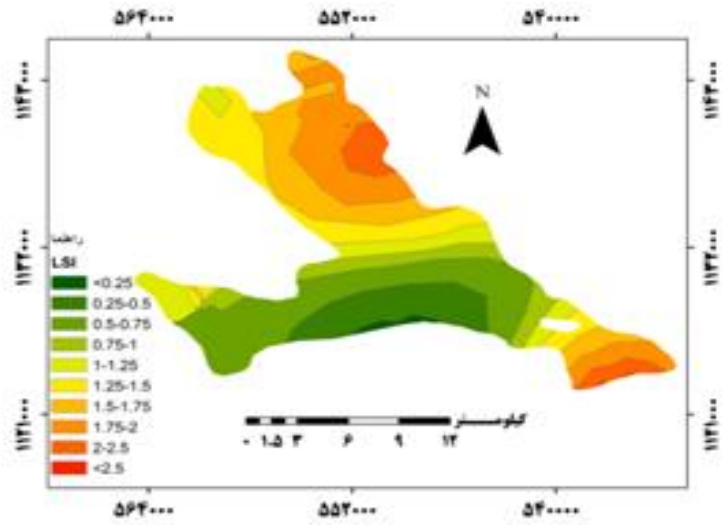
شکل ۵: الف- نقشه‌ی پهنه‌بندی TDS، ب- نقشه‌ی پهنه‌بندی TH

Figure 5: A-TDS zoning map, B- TH zoning map

رسوب‌گذاری در لوله‌های انتقال آب زمانی صورت می‌گیرد که یون‌های فلزی دو ظرفیتی موجود در آب یا عوامل سختی موجود در آب با سایر یون‌های محلول در آب ترکیب شده و در جدار داخلی لوله‌ها رسوب می‌کنند. عمده‌ترین شکل رسوبات تشکیل‌شده شامل کربنات کلسیم، کربنات منیزیم، سولفات کلسیم و کلرید منیزیم است. شاخص اشباع لانژیر، مهم‌ترین شاخص در بررسی کیفیت منابع آب به‌منظور گرفتگی قطره‌چکان‌ها در سیستم‌های قطره‌ای است. محاسبه شاخص LSI برای همه‌ی منابع دشت نشان داد که منابع دشت خورنده (LSI<0) نبوده و میزان شاخص بزرگ‌تر و مساوی صفر بوده است که کیفیت را جهت مصارف صنعتی در دسته‌ی منابع رسوب‌گذار قرار می‌دهد. شکل (٦) نشان‌دهنده‌ی نقشه تغییرات مکانی شاخص LSI محاسبه‌شده برای منطقه است. با توجه به این نقشه نواحی شرق و شمال منطقه دارای شاخص LSI بزرگ‌تر از ۲ است که منابع این مناطق را در رده‌ی رسوب‌گذار متوسط تا شدید قرار می‌دهد. نواحی جنوب و غرب دارای شاخص کم‌تر از ۱/۵ هستند که در رده‌ی متعادل تا رسوب‌گذار ملایم قرار می‌گیرند و مشکلی از نظر مصارف صنعتی، اجرای سامانه‌های قطره‌ای و گرفتگی قطره‌چکان‌ها وجود ندارد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]



شکل ٦: نقشه‌ی تغییرات مکانی شاخص LSI

Figure 6: Spatial variability map of the LSI index

تلفیق لایه‌های کیفی آبخوان دشت برای مصارف کشاورزی نشان داد ٤/٨ درصد دشت در رده‌ی خوب قرار دارد و ٨٢/١٦ درصد دشت در رده نامناسب قرار دارد لیکن نقاط با کیفیت بد یافت نشد. لازم به ذکر است منظور از کیفیت نامناسب کشاورزی، عناصر سمی نیست بلکه تنها نمک و شوری مدنظر است، چون ویلکاکس فقط شوری را مورد بررسی قرار می‌دهد. آب‌های شور هم توسط تصفیه کننده‌های خانگی به راحتی قابل تصفیه هستند. ازنظر مصارف شرب ٤٨/١٤ درصد از وسعت آبخوان دارای کیفیت خوب و ٩/٦ درصد دارای کیفیت بد است. زمانی که بیان می‌شود که کیفیت آب شرب ضعیف است به آن معناست که برای تمام انسان‌ها کیفیت آب شرب ضعیف است. در حالی که مخاطب این بیان برای کشاورزی متفاوت است؛ به عبارت دیگر، کیفیت آب کشاورزی برای محصولی حساس، ضعیف است درحالی‌که برای محصولی دیگر که مقاومت بیش‌تری دارد قابل استفاده است. به‌طورکلی قسمت شرق آبخوان برای شرب و کشاورزی دارای بهترین کیفیت است. Rafisharifabad et al (2017) در پژوهشی که در دشت اردکان-یزد انجام داده‌اند دریافتند که کیفیت منابع زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی و شرب در نواحی شمال‌شرقی دارای بدترین کیفیت هستند. بررسی شاخص اشباع لانژیر منابع زیرزمینی دشت نشان داد که به‌طور کلی این منابع در وضعیت رسوب‌گذار قرار دارند زیرا مقدار LSI بزرگ‌تر مساوی صفر است. Azad et al (2018) نیز در مطالعه‌ی خود به این نتیجه رسیدند که LSI در اکثر نواحی دشت میاندوآب بزرگ‌تر از یک است و در هیچ نقطه‌ای کم‌تر از صفر نیست که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی این شاخص نواحی شمال و شرق دارای بیش‌ترین مقدار LSI هستند بنابراین، در این مناطق برای پیاده‌سازی سامانه‌های قطره‌ای محدودیت وجود دارد. Lalehzari and Ansarisamani (2014) نشان دادند که در بخش غربی دشت اندیمشک-دزفول مقدار شاخص LSI مثبت بوده و نشان‌دهنده‌ی پتانسیل گرفتگی قطره‌چکان در این ناحیه است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]

نتیجه‌گیری

در این مطالعه کیفیت آب زیرزمینی دشت دلفان برای مصارف کشاورزی، شرب و صنعت و پیاده‌سازی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با استفاده از شاخص‌های ویلکاکس، شولر و لانژیر مورد بررسی قرار گرفت و نقشه‌های کیفی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی استخراج شد. برای تعیین روش مناسب درون‌یابی از روش اعتبارسنجی حذفی استفاده شد و با توجه به آن، روش‌های کریجینگ معمولی، IDW با توان ۱ و ۲ و RBF مورد استفاده قرار گرفتند. بررسی نقشه‌های کیفی نشان داد در مناطقی از دشت از نظر کیفیت آب زیرزمینی برای مصارف مختلف، محدودیت‌هایی وجود دارد. از جمله این محدودیت‌ها در توسعه محدوده مسکونی، تعیین الگوی کشت و توسعه‌های صنعتی و سامانه‌های آبیاری قطره‌ای است. هنگامی که آب زیرزمینی آلوده می‌شود، در بسیاری از مواقع ده‌ها سال و بیشتر طول می‌کشد تا آلودگی برطرف شده و کیفیت مطلوب گردد. با این حال راهبردهای زیر ارائه می‌شود تا در قسمت‌هایی از منطقه مطالعاتی با کیفیت نامناسب آب و شاخص LSI بالا اجرا شود. اجرای طرح الگوی بهینه کشت سازگار با اقلیم برای کاشت گیاهان مقاوم به شوری و کم‌آبی نظیر چغندرقند، پنبه، جو، ذرت، پیشنهاد می‌شود. در صورت افزودن مواد آلی به خاک، می‌توان از تخریب آن جلوگیری کرد و برای آبیاری گیاهانی که نسبت به شوری نه زیاد حساس هستند و نه زیاد مقاوم، مانند انگور، گندم، گوجه‌فرنگی و نخود استفاده کرد. کشت گیاهان حساسی همچون برنج، لوبیا و پیاز و گیاهان نیمه‌حساس مانند یونجه در این نواحی توصیه نمی‌شود. اجرای نظام یکپارچه حفاظتی-نظارتی برای منابع آب و خاک برای ممانعت از برداشت بی‌رویه از منابع آب و تخلیه فاضلاب و پساب در حریم رودخانه. ایجاد بسترهایی برای مشارکت ذی‌نفعان در آموزش، برنامه‌ریزی و اجرای الگوی بهینه مصرف و آلوده نکردن منابع. حمایت از پایان‌نامه‌های دانشجویی. تجهیز و نوسازی تصفیه‌خانه‌های موجود در نواحی آسیب‌پذیر و تجهیز و نوسازی سامانه‌های جمع‌آوری فاضلاب‌های خانگی و صنعتی، ارتقای بهره‌وری و کاهش تلفات در سامانه‌های آبیاری و آبرسانی.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]

References

- Abbasnia, A., Radfard, M., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Yousefi, M., Soleimani, H., Alimohammadi, M., (2018), Groundwater quality assessment for irrigation purposes based on irrigation water quality نمایه and its zoning with GIS in the villages of Chabahar, Sistan and Baluchistan, Iran, ***Data in brief***, 19: 623-631. [In Persian].
- Alizadeh, A., (2002), ***Irrigation system design***, 4th edition, Mashhad: Astan Quds Razavi Publishing House, Imam Reza University. [In Persian].
- Azad, N., Rezaei Abajlu, A., Behmanesh, J., (2018), "Locating areas prone to superficial and pressure irrigation systems using the fuzzy hierarchical process analysis process in Miandoab Plain, ***Journal of Irrigation Science and Engineering***, 41 (4): 119-132. [In Persian].
- Azereh, A., Rahdari, M. R., Sardo, F. S., Sharifabad, J. R., (2014), "Assessment of the groundwater quality feasibility zones for irrigational purposes (Case study; Southwest part of Kerman province, Iran)", ***International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences***, 4 (3): 544-551.
- Barberis, A., Minelli, S., (2005), "Land evaluation in the Shouyang county, Shanxi province, China", ***Agricultural Water Management***, 95 (2): 133-142
- Belkhiri, L., Mouni, L., Tiri, A., Narany, T. S., Nouibet, R., (2018), Spatial analysis of groundwater quality using self-organizing maps, ***Groundwater for Sustainable Development***, 7 (1): 121-32.
- Delbari, M., Podineh, O., (2018), "Trend analysis and spatial distribution pattern of groundwater quality in Khash region", ***Journal of Geografic Space***, 18 (63): 50-25. [In Persian].
- Dev, R., Bali, M., (2018), "Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in district Kangra of Himachal Pradesh, India", ***Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences***, 18 (4): 462-468.
- Einloo, F., Moafi Rabari, A., Malekian, A., Ghazavi, R., Mohseni Saravi, M., (2016), "Survey of groundwater quality in Zanjan plain in terms of drinking standards using geostatistical approach", ***Journal of Geography and Environmental Planning***, 62 (2): 1-16.
- Ejlali, F., Asgari, A., Dehghani, M., (2016), "Evaluation of groundwater quality in coastal lands of Mazandaran for agricultural use and application in drip irrigation system", ***Journal of Irrigation and Water Engineering***, 25 (7): 97-109. [In Persian].
- Ghaemizadeh, F., Akhavan, S., (2014), "The feasibility study of pressurized irrigation systems performance based on water quality (Case study: Hamedan Province plains)", ***Journal of Water and Soil Conservation***, 21 (1): 65-83. [In Persian].
- Jafari, K., Asghari, F. B., Hoseinzadeh, E., Heidari, Z., Radfard, M., Saleh, H. N., Faraji, H., (2018), "Groundwater quality assessment for drinking and agriculture purposes in Abhar city, Iran", ***Data in Brief***, 19 (1): 1033-1039. [In Persian].
- Jeihouni, M., Toomanian, A., Alavipanah, S. K., Hamzeh, S., Pilesjö, P., (2018), "Long term groundwater balance and water quality monitoring in the eastern plains of Urmia Lake, Iran: A novel GIS based low cost approach", ***Journal of African Earth Sciences***, 147 (1): 9-11.
- Lalezari, R., Ansarisamani, F., (2014), "Determination of vulnerable areas for the application of drip irrigation systems based on groundwater quality using ArcGIS", ***Journal of Water Research in Agriculture***, 28 (2): 285-294. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]

- Merati, A., Taheritizro, A., Parsafar, N., (2017), "Zoning if ground water quality using spatial analyses and GIS (Case study: Soleimanshahr watershed)", ***Soil and water Sciences Journal***, 27 (2): 237-248.
- Ostovari, Y., Beigi, H., Davoodian, A., (2011), "Evaluation, study of spatial variations and zoning of some water quality indicators for application in drainage irrigation design in Lordegan plain", ***Irrigation and Drainage Journal of Iran***, 5 (2): 242-254. [In Persian].
- Pawar, R. S., Panaskar, D. B., (2014), "Characterization of groundwater in relation to domestic and agricultural purposes, Solapur industrial Belt, Maharashtra, India", ***Journal of Environmental Research and Development***, 9 (1): 102-112.
- Rafisharifabad, J., Nohegar, A., Zehtabian, GH. R., Gholami, H., (2017), "Study of time-spatial variation of groundwater quality for drinking and agriculture in Ardakan-Yazd plain", ***Desert Management Journal***, 9: 107-119. [In Persian].
- Schultz, B., (2017), "Agricutural water management and food security in a sustainable environment.13th International Drainage Workshop of ICID, Ahwaz, Iran.
- Torabipoodeh, H., Dehghani, R., (2019), "Assessment Mann-Kendall and Spearman Test Nonparametric in Trends of Groundwater Quality(Case Study:Mazandaran Plain)", ***Journal of Geografic Space***, 18 (64): 201-214. [In Persian].
- Torabipoodeh, H., Hamehzadeh, P., (2018), "Assessment water chemical quality and trend of quality parameter in Kashkan watershed", ***Ecohidrology Journal***, 5 (1): 23-36.
- Toranjian, A., Maroufi, P., (2017), "evaluation of specific methods and geostatistics in regionalizingseasonal precipitation in Hamadan province", J***ournal of Soil and Water Science***, 27 (3): 211-224. [In Persian].
- Yousefi, H., Kashki, A., Karami, M., Hoseinzadeh, A., Reihani, A., (2018), "Compare and zoning ground water resources quality in dry and wet period using SP, RAI and PN indices", ***Ecohidrology Journal***, 5 (3): 993-1003.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.8.7]