

# مکان‌یابی مؤلفه‌های مؤثر بر کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت شیرامین و بررسی شاخص اشباع شدگی آن

محمد دردی محمودی<sup>۱</sup>، عطاالله ندیری<sup>۲</sup>، اصغر اصغری مقدم<sup>۳</sup>، مجتبی پور اکبر<sup>۴</sup>، جمیل روزرخ<sup>۵</sup>

۱- کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
(نویسنده مسئول) ۰۹۱۴۲۲۵۲۶۶۷ m.mahmoudi1391@gmail.com

۲- استادیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- استاد گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۴- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

۵- کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(دریافت ۹۴/۲/۱۹ پذیرش ۹۴/۱۰/۲۹)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام شود:

Mahmoudi, M. D., Nadiri, A., Asghari Moghaddam, A., Pourakbar, M. & Rozorkh, J., 2017, "Locating parameters affecting groundwater resources quality at the shiramin plain and assessment of their saturation indices", *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 28 No. 2 (108), 89-96. (In Persian)

## چکیده

به دلیل قرارگیری ایران در منطقه خشک و نیمه خشک توجه به منابع آب ضروری به نظر می‌رسد. در این میان توجه به منابع آب زیرزمینی به دلیل ماهیت پنهان و نیز هزینه‌های استخراج و نیز پایش کمی و کیفی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به دلیل اهمیت موضوع منابع آب در منطقه دریاچه ارومیه به بررسی کیفی آب زیرزمینی در یکی از آبخوان‌های مجاور این دریاچه پرداخته شده است. به علت نیاز روزانه انسان به آب جهت مصرف شرب، کشاورزی، صنعت و بهداشت اهمیت ویژه آن به وضوح قابل لمس است. منطقه شیرامین با دارا بودن آبخوانی به مساحت تقریبی ۳۴ کیلومترمربع یکی از دشت‌های حاشیه دریاچه ارومیه است. به منظور بررسی آب‌های زیرزمینی منطقه شیرامین از ۱۸ نقطه از سراسر دشت، با در نظر گرفتن بهترین توزیع، نمونه‌ها جمع‌آوری و برای ۱۲ پارامتر آنالیز شدند. در این پژوهش از روش تحلیل چندمتغیره آماری (تحلیل مؤلفه‌های اصلی و نمره عاملی) با تلفیق GIS و شاخص اشباع شدگی استفاده شد. اعمال تحلیل مؤلفه‌های اصلی منجر به استخراج چهار عامل شد. مؤلفه اول ناشی از تأثیر سازندهای کربناته، مؤلفه دوم ناشی از تغذیه آب باران، مؤلفه سوم ناشی از تأثیر سولفات و فلوراید و مؤلفه چهارم به علت بار عاملی بالا برای نیترات ناشی از فعالیت‌های بشری است. درون‌یابی نمره‌های عاملی با GIS نشانی داده که بیشترین مساحت نمره‌های عاملی مثبت مربوط به مؤلفه اول بوده و از مؤلفه اول به ترتیب به سمت مؤلفه چهارم مساحت نمره‌های عاملی مثبت پوشش داده شده کاهش یافته است. به طور کلی عواملی همانند کاهش بارش، افزایش برداشت و فعالیت‌های شدید کشاورزی باعث افت کیفیت آب منطقه شیرامین شده است، به طوری که نمونه‌های بالادست و انتهایی دشت به ترتیب دارای شاخص اشباع شدگی مثبت‌تر از نظر سنگ‌های کربناته و هالیت بود.

**واژه‌های کلیدی:** آب زیرزمینی، نمره‌های عاملی، شاخص اشباع شدگی، تحلیل عاملی، دشت شیرامین

## ۱- مقدمه

(Mosaferi et al. 2014). ایران به دلیل قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه خشک، از جمله کشورهای کم آب دنیا محسوب می‌شود. از این رو لازم است برای حفاظت منابع موجود از آلودگی‌های احتمالی، راهکارهای صحیحی اتخاذ شود. برای نائل شدن به این هدف، یکی از کارهای که می‌توان انجام داد ارزیابی و پایش‌های دوره‌ای و منظم است. خوشبختانه طی سال‌های اخیر این امر تا حدودی توسط ارگان‌های مربوطه در کشور صورت می‌گیرد. با این حال در برخورد با نتایج حاصل از این پایش‌ها باید از علوم

در نواحی خشک و نیمه خشک اهمیت آب زیرزمینی به عنوان منابع آب بیشتر به چشم می‌خورد (Shanmugam & Ambujam 2012). کاهش کیفیت و کمیت آب با گذشت زمان، باعث ایجاد شرایط تهدیدکننده‌ای برای برخی جوامع شده است (Adepelumi et al. 2009) یک سوم جمعیت جهان از آب‌های زیرزمینی برای شرب استفاده می‌کنند، از اینرو بررسی و پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌تواند نقش مهمی در دستیابی به توسعه پایدار ایفا کند

شامل ژیپس و هالیت را برای آب‌های طبیعی منطقه مورد مطالعه‌شان بررسی کردند و مشاهده کردند که نمونه‌های آن‌ها از حالت تعادل خارج بوده است. نسبت بالای (کلسیم+منیزیم) به (سدیم+پتاسیم) و نسبت سدیم به کلراید و غلظت بالای فلزات قلیایی و قلیایت نشان دهنده آزاد شدن این ترکیبات از آب‌هایی است که عمدتاً تحت کنترل فرایندهای انحلال کربنات‌ها و تا حدی هوازگی سیلیکات‌ها بوده‌اند (Mueller et al. 1996)

منطقه شیرامین در حاشیه غربی دریاچه ارومیه قرار دارد. مطالعه این منطقه به علت افت سطح آب دریاچه و خشک شدن قسمت عمده آن و افت همزمان سطح آب در دشت‌های مجاور، ضروری به نظر می‌رسد (Zhu et al. 2011). اهداف این پژوهش، ارزیابی و شناخت عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه شیرامین، مکان‌یابی مناطق تحت تأثیر هر مؤلفه با استفاده از نمره عاملی و تلفیق آن با سامانه اطلاعات جغرافیایی و بررسی آن از نظر شاخص اشباع شدگی است.

## ۲- روش‌شناسی

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دشت شیرامین در شمال غرب ایران و ۲۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان آذرشهر واقع شده است. مساحت آبخوان این دشت تقریباً ۳۴ کیلومترمربع تخمین زده شده است. شکل ۱ نشان‌دهنده روستاهای مهم محدوده مطالعاتی با جمعیت بالای ۱۰۰۰ نفر به همراه نقاط نمونه‌برداری است. حوضه آبریز این دشت حدود ۱۹۸ کیلومترمربع مساحت داشته و نقشه سازندهای زمین‌شناسی آن در شکل ۲ نشان داده شده است. دشت شیرامین از نظر هیدرولوژیکی

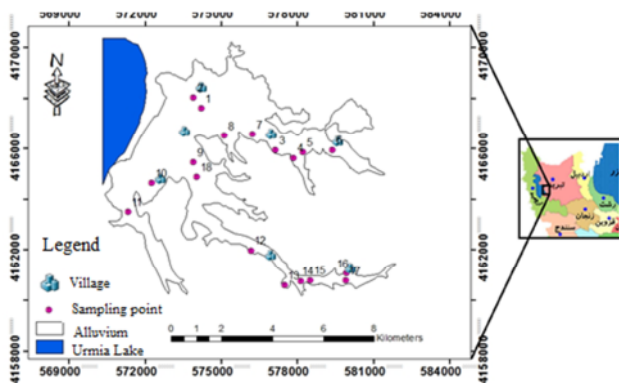


Fig. 1. Location of sampling area in Iran and suitable distribution of sampling points in the plain

شکل ۱- موقعیت منطقه نمونه‌برداری در نقشه ایران و توزیع مناسب نمونه‌ها بر روی دشت

روز دنیا برای تفسیر و تحلیل آن‌ها به منظور جلوگیری و یا رخداد آلودگی‌ها استفاده نمود.

از جمله کارهایی که در مدیریت منابع آب زیرزمینی مهم است، شناخت اساسی از فرایندهای حاکم هیدروژئوشیمیایی بر سیستم آبخوان است (Hossain et al. 2010). شیمی آب زیرزمینی توسط فاکتورهای متعددی همانند ترکیب شیمیایی آب باران، فعالیت‌های بشری، ساختارهای زمین‌شناسی و کانی‌شناسی حوضه آبریز و آبخوان و فرایندهای زمین‌شناسی داخل محیط آبخوان کنترل می‌شوند (Andre et al. 2005). روش‌های گرافیکی رایج در مبحث آب زیرزمینی و روش‌های آنالیز آماری چندمتغیره همانند تحلیل عاملی<sup>۱</sup> و نمره عاملی<sup>۲</sup> از جمله روش‌هایی هستند که در تحلیل کیفیت آب زیرزمینی می‌توانند نقش مؤثری داشته باشند. تابه‌حال مطالعات فراوانی در خصوص بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی با استفاده از این روش‌ها صورت گرفته است. در طی مطالعه‌ای در ایران برای تعیین ایستگاه‌های مؤثر در امتداد رود کارون، از روش‌های آماری چندمتغیره داده‌های هیدروژئوشیمیایی استفاده شد و نشان داده شد که ۴ ایستگاه از ۱۷ مورد، واریانس اندکی را توضیح داده و حذف شدند (Noori et al. 2010). در جنوب هندوستان، Parasanna et al. در سال ۲۰۱۰ با استفاده از تحلیل عاملی و تحلیل همبستگی، فرایندهای کنترل‌کننده ژئوشیمی آب زیرزمینی را شناسایی کردند و مؤلفه‌های زیادی را برای فصول مختلف به دست آوردند، اما سه مؤلفه مهم اولی با توزیع نمره‌های عاملی‌شان توزیع شده بودند. Parasanna et al. در سال ۲۰۱۰ در تحلیل هیدروژئوشیمیایی و ارزیابی کیفیت آب حوضه رودخانه گادیلیم<sup>۳</sup> در هندوستان، آب این منطقه را تقریباً اسیدی و غلظت‌های بالای سدیم و کلراید را ناشی از آبتیوی ثانویه نمک و اثرات بشری حاصل از صنایع و هجوم آب‌نمک دانستند. آن‌ها با توزیع نمره‌های عاملی توانستند نشان دهند که در چه مکان‌هایی کدام فرایند هیدروژئوشیمیایی (مؤلفه) غالب است. Anayah & Almasri در سال ۲۰۰۹، از سامانه اطلاعات جغرافیایی<sup>۴</sup> برای تفسیر بهتر توزیع مکانی غلظت نیترات استفاده کرده و مشاهده کردند که افزایش میزان نیترات با افزایش بارش همپوشانی زیادی داشته و در طی ۲۲ سال در قسمت غربی منطقه مورد مطالعه میزان آن افزایش یافته که ناشی از تشدید فعالیت کشاورزی و نبود سیستم‌های مناسب زهکشی فاضلاب بوده است. Zhu et al. در سال ۲۰۱۱، شاخص اشباع شدگی کربنات‌های اصلی کلسیت و دولومیت و تیخیری‌ها

<sup>1</sup> Factor Analysis (FA)

<sup>2</sup> Factor Score (FS)

<sup>3</sup> Gadilam

<sup>4</sup> Geographical Information System (GIS)

(Shahrabi 1994). خطای آزمایش نمونه‌ها بر اساس روش هانسلو ۱۹۹۵، کمتر از ۵ درصد و قابل قبول و قابل اعتماد بوده است (APHA. 1998).

### ۲-۳- آنالیز آماری چندمتغیره

روش‌های آنالیز آماری چندمتغیره برای پارامترهایی که همبستگی دارند، قابل استفاده است (Guler et al. 2002). آنالیز آماری چند متغیره اعمال شده در این پژوهش آنالیز مؤلفه‌های اصلی<sup>۱</sup> است که برای استخراج فرایندهای مؤثر مناسب است. روش‌های تحلیل آماری چندمتغیره به‌طور گسترده و آسان به‌منظور استخراج عوامل مؤثر بر مسائل زیست‌محیطی و ارائه راهکارهای مناسب جهت رفع آن‌ها به‌کار می‌رود.

به‌علت اثر عوامل فیزیکی و شیمیایی متنوع بر کیفیت آب زیرزمینی، فهم وضعیت هیدروژئوشیمیایی غالب بر آب‌های زیرزمینی دشت شیرامین نیز پیچیده است. تحلیل عاملی یکی از روش آماری چندمتغیره است که برای توصیف واریانس بین متغیرهای مشاهده‌ای با تعداد محدودی از متغیرهای مشاهده نشده که عامل نامیده می‌شوند، استفاده می‌شود (Tabachnick et al. 2001) در این پژوهش از نسخه ۱۸ نرم‌افزار SPSS برای نمایش نتیجه تحلیل عاملی، نمره عاملی و همبستگی پیرسون برای داده‌های کیفی آب استفاده شده است. تحلیل عاملی تأثیر متغیرهای با اهمیت کمتر را به‌وسیله چرخش واریانس ماتریکس بارهای عاملی کاهش می‌دهد (Love et al. 2004; Singh et al. 2004). شاخص اشباع شدگی (SI) در حقیقت فعالیت یونی فراورده (IAP)، روی شاخص انحلال‌پذیری آن‌ها (Ksp) است. شاخص اشباع شدگی چگونگی تعادل محلول را نشان می‌دهد به‌طوری‌که اگر مقدار به‌دست آمده برای این شاخص  $(+0/5)$  الی  $(-0/5)$  باشد، نشان‌دهنده حالت تعادل است، اگر مقدار شاخص به‌دست آمده کمتر از  $-0/5$  باشد، محلول تحت اشباع بوده و اگر این مقدار بالای  $+0/5$  باشد، محلول فوق اشباع بوده و تمایل به از دست دادن اجزاء محلول خود را دارد (Merkel et al. 2005). برای محاسبه شاخص اشباع شدگی از نسخه Phreeqc Interactive 3.0.0-7430 استفاده شد. برنامه‌های با توانایی‌های همانند چگونگی شاخص اشباع شدگی، محاسبه نقل و انتقالات واکنش و مسیره‌های این انتقال (شامل واکنش‌های برگشت‌پذیر و برگشت‌ناپذیر در محیط‌های آب، گاز، کمپلکس‌های سطحی و محلول جامد) و مدل‌سازی معکوس است (Parkhurst & Appelo 1999).

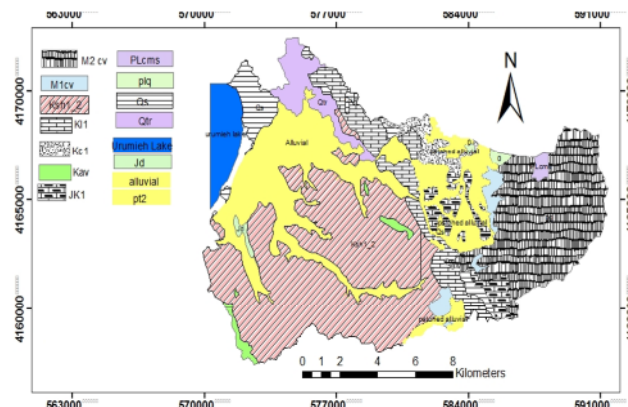


Fig. 2. Lithology map of the case study watershed  
شکل ۲- نقشه سنگ‌شناسی حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه

بخشی از حوضه آبریز دریاچه ارومیه به شمار می‌رود و از نظر منابع آب سطحی فقیر است. اقلیم دشت شیرامین بر اساس روش تجربی آمبرژه از نوع سرد و خشک تشخیص داده شده است. به‌دلیل نزدیکی به دریاچه ارومیه، بخش‌هایی از اراضی این ناحیه شورزار بوده و از نظر کشاورزی ضعیف است و این عامل در نقاط پایین‌دست دشت شدت بیشتری دارد. به‌دلیل نبود منابع آب سطحی و همچنین کاهش نزولات جوی، در حال حاضر بزرگ‌ترین مشکل دشت نبود منبع آبی مناسب برای مصارف شرب و کشاورزی است. زمین‌شناسی ناحیه شیرامین در یک دید کلی، از ارتفاعات آتشفشانی سهند و فروافتادگی دریاچه ارومیه متأثر شده و سنگ‌های مختلف کامبرین، کرتاسه، پرمین تا عهد حاضر با سنگ‌شناسی عمده کربناته با یکسری نبود چینه‌شناسی سنگ‌شناسی رخمون دارند (Nadiri et al. 2013).

### ۲-۲- نمونه‌برداری و آنالیزها

قبل از انجام عملیات نمونه‌برداری، ابتدا کل داده‌های منابع آب دشت شیرامین از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی در پاییز سال ۹۲ گرفته شد. برای اینکه نمونه‌برداری بهترین توزیع را داشته باشد، ۱۸ نمونه از سراسر دشت قبل از عملیات صحرائی انتخاب و سپس در طی کار صحرائی جمع‌آوری شد. به‌دلیل تغییر سریع بعضی پارامترها همانند pH و هدایت الکتریکی، این پارامترها به‌صورت درجا اندازه‌گیری شدند. پارامترهای کیفی آب از جمله: کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، کربنات، بی‌کربنات، سولفات، کلراید و نیترات نیز توسط روش‌های استاندارد در آزمایشگاه دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند

<sup>1</sup> Principal Components Analysis

**Table 1.** Results of the statistical analysis of the data on the samples examined  
جدول ۱- خصوصیات آماری نتایج آنالیز نمونه‌ها

Parameters	Minimum	Maximum	Mean	Satandard Deviation	Unit
Ca <sup>2+</sup>	62.7	1365	383.4	5.429	ppm
Mg <sup>2+</sup>	18.28	371.5	122.6	122.15	ppm
Na <sup>+</sup>	4.87	1589	328.1	490.3	ppm
K <sup>+</sup>	0.68	14.3	4.7	4.1	ppm
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	70.7	2708	780.9	666	ppm
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.87	13.01	4.5	3.39	ppm
Cl <sup>-</sup>	47.1	4285	1118.8	1511.6	ppm
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4.99	58.19	20.3	13.4	ppm
F <sup>-</sup>	0.38	0.89	0.6	0.12	ppm
EC	700	12830	4003.8	4038.25	μs/cm
pH	6.2	18.65	7.4	0.7	-
temp	14.9	18.7	16.43	0.97	°C

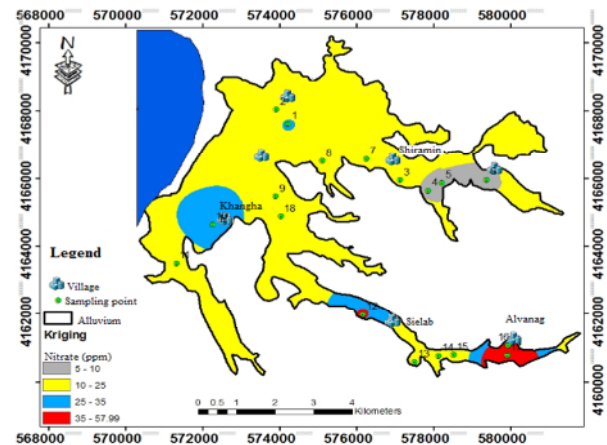
می‌توان آن را ناشی از فاضلاب‌های منطقه، کودهای کشاورزی و فضولات احشام منطقه دانست (Mueller et al. 1996; Zhu et al. 2011)

### ۳-۲- تحلیل آماری چند متغیره

جدول ۱ برخی از خصوصیات آماری توصیفی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی ۱۸ نمونه آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. همانطور که از حداکثر جدول مقادیری بیش از حدود استانداردهای مجاز را نشان می‌دهد. مقادیر به‌دست آمده برای هدایت الکتریکی، سختی و برخی پارامترهای دیگر نیز خیلی فراتر از مقادیر استاندارد است.

### ۳-۳- تحلیل مؤلفه‌های اصلی

عوامل مختلفی بر کیفیت آبهای زیرزمینی تأثیرگذار هستند که برخی از آنها ناشی از فعالیت‌های بشری و بعضی دیگر ناشی از طبیعت زمین‌شناسی منطقه است. روش تحلیل عاملی قادر به تفکیک فرایندهای مختلف است. همبستگی مثبت و یا منفی بالا بین متغیرها و فاکتورها یا یک فاکتور بر اساس بار عاملی بالای فاکتور (به‌طور نسبی نزدیک به ۱ یا -۱) مشخص شده است. از روش واریماکس<sup>۳</sup> برای جدا کردن متغیرهایی با بارهای عاملی بالا (بار عاملی نزدیک ۱ تا -۱) به متغیرها با بار عاملی کم (بار عاملی نزدیک به ۰) استفاده شد. در این پژوهش برای بررسی روابط بین متغیرها از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی که یکی از روش‌های تحلیل عاملی است، استفاده شد و این روش جهت کاهش داده‌ها به بهترین شکل و بدون حذف داده‌های معنی‌دار استفاده می‌شود.



**Fig. 3.** Nitrate distribution in Shiramin Plain  
شکل ۳- توزیع نیترات در دشت شیرامین

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- نیترات

نیترات از جمله پارامترهای مهم در بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی است. حداکثر نیترات به‌دست آمده برای پژوهش حاضر بیش از استاندارد تعریف شده توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده<sup>۱</sup> یعنی ۱۰ ppm و استاندارد تعریف شده توسط سازمان بهداشت جهانی<sup>۲</sup> (یعنی بیش از ۵۰ ppm) است (Kaiser 1958). با توجه به مقادیر نیترات در دشت شیرامین، این پارامتر به‌عنوان یکی از عوامل مضر در کیفیت آب باید مورد توجه قرار گیرد (شکل ۳). با توجه به شکل ۳، در محدوده‌ای که غلظت نیترات بالاست، روستاهای الوانق، خانقاه و سیلاب قرار دارند که

<sup>3</sup> Varimax

<sup>1</sup> US. Environmental Protection Agency (USEPA)

<sup>2</sup> World Health Organizatino (WHO)

**Table 2.** Rotated factor matrix  
جدول ۲- ماتریس عاملی دوران یافته

Parameter	Factors			
	First	Second	Third	Fourth
Ca <sup>2+</sup>	0.96	-0.08	-0.13	-0.09
Mg <sup>2+</sup>	0.96	0.21	-0.05	0.01
Na	0.44	0.78	0.07	0.27
K <sup>+</sup>	0.59	0.57	-0.09	0.39
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.10	0.90	0.04	0.04
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.41	0.33	0.76	-0.11
Cl <sup>-</sup>	0.95	0.23	0.03	0.07
F <sup>-</sup>	0.07	-0.10	0.87	0.16
EC	0.92	0.33	0.02	0.04
pH	-0.58	-0.41	0.34	-0.07
Temp	-0.03	-0.17	0.04	-0.83
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.02	0.02	0.10	0.65

**۳-۴- خروجی تحلیل عاملی**

خروجی تحلیل عاملی منجر به ارائه ۴ مؤلفه شده که در جدول ۲ نشان داده شده است. در مؤلفه اول، ۴ عامل کلسیم، منیزیم، کلراید و هدایت الکتریکی با بار عاملی بالای ۰/۹ تأثیر خیلی بالایی دارند (جدول ۲). با توجه به اینکه در منطقه شیرامین سازندهای کربناته (سازند لار، دلیچای، دورود، روته، نسن و تیزکوه) وجود دارند، بنابراین مقادیر بالای یون‌های کلسیم و منیزیم حل شده و رابطه مستقیم آن با EC و رابطه عکس آن با pH که سبب انحلال سازندهای کربناته می‌شود، نشان دهنده اثر واضح سازندهای کربناته است و می‌توان آن را مؤلفه کربناته نامید. مؤلفه دوم با ۳ عامل مهم مشخص شده که بیکربنات و سدیم دو پارامتر مؤثر بر این مؤلفه بوده، لذا بیکربنات به دلیل بار عاملی بیشتر تأثیر مهم‌تری نسبت به سدیم دارد (جدول ۲). از این رو این مؤلفه بیانگر مناطق تغذیه از آب باران بوده و می‌توان آن را مؤلفه ناشی از تغذیه باران نامید. نکته قابل توجه بار عاملی متوسط برای پتاسیم در مؤلفه دوم است. پتاسیم بر روی دو عامل تأثیر متوسط (بار عاملی ۰/۵ تا ۰/۷) داشته که به دلیل بار عاملی بالا بر روی مؤلفه اول، می‌توان گفت که تأثیر آن در مؤلفه اول بیشتر است. با توجه به بارهای عاملی پارامترها بر روی مؤلفه سوم، مشاهده می‌شود که ۲ پارامتر فلوراید و سولفات بر روی این مؤلفه تأثیر مهم دارند. مؤلفه سوم می‌تواند از موادی که کشاورزان منطقه برای تقویت باغات انگور و مزارع خود استفاده می‌کنند، ناشی شده باشد و می‌توان آن را مؤلفه سولفوفلوراید نامید. برای مؤلفه چهارم، ۲ پارامتر دما و نیترات بار عاملی قابل توجهی دارند و بیانگر اثر فرایندهای فعالیت‌های بشری همانند کودهای کشاورزی و فاضلاب‌ها هستند.

**۳-۵- نمره‌های عاملی**

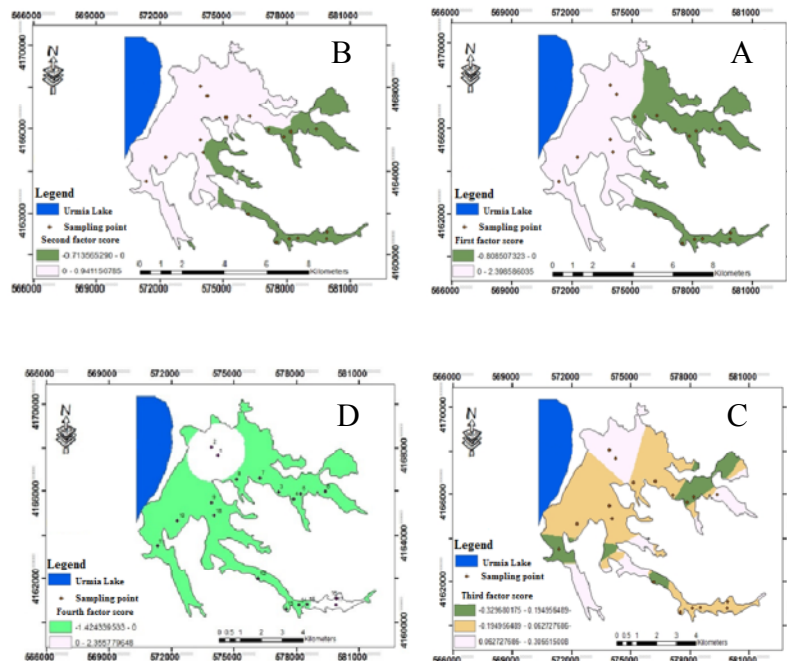
یکی از خروجی‌های عملیات تحلیل مؤلفه‌های اصلی، نمره عاملی است. نمره عاملی اثر و شدت تأثیر هر عامل را با نمونه‌های مربوطه نشان می‌دهد. جدول ۳ نمره‌های عاملی استخراج شده برای هر مؤلفه را نشان می‌دهد. از نمره‌های عاملی برای نشان دادن اینکه در کدام منطقه تأثیر کدام مؤلفه بیشتر است، استفاده می‌شود و به عبارتی می‌توان مناطق تحت تأثیر هر مؤلفه ویژه را مکان‌یابی کرد. نمره عاملی مثبت نشان‌دهنده تأثیر مثبت آن مؤلفه با نمونه مربوطه بوده و نمره عاملی منفی نشان‌دهنده تأثیر منفی آن پارامتر با نمونه مربوطه است.

**۳-۶- تفسیر نمره‌های عاملی و پهنه‌بندی آن با سامانه****اطلاعات جغرافیایی**

برای نشان دادن مناطق تحت تأثیر هر مؤلفه، نمره‌های عاملی مربوط به هر نمونه آب زیرزمینی با سامانه اطلاعات جغرافیایی درون‌یابی شد (شکل ۴). با توجه به نمره‌های عاملی مؤلفه اول و توزیع آن بر روی نقشه، ۶ نمونه پایین‌دست با مؤلفه اول رابطه منفی دارد، یعنی مؤلفه کربناته بر روی این ۶ نمونه تأثیری ندارند و ۱۲ نمونه بالادست و قسمت‌های میانی دشت با این مؤلفه رابطه مثبت دارند که بیانگر تأثیر مثبت مؤلفه کربناته در این ناحیه است (شکل ۴- A). برای نمره‌های عاملی مؤلفه دوم، ۸ نمونه پایین‌دست با این مؤلفه رابطه منفی و ۱۰ نمونه قسمت‌های میانی و بالادست دشت با آن رابطه مثبت دارند که نشان‌دهنده تأثیر مثبت مؤلفه تغذیه بارش در بالادست دشت است (شکل ۴- B). فرق مؤلفه اول و دوم این است که منطقه تحت پوشش مؤلفه اول با تأثیر

**Table 3.** Factor scores of the components  
جدول ۳- نمره‌های عاملی مؤلفه‌ها

1	1.12	-0.23	0.75	1.57
2	0.17	2.15	-1.5	0.95
3	-0.3	-0.3	0.3	0.08
4	-0.75	0.24	-2.03	-0.45
5	-0.55	-0.08	0.85	0.11
6	-0.78	-0.21	0.7	-0.7
7	-0.27	0.59	0.95	-0.18
8	-0.25	-0.43	1.44	-0.05
9	1.9	-0.52	-0.73	-0.46
10	0.43	-0.52	1.93	0.02
11	2.4	-0.6	0.72	-0.51
12	-0.7	-0.03	-0.72	-1.00
13	-0.81	-0.22	-0.02	-1.51
14	-0.67	-0.17	0.22	-0.56
15	-0.47	-0.34	0.23	0.009
16	-0.7	-1.13	0.07	0.76
17	-0.62	-0.85	0.42	2.74
18	1.14	-0.62	-0.22	-0.71



**Fig. 4.** Location of the effect points of each component in the case study  
شکل ۴- مکان‌یابی نقاط تأثیر هر مؤلفه در منطقه مورد مطالعه

کشاورزی و دام پروری) در مرکز آن قرار دارد.

### ۳-۷- بررسی شاخص اشباع شدگی یون‌های اصلی

برای پژوهش حاضر، با توجه به داشتن غلظت یون‌های اصلی به همراه نیترات و فلوراید، شاخص اشباع شدگی یون‌های اصلی  $\text{HCO}_3^-$ ،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{K}^+$ ،  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$  برای کانی‌های اصلی کلسیت، دولومیت، آراگونیت، ژیپس، انیدریت و هالیت

مثبت (نمره‌های عاملی مثبت) بیشتر از مناطق تحت پوشش مؤلفه دوم است. برعکس بقیه مؤلفه‌ها، مؤلفه سوم در قسمت میانی دشت کمترین تأثیر را داشته و قسمت‌های بالادست و پایین‌دست دشت در برخی نواحی با این مؤلفه رابطه مثبت، و در مناطق دیگر تأثیر منفی دارند (شکل ۴- C و D). درون‌یابی نمره‌های عاملی مؤلفه چهارم نشان‌دهنده تأثیر مثبت نیترات در قسمت جنوب شرق است که با نقشه نیترات هم‌پوشانی معنی‌داری دارد و نقاط نمونه‌برداری (روستاها و آلودگی نیترات ناشی از فاضلاب‌ها و کودهای

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه استفاده از تحلیل عاملی منجر به استخراج ۴ مؤلفه شد. در مؤلفه اول که ناشی از سازندهای کربناته است، ۱۲ نمونه از بالادست دشت دارای رابطه مثبت (نمره عاملی مثبت) و ۶ نمونه پایین‌دست دشت دارای رابطه منفی با این مؤلفه بود. نمره عاملی مربوط به مؤلفه دوم نسبت به مؤلفه اول، مساحت کمتری از نمره‌های عاملی مثبت را پوشش می‌دهد (رابطه مستقیم با ۱۰ نمونه) و نمره‌های عاملی منفی مساحت بیشتری نسبت به مؤلفه اول دارند. نمره‌های عاملی مؤلفه سوم در قسمت میانی دشت کمترین تأثیر مثبت را داشت. نمره‌های عاملی مربوط به مؤلفه چهارم بیشتر تأثیر فرایندهای بشرزاد را یادآور می‌شود و با نقشه نیترات همپوشانی معنی‌داری دارد. مساحت مناطق با نمره‌های عاملی مثبت تحت پوشش مؤلفه‌های استخراج شده به ترتیب از مؤلفه اولی به مؤلفه چهارمی کاهش می‌یابد که می‌تواند ناشی از این باشد که اولین مؤلفه بیشترین واریانس را توضیح داده و به ترتیب از مؤلفه اول تا مؤلفه چهارم، واریانس توضیح داده شده توسط هر مؤلفه کاهش می‌یابد. در کل، نمونه‌های بالادست دشت دارای شاخص اشباع شدگی مثبت‌تر از نظر سنگ‌های کربناته بوده ولی در نمونه‌های مربوط به قسمت‌های انتهایی دشت، علاوه بر بالا بودن شاخص اشباع شدگی سنگ‌های کربناته، شاخص اشباع شدگی هالیت هم بالا می‌رود. با توجه به بالا بودن غلظت نیترات در سه روستای منطقه شیرامین، و اثرات بهداشتی ناشی از نیترات و خطراتی که بالا بودن این آلاینده در آب شرب می‌تواند به همراه داشته باشد و همچنین بالا بودن هدایت الکتریکی در مناطق انتهایی دشت، توصیه می‌شود مطالعه‌ای در خصوص شناسایی منابع آلوده کننده و اقدامات لازم برای رفع این مشکل صورت گیرد.

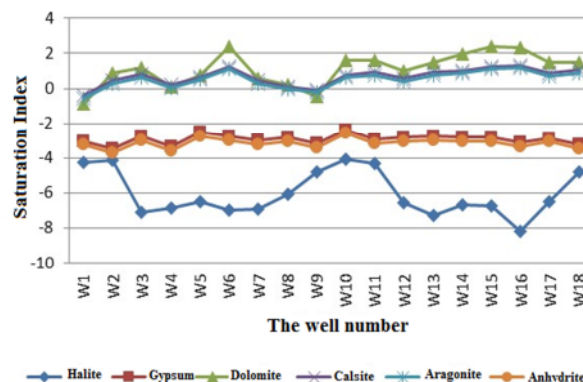


Fig. 5. Saturation index of the main ions

شکل ۵- شاخص اشباع شدگی یون‌های اصلی

مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵). همان‌طور که از شکل ۵ پیداست کانی‌های دولومیت، کلسیت و فرم بی‌شکل آن یعنی آراگونیت در بیشتر موارد، اشباع شدگی بالای صفر داشته و بقیه موارد تحت اشباع هستند. کربنات‌ها فوق اشباع و ناشی از سازندهای کربناته منطقه از جمله لار، تیزکوه، روته و نسن بوده و کانی‌های سولفات (انیدریت و ژپس) و کانی‌های هالیت تحت اشباع بوده که به انحلال‌پذیری فوق‌العاده زیاد این کانی‌ها مربوط است. مقدار بالای شاخص اشباع شدگی هالیت برای نمونه‌های ۱، ۲، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۸ که در پایین‌دست دشت قرار دارند، به نمکزارها و رس‌های نمکی انتهایی دشت مربوط است و مقدار پایین آن برای نمونه‌های بالادست ناشی از عدم وجود سازندهای نمک‌دار است. شاخص اشباع شدگی دولومیت‌ها برای نمونه‌هایی که کمترین هدایت الکتریکی را دارا بوده‌اند یعنی نمونه‌های بالادست دشت و مناطق پوشیده از سازندهای کربناته، بالاست.

#### ۵- مراجع

- Adepelumi, A.A., Ako, B., Ajayi, T., Afolabi, O. & Omotoso, E., 2009, "Delineation of saltwater intrusion into the freshwater aquifer of Lekki Peninsula, Lagos, Nigeria", *Journal of Environmental Geology*, 56(5), 927-933.
- Andre, L., Franceschi, M., Pouchan, P. & Atteia, O., 2005, "Using geochemical data and modelling to enhance the understanding of groundwater flow in a regional deep aquifer, Aquitaine Basin, south-west of France", *Journal of Hydrology*, 305(1), 40-62.
- Anayah, F.M. & Almasri, M.N., 2009, "Trends and occurrences of nitrate in the groundwater of the West Bank, Palestine", *Journal of Applied Geography*, 29(4), 588-601.
- American Public Health Association, 1998, *Standard method for the examination of water and wastewater*, 17<sup>th</sup> Ed., Washington, DC, USA.
- Güler, C., Thyne, G.D., McCray, J.E. & Turner, K.A., 2002, "Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data", *Journal of Hydrogeology*, 10(4), 455-474.

- Hossain, G., Howladar, M.F., Nessa, L., Ahmed, S.S. & Quamruzzaman, C., 2010, "Hydrochemistry and classification of groundwater resources of Ishwardi municipal area, Pabna district, Bangladesh", *Journal of Geotechnical and Geological Engineering*, 28(5), 671-679.
- Kaiser, H.F., 1958, "The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis", *Journal of Psychometrika*, 23(3), 187-200.
- Love, D., Hallbauer, D., Amos, A. & Hranova, R., 2004, "Factor analysis as a tool in groundwater quality management: Two southern African case studies", *Journal of Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 29(15), 1135-1143.
- Mosaferi, M., Pourakbar, M., Shakerkhatibi, M., Fatehifar, E. & Belvasi, M., 2014, "Quality modeling of drinking groundwater using GIS in rural communities, northwest of Iran", *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), 1-14.
- Mueller, D.K., Helsel, D.R. & Kidd, M.A., 1996, *Nutrients in the nation's waters: Too much of a good thing? M. A. Kidd (ed)*, US Government Printing Office, USA.
- Merkel, B.J., Planer-Friedrich, B. & Nordstrom, D., 2005, *Groundwater geochemistry, A Practical Guide to Modeling of Natural and Contaminated Aquatic Systems*, Springer.
- Noori, R., Sabahi, M.S., Karbassi, A., Baghvand, A. & Zadeh, H.T., 2010, "Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set", *Journal of Desalination*, 260(1), 129-136.
- Nadiri, A.A., Asghari Moghaddam, A., Tsai, F.T. & Fijani, E., 2013, "Hydrogeochemical analysis for Tasuj plain aquifer, Iran", *Journal of Earth System Science*, 122(4), 1091-1105.
- Prasanna, M.V., Chidambaram, S., and Srinivasamoorthy, K., 2010, "Statistical analysis of the hydrogeochemical evolution of groundwater in hard and sedimentary aquifers system of Gadilam river basin, South India", *Journal of King Saud. University-Science*, 22(3), 133-145.
- Prasanna, M.V., Chidambaram, S., Hameed, A.S. & Srinivasamoorthy, K., 2011, "Hydrogeochemical analysis and evaluation of groundwater quality in the Gadilam river basin, Tamil Nadu, India", *Journal of Earth System Science*, 120(1), 85-98.
- Parkhurst, D. & Appelo, C., 1999, *A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport and inverse geochemical calculations*, USGS Report, USA.
- Shanmugan, P. & Ambujam, N., 2012, "A hydrochemical and geological investigation on the Mambakkam mini watershed, Kancheepuram District, Tamil Nadu", *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 184(5), 3293-3306.
- Singh, K.P., Malik, A., Mohan, D. & Sinha, S., 2004, "Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study", *Journal of Water Research*, 38(18), 3980-3992.
- Shahrabi, M., 1994, *Report of geological map of Quadrilateral Urmia with scale 1/250000*, Geological Survey and Mining Exploration, Iran. (In Persian)
- Tabachnick, B.G., Fidell, L.S. & Osterlind, S.J., 2001, *Using multivariate statistics*, 5<sup>th</sup> Ed., Pearson, New York.
- Zhu, B., Yang, X., Rioual, P., Qin, X., Liu, Z., Xiong, H. & Yu, J., 2011, "Hydrogeochemistry of three watersheds (the erlqis, zhungarer and yili) in Northern Xinjiang, NW China", *Journal of Applied Geochemistry*, 26(8), 1535-1548.