



بررسی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت گناباد خراسان رضوی با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره و هوش مصنوعی

رضا روکی^۱، احمد آریافر^۲، جعفر عادل‌نسب^۳

- ۱- استادیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی بیرجند
۲- دانشیار گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند
۳- کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه بیرجند

(دریافت ۱۳۹۵/۰۵/۰۹، پذیرش ۱۳۹۵/۱۱/۱۳)

چکیده

با توجه به اهمیت مطالعه آب‌های زیرزمینی در زمینه شرب، صنعت و کشاورزی، بررسی تغییرات کیفی آب می‌تواند برای بشر حائز اهمیت باشد. در این تحقیق داده‌های هیدروشیمیایی اخذ شده از چاه‌های بهره‌برداری دشت گناباد که در جنوب استان خراسان رضوی واقع شده، طی یک دوره ۵ ساله (از ۸۵ تا ۹۰) مورد مطالعه قرار گرفته است. روش‌های گرافیکی و همچنین طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی نشان می‌دهد که تیپ آب دشت عمدتاً سدیک-سولفات است. بررسی توزیع فضایی کیفیت آب با استفاده از مدل آمار چند متغیره R-mode نشان می‌دهد که کیفیت آب در دشت متأثر از ۲ فاکتور است. فاکتور اول که ترکیب خطی عوامل Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Na^+ ، SO_4^{2-} ، Cl^- ، TH و EC است به عنوان فاکتور شوری و سختی آب در دشت شناخته می‌شود. فاکتور دوم ترکیب HCO_3^- ، CO_3^{2-} و pH است که بیانگر آلکالینیته آب بوده که بار فاکتوری بالای pH موید آن است. در ادامه مدلسازی پارامترهای کیفی TDS ، EC و TH آب زیرزمینی با استفاده از پارامترهای شیمیایی یعنی یون‌های اصلی و pH با شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام شد. مقایسه نتایج حاصل از پیش‌بینی شبکه عصبی با داده‌های صحرایی نشان دهنده قابلیت بالای این روش برای پیش‌بینی کیفیت آب از روی فقط چند کاتیون و آنیون و pH است، بنابراین در صورت کمبود مطالعات در یک منطقه می‌توان از این مدل‌ها برای پیش‌بینی کیفیت آب در نقاط مجهول استفاده کرد. نتایج مطالعه برای مدیریت زیست محیطی و بهره‌برداری بهتر از منابع آب زیرزمینی مفید است.

کلمات کلیدی

هیدروشیمی، تحلیل فاکتوری R-mode، شبکه عصبی مصنوعی، دشت گناباد.

۱- مقدمه

صنعتی و همچنین کمبود بارش‌ها تغییراتی در کیفیت آب رخ داده است. برای این منظور تحلیل آماری کیفیت آب سفره با استفاده از شاخص‌ها و نمودارها، مطالعه توزیع فضایی کیفیت آب در سفره و بررسی ارتباط آن با تشکیلات زمین‌شناسی و تعیین کیفیت آب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یک ابزار، انجام خواهد شد.

۲- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز مورد مطالعه در شرق ایران، در قسمت جنوبی استان خراسان رضوی و در بلوک لوت قرار دارد. از نظر جغرافیایی دشت مورد مطالعه در محدوده $۱۹^{\circ} ۵۸'$ تا $۰۱^{\circ} ۵۹'$ طول شرقی و $۰۳^{\circ} ۳۴'$ تا $۲۲^{\circ} ۳۴'$ عرض شمالی واقع شده است. آبخوان آبرفتی با مساحت تقریبی $۷۱۵/۹$ کیلومترمربع بخش وسیعی از این محدوده را در بر می‌گیرد. میزان متوسط بارندگی در دشت ۱۷۸ میلی‌متر در سال است. محدوده مطالعاتی دشت گناباد شکل نسبتاً بیضوی دارد که تمامی بخش جنوبی، شرقی و غربی آن را ارتفاعات احاطه کرده و بخش شمالی که خروجی دشت است، نقاط پست و کم ارتفاع را تشکیل می‌دهد و از نظر جایگاه زمین‌شناسی جزئی از زون زمین‌شناسی ایران مرکزی و بلوک لوت است. تقریباً تمامی واحدهای زمین‌شناسی ارتفاعات جنوبی و شرقی این محدوده از سنگ‌های رسوبی تشکیل شده و بخش غربی و شمال‌غربی را عمدتاً واحدهای آذرین پوشش داده‌اند. در شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی دشت گناباد نشان داده شده است. واحدهای شیلی، ماسه‌سنگی و آهکی نایبند رخنمون کم ولی واحدهای ماسه‌سنگی شمشک رخنمون وسیعی در سطح محدوده دارند. همچنین رسوبات نئوژن و کواترن در دشت گسترش قابل ملاحظه‌ای دارند. با استناد به مطالعات انجام شده به وسیله شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، میزان تغییرات ضخامت رسوبات آبرفتی در دشت گناباد از حداقل ۲۰ متر در حواشی دشت تا بیش از ۳۰۰ متر است که بیشترین ضخامت رسوبات آبرفتی در سه منطقه کاخک، بهاباد و ریاب مشاهده می‌شود. تغییرات عمق سطح آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی گناباد متأثر از شیب هیدرولیکی سطح آب و مورفولوژی سطح زمین است، به طوری که از بیش از ۱۶۰ متر در جنوب آبخوان (چاه مشاهده‌ای جاده کاخک) به کمتر از ۶۰ متر در شمال غرب آبخوان (منطقه چاهک)، کمتر از ۲۰ متر ($۱۸,۷۵$) در شمال شرق آبخوان (چاه مشاهده‌ای شوراب ۲) و کمتر از

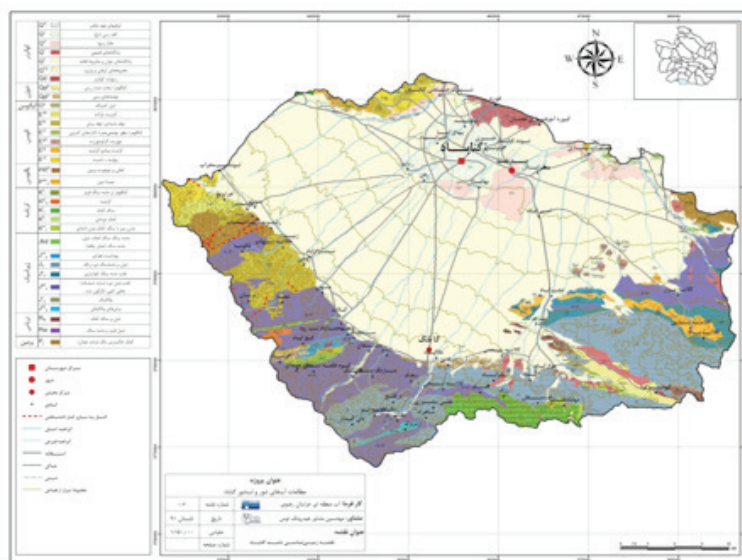
به سبب تاثیر غیرقابل انکار آب بر ارکان زندگی بشر چون بهداشت، صنعت، کشاورزی و نظایر آن و همچنین کاهش نزولات جوی و حجم بالای استحصال آب زیرزمینی، شناسایی خصوصیات کیفی آب و میزان انطباق آن با مصارف گوناگون بسیار مهم است. این مساله در کنار وقوع خشک‌سالی‌های شدید و طولانی مدت، شرایطی بحرانی در کشور پدید آورده و اکثر مناطق را با چالش‌های جدی در زمینه کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی مواجه کرده است، بنابراین مدیریت و حفاظت از آب‌های زیرزمینی در کشورهایی مانند ایران مهم است. تاکنون روش‌های آماری و هوشمند متعددی برای اینگونه تحقیقات توسعه یافته است و مطالعات زیادی در زمینه هیدروشیمی آب زیرزمینی به وسیله روش‌های آماری چند متغیره و هوشمند انجام شده است [۱-۸]. بیشتر بررسی‌های کیفی آب، آزمایشگاهی است که نیازمند صرف هزینه‌های زمانی و مالی‌اند. از این رو مدل‌ها برای بررسی و پیش‌بینی کیفیت آب مورد استفاده قرار می‌گیرند تا در هزینه و زمان صرفه‌جویی شود [۹]. از جمله مدل‌های مورد استفاده، می‌توان به مدل‌های آماری چند متغیره [۱۰-۱۳] و هوش مصنوعی [۱۴-۱۸] در این زمینه اشاره کرد. از جمله مدل‌های آماری چند متغیره توسعه یافته روش تحلیل فاکتوری چند متغیره R-mode است که کاربرد وسیعی در شناسایی نقاط آلوده در سفره‌های آب زیرزمینی دارد. در ایران محققان زیادی از مدل‌های چند متغیره و هوشمند (شبکه عصبی مصنوعی) برای پیش‌بینی کیفیت آب زیرزمینی در دشت‌های مختلف استفاده کرده‌اند [۱۹-۲۳]. کلیه تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که بدون انجام مطالعات پایش کیفی آب، برنامه‌ریزی برای تخصیص منابع آب به منظور مصارف گوناگون امکان‌پذیر نیست، همچنین با توجه به گسترش جوامع و نیاز به توسعه صنعتی، برخورداری از آب سالم یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. در تحقیق حاضر بررسی هیدروشیمی آب زیرزمینی در دشت گناباد در استان خراسان رضوی مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به اینکه در محدوده دشت گناباد تنها منبع موجود برای تامین آب شرب، کشاورزی و صنعت، منابع آب زیرزمینی است، بنابراین بررسی توزیع فضایی کیفیت آب، برای بهره‌برداری و استفاده صحیح از آن در بخش‌های مختلف، اهمیت زیادی دارد که هدف اصلی تحقیق حاضر است. در این ناحیه در سال‌های اخیر به علت فعالیت‌های کشاورزی و

آنیون های اصلی (SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-)، هدایت الکتریکی (EC)، مجموع جامدات محلول (TDS)، سختی کل (TH) و pH تصویر کلی وضعیت کیفی آب و روند تغییرات آن در طول دوره یاد شده در دشت به طور مجزا انجام شده است (جدول های ۱ و ۲). طبق این جدول ها می توان دریافت که طی دوره ۵ ساله ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ میزان مجموع جامدات خشک (TDS)، هدایت الکتریکی (EC) و سختی کل (TH) با افزایش روبرو بوده است. میزان TDS طی این بازه زمانی از 2264.8 mg/l به 2301.5 mg/l رسیده و با ۳۵ واحد افزایش همراه بوده است. این مقادیر تفاوت چشم گیری با مقدار مجاز اعلام شده از طرف سازمان بهداشت جهانی یعنی ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر دارد و به طور قابل ملاحظه ای بالاتر از این حد قرار گرفته است.

۲۰ متر (۱۶،۱۴ متر) در شمال آبخوان (در چاه مشاهده ای جاده تربت حیدریه) می رسد. در مطالعه حاضر داده های جمع آوری شده به وسیله سازمان آب منطقه ای خراسان رضوی از این دشت که برای کاتیون ها و آنیون های اصلی و فرعی و همچنین پارامترهای فیزیکی آنالیز شده مورد استفاده قرار گرفته است.

۳- مواد و روش ها

مطالعه کیفیت آب زیرزمینی دشت گناباد، با مطالعه و مقایسه آمار توصیفی نمونه های آب برداشت شده در ۱۵ مهرماه سال های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰، متوسط مقادیر مولفه های کیفی آب زیرزمینی یعنی کاتیون های اصلی (K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})،



شکل ۱: نقشه زمین شناسی دشت گناباد

جدول ۱: توصیف آماری نمونه های گرفته شده از چاه های بهره برداری مورد مطالعه در سال ۸۵

Column	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	TDS	EC	TH	pH
N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Mean	21.8	0.44	5.56	8.59	18.14	2.8	0.16	15.48	2264.8	3594.9	707.2	8.18
SD	8.6	0.59	4.9	5.55	10.63	0.82	0.26	8.58	1058.45	1680.1	473.9	0.25
CV	0.4	1.34	0.88	0.65	0.59	0.29	1.59	0.55	0.47	0.47	0.67	0.03
Min	9	0	0.7	1	3.3	1.6	0	2.9	691.7	1098	90	7.7
Max	36.8	2.1	16.2	21.4	39	4.6	1	32.9	4107.6	6520	1580	8.6
Unit	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	$\mu\text{s/Cm}$	mg/l CaCo3	-

جدول ۲: توصیف آماری نمونه‌های گرفته شده از چاه‌های بهره برداری مورد مطالعه در سال ۹۰

Column	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	TDS	EC	TH	pH
N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Mean	18.3	0.6	6.8	11.3	18.6	3.7	0.3	14.6	2301.5	3652.3	906.2	8.2
S.D	8.4	0.84	5.6	7.7	9.8	0.9	0.4	8.4	1032.7	1639.2	540.8	0.3
C.V	0.46	1.4	0.82	0.68	0.53	0.24	1.3	0.58	0.45	0.45	0.6	0.04
Min	3	0	0.9	2.2	3.6	2.2	0	3.6	705.6	1120	210	7.7
Max	35.7	2.3	18	27.1	41	5.8	1	32.2	4025.7	6390	1980	8.6
Unit	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µs/Cm	mg/l CaCO ₃	-

(Na⁺) و مجموع باقیمانده خشک (TDS) برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی استفاده شده است (رابطه ۱).

$$WQI = \sum_{i=1}^n q_i \quad (1)$$

که در آن:

n تعداد نمونه‌ها

q_i نرخ کیفیت برای نمونه i ام

مقدار نرخ کیفیت از طریق رابطه ۲ به دست می‌آید.

$$q_i = \frac{V_i}{S_i} \times 100 \quad (2)$$

که در آن:

V_i مقدار مشاهده شده برای هر پارامتر در نمونه i ام

S_i مقدار مجاز تعریف شده برای آن پارامتر

همچنین، متوسط شاخص کیفیت (AWQI) نیز برای

n پارامتر، از رابطه ۳ حاصل می‌شود [۲۴]. در مواردی که مقدار AWQI برابر صفر باشد به این معنی است که هیچ آلاینده‌ای در آب وجود ندارد و اگر این مقدار به ۱۰۰ برسد یعنی همه آلاینده‌ها به حد مجازشان رسیده‌اند. بالا بودن این مقدار نشان‌گر بالا بودن آلودگی است و عبور این مقدار از ۱۰۰، نشان دهنده آلودگی جدی است.

$$AWQI = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n} \quad (3)$$

حد مجاز آلودگی بر اساس شاخص کیفیت متوسط عدد ۱۰۰ است، اعداد بالاتر از ۱۰۰ بالاتر از حد آلودگی و اعداد پایین‌تر مناسب برای شرب و کشاورزی است. با این نکته و با

متوسط مقادیر هدایت الکتریکی در نمونه‌های آب برداشت شده از ۳۵۹۴٫۹ µs/Cm به ۳۶۵۳٫۲ µs/Cm رسیده است. این مقادیر بالای هدایت الکتریکی آب نشانه نامناسب شدن بیشتر آن‌ها برای مصارف شرب و حتی کشاورزی است. در سال ۸۵، متوسط میزان سختی کل برای نمونه‌های آب برداشت شده ۷۰۷٫۲ mg/l بوده که این عدد برای سال ۹۰ تا ۹۰۶٫۲ mg/l و به میزان ۱۹۹ واحد تغییر داشته است. متوسط مقادیر pH از ۸٫۱۸ به ۸٫۲ یعنی رشدی در حد ۰٫۰۲ داشته که البته لازم به توضیح است که گستره تغییرات pH نیز محدود است.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- تعیین کیفیت آب دشت گناباد با استفاده از شاخص کیفی آب (WQI) و شاخص کیفی متوسط (AWQI)

بر اساس استانداردهای بین‌المللی برای آب شرب و کشاورزی، برخی از پارامترهای بررسی شده مقادیری کمتر و برخی دیگر مقادیری بیشتر از حدود استاندارد جهانی دارند. اصولاً چنین تفاوت‌هایی نشانه وجود آلودگی در منابع آبی گوناگون است [۲۴]. شاخص کیفیت آب در حقیقت عددی ساده است که از کوچک کردن مقادیر بزرگ داده‌ها، اعم از پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی به دست می‌آید و عموماً نشان دهنده کیفیت کلی آب برای مصارف گوناگون به ویژه آشامیدن است. معمولاً برای ارزیابی آلودگی کلی آب، فلزات سنگین در شاخص کیفی آب لحاظ می‌شوند. در این تحقیق از این شاخص با در نظر گرفتن پنج پارامتر شیمیایی اصلی کربنات (CO₃²⁻)، کلر (Cl⁻)، سولفات (SO₄²⁻)، سدیم

جدول ۳: مقادیر شاخص کیفیت و شاخص کیفی متوسط در چاه های بهره برداری مورد مطالعه، (الف) در سال ۸۵، (ب) در سال ۹۰

شماره نمونه	WQI	AWQI	شماره نمونه	WQI	AWQI	شماره نمونه	WQI	AWQI	شماره نمونه	WQI	AWQI
۱	۳۶۶/۹۵	۷۳/۴	۱۴	۳۴۴/۹۴	۶۸/۹۹	۱	۳۷۸/۷	۷۵/۷۴	۱۴	۳۸۲/۶	۷۶/۵
۲	۴۱۳/۲	۸۲/۶۴	۱۵	۳۰۳/۴۲	۶۰/۶۸	۲	۳۹۲/۵	۷۸/۵	۱۵	۳۲۷/۸۵	۶۵/۵۷
۳	۳۶۲/۱	۷۲/۴۳	۱۶	۷۵/۷۱	۱۵/۱۴	۳	۳۵۵/۹	۷۱/۱۸	۱۶	۷۹/۳۷	۱۵/۹
۴	۲۷۶/۲	۵۵/۲۳	۱۷	۱۷۵/۵۴	۳۵/۱	۴	۲۶۰/۶	۵۲/۱۲	۱۷	۱۸۱/۹۷	۳۶/۴
۵	۲۵۲/۱۱	۵۰/۴	۱۸	۱۲۶/۱۷	۲۵/۲۳	۵	۲۳۶/۸	۴۷/۳۶	۱۸	۱۱۷/۸۷	۲۳/۵۸
۶	۱۶۵/۷۲	۳۳/۱۴	۱۹	۹۸/۰۱	۱۹/۶	۶	۱۵۸/۳	۳۱/۶۶	۱۹	۹۱/۶۴	۱۸/۳۳
۷	۱۴۵/۵۸	۲۹/۱۱	۲۰	۲۰۳/۰۳	۴۰/۶	۷	۱۳۷/۶۴	۲۷/۵۳	۲۰	۱۸۳/۵۵	۳۶/۷۱
۸	۴۱۰/۵۶	۸۲/۱۱	۲۱	۳۲۶/۲۳	۶۵/۲۵	۸	۳۹۰	۷۸	۲۱	۲۷۵/۸	۵۵/۱۶
۹	۴۳۸/۰۵	۸۷/۶	۲۲	۲۳۳/۶۶	۴۶/۷	۹	۴۰۰/۲	۸۰/۰۴	۲۲	۱۹۸/۹	۳۹/۷۸
۱۰	۳۱۶/۳۶	۶۳/۳	۲۳	۹۹/۵۳	۱۹/۹	۱۰	۳۱۳/۳	۶۲/۷	۲۳	۹۷/۹۴	۱۹/۶
۱۱	۲۴۰/۷۸	۴۸/۲	۲۴	۱۷۹/۷۹	۳۵/۹۶	۱۱	۲۷۳/۱	۵۴/۶۲	۲۴	۱۸۸/۳	۳۷/۶۶
۱۲	۳۵۳/۰۱	۷۰/۶	۲۵	۷۷/۲۷	۱۵/۴۵	۱۲	۴۵۴/۸	۹۰/۹۶	۲۵	۷۶/۸	۱۵/۳۶
۱۳	۳۳۳/۰۳	۶۶/۶				۱۳	۳۱۸/۰۶	۶۳/۶۱			

(ب)

(الف)

دارد. نمونه های آب در سال ۸۵ از لحاظ آنیونی در زون کلردار یا مخلوط و به لحاظ کاتیونی سدیم- پتاسیم یا مخلوط قرار داشته اند در حالی که نمونه های آب در سال ۹۰ دارای آنیون شاخص کلر بوده و در بخش کاتیونی به سمت منیزیم متمایل شده است. همچنین برای بررسی بیشتر شیمی آب در دشت گناباد از نمودار اصلاح شده دورو نیز برای تشخیص ویژگی شیمیایی کلی نمونه های آب برداشت شده استفاده شده است. در این نمودار علاوه بر تعیین تیپ کلی آب، نقشه کنترلی تغییرات مجموع جامدات باقی مانده (TDS) و جایگاه نمونه ها در آن نیز آمده است (شکل ۴).

با توجه به دیاگرام های فوق، وضعیت آب برداشت شده در دو سال یاد شده به خوبی نشان داده می شود. به طوری که در بخش آنیونی، کاهش مقادیر یون سولفات و افزایش کلر و در بخش کاتیونی کاهش یون های سدیم، پتاسیم و افزایش منیزیم دیده می شود. چهار ضلعی اصلی نمودار تغییرات مقادیر TDS را نشان می دهد، گویای تراکم بالای داده های مورد بررسی در محدوده سبز رنگ نمودار است ولی می توان گفت که تغییرات برای سال ۸۵ بیشتر از سال ۹۰ بوده است. در بحث طبقه بندی و تعیین نوع شیمیایی آب هر یک از نمونه های برداشت شده، روش پیشنهادی انجمن هیدرولوژی هندوستان مورد استفاده قرار گرفت. می توان این روش طبقه بندی را از نظر کارایی و

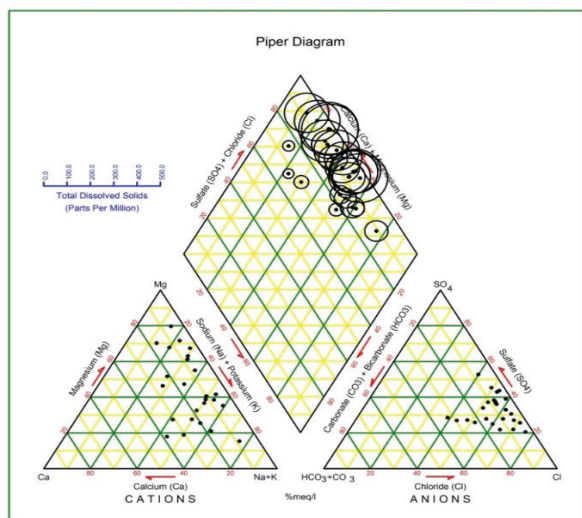
توجه به جدول ۳ می توان گفت تمام نمونه های برداشت شده برای دشت مورد مطالعه در سال های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ کمتر از حد مجاز آلودگی است.

۴-۲- نمودارهای هیدروشیمیایی

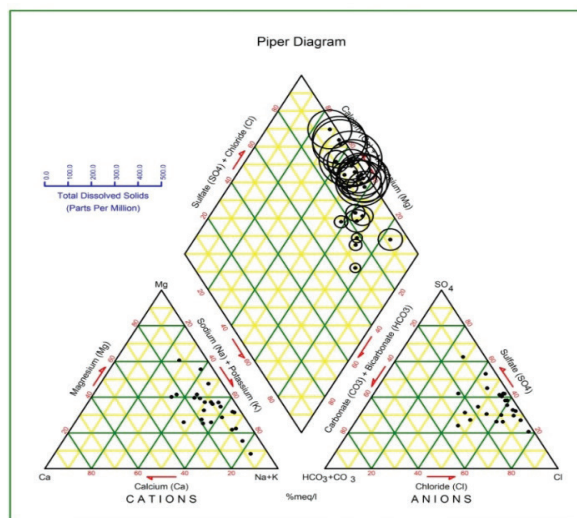
به منظور بررسی شیمی آب، از روش های گرافیکی از قبیل نمودارهای پایپر^۱ و دورو^۲ استفاده شد. نمودار هیدروشیمیایی پایپر یکی از روش های تشخیص سریع و آسان نوع کلی آب و دسته بندی آن است که در این مطالعه استفاده شد. در شکل های ۲- الف و ۲- ب دیاگرام پایپر برای نمونه های آب در سال های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ آمده است. برای تفسیر این نمودارها باید از نمودار استاندارد پایپر که در شکل ۳ نشان داده شده بهره گرفت.

تیپ یا نوع آب در هر یک از نواحی نه گانه موجود در لوزی میانی (شکل ۳) به ترتیب شماره عبارت است از قلیایی خاکی، قلیایی، اسید ضعیف، اسید قوی، سختی کربناته (موقت)، سختی غیر کربناته (دائم)، قلیابیت غیر کربناته (شور)، قلیابیت کربناته و اختلاط متعادل یون ها [۲۵].

با توجه به نمودارهای یاد شده می توان گفت که وضعیت کلی نمونه های آب برداشت شده در سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ اغلب در محدوده زون کلسیم- منیزیم- کلر است که سختی داریم

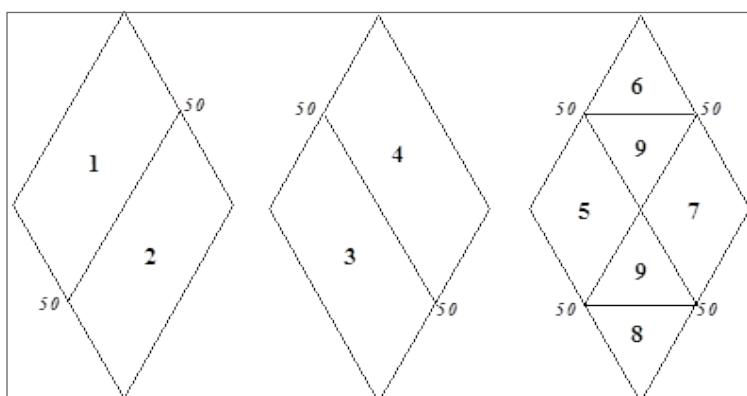


ب

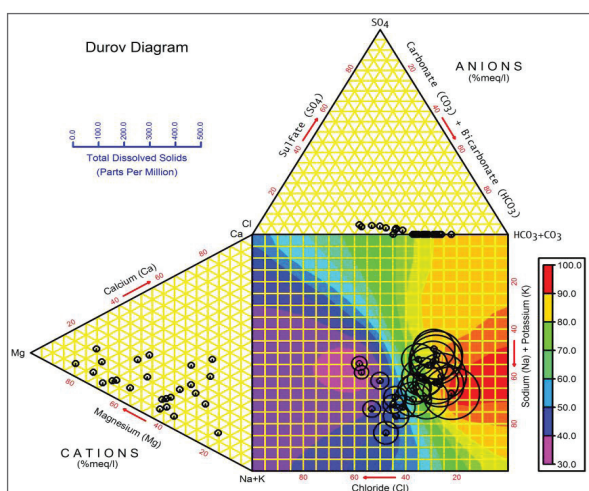


الف

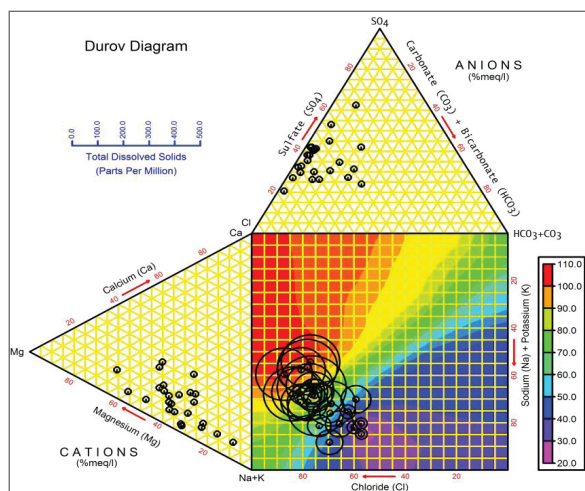
شکل ۲: (الف) دیاگرام پایپر برای مجموع نمونه‌های سال ۸۵، (ب) دیاگرام پایپر برای مجموع نمونه‌های سال ۹۰



شکل ۳: نواحی نه گانه تیپ آب زیرزمینی در نمودار هیدروشیمیایی پایپر [۲۵]



ب



الف

شکل ۴: (الف) دیاگرام دورو برای مجموع نمونه‌های سال ۸۵، (ب) دیاگرام دورو برای مجموع نمونه‌های سال ۹۰

منیزیک سولفات و در یک مورد منیزیک کلراته بوده است که احتمالاً به دلیل وجود مارن و ترکیبات آهنی در رسوبات نئوژن در این محلها است. وجود یون منیزیم نیز در اکثر موارد قابل توجه و تامل است که با بررسی نمونه های سال ۱۳۹۰ این مورد خود را به خوبی نشان می دهد. نکته حائز اهمیت در رابطه با نمونه های مربوط به سال ۱۳۹۰، تغییر در نوع کلی آب برخی از آنها است. تیپ کلی نمونه های آب برداشت شده در سال ۹۰ از سدیک سولفات به منیزیک سولفات تغییر کرده است که دلیل آن می تواند ناشی از ورود پسابها، نزدیکی چاهها به زمین های زراعی، کاهش میزان نزولات جوی و برداشت زیاد از منابع آب مرتبط باشد. تفسیر ارایه شده بر اساس مطالعه کل داده های منطقه است در حالی که در جدول های ۴ و ۵ تنها ۸ نمونه ارایه شده است.

قابل درک بودن بر روش های دیگر ارجح دانست. در این روش مقادیر غلظت یونها باید برحسب ppm, epm و درصد بیان شود (ppm=epm*N) که در اینجا N عدد جرمی است. بر اساس این روش از چپ به راست یون هایی که غلظت آنها بیش از ۲۰ درصد باشد را مشخص و در کنار یکدیگر قرار می دهند، سپس تیپ آب مربوطه بر اساس اولین و آخرین یون در هر ترکیب مشخص می شود. برای مثال طبق ستون سمت راست جدول ۴ تیپ آب نمونه شماره ۱ سدیک-سولفات است.

به دلیل قابل مقایسه بودن نتایج، این روش برای ۸ نمونه از سال ۸۵ و ۸ نمونه از سال ۹۰ مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به جدول ۴ می توان گفت که تیپ عمده نمونه های آب برای سال ۱۳۸۵، به صورت سدیک سولفات است. البته در دو نمونه

جدول ۴: طبقه بندی و تعیین نوع نمونه های آب برداشت شده در سال ۸۵

شماره نمونه		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	نوع آب
۱	ppm	29.4	1.2	15.5	8.9	39	2	0	14.2	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
	epm	1.28	0.03	0.775	0.73	1.1	0.032	0	0.29	
	%	45.4	1	27.5	25.9	77.3	2.25	0	20.4	
۲	ppm	35.7	1.1	11.2	8.8	36	2.2	0	18.8	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
	epm	1.55	0.028	0.56	0.72	1.01	0.036	0	0.39	
	%	54.2	1	19.6	25.2	70.3	2.5	0	27.2	
۳	ppm	31.8	0.8	10	8.8	30	1.6	0	20	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
	epm	1.38	0.02	0.5	0.72	0.84	0.02	0	0.41	
	%	52.7	0.7	19.1	27.5	66.1	1.5	0	32.3	
۴	ppm	25.4	0.2	6	6	22	2.4	0	13.4	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
	epm	1.1	0.005	0.3	0.49	0.61	0.03	0	0.27	
	%	58	0.2	15.8	25.8	67	3.3	0	29.7	
۵	ppm	21	0.1	4.7	8.3	16	2.1	0	16.1	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
	epm	0.91	0.002	0.24	0.68	0.45	0.03	0	0.33	
	%	50	0.1	13.1	37.1	55.6	3.7	0	40.7	
۶	ppm	17.7	0	0.7	4.5	12	3.3	0.6	7.1	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
	epm	0.76	0	0.035	0.37	0.33	0.05	0.02	0.14	
	%	65.2	0	3	31.8	61.1	9.3	3.7	26	
۷	ppm	14.6	0	2	3.6	9	4.4	0	6.9	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
	epm	0.63	0	0.1	0.29	0.25	0.07	0	0.14	
	%	61.7	0	9.8	28.4	54.3	15.2	0	30.4	
۸	ppm	24	1.4	16.2	15.4	27.5	1.7	0	27.9	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
	epm	1.04	0.03	0.81	1.26	0.77	0.02	0	0.58	
	%	33.1	0.9	25.7	40.1	56.2	1.4	0	42.3	
	epm	1.08	0.01	0.4	0.98	0.64	0.03	0	0.43	
	%	43.7	0.4	16.2	39.7	58.2	2.7	0	39.1	

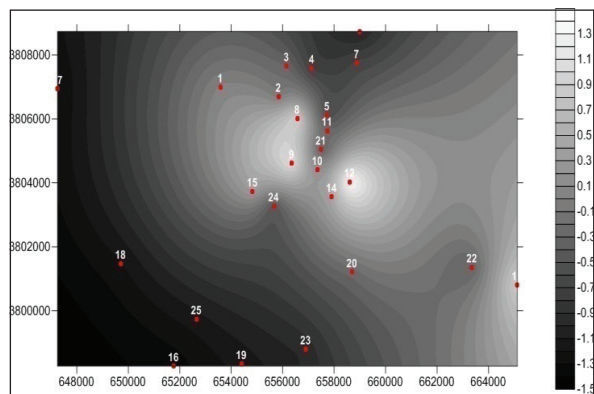
جدول ۵: طبقه‌بندی و تعیین نوع نمونه‌های آب برداشت‌شده در سال ۹۰

شماره نمونه		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	نوع آب
۱	ppm	29.4	1.6	16	6	34	2.5	0	16.6	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
	epm	1.28	0.04	0.8	0.5	0.96	0.04	0	0.35	
	%	48.9	1.5	30.5	19.1	71.1	3	0	25.9	
۲	ppm	35.7	2.3	12	9.2	41	3	0	15	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
	epm	1.55	0.06	0.6	0.76	1.15	0.05	0	0.31	
	%	52.2	2	20.2	25.6	76.2	3.3	0	20.5	
۳	ppm	29.7	1.5	12.2	9	30	3.4	0	19.2	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
	epm	1.3	0.04	0.61	0.74	0.85	0.06	0	0.4	
	%	48.3	1.5	22.7	27.5	64.9	4.5	0	30.5	
۴	ppm	20	0	13	7	24	3	0	13	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
	epm	0.87	0	0.65	0.58	0.68	0.05	0	0.27	
	%	41.4	0	31	27.6	68	5	0	27	
۵	ppm	18.4	0	14	4	17	4.2	0	15.4	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
	epm	0.8	0	0.7	0.33	0.48	0.07	0	0.32	
	%	43.7	0	38.3	18	55.2	8	0	36.8	
۶	ppm	15.8	0	2	6	12.2	4.1	0.6	6.9	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
	epm	0.69	0	0.1	0.5	0.34	0.08	0.02	0.14	
	%	53.5	0	7.8	38.8	58.6	13.8	3.5	24.1	
۷	ppm	13.5	0	3	5.2	10.3	4	0.6	7	Na-Mg ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
	epm	0.57	0	0.15	0.43	0.3	0.07	0.02	0.15	
	%	49.6	0	13	37.4	55.6	13	3.7	27.8	
۸	ppm	21	2	18	19.6	30.6	2.2	0	27.7	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
	epm	0.91	0.05	0.9	1.62	0.86	0.04	0	0.58	
	%	26.1	1.4	25.9	46.6	58.1	2.7	0	39.2	

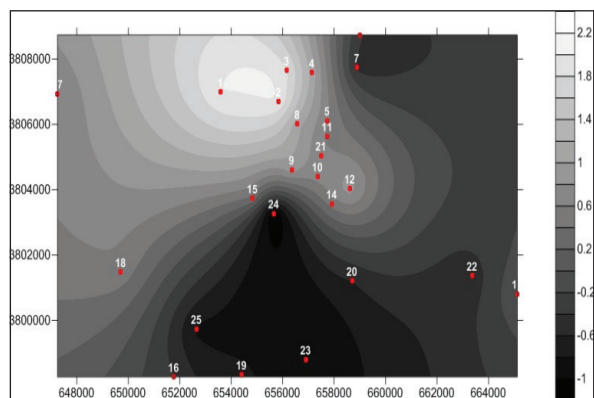
اصلی کنترل‌کننده توزیع پارامترهای هیدروشیمیایی به دست می‌دهد. در تحلیل فاکتوری، استخراج تعداد فاکتورها یکی از موضوعات مهم است که نقطه نظر واحدی برای آن وجود ندارد اما معیارهایی همچون مقادیر ویژه بزرگتر از ۱، مقادیر واریانس جمعی و نمودار Scree plot وجود دارد. برای انجام تحلیل فاکتوری چند متغیره بر روی داده‌های دشت گناباد از نرم افزار SPSS استفاده شد. بر اساس معیارهای نامبرده ۲ فاکتور استخراج شد. مقادیر Communalities و مقادیر بارفاکتوری در جدول ۶ ارائه شده است. Communalities بیانگر درصدی از تغییرات متغیرهاست که به وسیله فاکتورها قابل توجیه است. اکثر بارهای فاکتوری در جدول ۶ از نظر قدر مطلق به یک و صفر نزدیک‌تر شده‌اند و این نشان می‌دهد که دوران واریمکس در مورد داده‌ها، تا حدی موفق بوده است. با در نظر گرفتن سطح بارفاکتوری ۰٫۷، اقدام به استخراج بهترین ترکیب از یون‌ها در هر فاکتور شده است. بر این اساس فاکتور اول که بیش از ۶۵ درصد تغییرات کیفیت آب را شامل می‌شود

۳-۴- بررسی توزیع فضایی کیفیت آب زیرزمینی در دشت گناباد با استفاده از مدل آماری چند متغیره تحلیل فاکتوری R-mode

در مدیریت کیفیت منابع آب، تشخیص و تعیین توزیع فضایی پارامترهای شیمیایی مختلف بر اساس منابع مختلف موجود، مهم است. منابع مختلف نشانه‌ها و مختصات شیمیایی متفاوتی دارند به عنوان مثال فرآیند دفع و تصفیه فاضلاب، می‌تواند دلیل مقادیر بالای نیترات و فسفات در آب باشد. آنالیز فاکتوری، راهی برای تعیین مولفه‌های شیمیایی شاخص از طریق تحلیل را فراهم می‌کند. تهیه نقشه‌های کنتوری از طریق امتیازات فاکتوری امکان مقایسه مکانی منابع احتمالی موثر بر کیفیت شیمیایی آب را فراهم می‌آورد. در روش تحلیل فاکتوری بر مبنای R-mode، هدف یافتن ماتریس ضرایب همبستگی میان متغیرهاست. تحلیل فاکتوری R-mode همچنین امکان تعیین توزیع مکانی فاکتورهای نهایی را به وجود می‌آورد. تفسیر زمین‌شناسی فاکتورها، اطلاعاتی در مورد فرآیندهای



شکل ۵: نقشه امتیازات فاکتور ۱ به همراه موقعیت چاهها



شکل ۶: نقشه امتیازات فاکتور ۲ به همراه موقعیت چاهها

شامل ترکیب خطی بین مولفه های Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- و TH است. از آنجا که بار فاکتور بر روی هر یک از مولفه های یاد شده بسیار بالا است، بنابراین این فاکتور در منطقه مورد مطالعه اهمیت زیادی دارد، به گونه ای که می توان گفت عمده کیفیت آب دشت متأثر از این فاکتور است. فاکتور فوق می تواند به عنوان فاکتور شوری و سختی مورد توجه قرار گیرد که این مساله می تواند ناشی از جنس تشکیلات یا تخلیه پساب کارخانه ها اطراف چاه های مورد مطالعه باشد. وجود بار فاکتوری بالای TH و EC می تواند در فاکتور ۱ مبین این موضوع باشد.

جدول ۶: مقادیر بار فاکتوری و درصد مشارکت برای ۲ فاکتور استخراج شده از داده های مورد مطالعه

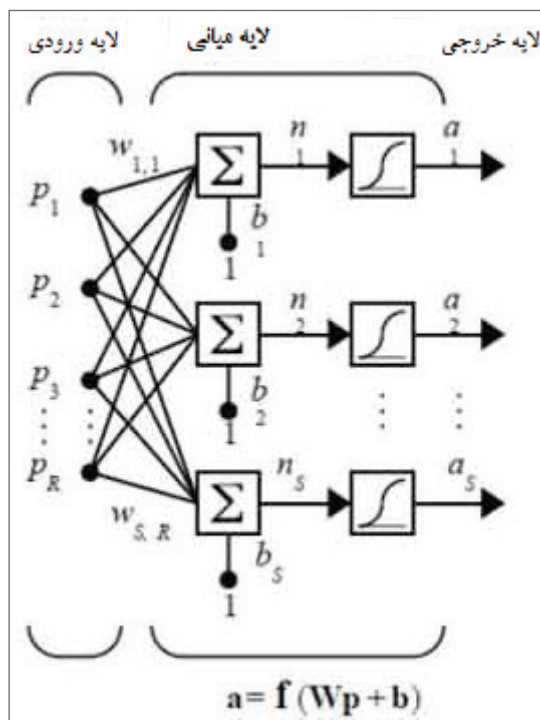
Variable	Factor 1	Factor 2	Communality
Na^+	0.733	0.108	0.784
K^+	0.245	0.170	0.724
Ca^{2+}	0.747	0.118	0.763
Mg^{2+}	0.939	-0.061	0.885
TH	0.929	0.278	0.940
EC	0.799	0.272	0.966
Cl^-	0.796	0.048	0.897
HCO_3^-	0.067	0.777	0.709
CO_3^{2-}	-0.491	0.708	0.733
SO_4^{2-}	0.806	0.195	0.805
pH	-0.477	0.699	0.837

فاکتور دوم برای داده های مربوطه ۱۰٫۷۳۷ درصد تغییرات را توجیه می کند. این فاکتور بهترین ترکیب خطی بین مولفه های HCO_3^- ، CO_3^{2-} و pH را ایجاد کرده است و می تواند برای این پارامترها مهم باشد. این فاکتور می تواند بیانگر الکالینیت دشت مورد مطالعه باشد. بار فاکتوری بالای pH در فاکتور ۲ تاییدکننده این موضوع است. بعد از استخراج فاکتورها و شناسایی منشا آن ها، مقادیر امتیازات فاکتوری محاسبه و نقشه های مربوط ترسیم شد. در شکل های ۵ و ۶ نقشه مربوط به امتیازات فاکتور اول و دوم نشان داده شده است. موقعیت چاه های مورد مطالعه در این نقشه ها نشان داده شده است. با دقت در شکل ۵ می توان دریافت که چاه های شماره ۸، ۹، ۱۲ و ۱۴ بیشترین امتیاز فاکتوری (فاکتور اول) را دارند، یعنی شوری و سختی آب در محل این چاه ها نیازمند مراقبت بیشتر است، همچنین نقشه شکل ۶ گویای این موضوع است که چاه های ۱، ۲، ۳ و ۴ امتیازات فاکتوری (فاکتور دوم) بیشتری دارند، بنابراین این نقاط حساس تر بوده و نیاز به کنترل و مراقبت بیشتری است.

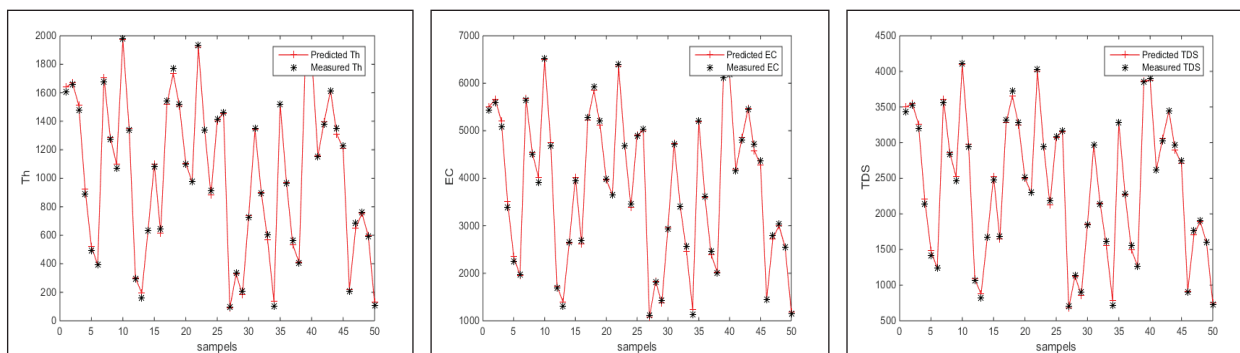
۴-۴- تعیین کیفیت آب زیرزمینی در دشت گناباد با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی برنامه محاسباتی بر اساس ساختار سیستم طبیعی بیولوژیکی است. روش یادگیری در یک شبکه عصبی مصنوعی شبیه به روشی است که در مغز انسان انجام می شود. شبکه های عصبی مصنوعی، سیستم هایی هستند که به صورت ریاضی برای دریافت، پردازش و محرک اطلاعات طراحی شده اند. پردازش اطلاعات در نرون ها انجام می شود. هر شبکه ساده شامل یک لایه ورودی، لایه میانی یا تابع محرک و لایه خروجی است. لایه ورودی سیگنال ها را از محیط خارج (یا دیگر نرون ها) دریافت می کند. تابع محرک، سیگنال های ورودی را جمع و پردازش می کند. همان طور که در شکل ۷ دیده می شود، یک شبکه مصنوعی شامل تعدادی ورودی است که با هم ترکیب شده و پس از انجام عملیات پردازش، یک خروجی را نتیجه می دهد [۲۶، ۲۷].

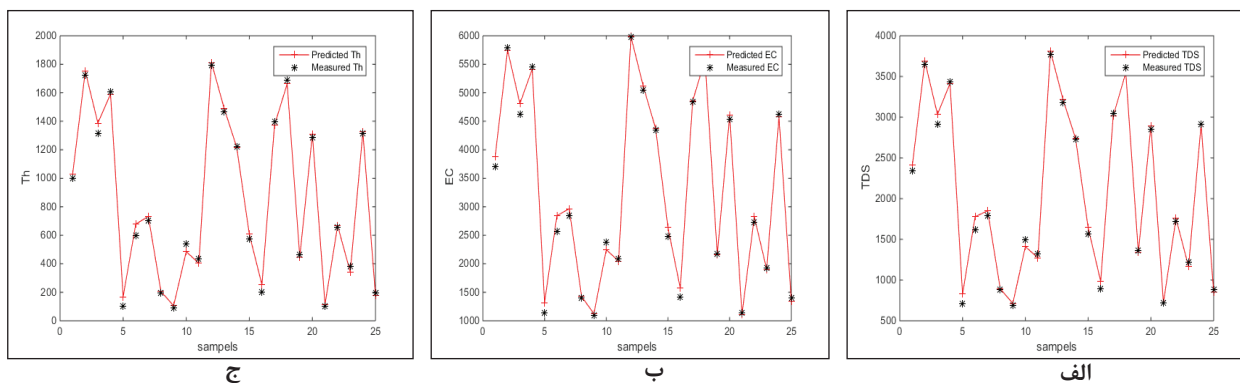
در این مطالعه از روش شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار خطا با الگوریتم آموزش بیزین برای شبیه‌سازی مقادیر TH، EC و TDS با استفاده از سایر پارامترهای کیفی (کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی) از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. به منظور بررسی میزان اهمیت هر یک از پارامترهای کیفی استفاده شده در پیش‌بینی مقادیر TH، EC و TDS از نرم‌افزار SPSS استفاده شد و پارامترهای Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، pH، Cl^- و SO_4^{2-} به عنوان ورودی شبکه انتخاب شدند. از ۷۵ داده اولیه مربوط به چاه‌های دشت گناباد (سال‌های ۸۵، ۸۸ و ۹۰)، ۵۰ داده به صورت تصادفی به عنوان داده‌های آموزش و ۲۵ داده بعنوان داده‌های تست به صورت تصادفی انتخاب شد. برای دست‌یابی به ساختار شبکه بهینه، ساختارهای مختلف با یک لایه پنهان و با نرون‌های مختلف بررسی و در نهایت لایه پنهان با تعداد ۱۵ نرون انتخاب شد. پیش‌بینی مقادیر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار خطا انجام شد، در شکل‌های ۸ تا ۱۱ مقادیر اندازه‌گیری شده حاصل از مدل شبکه عصبی پس انتشار خطا در مرحله آموزش و تست آورده شده است.



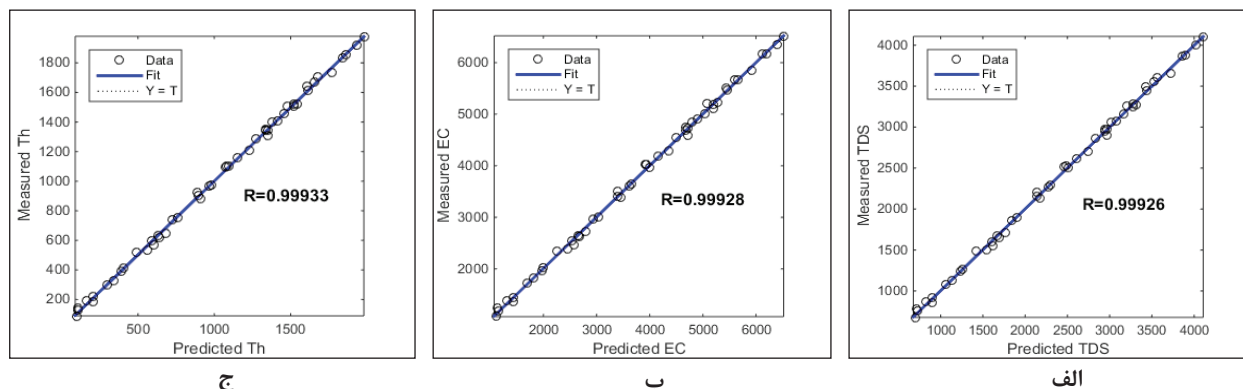
شکل ۷: ساختار شبکه عصبی مصنوعی [۲۶]



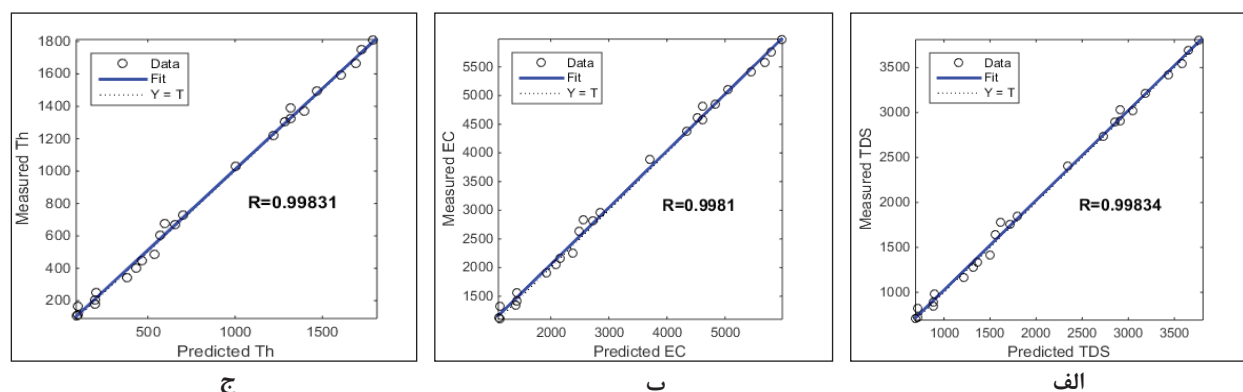
شکل ۸: بخش‌های (الف)، (ب) و (ج) به ترتیب مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده EC، TDS و TH در مرحله آموزش



شکل ۹: بخش‌های (الف)، (ب) و (ج) به ترتیب مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده EC، TDS و TH در مرحله تست



شکل ۱۰: بخش های (الف)، (ب) و (ج) به ترتیب نمودار رگرسیون مقادیر پیش بینی شده و اندازه گیری شده TDS، EC و TH در مرحله آموزش



شکل ۱۱: بخش های (الف)، (ب) و (ج) به ترتیب نمودار رگرسیون مقادیر پیش بینی شده و اندازه گیری شده TDS، EC و TH در مرحله تست

است. با بررسی جدول های طبقه بندی کیفیت آب برای سال ۸۵ و ۹۰ می توان گفت نوع آب عمدتاً سدیک سولفات است. همچنین به منظور بررسی توزیع فضایی کیفیت آب زیرزمینی در دشت از آنالیز فاکتوری R-mode استفاده شد که در نتیجه به کارگیری آن ۲ فاکتور استخراج شد. فاکتور اول بیانگر شوری و سختی آب که متاثر از جنس تشکیلات و یا تخلیه فاضلاب کارخانه ها است و فاکتور دوم بیانگر آلکالینیته آب است که مقادیر pH بالا گویای این نکته است. ترسیم نقشه های امتیازات فاکتوری نشان می دهد که چاه های شماره ۸، ۹، ۱۲ و ۱۴ از نظر فاکتور ۱ و چاه های ۱، ۲، ۳ و ۴ از نظر فاکتور ۲ حساس اند و باید مراقبت بیشتری انجام گیرد. در نهایت از شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار خطا با یک لایه پنهان و ۱۵ نرون در آن برای پیش بینی شاخص های کیفی آب از جمله TDS، EC و TH از روی آنیون ها و کاتیون های تاثیرگذار بر کیفیت آب با

مقدار ضریب همبستگی بالا بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده در داده های آموزش و تست برای پارامترهای پیش بینی شده، قابلیت بالای شبکه طراحی شده برای تخمین کیفیت آب از روی دو آنیون، دو کاتیون و pH قابل اندازه گیری با روش های ساده و ارزان را نشان می دهد.

۵- نتیجه گیری

با مشاهده و مقایسه نمودارهای پایپر برای سال های ۸۵ و ۹۰ و مشاهده نمودارهای دورو طی همین بازه ۵ ساله می توان گفت طی این ۵ سال خاصیت بخش کاتیونی آب تغییر قابل توجهی نکرده و فقط تغییرات در مورد بخش آنیونی اتفاق افتاده است. در مورد کاتیون ها، خاصیت آب از سدیک بودن به سمت خاصیت منیزیک بودن رفته است و در مورد آنیون ها، از خاصیت کلراته بودن به سمت کربنات، بی کربنات و کربنات رفته

factor analysis, a popular multivariate statistical technique to evaluate water quality in Khaf-Sangan basin, Mashahd, Northeast of Iran". Arabian Journal of Geosciences, 6(3): 893-900.

- [9] Moosavi, V., Vafakhah, M., and Shirmohamadi, B. (2013). "A wavelet-ANFIS hybrid model for groundwater level forecasting for different prediction periods". Water Resources Management, 27: 1301-1321.
- [10] Singh, K. P., Malik, A., and Sinha, S. (2005). "Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques- a case study". Analytica Chimica Acta, 538: 355-374.
- [11] Stamatis, G., Lambrakis, N., Alexakis, D., and Zagana, E. (2006). "Groundwater quality in Mesogea basin in eastern Attica (Greece)". Hydrological Processes, 20: 2803-28188.
- [12] Shrestha, S., and Kazama, F. (2007). "Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan". Environmental Modelling & Software, 22: 464-475.
- [13] Abu-Khalaf, N., Khayat, S., and Natsheh, B. (2013). "Multivariate data analysis to identify the groundwater pollution sources in Tulkarm area/Palestine". Science and Technology, 3: 99-104.
- [14] Chu, H. B., Lu, W. X., and Zhang, L. (2013). "Application of artificial neural network in environmental water quality assessment". Journal of Agricultural Science and Technology, 15: 343-356.
- [15] Moasheri, S. A., Mohamad Rezapour, O., Beyranvand, Z., and Poornoori, Z. (2013). "Estimating the spatial distribution of groundwater quality parameters of Kashan plain with integration method of geostatistics - artificial neural network optimized by genetic-algorithm". International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 5(20): 2434-2442.
- [16] Kheradpishch, Z., Talebi, A., Rafati, L., Ghaneian, M.T., and Ehrampoush, M. H. (2015). "Groundwater quality assessment using artificial neural network: A case study of Bahabad plain, Yazd, Iran". Desert, 20(1): 65-71.
- [17] Cuesta Cordoba, I. G. A. (2011). "Using of artificial neural network for evaluation and prediction of some drinking water quality parameters within a water distribution system". Water Management and Water Structures, 3: 1-11.
- [18] Nourani, V., and Ejlali, G. (2012). "Quantity and quality modeling of groundwater by conjugation of ANN and co-kriging approaches". Water Resources Management and Modeling, 287-310.

قابلیت پیش‌بینی بالا استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مدل‌های عصبی در صورت آموزش صحیح می‌توانند به عنوان یک ابزار توانمند در پیش‌بینی کیفیت آب زیرزمینی در نقاط مجهول دشت‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

۶- سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله مراتب سپاس‌گزاری خویش را از دانشگاه بیرجند و سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی که زمینه اجرای این تحقیق را فراهم کردند، ابراز می‌نمایند. همچنین حمایت‌های مالی دانشگاه بیرجند برای اجرای این تحقیق قابل تقدیر است.

۷- مراجع

- [1] Kumru, M. N., and Bakac, M. (2003). "R-mode factor analyses applied to the distribution of element in soils from the Aydin basin, Turkey". Journal of Geological Exploration, 77: 81-91.
- [2] Amos, A., Love, D., Hallbauer, D., and 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, 29: 1135-1143.
- [3] Bakac, M. (2004). "R-mode factor analysis applied to the distribution of radionuclide in Turkey". Journal of Radiation Physics and Chemistry, 71: 781-782.
- [4] Lambrakis, N., Stamatis, G., Alexakis, D and Zagana, E. (2006). "Groundwater quality in Mesogea basin in eastern Attica (Greece)". Journal of Hydrological Processes, 20: 2803-2818.
- [5] Shu-ke, C., Dong-lin, D., Qialig, W., Rui, Z., Ying-xia, S., and Li, P. (2007). "Environmental characteristics of groundwater: an application of PCA to water chemistry analysis in Yulin". Journal of China University of Mining & Technology, 17(2): 73-77.
- [6] Omo-Irabor, O., Bamidele Olobaniyi, S., Oduyemi, K., and Akunna, J. (2008). "Surface and groundwater water quality assessment using multivariate analytical methods: A case study of the Western Niger Delta, Nigeria". Journal of Physics and Chemistry of The Earth, 33: 666-673.
- [7] Akabzaa, T., Yidana, S. M., and Banoeng-Yakubo, B. (2010). "Analysis of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in the Keta basin, Ghana". Journal of African Earth Sciences, 58: 220-234.
- [8] Aryafar, A., and Doulati Ardejani, F. (2013). "R-mode

دشت گنبد-گرگان طی سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند.

[۲۴] آریافر، ا؛ دولتی ارده جانی، ف؛ محوی، م؛ کیانوش، پ؛ ۱۳۸۸؛ "استفاده از شاخص کیفی آب و شاخص اشباع برای ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در دشت خواف- سنگان"، سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، ۸ صفحه.

[25] Piper, A. M. (1994). "A graphic procedure in the geochemical interpretation of water". Transactions of The American Geophysical Union, 25: 914- 928.

[26] Demuth, H., and Beale, M. (2002). "Neural network toolbox for use with MATLAB". Natick, MA: The Mathworks, pp. 840.

[27] Haykin, S. (2004). "Neural network a comprehensive foundation". Prentice-Hall of India Pvt. Ltd, pp. 823.

[۱۹] زارعی، ح؛ کلانتری، ن؛ چرچی، ع؛ ۱۳۸۴؛ "آنالیز آماری پارامترهای هیدروشیمیایی آبخوان آبرفتی دشت زیدون استان خوزستان"، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، ص ۶۰-۵۱.

[۲۰] بنی اسدی، ع؛ دولتی ارده جانی، ف؛ کرمی، غ؛ بنی اسدی، م؛ ۱۳۸۸؛ "بررسی هیدروژئوشیمی و کنترل کیفیت آب آشامیدنی دهستان سیه بنوئیه کرمان"، مجموعه مقالات سومین همایش تخصصی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، ۷ صفحه.

[۲۱] عسکری، م ص؛ آریافر، ا؛ ۱۳۹۰؛ "پیش بینی پارامترهای کیفی EC، TDS و TH در آب زیرزمینی دشت بیرجند با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی"، هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۱ صفحه.

[۲۲] محمدقاسمی، ط؛ آریافر، ا؛ ۱۳۹۰؛ "استفاده از شاخص کیفی و نمودارهای Piper و Durov جهت ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت اسفدن- قائن"، هفتمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۸ صفحه.

[۲۳] نقی نسب، ب؛ ۱۳۹۳؛ "پایش کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان

^۱ Piper

^۲ Durov