

## بررسی روند تغییرات پارامترهای هیدروشیمیایی آب زیرزمینی دشت گرگان

هدی گلپایگانی<sup>۱\*</sup>، محمد گوهری مقدم<sup>۲</sup>، فردین بوستانی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، شیراز، ایران

۲- استادیار آب‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، موسسه تحقیقات آب، شیراز، ایران

۳- استادیار علوم آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات فارس، شیراز، ایران

\* عهده‌دار مکاتبات: H\_gol2001@yahoo.com

دریافت مقاله: ۹۱/۱/۲۶، پذیرش مقاله: ۹۱/۶/۲۰

### چکیده

دشت گرگان با وسعت ۱۱۵۹۴ کیلومتر مربع در جنوب شرق دریاچه خزر قرار دارد. در این ناحیه، منبع اصلی مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی آب زیرزمینی است، بنابراین، بررسی تغییرات کیفیت هیدروشیمیایی و تضمین کیفیت آب زیرزمینی از راه محافظت آن در برابر منابع تاثیرگذار بر آن، ضرورت دارد. در این پژوهش، ۱۸۹ نمونه آب چاه‌های عمیق آبخوان دشت گرگان جمع‌آوری و برای بررسی کیفیت و ارزیابی هیدروشیمیایی کاتیون‌های اصلی ( $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{K}^+$ ) و آنیون‌های اصلی ( $\text{HCO}_3^-$ ،  $\text{Cl}^-$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{CO}_3^{2-}$ ) و پارامترهای (pH، رسانایی الکتریکی EC، و کل مواد جامد حل شده) بررسی شدند. تحلیل مکانی داده‌ها با نرم‌افزار ArcGIS 9.3 انجام شد. همچنین براساس نمودار پایپر، نمونه‌های آب زیرزمینی در گروه‌های  $\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{Mg}^{2+}$  -  $\text{Cl}^-$  -  $\text{SO}_4^{2-}$  و  $\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{Mg}^{2+}$  -  $\text{HCO}_3^-$  قرار گرفتند. روند تغییرات کیفی در مرکز و شمال‌غرب دشت به سمت افزایش کلرید، سولفات و شوری آب و ناشی از نشت آلودگی‌های شهری و صنعتی و نفوذ آب دریا در این نواحی است. براساس نمودارهای ویلکاکس ۷۱/۴۳ درصد نمونه‌ها در گروه C3-S1 قرار دارند که نشان‌دهنده شوری زیاد و سدیم کم آنهاست. در نتیجه، کیفیت آب برای شرب در محدوده خوب تا قابل قبول قرار دارد و برای کشاورزی نیز مناسب است.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، کیفیت هیدروشیمیایی، کاتیون و آنیون، گرگان

### ۱- مقدمه

گرگانرود-قره‌سو در استان گلستان در جنوب شرقی دریاچه خزر قرار دارد. این دشت یکی از بزرگ‌ترین دشت‌های کشور است که از مصب رودخانه‌های گرگانرود و قره‌سو، در غرب حوضه شروع و با گسترش طولی حدود ۱۵۰ کیلومتر به طرف شرق کشیده می‌شود. این دشت در عرض جغرافیایی  $37^\circ$  و طول جغرافیایی  $30^\circ 54'$  قرار گرفته است (شکل ۱). حدود ۵۰ درصد وسعت دشت شامل زمین‌های کشاورزی، ۳۰ درصد مناطق جنگلی و ۲۰ درصد مناطق شهری و روستایی، مناطق کوهستانی و زمین‌های بایر است. زمین‌های کشاورزی عمدتاً در دشت گرگان و مناطق کوهپایه‌ای قرار دارند. از نظر هیدروژئولوژیکی، آبخوان‌های موجود در حوضه مورد مطالعه به آبخوان‌های آبرفتی واقع در بخش‌های پست و کم‌ارتفاع و آبخوان‌های سازند سخت واقع در بخش‌های مرتفع تقسیم می‌شوند (مهندسی مشاور جاماب، ۱۳۷۸). آبخوان آبرفتی شامل آبخوان‌های کم‌عمق و عمیق است. این آبخوان‌ها از شن، ماسه، رس و رسوبات لسی تشکیل شده‌اند که دشت وسیع گرگان را در بر می‌گیرد. آبدهی و کیفیت آب در بخش‌های جنوبی و میانی دشت گرگان، به دلیل ضخامت زیاد و دانه‌بندی خوب رسوبات سست و نیز تغذیه مناسب از ارتفاعات جنوبی مشرف به دشت، در مقایسه با بخش شمالی دشت که دارای رسوبات ریزدانه و تغذیه نامناسب و همچنین ورود پساب‌های کشاورزی است، مناسب‌تر است. به‌طور کلی ۸۷ درصد از تخلیه

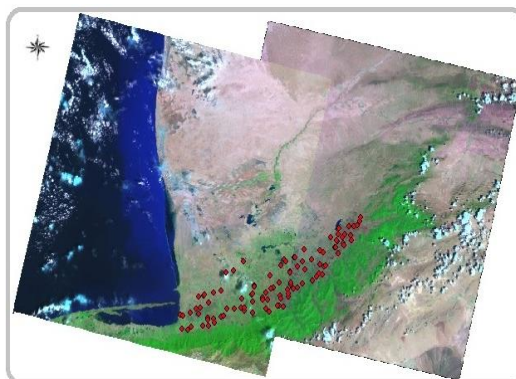
رشد جمعیت و تغییرات اقلیمی در بسیاری از مناطق جهان، به‌ویژه در شهرهای بزرگ و در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک منجر به کمبود آب شده است (Wolfe et al., 1988). همچنین آلودگی آبخوان‌های آب زیرزمینی توسط پساب‌های کشاورزی، صنعتی و شهری رخ می‌دهد. در کشور ما، حفاظت منابع آب زیرزمینی در برابر تغییرات کیفی ناشی از بهره‌برداری بیش از حد از آبخوان، از جمله افزایش شوری و نمک‌های حل شده در آن که باعث تخریب کیفیت آب چه از نظر شرب و چه از نظر کشاورزی می‌شود، اهمیت خاصی دارد. منابع آب زیرزمینی در ایران و دیگر کشورهای با آب و هوای خشک و نیمه‌خشک، مهم‌ترین منبع تامین آب کشاورزی و شرب است. امروزه، تغییر کیفیت آب زیرزمینی خطری بزرگ به شمار می‌رود. نقشه‌های تغییرات ویژگی‌های شیمیایی آب زیرزمینی، نقشی ارزنده در فرایند تصمیم‌گیری و مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند.

### ۲- محدوده مورد مطالعه

دشت گرگان با وسعت بیش از ۱۱۵۹۴ کیلومتر مربع، در حوضه آبریز

مانند سازندهای مزدوران و لار که به طور محلی دارای شکستگی، خردشدگی و پدیده کارستی شدن است، وجود دارد.

سالانه منابع آب زیرزمینی در حوضه گرگانرود- قره‌سو، به آبخوان‌های آبرفتی تعلق دارد (مهندسین مشاور خزرآب، ۱۳۷۶). آبخوان‌های سازند سخت در بخش جنوبی و شرقی حوضه و به طور عمده در سنگ‌های کربناتی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت گرگان

سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) وارد شد. این سامانه در تحقیقات پیشین نیز در ارزیابی و پیش‌بینی مناطق آسیب‌پذیر، نقش بسیار مهمی داشته است (Nikkarinen & Kauniskangas, (1996), Hwang et al., (1997), Hudak & Thapinta, (2003), Alemaw & Chaoka, (2004)). نقشه‌های هم‌غلظت، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.3، برای تعیین تغییر مکانی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی تهیه شدند. همچنین، رژیم هیدروشیمیایی منطقه با نمودار پایپر بررسی شد. افزون بر این، از نمودار ویلکاکس در تعیین کیفیت آب زیرزمینی برای آبیاری استفاده شد.

پارامترهای آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب زیرزمینی چاه‌های عمیق شامل pH، EC، TDS و کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در سال‌های آبی ۹۰-۱۳۸۹ و ۸۵-۱۳۸۴ در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

### ۳- مواد و روش‌ها

در این تحقیق با مراجعه به شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، اطلاعات هیدروشیمیایی و پارامترهای فیزیکی چاه‌ها گردآوری شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ۸۵ حلقه چاه نیمه‌عمیق و ۱۰۴ حلقه چاه عمیق در نقاط مختلف دشت گرگان وجود دارد. بازدیدهای صحرایی و نقشه موقعیت چاه‌های منطقه نشان داد که چاه‌ها از پراکندگی مناسب در سطح دشت برخوردار هستند و نمونه‌ها وضعیت کلی آب زیرزمینی را به خوبی مشخص می‌کند.

برای انجام تحلیل‌های مکانی و تغییرات دوره‌ای آب زیرزمینی، نتایج تجزیه شیمیایی آب چاه‌های آبخوان عمیق و داده‌های مکانی مربوطه، به

جدول ۱- پارامترهای آماری داده‌های فیزیکی و شیمیایی چاه‌های عمیق دشت گرگان در سال‌های ۸۵-۱۳۸۴ و ۹۰-۱۳۸۹

پارامتر	Ca		Mg		Na		K		HCO <sub>3</sub>		SO <sub>4</sub>		Cl		TDS		EC		pH	
	۸۵-۸۴	۸۹-۹۰	۸۵-۸۴	۸۹-۹۰	۸۴-۸۵	۸۹-۹۰	۸۴-۸۵	۸۹-۹۰	۸۴-۸۵	۸۹-۹۰	۸۴-۸۵	۸۹-۹۰	۸۴-۸۵	۸۹-۹۰	۸۴-۸۵	۸۹-۹۰	۸۴-۸۵	۸۹-۹۰	۸۴-۸۵	۸۹-۹۰
سال آبی	۸۵-۸۴	۸۹-۹۰	۸۵-۸۴	۸۹-۹۰	۸۴-۸۵	۸۹-۹۰	۸۴-۸۵	۸۹-۹۰	۸۴-۸۵	۸۹-۹۰	۸۴-۸۵	۸۹-۹۰	۸۴-۸۵	۸۹-۹۰	۸۴-۸۵	۸۹-۹۰	۸۴-۸۵	۸۹-۹۰	۸۴-۸۵	۸۹-۹۰
کمینه	۱/۲	۱/۵	۰/۷	۱/۵	۰/۲۳	۰/۵۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۳/۱	۳/۷	۰/۰۴	۰/۴۷	۰/۲	۰/۴	۳۲۰	۳۳۶	۵۰۸	۴۸۱	۶/۸	۷/۱
بیشینه	۸/۱	۷/۵	۶/۸	۷/۳	۲۸/۷۲	۳۶	۰/۲۶	۰/۱۹	۸/۹	۹/۴	۱۰/۴	۱۰/۵۲	۳۰	۳۹	۲۴۸۰	۴۹۹۰	۴۰۰۰	۲۷۴۴	۸/۸۷	۸/۱
دامنه	۷/۱	۶/۳	۶/۱	۵/۸	۲۸/۴۹	۳۵/۴۵	۰/۲۴	۰/۱۷	۵/۸	۵/۷	۱۰/۳۶	۱۰/۵	۲۹/۸	۳۸/۶	۲۱۶۰	۲۴۰۸	۳۴۹۲	۴۵۰۹	۲/۰۷	۱
میانگین	۳/۲۶	۲/۸۵	۲/۹۲	۳/۲۳	۴/۲۰	۲/۹۲	۰/۵	۰/۰۴	۵/۱۲	۵/۲۷	۱/۹	۱/۹۶	۳/۰۶	۲/۹۴	۶۳۰/۶۳	۹۹۹/۶۸	۹۹۸/۲۸	۶۳۵/۴۶	۷/۱۶	۷/۱۶
انحراف استاندارد	۱/۲۳	۱	۰/۹۷	۰/۹۸	۴/۹۱	۴/۸۳	۰/۳۱	۰/۰۳	۱/۱۱	۰/۹۲	۱/۵۱	۱/۳۷	۴/۶۲	۴/۶۹	۲۳/۷۲	۵۷۰/۲۸	۳۸/۴۳	۲۹۱/۹۲	۰/۳۳	۰/۲۳
واریانس	۱/۵۱	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۷	۲۳/۳۴	۲۴/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۲۳	۰/۸۵	۲/۲۹	۱/۸۸	۲/۳۹	۲/۲۹	۲۱/۳	۱۰۳/۱۲۱	۳۲۵۲۲۲	۲۷۰۵۵۴	۰/۰۵	۰/۰۵
چولگی	۱/۰۹	۰/۷۴	۱/۱۴	۱/۲۷	۲/۸۵	۴/۲	۳/۵۲	۲/۷۶	۲/۶۳	۰/۳۲	۲/۶۳	۳/۱	۳/۹۷	۵/۰۴	۳/۷۳	۴/۵۲	۳/۷۷	۴/۶۱	۰/۳۳	۰/۴۵

### ۳-۱- اکتیویته یون هیدروژن (pH)

Bhattacharyya, 2008). در این مطالعه، مقادیر این پارامتر بین ۳۲۰ و ۲۴۸۰ میلی گرم در لیتر متغیر بود (شکل ۴). توجه به این نکته ضروری است که موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های خاک و حتی سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه نیز ممکن است با مقدار کل جامدات حل شده در آب زیرزمینی مرتبط باشد. از نظر مجموع نمک‌ها، کیفیت آب چاه‌ها در بخش جنوب غربی منطقه مورد مطالعه، نسبت به بخش‌های دیگر دشت مناسب‌تر است (شکل ۴). میانگین مقدار مجموع نمک چاه‌ها ۶۳۰/۶۳ میلی گرم در لیتر است. مقایسه نقشه تغییرات مکانی مواد جامد حل شده (شکل ۴) و نقشه توزیع مکانی رسانایی الکتریکی (شکل ۳) شباهت و ارتباط این دو پارامتر با یکدیگر را نشان می‌دهد.

در شکل ۵، نقشه هم‌ارزش سدیم رسم شده است. این نقشه‌ها نشان‌دهنده روند تغییرات مشابه یون سدیم با یون کلرید در نواحی شمال غربی دشت و ناشی از نفوذ آب شور دریا و افزایش غلظت کلرید سدیم است. افزایش سدیم به صورت نواحی متمرکز، نشان‌دهنده آمیختگی محلی آبخوان‌ها با کیفیت متفاوت به صورت محلی و همچنین نشانگر آلودگی‌های محلی توسط پساب‌ها در ناحیه مرکزی و شمال شرقی دشت است. میزان بالای سدیم در نمونه‌های آب زیرزمینی ممکن است مربوط به آلودگی حاصل از خروجی‌های فاضلاب خانگی و شهری دارای سدیم و عدم رعایت حریم کیفی مناسب باشد. مقدار سدیم از ۵ تا ۶۶۰ میلی گرم در لیتر در تغییر بوده که این امر نشان‌دهنده این واقعیت است که این مقادیر (بجز نمونه‌های دامداری عبدوی، قوچمراد و دهنه) در حد مجاز ۴۰۰ میلی گرم در لیتر قرار گرفته است.

### ۳-۴- کلرید

منشأ اصلی یون کلرید در آب زیرزمینی، از سنگ‌های تبخیری، آب دریا، آب فسیل و پساب‌های شهری و صنعتی است. آب‌های زیرزمینی آبخوان عموماً دارای غلظت کلرید کمتر از ۴۰۰ میلی گرم در لیتر هستند. در سال ۹۰-۱۳۸۹ بیشترین غلظت کلرید نمونه آب‌های زیرزمینی دشت گرگان برابر با ۱۰۶۵ میلی گرم در لیتر در غرب دشت (دامداری عبدوی) اندازه‌گیری شده است (شکل ۶). با توجه به نقشه‌های هم‌کلرید دشت گرگان، روند تغییرات کلرید در سال‌های ۸۵-۱۳۸۴ و ۹۰-۱۳۸۹ در شمال غربی دشت رو به افزایش بوده است که متأثر از نفوذ آب شور دریا است.

### ۳-۵- سولفات

غلظت بالای سولفات مربوط به آلودگی حاصل از فاضلاب صنعتی و خانگی است (Baruah et al., 2008). شکل ۷ منحنی‌های هم‌ارزش سولفات را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. براساس این نمودارها می‌توان گفت که در بخش‌های مرکزی منطقه (مراکز شهری و صنعتی) آب مقادیر بیشتری یون سولفات داشته و کیفیت بدتری دارد. میانگین غلظت سولفات چاه‌های عمیق دشت گرگان، در سال ۹۰-۱۳۸۹ و ۸۵-۱۳۸۴ برابر با ۹۱ میلی گرم بر لیتر است.

تغییرات pH آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه، بین ۶/۸ تا ۸/۸۷ (شکل ۲) و نشان‌دهنده ماهیت قلیایی آب زیرزمینی است. با وجود اینکه pH، هیچ اثر مستقیمی بر سلامت انسان ندارد اما مقادیر بالاتر آن تشکیل رسوب را در دستگاه‌های گرم‌کننده آب تسریع می‌کند. شکل‌های ۲-A و B تغییرات pH را در دشت گرگان در دو سال آبی ۸۵-۸۴ و ۹۰-۸۹ نشان می‌دهند.

### ۳-۲- رسانایی الکتریکی

رسانایی الکتریکی، مقیاسی بر توانایی آب برای عبور جریان الکتریکی است. رسانایی الکتریکی در آب، تحت تأثیر حضور مواد جامد حل شده معدنی مانند آنیون‌های کلرید، نیترات، سولفات و آنیون‌های فسفات (یون‌های با بار منفی) و یا سدیم، منیزیم، کلسیم، آهن و کاتیون‌های آلومینیم (یون‌های با بار مثبت) قرار می‌گیرد. همچنین رسانایی الکتریکی آب تابعی از دمای آب است. بنابراین آب گرم‌تر، رسانایی الکتریکی بیشتری دارد. به همین دلیل، رسانایی الکتریکی در ۲۵ درجه سانتی‌گراد گزارش می‌شود. از این رو، با افزایش نمک‌های حل شده در آب، EC افزایش و در نتیجه کیفیت آب کاهش می‌یابد (freeze & cherry, 1979). در سال ۸۵-۱۳۸۴ میانگین رسانایی الکتریکی چاه‌های عمیق دشت گرگان برابر با ۹۹۸/۶۸ میکروموس بر سانتی‌متر و در سال ۹۰-۱۳۸۹ برابر با ۹۹۸/۲۸ میکروموس بر سانتی‌متر است. کمینه و بیشینه هدایت الکتریکی چاه‌های عمیق دشت گرگان در سال ۸۵-۱۳۸۴، به ترتیب، ۴۸۱ و ۴۹۹۰ میکروموس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شده و در سال ۹۰-۱۳۸۹، به ترتیب برابر با ۵۰۸ و ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر بوده است. همان‌گونه که در شکل ۳ دیده می‌شود، در سال ۹۰-۱۳۸۹ رسانایی الکتریکی از حدود ۵۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در نواحی مرکزی دشت تا حدود ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در ناحیه غربی دشت متغیر است و در حاشیه جنوب غربی دشت به بیش از ۶۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌رسد. روند تغییرات رسانایی الکتریکی، نشان‌دهنده کاهش حداکثر و افزایش مقدار حداقل در طی ۶ سال است و از نظر آماری میانگین رسانایی الکتریکی تغییر چندانی نکرده است، اما از وسعت نواحی دارای شوری حداکثری کاسته شده است در حالی که نواحی دارای رسانایی الکتریکی میانگین (میزان میانگین نمک) در کل سال ۹۰-۱۳۸۹ گسترش بیشتری داشته‌اند. دلیل این امر کاهش حفر چاه و بهره‌برداری کمتر و اجرای پروژه‌های آبخیزداری در محدوده دشت گرگان و در واقع مدیریت بهتر آبخوان است. به طور کلی بررسی روند تغییرات شوری آب زیرزمینی در چاه‌های عمیق دشت گرگان نیز نشان‌دهنده روند کاهشی میزان شوری حداکثر در طی دو دهه است.

### ۳-۳- مواد جامد حل شده

مواد جامد حل شده در آب، تأثیر مستقیمی بر ماده یونی حل شده در آب دارد و در نتیجه با رسانایی الکتریکی آب در ارتباط است (Kapil &

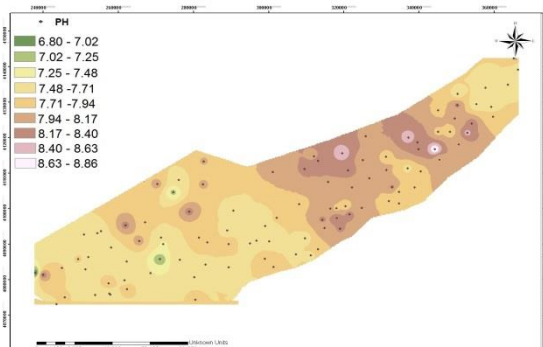
انجام شده توسط شمعانیان و همکاران (۱۳۸۴)، نفوذ آب دریا مهم ترین منشأ این یون هاست.

اگر به روند افزایش یون کلرید در طی سال های ۸۵-۱۳۸۴ الی ۹۰-۱۳۸۹ در شکل ۶ توجه کنیم، تاثیر نفوذ آب دریای خزر و افزایش شوری آبخوان در حاشیه شمال غربی و غربی دشت مشاهده می شود. یون کلرید علاوه بر سدیم، با یون های کلسیم، پتاسیم، منیزیم و بیکربنات نیز ارتباط خطی مستقیمی دارد. بیکربنات با تمامی یون ها، بجز یون سولفات، منیزیم و کلسیم، رابطه معکوس دارد. همان گونه که در جدول ۲ دیده می شود، بین EC و یون های کلرید، سدیم، پتاسیم، کلسیم و سولفات همبستگی وجود دارد و بهترین همبستگی بین EC با یون های کلرید و سدیم، بیکربنات و منیزیم است. این مطلب بیانگر نقش نفوذ آب دریای خزر و انحلال نمک هایی مانند هالیت و همچنین ژپس در افزایش EC است که از بین نمک ها نقش کلرید سدیم نسبت به سایر کانی ها آشکارتر است.

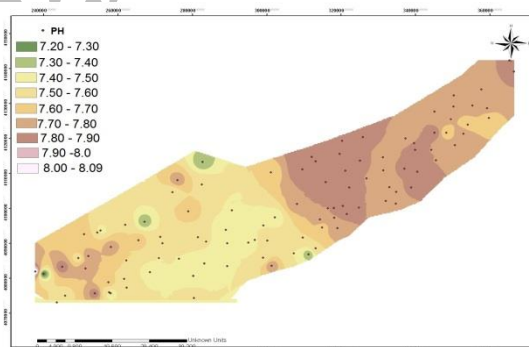
با مقایسه میانگین سال های آبی ۸۵-۱۳۸۴ و ۹۰-۱۳۸۹ برای متغیرهای مورد بررسی (جدول ۳)، دیده می شود که پتاسیم در سال های مختلف دارای اختلاف معنی دار و Ca، Mg، TDS و EC در سال ۸۵-۱۳۸۴ دارای اختلاف معنی داری با سال ۹۰-۱۳۸۹ هستند و Na و Cl فاقد اختلاف معنی داری در سطح اطمینان ۵ درصد در سال های مختلف است.

در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ کمترین و بیشترین غلظت، به ترتیب، مربوط به بیکربنات (صفر میلی گرم در لیتر) و کلرید (۱۰۶۵ میلی گرم در لیتر) است. در سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ نیز کمترین و بیشترین غلظت به ترتیب، مربوط به بیکربنات (صفر میلی گرم در لیتر) و کلرید (۱۳۸۵ میلی گرم در لیتر) است. با توجه به ضریب تغییرات غلظت یون های اصلی (انحراف استاندارد تقسیم بر میانگین) در بین یون های اصلی، سدیم و سولفات به ترتیب کمترین و بیشترین تغییرات غلظت را در دشت گرگان داشته اند. در عین حال ضریب تغییرات سدیم و کلرید در نمونه های آب دشت گرگان در سال ۹۰-۱۳۸۹ نسبت به سال ۸۵-۱۳۸۴ کاهش یافته است.

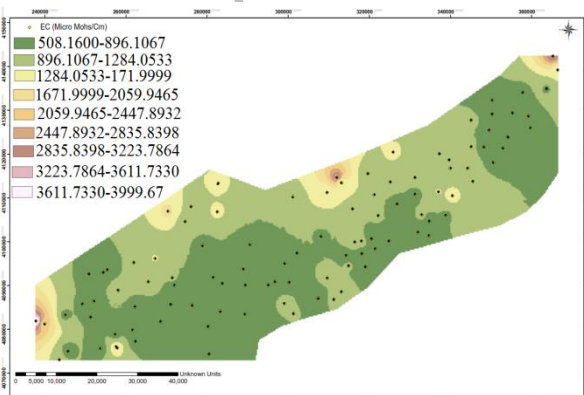
در سال ۹۰-۱۳۸۹ بیشترین ضریب تغییرات مربوط به یون های سدیم و کلرید و پس از آن سولفات و کمترین ضریب تغییرات در این سال مربوط به یون های بیکربنات و منیزیم است. بیشترین انحراف معیار مربوط به سدیم و پس از آن کلرید است. میانگین غلظت سدیم و کلرید از سایر یون ها بیشتر است و کمترین میانگین غلظت مربوط به پتاسیم و بیکربنات است. به طور کلی در جدول ۲ مشاهده می شود که بیشترین مقدار همبستگی بین یون های کلرید و سدیم و برابر با ۰/۹۳۸۹۵ است. پس از آن رابطه سولفات با کلسیم، دارای بیشترین همبستگی و بهترین رابطه خطی با مقدار هالیت (NaCl) و ژپس (CaSO<sub>4</sub>) و همچنین براساس مطالعات



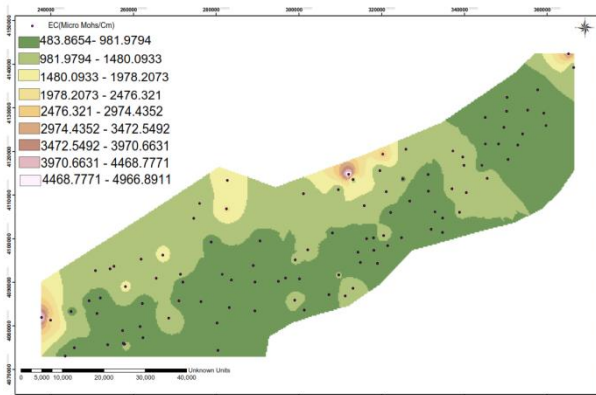
شکل ۲- تغییرات مکانی pH در منطقه مورد مطالعه



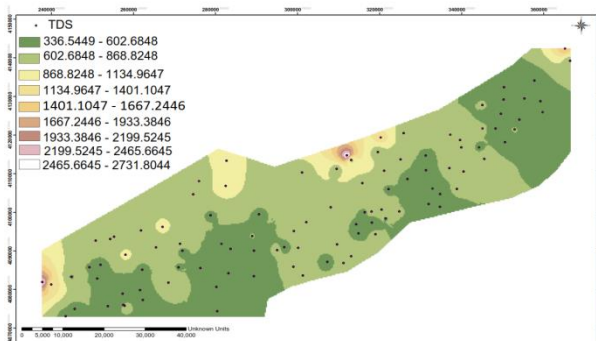
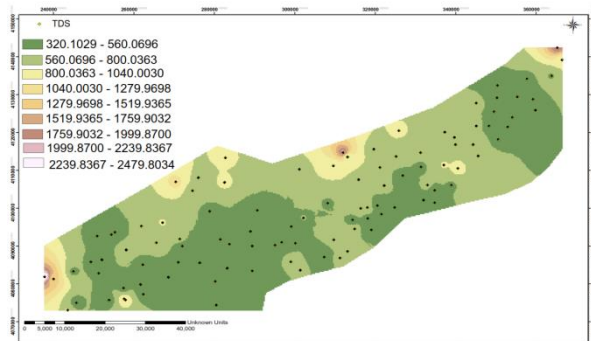
شکل ۳- تغییرات مکانی EC در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- تغییرات مکانی EC در منطقه مورد مطالعه



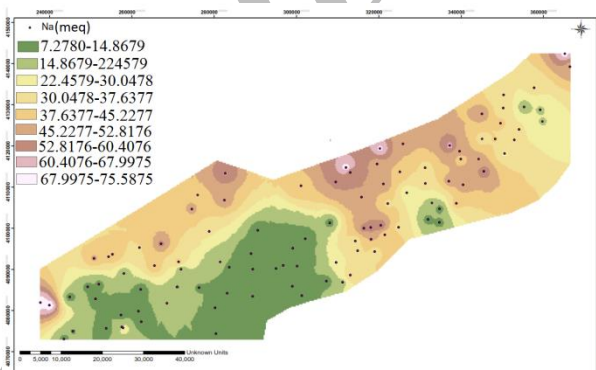
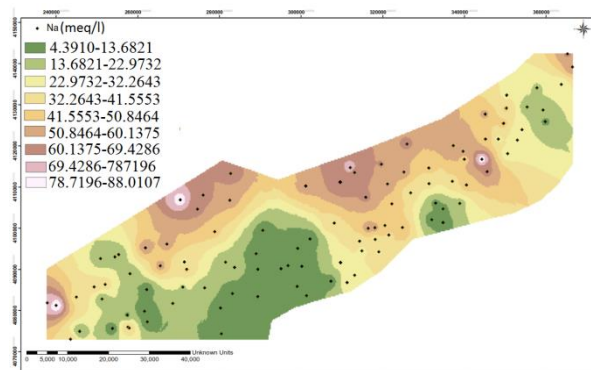
شکل ۳- تغییرات مکانی EC در منطقه مورد مطالعه



B: سال ۹۰ - ۱۳۸۹

A: سال ۸۵ - ۱۳۸۴

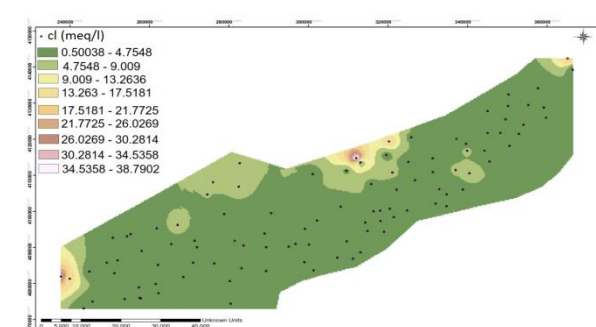
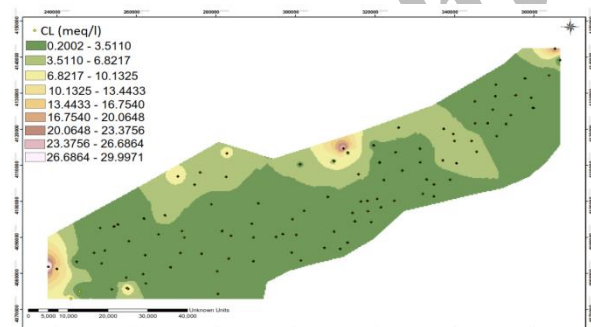
شکل ۴- تغییرات مکانی مواد جامد حل شده در منطقه مورد مطالعه



B: سال ۹۰ - ۱۳۸۹

A: سال ۸۵ - ۱۳۸۴

شکل ۵- تغییرات مکانی Na در منطقه مورد مطالعه



B: سال ۹۰ - ۱۳۸۹

A: سال ۸۵ - ۱۳۸۴

شکل ۶- تغییرات مکانی Cl در منطقه مورد مطالعه

$Ca^{2+}$  -  $Mg^{2+}$  -  $HCO_3^-$  و  $Mg^{2+}$  -  $Cl^-$  -  $SO_4^{2-}$  است.

همچنین غلظت عناصر قلیایی خاکی بیش از قلیایی است. به طور کلی، در چاه‌های عمیق دشت گرگان، اراضی جنوبی و مرکزی دشت تیپ آب بیکربناتی است و در نواحی شمال و شمال غرب به دلیل طولانی شدن مسیر جریان آب زیرزمینی و ریزدانه شدن رسوبات آبرفتی نمک‌های موجود در آب زیرزمینی افزایش یافته و در شمال غربی دشت (نزدیک ساحل)، کلرید، آنیون غالب در آب زیرزمینی است. همچنین از جنوب به سمت شمال، شوری آب زیرزمینی افزایش یافته و در بخش‌های شمال شرقی، تیپ

### ۳-۶- روند تغییرات هیدروشیمیایی

نمودار پایپر، غلظت‌های نسبی یون‌های مختلف را در نمونه‌های آب چاه‌های عمیق منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل ۸). روند تغییرات هیدروشیمیایی بیانگر تأثیر واکنش‌های شیمیایی صورت گرفته میان مواد معدنی و موقعیت سنگ‌شناختی و آمیختگی آب زیرزمینی است. در این نمودار بیشتر نمونه آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، در بخش‌های هیدروشیمیایی یک و چهار قرار دارند و تیپ هیدروشیمیایی شامل  $Ca^{2+}$

رسانایی الکتریکی نشان داد که ۱۲۶ نمونه (۶۶/۱۴ درصد) در محدوده مجاز قرار دارند و تنها ۲۸ نمونه بهترین کیفیت آبیاری را داشته‌اند (شکل ۹). نمودار ویلکاکس جهت رده‌بندی آب‌های زیرزمینی دشت گرگان برای مصرف آبیاری، در دو سال آبی ۸۵-۸۴ و ۹۰-۸۹ رسم شده است (شکل ۹- A و B). نامطلوب‌ترین آب در کشاورزی، چاه مربوط به دامداری عبدوی و مرغداری کیا با رسانایی الکتریکی ۴۰۰۰ و ۲۰۰۰ میکروموس است. چاه قرنجیک در مرکز محدوده مطالعاتی دارای کیفیت مناسب‌تری نسبت به آب سایر چاه‌ها است که رسانایی الکتریکی آن ۵۰۸ میکروموس است. همچنین وجود سدیم زیاد در آب زیرزمینی و تبادل یونی خاک‌های رسی منطقه با این یون سبب نفوذناپذیر شدن خاک‌های منطقه و آسیب‌رساندن به محصولات کشاورزی می‌شود.

کلردی گسترش دارد. عامل اصلی تغییر تیپ آب زیرزمینی، پساب‌های شهری و صنعتی ورودی و یا برخورد با لایه آب شور موجود در زیر سفره حاوی آب شیرین بوده و در نیمه شمالی به واسطه ریزدانه شدن رسوبات آبرفتی و طولانی شدن مسیر جریان و نفوذ آب شور دریاست.

### ۳-۷- دسته‌بندی از نظر شوری

نمودار شوری (Richards, 1954) به وسیله ارتباط میان نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی تهیه شد که نشان می‌دهد بیشتر نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، در گروه‌های C3-S1 قرار داشتند. به همین ترتیب، مطالعه نمودار ویلکاکس با ارتباط دادن درصد سدیم و

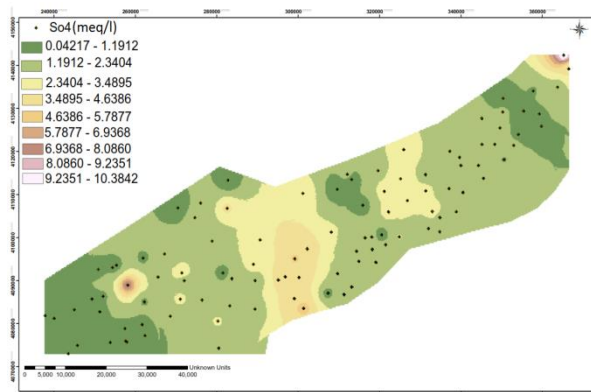
جدول ۲- ضرایب همبستگی بین متغیرهای مختلف

	K	Na	Mg	Ca	SO <sub>4</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>	TDS	EC
K	۱/۰۰								
Na	۰/۲۷۷	۱/۰۰							
Mg	۰/۱۵۸	۰/۱۳۱	۱/۰۰						
Ca	۰/۰۳۲	-۰/۰۶۳	۰/۲۹۶	۱/۰۰					
SO <sub>4</sub>	۰/۱۶۸	۰/۰۴۱	۰/۳۳۶	۰/۶۰۸	۱/۰۰				
Cl	۰/۲۴۴	۰/۹۳۸	۰/۳۳۷	۰/۱۱۹	۰/۰۲۵	۱/۰۰			
HCO <sub>3</sub>	۰/۲۵۸	۰/۴۴۴	-۰/۰۰۸	-۰/۱۸۰	-۰/۳۳۸	۰/۳۴۵	۱/۰۰		
TDS	۰/۲۷۱ <sup>ns</sup>	۰/۹۴۱	۰/۳۶۷	۰/۲۲۰	۰/۲۰۰	۰/۹۷۱	۰/۳۸۴	۱/۰۰	
EC	۰/۲۷۱	۰/۹۴۰	۰/۳۶۹	۰/۲۲۱	۰/۲۰۱	۰/۹۷۲	۰/۳۸۱	۰/۹۹۹	۱/۰۰

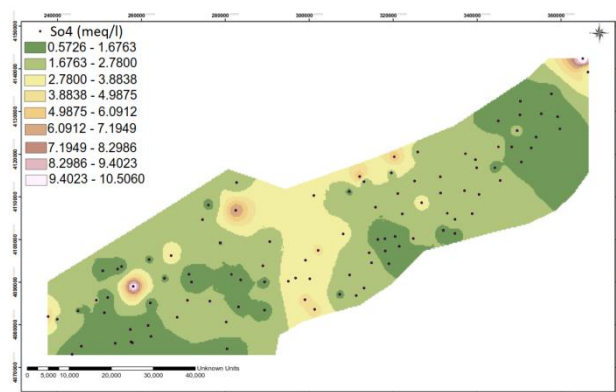
جدول ۳- مقایسه میانگین سال‌های مختلف

سال	K	Na	Mg	Ca	TDS	EC	Cl	SO <sub>4</sub>
۸۴-۸۵	۰/۰۵۵ <sup>b</sup>	۳/۹۳ <sup>a</sup>	۳/۲۳ <sup>a</sup>	۲/۸۴ <sup>a</sup>	۶۳۵/۴۶ <sup>a</sup>	۹۹۹/۶۷ <sup>a</sup>	۲/۹۴ <sup>a</sup>	۱/۹۶ <sup>a</sup>
۸۹-۹۰	۰/۰۵۵ <sup>c</sup>	۴/۳ <sup>a</sup>	۲/۹۳ <sup>b</sup>	۳/۲۶ <sup>b</sup>	۷۱۸۶ <sup>b</sup>	۶۳۰/۶۷ <sup>b</sup>	۳/۰۵ <sup>a</sup>	۱/۹۰ <sup>a</sup>

\* میانگین‌هایی با دست‌کم یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌داری در سطح اطمینان ۵ درصد براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن هستند.

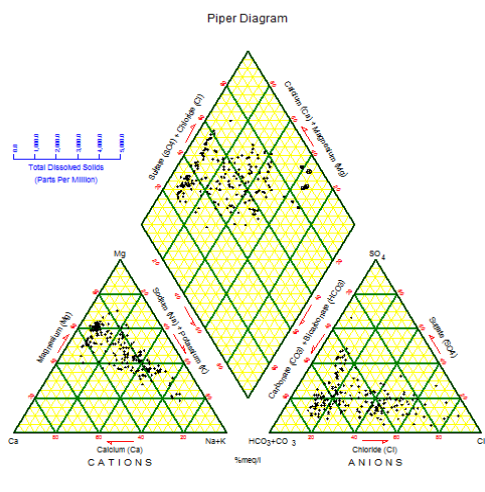


B: سال ۱۳۸۹-۹۰

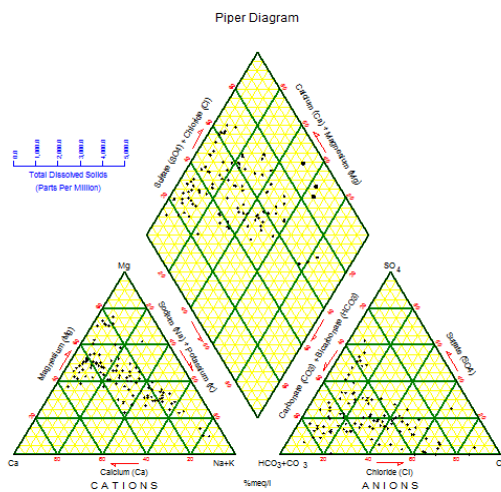


A: سال ۱۳۸۴-۸۵

شکل ۷- تغییرات مکانی SO<sub>4</sub> در منطقه مورد مطالعه

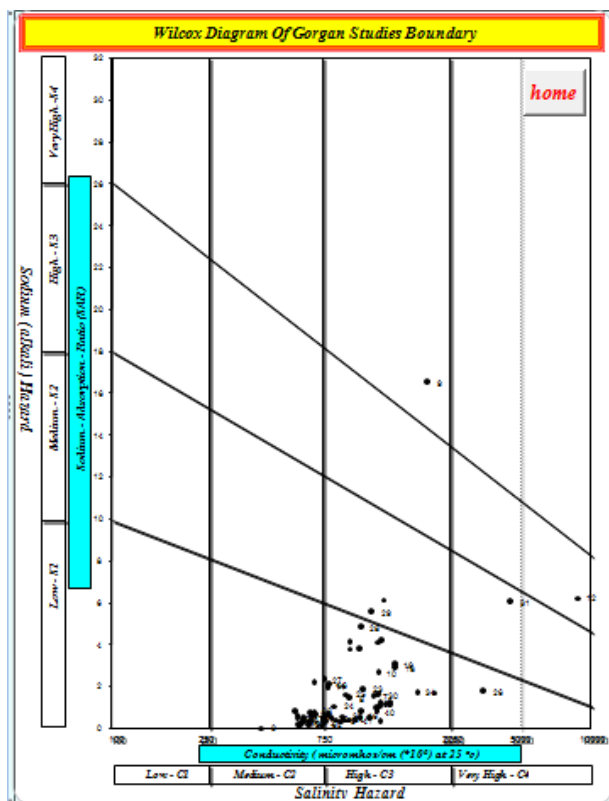


B: سال ۹۰-۱۳۸۹

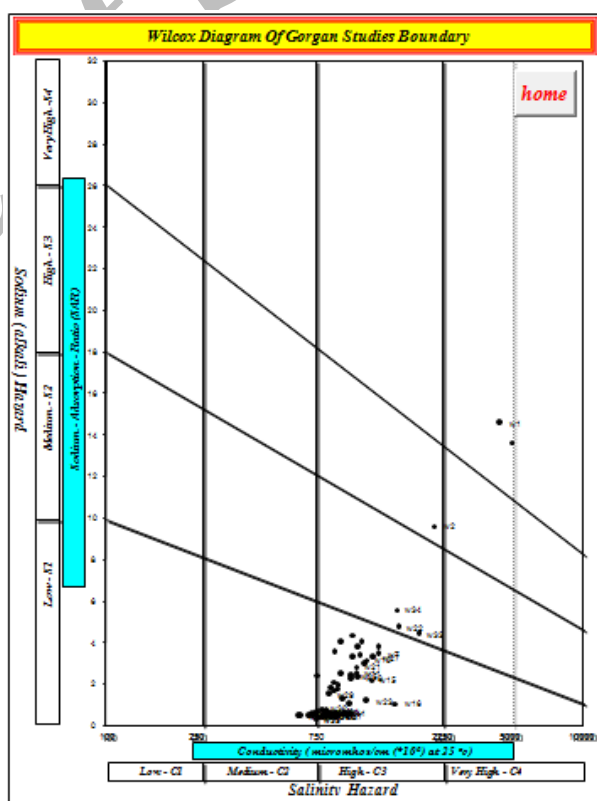


A: سال ۸۵-۱۳۸۴

شکل ۸- نمودار پایپر



B: سال ۹۰-۱۳۸۹



A: سال ۸۵-۱۳۸۴

شکل ۹- نمودار ویلکاکس

شرق به غرب (به سمت دریای خزر) عمق آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. همچنین رسانایی الکتریکی از حاشیه جنوبی (دامنه البرز) به سمت ناحیه شمالی دشت (به سمت دریای خزر) افزایش می‌یابد. افزایش میزان نمک‌های حل شده از حاشیه جنوبی به سمت نواحی شمالی دشت و نفوذ

۴- نتیجه گیری

با بررسی نقشه هم‌عمق، مشخص می‌شود که از جنوب به شمال و از

شمعانیان، غ.، رقیمی، م.، یخکشی، الف.، ۱۳۸۴، "هیدروژئوشیمی منابع آب زیرزمینی در حوزه آبریز گرگانرود- قره‌سو، استان گلستان" صفحه ۴۵-۹۸. شرکت مهندسی مشاور جاماب، ۱۳۷۸، "طرح جامع آب کشور" حوزه آبریز گرگان و دشت، صفحه ۲۳-۵۴. شرکت مهندسی مشاور خزر آب، ۱۳۷۶، "گزارش تلفیق مطالعات منابع آب حوزه گرگانرود و قره‌سو" جلد دوم، ۶۵ صفحه. کلانتری، ن.، علیخانی، ف.، ۱۳۸۷، "بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت عباس استان خوزستان" مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، صفحه ۸۴-۹۹.

**Alemaw, B. F., Shemang, E.M., and Chaoka, T. R., 2004,** "Assessment of groundwater pollution vulnerability and modeling of the Kanye Wellfield in SE Botswana-a GIS approach, Physical and Chemistry of the Earth", v. 29, P.1125-1128.

**Baruah, M., Bhattacharyya, K. G., & Patgiri, A. D, 2008,** "Water quality of shallow groundwater of core city area of Guwahati", In *Proceedings of sixteenth national symposium on environment, Haryana, India* P.101-106.

**Freeze, R. A., Cherry, A. J., 1979,** "Groundwater", *Prentice - Hall, Inc. P.604.*

**Hem, J. D., 1989,** "Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water", *US-GS Water-Supply*, P.264-2254.

**Hwang, S. I., Lee, S. H., and Lee, D. S., 1997,** "Development of preliminary hazard ranking system for underground storage tanks using GIS", *Journal of the Korean Society of Groundwater Environment*, v. 4, P.122-129.

**Kapil, N., & Bhattacharyya, K. G., 2008,** "Bimonthly variation of wetland water quality :A case study with Deeper Beel, Assam, India", In *Proceedings of sixteenth national symposium on environment, Haryana, India* P.166-170.

**Nikkarinen, M., Kauniskangas, E., and Nenonen, K., 1996,** "Use of geological and geochemical data for the derivation of maps for environmental planning in Iisalmi, Finland, Applied Geochemistry", v. 11, P.261-270.

**Richards, L. A., 1954,** "Diagnosis and improvement of saline and alkali soils", *u.s.d.a handbook*, vol.60, P.160.

**Thapinta, A., and Hudak, P. F., 2003,** "Use of geographic information systems for assessing groundwater pollution by pesticides in Central Thailand", *Environmental International*, v. 29, P.87-93.

**Wolfe, D.W., Henderson, D.W., Hsiao, T.C., and Alvins, A., 1988,** "Interactive effects on senescence of maize", II. *Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. Agron. J. 80: P. 865-870.*

آب شور دریا در نواحی شمالی و شمال غرب و ورود آلودگی پساب‌های صنعتی و شهری در روند افزایش رسانایی الکتریکی در این ناحیه و همچنین افزایش نسبی یون کلرید در اطراف شهرها دیده می‌شود. روند تغییرات یون سدیم نیز مشابه با یون کلرید است و افزایش آن به سمت نواحی شمالی و شمال غربی دشت نشان‌دهنده نفوذ آب شور دریاست. از نظر مجموع نمک‌ها، کیفیت آب چاه‌ها در بخش جنوب غربی منطقه مورد مطالعه، نسبت به بخش‌های دیگر دشت، مناسب‌تر است. مقدار نمک‌ها در آب زیرزمینی از سمت جنوب دشت به سمت مرکز و شمال دشت و در جهت جریان آب زیرزمینی افزایش می‌یابد که با روند افزایشی رسانایی الکتریکی و یون‌های کلرید و سدیم نیز همخوانی دارد.

همچنین بررسی روند تغییرات  $SO_4$  در سال‌های آبی ۸۵-۱۳۸۴ و ۹۰-۱۳۸۹ نشان می‌دهد که در بخش مرکزی غلظت آن افزایش یافته است و نواحی دارای مقادیر متوسط غلظت سولفات در مرکز دشت گسترش بیشتری داشته است و متأثر از آلودگی‌های شهری و صنعتی در این نواحی است. سختی آب نیز در طی سال‌های ۸۵-۱۳۸۴ الی ۹۰-۱۳۸۹ روند رو به افزایش داشته است.

نمودارهای پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی دشت گرگان در سال‌های آبی ۹۰-۱۳۸۹ و ۸۵-۱۳۸۴ نشان‌دهنده آن است که آنیون بیکربنات و کاتیون منیزیم در آبخوان غالب هستند. همچنین تیپ آب زیرزمینی بیکربناتی با رخساره‌های کلسیمی، منیزیمی و سدیمی است. همچنین روند تغییرات هیدروشیمیایی در نمودار پایپر سه ناحیه را نشان می‌دهد که شامل زون آب شیرین، زون آب شور (دریا) و زون آمیختگی (در مرکز نمودار پایپر) است. رده‌بندی آب از نظر مصرف کشاورزی (نمودار ویلکاکس)، نشان می‌دهد که منطقه دارای آب مناسب برای مصرف کشاورزی بوده و نمونه‌های برداشتی از مرغداری کپا، دهنه و قوچمراد بسیار شور و برای کشاورزی نامناسب است.

## مراجع

سازمان تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳۹۱، "آمار آزمایشات کیفی آب‌های زیرزمینی استان گلستان" ۳۲ صفحه.

رقیمی، م.، شاه‌پسندزاده، م.، سیدخادمی، م.، ۱۳۸۳، "بررسی کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی در مجاورت محل دفن مواد زاید جامی شهر گرگان" مجله محیط‌شناسی، شماره ۲۵، صفحه ۷۷-۸۴.