

بررسی چشمه‌های شرق استان گلستان براساس خصوصیات فیزیکوشیمیایی و نحوه شکل‌گیری شان

تاریخ دریافت مقاله: مهر ۱۳۹۸
تاریخ پذیرش مقاله: آبان ۱۳۹۸

مجتبی قره‌محمدلو^۱، مریم صیادی^۲، محمد تقی رجبی^۳، میلاد نظری^۳

^۱ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کشاورزی، دانشگاه گنبدکاووس، ایران

^۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کشاورزی، دانشگاه گنبدکاووس، ایران

^۳ دانش آموخته کارشناسی مهندسی آب، دانشکده منابع طبیعی و کشاورزی، دانشگاه گنبدکاووس، ایران

نام نویسنده مسئول:

مجتبی قره‌محمدلو

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی عوامل مؤثر بر شکل‌گیری، آبدهی و کیفیت آب چشمه‌های شرق استان گلستان بعنوان یکی از مهم‌ترین منابع آبی جهت مصارف شرب و کشاورزی انجام شد. بدین منظور از اطلاعات مربوط به نتایج آنالیز برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی شامل؛ دما، pH و EC و پارامتر هیدرولوژیک دبی در طی یک دوره پنج ساله استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که، چشمه‌های درز و شکافی بیشترین و چشمه‌های کارستی کمترین فراوانی را در شرق استان گلستان دارند. فعال بودن تکتونیک منطقه و در بی آن ایجاد درز و شکاف (افزایش نفوذپذیری) در لایه‌های آبدار و همچنین سنگ‌های دربرگیرنده آنها، باعث فراوانی بالا و همچنین افزایش دبی در چشمه‌های درز و شکافی شده است. میزان دمای آب چشمه‌ها از شمال منطقه مورد مطالعه (دشت و تپه ماهورهای لسی) به سمت جنوب (ارتفاعات) کاسته می‌شود. بیشترین دمای آب در چشمه‌های درز و شکافی و کمترین آن در چشمه‌های همیری مشاهده شد. براساس استاندارد WHO هدایت الکتریکی آب انواع چشمه‌های مورد بررسی بیشتر از حد مجاز می‌باشد. اما براساس طبقه‌بندی استاندارد ملی آب شرب ایران ۰۵۳ EC نمونه‌های آب کمتر از میزان حداقل مطلوب می‌باشد. نتایج طبقه‌بندی آب چشمه‌ها براساس هدایت الکتریکی در بخش کشاورزی بیانگر کیفیت خوب تا قابل قبول جهت آبیاری می‌باشد. تقریباً در تمام منطقه مورد مطالعه، میزان pH آب چشمه‌ها بیش از ۷ می‌باشد که استفاده از آب آنها در بخش کشاورزی با محدودیت‌هایی همراه است. با توجه به نتایج آنالیز کروسکال- والیس، بین پارامترهای اندازه‌گیری شده چشمه‌های مورد مطالعه سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد.

کلمات کلیدی: چشمه، سازنده‌های زمین‌شناسی، کیفیت آب، پهنه‌بندی.

مقدمه

منابع آب زیرزمینی در ایران و سایر کشورهای دارای اقلیم مشابه با ایران، مهم‌ترین منابع تأمین آب شرب و کشاورزی محسوب می‌گردد. کیفیت منابع آب در هر منطقه تحت تأثیر عواملی با منشأ طبیعی یا انسانی دچار تغییرات فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌شود. این تغییرات محدودیت‌های جدی برای بهره‌برداری از منابع آب به وجود می‌آورد. از این‌رو بررسی و مطالعه این منابع به منظور حفظ و اصلاح کیفیت آنها ضروری است [۱]. یکی از راه‌های خروج آبهای زیرزمینی چشم‌های می‌باشد.

معمولًاً چشم‌های می‌شوند که رسوبات نفوذیدر مانند قله‌سنگ، شن و ماسه، ماسه سنگ، کنگلومرا و غیره روی رسوبات غیر قابل نفوذ قرار گرفته باشد. همچنین آب‌های زیرزمینی از محل‌هایی که دارای مقاومت کمتری بوده مانند درز، شکاف و یا گسل‌ها خارج می‌شوند. وجود شرایط مساعد زمین‌شناسی (از دیدگاه جنس لایه‌های زمین)، تحرکات تکتونیکی به عنوان تسریع کننده و ایجاد کننده شرایط لازم برای ظهرور چشم‌های و شرایط توپوگرافی مناسب، مهم‌ترین چشم‌های می‌باشد [۲].

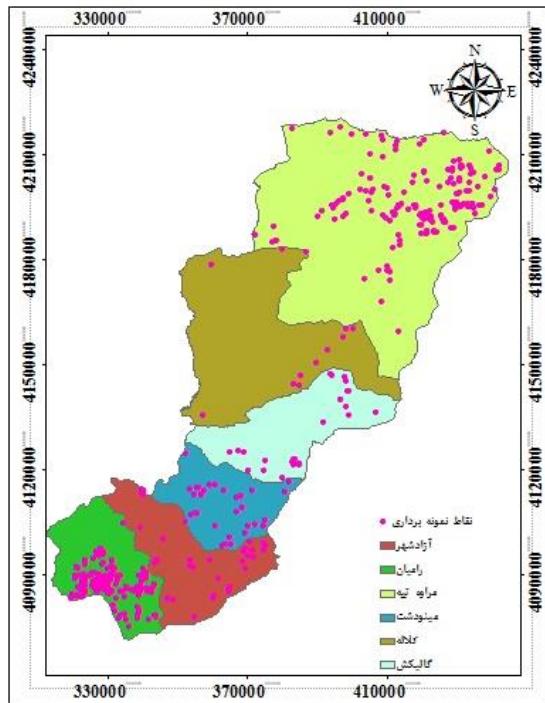
کاظلمی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی عوامل مؤثر در پتانسیل یابی آب در منطقه کارستی لار نشان دادند که، لایه لیتولوژی بالاترین وزن را به خود اختصاص داده و زیرلایه کربناته به تنها بیان ۴۴ درصد از وزن این لایه را تشکیل داده است. لایه‌های بعدی به ترتیب اهمیت، شامل؛ لایه شیب و طبقات ارتفاعی، لایه فاصله از عناصر ساختاری، خطواره‌ها، کنتاکت آهکی و شبکه آبراهه‌ای هستند [۲]. نتایج محمدزاده و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب زیرزمینی دشت بختستان نشان داد که، تأثیر مجموع سازندهای غیرکواترنری بر چاه‌ها افزایش می‌یابد. همچنین سازند Qt_2 در فواصل نزدیک به چاه‌ها بیشترین گسترش را دارد که شامل مخروط افکنه‌ها و رسوبات آبرفتی جوان است و محل اصلی تغذیه آبخوان‌ها می‌باشد. اما هرچه فاصله از چاه‌ها افزایش می‌یابد، تأثیر سازندهای غیرکواترنری از جمله آهک کرتاسه و سنگ‌های باتولیتی (آتش‌فشانی) که به ترتیب دارای توان تولید تیپ آبی کلوره و کربناته را دارند، افزوده می‌شود [۳].

سولومون و قبریب (۲۰۰۸) با بهره‌گیری از عوامل زمین ساختاری و انطباق آن با مشخصه‌های چشم‌های و چاه‌ها در کشور اریتره نشان دادند که، عوامل لیتولوژی، لندروم و ساختارهای تکنوتیکی، نقش مؤثری در ایجاد چشم‌های دارند. همچنین چاه‌های با دیب بالا و چشم‌های بزرگ، رابطه مستقیمی با خطواره‌ها و گسل‌های بزرگ دارند [۴]. نتایج پژوهش آپایدی (۲۰۱۰) مبنی بر بررسی ارتباط بین ساختارهای تکنوتیکی و آب زیرزمینی در حوضه‌ای در کشور ترکیه نشان داد که، ساختارهای تکنوتیکی با دیب چاه‌ها همبستگی بالایی دارد و از نتایج به دست آمده جهت مکان‌یابی حفر چاه استفاده کرد [۵]. بابا و گوندوز (۲۰۱۷) در بررسی تأثیر عوامل زمین‌شناسی بر کیفیت آب در کشور ترکیه به این نتایج دست یافتند که، آب‌هایی که از سنگ‌های آتش‌فشانی دگرگونی که عمدها برای مصارف شرب مورد استفاده قرار می‌گیرند، دارای pH کم و هدایت الکتریکی بالا هستند [۶]. راکوتوندراب و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی تأثیر فعالیت‌های معدن کاوی طلا بر کیفیت آب حوضه‌ای در کامرون شرقی به این نتیجه رسیدند که، سه پدیده (۱) هیدرولیز مواد معدنی سیلیکات سنگ‌های دگرگونی که اساس زمین‌شناسی این منطقه را تشکیل می‌دهند، (۲) پوشش گیاهی و اشبع خاک و (۳) در نهایت فعالیت‌های معدنی مسئول کنترل کیفیت آب در منطقه مورد مطالعه می‌باشد [۷].

ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های آماری و بر اساس ترکیبات فیزیکوشیمیایی نشان می‌دهد که عوامل غالب مؤثر بر آب‌های زیرزمینی از تعامل سازندهای مختلف و بر اساس رُئوژیمی آنها تعیین می‌شود. لذا پژوهش حاضر در راستای این موضوع به تعیین ارتباط کیفیت منابع آب زیرزمینی (چشم‌های) با سازندهای زمین‌شناسی موجود در شرق استان گلستان پرداخته است.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شرق استان گلستان (شامل شهرهای؛ مراوه تپه، کلاله، گالیکش، مینودشت، آزادشهر و رامیان) می‌باشد. مساحت این منطقه در حدود $8052/17$ کیلومتر مربع می‌باشد که حدود $39/4$ درصد از کل استان گلستان ($20438/3$ کیلومتر مربع) را تشکیل می‌دهد. این منطقه در بین طول‌های جغرافیایی $54^{\circ}52'$ تا $54^{\circ}56'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ}46'$ تا $38^{\circ}07'$ شمالی قرار دارد. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و چشممه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.

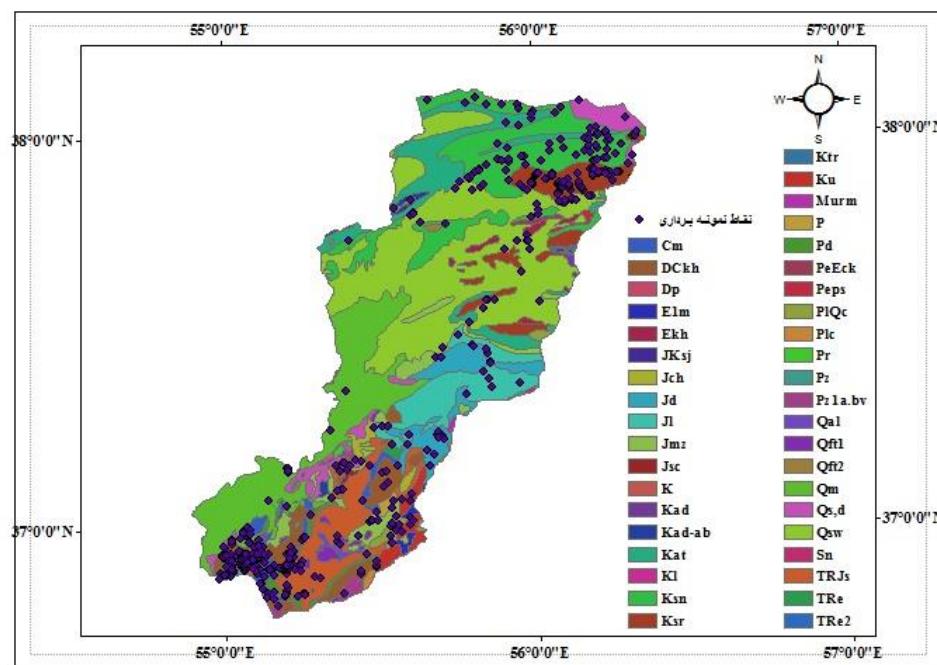


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه به همراه پراکندگی چشممه‌های نمونه‌برداری

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

به لحاظ زمانی رنج وسیعی از سازندهای زمین‌شناسی از پالئوزوئیک تا عهد حاضر رخنمون دارند (شکل ۲). با توجه به نقشه زمین‌شناسی سازندهای مربوط به ژوراسیک و کواترنری بیشترین فراوانی را در بین سازندهای منطقه دارند. در حالیکه سازندهای کواترنری بیشتر وسعت را در منطقه مورد مطالعه دارند. بطورکلی مهمترین تشکیلات زمین‌شناسی در محدوده مورد مطالعه شامل: شیل، سیلتستون، ماسه سنگ، کنگومرا، توف آندزیتی، سنگ آهک، دولومیت، نهشته‌های ماسه‌ای بادی سفت نشده، نهشته‌های مردابی، تراس‌های جدید و قدیمی آبرفتی می‌باشند (جدول ۱). براساس ارتباط بین سازندهای زمین‌شناسی و چشممه‌ها، بیشترین تمرکز چشممه‌ها در سازندهای دوران دوم و ابتدای دوران سوم زمین‌شناسی است.

بطورکلی براساس نحوه شکل‌گیری چشممه‌های منطقه به انواع درز و شکافی، زهکشی، گسلی، همبrij و کارستی تقسیم می‌شوند که از این میان چشممه‌های درز و شکافی بیشترین فراوانی را دارند و در تمام نقاط شرق استان دیده می‌شوند. برخلاف چشممه‌های درز و شکافی، چشممه‌های کارستی کمترین فراوانی دارند. اگرچه سنگ‌های آهکی در منطقه مورد مطالعه از پراکندی نسبتاً بالایی برخوردارند.



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی به همراه موقعیت چشمه‌های مورد مطالعه

جدول ۱. اطلاعات مربوط به زمین‌شناسی شرق استان گلستان

| شهر | سن سازندها | نوع ساختارها | زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه |
|-----------|--|----------------------------------|--|
| مراوه تپه | کواترنری، ژوراسیک، کرتاسه، پالئوژن | درز و شکافی، زهکشی | شیل تیره، ماسه سنگ، توف آندزیتی، واحدهای تفکیک نشده (سنگ آهک‌های ارزیلی مارن و ژیپس)، شیل آمونیت‌دار با میان لایه‌های سنگ آهک اربیتولین‌دار، سازنده سرچشممه، سنگ آهک چرتی، سنگ آهک الیتی و بایوکلاستیک (سازنده تیرگان)، کنگومرا، کنگومرا پلی ژنیک، گلسنگ، سازنده پسته لیق، نهشتلهای ماسه‌ای بادی سفت نشده، مرداد، تراس‌های جدید و تراس‌های قدیمی |
| کلاله | کواترنری، ژوراسیک، کرتاسه | درز و شکافی، زهکشی | شیل آمونیت‌دار با میان لایه‌های سنگ آهک اربیتولین‌دار، توف آندزیتی واحدهای تفکیک نشده (سنگ آهک‌های ارزیلی مارن و ژیپس)، مرداد، شیل تیره، ماسه سنگ |
| گالیکش | ژوراسیک، دونین | درز و شکافی، زهکشی | ماسه سنگ، نهشتلهای ماسه‌ای بادی سفت نشده، شیل، مرداد، مارون قرمز، سنگ آهک خاکستری تیره با میان لایه‌های شیل و دولومیت و سنگ آهک خاکستری روشن توده‌ای |
| مینودشت | ژوراسیک، پرمین، پالئوژن، سیلورین | درز و شکافی، زهکشی، گسلی، همبیری | سنگ‌های تفکیک نشده، سنگ آهک، سنگ آهک‌های ارزیلی و چرتی، ماسه سنگ، سیلتستون و رس سنگ، دولومیت، سنگ آهک خاکستری و متوسط لایه، سنگ آهک فسیل دار خاکستری تیره با میان لایه‌ای شیل، کوارتز و ماسه سنگ قرمز شیل همراه با میان لایه‌های آهک ماسه‌ای |
| آزادشهر | دونین، کربونیفر، پرمین، پالئوژن، سیلورین، عهد حاضر | درز و شکافی | سنگ‌های تفکیک نشده، سنگ آهک فسیل دار خاکستری تیره با میان لایه‌ای شیل، دولومیت، سنگ آهک، آبرفت‌های سیلابی، ماسه سنگ، سنگ آهک الیتی، کنگومرا پلی ژنیک، گلسنگ و ماسه سنگ قرمز شیل همراه با میان لایه‌های آهک ماسه‌ای |
| رامیان | ژوراسیک، دونین، کربونیفر، پرمین، پالئوژن، سیلورین | درز و شکافی، زهکشی، گسلی، همبیری | سنگ‌های تفکیک نشده، سنگ آهک فسیل دار خاکستری تیره با میان لایه‌ای شیل، ماسه سنگ سنگ آهک الیتی، کنگومرا پلی ژنیک و ماسه سنگ قرمز شیل همراه با میان لایه‌های آهک ماسه‌ای |

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت آب چشممه‌های شرق استان گلستان از نتایج آنالیز برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی شامل؛ دما، pH و EC و پارامتر هیدرولوژیک دبی در طی یک دوره پنج ساله استفاده شد. تمامی اطلاعات از اداره آب منطقه‌ای استان گلستان جمع‌آوری شد. در این پژوهش، ابتدا نوع و نحوه تشکیل چشممه‌های منطقه مورد مطالعه و اثبات آنها با سازنده‌های زمین‌شناسی بررسی شد. در مرحله بعد دو پارامتر EC و pH با استاندارهای ملی آب شرب ایران^۳ و WHO مقایسه گردید. همچنین نحوه پراکندگی پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب با استفاده از نرم‌افزار GIS و روش درون‌یابی کریجینگ انجام شد. به منظور بررسی کیفیت آب چشممه‌های مورد مطالعه جهت کشاورزی از روش طبقه‌بندی هدایت الکتریکی استفاده شد. در نهایت جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها و همچنین بررسی اختلاف معناداری بین نوع چشممه‌ها از آزمون‌های آماری، کولموگروف-اسمیرنوف، شاپیرو-ویلک و آنالیز کروسکال-والیس در محیط SPSS استفاده شد.

روش درون‌یابی

تکنیک‌های درون‌یابی به دو شیوه کلی انجام می‌شود. روش اول قطعی که در این روش درون‌یابی براساس تعیین سطح از نقاط نمونه‌گیری شده بر پایه شباهت‌ها (مانند روش وزن دهی عکس فاصله) یا درجه هموارسازی (مانند روش توابع پایه شعاعی) انجام می‌شود. روش دوم درون‌یابی زمین آماری است که کریجینگ نامیده می‌شود و براساس ویژگی‌های آماری نقاط نمونه‌گیری شده می‌باشد. تکنیک‌های درون‌یابی زمین آماری کمیت همبستگی مکانی نقاط نمونه برداری شده را مد نظر قرار داده و تخمین را براساس موقعیت قرارگیری مکان نمونه‌های اندازه‌گیری نشده انجام می‌دهد.

روش کریجینگ برای داده‌هایی که پراکنش نامنظم دارند به کار می‌رود و روشی محلی- احتمالی، رسا، خطی، نا اریب و با واریانس کمینه در یک نقطه به شمار می‌آید [۸]. در روش کریجینگ فرض بر این است که تغییرات مکانی پدیده‌ها در یک گستره از توزیع تصادفی برخوردار بوده، حاوی سه مولفه همبستگی مکانی، روند و خطای تصادفی است. مولفه همبستگی مکانی و میزان آن براساس نیمه پراش نگار تعریف می‌شود. از تحلیل این مولفه و نیمه پراش نگار مربوط، ضرایب وزنی پیمونگاه جهت تخمین ارزش نقطه مجھول بدست می‌آید [۹].

آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک

یکی از اصلی‌ترین ملاک‌ها برای انتخاب آزمون آماری، انجام آزمون نرمالیته است. آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک نرمال نبودن توزیع داده‌ها را نشان می‌دهد. یعنی اینکه توزیع یک صفت در یک نمونه را با توزیعی که برای جامعه، مفروض است مقایسه می‌کند. اگر تست کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک رد شود، داده‌ها دارای توزیع نرمال می‌باشند، و امکان استفاده از آزمون‌های آماری پارامتریک برای تحقیق، وجود دارد. بالعکس، اگر تست کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک تأیید شود، یعنی داده‌ها دارای توزیع نرمال نیستند، بنابراین باید از آزمون‌های ناپارامتریک در تحقیق استفاده کرد [۱۰].

نتایج و بحث

نتایج اولیه این پژوهش نشان داد که شهرستان‌های رامیان و مراوه‌تپه دارای بیشترین تعداد چشممه در منطقه مورد مطالعه می‌باشند (شکل ۱). اگرچه با توجه به وسعت شهرستان‌های مذکور، چشممه در رامیان از تمرکز بالایی برخوردار می‌باشد. از این شهرستان می‌توان از چشممه‌ها برای تأمین بخش از آب شرب روستاهای شهرستان و حتی خود شهر استفاده نمود. جهت پهن‌بندی گستردگی و توزیع چشممه‌های شرق استان گلستان براساس نوع ساختار از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده گردید (شکل ۲). نتایج نشان داد که چشممه‌های درز و شکافی بیشترین گستردگی را در شرق استان گلستان دارا می‌باشد.

براساس مطالعات تکنونیکی انجام شده، یکی از گسل‌های فعال منطقه که دارای پیشینه لرده خیزی نیز می‌باشد، گسل مراوه‌تپه می‌باشد. این گسل یکی از مهم‌ترین علل پیدایش چشممه‌های درز و شکافی می‌باشد [۱۱]. علاوه بر این باعث افزایش تمرکز چشممه‌ها در این بخش از منطقه مورد مطالعه شده است. بعد از چشممه‌های درز و شکافی، چشممه‌های زهکش پراکندگی بالایی را در سطح شرق استان گلستان دارند. بطور کلی براساس نحوه شکل‌گیری چشممه‌های منطقه به انواع درز و شکافی، زهکشی، گسلی، همبری و کارستی تقسیم می‌شوند که از این میان چشممه‌های درز و شکافی بیشترین فراوانی را دارند و در تمام نقاط شرق استان دیده می‌شوند. برخلاف چشممه‌های درز و شکافی، چشممه‌های کارستی کمترین فراوانی را به لحاظ فراوانی دارند. اگرچه سنگ‌های آهکی در منطقه مورد مطالعه از پراکندگی نسبتاً بالایی برخوردارند.

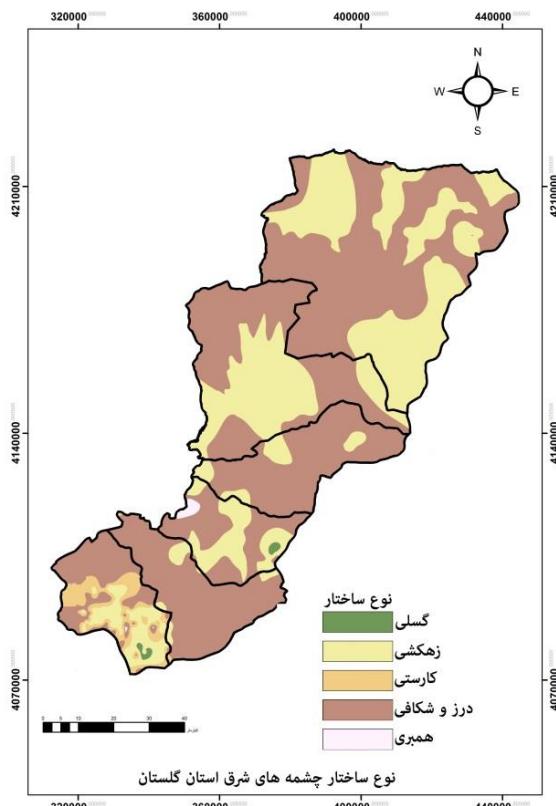
نتایج آماری پارامترهای فیزیکوشیمیایی (دما، EC و pH) و هیدرولوژیکی (دبی) برای چشممه‌های مورد مطالعه محاسبه شده و در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین میانگین پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش نیز بصورت گرافیکی در شکل ۳ نشان داده شده است. میانگین

دبی در بین انواع چشمه‌ها از ۴/۹ تا ۴۰/۲۹ می‌باشد که بیشترین و کمترین میزان آن به ترتیب در چشمه‌های درز و شکافی و همبری مشاهده شد. انحراف معیار دبی برای این دو چشمۀ به ترتیب ۱۳/۴ و ۰/۰۸ می‌باشد. از آنجاییکه تکتونیک و در پی آن درز و شکافی باعث افزایش نفوذپذیری در لایه‌های آبدار و همچنین سنگ‌های دربرگیرنده آنها می‌شوند، بالا بودن دبی در چشمه‌های درز و شکافی بدیهی بنظر می‌رسد.

براساس نتایج این پژوهش، تغییرات دمایی آب چشمۀ شbahت زیادی به تغییرات پارامتر دبی دارد بطوریکه بیشترین دمای آب در چشمه‌های درز و شکافی و کمترین آن در چشمه‌های همبری مشاهده شد. بنظر می‌رسد چشمه‌های درز و شکافی سریعتر از چشمه‌های دیگر تبادل دمایی انجام می‌دهند. از اینرو دمای آنها نزدیک به متوسط دمای هوای منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

تغییرات میزان EC مشابه تغییرات پارامترهای دبی و دما می‌باشد. بطوریکه بیشترین میزان EC مربوط به چشمه‌های درز و شکافی و کمترین آنها مربوط به چشمه‌های همبری می‌باشد. درز و شکاف باعث افزایش هوازدگی فیزیکی و در پی آن هوازدگی شیمیایی در سنگ مخزن چشمه‌ها شوند. این امر می‌تواند باعث آزادسازی یون‌های بیشتر در آب چشمه‌ها و در پی آن افزایش مواد محلول جامد و EC شود. با توجه به زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، سازندهای آهکی، ماسه‌ای آبرفتی و شیلی از گستردگی نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشند. بطورکلی سازندهای شیلی با توجه به ماهیت‌شان می‌توانند یکی از دلایل افزایش EC آب در برخی از چشمه منطقه باشند. در حالیکه سازندهای آهکی از دلایل اصلی افزایش سختی آب در شرق استان گلستان می‌باشند. با توجه به استاندارد WHO هدایت الکتریکی آب نوع چشمه‌های مورد بررسی بیشتر از حد مجاز یعنی ۳۰۰ میکرومومس بر سانتی‌متر می‌باشد. این در حالی است که با توجه به استاندارد ملی آب شرب ایران ۱۰۵۳ EC نمونه‌های آب کمتر از میزان حدکثر مطلوب می‌باشد [۱۲]. میزان pH نمونه‌های آب انواع چشمه‌ها بین ۷/۴ تا ۶/۹۷ می‌باشد. این امر نشان از خشی بودن آب چشمۀ در منطقه مورد مطالعه دارد.

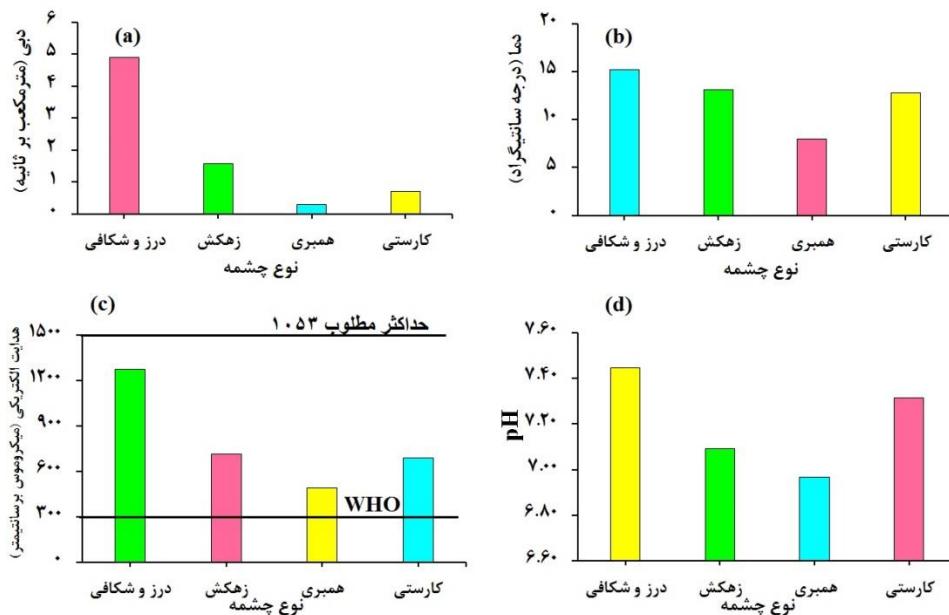
در این پژوهش، برای درک بهتر بیشترین اثرگذاری بر تشکیل نوع چشمه‌های مورد بررسی از نمودار دایره‌ای استفاده شد (شکل ۴). بر این اساس EC بیشترین سهم را در انواع چشمه‌های مورد بررسی دارد. میزان بالای EC می‌تواند به دلیل هوازدگی کانی‌های کربناتی و تشکیلات اتحال پذیر در آب زیرزمینی باشد.



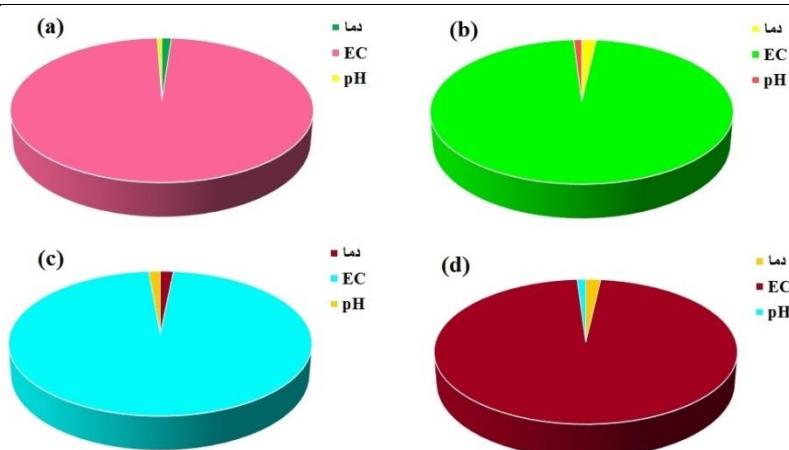
شکل ۲. نوع ساختار چشمه‌های شرق استان گلستان

جدول ۲. نتایج آماری پارامترهای مورد بررسی در چشمدهای مورد مطالعه

| نوع ساختار | پارامتر | تعداد | میانگین | کمترین | بیشترین | انحراف معیار | واریانس |
|-------------------|---------|-------|---------|--------|---------|--------------|-----------|
| دبي | دبی | ۳۹۱ | ۴/۹ | ۰ | ۱۹۰ | ۱۳/۴ | ۱۷۹/۴ |
| دما و درز و شکافی | دما | ۳۹۱ | ۱۵/۲ | ۰ | ۲۶ | ۴ | ۱۵/۹ |
| زهکشی | EC | ۳۹۱ | ۱۲۷۱/۷ | ۱۴۰ | ۲۵۰۰۰ | ۱۹۹۸/۹ | ۳۹۹۵۷۸۳ |
| pH | pH | ۳۹۱ | ۷/۴ | ۶/۱ | ۹/۱ | ۰/۵ | ۰/۲ |
| دبي | دبی | ۱۸۶ | ۱/۵۷ | ۰/۲ | ۳۴ | ۴/۳۷ | ۱۹/۱۲ |
| دما | EC | ۱۸۶ | ۱۳/۱۰ | ۰ | ۲۵ | ۴/۰۶ | ۱۶/۴۵ |
| زهکشی | pH | ۱۸۶ | ۷۱۲/۵۲ | ۲۱۵ | ۲۹۳۶ | ۴۹۹/۹۱ | ۲۴۹۹۱۲/۹۳ |
| همبری | pH | ۱۸۶ | ۷/۰۹ | ۰ | ۸/۷ | ۰/۱۸۰ | ۰/۶۴ |
| دبي | EC | ۳ | ۰/۲۹ | ۰/۲۱ | ۰/۳۷ | ۰/۰۸ | ۰/۰۱ |
| دما | EC | ۳ | ۸ | ۰ | ۱۳ | ۷ | ۴۹ |
| زهکشی | pH | ۳ | ۴۸۹/۶۷ | ۴۲۳ | ۵۲۹ | ۵۸/۰۵ | ۳۳۶۹/۳۳ |
| کارستی | EC | ۳ | ۶/۹۷ | ۶/۸ | ۷/۲ | ۰/۲۱ | ۰/۰۴ |
| دبي | EC | ۱۴ | ۰/۷۱ | ۰/۲۱ | ۳/۸ | ۰/۹۸ | ۰/۹۶ |
| دما | EC | ۱۴ | ۱۲/۸۲ | ۰ | ۲۰ | ۵/۱۶ | ۲۶/۶۸ |
| کارستی | pH | ۱۴ | ۶۸۹/۰۷ | ۴۸۵ | ۱۳۲۱ | ۲۰۳/۲۲ | ۴۱۳۰۰/۲۳ |
| pH | pH | ۱۴ | ۷/۳۱ | ۶/۳ | ۸/۵ | ۰/۶۷ | ۰/۴۵ |



شکل ۳. میانگین پارامترهای دبی (a)، دما (b)، هدایت الکتریکی (c) و pH (d) در انواع چشمدهای مورد مطالعه

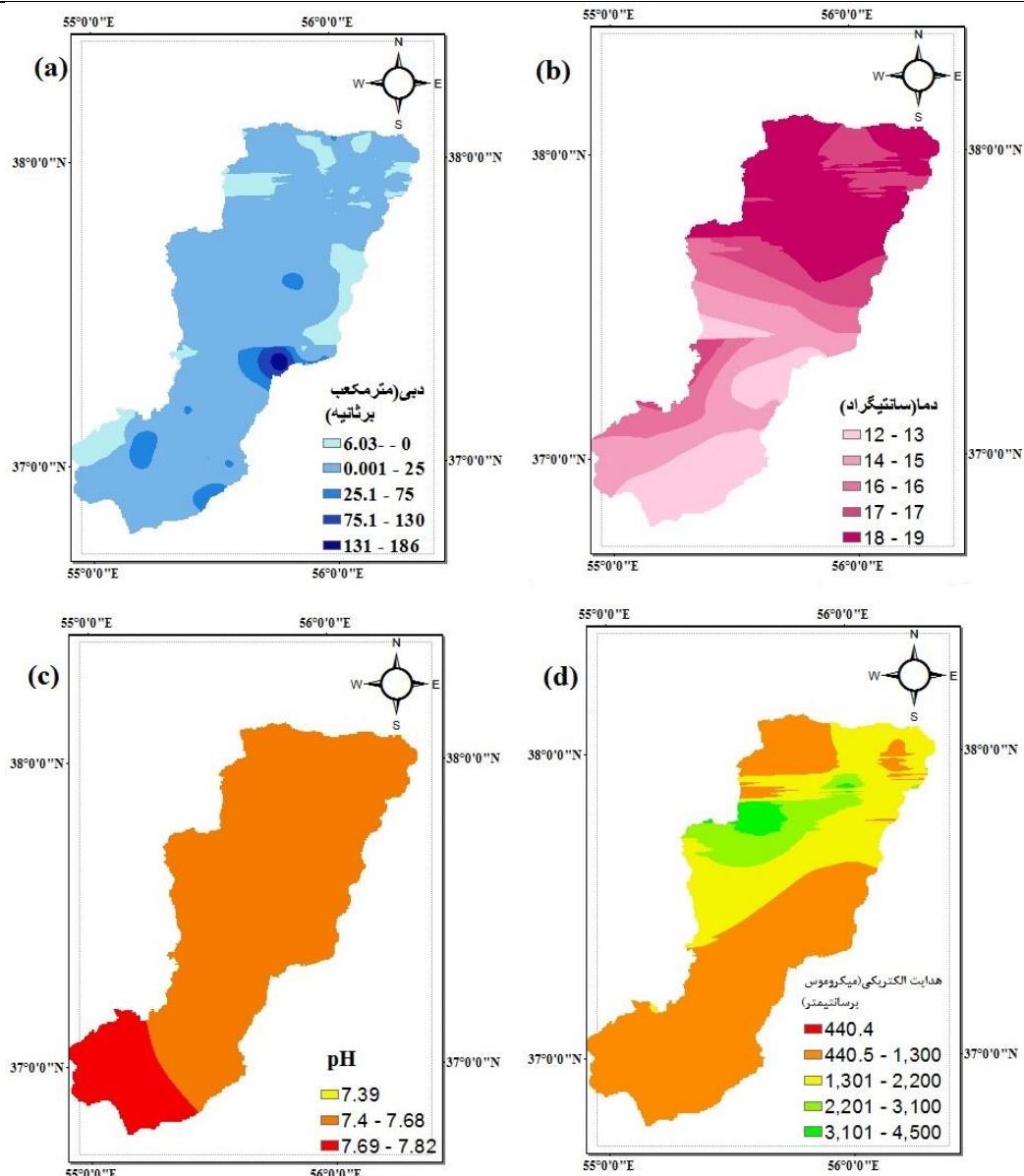


شکل ۴. نمودار دایره‌ای پارامترهای اندازه‌گیری شده در چشمه‌های درز و شکافی (a)، زهکش (b)، همبری (c) و کارستی (d)

به منظور پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب مربوط به چشمه‌های شرق استان گلستان از روش کریجینگ استفاده شد (شکل ۵). با توجه به نقشه پهنه‌بندی شکل (۵a) تغییرات میزان دبی چشمه‌ها از بالادست تا پایین دست منطقه مورد مطالعه تقریباً یکنواخت می‌باشد که این میزان از ۰ تا ۲۵ مترمکعب بر ثانیه متغیر است. اگرچه این پارامتر در حد فاصل بین شهرهای گالیکش و مینودشت به بیشترین میزان خود (۱۳۱ تا ۱۸۶ مترمکعب بر ثانیه) رسیده است. با توجه به نقشه‌های مربوط به زمین‌شناسی و نوع ساختار چشمه‌ها، این نوع چشمه‌ها بیشتر در تشکیلات آهکی و آهکی-شیلی مربوط به ژواراسیک شکل گرفته‌اند و اصولاً از نوع چشمه‌های درز و شکافی هستند. با توجه به میزان آبدی سالانه چشمه‌ها و تغییرات دبی آنها، بیشتر چشمه‌ها واقع در ارتفاعات و حاشیه ارتفاعات در رده‌بندی چشمه‌های دائمی قرار می‌گیرند. اگرچه برخی از آنها خصوصاً چشمه‌های واقع در شمال استان در رده چشمه‌های متناوب جای دارند.

مقدار دما با توجه به شکل (۵b) از شمال منطقه مورد مطالعه به سمت جنوب کاسته شده است. بطوریکه با فاصله گرفتن از ارتفاعات منطقه و نزدیک شده به دشت و تپه ماهورهای لسی بر میزان دمای آب چشمه‌ها افزوده می‌شود. این تغییرات با تغییرات دمای هوای استان همخوانی دارد. اگرچه در تمامی چشمه‌ها دمای میانگین شان از دمای میانگین سالانه منطقه مورد مطالعه کمتر است. از این‌رو براساس تقسیم‌بندی چشمه‌ها براساس دمای آب، تمامی چشمه‌ها در گروه چشمه‌های آب سرد قرار می‌گیرند.

تقریباً در تمام منطقه مورد مطالعه، میزان pH آب چشمه‌ها بیش از ۷ می‌باشد. از این‌رو آب چشمه‌های مورد مطالعه تمایل به قلیاییت دارد (شکل ۵c). لازم بذکر است که بیشترین میزان pH در چشمه‌های قسمت جنوب منطقه مورد مطالعه و در شهرهای آزادشهر و رامیان می‌باشد. این ناحیه از منطقه مورد مطالعه دارای ترکیبی از چشمه‌های درز و شکافی، زهکشی، همبری و کارستی با تشکیلات زمین‌شناسی شامل سنگ‌های تفکیک نشده، سنگ آهک فسیل‌دار خاکستری تیره با میان لایه‌ای شیل، ماسه سنگ، سنگ آهک الیتی، کنگومرای پلی‌ژنیک و ماسه سنگ قرمز شیل همراه با میان لایه‌ای آهک ماسه‌ای است. بارندگی بالای این منطقه و در بی آن هوازدگی این تشکیلات مذکور خصوصاً سازنده‌ای آهکی باعث افزایش pH در این بخش از منطقه مورد مطالعه شده است. با توجه به شکل (۵d) میزان EC از ۴۴۰ تا ۴۵۰۰ میکرومیکرموس بر سانتیمتر متغیر است. کمترین میزان EC در مرکز و جنوب منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در مقابل بیشترین میزان آن در قسمت شمالی منطقه که بیشترین براکنده‌گی چشمه‌های درز و شکافی و زهکشی را دارد می‌باشد. افزایش میزان EC می‌تواند به دلیل وجود سازنده‌ای آهک‌رسی، شیل سیاه، آهک‌شیلی و مارنی باشد.



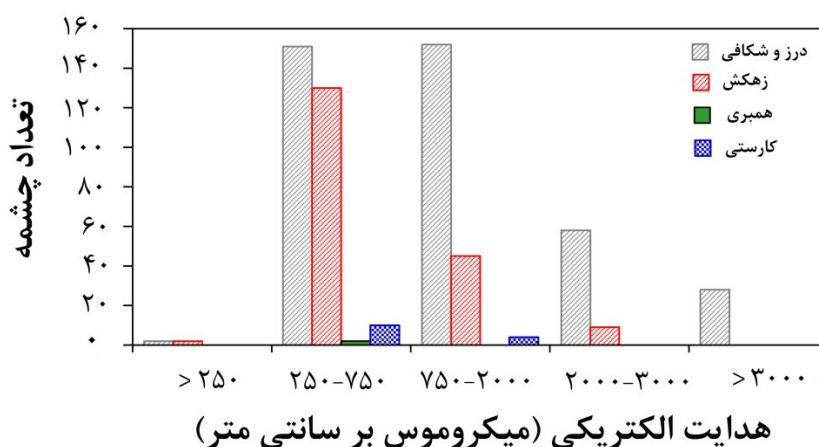
شکل ۵. پهنه‌بندی پارامترهای اندازه‌گیری شده دبی (a)، دما (b)، pH (c) و EC (d) در منطقه مورد مطالعه

کیفیت آب جهت آبیاری

- هدایت الکتریکی (EC): هدایت الکتریکی یکی از مهمترین پارامترها در تعیین کیفیت آب برای کشاورزی است که می‌تواند بر رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصولات زراعی تأثیرگذار باشد [۱۳]. براساس هدایت الکتریکی کیفیت آب در بخش آبیاری به ۵ دسته طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۳). در این پژوهش کیفیت آب چشممه‌های مورد مطالعه جهت استفاده در بخش کشاورزی و آبیاری بر اساس هدایت الکتریکی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تنها ۴ نمونه آب در رده‌بندی عالی برای آبیاری قرار گرفته‌اند. در این میان ۲ نمونه آب متعلق به چشممه‌های درز و شکافی و ۲ نمونه آب دیگر متعلق به چشممه‌های زهکش می‌باشد. ۳۰۳ نمونه آب چشممه‌های درز و شکافی در رده خوب تا قابل قبول قرار گرفته‌اند. ۱۵ و ۷ درصد نمونه‌های آب این چشممه‌های درز و شکافی به ترتیب در رده‌های آبیاری با رعایت احتیاط و غیرقابل استفاده قرار می‌گیرند. ۶۸ درصد نمونه‌های آب چشممه‌های زهکش در طبقه‌بندی خوب جهت آبیاری قرار دارند. نمونه‌های آب چشممه‌های کارستی و همیری نیز در رده خوب تا قابل قبول جهت آبیاری قرار دارند. علیرغم اینکه میزان هدایت الکتریکی آب چشممه‌های مورد مطالعه بالا می‌باشد اما تنها ۷ درصد از نمونه‌های آب غیرقابل استفاده در بخش کشاورزی می‌باشند. این تعداد از چشممه‌ها در قسمت شمال شهرستان کلاله قرار دارند. غیرقابل استفاده بودن آب این منطقه می‌تواند به دلیل تشکیلات انحلال‌پذیر شیلی-مارنی باشد.

جدول ۳: طبقه‌بندی آب چشممه‌ها براساس هدایت الکتریکی برای استفاده در بخش آبیاری

| پارامتر (Parameters) | مقدار (Range) | طبقه‌بندی (Classification) |
|---|---------------|----------------------------------|
| | <۲۵۰ | عالی (Excellent) |
| خطر شوری (EC) ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | ۲۵۰-۷۵۰ | خوب (Good) |
| Wilcox, (Salinity hazard) (1955) | ۷۵۰-۲۰۰۰ | قابل قبول (Permissible) |
| | ۲۰۰۰-۳۰۰۰ | با احتیاط استفاده شود (Doubtful) |
| | >۳۰۰۰ | غیر قابل قبول (Unsuitable) |



شکل ۶: طبقه‌بندی چشممه‌ها براساس هدایت الکتریکی

- پی‌اچ یا pH: pH یکی از پارامترهای تأثیرگذار در بخش کشاورزی است. اصولاً دامنه تغییرات pH برای آب آبیاری از ۶/۵ تا ۸/۴ می‌باشد. کاهش مقدار pH ممکن است باعث افزایش خوردگی سیستم آبیاری در محل وقوع آنها شود. در مقابل pH بالای ۸/۵ که غالباً با افزایش غلظت‌های یون‌های بیکربنات (CO_3^{2-}) و کربنات (HCO_3^-) همراه است به عنوان قلیاییت شناخته می‌شود. اصولاً افزایش غلظت یون کربنات در آب با افزایش غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم بصورت نمک‌های غیر محلول همراه است. این امر همچنین سبب غالب شدن یون سدیم در آب می‌شود. اصولاً آب با قلیاییت بالا می‌تواند خطر نسبت جذب سدیم (SAR) و یا شرایط خاک سدیک را افزایش دهد. علاوه بر این غلظت بالای بیکربنات می‌تواند با ایجاد رسوب کلسیت و یا پوسته‌گذاری در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای یا میکروسپری بکار رفته در کشاورزی شود. نتایج این پژوهش نشان داد اگرچه براساس میزان متوسط pH، آب تمامی چشممه‌ها برای استفاده در بخش کشاورزی مجاز می‌باشد اما در برخی از چشممه‌های درز و شکافی pH بیش از ۹ می‌باشد. بنابراین استفاده از آب این چشممه‌ها با توجه به موارد ذکر شده در بالا محدودیت‌های را به همراه دارد و در صورت استفاده صدمات جبران ناپذیری را برای خاک و گیاه

به همراه دارد. براساس نتایج این تحقیق علیرغم تعداد کم چشمهای همیری، این چشمهای از کیفیت بالایی برای استفاده در بخش کشاورزی برخوردار هستند.

آنالیز آماری

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون آماری Kolmogorov-Smirnov و Shapiro-Wilk بررسی شد. نتایج آنالیز این آزمون آماری در جدول ۴ ارائه شده است. در این آزمون فرض H_0 نرمال بودن داده‌ها و فرض H_1 عدم نرمال بودن داده‌ها می‌باشد. بنابراین اگر سطح معنی‌داری آزمون بیشتر از 0.05 باشد داده‌ها نرمال بوده و در غیر اینصورت داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نخواهد کرد. با توجه به نتایج سطح معنی‌داری پارامترهای اندازه‌گیری شده، داده‌های تمام چشمهای مورد مطالعه بجز همیری دارای توزیع غیرنرمال می‌باشند. بنابراین از آزمون ناپارامتریک کروسکال-والیس برای بررسی سطح معناداری چشمهای درز و شکافی، زهکشی و کارستی استفاده شده و نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است.

فرض صفار برابر است با: پارامترهای اندازه‌گیری شده در چشمهای مورد مطالعه یکسان هستند

فرض یک برابر است با: پارامترهای اندازه‌گیری شده در چشمهای مورد مطالعه یکسان نیستند.

با توجه به سطح معناداری پارامترهای اندازه‌گیری شده (دبي، دما، pH و EC) در بین چشمهای اختلاف معنادار وجود دارد یعنی سطح معناداری این پارامترها در هر سه چشمه کمتر از 0.05 می‌باشد (<0.05). بنابراین فرض صفر رد می‌شود و نتیجه می‌گیریم میزان پارامترهای اندازه‌گیری شده در چشمهای مورد مطالعه با هم برابر نیستند. البته اختلاف میان میانگین گروه‌ها در جدول ۶ که میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده بین چشمهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد، نیز گویای این واقعیت می‌باشد.

جدول ۴. نتایج آزمون‌های بررسی نرمالیتۀ پارامترهای اندازه‌گیری شده

| Kolmogorov-Smirnov | | | Shapiro-Wilk | | | پارامتر | چشمۀ |
|--------------------|-----|-------|--------------|-----|-------|---------|-------------|
| Statistic | df | Sig. | Statistic | df | Sig. | | |
| 0.360 | 391 | 0.000 | 0.343 | 378 | 0.000 | دبي | |
| 0.112 | 391 | 0.000 | 0.975 | 378 | 0.000 | دما | درز و شکافی |
| 0.300 | 391 | 0.000 | 0.435 | 378 | 0.000 | EC | |
| 0.118 | 391 | 0.000 | 0.958 | 378 | 0.000 | pH | |
| 0.377 | 186 | 0.000 | 0.334 | 186 | 0.000 | دبي | |
| 0.112 | 186 | 0.000 | 0.960 | 186 | 0.000 | دما | زهکش |
| 0.255 | 186 | 0.000 | 0.647 | 186 | 0.000 | EC | |
| 0.145 | 186 | 0.000 | 0.727 | 186 | 0.000 | pH | |
| 0.200 | ۳ | - | 0.995 | ۳ | 0.862 | دبي | |
| 0.333 | ۳ | - | 0.862 | ۳ | 0.274 | دما | همیری |
| 0.348 | ۳ | - | 0.834 | ۳ | 0.198 | EC | |
| 0.292 | ۳ | - | 0.923 | ۳ | 0.463 | pH | |
| 0.305 | ۱۴ | 0.001 | 0.576 | ۱۴ | 0.000 | دبي | |
| 0.157 | ۱۴ | 0.200 | 0.932 | ۱۴ | 0.327 | دما | کارستی |
| 0.223 | ۱۴ | 0.059 | 0.716 | ۱۴ | 0.001 | EC | |
| 0.195 | ۱۴ | 0.155 | 0.927 | ۱۴ | 0.281 | pH | |

جدول ۵. نتایج آزمون کروسکال-والیس برای پارامترهای اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه

| | دبي | EC | دما | pH |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| Chi-Square | ۴۷/۰۰۹ | ۱۶/۸۸۶ | ۳۵/۹۳۶ | ۵۶/۳۴۲ |
| df | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ |
| Asymp. Sig. | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

جدول ۶. میانگین گروه‌ها در آزمون کروسکال-والیس

| تعداد | پارامتر | |
|---------|-----------------|-----------------|
| چشمه‌ها | میانگین گروه‌ها | چشمه |
| ۳۹۱ | ۳۲۳/۹۶ | درز و شکافی دی |
| ۱۸۵ | ۲۲۴/۵۹ | زهکش |
| ۱۴ | ۲۱۴/۲۵ | کارستی |
| ۵۷۸ | کل | |
| ۳۹۱ | ۳۱۱/۶۳ | درز و شکافی EC |
| ۱۸۵ | ۲۴۹/۹۶ | زهکش |
| ۱۴ | ۳۰۹/۲۹ | کارستی |
| ۵۸۳ | کل | |
| ۳۹۱ | ۳۲۲ | درز و شکافی دما |
| ۱۸۵ | ۲۳۳/۱۶ | زهکش |
| ۱۴ | ۲۴۶/۶۱ | کارستی |
| ۵۸۳ | کل | |
| ۳۹۱ | ۳۲۸/۵۶ | درز و شکافی pH |
| ۱۸۵ | ۲۱۵/۶۸ | زهکش |
| ۱۴ | ۲۹۷/۶۱ | کارستی |
| ۵۸۳ | کل | |

نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر بررسی عوامل مؤثر بر شکل‌گیری، آبدی و کیفیت آب چشمه‌های شرق استان گلستان می‌باشد که یکی از مهم‌ترین منابع آبی جهت مصارف شرب و کشاورزی در این استان به حساب می‌آید.

براساس نحوه شکل‌گیری چشمه‌های منطقه به انواع درز و شکافی، زهکشی، گسلی، همبری و کارستی تقسیم می‌شوند که از این میان چشمه‌های درز و شکافی بیشترین فراوانی را دارند و در تمام نقاط شرق استان دیده می‌شوند. از مهم‌ترین عوامل ایجاد چشمه درز و شکافی، گسل‌های فعال منطقه (گسل البرز و مراوه تپه) و درز و شکاف حاصل از آنها برای ظاهر شدن آب در سطح چشمه‌ها می‌باشد. اگرچه سنگ‌های آهکی (خصوصاً تشکیلات آهکی مربوط به سازند لار) در منطقه مورد مطالعه از پراکندگی نسبتاً بالایی برخوردارند. اما برخلاف چشمه‌های درز و شکافی، چشمه‌های کارستی کمترین فراوانی را به لحاظ فراوانی دارند. به نظر فرآیند انحلال سنگ‌های آهکی (کارستی شدن) و ایجاد پونرها و راهراهی زیرزمینی در ظهور چشمه‌های کارستی خیلی فعال نبوده است و یا اینکه این پدیده‌ها بیشتر در اعماق زمین صورت گرفته‌است.

میانگین بیشترین و کمترین میزان دبی به ترتیب در چشمه‌های درز و شکافی و همبری مشاهده شد. از آنجاییکه تکتونیک و در پی آن درز و شکافی باعث افزایش نفوذپذیری در لایه‌های آبدار و همچنین سنگ‌های دربرگیرنده آنها می‌شوند، بالا بودن دبی در چشمه‌های درز و شکافی بدیهی بنظر می‌رسد. براساس نتایج این پژوهش، تغییرات دمایی آب چشمه‌ها شباهت زیادی به تغییرات پارامتر دبی دارد بطوریکه بیشترین دمای آب در چشمه‌های درز و شکافی و کمترین آن در چشمه‌های همبری مشاهده شد. بنظر می‌رسد چشمه‌های درز و شکافی سریعتر از چشمه‌های دیگر تبادل دمایی انجام می‌دهند. تغییرات میزان EC مشابه تغییرات پارامترهای دبی و دما می‌باشد. بطوریکه بیشترین میزان EC مربوط به چشمه‌های درز و شکافی و کمترین آنها مربوط به چشمه‌های همبری می‌باشد. درز و شکاف باعث افزایش هوازدگی فیزیکی و در پی آن هوازدگی شیمیایی در سنگ مخزن چشمه‌ها شوند. این امر می‌تواند باعث آزادسازی یون‌های بیشتر در آب چشمه‌ها و در پی آن افزایش مواد محلول جامد و EC شود. بطورکلی سازندهای شیلی باتوجه به ماهیتشان می‌توانند یکی از دلایل افزایش EC در برخی از چشمه منطقه باشند. در حالیکه سازندهای آهکی از دلایل اصلی افزایش سختی آب در شرق استان گلستان می‌باشند. با آب در استاندارد WHO هدایت الکتریکی آب انواع چشمه‌های مورد بررسی بیشتر از حد مجاز یعنی ۳۰۰ میکرومیکروموس بر سانتی‌متر توجه به استاندارد می‌باشد. این در حالی است که با توجه به استاندارد ملی آب شرب ایران ۱۰۵۳ نمونه‌های آب کمتر از میزان حداقل مطلوب می‌باشد. میزان pH نمونه‌های آب انواع چشمه‌ها بین ۷/۴ تا ۷/۹ می‌باشد. این امر نشان از خنثی بودن آب چشمه در منطقه مورد مطالعه دارد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی تغییرات میزان دبی چشمه‌ها از بالادست تا پایین دست منطقه مورد مطالعه تقریباً یکتوخاوت می‌باشد. اگرچه این پارامتر در حد فاصل بین شهرهای گالیکش و مینودشت به بیشترین میزان خود رسیده است. با توجه به نقشه‌های مربوط به زمین‌شناسی و

نوع ساختار چشمehا، این نوع چشمehا بیشتر در تشکیلات آهکی و آهکی-شیلی مربوط به ژوراسیک شکل گرفته‌اند و اصولاً از نوع چشمehای درز و شکافی هستند. مقدار دمای چشمehا از شمال منطقه مورد مطالعه به سمت جنوب کاسته شده است. بطوريکه با فاصله گرفتن از ارتفاعات منطقه و نزدیک شده به دشت و تپه ماهورهای لسی بر میزان دمای آب چشمehا افزوده می‌شود. این تغییرات با تغییرات دمای هوای استان همخوانی دارد. تقریباً در تمام منطقه مورد مطالعه، میزان pH آب چشمehا بیش از ۷ می‌باشد. از این‌رو آب چشمehای مورد مطالعه تمایل به قلیاییت دارد. با توجه به گسترش بالای سازندهای آهکی در منطقه مورد مطالعه و خصوصاً جنوب، این امر بدیهی به نظر می‌رسد. کیفیت آب چشمehای مورد مطالعه جهت کشاورزی در رده خوب تا قابل قبول قرار می‌گیرند. البته تنها ۷ درصد از نمونه‌های آب در شمال شهرستان کلاله غیرقابل استفاده جهت آبیاری می‌باشد. با توجه به نتایج آنالیز کروسکال-والیس، بین پارامترهای اندازه‌گیری شده چشمehای مورد مطالعه سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد.

منابع و مراجع

۱. عبدالآبادی، ح.، اردستانی، م. و حسنلو، ح. ۱۳۹۳. "ارزیابی پارامترهای کیفی آب به روش تحلیل آماری چند متغیره (مطالعه موردي: روخدانه اترک)"، مجله آب و فاضلاب، دوره ۲۵، شماره ۳، صفحات ۱۱۰-۱۱۷.
۲. کاظمی، ر.، شادر، ص. و بیات، ر. ۱۳۹۴. "بررسی عوامل موثر در پتانسیلیابی منابع آب سازندهای سخت، مطالعه‌موردي: منطقه کارستی لار"، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۷، شماره ۴، صفحات ۴۰۱-۳۸۹.
۳. محمدزاده، ف.، اختصاصی، م.ر. و حسینی، ز. ۱۳۹۶. "بررسی تاثیر سازندهای زمینشناسی بر کیفیت آبهای زیرزمینی با کاربرد منطق بولین، مطالعه موردي: حوزه آبخیز دشت بجستان"، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۹، شماره ۱، صفحات ۱۱-۲۱.
4. Solomon. S., Ghebreab, W. 2008. "Hard-rock hydrogeotectonics using geographic information systems in the central highlands of Eritrea: Implications for groundwater exploration", Journal of hydrology, Vol.349, No.(1-2), pp.147-55.
5. Apaydin, A. 2010. "Relation of tectonic structure to groundwater flow in the Beypazari region, NW Anatolia, Turkey", Hydrogeology journal, vol.18, No.6, pp.1343-56.
6. Baba, A., Gündüz, O. 2017. "Effect of geogenic factors on water quality and its relation to human health around Mount Ida, Turkey", Water, Vol.9, pp.66.
7. Rakotondrabe, F., Ngoupayou, JRN., Mfonka, Z., Rasolomanana, EH., Abolo, AJN., Ako, AA. 2018. "Water quality assessment in the Bétaré-Oya gold mining area (East-Cameroon): multivariate statistical analysis approach", Science of the total environment, Vol.610, pp.831-44.
8. Isaaks, EH., Srivastava, RM. 1989. "Applied geostatistics", Oxford University Press, New York, pp.561.
9. Tabios, III GQ., Salas, JD. 1985. "A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation 1", JAWRA Journal of the American Water Resources Association, Vol.21, No.3, pp.365-80.
10. Oinam, JD., Ramanathan, A., Singh, G. 2012. "Geochemical and statistical evaluation of groundwater in Imphal and Thoubal district of Manipur, India", Journal of Asian Earth Sciences, Vol.48, pp.136-49.
11. روستاپی، م.، آق‌آتابای، م. و نعمتی، م. ۱۳۹۳. "بررسی نقش زمین‌ساخت فعال در ناهنجاری‌های زمین‌ریختی حوضه آبریز گرگانروド-قره‌سو"، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ۸، شماره ۳۱، صفحات ۱۸-۳.
12. Cotruvo, JA. 2017. "WHO Guidelines for Drinking Water Quality", First Addendum to the Fourth Edition, Journal- American Water Works Association, Vol.109, No.7, pp.44-51.
13. Kumar, M., Kumari, K., Ramanathan, A., Saxena, R. 2007. "A comparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensively cultivated districts of Punjab, India", Environmental Geology, Vol.53, No.3, pp.553-74.