

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۹، زمستان ۱۳۹۵، صص ۱۵۸-۱۳۹

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۴ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۱۸

پهنه‌بندی فرونشست زمین در حوضه‌ی آبخیز قره‌چای همدان

سیاوش شایان^۱

مجتبی یمانی^۲

منیژه یادگاری^{۳*}

چکیده

فرونشست زمین به عنوان یکی از مخاطرات ژئومورفیک، از نتایج مصرف بیش از حد و سوء مدیریت منابع آب است. در بخش‌هایی از حوضه‌ی قره‌چای واقع در شمال استان همدان، از سال ۱۳۷۲ در اثر به هم ریختن سیستم هیدرولوژیکی و وجود سایر شرایط لازم بیشتر از ۳۶ مورد فروچاله بوقوع پیوسته است. شبکه‌ی زهکشی منطقه با توجه به میزان و عملکرد فرآیندها، تأثیرات متفاوتی بر محیط پیرامون خود بر جای گذاشته است که فروچاله‌های حادث شده نیز، در این مسیر واقع شده است. هدف این تحقیق آن است که با بررسی ویژگی‌های شبکه‌های زهکشی و زمین‌شناسی، نقش آن را در ایجاد فرونشست منطقه‌ی مورد مطالعه قرار دهد. بدین منظور کلیه اطلاعات زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، هواشناسی و جغرافیایی منطقه جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل گردید و شبکه‌های زهکشی، لیتولوژی، شیب و طبقات ارتفاعی منطقه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی (۱:۵۰۰۰۰)، زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰)، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و تصاویر Google Earth ترسیم شد. جهت پهنه‌بندی فروچاله‌ها از ۵ لایه اطلاعاتی استفاده شده است که در درون هر لایه بر حسب

۱- استاد دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران

۲- دانشیار دانشگاه تهران، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ایران (نویسنده مسئول) * Email:myadegari2012@gmail.com

میزان تأثیر هر فاکتور بر وقوع فروچاله، به آن فاکتور امتیازدهی گردید. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات ناهمسان در داده‌های مورفومتری شبکه‌ی زهکشی مهم‌ترین فاکتور مؤثر در تشدید افت آب‌های زیر زمینی و وقوع فرونشست در منطقه بوده و عوامل لیتولوژیکی و انسانی، به تنهایی نقشی ندارند.

کلمات کلیدی: پهنه‌بندی، فرونشست، حوضه‌ی آبخیز قره‌چای.

مقدمه

طبق آخرین بررسی سازمان هواشناسی در سال ۱۳۹۴، استان همدان از لحاظ کمبود بارش در بین ۳۱ استان کشور رتبه‌ی ۲۴ را دارا می‌باشد. دشت‌های رزن- قهاوند، کبودرآهنگ، همدان- بهار که در مناطق مرکزی و شرقی استان همدان واقع شده‌اند، فاقد رشته کوه‌های قابل توجهی بوده و نمی‌توانند از سیستم‌های بارش‌زای وارده به منطقه، بارش مناسبی دریافت نمایند. مخازن آب زیرزمینی این دشت‌ها در رسوبات آبرفتی کواترنر که ما حاصل فرسایش ارتفاعات حاشیه دشت هستند، تشکیل گردیده‌اند. افزایش روزافزون برداشت از منابع آب زیرزمینی منطقه، علی‌الخصوص از حوضه‌هایی که با رسوبات تحکیم نیافته آبرفتی یا نهشته‌های کم‌عمق دریایی انباشته شده‌اند منجر به فرونشست سطح زمین گردیده است (محبوبی اردکانی، ۱۳۸۴). مطالعات متنوعی در منطقه صورت گرفته است، که به علت کمبود منابع مالی، تحقیقات صورت گرفته کاملاً دقیق و یا مستند نبوده است و بین محققان اختلاف نظر وجود دارد. فرونشست در منطقه یکی از مسائلی است که بدون توجه به خصوصیات و ویژگی‌های ژئومورفولوژی توسعه خواهد یافت و تغییرات مورفومتری شبکه‌ی زهکشی یکی از عواملی است که در بروز فرونشست منطقه تأثیری مستقیم داشته و سایر عوامل طبیعی و انسانی در منطقه را تحت تأثیر خود قرار داده است.

آبراهه‌ها (جهت جریان، تراکم، نوع و شکل) در رابطه با وضعیت سنگ و ناهمواری منطقه انواع مختلفی پیدا می‌کند و شیب منطقه به عنوان عاملی مؤثر می‌تواند در شکل‌گیری الگوهای زهکشی و یا مقدار فرسایش و تولید رسوب مؤثر باشد (احمدی، ۱۳۷۸: ۱۲۶). تغییرات اقلیمی نیز یکی از عوامل تشدیدکننده در تغییرات مورفومتری شبکه‌ی زهکشی، افزایش حفر چاه‌های غیرمجاز و بروز فرونشست منطقه در سال‌های اخیر بوده است. نشست زمین در فونیکس، لاس و گاس، هوستون و کالیفرنیا، نیگاتا در شمال ژاپن و ایراکی در نیوزیلند خساراتی به بار آورده است (بوتکین و کلر^۱، ۱۳۸۶: ۳۹۹-۳۹۰). هیو و همکاران (۲۰۰۴) در شانگهای چین؛ اری^۲ (۲۰۱۱) در شهر ایراپوات و مکزیکو، رامیرو و همکاران^۳ (۲۰۱۲) نیز در این زمینه مطالعاتی داشته‌اند. همچنین پروژه‌ای تحقیقاتی در شهرگاندو در کشور استرالیا، توسط کی و همکاران^۴ (۲۰۱۲)، تغییرات سطح آب را در ارتباط با اثرات پدیده فرونشست مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دادند. در ایران مطالعه پدیده‌ی فرونشست به سبب فراگیری فضایی آن مورد توجه طیف وسیعی از محققان قرار گرفته است. برای نمونه در سال‌های اخیر کشاورز بخشایش و همکاران (۱۳۹۳) سطح تراز آب زیرزمینی و خصوصیات ژئوتکنیکی خاک را عامل اصلی فرونشست تهران اعلام کردند. علیاری (۱۳۸۴) با مطالعه‌ی فروچاله‌های همدان، عامل اصلی تشکیل این فروچاله‌ها را افت شدید آب دانسته است. همچنین سعادت (۱۳۸۴) معتقد است، پراکندگی گودال‌های فرونشینی موجود در منطقه اتفاقی نیست و با محل گسل‌های تعیین شده همخوانی داشته و از روند آنها تبعیت می‌کند. دادستان و همکاران (۱۳۸۴) معتقدند که فروچاله‌های منطقه را می‌توان عمدتاً از دو نوع

1- Botkin et al

2- Ari

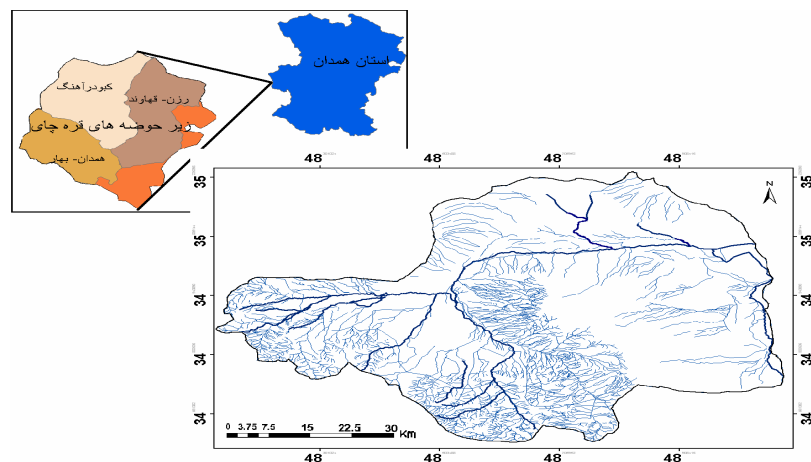
3- Ramiro et al

4- Kei et al

فروچاله‌های طبیعی (مانند فروچاله‌های همه کسی) و فروچاله‌هایی که فعالیت‌های انسان در شکل‌گیری آنها مؤثرتر بوده‌اند (مانند فروچاله‌های کردآباد و فامنین) برشمرده و ولیزاده و همکاران (۱۳۸۴) معتقد هستند که عمده فروچاله‌های منطقه‌ی مورد مطالعه در محدوده‌هایی از دشت که از سنگ بستر آهکی تشکیل شده‌اند و آبیاری زمین زراعی به روش غرقابی صورت می‌گیرد رخ داده‌اند. آنها با بررسی مورد به مورد حجم آب برداشت شده از چاه‌های منطقه که از گزارش مهندسان مشاور زمیران به دست آورده‌اند به این نتیجه رسیده‌اند که همبستگی و ارتباط مستقیمی از نظر میزان برداشت، میزان افت و تعداد فروچاله‌ها در قسمت‌های مختلف دشت‌های شمالی همدان وجود ندارد. هر چند تحقیقات متعددی در زمینه‌ی عوامل بروز فروچاله‌ها صورت گرفته است اما پژوهشی با موضوع تأثیر مورفومتری شبکه‌ی زهکشی بر پدیده‌ی فرونشست صورت نگرفته است. در این پژوهش بررسی و تأثیر ویژگی‌های مورفومتری شبکه‌های زهکشی بر پهنه‌بندی مناطق فرونشست در منطقه از اهداف اصلی این مقاله است.

موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی قره‌چای که بیش از ۷۶٪ آن در استان همدان واقع شده است، دارای مختصات جغرافیایی $48^{\circ} 13'$ تا $49^{\circ} 29'$ طول شرقی و $34^{\circ} 12'$ تا $35^{\circ} 44'$ عرض شمالی می‌باشد (شکل ۱).



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی قره‌چای در استان همدان

دشت‌های همدان- بهار، کبودرآهنگ و رزن- قهاوند با مختصات بین 30° و 48° تا 34° و 49° طول خاوری و 00° و 35° تا 15° عرض شمالی در مسیر این رودخانه قرار دارند. مهم‌ترین سرشاخه‌های قره‌چای در استان همدان قرار دارد، که در شکل (۱) نشان داده شده و مسیر آن عمدتاً توسط شرایط مورفولوژی و زمین‌شناسی منطقه کنترل شده است. کمترین ارتفاع منطقه (1619 متر) در دشت‌های کبودرآهنگ و رزن- قهاوند و بیشترین ارتفاع در جنوب استان (قله الوند- 3580 متر) واقع شده است (خدابخشی، $1392: 74$).

مواد و روش

در این پژوهش، روش انجام تحقیق، توصیفی- تحلیلی و با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، نقشه‌های توپوگرافی $1:50000$ ، نقشه‌های زمین‌شناسی $1:100000$ ، تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و با استفاده از نرم‌افزار ArcGis، Spss و Microsoft Excel انجام شده است. ویژگی‌های شبکه‌ی زهکشی و لیتولوژی، شیب و طبقات ارتفاعی، تعیین موقعیت چاه و مناطق بروز فرونشست، از طریق

نقشه‌های ذکر شده در بالا و DEM ۳۰ متری منطقه با کمک نرم‌افزار ArcGis ترسیم و توسط سایر نرم‌افزار تجزیه و تحلیل گردید. در این راستا به منظور ارزیابی حجم رواناب و تعیین صحت آن با استفاده از روش‌های جاستین و کتاین، بهترین روش جهت برآورد سالانه انتخاب گردید. در روش جاستین که به بررسی رابطه بین میزان بارندگی و رواناب سالانه‌ی حوضه‌ها در شرایط مختلف آب و هوایی می‌پردازد، نتایج آن به صورت فرمول زیر که تابع سه پارامتر بارندگی، دما و شیب حوضه می‌باشد ارائه شد:

$$S = \frac{\Delta H}{\sqrt{A}} \quad R = K * S^{0.155} \frac{P^2}{(1.8T + 32)} \quad (۱) \text{ رابطه‌ی } (۱)$$

در رابطه‌ی (۱) K: ضریب جاستین که به قابلیت پتانسیل آبی، خصوصیات زمین‌شناسی و فیزیولوژی بستگی دارد. R: رواناب سالانه به سانتی‌متر، P: بارندگی متوسط سالانه به سانتی‌متر، T: دمای متوسط سالانه به سانتی‌گراد، A: مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع، ΔH : اختلاف ارتفاع حوضه بر حسب کیلومتر، S: شیب حوضه است. با توجه به اینکه کلیه پارامترها برای تمام زیرحوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه قابل محاسبه می‌باشد. در روش فوق ابتدا مقدار K با توجه به آمار مشاهده‌ای دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری و پارامترهای دما و بارندگی آن محاسبه و مقدار ضریب و حجم رواناب برای هر زیرحوضه محاسبه گردید. در روش کتاین، با مشخص بودن متوسط بارندگی و دمای سالانه در ارتفاعات و دشت، ارتفاع رواناب از رابطه‌ی (۲) محاسبه شد.

$$\lambda = \frac{1}{\left(\frac{0}{B} + \frac{0}{14T}\right)} \quad (۲) \text{ رابطه‌ی } (۲)$$

$$R = P - D = \lambda P^2$$

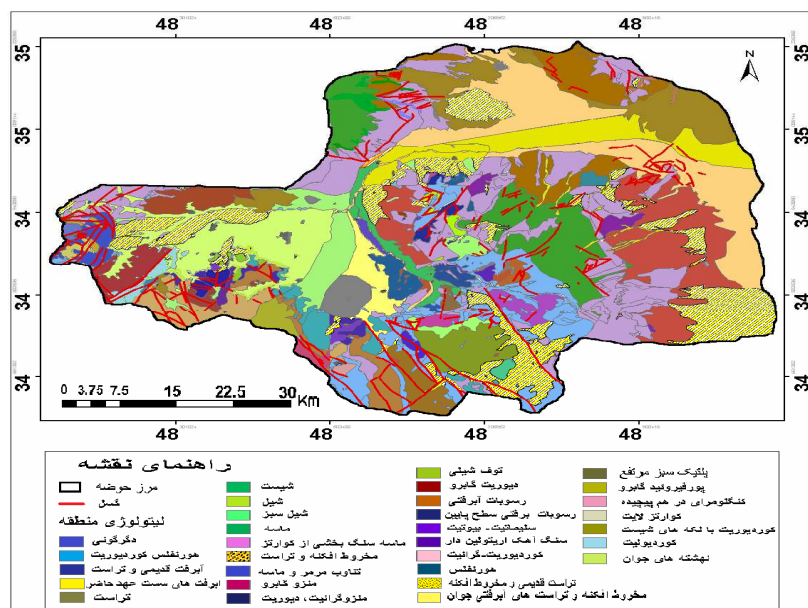
$$D = P \lambda P^2$$

در رابطه‌ی (۲)، P بارندگی بر حسب متر، T درجه حرارت بر حسب سانتی‌گراد، R رواناب سالانه بر حسب متر و D کمبود جریان سالانه بر حسب متر می‌باشد. در نهایت از داده‌های سیستم شبکه، لیتولوژی، عمق سطح ایستایی، کاربری اراضی و نقشه‌ی شیب منطقه استفاده شده است. درون هر لایه بر حسب میزان تأثیر هر فاکتور بر وقوع فروچاله امتیازدهی گردید. بدین ترتیب که، بیشترین امتیاز بیانگر تأثیر بیشتر آن فاکتور در ایجاد خطر است. در نهایت به هر لایه بر حسب میزان تأثیر آنها بر وقوع فروچاله‌ها، ضریب مناسب تعلق گرفت (جدول ۴). و با همپوشانی این لایه‌ها، نقشه پهنه‌بندی فروچاله‌های منطقه به دست آمده است (شکل ۸).

ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه

در ارتفاعات منطقه‌ی مورد مطالعه اکثر سنگ‌های رخنمون یافته، آذرین و دگرگونی می‌باشد. سنگ‌های دگرگونی موجود در این منطقه به مزوزوئیک تعلق دارند و سنگ‌های آذرین نیز که حاصل فاز کوهزایی لارامید هستند متعلق به کرتاسه پایانی تا پالئوسن زیرین می‌باشد. سنگ‌های قبل از ژوراسیک نیز شامل شیست، پاراگنیس، فیلیت، ماسه سنگ و توف‌های دگرگونی شده می‌باشند (سپاهی‌گرو، ۱۳۷۸). در بین رسوبات واحدهای کواترنری پادگانه‌های آبرفتی و مخروط افکنه، نهشته‌های آبرفتی و پادگانه‌های مسطح و رسوبات بستر رودخانه (آبرفت عهد حاضر) و در رسوبات ژوراسیک قدیمی‌ترین واحدهای لیتولوژیک منطقه و در رسوبات کرتاسه زیرین که از دیدگاه ژئومورفولوژی، ارتفاعات را تشکیل داده و ستیغ‌ساز می‌باشد جای دارد (سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۷۹). نهشته‌های رخنمون شده در دشت‌ها مورد مطالعه (کبودرآهنگ-فامنین) نیز به ترتیب قدمت، عبارتند از: -شیل‌ها و شیست‌های سازند شمشک با سن ژوراسیک- آهک‌های اربیتولین‌دار کرتاسه - آهک‌های مطبق و توده‌ای سازند قم با سن میوسن- رسوبات آبرفتی مربوط به عهد حاضر. همچنین وجود یک گسل مدفون احتمالی با امتداد SE-NW به طول حدود

۲۵ کیلومتر همراه با یک زون خردشده ناشی از حرکات تکتونیکی، مرز بارزی بین سنگ بستر آهکی مارنی و مارنی را عمدتاً در قسمت میانی دشت‌ها نشان می‌دهد (شکل ۲). که زمینه‌ساز گسترش سیستم درز و شکاف‌ها و ارتباط آن با حفرات و معابر عمقی در توده سنگ پی را فراهم نموده است (سپاهی گرو، ۱۳۷۸).

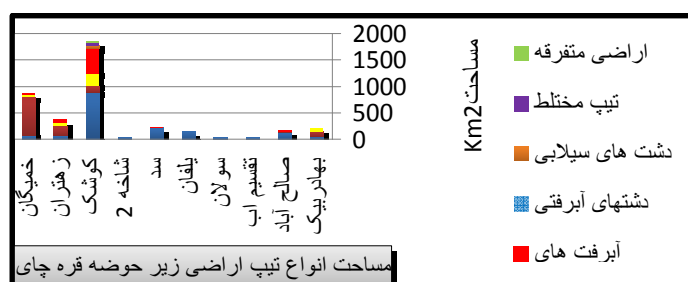


شکل (۲) موقعیت لیتولوژی و تکتونیکی حوضه قره‌چای در استان همدان

بحث و نتایج

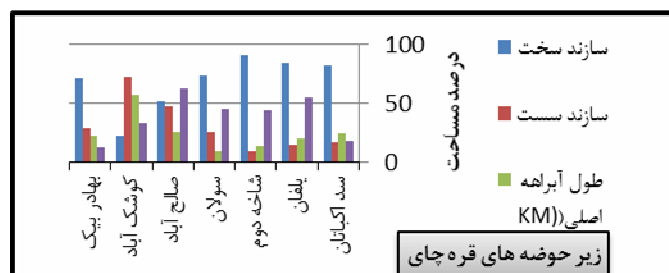
تغییر ناهمسان در ارتفاع و شیب رودخانه و آبراهه‌ها، افزایش تراکم آنها و فاصله‌گیری از رودخانه‌ها و به تبعیت از آن، اختلال در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، کاهش برگشت‌ناپذیر تمام یا بخشی از مخازن آب زیرزمینی، کاهش میزان نفوذپذیری سطحی، بهره‌برداری از حریم رودخانه به نفع اراضی کشاورزی، گسترش

پهنه‌های بیابانی و تغییر توپوگرافی و توسعه دشت سیلابی هر کدام به نوعی در بروز نشست زمین در منطقه نقش دارند.



شکل (۳) تیپ اراضی زیرحوضه‌ی قره‌چای

با توجه به شکل (۳) شبکه‌ی زهکشی منطقه به شکل شاخه‌ی درختی (دندریتی) می‌باشد. در ارتفاعات پایین منطقه‌ی واریزه‌های بادبزی بیشترین مساحت را در بهادر بیگ و آبرفت‌های بادبزی بیشترین مساحت را در بین زیرحوضه‌ها به کوشک آباد، زهتران و خمیگان به خود اختصاص داده‌اند.



شکل (۴) نمایش طول آبراهه با توجه به سازند سست و سخت برخی زیرحوضه‌ها منطقه

در شکل (۴) نوع لیتولوژی منطقه با توجه به مساحت آن در برابر فرسایش مقاومت‌های گوناگونی از خود نشان می‌دهند. بیشترین درصد سازندهای حساس به

فرسایش در زیرحوضه‌های خمیگان، زهتران و کوشک‌آباد مشاهده می‌شود که در افزایش تراکم آبراهه‌های منطقه و بروز فرورانشست تأثیرگذار می‌باشد.

رواناب

ضریب ذخیره دشت به طور متوسط ۳ تا ۵ درصد محاسبه شده است (سازمان تماپ، ۱۳۷۸). عمق سفره‌های آب زیرزمینی کم و تا ۱۲۰ متر می‌باشد. در سطح دشت‌ها به ویژه مواقع کم آبی و خشکی رودخانه‌ها و مسیل‌ها، به عنوان عاملی در جهت تخلیه منابع آب آبخوان عمل می‌نماید که در خروجی دشت‌ها (کوشک‌آباد، بهادر بیک، صالح‌آباد) از شدیدترین حالت برخوردار می‌باشد. جهت تخمین آورد سالانه منطقه از دو روش کتاین (Ktavn) و جاستین (Justin) استفاده شده است (علیزاده، ۱۳۸۴: ۵۲۵). در روش کتاین با مشخص بودن متوسط بارندگی و دمای سالانه در ارتفاعات و دشت، ارتفاع رواناب از رابطه‌ی زیر محاسبه و نتایج در جدول (۱) ارائه گردیده است.

جدول (۱) برآورد متوسط آبدهی سالانه در دشت و ارتفاعات از روش کتاین در حوضه‌ی قره‌چای

ناحیه	مساحت Km^2	بارش Cm	دما C .	رواناب m	آورد سالانه mcm	ضریب رواناب (%)
ارتفاعات یلفان	۱۶۸	۳۲۷	۱۰/۵	۲۸۰/۱۵	۴۷/۱۸	۸۵/۷
همدان-بهار	۲۴۷۵	۳۲۵	۱۱/۴	۴۳۷۲۰/۶	۱۰۸۲۰۹/۵	۱۳۴۵۲/۵
کیودر آهنگ	۳۴۴۸	۲۸۵	۱۲/۰	۳۲۵۴۰/۲۲	۱۱۲۱۹۸	۱۰۰۱۲/۵
دشت رزن-قهاوند	۳۰۴۸	۳۱۳	۱۲،۰	۹۷۷۱۵،۵	۲۹۷۸۴۵	۳۱۲۱
خمیگان	۲۵۷	۲۸۶	۱۰/۶	۳۵۵۴۱	۹۱۳۱	۱۲۴۲۷
کوشک‌آباد	۲۴۵۱	۳۲۱	۱۰/۸۹	۴۴۵۳۲	۱۰۹۱۶۶	۱۳۸۶۶۴

در روش جاستین ارتفاع بر حسب متر و A مساحت بر حسب مترمربع می‌باشد. مطابق این روش رواناب در محدوده‌ی قره‌چای به شرح ذیل می‌باشد (جدول ۲).

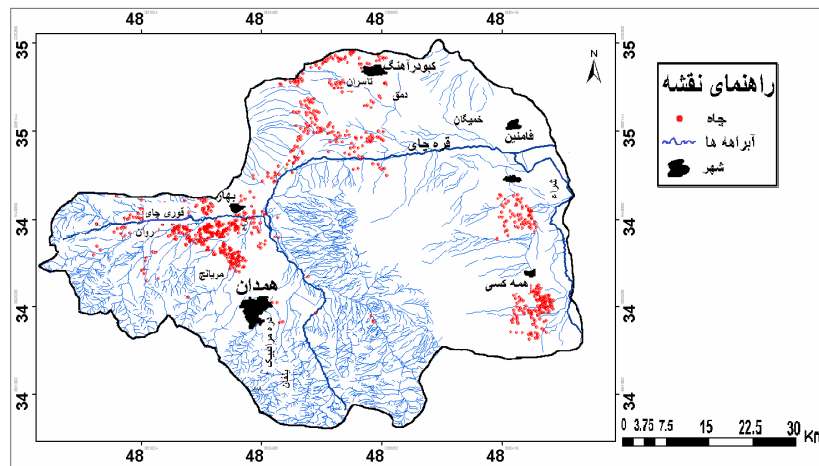
جدول (۲) برآورد رواناب سالانه به روش جاستین در زیرحوضه‌های قره‌چای

ناحیه	حداقل ارتفاع m	حداکثر ارتفاع m	شیب متوسط S	ضریب جاستین K	آورد رواناب mcm سالانه	ضریب رواناب (%)
ارتفاعات یلفان	۱۹۱۰	۳۵۸۶	۰/۱۳	۰/۱۸	۴۵	۸۲
همدان-بهار	۱۶۸۵	۳۵۸۶	۰/۰۳۸	۳	۸۹۳۷۰	۱۱۱۱۰
کبودر آهنگ	۱۶۲۹	۲۸۹۸	۰/۰۲۲	۲	۴۸۹	۵۰
دشت رزن-قهاوند	۱۵۷۵	۲۷۹۵	۰/۲۱	۲	۷۷۱	۸۱
خمیگان	۱۸۳۰	۲۸۸۰	۰/۰۶۵	۴	۱۱۶۷۵	۱۵۸۸۹
کوشک آباد	۱۶۸۴	۳۵۸۴	۰/۰۳۸	۲	۵۱۶	۶۶

مقایسه‌ی رواناب محاسباتی از روش جاستین و کوتاین در مقایسه با میزان رواناب منطقه نشان داد که هر دو روش میزان رواناب حوضه را کمتر از میزان واقعی برآورد کرده‌اند و نتایج روش جاستین نسبت به روش کوتاین، به دلیل استفاده از خصوصیات فیزیوگرافی و اقلیمی محدوده جهت محاسبه‌ی میزان رواناب در دشت و ارتفاعات، مناسب‌تر بوده و در تفکیک رواناب کوه و دشت مورد استفاده قرار گرفته است.

- تراکم آبراهه‌ها و افت آب زیرزمینی

در شکل (۵) بیشترین طول آبراهه به اراضی سست و دشت‌های منطقه و کمترین طول آبراهه در ارتفاعات به سازند سخت سولان و تقسیم آب تعلق دارد. عمده تمرکز آبراهه‌ها در منطقه همه کسی یکی از مناطق مستعد فروچاله می‌باشد.



شکل (۵) شبکه‌ی زهکشی و موقعیت چاه‌های منطقه

با توجه به شکل (۵) و جدول (۳)، اکثر فروچاله‌های منطقه که افت آب زیرزمینی در وقوع آنها موثر است، در دشت آبرفتی کبودرآهنگ و فامنین و بسیاری از فروچاله‌ها که افت آب‌های زیر زمینی در آنها تأثیر بسیار کمتری داشته است در سنگ آهک‌های الیگومیوسن (کارست برهنه) همه کسی بوقوع پیوسته‌اند. تمامی ذخیره‌ی آب‌های زیرزمینی این دشت‌ها مربوط به نفوذ حاصل از ریزش‌های جوی است. افزایش تراکم آبراهه‌ها و دوری از منابع آب‌های سطحی یکی از عوامل افزایش حجم برداشت از چاه‌ها و افت در این مناطق است.

جدول (۳) منابع دسترسی به آب زیرحوضه‌ی قره‌چای (سالنامه آماری استان همدان، ۱۳۹۴)

شهرستان	چاه عمیق	چاه نیمه‌عمیق	قنات	چشمه	منابع سطحی	منابع زیرزمینی
همدان	۱۱۹۰	۲۲۴۸	۲۷۴	۵۰۰	۲۱۱۵۶	۴۹۴۱۴
بهار	۳۸۴	۱۰۴۰	۴۱۸	۲۸۲	۰	۴۷۷۶
کبودرآهنگ	۱۲۱۷	۱۴۰۱	۲۱۱	۴۸۵	۰	۲۴۶۰

– فاصله از رود

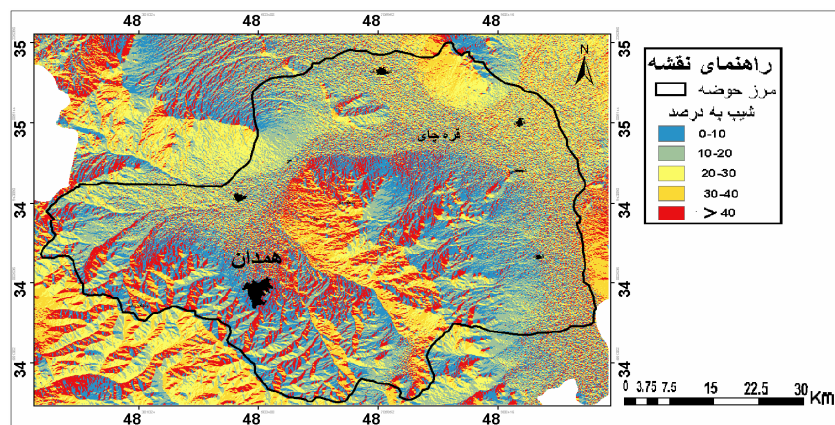
عامل نزدیک به رودخانه به عنوان عامل مزاحم در ایجاد فروچاله شناسائی گردید و با فاصله گرفتن از رود امتیاز بیشتری به زمین های منطقه تعلق گرفت. جدول (۴).

– لیتولوژی

اکثر فروچاله‌ها که افت آب زیرزمینی در آن مؤثر بوده در دشت‌های آبرفتی و فروچاله‌هایی که افت آب زیرزمینی در آن تأثیر کمی داشته در سنگ آهک‌های الیگومیوسن (کارست برهنه) بوقوع پیوسته است. شکل‌های (۲ و ۵).

– توپوگرافی

عمده‌ی فروچاله‌ها در مناطق کبودرآهنگ و قهاوند به دلیل شیب کم آن می‌باشد (شکل ۶). در زیرحوضه‌هایی مانند یلفان، به علت شیب زیاد و سختی سازند و حجم رواناب، آب‌های سطحی فرصت نفوذ ندارند شکل (۴).



شکل (۶) درجه‌ی شیب زیرحوضه‌ی قره‌چای

تأثیر تکتونیک بر الگوی زهکشی و فروچاله‌های منطقه

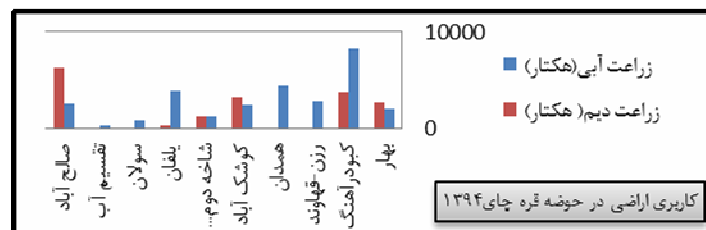
بسیاری از دره‌های منشعب از توده‌های پلوتونیک، گسلی هستند. بخشی از رودهای یلفان و سولان در امتداد گسل‌ها جریان دارند، اما منجر به ایجاد نشست در زمین نبوده‌اند، اما گسل همه کسی با راستای W64N یکی از دلایل بروز فروچاله در امتداد آن می‌باشد (شکل‌های ۲ و ۵).

– ضخامت رسوبات

با توجه به نوع سازند در جدول (۱)، قرار گرفتن رسوبات آبرفتی تا حداکثر ۱۵۰ متر در مرحله رسوبگذاری رود، به عنوان پوشش سنگ بستر آهکی کارستیک، یکی از عوامل بنیادی، شرایط تسریع در ایجاد فروچاله‌ها در منطقه است (پرویزی، ۱۳۸۴).

– کاربری اراضی

طبق بررسی‌های به عمل آمده از مطالعات سازمان جهاد کشاورزی استان مرکزی،



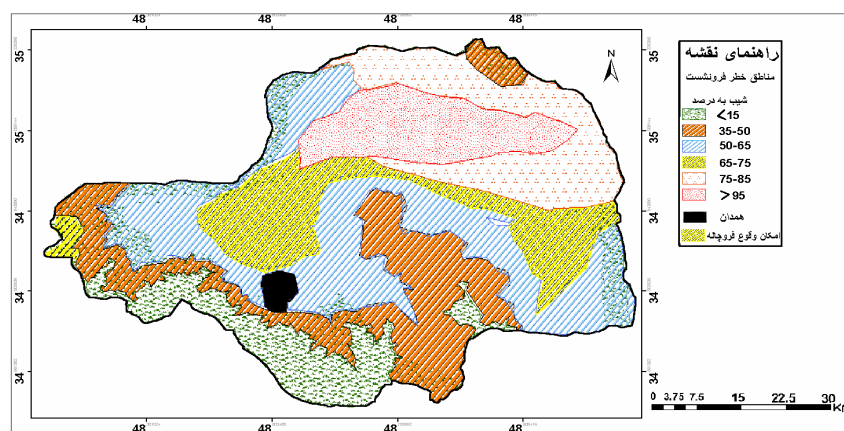
شکل (۷) مساحت و درصد انواع کاربری اراضی در حوضه قره‌چای در همدان (سالنامه‌ی آماری استان همدان: ۱۳۹۴)

در شکل (۷)، عمده فروچاله‌های منطقه در زمین‌های کشاورزی دشت‌های کیودرآهنگ، فامنین و بهار و به خصوص زمین‌هایی که به روش غرقابی آبیاری می‌شوند بوقوع پیوسته‌اند. در جدول (۴) به منظور انجام پهنه‌بندی از لایه‌ی شبکه‌ی زهکشی، لیتولوژی، سطح آب زیرزمینی، شیب و کاربری اراضی استفاده شد.

جدول (۴) لایه‌ها، امتیازات پارامترهای هر لایه و ضریب تأثیر لایه

ردیف	نام لایه	پارامتر	امتیاز پارامترهای درون هر لایه	ضریب تأثیر لایه
۱	شبکه‌ی زهکشی	حجم رواناب (mm ³ /year)	۱۰	۰/۱۹
		بارندگی	۱۰	
		تراکم آبراهه (Km/km ²)	۱۰	
		شیب متوسط حوضه آبریز %	۹	
		رسوب (t/year)	۹	
		رتبه ۵ و ۶	۸	
		رتبه ۱، ۲، ۳، ۴	۷	
۲	لیتولوژی	دشت و پادگانه‌های آبرفتی	۷	۰/۱۴
		سنگ آهک‌های (الیکومیوسن، اربیتولین دار و کریستالین)	۷	
		نهشته مخروط افکنه‌ای	۶	
		منزوگابرو، دیوریت، برش ماگمایی از گابرو و گرانیت. دیوریت گابرو، دیوریت، کوارتز دیوریت، سنگ‌های ریز گابرویی متداخل pg و ga، پورفیروئید گرانیت‌ها، آلیوین گابرو، نورتیک گابرو، گابرو دگرگون شده، پگماتیت گرانیت، گرانودیوریت، آپلیت؛ تورمالین گرانیت، گرافیک گرانیت... (هلولوکرات گرانیت)	۱	
			۰	
			۰	
۳	افت سطح آب	تدریجی	از ۰ تا ۴۰ متر	۰/۲۵
		تدریجی	از ۱ تا ۱۲۰ متر	۰/۱۵
۴	شیب	۰-۵	۳	۰/۱
		۵-۳۰	۲	
		۳۰-۴۵	۱	
		بیشتر از ۴۵	۰	
۵	کاربری اراضی	زمین‌های کشاورزی با آبیاری غرقابی	۵	۰/۰۲
		زمین‌های کشاورزی با آبیاری دیم	۴	
		زمین‌های بایر	۱	
		زمین‌های مرتفع	۰	

طبق جدول (۴)، در درون هر لایه بر حسب میزان تأثیر آن بر وقوع فروچاله‌ها امتیازدهی گردیده است. بدین ترتیب که امتیاز بالای هر فاکتور، بیانگر تأثیر بیشتر آن فاکتور در ایجاد نشست زمین است. در نهایت به هر کدام از لایه‌ها بر حسب میزان تأثیر آنها بر وقوع فرونشست ضریب مناسب تعلق گرفت.



شکل (۸) پهنه‌بندی خطر فروچاله‌های زیرحوضه‌ی قره‌چای

با بررسی نقشه‌ی خطر فروچاله‌های منطقه‌ی مورد مطالعه در شکل (۸) و جدول (۵)، به سادگی می‌توان دریافت که عمده‌ی مساحت دشت همدان بهار برای وقوع فروچاله، مستعد می‌باشد.

جدول (۵) تعداد فروچاله‌های رخ داده در کلاس‌های خطر

ردیف	حوضه	درصد خطر	کلاس خطر	تعداد فروچاله
۱	همه‌کسی	<۹۵	بسیار پر خطر	۱۱
۲	قهاوند	۷۵-۸۵	پر خطر	۸
۳	فامنین-کیودرآهنک	۷۵-۶۵	خطر متوسط	۶
۴	همدان-بهار	۵۰-۶۵	کم خطر	۰

نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام شده در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که شبکه‌ی زهکشی و تغییرات در داده‌های مورفومتری آن در طی زمان، از ارتفاعات به سوی دشت یکی از بخش‌های اصلی تأثیرگذار در وقوع فروچاله‌های منطقه می‌باشد و تغییرات اقلیمی به عنوان یک عامل تشدیدکننده در این امر تأثیر بسزایی دارد. تغییر در حجم رواناب‌ها نسبت به منبع تغذیه، افزایش تراکم آبراهه و فاصله‌گیری از رودخانه‌ها، در دشت‌های منطقه، از عوامل مهم ایجاد اختلال در بهره‌برداری از منابع آب و به تبع آن گسترش پهنه‌های بیابانی، توسعه‌ی دشت‌های سیلابی و بروز فرونشست در منطقه می‌باشد و اگر چه به عقیده برخی پژوهشگران عمده فروچاله‌های منطقه‌ی مورد مطالعه در محدوده‌هایی از دشت، که از سنگ بستر آهکی تشکیل شده‌اند و آبیاری زمین زراعی به روش غرقابی صورت می‌گیرد (روستای همه‌کسی)، رخ داده است (ولیزاده و همکاران، ۱۳۸۴) و یا محل تشکیل فروچاله‌ها بر محل تلاقی مخروط افت چاه‌ها واقع گردیده است (دادستان، ۱۳۸۴). اما این نکته قابل توجه است که، با توجه به نقشه‌ی (۸) و اطلاعات به دست آمده از جدول (۴) و مشاهده روند تغییرات داده‌های مورفومتری شبکه‌ی آب‌ها می‌توان دریافت که نوع لیتولوژی، توپوگرافی، کاربری اراضی و افت آب زیرزمینی منطقه به تبعیت از تغییرات داده‌های مورفومتری شبکه‌ی زهکشی در طی زمان دچار تغییر و تحول گشته و در تشدید فرونشست منطقه تأثیرگذار بوده است و این عوامل به تنهایی نمی‌توانند نقش اصلی را در منطقه ایفاء نمایند. شبکه‌های زهکشی ماهیتی مستقل و تأثیرگذار در منطقه داشته است اما پیوندی خاص با نوع لیتولوژی، توپوگرافی و برداشت مازاد آب‌های زیرزمینی برقرار کرده، به طوری که تغییر در رفتار شبکه‌ی زهکشی و داده‌های مورفومتری آن را می‌توان در ارتباط با این عوامل بیان کرد. تغییرات شبکه‌ی زهکشی در مقیاس زمانی و مکانی عمده مساحت

دشت‌های منطقه، خصوصاً (روستا‌های بابان، جهان‌آباد، همه‌کسی، کردآباد) را برای وقوع فروچاله مستعد و با بحران کم‌آبی این وسعت گسترده‌تر و دشت‌های همدان و بهار را نیز بعد کبودرآهنگ، فامنین و قهاوند با شدت بیشتری درگیر خواهند کرد و ضروری است که نسبت به اجرای عملیات پیشگیری، از جمله کنترل نحوه‌ی بهره‌برداری از آب در نواحی بحرانی اقدامات لازم صورت پذیرد.

منابع

- احمدی، حسن (۱۳۷۸)، ژئومورفولوژی کاربردی (فرسایش آبی)، ج ۱، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، صص ۱۲۶-۱۳۰.
- بوتکین دانیل، ادوارد کلا (۱۳۸۶)، شناخت محیط زیست (زمین سیاره زنده)، ترجمه عبدالحسین وهاب‌زاده، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، صص ۳۹۰-۳۹۹.
- پرویزی، فریدون (۱۳۸۴)، شناخت پدیده‌ی فروچاله‌ها و فرونشست زمین در اراضی دشت‌های کبودرآهنگ و فامنین همدان، مجموعه مقالات کنفرانس بررسی فروچاله‌ها در مناطق کارستی (با تأکید ویژه بر فروچاله‌های همدان)، صص ۶۹-۸۰.
- دادستان، احمد؛ انتظام سلطانی، ایمان و محمدجواد بلورچی (۱۳۸۴)، مجموعه مقالات کنفرانس بررسی خطرات فروچاله‌ها در مناطق کارستی (با تأکید ویژه بر فروچاله‌های همدان)، صص ۱۹۵-۲۱۶.
- خدابخش، سعید؛ محسنی، حسن؛ حسام‌زاده، مژگان؛ مهاجروطن، ملیحه و لیلا کرم‌الهی (۱۳۹۲)، بررسی سرشاخه‌های باختری رودخانه‌ی قره‌چای بر اساس نوع رودخانه و رخساره‌های رسوبی، ج ۱، رسوب‌شناسی کاربردی، صص ۷۳-۸۸.
- سپاهی گرو، علی‌اصغر (۱۳۷۸)، پترولوژی مجموعه پلوتونیک الوند با نگرشی ویژه به گرانیتوئیدها، پایان‌نامه‌ی دکتری پترولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم.
- سعادت، قادر، محمدی، پروین (۱۳۸۲)، وضعیت تکتونیکی گودال‌های فرونشینی دشت مرکزی همدان، دومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، صص ۱۰۰-۱۱۴.
- علیزاده، امین (۱۳۷۸)، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ یازدهم، انتشارات آستان قدس رضوی، ص ۸۰۸.

- علیاری، علیرضا؛ فاطمی عقدا، محمود؛ نخعی، محمد و علی بیت‌الهی (۱۳۸۴)، بررسی مکانیزم تشکیل فروچاله‌های دشت مرکزی همدان، دومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، صص ۷۰۳-۶۹۳.
- کشاورز بخشایش، محمد؛ نجفی، بهنام و مهدی تلخابلو (۱۳۹۳)، ارزیابی خطر فرونشست در محدوده مرکزی شهر تهران، هشتمین همایش ملی تخصصی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور.
- Eray. Can., Cetin. Mekik., SenolKuscu., and HakanAkçin, (2011), **Subsidence Occurring in Mining Regions and a Case Study of Zonguldak-Kozlu Basin**, Scientific Research and Essays Vol. 6(6), PP. 1317-1327, 18 March.
- Hu, R.L, Yue, Z.Q, Wang, L.C, & Wang, S.J. (2004), **Review on Current Status and Challenging Issues of and Subsidence in China**, Engineering Geology, P. 76.
- Kay. Darly (2012), **The Management of Mine Subsidence: Effects, Impacts and Consequences**, Mine Subsidence Engineering consultants.
- Ramiro Rodríguez, Jorge Lira and I. Rodríguez (2012), **Subsidence Risk Due to Groundwater Extraction in Urban Areas Using Fractal Analysis of Satellite Images**, Geofísica Internacional, 51-2: PP.157-167