



بررسی رابطه بین افت سطح آب های زیرزمینی و پدیده فروچاله، مطالعه موردی دشت کبودر آهنگ و فامنین

مولودسادات چاوشیان^۱، خسرو حسینی^۲، سعید خدایان^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد رشته بیابان زدایی دانشگاه سمنان

^۲ استادیار و عضو هیئت علمی دانشکده عمران دانشگاه سمنان

^۳ استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی

a.chavoshian@gmail.com

خلاصه

در مقاله حاضر به پدیده ایجاد فروچاله در اثر افت سطح آب زیرزمینی در دشت کبودر آهنگ و فامنین پرداخته شده است. برای این منظور اطلاعات رقوم سطح آب زیرزمینی توسط روش های زمین آمار در محیط GIS تحلیل گردیده. و بهترین روش درون یابی تعیین گردیده است و با توجه به ویژگی های فروچاله های به وجود آمده، تأثیر افت سطح آب زیرزمینی در تشکیل فروچاله ها مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی های به عمل آمده، نشان می دهد که افت سطح ایستابی تأثیر بسزایی بر ایجاد فروچاله ها داشته و در مکان هایی که افت سطح آب بیشتر بوده است شدت و فراوانی وقوع این پدیده بیشتر می باشد.

کلمات کلیدی: فروچاله، افت سطح ایستابی، زمین آمار، GIS

مقدمه

فرو رفتگی سطح زمین که در اثر گسیختگی لایه های سطحی ایجاد شده است، فروچاله نامیده می شود. (ویلسون و بک ۱۹۸۸) فروچاله ها معمولاً دارای دیواره هایی با شیب تند بوده و در اشکال بیضوی یا کروی دیده می شوند و متوسط ابعاد آن ها در حدود ۳ متر می باشد. و در برخی موارد تا ده ها متر نیز می رسد. (وایت ۱۹۹۵). به وقوع پیوستن این پدیده که به لحاظ اثرات تخریبی در گروه بلایای طبیعی (Natural Hazards) رده بندی می گردد، در نقاط مختلف جهان از ابعاد زمین شناسی، ژئوتکنیک و زیست محیطی مورد توجه بوده است (پرویزی ۱۳۸۴). واژه فروچاله مترادف با سینک هول (Sinkhole) یا دولین (Doline) و واژه فرونشست زمین مترادف با (Land subsidence) توسط صاحب نظران و کارشناسان در مطالعات این پدیده در کشور مورد استفاده قرار گرفته است. شرایط بنیادی لازم برای ایجاد این پدیده شامل وجود توده سنگ های آهکی در سنگ بستر و وجود پدیده کارست در منطقه و گسترش سیستم درز و شکاف ها و حفرات و گالری های عمقی، گسترش یک پوسته آبرفتی با ضخامت مناسب بر روی سنگ بستر آهکی و افت سطح آب زیرزمینی می باشد. (هابارد ۲۰۰۳) تشکیل فروچاله ها در نواحی که سازند آبرفتی با ضخامت حداکثر ۵۰ متر بر روی سنگ بستر آهکی و کارستی را می پوشانند خطرات جدی را در بر دارد. (والتام ۱۹۸۹). در بین عوامل مؤثر در ایجاد فروچاله ها پمپاژ بیش از اندازه آب، از عوامل اصلی ایجاد فروچاله در دشت ها می باشد.

افزایش جمعیت همراه با گسترش بی رویه بهره برداری از منابع آب برای استفاده در کشاورزی و صنعت منجر به افزایش تقاضای آب از منابع آب زیرزمینی می شود. کاهش سطح آب زیرزمینی در سفره موجب متراکم شدن سفره می گردد. این تراکم نتیجه رابطه بین کاهش سطح ایستابی و افزایش تنش عمودی ناشی از عدم تحمل بار طبقات بالایی توسط آبخوان است که در نهایت منجر به ایجاد فروچاله می گردد.

وقوع فروچاله ها عواقب زیست محیطی متعددی را به دنبال دارد که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- کاهش بازدهی یا ایجاد تخریب در شریانهای حیاتی و سازه های مهم مانند آسیب به پل ها، راه ها، خطوط راه آهن، کانال های آبی، خاکریز ها خطوط آبرسانی، گاز و مجاری فاضلاب و خسارت به پی ساختمان ها و سازه ها (والتام و همکاران ۲۰۰۵)



- کاهش برگشت ناپذیر تمام یا بخشی از مخزن آب زیر زمینی و در نتیجه از بین رفتن یا کاهش تخلخل مفید نهشته ها
 - کاهش میزان نفوذ پذیری سطحی و تغییر در توپوگرافی و توسعه دشت سیلابی و پیرو آن گسترش پهنه های بیابانی
 - فروچاله ها باعث مشکلاتی برای قسمتی از زمین های کشاورزی می شود که نمی توانند آن قسمت را کشت نموده و از نظر یک کشاورز بی ارزش می باشند. همچنین محل مناسبی برای ریختن آشغالها و زباله ها به نظر می رسند این در حالی است که مسیرهای خشک بسیاری از چاله های کارستی با سیستم مجاری زیر سطحی آب های زیرزمینی ارتباط مستقیم دارند.
- نشانه اولیه وقوع فروچاله همیشه قبل از وقوع ریزش مشاهده نمی گردد. به این دلیل تشخیص و نمایان سازی نواحی که مستعد فروچاله هستند، ضروری به نظر می رسد. لذا این پدیده بایستی بخوبی مورد شناسایی و مطالعه قرار گیرد به نحوی که اهمیت و حساسیت حضور آن در مناطقی که مورد ساخت و ساز سازه های مهندسی و صنعتی یا محل سکونت افراد است، مورد ارزیابی و مدیریت صحیح قرار گیرد با توجه به این که این پدیده در دشت های وسیعی از کشور مانند دشت کبودرآهنگ و فامنین در استان همدان، دشت کرمان، دشت رفسنجان، دشت یزد - اردکان، دشت ابرقو و نواحی چند در استان های خراسان و گلستان مشاهده گردیده است، احتمال گسترش آن در سایر دشت ها نیز وجود دارد. لذا توجه به این موضوع امری ضروری و حیاتی است.
- با توجه به عوامل ذکر شده که لازمه ایجاد پدیده فروچاله هاست، بر اساس بررسی مشخصه های سطحی و زیر سطحی منطقه مورد مطالعه، کلیه عوامل بنیادی لازم برای ایجاد این پدیده، برابر آنچه به آن اشاره گردید در منطقه مورد مطالعه وجود دارد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه و ویژگی های آن

محدوده مورد مطالعه شامل قسمت هایی از دشت کبودرآهنگ و فامنین واقع در استان همدان می باشد. کل محدوده دارای مساحتی در حدود ۱۷۶۹۹ هکتار می باشد. که بین عرض شمالی ۲۱° ۳۵' تا ۲۲° ۳۵' و طول شرقی ۴۸° ۳۰' تا ۴۸° ۴۸' قرار دارد. و ارتفاع متوسط این دشت از سطح دریا حدود ۱۷۰۰ متر است. در طبقه بندی اقلیم حیاتی ایران به روش گوسن دارای دو وضعیت اقلیمی است: مناطق مرتفع، اقلیم سرد و مرطوب و نواحی دشت دارای اقلیم استپی سرد یا سرد نیمه خشک است. حدود ۸۸ درصد آب مصرفی منطقه برای مصارف صنعتی، کشاورزی و تأمین آب شرب از محل آب های زیرزمینی و ۱۲ درصد دیگر از منابع آب های سطحی تأمین می گردد. (بیدختی ۱۳۸۴) محدوده دشت های کبودرآهنگ و فامنین بر حسب شرایط عمومی زمین شناسی ایران در محدوده شمالی حاشیه نوار سنج - سیرجان در روند عمومی ساختاری شمال غرب - جنوب شرق، در قسمت شمالی راندگی اصلی زاگرس قرار گرفته و از نظر مشخصه های لیتولوژیکی و ساختمانی (نبود سازندهای آتشفشانی دوران سوم) و شرایط ناپیوستگی ها، کم و بیش مشابه شرایط زمین شناسی ایران مرکزی است. زمین شناسی منطقه مطالعاتی بطور کلی شامل بیرون زدگی های ژوراسیک تا دوران سوم (ترشیاری) همراه با نهشته های دوران چهارم (کواترنری) است که حواشی دشت های مورد مطالعه را در جبهه شمالی الوند شامل می گردد.

تجزیه و تحلیل اطلاعات چاه های پیزومتری

برای انجام این تحقیق از آمار ۴۷ چاه پیزومتری واقع در منطقه طی دوره ۱۷ ساله ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۵ استفاده شد. پس از جمع آوری آمار و اطلاعات و انتخاب پایه زمانی، آمار موجود از نظر کیفیت صحت و همگن بودن آمار به کمک نرم افزار SPSS بررسی گردیدند. جهت بررسی آمار از نظر همگنی، از روش آزمون توالی (Run Test) استفاده شد. سپس آزمون نرمالیت به بر اساس آزمون چولگی انجام گرفت و در آخر نواقص آماری بازسازی شد. به منظور تعمیم داده های نقطه ای به منطقه ای از روش های درون یابی عکس فاصله وزنی^۱، کریجینگ^۲ و توابع پایه شعاعی^۳ استفاده شده است. در جدول شماره ۱ نتایج بررسی روش های درون یابی قابل مشاهده است.

¹ Inverse Distance Wighted

² Kriging

³ Radial Basis Function Method



تعیین مناسب ترین روش میانجیابی

برای ارزیابی و بررسی روش های میان یابی فضایی از تکنیک اعتبارسنجی حذفی^۱ استفاده شد. این تکنیک بر این اساس است که هر بار یک نقطه مشاهده ای به طور موقت حذف شده و برای آن از روی نقاط مجاور، مقداری برآورد می گردد. به طوری که در پایان یک جدول با دو ستون که نشان دهنده مقادیر واقعی و برآورد شده است، حاصل می گردد. با داشتن این دو مقدار می توان در نهایت، ریشه مجذور مربعات خطا (RMSE)^۲ و انحراف استاندارد عمومی (GSD)^۳ در هر روش را تعیین و مناسب ترین روش میان یابی انتخاب گردید. که روابط مربوط به شرح زیر می باشد.

(۱) و (۲)

$$R.M.S.E = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (Z(x_k) - Z^*(x_k))^2} \quad GSD = \frac{RMSE}{\bar{Z}(x_i)}$$

در روابط بالا، $Z^*(x_i)$ مقدار برآورد شده متغیر مورد نظر، $Z(x_i)$ مقدار اندازه گیری شده متغیر مورد نظر (مقدار مشاهده ای) و $\bar{Z}(x_i)$ میانگین مقادیر مشاهده ای و N تعداد مشاهدات می باشد هر چه مقدار این دو پارامتر به صفر نزدیک تر باشند نشان دهنده بالا بودن دقت مدل است. (معروفی ۱۳۸۸)
نتایج ارزیابی روش های زمین آمار برای تخمین سطح آب زیر زمینی. با توجه به مقایسه GSD , $RMSE$ که از روش های مختلف بدست آمده در جدول شماره ۱ آورده شده است. این نتایج نشان می دهد که روش کریجینگ بهترین روش برای تخمین عمق آب زیرزمینی در منطقه است. و روش IDW با توان ۵ و شعاعی کم ضخامت دارای بیشترین خطای محاسباتی می باشد.

جدول شماره ۱- نتایج ارزیابی روش های زمین آمار در تخمین عمق آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه.

سال آماری	IDW -1		IDW -2		IDW-3		IDW-4		IDW-5	
	RMSE	GSD	RMSE	GSD	RMSE	GSD	RMSE	GSD	RMSE	GSD
۶۷-۶۸	۵/۹۸	۰/۴۹	۵/۹۶	۰/۴۸	۶/۱۵	۰/۵۰	۶/۳۵	۰/۵۲	۶/۵۳	۰/۵۳
۷۱-۷۲	۱۰/۰۵	۰/۶۱	۹/۹۴	۰/۶۰	۱۰/۱۶	۰/۶۳	۱۰/۴۳	۰/۶۴	۱۰/۶۵	۰/۶۵
۷۷-۷۸	۱۱/۶۳	۰/۵۵	۱۱/۳۵	۰/۵۳	۱۲/۳۳	۰/۵۸	۱۲/۹۳	۰/۶۰	۱۳/۳۲	۰/۶۳
۸۴-۸۵	۱۴/۷	۰/۵۰	۱۴/۳۵	۰/۴۹	۱۴/۵۵	۰/۴۹	۱۴/۸	۰/۵۰	۱۵/۰۱	۰/۵۱

ادامه جدول شماره ۱

سال آماری	توابع پایه شعاعی						کریجینگ			
	چندریعی		، چندریعی معکوس		نواری کم ضخامت		معمولی		ساده	
	RMSE	GSD	RMSE	GSD	RMSE	GSD	RMSE	GSD	RMSE	GSD
۶۷-۶۸	۶/۰۵	۰/۴۹	۶/۰۱	۰/۴۹	۶/۴۶	۰/۵۲	۵/۹۴	۰/۴۸	۵/۹۷	۰/۴۸
۷۱-۷۲	۹/۸۹	۰/۶۰	۹/۸۴	۰/۶۰	۱۰/۷۵	۰/۶۵	۹/۸۳	۰/۶۰	۹/۷۵	۰/۵۹
۷۷-۷۸	۱۱/۸۵	۰/۵۶	۱۱/۴۸	۰/۵۴	۱۲/۴۶	۰/۵۷	۱۱/۲۶	۰/۵۳	۱۱/۳۶	۰/۵۳
۸۴-۸۵	۱۳/۳۲	۰/۴۵	۱۳/۸۳	۰/۴۷	۱۴/۲۵	۰/۴۸	۱۳/۱۴	۰/۴۴	۱۳/۱۳	۰/۴۴

¹ Cross Validation

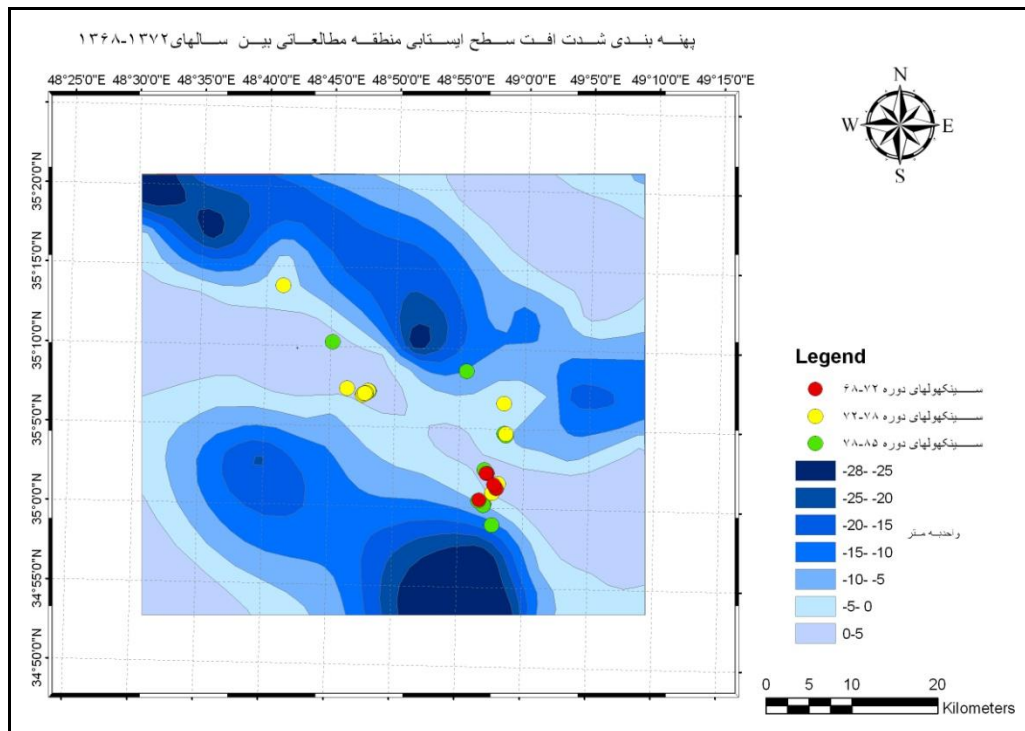
² Root Mean Square

³ General Standard Deviation

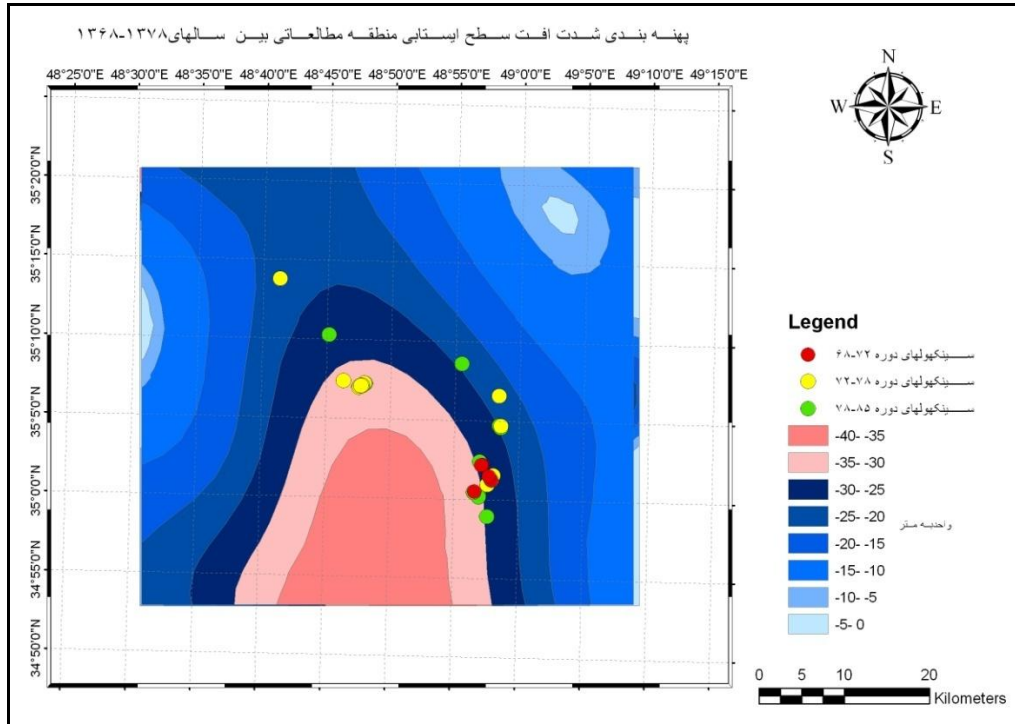
تهیه نقشه های افت سطح آب زیر زمینی

با توجه به روش میان یابی انتخاب شده، نقشه های ایزوپیز در محیط نرم افزار Arc GIS 9.2 تهیه گردید و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. افت آب زیرزمینی در طی دوره های مختلف محاسبه و در لایه های مربوطه ذخیره شده است. میزان افت سطح آب زیر زمینی در طی دوره زمانی خاص از اختلاف دو لایه ایزوپیز هم عمق تهیه شده در این زمان ها محاسبه می گردد. در این رابطه، نقشه های هم افت سطح آب زیر زمینی برای دوره ۱۳۶۸ الی ۱۳۸۵ و همچنین دوره های ۱۳۶۸ الی ۱۳۷۲ و ۱۳۷۸ تهیه گردید. لازم به ذکر است که سال های مذکور از لحاظ میزان بارش نسبت به میانگین بلند مدت و نیز نسبت به یکدیگر اختلاف معنی دار نداشتند. با توجه به نقشه های تهیه شده از توزیع فروچاله های به وقوع پیوسته در طی دوره آماری مذکور در منطقه، این نقشه ها با نقشه های هم افت آب زیر زمینی تلفیق و میزان افت در محل هر یک از فروچاله ها محاسبه گردید. با توجه به تاریخ وقوع فروچاله ها و محل وقوع آنها در گستره دشت و نیز ابعاد آنها، رابطه فروچاله ها با میزان افت ایستایی بررسی و مورد تجزیه تحلیل قرار گرفت.

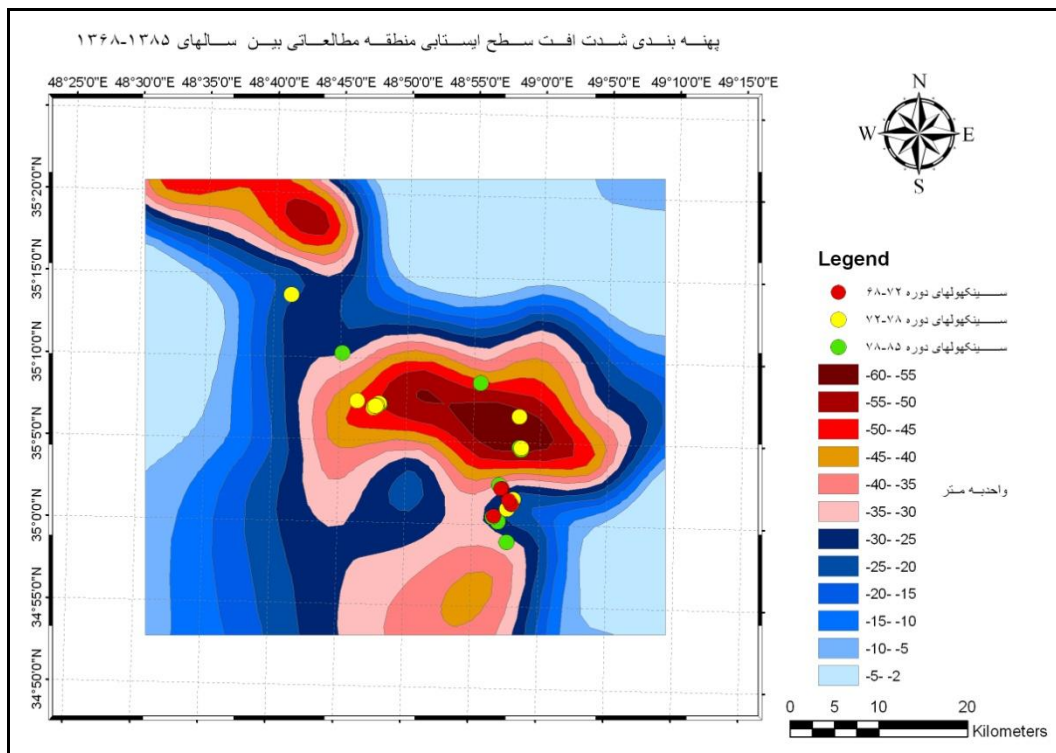
نقشه های شماره ۱ الی ۳ پهنه بندی افت آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی را در دوره های زمانی مختلف از سال ۱۳۶۸ تا سال ۱۳۸۵ نشان می دهد. مشخصات فروچاله های به وقوع پیوسته در منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است.



نقشه شماره ۱- پهنه بندی افت آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی بین سال های ۱۳۶۸ الی ۱۳۷۲ و موقعیت فروچاله های ایجاد شده



نقشه شماره ۲- پهنه بندی افت آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی بین سال های ۱۳۶۸ الی ۱۳۷۸ و موقعیت فروچاله های ایجاد شده



نقشه شماره ۳- پهنه بندی افت آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی بین سال های ۱۳۶۸ الی ۱۳۸۵ و موقعیت فروچاله های ایجاد شده



جدول شماره ۲- مشخصات فروچاله های به وقوع پیوسته در منطقه مورد مطالعه

نام دشت	روستا	UTM-E	UTM-N	عمق (متر)	تاریخ وقوع	افت آب زیرزمینی (متر)
فامنین.	بیزنجر	۳۱۲۳۷۰	۳۸۷۶۰۳۸	۲	۱۳۶۸	۰-۲۰
فامنین.	همه کسی	۳۱۳۳۴۵	۳۸۷۹۰۸۴	۴	۱۳۷۱	۰-۲۰
فامنین.	همه کسی	۳۱۳۲۵۴	۳۸۷۹۰۷۶	۳	۱۳۷۱	۰-۲۰
فامنین.	همه کسی	۳۱۳۲۱۱	۳۸۷۹۱۰۱	۸	۱۳۷۱	۰-۲۰
فامنین.	همه کسی	۳۱۴۳۷۶	۳۸۷۷۳۵۱	۲	۱۳۷۱	۰-۲۰
فامنین.	همه کسی	۳۱۴۰۸۹	۳۸۷۷۷۶۲	۱	۱۳۷۱	۰-۲۰
فامنین.	جهان آباد	۳۱۵۳۱۹	۳۸۸۳۷۰۷	۱۷	۱۳۷۳	۰-۲۰
فامنین	جهان آباد	۳۱۵۵۱۲	۳۸۸۳۴۷۲	۱/۵	۱۳۷۴	۰-۲۰
کبودرآهنگ	کردآباد	۲۹۹۵۷۳	۳۸۸۸۶۶۰	۸	۱۳۷۴	۲۰-۴۰
کبودرآهنگ	خان آباد	۲۹۵۳۴۴	۳۸۹۴۴۲۹	۳	۱۳۷۴	۰-۲۰
فامنین	همه کسی	۳۱۲۸۸۵	۳۸۷۵۵۳۲	۱/۵	۱۳۷۵	۲۰-۴۰
فامنین.	همه کسی	۲۱۲۸۴۱	۳۸۷۵۳۸۰	۳	۱۳۷۵	۲۰-۴۰
فامنین	همه کسی	۳۱۲۸۴۹	۳۸۷۵۳۸۷	۱/۵	۱۳۷۵	۲۰-۴۰
فامنین	نگار خاتون	۳۱۰۹۱۷	۳۸۹۰۹۸۱	۴	۱۳۷۶	۰-۲۰
فامنین.	بیزنجر	۳۱۳۰۲۴	۳۸۷۹۵۱۹	۳	۱۳۷۷	۰-۲۰
فامنین	بیزنجر	۳۱۲۲۶۸	۳۸۷۵۹۳۴	۶	۱۳۷۷	۲۰-۴۰
فامنین.	همه کسی	۳۱۳۸۳۲	۳۸۷۳۰۶۰	۵	۱۳۷۷	۰-۲۰
فامنین	همه کسی	۳۱۳۸۹۱	۳۸۷۶۷۸۳	۱	۱۳۷۸	۲۰-۴۰
کبودرآهنگ.	نوآباد	۲۹۶۹۹۷	۳۸۸۹۰۳۵	۱۶	۱۳۷۸	۲۰-۴۰
فامنین.	همه کسی	۳۱۴۳۷۵	۳۸۷۷۳۵۳	۱	۱۳۸۰	۲۰-۴۰
فامنین	ساری تپه	۳۲۸۱۴۷	۳۸۷۶۴۳۴	۵	۱۳۸۰	۰-۲۰
فامنین..	ساری تپه	۳۲۸۱۵۵	۳۸۷۶۴۴۳	۱/۵	۱۳۸۰	۰-۲۰
فامنین..	فامنین	۳۱۵۲۹۰	۳۸۸۷۲۰۰	۳۰	۱۳۸۱	۴۰-۶۰
کبودرآهنگ	کردآباد	۲۹۸۸۱۹	۳۸۸۸۲۴۹	۱۲	۱۳۸۲	۴۰-۶۰
فامنین.	همه کسی	۳۱۴۳۷۵	۳۸۷۷۳۵۰	۱۰	۱۳۸۳	۲۰-۴۰
کبودرآهنگ	کردآباد	۲۹۹۴۵۲	۳۸۸۸۷۳۹	۲۰	۱۳۸۳	۴۰-۶۰
فامنین.	جهان آباد	۳۱۵۴۸۲	۳۸۸۳۶۵۵	۱۸	۱۳۸۴	۴۰-۶۰
کبودرآهنگ.	کردآباد	۲۹۹۱۹۱	۳۸۸۸۴۵۹	۱۲	۱۳۸۴	۴۰-۶۰
فامنین.	همه کسی	۳۱۴۵۶۵	۳۸۷۷۸۸۰	۱۵	۱۳۸۴	۲۰-۴۰
کبودرآهنگ.	کردآباد	۲۹۹۱۹۷	۳۸۸۸۴۷۹	۱۰	۱۳۸۵	۴۰-۶۰
کبودرآهنگ	کردآباد	۲۹۸۹۲۷	۳۸۸۸۳۸۴	۱۴	۱۳۸۵	۴۰-۶۰
کبودرآهنگ	کردآباد	۲۹۹۰۴۹	۳۸۸۸۴۴۹	۹	۱۳۸۵	۴۰-۶۰

بحث و نتیجه گیری

. اولین عامل برای تشکیل فروچاله ها در منطقه ، افت سطح ایستابی است که باعث شستشوی ذرات ریز دانه به سمت درز و شکاف های سنگ بستر و همچنین افزایش انحلال پذیری کانال های انحلالی در سنگ بستر کربناته شده و در نتیجه هسته اولیه این حفرات در مرز بین آبرفت و سنگ بستر آهکی تشکیل می شود. همان طور که ملاحظه شد، بیلان آب زیرزمینی در منطقه به شدت منفی بوده و بهره برداری بیش از دبی مجاز باعث افت بیشتر سطح ایستابی



و افزایش ریسک خطر در منطقه شده است که باعث افت بسیار شدید سطح آب زیرزمینی گردیده است. از بررسی اطلاعات کسب شده ملاحظه می شود که در طی ۲۰ سال گذشته صرف نظر از عدم وقوع این پدیده در سال های ۱۳۶۹-۱۳۷۰-۱۳۷۲-۱۳۷۹، در سایر سال ها این پدیده حداقل ۱ مورد در منطقه رخ داده است. که می توان تعدد وقوع این پدیده را ناشی از افزایش افت سطح آب زیرزمینی به عنوان عامل اصلی در تسریع فرآیند ایجاد فروچاله ها در منطقه دشت های مورد مطالعه دانست. در این رابطه صرف نظر از فروچاله هایی که اطلاع دقیقی از تاریخ وقوع آنها در دسترس نمی باشد، وقوع فروچاله در محدوده روستای بیزنجرود در سال ۱۳۶۸ قدیمی ترین فروچاله در منطقه مورد مطالعه است. به طور کلی با توجه به این که عمده ساختار فروچاله ها از نوع ریزی در پوسته آبرفتی بوده است؛ این پدیده می تواند مؤید این باشد که هسته های اولیه تشکیل این گونه فروچاله ها با پایین افتادن سطح آب زیرزمینی، فرآیند تسریع در رسیدن به حد گسیختگی قشر آبرفت را به دنبال داشته است.

از مقایسه و بررسی نقشه های افت ایستایی مشخص می گردد که در ابتدای دوره مورد بررسی (سال های ۱۳۶۸ الی ۱۳۷۲) در قسمت های جنوب و شمال غرب دشت بیشترین افت آب زیرزمینی (کانون های افت) ایجاد شده است. در ادامه دوره مورد بررسی همان طور که در نقشه شماره ۲ و ۳ قابل ملاحظه است، روند افت ادامه یافته و شدیدتر شده است و کانون های افت به سمت مرکز دشت کشیده شده است. چنانکه در طی دوره ۱۷ ساله مورد بررسی (۱۳۸۵-۱۳۶۸). در نواحی مرکزی دشت شاهد ۵۰ تا ۶۰ متر افت سطح آب زیرزمینی می باشیم. طبق بررسی های انجام شده احداث واحدهای صنعتی از جمله نیروگاه برق شهید مفتاح (عرض جغرافیایی $35^{\circ} 5'$ و طول $48^{\circ} 5'$) و شهرک صنعتی ویان (عرض جغرافیایی $35^{\circ} 4'$ و طول 48°) و حفر چاه های عمیق برداشت آب و نیز تعدد چاه های بهره برداری کشاورزی در قسمت های مرکزی منطقه مورد مطالعه، از مهمترین عوامل افت در این قسمت است.

در طی دوره مورد بررسی در مناطقی از دشت که افت آب کمتر از ۲۰ متر است، بیش از ۹۰ درصد فروچاله های رخ داده عمقی کمتر از ۸ متر و ۱۰ درصد فروچاله ها عمقی بیش تر از ۸ متر دارند. در مناطقی از دشت که افت آب شدیدتر است (۲۰ تا ۴۰ متر)، فراوانی وقوع فروچاله هایی با عمق بیش از ۸ متر نسبت به افت های کمتر از ۲۰ متر، ۳ برابر شده و میانگین عمق فروچاله ها ۵/۱ متر است. در قسمت هایی از دشت که بیشترین میزان افت ایجاد شده است (۴۰ تا ۶۰ متر)؛ کلیه فروچاله ها عمقی بیشتر از ۸ متر دارند و میانگین عمق آن ها ۳۱/۳ متر است که نسبت به مناطقی با افت ۲۰ تا ۴۰ متر، متوسط عمق ۶ برابر افزایش یافته است. . . . در کل هر چه شدت افت آب زیرزمینی بیشتر گردد، فروچاله هایی با عمق بیشتر به وقوع می پیوندند. همچنین پتانسیل وقوع فروچاله ها در نواحی که افت بیشتری در طی زمان مورد بررسی دارند بیشتر از سایر نواحی است

منابع مورد استفاده

1-Wilson, W. L., and Beck, B. F. 1988, Evaluating Sinkhole Hazard in Mantled karst Terrain, Geotechnical Aspects of karst Terrain Exploration, Foundations Design and Performance and Remedied Measures, ASCE national Convention Nashville Tennessee p-3

2-White, W.B. and White, E. 1995. Thresholds for soil transport and the long stability of sinkholes.

۳- پرویزی، فریدون. ۱۳۸۴. شناخت پدیده فروچاله ها و فرونشست زمین در اراضی دشت های کبودر آهنگ و فامنین همدان. کنفرانس بررسی خطرات فروچاله ها در مناطق کارستی ۷ دی ۱۳۸۴، مجموعه مقالات و سخنرانی های ارائه شده، کرمانشاه: شرکت سهامی آب منطقه ای غرب، دفتر مطالعات و تحقیقات کارست غرب کشور

4-Waltham, A.C 1989, Ground Subsidence, Blackie, London.

5-Waltham, T. Bell, F and Culshaw, M. 2005 Sinkholes and Subsidence karst and Cavernous Rocks in Engineering and Construction

۶- طالب بیدختی، علیرضا. ۱۳۸۳. بررسی مکانیسم تشکیل فروچاله های حاشیه نیروگاه همدان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا

۷- معروفی، صفر. ۱۳۸۸. ارزیابی روش های زمین آمار جهت تخمین هدایت الکتریکی و PH زه آب های آبراه های دشت همدان - بهار، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره ۲

8-Habbar, D.A. 2003, Site characterization of sinkholes based on resolution of mapping, proceeding of the Ninth multidisciplinary conference on sinkholes and the engineering and environmental impact of karst, p61-