





شناسایی زونهای تراوا در محدوده معدن مس درهزار سیرجان با استفاده از تحلیل سری زمانی بارش و سطح آب زیرزمینی

سپیده مالی^۱®، هادی جعفری^۲، رضا جهانشاهی^۳

۱- دانشجوی دکتری آب شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود
۲- دانشیار گروه آب شناسی و زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه صنعتی شاهرود
۳- استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان
* نویسنده مسئول: sepidehmali@shahroodut.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۲۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱/۲۹ /۱۳۹۹

چکیدہ

منطقه معدنی مس درهزار در فاصلهی ۵۰ کیلومتری شمالغرب شهر سیرجان در استان کرمان قرار دارد. در این تحقیق تحلیل سری زمانی بارش و سطح ایستایی در چاههای مشاهدهای انجام شده است. به دلیل عدم پمپاژ آب زیرزمینی در محدوده معدن، تغییرات سطح ایستابی تنها تحت تاثیر نو سانات بارش و رودخانه دایمی منطقه است. در سریهای زمانی سطح ایستابی محدودهی معدن طی دوره زمانی ۹۲-۱۳۹۴ روندهای خطی نزولی یا کاهشی دیده می شوند. همچنین مؤلفهی فصلی با دوره تناوب ۱۲ ماهه در سریهای زمانی ماهانه بارش و سطح ایستابی مشاهده می شود که ناشی از تغییرات سالیانه شرایط اقلیمی است. تأخیر زمانی بین اثر بارش بر سطح ایستابی عمدتاً بین ۱ تا ۲ ماه متغیر می با شد و این تأخیر زمانی در محدوده ی جنوب شرقی پیت تا یک سال افزایش یافته است و احتمالاً زونی با تراوایی بسیار کم در این قسمت وجود دارد. تاخیر زمانی پا سخ سطح ایستابی در چاههای مشاهدهای نسبت به تغییرات مکانی بار هیدرولیکی چاههای مشاهدهای مجاور در مقابل طول فا صله مکانی مستقیم بین چاهها نشان میدهد همبستگی قوی بین آنها وجود ندارد. در واقع پاسخ ضربهی سطح ایستابی به تغییرات بار هیدرولیکی در آبخوان سنگی منطقه، چندان وابسته به طول فاصله مکانی بین چاههای مشاهدهای نیست و احتمالا ارتباط هیدرولیکی در منطقه از طریق زونهای با تراوایی بالا انجام میشود. همچنین تعداد تأخیرهای زمانی کمتر از ۱ ماه در هر چاه مشاهدهای، در مقابل متوسط تأخیر زمانی آن، نشان میدهد در شمال و جنوب پیت، کمترین تأخیر زمانی در پاسخ به تغییرات سطح ایستایی و بیشترین تعداد تأخیر زمانی کمتر از ۳۰ روز مشاهده می شود. بنابراین زونهای با تراوایی بالا احتمالا در قسمت شمال و جنوب پیت قرار دارند و مکانهای مناسب جهت حفر چاه های زهکشی معدن تشخیص داده شد. در نهایت بر مبنای مدل سه بعدی لیتولوژی، زون تراوای حاصل از هوازدگی در ارتفاع ۲۵۰۰ تا ۲۶۰۰ متر بالاتر از سطح دریا، منطبق با ارتفاع سطوح تراوش، در منطقه گسترش یافته است.

واژههای کلیدی: آب زیرزمینی، آنالیز سری زمانی، تأخیر زمانی، سطح ایستابی.

۱–مقدمه

هزینههای حفاری و انفجار، کاهش راندمان تولید ماده معدنی، کندشدن عملیات حمل و بارگیری مادهی معدنی، ایجاد خوردگی در قسمتهای فلزی ماشینآلات معدنی و آلودگیهای زیستمحیطی اشاره کرد. همچنین وجود آب در معادن علاوه بر مزاحمتی که در عملیات استخراج ایجاد میکند؛ یکی از

یکی از مسائل مهم در عملیات استخراج معادن به خصوص در بهره برداری از مواد معدنی در زیرسطح ایستابی، ورود آب زیرزمینی به محدودهی معدنکاری است. از مهمترین مشکلاتی که در اثر وجود آب در معادن ایجاد می شود؛ می توان به افزایش

پارامترهای مهم در ناپایداری دیوارهها میباشد. شناخت کافی از منشأ و رژیم آبهای زیرزمینی در اطراف معدن و ویژگیهای هیدرولیکی لایههای زمینشناسی، در کنترل آبهای زیرزمینی ورودی مؤثر است. بنابراین در راستای طراحی سیستم زهکشی یک معدن شناسایی مناطق تراوا و ناتراوا اهمیت بسزایی دارد. به منظور کنترل جریان آب ورودی به پیت معدن و جانمایی چاههای پمپاژ جهت زهکشی معدن لازم است تا مناطق تراوا را شناسایی نمود. بدین منظور از روشهای مختلفی در شناسایی زونهای تراوا استفاده میشود. مهمترین روشهای مرسوم انجام آزمونهای پمپاژ و نفوذپذیری لوژان میباشد. هرچند این آزمونها، دقیقترین راه برای تعیین تراوایی توده سنگ است، اما چون هزینهبر هستند، در مطالعات مقدماتی میتوان از روشهای كم هزينه استفاده نمود و مناطق با پتانسيل تراوايي بيشتر را شناسایی کرد و سپس در محلهای شناسایی شده آزمونهای نفوذپذیری و پمپاژ انجام داد تا ضمن بهینهسازی تعداد چاهها، هزينههاى مربوطه كاهش يابد. بررسى پيشينه تحقيق نشان میدهد مطالعات زیادی در ایران و جهان در راستای شناسایی زونهای تراوا با استفاده از روشهای مدلسازی (یانگ و هوانگ، ۲۰۰۷؛ زو و همکاران، ۲۰۰۸؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ دینگ و همکاران، ۲۰۱۵) تحلیل سری زمانی (ژانگ و لوپز، ۲۰۱۹؛ سااهو و همکاران، ۲۰۰۹)، آزمون پمپاژ (عصاری و محمدی، ۲۰۱۷)، زمین آمار (عصاری و محمدی، ۲۰۱۷؛ عصاری و محمدی، ۱۳۹۲؛ نخعی و همکاران، ۱۳۹۷)، ژئوفیزیک (تروایانف و همکاران، ۲۰۱۲) و هیدروشیمی (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۳؛ صحرایی و سامانی، ۲۰۱۴؛ جهانشاهی و زارع، ۲۰۱۷؛ احمدی و همکاران، ۲۰۱۸؛ سان و همکاران، ۲۰۱۴؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ سیاوش حقیقی و همکاران، ۱۳۸۵؛ ناصری و همکاران، ۱۳۹۳) انجام شده است.

منطقه معدنی مس درهزار در فاصلهی تقریبی ۵۰ کیلومتری شمال غرب شهر سیرجان و ۱۰ کیلومتری جنوب معدن مس سرچشمه (شکل ۱) در استان کرمان واقع شده است. این معدن در حال حاضر در مراحل اولیه باطلهبرداری است و به زودی وارد فاز بهرهبرداری از منابع معدنی خواهد شد. بنابراین به سبب

فعالیتهای معدنکاری، هجوم آبهای زیرزمینی به محدوده استخراج ماده معدنی (پیت معدن) محتمل خواهد بود. از این رو شناسایی مناطق تراوا و مسیر حرکت آبهای زیرزمینی در این محدوده نقش مهمی در راستای تعیین محلهای مناسب حفر چاه های پمپاژ و انجام عملیات زهکشی خواهد داشت. بنابراین هدف از انجام تحقیق حاضر شناسایی حدود مکانی و ارتفاعیی مناطق با نفوذپذیری بالا (زونهای تراوا) با کمک تحلیل سری زمانی بارش و سطح ایستابی میباشد.

۲-مواد و روشها منطقهی مورد مطالعه

در منطقه معدنی درهزار سیرجان واحدهای سنگی از ائوسن تا کواترنری وجود داشته و فعالیت های رسوبی و ماگماتیسم در طول این فاصله زمانی در منطقه دیده میشود. واحدهای سنگی آتشفشانی –رسوبی (پیروکسن تراکی آندزیت، تراکی بازالت، بازالت، توف و آذر آواریها) به سن ائوسن به عنوان سنگ میزبان مس پورفیری درهزار، در منطقه بیشترین گسترش را دارند (شکل ۱). سنگهای نفوذی در ناحیه بیشتر به صورت تودههای نیمهعمیق بوده که با دایکهای متعددی به سن الیگومیوسن قطع شده است. ترکیب سنگ شناختی این دایکها بیشتر از نوع دیوریت پورفیری و دیابازی است و کانیهای سولفیدی مس به ندرت در آنها دیده میشود.

منطقه درهزار دارای تابستانهای گرم و خشک و زمستانهای سرد و خشک است. نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به این منطقه، ایستگاه مس سرچشمه است که بارش سالیانه این منطقه را حدود ۲۷۰ میلیمتر، روزهای یخبندان را ۷۵ روز، حداقل حرارت ۱۵ درجه زیر صفر در آذر و دی ماه، حداکثر حرارت حدود ۳۵ درجه در تیرماه و اختلاف دمای سردترین ماه سال با گرمترین ماه حدود ۵۰ درجه سانتیگراد گزارش کرده است. میزان رطوبت نسبی در حدود ۳۴ درصد گزارش شده است. آب سطحی منطقه شامل یک رودخانه دایمی است که از وسط توده اصلی درهزار میگذرد و توده اصلی درهزار را به دو قسمت شرقی و غربی تقسیم کرده است. علاوه بر وجود چشمه های دائمی در فصول پر آب (اواخر زمستان و بهار) چشمههای فصلی نیز در این ناحیه سطح ایستابی به صورت ماهانه طی دوره زمانی ۹۷–۱۳۹۴ برداشت شده و دادههای روزانهی بارندگی طی دوره زمانی ۹۶– ۱۳۹۰ ثبت شده است. پدیدار میشوند که آب بیشتر آنها به این رودخانه میریزد (جهانشاهی و مالی، ۱۳۹۷). در محدودهی معدن ۲۰ حلقه چاه مشاهدهای و ژئوتکنیکی حفر شده است (شکل ۲). عمق چاه ها بین ۲۵ تا ۲۴۰ متر متغیر است و کل لوله جدار مشبک میباشد.



شکل ۱– موقعیت معدن درهزار سیرجان در نقشه زمین شناسی منطقه (برگرفته و ویرایش شده بر اساس نقشه ۱/۱۰۰۰۰ شیت پاریز (دیمیتریویچ و همکاران، ۱۹۵۶))

مبانی تحقیق و روش کار

هر سری زمانی شامل دو مؤلفه عمده، مؤلفههای تعیینی و مؤلفه تصادفی است (چتفیلد، ۱۹۸۲). مؤلفههای تعیینی شامل مؤلفه روند و مؤلفه تناوبی هستند. مؤلفه روند معمولاً با ترسیم نمودار سری زمانی، همچنین نمودار همبستگینگار آن، قابل تشخیص است. برای تعیین مؤلفه روند بهصورت کمی می توان از برازش توابع خطی و یا غیرخطی به سری زمانی استفاده نمود (صفوی، ۱۳۸۸). مؤلفهی تناوبی ظاهراً یک ماهیت مشابه روند دارد؛ اما در فواصل زمانی متناوب تکرار می شود. رفتار تناوبی را می توان با استفاده از ترسیم نمودار همبستگینگار و یا

سریهای زمانی بر اساس تابع خودهمبستگی توصیف میشوند و برای بررسی ارتباط بین دو سری نیز از تابع همبستگی متقابل یا تأخیری و رگرسیون استفاده میشود (لی، ۲۰۰۰). همبستگی تأخیری درواقع همبستگی بین دو سری زمانی است که در طول محور زمان نسبت به یکدیگر جابجا شدهاند. توابعی که برای بررسی ارتباط تأخیری به کار برده میشوند؛ تابع همبستگی متقابل³¹ و تابع پاسخ ضربه^{۶۲} میباشند (لی، ۲۰۰۰). تحلیل در قلمروی فرکانس (تحلیل طیفی یا هارمونیک) روشی است که نوسانات سری زمانی را برحسب رفتار سینوسی در فرکانسهای مختلف بیان میکند و در ارتباط با شناسایی الگوهای دورهای

است مؤلفههای روند و تناوب حذف شوند. در قلمروی زمان

⁶² Impulse response functions (IRF)

⁶¹ Cross correlation function (CCF)

[1]

دادهها است. در تحلیل به روش قلمروی فرکانس از تبدیل فوریه استفاده میشود.

با توجه به هدف پژوهش در مورد شناسایی زونهای تراوا در معدن درهزار از تحلیل سری زمانی بارش و سطح ایستابی استفاده شده است. در این تحقیق تحلیل سری زمانی بارش و سطح ایستابی (بار هیدرولیکی) با هدف تعیین ارتباط معنادار بین سطح ایستابی در پیزومترها و بارش انجام شده است؛ بهمنظور آمادهسازی دادههای سطح ایستابی و بارش در محاسبات سریهای زمانی دومتغیره در قلمرو فرکانس، مؤلفههای روند شناسایی و حذف شدند. برای تعیین مؤلفه روند در تغییرات زمانی بارش و سطح ایستابی چاههای مشاهدهای و ژئوتکنیک، نمودار هر یک از سریهای زمانی در نرمافزار اکسل ترسیم و نوع روند آنها تعیین شده است. به منظور شناسایی تأخیر زمانی بین بارش و سطح ایستابی چاههای مشاهدهای در قلمروی فرکانس، مؤلفههای فرکانسی موجود در سری زمانی، محاسبه گردید و ارتباط زمانی بین هر یک از زوج سریهای زمانی ابتدا تابع فاز محاسبه شده و سپس زمان تأخیر در هر فرکانس بهدست آمده است. در نمودار فرکانس-کوهرنسی از محور افقی مقادیر فرکانس (F) با حداکثر کوهرنسی (محور عمودی) شناسایی شد و سپس از نمودار فركانس-اسپكتروم، مقادير فاز (P) معادل فركانس مربوطه از محور اسیکتروم استخراج می گردد. با جایگذاری اعداد فاز (P) و فرکانس (F) در رابطه (۱) تأخیر زمانی بین بارش و سطوح ایستابی محاسبه شده است.

Lag time = $P/(2\pi F)$

همچنین جهت بررسی اولیه در مکانیابی زونهای تراوا در لایه های سنگی، مدل سه بعدی زون تراوا در محدودهی معدنی بر مبنای روش زمین آمار با استفاده از نرم افزار راکورک^{۶۳} ترسیم شده است.

۳- نتايج و بحث

جهت جریان آب زیرزمینی

بر مبنای ارتفاع سطح ایستابی در چاههای مشاهدهای و ژئوتکنیک، نقشه هم پتانسیل و جهت جریان آب زیرزمینی در محدوده معدن دره زار ترسیم شده است (شکل ۲).

جهت جریان عمومی آبزیرزمینی تقریباً از سمت شمال غربی جهت جریان عمومی آبزیرزمینی تقریباً از سمت شمال غربی آبهای سطحی (رودخانه) منطقه می باشد. در محدوده پیت معدن خطوط هم پتانسیل از روند منظم خارج شده اند و تقریباً یک مخروط افت ناقص تشکیل شده است. بنابراین جهت جریان آب زیرزمینی مولفه هایی به سمت شرق و غرب نیز پیدا کرده است. این تغییر در مسیر حرکت آب زیرزمینی حاصل خاک و باطله برداری و ایجاد پیت است. این موضوع نشان می دهد در آینده علاوه بر مشکلات حاصل از ورود آب سطحی رودخانه به پیت معدن، نفوذ آب زیرزمینی به کف معدن با استخراج توده معدنی، مشکلات ناپایداری دیوارههای پیت، آبگرفتگی پیت معدن را ایجاد خواهد کرد.

63 Rockwork

هیدروژئولوژی، سال پنجم، شماره۲، زمستان ۱۳۹۹ Hydrogeology, Volume 5, No. 2, Winter 2021





تحليل سرى زمانى

تغییرات بارش در دوره زمانی ۹۶–۱۳۹۰ (شکل ۳ الف) نشان می دهد متوسط ماهانه بارش در این فاصله برابر با حدود ۲۷ میلیمتر و حداکثر بارش ماهانهی ثبت شده به میزان حدود ۳۶۲ میلیمتر در دی ماه ۱۳۹۵ رخ داده است. تغییرات فصلی بصورت سینوسی در بارش مشاهده می شود و عمدهی بارش ها از مهر تا فروردین رخ داده است. نمودار سری زمانی بارش در طی این دوره نشان داده است روند خطی افزایشی یا کاهشی در تغییرات زمانی مقدار بارش وجود ندارد.

به دلیل عدم پمپاژ آب زیرزمینی در در محدوده معدن تغییرات سطح ایستابی در این ناحیه تنها تحت تاثیر نوسانات بارش و دبی رودخانه است. بررسی نوسانات زمانی سطح ایستابی در چاههای

مشاهدهای (شکل ۳ب، ج و د) نشان می دهد که سطح ایستابی در چاه مشاهدهای DW1 در مقایسه با دیگر چاههای مشاهده ای بیشترین نوسانات را دارا است. بنابراین در این تحقیق محاسبات و نمودارهای مربوط به این محل به عنوان نماینده ای از تغییرات سطح ایستابی از منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. در سریهای زمانی سطح ایستابی محدودهی معدن طی دوره زمانی سریهای زمانی سطح ایستابی محدودهی معدن طی دوره زمانی دیده می شوند. به عنوان مثال در چاه DW1 (شکل ۴ الف) یک روند خطی نزولی وجود دارد. جهت انجام آنالیزهای سری زمانی باید روند موجود در دادههای زمانی حذف شوند؛ بنابراین روندهای موجود در تغییرات زمانی سطح ایستابی چاههای مشاهدهای حذف شدهاند (شکل ۴ ب).



شکل ۳- سری زمانی بارش در ایستگاه سرچشمه طی دوره ۹۶-۱۳۹۰ (الف) و تغییرات زمانی سطح ایستابی در چاه های مشاهده ای (ب، ج و د) در منطقه مورد مطالعه

اقلیمی است (چاو، ۱۹۸۷). در شکل ۶ نحوهی محاسبات تأخیر زمانی بین بارش و سطح ایستابی چاههای مشاهدهای و ارتباط زمانی بین هر یک از زوج سریهای زمانی نشان داده شده است. مطابق شکل ۶الف در نمودار فرکانس-کوهرنسی از محور افقی مقادیر فرکانس (F) با حداکثر کوهرنسی (محور عمودی) مشخص شده است و با استفاده از شکل ۶ب (نمودار فرکانس-اسپکتروم)، مقادیر فاز (P) معادل فرکانس مربوطه از محور اسپکتروم استخراج برآورد شده است. در جدول ۱ تأخیر زمانی بین بارش و سطوح ایستابی با جایگذاری اعداد فاز و فرکانس در رابطه (۱)، دیده می شود.

در ادامه، محاسبات سریهای زمانی در قلمروی زمان و فرکانس به ترتیب در نمودارهای همبستگینگار، و فاز و همدوسی^{۶۴} انجام گردید. پس از حذف روند سری زمانی، نمودار همبستگینگار (محور افقی تأخیر زمانی و محور عمودی تابع همبستگینگار⁶⁴) هر یک از سریهای زمانی ماهانه بارش و سطح ایستابی ، نشان از وجود مؤلفهی فصلی با دوره تناوب ۱۲ ماهه در دادهها است (شکل ۵). تغییراتی را که با دوره تناوبی کمتر از یک سال پیش میآیند؛ تغییرات فصلی می گویند. در اکثر دادههای هیدرولوژیکی نظیر بارش، تبخیر و تعرق، یک مؤلفهی تناوبی سالیانه، مشاهده می شود که ناشی از تغییرات سالیانه شرایط

⁶⁵ Autocorrelation Function

⁶⁴ Coherence



شکل ۴- وجود مؤلفه روند در سریهای زمانی ماهانه سطح ایستابی (الف) و سری زمانی بیروند شده سطح ایستابی (ب) در چاه مشاهدهای DW1





شکل ۶- نمودار کوهرنسی (الف) و تابع فاز (ب) بین دادههای ماهانه بارش با سطح ایستابی در چاه مشاهدهای DW1

همچنین اثر تغییرات زمانی بار هیدرولیکی در هر چاه مشاهدهای بر چاههای مشاهده ای دیگر مورد بررسی قرار گرفته است. تأخیر زمانی بین تغییرات سطح ایستابی در چاههای مشاهدهای معدن با یکدیگر بر حسب روز، با استفاده از تحلیلهای طیفی متقابل سریهای زمانی محاسبه و در جدول ۲ ارائه شده است. این تأخیر زمانی بین ۲/۰ تا ۴۴۴ روز متغیر است. وجود تعداد زیاد تأخیر زمانی بسیار کوتاه بین تغییرات سطح ایستابی در مناطق مختلف زمانی بسیار کوتاه بین تغییرات سطح ایستابی در مناطق مختلف هدایت هیدرولیکی نسبتاً بالا در آبخوان سنگی این ناحیه است. به منظور شناسایی ارتباط بین زمان تاخیر تغییرات بار هیدرولیکی بین چاه های مشاهدهای و فاصله مکانی آنها، تاخیر زمانی هر چاه مشاهدهای با چاههای دیگر در مقابل فاصله مستقیم مکانی بین چاهها ترسیم گردید (شکل ۸). بطور کلی

بر اساس جدول ۱ نتایج تأخیر زمانی بین سری زمانی ماهانه سطح آب زیرزمینی و بارش، و نقشه پراکندگی تاخیر زمانی (شکل ۷)، دیده میشود که تاخیر زمانی به سمت جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه افزایش مییابد. بطور کلی تاخیر زمانی بین اثر بارش بر بالا آمدن سطح ایستابی عمدتاً ۱ تا ۲ ماه در منطقه مورد مطالعه متغیر است. در حالیکه این تاخیر زمانی در چاههای مشاهدهای 2011 و 2014 (شکل ۷) بیش از یک سال بدست آمده است که در سمت شرق و جنوب شرقی پیت معدن قرار دارند. به نظر میآید در محل این دو چاه نفوذپذیری سنگهای آذرین (آندزیت و دیوریت) در برگیرنده بسیار پایین است و نرخ نفوذ آب تغذیه کننده و سرعت آب زیرزمینی به شدت کاهش یافته است و سبب افزایش تأخیری زمانی بین بارش و سطح ایستابی شده است.

انتظار میرود با افزایش فاصله مکانی بین چاهها، تاخیر زمانی پاسخ ضربهی بار هیدرولیکی افزایش یابد. در حالیکه در منطقه مورد مطالعه همبستگی قوی بین تأخیر زمانی تغییرات سطح ایستابی پیزومترها در مقابل فاصله مستقیم آنها وجود ندارد (شکل ۸) و لذا این تأخیر زمانی چندان وابسته به میزان فاصله مکانی مستقیم بین چاههای مشاهدهای نمیباشد. به هر حال به دلیل پیچیدگی وضعیت زمینشناسی محدوده معدن و وجود تیپ سنگهای متعدد که طی فازهای مختلف ماگمایی در منطقه تریق گردیدهاند؛ به همراه دگرسانیهای متفاوت و ساختارهای زمینشناسی که گاهی عملکردی متناقض دارند، وضعیت زاهمگنی و ناهمسویی سبب شده است؛ گاهی تغییرات زمانی سطح ایستابی در پیزومترهای نزدیک به هم رفتارهای مشابه نداشته باشد.

این نتایج نشان میدهد که پاسخ ضربه سطح ایستابی در آبخوان سنگی منطقه مورد مطالعه برخلاف آبخوانهای آبرفتی، چندان وابسته به فاصله نیست و ارتباط هیدرولیکی در منطقه از طریق زونهای با تراوایی بالا انجام میشود. لذا جهت شناسایی مناطق

با نفوذپذیری بالا، متوسط تأخیرهای زمانی پاسخ ضربهی سطح ایستابی در هر چاه محاسبه شد. سپس تعداد تأخیرهای زمانی، در کمتر از ۱ ماه در هر محل، در مقابل متوسط تأخیر زمانی، در یک نمودار (شکل ۹) ترسیم گردید. نمودار نشان میدهد در محل چاههای DW14، DW14 و GDZ13 بیشترین تأخیر زمانی و کمترین تعداد تأخیری کمتر از ۳۰ روز دیده میشود. بنابراین در جنوب غربی و شرق پیت معدن کمترین نفوذپذیری وجود دارد؛ در حالی که در محل چاه GDZ17 کمترین تأخیر زمانی دارد؛ در حالی که در محل چاه GDZ17 کمترین تأخیر زمانی مشاهده میشود.

بر این اساس یک نقشه پراکندگی میزان نفوذپذیری بر مبنای تعداد تأخیرهای زمانی کمتر از ۳۰ روز بین سطوح ایستابی ترسیم شده است (شکل ۱۰).

بنابراین در محدوده یمعدن، زون های با تراوایی بالا احتمالاً در محدوده ی چاه های GDZ17، GDZ7، GDZ15 و GDZ12 قرار دارند. لذا از این منظر در محل شمال و جنوب پیت، مکان های مناسب جهت پیشنهاد حفر چاه های زهکشی معدن تشخیص داده می شود.

تأخیر زمانی (ماہ)	فاز	فركانس	چاه مشاهده ای
1/1	۲/۲۵	• /٣٣	DW1
1/4	۲/۷۳	• /٣•	DW2
1/1	۲/۷۵	•/۴•	DW3
١/٢	۲/۴۸	• /٣٣	DW4
١/۴	۱/Y٩	•/٢•	DW5
١/.	۲/۹٠	٠/۴٧	DW6
۲/۶	۲/۷۰	•/\Y	DW10
۱۳/V	۲/۸۴	• / • ٣	DW11
۲/۰	۲/۸۷	• / ۳	DW13
۱۴/۹	۳/۰۸	• / • ٣	DW14

جدول ۱- نتایج تحلیلهای طیفی دومتغیره سریهای زمانی ماهانه سطح آب زیرزمینی با بارش در قلمروی فرکانس

هیدروژئولوژی، سال پنجم، شماره۲، زمستان ۱۳۹۹ Hydrogeology, Volume 5, No. 2, Winter 2021



شکل ۷- نقشه توزیع تاخیر زمانی بین بارش و سطح ایستابی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۸- رابطه تأخیر زمانی بین سطح ایستابی چاههای مشاهدهای و فاصله مکانی مستقیم بین آنها

Hydrogeology, Volume 5, No. 2, Winter 2021

				•	2.			0	ж. С.	C	2	00	11.		•		
	DW 1	DW2	DW 3	DW 4	DW 5	DW 6	DW1 0	DW1 1	DW1 3	DW1 4	GDZ 7	GDZ1 1	GDZ1 2	GDZ1 3	GDZ1 4	GDZ1 5	GDZ1 6
DW2	1⁄4																
DW3	۵/۳	۵/۹															
DW4	•/۵	۲/۶	٠/٢														
DW5	4/8	۵/٣	1/8	۱/۲													
DW6	•/٨	۵۹/۰	۱/۷	۱۰/۱	٠/٣												
DW10	٣/۵	۱۲/۰	۶۵/۸	۵/۹	۴/۸	۴/۵											
DW11	۶۲/۹	۱۵/۵	۵/۱	۶/۷	۶۷/۷	۶/۷	۱۵/۵										
DW13	۱/٣	۳۷/۵	٣/۵	۱/۹	4/8	٠/٢	۹٠/۴	۵۹/۱									
DW14	٧/٩	44/8	١/٣	۸/۴	۱۸/۶	Λ/Δ	۴۱/۳	۵۱/۲	۱۸/۸								
GDZ7	۱/۴	۵۵/۱	۱۰/۲	۲۱/۰	۱/۳	۱/۲	24/.	24/1	۲/۴	۴٧/٨							
GDZ11	۱/٣	۴۸/۷	14/1	٣/٣	۲/۷	۲/۱	36/8	۶٩/٢	۲۱/۵	۳۵/۴	۶/۳						
GDZ12	۶/۷	1/1	۸/۱	۴/۱	۰/۳	٠/٣	۴۳/۰	۴٩/٧	۱۰/۱	۷۱/۹	۰/۵	۳۳/۳					
GDZ13	۶٩/٣	۲۷/۲	٣/٢	١/٩	١/٢	١/٢	۳/۳	۱/۵	٩٨/۴	۱۰/۴	۲۷/۴	٨٨/٩	۹۵/۱				
GDZ14	۱/۵	۹۵/۵	٩/٩	١/٧	۱/۵	۱/۹	۵۱/۹	11/+	۱۳/۵	۳۱/۶	۲/۴	۲۵/۴	۳۳/۷	۴۵/۸			
			٢		٣												
GDZ15	۹/۱	۵۲/۷	۰/۵	۳/۴	۲/۸	۲/۹	۲/۳	34/6	14/3	۵۵/۹	۱۹/۱	18/8	٨/١	<i>९९/۶</i>	۳۶/۸		
GDZ16	۶۳/۳	٨٩/۶	۵/۷ ۹	۷/۳	۳/۷ ۷	Y/A	۵/۸	۲/۷	۳۶/۰	۱۰/۵	۴۷/۴	۴۶/۹	26/2	13/4	۵/۷	۵۱/۷	
GDZ17	٧/٩	۲/۸	۰/۵	٠/١	•/1	•/۴	۲/۹	۳۴/۹	۱/۲	۵۷/۱	•/۴	٨/١	T1/Y	۹١/۴	۲۰/۷	۱/۸	۱۸/۱





شکل ۹- متوسط تأخیر زمانی پاسخ ضربهی سطح ایستابی به تغییرات بار هیدرولیکی در هر چاه در مقابل تعداد تأخیر زمانی کمتر از ۳۰ روز



شکل ۱۰- نقشه پراکندگی میزان نفوذپذیری بر مبنای تعداد تأخیرهای زمانی کمتر از ۳۰ روز بین سطوح ایستابی

مدل سه بعدی زون تراوا

مطالعات تحلیل سری زمانی نشان داد در این منطقه احتمالاً ارتباط هیدرولیکی آبخوان عمدتاً از طریق زون های تراوا است و لذا شناسایی عمق و محلهای این زون اهمیت زیادی دارد. در منطقه مورد مطالعه تنها داده های لاگ حفاری موجود است و بنابراین میتوان عمق احتمالی زون تراوا را با استفاده از تهیه یک مدل گرافیکی سه بعدی تعیین نمود. لذا به منظور شناسایی عمق زون تراوا در منطقه مورد مطالعه، بر اساس اطلاعات لاگ حفاری چاههای مشاهدهای، مدلهای سه بعدی و فنس دیاگرام نوع سنگ و زون هوازده ترسیم شده است (شکل ۱۱).

بر اساس این مدل مشاهده می شود در ارتفاع ۲۵۰۰ تا ۲۶۰۰ متر از سطح دریا یک زون هوازده در منطقه گسترش یافته است. این زون نقش اصلی در انتقال و حرکت آب زیرزمینی دارد. به منظور صحت سنجی مدل سه بعدی زون تراوا، مشخصات جغرافیایی مکانی و ارتفاعی سطوح تراوش در محدوده پیت معدن برداشت گردید. این مشخصات سطوح تراوش در معدن (جدول ۳ و شکل ۱۲) نشان می دهد که سطوح نشت هم دقیقاً در بازه ارتفاعی ۲۵۰۰ تا ۲۶۰۰ متر از سطح دریا شکل گرفته اند و وجود این لایه هوازده و تراوا را در این ارتفاع تأیید می کند.



شکل ۱۱- مدل سه بعدی و فنس دیاگرام از لیتولوژی لاگهای حفاری چاهها

Х	Y	Z	Х	Y	Z (m)			
898610	32.9490	2082/9	894.81	34.2011	2028			
898888	۳۳۰۶۵۸۰	2052/24	894181	88.2021	2012/04			
39361	88.6926	2082/82	۳۰۴۳۰۷	88.8820	TOIT/VV			
898970	88.69018	2082/18	*9***	88.881.	۲۵۱۲/۸۰			
۳۹۳ ۸۹۱	۳۳۰۶۵۵۹	2029/98	8.4214	22.202	2012/12			
*9*95*	۳۳۰۶۵۹۰	7077	894184	88.848.	2012/81			
۳94۷	88.8894	2022	394130	22.2021	2012/90			
۳۹۳۹۹۰	***•	2021/62	894757	22.244	20.4			
396.15	***	2027/68	394700	***	20.2			
۳۹۴۰۸۰	***•	TDTD/T9	394772	88.86.1	20.2			
808081	***•\$***	2028	394013	88.8.91	۲۵۰۰/۹۱			
396.00	***	2026/98	34.76	****	۲۵۳۶			
	,	۲۵۰۰/۹۱	حداقل ارتفاع (متر)					
		2083/82		حداکثر ارتفاع (متر)				
	٢	۵۲۸/۱۹۳	متوسط ارتفاع (متر)					

جدول ۳- موقعیت های سطوح تراوش در محدوده معدن مس درهزار



شکل ۱۲– موقعیت سطوح نشت در محدوده پیت معدن که در بازه ارتفاعی بین ۲۵۰۰ تا ۲۶۰۰ متری از سطح دریا قرار گرفته اند.

۴- نتیجهگیری

در این پژوهش به منظور شناسایی مکانهای مناسب جهت حفر چاههای پمپاژ زهکشی در معدن درهزار، به شرایط زمینشناسی و هیدرولیکی توجه شده است. جریان آب زیرزمینی در محدوده معدن عمدتاً از شمال وارد پیت معدن می گردد. لذا جهت جلوگیری از هجوم آب زیرزمینی به محدوده ی استخراج ماده ی معدنی لازم است حفرچاه های زهکشی در بخش شمالی ماده ی معدنی در اولویت اجرایی قرارگیرد. پاسخ آب زیرزمینی به بارش و بار هیدرولیکی بالادست در مناطق شمال و جنوب پیت سریع می باشد و این نشان دهنده وجود زونهایی با نفوذپذیری بالا در اطراف پیت است. در این منطقه پاسخ ضربهی پندان وابسته به طول فاصله بین چاههای مشاهدهای نیست و ارتباط هیدرولیکی در منطقه از طریق زونهای با تراوایی بالا انجام می شود. مطالعات زمینشناسی و لیتولوژی منطقه نشان

۲۶۰۰ متر از سطح دریا در منطقه گسترش یافته است که منطبق با ارتفاع سطوح تراوش در معدن میباشد. مطالعات مشابه پیشین (ژانگ و لوپز، ۲۰۱۹؛ سااهو و همکاران، ۲۰۰۹؛ عصاری و محمدی، ۲۰۱۷؛ عصاری و محمدی، ۱۳۹۲؛ نخعی و همکاران، (۱۳۹۷) نشان دادهاند در کنار مطالعات تحلیل سری زمانی سطح ایستابی جهت شناسایی دقیق، محل پیوستگی و گسترش زون های تراوا با قطعیت بیشتر، استفاده از شبیه سازی زمین آماری خصوصیات نفوذپذیری (لوژان) و مقاومت سنگ⁹⁷ بسیار میتواند مفید باشد. بنابراین پیشنهاد می گردد با برداشت داده های مقدار لوژان، مقاومت سنگ و درزه و شکافها از چاههای جدید حفر شده در آینده، مطالعات دقیق زمینآماری با استفاده از خصوصیات مذکورانجام شود.

سپاسگزاری

این تحقیق از حمایت مالی و معنوی شرکت ملی صنایع مس ایران، امور تحقیق و توسعه مس سرچشمه بهرهمند شده است.

⁶⁶ Rock Quality Designation (RQD)

- Ding S., Jiang H., Wang L., Liu G., Li N., Liang B. 2015. Identification and Characterization of High-permeability Zones in Water Flooding Reservoirs with an Ensemble of Methodologies. SPE-176158-MS. Society of Petroleum Engineers
- Huang W.P., Li C. Zhang L.W., Yuan Q., Zheng Y.S., Liu Y. 2018. In situ identification of water-permeable fractured zone in overlying composite strata. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 105, 85-97
- Huang, X., Wang, G. X., Cui, L., Ma, L. 2018. Hydrochemical and stable isotope (δD and δ18O) characteristics of groundwater and hydrogeochemical processes in the Ningtiaota Coalfield, Northwest China. Mine Water and the Environmen, 37(1), 119–136
- Jahanshahi, R., Zare, M. 2017. Delineating the origin of groundwater in the Golgohar mine area of Iran using stable isotopes of ²H and ¹⁸O and hydrochemistry. Mine Water Environ., 36, 550–563
- Lee, J.Y., Lee, K.K. 2000. Use of hydrologic time series data for identification of recharge mechanism in a fractured bedrock aquifer system". Journal of Hydrology, 229(3–4), 190-201
- Sahraei Parizi H., Samani N. 2014. Environmental Isotope Investigation of Groundwater in the Sarcheshmeh Copper Mine Area, Iran. Mine Water Environ., 33, 97–109
- Sahu P., López D. L. Stoertz M. W. 2009. Using Time Series Analysis of Coal Mine Hydrographs to Estimate Mine Storage, Retention Time, and Mine-pool Interconnection. Mine Water and the Environment, 28, 194–205
- Sun, J., Tang, C., Wu, P., Strosnider, W.H.J. 2014. Hydrogen and oxygen isotopic composition of karst waters with and without acid mine drainage: Impacts at a SW China coalfield. Science of the Total Environment, 487(1), 15
- Troyanov A. K., Martyshko P. S., Yurkov A. K., Dyakonov B. P., Astrakhantsev Yu. G., Nachapkin N. I., Kozlova I. A., E. Bazhenova A., Vdovin A. G. 2012. Identification of Permeable Zones Based on the Borehole Observations of Seismoacoustic Emissions and Helium Concentrations. Doklady Earth Sciences, 445, Part 1, 893–896.
- Yang, G.Y., Huang, F.C. 2007. Water source determination of mine inflow based on nonlinear method. J Chin Univ Min Technol, 36(3), 283–6
- Zhang Q., López D. L. 2019. Use of Time Series Analysis to Evaluate the Impacts of Underground Mining on the Hydraulic Properties of Groundwater of Dysart Woods, Ohio. Mine Water and the Environment, 38, 566–580
- Zhang, X.L., Zhang, Z.X., Peng, S.P. 2003. Application of the second theory of quantification in identifying gushing water sources of coal mines. J Chin Univ Min Technol, 32(3), 251–5
- Zhu, Q.H., Feng, M.M., Mao, X.B. 2008. Numerical analysis of water inrush from workingface floor during mining. J Chin Univ Min Technol, 18(2), 159–63.

بدینوسیله از همکاری مسئولین محترم این شرکت قدردانی می گردد.

منابع

- سیاوش حقیقی، م.، زارع، م.، مکنونی گیلانی، س.، کریمی نسب، س.، آزاریخواه، ۱.، کرمی، غ.، انصاری، ع (۱۳۸۵) کاربرد هیدروژئوشیمی نمونههای آب معدن سنگآهن گل گهر در بررسی مناطق ایجادکننده بار آبی مزاحم، دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس
- ناصری، ح.، علیجانی، ف.، محرابی نژاد، ع (۱۳۹۳) هیدروژئوشیمی آبهای زیرزمینی در معدن زغالسنگ زیرآب، مجله زمین-شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۱، دانشگاه شهید چمران اهواز
- نخعی سرودانی، ب.، جهانشاهی، ر.، عصاری، الف.، (۱۳۹۷) شبیه سازی زمین آماری شاخص کیفیت مغزهٔ حفاری، با بررسی پیوستگی مکانی در لایه متراکم آبرفت کواترنری و سازند سخت معدن گهرزمین، جهت تعیین زونهای تراوا. فصلنامه کواترنری ایران، دوره ۴، شماره ۲، ص ۱۷۷ – ۱۸۹.

عصاری، الف. و محمدی، ض (۱۳۹۲) شبیه سازی ضریب آبگذری با استفاده از روشهای زمین آماری با هدف تعیین محل چاههای

پمپاژ (مطالعهٔ موردی: معدن گلگهر). اولین کنارانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی، شاهرود.

جهانشاهی، ر.، مالی، س.، (۱۳۹۷) گزارش طرح مطالعات مقدماتی

زهکشی معدن مس درهزار، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

صفوی، ح.، (۱۳۸۸) هیدرولوژی مهندسی، ارکان دانش، اصفهان.

- Ahmadi, S., Jahanshahi, R., Moeini, V., Mali, S. 2018. Assessment of hydrochemistry and heavy metals pollution in the groundwater of Ardestan mineral exploration area, Iran. Environmental Earth Sciences, 77, 212
- Assari A., Mohammadi Z. 2017. Combined Use of Geostatistics and Multi-Criteria Decision Analysis to Determine New Pumping Well Locations in the Gol-Gohar Open Pit Mine, Iran. Mine Water and the Environment, 36, 283–298
- Chatfield, C. 1982. The analysis of time series: Theory and practice, London. New York: Chapman and Hall
- Chow, G.C. 1987. Comments on a Time Series Analysis of Seasonality in Econometric Models' by Charles Plosser, in A.
 Zellner (ed.), Seasonal Analysis of Economic Time Series) U.S.
 Department of Commerce, Bureau of the Census, Economic Research Report ER-1, 398-401
- Dimitrijevic, M.D., Dimitrijevic, M.N., Djordjevic, M., Vulovic, D. 1956. Pariz Geology Map (Scale 1:100000). Ministry of Economy Geological Survey of Iran.