

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی پرده آب‌بند با استفاده از پارامترهای ژئوتکنیکی و مدل سلسله‌مراتبی (AHP) مطالعه موردی: سد سررود

حمید قالیباف محمدآبادی^{۱*}

محمد غفوری^۲

غلامرضا لشگری پور^۳

ناصر حافظی مقدس^۴

چکیده

با توجه به اینکه مکانیسم ساخت تمام پروژه‌های سدهای خاکی از لحاظ سازه، شکل و نوع بدنه سد تا حدودی یکسان است، در آینده بیشترین مشکلاتی که برای سدها رخ می‌دهد، عدم شناخت از خصوصیات ژئوتکنیکی ساختگاه از نظر آبگذری و بهسازی پی است. سد سررود در شهرستان کلات در شمال استان خراسان رضوی در حال احداث است. با توجه به اینکه این سد در پهنه گسلی قرار گرفته است، نیاز ضروری جهت تزریق پرده آب‌بند دارد. در این تحقیق با استفاده از فن‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، تصاویر ماهواره‌ای Landsat 7 ETM+ پردازش شده و بازدیدهای صحرایی مشخص گردید، این سد در محدوده گسل سررود قرار گرفته است. بر این اساس، پی محور، سرریز سد و جناحین از لحاظ گسله بودن مورد ارزیابی قرار گرفت. در نتیجه، مشخص گردید، جناح چپ نسبت به جناح راست بیشتر تحت تأثیر این گسل‌ها قرار گرفته است. علاوه بر این، نقشه‌های توپوگرافی و نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شد و گسل‌ها بر روی نقشه‌ها مشخص گردید، سپس با بررسی گمانه‌های حفاری، آزمایش‌های مکانیکی توده سنگ، آزمایش‌های نفوذپذیری محور سد و مطالعات آماری، کیفیت توده سنگ ساختگاه و رفتار پی مورد ارزیابی قرار گرفت. در نتیجه معلوم گردید که جناح چپ نسبت به جناح راست از نفوذپذیری بیشتری برخوردار است؛ بنابراین، با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده پهنه‌بندی پرده آب‌بند بر اساس پارامترهای ژئوتکنیکی و آزمایش‌های نفوذپذیری در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (Arc GIS) رقومی و وزن دهی شد، در نتیجه، نقشه‌های پهنه‌بندی پرده آب‌بند محور تزریق تهیه گردید. علاوه بر این، با استفاده از مدل سلسله‌مراتبی (AHP) نقشه پهنه‌بندی بیشترین محدوده تزریق دوغاب ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی:

سد سررود، پارامترهای ژئوتکنیکی، تزریق، پهنه‌بندی پرده آب‌بند، مدل سلسله‌مراتبی AHP

۱. دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی مهندسی، h.ghalibaf@yahoo.com

۲. استاد مکانیک سنگ، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی مهندسی

۳. استاد مهندسی زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی مهندسی

۴. استاد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی مهندسی

مقدمه

آن مشخص شده است. علاوه بر این، مدل ارتفاعی رقومی از طاق‌دیس سررود و پهنه گسلی سررود و همچنین موقعیت محور سد سررود که موازی محور طاق‌دیس است در این شکل نشان داده شده است (قالیباف، ۱۳۹۰).

عملکرد سامانه گسلی در محدوده سد

به‌طور کلی، سامانه گسلی در این پهنه گسلی با راستای شمال‌خاوری در منطقه مورد مطالعه، از سه سازوکار عمده برخوردار است که بیشترین تأثیر آن در جناح چپ سد است. تأثیر این گسل‌ها در جناح چپ سد نشان داده شده است که از قدیم به جدید معرفی می‌گردد (قالیباف، ۱۳۹۰):

الف) گسل‌های معکوس (G1)؛ این دسته از گسل‌ها

اولین گسل‌های هستند که در منطقه رخ داده است. روند این دسته گسل‌ها موازی محور طاق‌دیس سررود و شیبی حدود ۳۰ درجه، دارند که در نتیجه فشردگی در زمان چین‌خوردگی رخ داده است. این سیستم باعث به وجود آمدن گسل‌های معکوس در آهک‌های ماسه‌سنگی سازند تیرگان (پی سد سررود) در هر دو جناح سد شده است. در واقع عملکرد هم‌زمان گسلش و چین‌خوردگی موجب توسعه چنین سامانه گسلی شده است؛

ب) گسل‌های عمود بر محور سد (G2)؛ این سیستم گسلی، باعث افتادگی و خمیدگی لایه‌های سازند تیرگان در جناح چپ نزدیک محور از شیبی حدود ۱۵ درجه نزدیک به ۸۵ درجه شده است. شامل دو گسل معکوس با امتداد تقریباً N83 است؛ بنابراین، مکانیسم تشکیل این گسل‌ها در اثر فرایند فشارش در زمان چین‌خوردگی شدید و همچنین در نتیجه عملکرد سامانه پهنه گسلی سررود که یک گسل عرضی برشی چپ لغز است، اتفاق افتاده است. این سامانه گسلی، باعث خمیدگی محور طاق‌دیس سررود و نیز فروافتادگی لایه‌های سازند تیرگان در جناح چپ شده است که با زاویه میل حدود ۶۵ درجه، لایه‌های سازند تیرگان را به داخل زمین فروبرده و در جناح چپ اثر آن خاتمه پذیرفته است.

ج) گسل‌های امتداد لغز چپ لغز جوان‌ترین گسل‌های منطقه (G3)؛ این سیستم گسلی، جوان‌ترین گسل‌های

از جمله مشکلات برخی پروژه‌های سدسازی مسئله فرار آب از مخزن سد، عدم رفتار مناسب و یکنواخت پی و تکیه‌گاه‌های سد است که در برخی از موارد منجر به گسیختگی سازه و انجام هزینه‌های سرسام‌آور شده است. برای فائق آمدن بر این دسته از مشکلات از روش‌های بهسازی زمین استفاده می‌کنند. یکی از این روش‌ها تزریق است. به‌وسیله تزریق می‌توان پرده‌ای آب‌بند احداث نمود که وظیفه آن آب‌بندی پی و تکیه‌گاه‌های سد است. کاربرد دیگر تزریق تقویت و یکسان کردن رفتار پی و تکیه‌گاه‌ها است (فویو^۱ و همکاران، ۱۹۹۷) (لشکری پور و قالیباف، ۱۳۸۸).

موقعیت ساختاری سد سررود

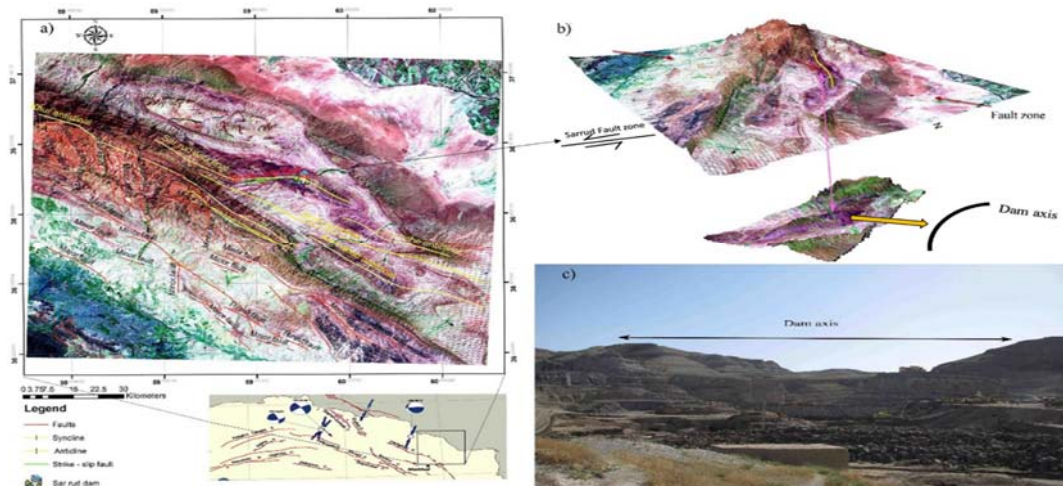
منطقه مورد مطالعه در شمال استان خراسان رضوی و در منطقه کلات قرار دارد. ساختگاه سد در عرض شمالی ۳۶° - ۵۶' - ۴۸" و طول شرقی ۴۴' - ۴۹' - ۶۰" بر روی طاق‌دیس سررود واقع شده است. بر اساس داده‌های برداشت‌شده در پیمایش صحرائی در محل سد و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پردازش‌شده، مشخص گردید، محور طاق‌دیس سررود توسط گسل عرضی برشی - چپ لغز در قسمت میانی این طاق‌دیس، باعث کج شدگی محور طاق‌دیس گشته و توسط این پهنه گسلی انحنا داده شده است. این سامانه گسلی باعث کج شدگی لایه‌های آهکی سازند تیرگان (پی سد) در محل سد شده است. نام‌گذاری این گسل، تحت عنوان گسل سررود در این تحقیق ارائه شده است. طاق‌دیس سررود با راستای شمال باختری، یک چین واداشته برخاسته^۲ با هندسه هم‌مرکز است. اثر سطح محوری طاق‌دیس سررود در بخش شمال باختری و جنوب خاوری آن راستای N135 دارد. ولی در بخش میانی و جایی که پهنه گسلی سررود از آن عبور می‌کند، این راستا به سمت N85 تغییر جهت داده است. شکل (۱) پهنه ساختاری در کمر بند چین‌خورده کپه داغ که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست^۳ پس از پردازش در نرم افزارهای ARC SCENE 10.3، ARC MAP 10.3، ENVI 4.8 تهیه شده است. طاق‌دیس‌ها، ناودیس‌ها و گسل‌ها بر روی

۲. Uplifted forced fold
۳. Landsat 7 ETM+

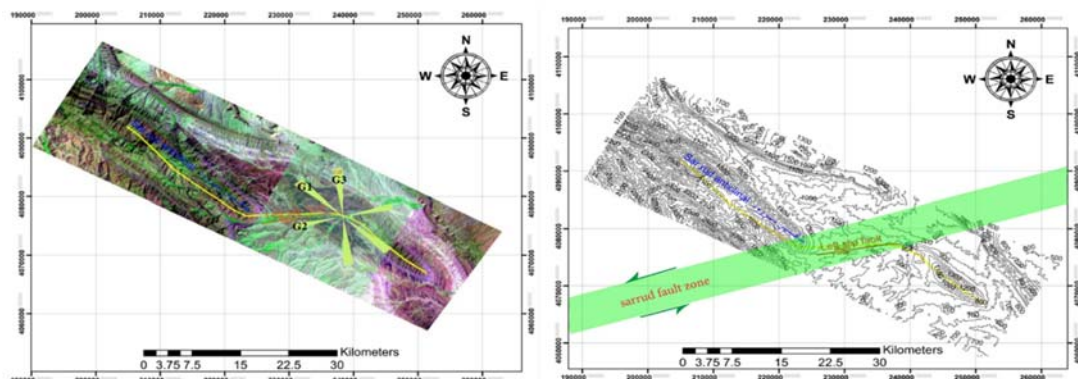
۱. Foyo

سد، از محور سد خارج گشته است. در شکل (۲) امتداد این گسل‌ها به تفکیک گروه در محل سد نشان داده شده است. به‌طور خلاصه علت تشکیل این گسل‌ها تحت گسل سررود (گسل عرضی - برشی چپ لغز) رخ داده است. در نتیجه این گسل باعث تشکیل پهنه گسلی سررود شده است. در نقشه توپوگرافی شکل (۲) محدوده پهنه گسلی در این منطقه نشان داده شده است.

منطقه بوده گسل‌های گروه اول^۱، گروه دوم^۲ و لایه‌های خم‌شده سازند تیرگان را قطع کرده است. این سیستم به‌صورت گسل‌های امتدادلغز چپ لغز به‌صورت مورب با امتداد N175 و شیب تقریباً قائم در جناح چپ عمل نموده و بافاصله تقریباً یکسان از یکدیگر در منطقه واقع شده است. یکی از این گسل‌ها تقریباً نزدیک محور سد در جناح چپ باعث به هم خوردگی محور سد شده و در ابتدای جناح چپ به‌صورت مورب از محور سد عبور نموده و به سمت بالادست



شکل (۱): (a) پهنه ساختاری کمربند چین‌خورده کپه داغ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 7 ETM+ که تاقدیس‌ها و گسل‌های منطقه بر روی آن مشخص شده است؛ (b) مدل ارتفاعی رقومی از تاقدیس سررود و پهنه گسلی سررود که خمیدگی تاقدیس سررود در محل برخورد با ادامه جنوب باختری پهنه گسلی سررود (دید به سمت شمال باختر و تقریباً در راستای محور تاقدیس است؛ c) محور سد سررود که تقریباً موازی محور تاقدیس سد است.



شکل (۲): (a) امتداد سیستم گسل‌ها در بخش مرکزی پهنه گسل سررود در محل سد، (b) خمیدگی تاقدیس سررود در محل برخورد با ادامه جنوب باختری پهنه گسلی سررود (دید به سمت شمال باختر و تقریباً در راستای محور تاقدیس است). مستطیل ترسیم‌شده در نقشه ساده‌شده از تاقدیس سررود، پهنه گسلی سررود را نشان می‌دهد.

روش تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی

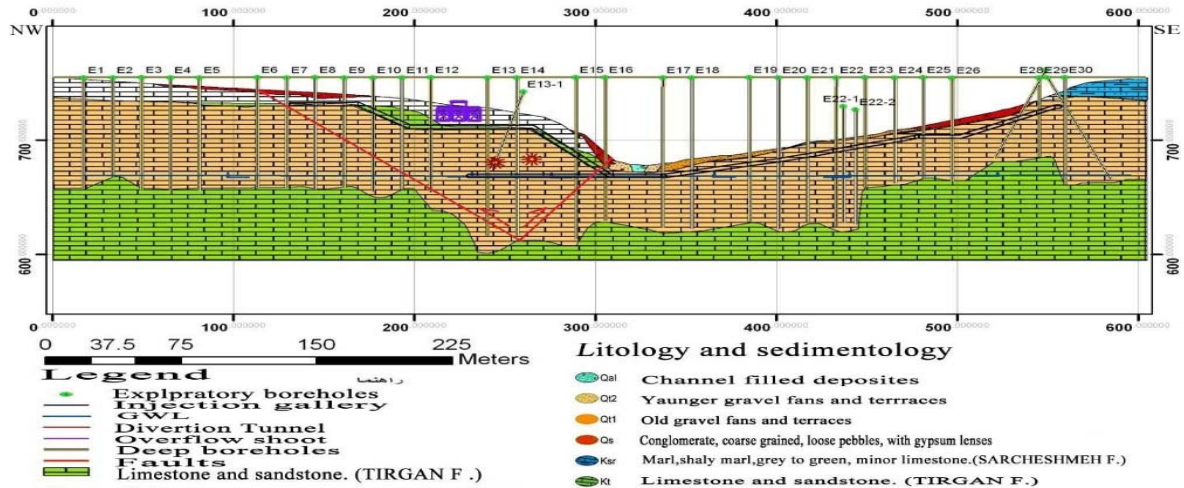
تهیه شده است. از اطلاعات ژئوتکنیکی حاصل از این گمانه‌ها جهت پهنه‌بندی استفاده گردیده است. قابل توجه

برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی ابتدا باید محدوده پهنه‌بندی مشخص گردد. این محدود بر اساس طول گمانه‌های اکتشافی که در فاز اجرا سد حفاری شده، مطابق شکل (۳)

۱. G1
۲. G2

۶۱..... تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی پرده آب‌بند با استفاده از پارامترهای ژئوتکنیکی و مدل سلسله‌مراتبی (AHP)

است، جهت احداث پرده آب‌بند سد تمام آبرفت و سنگ‌های بالای گالری تزریق سد برداشته شده است. با توجه به اینکه محور سد منطبق بر محور طاق‌دیس است لایه‌بندی لایه‌ها در شکل زیر موازی رسم شده است.



شکل (۳): پروفیل محدوده پهنه‌بندی بر اساس داده‌های به‌دست آمده از گمانه‌های اکتشافی در فاز اجرا

طول محور سد، در حدود ۶۲۵ متر، تعداد بسیار زیادی بوده است؛ بنابراین، نقشه نهایی از دقت زیادی برخوردار است. روش درون‌یابی با استفاده از نزدیک‌ترین همسایگی نقاط^۱، بر اساس وزن داده‌شده به نرم‌افزار استفاده گردیده است (سیسون^۴، ۱۹۹۶) (رامش^۵ و همکاران، ۲۰۱۲) (چن^۶ و همکاران، ۲۰۱۵).

ب) نقشه پهنه‌بندی لوژن (Lugeon): این آزمایش معمولاً در قطعات ۵ متری انجام می‌گیرد (اورت^۷، ۱۹۸۵). بنابراین، هر عدد به‌دست آمده از این آزمایش در میانه این قطعات ۵ متری در نرم‌افزار وارد شد که در حدود ۶۰۰ عدد لوژن در این محور جهت پهنه‌بندی در نرم‌افزار استفاده شده است. با استفاده از این اطلاعات پهنه‌بندی بر اساس آزمون لوژن تهیه گردیده است.

ج) نقشه پهنه‌بندی رفتار هیدروژئومکانیکی توده سنگ: این اطلاعات از روی آزمایش لوژن در هر قطعه ۵ متری با توجه به رفتار هیدروژئومکانیکی توده سنگ به‌دست آمده است (هولسبی^۸، ۱۹۷۶ و ۱۹۹۰).

روش ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی

به‌طور کلی روش تهیه تمام این نقشه‌ها تا حدودی شبیه یکدیگر است. بنابراین، در قسمت زیر روش تهیه هر نقشه با توجه به پارامترهای مهندسی توضیح داده شده است:

الف) نقشه پهنه‌بندی کیفیت توده سنگ: پارامتر شاخص کیفیت توده سنگ (RQD) توسط (دیر^۱، ۱۹۶۶)، تعریف شده است. ابتدا داده‌ها با توجه به مشاهدات و ارزیابی مغزه‌های حفاری در مرحله فاز اجرا مشخص گردید. به‌عنوان مثال برای یک گمانه به طول ۱۰۰ متر ابتدا عدد RQD برای قطعات یک متری محاسبه شد که برای این گمانه ۱۰۰ عدد RQD به دست آمد، سپس مقدار عددی این پارامتر جهت پهنه‌بندی محور تزریق در میانه این قطعات یک متری در نرم‌افزار آرک جی‌ای‌اس^۲ در طول هر گمانه وارد گردید؛ بنابراین، برای این سد با توجه به ۳۰ گمانه حفاری شده و با در نظر گرفتن مترهاژهای حفاری جمعاً حدود ۳۰۰۰ عدد در این محدوده وارد شده است. در نتیجه، نقشه پهنه‌بندی محور سد بر اساس خصوصیات کیفیت توده سنگ به دست آمد. این تعداد عدد وارد شده با در نظر گرفتن

۵. Ramesh
۶. Chen
۷. Ewert
۸. Houslby

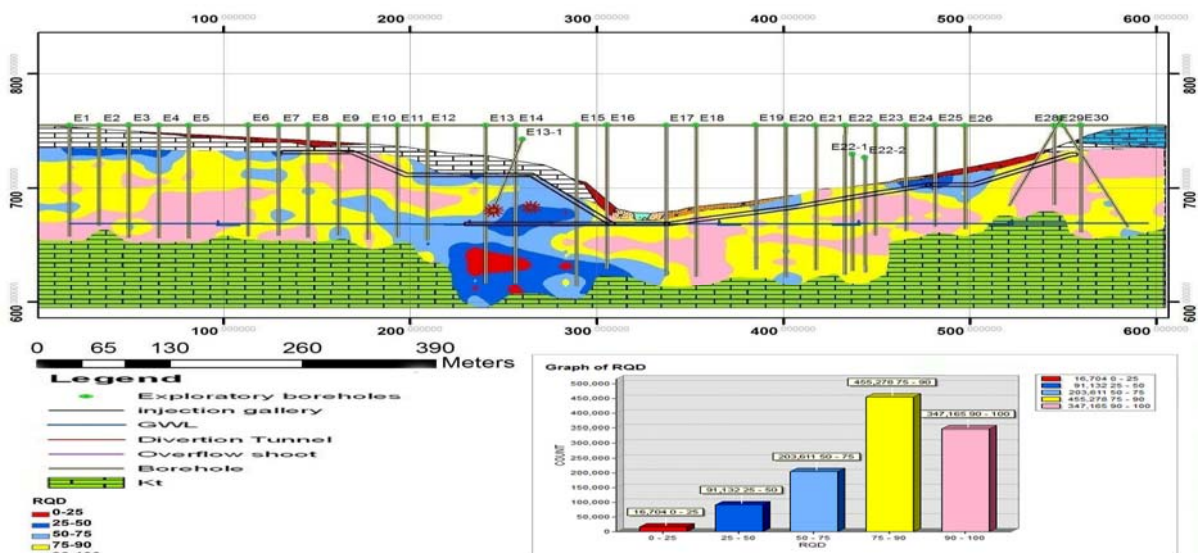
۱. Deere
۲. Arc Gis 10
۳. Natural neighbour interpolation
۴. Sibson

مشاهده می‌گردد، در این محدوده وجود گسل‌های معکوس گروه G2 باعث تشکیل زون خورد شده، شده است. علاوه بر این، این جناح تحت تأثیر گسل‌های امتدادلغز مورب (G3) قرار گرفته است. بنابراین، در زمان حفر گمانه‌های تزریق در این محدوده ریزش در گمانه رخ خواهد داد؛ بنابراین، با توجه به بررسی‌های انجام شده لازم است که در این مناطق جهت ادامه حفاری ابتدا تزریق انجام گیرد (تزریق از بالا به پایین) و سپس حفاری ادامه یابد تا از ریزش این مناطق در زمان تزریق که باعث گیر افتادن پکر می‌شود، جلوگیری به عمل آید.

اطلاعات به‌دست‌آمده مثل مراحل قبل در میانه هر قطعه وارد شده است.

تعبیر و تفسیر نقشه‌های پهنه‌بندی

الف) نقشه پهنه‌بندی کیفیت توده سنگ: در نقشه پهنه‌بندی شکل (۴) پارامتر کیفیت توده سنگ به ۵ قسمت طبقه‌بندی شده است (دیرو همکاران، ۱۹۸۸). مطابق نقشه پهنه‌بندی کیفیت توده سنگ مساحت بیشتر محور تزریق از RQD بالای برخوردار است، بخصوص در جناح راست که مساحت این قسمت نسبت به جناح چپ بیشتر است. کمترین مقدار RQD در جناح چپ در زیر تونل ۷۵ متری (این تونل در زیر پرده آب‌بند جهت کنترل پرده از لحاظ آبگذری حفر شده است) در محل برخورد دو گسل معکوس



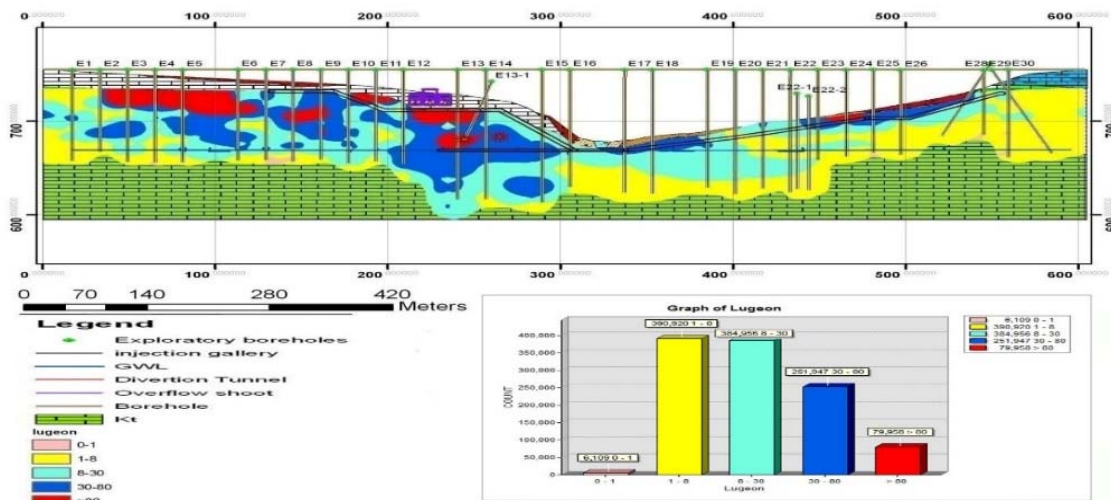
شکل (۴): (a) نقشه پهنه‌بندی کیفیت توده سنگ در محور سد سرود؛ (b) توزیع فراوانی بر اساس کیفیت توده سنگ (RQD)

در این شکل محدوده بحرانی پی از لحاظ نفوذپذیری در زیر سرریز سد، زون خورد شده (محل تقاطع گسل‌های گروه G2) و ابتدایی جناح چپ سد قرار دارد. بنابراین، لازم است عمق تزریق‌های تحکیمی در زیر شوت سرریز سد با توجه به این نقشه پهنه‌بندی افزایش یابد. مقادیر بالای عدد لوژن در جناح چپ در زیر سرریز و همچنین تا حدودی در جناح چپ نزدیک به سطح زمین دیده می‌شود. از لحاظ نفوذپذیری بین نقشه پهنه‌بندی کیفیت توده سنگ و نقشه پهنه‌بندی لوژن در زون خورد شده یکسان است؛ اما در زون‌های دیده می‌شود که کیفیت توده سنگ خوب است اما به علت بازشدگی درزه‌ها در این مناطق، عدد لوژن بالا است.

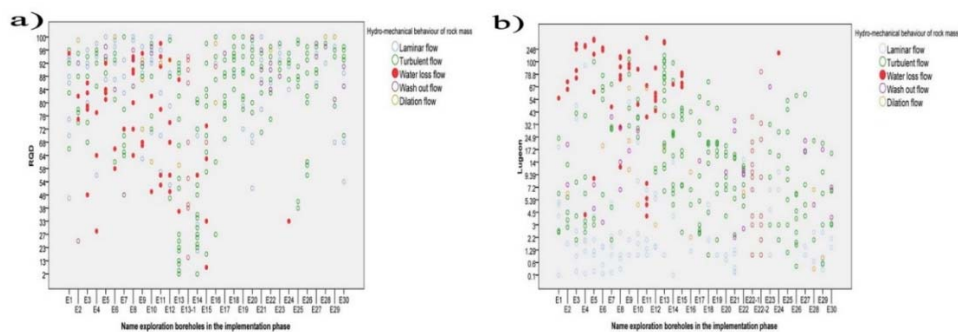
ب) نقشه پهنه‌بندی پارامتر لوژن: آزمایش لوژن اولین بار در سال ۱۹۳۳ توسط موریس لوژان به‌منظور برآورد تزریق‌پذیری و نفوذپذیری سنگ‌ها ارائه شد. این آزمایش اغلب به‌صورت قطعات ۵ متری برای بررسی خصوصیات هیدروژئومکانیکی و نفوذپذیری توده سنگ بیان می‌شود (کوئنز و همکاران، ۱۹۹۶). در نقشه پهنه‌بندی شکل (۵)، پارامتر لوژن با استفاده از نرم‌افزار به ۵ گروه طبقه‌بندی گردید. با استفاده از این طبقه‌بندی می‌توان طراحی مناسبی برای بهسازی زمین انجام داد (فویو و همکاران، ۲۰۰۵ گسترده‌ای دارد.

است که در RQD بالا نیز رفتار مقاطع فرار آب یا بدون فشار قابل مشاهده است. با بررسی گمانه‌های اکتشافی و بازدیدهای صحرائی معلوم گردید که علت بازشدگی درزه در اندازه‌های مختلف با توجه به اینکه، محور این سد موازی محور طاق‌دیس سررود بوده است، درزه‌های کششی حاصل از این خمش باعث تشکیل درزه‌های کششی در توده سنگ گشته و نیز فرایند انحلال در امتداد محل تقاطع درزه‌های مزدوج به تدریج باعث گسترش بازشدگی درزه و پدیده کارست شده است. علاوه بر این، این سد بر روی سازند تیرگان قرار گرفته است، این سازند داری میان لایه‌های آهک شیلی در بین لایه‌های ضخیم آهکی این سازند قرار گرفته است، در اثر نفوذ آب به داخل این لایه‌ها باعث فرسایش و شسته شدن شیل شده است؛ بنابراین، به تدریج باعث تشکیل حفره‌های کارستی شده است (قالیباف، ۱۳۹۰). در نتیجه، عامل اصلی افزایش عدد لوژن علاوه بر پایین بودن کیفیت توده سنگ، بازشدگی درزه‌ها بوده است؛ بنابراین، نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آمده درست است (قالیباف، ۱۳۹۰).

بنابراین، اختلاف جزئی وجود دارد. در نمودار پراکنش^۱ شکل (۶) این اختلاف اثبات گردیده است. در این نمودار، محور افقی نمایانگر گمانه‌های اکتشافی است که گمانه‌های E1 تا E16 جناح چپ، گمانه‌های E16 تا E19 پی و گمانه‌های E19 تا E30 جناح راست را نشان می‌دهد. محوری عمودی این دو نمودار تغییرات Lugeon و RQD را نشان می‌دهد بر روی این نمودار نیز رفتار هیدروژئومکانیکی توده سنگ به صورت اشکال هندسی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد مقاطع ناپدید شدن آب^۲ یا به اصطلاح در آزمایش لوژن مقطعی که فشار ندارند، (یعنی در این آزمایش هر قدر فشار آب را بالاتر ببریم آب برگشتی دیده نمی‌شود، به اصطلاح بر روی فشارسنج فشاری دیده نمی‌شود)، این پدیده بیانگر این موضوع است که توده سنگ پر درزه (کیفیت توده سنگ پایین) یا بازشدگی درزه به دلیل فشار و خمش لایه بوده است. این مقاطع بر روی نمودار پراکنش شکل (۶a) به صورت دایره‌های توپر قرمز، در جناح چپ و در لوژن بالا قابل مشاهده است. همچنین، با استفاده از نمودار شکل (۶b) کیفیت توده سنگ نشان داده شده



شکل (۵): (a) نقشه پهنه‌بندی لوژن از محور سد؛ (b) نمودار توزیع فراوانی محدوده لوژن

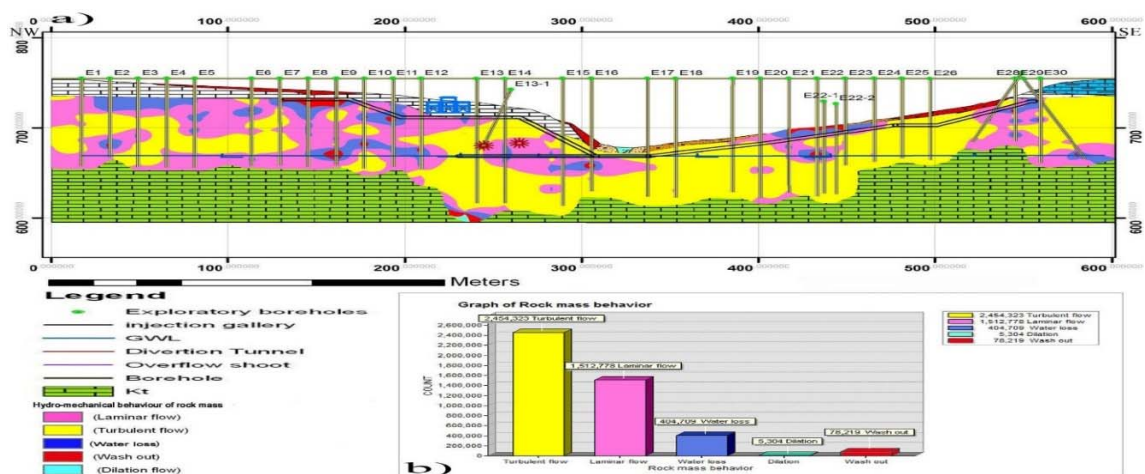


شکل (۶): (a) محور عمودی این نمودار مشخصه کیفیت توده سنگ و محور افقی معرف گمانه‌ها محور سد است که رفتار هیدروژئومکانیکی توده سنگ از جمله مهم‌ترین این پارامتر (مقاطع بدون فشار) به صورت دایره‌های تو پر قرمز بر روی آن نشان داده شده است. در این نمودار مقاطع بدون فشار در RQD بالا در جناح چپ قابل مشاهده است، چنانچه گفته شد، این پدیده به علت بازشدگی درزه‌ها است که باعث جریان آشفته شده است؛ (b) نمودار بررسی نفوذپذیری با استفاده از آزمایش لوژن و رفتار هیدرومکانیکی توده سنگ همان‌طور که مشاهده می‌گردد تمام مقاطع بدون فشار یا قطع آب در اعداد لوژن بالاتر از ۳۰ در جناح چپ سد دیده می‌شود.

چپ است، این مناطق در انتهای تونل ۷۵ متری، زیر شوت سرریز سد و در ابتدایی جناح چپ نزدیک به سطح قرار دارد که دقیقاً منطبق بر اعداد لوژن بیشتر از ۸۰ در نقشه پهنه‌بندی لوژن است. بنابراین، بایستی در این مناطق با توجه به بازشدگی درزه‌ها و مناطق کارستی جهت تزریق از دوغاب پایدار غلیظ استفاده گردد.

(ج) نقشه پهنه‌بندی رفتار هیدروژئومکانیکی توده سنگ از محور سد:

همان‌طور که در نقشه پهنه‌بندی شکل (۷) مشاهده می‌شود، قسمت عمده محور سد از رفتار آشفته برخوردار است، همین‌طور مقاطع فرار آب یا بدون فشار در جناح



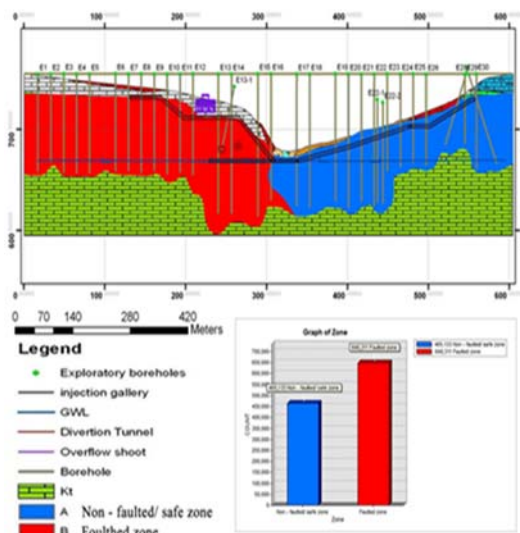
شکل (۷): (a) نقشه پهنه‌بندی رفتار هیدروژئومکانیکی توده سنگ در محور سد؛ (b) توزیع فراوانی بر اساس رفتار هیدروژئومکانیکی توده سنگ این دو محدوده به وسیله امتداد گسل امتدادلغز مورب که از

جناح چپ عبور کرده و به سمت بالادست از محور عبور کرده است، مشخص شده است.

(د) نقشه محدوده عملکرد گسل‌ها در محور سد:

در نقشه گسل‌ها شکل (۸) با توجه به فعالیت گسل‌های محور سد از نظر زون سالم و خورد شده به دو قسمت A و B تقسیم‌بندی شده است. با توجه به اینکه، تونل بالای و پایینی جناح چپ تحت گسل‌های امتدادلغز چپ لغز مورب (گسل‌های گروه G3) و همچنین حدفاصل گمانه

E10



تا E16 تحت فعالیت گسل‌های معکوس (گسل‌های گروه G2) قرار گرفته است، این جناح تحت عنوان منطقه B (منطقه گسلی) و جناح راست تحت عنوان منطقه A (منطقه غیر گسلیده) طبقه‌بندی شده است. مرز جدایش

می‌شود. سلسله‌مراتبی بودن ساختار به این دلیل است که عناصر تصمیم‌گیری (گزینه‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری) را می‌توان در سطوح مختلف خلاصه کرد (باون^۶، ۱۹۹۳). بنابراین، اولین قدم در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، ایجاد یک ساختار سلسله‌مراتبی از موضوع موردبررسی است که در آن اهداف، معیارها، گزینه‌ها و ارتباط بین آن‌ها نشان داده می‌شود. چهار مرحله بعدی در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی محاسبه وزن (ضریب اهمیت) معیارها و زیر معیارها در صورت وجود، محاسبه وزن (ضریب اهمیت) گزینه‌ها، محاسبه امتیاز نهایی گزینه‌ها و بررسی سازگاری بنابراین، اولین قدم در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، ایجاد یک ساختار سلسله‌مراتبی از موضوع موردبررسی است که در آن اهداف، معیارها، گزینه‌ها و ارتباط بین آن‌ها نشان داده می‌شود. چهار مرحله بعدی در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی محاسبه وزن (ضریب اهمیت) معیارها و زیر معیارها در صورت وجود، محاسبه وزن (ضریب اهمیت) گزینه‌ها، محاسبه امتیاز نهایی گزینه‌ها و بررسی سازگاری منطقی قضاوت‌ها را شامل می‌شود (زبردست^۷، ۱۳۸۰).

ساختن نمودار سلسله‌مراتبی

در اولین اقدام، ساختار سلسله‌مراتبی مربوط به این موضوع را مشخص می‌کنیم (شکل ۹). در این نمودار، ما با یک سلسله‌مراتب چهار سطحی شامل: هدفها؛ معیارها؛ زیر معیارها و گزینه‌ها مواجه هستیم. تبدیل موضوع یا مسئله موردبررسی به یک ساختار سلسله‌مراتبی مهم‌ترین قسمت فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی محسوب می‌شود. زیرا در این قسمت با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی آن‌ها را به شکلی ساده که با ذهن و طبیعت انسان مطابقت داشته باشد، تبدیل می‌کند. به عبارت دیگر، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی مسائل پیچیده را از طریق تجزیه آن به عناصر جزئی که به صورت سلسله‌مراتبی به هم مرتبط بوده و ارتباط هدف اصلی مسئله با پایین‌ترین سطح سلسله‌مراتبی مشخص است، به شکل ساده‌تری درمی‌آورد.

شکل (۸): (a) محدوده عملکرد گسل‌ها در محور سد سررود؛ (b) توزیع فراوانی بر اساس محدوده فعالیت گسل‌ها

پهنه‌بندی محور سد از نظر محدوده تزریق دوغاب با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۱ (AHP) روشی است منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد انتخاب بین گزینه‌ها^۲ را با مشکل مواجه می‌سازد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش ارزیابی چند معیاری^۳، ابتدا در سال ۱۹۸۰ به وسیله توماس ال ساعتی^۴ پیشنهاد گردید و تاکنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است (ساعتی، ۱۹۸۰) (رابیا و همکاران، ۲۰۱۶) در این مدل ابتدا انتخاب عوامل همبستگی و اطمینان از سلسله‌مراتب آن‌ها، سپس مقایسه این عوامل با یکدیگر برای اطمینان از اهمیت نسبی آن‌ها و در نهایت وزن دادن (فن و همکاران، ۲۰۰۰) (اوما و تالیسی، ۲۰۱۴) (ون و همکاران، ۲۰۰۰).

با توجه به اینکه، نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس پارامترهای زمین‌شناسی مهندسی هر کدام ویژگی‌های مشخصی را از محور سد نمایان می‌کند. بایستی بر اساس این پارامترها یک نقشه کلی جهت تزریق ترسیم شود تا تمام ویژگی‌های محور تزریق در آن لحاظ گردد. بنابراین، در این مقاله کاربرد مشخصی از این روش جهت پهنه‌بندی محور تزریق بر اساس پارامترهای زمین‌شناسی مهندسی ارائه گردیده است (قالیباف، ۱۳۹۰).

چارچوب مفهومی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی

جهت استفاده از پارامترهای زمین‌شناسی مهندسی

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی با شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری شروع می‌شود. این عناصر شامل: هدفها؛ معیارها یا مشخصه‌ها و گزینه‌های احتمالی است که در اولویت‌بندی به کار گرفته می‌شوند. فرایند شناسایی عناصر و ارتباط بین آن‌ها که منجر به ایجاد یک ساختار سلسله‌مراتبی می‌شود، "ساختن سلسله‌مراتب"^۵ نامیده

۵. Structuring a hierarchy
۶. Bowen
۷. Zebardast

۱. Analytic Hierarchy process (AHP)
۲. Random Index
۳. Multi-criteria Evaluation Technique
۴. Tomas L. Saaty

۸ و ۶ و ۴ و ۲	مقادیر بینابین	هنگامی که حالت میانه‌ای وجود دارد.
---------------	----------------	------------------------------------

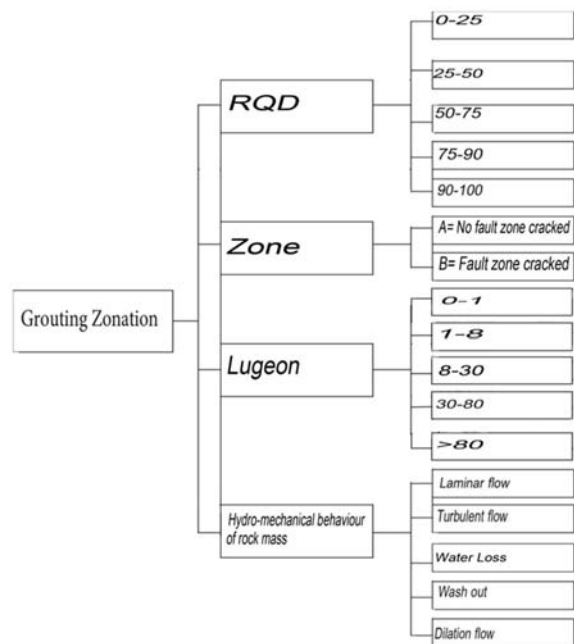
مقایسه‌های دوه‌دو در یک ماتریس $n \times n$ (در این حالت 4×4) ثبت می‌شوند و این ماتریس، "ماتریس مقایسه دودوئی معیارها" $A = (a_{ij})_{n \times n}$ نامیده می‌شود. عناصر این ماتریس همگی مثبت بوده و با توجه به اصل "شروط معکوس" در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (اگر اهمیت i نسبت به j برابر k باشد، اهمیت عنصر j نسبت به i برابر $1/k$ خواهد بود). در هر مقایسه دودوئی، دو مقدار عددی a_{ij} و $1/a_{ij}$ را خواهیم داشت. در زیر ماتریس مقایسه دودوئی معیارها برای مسئله موردنظر ارائه شده است (جدول (۲)).

جدول (۲): ماتریس A مقایسه دودوئی معیارها، اساس امتیازها بر

اساس تجربه در محل سد انجام شده است.

	RQD	Lugeon	Hydro-mechanical behavior of Rock mass	fault area
RQD	۱	۱	۲	۵
Lugeon	۱	۱	۲	۵
Hydro-mechanical behavior of Rock mass	۰/۲۳	۰/۲۳	۱	۳
fault zone	۰/۲	۰/۲	۰/۲۳	۱

در این ماتریس، مقدار عددی a_{12} (ردیف ۱ و ستون ۲) در جدول (۱) نشان می‌دهد که معیار کیفیت توده سنگ در این مکان‌یابی در مقایسه با لوژن دارای اهمیت مساوی و با توجه به شرط معکوس، بنابراین مقدار عددی عنصر a_{21} برابر $1/1$ خواهد بود. یعنی معیار کیفیت توده سنگ نسبت به لوژن یا لوژن نسبت به کیفیت توده سنگ دارای اهمیت مساوی قرار دادیم تا تمام مناطق نامناسب چه از نظر نفوذپذیری یا کیفیت توده سنگ در نقشه نمایان گردد. همچنین، با توجه به اهمیت فاکتور کیفیت توده سنگ و لوژن نسبت به رفتار هیدروژئومکانیکی کمی بیشتر و نسبت به فعالیت گسل‌ها دارای اهمیت بیشتر قرار داده‌ایم تا این معیارها در نقشه نهایی از اهمیت بیشتری برخوردار باشند. عناصر قطر ماتریس، با توجه به اهمیت برابر هر معیار نسبت به خود در دستیابی به هدف برابر با ۱ است. با استفاده از این روش از لحاظ اهمیت، نحوه امتیازدهی بین معیارها و زیر معیارها بسته به نظر کارشناس ژئوتکنیک در پروژه، می‌تواند تغییر کند.



شکل (۹): نمودار فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی - ساختن

سلسله‌مراتبی مکانیکی موردنظر

تبیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها

برای تعیین ضریب اهمیت (وزن) معیارها و زیر معیارها، دوه‌دو آن‌ها را باهم مقایسه می‌کنیم. به‌عنوان مثال، برای هدف موردنظر که بیشترین محدوده تزریق است، معیار لوژن دارای اهمیت بیشتری است یا رفتار هیدروژئومکانیکی توده سنگ؟ مبنای قضاوت در این امر مقایسه‌ای نه (۹) کمیته زیر جدول (۱) است که بر اساس آن و با توجه به هدف بررسی، شدت برتری معیار i نسبت به معیار j ، a_{ij} تعیین می‌شود. تمامی معیار دوه‌دو باهم مقایسه می‌شوند. چون چهار معیار در این مسئله وجود دارد، بنابراین شش قضاوت باید صورت پذیرد.^۱

جدول (۱): مقیاس نه (۹) کمیته پروفیسور ساعتی برای مقایسه

دودوئی معیارها

درجه اهمیت	تعریف	توضیح
۱	اهمیت مساوی	در تحقیق هدف، دو معیار اهمیت مساوی دارند.
۳	اهمیت اندکی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقیق هدف، اهمیت i کمی بیشتر از j است.
۵	اهمیت بیشتر	تجربه و تأمل نشان می‌دهد که اهمیت i آشکارا بیشتر از j است.
۷	اهمیت خیلی بیشتر	در عمل ثابت شد که اهمیت i خیلی بیشتر از j است.
۹	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی بیشتر i نسبت به j به‌طور قطعی به اثبات رسیده است.

۱. برای n معیار تعداد زوج قابل مقایسه $n(n-1)/2$ می‌باشد.

RQD	۰/۳۹۵	۰/۳۹۵	۰/۴۰۹	۰/۴۰۹
Lugeon	۰/۳۹۵	۰/۳۹۵	۰/۴۰۹	۰/۴۰۹
Hydro-mechanical behavior of Rock mass	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳۶	۰/۲۱۴
Fault area	۰/۰۷۹	۰/۰۷۹	۰/۰۴۵	۰/۰۷۱

جدول (۵): نتایج حاصله از قدم سوم الگوریتم (به دست آوردن متوسط

سطرها)

	RQD	Lugeon	Hydro-mechanical behavior of Rock mass	Fault zone	weight
RQD	۱	۱	۳	۵	۰/۳۹
Lugeon	۱	۱	۳	۵	۰/۳۹
Hydro-mechanical behavior of Rock mass	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۳	۰/۱۵
Fault area	۰/۲	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۰۷

بر این اساس، مقدار وزن‌های داده شده به معیارهای RQD و Lugeon با در نظر گرفتن اهمیت آن‌ها نسبت به یکدیگر، یکسان در نظر گرفته شده است. مقدار وزن کمتر به محدوده گسله به این خاطر بوده که در نقشه نهایی پهنه‌بندی جناح چپ از جناح راست مشخص شود. علاوه بر این، به این خاطر رفتار هیدروژئومکانیکی توده سنگ در پهنه‌بندی در نظر گرفته شده که محدوده فرار آب یا قطع آب (بدون فشار) به دلیل اهمیت آن در پهنه‌بندی مشخص گردد. همچنین محاسبه ضریب زیر معیارها در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داده شده است (شکل (۱۰)).

در روش محاسبه ضریب اهمیت معیارها چهار روش عمده زیر مطرح هستند:

۱- روش حداقل مربعات؛ ۲- روش حداقل مربعات لگاریتمی؛ ۳- روش بردار ویژه؛ ۴- روش تقریبی؛

از روش‌های فوق، روش بردار ویژه بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است؛ اما اگر ماتریس دارای ابعاد بزرگ‌تری باشد. محاسبه مقادیر و بردارهای ویژه طولانی و وقت‌گیر خواهد بود. مگر اینکه از نرم‌افزار کامپیوتری برای حل آن کمک گرفته شود. به همین دلیل است که ساعتی چهار روش تقریبی زیر را ارائه کرده است:

۱- مجموع سطری؛ ۲- مجموع ستونی؛ ۳- میانگین حسابی؛ ۴- میانگین هندسی (ساعتی ۵، ۱۹۹۰)؛

در این بررسی میانگین حسابی به دلیل اینکه روش ساده و دقیقی است، مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش برای محاسبه ضریب اهمیت معیارها، شامل سه قدم زیر در نظر گرفته شده است:

قدم اول: مقادیر هر یک از ستون‌ها را باهم جمع می‌کنیم (جدول (۳))؛

قدم دوم: هر عنصر در ماتریس مقایسه زوجی را باهم جمع ستون خودش تقسیم کرده تا ماتریس مقایسه زوجی نرمالیزه شود (جدول (۴))؛

قدم سوم: مقدار متوسط (میانگین) عناصر در هر سطر از ماتریس نرمالیزه را محاسبه می‌کنیم این مقادیر متوسط یک تخمین از وزن‌های مورد نظر است (جدول (۵))؛

جدول (۳): نتایج حاصله از قدم اول الگوریتم (به دست آوردن جمع

ستون‌ها)

	RQD	Lugeon	Hydro-mechanical behavior of Rock mass	Fault area
RQD	۱	۱	۳	۵
Lugeon	۱	۱	۳	۵
Hydro-mechanical behavior of Rock mass	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۳
Fault area	۰/۲	۰/۲	۰/۳۳	۱
Sum	۲/۵۲	۲/۵۲	۷/۲۲	۱۴

جدول (۴): نتایج حاصله از قدم دوم (نرمالیزه کردن ستون‌ها)

	RQD	Lugeon	Hydro-mechanical behavior of Rock mass	Fault area

۴. Approximation Methods

۵. Saaty

۱. Least Squares Method

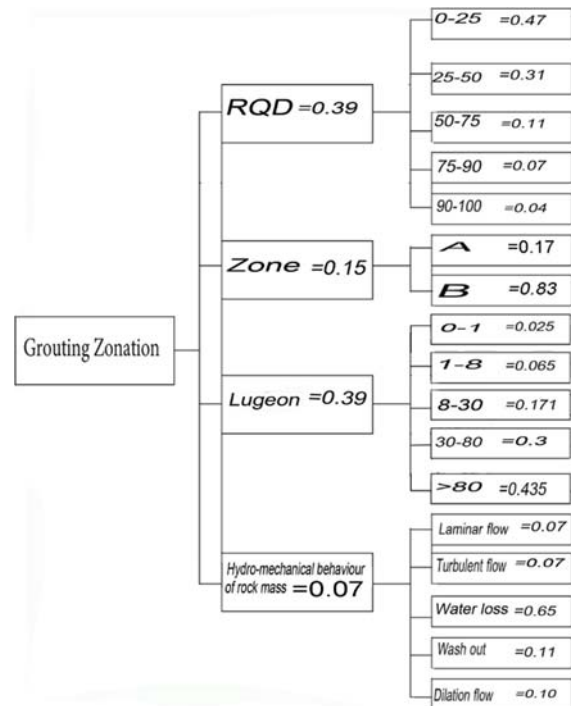
۲. Logarithmic Least Squares Method

۳. Eigenvector Method

شکل (۱۱): مراحل انجام کار جهت پهنه‌بندی نهایی

با توجه به نتایج بدست آمده، نقشه پهنه‌بندی نهایی بر اساس این پارامترهای ژئومکانیکی صورت پذیرفت که در شکل (۱۲) نشان داده شده است. در این نقشه مناطق تزریق دوغاب سیمانی به ۷ کلاس تقسیم‌بندی شد که A بیشترین تزریق دوغاب سیمانی و G کمترین مقدار را دارا است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، جناح چپ از تزریق بیشتری نسبت به جناح راست برخوردار است و ارزش آن در پهنه‌بندی بیشتر به دست آمده است. مطابق نقشه پهنه‌بندی نهایی در حد واسط گمانه‌های E10 تا E16، جز زون خورد شده است. با توجه به اینکه، گمانه‌های تزریق می‌بایست از قبل تعیین گردد. پیش‌بینی می‌گردد، در این محدوده عمیق‌ترین مقاطع هنوز دارای جذب قابل‌ملاحظه سوسپانسیون است؛ بنابراین، بایستی در این زون از تزریق روپایین استفاده گردد. در این روش گمانه تزریق می‌تواند عمیق‌تر شود تا جایی که مقدار جذب به اندازه‌ای که تعیین شده کاهش یابد. در این روش، این احتمال که سوسپانسیون به طرف بالا حرکت کرده و به خارج جریان یابد کمتر وجود دارد. همین‌طور در محدوده تونل ۷۵ متری، شوت سرریز سد و ابتدایی جناح چپ نزدیک به سطح دارای قابلیت تزریق به‌طور گسترده دارا است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، در نقشه پهنه‌بندی نهایی مناطق زون خورد شده، مناطق نامناسب کیفیت توده سنگ و هم مناطق بازشدگی درزه‌ها یا حفره‌های کارستی قابل مشاهده است. بنابراین، باید در محدوده‌های کارستی از دوغاب غلیظ پایدار به همراه روان کننده استفاده گردد. با توجه به مطالب گفته‌شده، در این نقشه هم‌زمان تمام محدودهای ضعیف پرده آب‌بند هم از لحاظ نفوذپذیری و هم کیفیت نامناسب سنگ قابل مشاهده است.



شکل (۱۰): فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی نهایی بر اساس

امتیازبندی دوباره جهت پهنه‌بندی نهایی

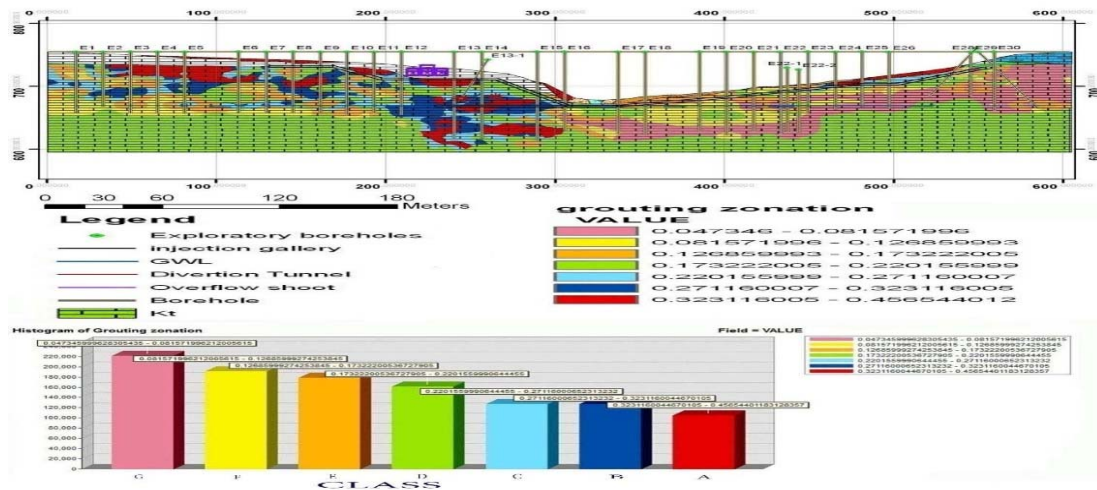
پهنه‌بندی نهایی بیشترین محل‌های تزریق دوغاب

سیمانی در پرده آب‌بند با استفاده از مدل AHP

با توجه به اینکه در این مدل معیارهای زمین‌شناسی مهندسی، بر اساس پارامترهای مختلفی صورت گرفته است، بنابراین، با استفاده از مدل AHP، این چهار معیار به‌وسیله وزن‌های به‌دست‌آمده از نمودار (شکل ۱۱) دوباره برای یکسان‌سازی امتیاز این معیارها و زیرمعیارها جهت پهنه‌بندی در نرم‌افزار GIS طبقه‌بندی^۱ شد. مراحل انجام این پهنه‌بندی به‌طور خلاصه در شکل (۱۱) رسم شده است.



۱. Reclassify



شکل (۱۲): (a) پهنه‌بندی نهایی بر اساس پارامترهای لوژن، کیفیت توده سنگ، رفتار هیدروژئومکانیکی توده سنگ و منطقه گسلیده؛ (b) در این نمودار به ۷ کلاس تقسیم‌بندی شده که A بیشترین ارزش یا بیشترین تزریق دوغاب سیمانی و G کمترین ارزش یا کمترین مقدار تزریق دوغاب سیمانی را دارا است؛ همان‌طور که مشخص است این نقشه تمام خصوصیات نقشه‌های قبلی پهنه‌بندی را از لحاظ تزریق دربر می‌گیرد. بنابراین، جناح چپ از تزریق دوغاب سیمانی بیشتری جهت آب‌بند شدن نیاز دارد. صحت سنجی این نقشه با داده‌های تزریق در محل سد کاملاً مطابقت دارد.

درد. در نتیجه، بایستی از دوغاب غلیظ پایدار با استفاده از فوق روان کننده استفاده گردد تا از هدر رفتن دوغاب جلوگیری گردد. با توجه به مطالب گفته‌شده، اگر بخواهیم نقشه‌ای تهیه کنیم تا تمام پارامترهای زمین‌شناسی مهندسی در آن لحاظ گردد باید با استفاده از این نقشه‌ها، با ارائه روش سلسله‌مراتبی (AHP) نقشه پهنه‌بندی نهایی تهیه گردد. در این نقشه پهنه‌بندی محدوده نامناسب از لحاظ کیفیت توده سنگ و همچنین مناطقی که داری نفوذپذیری بالا بود مشخص گردید.

مراجع

- ۱- لشکری پور، غ، غفوری، م، قالیباف، ح. "پهنه‌بندی تغییرات نفوذپذیری در ساختگاه سد بار با توجه به پارامترهای زمین‌شناسی مهندسی در محیط نرم‌افزار Rockwork2006" ششمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ۱۳۸۸.
- ۲- زبردست، ا، ۱۳۸۰. "کاربرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای" گروه آموزشی شهرسازی، دانشکده هنرهای زیبا، شماره ۱۰ صص ۱۳.
- ۳- قالیباف، ح. "بررسی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک ساختگاه سد سررود"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، گروه زمین‌شناسی مهندسی دانشکده علوم فردوسی مشهد، ۱۳۹۰.

4-Wanga, X., Lei, Q., Lonergana, L., "Heterogeneous fluid flow in fractured layered carbonates and its implication for generation of incipient karst," *Advances in Water Resources*, Volume 107, September 2017, Pages 502-516.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق مشخص گردید، سد سررود در پهنه ساختاری گسل سررود قرار دارد. با بررسی گمانه‌های حفاری، آزمایش‌های مکانیکی توده سنگ، آزمایش‌های نفوذپذیری محور سد و مطالعات آماری، کیفیت توده سنگ ساختگاه مشخص گردید که جناح چپ نسبت به جناح راست از نفوذپذیری بیشتری برخوردار است. در این تحقیق، پهنه‌بندی پرده آب‌بند بر اساس پارامترهای ژئوتکنیکی و آزمایش‌های نفوذپذیری انجام‌شده است. بر این اساس، چهار نقشه پروفیل پهنه‌بندی شامل: نقشه پهنه‌بندی کیفیت توده سنگ؛ نقشه پهنه‌بندی لوژن؛ نقشه پهنه‌بندی رفتار هیدروژئومکانیکی توده سنگ و نقشه محدوده فعالیت گسل‌ها با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (Arc GIS) رقوی (دیجیتال کردن نقشه‌ها) و وزن دهی شدند، به‌طور کلی، در نقشه پهنه‌بندی کیفیت توده سنگ (RQD) کمترین مقدار را در جناح چپ و در زیر تونل ۷۵ متری نشان می‌دهد. در این جناح اثر گسل‌ها باعث خم شدن لایه‌های سازند تیرگان شده است. بنابراین، در این قسمت از محور عمق پرده آب‌بند نیاز به افزایش دارد. با توجه به اینکه در این محدوده سنگ‌ها خردشده هستند؛ بنابراین، ادامه حفاری لازم است تا محدوده زون خورد شده مشخص گردد. نقشه پهنه‌بندی رفتار هیدروژئومکانیکی در مناطقی که کیفیت توده سنگ بالا است مقدار آب‌خوری زیاد است. در نتیجه، اثبات گردید در این مناطق بازشدگی درزه‌ها یا حفره‌های کارستی وجود

- multivariate data, John Wiley & Sons, New York, pp. 21-36.
- 21- Gebrezgabher, S., Taron, A., Amewu, S., "Investment climate indicators for waste reuse enterprises in developing countries: Application of analytical hierarchy process and goal programming model," Resources, Conservation and Recycling, Volume 144, May 2019, Pages 223-232.
 - 22- Bin Chang, N., Hsi Chang, Y., Wen Chen, H., "Fair fund distribution for a municipal incinerator using GIS-based fuzzy analytic hierarchy process," Journal of Environmental Management, Volume 90, Issue 1, January 2009, Pages 441-454.
 - 23- Cay, T., Uyan, M., "Evaluation of reallocation criteria in land consolidation studies using the Analytic Hierarchy Process (AHP)," Land Use Policy. 30 (2013) 541-548.
 - 24- Fan, Y., Luo, Y., Chen, Q., "Investigation on quantity method in vulnerability evaluation indexes of bearing disaster objects," J. Disaster. Sci. 15 (2000) 78-81.
 - 25- Ouma, Y.O., Tateishi, R. "Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment" Water. 6 (2014) 1515-1545.
 - 5- Chen, S.S., C.J. Xu, G.S. Tong., "A meshless local natural neighbour interpolation method to modeling of functionally graded viscoelastic materials," Engineering Analysis with Boundary Elements, Volume 52, March 2015, Pages 92-98
 - 6- Deere, D. U., and Miller, R. P., 1966. "Engineering classification and index properties of rock," Technical Report No. AFNL-TR-65-116. Albuquerque, NM, Air Force Weapons Laboratory.
 - 7- Deere, D.U., and Deere, D.W. 1988. The rock quality designation (RQD) index in practice. In Rock classification systems for engineering purposes, (ed. L. Kirkaldie), ASTM Special publication 984, 91;101. Philadelphia: Am. Soc. Test. Mat.
 - 8- Ewert, F., K., 1985. Rock grouting with emphasis on dam sites, Springer Verlag, Berlin-New York, Tokyo, P. 428.
 - 9- Foyo, A., Sanchez, M. A., Tomillo, C., 2005. "A proposal for a secondary permeability index obtained from water pressure tests in dam foundations," Engineering Geology, V.77, PP. 69-82.
 - 10- Wang, G.Q., Qin, L., Li, G.X., Chen, L.J., "Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: a case study in Beijing, China," J. Environ. Manage. 90 (2009) 2414-2421.
 - 11- Houlsby, A. C., 1976. "Routine interpretation of lugeon water test," Proc. Quar. Eng. Geology, PP. 303-313.
 - 12- Houlsby, A., C., 1990. "Construction and design cement grouting," John Wiley and Sons, Inc, USA.
 - 13- Lisa, H., Gunnar, G., Tommy, F.A.N., "A statistical grouting decision method based on water pressure tests for the tunnel construction stage – A case study," Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 33, January 2013, Pages 54-62.
 - 14- Cheng, J., Tao, J., " Fuzzy comprehensive evaluation of drought vulnerability based on the Analytic Hierarchy Process: an empirical study from Xiaogan city in Hubei Province," Agric. Sci. Procedia. 2010, 1, 126-135.
 - 15- Kutzner, C., 1996. Grouting of rock and soil: A. A. Balkema/ Rotterdam/ Brook field, 271 P.
 - 16- Ramesh S.V., Teegavarapu, Tadesse Meskele, Chandra S. Pathak., "Geo-spatial grid-based transformations of precipitation estimates using spatial interpolation methods" Computers & Geosciences, Volume 40, March 2012, Pages 28-39.
 - 17- Saaty, T.L., 1980. "The Analytical Hierarchy Process, Planning, Priority, Resource Allocation" USA: RWS Publication
 - 18- Saaty, T.L., 1990. Decision Making for leaders, USA: RWS Publication.
 - 19- Rabia, S.A., Sheikh, Water resource vulnerability assessment in Rawalpindi and Islamabad, Pakistan using Analytic Hierarchy Process (AHP), J. King Saud Univ-Sci. 28 (2016) 293-299.
 - 20- Sibson, R., 1966. "A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation," Chapter 2 in Interpolating

Preparation of Zoning Maps for Cut-off Wall Using the Geotechnical parameters and Analytic Hierarchal Process (AHP). Case study: Sarroud Dam

Hamid Ghalibaf Mohammad abadi^{*33}

Mohamma Ghafoori³⁴

Gholam Reza Lashkaripour³⁵

Naser Hafezi Moghaddas³⁶

Abstract

Since the mechanism of constructing the entire earth dam projects in terms of structure, shape and type of dam is somewhat the same, problems that dams would confront in the future could be due to the lack of a decent understanding of site geotechnical characteristics regarding penetration and improvement of their foundations. Sarroud Dam is located in the north of Khorasan Razavi Province in the city of Kalat. Being located in a fault zone, it is necessary to inject the cut-off wall. Using remote sensing techniques, geographic information system, Landsat satellite imagery and field observations in this research, it was specified that the dam has been located within the range of the Sarroud Fault. According to this, the foundation of axis, overflow shoot and the sides of the dam were evaluated in terms whether or not being affected by fault activities.

It was divulged that the left side is more affected than the right. In addition, topographic maps and geological maps were prepared and faults were identified. Examining drill boreholes, the following were, therefore, evaluated; mechanical rock mass tests, permeability tests, statistical studies, rock mass quality and site behaviour. It was also exposed that the left side has more permeability than the right. According to the obtained information, the zonation of the cut-off wall based which the Geotechnical parameters & permeability tests in the Arc GIS was undertaken, was, subsequently, weighed & interpolated through the neighbor method. The outcome was preparation of the zonation maps of the injection/grouting? axis at the cut-off wall. Moreover, the zonation map for the most widely-injected areas was prepared using the Hierarchy Model (AHP).

Keywords:

Sarroud Dam, grout injection, Geotechnical parameters, permeability, cut-off wall zonation, AHP models

³³ Phd students in engineering Geology, Ferdowsi University Of mashhad, mashhad,(h.ghalibaf@yahoo.com)

³⁴ Professor of rock mechanics, faculty of Ferdowsi University Of mashhad, mashhad

³⁵ Professor of engineering Geology, faculty of Ferdowsi University Of mashhad, mashhad

³⁶ Professor of engineering Geology, faculty of Ferdowsi University Of mashhad, mashhad