

# تعیین جهت بهینه پرده آب بند سد مخزنی پلرود بر مبنای مطالعات زمین آماری داده های RQD ساختگاه

وامق رسولی<sup>i</sup>، رحیم حسنی<sup>ii</sup>، امید دلارام<sup>iii</sup>

## چکیده

برای تعیین جهت و موقعیت بهینه پرده آب بند سدها، می‌توان از اندیس کیفی سنگ؛ که پارامتری برای معرفی و ارائه کیفیت برجای توده‌های سنگی است، استفاده کرد. بدین منظور، می‌توان بررسی زمین آماری را که ابزاری قدرتمند در تحلیل تغییرات فضایی داده هاست، به کار برد. در این مقاله با استفاده از اندیس کیفی سنگ حاصل از ۳۴ گمانه حفاری شده در ساختگاه سد مخزنی پلرود، نقشه ناهمسان گردی اندیس کیفی سنگ در مقاطع و ترازهای مختلف ترسیم شد و سپس با تحلیل نقشه‌های حاصل، جهت بهینه از نظر کمترین ناهمسان گردی اندیس کیفی سنگ مشخص شد. در ادامه با استفاده از روش کریجینگ، اندیس کیفی سنگ در مقاطع و ترازهای مختلف تخمین زده شد و بهترین محدوده از نظر کیفیت توده سنگ به دست آمد. در نهایت، با استفاده از نقشه‌های حاصل از کریجینگ و ناهمسان گردی اندیس کیفی توده سنگ، جهت شمال غرب-جنوب شرق به عنوان راستای مناسبی برای احداث پرده آب بند پیشنهاد شد.

## کلمات کلیدی

زمین آمار، اندیس کیفی سنگ (RQD)، ناهمسان گردی، پرده آب بند، سد مخزنی پلرود

## *Determining the Optimum Direction for Grout Curtain Construction in Polroud Reservoir Dam Based Upon the Geostatistical Analyses of RQD Values*

V.Rasouli, R.Hasani, O.Delaram

### ABSTRACT

In order to determine the optimum direction for the construction of grout curtain in dams, rock quality designation index parameter values can be analysed as an indication for the insitu rock mass quality. To do this, geostatistical approach, which a robust technique to analyse the spatial variation and data anisotropy, can be employed. In this paper, using the Rock Quality Designation (RQD) index values obtained from 34 boreholes drilled in polroud dam, the anisotropy map for RQD value is obtained at different sections and horizons. Analysing these maps, the direction with less variation in RQD value, corresponding to the optimum direction for the construction of the curtain, was initially determined. Then, using kriging method, the RQD value estimated at different sections and horizons, from which the area of study is grouped into dsifferent zones according to the quality of rock. Finally, the northwest-southwest direction is proposed as the optimum direction based on the anisotropy and kriging maps for the grout curtain construction.

<sup>i</sup> عضو هیأت علمی دانشکده نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تلفن ۰۲۱-۸۸۷۷۸۰۸۱

<sup>ii</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک سنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تلفن ۰۹۱۲۰۱۶۸۳۹۷

<sup>iii</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک سنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تلفن ۰۹۱۲۰۳۲۴۱۷۶

## KEYWORDS

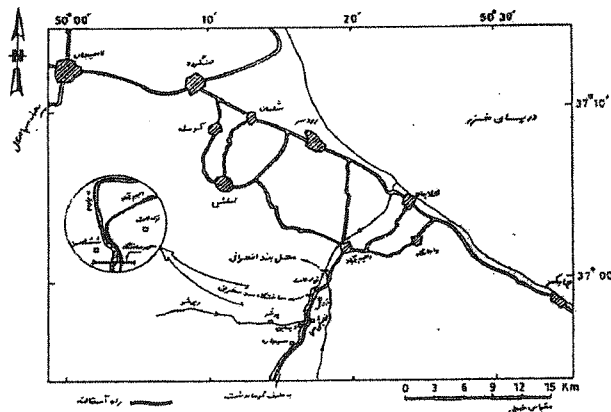
Geostatistics, Rock Quality Designation index (RQD), Anisotropy, Grout curtain, Polroud reservoir dam

ریز آن شامل ۴ درجه قطعی با ابعاد ۱۲/۵×۱۳ متر است [۱].

## ۱- مقدمه

### ۲-۲- موقعیت جغرافیایی

ساختمان سد پرورد در جنوب شرقی استان گیلان با مختصات "۴۸' ۵۸" عرض شمالی و "۶' ۱۷" طول شرقی در فاصله ۲۹ کیلومتری جنوب شهر رودسر، بر روی رودخانه پرورد واقع شده است. موقعیت جغرافیایی محدوده طرح و راههای دسترسی در شکل (۱) آمده است [۱].



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی محدوده طرح و راه های دسترسی [۱]

### ۳-۲- مطالعات زمین شناسی منطقه

در بخش عمده ای از محدوده مورد مطالعه، به دلیل پوشش گیاهی، امکان تشخیص عوارض ساختاری میسر نیست، اما به استناد شواهد زیرسطحی و تطابق با برونزدهای موجود، می توان تا حدودی به ساختار کلی زمین شناسی ساختمان دست یافت. ساختمان سد پرورد در میان محدوده چین خورده ای واقع شده که در آن، واحدهای رسوبی ژوراسیک شامل شیلی- ماسه سنگی و آهکی و واحد آشفشانی کرتاسه تحت تاثیر قرار گرفته است. محور چین خوردگی در محدوده ساختمان خاوری- باختری است و از این رو، از روند عمومی چین خوردگیها در مقیاس منطقه ای پیروی می کند [۱].

### ۴-۲- مطالعات ژئوتکنیکی

حفر گمانه های اکتشافی در محدوده ساختمان؛ که همراه با انجام آزمایش های صحرائی بود، اطلاعاتی را درباره ویژگی های ژئوتکنیکی سنگ بستر ساختمان فراهم کرده است. مهمترین این داده ها، اطلاعات مربوط به ویژگی های نفوذپذیری و کیفیت توده سنگ است.

به دلیل وجود پوشش گیاهی انبوه در سطح منطقه اعم از اراضی کشاورزی و جنگل های طبیعی، حفر گمانه ها از اهمیت

سدسازی در کشورهای کم آبی نظیر ایران، از اهمیت ویژه ای برخوردار است. انجام پروژه های سدسازی، به بررسی های جامعی است که می تواند در انتخاب نوع، ارتفاع و محل سد تاثیر بسزایی داشته باشد.

پیشینه بررسی های ژئوتکنیک طرح پرورد به ۲۰ سال پیش می رسد؛ اما بررسی های اولیه به دلیل تفاوت در محل ساختمان های مورد نظر، توصیف های زمین شناسی، بر آوردهای اقتصادی و نتایج حاصل تفاوت های زیادی با بررسی های اخیر دارد. نظر به اینکه بخش عمده محدوده مطالعاتی از پوشش های گیاهی مختلفی پوشیده شده است، برای آگاهی از وضعیت زمین شناسی، لازم بود گمانه های متعددی در گستره طرح حفر شود تا از طریق تلفیق داده های حاصل، جمع بندی و ارزیابی وضعیت محدوده طرح از نظر زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، امکان پذیر شود.

برای تعیین جهت و موقعیت بهینه پرده آب بند سد، می توان از مقادیر RQD که پارامتری برای معرفی و ارائه کیفیت برجای توده های سنگی محسوب می شود، استفاده نمود. همچنین می توان از روش زمین آمار؛ که ابزاری قدرتمند، در تحلیل تغییرات فضایی داده هاست، برای تعیین ناهمسان گردی RQD، و نیز تهیه نقشه مقادیر RQD استفاده کرد [۱].

در این مقاله قصد بر این است تا با مطالعات آماری و زمین آماری بر روی مقادیر RQD حاصل از مغزه های به دست آمده از گمانه های حفر شده، مطالعاتی در زمینه ارتباط RQD با عمق، آنیزوتروپی منطقه و سرانجام پیشنهاد بهترین جهت احداث پرده آب بند سد صورت گیرد.

## ۲- معرفی ساختمان سد پرورد

### ۱-۲- مشخصات طرح سد مخزنی پرورد

سد مخزنی پرورد از نوع خاکی با هسته نفوذناپذیر رسی و با مخزنی به حجم ۹۹ میلیون متر مکعب است. طول دریاچه ۸ کیلومتر و وسعت آن در رقوم نرمال ۲/۶۵ کیلومتر مربع است. ارتفاع تاج از سد از کف رودخانه ۸۳ متر و طول تاج ۵۳۰ متر می باشد. حجم کل خاکریزی در این مرحله معادل ۹/۲۴۸ میلیون متر مکعب برآورد می شود. سیستم انحراف سد شامل ۲ رشته تونل به طول های ۹۰۶ و ۹۱۵ متر در جناح راست و سر

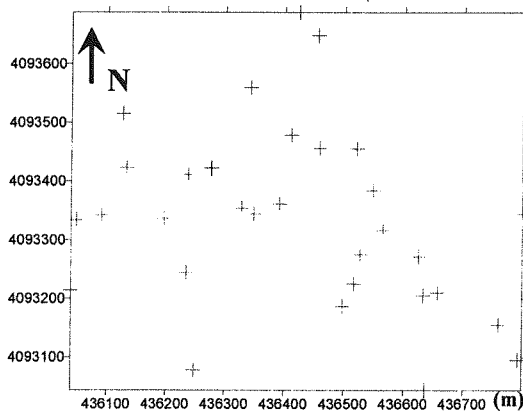
جدول (۱) رابطه RQD با کیفیت سنگ را نشان می‌دهد:

جدول (۱): رابطه RQD با کیفیت سنگ [۳]

RQD/%	> ۲۵	۲۵-۵۰	۵۰-۷۵	۷۵-۹۰	۹۰-۱۰۰
کیفیت سنگ	خیلی ضعیف	ضعیف	متوسط	خوب	خیلی خوب

### ۳-۱- بررسی وضعیت منطقه حفاری شده

تعداد ۲۴ گمانه در منطقه‌ای به ابعاد  $۱۴۰۰ \times ۸۰۰$  کیلومتر مربع حفر شده است. به دلیلی اینکه دو گمانه بدلیل فاصله زیاد از گمانه‌های دیگر و عمق کم (۸ و ۲۰ متر) از مطالعات RQD حذف شده‌اند؛ ابعاد منطقه مورد بررسی به  $۷۰۰ \times ۸۰۰$  کیلومتر مربع کاهش یافت (شکل ۲). توپوگرافی ساختگاه و موقعیت ۳۲ گمانه حفاری شده در آن نیز در شکل (۳) مشاهده می‌شود. از روی مغزه‌های حاصل از گمانه‌های حفاری شده، مقدار RQD در اعماق مختلف در هر یک از گمانه‌ها اندازه‌گیری شده است. در دو بخش بعدی به بررسی ارتباط تغییرات RQD با تغییرات عمق و همچنین رابطه بین تغییرات RQD و تغییرات Z (ارتفاع از سطح دریا) می‌پردازیم.



شکل (۲): موقعیت ۳۲ گمانه حفاری شده در ساختگاه

### ۳-۲- بررسی تغییرات مقادیر RQD نسبت به عمق

۳۲ گمانه بررسی شده دارای عمق حداقل ۲۵ متر و حداکثر ۱۱۰ متر هستند. به منظور سهولت بیشتر در انجام مطالعات زمین آماری، مقادیر RQD به ازای طول‌های ۱۰ متری از عمق، منظم سازی شده، سپس نمودار تغییرات RQD نسبت به عمق به ازای هر ۱۰ متر افزایش عمق در هر یک از ۳۲ گمانه بررسی قرار گردید. انتظار می‌رود که به طور طبیعی، روند RQD نسبت به عمق، افزایشی باشد؛ زیرا با افزایش عمق میزان هوازگی و درزه داری سنگ کاهش یافته و به کیفیت آن افزوده شود.

بسیار زیادی برخوردار بود. از این رو، طی مطالعات اخیر در محدوده ساختگاه مجموعاً ۲۸ گمانه حفر شد که شامل ۹ گمانه در تکیه گاه راست می‌باشد. اهداف اصلی حفر گمانه‌ها شناخت ردیف سنگ شناسی در منطقه و تعیین سنگ شناسی غالب و تعیین کننده در منطقه (با توجه به محدودیت رخنمون‌های سنگ موجود)، تعیین پارامترهای ژئومکانیکی سنگ‌های تشکیل دهنده، ضخامت و وضعیت ژئوتکنیکی آبرفت (در بستر رودخانه) و واریزه‌های دامنه‌ای (در تکیه گاهها)، شرایط آب زیر زمینی در محدوده و نیز باز شناخت منطقه از نظر وجود یا نبود گسل‌های مهم بود. حجم کل حفاری‌ها در این مرحله مطالعاتی به ۲۲۰۰ متر بالغ شد [۲].

حفاری‌های اکتشافی در محدوده طرح نشانگر دامنه وسیعی از تغییرات وسیعی در کیفیت توده سنگ است. برای ارزیابی کیفی توده سنگ همزمان با عملیات حفاری گمانه‌ها شاخص کیفی سنگ (RQD) محاسبه و ثبت شد. برای هر گمانه شاخص کیفی برای مقاطع ۵ تا ۱۵ متری نشان داده شده است [۲].

### ۳- مطالعات آماری مقادیر RQD

شاخص کیفیت سنگ (RQD)، به عنوان در صد مغزه حفاری بازایی شده با طول‌های سالم ۱۰۰ میلی‌متری یا بیشتر، تعریف می‌شود [۳].

$$\%RQD = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{L} \times 100 \quad X_i \geq 100mm \quad (1)$$

$L$  طول کل حفاری است.

RQD همچنین می‌تواند از فاصله داری درزه به دست آید. رابطه بین RQD و فاصله داری درزه خطی در حالت کلی چنین است [۳]:

$$RQD = 100e^{-\lambda t} (0.1\lambda + 1) \quad (2)$$

$\lambda$  تناوب درزه، معکوس فاصله داری خطی و  $t$  طول مغزه حفاری برای محاسبه RQD است که بطور مرسوم برابر ۱۰۰ میلیمتر در نظر گرفته می‌شود. مقدار طول بهینه ( $t_{opt}$ ) را بمنظور اینکه محدوده تغییرات RQD حداکثر گردد می‌توان از رابطه زیر بدست آورد [۳]:

$$t_{opt} = \frac{2}{\lambda_{max} - \lambda_{min}} \times \ln \frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}} \quad (3)$$

که در آن  $\lambda_{min}$  و  $\lambda_{max}$  بترتیب، حداکثر و حداقل تناوب درزه داری منطقه می‌باشند که از روی اطلاعات حاصل از گمانه‌های منطقه قابل برآورد است.

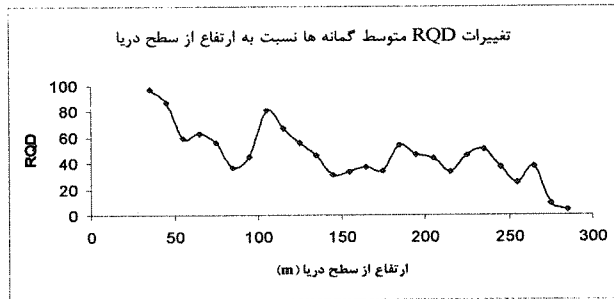
در حالت کلی می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود [۳]:

$$RQD = 100e^{-0.11\lambda} (0.1\lambda + 1) \quad (4)$$

شدن به مناطق سطحی و خاکی مقدار RQD کاهش یابد. همانطور که در شکل مشخص است؛ این انتظار در برخی ارتفاعات برآورده نشده است ولی در کل، روند کاهش RQD در کل منطقه، با افزایش ارتفاع قابل رویت است (شکل (۵)).

#### ۴- مطالعات زمین آماری مقادیر RQD

تحلیل زمین آماری در این مطالعه شامل تحلیل آنیزوتروپی در ترانزها و مقاطع مختلف و نیز تحلیل کیفیت توده سنگ منطقه با توجه به نقشه کریجینگ مقادیر RQD در ترانزها و مقاطع گوناگون است [۴].

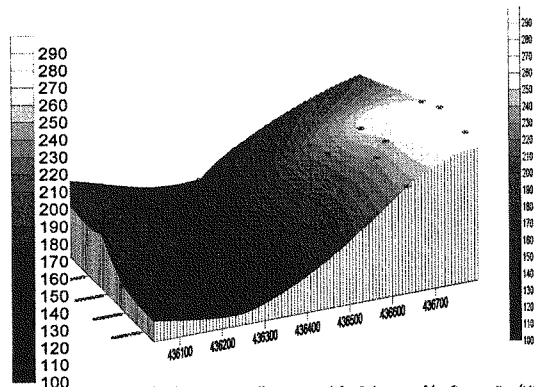


شکل (۵): تغییرات RQD نسبت به ارتفاع از سطح دریا

#### ۴-۱- تحلیل آنیزوتروپی RQD

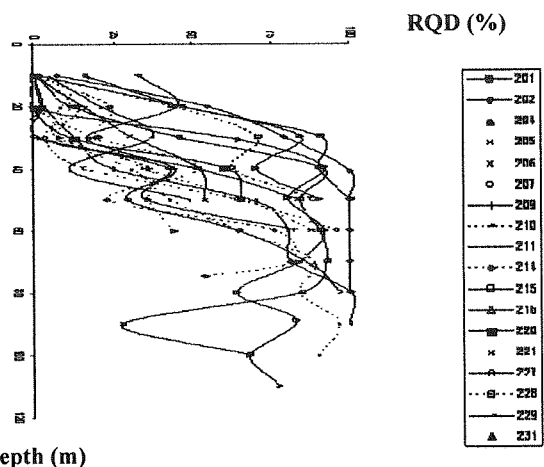
ناهمسان گردی به تغییرات دامنه تأثیر و یا سقف ریوگرام در جهات مختلف اطلاق می‌شود و به همین دلیل ریوگرام ابزار مناسبی برای تشخیص ناهمگنی‌هایی است که موجب بروز ناهمسان گردی می‌شوند. برای این منظور کافی است ابتدا ریوگرام در جهات مختلف رسم شود و سپس ریوگرامهای متعلق به جهات مختلف با هم مقایسه شوند. به طور کلی می‌توان دو نوع ناهمسان گردی شامل ناهمسان گردی هندسی و منطقه‌ای را تعریف نمود. درحالی‌که ریوگرامهای رسم شده برای کمیت معینی در یک محیط خاص در جهات مختلف دارای سقف یکسان؛ ولی دامنه‌های تأثیر متفاوتی باشند برای آن کمیت در آن محیط ناهمسان گردی هندسی وجود خواهد داشت، اما ناهمسان گردی منطقه‌ای در حالی ظاهر می‌شود که تغییرپذیری (ساختاری و یا بدون ساختار) یعنی سقف ریوگرام در جهات مختلف متفاوت باشد که در این حالت با رسم ریوگرام در جهات مختلف ممکن است به ریوگرام‌هایی با دامنه تأثیر یکسان ولی با سقف متفاوت روبرو شویم [۵].

برای بررسی وضعیت آنیزوتروپی RQD منطقه تغییرنمایی در جهات مختلف ترسیم شد، به این ترتیب که به ازای مقادیر مختلف  $h$  (گام)، مقادیر ریوگرام  $\gamma(h)$  به دست آمد، و سپس مدل ریوگرام مناسب بر این مقادیر برازش داده



شکل (۳): توپوگرافی ساختگاه و موقعیت ۳۲ گمانه حفاری سده در آن

این روند در حالت کلی در شکل (۴) مشاهده می‌شود. از ۲۴ گمانه حفاری شده، تنها داده‌های مربوط به ۱۸ گمانه قابل تفسیر است؛ زیرا در سایر گمانه‌ها بی‌نظمی‌هایی در مقادیر RQD مشاهده می‌شود. نمودار تغییرات RQD نسبت به عمق در این گمانه در شکل (۴) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، در کلیه گمانه‌ها با افزایش عمق، RQD افزایش می‌یابد که این نشان می‌دهد که بطور کلی با یک منطقه نرمال سروکار داریم؛ هر چند که در برخی مناطق بی‌نظمی‌هایی نیز مشاهده می‌شود.



شکل (۴) تغییرات RQD نسبت به عمق در ۱۸ گمانه مورد بررسی

#### ۳-۳- بررسی تغییرات مقادیر RQD نسبت به ارتفاع از سطح دریا (z)

همان‌طور که ذکر شد مقدار متوسط RQD در هر گمانه به ازای طول‌های ۱۰ متری محاسبه شده است و با این توضیح می‌توان مقدار متوسط مقادیر RQD را در اعماق مختلف محاسبه نمود.

نمودار تغییرات RQD نسبت به تغییر ارتفاع در شکل (۵) نشان داده شده است. انتظار داریم با افزایش ارتفاع و نزدیک

جهات مختلف، راستای شمال غرب- جنوب شرق به عنوان جهت بهینه برای موقعیت پرده آب بند می‌باشد. این نکته لازم به ذکر است که در جهات دیگر این همگنی کمتر است و یا مشاهده شود.

#### ۴-۱-۴ تحلیل آنیزوتروپی در مقاطع مختلف

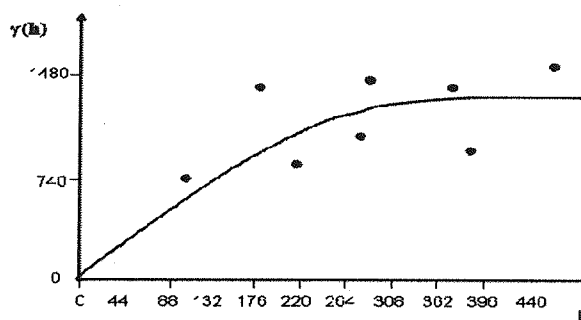
علاوه بر بررسی آنیزوتروپی در ترازهای مختلف می‌توان مقاطع متفاوت آن را نیز مطالعه کرد. این مرحله از مطالعه در واقع مکمل تحلیل‌های بالاست.

ابتدا در چهار جهت اصلی، مقطعی در نظر گرفته شد و سپس با رسم وریوگرام و برازش مدل مناسب، نقشه دوبعدی وریوگرام برای این چهار مقطع مطابق شکل (۸) ترسیم شد. با توجه به شکل، میزان تغییرات RQD در جهات مختلف، متفاوت است. در راستای شمال غرب- جنوب شرق میزان تغییرات تا حدود ۸۲۰۰ متغیر است، که این تغییرات در جهات دیگر شمال شرق - جنوب غرب تا ۲۰۰۰۰، راستای شرق- غرب ۱۱۰۰۰ و راستای شمال - جنوب ۲۰۰۰۰ می‌باشد؛ اما در این میان راستاهای شمال غرب - جنوب شرق و شمال- جنوب تا ۱۳۰۰۰ است. با توجه به میزان تغییرات و همچنین بازه تغییرات (میزان همگنی مقادیر) راستای شمال جنوب و شمال غرب - جنوب شرق دارای کمترین بازه و مقدار در تغییرات RQD است که نشان دهنده میزان تغییرات همگن در این دو راستاست. با توجه به قرار گرفتن امتداد رودخانه در راستای شمال- جنوب، این راستا محل مناسبی برای احداث پرده آب بند نیست؛ بنابراین می‌توان جهت شمال غرب- جنوب شرق را با توجه میزان این تغییرات بعنوان راستای مناسب برای احداث پرده آب بند پیشنهاد کرد که با آنچه در تحلیل آنیزوتروپی سطوح در بخش قبلی مطالعات آمده است، مطابقت دارد.

#### ۴-۲-۴ ارزیابی کیفیت توده سنگ با روش کریجینگ

به طور کلی، تخمین زمین آماری فرآیندی است که طی آن می‌توان مقدار یک کمیت در نقاط با مختصات مجهول را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگر با مختصات معلوم به دست آورد [۴]. برای بررسی وضعیت کیفی توده سنگ منطقه، نقشه کریجینگ مقادیر RQD در ترازهای مختلف از سطح دریا و مقاطع مختلف ترسیم شد. به کمک این نقشه‌ها وضعیت کیفی توده سنگ منطقه برای مقاطع و ترازهای مختلف بررسی شد که در ادامه به آن می‌پردازیم.

شکل (۶) نمونه ای از وریوگرام ترسیم شده در منطقه است. پس از ترسیم وریوگرام‌ها در جهات مختلف، می‌توان نقشه دوبعدی وریوگرام را ترسیم کرد. به کمک چنین نقشه‌هایی می‌توان آنیزوتروپی RQD را در منطقه برای مقاطع و ترازهای مختلف تشخیص داد. در این مقاله برای ارزیابی آنیزوتروپی RQD، نقشه دوبعدی وریوگرام در ترازهای مختلف از سطح دریا و همچنین در مقاطع مختلف ترسیم شد که در ادامه به آنها خواهیم پرداخت.

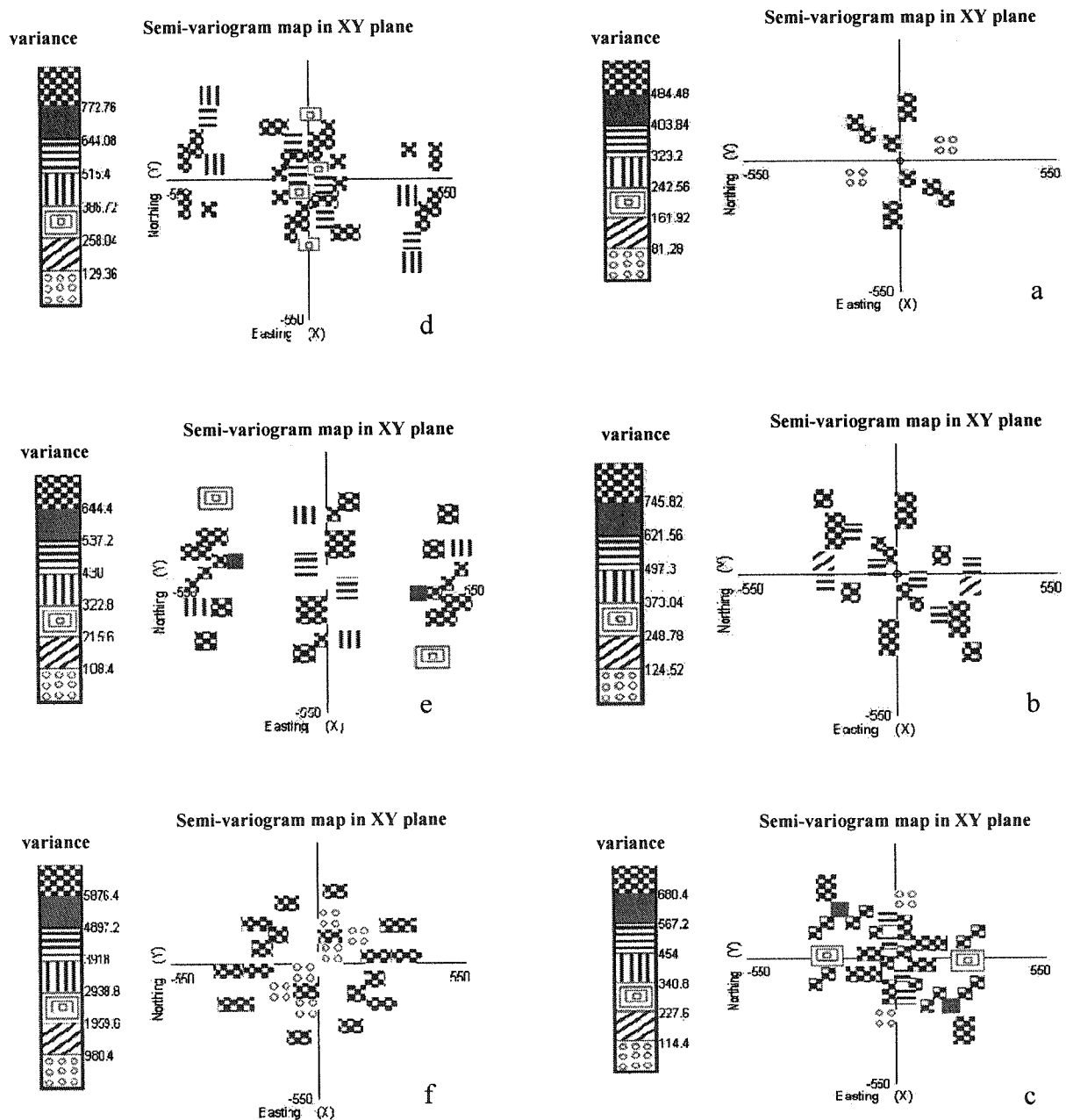


شکل (۶) نمونه ای از وریوگرام ترسیم شده در منطقه

#### ۴-۱-۴ تحلیل آنیزوتروپی در ترازهای مختلف از سطح دریا

برای سهولت بیشتر در مطالعات زمین آماری، مقادیر RQD به ازای طول‌های ۱۰ متری از عمق منظم سازی شده است. برای بررسی آنیزوتروپی RQD منطقه باید نقشه وریوگرام دوبعدی را در سطوحی با اختلاف تراز ۱۰ متری نسبت به یکدیگر ترسیم کرد. به علت ناهمگونی سطح زمین تا تراز ۱۸۰ متری از سطح دریا هنوز بسیاری از نقاط، بالای سطح زمین قرار دارند، به همین خاطر نقشه مقادیر RQD برای ترازهای ۴۰ تا ۱۸۰ متری از سطح دریا ترسیم شد. انتظار داریم که با افزایش عمق (کاهش ارتفاع از سطح دریا)، با افزایش مقادیر RQD و همچنین کاهش آنیزوتروپی و ناهمگنی آن مواجه شویم.

مطابق نقشه وریوگرام دوبعدی ترسیم شده (نقشه آنیزوتروپی RQD) در ترازهای مختلف، شکل (۷) این امر به وضوح قابل مشاهده است. همان طور که ملاحظه می‌شود با افزایش عمق میزان تغییرات RQD کاهش یافته و همگنی افزایش می‌یابد. علاوه بر این، میزان کشیدگی بیضوی ناهسانگردی منطقه‌ای، در راستای شمال غرب- جنوب شرق، بیشتر است که این امر نشان دهنده یکسان بودن میزان تغییرات در این راستاست. این کشیدگی در راستای مورد نظر با افزایش عمق، شعاع تأثیر خود را حفظ می‌کند و تغییر نمی‌یابد، پی با توجه به میزان تغییرات RQD مشاهده شده برای ترازهای متفاوت در



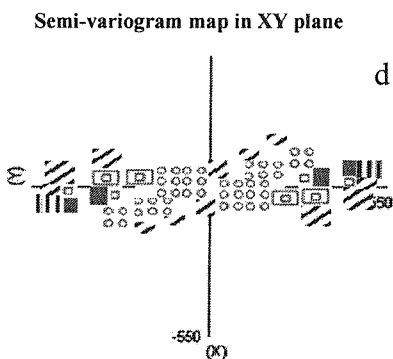
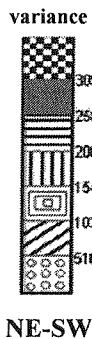
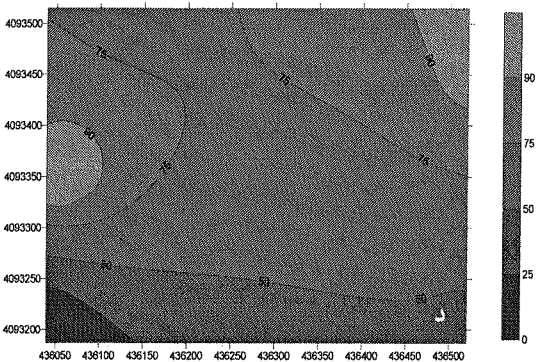
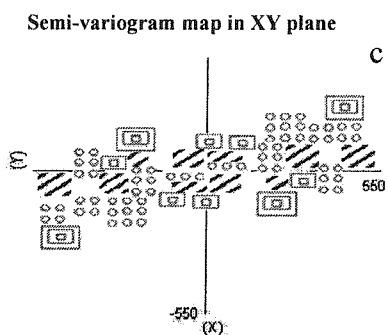
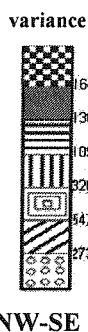
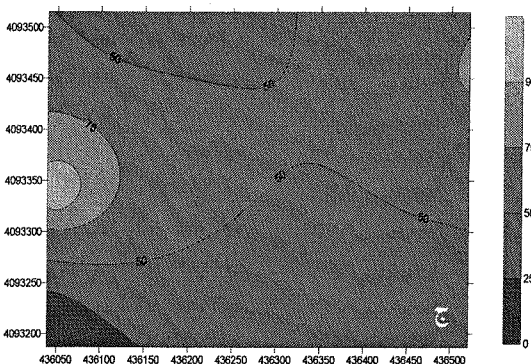
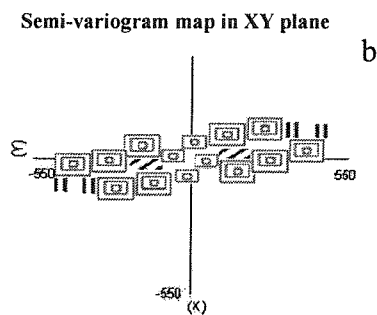
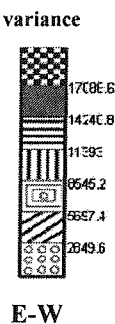
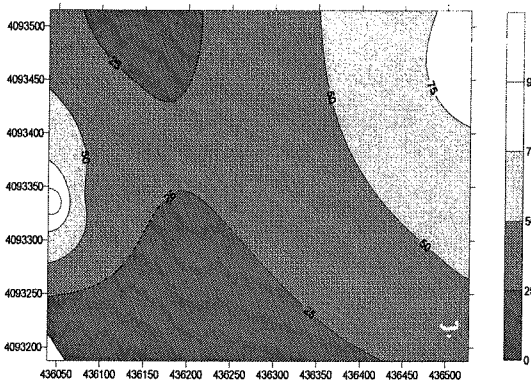
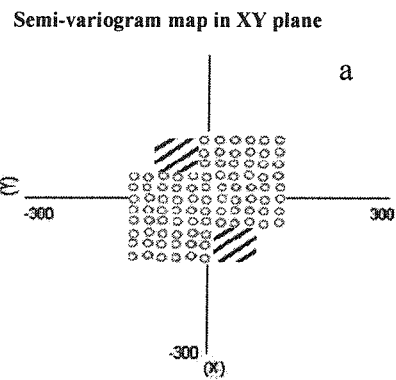
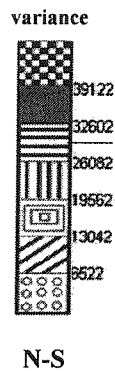
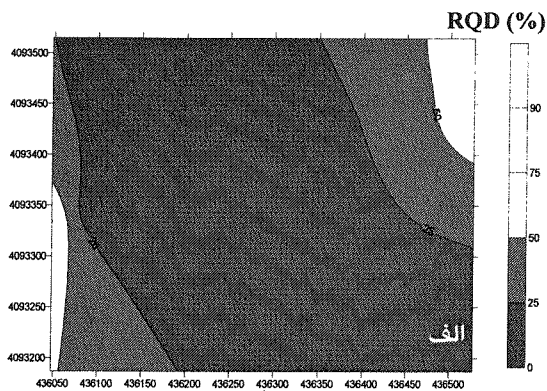
شکل (۷): نقشه وریوگرام دوبعدی ترسیم شده (نقشه آنیزوتروپی RQD) در ترازهای مختلف

نقشه کریجینگ در مقاطع سطوح مختلف ترسیم و بررسی می‌شود. مقاطع انتخابی در امتدادهای شمال-جنوب، شمال غرب-جنوب شرق، شمال شرق-جنوب غرب و شرق-غرب می‌باشند. همان طور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، با افزایش عمق، کیفیت توده سنگ نیز افزایش می‌یابد.

#### ۴-۲-۱ ارزیابی کیفیت توده سنگ در ترازهای مختلف از سطح دریا

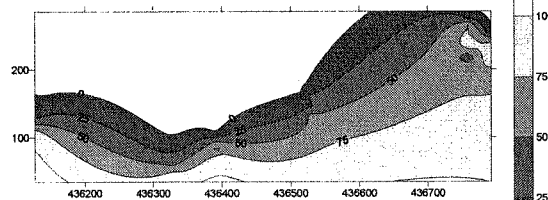
در این مرحله از مطالعه، نقشه کریجینگ در سطوح مختلف ترسیم و بررسی می‌شود. به علت ناهمواری سطح زمین تا تراز ۱۸۰ متری از سطح دریا هنوز بسیاری از نقاط، بالای سطح زمین قرار دارند، مقاطع انتخابی در ترازهای ۱۶۰، ۱۳۰، ۱۰۰ و ۷۰ متری از سطح دریا ترسیم شده‌اند.

#### ۴-۲-۲ ارزیابی کیفیت توده سنگ در مقاطع مختلف در این مرحله از مطالعه برای ارزیابی کیفیت توده سنگ

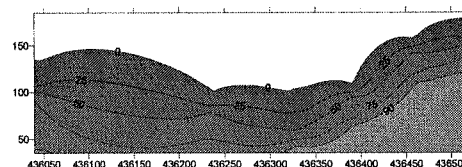


شکل (۹): نقشه کریجینگ مقادیر RQD در ترازهای مختلف از سطح دریا (الف) - تراز ۱۶۰ متری از سطح دریا. ب- تراز ۱۳۰ متری از سطح دریا. ج- تراز ۱۰۰ متری از سطح دریا. د- تراز ۷۰ متری از سطح دریا.

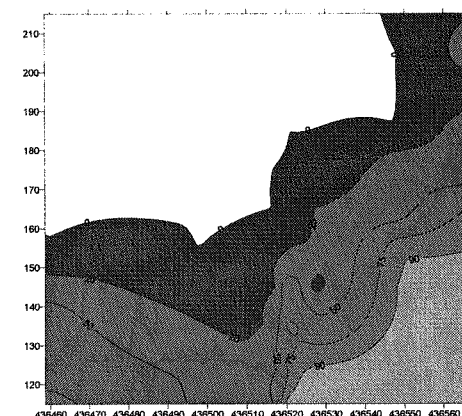
شکل (۸): نقشه دوبعدی وریوگرام برای چهارمقطع در جهات اصلی



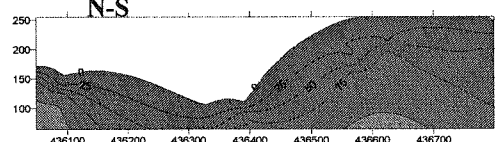
NW-SE



NE-SW



N-S



E-W

شکل (۱۰): نقشه کریجینگ مقادیر RQD در مقاطع مختلف

## ۵- نتیجه گیری

با توجه به مطالعات آماری و زمین آماری مقادیر RQD به دست آمده از حفاری ۳۴ گمانه در منطقه سد پرود، روند تغییرات کلی RQD، ناهمسان گردی و کیفیت توده سنگ منطقه بررسی و ارزیابی شد.

نمودار تغییرات مقادیر RQD در گمانه‌های مختلف روند افزایشی را با کاهش سطح تراز نسبت به سطح دریا نشان می‌دهد. با توجه به تحلیل آماری صورت گرفته، تعداد ۱۸ گمانه از ۳۴ گمانه حفاری شده در منطقه برای مطالعات زمین

آماري مناسب تشخیص داده شد.

در این مطالعه، میزان ناهمسان گردی RQD با توجه به عمق و جهات مختلف بررسی شد. بررسی نقشه دو بعدی و ریوگرام مقادیر RQD، در ترازهای مختلف نشان داد که میزان ناهمگنی با افزایش عمق، کاهش یافته و همگن می‌شود. همچنین در بررسی آنیزوتروپی در جهات مختلف هریک از ترازها و نیز مقاطع مختلف (در چهار جهت امتداد اصلی) جهت شمال غرب- جنوب شرق دارای کمترین ناهمسان گردی نسبت به سایر جهات می‌باشد، پس این امتداد به عنوان راستای مناسبی برای احداث پرده آب بند پیشنهاد می‌شود.

با توجه به مزایای روش کریجینگ، از این روش برای ترسیم نقشه دوبعدی تغییرات مقادیر RQD استفاده شد. در ادامه مطالعات، نقشه‌های دو بعدی تغییرات RQD، ترسیم شد که ارزیابی نقشه‌های به دست آمده نشان دهنده کیفیت بالای توده سنگ در تکیه گاه‌های سد است. همچنین این اشکال نشان می‌دهد در جهت شمال غرب و جنوب شرق میزان تغییرات یکسان است و توده سنگ کیفیت نسبتاً بالایی دارد. با توجه به این موارد این امتداد می‌تواند راستای مناسبی برای احداث پرده آب بند باشد.

در نهایت با استفاده از نقشه‌های حاصل از کریجینگ و ناهمسان گردی مقادیر RQD، جهت شمال غرب- جنوب شرق به عنوان راستای مناسبی برای احداث پرده آب بند پیشنهاد می‌شود.

## ۶- فهرست مراجع

- [۱] شرکت مهندسی مشاور مه‌اب قدس، گزارش عملیات ژئوتکنیکی فاز یک سد مخزنی پرود، ۱۳۷۷.
- [۲] سیار، امیر، گزارش زمین شناسی مهندسی سد مخزنی پرود، شرکت مهندسی مشاور مه‌اب قدس، ۱۳۷۷.
- [۳] Harrison J.P., Hudson J.A., 'Engineering rock mechanics', illustrative worked examples, Pergamon, London, 2000
- [۴] Ayalew L., Reik G., Busch W., 'Characterizing weathered rock masses-a geostatistical approach', Rock mechanics and Mining science, 2001
- [۵] Postolski.T A, Sinclair. A J., ' Geology as a basis for refining semivariogram models for porphyry deposit', Exploration and mining Geology, 7, pp 45-50, 1998
- [۶] Heping Xie, Hongquan Sun, Yang Ju, Zhigang Feng., 'Study on generation of rock fractured surface by using fractal' International Journal of Solids and structures 38 pp 5765 5787, 2001