

## ارزیابی نفوذپذیری ساختگاه سد ماشکید علیا با استفاده از شاخص نفوذپذیری ثانویه SPI

سیاوش سپاهیان<sup>۱</sup>، حبیب الرحمان معصومی<sup>۲\*</sup>، ایوب کرد انجری<sup>۳</sup>

۳-۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، پردیس دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی، اداره کل راه و شهرسازی جنوب استان سیستان و بلوچستان (ایران شهر)

Habib.m0060@hotmail.com

### چکیده

سد خاکی ماشکید علیا با هسته رسی در فاصله ۱۶۴ کیلومتری جنوب غربی شهرستان سراوان در حال ساخت می باشد. در بحث طراحی عملیات تزریق یکی از مسائل مهم شناخت صحیح نفوذپذیری و وضعیت زمین شناسی و هیدرولیکی منطقه مورد نظر است. روشی که تاکنون برای بررسی نفوذپذیری توده های سنگی به کار برده شده است روش آزمایش لوژان می باشد که در این روش برای بدست آوردن نفوذپذیری برحسب K یا ضریب نفوذپذیری باید عدد لوژان بدست آمده را به ضریب نفوذپذیری تبدیل کرد و هنوز رابطه مشخصی برای این تبدیل بدست نیامده است. در این تحقیق توده سنگ محور سد ماشکید علیا بر اساس شاخص نفوذپذیری ثانویه SPI که روش جدیدی برای تعیین نفوذپذیری و تزریق پذیری با استفاده از آزمایش لوژان می باشد طبقه بندی شده است. در نهایت راهکارهای مناسب آیینی هر قسمت بررسی شده است.

**کلید واژه:** سد ماشکید علیا، شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI)، تزریق

### ۱- مقدمه

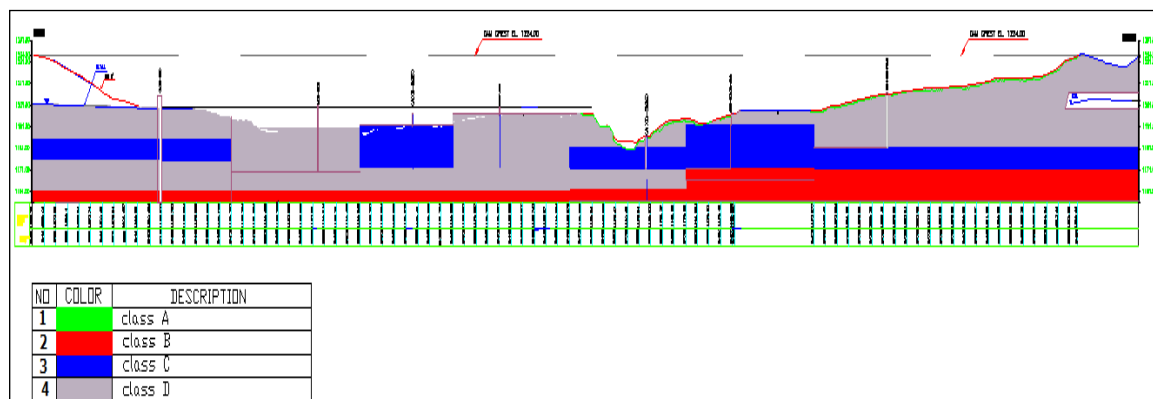
یکی از مهم ترین پارامترها در طراحی سد، نفوذپذیری ساختگاه این سازه ها می باشد. متداولترین روش برای تعیین ضریب نفوذ پذیری سنگهای درزه دار، انجام آزمون نفوذپذیری آب موسوم به لوژان می باشد. نشت ازپی سدها باعث ازدست دادن آب، بروز فشار بالا برنده و به خطر انداختن پایداری سد می گردد (کارل اورت ف، ۱۳۸۵).

ساختگاه سد ماشکید علیا با هدف ذخیره آب، تامین آب شرب شهرستان سراوان، تامین آب کشاورزی و همچنین کنترل سیلابهای ناشی از طغیان رودخانه بر روی رودخانه ماشکید در بخش زابلی، واقع در جنوب غربی شهرستان سراوان قرارداد. این سد با ارتفاع ۲۴ متر و حجم مخزن ۶۷ میلیون مترمکعب از نوع خاکی با هسته رسی است. این مقاله براساس آزمایش فشار آب (لوژان) در ۷ گمانه اکتشافی انجام گرفته است، در این مقاله وضعیت توده سنگ و SPI توده سنگ ساختگاه سد ماشکید علیا بررسی شده و نتایج بدست آمده ارائه شده است.

### ۲- زمین شناسی

ساختگاه سد ماشکید علیا اغلب از سازندهای دوران دوم زمین شناسی تشکیل شده است که غالباً شامل تناوبی از آهکهای ماری، ماسه سنگ و شیل بوده و رسوبات عهد حاضر رسوبات واریزه ای روی آنها قرار گرفته اند (شکل ۱). بطور کلی گسل مهمی از محدوده مخزن و ساختگاه عبور نمی کند، ولی تعدادی گسل فرعی در ساختگاه سد وجود دارد (گسلهای سوران، مولتان، نگ پهن و گسل کند) بطوریکه ساختگاه سد بر روی فرادیواره گسل کند قرار گرفته است، که از پیشینه لرزه خیزی آن اطلاعی در دست

نیست. همچنین سه سیستم غالب ناپوستگی در محل سد وجود دارد که این سه سیستم عبارتند از دو سیستم درزه و یک سیستم لایه بندی که امکان فرار آب را از ساختگاه سد فراهم می نمایند.



شکل ۱- لیتولوژی ساختگاه سد ماشکید علیا

### ۳- شاخص نفوذپذیری ثانویه SPI

نفوذپذیری توده سنگ شدیداً وابسته به ویژگیهای درزه ها، میزان درزه ها، میزان بازشدگی، تداوم درزه ها و مواد پرکننده است. اگر چه بررسی مغزه های حفاری امکان تخمین ویژگیهای درزه ها را می دهد اما ارزیابی دقیق از تداوم و مواد پرکننده هوازده ممکن نیست، یکی از راههای تعیین کیفیت توده سنگ تعیین شاخص نفوذپذیری ثانویه SPI است.

در روش شاخص نفوذپذیری ثانویه ۱- شاخص بر حسب پارامترهای کلاسیک مانند فشار و جذب آب بنا نهاده شده و همچنین این شاخص بر خلاف لوژان نیازمند تغییرات سیستماتیک و روش انجام نیست. ۲- واحد شاخص SPI برابر است با  $L/s \times m^2$  (لیتر بر ثانیه در متر مکعب) در نتیجه این شاخص با توده سنگ ارتباط زیادی دارد و می توان بر حسب این شاخص توده سنگ را طبقه بندی کرد. برای تعیین نفوذپذیری ثانویه رابطه زیر توسط (Foyo et al 2004) گردید.

$$SPI = C \left[ \frac{\ln \frac{2Le}{r} + 1}{2(pLe)} \right] \times \frac{Q}{Ht} \quad (1)$$

C: ضریب ثابتی است که بستگی به ویسکوزیته سیال در سنگی به دمای ۱۰ درجه سانتی گراد دارد.

Q: میزان آب جذب شده توسط درزه های سنگ بکر بر حسب لیتر

Le: طول قطعه تزریق

t: مدت زمان اعمال هر پله فشار بر حسب ثانیه

r: شعاع گمانه بر حسب متر

H: بار هیدرولیکی کلی ستون آب

همچنین این شاخص مبنایی جهت طبقه بندی توده سنگ و نشانگر میزان نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی توده سنگ است (Foyo&Sanchez,2002,2005).

طبقه بندی توده سنگ بر اساس SPI مطابق جدول زیر صورت می گیرد (جدول ۱). در این طبقه بندی خصوصیات ژئومکانیکی سنگ یا خصوصیات مقاومتی بیان نمی شود بلکه توده سنگ بر اساس نفوذپذیری به رده ها و کلاسهای مختلف طبقه بندی می شود.

جدول ۱- رده بندی توده سنگ بر اساس SPI و نیاز به بهسازی زمین (Foyo,2005)

شاخص نفوذپذیری ثانویه SPI(L/s×m <sup>2</sup> )	$1/72 \times 10^{-12}$ - $1/72 \times 10^{-13}$	$1/72 \times 10^{-13}$ - $2/16 \times 10^{-14}$	$2/16 \times 10^{-14}$	
طبقه بندی توده سنگ	CLASS C	CLASS B	CLASS A	CLASS D
نیاز به تزریق	نیازمند به تزریق	نیازمند تزریق به طور موضعی	نیاز به تزریق ندارد	نیازمند تزریق به طور گسترده
حدود تقریبی عدد لوزان	۸-۸۰	۱-۸	۱ >	۸۰ <

#### ۴- ارتباط شاخص نفوذپذیری ثانویه SPI و عمق

همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، بیشترین درصد فراوانی در کل ساختگاه، متعلق به رده D می باشد. جهت بررسی ارتباط شاخص نفوذپذیری ثانویه با عمق محدوده مورد آزمایش به ۸ قسمت عمقی تقسیم شد (جدول ۳).

جدول ۲- درصد فراوانی نوع رده SPI در کل ساختگاه

نوع رده SPI	A	B	C	D
جناح چپ	۰	۰	۵۵/۵۵	۴۴/۴۵
بستر	۰	۸/۳۳	۱۶/۶۶	۷۵
جناح راست	۰	۹/۰۹	۳۶/۳۶	۵۴/۵۴

جدول ۳- بررسی ارتباط عمق با شاخص نفوذپذیری ثانویه

جناع راست		بستر		جناع چپ			عمق
AXD۷۳۲	AXD۶۰۱	AXD۵۲۶	AXD۴۰۰	AXD۳۲۵	AXD۲۴۳	AXD۱۱۰	
D	D	آبرفت	D	آبرفت	آبرفت	آبرفت	۰-۵
D	C		D				۵-۱۰
D	C	D	D	C	D		۱۰-۱۵
D	C	C	D	C	D	C	۱۵-۲۰
D	C	C	D	C	D	C	۲۰-۲۵
انتهای حفاری	B	D	D	C	D	انتهای حفاری	۲۵-۳۰
	انتهای حفاری	D	انتهای حفاری	انتهای حفاری	انتهای حفاری		۳۰-۳۵
		B					۳۵-۴۰

در جناح راست در گمانه AXD۷۳۲ در کل طول گمانه، میزان SPI در رده D قرار دارد که نشان دهنده نیاز به تزریق گسترده است اما در گمانه AXD۶۰۱ تا عمق ۵ متر در رده D است، ولی با افزایش عمق کیفیت سنگ بهتر شده به طوریکه تا عمق ۲۵ متری رده C را داریم، سپس تا عمق ۳۰ متری کیفیت سنگ بهتری می شود (رده B)، در جناح راست بیش از ۹۰ درصد توده سنگ از لحاظ SPI در رده D و C (سنگ با کیفیت بسیار پایین) است و سنگ با کیفیت خوب (رده A و B) فقط ۱۰ درصد را تشکیل می دهد. می توان نتیجه گرفت که در کل، جناح راست نیاز به تزریق گسترده تا عمق ۲۵ متری دارد، در بررسی کیفیت توده سنگ بستر میتوان گفت که شاخص نفوذپذیری ثانویه بیش از ۷۵ درصد توده سنگ بستر در رده D قرار دارد، که نیازمند تزریق گسترده است گمانه بستر در سمت تکیه گاه چپ (AXD۴۰۰) کلاً رده بندی نوع D داشته، در حالی که گمانه متمایل به تکیه گاه راست (AXD۵۲۶) حدود ۵۰ درصد از نوع D، ۳۰ درصد نوع C و ۲۰ درصد از نوع B است به طوریکه با افزایش عمق شاهد افزایش کیفیت توده سنگ هستیم. جناح چپ در مقایسه با کل ساختگاه بیشترین نفوذپذیری و کمترین کیفیت توده سنگ را دارد، و در این جناح سنگ با کیفیت خوب (رده B, A) را نداریم. (جدول ۳ و ۲).

میانگین لوژان بدست آمده در گمانه های اکتشافی جناح راست ۱۳ است، ولی میانگین لوژان در جناح چپ ۳۰ و بستر ۲۰ می باشد، که به ترتیب بدترین کیفیت توده سنگ را دارند (جدول ۴)، همان گونه که در جدول ۲ مشخص است، به طوریکه ساختگاه سد نفوذپذیری بالایی دارد و بیشترین درصد فراوانی متعلق به رده D می باشد، به طوری که با افزایش عمق مقدار SPI بجز در گمانه های AXD۶۰۱، AXD۵۲۶ در سایر گمانه ها کاهش نمی یابد که بیانگر عدم بهبود کیفیت توده سنگ است.

جدول ۴- درصد فراوانی لوژان در ساختگاه

موقعیت	گمانه	LU<۳	۳<LU<۱۰	۱۰<LU<۳۰	۳۰<LU<۶۰	LU>۶۰
جناح چپ	AXD۱۱۰	۵۰	۰	۰	۰	۵۰
جناح چپ	AXD۲۴۳	۱۶/۶۶	۰	۱۶/۶۶	۱۶/۶۶	۵۰
جناح چپ	AXD۳۲۵	۵۰	۰	۰	۱۶/۶۶	۳۳/۳۳
بستر	AXD۴۰۰	۱۶/۶۶	۱۶/۶۶	۵۰	۰	۱۶/۶۶
جناح راست	AXD۶۰۱	۸۳/۳۳	۰	۱۶/۶۶	۰	۰
جناح راست	AXD۷۳۲	۶۰	۰	۰	۰	۴۰

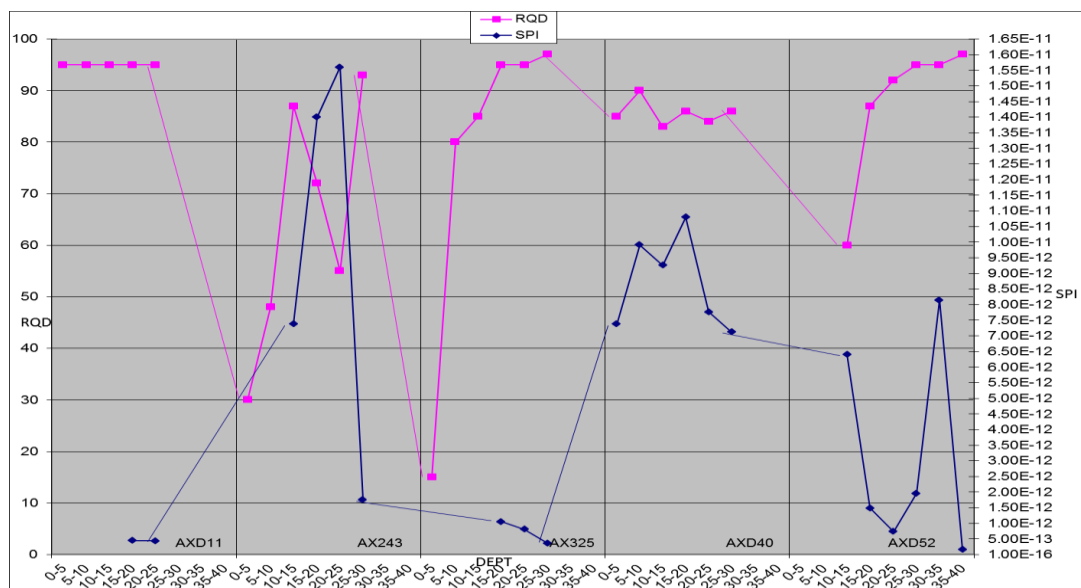
#### ۵- مقایسه توده سنگ بدست آمده از روش SPI و درجه درزه داری (RQD) و پیشنهاد بهسازی زمین

با استفاده از نتایج SPI و RQD و با قرار دادن SPI در مقابل میزان درزه داری میتوان درباره بهسازی و تزریق زمین اظهار نظر کرد (جدول ۵). اورت پیشنهاد نمود مقادیر نفوذپذیری بدست آمده از آزمایش ها بدون شناسایی میزان درزه داری فایده

چندانی نداشته و جهت بررسی نفوذپذیری و تزریق پذیری حتماً درزه داری منطقه نیز باید مورد بررسی قرار گیرد (Ewert, 1997)، سنگهایی که در رده A قرار دارند نیاز به بهسازی ندارند، ولی سنگهای رده B دو وضعیت متفاوت دارند اگر میزان درزه داری پایین یا متوسط به پایین باشد بایستی حتماً تزریق شوند، ولی اگر درزه داری بالا یا متوسط به بالا باشد باز شدگی درزه ها ناچیز است، و عملاً تزریق پذیر نیستند و نیاز به بهسازی ندارند رده های D و C آسیب پذیری فوق العاده بی سد را نشان میدهند.

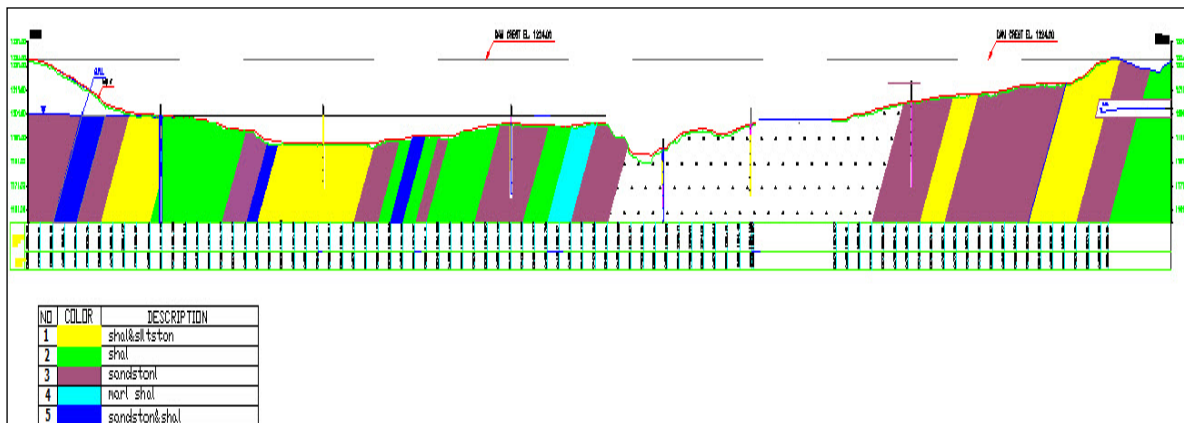
جدول ۵- توصیه بهسازی زمین با استفاده از SPI (۱:۰/۵ بیانگر نسبتهای غلیظ دوغاب، ۱:۱ و ۲:۱ بیانگر نسبتهای متوسط W/C و ۳:۱ بیانگر نسبتهای رقیق دوغاب در تزریق می باشد) (Foyo, 2005).

	درجه درزه داری			SPI CLASS
	بالا	متوسط	پایین	
نیاز به تزریق ندارد				CLASS A
نیازمند تزریق به طور موضعی		۱:۱	۰/۵:۱	CLASS B
نیازمند به تزریق	۳:۱	۲:۱	۱:۱	CLASS C
نیازمند تزریق به طور گسترده	۳:۱	۲:۱	۱:۱	CLASS D



شکل ۲- بررسی مقادیر RQD, SPI نسبت به عمق در گمانه های ساختگاه

اگر این میزان نفوذپذیری مربوط به یک درزه باشد (درزه داری پایین)، بایستی از نسبتهای غلیظ ۱:۰/۵ برای تزریق استفاده کرد. اما اگر سنگ به شدت ترک خورده باشد بایستی از نسبتهای رقیق ۱:۳ استفاده شود، در حالت بینا باید از نسبتهای متوسط برای تزریق استفاده نمود (Foyo, 2005)، همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود در اکثر مقاطع ارتباط دقیقی بین درزه شدگی و SPI وجود ندارد، یعنی با وجود افزایش مقدار RQD هیچ گونه کاهشی در مقدار SPI دیده نمی شود. در گمانه های جناح چپ یعنی AXD۱۱۰, AXD۳۲۵ این امر کاملاً مشهود می باشد. در کلیه مقاطع این گمانه ها با وجود افزایش میزان RQD میزان SPI در رده های D, C ثابت است، در گمانه AXD۲۴۳ در اعماق ۲۰-۱۵ متری و ۲۵ تا ۲۰ متری درزه داری متوسط بوده، رده SPI از نوع D می باشد که دوغابریزی متوسط ۱:۱w/c پیشنهاد می شود ولی در دیگر مقاطع تزریق در گمانه های جناح چپ (AXD۱۱۰, AXD۳۲۵) دوغابریزی غلیظ ۱:۰/۵ توصیه می شود. در گمانه های واقع در بستر، شرایط گمانه AXD ۴۰۰ مانند گمانه های AXD۱۱۰, AXD۳۲۵ می باشد اما در گمانه AXD۵۲۶ در ابتدا و انتهای گمانه که رابطه دقیقی بین مقدار SPI و درزه داری وجود دارد در سایر اعماق چنین رابطه ای دیده نمی شود، در این گمانه در عمق ۱۵ تا ۱۰ متری میزان RQD متوسط رو به پایین و مقدار SPI در رده D قرار دارد که نیازمند دوغابریزی متوسط ۱:۱w/c است، اما در اعماق بین ۳۵ تا ۱۵ متری با وجود افزایش کیفیت سنگ مقدار SPI در رده C, D می باشد، که دوغابریزی غلیظ ۱:۱w/c توصیه می شود. در انتهای گمانه در عمق ۴۰ تا ۳۵ متری درزه داری عالی و مقدار SPI در رده B قرار دارد، که نیازمند تزریق نیست. در AXD۶۰۱ واقع در جناح راست از عمق ۲۵ تا ۱۰ متری میزان RQD بالاست اما باز هم مقدار SPI در رده C, D قرار دارد که استفاده از دوغاب با نسبت ۱:۰/۵w/c توصیه می شود، و در عمق ۳۰ تا ۲۵ متری SPI در رده B است، و با توجه به پایین بودن درزه داری تزریق سیمان لازم نیست، در دیگر گمانه مورد بررسی جناح راست (AXD۷۳۲) در عمق ۱۰ تا ۱۰ متری با توجه به درزه داری بالا و قرار داشتن SPI در رده D استفاده از دوغابریزی رقیق ۱:۳ مناسب است اما در عمق ۲۵ تا ۱۰ متری با وجود بهبود شاخص کیفیت توده سنگ مقدار SPI در رده D است، که نیازمند تزریق دوغاب سیمان غلیظ ۱:۰/۵w/c می باشد شکل ۳ منطقه بندی سد با استفاده از SPI نشان می دهد.



شکل ۳- منطقه بندی ساختگاه سد ماشکید علیا با استفاده از SPI

## ۶- نتیجه گیری

- با افزایش عمق، در اغلب گمانه ها با وجود افزایش مقدار RQD هیچ گونه کاهشی در مقدار SPI دیده نمی شود. بنابراین جهت آب بندی بایستی از دوغاب غلیظ استفاده شود.
- در جناح راست کمتر از ۱۰ درصد توده سنگ از لحاظ SPI در رده A,B (سنگ با کیفیت خوب) است و سنگ با کیفیت بسیار پائین (رده D)، در این جناح ۵۵ درصد است.
- شاخص نفوذپذیری ثانویه ۷۵ درصد توده سنگ بستر در رده D می باشد.
- در جناح چپ سنگ با کیفیت خوب (A,B) نداریم.
- در یک نتیجه گیری کلی، ساختگاه سد نفوذپذیری متوسط تا بالایی را دارد.
- با توجه به منطقه بندی صورت گرفته بر اساس شاخص نفوذپذیری ثانویه، افزایش عمق گمانه های تزریق تا رسیدن به توده سنگ با کیفیت خوب در کل ساختگاه سد بویژه در جناح چپ و بستر رودخانه ضروری است.

## ۷- منابع

- کارل اورت ف.، (۱۳۸۵). "تزریق در سنگ با تاکید بر ساختگاه سدها"، ترجمه مجید ابراهیمی ساعتی، انتشارات سیمای دانش.
- Ewert, F., K., (1997). "Permeability, Groutability and grouting of rocks related to dam site", part2: Dam Engineering 8(2), 123-176
- Foyo, A., and Sanchez, M., A., (2002). "Permeability tests for rock masses, A proposal for a new expression for the Equivalent Lugeon Unit (ELU)", Dam Engineering 8(3), 199-218
- Foyo, A., Sanchez, M., A., and Tomillo, C., (2005). "A proposal for secondary permeability Index obtained from water pressure test in dam foundation", Engineering Geology, (77), P. 69-82