

## تحلیل و طراحی بهینه ابعاد و مشخصات سیستم انحراف آب سد چایلی با بررسی شرایط هیدرولیکی و هیدرولوژیکی

بهروز شعبانی<sup>۱</sup>، امین حسنی<sup>۲</sup>، افراسیاب میرزایی<sup>۳</sup>، مهران فرهنگ<sup>۴</sup>، آرش امیدوار<sup>۵</sup>

- ۱-مدیر طرح سد چایلی، شرکت آب منطقه ای استان گلستان، گرگان، گلستان
- ۲-مدیر سرمایه گذاری طرحها، شرکت آب منطقه ای استان گلستان، گرگان، گلستان
- ۳-مدیر طرحهای آبیاری و زهکشی، شرکت آب منطقه ای استان گلستان، گرگان، گلستان
- ۴-معاونت طراحی و مهندسی، شرکت مهندسی مشاور لار، تهران
- ۵-مدیر امور سیویل و هیدرولیک، شرکت مهندسی مشاور لار، تهران

آدرس رایانامه نویسنده رابط: aminh85@yahoo.com

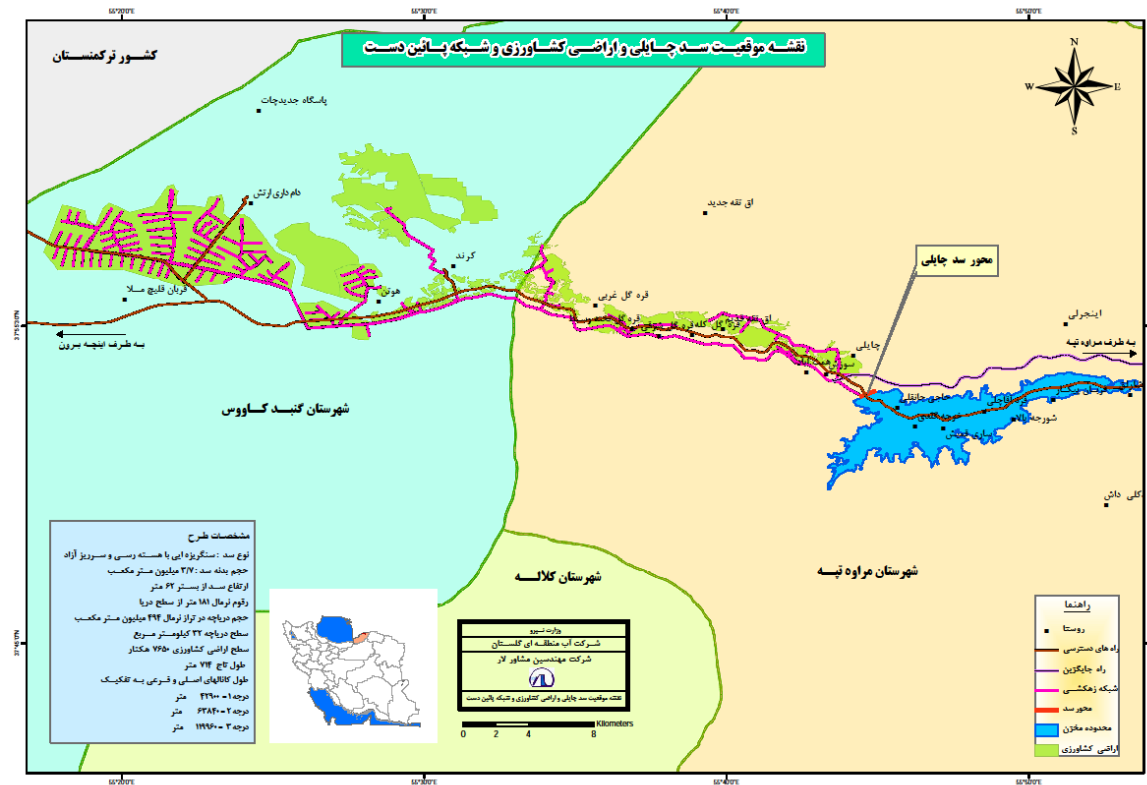
### خلاصه

هدف از این پژوهش تحلیل و طراحی بهینه ابعاد و مشخصات سیستم انحراف آب سد چایلی با بررسی شرایط هیدرولیکی و هیدرولوژیکی می باشد. در سد چایلی بدلیل حجم بالای سیلاب و امکان ادغام فرازبند با بدنه سد گزینه انحراف کامل بسیار مقرون به صرفه می باشد. از اینرو گزینه انحراف کامل مدنظر قرار گرفت. از مجاری انحراف برای کاربردهای ثانوی استفاده گردیده است به صورتی که یکی از مجاری تبدیل به تخلیه کننده تحتانی و دیگری تبدیل به مجرای آبگیر خواهد شد. آورد بالای رسوب توسط رودخانه در محدوده سد چایلی سبب گردیده است که برای استفاده بهینه از منابع آب مخزن از آبگیرهای چند ترازه استفاده گردد. همچنین، به منظور بهره برداری بهینه از تخلیه کننده تحتانی، آبگیری توسط این سیستم نیز از دو تراز صورت می گیرد. این موضوع در طراحی سیستم انحراف مدنظر قرار گرفته است. ترکیب های کالورت-فرازبند و تونل-فرازبند برای سیستم انحراف بررسی گردیده است و گزینه کالورت-فرازبند رد گردیده است. به این دلیل که برای مانور در پیچه راس نیاز به ساخت برج آبگیر و پل دسترسی به آن بوده از نظر فنی و مخاطرات موجود توجه پذیر نبوده و همچنین تحمیل هزینه زیاد بر طرح می نماید.

کلمات کلیدی: شرایط هیدرولوژیکی، سیستم انحراف، سد چایلی.

### ۱. مقدمه

رودخانه اترک از دو شاخه اصلی اترک داخلی و سومبار تشکیل می شود. شاخه اترک داخلی در خاک ایران جریان دارد، ولی شاخه سومبار به استثنای قسمت علیایی آن که از ایران سرچشمه می گیرد در خاک ترکمنستان جاری است. این دو رودخانه در محل چات به همدیگر متصل شده و از این محل به بعد رودخانه اترک، مرز مشترک دو کشور ایران و ترکمنستان را تشکیل می دهد. سد چایلی بر روی رودخانه اترک داخلی در ۲۵ کیلومتری مراوه تپه در طول جغرافیایی ۴۴'، ۵۵° و عرض جغرافیایی ۵۳'، ۳۷° احداث خواهد شد. حوضه آبریز این رودخانه با مساحت ۶۸۷/۱۷ کیلومترمربع در محدوده طولهای جغرافیایی ۳۴'، ۵۵° تا ۰۳'، ۵۹° و عرضهای جغرافیایی ۵۸'، ۳۶° تا ۰۵'، ۳۸° واقع است. از نظر تقسیمات کشوری این سد در استان گلستان قرار می گیرد (شکل ۱). دسترسی به محل ساختگاه سد از طریق جاده گرگان - مینودشت - کلاله - مراوه تپه امکان پذیر است. مسیر تهران - گرگان برابر ۳۹۷ کیلومتر و مسیر گرگان تا ساختگاه ۲۴۳ کیلومتر می باشد.



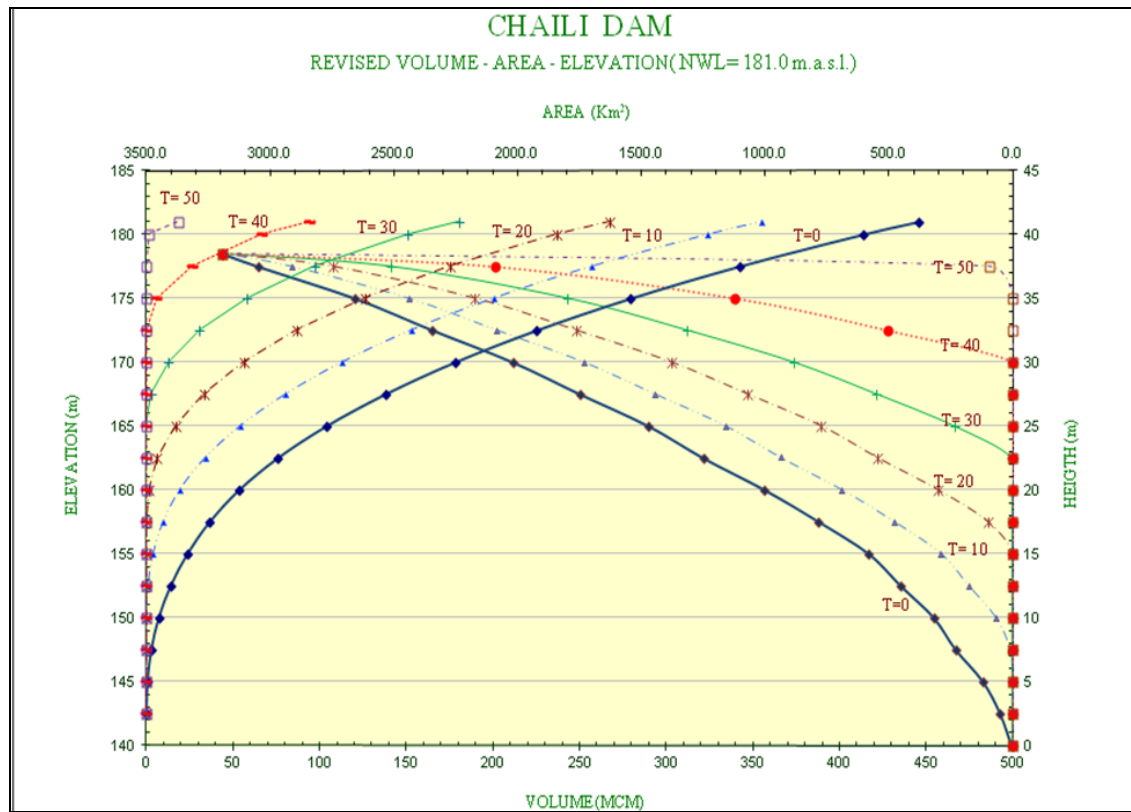
شکل ۱. نقشه موقعیت سد چایلی در روی رودخانه اترک.

هدف از ساخت این سد تأمین مطمئن ۷۷/۵ میلیون مترمکعب از حقایقه های تخصیصی پائین دست می باشد. تسکین سیلاب جزو اهداف جنبی این سد خواهد بود. اهداف اصلی طرح شامل تأمین ۷۷/۵ میلیون مترمکعب برای مصارف کشاورزی، تأمین ۵ میلیون متر مکعب برای نیاز شرب و صنعت و تأمین ۳۸/۱ میلیون متر مکعب نیاز زیست محیطی است. شرایط هیدرولوژیکی و منابع آبی رودخانه اترک و مشخصات سد چایلی به شرح ذیل می باشد:

- حداقل آورد آبی سالیانه: ۳۷/۳ میلیون متر مکعب
- متوسط آورد آبی سالیانه: ۱۷۲/۷ میلیون متر مکعب
- حداکثر آورد آبی سالیانه: ۴۹۷/۶ میلیون متر مکعب
- متوسط آورد رسوب سالیانه: ۱۵/۷ میلیون تن
- دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت ۲۰ ساله: ۸۱۰ مترمکعب بر ثانیه
- دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله: ۱۲۱۰/۶ مترمکعب بر ثانیه
- دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله: ۲۷۰۷/۱ مترمکعب بر ثانیه
- دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت ۵۰۰۰ ساله: ۳۶۲۱/۹ مترمکعب بر ثانیه
- دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ ساله: ۴۱۸۶/۷ مترمکعب بر ثانیه
- دبی پیک PMF: ۹۲۷۰/۳ مترمکعب بر ثانیه
- رقوم کف رودخانه در محل محور: ۱۳۵ متر از سطح آزاد دریا
- رقوم نرمال دریاچه: ۱۸۱ متر از سطح آزاد دریا
- حجم دریاچه در رقوم نرمال: ۴۴۵/۶ میلیون متر مکعب
- نوع بدنه سد: سنگریزه ای با هسته رسی
- رقوم تاج سد: ۱۹۱/۸۰ متر از سطح آزاد دریا
- طول تاج سد: ۶۹۶ متر

- عرض تاج سد : ۱۰ متر
- شیب بالادست سد : ۱ قائم به ۱/۹ افقی
- شیب پائین دست سد : ۱ قائم به ۱/۵ افقی با برم ۵ متری در رقوم ۱۶۵
- نوع سرریز : اوجی آزاد در تکیه گاه راست
- دبی طراحی سرریز : ۱۵۴۷/۶۳ متر مکعب بر ثانیه
- دبی کنترل سرریز : ۱۸۴۱/۰۰ متر مکعب بر ثانیه
- عرض خالص سرریز: ۴۵ متر با یک پایه میانی به عرض ۲/۰ متر
- تراز آستانه سرریز: ۱۸۱/۰ متر نسبت به سطح دریا
- تراز کف کانال تقرب: ۱۷۳ متر نسبت به سطح دریا
- سیستم استهلاک انرژی: حوضچه آرامش تیب ۲
- تراز کف حوضچه آرامش: ۱۴۰/۴ متر نسبت به سطح دریا
- طول حوضچه آرامش: ۶۶ متر

منحنی های سطح - حجم - ارتفاع سد چایلی براساس نقشه های ۱:۵۰۰۰ تولید شده از عکس های ماهواره SPOT با وضوح ۲/۵ متر در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲. منحنی حجم - سطح - ارتفاع سد چایلی.

## ۲. ضوابط و معیارهای طراحی سیستم انحراف سد چایلی

به منظور تخلیه مطمئن دبی پایه و سیلابهای رودخانه از محوطه کارگاه در زمان ساخت سد و ایجاد محیطی خشک، لازم است سازه های مناسبی قبل از شروع عملیات اجرایی سد احداث گردد. مجموعه این سازه ها سیستم انحراف نامیده می شود. بسته به شرایط کاری می توان از گزینه های مختلفی مانند انحراف موضعی (Partial) یا انحراف کامل بهره جست. در انحراف موضعی که در دره های وسیع مناسب می باشد، جریان با استفاده از سازه های موقت به یک سمت رودخانه هدایت و عملیات ساخت و ساز در بخش خشک شده انجام می شود. در مرحله بعد، از بخش ساخته شده به همراه یک سازه

موقت جهت قطع کامل جریان رودخانه و انجام عملیات اجرایی در بخش باقی مانده استفاده می شود. در انحراف کامل با احداث مجراهای انحراف و سازه مسدود کننده جریان (فرازبند)، جریان رودخانه به طور کامل به مجرای انحراف منتقل و از طریق این مجرا به پایین دست هدایت می شود. در صورتی که شیب رودخانه کم بوده و احتمال پس زدگی آب به بالادست (محوطه کارگاه) باشد، با احداث یک سازه کوتاه (نشیب بند) جلوی پس زدگی جریان خروجی از مجرای انحراف به سمت کارگاه گرفته می شود.

در سد چایلی بدلیل حجم بالای سیلاب و امکان ادغام فرازبند با بدنه سد گزینه انحراف کامل بسیار مقرون به صرفه می باشد. از اینرو گزینه انحراف کامل مدنظر قرار گرفت. از مجاری انحراف برای کاربردهای ثانوی استفاده گردیده است به صورتی که یکی از مجاری تبدیل به تخلیه کننده تحتانی و دیگری تبدیل به مجرای آبگیر خواهد شد. آورد بالای رسوب توسط رودخانه در محدوده سد چایلی سبب گردیده است که برای استفاده بهینه از منابع آب مخزن از آبگیرهای چند ترازه استفاده گردد. همچنین، به منظور بهره برداری بهینه از تخلیه کننده تحتانی، آبگیری توسط این سیستم نیز از دو تراز صورت می گیرد. این موضوع در طراحی سیستم انحراف مدنظر قرار گرفته است. ترکیب های کالورت-فرازبند و تونل-فرازبند برای سیستم انحراف بررسی گردیده است و گزینه کالورت-فرازبند رد گردیده است. به این دلیل که برای مانور دریچه راس نیاز به ساخت برج آبگیر و پل دسترسی به آن بوده از نظر فنی و مخاطرات موجود توجه پذیر نبوده و همچنین تحمیل هزینه زیاد بر طرح می نماید. در ادامه ترکیب تونل انحراف-فرازبند با جزئیات بیشتر ارائه گردیده است.

- با توجه به اهمیت سد و خاکی بودن آن دوره بازگشت سیلاب طراحی سیستم انحراف، سیلاب ۲۰ ساله با دبی پیک سیلاب ورودی معادل ۸۱۸/۸ مترمکعب بر ثانیه مطابق با استاندارد شماره ۳۷۸ الف ضوابط محاسبات طراحی سدهای بزرگ ایران منظور شده است.
- در انتخاب مجرای انحراف به حداقل ابعاد قابل اجرا، حداکثر ابعاد اجرایی با عنایت به هزینه های اجرا و نیز حداقل ابعاد مورد نیاز به علت استفاده های ثانویه از سیستم توجه شده است.
- پس از پایان دوره انحراف به جهت کاهش هزینه های اجرایی، فرازبند بخشی از بدنه سد را تشکیل خواهد داد.
- مسیر مجرای انحراف با در نظر گرفتن شرایط زمین شناسی و توپوگرافی و اهداف ثانویه بهره گیری از این سازه با هدف به حداقل رساندن طول و نتیجتاً حفاری ها انتخاب شده است.
- حداکثر سرعت جریان در بهره برداری از تونل انحراف در حالت تحت فشار به ۱۵ m/s محدود شده است.
- جهت انسداد جریان در بالادست دریچه راس پیش بینی شده است.

### ۳. محاسبات هیدرولیکی

برای تبیین توانایی سیستم انحراف در تسکین سیلاب ورودی به این سیستم لازمست در ابتدا ظرفیت عبوردهی تونلهای انحراف محاسبه گردد. محاسبات هیدرولیکی ظرفیت عبوردهی تونلهای لازمست در دو بخش جریان تحت فشار و جریان آزاد انجام شود. چنانچه ارتفاع آب روی تاج تونل کمتر از ۲۰ درصد قطر تونل باشد، جریان در تونل با سطح آزاد می باشد. پس از آن جریان بصورت انتقالی و نهایتاً چنانچه عمق آب روی تاج تونل بیش از ۵۰ درصد قطر تونل باشد، تونل بصورت تحت فشار عمل می کند.

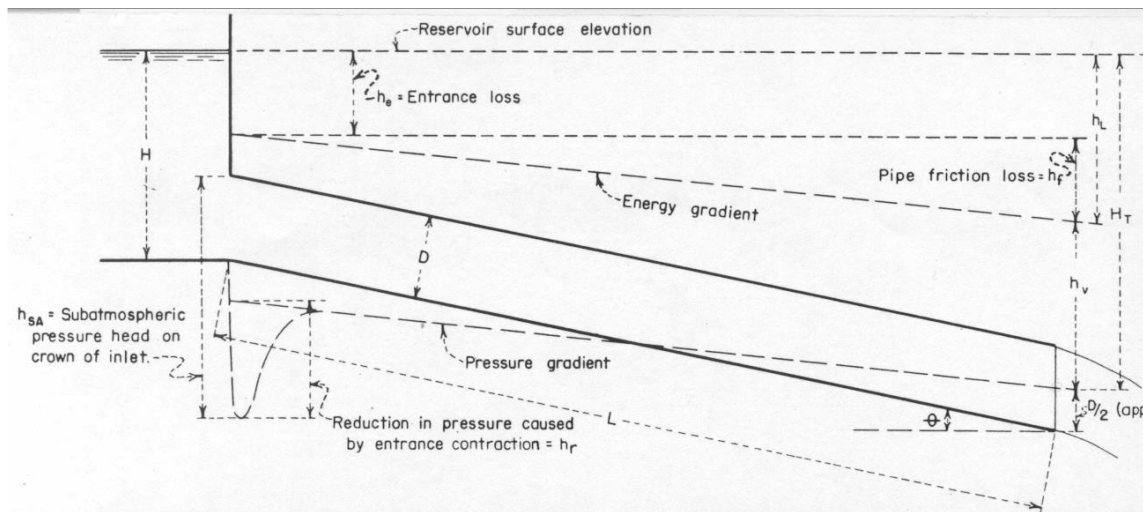
#### ۳.۱. جریان تحت فشار

تحلیل جریان تحت فشار در تونل بر اساس اصل بقا انرژی انجام می شود. افت هد ناشی از افت اصطکاکی و افت های موضعی میباشد. برای محاسبه دبی اشل خروجی جریان تحت فشار و استفاده از آن در تعیین تراز دریاچه، و متناسباً تراز تاج فرازبند، فرضیات مربوط به ضرایب افت به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفته است.

$$Q=A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H_T}{(1 + \sum \xi_p + \xi_f)}} \quad (1)$$

که در آن  $\sum \xi_p$  جمع افت های هد ناشی از شکل و  $\sum \xi_f$  افت های ناشی از اصطکاک می باشند. از آنجاییکه مقطع کنترل جریان تحت فشار در خروجی می باشد، رابطه دبی اشل را میتوان با استفاده از رابطه برنولی محاسبه نمود. با مراجعه به شکل ۳، هد کل  $H_T$  که لازمست تا برانواع افت هدها غلبه نماید بوسیله رابطه زیر محاسبه میگردد:

$$H_T = H + L \sin \theta - \frac{D}{2} \quad (2)$$



شکل ۳. مشخصات هیدرولیکی جریان فشار.

### ۳.۱.۱. افت های ناشی از اصطکاک

افت ناشی از اصطکاک  $h_f$  را میتوان با استفاده از رابطه دارسی-وایسباخ محاسبه نمود:

$$H_f = L \cdot \frac{f}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = \xi_f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (3)$$

که در آن رابطه ای بین ضریب افت اصطکاک  $f$  و ضریب مانینگ  $n$  برای معادله مانینگ در سیستم SI بصورت زیر بیان شده است:

$$f = \frac{78.47 n^2}{R^{\frac{1}{3}}} \quad (4)$$

$$H_f = 19.62 n^2 \frac{L}{R^{\frac{4}{3}}} \times \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

برای مجاری دایره ای می توان بجای  $R$  از  $\frac{D}{4}$  استفاده نمود.

### ۳.۱.۲. افت های موضعی

افت های موضعی بوسیله ورودی، شیرهای دریچه، تبدیلهای، خمها، شیرها و نظایر آنها بوجود می آیند. معمولاً این افت ها با بکار بردن ضریب افت بیان می گردند:

$$h_s = \xi_s \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (6)$$

موارد افت ناشی از شکل در جدول ۱ بصورت خلاصه آورده شده است.

### ۳.۱.۳. محاسبات جریان تحت فشار

محاسبات جریان تحت فشار با فرض حاکم بودن کنترل در خروجی در کل جریان تحت فشار انجام میشود. با توجه به محاسبات انجام شده مجموع ضرایب افت مسیر جریان تحت فشار اعم از افت های اصطکاک و افت های موضعی برابر ۲/۵۱ می باشد.

**جدول ۱. مقادیر پذیرفته شده برای افت‌های ناشی از شکل.**

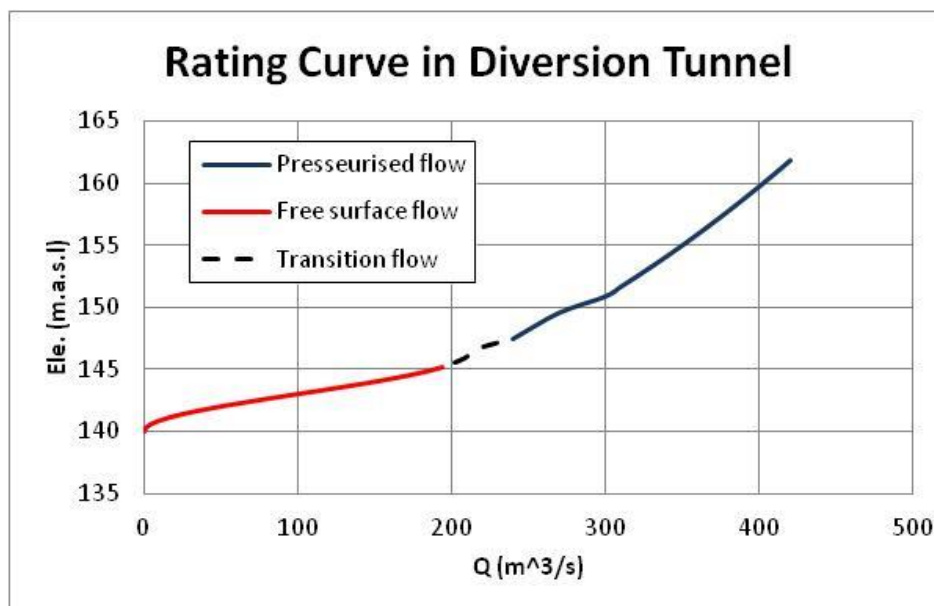
شرایط افت			نوع افت
متوسط	حداقل	حداکثر	
0.16	0.07	0.20	افت ورودی (ke)
برای هر جفت شیار در پیچه		کلی	افت در پیچه (kg)
0.05		0.10	
برای جمع شدگی تدریجی	0.1	0.5	افت تبدیل (kc)
0.1			
تابعی از شعاع خم، قطر مجرا و زاویه خم میباشد			افت خم (kb)
1.0	1.0	1.0	افت خروجی (kv)

**۲.۳. جریان با سطح آزاد**

منحنی‌های دبی-اشل (rating curves) برای دیبهای تخلیه پایبتر در شرایط جریان با سطح آزاد با فرض شرایط جریان یکنواخت و بکاربردن ضریب مانینگ برای محاسبه افت ناشی از اصطکاک تهیه می‌گردند. شیب طولی تونل (یک درصد) و جریان بصورت بحرانی وارد تونل می‌گردد و ورودی تونل مقطع کنترل جریان می‌باشد. با توجه به مشخصات جریان در ورودی تونل، عمق آب در مخزن پشت فراز بند تعیین می‌گردد و نهایتاً برای ترازهای مختلف آب در پشت فرازبند، دبی ورودی به تونل محاسبه می‌گردد.

**۳.۳. ظرفیت تخلیه کل**

نهایتاً منحنی دبی-اشل سیستم انحراف با استفاده از منحنی دبی-اشل تهیه شده در جریان آزاد و تحت فشار و ترکیب آنها بدست می‌آید. با توجه به اینکه بخشی از جریان بصورت آزاد و بخشی دیگر بصورت تحت فشار عمل می‌کند، استفاده از منحنی مناسب (جریان آزاد یا تحت فشار) جهت دستیابی به منحنی دبی-اشل مناسب ضروری می‌باشد. چنانچه عمق جریان ورودی به تونل از ۱/۲ برابر قطر تونل کمتر باشد، جریان در تونل آزاد و چنانچه از ۱/۵ برابر قطر تونل بیشتر باشد، جریان تحت فشار عمل می‌نماید. بین این دو مقدار  $1/5 < \frac{\text{عمق جریان ورودی به تونل}}{\text{قطر تونل}} < 1/2$  جریان به صورت واسطه می‌باشد. جدول و منحنی دبی-اشل دو تونل به قطر ۴/۵ متر بعنوان گزینه در جدول ۲ و شکل ۴ ارائه شده است.



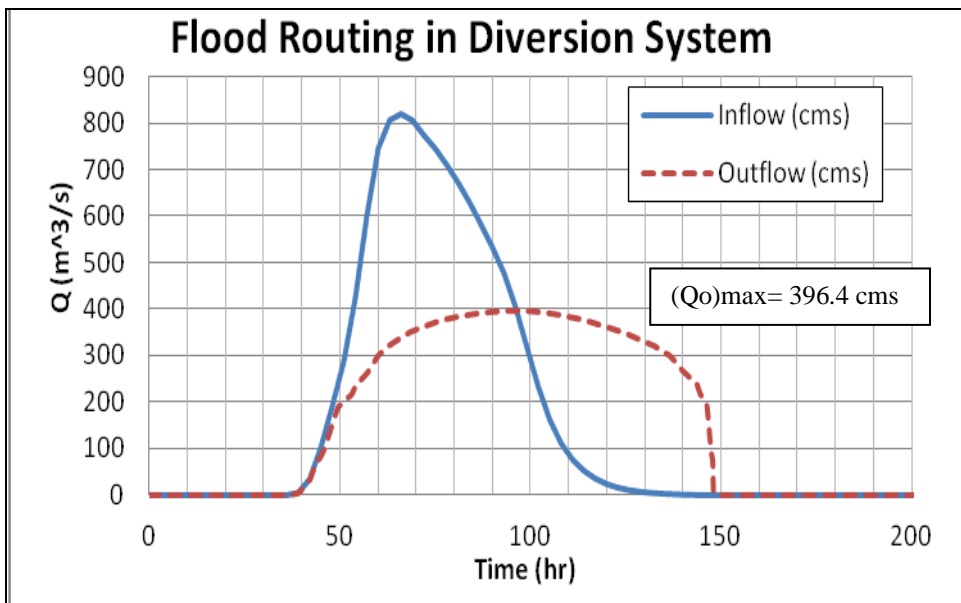
شکل ۴. منحنی دبی-اشل مجموع دو تونل انحراف.

جدول ۲. ظرفیت عبور دهی سیستم انحراف بر اساس تراز آب.

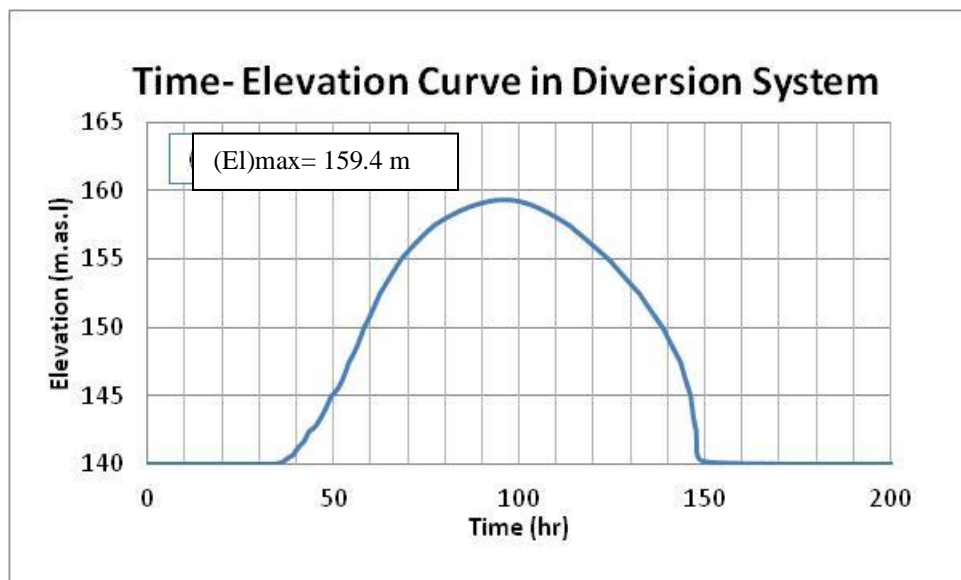
Elevation (m.a.s.l)	Head (m)	Q- one tunnel (m <sup>3</sup> /s)	Q (total) (m <sup>3</sup> /s)
140.00	0.00	0.00	0.00
140.10	0.10	0.05	0.10
140.27	0.27	0.42	0.84
140.39	0.39	0.90	1.81
140.69	0.69	2.93	5.86
141.05	1.05	7.03	14.05
141.48	1.48	13.83	27.66
141.96	1.96	23.61	47.22
142.48	2.48	36.10	72.20
143.04	3.04	50.49	100.98
143.91	3.91	72.90	145.80
144.52	4.52	86.31	172.63
145.50	5.50	101.17	202.35
146.52	6.52	108.04	216.09
147.50	7.50	120.00	240.00
149.60	9.60	135.00	270.00
150.91	10.91	150.00	300.00
153.31	13.31	165.00	330.00
155.92	15.92	180.00	360.00
157.79	17.79	190.00	380.00
158.76	18.76	195.00	390.00
159.76	19.76	200.00	400.00
160.78	20.78	205.00	410.00

#### ۴. ارتفاع فرازبند، نشیب بند و روندیابی سیلاب انحراف

پس از به‌گزینی ابعاد تونل، حداکثر تراز آب در مخزن و به تبع آن ارتفاع فرازبند مربوط محاسبه شده است. با استفاده از این نتایج دو رشته تونل با قطر داخلی ۴/۵ m بعنوان گزینه نهایی انتقال و فرازبند با تراز تاج ۱۶۰/۵ m.a.s.l نیز بعنوان گزینه نهایی مسدود کننده جریان انتخاب گردید و نتایج مربوط به روندیابی سیلاب ۲۰ ساله این تونلها در شکلهای ۵ و ۶ ارائه شده است. با توجه به محاسبات بعمل آمده بیشینه دبی خروجی پس از روندیابی سیلاب برابر ۳۹۶/۴۰ مترمکعب بر ثانیه بوده و حداکثر ارتفاع آب پشت فرازبند برابر ۱۵۹/۴۰ m.a.s.l می‌باشد. با توجه به محاسبات بعمل آمده حداکثر سرعت جریان در تونل به ازای سیلاب ۲۰ ساله تسکین یافته در مخزن برابر ۱۲/۴۶ متر بر ثانیه خواهد بود که از مقدار حداکثر مجاز ۱۵ متر بر ثانیه کمتر می‌باشد. با عنایت به مقدار حداکثر تراز سیلاب و منظور نمودن ارتفاع آزاد، تراز فرازبند ۱۶۰/۵ متر بالاتر از سطح دریا پیشنهاد می‌گردد. فرازبند جزئی از بدنه سد خواهد بود. سعی گردیده است که جریان خروجی از تونل‌ها توسط کانال به رودخانه هدایت گردد. به منظور جلوگیری از بازگشت آب به کارگاه لازم است یک نشیب بند تا رقم ۱۴۳/۵ اجرا گردد. نشیب بند جزو بدنه سد می‌باشد.



شکل ۵. روندیابی سیلاب انحراف در مخزن سد چایلی بازای دو تونل انحراف با قطر ۴/۵ متر.



شکل ۶. تغییرات تراز آب در مخزن برای تونل های انحراف با قطر ۴/۵ متر.

#### ۵. مشخصات هندسی اجزای گزینه نهایی

اجزاء سیستم انحراف به شرح زیر می باشد:

۱. کانال ورودی
۲. سازه آبگیر
۳. مجرای انسداد جریان (شیار دریچه‌ها)
۴. تونل (سیستم اصلی انتقال جریان)
۵. حوضچه استغراق
۶. کانال تخلیه کننده



### ۵.۱. کانال ورودی (تقرب)

جهت انتقال مناسب جریان از رودخانه به تونل های انحراف از دو رشته کانال با شیب کف صفر استفاده شده است. تراز ورودی کانال تقرب برابر  $140 \text{ m.a.s.l}$  می باشد. طول کانال سمت چپ برابر  $587/8$  متر و طول کانال سمت راست برابر  $597/7$  متر می باشد. بخشی از این کانال در سنگ و بخشی دیگر در خاک حفاری می گردد. کانال تا سازه آبگیر و دهانه ورودی تونل که شرایط لازم برای احداث تونل از نظر رویاره سنگی مناسب را دارا باشد، ادامه یافته است.

### ۵.۲. دهانه آبگیری

جریان رودخانه پس از رسیدن به تراز  $140$  وارد کانال تقرب و پس از آن وارد سازه ورودی می گردد. سازه ورودی دارای کف صاف و دیواره ها و سقف بیضوی جهت به حداقل رساندن فشارهای منفی می باشد. سازه ورودی دارای تبدیل زنگوله ای استاندارد  $3$  طرفه می باشد. سازه ورودی در ابتدا دارای ابعاد  $(H) \times 7/5 \times (W) 10$  متر می باشد که توسط دو تبدیل زنگوله ای در طرفین و یک تبدیل در سقف به مربعی با ابعاد  $(H) \times 4/5 \times (W) 7$  متر تبدیل می گردد. معادله بیضوی جناحین و سقف این سازه به ترتیب به شرح معادلات  $7$  و  $8$  می باشد.

$$\frac{x^2}{(4.5)^2} + \frac{y^2}{(1.5)^2} = 1 \quad (7): \text{ معادله جناحین}$$

$$\frac{x^2}{(4.5)^2} + \frac{y^2}{(3.0)^2} = 1 \quad (8): \text{ معادله سقف}$$

کف ورودی دارای شیب صفر می باشد. حداکثر سرعت جریان در ورودی معادل  $8/63$  متر بر ثانیه محاسبه شده است.

### ۵.۳. مجرای انسداد جریان (شیار دریچه ها)

پس از تبدیل زنگوله ای برای انسداد جریان شیار دریچه تعبیه شده است با توجه به ابعاد بزرگ ورودی جهت انسداد جریان از دو دریچه با ابعاد بازشدگی  $(H) \times 4/5 \times (W) 2/25$  متر بهره گرفته شده است به همین منظور در ورودی از یک پایه استفاده شده است طول این پایه برابر  $10/5$  متر با ضخامت متغیر از  $2/5$  متر تا یک متر می باشد. پس از شیار دریچه ها یک تبدیل به طول  $6$  متر مقطع مربعی به ابعاد  $(H) \times 4/5 \times (W) 4/5$  متر را به دایره به قطر  $4/5$  متر تبدیل می کند. با توجه به نیاز به تبدیل تونل انحراف سمت چپ به سیستم آبگیر و لزوم در نظر گیری فضای مناسب برای تعبیه سیستم ورودی آن طولی معادل  $19$  متر بین ورودی سیستم انحراف و مقطع اصلی تونل برای سازه ورودی در نظر گرفته شده است این طول در تونل سمت راست که برای تخلیه کننده تحتانی بکار گرفته خواهد شد، نیز برابر  $34/30$  متر می باشد. جهت انسداد جریان هنگام آبگیری مخزن، یک سکو ( که با توجه به تراز راه دسترسی) در تراز  $147/5$  متر بالاتر از سطح دریا احداث گردیده است.

### ۵.۴. تونل های تخلیه کننده

برای تخلیه جریان پایه و سیلاب رودخانه از دو رشته تونل به قطر تمام شده (داخلی)  $4/5$  متر که در جناح چپ تکیه گاه سد در نظر گرفته شده اند، استفاده می شود. با توجه به بهره برداری ثانویه، از تونل ها وضعیت توپوگرافی و کاهش حفاری ها، دهانه ورودی این تونل ها در تراز  $140$  متر بالاتر از سطح دریا واقع است و شیب طولی تونل ها  $1\%$  و زبری آن  $0/014$  است. این تونل ها بصورت مستقیم بوده و هیچ خم و انحنایی ندارند. مختصات مرکز سازه ورودی تونل واقع در منتهی الیه راست جناح چپ تکیه گاه سد برابر  $X=389263.64$ ،  $Y=4193778.98$  و طول افقی آن از ابتدای تونل تا انتهای تبدیل مستطیلی خروجی معادل  $246/98$  متر می باشد. مختصات مرکز سازه ورودی تونل واقع در منتهی الیه چپ جناح چپ تکیه گاه سد برابر  $X=389231.04$ ،  $Y=4193746.23$  و طول افقی آن از ابتدای تونل تا انتهای تبدیل مستطیلی خروجی معادل  $270$  متر می باشد. حداکثر سرعت جریان در تونل ها معادل  $12/46$  متر بر ثانیه محاسبه شده است. در انتهای تونل مقطع دایره ای نیز توسط یک تبدیل به طول  $6$  متر به مقطع مربعی با کف مستطیلی و سقف دایره ای تبدیل می شود.

### ۵.۵. حوضچه استغراق

همانگونه که در مبحث تخلیه کننده تحتانی توضیح داده شده است، جهت استهلاک انرژی جریان خروجی از تخلیه کننده تحتانی احتیاج به استفاده از حوضچه استغراق می باشد. با توجه به ملاحظات اجرایی و فنی پیشنهاد می گردد این حوضچه در زمان ساخت سیستم انحراف و تونل های آن ساخته شود.

بنابراین، لازمست در خروجی تونل واقع در منتهی الیه راست جناح چپ تکیه گاه سد این حوضچه اجرا گردد. این حوضچه متشکل از یک دال بتنی است که در تراز ۱۳۱/۵۰ m.a.s.l واقع است و دارای طول ۲۰ متر، یک تبدیل در ابتدا به طول ۶ متر و یک تبدیل در انتها به طول ۱۲ متر می باشد. تراز تاج دیوارهای حوضچه معادل ۱۴۰ m.a.s.l می باشد. ارتفاع این دیوارها از کف حوضچه معادل ۸/۵۰ متر است که از این میزان یک متر به عنوان ارتفاع آزاد منظور شده است. کانال خروجی با شیب صفر در نظر گرفته شده است. جریان خروجی از این حوضچه از طریق این کانال به رودخانه منتقل خواهد شد.

## ۶.۵. کانال تخلیه

جریان خروجی از تونل وارد کانال خروجی بعرض ۵۰ متر با شیب کف صفر شده و از طریق این کانال به رودخانه هدایت می شود. بخشی از کانال در سنگ و بخشی دیگر در خاک حفر می گردد. تراز کف این کانال برابر ۱۳۵/۱۰ m.a.s.l خواهد بود.

## ۶.۶. نتیجه گیری

در این پژوهش سیستم انحراف آب جهت احداث سد جابلی مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت ترکیب تونل انحراف-فرازبند مد نظر واقع شده است. با توجه به اهمیت سد و خاکی بودن آن دوره بازگشت سیلاب طراحی سیستم انحراف، سیلاب ۲۰ ساله با دبی پیک سیلاب ورودی معادل ۸۱۸/۸ مترمکعب بر ثانیه مطابق با استاندارد شماره ۳۷۸ الف ضوابط محاسبات طراحی سدهای بزرگ ایران منظور شده است. در انتخاب مجرای انحراف به حداقل ابعاد قابل اجرا، حداکثر ابعاد اجرایی با عنایت به هزینه های اجرا و نیز حداقل ابعاد مورد نیاز به علت استفاده های ثانویه از سیستم توجه شده است. پس از پایان دوره انحراف به جهت کاهش هزینه های اجرایی، فرازبند بخشی از بدنه سد را تشکیل خواهد داد. مسیر مجرای انحراف با در نظر گرفتن شرایط زمین شناسی و توپوگرافی و اهداف ثانویه بهره گیری از این سازه با هدف به حداقل رساندن طول و نتیجتاً حفاری ها انتخاب شده است. حداکثر سرعت جریان در بهره برداری از تونل انحراف در حالت تحت فشار به ۱۵ m/s محدود شده است. جهت انسداد جریان در بالادست دریچه راس پیش بینی شده است.

## ۷. مراجع

۱. راهکارهای طراحی و بهره برداری تخلیه کننده عمقی مخازن سدها، نشریه شماره ۵۲۱، (۱۳۸۸). معاونت برنامه ریزی و نظارت اجرایی ریاست جمهوری، ۱۷۸ صفحه.
۲. ضوابط انتخاب سیلاب طراحی سدهای بزرگ ایران، نشریه شماره ۳۷۸-الف. (۱۳۹۳). استاندارد صنعت آب و آبفا، ۹ صفحه.
۳. ابریشمی. حسینی. (۱۳۹۰). هیدرولیک کانالهای باز، انتشارات آستان قدس رضوی، ۴۰۸ صفحه.
4. Design of small dams. (1987). A water resources technical publication, USBR, 904 pages.
5. Design of small canal structures. (1978). A water resources technical publication, USBR, 458 pages.
6. Hydraulic design of stilling basins and energy dissipaters. (1984). A water resources technical publication, USBR, 240 pages.