

کاربرد هیدرولوژی

در مهندسی سد

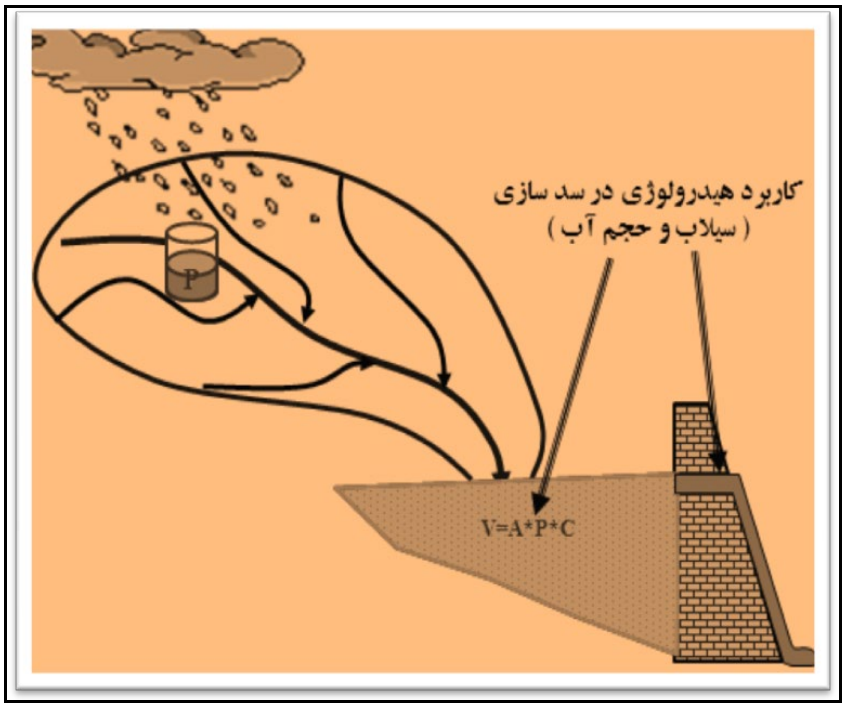
مهدی عجمی

۲-۱- مقدمه

هیدرولوژی در زمینه های مختلف کاری مورد استفاده قرار می گیرد. تعدادی از رشته هایی که در آنها هیدرولوژی کاربرد دارند عبارتند از : راهسازی ، خط آهن ، خطوط انتقال آب ، گاز و برق ، شبکه های انتقال آب ، شهرسازی ، و ... . در پروژه های طولی مانند راهسازی ، خط آهن ، خط انتقال آب ، گاز و برق ، ابتدا محل برخورد آبراهه با مسیر پروژه دقیقاً مشخص گردیده و پس از آن حوزه آبریز بالادست نقطه تقاطع محاسبه می گردد . سپس براساس سیلاب بدست آمده ، ابعاد سازه انتقال آب که بیشتر بصورت یک لوله یا باکس است طراحی می گردد. پس در بیشتر مواقع در چنین پروژه هائی مقدار سیلاب به عنوان یک پارامتر مهم و تعیین کننده در طراحی محاسبه می گردد . در مطالعات هیدرولوژی در سدسازی هم حجم آب مهم است و هم مقدار سیلاب و باید هر دو محاسبه گردد. در ادامه با توجه به اهمیت کاربرد هیدرولوژی در سدسازی به شرح مختصری از آن پرداخته می شود.

۲-۲- کاربرد هیدرولوژی در سد سازی

نزولات جوی که بر روی زمین فرود می آیند ، دارای دو مشخصه می باشند . یکی مقدار حجم آب قابل استحصال و دیگری مقدار آن در واحد زمان ،که تحت عنوان دبی سیلاب نامیده می شود . تعیین مقدار سیلاب ، جهت ایمنی سازه های زیردست آنها کاربرد دارد . ولیکن پارامتری از هیدرولوژی که از نظر حجم منابع آب ، دارای اهمیت تعیین کننده ای است ، حجم آب قابل استحصال یک حوزه آبریز است .



شکل ۲-۱ : نمایی از پارامترهای مختلف دخیل در پروژه های سد سازی (حوزه آبریز ، بارندگی ، مخزن سد) که در آن P مقدار بارندگی ، Vحجم بارندگی ، A مساحت حوزه آبریز و C ضریب جریان می باشد .

در شکل های شماره ۲-۱ و ۲-۲ پارامترهای ذکر شده به خوبی مشخص است . سریز سد زمانی که سد پر از آب گردید ، در صورتی که سیل اتفاق بیفتد ، سریز آن سیلاب را با در نظر گرفتن کلیه مسائل ایمنی عبور می دهد و ایمنی سد را تأمین می کند . با استفاده از مقدار حجم آب قابل استحصال یک سد ، ارتفاع آن مشخص می گردد . پس در جواب این سؤال که چرا سد شکل ۲-۲ ، ارتفاعش این مقدار است ؟ باید گفت : چون در مطالعات هیدرولوژی آن ، حجم آب قابل استحصال سالانه حوزه آبریزآن بطور متوسط حساب گردیده و براساس آن و استفاده از منحنی ارتفاع- حجم حوزه آبریز ، ارتفاع سد بدست آمده است . در این فصل سعی گردیده نحوه ترسیم منحنی ارتفاع- حجم بگونه ای توضیح داده شود که طراح براحتی بتواند در یک پروژه ، منحنی فوق الذکر را ترسیم نماید .

در صورتیکه حجم آب قابل استحصال یک حوزه آبریز ، قابل توجه باشد ، می توان جهت کنترل آن از سد و تغذیه مصنوعی استفاده نمود . در پروژه های سدسازی ابتدا با توجه به مقدار متوسط بارندگی سالانه ،مساحت حوزه آبریز و ضریب جریان آن ، مقدار حجم آب قابل استحصال را از فرمول زیر محاسبه نموده و در صورتیکه حجم آب قابل استحصال آن قابل توجه بود ، اقدام به طراحی و احداث سد می نمایند .

ضریب جریان × مساحت حوزه آبریز × متوسط باران سالانه = **حجم آب قابل استحصال**

۲-۲-۱- ضریب جریان

ضریب جریان یکی از پارامترهای مهم هیدرولوژی است که نشان می دهد چه مقدار از نزولات جوی در یک حوزه آبریز به جریان سطحی تبدیل شده و نهایتاً می توان از آن ، جهت تعیین حجم آب قابل استحصال حوزه آبریز استفاده نمود . ضریب جریان به پارامترهای مختلفی از قبیل : آب و هوا ، درجه حرارت منطقه ، مقدار و نوع بارندگی ، زمان بارندگی ، پوشش گیاهی حوزه ، خصوصیات خاکشناسی حوزه ، شیب متوسط آبراهه ها ، زمین شناسی حوزه و ... بستگی دارد .

با توجه به پارامترهای فوق الذکر و تغییرات این پارامترها در نقاط مختلف یک حوزه آبریز و همچنین متغیر بودن سطح زیر کشت (زمین های زراعی) در قسمت های مختلف ، ضریب جریان آن نیز در مناطق مختلف متفاوت می باشد .

در حوزه های آبریزی که اندازه گیری دبی در آنها وجود داشته باشد ، براحتی می توان حجم آب قابل استحصال سالانه آنرا در یکسال محاسبه نمود . سپس حجم نزولات جوی نیز در حوزه آبریز با حاصلضرب مساحت در متوسط بارندگی سالانه ، براحتی قابل محاسبه است . ضریب جریان از طریق تقسیم نمودن حجم آب قابل استحصال به حجم نزولات جوی حوزه آبریز بدست می آید .

مساحت حوزه آبریز × بارندگی سالانه = **حجم نزولات جوی**

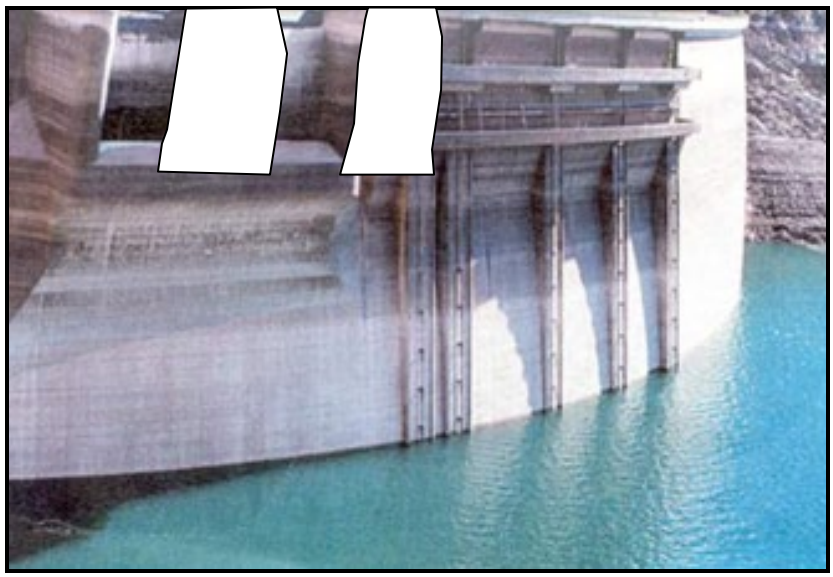
$$\text{ضریب جریان} = \frac{\text{حجم آب قابل استحصال}}{\text{حجم نزولات جوی}}$$

در حوزه آبریزی که اندازه گیری دبی وجود نداشته باشد ، سعی می گردد براساس ضریب جریان حوزه های مجاور و مشابه آن ، ضریب جریان حوزه آبریز را برآورد نمود . بدیهی است که در این حالت مقدار ضریب جریان دقیق نبوده و تخمینی می باشد و متعاقب آن حجم برآوردی آب حوزه آبریز نیز ، تقریبی بدست می آید .



شکل ۲-۲ : سد زاینده رود در حالتیکه دریاچه آن پر گردیده و از سریز آن سیلاب حوزه آبریز خارج می گردد.

همانگونه که در شکل شماره ۲-۲ مشخص است در مواقع ترسالی که دریاچه سد پر می گردد ، همزمان ممکن است بارندگی اتفاق بیفتد و سرریز سد باید حداکثر دبی سیلاب را عبور دهد (کاربرد هیدرولوژی در طراحی ابعاد سرریز سد) و همچنین باید محاسبه کنیم که ارتفاع سد چقدر باشد (کاربرد هیدرولوژی در تعیین حجم آب قابل استحصال حوزه آبریز).



شکل ۲-۳: نمایی از ۲ عدد سرریز سد زاینده رود به ابعاد ۱۰×۱۰ متر(وقتی که سطح آب دریاچه از آن پایین تر است).

به عنوان مثال با توجه به شکل ۲-۳ در مطالعات هیدرولوژی سد زاینده رود ، ابتدا براساس حجم آب قابل استحصال حوزه آبریز ، ارتفاع سد مشخص شده و به دنبال آن براساس سیلاب حوزه آبریز با ایمنی مناسب (اغلب دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال در نظر گرفته می شود) ، ابعاد سریز طراحی می شود . یعنی براساس حداکثر بارندگی که هر ۱۰۰۰۰ سال یک بار اتفاق می افتد ، سیلاب تعیین و با استفاده از آن ، ابعاد سریز مشخص می گردد . همچنین با توجه به حجم آب قابل استحصال حوزه آبریز سد زاینده رود که حدود ۱۳۰۰ میلیون مترمکعب در سال است و استفاده از منحنی ارتفاع –حجم آن ، ارتفاع سد ۱۰۰ متر بدست آمده و براساس به سیلاب طرح حوزه آبریز آن که حدود ۱۸۰۰ مترمکعب در ثانیه است دو سریز به ابعاد ۱۰× ۱۰ انتخاب گردید .

۲-۲-۲- جایگاه مطالعات هیدرولوژی در موفقیت و یا عدم موفقیت پروژه های سدسازی

به طور خلاصه در قسمتهای قبل بیان گردید که در صورتیکه در یک حوزه آبریز ، مخزنی مناسب ، جهت ذخیره آب وجود داشته باشد ، برای ذخیره آب حوزه آبریز ،

اقدام به احداث سد مخزنی میگردد . در چنین حالت باید منحنی ارتفاع – حجم، مخزن فوق را ترسیم نموده و با توجه به مقدار حجم آب قابل استحصال حوزه آبریز که قبلاً محاسبه گردیده و با استفاده از منحنی ارتفاع–حجم ، اقدام به تعیین ارتفاع سد نمود .

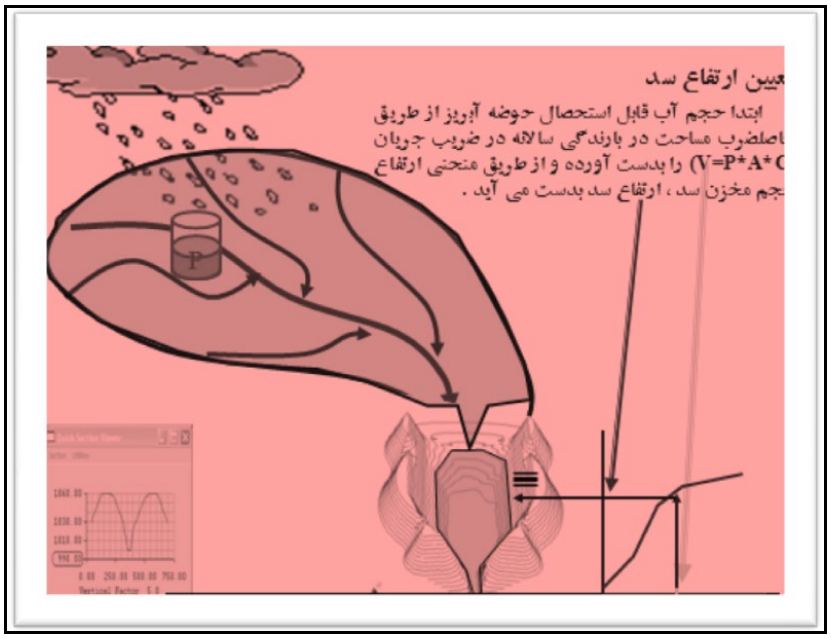
با توجه به مطالب فوق الذکر می توان نتیجه گرفت که مطالعات هیدرولوژی از نقش تعیین کننده ای در پروژه های سدسازی برخوردار می باشد . زیرا در صورتیکه هیدرولوژ دقیقاً مشخص نمود که حوزه آبریز ، آب قابل توجهی دارد ، می توان مطالعات بعدی طراحی سد را آغاز و همچنین ارتفاع سد که یکی از پارامترهای مهم در سدسازی است را در مطالعات هیدرولوژی مشخص نمود . بدیهی است در صورتیکه حجم آب قابل استحصال یک حوزه آبریز ، با دقت کافی محاسبه و برآورد نگردد ، باعث خطاهای جبران ناپذیری در طراحی سد می گردد . زیرا در صورتیکه مقدار آب قابل استحصال ، بیش از حد در نظر گرفته شده باشد ، باعث می گردد که برای آن حجم ، ارتفاع سد را طراحی نماییم و یا به عبارت دیگر با افزایش حجم مخزن سد ، ارتفاع آن ، افزایش یافته و هزینه های احداث سد افزایش می یابد و یا به زبانی دیگر ، مخزن سد در بیشتر سالها پر نمی گردد. و در حالتیکه مقدار آب قابل استحصال حوزه آبریز کمتر در نظر گرفته شود ، باعث می گردد که ارتفاع سد را کمتر از مقدار مورد نیاز در نظر گرفته و حجم آب قابل توجهی از حوزه آبریز ، همه ساله از سرریز سد خارج گردیده و تلف شود. پس دقت عمل در مطالعات هیدرولوژی در طراحی سد از اهمیت تعیین کننده ای برخوردار است و با کمترین خطا ممکن است پس از احداث سد ، مخزن آن همه ساله پر نگردد و یا زود پر گردیده و مقدار قابل توجهی از آب حوزه آبریز تلف شود . پس یکی از پارامترهای مهم در موفقیت و یا عدم موفقیت یک پروژه سدسازی ، نتایج حاصل از مطالعات هیدرولوژی آن می باشد .

۲-۲-۳- تعیین منحنی ارتفاع-حجم سد

همانگونه که از شکل ۲-۴ مشخص است جهت تعیین منحنی، ارتفاع- حجم یک سد، باید مراحل زیر دنبال گردد :

۱- حجم آب قابل استحصال حوزه آبریز دقیقاً برآورد گردد .

۲- جایگاهی مناسب جهت احداث سد مشخص شود.



شکل ۲-۴ : نمایی شماتیک از روند تعیین منحنی ارتفاع – حجم یک سد همراه با مقطع جایگاه سد .

۳- بالا دست جایگاه فوق الذکر (به طرف داخل دریاچه سد) توسط یک نقشه بردار مجرب ، نقشه برداری با مقیاس یک هزارم تا یک دو هزار پانصدم گردد .

تذکر : پیشنهاد می گردد ابتدا با توجه به تجارب شخصی و استفاده از نقشه های موجود از منطقه ($\frac{1}{50000}$) اقدام به برآورد ارتفاع تقریبی ، برای سد نموده و براساس ارتفاع تقریبی فوق و اضافه نمودن آن به ارتفاع مطلق دره جایگاه سد ، محدوده ای از داخل دریاچه سد که ارتفاعی بین ارتفاع جایگاه سد و مجموع ارتفاع جایگاه و ارتفاع سد را داشته باشد ، نقشه برداری گردد . برای مثال در صورتیکه ارتفاع تقریبی یک

سد برای ذخیره حجم آب قابل استحصال ۱۰۰ متر برآورد شده باشد و ارتفاع مطلق دره جایگاه سد (پی سد) ۲۰۸۰ متربود ، ضروریست نقاطی داخل دریاچه سد نقشه برداری گرددکه ارتفاع آنها بین ۲۰۸۰ و ۲۱۸۰ متر باشد . به زبان ساده باید تا خط تراز ۲۱۸۰ متر ، توسط نقشه بردار ،از منطقه بالادست دریاچه سد نقشه برداری گردد .

۴- سپس با توجه به نقشه برداشت شده از منطقه ، بوسیله کامپیوتر و یا بوسیله دست ، اقدام به محاسبه حجم دریاچه سد گردد .جهت نیل به هدف فوق باید بصورت زیر عمل نمود :

۲-۲-۴- محاسبه حجم سد

با توجه به پستی و بلندی منطقه و استفاده از نقشه توپوگرافی تهیه شده ، داخل مخزن سد به تعداد ۵ تا ۱۰ محدوده ارتفاعی مشخص گردیده و خطوط تراز محدوده های فوق الذکر را به صورت پر رنگ جدا گردد (برای مثال جهت ارتفاع مثال فوق الذکر ، خطوط تراز : ۲۰۸۰ ، ۲۰۹۰ ،۲۱۰۰ ،...،۲۱۸۰ را پر رنگ نموده و مساحت مربوط به هر کدام از منطقه محدود به خطوط تراز فوق الذکر را (S_1, S_2, S_3, ...S_n)محاسبه و بوسیله فرمول زیر ، حجم هر قسمت را محاسبه نمود :

$$V=h/2[(\underline{S_1}+\underline{S_2})+(\underline{S_2}+\underline{S_3})+\ldots+(\underline{S_{n-1}}+\underline{S_n})]$$

تذکر : h فاصله دو خط تراز متوالی انتخابی می باشد .

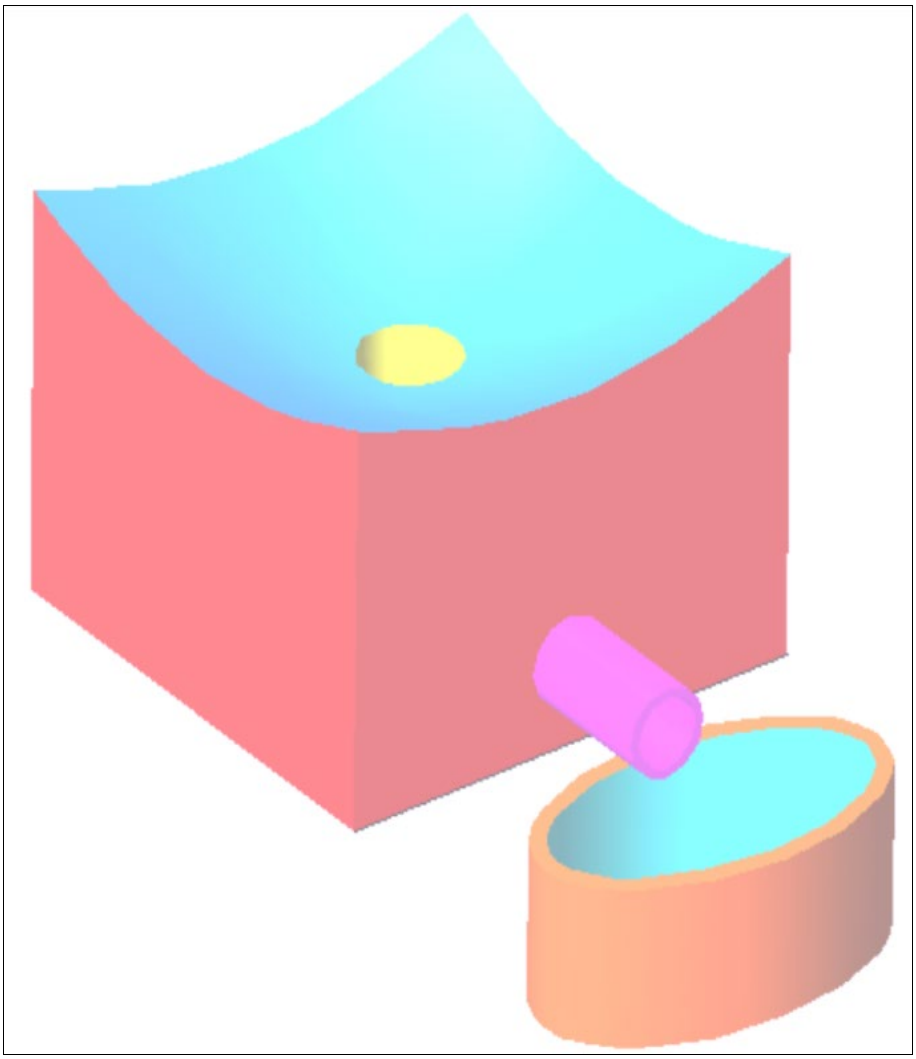
جدول ۲-۱- روند محاسبات منحنی ارتفاع – حجم یک سد

ردیف	ارتفاع خطوط تراز انتخابی (Y)	مساحت مربوط به خط تراز	حجم مربوط به ۲ خط تراز متوالی	حجم تجمعی (X)
	H	۰	-	-
۱	H+h	S_1	$V_1=h/2(0+S_1)$	V_1
۲	H+2h	S_2	$V_2=h/2(S_1+S_2)$	V_1+V_2
۳	H+3h	S_3	$V_3=h/2(S_2+S_3)$	$V_1+V_2+V_3$
۴	.	.	.	.
	.	.	.	.
	H+nh	S_n	$V_n=h/2(S_{n-1}+S_n)$	$V_1+V_2+V_3+\cdots+Vn$

- H : برابر است با ارتفاع مطلق جایگاه سد
- h : برابر است با فاصله دو خط تراز متوالی انتخابی

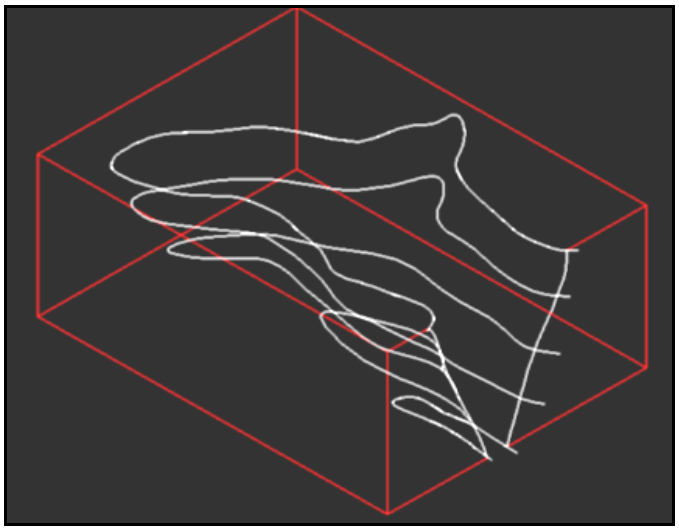
۶-با توجه به جدول شماره ۲-۱ منحنی ارتفاع حجم سد ترسیم می گردد . (ستون دوم از سمت راست به عنوان محور Y و ستون پنجم از سمت راست به عنوان محور X)

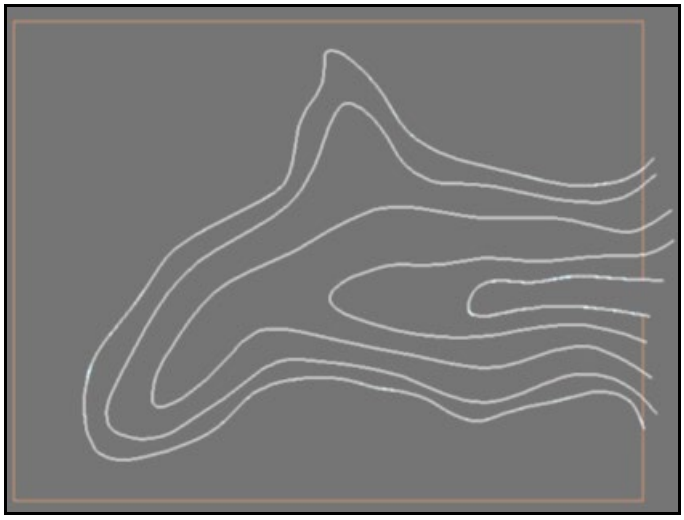
در ادامه جهت درک ساده تر مفاهیم مربوط به پارامترهای برآوردی مورد نیاز در مطالعات هیدرولوژی در سدسازی ، اقدام به شبیه سازی کامپیوتری تصویرهایی گردیده که ارائه می شود و در زیر هر شکل توضیحات مورد نیاز شرح داده شده است.



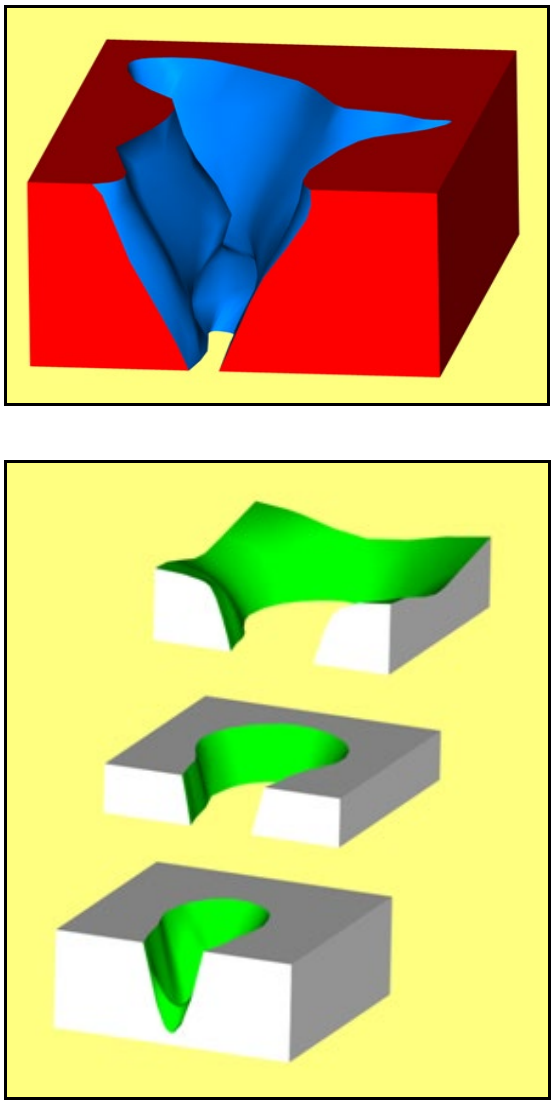
شکل ۲-۵: شکل شماتیک یک حوزه آبریز دست ساز بشر (پشت بام) همراه با خروجی و مخزن ذخیره آب آن[1]

۱- پشت بام تشابه زیادی با یک حوزه آبریز سد را دارد. زیرا کل حجم رواناب ناشی از نزولات سالانه پشت بام ، در یک ظرف ذخیره می شود و همانند حجم آب قابل استحصال سالانه حوزه آبریز در سد سازی است . و طراحی قطر ناودان جهت خروج سیلاب ناشی از نزولات جوی پشت بام ، در طول عمر پروژه بگونه ای انتخاب می شود که هیچ موقع آب روی پشت بام نماند (همانند سرریز سد می باشد).

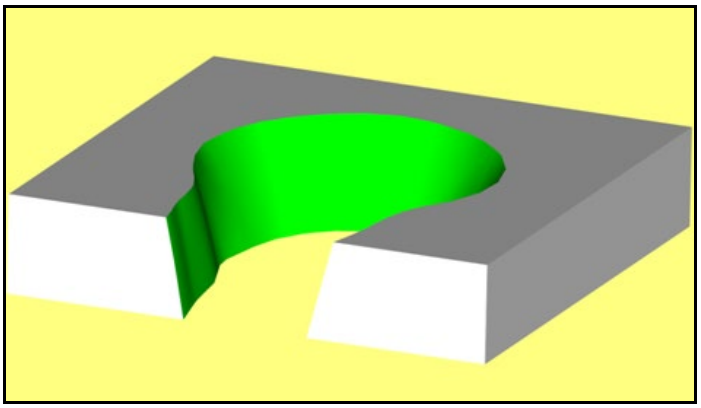




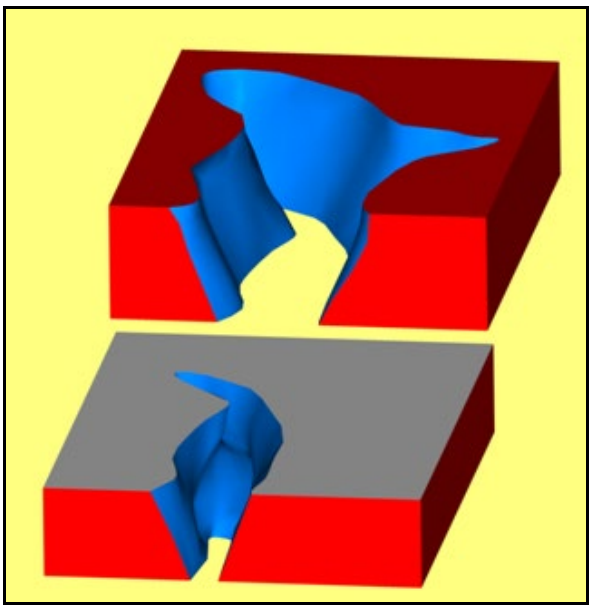
شکل ۲-۶ : نمای دو بعدی و سه بعدی از مخزن یک سد که توسط نرم افزار مکانیکال دسکتاپ ساخته شده است .جهت محاسبه حجم دریاچه ضروریست مساحت مربوط به هر خط تراز ($S_1, S_2, S_3, \ldots S_n$) محاسبه شود .



شکل ۲-۷ : شبیه سازی کامپیوتری مخزن یک سد همراه با سه برش از آن



شکل ۲-۸: برای محاسبه حجم داخل این برش از مخزن سد ، ابتدا سطح مقطع بالا و پایین آن محاسبه می شود . سپس دو سطح مقطع جمع شده و در نصف فاصله عمودی دو سطح مقطع ضرب میگردد .



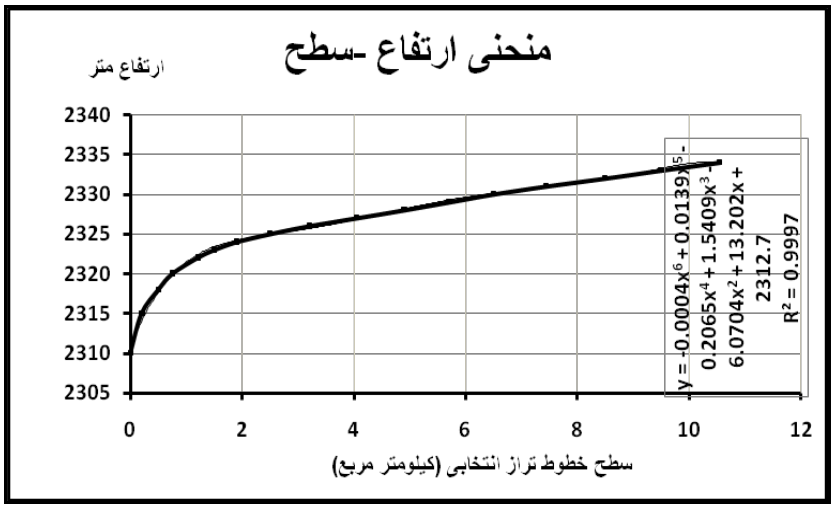
شکل ۲-۹: نماهای مختلفی از برش مخزن یک سد به قسمتها مناسب ، جهت تعیین حجم مخزن آن قسمت

۵-۲-۲- محاسبه منحنی ارتفاع – حجم ، چند پروژه

در ادامه برای بیان بهتر مسئله، اقدام به ارائه محاسبات منحنی ارتفاع–حجم سد حنا واقع در استان چهار محال و بختیاری و سد زاینده رود گردیده است . همچنین بدنبال آن چند مثال بصورت تکلیف برای دانشجویان عزیز جهت یادگیری سریع مطالب آورده شده است .

جدول ۲-۲

	A	B	C	D	E
1	تغییرات ارتفاع ،سطح و حجم سد حنا استان چهارمحال بختیاری				
2	ردیف	ارتفاع خط تراز انتخابی	سطح خط تراز انتخابی (کیلومتر متر مربع)	حجم بین دو خط تراز انتخاتی (میلیون متر مکعب)	حجم تجمعی (میلیون متر مکعب)
3	1	2310	0	_	0
4	2	2315	0.20	0.7 ***	0.70
5	3	2318	0.50	1.05	1.75
6	4	2320	0.75	1.25	3.00
7	5	2322	1.20	1.95	4.95
8	6	2323	1.50	1.35	6.30
9	7	2324	1.90	1.70	8.00
10	8	2325	2.50	2.20	10.20
11	9	2326	3.20	2.85	13.05
12	10	2327	4.05	3.63	16.68
13	11	2328	4.90	4.48	21.15
14	12	2329	5.70	5.30	26.45
15	13	2330	6.50	6.10	32.55
16	14	2331	7.45	6.98	39.53
17	15	2332	8.50	7.98	47.50
18	16	2333	9.50	9.00	56.50
19	17	2334	10.55	10.03	66.53
20	***حجم دریاچه سد تا ارتفاع کمتر از ۲۳۱۵ .				



شکل شماره ۲-۳: منحنی ارتفاع سد حنا

تکلیف ۱: با توجه به سطح خطوط تراز انتخابی دریاچه سد حنا همراه با ارتفاع اختصاص یافته به هر سطح که براساس نقشه برداری از دریاچه سد فوق برآورد گردیده و در جدول شماره ۲-۳ نشان داده شده است ، مطلوبست تکمیل جدول فوق و ترسیم منحنی ارتفاع حجم برای دریاچه سد . در صورتیکه حجم آب قابل استحصال سالانه حوزه آبریز سد با احتمال وقوع ۸۵ درصد برابر با ۵۰ میلیون مترمکعب باشد ، ارتفاع سد را محاسبه کنید .

توجه : کلیه اعداد ستون مربوط به سطح خط تراز انتخابی (ستون سوم) در ضریب دانشجویی ضرب گردد و پس از آن محاسبات انجام پذیرد.

$$\text{ضریب دانشجویی} = ۱ + \frac{\text{دو رقم سمت راست شماره دانشجویی}}{۱۰۰}$$

تکلیف : جدول زیر را تکمیل نمایید .

جدول شماره ۲-۳ : تغیرات ارتفاع ،سطح و حجم سد حنا استان چهارمحال

ردیف	ارتفاع خط تراز انتخابی	سطح خط تراز انتخابی (کیلومتر متر مربع)	حجم بین دو خط تراز انتخاتی (میلیون متر مکعب)	حجم تجمعی (میلیون متر مکعب)
1	**2310**	**0**	_	**0**
2	**2315**	**0.20**	**0.7 *****	**0.70**
3	**2318**	**0.50**		
4	**2320**	**0.75**		
5	**2322**	**1.20**		
6	**2323**	**1.50**		
7	**2324**	**1.90**		
8	**2325**	**2.50**		
9	**2326**	**3.20**		
10	**2327**	**4.05**		
11	**2328**	**4.90**		
12	**2329**	**5.70**		
13	**2330**	**6.50**		
14	**2331**	**7.45**		
15	**2332**	**8.50**		
16	**2333**	**9.50**		
17	**2334**	**10.55**		

*****حجم دریا چه سد تا ارتفاع کمتر از ۲۳۱۵ .**

۶-۲-۲- محاسبه منحنی ارتفاع- حجم ، سد زاینده رود

در ادامه محاسبات مربوط به تعیین منحنی ، ارتفاع-حجم و ارتفاع سطح ، سد زاینده رود ارائه شده است . توضیح این نکته ضروریست که معادله منحنی فوق الذکر نیز به کمک نرم افزار کامپیوتری محاسبه شده و در شکل های مربوطه نشان داده شده است .

تکلیف ۲ : جدول ۲-۴ حاوی مساحت مربوط به خطوط تراز انتخابی جهت محاسبه منحنی ارتفاع-حجم سد و ارتفاع سطح ، سد زاینده رود می باشد . براساس مقادیر موجود در جدول به سؤالات زیر پاسخ دهید :

۱- آیا منحنی ارتفاع-حجم و ارتفاع ، سطح سد فوق صحیح ترسیم گردیده است(دقیقاً جداول برای بار دوم چک شود) ؟

۲- از منحنی های فوق چه استفاده هایی می شود ؟

۳- برای ذخیره مقادیر یک میلیارد و یک و چهاردهم میلیارد مترمکعب آب در دریاچه سد زاینده رود چه ارتفاعی برای سد باید انتخاب شود ؟

۴- در ارتفاع ۷۵ متر ، حجم آب داخل سد چقدر است ؟

۵- بیشترین سطح دریاچه در چه ارتفاعی می باشد ؟ و اگر مقدار تبخیر در یک روز ۱۰ میلیمتر باشد مطلوبست محاسبه حجم آب تبخیر شده از سطح دریاچه در یک روز.

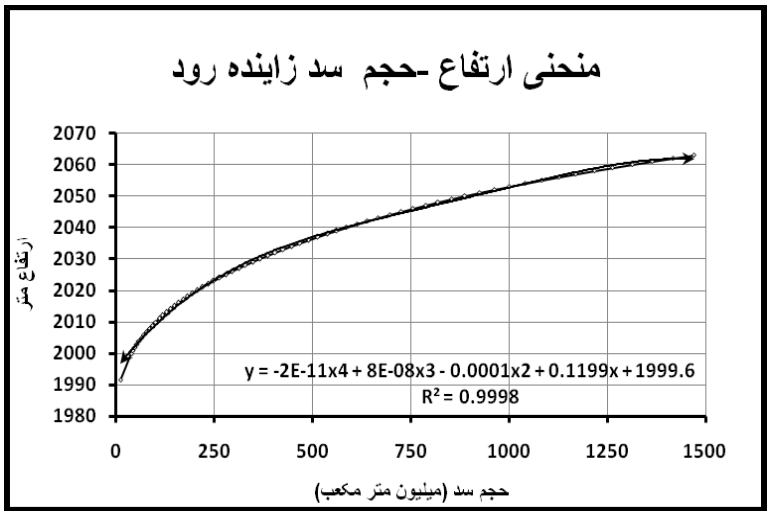
جدول ۲-۴

تغیرات ارتفاع ،سطح و حجم سد زینده رود				
ردیف	ارتفاع خط تراز انتخابی	سطح خط تراز انتخابی (کیلومتر متر مربع)	حجم بین دو خط تراز انتخاتی (میلیون متر مکعب)	حجم تجمعی (میلیون متر مکعب)
1	**1983**	**0**	_	**0.0**
2	**1991.5**	_	**12**	**12.0**
3	**2000**	_	_	**40.0**
4	**2001**	_	_	**44.0**

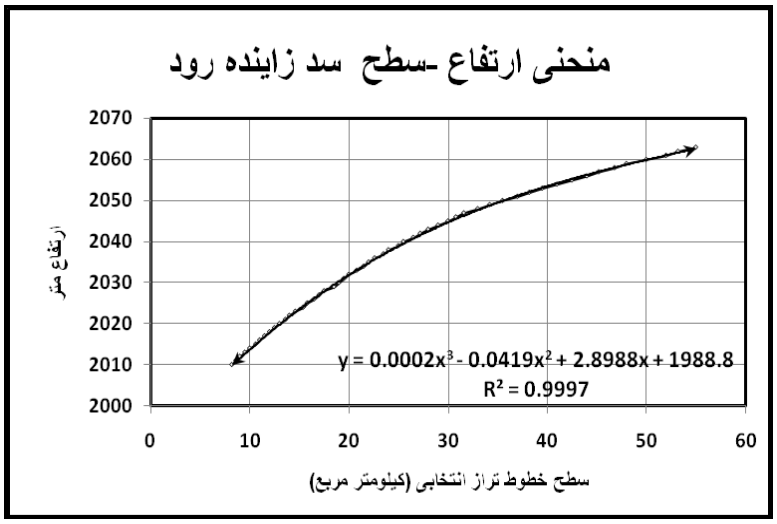
5	**2002**	_	_	**49.0**
6	**2003**	_	_	**54.0**
7	**2004**	_	_	**59.0**
8	**2005**	_	_	**65.0**
9	**2006**	_	_	**71.0**
10	**2007**	_	_	**78.0**
11	**2008**	_	_	**85.0**
12	**2009**	_	_	**93.0**
13	**2010**	**8.2**	**102 *****	**102.0**
14	**2011**	**8.6**	**8.4**	**110.4**
15	**2012**	**9**	**8.8**	**119.2**
16	**2013**	**9.5**	**9.3**	**128.5**
17	**2014**	**10**	**9.8**	**138.2**
18	**2015**	**10.6**	**10.3**	**148.5**
19	**2016**	**11**	**10.8**	**159.3**
20	**2017**	**11.5**	**11.3**	**170.6**
21	**2018**	**12**	**11.8**	**182.3**
22	**2019**	**12.5**	**12.3**	**194.6**
23	**2020**	**13**	**12.8**	**207.3**
24	**2021**	**13.6**	**13.3**	**220.6**
25	**2022**	**14**	**13.8**	**234.4**
26	**2023**	**14.6**	**14.3**	**248.7**
27	**2024**	**15.4**	**15.0**	**263.7**
28	**2025**	**15.8**	**15.6**	**279.3**
29	**2026**	**16.5**	**16.2**	**295.5**
30	**2027**	**17**	**16.8**	**312.2**

31	**2028**	**17.5**	**17.3**	**329.5**
32	**2029**	**18.5**	**18.0**	**347.5**
33	**2030**	**19**	**18.8**	**366.2**
34	**2031**	**19.5**	**19.3**	**385.5**
35	**2032**	**20**	**19.8**	**405.2**
36	**2033**	**20.8**	**20.4**	**425.6**
37	**2034**	**21.5**	**21.2**	**446.8**
38	**2035**	**22**	**21.8**	**468.5**
39	**2036**	**22.6**	**22.3**	**490.8**
40	**2037**	**23.5**	**23.1**	**513.9**
41	**2038**	**24**	**23.8**	**537.6**
42	**2039**	**25**	**24.5**	**562.1**
43	**2040**	**25.5**	**25.3**	**587.4**
44	**2041**	**26.5**	**26.0**	**613.4**
45	**2042**	**27.2**	**26.9**	**640.2**
46	**2043**	**28**	**27.6**	**667.8**
47	**2044**	**29**	**28.5**	**696.3**
48	**2045**	**30**	**29.5**	**725.8**
49	**2046**	**30.8**	**30.4**	**756.2**
50	**2047**	**31.6**	**31.2**	**787.4**
51	**2048**	**33**	**32.3**	**819.7**
52	**2049**	**34.2**	**33.6**	**853.3**
53	**2050**	**35.5**	**34.9**	**888.2**
54	**2051**	**37**	**36.3**	**924.4**
55	**2052**	**38.2**	**37.6**	**962.0**
56	**2053**	**39.5**	**38.9**	**1000.9**
57	**2054**	**41**	**40.3**	**1041.1**
58	**2055**	**42.5**	**41.8**	**1082.9**
59	**2056**	**44**	**43.3**	**1126.1**

60	**2057**	**45.2**	**44.6**	**1170.7**
61	**2058**	**46.8**	**46.0**	**1216.7**
62	**2059**	**48**	**47.4**	**1264.1**
63	**2060**	**50**	**49.0**	**1313.1**
64	**2061**	**52**	**51.0**	**1364.1**
65	**2062**	**53.2**	**52.6**	**1416.7**
66	**2063**	**55**	**54.1**	**1470.8**
*****2010 حجم دریاچه سد تا ارتفاع.**				



شکل ۲-۱۲ : منحنی ارتفاع حجم سد زاینده رود



شکل ۲-۱۳ : منحنی ارتفاع سطح سد زاینده رود

تکلیف ۳ : با توجه به نقشه $\frac{1}{50000}$ مرز حوزه آبریز شکل ۲-۱۴ ، در صورتیکه مساحت حوزه آبریز فوق الذکر ۷۰ کیلومتر مربع و متوسط باران سالانه حوزه آبریز فوق با احتمال وقوع مختلف ،که در جدول شماره ۲-۵ نشان داده شده است و همچنین ضریب جریان حوزه آبریز که براساس مطالعات مربوطه، برابر با ۰/۲ باشد ، مطلوبست :

الف : دوره بازگشت متوسط باران سالانه برای احتمال وقوعهای مختلف (ستون مربوطه در جدول کامل شود)

توضیح : دوره بازگشت عکس احتمال وقوع است .

ب :حجم آب قابل استحصال سالانه برای دوره های بازگشت موجود در جدول ۲-۵

ج : آیا در حوزه آبریز فوق امکان احداث یک سد وجود دارد یا خیر ؟بحث نمایید .

ح : انتخاب دوره بازگشت مناسب جهت انتخاب حجم آب قابل استحصال حوزه آبریز جهت تعیین ارتفاع سد

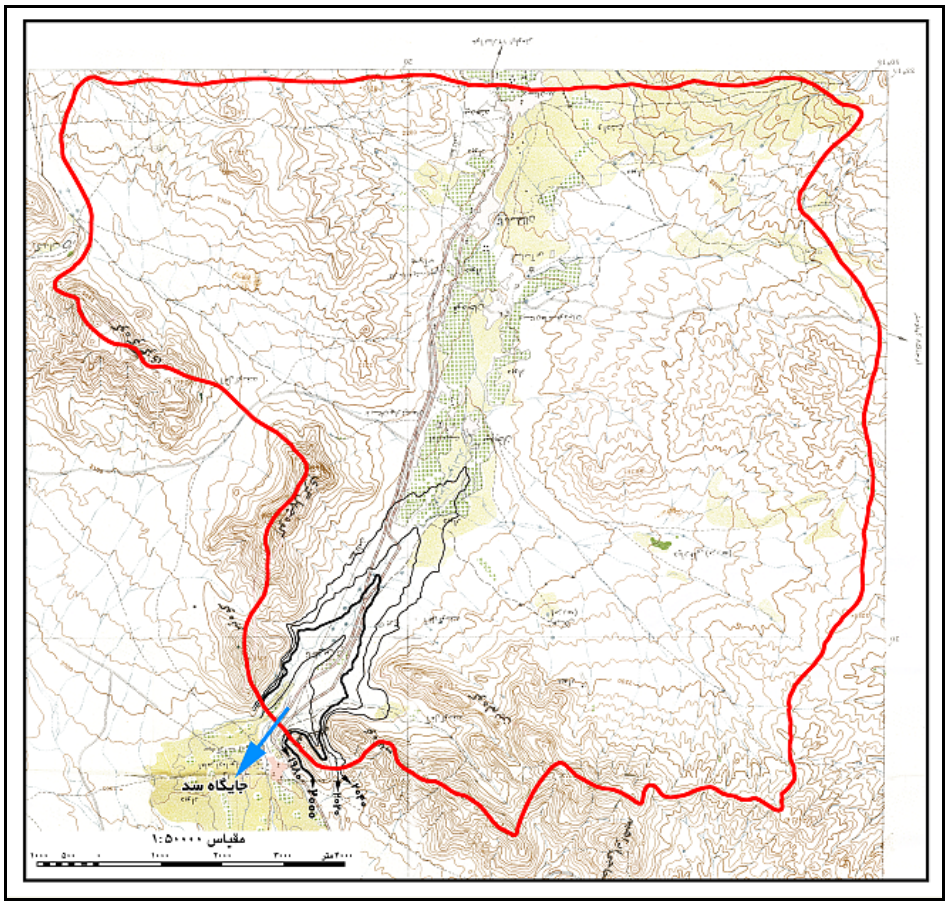
د : ترسیم منحنی ارتفاع-حجم برای مخزن سد فوق

ه : تعیین ارتفاع سد

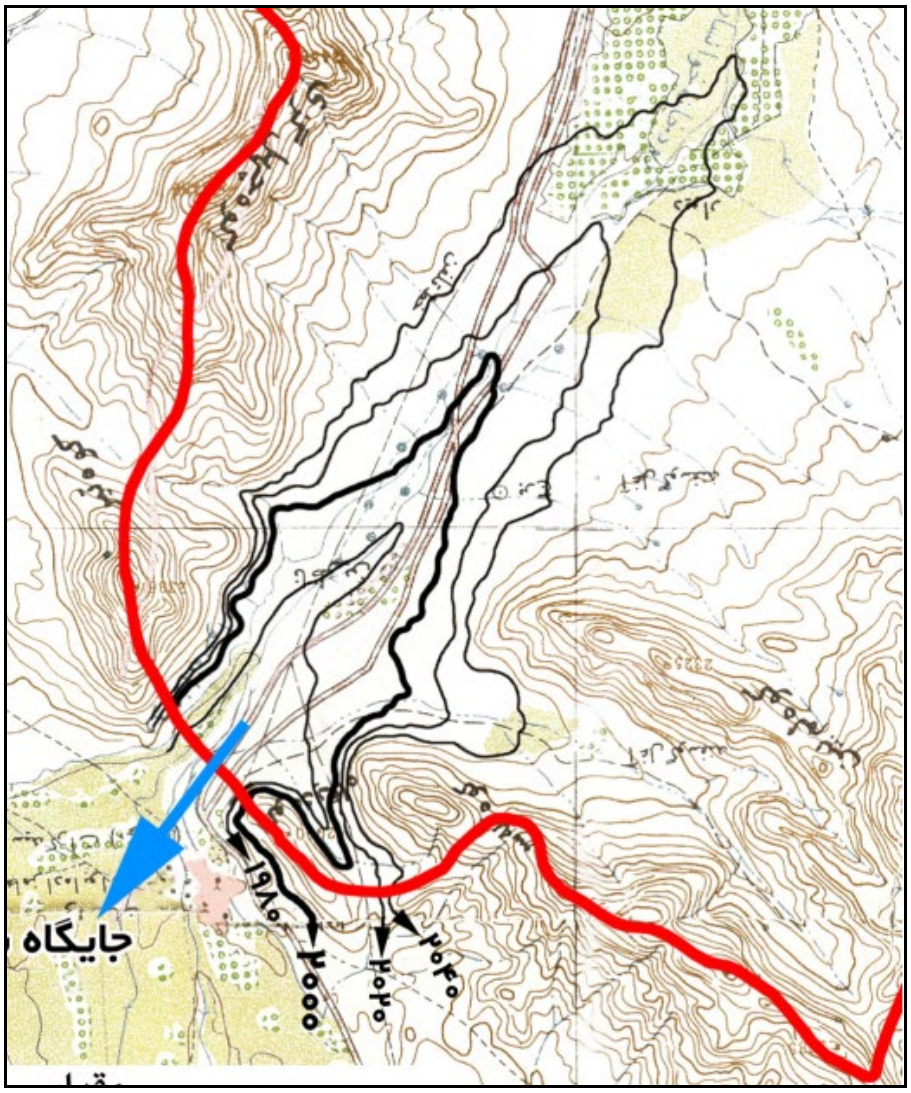
جدول ۲-۵

ردیف	احتمال وقوع(درصد)	دوره بازگشت(سال)	مقدار بارندگی سالانه (میلیمتر)	حجم آب قابل استحصال(میلیون مترمکعب)	ملاحظات
۱	۱۰۰		۳۰۰		
۲	۹۰		۳۵۰		
۳	۸۰		۴۲۰		
۴	۷۰		۴۸۰		
۵	۶۰		۵۲۵		
۶	۵۰		۵۵۶		
۷	۳۰		۵۸۷		
۸	۲۰		۶۱۷		
۹	۱۰		۶۳۵		
۱۰	۵		۷۲۳		

* دوره بازگشت عکس احتمال وقوع می باشد .



شکل ۲-۱۴ : نقشه توپوگرافی حوزه آبریز و مخزن سد (با توجه به مقیاس ترسیمی موجود در پایین نقشه و خطوط تراز پر رنگ شده به راحتی میتوان مساحت هر خط تراز را محاسبه نمود .)



شکل ۲-۱۵ : بزرگنمائی نقشه قسمت مربوط به مخزن سد [۱]

۱- با استفاده از این نقشه خیلی راحت تر می توان مساحت مربوط به هر خط تراز را محاسبه نمود . بدیهی است باید با ترسیم خط مربوط به دو نقطه مشابه در نقشه موجود و نقشه قبل ، اقدام به تعیین مقیاس ترسیمی این نقشه نمود . بهتر است اندازه فلش در دو نقشه جهت تصحیح مقیاس استفاده گردد.

با توجه به اهمیت مطالعات هیدرولوژی در سدسازی ، در ادامه به اختصار مطالبی در ارتباط با : اهداف پروژه های سدسازی ، گروههای متخصص مورد نیاز در طرحهای سدسازی ، نقش و جایگاه هیدرولوژی در سدسازی همراه با حل یک مسئله ارائه گردیده است . توضیح این نکته ضروریست که در قسمتهای قبل بیشتر تأکید بر درک بهتر مفاهیم بود در صورتیکه در این قسمت بیشتر مسائل به صورت تئوریک و کلاسیک و پیوسته بیان شده است . مسئله انتخابی تقریباًدر سطح مطالعات شناسائی و فاز یک یک سد است . زیرا با حل و جواب دادن و جواب دادن به پرسشهای موجود در مسئله برای هر محل که نیاز است سدی احداث گردد به خیلی از اطلاعاتی که در مورد احداث و یا عدم احداث یک سد در یک منطقه است ، خواهیم رسید .

توضیح : مقیاس نقشه شکل شماره ۱۵ از رابطه زیر بدست می آید :

× مقیاس نقشه شکل ۱۴ : **مقیاس نقشه شکل ۱۵**

۲-۲-۷- اهداف پروژه‌های سدسازی

یک پروژه سدسازی ممکن است برای یک و یا چند منظور احداث شود . در صورتیکه برای چند هدف طراحی شده باشد. آنرا یک طرح چند منظوره می‌نامند. این اهداف می‌توانند شامل موارد زیر باشند :

۱- ذخیره آب به منظور آبرسانی (آب مصرفی)

۲- ذخیره آب به منظور آبیاری و کشاورزی

۳- ذخیره آب به منظور مصارف صنعتی

۴- انرژی برق آبی

۵- جلوگیری از خسارات سیل

۶- اهداف تفریحی

۷- ترکیبی از موارد فوق

۲-۲-۸- گروههای متخصص مورد نیاز در طرحهای سد سازی

براساس آنچه تا به حال مرسوم بوده پروژه‌های سدسازی در سه فاز و یا مرحله مختلف انجام می‌گرفته است.

فاز اول : شامل مرحله مطالعات و بررسی‌ها است. در این فاز کلیه مطالعات مورد نیاز برای کسب اطلاعات پایه ای به منظور تهیه بهترین طرحها انجام می‌گیرد. مقصود از بهترین طرح، طرحی است که به نحو شایسته ای (از نظر فنی، اقتصادی و اجرائی) بتواند حداکثر کارآیی را داشته باشد.

فاز دوم : فاز دوم تهیه طرحهای نهایی است که در این مرحله نقشه‌های فنی و اجرائی تهیه می‌شود.

فاز سوم : در فاز سوم طرح به اجرا در می‌آید. البته قابل ذکر است که نحوه تقسیم عملیات به صورت مراحل سه گانه فوق در همه جای دنیا یکسان نیست. در بعضی از کشورها مراحل فوق به مراحل دیگری نیز تقسیم می‌شود که بستگی به برنامه‌های دولت در اولویت‌های عمرانی و همچنین امکانات مالی و اعتباری دارد. مثلاً ممکن

است یک سری طرحهای سدسازی به صورت ضربتی انجام گیرد که هر سه مرحله به صورت پیوسته انجام گیرد و یا اینکه سازمانی مثلاً بنام سدسازی ، طرح و اجرای یک سری پروژه‌های سدسازی را بعهده بگیرد که در این صورت خود آن سازمان دفتر مطالعه و طرح جداگانه ای خواهد داشت که از دفتر نظارت مستقل است و پیمانکار آن می‌تواند یک سازمان نیمه دولتی (به صورت امانی) و یا متشکل از تعدادی از پیمانکاران متخصص و مجهز باشد. کلیه این گزینه‌ها امکان پذیر است و هر کشوری بنا به مقتضیات و احتیاجات مملکتی ممکن است الگوی مخصوصی را پیاده کند.

در کشورهای پیشرفته از لحاظ تکنولوژی، عملیات مهار و استفاده از منابع آبهای سطحی در نیم قرن گذشته انجام شده و کارشناسان و متخصصان آنها در رشته‌های سدسازی در سایر کشورهای در حال رشد خدمت می‌کنند. این کارشناسان بندرت در کشور متبوعه خود اقامت دارند.

بطور کلی گروههای که برای تشکیل دفتر فنی (مطالعه و طرح) و همچنین نظارت فنی کارگاهها مورد لزوم است به قرار زیر می‌باشد :

۲-۲-۹- گروههای مورد لزوم دفتر فنی سدسازی

۱- گروه هیدرولیک

۲- گروه هیدرولوژی و کلیماتولوژی

۳- گروه آبهای زیرزمینی

۴- گروه نقشه برداری

۵- گروه کارشناسان ساختمان

۶- گروه کشاورزی و آبیاری

۷- گروه مطالعات اقتصادی

۸- گروه هماهنگی

۹- گروه مطالعات روی مدل

۱۰- گروه زمین شناسی

۲-۲-۱۰- گروههای مورد لزوم برای نظارت فنی کارگاهها

۱- گروه نظارت بر بتن ریزی

۲- گروه نظارت بر نیروگاهها

۳- گروه ژئوتکنیک و مکانیک خاک

۴- گروه عملیات تونل سازی

۵- گروه هماهنگی

۶- گروه کانال سازی

۷- گروه نقشه برداری

۸- گروه مترور (برآورد عملیات)

۹- گروه امور قراردادها

۱۰- گروه تأسیسات هیدرومکانیک

۱۱- گروه حل و فصل دعاوی (خرید اراضی و غیره)

بطور کلی ملاحظه می‌شود حداقل ۱۰ گروه متشکل از متخصصین فن، نیاز می‌باشد تا دفتری بنام دفتر فنی سدسازی تشکیل شود و همچنین ۱۱ گروه برای دفتر فنی نظارت مورد لزوم است.

۲-۲-۱۱- اهمیت گزارش هیدرولوژی در سدسازی

هیدرولوژی علم مطالعه سیکل آب در طبیعت است و مهندسی هیدرولوژی مربوط به نحوه مهار و استفاده از آن در خدمت بشر است. با مطالعه سیکل آب در طبیعت می‌توان دریافت که علم هیدرولوژی در دامنه بسیار وسیعی با سایر علوم در تماس است که از جمله می‌توان به هواشناسی، اقلیم شناسی، کشاورزی، جنگلداری، خاکشناسی و... اشاره کرد.

به عبارت دیگر علم هیدرولوژی یکی از رشته‌های وسیع و دامنه دار و همچنین مهم در فن سدسازی است که در این مجموعه نمی‌گنجد و متأسفانه متخصصین این فن امروزه در هر کشوری نادرند. یکی از تعاریف فن سدسازی، مهار آبهای سطحی بنحو معقول

و اقتصادی است. یعنی با احداث دیواره ای در جهت عمود بر جریان رودخانه آبهای سطحی مهار شود. علم محاسبه میزان آب قابل کنترل همان مهندسی هیدرولوژی است که کلیه ابعاد و سایر قسمت‌ها از آن مشتق می‌شود. همچنین با مراجعه به نمودار مراحل مختلف انجام کار در امور سدسازی می‌توان دریافت که گروه کارشناسان سیول سدسازی فقط پس از دریافت گزارش هیدرولوژی قادر به تهیه مشخصات مخزن سد و سایر مراحل خواهند بود که این موضوع نیز نشانگر اهمیت مهندسی هیدرولوژی در طرح پروژه‌های سدسازی است.

۲-۲-۱۲- گزارش اقلیم شناسی (Climatology)

گزارش اقلیم شناسی معمولاً شامل اطلاعات اقلیمی‌منطقه به صورت خام است که در مطالعات هیدرولوژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این گزارش شامل مطالب زیر است :

۱- نزولات جوی (باران و برف) : میزان بارندگی در ماه، روز، سال، سال‌های مختلف، میزان حداقل و حداکثر و متوسط آن در ایام فوق، این ارقام معمولاً از آمار باران سنجهای مختلف موجود در منطقه کسب می‌شود.

۲- میزان تغییرات درجه حرارت : در روز، هفته، ماه، سال و سالهای مختلف، میزان حداقل و حداکثر و میانگین ماهیانه، روزانه، در فصول مختلف و همچنین تعداد روزهای سال با درجه حرارت مثلاً کمتر از ۵ درجه و غیره.

۳- میزان رطوبت نسبی، مطلق و تغییرات آن در فصول، ماهها و سالهای مختلف.

۴- مشخصات بادهای منطقه، جهت وزش باد، سرعت وزش باد در ماهها و روزهای مختلف سال و غیره.

۵- آمار مربوط به تبخیر از تشت‌های نمونه در ماهها، فصول و سالهای مختلف (ضریب تشت).

۶- اطلاعات مربوط به نوع پوشش حوزه (جنگل، گیاه، سنگ و....)، مساحت جنگل، مسئله تعرق نباتی و همچنین پارامترهای فرسایش آبی که در کیفیت و کمیت آبخیزداری منطقه می‌تواند مؤثر باشد.

۷- بطور خلاصه هر نوع اطلاعات اقلیمی‌به صورت خام که در مطالعات هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۲-۱۳- گزارش هیدرولوژی

شامل کلیه اطلاعات مورد لزوم در باره آبهای سطحی حوزه آبریز مورد مطالعه که در طرح پروژه‌های سدسازی مؤثر است می‌باشد. این اطلاعات معمولاً از گزارش اقلیم شناسی منتنج می‌شود که در گزارشی بنام گزارش هیدرولوژی توسط کارشناسان مربوطه ارائه می‌گردد. ذیلاً رئوس مطالب و محتویات آن ارائه می‌شود :

۱- میزان جریان رودخانه در محل ایستگاههای مختلف اندازه گیری جریان در روز، ماه، سال، سالهای مختلف حداقل، حداکثر و میانگین آن و....

۲- هیدروگراف‌های مختلف جریان

۳- اطلاعاتی درباره آبهای زیرزمینی و امکان تداخل آنها

۴- مسئله فرسایش آبی و حمل مواد رسوبی در رودخانه و پارامترهای عمده آن

۵- کیفیت آبهای سطحی (املاح، نمک، گچ و...) و میزان آلودگی آنها از نظر شرب، آبیاری و یا منظور پروژه.

۶- میزان جریانهای استثنائی براساس قواعد و اصول شناخته شده موجود (اصول آماری) برای تواتر ۱۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ سال.

۷- محاسبه میزان جریانهای استثنائی برای تواتر ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سال.

۸- ترسیم منحنی هیدروگراف سیلهای استثنائی و مشخص نمودن میزان دبی خروجی از سرریز سدها.

۹- بررسی مسیر رودخانه در سطح و ارتفاع.

۱۰- مسئله نفوذ پذیری در حوزه آبریز (بویژه در محل دریاچه سد) و همچنین امکان تغذیه مصنوعی. قسمتی از اطلاعات فوق را می‌توان در صورت عدم وجود آمار کافی (محلی) با استفاده از فرمولهای تئوری و آمپریک بدست آورد. در هر حال عملاً نمی‌توان فقط به فرمولهای موجود اکتفا نمود چه نتایج محاسبات باید توسط آمار و

اندازه گیری‌ها و مشاهدات تأیید شود. بطور کلی از بین صفحات این گزارش باید اطلاعات زیر از آن منتنج شود در غیر اینصورت نمی‌توان به آن گزارش هیدرولوژی گفت :

۱- محاسبه میزان تبخیر و نفوذ پذیری در سال (اتلاف آب) و به عبارت دیگر بیلان هیدرولوژیکی.

۲- محاسبه رسوب گذاری در مخازن سدها

۳- میزان میانگین دراز مدت آورد رودخانه به صورت میلیون متر مکعب (MCM) و یا حداقلی که براساس آن بتوان پروژه را طراحی نمود.

۴- محاسبه بده جریان رودخانه برای انحراف آب در موقع عملیات احداث

۵- کیفیت آبهای سطحی و...

۲-۲-۱۴- مخازن سدها

مطالعه حجم مخزن یکی از کارهایی است که در سدهای مخزنی باید بدقت انجام گیرد و آورد (حجم آب قابل استحصال) یا آوردی که برای ذخیره آن مخزن سد باید احداث گردد مشخص شود. این آورد خود منتنج از مطالعات هیدرولوژیکی و اقتصاد آبی است و معمولاً میانگین دراز مدت سالیانه و یا ارقام دیگری است که اقتصاد آبی آنرا توجیه می‌نماید. عوامل تعیین کننده ارتفاع و نوع سد در انتخاب حجم مخزن نیز مؤثر می‌باشند. به عبارت دیگر ارتفاع، نوع و حجم مخزن سد بطور مستقیم و یا غیر مستقیم بیکدیگر بستگی دارند.

اگر حجم مورد لزوم سالیانه مخزن (که خود تابع آورد سالیانه رودخانه است) کوچک باشد ، احتیاجی به احداث دریاچه بزرگی نخواهد بود . ولی اگر حجم مخزن مورد لزوم بزرگ باشد باید در جستجوی محلی که دریاچه ای با ظرفیت کافی را فراهم کند بود ، باید محلی را انتخاب نمود که با احداث دیواری در جهت عمود بر جریان رودخانه قادر به ذخیره نمودن کلیه آورد فوق باشیم و احیاناً اگر در محلی بعلت عوارض طبیعی نا مساعد مقداری از آب دریاچه سرریز شود با احداث دیواری به

ارتفاع مناسب از تلف شدن و بهدر رفتن آن جلوگیری نمود. در سدهای انحرافی بعضی اوقات در دو طرف سد، بازوهای محیطی دریاچه سد احداث می‌شود تا آب دریاچه را در دامنه‌های بالا دست مهار کند. البته ایده آل این است که محلی برای محور سد انتخاب شود که دیگر احتیاج به ساختن دیواره اضافی برای تأمین ظرفیت دریاچه مخزن نباشد. چه ساخت دیواره‌های فوق معمولاً با هزینه‌های زیادی همراه است. انتخاب دریاچه مناسب و یا محور سد در ایران می‌تواند توسط نقشه $\frac{1}{500}$ تا $\frac{1}{10000}$ سازمان نقشه‌برداری کشور و یا عکس‌های هوایی توسط افراد متخصص در این قسمت انجام گیرد و در غیر اینصورت باید توسط هلیکوپترهای شناسائی انجام گیرد. متد اخیر بویژه در مناطقی که اطلاعات مناسب وجود ندارد و جاده‌های دسترسی نیز غیر قابل استفاده باشند کاربرد خواهد داشت.

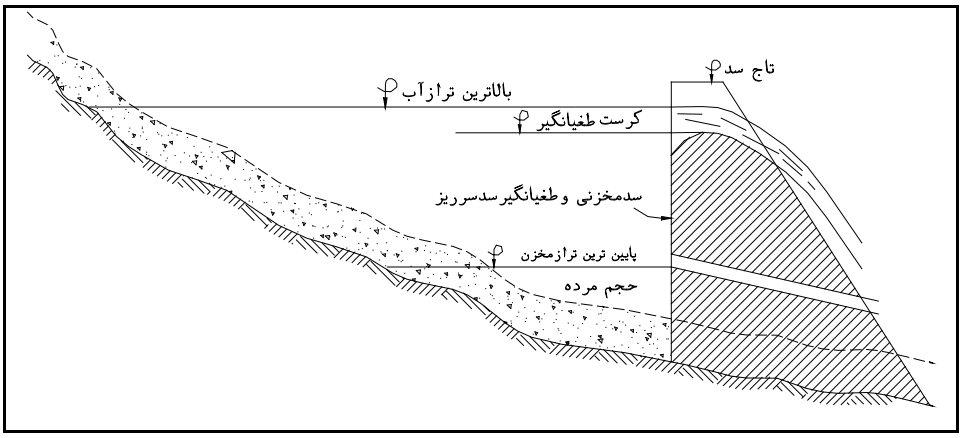
حجم مخزن توسط نقشه‌هایی که خطوط تراز محور سد بر روی آن ترسیم شده مشخص می‌شود. بدین ترتیب که به کمک پلانیمتر یا نرم افزارهای کامپیوتری، سطح داخل هریک از خطوط تراز مشخص می‌شود (۵S ، ۴S ، ۳S، ۲S، ۱S، ۰S و...) و این اندازه گیری تا آنجا که ممکن است و معقول باشد ادامه می‌یابد. برای بدست آوردن حجم مخزن در هر ترازی از فرمول زیر استفاده می‌شود.

$$V_1 = \frac{S_0 + S_1}{2} \times Dh \qquad V_2 = \frac{S_1 + S_2}{2} \times Dh \qquad Vn = \frac{S_{N-1} + S_N}{2} \times Dh$$

Dh :فاصله دو خط تراز متوالی است که مساحت انها اندازه گیری شده است .(مثلاً S1 و S2)

نتیجه این محاسبات در محور مختصات که عرض آن ارتفاع سد از بستر رودخانه و طول آن مجموع حجم مخزن تا ارتفاع مربوطه است ترسیم می‌شود. این منحنی که به منحنی مشخصه سد مشهور است معمولاً به صورت پارابول می‌باشد و منحنی سطح دریاچه در ارتفاعات مختلف نیز در همان مختصات ترسیم می‌شود. این منحنی ارزش

فوق العاده ای برای مطالعه حجم مخزن دارد و جزءلاینفک مطالعه حجم مخزن می‌باشد. از موارد استفاده آن می‌توان بررسی میزان اتلاف ناشی از تبخیر (در ماههای مختلف سال)، بررسی حجم مرده تراز آبگیری و تراز طغیانگر را نامبرد.



شکل شماره ۲-۱۶ : نمایی از مخزن یک سد مخزنی

مثال :آورد میانگین دراز مدت یک رودخانه در گلوگاه مناسبی جهت احداث سد ۱۹۰MCM (میلیون متر مکعب) است. در نظر است در آن محل سد مخزنی احداث شود. مفروضات و خواسته‌ها عبارتند از :

الف : مفروضات

۱- مساحت خطوط تراز دریاچه سد براساس قرائت پلانیمتر بقرار زیر است و فاصله خطوط تراز از یکدیگر ۱۰ متر است.

$$S_{1050} = 0.2km^2, \quad S_{1060} = 0.8km^2, \quad S_{1070} = 4km^2$$

$$S_{1080} = 7km^2, \quad S_{1090} = 9km^2, \quad S_{1100} = 16km^2$$

تراز بستر رودخانه در محل گلوگاه ۱۰۵۰+ می‌باشد.

۲- تبخیر سالیانه در محل دریاچه سد ۲ متر تخمین زده شده است. برای سهولت محاسبات آنرا از حداکثر آورد کم کنید.

۳- تراز کف آبگیرها بترتیب از بستر رودخانه ۱۵، ۳۰ و ۳۵ متر می‌باشند.

۴- مقدار رسوب (توربیدتی) میانگین دراز مدت رودخانه ۲۵ گرم بر لیتر اندازه گیری و توصیه شده و وزن مخصوص مواد ۱/۵۵ گرم بر سانتی متر مکعب می‌باشد.

۵- نفوذ پذیری در محل دریاچه و مخزن سد در سال اول ۱۰ و در سال دوم ۴ و در سال سوم ۱/۵ میلیون متر مکعب می‌باشد.

۶- ارتفاع آزاد آب بالای دریاچه سد (۲ (Free Board متر اختیار شود.

۷- طغیانگر انتخاب شده از نوع سد لبریز ($C_W = 1.78$ فرمول فرانسیس) است که حداکثر شدت جریان آن براساس فرمول فرانسیس برابر است با :

$$q = \frac{Q}{L} = 5.0346 \quad \text{متر مکعب در ثانیه در متر طول سرریز} \qquad (۱۰-۱)$$

ب : مطلوبست :

۱- ترسیم منحنی مشخصه حجم و سطح مخزن

۲- ارتفاع مورد لزوم سد از بستر رودخانه

۳- ظرفیت مورد لزوم مخزن

۴- حجم مفید و حجم مرده سد

۵- عمر از نظر رسوبات

۶- تراز بالای سرریز (CREST) طغیانگر

۷- عمر هر یک از آبگیرها و طریقه طولانی نمودن عمر آنها (حتی الامکان)

۸- برای کم کردن آورد تور بیدتی (رسوب) به دریاچه چه پیشنهاد می کنید ؟

حل : قبل از ترسیم منحنی تغییرات حجم و سطح بر حسب ارتفاع مخزن باید حجم مخزن را در فواصل بین ارتفاعات مختلف (منحنی تراز در نقشه موجود است) محاسبه نمود. برای محاسبه حجم در فواصل بین ارتفاعات از فرمول، متوسط مساحت دو قاعده ضربدر ارتفاع استفاده می‌شود. این فرمول عملاً برای مراحل اولیه کافیست ولی فرمول دقیق تر، فرمول محاسبه حجم مخروط ناقص است :

$$V = \frac{h}{3}(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \times A_2})$$

که A_1 و A_2 سطح مخزن در بالا و پائین دو تراز متوالی و h ارتفاع بین دو سطح است. علت دقیق تر بودن این فرمول (مخروط ناقص) به فرمول قبلی (منشوری شکل) نزدیک تر بودن فرم دره به هرم ناقص است. بدین معنی که هر قدر دو سطح A_1 و A_2 با هم متفاوت باشند فرمول مخروط ناقص دقیق تر است و هر قدر نزدیک به هم (مساوی) باشند فرمول مخروط ناقص به فرمول منشوری شکل نزدیک تر خواهد گردید. در هر حال چون این مسئله برای یک طرح مطالعات فاز یک است لذا از فرمول منشوری شکل استفاده می‌شود.

$$V_n = \frac{S_{n-1} + S_n}{2} \times Dh$$

$$V_1 = \frac{0.2 + 0.8}{2} \times 10 = 5 \ \text{MCM}$$

$$V_2 = \frac{4 + 0.8}{2} \times 10 = 24 \ \text{MCM}$$

$$V_3 = \frac{4 + 7}{2} \times 10 = 55 \ \text{MCM}$$

$$V_4 = \frac{9 + 7}{2} \times 10 = 80 \ \text{MCM}$$

$$V_5 = \frac{9 + 16}{2} \times 10 = 125 \ \text{MCM}$$

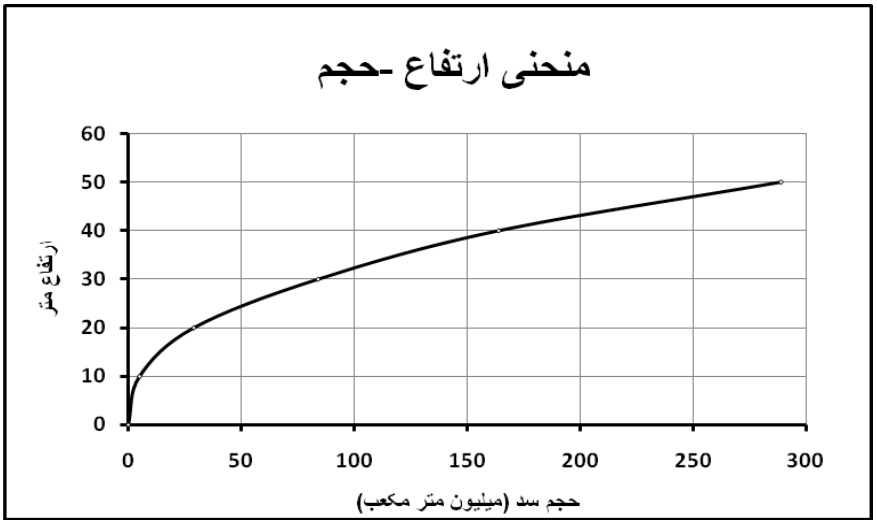
با ترسیم منحنی حجم بر حسب ارتفاع مخزن، سئوالات مسئله به صورت زیر پاسخ داده میشود:

جدول شماره ۲-۶ : تغییرات ارتفاع و حجم مخزن سد

ردیف	ارتفاع (متر)	ارتفاع از کف (متر)(Y)	حجم (میلیون متر مکعب)	حجم تجمعی (میلیون متر مکعب)(X)
۱	–	۰	–	۰
۲	۰ تا ۱۰	۱۰	۵	۵
۳	۱۰ تا ۲۰	۲۰	۲۴	۲۹

۴	۲۰ تا ۳۰	۳۰	۵۵	۸۴
۵	۳۰ تا ۴۰	۴۰	۸۰	۱۶۴
۶	۴۰ تا ۵۰	۵۰	۱۲۵	۲۸۹

تکلیف : ضریب دانشجوئی خودتان را در مقادیر ستون چهارم از سمت راست (حجم) نمائید و مسئله را حل کنید . (در قسمتهای قبل فرمول تعیین ضریب دانشجوئی ارائه شده است)



شکل شماره ۲-۱۷ : منحنی ارتفاع – حجم مخزن سد

۱- ارتفاع بالای سرریز (تراز معمولی دریاچه) : این ارتفاع براساس آورد میانگین دراز مدت رودخانه مورد نظر در گلوگاه مناسب (MCM ۱۹۰) و با توجه به منحنی ارتفاع – حجم سد ۴۲/۲۵ متر بدست آمده است.

۲- بالاترین تراز آب : با توجه به اینکه بده سیلاب روی سرریز مشخص است و با استفاده از فرمول $Q = C_w L H^{3/2}$ (Q بده جریان ورودی به متر مکعب در ثانیه، C_W ضریب جریان آب در سرریز سد، L طول آزاد سرریز به متر و H ارتفاع آزاد آب به متر). مقدار H برابر با ۲ متر بدست آمده که در هنگامیکه سد پر از آب باشد (ارتفاع

۴۲/۲۵) اگر سیلاب طراحی اتفاق بیفتد ارتفاع آب روی سرریز (H) برابر با دو متر می‌شود که با توجه به عدد فوق بالاترین تراز آب برابر خواهد بود با :

بالاترین تراز آب در سد بر حسب متر ۴۲/۲۵+۲=۴۴/۲۵

۳- ارتفاع مورد لزوم سد : با توجه به عمق آزاد آب (Free Board) که برابر با ۲ متر است و بالاترین سطح تراز آب (۴۴/۲۵) بدست آمده یعنی :

ارتفاع مورد لزوم سد (متر) ۴۴/۲+۲۵=۴۶/۲۵

۴- حجم مخزن در ارتفاع ۴۶/۲۵ : با استفاده از منحنی ارتفاع حجم و ارتفاع ۴۶/۲۵ متر حجم مخزن در ارتفاع فوق برابر با ۲۳۳ میلیون متر مکعب بدست آمد.

۵- حجم تبخیر سالیانه : در صورت مسئله مقدار تبخیر در محل دریاچه سد ۲ متر تخمین زده شده که برای سهولت محاسبات این میزان از حداکثر آورد کم گردیده است. برای بدست آوردن حجم تبخیر، ارتفاع حداکثر آورد قبلاً برابر با ۴۲/۲۵ متر محاسبه گردید. حال اگر از این ارتفاع ۲ متر کسر گردد برابر با ۴۰/۲۵ خواهد شد که اگر برای هر دو ارتفاع حجم را از روی منحنی ارتفاع - حجم بدست آورده و از همدیگر کسر نمائیم حجم تبخیر برابر با ۲۳ میلیون متر مکعب خواهد شد.

۲-۲-۱۶- حجم مفید و مرده

حجم مرده سد در حدود ۱۴ میلیون متر مکعب است که می‌توان تعداد سالهای مورد لزوم برای پر کردن آنرا حساب نمود (حجم مرده با توجه به ارتفاع تراز کف اولین آبگیر و با استفاده از منحنی حجم ارتفاع بدست آمده است). ضمناً در اینجا ذکر یک نکته لازم است و آن مقدار توربیدتی (رسوب) میانگین دراز مدت رودخانه است که فرض شده ثابت است. این مقدار بسیار متغیر بوده و با میزان بده نسبت مستقیم (توان دو سه) دارد. یعنی هر قدر بده استثنائی و سیلابی بیشتر باشد مقدار توربیدتی بیشتر است. بعبارت دیگر می‌توان نتیجه گرفت که در موقع احداث سد در مسیر مسیلها باید فکری بحال تخلیه رسوبات نمود.

معمولاً در رسوب زدائی پریودی به نام پریود مانسون (MANSOON PERIOD) وجود دارد و آن ۱۲۰ روز و یا ۴ ماه دوره سیلابست که مقدار توربیدتی در این مدت بیشتر از سایر فصول است و برای محاسبات دقیق تر مقدار تور بیدتی را برای فصول مختلف متغیر انتخاب می کنند. حجم رسوبات در سال (متوسط)

$$\text{حجم رسوبات در سال} = \frac{25\ gr/lit \times 190 \times 10^6\ m^3}{1550\ gr/lit} = 3.06 \text{ میلیون متر مکعب در سال}$$

(۱۵۵۰ وزن مخصوص رسوبات بر حسب گرم بر لیتر می‌باشد).

۲-۲-۱۷- عمر آبگیرهای سه گانه

با توجه به ارتفاع نصب هر یک از آبگیرها حجم سد در آن ارتفاع بدست می‌آید. با توجه به حجم‌های مذکور و حجم رسوبات سالانه (۳/۰۶ میلیون متر مکعب) عمر هر آبگیر محاسبه می‌شود.

ارتفاع نصب آبگیر اول ۱۵ متر ← حجم سد تا آن ارتفاع ۱۴ میلیون متر مکعب

ارتفاع نصب آبگیر دوم ۳۰ متر ← حجم سد تا آن ارتفاع ۸۵ میلیون متر مکعب

ارتفاع نصب آبگیر سوم ۳۵ متر ← حجم سد تا آن ارتفاع ۱۱۷ میلیون متر مکعب

$$\text{عمر آبگیرسوم} = \frac{117}{3.06} = 38.23 \text{ سال}$$

$$\text{عمر آبگیردوم} = \frac{85}{3.06} = 27.8 \text{ سال}$$

$$\text{عمر آبگیراول} = \frac{14}{3.06} = 4.57 \text{ سال}$$

۲-۲-۱۸- اتلاف آب در مخازن سدها

بطور کلی دو نوع اتلاف در مخازن سدها وجود دارد. نوع اول تبخیر و دیگری نفوذ پذیری است. مقدار نفوذ پذیری در دیواره مخزن سد را میتوان به روشهای مختلف تقلیل داد. اصولاً یکی از پارامترهای انتخاب محور سد مخزنی مسئله امکان ذخیره آب است. اگر این امکان بنحو شایسته ای برقرار نباشد باید به گزینه‌های دیگری روی آورد و در صورتی که همه گزینه‌ها یکسان باشند در اینصورت باید بفکر در صد

تحکیم سطح مخزن بوسیله تزریق (GROUTING) با سیمان و ترکیبات مناسب باشیم. مقدار نفوذپذیری را می‌توان بطور متوسط ۵ درصد میزان کل آورد سالیانه در نظر گرفت که البته بستگی زیادی به نوع خاک منطقه دارد. البته باید سعی نمود که حتی الامکان مقدار آنرا کم نمود. مقدار نفوذپذیری معمولاً در سال اول احداث سد ممکنست زیاد باشد. زیرا بستر مخزن تا بحال اشباع نشده و برای اولین بار اشباع میشود که در نتیجه آب بیشتری جذب می‌کند. همچنین مقدار نفوذپذیری بر حسب نوع دریاچه متفاوت است. مثلاً در بستر ماسه ای لومی‌مقدار نفوذپذیری به مراتب بیشتر از بستر سنگی است. همانطوریکه توضیح داده شد نفوذپذیری در سال اول بیشتر است و در سال دوم نیز ممکن است ۴۰ تا ۵۰ درصد کاهش یابد و سپس در سال سوم و چهارم بتدریج کمتر شده و در سال چهارم به رقم ثابت می‌رسد.

مسئله تبخیر هم یکی از عمده ترین تلفات مخازن سدهای بزرگ است، بخصوص در آب و هوای گرم و خشک مانند ایران که میزان آن معمولاً زیاد است. میزان متوسط تبخیر در جنوب ایران در حدود ۲ تا ۳ متر در سال است که از نظر اقتصادی مشکل بزرگی است. لذا باید در انتخاب محل سد دقت نمود که سطح دریاچه حتی الامکان کوچک باشد تا حجم نظیر ارتفاع تبخیر (مثلاً ۲ متر) رقم قابل ملاحظه ای نباشد. علاوه بر درجه حرارت، وجود بادهای محلی نیز می‌تواند موجب افزایش تبخیر شود. در بعضی از کشورها با پخش نمودن ماده چربی شکلی (به صورت پودر) روی دریاچه سد از تبخیر سریع آن تا اندازه ای جلوگیری می‌کنند. هم اکنون تعدادی از سدهای مخزنی که در سال‌های گذشته توسط متخصصین و مهندسین اروپائی و امریکائی ساخته شده در معرض خطر بزرگی از نظر رسوب قرار گرفته اند و در آستانه پر شدن غیر مترقبه مخازن این سدها بوسیله مواد رسوبی کنده شده از حوزه آبخیز آنهاست.

مسئله رسوب زدائی و یا جلوگیری از تجمع سریع مواد رسوبی در مخازن سدها در ایران از مسائل بسیار جدی است که هم اکنون مقامات دولتی و مجریان طرحهای فنی بر این مسئله واقفند و در فکر علاج و اصلاح وضعیت موجود می‌باشند (سد سفید رود

در معرض این خطر میباشد). حمل مواد رسوبی بوسیله جریان رودخانه‌ها و یا سیلابهای ناشی از پدیده فرسایش آبی (EROSION) انجام می‌شود لذا برای بررسی علل این پدیده باید به بررسی عوامل فرسایش آبی پرداخت.

۲-۲-۱۹- فرسایش آبی :

برای محاسبه میزان فرسایش آبی در حوزه‌های آبخیز فرمولهای متعددی وجود دارد که در اینجا به دو مورد از آنها اشاره می‌شود.

فرمول هنین[1]:

$$E = \frac{IPS}{KV}$$

فرمول ماس گریو[2] :

$$E = A.F.R.(\frac{S}{10})^{1.35}(\frac{L}{726})^{0.35}(\frac{P_{30}}{1.375})^{1.75}$$

قبل از توضیح عوامل فرمولهای فوق، یادآور می‌شود که از عوامل عمده فرسایش آبی یکی شیب حوزه آبخیز است و دیگری نوع پوشش حوزه است. بدین نحو که هر قدر شیب حوزه آبخیز کم باشد فرسایش کمتر است و هر قدر پوشش گیاهی حوزه‌ها زیاد باشد مقدار فرسایش آن نیز کمتر است. در عمل تهیه پوشش گیاهی برای تمامی‌حوزه آبخیز یک سد، کار عملی نیست ولی شیب متوسط حوزه را می‌توان با احداث بندهای پلکانی[3] کمتر نمود. پارامترهای موجود در فرمول هنین عبارتند از :

I : شدت بارندگی

P : شیب متوسط حوزه آبخیز

V : ضریب نوع پوشش حوزه

K : ضریب قابلیت نفوذ بستر

S : ضریبی است که بستگی به حساسیت خاک به فرسایش دارد.

1- Henin
2- Musgrave
3- Adecase

بطوریکه ملاحظه می‌شود فقط پارامتر P را می‌توان کنترل نمود. پارامتر شیب متوسط حوزه آبخیز باید بنحوی مهار شود که منابع طبیعی موجود بتواند بنحو مطلوبی درخدمت بشر باشند. سایر پارامترها شامل I،K،V وS قابل کنترل نمی‌باشند. فرمول ماس گریو نیز اساساً باید توجیه کننده همان اصول هنین باشد. پارامترهای این فرمول عبارتند از :

E : فرسایش به تن در ایکر

A : وسعت حوزه بر حسب ایکر

F : ضریب مربوط به خاک بستر که تابع وزن مخصوص و قابلیت فرسایش است

R : ضریب مربوط به نوع پوشش حوزه

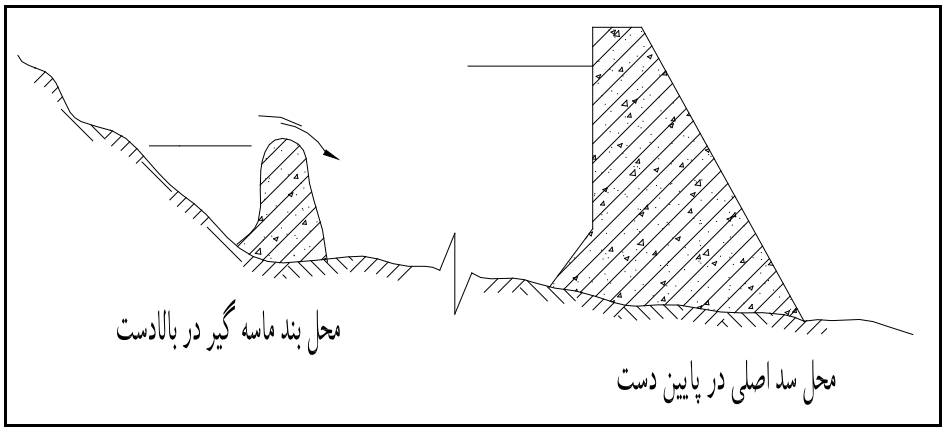
P۳۰ : میزان حداکثر باران ۱۳۰ دقیقه ای سالیانه به اینچ

L : طول مسیر (طولانی ترین مسیر)

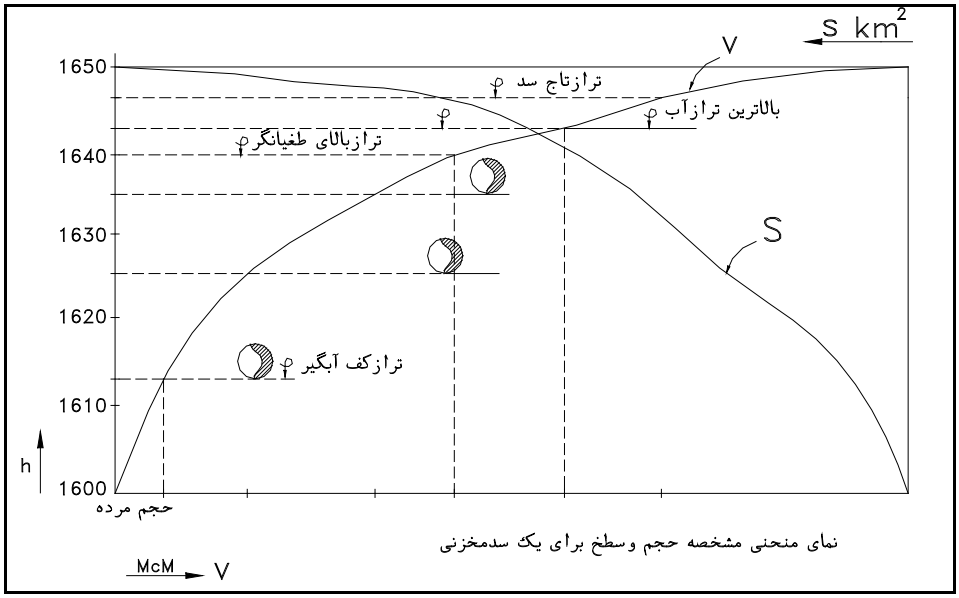
S : شیب متوسط مسیر

علت زیاد بودن فرسایش در حوزه‌های ایران را میتوان اینگونه تعبیر نمود که شیب حوزه‌ها بسیار زیاد است و نوع پوشش هم بجای اینکه جنگل و یا گیاهی باشد خاکی است و این دو عامل دست بدست هم داده و میزان فرسایش را زیاد کرده. یعنی هر سال که مقداری از خاک حوزه‌ها کنده می‌شود مقدار شیب حوزه بیشتر شده و مقدار فرسایش را به صورت تصاعدی بیشتر می‌کند. بعبارت دیگر هر سال مقدار بسیار زیادی از خاک مساعد کشاورزی به دریاها و پشت سدها می‌رود و از لحاظ زراعی نیز ضرر دیگری به روستائیان و کشاورزان منطقه می‌رساند.

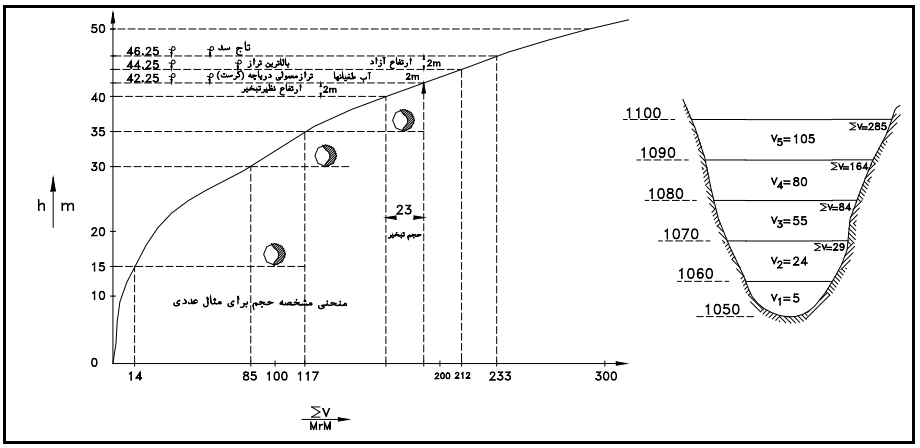
آنچه که مجریان و طراحان این نوع پروژه‌ها امروزه در ایران انجام می‌دهند احداث بندها و یا سدهای ماسه‌گیر در محلهای مناسب به منظور کم کردن شیب حوزه می‌باشد (شکل شماره ۲-۱۸).



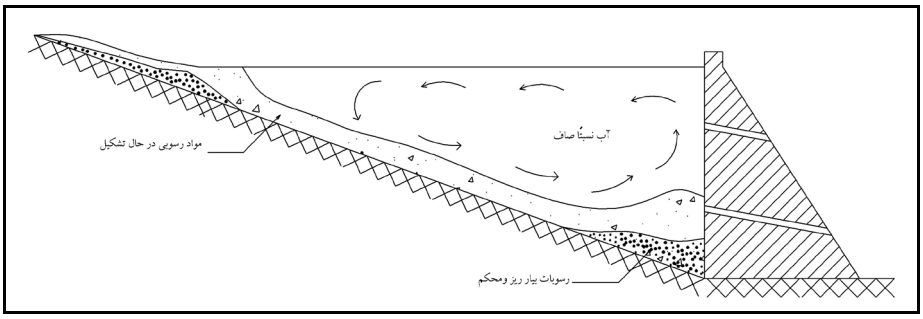
شکل ۲-۱۸ : احداث سدها و یا بندهای ماسه‌گیر در بالادست سدها



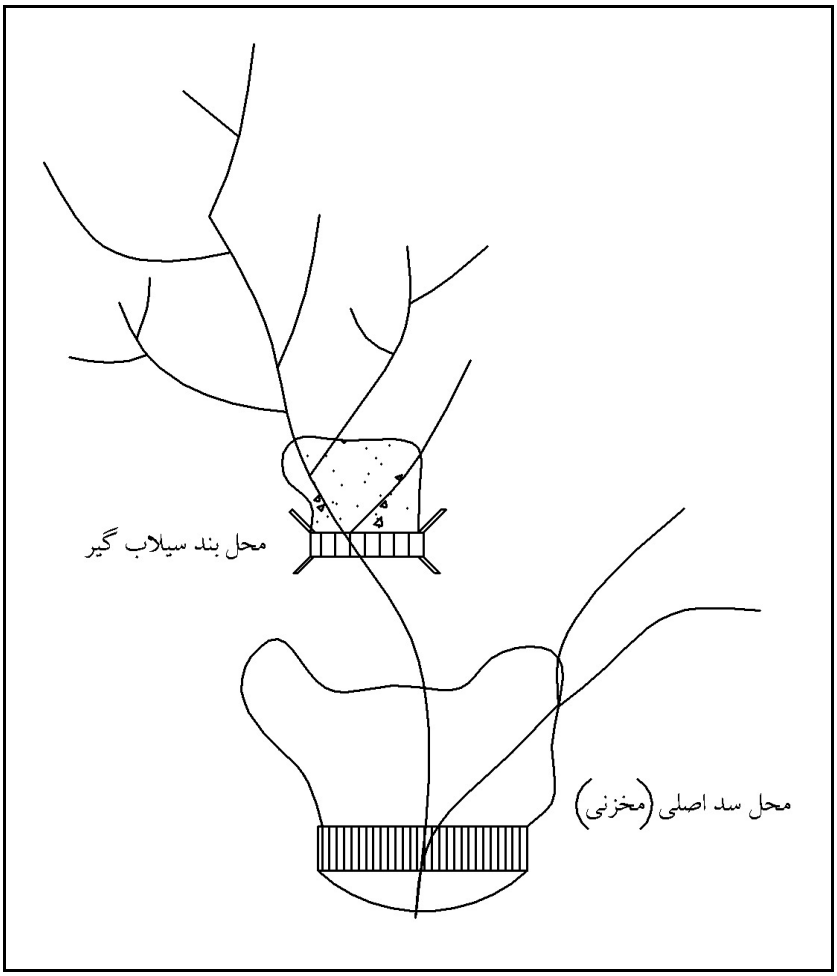
شکل ۲-۱۹ : منحنی مشخصه حجم برای مثال عددی



شکل ۲-۲۰ : منحنی ارتفاع - حجم سد مثال عددی (ارتفاع آب در مخزن از صفر شروع شده) همراه با شکل شماتیک مقطع سد و حجم بین مقاطع متوالی انتخابی و تجمعی آنها



شکل ۲-۲۱ : شمای تشکیل رسوبات در پشت یک سد مخزنی



شکل ۲-۲۲ : یکی از راه حلهای ممکن برای ازدیاد طول عمر سد مخزنی

۲-۳- تغذیه مصنوعی

ممکن است در حوزه آبریزی ، حجم آب قابل استحصال آن قابل توجه باشد ، ولی مخزن مناسبی که آن حجم آب را بتوان در آن ذخیره نمود ، وجود نداشته باشد . بدیهی است در چنین حالتی ، حجم آب قابل استحصال حوزه آبریز را نمی توان بوسیله احداث سد ، ذخیره نمود و باید در چنین حالتی بوسیله احداث استخرهای وسیع خاکی ، آب حوزه آبریز را به آنها هدایت نمود ، تا فرصت نفوذ به داخل زمین را پیدا نموده و به آبهای زیرزمینی بپیوندد .طبیعی است آبی که به آبهای زیرزمینی پیوست ، می توان از طریق حفر چاه و بوسیله پمپ ، اقدام به استخراج و مصرف آن نمود . عمل فوق را تحت نام تغذیه مصنوعی می نامند . بدیهی است ذخیره آب بوسیله این روش خیلی کم هزینه بوده و آبی که داخل زمین وارد شد و به آبهای زیرزمینی پیوست ، مقدار تبخیر آن تقریباً صفر بوده و مقدار تلفات آن قابل توجه نمی باشد .

۲-۴- سد تنظیمی

در سدهایی که نیروگاههای برقی نیز دارند ، اغلب سعی می گردد که در زمان پیک مصرف برق ، آب خروجی از سد جهت مصرف بیشتر گردد و در زمانهای دیگر آب خروجی کمتر شود . جهت حفظ تعادل در دبی خروجی از سد برای مصرف ، سعی می گردد سد تنظیمی در نقطه یا فاصله مناسب از سد و در پایین دست اجرا گردد که نوسانات آب خروجی کم گردیده و تعادل ایجاد شود . در شکل ۲-۲۳ نمایی از یک سد تنظیمی ارائه شده است .



شکل ۲-۲۳ : نمایی از یک سد تنظیمی .

۲-۵- سد انحرافی

برای منحرف نمودن آب در رودخانه های دائمی اغلب اقدام به ساخت سد انحرافی می گردد . سد انحرافی آب داخل رودخانه را به گونه ای کنترل می نماید که براحتی آب در کانالهای بالادست محل سد انحرافی جریان یابد . در شکل ۲-۲۴ نمایی از یک سد انحرافی ارائه شده است .



شکل ۲-۲۴ : نمایی از یک سد انحرافی همراه با کانال آن

عکسهائی کاربرد هیدرولوژی در راه سازی و پروژه های مشابه

در طول مسیر راههائی که احداث می گردد ، اغلب آبراهه ها توسط آنها قطع می گردد . در صورتیکه در محل تقاطع آبراهه و راه یک پل تعبیه گردد ، براحتی سیلاب جاری شده در آبراهه هنگام بارندگی از پل عبور نموده و هیچ گونه خسارت و خرابی به راه وارد نمی شود .پس ضروریست که در طراحی راهها و پروژه های مشابه از قبیل خط آهن خطوط انتقال آب ، برق و گاز و ... ابتدا محل تقاطع مسیر پروژه با آبراهه مشخص گردیده و سپس حوزه آبریز بالادست آن تعیین گردیده و مطالعات هیدرولوژی و تعیین سیلاب آن انجام پذیرد و براساس مقدار سیلاب ابعاد پل طراحی شود . در ادامه تعدادی عکس ارائه گردیده که محل احداث پل ها ، حوزه آبریز منتهی به راه و ...نمایان گردیده است . شکل های فوق می تواند راهنمای خوبی برای شناسائی های اولیه نقش مطالعات هیدرولوژی در راهسازی باشد .



شکل۲-۲۵ : نحوه تعیین حوزه آبریز مشرف به بزرگراه ها در مطالعات اولیه با استفاده از عکس های برداشت شده از منطقه و بازدیدهای محلی