

# بهره برداری سدهای مخزنی با توجه به مسایل رسوب

اسماعیل طلوعی<sup>۱</sup>

## مقدمه :

امروزه نزدیک به ۴۰ سال از آغاز بهره برداری سدهای مدرن کشور (سدهای مدرن نسل اول) می گذرد. در این مدت بسیاری از مشخصه های سازه ای تاسیسات ایجاد شده و همین طور مشخصه های فیزیکی مخازن آنها نسبت به آن چه که در مرحله طراحی مطرح گردیده بود، دچار تغییر گردیده است. سیستم های رودخانه ای که این سدها بر روی آنها بنا شده اند، از نظر ابعاد مختلف توسعه و شرایط زیست محیطی در حوضه های آبریز و آبخور آنها دستخوش تغییرات و تحولات گوناگون و قابل ملاحظه ای گردیده اند. به این معنی که بسیاری از سیستم های تک سدی که در زمان طراحی و اجرای سدهای نسل اول کشور مد نظر قرار گرفته بودند، هم اکنون جزئی از یک سیستم چند سدی درآمده و یا با چنین هدفی در دست مطالعه و یا در دست اجرا می باشند. به لحاظ بروز تغییرات شدید در شاخص های کمی جمعیت و توزیع مکانی مراکز جمعیتی و صنعتی در محدوده های جغرافیایی حوضه های آبریز و آبخور سدها، مساله نیازها چه به لحاظ تنوع و یا به لحاظ کمی، کاملاً دگرگون شده است. محدودیت های مربوط به آلودگی محیط زیست و وارد شدن آلاینده های گوناگون با روند افزایشی به منابع آب های سطحی و زیرزمینی، خود موجب تعریف نیاز جدیدی تحت عنوان پالایش محیط زیست گردیده و در عین حال استفاده های تفریحی از مخازن سدها روز به روز در حال گسترش است و همه این ها در حالی است که منابع آب قابل استفاده در هر کشور نه تنها در طول زمان افزایش نمی یابد، بلکه دچار کاهش نیز می گردد و این بدان معنی است که سرانه آب در هر کشور سال به سال کمتر می شود و این کاهش به ویژه در اغلب کشورهای در حال توسعه به لحاظ اعمال مدیریت های نادرست، با روند سریع تر همراه است. ضمن این که تغییرات مخرب شرایط اقلیمی در سطح جهانی به لحاظ آسیب پذیری لایه اوزون خود کلیه کشورهای جهان را تحت تاثیر قرار داده است.

مجموعه واقیعت های پیش گفته، به بهره برداری درست از منابع آب کشور تاکید می کند و به مسأولین و دست اندرکاران صنعت آب جداً هشدار می دهد.

از آنجایی که سدهای مخزنی در هر کشوری، نقش اصلی ذخیره سازی و تنظیم جریان های سطحی را در سیستم های رودخانه ای به عهده دارند، بنابراین شناخت کافی در زمینه بهره برداری مناسب از این تاسیسات و روال رسیدن به این شناخت امروزه یک ضرورت غیرقابل انکار می باشد.

از ۴۰۰ میلیارد مترمکعب نزولات جوی در ایران، حدود ۲۰۰ میلیارد مترمکعب صرف تبخیر و تعرق می شود و کل آب قابل استحصال سطحی و زیرزمینی حدود ۱۲۵ میلیارد مترمکعب برآورد شده است که حدود ۸۲ میلیارد مترمکعب آن صرف بخش کشاورزی با راندمان حدود ۳۵ درصد می شود و این در حالی است که بهره وری تولید زراعت آبی در ایران حدود ۰/۵ کیلوگرم تولید به ازای هر مترمکعب آب است در حالی که متوسط جهانی این رقم حدود ۱/۲ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب می باشد. در حال حاضر از کل جریان های سطحی در کشور که حدود ۸۰ میلیارد مترمکعب در سال است، حدود ۲۳ میلیارد مترمکعب بوسیله ۲۱ سد مخزنی در دست بهره برداری (آمار سال ۱۳۷۵) با کل گنجایش مخزن معادل ۱۷ میلیارد مترمکعب، برای مصارف گوناگون تنظیم می گردد.

<sup>۱</sup> مدیر طرح بهره برداری بهینه از سیستم های رودخانه های دز و کارون - شرکت مشاورین

تقریباً کلیه سدهای مخزنی ایران با هدف های آبیاری و کنترل سیلاب طراحی شده اند و در عین حال هدف های تولید انرژی برقابی و تامین آب شهری نیز از هدف های عمده احداث سدهای مخزنی بوده است و متأسفانه شرایط به گونه ای پیش می رود که بایستی درخصوص جایگزینی حقبه های آبیاری با حقبه های شهری جدا نگران بود.

به این ترتیب ملاحظه می شود که از یک سو پارامترهای دخیل در بهره برداری از سدهای مخزنی به لحاظ تنوع هدف ها و بروز محدودیت ها، به تدریج افزایش می یابد و از سوی دیگر سیستم های رودخانه ای تک سدی به سیستم های چند سدی تغییر یافته اند و در این میان انتقال آب بین حوضه ای به صورت یک ضرورت غیرقابل اجتناب مطرح گردیده است و از این رو، بسیار روشن است که بهره برداری یکپارچه از یک سیستم چند مخزنی و چند منظوره دارای پیچیدگی های زیادی است که انجام درست آن نه به طریق سنتی بلکه با به کار گیری روش های علمی و تخصصی و بهره گیری از تجربه های موجود در سطح بین المللی ممکن خواهد بود. نتیجه این فرآیند، استفاده بهینه از کل سیستم و یا " بهره برداری بهینه " نامیده می شود.

برای ارائه سیمای تقریبی در زمینه ضرورت بهره برداری مناسب از منابع آب در آینده، لازم است اشاره شود که درآینده نه چندان دور، ایجاد دیسپاچینگ ملی، منطقه ای و بین المللی آب در سراسر جهان به صورت یک نیاز حیاتی و انکارناپذیر مطرح خواهد شد و خلاصه این که آب منشاء مناقشات بین المللی خواهد بود.

## هدف های بهره برداری

هدف های بهره برداری در یک سیستم یک پارچه منابع آب سطحی، متشکل از سدهای مخزنی چند منظوره در حوضه و یا حوضه های ذریبط، به شرح زیر خلاصه می شود:

- ۱- نزدیک کردن منحنی جریان های کنترل شده با منحنی نیاز
- ۲- نزدیک کردن منحنی جریان های کنترل نشده (جریان های سرریز شده) با منحنی مربوط به ظرفیت ایمن رودخانه در بازه های مهم و آسیب پذیر
- ۳- انطباق سیستم با روند پویای دخالت انسانی در حوضه های آبریز و آبخور
- ۴- انطباق سیستم با عملکرد متغیر خود سیستم در طول دوران بهره برداری
- ۵- حفظ کارایی سیستم در دوران عمر تاسیسات و در نتیجه دست یابی به توسعه پایدار
- ۶- هماهنگی بین المان های مختلف سیستم یکپارچه به گونه ای که عملکرد مناسبی از مجموعه سیستم حاصل شود
- ۷- امکان تصمیم گیری به موقع و سریع در زمینه مانور سیستم (بهره برداری زمان واقعی)

بهینه کردن هدف های گفته شده در بالا به گونه ای که مناسب ترین عملکرد در مجموعه سیستم حاصل شود، هدف " بهره برداری بهینه " خواهد بود. از این رو مدل های بهره برداری بهینه مدل های پیچیده ای می باشند که از بانک اطلاعاتی نسبتاً مفصلی تغذیه نموده و پردازش داده ها را در حجم بسیار زیادی انجام می دهند.

موارد ۷ گانه بالا که تحت عنوان هدف های بهره برداری آمده است، نشان می دهند که اصولاً بهره برداری بهینه از تاسیسات سد و مخزن بر دو ستون (رکن) استوار است:

## ستون اول :

مجموعه سازه ای شامل المان ها و یا زیر مجموعه های سیستم. هر یک از این زیر مجموعه ها، یک سد و مخزن و تاسیسات جنبی مربوطه را شامل می شود که خود از مولفه هایی مانند بدنه سد، مخزن، سرریز، دریچه ها، شیرها، نیروگاه، بالابرها و بالاخره سیستم های مکانیکی، الکتریکی و سازه ای مربوطه تشکیل می گردد. چنانچه در مراحل برنامه ریزی و مطالعات و طراحی، هر یک

از زیر مجموعه های سیستم یکپارچه و یا هریک از سدها و مخازن مورد بهره برداری در سیستم، در قالب کل سیستم به درستی تعریف شوند و به سخن دیگر ساختگاه و مشخصه های سازه ای و فیزیکی و هیدرولیکی آنها در قالب طرح جامع و با توجه به سایر زیر مجموعه های سیستم تعیین شوند، در این صورت مجموعه سازه ای شرایط لازم را برای بهره برداری بهینه دارا خواهد بود. در غیر این صورت چنانچه هریک از المان های متشکله سیستم جدا از کل سیستم مورد مطالعه و طراحی قرار گیرند، در این صورت نمی توان عملکردی هماهنگ از کل سیستم انتظار داشت و چه بسا که در دوران بهره برداری، ناهنجاری های عمده بروز خواهد نمود به گونه ای که برخی از زیر مجموعه ها و یا مولفه های آنها به صورت دست بالا (Oversize) و برخی دیگر به صورت دست پایین (undersize) عمل نموده و رکن اصلی بهره برداری (بهره برداری بهینه) را متزلزل می نمایند. بنابراین لازم است تاکید شود که ستون اول بهره برداری بهینه بایستی در مطالعات برنامه ریزی منابع آب با شیبه سازی کلیه المان های متشکله سیستم در افق زمانی توسعه، پی ریزی شود.

## ستون دوم:

مجموعه غیرسازه ای که کل تشکیلات بهره برداری از سیستم را شامل می شود. این تشکیلات دارای زیرمجموعه ای در محل هریک از سدهای تشکیل دهنده سیستم (المان ها) می باشد که خود از مولفه های مختلفی مانند نیروی انسانی، شبکه سنجش، بانک اطلاعاتی و ترمینال تبادل اطلاعات تشکیل می شوند.

مرکز بهره برداری از سیستم، کلیه زیر مجموعه ها را زیر پوشش داشته و دارای مولفه هایی به شرح زیر می باشد:

- نیروی انسانی
- نرم افزارهای بهره برداری بهینه، حاوی زیر برنامه های پیش بینی جریان و بهینه سازی حجم کنترل سیلاب مخازن و زیر برنامه های رابط
- بانک اطلاعاتی
- مخابرات و تبادل اطلاعات
- پردازش اطلاعات
- صدور دستورالعمل های بهره برداری اعم از پرودیک و یا زمان واقعی
- پژوهش
- آرشیو

ملاحظه می شود که ستون دوم بهره برداری (بهینه) بر روی شالوده ای از نیروی انسانی مجرب، بانک اطلاعاتی، ابزار سنجش و مدل های بهره برداری پی ریزی شده است که در این میان وجود باکس هایی مانند پژوهش و آرشیو و همین طور سیستم ارتباطی زمان واقعی (online) جایگاه ویژه خود را دارا می باشند.

مراتب بالا نشان می دهد که رکن غیرسازه ای بهره برداری بهینه نمی تواند رافع نواقص و اشتباهات سازه ای سیستم باشد بلکه در نهایت بهینه سازی را براساس امکانات و قابلیت های سازه ای موجود و به طور نسبی انجام می دهد. از این رو می توان مجدداً به این نکته تاکید داشت که دست یابی به نتیجه قطعی در بهره برداری بهینه از سیستم یکپارچه منابع آب بدون انجام مطالعات جامع و سیستماتیک در حوضه مربوطه ممکن نخواهد بود.

## بهره برداری بهینه با توجه به مسایل رسوب

مخزن یک سد، دریاچه ای است مصنوعی که رسوب گذاری در آن هم زمان با احداث سد آغاز می شود. امروزه با پیشرفت دانش مهندسی در طراحی و اجرای انواع مختلف سدها، مسایل ایمنی و پایداری سدها به گونه اطمینان بخشی حل شده است. ایمنی کافی در طراحی سرریز و جلوگیری از خطرات لبریز شدن جریان از تاج سد، با انجام مطالعات PMP و PMF حاصل شده و مطالعات زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک تقریباً کلیه مسایل و ضعف های مربوط به فونداسیون سدها چه به لحاظ باربری و یا آب بندی را حل نموده است و تکنولوژی اجرای سدها صرف نظر از این که از چه نوعی باشند، با پیشرفت های قابل تحسینی همراه بوده است به گونه ای که کلیه پارامترهای رفتاری بدنه و فونداسیون سدها در شرایط مختلف بارگذاری به درستی تحلیل گردیده و تصمیم گیری در مورد آنها با ایمنی کامل صورت می گیرد و نتیجه این که عمر سازه ای سد و تاسیسات جنبی امروزه می تواند با مقیاس قرن سنجیده شود. علیرغم این دست آورد، عمر مخازن سدها که جزو اصلی و لاینفک زیر مجموعه توسعه می باشند، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان و در کشورهای درحال توسعه به مراتب از عمر سازه ای سد و تاسیسات جنبی آن کمتر می باشد. علت این امر رسوبگذاری مخزن و از دست رفتن گنجایش آن است که خود معلول عوامل طبیعی و مصنوعی متعددی است که بر روی مخزن اثرگذار می باشند.

همان طوری که گفته شد، بند (۵) از هدف های بهره برداری به حفظ کارآیی سیستم (زیر مجموعه های سیستم و مولفه های مربوطه) در دوران عمر تاسیسات اختصاص دارد. در رسیدن به این هدف، افزایش عمر مخزن و نزدیک کردن عمر مخزن با عمر سازه ای تاسیسات به عنوان یک اصل مطرح خواهد بود و این موضوع به ویژه در حوضه های رسوب خیز با فرسایش ویژه بالا و همین طور برای مخازن نسبتاً کوچک دارای اهمیت حیاتی است.

برای رسیدن به توسعه پایدار درچنین شرایطی، کاهش راندمان تله اندازی (Trap Efficiency) مخزن از هدف های بهره برداری بهینه خواهد بود و برای کاهش راندمان تله اندازی علاوه بر نیازهای سازه ای (ستون اول بهره برداری بهینه)، تدوین برنامه ویژه ای برای مانور مخزن ضرورت پیدا می کند. نتیجه این فرآیند، منحنی فرمان (Rule Curve) ویژه ای است که به منحنی فرمان رسوب زدایی نامیده می شود. نمونه ای از منحنی فرمان مخزن در مانور رسوب زدایی به صورت شکل شماره (۱) داده شده که در مورد مخزن سد سفیدرود اعمال گردیده است. در این شکل منحنی فرمان مانور عادی مخزن مذکور نیز برای مقایسه آورده شده است. نتیجه اعمال چنین سیاستی به صورت بسیار خلاصه زیر ارائه می شود [۱].

- میانگین راندمان تله اندازی مخزن سفیدرود در دوران ۱۷ ساله بهره برداری عادی معادل ۷۷٪
- میانگین راندمان تله اندازی مخزن سفیدرود در دوران ۱۱ ساله رسوب زدایی ۱۳۵۹ - ۱۳۶۹ معادل ۶۰٪ (-)
- میانگین راندمان تله اندازی مخزن سفیدرود در کل دوره ۲۸ ساله معادل ۴۱٪

مطابق شکل شماره (۱)، منحنی فرمان مخزن سفیدرود در مانور رسوب زدایی دارای یک شاخه آبیگری و دو شاخه تخلیه است که در زیر تشریح می شوند:

- شاخه آبیگری که از بهمن تا اردیبهشت ادامه دارد و در این مدت تراز مخزن از تخلیه کامل به بالاتر از رقوم نرمال می رسد و همواره پایین تر از رقوم مخزن در مانور عادی است. حجم آب ذخیره شده در مخزن در دوره آبیگری متجاوز از یک میلیارد مترمکعب می باشد
- اولین شاخه تخلیه مخزن مربوط به فصل غیر آبیاری است که در طول حدود ۱/۵ ماه (اواخر شهریور تا اوایل آبان) اتفاق می افتد. در فاصله زمانی بین تخلیه کامل و آغاز آبیگری مخزن که حدود ۳/۵ ماه می باشد، جریان در مخزن به صورت رودخانه ای است

- دومین شاخه تخلیه مخزن مربوط به فصل آبیاری است و بین ماه های خرداد تا اواخر شهریور روی می دهد. این شاخه بر منحنی فرمان در بهره برداری عادی منطبق می باشد.

تحلیل منحنی فرمان در مانور رسوب زدایی نشان دهنده این واقعیت است که توفیق در انجام مانور رسوب زدایی در مخزن سفیدرود نیازمند قابلیت های سازه ای (ستون اول بهره برداری بهینه) بوده است که خوشبختانه در مراحل برنامه ریزی و طراحی مخزن مذکور مدنظر قرار گرفته است. اثرات مطلوب قابلیت های سازه ای در مخزن سفید رود به صورت تیپ در شکل شماره (۲) نشان داده شده است.

تا جایی که به بهره برداری بهینه با دیدگاه توسعه پایدار با توجه به رسوب گذاری مخازن سدها مربوط می شود، مجموعه قابلیت های سازه ای بایستی به شرح زیر در مراحل برنامه ریزی و مطالعات و طراحی مورد نظر قرار گیرد.

۱- دیدگاه حداکثر مقیاس توسعه در مطالعات و طراحی سدهای مخزنی چند منظوره که مستلزم نسبت بالای "گنجایش مخزن به آبدهی سالانه  $C/I$ " می باشد، در مورد ساختگاه هایی که دارای مسأله رسوب می باشند، دیدگاه درستی نیست. با نسبت های پایین  $C/I$ ، راندمان تله اندازی مخزن حتی در بهره برداری عادی نیز کاهش خواهد یافت. به علاوه با این انتخاب، در نظر گرفتن عملیات علاج بخشی برای حفظ و احیای مخزن در دوران بهره برداری، از قبیل بای پاس کردن پیک جریان های سیلابی با غلظت بالا، کاهش تراز آب مخزن در هنگام رویداد سیلاب و بالاخره انجام عملیات رسوب زدایی به طریق شاس ناقص و یا کامل (تخلیه ناقص و یا کامل مخزن)، کاملاً مقدور خواهد بود. مطالعات انجام شده در مخزن سفیدرود نشان می دهد که در ارتباط با مسایل رسوب، انتخاب نسبت  $\frac{C}{I} = 0.3$  رقم مطلوبی خواهد بود.

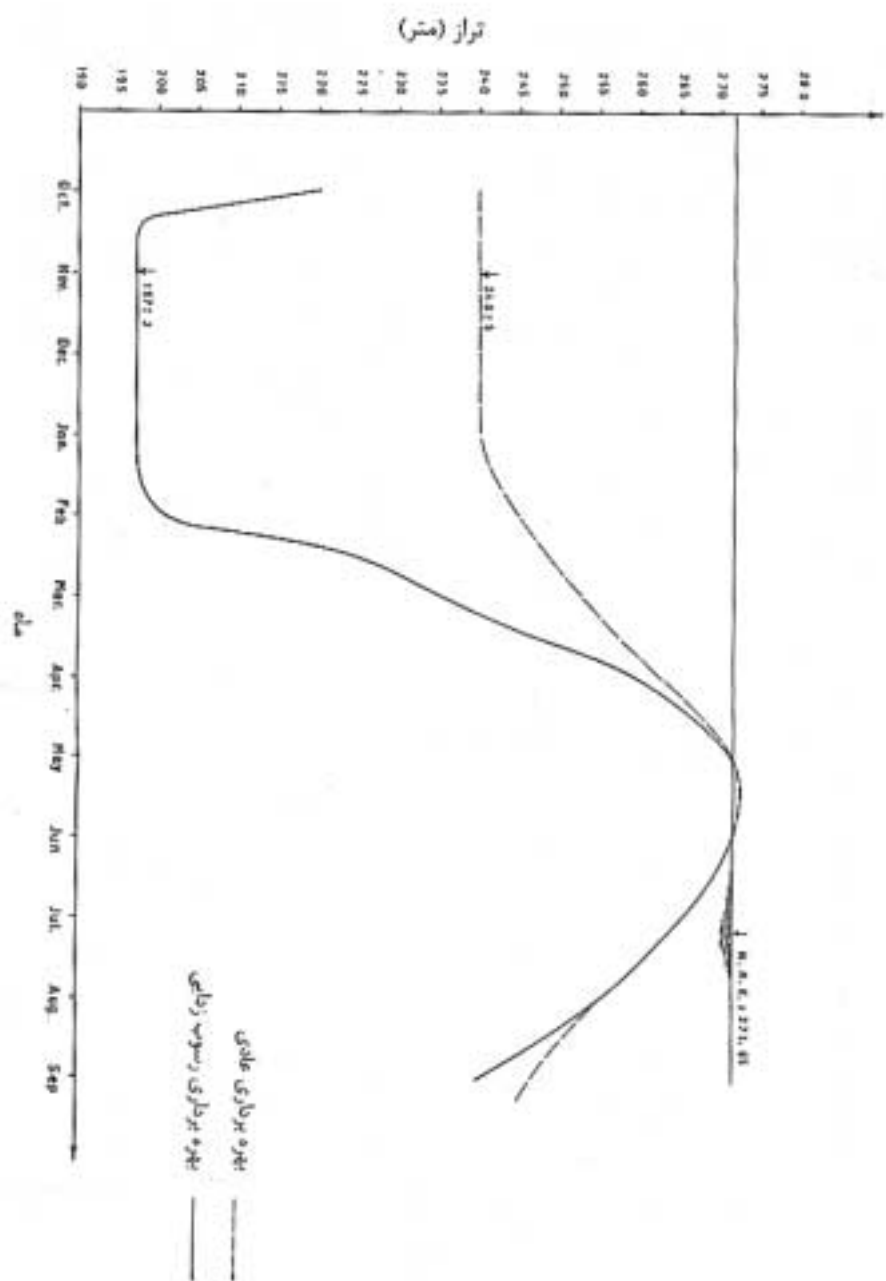
۲- در بسیاری از مخازن چند منظوره در حوضه های رسوب خیز که در آنها تولید انرژی برقی به عنوان یکی از منظورهای طرح مورد نظر قرار گرفته اند، در واقع مخزن قربانی تولید انرژی گردیده است. این مسأله ناشی از اشکالات زیر میباشد:

- انتخاب نوع نامناسب توربین که تنها در دامنه ارتفاع محدودی کار می کنند و راندمان آنها در رقوم های پایین مخزن به شدت کاهش می یابد.
- نیازهای فزاینده و غیرقابل کنترل به برق آبی به ویژه در دوره های پیک که ضرورت مانور مخزن در ترازهای بالا را به همراه دارد
- طراحی نادرست سیستم تخلیه کننده (عمقی و نیمه عمقی) سد با این دیدگاه که جریان های خروجی برای تامین نیازها کلاً می توانند از خروجی نیروگاه تخلیه شوند، در حالی که آبگیرهای نیروگاه معمولاً به لحاظ مجاز نبودن ورود جریان های غلیظ، در رقوم بالا تثبیت می گردند
- مانور نادرست تاسیسات تخلیه عمقی و خروجی های آبیاری حتی اگر چنین تاسیساتی موجود باشند، به این علت که با تامین نیازهای پایین دست از طریق نیروگاه، ظاهراً هیچ گونه نیازی به مسانور آنها احساس نمی شود و به همین دلیل اغلب پیشانی رسوب بالاتر از رقوم آستانه آنها قرار می گیرد.

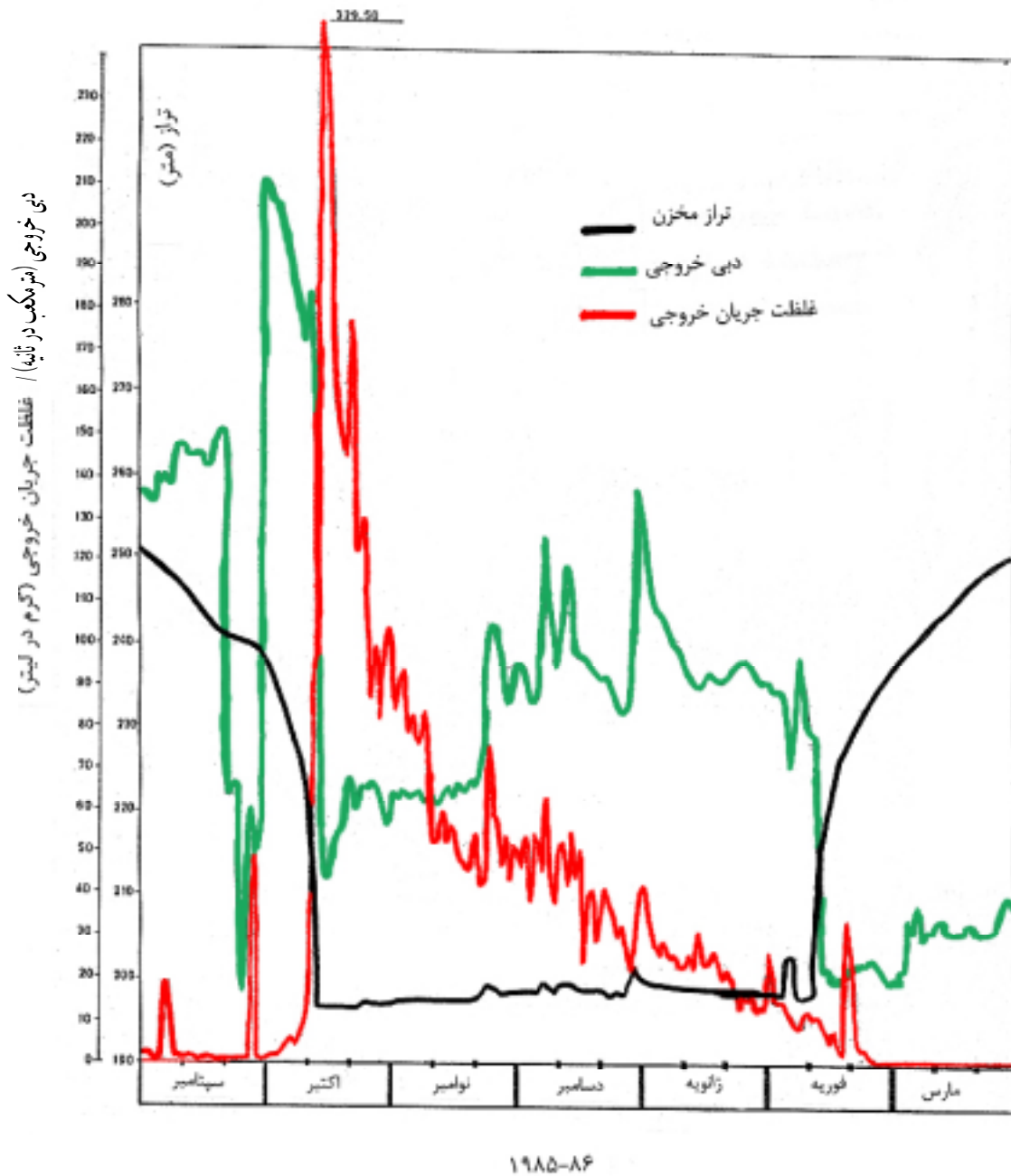
در خاتمه لازم می دانم از آقای مهندس علیرضا عظیمی مقدم کارشناس عمران آب شرکت مشاور به خاطر زحمات ایشان در تهیه این مقاله سپاسگزاری نمایم.

**ماخذ:**

- [1] E. Tlouie, **“Reservoir Sedimentation and De-siltation”** , PhD. Thesis, University of Birmingham, U.K. 1993



شکل ۱: منحنیهای فرمان مخزن سفید رود در بهره برداری عادی و رسوب زدایی



شکل ۲: روند تغییرات غلظت جریانه‌های خروجی نسبت به تراز مخزن و دبی خروجی