

A Regression Model for Calculate Reservoir Sedimentation in Small Dams.

Samadi - Boroujeni, H., M.Sc., Shahre - Kord Univesity

Mousavi, S.F., Assoc. Prof., Isfahan University of Technology Isfahan.

Abstract

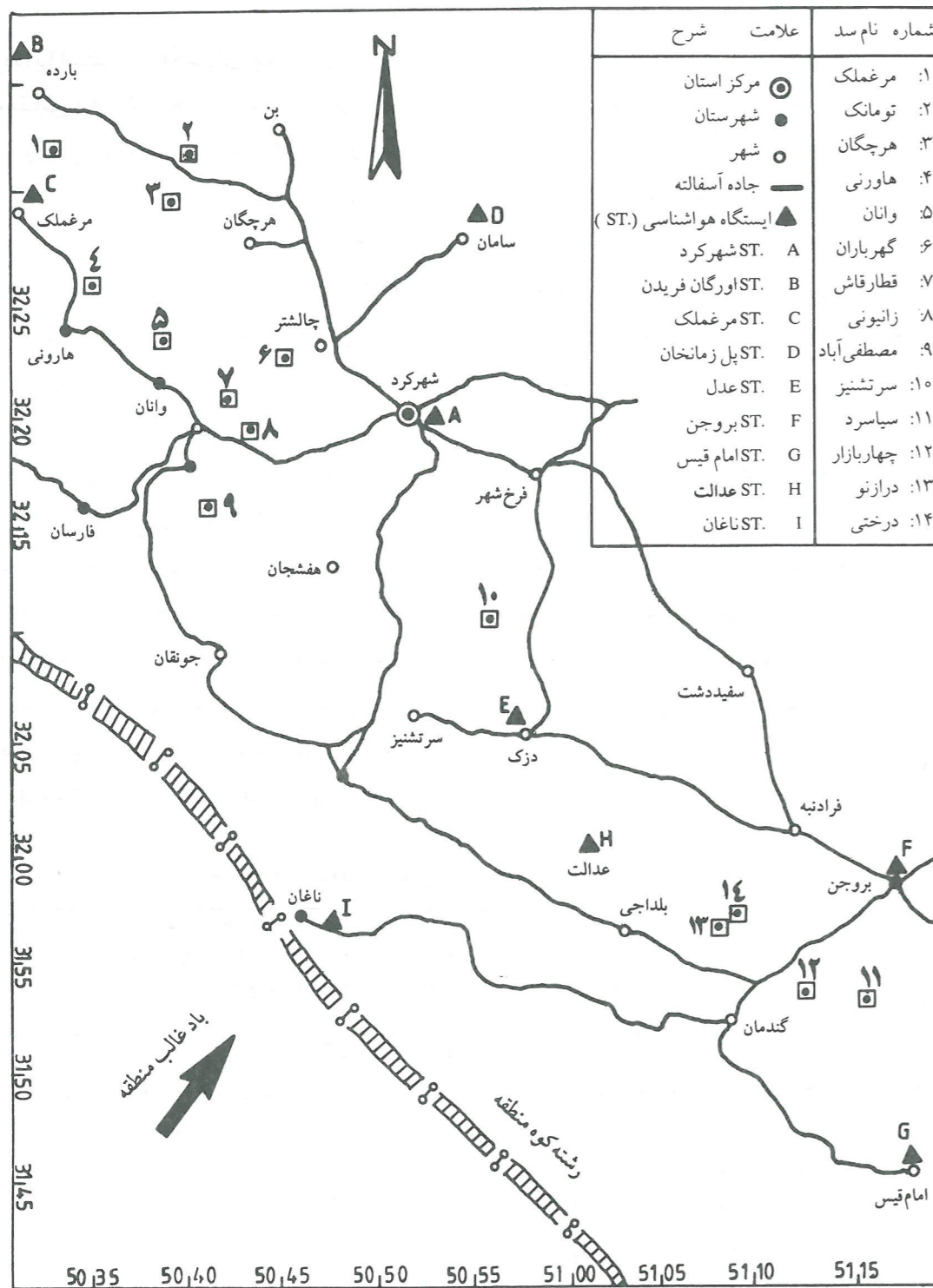
One of the most important studies in dam construction projects is evaluation of the amount of sediments in dam reservoir. This study determines the settled sediments and their distribution.

In this paper, 14 small embankment dams in Chaharmahal - Bakhtiary province (with height of less than 15m and reservoir capacity of less than one million cubic meters) were studied. Since 5 to 8 years has passed from their useful life, sedimentation has occured in all the reservoirs.

By surveying and measuring depth of sediments (by auger - hole method), the volume of sediments was calculated. Using aerial photographs, 1:50000 maps, and meteorological data hydrologic data and climatic characteristics of the watersheds were analyzed.

A multiple - regression model was obtained to correlate specific sedimentation in small dams to watershed area, average watershed slope, percentage of bare land in the watershed, average annual runoff volume, and original capacity of the reservoir.

یک مدل ریاضی جهت برآورد مقدار رسوبگذاری در مخازن سدهای کوچک (فاقد آمار)



سید فرهاد موسوی* حسین صمدی بروجنی*

چکیده

از مهمترین مراحل مطالعات سدسازی، بررسی رسوبگذاری در مخزن سد است. معمولاً این بررسی به منظور مشخص شدن مقدار رسوبات بر جای مانده در مخزن و نحوه توزیع آن انجام می‌گیرد. بر اساس تحقیقات انجام شده بر روی ۱۴ سد خاکی کوچک (ارتفاع کمتر از ۱۵ متر و حجم مخزن کمتر از یک میلیون مترمکعب) در منطقه چهارمحال و بختیاری، مقدار رسوبگذاری در مخازن آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. از آنجایی که بین ۵ تا ۸ سال از عمر سدها می‌گذرد، عمل رسوبگذاری در آنها انجام شده و با عملیات نقشه برداری در مخزن و اندازه گیری عمق رسوبات (به روش حفر چاهک) حجم رسوبات بر جای مانده محاسبه شده است. از طرفی با استفاده از عکسهای هوایی منطقه، نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و بازدید از منطقه، خصوصیات فیزیکی حوزه بالادست سدها مشخص گردید و با توجه به آمار ایستگاههای هواشناسی مجاور، خصوصیات اقلیمی منطقه تعیین شد. در نهایت بر اساس مطالعات مذکور و استفاده از نرم افزار کامپیوتری Statgraphic یک مدل آماری چند متغیره جهت محاسبه مقدار رسوبگذاری ویژه سالانه در مخزن بر حسب مساحت حوزه، شیب متوسط حوزه، درصد خاک لخت حوزه، متوسط حجم رواناب سالانه و ظرفیت اولیه مخزن به دست آمد.

مقدمه

رودخانه‌های طبیعی در برخی از مواقع سال دارای بار رسوبی هستند که منشأ آن فرسایش آبی حوزه بالادست (بارشسته) و فرسایش کناره‌ها و بستر رودخانه می‌باشد. با احداث سد بر روی رودخانه، قدرت انتقال رودخانه در مخزن کاهش یافته و عمل رسوبگذاری در مخزن انجام می‌شود. باگذشت زمان رسوبگذاری ادامه می‌یابد و از حجم مفید

مخزن کم می‌شود و این امر عمر مفید مخزن را کاهش می‌دهد. همچنین افزایش ضخامت رسوبات در مخزن، اختلالاتی در تأسیسات آبرگیری سد ایجاد می‌کند [۳]. بنابراین هر مطالعه و تحقیق جدید در مورد رسوبگذاری در مخزن سد موجب

* عضو هیأت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد
* دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

شکل ۱- محل سدهای مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری

محدوده جغرافیایی ۴۴° ۴۹' تا ۵۱° ۲۵' طول شرقی و ۳۱° ۰۸' تا ۴۴° ۳۲' عرض شمالی قرار دارد. موقعیت این سدها در شکل ۱ مشخص شده است.

از آنجایی که در مدل مورد نظر، پارامترهای فیزیکی حوزه بالادست سدها مهم هستند، بایستی مقدار این پارامترها

افزایش دقت طراحان در برآورد مقدار رسوبگذاری در مخزن می‌شود و این امر احتمال موفقیت طرح‌های سدسازی را افزایش می‌دهد.

خصوصیات فیزیکی سدها و حوزه بالادست آنها

سدهای مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری، در

مشخص گردد. با استفاده از عکسهای هوایی و نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ محدودده حوزه‌ها معلوم شد و مشخصات فیزیوگرافی حوزه‌ها تعیین گردید که نتایج در جدول ۱ آمده است [۱]. در این جدول، شاخص شیب حوزه (شیب متوسط حوزه) نسبت حداکثر اختلاف ارتفاع حوزه به طول مستطیل معادل است و درصد اراضی لخت حوزه (قسمتی از سطح حوزه که فاقد پوشش گیاهی یا سنگی است و فرسایش پذیر است) بر اساس نوع استفاده از اراضی^۱ به دست آمد [۴]. متوسط بارش سالانه از روی آمار بارش ایستگاههای هواشناسی مجاور و به روش تجزیه و تحلیل منطقه‌ای بارش نسبت به ارتفاع از سطح دریا، به دست آمد. جهت به دست آوردن مدل آماری مورد نظر بایستی مشخصات هندسی سدهای انتخابی معلوم باشد. لذا از آنها بازدید صحرائی به عمل آمد و با انجام عملیات نقشه برداری در مخازن آنها، نقشه توپوگرافی تهیه شد. این عملیات در اواخر تابستان که مخازن تقریباً خشک بودند، انجام گرفت و نقشه‌های تهیه شده مربوط به حالتی هستند که سدها ۵ تا ۸ سال در معرض

رسوبگذاری بوده است.

جهت تعیین حجم رسوبات بر جای مانده بایستی نقشه توپوگرافی قبل از رسوبگذاری در دست باشد. در این تحقیق با اندازه گیری عمق رسوبات در نقاط مختلف مخزن و کسر آن از رقوم به دست آمده در نقشه برداری، رقوم مخزن قبل از رسوبگذاری به دست آمد و نقشه توپوگرافی مخزن قبل از رسوبگذاری تهیه شد [۱]. با توجه به نقشه توپوگرافی مخزن قبل از بهره برداری، منحنی سطح - ارتفاع و حجم - ارتفاع اولیه^۲ به دست آمد. بر اساس منحنی حجم - ارتفاع می توان حجم مخزن را به دست آورد. اختلاف حجم مخزن اولیه (قبل از رسوبگذاری) و حجم مخزن ثانویه (بعد از چند سال رسوبگذاری) برابر حجم رسوبات بر جای مانده در مخزن سد، در طول دوره بهره برداری می باشد. در جدول ۲ مشخصات سدهای مورد مطالعه و مخازن آنها آمده است که با توجه به آن می توان مدل مورد نظر را به دست آورد [۱].

1- Land use

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی حوزه بالادست سدهای مورد مطالعه

نام حوزه	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	طول مستطیل معادل (کیلومتر)	ارتفاع متوسط حوزه (متر)	حداکثر اختلاف ارتفاع (متر)	S شاخص شیب (درصد)	B1 درصد اراضی لخت (درصد)	C ضریب جریان (میلی متر)	P متوسط بارش سالانه (میلی متر)	I متوسط رواناب سالانه (هزار متر مکعب)
هرچگان	۳۸/۹۸	۳۲/۸	۱۳/۱۲	۱۳/۵۲	۲۵۹۵/۳	۷۲۵	۵/۳۶	۳۱/۶	-/۴۱	۵۷۲/۷	۹۱۵۲/۸۰۰
چهاربازار	۱۹/۰۸	۲۵/۴۴	۱۰/۰۶	۱۰/۹۸	۲۴۹۵/۸	۷۵۲	۶/۸۵	۲۲/۵	-/۳۷	۵۴۲/۱	۳۴۳۹/۴
تومانک	۱۷/۴۲	۱۶/۹۶	۶/۳۳	۴/۹۹	۲۵۰۷/۳	۸۶۵	۱۷/۳۳	۳۸/۲	-/۴	۵۳۷/۲	۳۷۷۷/۴
سرتشنیز	۱۰/۶۰۸	۱۳/۲۶	۴/۲۲	۳/۹۳	۲۳۵۸/۰	۳۲۲	۸/۱۹	۳۱/۶	-/۳۹	۶۲۱/۵	۱۷۰۲/۸
مصطفی آباد	۹/۳۱۴	۱۴/۸۶	۶/۰۲	۵/۸۳	۲۴۹۳/۱	۸۰۷	۱۳/۸۴	۳۳	-/۴۱	۵۱۹/۴	۲۰۵۱/۴
سیاسرد	۶/۰۵۲	۱۰/۰۲	۲/۸	۲/۹۸	۲۵۶۸/۵	۳۸۷	۱۲/۹۹	۳۶/۷	-/۳۹	۴۹۳/۳	۱۲۴۴/۱
مرغملک	۳/۸۵۲	۷/۹	۲/۰۲	۲/۲	۲۷۳۵/۶	۴۳۰	۱۹/۵۵	۴۵/۵	-/۳۷	۴۹۹/۸	۸۸۵/۸
هارونی	۳/۱۵۶	۸/۵۶	۳/۴۱	۳/۳۳	۲۴۴۲/۰	۳۰۱	۹/۰۴	۳۴/۷	-/۴	۴۴۰/۰	۶۵۵/۷
درختی	۳/۶۲	۱۰/۳۸	۴/۸۱	۴/۳۶	۲۴۲۵/۴	۵۵۹	۱۲/۸۲	۴۹	-/۴۳	۴۶۷/۶	۶۹۸/۳
درازنو	۲/۷۶	۷/۷۶	۳/۳۲	۲/۹۴	۲۴۸۳/۲	۵۳۳	۱۸/۱۳	۵۵/۹	-/۴۵	۴۸۷/۲	۵۹۶/۵
زانینو	۲/۴۴	۶/۶۰	۲/۷۹	۲/۱۸	۲۳۶۶/۸	۱۸۳	۸/۳۹	۲۲/۹	-/۳۹	۴۱۱/۶	۴۶۹/۴
وانان	۲/۲۰۲	۶/۴۰	۲/۰۲	۲/۲	۲۳۸۵/۴	۳۰۶	۱۳/۹۱	۲۳/۲	-/۴	۵۲۷/۱	۴۴۰/۲
گهرباران	۲/۱۶۶	۶/۱۴	۲/۴۸	۱/۹۷	۲۲۱۳/۴	۲۷۲	۱۳/۸۱	۲۲/۴	-/۴	۴۴۸/۶	۳۸۱/۲۲
قطارقاش	۲/۰۳۶	۵/۴۴	۱/۶۳	۱/۴۳	۲۲۹۲/۷	۲۷۱	۱۸/۹۵	۳۲/۸	-/۳۸	۴۸۰/۳	۳۵۲/۲۵

جدول ۲- مشخصات سدهای مورد مطالعه و محاسبه مقدار رسوبگذاری ویژه

نام سد	ارتفاع سد (متر)	طول تاج (متر)	ظرفیت اولیه مخزن (هزار متر مکعب)	حجم رسوبات بر جای مانده (متر مکعب)	طول دوره بهره برداری (سال)	مقدار رسوبگذاری ویژه (متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال)
هرچگان	۱۴/۵	۳۰۷	۴۱۱/۱۳۲	۲۳۳۴۶	۷	۸۵/۵۶۰
چهاربازار	۶/۵	۳۴۵	۱۱۰/۶۹۵	۱۳۴۸۳	۵	۱۴۱/۳۳۱
تومانک	۱۷/۷	۳۸۳	۹۰۴/۶۱۰	۱۰۵۷۶	۵	۱۲۱/۴۲۴
سرتشنیز	۱۱/۴	۱۶۵	۲۶۰/۰۷۶	۸۹۰۹	۵	۱۶۷/۹۷۰
مصطفی آباد	۹/۲	۱۶۲	۱۱۸/۵۲۴	۹۳۰۲	۸	۱۲۴/۸۳۹
سیاسرد	۸/۸	۶۹	۲۲/۳۸۷	۲۵۴۸	۷	۶۰/۱۴۵
مرغملک	۸/۸	۱۹۹	۹۱/۰۱۸	۱۵۰۴	۶	۶۵/۰۷۴
هارونی	۱۰/۶۵	۱۶۰	۱۴۹/۳۴۱	۴۲۶۲	۵	۲۷۰/۰۸۹
درختی	۱۱/۷۵۰	۱۷۱	۴۵۲/۱۳۳	۶۹۵۱	۵	۳۸۴/۰۳۳
درازنو	۷/۸۵	۲۳۰	۱۷۴/۲۳۳	۳۶۵۶	۶	۲۲۰/۷۷۳
زانینو	۹/۳۵	۱۲۸	۹۲/۴۰۷	۴۸۸۳	۷	۲۸۵/۸۹
وانان	۱۰/۲۲	۱۹۶	۱۱۸/۰۳۷	۳۰۹	۵	۲۸۰/۶۵۴
گهرباران	۷/۷۵	۴۳۴	۱۷۶/۰۲۸	۱۰۰/۷۵	۶	۷۷۵/۲۳۹
قطارقاش	۷/۱۵	۱۱۶	۳۸/۱۰۸	۲۸۵۸	۷	۲۰۰/۵۳۳

نتایج و بحث

رسوبگذاری در مخازن سدها، فرایندی است که به عوامل عدیده هیدرولوژیکی، اقلیمی، خاکشناسی، زمین شناسی و گیاهشناسی بستگی دارد و رابطه مقدار رسوبگذاری با عوامل مذکور، پیچیده و نامشخص است [۶]. تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه انجام شده است که غالباً نتایج را در یک رابطه خلاصه کرده‌اند [۵]. ارزش و اعتبار این نتایج اولاً بستگی به کامل بودن تعداد متغیرهای معادله دارد. ثانیاً به این که ارتباط بین متغیرها تا چه حد منطقی است و ثالثاً نتیجه مذکور در سایر مناطق، جواب‌های قابل قبول بدهد.

در این تحقیق که با اندازه گیری‌ها و مطالعات انجام شد، مقدار رسوبگذاری در مخزن ۱۴ سد تعیین شد و مقادیر پارامترهای دخیل در رسوبگذاری به دست آمد. جهت ارائه نتایج، به طوری که برای موارد دیگر قابل کاربرد باشد، از مدل آماری استفاده می شود. شکل کلی مدل به صورت

زیر است:

$$S_d = f(C, I, A, H, S, B_1)$$

که در آن:

S_d مقدار رسوبگذاری ویژه، که یک متغیر وابسته است و بقیه پارامترها متغیر مستقل هستند.

اغلب مدل‌هایی که جهت محاسبه رسوب ارائه شده‌اند (مدلهای اندرسن، دندی، فورینه، کرک‌بای، ماتروبارنس، کهلر - گیف، جا گلکار، خوشلا و لال) از مدل آماری کاب دا گلاس پیروی کرده‌اند [۲]. این مدل به صورت زیر است:

$$Y = aX_1^{b1} X_2^{b2} \dots X_n^{bn}$$

در صورتی که از مدل فوق لگاریتم گرفته شود، معادله رگرسیون خطی چند متغیره به دست می آید. در این تحقیق اطلاعات مربوط به سد مرغملک در مدل آماری دخالت داده نشده و از آن به عنوان شاهد استفاده شده است. لذا بر اساس داده‌های موجود، با انتخاب ترکیبهای مختلف از پارامترهای

معادله، تعداد زیادی مدل به دست آمد که از بین آنها مدل زیر به عنوان نتیجه نهایی انتخاب شد.

$$Sd = \left(\frac{C}{T}\right)^{0.3855} \left(\frac{1.0I}{AH}\right)^{-1.1228} \left(\frac{A}{S}\right)^{0.96} (A)^{-1/8} (B1)^{1/46}$$

که در آن:

Sd - مقدار رسوبگذاری ویژه (مترمکعب بر کیلومتر مربع بر سال)،

C/I - نسبت ظرفیت اولیه مخزن به متوسط ورودی سالانه،

$\frac{1.0I}{AH}$ - شاخص رواناب حوزه (هزار مترمکعب بر کیلومتر مربع بر متر)

H - حداکثر اختلاف ارتفاع در حوزه (متر)،

A - مساحت حوزه (کیلومتر مربع)،

S - شیب متوسط حوزه (متر بر متر)

B1 - درصد اراضی لخت حوزه. در جدول ۳ نتایج

تجزیه و تحلیل آماری مربوط به مدل انتخابی

طرح آمده است [۱].

دلایل انتخاب مدل مذکور از بین مدل‌های دیگر به شرح

زیر است:

(۱) اغلب پارامترهای مؤثر در رسوبگذاری، در این مدل

وجود دارد.

(۲) مقدار رسوبگذاری ویژه محاسبه شده توسط مدل،

اختلاف کمی نسبت به مقدار مشاهده داشته و این خطا کمتر از ۲۵ درصد است و در مورد سد شاهد (سد مرغلک) برابر ۳۵ درصد است که این رقم برای پارامتر پیچیده‌ای مثل رسوبگذاری قابل قبول است.

(۳) مدل انتخابی از نظر آزمون‌های مختلف آماری معتبر است، درجه آزادی مدل ۸ می‌باشد و برای این درجه آزادی و سطح ۱٪ مقدار t جدول برابر ۲/۸۹۶ است حال آن که مقدار t به دست آمده برای مدل بزرگتر از ۲/۸۹۶ است. بنابراین مدل از نظر مقدار t معتبر است. ضریب همبستگی مدل برابر ۰/۹۹۸۲ به دست آمده که در سطح ۱٪ معنی دار است. از نظر معیار دوربین واتسون مدل معتبر است زیرا دوربین واتسون مدل برابر ۲/۵۵۱ به دست آمده و این عدد نشان می‌دهد که مدل دارای خود همبستگی نیست [۲].

بنابراین با استفاده از مدل معرفی شده می‌توان مقدار رسوبگذاری در مخازن سدهای کوچک را برآورد کرد. باید توجه داشت که سدهای مورد مطالعه در منطقه‌ای با زمستان سرد و تابستان گرم و خشک واقع است. حوزه بالادست سدها تپه ماهور با پوشش گیاهی متوسط و ضعیف و مساحت کمتر از ۵۰ کیلومتر مربع است و فرسایش در حوزه‌ها نسبتاً شدید می‌باشد. بدیهی است برای مناطقی که شباهت کم با منطقه مذکور دارند، در استفاده از مدل انتخابی طرح باید احتیاط نمود.

پیشنهادات

هر تحقیقی که راجع به رسوب و رسوبگذاری انجام شود، برای مهندسان طراح بسیار سودمند خواهد بود. با توجه به شرایط اقتصادی کشور و در حال توسعه بودن آن، محققین بایستی با مطالعه و تفکر بیشتر و با امکانات موجود، موضوع و مسیر تحقیق را چنان انتخاب کنند که نتایج حاصل از آن، طراح

منابع و مراجع

- ۱- صمدی بروجنی، ح. ۱۳۷۴، ارزیابی رسوبگذاری در مخازن سدهای کوچک منطقه چهارمحال و بختیاری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی تأسیسات آبیاری، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲- هژیرکیانی، ک. ۱۳۶۸، اقتصاد سنجی و کاربرد آن، انتشارات بخش فرهنگی جهاد دانشگاهی دانشگاه شهید بهشتی.
- ۳- موسوی، ف. ۱۳۷۴، هیدرولوژی مهندسی، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۴- نجمایی، م. ۱۳۶۹، هیدرولوژی مهندسی، ج ۱ و ۲، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- ۵- شفاعی بجستان، م. ۱۳۷۳، هیدرولیک رسوب، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- 6- Chow, V.T. et al. (1991). " *Applied Hydrology* ", McGraw - Hill Co., N.Y.
- 7- Mutreja, K.N. (1986). " *Applied Hydrology* ", McGraw - Hill.

پاسخهای زیر مربوط به پرسشهای صفحه ۵۱ می‌باشد

- ۱- اکسیژن محلول در داخل کانال اکسایش توسط سرریز کنترل سطح خروجی کانال تنظیم می‌شود که جهت بهترین عملکرد باید غلظت اکسیژن محلول در ۴/۵ متری بالادست روتورها بین ۰/۵ تا ۲ میلی‌گرم در لیتر حفظ شود.
- ۲- سرعت جریان در داخل کانال را باید بین ۰/۳ تا ۰/۴۵ متر بر ثانیه حفظ کرد تا از رسوب لخته جلوگیری شود.
- ۳- برای مشخص کردن عملکرد کانال، مشاهدات روزانه رنگ محلول موجود در کانال، بوی محل تصفیه‌خانه و زلالی پساب در کلنال و مخزن ته‌نشینی ضروری است.

جدول ۳- نتایج تجزیه و تحلیل آماری برای مدل انتخابی طرح

متغیرهای مستقر	ضریب	خطاهای استاندارد	مقدار t	سطح معنی دار
$\text{LOG} \left(\frac{C}{T} \right)$	۰/۳۸۵۴۸۸	۰/۰۷۸۳۲۹	۴/۹۲۱۴	۰/۰۰۱۲
$\text{LOG} \left(\frac{1.0I}{AH} \right)$	-۱/۲۲۸۳۱۶	۰/۳۴۲۰۱۲	-۳/۵۹۱۴	۰/۰۰۷۱
$\text{LOG} \left(\frac{A}{S} \right)$	۰/۹۶۰۱۷۵	۰/۲۷۲۵۹۶۱	۳/۵۲۲۸	۰/۰۰۷۸
$\text{LOG} (A)$	-۱/۸۰۰۶۷۵	۰/۴۳۱۹۲۵	-۴/۱۶۹۰	۰/۰۰۳۱
$\text{LOG} (B1)$	۱/۷۶۴۶۴۴۲	۰/۱۳۹۳۷۳	۱۲/۵۳۰۷	۰/۰۰۰۰
R - SQ. (ADJ.) = ۰/۹۹۸۲ = انحراف معیار و ۰/۲۳۲۸۰۹				
تعداد مشاهدات: ۱۳ عدد				