

معرفی روش انرژی برای محاسبه عمق آبشستگی

دانشجوی دکتری عمران آب - عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی خرم آباد
استاد دانشکده عمران صنعتی شریف

حمید رضا باباعلی
ابولفضل شمسایی

Ham_babaali@yahoo.com

خلاصه:

بسیاری از تونل هایی که نقش سرریز سدها را دارند دارای تراز ارتفاعی بالا هستند. مشکل آبشستگی (scour) در این نوع سرریزها به علت سرعت و هد بالا آب میباشد. روش تقریب انرژی، روش جدیدی برای تخمین عمق آبشستگی می باشد. و در اینجا برای تخمین عمق آبشستگی پایین دست تونل سرریز شماره پروژه (ZIPINGPU) بکار می رود. سپس نتایج بدست آمده با داده های روابط تجربی مقایسه می گردد. در پایان مزایا و معایب این روش بررسی می گردد.

لغات کلیدی: روش انرژی، آبشستگی، سایت مرجع

مقدمه:

پروژه ZIPINGPU در پایین دست رودخانه MINGIANY در چین انجام شده است. و چهارمین پروژه هیدرولیکی در این ناحیه می باشد. تونلهای انحراف این پروژه جهت استفاده از سرریزهای دائمی به صورت ski-jump جهت استهلاک انرژی به کار رفته اند. به دلیل ارتفاع بالا تونلها هد و سرعت آب در پائین بسیار زیاد است، بنابراین کنترل فرسایش پائین دست تونلها بسیار مشکل می باشد. عمق آبشستگی شاخص بسیار مهمی جهت تخمین فرسایش می باشد. و تحقیقات بسیار زیادی در این زمینه صورت گرفته است. اما متأسفانه اکثر متدهای موجود تاثیر کمی در تعیین عمق فرسایش به صورت دقیق و قابل اطمینان دارند. در این مقاله روش تقریب انرژی برای پائین دست سرریز تونلی شماره پروژه ZIPINGPU بکار رفته است.

اصول تقریب انرژی:

در سال 1985 پروفیسور کانادایی K.G.W روش جدیدی تحت عنوان شاخص آبشستگی انرژی یا ESI بیان نمود. که برای پائین دست سدهای بزرگ ارائه میگردد و روابط بین انرژی متوسط جت آب و عمق آبشستگی و مشخصات حوضچه آرامش را بیان می دارد. اصل روش بر این اساس است که عمق آبشستگی $ds(t)$ در هر لحظه حاصل Ea قدرت انرژی جت آبی بر روی سنگ بستر که در سطح سنگ بستر در دسترس می باشد و ظرفیت سنگ ETH در جهت جذب یا Ex انعکاس نیروی فرسایشی میباشد. بنابراین:

$$ds(t) = f(Ea - ETH - Ex)$$

که Ex میزان انرژی انحراف (انعکاس) داده شده است در هر لحظه توسط سنگ بستر. ESI بیان می کند که متوسط انرژی هدر رفته بوسیله جت آبی در طول دوره فرسایش در یک مکان نسبت به سایر مکانها وابسته به شرایط مقاومت فرسایشی سنگ بستر کف حوضچه آرامش میباشد. که میتوان با استفاده از ضریب زیر آن را بیان نمود:

$$ESI = \frac{\int_0^{t_1} (Is - Ir)_1 dt}{\int_0^{t_2} (Is - Ir)_2 dt} \times F \quad (1)$$

t_0 زمان اولیه

te زمانی است که سیستم به حالت تعادل میرسد.

Is متوسط توان جت آب در واحد سطح بستر حوضچه آرامش میباشد. و تابعی است از سرعت در نزدیکی بستر و نیروی تنش هیدرولیکی بر روی سنگ بستر

$$I_s = f(\tau \cdot \bar{U}_x) .$$

Ir عبارت است از میزان ظرفیت سنگ بستر در جذب یا انعکاس انرژی جت آب (در واحد سطح بستر حوضچه) در صورتی که $1/1.25 \leq F \leq 1.25$ باشد داریم:

$$ESI = \frac{Q_1 H_1 \rho / A_1 - d_{s1} \sigma_{c1} / t_{e1}}{Q_2 H_2 \rho / A_2 - d_{s1} \sigma_{c1} / t_{e2}} \times \frac{T_{e1}}{T_{e2}} \times F \quad (2)$$

بعد از ساده سازی رابطه فوق داریم:

Q دبی کل **σ_c'** مقاومت فشاری موثر **ρ** چگالی
H هد کل **Te** زمان ریزش آب **ds** عمق آبشستگی
A مساحت افقی ناحیه برخورد آب با بستر در زمان اولیه که میتواند با گذشت زمان از رابطه زیر محاسبه گردد

$$A_s = Q / V \approx Q / \beta V_p \quad (3)$$

β ضریب توزیع سرعت میباشد که بصورت تجربی بدست میاید. و معمولاً برای رودخانه های با بستر زیر $1 \leq \beta \leq 2.0$ میباشد. متغیرهای که اندیس یک دارند مربوط به سایت مرجع و متغیرهای که اندیس دو دارند مربوط به سایت مورد مطالعه میباشدند. مراحل کلی روش تقریب انرژی شامل مراحل ذیل میباشد:

- 1- انتخاب سایت مرجع مشابه با محل مورد مطالعه
- 2- انتخاب یک فرمول تجربی مناسب که رابطه مناسبی بین دبی و عمق آبشستگی را در سایت مرجع بیان داشته باشد.
- 3- با استفاده از فرمول فوق یک عمق آبشستگی محاسبه گردد که احتمالاً یک مقدار صحیح نمیشد
- 4- در این مرحله با استفاده از روش تقریب انرژی مقادیر بدست آمده اصلاح میگردد.

محاسبه عمق آبشستگی :

انتخاب سایت مرجع و فرمول تجربی مناسب :

نقطه اصلی در استفاده از روش **ESI** انتخاب سایت مرجع مناسب است. زمانی که عمق تقریبی سرریز **ZIPINGPU** مد نظر بود سایت مرجع مقطع 9-10 سد **DENGMAN** و مقطع 24 سد **HUANREN** در نظر گرفته شدند. (1992 **DONG** و 1974 **INSTILR**) برای فرسایش هر دو سد انتخابی تقریب عمق تعادل که در زمان ریزش برداشت شده بود به ترتیب **189h, 195h** بوده است. و فرمول تجربی رو به جلوی **Guo Zizhong** و **Chunting** مورد استفاده قرار گرفت. جهت مقایسه بهتر 9 فرمول بر روی 14 پروتوتیپ سد ها توسط **LIU** (2000) نشان داد که دو رابطه فوق بهتر می باشد.

انتخاب پارامترها و ساده سازی رابطه **ESI**:

محاسبه **A, H**:

طول سر ریز تونلی شماره یک پروژه **ZIPINGPU** زیاد می باشد. بنابراین نمی توان از افت ناشی از اصطکاک آن صرف نظر نمود. همچنین قطر و شکل تونل در طول مسیر تغییر نموده است. بنابراین افت ناشی از هدهای محلی را نیز نمی توان نادیده گرفت. بنابراین **H** را نمی توان به صورت رابطه ساده یعنی تفاضل ارتفاع آب در بالا دست و پائین دست بیان نمود. در اینجا **H** مطابق تست دادهای مرجع محاسبه شده است. (**HYDROELEC2001**)
A نیز طبق روش فوق محاسبه شده است.
محاسبه ناصحیح ts با استفاده از فرمولهای مربوط به مشخصات هیدرولیکی در جدول 1 و محاسبات در جدول 2 ارائه شده است.

تست در محل S برای محاسبه مقاومت فشاری تک محوره بر روش برای Fengman, Huanren, Zipingpu به ترتیب 260,5 و 104 و 100 مگا پاسکال بوده است.

همچنین در طبقه بندی مقاومت بستر در مقابل فرسایش حوضچه آرامش محل مورد مطالعه در رده سه قرار گرفته است. بنابراین

$$S'_c = 3Mpa$$

و برای Fengman, Huanren داریم: به ترتیب داریم:

$$ESI = \frac{Q_1 H_1 \rho / A_1}{Q_2 H_2 \rho / A_2} \times \frac{T_{e1}}{T_{e2}} \times F \quad (4)$$

ساده سازی Te :

ترم مربوط به Te نسبت به سایر پارامترها تاثیر بیشتری بر روی ESI دارد. اما تعیین مقدار دقیق آن بسیار مشکل می باشد. در مرجع شماره 8, $Te1$ مقدار ریزش آب روی پروتوتیپ و $Te2$ می بایستی توسط آزمایش تعیین گردد. بر اساس شرایط پروژه ZIPINGPU و بحث های فوق مقدار $Te2$, 200h در نظر گرفته شده به بیان دیگر, تاثیر $Te2$ را می توان با تغییر نسبت متوسط انرژی جت آبی در طول آبشستگی به نسبت انرژی جت در واحد زمان نادیده گرفت. بنابراین:

$$ESI_1 = \frac{Q_1 H_1 \rho / A_1}{Q_2 H_2 \rho / A_2} \times F \quad (5)$$

جدول شماره 1- مشخصات هیدرولیکی سرریز تونلی zipingpu

گروه	دبی Q (m^3/s)	تراز آب بالادست Z_u (m)	تراز آب پایین دست Z_d (m)	$H=Z_u-Z_d$ (m)	عمق پایاب h_c (m)	دبی در واحد عرض q ($m^3/(s.m)$)
1	1700	883.10	746.48	136.62	7.48	74.14
2	1640	877.00	746.44	130.56	7.44	71.52
3	1580	871.20	746.35	124.85	7.35	68.91
4	1470	860.00	746.19	113.81	7.19	64.11
5	1355	848.00	746.00	102.00	7.00	59.09
6	1230	836.00	745.74	90.26	6.74	53.64

جدول شماره 2 - محاسبات مربوط به زمان ts

فرمول	1	2	3	4	5	6
$t=1.1q^{0.50}H^{0.25}$	32.16	31.22	30.29	28.51	26.60	24.52
$t=1.1q^{0.58}H^{0.13}$	26.32	25.62	24.92	23.60	22.17	20.61
$QH\rho/A$	2306536	2337737	2391034	2274670	2138824	1992716

برای سد $Te=189h, QH\rho/A=3480000$, FENGMEN

برای سد $QH\rho/A=4374000$, $Te=195h$, HUANREN

انتخاب F :

پارامتر F به اختلاف نسبی بین درجه محدودیت بروسه آبشستگی در سطح حوضه آرامش بستگی دارد. به عنوان مثال در مقاطع 9-10 سد FENGMEN تست تک محوره مقاومت در محل نشان از مقاومت بالای بستر حوضچه را داده است اما گسل هایی دیده می شده است. بنابراین گسترش گسل در طرفین زیاد می باشد اما در طول حوضچه کم می باشد. در پروژه ZIPINGPU با توجه به شیب پوشش سمت راست آبشستگی در سایت مرجع بسیار عمیق تر می باشد. بنابراین F بین 1.25 تا 1.12 و در نهایت 1.12 انتخاب شده است.

برای مقطع 24 سد HUANREN تست مقاومت تک محوره در محل نشان داده است که سایت مرجع کاملاً شبیه ZIPINGPU است اما ناحیه ضعیف در کل پروژه شامل سنگ هایی با ابعاد بزرگ است بنابراین F بین 0,8 تا 1 میباشد که در نهایت آنظر گرفته شده است (PORY-1990). اما شکل آبخستگی پروژه پیچیده می باشد. بنابراین برای محاسبه عمق آبخستگی از اعداد 1/22 و 1/25 و 1/1025 و 1/11 به ترتیب برای عمق آبخستگی استفاده شده اند. در فرمول 3 و 4 محاسبه ESI, ESI₁ در جدول شماره 3 ارائه شده است.

جدول شماره 3- محاسبه ESI, ESI₁

سایت مرجع	مقادیر ESI و ESI ₁	1	2	3	4	5	6	
Fengman	ESI	1.00	1.43	1.41	1.38	1.45	1.54	1.65
		1.12	1.60	1.58	1.54	1.62	1.72	1.85
		1.25	1.78	1.76	1.72	1.81	1.92	2.06
	ESI ₁	1.00	1.51	1.49	1.46	1.53	1.63	1.75
		1.12	1.69	1.67	1.63	1.71	1.82	1.96
		1.25	1.89	1.86	1.82	1.91	2.03	2.18
Huanren	ESI	1.00	1.85	1.82	1.78	1.87	1.99	2.14
		1/1.1	1.68	1.41	1.38	1.45	1.54	1.65
		1.10	2.03	1.76	1.72	1.81	1.92	2.06
	ESI ₁	1.00	1.90	1.87	1.83	1.92	2.05	2.19
		1/1.1	1.72	1.70	1.66	1.75	1.86	2.00
		1.10	2.09	2.06	2.01	2.12	2.25	2.41

جدول شماره 4- مقادیر ds, ds₁

سایت مرجع	مقادیر ESI و ESI ₁	1	2	3	4	5	6	
Fengman	ds	1.00	15.08	14.75	14.67	12.53	10.30	8.12
		1.12	12.66	12.38	12.31	10.42	8.44	6.53
		1.25	10.57	10.32	10.27	8.59	6.84	5.15
	ds ₁	1.00	13.84	13.53	13.46	11.45	9.35	7.30
		1.12	11.55	11.29	11.23	9.45	7.59	5.80
		1.25	9.57	9.34	9.30	7.72	6.08	4.49
Huanren	ds	1.00	6.75	6.60	6.62	5.40	4.12	2.89
		1/1.1	8.18	10.77	10.77	9.13	7.42	5.75
		1.10	5.46	7.13	7.14	5.87	4.54	3.25
	ds ₁	1.00	6.40	6.25	6.27	5.08	3.84	2.65
		1/1.1	7.79	7.62	7.63	6.31	4.93	3.59
		1.10	5.14	5.01	5.03	3.97	2.86	1.80

اصلاح ds, ts :

آقای Dong بیان میدارد که پارامتر $d_s \cdot S_c' / t_s$ در فرمول 2 برای دقت انرژی جت کافی نمی باشد. در واقع، بالشتک باعث جذب مقدار زیادی انرژی می گردد. (LIV 200)

بنابراین زمانی که از ESI استفاده می گردد ESI₁ جهت اصلاح عمق آبخستگی در فرمول تجربی بایستی تاثیر بالشتک ها در نظر گرفته شود. بنابراین این فرضیه باعث تغییر ds به $t_s = (d_s + h_t)$ می گردد.

$$t_s = t_s' / ESI \quad (6)$$

$$t_{s1} = t_s' / ESI_1 \quad (7)$$

که t'_s مربوط به محاسبه در روابط تجربی فرسایش بدون اصلاح ESI است

تخمین فرسایش ایجاد شده بوسیله تونل سرریز پروژه ZIPINGPU:

بر اساس داده های دو مرجع , سد FENGMAN,HUANREN با استفاده از فرمولهای 3 و 4 و 5 آبخستگی تعیین شده است و نتایج در

جدول شماره 4 نشان داده شده است. در جدول شماره 4, ts با استفاده از رابطه (5-a), $d_s = t_s - h_1$, محاسبه میگردد که ts1, ts2 به روش مشابه تعیین شده اند. با توجه به این مسئله که Te بیشترین تاثیر را بر محاسبات آبخستگی دارد و همچنین تعیین بسیار مشکل آن , ds1 به عنوان عمق آبخستگی در نظر گرفته شده است. متوسط مقدار نتایج دو مرجع به عنوان عمق تعادل در نظر گرفته شده است. که در جدول شماره 5 ارائه شده اند. همچنین عمق محاسبه شده توسط برخی فرمولها در جدول 5 آورده شده است. فرمول های تجربی تفاوت های بسیار زیادی را با هم دارند. زیرا مفاهیم پایه ای آنها متفاوت است. اما نتایج با استفاده از روش تقریب انرژی در یک رنج خاص قرار گرفته اند. از جدول شماره 5 می توان فهمید که آبخستگی تحت تاثیر شش شرایط هیدرولیک بستگی به هد آب و دبی واحد حجم دارد. آبخستگی بدست آمده از روابط انرژی ناشی از شرایط شش گانه در جدول شماره 6 کمتر از نتایج فرمول های تجربی هستند. اما از نتایج تست آزمایشی بیشتر میباشند.

جدول شماره 5- عمق آبخستگی در پروژه zipingpu

عمق آبخستگی (m)	تراز بالا دست (m)					
	883.10	877.00	871.20	860.00	848.00	836.00
Energy Approach	9.05	8.84	8.82	7.33	5.77	4.27
$T = Kq^{0.50} H^{0.25}$	23.68	22.78	21.94	20.32	18.60	16.78
$T = Kq^{0.58} H^{0.13}$	17.84	17.18	16.57	15.41	14.17	12.87
$T = 1.20q^{0.75} H^{0.125} / k$	17.27	16.44	15.57	14.33	13.00	11.50
$T = 1.18q^{0.51} H^{0.235}$	17.59	16.81	15.90	14.90	13.79	12.44
$T = 1.05q/Vc$	4.49	4.08	3.71	3.03	2.34	1.65

جدول شماره 6- ترازهای عمیق ترین نقاط محاسباتی

	1	2	3	4	5	6	
نمودار انرژی	Maximum	733.86	733.99	733.97	735.03	736.14	737.20
	Minimum	725.16	725.47	725.54	727.55	729.65	731.70
	Mean	729.95	730.16	730.18	731.67	733.23	734.73
فرمولهای تجربی	Maximum	734.51	734.92	735.29	735.97	736.66	737.35
	Minimum	715.32	716.22	717.06	718.68	720.40	722.22
	Mean	722.83	723.54	724.26	725.40	726.62	727.95
Test Data	731.96	732.56	734.06	734.06	732.86	734.36	

بحث پایانی :

- 1- تقریب انرژی نیازمند شرایط مشابه سایت مرجع با سایت مورد مطالعه میباشد. در این مقاله سایت های مرجع FENGMAN, HVANREN با شرایط سرریز وفق داده شدند. و سایر تفاوتها بین مراجع و سایت های مطالعاتی در این مقاله دارای دبی های بسیار بالایی هستند بنابراین دقت هر اصطکاک از بین سرریز تولی بزرگتر از مقادیر واقعی همچنین هر پتانسیل موثر کمتر از هد شروع می باشد.
- بنابراین ضروری است که هد پتانسیل موثر به جای هد آب اولیه تطابق داده شود. برای حذف تاثیر تفاوت دبی ها.
- 2- بنا براین به نظر می رسد که جهت تعیین سایت مرجع و زمان ریزش و ضریب محدودیت انجام آزمایشات ضروری میباشد.
- 3- تاثیر nappe متقارن و هوادهی آبشستگی در این مقاله در نظر گرفته نشده است جهت تعیین A از روابط تجربی استفاده شده است. بنا براین نتایج تقریب انرژی از روابط تجربی اجتناب پذیر است.
- 4- با در نظر گرفتن تاثیر بالشتک ها روش ESI می تواند قابل قبول تر باشد. (1994)
- بنابراین درجه تاثیر بالشتک ها بروی جذب انرژی نیازمند تحقیقات تازه ای میباشد.

References

- [1] **Chen C. Summary of diversion and discharge works for huge discharge on high earth-rock dams. Collection of Discourses on Hydraulics and Hydrology, Water Resources and Electric Power Press, October, 1993.**
- [2] **Dong J, Huang J, Li Y. Research on estimation of scour by energy approach. Discharge Works and High Speed Flows , 1990 , 2.**
- [3] **Institute of Water Resources and Hydroelectric Research on Changjiang River, Revolution Committee of the Layout Bureau of Changjiang River Drainage Basin, Prototype Investigation Bulletin on Ski-jump Energy of Discharge Works with High Water Head, August, 1974.**
- [4] **Liu P. Selection of dissertations on energy dissipation and erosion control of discharge works. 2000,9**
- [5] **Hydroelectric Engineering College, Sichuan University, Report on Model Test of 1st spillway tunnel of Zipingpu Project. 2001,2**
- [6] **Hydraulic and Hydroelectric Survey and Design Institute of Sichuan Province, Preliminary Design Report on Zipingpu Project on Minjiang River of Sichuan Province, Chapter 3. Engineering Geology, 2000 , 8**
- [7] **Cui G, Pan P. Hydraulic engineering geology. Water Resources and Electric Power Press, 1985,12**
- [8] **Spurr KJW. Energy approach to estimating scour downstream of a large dam. Water Power and Dam Construction, 1985, 7**
- [9] **Li J, Ning L. Highspeed hydraulics. Northwestern Polytechnical Univ Press, 1994.**