

## طراحی ابعاد دهانه‌ی خروجی راه ماهی بر اساس عدم قطعیت آبخناسی و هیدرولیکی

مهدی نژادنادری<sup>۱\*</sup> و محمد جواد فدایی<sup>۲</sup> و رضا منتظمی وظیفه دوست<sup>۳</sup>

### چکیده

سدها و بندهای انحرافی موانعی برای جلوگیری از مهاجرت ماهیها در طول رودخانه به حساب می آیند. به منظور رفع این مشکل در طراحی سد، یک سازه‌ی هیدرولیکی تحت عنوان راه ماهی در کنار سد تعبیه می شود؛ بنابراین، مساله‌ی زیست محیطی طرح احداث بندهای انحرافی با احداث راه ماهی انعطاف پذیر حل می گردد. منظور از سازه‌ی راه ماهی انعطاف پذیر، راه ماهی با خروجی قابل تنظیم با نوسان سطح آب می باشد. خروجی راه ماهی عبارت است از یک سرریز با جریان آزاد که در کناره‌ی نهر و عمود بر آن تعبیه شده و اجازه می دهد تا در موقعی که ارتفاع آب بالاتر از تاج سرریز است، مقداری از آب از روی آن خارج شود. بر اثر نوسان سطح آب رودخانه، بدهی عبوری از سازه‌ی راه ماهی نیز تغییر یافته، و در نتیجه، عملکرد سازه‌ی راه ماهی دچار ضعف می گردد. در این مقاله به تحلیل عدم قطعیت نیمرخ سطح آب و ارتفاع تاج سرریز در دهانه‌ی خروجی سازه‌ی راه ماهی با استفاده از تحلیل خطرکردن با کاربرد MFOSM (mean first order second moment) پرداخته شده، سپس طراحی ابعاد بهینه‌ی دهانه‌ی خروجی سازه‌ی راه ماهی بر اساس آن تحقق می یابد.

**واژه‌های کلیدی:** خطرکردن، قابلیت اعتماد، راه ماهی انعطاف پذیر، عدم قطعیت آبخناسی، عدم قطعیت هیدرولیکی.

<sup>۱</sup> - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن، گروه مهندسی عمران، تنکابن، ایران  
<sup>۲</sup> - دانشیار گروه مهندسی عمران سازه دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران  
<sup>۳</sup> - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن، گروه مهندسی عمران، تنکابن، ایران  
<sup>\*</sup> - نویسنده مسوول مقاله: mehdi2930@yahoo.com

## مقدمه

راه‌ماهی سازه‌ای هیدرولیکی است که مهاجرت ماهی را به بالادست موانع طبیعی یا سدها فراهم می‌کند. اولین راه ماهی از نوع بازشدگی دنیل به وسیله‌ی جی دنیل تشریح (۱۹۰۹)، سپس تحقیقاتی روی اجرای واقعی تعدادی از انواع مختلف راه ماهیها انجام شد (مک لود و نمی، ۱۹۳۹ و ۱۹۴۰). این مطالعات طرح یک راه ماهی به نام تندراه<sup>۱</sup> نتیجه شد که به خوبی در ابعاد اصلی مطالعه گردیده بود (زیمبر، ۱۹۶۲). اطلاعات مورد نیاز برای طراحی راه‌ماهی عبارتند از: ۱- اطلاعات زیست-شناسی، ۲- اطلاعات هیدرولیکی رودخانه. آب نماهای رود در محل احداث سد مربوط به زمان مهاجرت ماهی که، در تعیین محدوده بده‌های جریان ضروری می‌باشند. رسم منحنیهای بده-مقیاس در سراب و پایاب ضروری است. سپس طبقات راه‌ماهی و ارتفاع دیواره‌های کناری به دست می‌آیند. بنابراین، مساله‌ی زیست محیطی طرح احداث بندهای انحرافی با احداث راه ماهی انعطاف پذیر حل می‌گردد. منظور از سازه‌ی راه‌ماهی انعطاف‌پذیر، راه ماهی با خروجی قابل تنظیم با نوسان سطح آب می‌باشد. خروجی راه ماهی عبارت است از یک سرریز با جریان آزاد که در کنار نهر و عمود بر آن تعبیه شده و اجازه می‌دهد تا در موقعی که ارتفاع آب بالاتر از تاج سرریز است، مقداری از آب از روی آن خارج شود. شکل ۱ نمایی را از راه‌ماهی در کنار سد انحرافی نشان می‌دهد. بده‌ی روی سرریز و در واحد طول آن مساوی است با:

$$-\frac{dQ}{dx} = \frac{2}{3} C_M \sqrt{2g} (y - W)^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

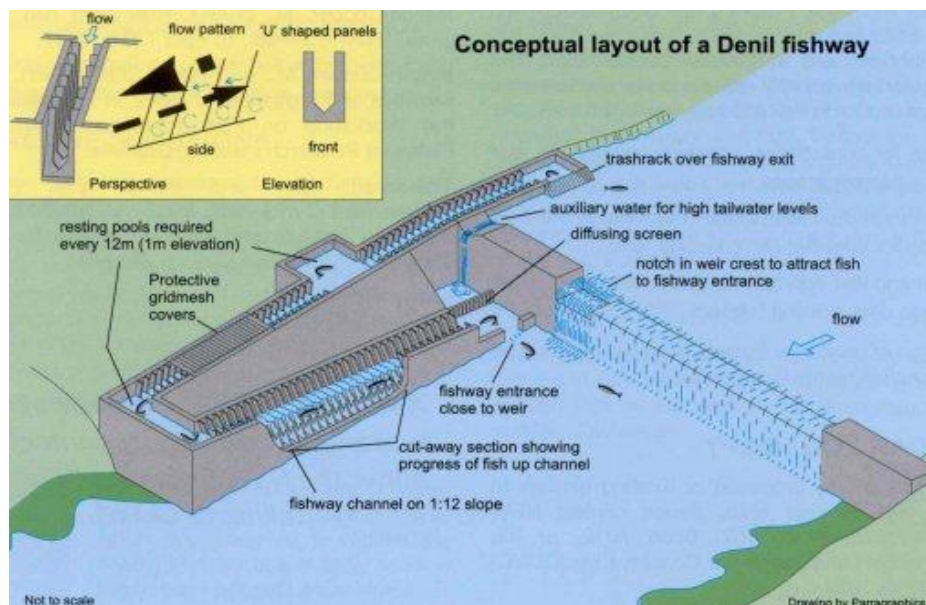
$$C_M = (0.81 - 0.6Fr_1)(0.8 + 0.1 \frac{y_1 - W}{L}) \quad (2)$$

که در رابطه‌های بالا  $W$  فاصله‌ی تاج سرریز از کف نهر اصلی و  $y_1$  ارتفاع آب در نهر اصلی پیش از رسیدن به سرریز است.  $Fr_1$  عدد فرود جریان در قبل از رسیدن به سرریز جانبی و  $L$  طول سرریز جانبی است. در طراحی سرریز جانبی در خروجی راه ماهی لازم است که مقدار  $-\frac{dQ}{dx}$  در طول سرریز ثابت باشد؛ در نتیجه، عدم

قطعیت آشناسی جریان،  $y_1$  و  $Fr_1$  متغیر بوده، و پیامد آن  $W$  نیز متغیر می‌گردد. برای تعیین عدم قطعیت آشناسی جریان، آمارهای بده‌ی رود در ایستگاههای بالادست سرریز جانبی در ماههای مختلف از سال مورد نیازند، تا بر اساس آنها عدم قطعیت ارتفاع آب، و در نتیجه،  $W$  تعیین گردد (حسینی و ابریشمی، ۱۳۸۳).

برای تعیین نیمرخ سطح آب، مجموعه‌ای از اطلاعات هیدرولیکی و آشناسی، به عنوان فراسنجهای ورودی شبیه، و نیز به یک شبیه برای انجام محاسبات موردنیاز است. از آن جا که فراسنجهای ورودی، و همچنین ساختار شبیه‌های مورد استفاده، هریک به نوبه خود، دارای عدم قطعیت‌هایی می‌باشند، در نتیجه، خروجی شبیه را نمی‌توان به عنوان یک فراسنج قطعی در نظر گرفت. در واقع، به جای یک مقدار قطعی، بهتر است با تعریف نیمرخ سطح آب به عنوان یک متغیر تصادفی، آن را با استفاده از روشهای احتمالاتی مشخص کرد. برای توصیف مقدار عدم قطعیت یک فراسنج تصادفی از مشخصه‌های مختلفی استفاده می‌شود، که عبارتند از: تابع توزیع احتمالی (pdf) که کاملترین و اندیشه‌آل‌ترین نحوه‌ی توصیف عدم قطعیت یک متغیر محسوب می‌شود، بازه‌ی اطمینان متغیر برای احتمال مشخص و ضریب تغییرات که برابر با نسبت انحراف معیار استاندارد به مقدار میانگین می‌باشد (تانگ و مایز، ۱۹۸۰).

<sup>1</sup> - Steeppass



شکل ۱- نمایی از سازه‌ی راه ماهی در کنار یک بند انحرافی

(Industry and investment. Primary industries fishing and aquaculture. Available from: <http://www.dip.nsw.gov.au/fisheries/habit/rehabilitating/fishways.htm>.)

اگر توزیع پیشامد  $T$  ساله معلوم باشد، آن گاه حدود اطمینان را می‌توان برای آن به دست آورد؛ بنابراین، حدود بازه‌ی اطمینان به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$X_t \pm t.SD_t \quad (3)$$

که در آن  $t$  انحراف بهنجار معیار متناظر با سطح اطمینان مفروض است.

### عدم قطعیت‌های هیدرولیکی

معمولاً برای تعیین ظرفیت هیدرولیکی از رابطه‌ی مانینگ استفاده می‌شود که شامل فراسنجهای غیرقطعی ضریب مانینگ و خصوصیات هندسی رودخانه می‌باشند. در صورتی که داده‌های تراز سطح آب و بدهی جریان موجود باشد، مقدار ضریب مانینگ، به کمک واسنجی شبیه‌تدقیق می‌شود؛ در غیر این صورت، مقدار آن با استفاده از روابط تجربی، جدولها، مقایسه عکسها و تجربه‌ی افراد صاحب نظر برآورد می‌شود. به هر حال، مقدار برآورد شده ضریب مانینگ، غیرقطعی است. تحقیقات نشان داده‌اند که عدم قطعیت ضریب مانینگ تأثیر زیادی بر عدم قطعیت ظرفیت هیدرولیکی رودخانه داشته، و در نظر گرفتن تأثیر آن، از اهمیت خاصی

### مواد و روشها

#### تحلیل عدم قطعیت نیمرخ سطح آب در رودخانه‌ها

منابع ایجاد عدم قطعیت در محاسبات مربوط به نیمرخ سطح آب، بسیار پرشمار و متنوعند. در این مقاله، به دو منبع ایجاد عدم قطعیت یعنی عدم قطعیت بدهی طراحی، و نیز عدم قطعیت ظرفیت رودخانه پرداخته شده است. عدم قطعیت بدهی طراحی همان عدم قطعیت‌های آشناسی، و عدم قطعیت ظرفیت رودخانه نیز عدم قطعیت‌های هیدرولیکی می‌باشد.

#### عدم قطعیت‌های آشناسی (سیل طرح)

یکی از مسائلی که اغلب در هیدرولوژی با آن روبرویم، برآورد سیلاب یا خشکسالیها با استفاده از نمونه‌های کوچکی از مشاهدات جریان رودخانه است. با استفاده از روشهای تحلیل آماری-احتمالی، مقدار متغیر آشناسی با دوره‌ی بازگشت مورد نظر برآورد می‌شود. معیار عدم قطعیت اندازه‌های یک پیشامد، خطای استاندارد برآورد است. در واقع، مقداری که برای پیشامد  $(X_T)$  ساله برآورد می‌شود، مقداری دقیق و قطعی نبوده، و خود میانگین یک توزیع است که عمدتاً بهنجار در نظر گرفته می‌شود و در واقع،  $SD_t$  انحراف معیار این توزیع است.

### تحلیل عدم قطعیت رابطه‌ی مانینگ با کاربرد گشتاور دوم مرتبه‌ی اول حول میانگین (MFOSM)

در این روش عدم قطعیت خروجی یک شبیه ریاضی برحسب خصوصیات آماری فراسنجهای غیرقطعی شبیه، برآورد می‌شود و اندیشه‌ی اصلی آن، تقریب زدن شبیه-که شامل فراسنجهای تصادفی و غیرقطعی است- به کمک بسط گروه تیلور می‌باشد. تحلیل عدم قطعیت رابطه‌ی مانینگ به دفعات به وسیله‌ی محققان مختلف انجام گرفته است. با توجه به متفاوت بودن مقادیر ضریب مانینگ در کانال اصلی و سیلاب دشتهای، مقطع عرضی رودخانه‌ها معمولاً" به صورت مقطع مرکب در نظر گرفته می‌شود؛ به همین خاطر، رابطه‌ی مانینگ در رودخانه‌ها به صورت زیر می‌باشد:

$$Q = [\sum_{i=1}^3 k_i] S_f^{1/2} \quad (7)$$

که  $S_f$  شیب خط کارمایه و  $k_i$  عامل انتقال می‌باشد. مقدار  $k_i$  نیز به این صورت تعریف می‌شود:

$$k_i = \frac{A_i^{5/3}}{n_i P_i^{2/3}} \quad (8)$$

که در آن  $A_i$  مساحت سطح مقطع جریان،  $P_i$  محیط خیس شده و  $n_i$  ضریب مانینگ می‌باشد. با توجه به رابطه ظرفیت هیدرولیکی مقطع رودخانه داریم:

$$Q = f(A_i, P_i, n_i, S_f) \quad (9)$$

با استفاده از تحلیل عدم قطعیت با کاربرد MFOSM و پس از ساده کردنهای مورد نیاز مقدار واریانس از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\Omega_Q^2 = \frac{1}{4} \Omega_{S_f}^2 + \sum_{i=1}^3 \left(\frac{k_i}{k_i}\right)^2 \left[\frac{25}{9} \Omega_{A_i}^2 + \Omega_{n_i}^2 + \frac{4}{9} \Omega_{P_i}^2\right] \quad (10)$$

$k_i$  عامل انتقال کل مقطع سیلابی (مجموع سواحل چپ و راست و نهر اصلی) می‌باشد. به کمک رابطه‌ی فوق، با معلوم بودن کلیه اجزای رابطه، مقدار ضریب تغییرات ظرفیت و در واقع، مقدار عدم قطعیت آن، قابل محاسبه می‌باشد. رابطه‌ی فوق درحقیقت ارتباط بین عدم قطعیت

برخوردار است. در مطالعه‌ای که به وسیله‌ی HEC انجام گرفت، (هک، ۱۹۸۶). تحقیقات دامنه داری برای تعیین  $\Omega$  و عدم قطعیت آن انجام شد که در این مقاله از نتایج آن استفاده شده است. رابطه‌ای که در این مطالعه به منظور تعیین انحراف معیار  $\Omega$  یعنی  $SD_n$  به دست آمد عبارت بود از:

$$SD_n = n \sqrt{e^{(0.582+0.1 \ln(n))^2} - 1} \quad (4)$$

خصوصیات هندسی مورد استفاده برای محاسبه‌ی ظرفیت هیدرولیکی در یک مقطع، شامل  $A$  (سطح مقطع جریان) و  $P$  (محیط خیس شده) با روشهای مختلفی تعیین می‌شوند. در واقع، عدم قطعیت‌های مربوط به فراسنجهای  $A$  و  $P$  ناشی از خطاهای نقشه برداری بوده، و به میزان دقت روشها و تجهیزات به کاررفته برای تعیین آنها بستگی دارد. به منظور تعیین عدم قطعیت‌های این دو فراسنج، روش به کار گرفته شده به وسیله‌ی اویجما و مکبین (۱۹۸۷) راهی مناسب و کاربردی می‌باشد. از آن-جا که مقادیر  $A$  و  $P$  بستگی به اندازه گیریهای در دو امتداد عمقی و عرضی  $Y$  و  $Z$  دارند، میزان عدم قطعیت آنها بر حسب عدم قطعیت اندازه‌ها در این دو امتداد بیان می‌گردد:

$$\Omega_p = f(z), A = f(y, z) \Rightarrow \Omega_A = \sqrt{\Omega_y^2 + \Omega_z^2} \quad (5)$$

عدم قطعیت  $S_f$  (شیب خط کارمایه) را می‌توان بر اساس عدم قطعیت اندازه‌ها در امتدادهای طولی و عمقی  $X$  و  $Y$  بیان کرد و نوشت:

$$S_f = f(y, x) \Rightarrow \Omega_{S_f} = \sqrt{\Omega_y^2 + \Omega_x^2} \quad (6)$$

مقادیر  $\Omega_z$  و  $\Omega_x$  و  $\Omega_y$  (ضریب تغییرات) به روش نقشه برداری و دقت تجهیزات و نقشه بردار و بسیاری موارد دیگر بستگی دارد.

توزیعهای بهنجار و لوگ بهنجار برای مقاومت در نظر گرفته شده‌اند. هدف از تحلیل قابلیت اعتماد، تعیین مقادیر  $Q_l$  و  $Q_u$  حدود بازه‌ی اطمینان بدهی برای قابلیت اعتماد مورد نظر به دست می‌آید. با استفاده از مقادیر تعیین شده و به کمک شبیه هیدرولیکی HEC-RAS می‌توان تراز سطح آب را متناظر با این بدها تعیین کرد؛ بدین ترتیب بازه‌ی اطمینان برای نیمرخ سطح آب به دست خواهد آمد.

### مطالعه‌ی موردی

رود سیستان از شاخه‌های رود هیرمند است که در بند کهک، ۳۶ کیلومتری جنوب شرقی زابل به خاک ایران رسیده و از این نقطه به دوشاخه‌ی سیستان و پریان مشترک تقسیم می‌شود. بعد از آن، شاخه‌ی رود سیستان وارد خاک ایران شده و پس از طی مسافتی حدود ۷۰ کیلومتر به هامون هیرمند می‌ریزد (دفتر مطالعات آب و محیط زیست شریف، ۱۳۸۰). هدف این مطالعه، در ابتدا تعیین بدهی متناظر با قابلیت اعتمادهای مختلف و در نهایت تعیین تراز سطح آب براساس مقادیر بدهی حاصله می‌باشد که در این محاسبات، عدم قطعیت فراسنجهای آبشناسی و هیدرولیکی و عدم قطعیت شبیه‌های بارگذاری و مقاومت سامانه در نظر گرفته شده‌اند. برای ترکیب حالات مختلف بارگذاری و مقاومت و همچنین در حالت در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های آبشناسی در نظر گرفته شوند، بازه‌ی اطمینان تراز سطح آب با استفاده از مقادیر حد بالا و پایین بدهی و به کمک شبیه هیدرولیکی HEC-RAS تعیین گردیده و نتایج در جدول ۱ ارائه شده‌اند. مقادیر تراز سطح آب در حالتی که تنها عدم قطعیت‌های آبشناسی در نظر گرفته شوند. همچنین تراز سطح آب برای بدهی میانگین در هر حالت تعیین شده است. جدول ۱ حداکثر تراز سطح آب به دست آمده برای انواع توزیع بارگذاری را نشان می‌دهد.

فراسنجهای ورودی و عدم قطعیت خروجی (ظرفیت هیدرولیکی مقطع) را مشخص می‌سازد (اویجما و مکبین، ۱۹۸۷).

### تحلیل قابلیت اعتماد در سامانه‌ی مهار کردن دهانه-ی خروجی سازه راه ماهی

قابلیت اعتماد یک سامانه عبارت است از احتمال آن که مقاومت بیشتر از بارگذاری باشد، و برعکس خطر کردن عبارت است از احتمال این که بارگذاری از مقدار مقاومت تجاوز کند. در سامانه‌های مهار کردن سیل، منظور از بارگذاری، بدهی سیل با دوره‌ی بازگشت طرح و منظور از مقاومت، ظرفیت هیدرولیکی سامانه برای عبور جریان است. از آن جا که بار و مقاومت متغیرهای تصادفی محسوب می‌شوند، تعیین توزیعهای احتمالی آنها برای انجام تحلیل قابلیت اعتماد، لازم است. قابلیت اعتماد یا  $p_s$ ، احتمال ایمن بودن یا عدم خرابی بوده و با رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود:

$$p_s = p(L \leq R) \quad (11)$$

که در آن  $R$  مقاومت و  $L$  بارگذاری است. برای تعیین قابلیت اعتماد یک سامانه، روشهای مختلفی وجود دارند (مایز، ۱۹۹۹). در این مقاله از روش انتگرال گیری مستقیم استفاده گردیده است. برای رسیدن به یک روش مناسب برای در نظر گرفتن توأم عدم قطعیت‌های بار و مقاومت مطابق روابط زیر عمل می‌کنیم:

$$\frac{\alpha}{2} = \int_{0l=Q_l}^{\infty} \int_{0l}^{\infty} f_{R,L}(r,l) dr dl, \quad (12)$$

$$1 - \frac{\alpha}{2} = \int_{0l=Q_u}^{\infty} \int_{0l}^{\infty} f_{R,L}(r,l) dr dl$$

$$f_{R,L}(r,l) = f_L(l) \cdot f_R(r) \quad (13)$$

$f_L$  و  $f_R$  توزیعهای احتمال مربوط به بارگذاری و مقاومت بوده و به صورت توزیع بهنجار برای بارگذاری و

جدول ۱- حدود بازه‌ی اطمینان مربوط به تراز سطح آب در حالات مختلف

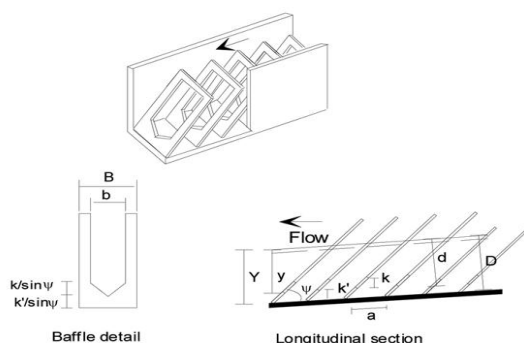
| Load Dist.      | Resistance Dist. |                |            |           |
|-----------------|------------------|----------------|------------|-----------|
|                 | Mean             | Only Hydrology | Log-Normal | Normal    |
|                 | WS.El.(m)        | WS.El.(m)      | WS.El.(m)  | WS.El.(m) |
| Gumbel          | Upper Limit      | ۴۹۵/۲۵         | ۴۹۶/۱۰     | ۴۹۶/۳۰    |
|                 | Lower Limit      | ۴۹۴/۴۸         | ۴۹۳/۶۸     | ۴۹۳/۴۲    |
| Log-Normal      | Upper Limit      | ۴۹۶/۸۴         | ۴۹۸/۵۵     | ۴۹۷/۸۴    |
|                 | Lower Limit      | ۴۹۴/۹۸         | ۴۹۳/۱۳     | ۴۹۲/۹۹    |
| Log-Pearson III | Upper Limit      | ۴۹۶/۴۳         | ۴۹۷/۸۰     | ۴۹۷/۴۱    |
|                 | Lower Limit      | ۴۹۴/۳۹         | ۴۹۲/۲۱     | ۴۹۲/۱۶    |

جریان در نمونه‌ی فیزیکی و  $Q_p$  بده جریان در پیش نمونه می‌باشند. با توجه به تحلیل ابعادی و فرض مقیاس ۱ به ۵،  $d/b=1$  و شیب ۲۰ درصد نهر و  $b$  برابر با ۱۲/۸ سانتی متر، از رابطه‌ی (۱۵) مقدار بده‌ی شبیه ۷/۷۱۷ لیتر بر ثانیه، و طبق رابطه‌ی ۴۳۱/۴۴ لیتر بر ثانیه در پیش نمونه می‌باشد.

$$Q_* = 0.94 \left(\frac{d}{b}\right)^2, Q_* = \frac{Q_m}{\sqrt{g s_0} b^{2.5}} \quad (14)$$

$$\frac{Q_P}{Q_m} = \lambda^{2.5}, \lambda = \frac{L_P}{L_m} \quad (15)$$

همان طور که ملاحظه می‌شود، بیشترین تراز سطح آب مربوط به توزیع بارگذاری لوگ بهنجار و توزیع مقاومت آن می‌باشد. در صورت استفاده توزیع بارگذاری گامبل، توزیع مقاومت بهنجار بیشترین تراز را به دست داده، و برای دو توزیع بارگذاری دیگر توزیع مقاومت لوگ بهنجار بیشترین تراز را تعیین می‌کند که مطمئنترین طرح، با استفاده از بالاترین تراز سطح آب به دست آمده انجام خواهد شد. کاتوپودس و راجاراتنام (۱۹۸۳) برای بده‌ی عبوری از راه‌ماهی دنیل رابطه‌ی ۱۴ را پیشنهاد کردند که فراسنجهای آن در شکل ۲ مشخصند.  $B$  عرض کانال راه ماهی،  $b$  عرض جریان در بالای قاب دنیل،  $a$ : فاصله‌ی میان قابها،  $d$ : فاصله‌ی عمودی از نوک قاب دنیل تا سطح آب،  $D$ : فاصله‌ی عمودی کف نهر تا سطح آب،  $Q_m$  بده‌ی



شکل ۲- نمایی طرح واژه ای راه ماهی دنیل که از یک نهر مستطیلی شیبدار به همراه قابهایی درون آن تشکیل شده است (کاتوپودس (Katopodis(1981).

جدول ۲- عدم قطعیت عمق آب بازاء قابلیت‌های اعتماد مختلف

| ضریب تغییرات عمق آب | قابلیت اعتماد برحسب درصد |
|---------------------|--------------------------|
| ۰/۱۰۸               | ۹۵                       |
| ۰/۰۹۴               | ۹۰                       |
| ۰/۰۸۴               | ۸۵                       |
| ۰/۰۷۸               | ۸۰                       |
| ۰/۰۷۴               | ۷۵                       |
| ۰/۰۶۶               | ۷۰                       |

جدول ۳- انحراف از معیار ارتفاع تاج سرریز دهانه‌ی خروجی راه ماهی بر حسب متر بازاء قابلیت اعتمادهای مختلف

| انحراف از معیار ارتفاع تاج سرریز ( $\delta_W$ ) بر حسب متر | قابلیت اعتماد برحسب درصد |
|--|--------------------------|
| ۱/۱۰۶  | ۹۵                       |
| ۰/۹۶۰  | ۹۰                       |
| ۰/۸۵۸  | ۸۵                       |
| ۰/۷۹۷  | ۸۰                       |
| ۰/۷۵۶  | ۷۵                       |
| ۰/۶۷۴  | ۷۰                       |

### نتیجه گیری

سدها و بندهای انحرافی موانعی برای جلوگیری از مهاجرت ماهیها در طول رودخانه به حساب می آیند. به منظور رفع این مشکل در طراحی سد، یک سازه‌ی هیدرولیکی تحت عنوان راه‌ماهی در کنار آنها تعبیه می شود. بر اثر نوسان سطح آب رودخانه بدهی عبوری از سازه‌ی راه‌ماهی نیز تغییر می کند؛ در نتیجه، عملکرد سازه راه ماهی دچار ضعف می گردد. برای رفع این مشکل، با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های هیدرولیکی و آشناسی به صورت همزمان عدم قطعیت نیمرخ سطح آب مشخص گردید تا با استفاده از آن عدم قطعیت ارتفاع تاج سرریز در دهانه‌ی خروجی راه‌ماهی معین شود. بدین ترتیب، دریچه‌ای کشویی جهت تنظیم ارتفاع آب روی سرریز در فصول مختلف سال با توجه به تغییرات نیمرخ سطح آب تعبیه می گردد. در مطالعه‌ی موردی، با در نظر داشتن مشخصات رودخانه‌ی سیستان، مشخص شد که برای قابلیت اعتماد ۹۵ درصد، میزان انحراف از معیار

با توجه به میزان B برابر با یک متر، که همان L عرض سرریز است، و  $\frac{dQ}{dx}$  برابر با  $431/44$  لیتر بر ثانیه و ثابت بودن آن، و فرض سرعت متوسط حداکثر مجاز جریان در خروجی راه‌ماهی برابر با  $2/5$  متر بر ثانیه، میزان  $y-W$  از رابطه‌ی پیوستگی جریان  $0/172$  متر به دست می‌آید. حال با توجه به این که عدم قطعیت ارتفاع سرریز در دهانه‌ی خروجی راه‌ماهی به عدم قطعیت نیمرخ سطح آب رود بستگی دارد، به محاسبه‌ی آن بازاء قابلیت اعتمادهای مختلف پرداخته می‌شود.

$$\delta_y^2 = \frac{dy}{dW} \delta_W^2 \quad (16)$$

$$\frac{dy}{dW} = 1 + \left(-\frac{dQ}{dx}\right)^{2/3} \times \left(\frac{2}{3}\right)^{-2/3} \times \frac{-2}{3} \times (\sqrt{2g})^{-2/3} \times C_M \times C_M^{-5/3} \times \frac{dC_M}{dW} \quad (17)$$

$$\frac{dC_M}{dW} = \frac{-0.1}{L} \times (0.81 - 0.61Fr_1) \quad (18)$$

با استفاده از نتایج مربوط به قابلیت اعتماد ۹۵ درصد و برای شش حالت مختلف ترکیب شبیه بارگذاری و مقاومت، تراز سطح آب، و براساس آن عمق آب تعیین گردیده است. میانگین عمق آب و انحراف از معیار عمق آب مربوط به این شش داده به صورت زیر محاسبه شده اند:

$$\bar{y} = 8.82m, SD_y = 0.955m$$

همچنین جدول ۲ ضریب تغییرات، یا مقادیر عدم قطعیت عمق آب را بازاء قابلیت اعتمادهای مختلف نشان می‌دهد. با قرار دادن مقادیر معلوم  $y-W$  و  $Fr_1$  برابر با  $0/9$  و L طول سرریز یک متر در روابط ۱۷ تا ۱۸ و مقدار  $\frac{dy}{dW} = 0.8629$  به دست می‌آید که با جایگذاری  $\delta_y$  برای قابلیت‌های اعتماد مختلف در رابطه‌ی ۱۶ مقادیر  $\delta_W$  برای قابلیت‌های اعتماد مختلف به دست خواهد آمد که نتایج در جدول ۳ نشان داده شده اند.

- water surface profiles". Research Document 26. U.S. Army Corps of Engineers, Davis. CA.
10. Oegema, B.W., and E.A. McBean. 1987. Uncertainties in flood plain mapping. Application of frequency and risk in water resources, V.P. Singh. (ed). D. Reidel Publishing Co., Dordrecht, The Netherlands. p 293-303.
  11. Mays, L.W. 1999. Hydraulic design handbook. McGraw-Hill, 1999.
  12. Kapopodis, C., and N. Rajaratnam, 1983. Hydraulics of Denil fishway. J. Hydraul Eng. ASCE, 113:670-674
  13. Katopodis, C. 1981. Consideration in the design of fishways for freshwater species. Proc., 5<sup>th</sup> Can. Hydrotech. Conf., Can Soc Civil Eng. P. 857-887.
- ارتفاع تاج سرریز ۱/۱۰۶ متر می‌باشد که در طراحی دریاچه کشویی باید لحاظ گردد.
- ### منابع
۱. حسینی، م. و ج.، ابریشمی. ۱۳۸۳. "هیدرولیک نهرهای باز،" انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، مشهد.
  ۲. دفتر مطالعات آب و محیط زیست شریف (EWRC)، ۱۳۸۰، طرح هیدرودینامیک رودخانه سیستان، "گزارش فنی.
  ۳. کایت، ج. دبلیو. ۱۳۶۹ "تحلیل فراوانی وقایع و خطرکردن در هیدرولوژی". ترجمه: دکتر ابوالقاسم بزرگ نیا، دکتر امین علیزاده، دکتر محمود نقیب زاده، مهندس حمید خیابانی، انتشارات آستان قدس رضوی.
  4. Denil, G. 1909. Les eachelles a poisons et leur application aux barrages de Meuse et d' Ourthe, Annales des Travaux Publics de Belgique.
  5. McLeod, A. M., and P. Nemenyi, 1939-1940. An investigation Fishways, Univ of Iowa, Stud. Eng. Bull. No. 24. 63 p.
  6. Zeimer, G. L. 1962. Steeppass fishway development. Alaska Dept. Fish and Game Inf. Leaflet. No. 12. 27 pp.
  7. Industry and investment. Primary industries fishing and aquaculture. Available from: <http://www.dip.nsw.gov.au/fisheries/habit/rehabilitating/fishways.htm>.
  8. Tung, Y.K., and L.W. Mays. 1980. "Risk analysis for hydraulic design." J Hydraul Eng., ASCE, 106: 893-913.
  9. Hydrologic Engineering Center (HEC), 1986 "Accuracy of computed