بهینه‌سازی سیستم صفحات مستغرق جهت کنترل رسوب در دهانه‌های آبگیر رودخانه‌ها[1]

جمال احمد آلی و محمدجواد خانجانی[2]

تاریخ دریافت مقاله: ۸۴/۱/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۴/۹/۲۷

چکیده

کنترل رسوب ورودی به آبگیر از رودخانه‌های آبرفتی از مشکل‌ترین کارهایی است که مهندسان هیدرولیک با آن مواجه هستند. یکی از راه‌های کنترل رسوب در دهانهٔ آبگیرها، به‌کاربردن صفحات مستغرق است. با کارگذاری صفحات مستغرق تحت آرایش و ابعاد مشخص جلو دهانهٔ آبگیر، مقطع عرضی بستر جلو آبگیر تغییر می‌کند و عمق جریان افزایش می‌یابد. در نتیجه، از ورود رسوبات بار بستر و بار معلق به مقدار قابل توجهی کاسته می‌شود. در این مطالعه، تئوری اثر صفحات مستغرق در کنترل رسوب در دهانهٔ آبگیرها بررسی شده است و با توجه به این تئوری، آرایش و ابعاد سیستم صفحات مستغرق جلو دهانهٔ آبگیر بهینه شده است. هدف از بهینه‌سازی، به دست آوردن آرایش و ابعادی از سیستم صفحات مستغرق است که عمق جریان جلو دهانهٔ آبگیر ماکزیمم شود تا بهترین نتیجه از به کار بردن صفحات مستغرق به دست آید. برای بهینه‌سازی، از روش جهات امکان‌پذیر استفاده شده است. در این روش، فاصلهٔ طولی بین ردیف صفحات، زاویهٔ تلاقی جریان با صفحات، فاصلهٔ عرضی بین صفحات، ارتفاع صفحات، و نسبت ارتفاع صفحات به طول صفحات به عنوان متغیر در نظر گرفته شده و نتیجهٔ حاصل با محاسبات اُدگارد و وانگ مقایسه شده است، که این جواب در مقایسه با محاسبات اُدگارد و وانگ نتیجهٔ بهتری را نشان می‌دهد. نتایج حاصل بیانگر این واقعیت است که برای جلوگیری از ورود رسوبات به داخل هر دهانهٔ آبگیر با مشخص بودن پارامترهای جریان و رسوب رودخانه، ابتدا آرایش و ابعاد سیستم صفحات مستغرق جلو دهانهٔ آبگیر بهینه شود و سپس پارامترهای بهینه شده، جهت طراحی سیستم صفحات مستغرق به کار رود تا بهترین نتیجه، که همان ماکزیمم کردن عمق جریان جلو دهانهٔ آبگیر است، به دست آید.

واژه‌های کلیدی

بهینه‌سازی، دهانهٔ آبگیر، رسوب، روش جهات امکان‌پذیر، صفحات مستغرق

۱- برگرفته از پایان نامهٔ کارشناسی ارشد تأسیسات آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- به ترتیب عضو هیئت علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، آذربایجان غربی، میاندوآب، ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، ص. پ. ۱۱۷، تلفن: ۲۲۲٤۷٤۷-۰٤۸۱، پیام نگار: jamal_ahmadauli@yahoo.com و استاد گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

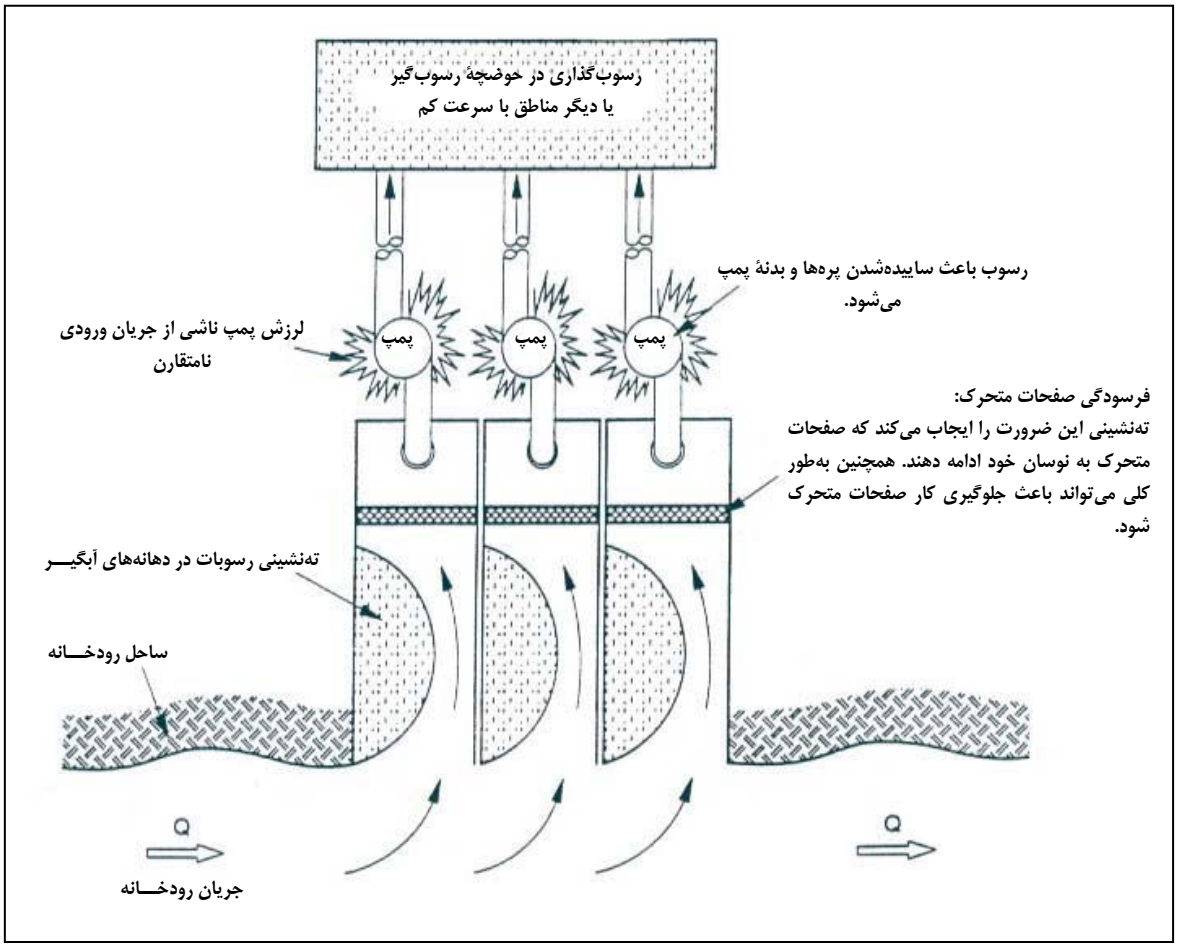
مقدمه

انتقال رسوب باعث ایجاد مشکلات زیادی در مهندسی رودخانه می‌شود. بسیاری از این مسائل در ارتباط با موازنهٔ دقیق بین تأمین رسوب و ظرفیت انتقال رسوب رودخانه است. تغییرات جزئی (طبیعی یا ساختهٔ دست بشر) در تأمین رسوب یا ظرفیت انتقال رسوب رودخانه می‌تواند باعث تغییرات بزرگ‌تر در شکل سطح مقطع طولی و عرضی رودخانه شود. افزایش تأمین رسوب یا کاهش ظرفیت انتقال رسوب رودخانه معمولاً منجر به بالا آمدن بستر رودخانه می‌شود، در حالی که کاهش تأمین رسوب یا افزایش ظرفیت انتقال رسوب معمولاً سبب فرورفتگی بستر رودخانه می‌شود. در هر دو حالت، پایداری مسیر رودخانه تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Odgaard & Spolyaric, 1983).

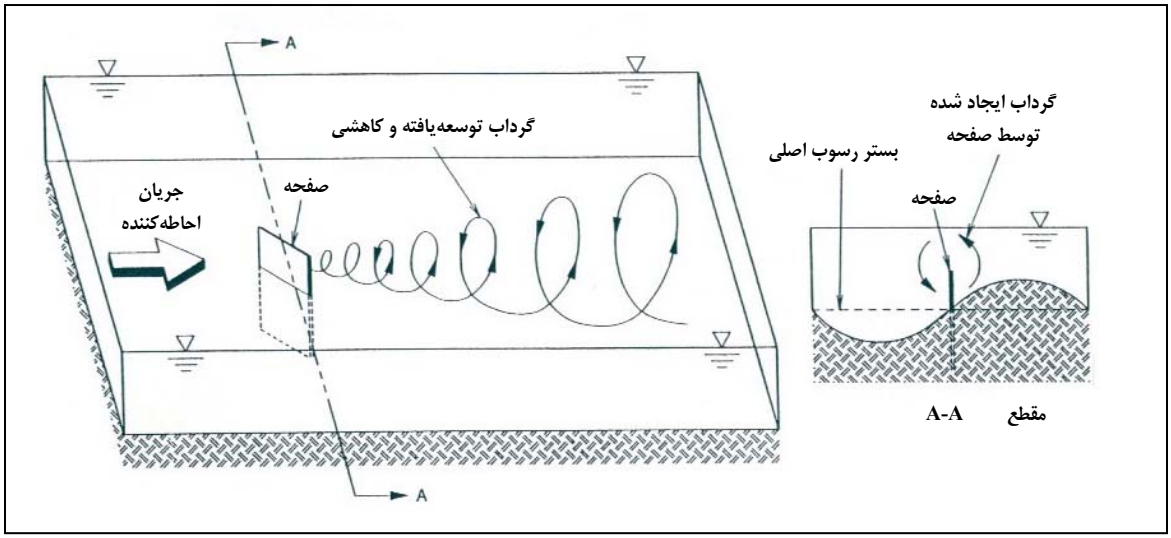
مشکلات ناشی از رسوب غالباً در دهانهٔ آبگیرها اتفاق می‌افتد. برداشت آب از رودخانه سبب کاهش ظرفیت انتقال رسوب رودخانه در نزدیک آبگیر می‌شود، در نتیجه رسوبات در اطراف آبگیر جمع می‌شوند و قسمتی از ورودی آبگیر را مسدود می‌کنند. این مسئله باعث کاهش ظرفیت برداشت آب و ایجاد خسارت به پمپ‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ می‌شود. مشکلات ناشی از ورود رسوبات به یک دهانهٔ آبگیر در شکل شمارهٔ ۱ نشان داده شده است (Barkdoll, 1997).

یکی از راه‌های کنترل رسوب در دهانهٔ آبگیرها به کار بردن صفحات مستغرق[1] است. صفحات مستغرق اساساً برای حفاظت ساحل رودخانه‌ها، عمیق کردن کانال‌ها و برداشت رسوب از دهانهٔ آبگیرها به کار می‌روند. این صفحات در تغییر توزیع سرعت و عمق جریان مؤثرند و نقش آنها ایجاد چرخش ثانویه[2] در جریان است. ترکیب چرخش ناشی از کاربرد صفحات و سرعت در جهت جریان سبب ایجاد حرکتی مارپیچی[3] در جریان پایین دست صفحات می‌شود. این حرکت مارپیچی، یک تنش برشی عرضی به بستر رودخانه القا می‌کند که به انتقال رسوب در جهت عرضی می‌انجامد. وقتی صفحه‌ای مستغرق روی بستر رودخانه در زاویه‌ای کوچک با جریان نصب شود، رسوبات از قسمت مکشی صفحه برداشته و در قسمت فشاری صفحه ته‌نشین می‌شود. اثر یک صفحهٔ مستغرق بر جریان و توپوگرافی بستر رودخانه در شکل شمارهٔ ۲ نشان داده شده است. با نصب ردیف صفحات روی بستر رودخانه می‌توان رسوبات را روی سطح بزرگ‌تری جابه‌جا کرد (Odgaard & Wang, 1991 a,b).

1- Submerged Vanes
2- Secondary Circulation
3- Helical Motion



شکل شمارهٔ ۱- مشکلات ناشی از ورود رسوب به داخل دهانهٔ آبگیر (Barkdoll, 1997)



شکل شمارهٔ ۲- شیار آب شستگی ایجاد شده بر اثر صفحهٔ مستغرق جلو دهانهٔ آبگیر (Barkdoll, 1997)

از مزایای روش صفحات مستغرق این است که قابلیت تأثیر صفحات را بر جریان و توپوگرافی بستر رودخانه می‌توان پیش‌بینی کرد. ضمن اینکه هزینهٔ این روش به طور مطلوبی با روش‌های سنتی رقابت می‌کند (Odgaard & Wang, 1992). اُدگارد (Odgaard, 1983) برای اولین بار به‌کاربری صفحات مستغرق به صورت امروزی را در انستیتو تحقیقات هیدرولیک آیوا[1] (IIHR) برای حفاظت ساحل پیچ رودخانه‌ها پیشنهاد کرد. همچنین کنترل رسوب در دهانه‌های آبگیرها با استفاده از صفحات مستغرق را نیز برای اولین بار ناکاتو (Nakato, 1984) با یک مدل آزمایشگاهی انجام داد.

در زیر مطالعات انجام شده روی صفحات مستغرق برای کنترل رسوب در دهانهٔ آبگیرها با توجه به زمان مطالعات تشریح می‌شود:

ناکاتو (Nakato, 1984) برای کنترل تجمع رسوب در آبگیر ایستگاه پمپاژ واحد ۳ نیروگاه کانسیل بلافس[2]، روی رودخانهٔ میسوری[3]، یک مدل آزمایشگاهی صفحات مستغرق را تست کرد. اُدگارد و اسپولجاریک (Odgaard & Spoljaric, 1986) اثر صفحات مستغرق را بر جریان و توپوگرافی بستر در یک کانال مستقیم بررسی کردند. نتایج حاصل از کار آنها، به دست آوردن معادلات تغییرات عمق جریان و همچنین توزیع عرضی سرعت جریان با توجه به اثر صفحات مستغرق بود. ناکاتو (Nakato, 1990) مدلی را که در سال ۱۹۸٤ برای دهانهٔ آبگیر ایستگاه یاد شده پیشنهاد و در سال ۱۹۸۵ روی پروتوتیپ[4] اجرا کرده بود، بررسی کرد. وی بعد از گذشت ۳/۵ سال از نصب این صفحات در جلو دهانهٔ آبگیر، مشاهده کرد که نیازی به لایروبی رسوبات نیست و سیستم صفحات مستغرق عملکرد موفقی داشته است. وانگ(Wang, 1991) تئوری اثر صفحات مستغرق را روی معادلات حاکم بر جریان بررسی کرد و معادلات مربوط به توزیع‌های عمق و سرعت جریان را با استفاده از روش‌های عددی به دست آورد. وی با مقایسهٔ تئوری با اندازه‌گیری‌های صحرایی، نتایج رضایت بخشی به دست آورد. فوکوکا (Fukuoka, 1992) با استفاده از یک مدل ریاضی، سیستم صفحات مستغرق را در معادلات حاکم بر جریان وارد و سپس نتیجهٔ حاصل را با اندازه‌گیری صحرایی مقایسه کرد. بررسی‌ها نشان داد که اندازه‌گیری صحرایی تئوری بیان شده را تا حد زیادی تصدیق می‌کند.

وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 1994) الگوی جریان و انتقال رسوب را در آبگیرها با نصب صفحات مستغرق بررسی کردند. آنها با مقایسهٔ تئوری و آزمایش نشان دادند که صفحات مستغرق در جلوگیری از ورود رسوبات بار بستر به داخل آبگیرها خیلی مؤثر هستند. وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 1996) عمق جریان جلو دهانهٔ آبگیر بعد از نصب صفحات مستغرق را با تئوری ارائه شدهٔ قبلی (Wang, 1991) مقایسه کردند. آنها در این مطالعه نشان دادند که تئوری به طور مطلوبی پروفیل بستر حاصل از اندازه‌گیری را به طور مطلوب تأیید می‌کند. مارلیوس و سینها (Marelius & Sinha, 1998) فیزیک جریان عبوری از یک صفحهٔ مستغرق با زاویهٔ برخورد بالا را بررسی کردند. هدف آنها یافتن زاویهٔ بهینه‌ای بود که تحت

1- Iowa Institute of Hydraulic Research
2- Council Bluffs
3- Missouri River
4- Prototype

آن زاویه، صفحهٔ مستغرق قوی‌ترین چرخش ثانویه را در جریان ایجاد کند. آزمایش‌ها با زاویه‌های ۲۵، ۳۶، ۴۵، و ۵۷ درجه انجام گرفت. این محققان پس از آزمایش‌ها مشاهده کردند که به ازای زاویه صفحه با جریان برابر ۴۰ درجه، قوی‌ترین چرخش ثانویه و بیشترین تغییرات در مقطع عرضی بستر نزدیک صفحه ایجاد می‌شود. ناکاتو و اُگدن (Nakato & Ogden, 1998) نتایج حاصل از مطالعهٔ مدل‌های فیزیکی هیدرولیکی دهانه‌های آبگیر روی رودخانهٔ میسوری را ارائه کردند. مدل‌های ارائه شده در هر حالت شامل مجموعه‌ای از صفحات مستغرق و یک دیوار مانع رسوب[1] بود. دیوار مانع رسوب که بین صفحات و دهانه آبگیر واقع است، مؤلفه طولی سرعت جریان را افزایش می‌دهد که این مسئله موجب زیادتر شدن قابلیت تأثیر صفحات در ایجاد یک شیار آبشستگی[2] عمیق جلو دهانهٔ آبگیر می‌شود. قابلیت تأثیر مدل‌های ساخته شده بعد از چند سال بهره‌برداری از پروتوتیپ به اثبات رسیده است. این محققان همچنین نتیجه گرفتند که: ۱- برای کنترل رسوب جلو دهانهٔ آبگیر، دو ردیف صفحهٔ مستغرق لازم است. ۲- طول این صفحات باید حدود ۰/۹ تا ۳ متر در جهت جریان باشد، و زاویهٔ صفحات حدود ۲۰ تا ۲۵ درجه نسبت به خط مرکزی کانال باشد. ۳- ارتفاع صفحات باید حداقل ۱/۲ متر بالای تراز متوسط موجود رودخانه باشد. ۴- عمق مورد نیاز سپرهای فلزی صفحات زیر بستر رودخانه به شرایط ژئوتکنیکی محل بستگی دارد. رحمانیان (Rahmanian, 1998) کاربرد صفحات مستغرق در دهانهٔ آبگیرها و تاثیر تغییرات فواصل عرضی صفحات را با استفاده از یک مدل فیزیکی بررسی کرد. هدف اصلی در این مطالعه بررسی آزمایشگاهی نحوهٔ عملکرد صفحات مستغرق در مجاورت دهانهٔ آبگیر از مسیر اصلی بود به طوری‌که با کارگذاری این صفحات و تغییر فواصل عرضی آنها در هر ردیف مجاور دهانهٔ آبگیر به بهترین آرایش دست یابد، آرایشی که اولاً میزان رسوبگذاری را در دهانهٔ آبگیر به کمترین مقدار خود برساند و ثانیاً شیار آبشستگی یکنواختی را هم جهت هدایت رسوبات به پایین‌دست مسیر جریان کانال اصلی ایجاد نماید. وی در مطالعهٔ خود، آزمایش‌های روی مدل را به دو گروه تقسیم‌بندی کرد: ۱- آزمایش با قرار دادن صفحات به صورت ۳ تایی در عرض، ۲- آزمایش با قرار دادن صفحات به صورت زیگزاگ. نتایج حاصل از آزمایش‌های مدل به شرح زیر بود:

در گروه اول، بهترین فاصله‌های عرضی وقتی است که اولین ردیف طولی از دهانهٔ آبگیر ۳ برابر ارتفاع صفحات و فاصلهٔ ردیف‌های طولی بعدی از یکدیگر ۲ برابر ارتفاع صفحات باشد. ولی در آرایش زیگزاگی بهترین حالت آن است که اولین ردیف طولی صفحات از دهانهٔ آبگیر به اندازه ارتفاع صفحات و دومین ردیف طولی تا ردیف طولی اول به اندازهٔ ۳ برابر ارتفاع صفحات در عرض فاصله داشته باشد. در بهترین آرایش قرارگیری صفحات به صورت سه‌تایی، حجم رسوب‌گذاری در داخل آبگیر حداکثر تا ۵۵ درصد کاهش می‌یابد، حال آنکه در بهترین آرایش قرارگیری زیگزاگی این کاهش به ۷۵ درصد هم می‌رسد.

با توجه به کارهای پژوهشی انجام یافتهٔ فوق و اینکه در مورد بهینه‌سازی سیستم صفحات مستغرق

1- Sediment-Barrier Wall 2- Scour Trench

هنوز پژوهشی نشده است لزوم چنین پژوهشی ضروری به نظر می‌رسید. هدف از این مطالعه بهینه‌سازی سیستم صفحات مستغرق است.

مواد و روش‌ها

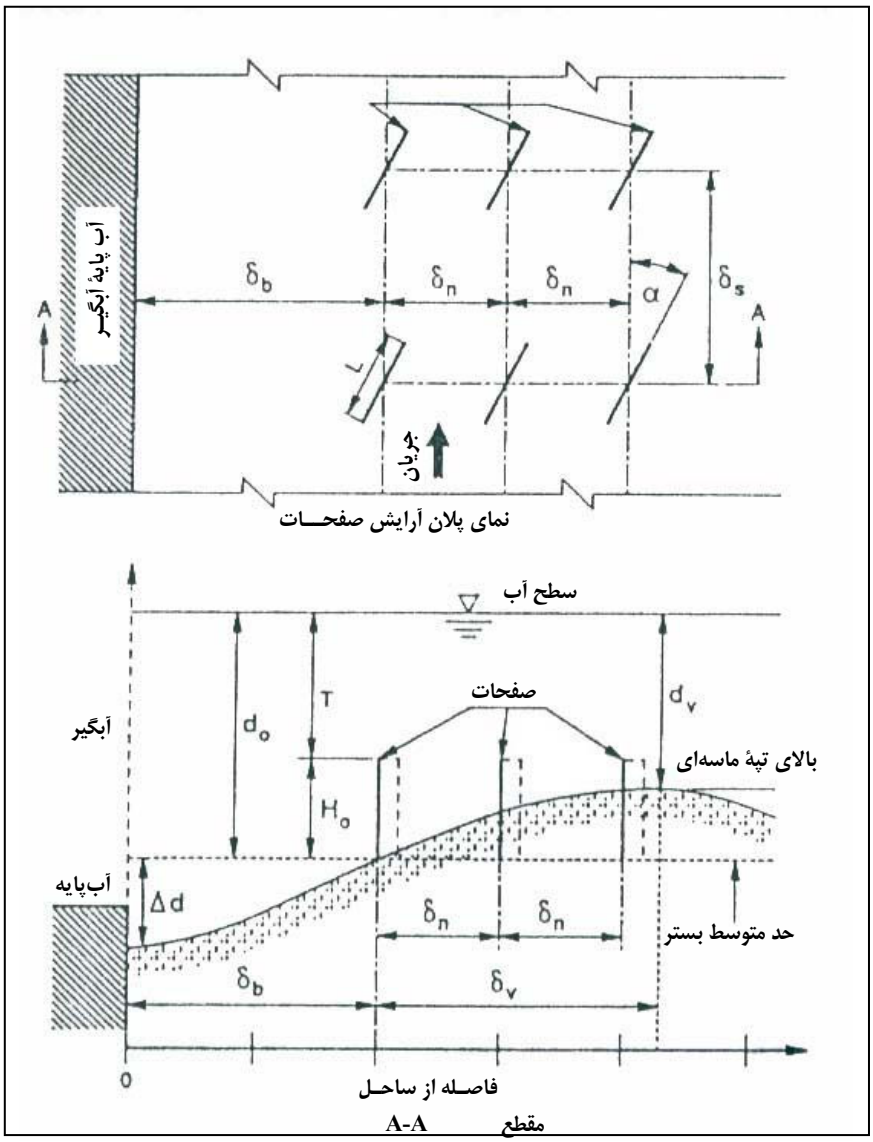
برای بهینه‌سازی سیستم صفحات مستغرق، از داده‌های مربوط به دهانهٔ آبگیر دوان آرنولد (DAEC)[1] روی رودخانه سدار[2] استفاده شده است که در زیر مشخصات این آبگیر و کاربرد سیستم صفحات مستغرق در آن توضیح داده می‌شود.

- مشخصات دهانهٔ آبگیر DAEC

دهانهٔ آبگیر نیروگاه دوان آرنولد (DAEC) روی رودخانهٔ سدار در ایالت آیوا[3] واقع شده است. میزان آبگیری از رودخانه برای سیستم خنک‌کنندهٔ نیروگاه، ۰/۷ متر مکعب در ثانیه است. سرعت آب ورودی به آبگیر حدود ۰/۰٤ متر بر ثانیه و سرعت آب رودخانه نزدیک آبگیر به طور متوسط ۰/۵ متر بر ثانیه بوده است. از زمان بهره‌برداری آن در سال ۱۹۷۲، دهانهٔ آبگیر نیروگاه با مشکلات زیادی مواجه بود از جمله: ورود رسوبات به داخل سیستم خنک‌کننده و جمع‌شدن رسوبات در داخل ساختمان آبگیر و در نتیجه مدفون شدن دریچه‌ها و غیرقابل بهره‌برداری بودن آنها بررسی نشان داد که ارتفاع ته‌نشست رسوبات بالای تراز آب‌پایهٔ آبگیر حدود ۱ متر بوده است. راه حل پیشنهادی برای رفع این مشکل ایجاد یک دیوارهٔ هادی[4] و یک سیستم صفحات مستغرق با ۹ عدد صفحه بود. دیوارهٔ هادی، جریان نزدیک ساختمان آبگیر را ملایم و صفحات مستغرق، بار بستر ورودی به آبگیر را قطع و آن طرف‌تر از آبگیر منحرف می‌کند. هر صفحه با شمع‌هایی به عمق حدود ٦ متر در داخل بستر رودخانه نگهداری می‌شود. پارامترهای طراحی سیستم صفحات مستغرق برای جریان طراحی به شرح زیر هستند:

d_o (عمق متوسط جریان) برابر ۲/۲ متر، S (شیب جریان) برابر ۰/۰۰۰۵، u_o (سرعت متوسط جریان) برابر ۰/۸ متر بر ثانیه، r (شعاع انحنا) برابر∞ ، D (مواد بستر، ماسه با اندازهٔ متوسط) برابر ۰/۳ میلی‌متر، m (پارامتر مقاومت کانال) برابر۳ و مطابق آن f (ضریب اصطکاک دارسی – ویسباخ) برابر ۰/۱۳۳، F_D (عدد فرود ذرات رسوب) برابر ۱٤/۷، d_o/b (نسبت عمق به عرض کانال) برابر ۰/۰۲. متغیرهای طراحی سیستم صفحات مستغرق در شکل شمارهٔ ۳ نشان داده شده است.

1- Duane Arnold Energy Center (DAEC)
2- Cedar River
3- Iowa State
4- Guide-Wall



شکل شمارهٔ ۳- متغیرهای طراحی سیستم صفحات مستغرق (Wang *et al.*, 1996)

با انتخاب H_o (ارتفاع صفحات) برابر ۰/۹۱ متر، T/d_o (استغراق نسبی صفحات) برابر ۰/۷، L (طول صفحات) برابر ۲/۷۳، δ_n (فاصلهٔ عرضی بین صفحات) برابر ۲/۷۳، δ_s (فاصلهٔ طولی بین ردیف صفحات) برابر ۹/۱ متر، α (زاویهٔ تلاقی جریان با صفحات) برابر ۲۰ درجه، محاسبات اُدگارد و وانگ نشان می‌دهد که یک ردیف با سه صفحه، تراز بستر کانال را در میدان صفحات افزایش می‌دهد به:

$$(d_m - d_v) = 0.3d_m = 0.3d_o = 0.66 \text{ m}،$$

یعنی: $d_v = 0.7d_o$

با این فرض که $\delta_v \approx \delta_b$ ، معادلات پیوستگی و مانینگ نتیجه می‌دهد:

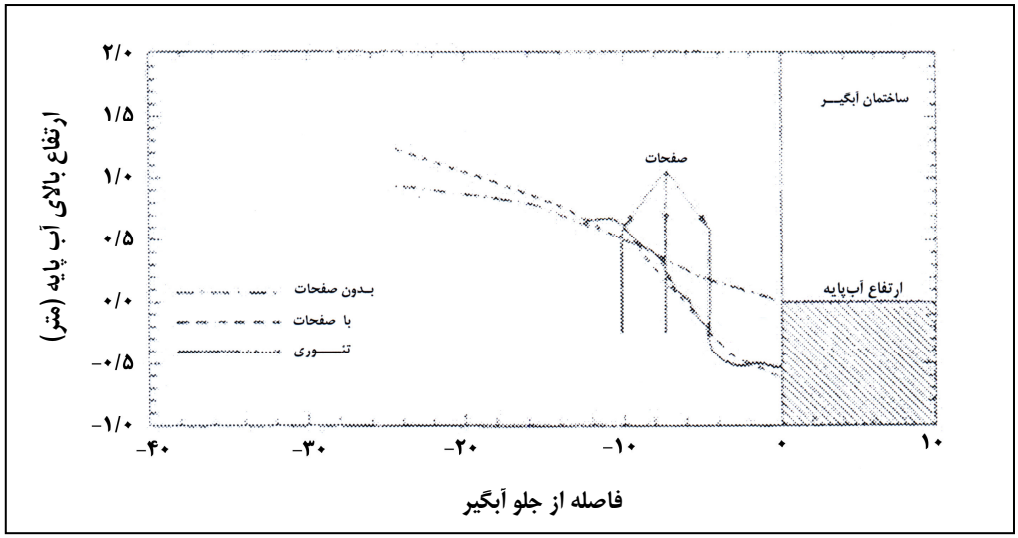
$$(d_o + \Delta d)^{5/3} + d_v^{5/3} \approx 2d_o^{5/3}$$

یا، با $d_v/d_o = 0.7$

$$\Delta d \approx 0.25\ d_o = 0.55 \text{ متر}$$

شکل شمارهٔ ٤، پروفیل‌های متوسط بستر رودخانه جلو دهانهٔ آبگیر را در حالت اندازه گرفته شده بدون صفحات و با صفحات و همچنین در حالت به دست آمده از تئوری با هم مقایسه می‌کند. هم اندازه‌گیری و هم محاسبات نشان می‌دهد که میزان فروافتادگی پروفیل بستر رودخانه جلو دهانهٔ آبگیر تحت تأثیر صفحات حدود ۰/٦ متر است (Wang *et al*., 1996).

هدف از بهینه‌سازی، به دست آوردن آرایش و ابعادی از سیستم صفحات مستغرق است که عمق جریان را جلو دهانهٔ آبگیر فوق ماکزیمم کند (یعنی عمق جریان جلو دهانهٔ آبگیر از ۰/٦ متر به بیشترین مقدار ممکن افزایش یابد). به همین منظور برای بهینه‌سازی از روش جهات امکان‌پذیر استفاده و نتایج آن، با پروفیل بستر به دست آمده از محاسبات اُدگارد و وانگ مقایسه شده است. در زیر، این روش تشریح می‌شود:



شکل شمارهٔ ۴- مقاطع عرضی بستر رودخانه جلو دهانهٔ آبگیر DAEC قبل و بعد از کارگذاری صفحات مستغرق (Wang *et al*., 1996)

- بهینه‌سازی سیستم صفحات مستغرق با استفاده از روش جهات امکان پذیر

با توجه به اینکه تابع هدف (عمق جریان) یک تابع غیرخطی است، از کلیهٔ روش‌های بهینه‌سازی قابل به کارگیری برای توابع غیرخطی می‌توان استفاده کرد (Shahidi pour, 1994). در این مطالعه از روش جهات امکان‌پذیر و از برنامهٔ کامپیوتری DOT که بر اساس این روش نوشته شده است، برای بهینه‌سازی به شرح زیر استفاده شده است:

- مدل بهینه‌سازی

بردار طراحی $X = [x_1, x_2, \ldots, x_n]$ باید به‌گونه‌ای تعیین شود که تابع هدف f(X) با احتساب قیود مربوط، به شرح زیر بیشینه گردد:

Maximize f(X)

S. t.

$g_j(X) \le 0 \;,\; j = 1, M \quad ; \quad x_i^l \le x_i \le x_i^u \;,\; i = 1, N$

(۱)

- حل مدل بهینه‌سازی

برای حل مدل، لازم است ابتدا مسئلهٔ مورد نظر را با مدل بهینه‌سازی تطبیق داد و سپس آن را حل کرد.

- تابع هدف

در این مدل، هدف عبارت است از بیشینه کردن عمق جریان در جلو دهانهٔ آبگیر. عمق جریان با معادلهٔ زیر بیان می‌شود:

$$\frac{d\tilde{d}}{d\eta} = f(\tilde{d}, \eta) \qquad (۲)$$

بنابراین تابع هدف عبارت خواهد بود از:

$$\text{Max } f(X) = \frac{d\tilde{d}}{d\eta} = f(\tilde{d}, \eta) \qquad (۳)$$

تابع هدف، خود تابعی از پارامترهای مربوط به جریان رودخانه و سیستم صفحات مستغرق است. پارامترهای جریان رودخانه شامل عمق متوسط جریان، عرض مؤثر جریان، سرعت متوسط، پارامتر مقاومت، پارامتر شیلدز، و عدد فرود ذرات رسوب است. پارامترهای صفحات شامل ارتفاع صفحات، طول صفحات، زاویهٔ برخورد صفحات با جریان، استغراق صفحات، فاصلهٔ طولی بین ردیف صفحات، فاصلهٔ عرضی بین صفحات، و فاصلهٔ مؤثر صفحات تا ساحل است.

با توجه به مطالب فوق، تابع هدف خود تابعی از دوازده پارامتر است. برای بهینه‌سازی سیستم صفحات مستغرق با استفاده از روش جهات امکان‌پذیر، از این دوازده پارامتر، هفت پارامتر عرض مؤثر جریان، استغراق صفحات، تعداد صفحات، فاصلهٔ اولین صفحه تا ساحل، پارامتر مقاومت، پارامتر شیلدز و عدد فرود ذرات رسوب به عنوان پارامترهای معلوم و پنج پارامتر ارتفاع صفحات، نسبت ارتفاع صفحات به طول صفحات، فاصلهٔ طولی بین ردیف صفحات، فاصلهٔ عرضی بین صفحات، و زاویهٔ برخورد صفحات با جریان به عنوان پارامترهای مجهول یا متغیر و پارامترهای زیر به عنوان پارامترهای معلوم در نظر گرفته شده‌اند:

$$\text{RATBD} = \frac{b}{d_o} = 5.9,\ \text{TOP} = \frac{T}{d_o} = 0.7,$$
$$\text{NVANE} = n = 3.0,\ \text{YVBANK} = \frac{\delta_b}{d_o} = 1.0,$$
$$\text{VELEXP} = m = 3.0,\ \text{SHIELD} = \theta = 0.04,$$
$$\text{PFROUD} = F_p = 15.0 \qquad (٤)$$

پارامترهای فوق مربوط به داده‌های دهانهٔ آبگیر نیروگاه دوان آرنولد (DAEC) روی رودخانهٔ سدار در ایالت آیوا هستند. پارامترهای مجهول یا متغیرهای طراحی یا تصمیم به شرح زیر در نظر گرفته شده‌اند:

$$x_1 = \text{RELVHO} = \frac{H_o}{d_o},\ x_2 = \text{ASPRO} = \frac{H_o}{L},$$
$$x_3 = \text{VSPACX} = \frac{\delta_s}{d_o},\ x_4 = \text{VSPACY} = \frac{\delta_n}{d_o},$$
$$x_5 = \text{DEGREE} = \alpha \qquad (٥)$$

بردار طراحی که مجموعهٔ متغیرهای طراحی است به شرح زیر است:

$$X = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5]$$

- قیدها

در مسئلهٔ مورد نظر قیدهای اصلی وجود ندارد و فقط قیدهای کناری موجودند که هر یک از این قیدها به شرح زیر در نظر گرفته شده است:

متغیر x_1، نسبت ارتفاع صفحات به عمق متوسط جریان است و بنا به توصیه‌های وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 1996) بین ۰/۲ و ۰/۵ در نظر گرفته شد، یعنی:

$$x_1^l \le x_1 \le x_1^u \quad \rightarrow \quad 0.2 \le x_1 \le 0.5 \qquad (٦)$$

متغیر x_2، نسبت ارتفاع صفحات به طول صفحات است و بنا به توصیه‌های وانگ و اُدگارد، بین ۰/۲ و ۰/۵ در نظر گرفته شد (Odgaard, 1993 & Wang)، یعنی:

$$x_2^l \le x_2 \le x_2^u \quad \rightarrow \quad 0.2 \le x_2 \le 0.5 \qquad (٧)$$

متغیر x_3، نسبت فاصلهٔ طولی بین ردیف صفحات به عمق متوسط جریان است و بنا به توصیه‌های اُدگارد و وانگ (Odgaard & Wang, 1991) فاصلهٔ طولی بین ردیف صفحات باید حدود ۱۰ تا ۳۰ برابر ارتفاع صفحات و نسبت ارتفاع صفحات به عمق متوسط جریان باید حدود ۰/۲ تا۰/۵ باشد. با توجه به این مسئله متغیر x_3 بین ۲ و ۱۵ در نظر گرفته شد، یعنی:

$$x_3^l \le x_3 \le x_3^u \quad \rightarrow \quad 2 \le x_3 \le 15 \qquad (٨)$$

متغیرx_4، نسبت فاصلهٔ عرضی بین صفحات به عمق متوسط جریان است و بنا به توصیه‌های اُدگارد و وانگ (Odgaard & Wang, 1991) فاصلهٔ عرضی بین صفحات باید حدود ۲ تا ۳ برابر ارتفاع صفحات و نسبت ارتفاع صفحات به عمق متوسط جریان باید حدود ۰/۲ تا ۰/۵ باشد. با توجه به این‌مسئله، برای متغیر x_4 یک حد بین ۰/٤ و ۱/۵ به دست آمد، یعنی:

$$x_4^l \le x_4 \le x_4^u \quad \rightarrow \quad 0.4 \le x_4 \le 1.5 \qquad (٩)$$

متغیر x_5، معرف زاویهٔ تلاقی صفحات با جریان است و بنا به توصیه‌های وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 1996) بین ۱۰ و ۳۰ درجه در نظر گرفته شد، یعنی:

$$x_5^l \le x_5 \le x_5^u \quad \rightarrow \quad 10 \le x_5 \le 30 \qquad (۱۰)$$

- مقادیر اولیه

مقادیر اولیهٔ متغیرها، داده‌های مربوط به دهانهٔ آبگیر DAEC به شرح زیر است:

$$x_1 = 0.41,\ x_2 = 0.33,\ x_3 = 4.14,\ x_4 = 1.24,\ x_5 = 20.0 \qquad (۱۱)$$

یادآوری می‌شود که برنامهٔ کامپیوتری بهینه‌سازی DOT (به عنوان برنامهٔ اصلی) با برنامهٔ کامپیوتری طراحی سیستم صفحات مستغرق بی‌وان (BVANE, 1996) (به عنوان زیر برنامه)، لینک[1] و سپس مقادیر اولیهٔ فوق، در برنامهٔ لینک‌شده قرار داده شد و برنامهٔ لینک‌شده اجرا[2] گردید تا مقدار بیشینهٔ تابع هدف با توجه به قیود به دست آید.

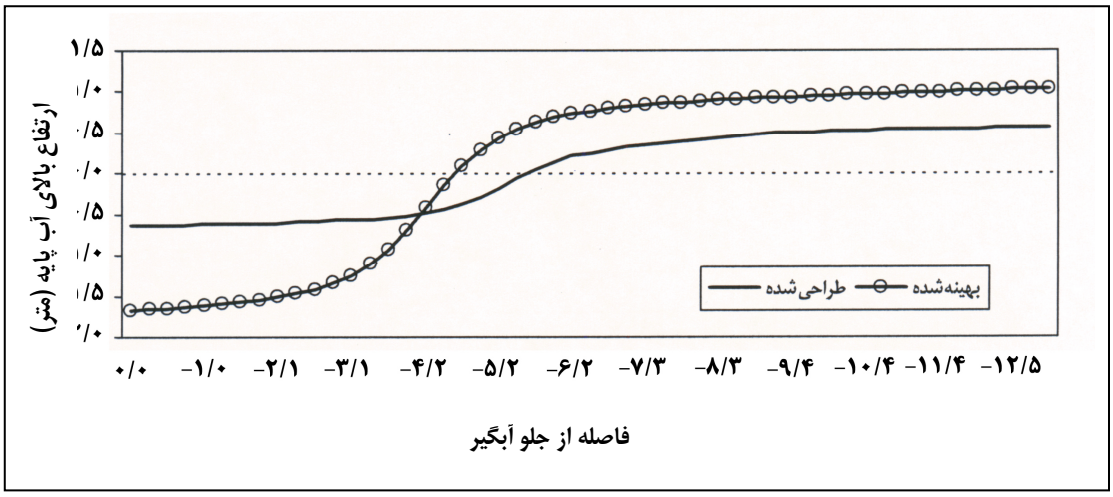
نتایج و بحث

با توجه به مطالب فوق و با استفاده از ترکیب روش جهات امکان‌پذیر با محاسبات اُدگارد و وانگ نسبت به بهینه‌سازی سیستم صفحات مستغرق جلو دهانهٔ آبگیر DAEC اقدام گردید. نتایج حاصل از اجرای برنامه نشان داد که مقدار تابع هدف (عمق جریان جلو دهانهٔ آبگیر) به ازای مقادیر اولیهٔ متغیرها برابر ۱/۲۹ متر است، که بعد از بهینه‌سازی (بیشینه‌سازی) این مقدار به ۱/۷۷۵ متر افزایش یافته است، که همان مقدار بهینه‌شدهٔ تابع هدف است. با توجه به این نتایج همچنین مشاهده شد که متغیرهای طراحی، با استفاده از مدل بهینه‌سازی تابع هدف را، به ازای مقادیر زیر ماکزیمم‌کرده‌اند که در واقع مجموعهٔ این مقادیر، بردار طراحی را تشکیل می‌دهد، یعنی:

$$X = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5] = [0.5, 0.2, 2.0, 1.4918, 30.0] \qquad (۱۲)$$

شکل شمارهٔ ۵، پروفیل بستر جلو دهانهٔ آبگیر DAEC را در حالت طراحی‌شده و بهینه‌شدهٔ سیستم صفحات مستغرق نشان می‌دهد. آن طورکه در این شکل مشاهده می‌شود، عمق جریان جلو دهانهٔ آبگیر بعد از بهینه‌سازی سیستم صفحات، نسبت به حالت طراحی شده، حدود ۱/۱ متر افزایش یافته است. این افزایش عمق جریان باعث می‌شود که رسوبات بار بستر به داخل دهانهٔ آبگیر وارد نشود و ورود رسوبات بار معلق تا حد زیادی کاهش یابد، درنتیجه مشکلات ناشی از ورود رسوبات به داخل دهانهٔ آبگیر حل شود.

1- Link 2- Run



شکل شمارهٔ ۵- مقطع عرضی بستر جلو دهانهٔ آبگیر DAEC در حالت طراحی‌شده و بهینه‌شده با روش جهات امکان‌پذیر

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب ارائه شده در قبل، به بررسی تأثیر صفحات مستغرق در جلوگیری از ورود رسوبات بار بستر به داخل دهانهٔ آبگیرها پرداخته شد. برای طراحی سیستم صفحات مستغرق جلو دهانهٔ آبگیرها دوازده پارامتر وجود داشت؛ که بعضی از این پارامترها تابع خصوصیات جریان و رسوب رودخانه بود و بنابراین برای هر رودخانه این مقادیر تقریباً ثابت بودند. پارامترهای دیگر مربوط به آرایش و ابعاد سیستم صفحات مستغرق بودند. عمق جریان جلو دهانهٔ آبگیر به ازای افزایش بعضی از این پارامترها افزایش، و به ازای افزایش بعضی دیگر، کاهش می‌یابد. بنابراین سؤالی که در اینجا مطرح می‌شود این است که با توجه به حدود پیشنهادی اُدگارد و وانگ برای هر یک از این پارامترها، به ازای چه ترکیبی از این پارامترها عمق جریان جلو دهانهٔ آبگیر ماکزیمم می‌شود. ماکزیمم شدن عمق جریان جلو دهانهٔ آبگیر باعث می‌شود که نه تنها از ورود رسوبات بار بستر به داخل دهانهٔ آبگیر جلوگیری شود، بلکه ورود رسوبات بار معلق نیز به مقدار قابل توجهی کاهش یابد. به همین منظور در این مطالعه به بهینه‌سازی سیستم صفحات مستغرق اقدام شد. برای بهینه‌سازی، از روش جهات امکان‌پذیر استفاده شده است. در این روش، از بین پارامترهای مربوط به طراحی سیستم صفحات مستغرق، پنج پارامتر به عنوان متغیر در نظر گرفته شده است. این متغیرها عبارت‌اند از: ارتفاع صفحات، نسبت ارتفاع صفحات به طول صفحات، فاصلهٔ طولی بین ردیف صفحات، فاصلهٔ عرضی بین صفحات، و زاویهٔ تلاقی صفحات با جریان، در این روش، عمق جریان جلو دهانهٔ آبگیر به ازای این پنج متغیر بهینه شده است. بررسی نتایج حاصل از این روش نشان می‌دهد که عمق جریان در حالت بهینه شده حدود ۱/۱ متر بیشتر از حالت طراحی شدهٔ اُدگارد و وانگ است. بنابراین، سیستم صفحات مستغرق در این روش، بیشتر از حالت طراحی شده

از ورود رسوبات بار بستر و بار معلق به داخل دهانهٔ آبگیر جلوگیری می‌کند.

با توجه به مطالب فوق، توصیه می‌شود که برای حل مشکلات ناشی از ورود رسوبات به داخل هر دهانهٔ آبگیر، با توجه به مشخص بودن خصوصیات جریان و رسوب رودخانه‌ای که دهانهٔ آبگیر روی آن واقع شده است، ابتدا بهترین حالت آرایش و ابعاد سیستم صفحات مستغرق را به دست آورند و سپس پارامترهای بهینه را جهت طراحی سیستم صفحات مستغرق به کار می‌برند، تا بهترین نتیجه از کار برد صفحات مستغرق حاصل شود.

همچنین می‌توان در صورت فراهم بودن امکانات، ابتدا با پارامترهای بهینه یک مدل فیزیکی تهیه و پس از اطمینان از درستی کار مدل، مقادیر پارامترهای بهینه را روی پروتوتیپ اجرا کرد.

لازم است یادآوری شود که آبگیر مورد بررسی دارای مشخصات خاص خود است و نتایج بهینه فقط به آن آبگیر ارتباط پیدا می‌کند و صادق است. لذا نتایج به دست آمده فقط می‌تواند به عنوان راهنمایی جهت بررسی حالت‌های دیگر باشد و نه بهینهٔ مطلق.

قدردانی

بدین وسیله از همکاری استادان و محققان انستیتو تحقیقات هیدرولیک دانشگاه آیوا به دلیل راهنمایی‌ها و در اختیار قرار دادن منابع علمی قدردانی می‌شود.

مراجع

1- Ahmadauli, J. 1998. Optimization of submerged vanes system for sediment control at water intakes of rivers. M.Sc. Thesis; Shahid Bahonar University of Kerman. Agriculture Faculty. (In: Farsi)

2- Barkdoll, B. D. 1997. Sediment control at lateral diversions. PhD thesis; University of Iowa. Iowa City. Iowa.

3- BVANE. 1996. A computer model for the design of submerged vanes for sediment control. Iowa Institute of Hydraulic Research. Iowa City. Iowa.

4- Fukuoka, S. 1992. Flow and bed topography in rivers with hydraulic structures. Technical Report No. 46. Department of Civil Engineering. Tokyo Institute of Technology. 25-60.

5- Marelius, F. and Sinha, S. K. 1998. Experimental investigation of flow past submerged vanes. J. of Hydraul. Eng. ASCE. 124(5): 542-546.

6- Nakato, T. 1984. Model investigation of intake-shoaling and pump-vibration problems. Iowa generation Council Bluffs unit 3 circulation-water intake. IIHR Report. No. 283. Iowa Institute of Hydraulic Research. Iowa City. Iowa.

7- Nakato, T. 1990. Pump station intake shoaling control with submerged vanes. J. of Hydraul. Eng. ASCE. 116(1): 119-128.

8- Nakato, T. and Ogden, F. L. 1998. Sediment control at water intake along sand- bed rivers. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 124(6): 589-596.

9- Odgaard, A. J. 1983. River-bend bank protection by submerged vanes. J. Hydraulic Engineering. ASCE. 109(8): 1161-1173.

10- Odgaard, A. J. and Spoljaric, A. 1986. Sediment control by submerged vanes. Journal of Hydraul. Eng. ASCE. 112(12): 1164-1181.

11- Odgaard, A. J. and Spoljaric, A. 1989. Sediment control by submerged vanes. River meandering. Water Resour. Monograph. No.12. American Geophysical Union. 127-151.

12- Odgaard, A. J. and Wang, Y. 1991. Sediment management with submerged vanes. I: Theory. J. of Hydraul. Eng. ASCE. 117(3): 267-283.

13- Odgaard, A. J. and Wang, Y. 1991. Sediment management with submerged vanes. II: Applications. J. of Hydraul. Eng. ASCE. 117(3): 284-302.

14- Odgaard, A. J. and Wang, Y. 1992. Scour and deposition control with submerged vanes. 5th International Symposium on River Sedimentation. Karlsruhe. 775-782.

15- Rahmanian, M. R. 1998. Hydrodynamics study of the application of submerged vanes at water intakes and the effect of changes in lateral distances of vanes. M. Sc. Thesis. Shahid Bahonar University of Kerman. Engineering Faculty. (In: Farsi)

16- Shafaei Bajestan, M. 1994. Hydraulics of sediment. Shahid Chamran University. Press. Ahwaz. (In: Farsi)

17- Shahidipour, S. M. M. 1994. Optimization, theory and application. Ferdowsi University Press. Mashhad. (In: Farsi)

18- Wang, Y. 1991. Sediment control with submerged vanes. PhD thesis, University of Iowa. at Iowa City. Iowa.

19- Wang, Y., Barkdoll, B. D. and Odgaard, A. J. 1994. Flow and sediment transport at river diversions. Proceedings of Hydraulic Engineering' 94, Conference. ASCE. N. Y. 1060-1064.

20- Wang, Y. and Odgaard, A. J. 1993. Flow control with vorticity. J. of Hydraul. Res. 31(4): 549-562.

21- Wang, Y., Odgaard, A. J., Melville, B. W. and Jain, S. C. 1996. Sediment control at water intakes. J. of Hydraul. Eng. ASCE. 122(6): 353-356.

Optimization of Submerged Vanes for Sediment Control at River Intakes

J. Ahmad Aali and M. J. Khanjani

Control of sediment entering the alluvial channels is the most difficult problem which hydraulic engineers are facing. The use of submerged vanes is a method for controlling the sediment at water intakes. The bed profile of river change and flow depth increases by using the method in certain arrangement and dimensions. Therefore, bed and suspended load will be reduced considerably. In this study, the theory of submerged vanes and the control of sediment are investigated and the arrangement of the system as well as the dimensions of submerged vanes are optimized. The goal of optimization is to maximize the flow depth in the vicinity of the water intake to obtain the best usage of submerged vanes. In this optimization, the feasible directions method is used. In later method the longitudinal vane spacing, angle of incidence, lateral vane spacing, vane height and the ratio of vane height to vane length are chosen as variables. This method gives better results compared to the Odgaard and Wang's. It is concluded that to prevent the sediment entering the water intake the arrangement and dimensions of submerged vanes should be optimized by considering all parameters of flow and sediment of river.

Key words: Feasible Directions Method, Optimization, Sediment, Submerged Vanes, Water Intake