طرح نیمرخ سرریز سد متحرك براساس نظریه‌ی پتانسیل

نوشته‌ی

دکتر مهندس فیروز تربیت

استاد دانشکدهٔ فنی

خلاصه‌ی مقاله

در تابستان سال ۱۳۴۵ دانشگاه تهران ، برحسب دعوت دانشگاه فنی برلن، نگارنده را جهت ایراد سخنرانی درآن دانشگاه مأمور نمود. ضمن این مسافرت فرصتی بدست آمد تا حین انجام مأموریت بعلت علاقه شخصی به‌شهر دتینگن[1] عزیمت و با آقای دکتر ـ مهندس ث ـ ف کلبرونر[2] رئیس مؤسسه‌ی کنراد شوکه[3]، سازنده‌ی مشهور سدهای متحرك وپلهای فولادی ، ازنزدیك تماس حاصل نمایم.

معظم له شخصیت برجسته‌ای بوده مؤلف نشریه‌هائی هستند که از نظر علمی پرارزش میباشد.

یکی از مسائل جالب‌توجه هیدرولیکی در صنعت ساختمان سدهای متحرك فولادی عبارتست از تعیین نیمرخ سرریز آنها بنحوی که سد و دستگاه مانورآن‌مجموعاً سبك وارزان قیمت باشد ودرعین حال‌سد دارای استقامت کافی بوده مقاومت‌آن کاسته نشود.

آقای دکتر کلبرونر این مسئله‌ی هیدرولیکی را براساس نظریه‌ی پتانسیل بطریقه‌ی کاملاً عملی بطرز جالب توجه حل نموده‌اند و ازحسن تصادف کمال‌مساعدت‌را نموده مبانی اصلی‌این‌طرح‌ریزی را دراختیاراینجانب قرار دادند. بدین ترتیب آرزوی نویسنده جامه‌ی‌عمل پوشید وتوفیق‌نصیب اینجانب گردید تا بدینوسیله اطلاعات مفیدی را گردآوری وبه‌حضورخوانندگان گرامی نشریه دانشکدهٔ فنی تقدیم نماید.

---

1) Döttingen

2) Dr. C.F. Kollbrunner

3) CONRAD ZSCHOKKE

اصول کلی طرح نیمرخ سرریزها وقانون جریان از روی آنها در این نوشته بطور اعم ذکر شده است. درمورد سرریزمد متحرك، که موضوع اصلی این مقاله است، نیز ازهمان اصول تبعیت میشود وتنها خصوصیتی که میتوان قائل شد اینست که دراین مورد مسئله بصورت یک حالت خاص تلقی میشود.

انگیزه‌ی دیگری که محرك تنظیم این نوشته میباشد این حقیقت غیرقابل انکار است که در چهار چوب برنامه‌ی تدریس هیدرولیک دانشکده فنی فقط به‌تشریح اصول کلی نظریه‌ی پتانسیل اکتفا میشود.

نویسنده همیشه احساس مینمود که ذکریک مثال جالب عددی، نظیرآنچه در قسمت آخر این نگارش منعکس است، برای روشن کردن مورد استعمال این مبحث پراهمیت ضروری است.

در خاتمه وظیفه‌ی خود میدانم از آقای دکترمهندس کلبرونر که صمیمانه همکاری نموده مطالب علمی را جهت درج در نشریه‌ی دانشکده فنی دراختیار اینجانب گذاشتند تشکر نمایم.

پیشگفتار

سرریزها[1] تأسیساتی هستند که بکمك آنها آب اضافه برذخیره‌ی مجاز سد تخلیه میشود تا ازخطرهای ناشیه ازبالا آمدن سطح آب جلوگیری بعمل آید. درتهیه‌ی پروژه‌ی تأسیسات آبی[2] فصل عمده‌ای بمسئله‌ی طرح ریزی سرریز اختصاص داده میشود. مهندس طراح با درنظر گرفتن عامل های مختلف بایستی این وسیله‌ی پیشگیری تجمع زیاده از حد آب سیلابها را براساس منطقی طرح ریزی نماید. بررسی و مطالعه‌ی این امر وتعیین طرح مناسب ایجاب مینماید که دراین قبیل موردها به‌ساختن مدل متوسل شوند.

درعلم هیدرولیک تحت عنوان نظریه‌ی پتانسیل جریانهائی مورد بررسی قرار میگیرند که در آنها سرعت ازیک تابع پتانسیل[3] مشتق میشود.

بکمك نتیجه های نظریه‌ی پتانسیل میتوان اندازه‌ی فشار وتغییرآن را درنقطه های مختلفه‌ی سرریز تخمین زده ونیروهای هیدرودینامیکی مؤثر برآن وهمچنین آبده[4] سرریزرا تعیین نمود.

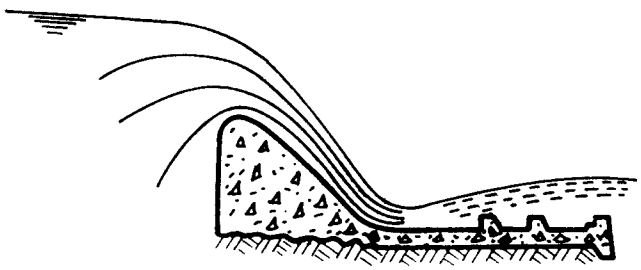
نتیجه گیری مزبور نه‌تنها درطرز هدایت فکر ابداعی مهندس برای تهیه‌ی مدل میتواند مؤثر باشد بلکه بکمك ترسیم شبکه‌ی جریان روی صفحه‌ی کاغذ شکل هندسی حاصل را میتوان بعنوان مدل واقعی مورد استفاده قرارداد. بنابراین هرگاه بعلت محدود بودن وقت وجلوگیری ازصرف هزینه‌ی گزاف از تهیه‌ی مدل احترازشود میتوان شکل ظاهری سرریز را بکمك نظریه‌ی پتانسیل طرح ریزی نمود. داشتن اطلاع جامعی از اصلهای کلی جریانهائی که درآنها سرعت ازیک تابع پتانسیل مشتق میشود وتسلط خواننده درفهم قانونهای آن برای درك مطالبی که دراین نوشته تنظیم شده است کاملاً ضروری میباشد. شرطهای پدید آمدن این نوع جریانها وخصوصیت های مختلف وابسته به‌وجود آنها بطورتفصیل درعلم هیدرولیک بیان میشود. ساختمان

---

1) Deversoir
2) Amenagement de chutes d'eau
3) Ecoulement à potentiel de vitesses
4) Debit

سرریزها وسدهای متحرک[1]، انواع مختلف وطرز محاسبه‌ی آنها، درفصل های مختلف علم تأسیسات آبی بررسی گردیده ودر هرمورد بخصوص درباره‌ی آنها توضیح کافی داده میشود.

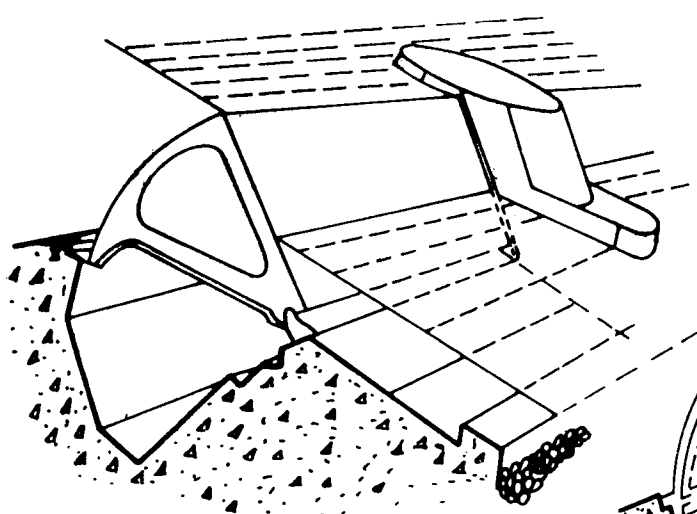
هدف اصلی ما از گردآوری بعضی تعریفهای لازم بطورمختصرفقط بمنظوراشاره به اصطلاح هائی است که دراین نوشته بکاربرده شده‌است تا مطالعه‌ی تمام قسمتهای مقاله بطور مجمل برای خواننده تسهیل شود.



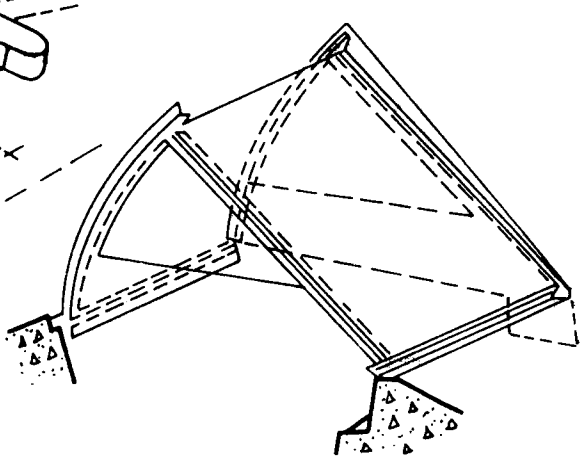
شکل ۱

درشکل (۱) سرریزی نشان داده شده که بطور ثابت درمحل مناسبی، که درتهیه‌ی پروژه‌ی تأسیسات آبی برای آن درنظرگرفته شده، ساخته میشود. درساختن این نوع سرریزها مصالح بنائی ومعمولاً بتن مسلح بکار برده میشود.

سدهای متحرک دارای نوعهای مختلف هستندوقسمت متحرک آنها معمولاً ازفلز تهیه شده وبین پایه هائی که از بتن مسلح ساخته میشوند قرار میگیرند. در شکلهای (۲) و (۳) یک سد متحرک اززنوع قطاعی (وان سکتور)[1] بطرزمناظر ومرایا[2] بعنوان مثال نشان داده شده است.



شکل ۲



شکل ۳

همانطورکه درحالت سکون وتعادل معایعات‌منتجه‌ی فشار برسطح بدنه‌ی سرریز تابع شکل هندسی

---

1) Barrage mobile
2) Vanne Secteur
3) Perspective

آنست. در حالتی هم که مایع از روی سرریز عبور مینماید شکل هندسی مزبور نه‌فقط درتعیین مقدارنیروهای هیدرودینامیکی وتخمین اندازه‌های وابسته نقش مؤثری دارد، بلکه طرح اصولی تأسیسات فرعی، تناسب آنها وبالاخره مسئله‌ی بهره برداری را تحت الشعاع خود قرار میدهد.

با توجه به‌دهانه‌های عریض رودخانه‌ها وارتفاع زیادآبی که باید مهار شود چنین استنباط میشود که سدهای متحرك قاعدتاً بایستی‌عظیم الجثه باشند ونظر باینکه معمولاً ازفلز ساخته‌میشوند بایستی‌تاسرحد امکان کوشش شود که هزینه‌ی تهیه‌ونصب آنها وهمچنین سایر لوازم فرعی‌وابسته حداقل بوده و ضمناًسایر شرطها ازقبیل کوچك بودن نیروی لازم برای حرکت دادن سدوقابلیت عبور دادن حداکثرحجم آب‌درواحد زمان[1] جهت جلوگیری ازخطر سیل نیزملحوظ ورعایت گردد. بنابراین مسئله‌ای که‌مهندس در عمل باآن مواجه‌میباشد بقرار ذیل است:

شکل هندسی سرریز سد بایستی با رعایت چه شرطهائی طرح شودتا:

اولاً سد بنحواحسن قابل بهره‌برداری باشد

ثانیاً ایجاد وبهره‌برداری ازتأسیسات ازنقطه‌ی‌نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه‌باشد

براساس استدلالهائی که دراین نوشته توضیح داده میشود چنین نتیجه گیری خواهد گردید:

یگانه شکل هندسی که جواب مسئله بوده ودو منظور مذکور درفوق درآن توأماً رعایت میگردد نیمرخ سرریزی است که ازنقطه‌ی نظر هیدرودینامیکی غایت مطلوب تشخیص داده میشود وبهمین علت‌آنرا نیمرخ نمونه‌ی هیدرودینامیکی[2] می‌نامند.

اگر سرریزی طبق نیمرخ نمونه‌ی هیدرودینامیکی ساخته شود حتماً واجد دوخاصیت زیرین است:

۱- آبده سرریز حداکثر خواهد بود

۲- مقدار فشار وتغییرآن روی سطح سرریز حداقل خواهد بود

نکته‌هائی که مهندس را در پیدا نمودن طرح غایت مطلوب هدایت مینمایند عبارتند از:

الف - در درجه‌ی اول درك وفهم نظریه‌ی پتانسیل واحاطه‌ی کامل به‌استعمال دستورالعملهای‌آن

ب - در درجه‌ی ثانی توجه ورعایت نتیجه‌ی تجربه‌ها وآزمایشهای انجام شده در روی مدل

ویلیام پیچر کریگر[3] مطالعه‌های زیادی در زمینه‌ی پیدا نمودن چنین طرحی انجام داده ونتیجه‌ی بررسی‌های خودرا درکتاب «ساختمان سدهای‌بزرگ درآمریکا»[4] انتشارداده‌است.

پروفسور لئوپولداسکاند[5] براساس آزمایشهای متمادی در روی مدل طرح اولیه‌ی کریگر موفق گردیده است که نیمرخی‌را بنام «نیمرخ نمونه‌ی اسکاند» پیشنهاد کند.

از نقطه‌ی نظر اهمیتی که نیمرخ نمونه‌ی اسکاند درطرح سرریزها دارد بند جداگانه‌ای به‌شرح آن

---

1) Debit maximum
2) Profile type hydrodynamique
3) William Pitcher Creager
4) Construction des grands barrages en Amerique
5) Leopolde Escande

اختصاص داده میشود. مسئله‌ای که دراین نوشته بعدازتشریح کلیات روی‌آن تکیه خواهد شد عبارتست‌از طرح یک نیمرخ هیدرودینامیکی برای سرریزسد متحرك وبدست آوردن یک شکل هندسی مناسب برای انتخاب آن بعنوان سطح سرریز.

گرچه درسدهای متحرك، برخلاف سدهای ثابت، سرریزفقط درسطح محدودی باتیغه‌ی آب[1] درتماس است (زیرا قسمت پائین تیغه‌ی آب بعد ازجدا شدن از سطح سرریز سد متحرك درتماس با هوا قرار میگیرد) معذالك طرح معقولانه‌ی همین قسمت ازسطح محدود سرریز سد متحرك در تقلیل نیروهای هیدرو دینامیکی ودرنتیجه کوچك شدن اندازه‌های قطعه‌های تشکیل دهنده‌ی سد فوق‌العاده مؤثرمیباشد.

درقسمت آخر این نوشته یک مسئله‌ی عددی ذکر خواهد شد تا اهمیت مطلب بخوبی درك‌شود. ضمن مطالعه‌ی اجمالی و بررسی مسئله‌ی فوق برای حل آن، بدون توجه به‌نظریه‌ی پتانسیل، چنین تصور میشود که فشار آب بربدنه‌ی سرریز مقدار معتنابهی است (با درنظرگرفتن قانون تعادل مایع این فشار درنظر اول درحدود یکصد وسی تن تخمین میشود).

حل مسئله‌ی‌فوق ومحاسبه‌ی دقیق براساس نظریه‌ی‌پتانسیل دراین نوشته مفصلاً تشریح میشود. طبق این محاسبه معلوم میگردد که مقدار فشار آب درحقیقت فوق العاده کمتر است (طبق محاسبه فقط ۲۹ تن میباشد).

بنابراین اهمیت نظریه‌ی پتانسیل و استفاده از آن در محاسبه جهت تقلیل هزینه‌ی گزاف ساختمان سد متحرك ودرنتیجه کم شدن مخارج‌وابسته به‌تهیه‌ی لوازم فرعی جهت‌حرکت دادن سد آشکار میشود.

نیمرخ نمونه‌ی اسکاند

حرکت آب از روی سطح سرریز، صرفنظر ازناحیه‌ی فوق‌العاده‌نازك قشر حد[2]، یک جریان با تابع پتانسیل سرعتها میباشد. برش‌سطح آزاد جریان‌مایعی که‌ازروی سرریزعبورمیکند یک‌خط جریان‌بوده وسرعت درهرنقطه برخط جریان مماس است.

نظر باینکه روی سطح سرریزمؤلفه‌ی سرعت درامتداد عمود برسطح صفراست در نتیجه سطح‌سرریز پائین‌ترین خط جریان بشمار میرود. بنابراین از نقطه‌ی نظرریاضی ترسیم خطهای جریان $\psi(x\ و\ y) = C^{te}$ وخطهای هم‌پتانسیل $\Phi(x\ و\ y) = C^{te}$، با توجه‌باینکه سطح‌آزاد آب بالاترین وسطح سرریز پائین‌ترین حد خطهای جریان بشمار میروند، بمنزله‌ی معین شدن جواب معادله‌ی لاپلاس می‌باشد که با شرطهای حد نیز وفق میدهد. تجربه نیز این امر را تأیید مینماید. آزمایش ثابت نموده است که بغیر ازناحیه‌ی فوق العاده نازك قشرحد افت فشار جریان صفر بوده ونظریه‌ی پتانسیل را میتوان با تقریب کافی بکاربرد.

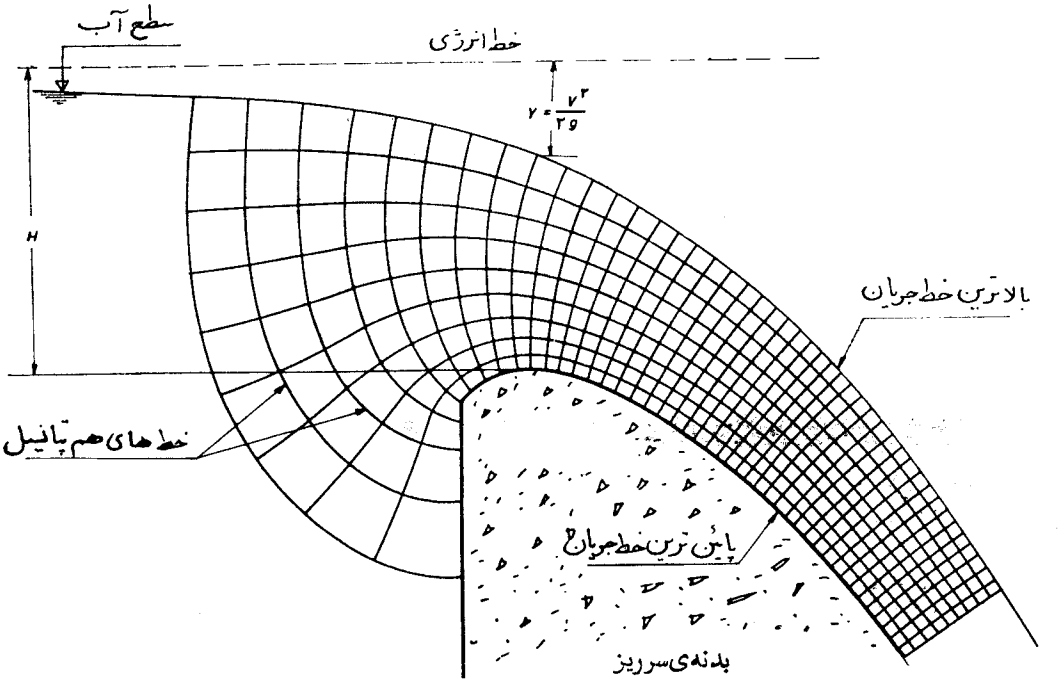
درمورد مدل سرریزی که سطح آب درفاصله‌ی دور ازآن باندازه‌ای $H = ۶۰$ سانتیمتر بالاتر از تاج سرریز قرارگرفته است براساس فرض بالا خطهای جریان و هم‌پتانسیل بنحوی که درشکل (٤) نمایش داده

---

1) Nappe d'eau

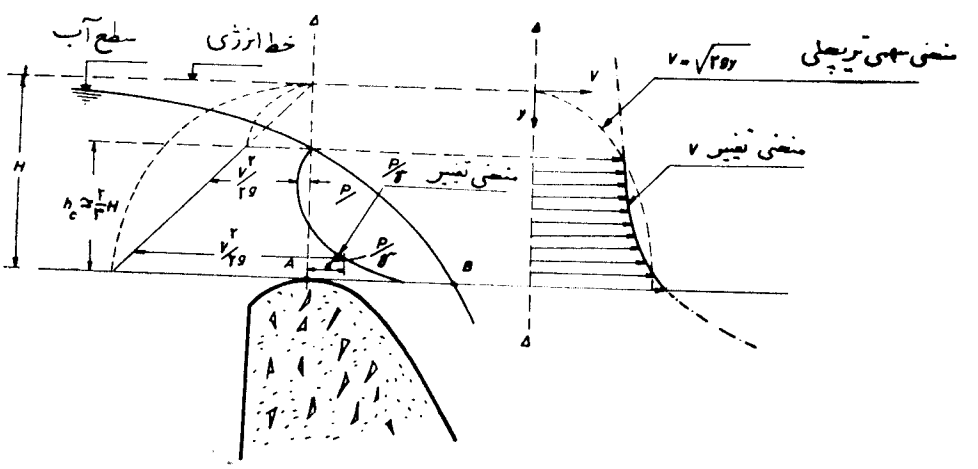
2) Couche limite

شده رسم گردیده‌اند. ازبررسی‌شکل مزبور واضح میشود که فاصله‌ی‌خط‌های هم‌پتانسیل ازیکدیگردرنزدیک سطح جدارسرریز کم ودورتر ازسطح جداراین فاصله بیشترمیباشد. با توجه به‌این امر که این جریان‌باانرژی ثابت[1] است نتیجه میشود که با زیاد شدن سرعت مقدار فشار کمتر میشود.



شکل ٤

ازنقطه‌ی A که تاج یعنی بالاترین خط سرریز میباشد بنحوی که درشکل (٥) نشان داده شده خطی افقی رسم ومحل تلاقی آن باسطح آزادآب یعنی نقطه‌ی B درنظر گرفته‌میشود. رابطه‌ی برنولی بین دونقطه‌ی A و B عبارتست از:

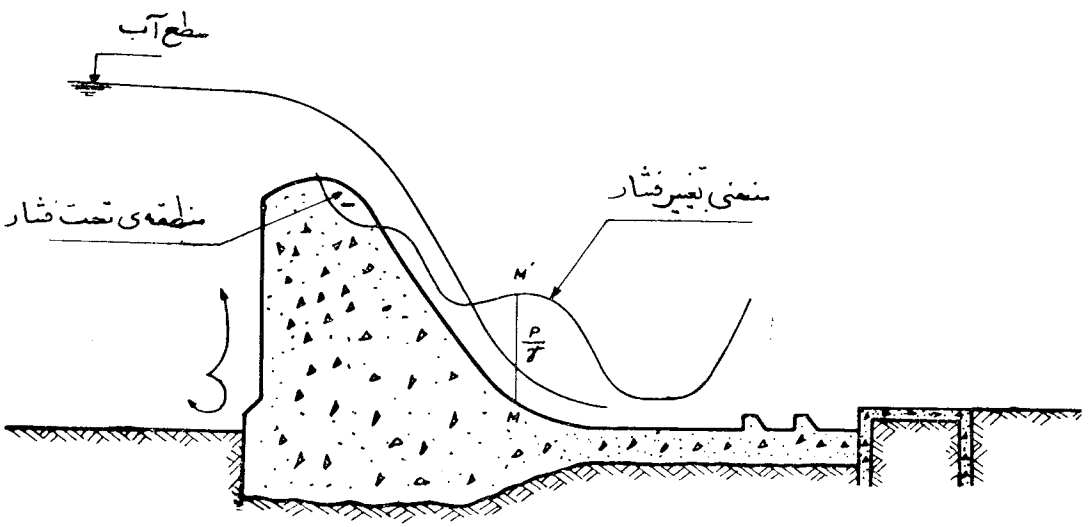


شکل ٥

1) Ecoulement à energie constant

$$\frac{V_A^2}{2g}+\frac{P_A}{\gamma}=\frac{V_B^2}{2g}+\frac{P_B}{\gamma}$$

اما فشار نقطه‌ی B برابر یک جو است وچون $V_A>V_B$ است لذا $P_A<P_B$ میباشد ، یعنی فشار در نقطه‌ی A کمتر از یک جواست. سرعت هرنقطه ازجریان تقریباً ازفورمول‌تریچلی[1] $V=\sqrt{2gy}$ که درآن y فاصله‌ی نقطه‌ی مفروض‌ازخط انرژی‌میباشد بدست میآید. منحنی‌تغییرسرعت درمقطع‌عرضی Δ—Δ بطوریکه‌درشکل (٥) نشان داده شده بسادگی رسم میشود . ازمحل تلاقی خط Δ—Δ با خط انرژی خطی به‌زاویه‌ی ٤٥ درجه رسم و باکسر نمودن مقدار $\frac{V^2}{2g}$ ارتفاع نظیر فشار وابسته به هر نقطه تعیین و منحنی تغییر $\frac{P}{\gamma}$ بدین نحو رسم میشود.



شکل ٦

درشکل(٦) نمونه‌ی مقطع طولی‌سرریز بتنی نشان داده‌شده است. کلیه‌ی مقطعهای عرضی بکمک خط‌هائی نظیر خط Δ—Δ که درشکل (٥) بیان گردید مشخص میشود . سپس طبق استدلال فوق در هر مقطعی منحنی‌تغییرارتفاع نظیرفشار $\frac{P}{\gamma}$ رسم میگردد. بخصوص برای نقطه‌های واقع روی سطح سرریز ارتفاع نظیر فشار ، بوسیله‌ی نقل طولهائی نظیر MM' ، معین میگردد. درشکل (٦) منحنی تغییر $\frac{P}{\gamma}$ درطول‌سرریز رسم شده‌است. بطوریکه ملاحظه‌میشود یک ناحیه‌ی تحت فشاربوجود میآید که درشکل(٦) با علامت (—) مشخص گردیده است. وجود این فشار منفی مولد نیروئی درجهت فشارآب بوده و باین علت درجهت تقلیل‌استقامت‌سد تأثیر مینماید. علاوه براین‌جدا شدن‌تیغه‌ی‌آب ازسطح سرریز وقرارگرفتن مجددآن برروی‌این‌سطح که بطورمتناوب صورت گرفته‌وتوأم با دخول‌هوامی‌باشد یک پدیده‌ی هیدرولیکی‌ناشی‌ازوجود فشارمنفی است که سبب ارتعاشات نامطلوب میگردد که‌آنهم بنوبه‌ی خود برای استقامت‌سد مضرمیباشد.

---

1) Toricelli

وجود فشار منفی مذکور درفوق از طرف دیگر باعث ازدیاد ضریب آبده[1] میشود ودلیل آن مجدداً با توجه به‌قضیه‌ی برنولی واضح میگردد. طبق فورمول برنولی :

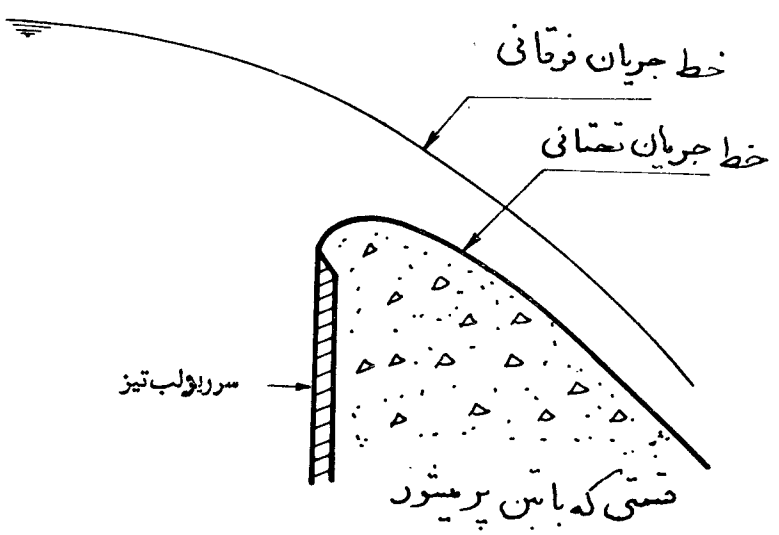
$$\frac{V^2}{2g}+\frac{P}{\gamma}+z=C^{te}$$

صفر ویا منفی شدن مقدار فشار سبب ازدیاد سرعت گردیده وضریب آبده نیز زیاد میشود. البته هرچه‌ضریب آبده سرریز بیشتر باشد مطلوبتر خواهد بود (بشرط آنکه استقامت سد بخطر نیفتد) زیرا دراینصورت طول سد کمتر وهزینه‌ی ساختمانش نیز ارزانتر میشود.

ازآنچه فوقاً بیان شد چنین مستفاد میشود:

بعلت جلوگیری ازفشار منفی وارتعاشات مضرحاصل ازآن وبالاخره برای‌ازدیاد استقامت‌سد بایستی مقدار فشار درسطح آبریز مثبت باشد. ازطرف دیگر برای ازدیادآبده کم بودن مقدار فشار مزبورمطلوب‌است. نتیجه‌ی نهائی اینست که شکل هندسی سرریز بایستی طوری طرح شود که اندازه‌ی فشار برروی سطح سرریز درعین‌مثبت بودن فوق‌العاده قلیل باشد وضمناً رعایت شود که‌آبده سرریز مزبورتا سرحد امکان حداکثرشود. بمنظور رسیدن به‌هدفهای فوق یک سرریز لب تیز که بارمؤثر روی آن یک متراست بنحوی که درشکل(۷) نشان داده‌شده مورد مطالعه قرارمیگیرد. بایستی دقت‌شود که فضای مسدود واقع بین تیغه‌ی جریان وسطح بدنه‌ی‌سرریز بنحوی تهویه شود تا خطرارتعاش تیغه پیش نیاید. خاصیت جریان ازروی سرریزمزبوراینست که درهرنقطه‌ی سطح تحتانی تیغه‌ی‌آب مقدار فشار یک جو است.

علت انتخاب سرریز مزبور برای آزمایش ازاینقرار است:



شکل ۷

اگرفضای‌واقع بین پائین‌ترین‌خط جریان تیغه‌ی‌آب وسطح بدنه‌ی سرریز لب تیز بطوریکه‌درشکل نشان داده شده با مصالح بنائی ساخته‌شده وپرشود یک سرریز نظیرآنچه درطبیعت ساخته میشود بوجود میآید

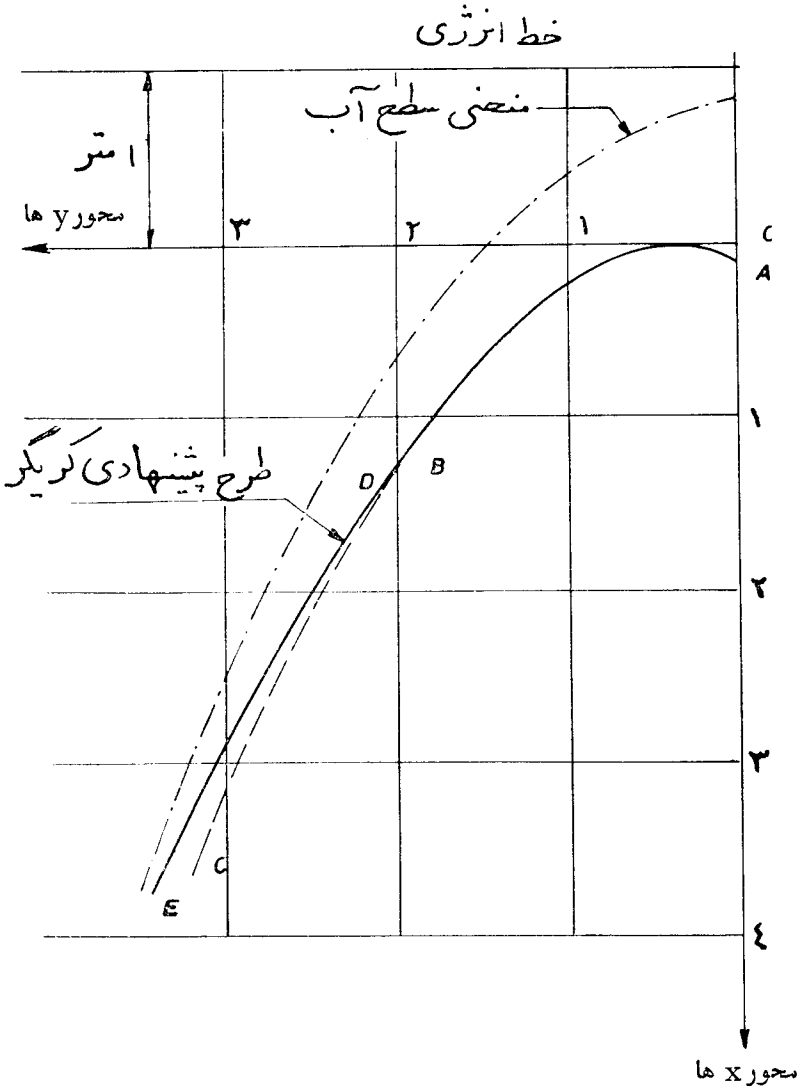
1) Coefficient de debit

ونیمرخ هندسی سطح آن برپائین‌ترین خط جریانی که ازرویش عبور میکند منطبق میشود. هرگاه‌درتقریب اول ضریب اصطکاك بین مصالح بنائی‌وآب معادل با ضریب اصطکاك بین آب وهوا فرض شود میتوان‌ادعا نمود که فشار برروی سطح سرریز بایستی قاعدتاً برابر یک جو باشد. بنابراین با انتخاب این شکل هندسی بعنوان نیمرخ سرریز مسئله‌ی جلوگیری ازایجاد فشار منفی بکلی منتفی میشود.

ضریب آبدهی این سرریز همان ضریب حداکثر آبده است که با شرط‌های فشار در روی‌سطح مزبور تطبیق‌خواهد نمود. نمودارخط جریان تحتانی که برسطح سرریزمنطبق میباشد درشکل (۸) بوسیله‌ی‌منحنی ABC نشان داده شده است. هرگاه از نقطه‌ی A منحنی دیگری رسم شده واین منحنی جدید بعنوان شکل هندسی نیمرخ سرریز انتخاب شود دوحالت وجود خواهد داشت:

جدول مختصات نیمرخ نمونه‌ی اسکاند

x	y
۰ر۱۲۶	۰ر۰
۰ر۰۳۶	۰ر۱
۰ر۰۰۷	۰ر۲
۰ر۰۰۰	۰ر۳
۰ر۰۰۷	۰ر٤
۰ر۰۶۰	۰ر٦
۰ر۱٤۲	۰ر۸
۰ر۲۵۷	۱ر۰
۰ر۳۹۷	۱ر۲
۰ر۵٦۵	۱ر٤
۰ر۸۷۰	۱ر۷
۱ر۲۲	۲ر۰
۱ر۹٦	۲ر۵
۲ر۸۲	۳ر۰
۳ر۸۲	۳ر۵



شکل ۸- نیمرخ نمونه‌ی اسکاند برای باریک‌متر

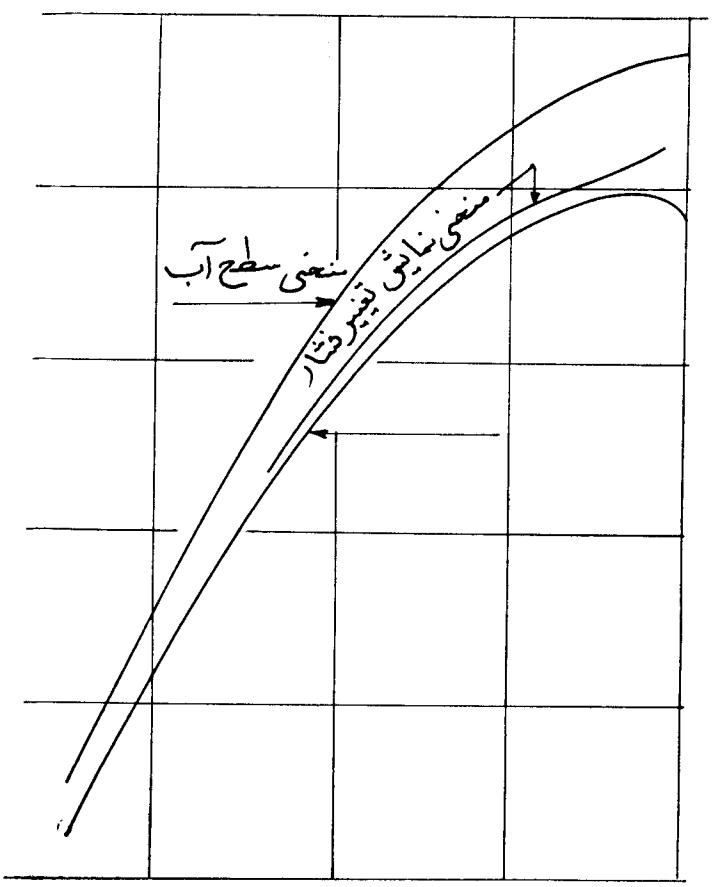
اگرمنحنی مزبور زیرمنحنی ABC قرارگیرد بطور قطع میتوان ادعا نمود که قسمتی از سطح مزبور درمنطقه‌ی فشار منفی واقع خواهد شد. چنانچه منحنی‌مزبور بالای منحنی ABC قرارگیرد فشار برروی‌سطح

آن دارای مقدار مثبتی بوده وضریب آبده کم خواهد شد.

درنتیجه معلوم میشود که اگرمنحنی ABC بعنوان شکل هندسی سطح سرریز انتخاب شودنیمرخ آن غایت مطلوب خواهد بود . ویلیام پیچر کریگر نیز بنوبه‌ی خود برای طرح شکل هندسی سرریز نیمرخ نمونه پیشنهاد نموده است. طرح پیشنهادی وی درشکل (۸) بوسیله‌ی‌منحنی ADE نمایش داده شده‌است ودرشکل مزبور منحنی سطح آزاد آب با خط ونقطه مشخص گردیده است.

باآنکه شکل منحنی‌نمونه‌ی مزبور قدری بالاتر ازمنحنی ABC ، که معرف‌خط جریان تحتانی‌برروی سرریز لب تیز بوده وغایت مطلوب شناخته شده است ، قرارگرفته معذالک نتیجه‌های حاصل از آزمایش آن رضایت بخش میباشد. درشکل (۸) منحنی نمایش نیمرخ سرریز وهمچنین سطح فوقانی وتحتانی تیغه‌ی‌آب برای باری برابر یک متر در دستگاه محور مختصات x و y نمایش داده شده است.

نظر باینکه جریان آب روی سرریزها از قانون تجانس هیدرولیکی فرود [1] تبعیت مینماید بنابراین برای طرح شکل هندسی یک سرریز درصورتیکه ارتفاع تیغه‌ی آب بر روی آن از ده سانتیمتر تجاوز نماید میتوان بوسیله‌ی تشابه هندسی با ضرب نمودن اندازه‌ی بار H برحسب متر دراندازه‌های مختصات x و y که



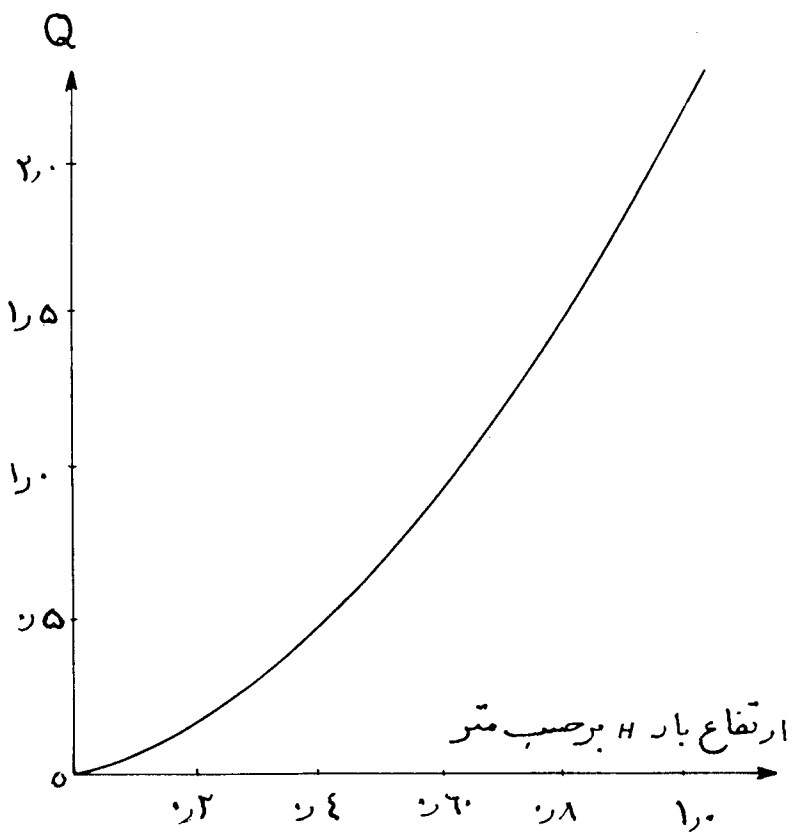
شکل ۹

1) Loi similitude de Froude

در شکل (۸) و جدول مجاور آن داده شده است مختصات سطح سرریز مورد طرح را تعیین نمود . کلیه‌ی سرریزهای کنونی براساس این نیمرخ نمونه طرح ریزی میشوند. مختصات x و y نمونه در جدول مختصات نیمرخ نمونه‌ی اسکاند نشان داده شده است.

درشکل(۹) نتیجه‌ی آزمایش نیمرخ نمونه که با بار $H=1$ مترانجام‌شده نقل گردیده‌است‌وبطوریکه ملاحظه میشود منحنی‌تغییر فشارکه با نقل‌ارتفاع های‌نظیر فشار برحسب مترآب نسبت به‌سطح بدنه‌مشخص شده است فوق‌العاده رضایت بخش میباشد.

درشکل (۱۰) منحنی تغییرآبده برحسب مترمکعب برای هرمتر طولی نیمرخ نمونه‌ی‌فوق‌مشخص شده است . هرگاه سرریزی با ارتفاع بار H بطریقی که فوقاً بیان گردید مشابه با این سرریز نمونه ساخته شود برای تعیین آبده‌آن کافیست مقدار وابسته درشکل (۱۰) در $H^{3/2}$ ضرب شود.



شکل ۱۰

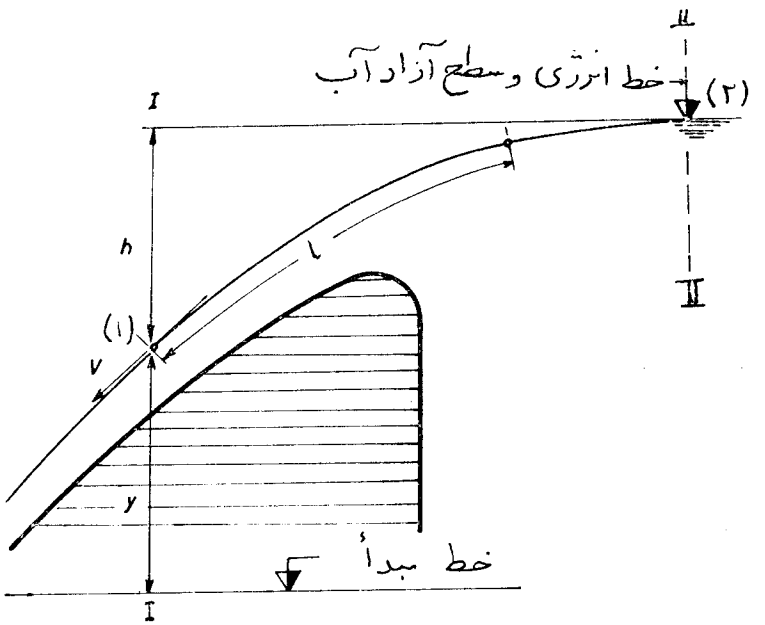
مطلب شایان‌توجه اینست که هرگاه از روی‌نیمرخ نمونه‌ی مذکور درفوق وبکمک‌نظریه‌ی‌پتانسیل سطح آزاد آب تعیین‌شود ملاحظه میگردد که منحنی بدست‌آمده بامنحنی سطح آزادآب که بوسیله‌ی آزمایش و بطور تجربی روی مدل تعیین میگردد کاملاً تطبیق مینماید و حتی آبده سرریز هم اگر طبق نظریه‌ی پتانسیل‌حساب‌شود بانمودارآبدهی که‌درشکل (۱۰) ترسیم‌شده‌است بطوررضایت‌بخش مطابقت میکند.

تعیین آبده سرریز وفشارمؤثر برسطح آن

تعیین آبده

برای اینکه آبده تیغه‌آبی راکه ازروی یک سرریز جریان مینماید تعیین نموده و فشار مؤثر برسطح آن را مشخص نمایند کافیست قبل ازهرچیز سطح آزاد آب را بشناسند.

منحنی نمایش سطح آزاد آب را میتوان بکمک قضیه‌ی برنولی برحسب پتانسیل نقطه های مختلف مدرج نمود.



شکل ۱۱

شکل (۱۱) نیمرخ سرریز ومنحنی سطح آزاد آب راکه درآن دو مقطع قائم I–I و II–II در نظر گرفته‌شده‌اند نشان‌میدهد. فاصله‌ی مقطع‌قائم II–II ازسرریزباندازه‌ای‌انتخاب‌می‌شود که‌سرعت نقطه‌ی(۲)، فصل مشترك مقطع مزبور وسطح آزاد آب را، بتوان معادل صفردانست یعنی $(V)_{II}=o$. روی‌فصل‌مشترك صفحه‌ی قائم I–I با سطح آزاد آب نقطه‌ی(۱) دارای سرعتی برابر V_1 می‌باشد. پس از انتخاب مبدأ افقی رابطه‌ی برنولی بین دونقطه‌ی (۱) و (۲) عبارت میشود از:

$$\frac{V_1^2}{2g}+\frac{P_1}{\gamma}+y=o+\frac{P_2}{\gamma}+(y+h)$$

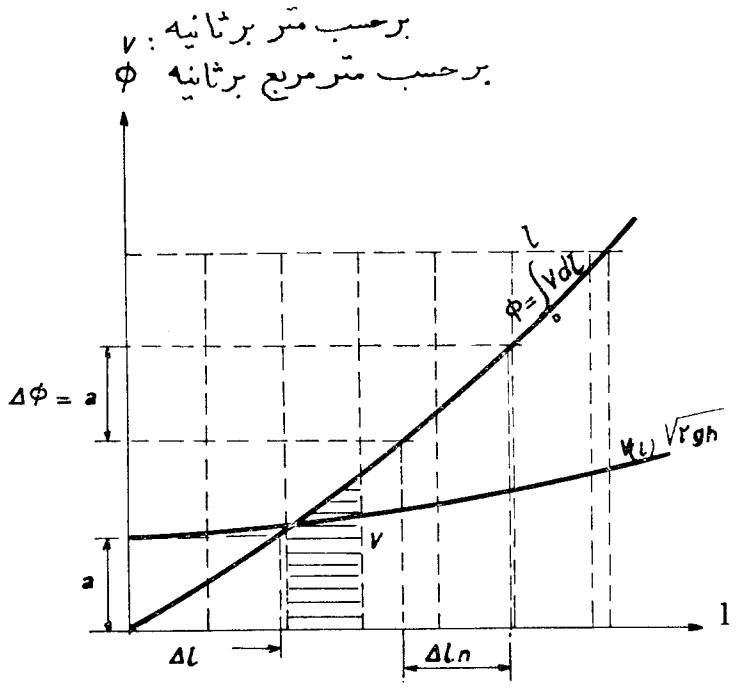
بعلت قرارگرفتن نقطه های(۱) و(۲) روی سطح آزادآب، اندازه‌ی فشارهای P_1 و P_2 برابر با یک جو می‌باشند.

سرعت طبق رابطه‌ی تریچلی عبارتست از $V=\sqrt{2gh}$ و نظر باینکه سرعت از یک تابع پتانسیل Φ مشتق میشود، برای طولی نظیر l که روی سطح آب اندازه‌گیری میشود مشتق فوق بوسیله‌ی رابطه‌ی $\frac{d\Phi}{dl}=\sqrt{2gh}$ بیان‌میشود.

پروفسور پرازیل[1] معادله‌ی دیفرانسیل فوق‌را بطریقه‌ی ترسیمی حل نموده وباین‌علت‌روش‌مزبور بنام او موسوم گردیده است.

انتگرال معادله‌ی فوق عبارتست از $\Phi = \int_0^l V dl$.

انتخاب نقطه‌ی $l=o$ اختیاری‌می‌باشد ودرشکل (۱۱) نقطه‌ی مزبورمختصری‌درقسمت عقب‌سرریز انتخاب شده است. با انتخاب یک دستگاه محور مختصات درسطح قائم بنحوی‌که درشکل (۱۲) ملاحظه میشود میتوان طول‌های l را روی محور افقی و سرعتهای V را روی محور قائم طبق رابطه‌ی $V=\sqrt{2gh}$ نقل نمود.



شکل ۱۲

بازاء طول Δlسرعت V ی وابسته‌را تعیین نموده وپس ازتعیین‌اندازه‌ی سطح Vdl مقدارآن‌راروی خط قائم نقل وبدینطریق یک نقطه ازمنحنی $\Phi(l)$ بدست میآید.

برای تعیین سایر نقطه‌های منحنی $\Phi(l)$ بایستی سطح های جزئی Vdl را جمع نمود.

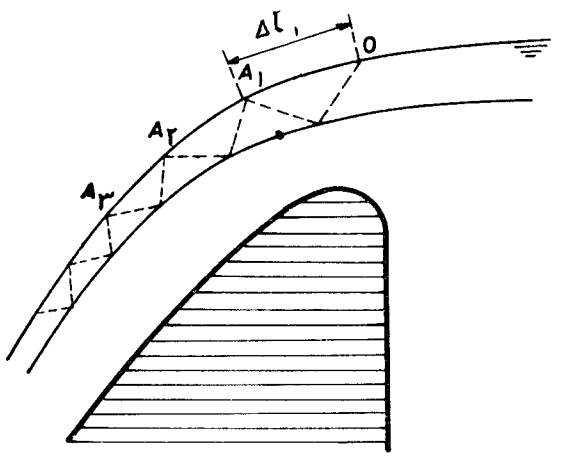
برای اینکه سطح آزاد آب برحسب‌اختلاف پتانسیلهای ثابت $\Delta\Phi=a$ مدرج شود برروی‌محورقائم شکل (۱۲) با اشل طول l شکل (۱۱) مقدار $\Delta\Phi=a$ نقل گردیده وبا ترسیم خط‌های افقی نقطه‌های‌تلاقی آنها را با منحنی $\Phi(l)$ تعیین وبا تصویرنمودن نقطه‌های مزبور برروی محور l طولهای نظیر Δl وابسته‌به $\Delta\Phi$ ثابت مشخص گردیده واین طولها برروی منحنی سطح آزاد آب ازنقطه‌ی o نقل میشوند.

---

1) Prásil

نقطهٔ های A_1 و A_2 و A_3 روی خط جریان وابسته به‌سطح آزاد که بدینطریق درشکل (۱۳) بدست میآیند بعنوان مبدأ انتخاب گردیده وبا ترسیم خط‌هائی به‌زاویه‌ی ٤٥ درجه خط جریان بعدی تعیین میگردد. روش تعیین خط‌های جریان و هم پتانسیل تا موقعی ادامه داده میشود که یک خط جریان برسطح سرریز منطبق گردد. مقدار آبده دراینصورت ازفورمول زیرین بدست می‌آید:

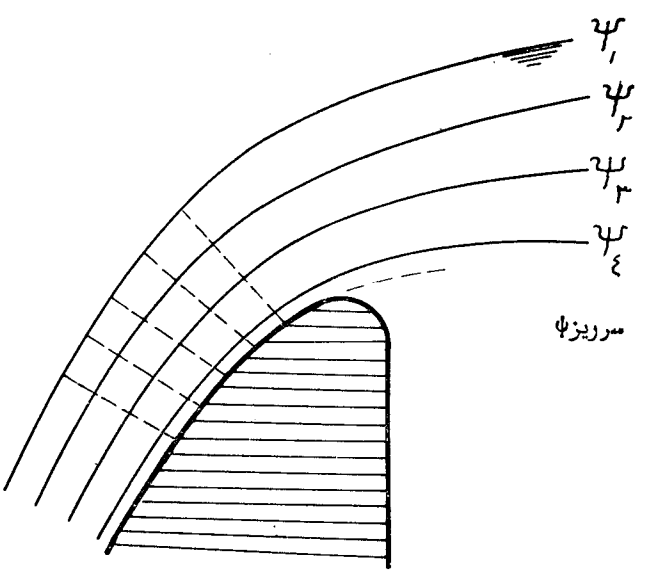
$$Q = \psi(\text{وابسته به‌سطح سرریز}) - \psi(\text{وابسته به‌سطح آزاد آب})$$



شکل ۱۳

اگر چنانچه با ادامه‌ی روش ترسیمی خط جریان نهائی برسطح سرریز منطبق نگردید در عمل کافیست که خط مزبوراقلاً بموازات سطح سرریزباشد. بعنوان مثال درشکل (۱٤) پس ازترسیم خط‌جریانهای ψ_1 و ψ_2 و ψ_3 و ψ_4 ملاحظه میشود که ترسیم خط جریان بعدی بنحوی که شکلهای حاصل از تقاطع خط پتانسیلها و خط جریانهای متوالی مربع های کامل باشند امکان پذیرنیست.

هرگاه $\Delta\Phi = \Delta\psi$ برابر یک عدد تام (بدون اعشار) مثلاً ٥ متر مکعب درثانیه در متر طولی[1]



$\Delta\psi = 5$ مترمکعب برثانیه برمترطولی

شکل ۱٤

---

۱) $m^3/sec/m$

اختیار شود میتوان سطح سرریز را یک خط جریان درنظر گرفته وفاصله‌ی آن را تا خط جریان ψ_4 که برابر $\frac{2}{5}$ می‌باشد تخمین زد. دراینصورت آبده سرریز دراین مثال بخصوص عبارت خواهد بود از:

$$۵ \times ۳ + ۲ = ۱۷ \text{ مترمکعب درثانیه}^{(1)}$$

اگر آبده جریان بوسیله‌ی فورمولهای عملی نظیر بونچو[2] - ربک[3] - بلانژه[4] محاسبه گردیده وبا مقدارفوق مقایسه‌شود ملاحظه میگردد که نتیجه‌ی محاسبه‌بوسیله‌ی نظریه‌ی پتانسیل ازیک‌طرف‌وبکمک استعمال فورمولهای عملی ازطرف دیگر کاملاً مطابقت مینمایند.

مطلب عمده‌ای که بایستی به‌آن توجه شود اینست که:

سطح آزاد آب که بعنوان خط جریان مبدأ درنظر گرفته میشود عموماً نامعلوم است.

بنابراین روش عمل بشرح زیرین خواهد بود:

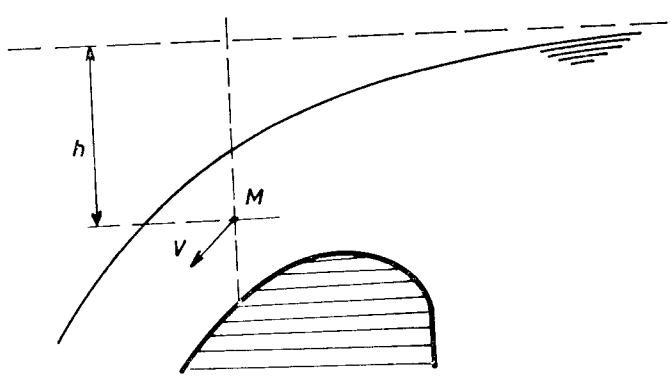
۱- ابتدا یک نیمرخ نمونه طبق آنچه گفته شد بعنوان منحنی سطح سرریز اختیار میشود.

۲- برای این نیمرخ نمونه یک منحنی بطور نظری بعنوان سطح آزاد آب درنظر گرفته میشود.

۳- با روش ترسیمی پرازیل نهائی‌ترین خط جریان تحتانی تعیین میگردد. هرگاه این خط برشکل هندسی سرریز طرح شده منطبق ویا باآن موازی گردد میتوان مسئله را حل شده تلقی نمود. درغیراینصورت بایستی منحنی دیگری برای سطح آزاد آب درنظر گرفته وروش ترسیمی چندین دفعه تکرارشود تا نهائی‌ترین خط جریان تحتانی برسطح سرریز منطبق گردد.

فشار هیدرودینامیکی

برای تعیین فشار هیدرودینامیکی بر روی سطح بدنه‌ی سرریز نقطه‌ای مانند M بفاصله‌ی h از خط انرژی بنحوی که درشکل(۱۵) نشان داده شده درنظر گرفته‌میشود. سرعت نقطه‌ی مزبور برابر V می‌باشد. با توجه باینکه وزن مخصوص آب ۲ برابر یک تن برمترمکعب است فشار وابسته به‌نقطه‌ی M عبارتست‌از:



شکل ۱۵

1) m^3/sec
2) Bundschu
3) Rehbock
4) Belanger

$$P=h-\frac{V^2}{2g}$$

بنابراین مسئله منجر میشود به‌تعیین سرعت V درنقطه‌های مختلف.

سرعت درهرنقطه با دانستن خط‌های جریان وخط‌های‌هم پتانسیل از رابطه‌ی $V=\frac{d\Phi}{dl}$ معین میگردد.

درشکل (۱۶) قسمتی ازیک جدار مفروض سرریز نشان داده شده است.

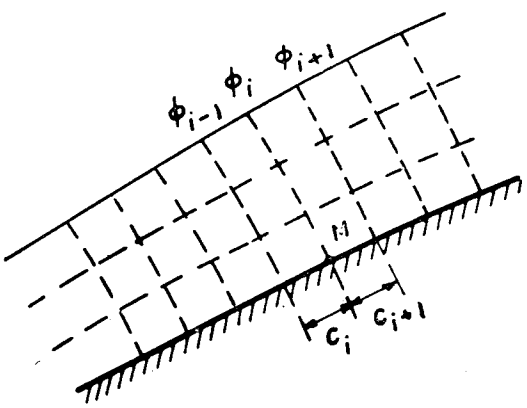
اگر مقدار پتانسیل Φ درنقطه‌ی M واقع روی خط جریانی که بر سطح سرریز منطبق است برابر Φ_i باشد برای دو خط هم پتانسیل که به فاصله‌های c_{i+1} و c_i بلافاصله مجاور نقطه‌ی M قرار دارند اندازه‌های پتانسیل برابر Φ_{i+1} و Φ_{i-1} بوده و سرعت درنقطه‌ی M عبارت خواهد بود از:

$$V=(V)_M=\frac{\Phi_{i+1}-\Phi_{i-1}}{c_{i+1}+c_i}$$

بکمک‌رابطه‌ی مزبوربرای هرنقطه‌ی واقع برروی‌جدارمیتوان سرعت‌نقطه‌ی مزبوررا تعیین نموده وسپس بکمک رابطه‌ی:

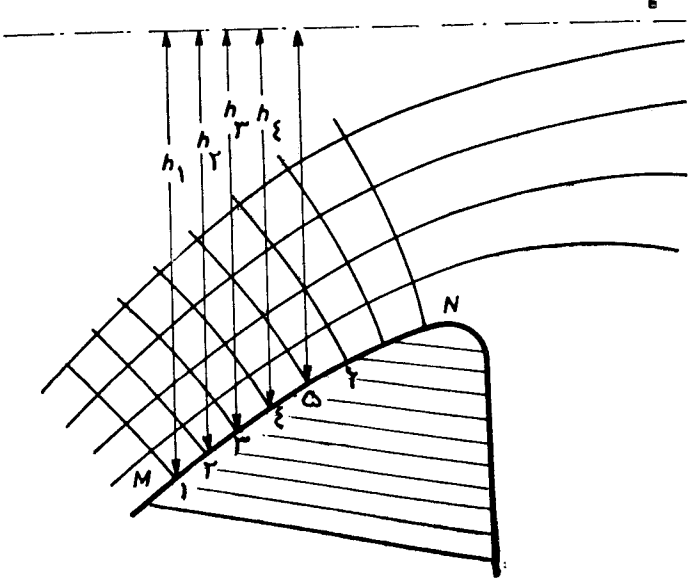
$$P=h-\frac{V^2}{2g}$$

مقدار فشارP وابسته به‌نقطه‌ی مزبوررامشخص نمود.



شکل ۱۶

بدینطریق مسئله‌ی تعیین فشارهیدرو-دینامیکی برروی جدار حل میگردد.



شکل ۱۷

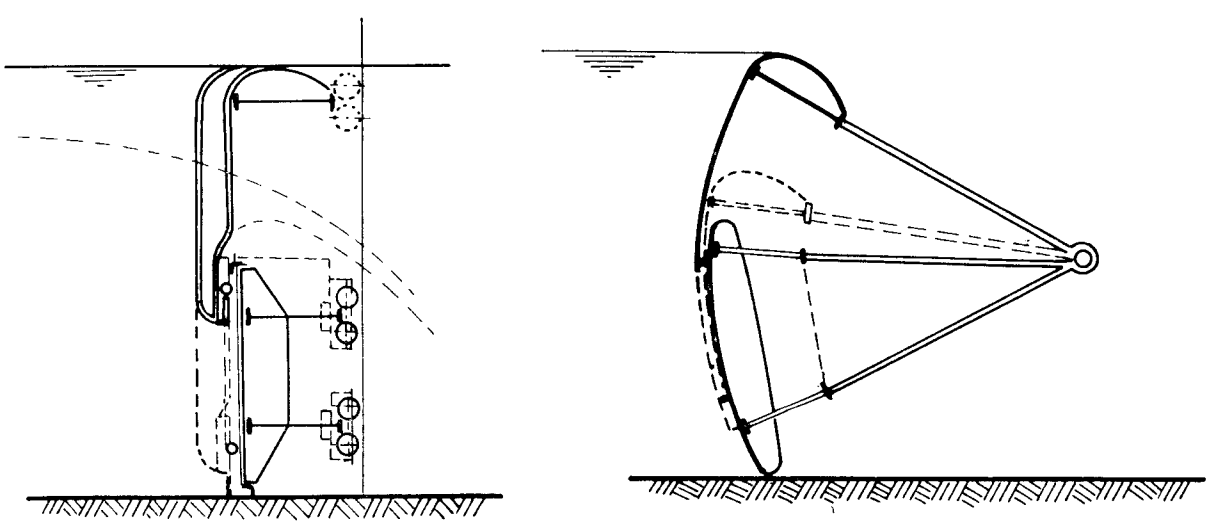
خط مشی برای تعیین فشار درنقطه های مختلف واقع برروی یک قسمت MN ازسطح سرریزبعنوان نمونه درشکل (۱۷) وجدول زیرین نشان داده شده است. نقطه های واقع بین M و N بوسیله‌ی شماره‌های ۱ و ۲ و ۳ و ٤ و ٥ مشخص گردیده‌اند.

جدول محاسبه‌ی اندازه‌های فشارمربوط به‌شکل (۱۷)

شماره‌ی نقطه‌ها	مقدار Φ	$\Phi_{i+1}-\Phi_{i-1}$	طول c	c_i+c_{i+1}	V_i	$V_i^2/2g$	h_i	$P_i=h_i-V_i^2/2g$
۱	Φ_1							
۲	Φ_2	$\Phi_3-\Phi_1$	c_1	c_1+c_2	V_2	$V_2^2/2g$	h_2	$h_2-V_2^2/2g$
۳	Φ_3	$\Phi_4-\Phi_2$	c_2	c_2+c_3	V_3	$V_3^2/2g$	h_3	$h_3-V_3^2/2g$
٤	Φ_4	$\Phi_5-\Phi_3$	c_3	c_3+c_4	V_4	$V_4^2/2g$	h_4	$h_4-V_4^2/2g$
٥	Φ_5	$\Phi_6-\Phi_4$	c_4	c_4+c_5	V_5	$V_5^2/2g$	h_5	$h_5-V_5^2/2g$
.	.	.	c_5	.	.	.	.	. .
.	.	.	.	.	.	.	.	. .
.	.	.	.	.	.	.	.	. .
			.					

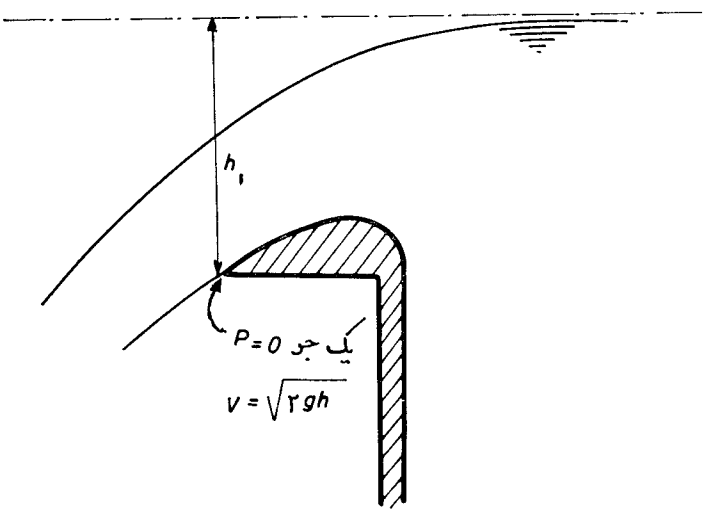
سرریزسدهای متحرك

سدهای متحرك به‌نوع های مختلف‌ساخته میشوند. درشکل(۱۸) دونوع متفاوت ازسدهای متحرك



شکل ۱۸

نشان داده شده‌اند. یکی از خصوصیتهای مهم سدهای متحرك اینست که‌شکل سد طوری طرح‌ریزی‌میگردد که بتوان ازآن‌بعنوان‌سرریز نیز استفاده نمود. سطح سرریز چنین‌سد متحرکی با مقیاس بزرگتردرشکل(۱۹) نشان داده شده است. پائین‌ترین خط جریانی که از روی سد متحرك عبورمینماید فقط دریك قسمت کوچك با سطح سرریز درتماس‌میباشد ومسئله‌ی تعیین فشارهیدرودینامیکی برروی سد متحرك بهمین علت‌فوق‌العاده سهلتر حل میگردد.



شکل ۱۹

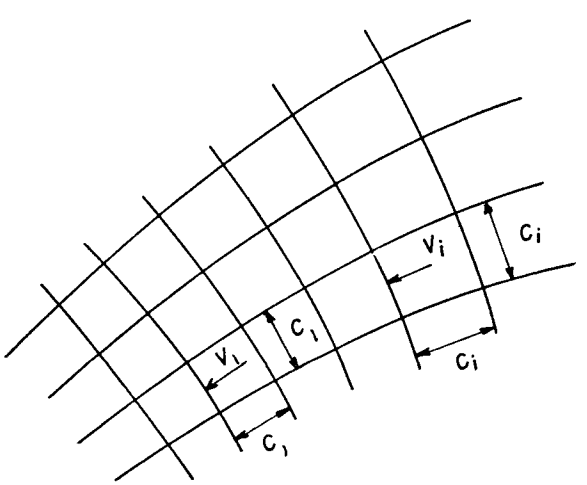
درنقطه‌ای که پائین‌ترین خط جریان سطح سرریز را ترك مینماید فشار نسبی برابر صفراست (مقدار فشار برابر با فشار جواست). بنابراین از رابطه‌ی :

$$P=h_1-\frac{V_1^2}{2g}=0$$

نتیجه میشود که $V_1=\sqrt{2gh_1}$ است.

هرگاه‌شبکه‌ی‌حاصل‌ازخط‌های‌جریان وهم‌پتانسیل‌مربوط به جریانی که ازروی‌سرریز سد متحرك عبور می‌کند، بنحوی که در شکل (۲۰) نشان داده شده است، مشخص باشد، با معلوم بودن سرعت در یک نقطه بـه کمك رابطه‌ی‌پیوستگی میتوان‌مقدار سرعت‌را درجمیع نقطه‌های دیگر تعیین نمود.

آبده ΔQ که‌ازبین‌دوخط‌جریان‌عبور می‌کند مقداریست ثابت و بنابراین:



شکل ۲۰

$$\Delta Q=V_1\cdot c_1=V_2\cdot c_2=V_3\cdot c_3=\cdots\cdots=V_i\cdot c_i$$

میباشد وازآنجا نتیجه میشود که $V_i=V_1 \cdot \frac{c_1}{c_i}$ است.

با معلوم بودن V_1 کافیست مقدار آن را درعکس نسبت ضلع مربع های وابسته ضرب نمودتا سرعت مجهول مشخص گردد.

درمورد سرریز سدهای متحرك روش محاسبه‌ی فوق را میتوان بصورت جدول تسهیل نمود.

ذیلاً جدول نمونه که برای این منظور تنظیم گردیده است ارائه میشود.

جدول نمونه برای محاسبه‌ی فشارهیدرودینامیکی روی سرریزسد متحرك

شماره‌ی نقطه ها	طول ضلع مربع $c=$	c_1/c_i نسبت ضلع مربعها	$V_i=V_1\frac{c_1}{c_i}$	$V_i^2/2g$	$P_i=h_i-V_i^2/2g$
۱					
۲	c_1	۱	V_1	$V_1^2/2g$	$P_1=o$
۳	c_2	$\frac{c_1}{c_2}$	$V_2=V_1\frac{c_1}{c_2}$	$V_2^2/2g$	$P_2=h_2-\frac{V_2^2}{2g}$
٤	c_3	$\frac{c_1}{c_3}$	$V_3=V_1\frac{c_1}{c_3}$	$V_3^2/2g$	$P_3=h_3-\frac{V_3^2}{2g}$
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.					

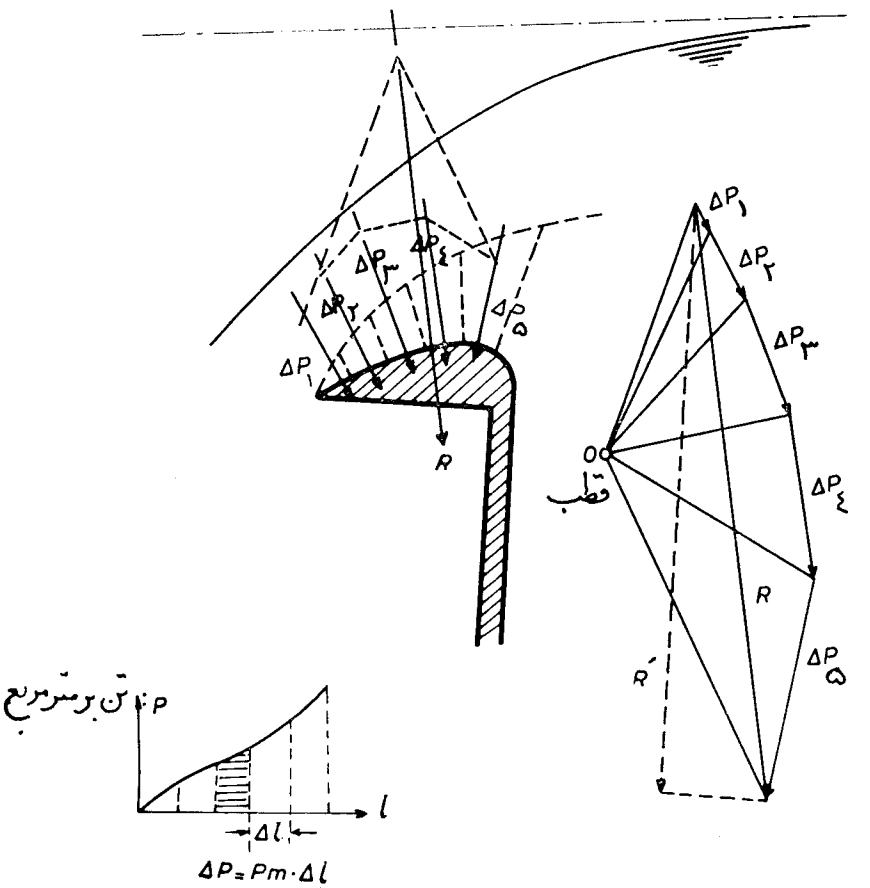
نظر باینکه مایع فاقد خاصیت لزجی بوده و نیروی چسبندگی آن صفر است لذا فشارهیدرودینامیکی بربدنه‌ی سطح سرریز عمود خواهد بود. اگر مقدار فشار هائی که بوسیله‌ی جدول نمونه‌ی فوق تعیین میشوند درهرنقطه‌ی شبکه با اشل مناسبی بطور عمود برسطح نقل شوند بوسیله‌ی اتصال انتهای طولهای مزبور منحنی تغییر فشار P بربدنه‌ی سرریز مشخص میشود.

دریک دستگاه محور مختصات بنحوی که درشکل (۲۱) نشان داده شده است طولهائی که برروی سطح بدنه‌ی سرریز اندازه گیری میشوند روی محور افقی l و اندازه‌ی فشارهائی که معین میشوند روی محور قائم P نقل گردیده ومنحنی تغییر فشار برحسب طول l رسم میگردد.

مساحت سطح واقع بین طول گسترده شده‌ی «l» سرریزومنحنی تغییرفشار P عبارتست ازمنتجه‌ی نیروئی که درهرمتر طولی سرریز برقسمت وابسته به‌آن تأثیرمی‌نماید یعنی:

$$\Delta P=P_m \cdot \Delta l=\frac{P_i+P_{i+1}}{2} \cdot \Delta l \cdot 1$$

طبق دستور العملهای حساب ترسیمی کثیر الاضلاع نیرو و کثیر الاضلاع زنجیر با انتخاب قطب o واشل های مناسب بنحوی که درشکل (۲۱) نشان داده شده رسم گردیده وبدینوسیله منتجه‌ی R تعیین میگردد.



شکل ۲۱

بنابراین روش عمومی برای حل مسئله‌ی تعیین فشار هیدرودینامیکی بقرار ذیل می‌باشد:

الف ـ تعیین شکل هندسی سرریز سد بازاء ارتفاع آب H_0 با دقت کامل

ب ـ انتخاب یک منحنی بعنوان مشخص سطح آزاد آب طبق سلیقه‌ی مهندس طراح

ج ـ تعیین شبکه‌ی جریان بوسیله‌ی روش ترسیمی

د ـ تحقیق درمورد تطابق پائین‌ترین خط جریان با سطح سرریز

ه ـ انتخاب منحنی جدید بعنوان سطح آزادآب درصورتیکه درنتیجه‌ی تحقیق عدم تطابق پائین‌ترین خط جریان وسطح سرریز محرز گردد.

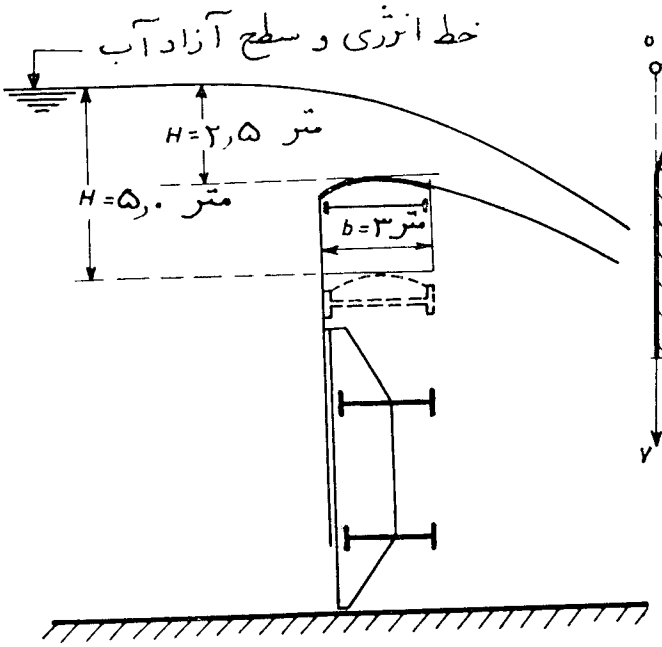
و ـ ادامه‌ی روش ترسیمی بعد از انتخاب منحنی جدید بعنوان سطح آزاد جریان از روی سرریز

ز ـ تعیین منتجه‌ی فشار برروی سطح سرریز واندازه‌ی آبده

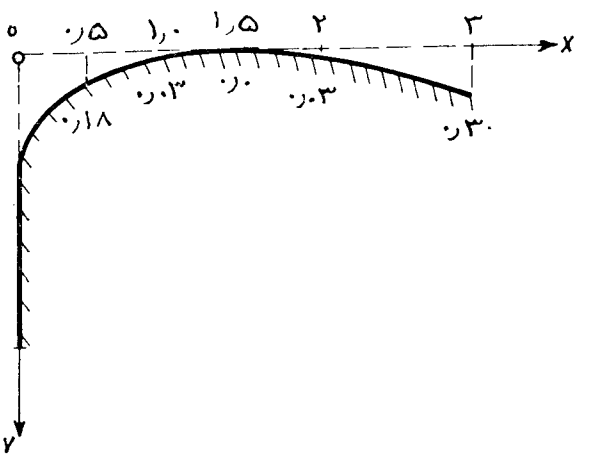
برای اینکه مسئله‌ی طرح منطقی سرریز براساس نظریه‌ی پتانسیل بطور واضح معلوم گردیده‌ومورد استعمال روشی که بیان گردید کاملاً نمایان شود ذیلاً یک مثال عددی ذکر گردیده ومقدار نیروی وابسته به‌فشار هیدرودینامیکی مؤثر برروی بدنه‌ی سطح سرریز سد متحرك تعیین میگردد.

مثال عددی

شکل هندسی بدنه‌ی سرریز سد متحرك برای حالتیکه رأس آن باندازه‌ی ۰ متر پائین‌تر ازسطح آب میباشد طبق نیمرخ نمونه‌ی اسکاند طرح ریزی شده‌است. مطلوبست تعیین آبده سرریز برای هرمتر طولی آن وهمچنین مقدار فشار آب برروی سطح سرریز موقعیکه تاج‌سرریز باندازه‌ی ۲٫۵ متر پائین‌ترازسطح آب‌باشد. (شکلهای ۲۲ و ۲۳).



شکل ۲۲



شکل ۲۳

حل مسئله

شکل هندسی سطح سرریزسد متحرك بکمك‌مختصات‌براساس جدول‌مربوط به‌نیمرخ نمونه‌ی‌اسکاند که در شکل (۸) نشان داده شده بازاء H_0 برابر ۰ متر تعیین وبنحوی که در شکل (۲۳) ملاحظه میشود ترسیم میگردد.

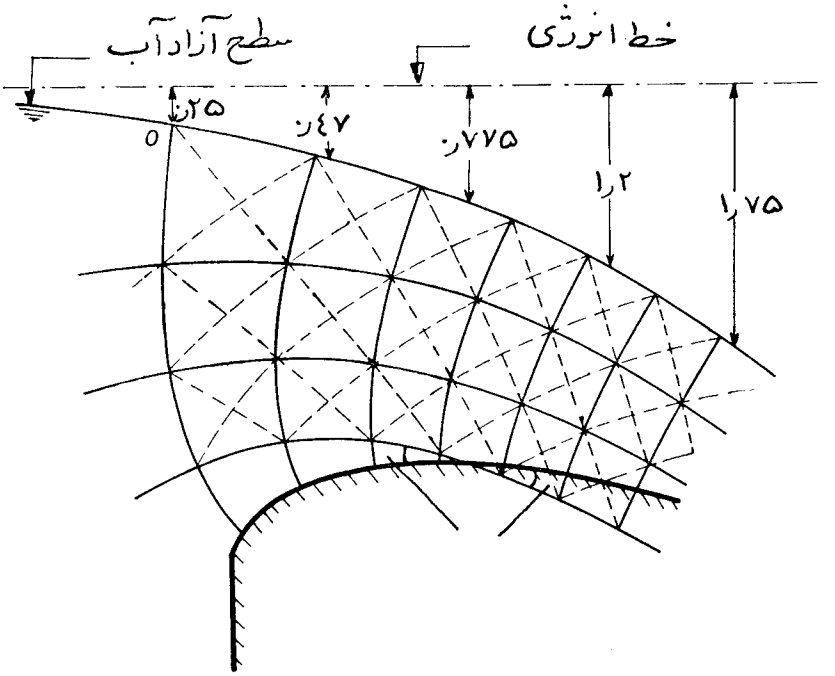
یک منحنی‌برای‌سطح آزاد آب بطورفرضی‌بنحوی که درشکل (۲٤) نشان داده شده انتخاب‌میشود.

یک نقطه‌ی فرضی o نیز روی سطح آزاد آب انتخاب میشود.

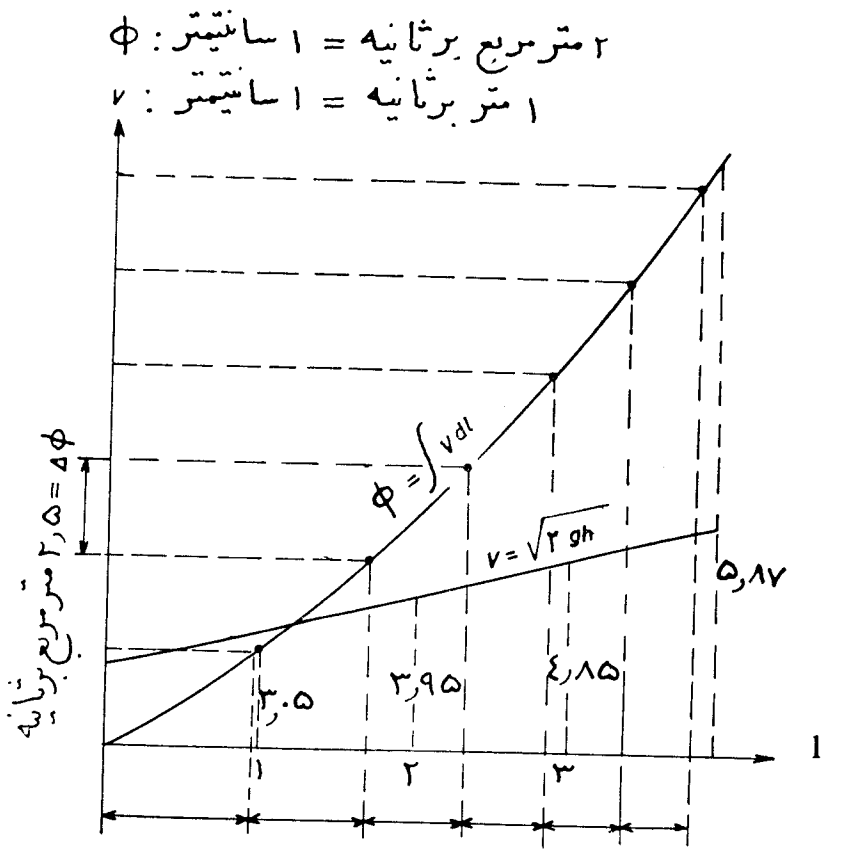
دریک دستگاه مختصات بنحوی که درشکل (۲۰) ملاحظه‌میشود طول گسترده شده‌ی منحنی‌سطح آزاد آب برروی محور افقی (l) و سرعت $V=\sqrt{2gh}$ روی محور قائم نقل میگردند.

ارتفاع های h ازشکل (۲٤) تعیین میگردند. اختلاف پتانسیل $\Delta\Phi$ مساوی با ۲٫۰ متر مربع

برثانیه انتخاب میگردد. درشکل (۲۵) محور قائم برحسب مقدارهای $\Delta\Phi$ مدرج گردیده و با رسم خط‌های افقی‌وپیدا نمودن نقطه‌های تلاقی‌آنها با منحنی $\Phi = \int Vdl$ میتوان طولهای l وابسته را روی محور افقی



شکل ۲۴



شکل ۲۵

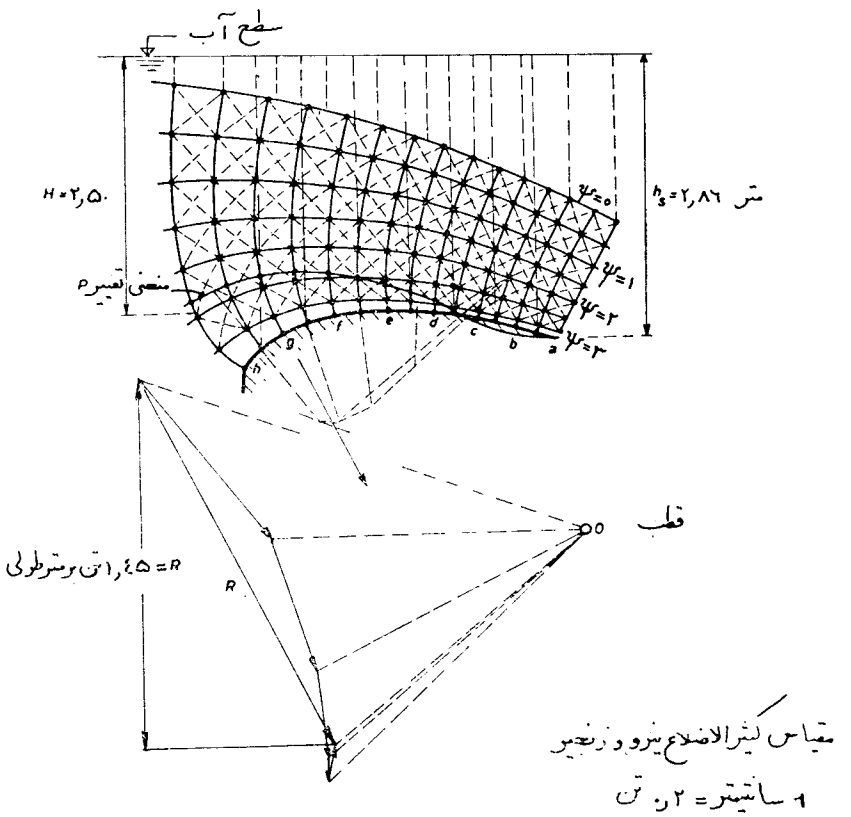
مشخص نموده واین طولهارا از نقطه‌ی o روی منحنی معرف خط آزاد جریان آب تدریجاً نقل نمود.

بطوریکه شکل (۲٤) نشان میدهد نهائی‌ترین خط جریان تحتانی که طبق روش ترسیمی مذکور در فوق بدست میآید برسطح سرریز سد متحرك منطبق نگردیده و بین نهائی‌ترین خط جریان مزبور و منحنی مشخص سطح سرریز زاویه‌ای بوجود میآید . پیدایش این زاویه دلیل براینست که برای سطح آزاد آب منحنی مناسب انتخاب نشده است .

بطوریکه از روی شکل مشاهده میشود بایستی درموقع انتخاب منحنی جدید برای سطح آزاد آب سعی نمود که شیب آن نسبت به‌صفحه‌ی افق کمتر باشد تا خط جریان تحتانی برسطح سرریز منطبق شود.

شکلهای (۲٦) و (۲۷) برای سطح آزاد جدید آب رسم گردیده‌اند و بطوریکه ساختمان ترسیمی شکل مشخص میکند تطابق پائین‌ترین خط جریان وسطح بدنه‌ی سرریز فوق‌العاده رضایت بخش میباشد.

شرط عمود بودن قطر مربعها کمک بزرگی برای تحقیق درباره‌ی صحت روش ترسیمی است.



شکل ۲٦

پس ازتعیین شدن شبکه‌ی جریان میتوان آبده سرریز وفشار هیدرودینامیکی را بدست‌آورد.

آبده سرریز

آبده سرریز همانطور که گفته شد از فورمول:

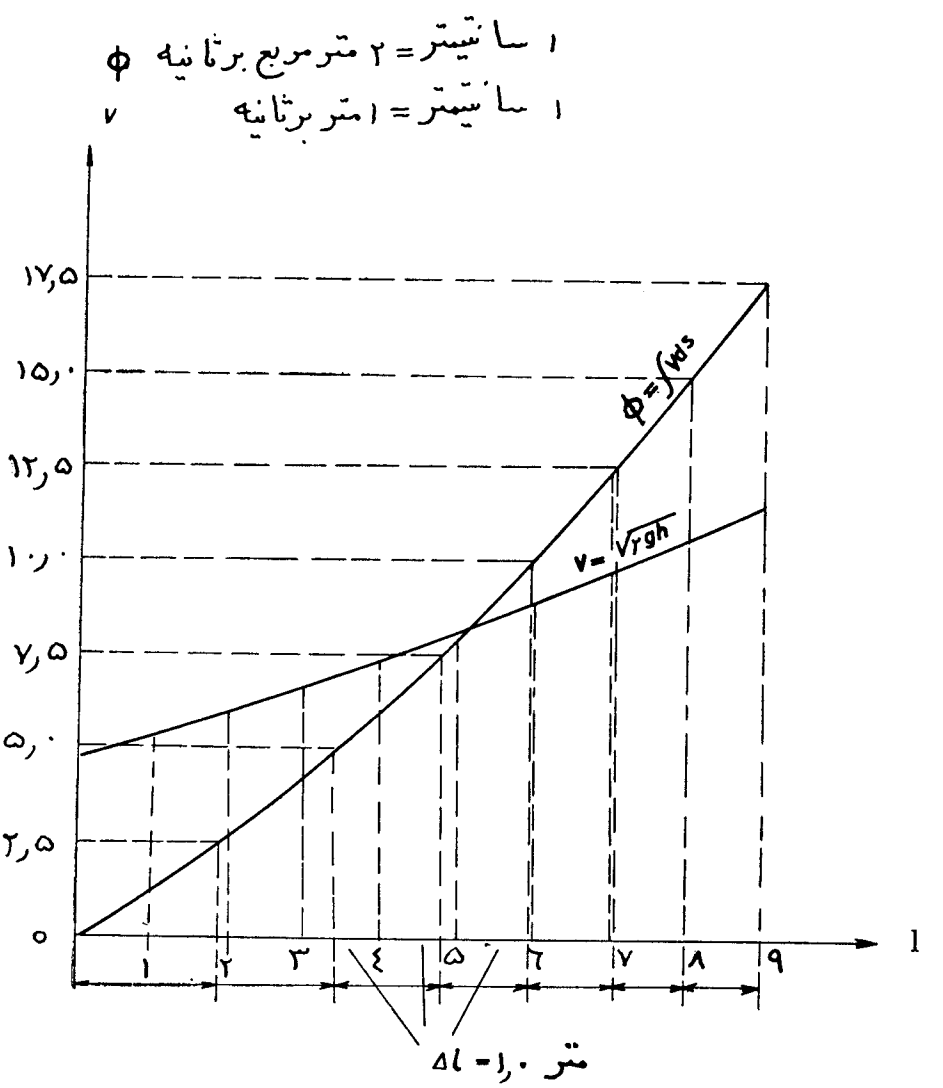
$$Q = \psi(\text{وابسته به‌سطح سرریز}) - \psi(\text{وابسته به‌سطح آزاد آب})$$

بدست میآید. با توجه به‌شکل (۲۶) ملاحظه میشود که آبده سرریز برابره ۲ر۲ × ۳ر۲ ویا ۸ مترمکعب درثانیه برای واحد طول سرریز است. فورمول عملی برای محاسبه‌ی آبده سرریزها عبارتست از:

$$Q=\frac{۲}{۳}\mu\sqrt{۲g}H^{۳/۲}$$

که درآن $\mu=$ ۰ر۷ و متر $H=$ ۲ر۵ می‌باشد بنابراین:

$$Q=\frac{۲}{۳}\times ۰ر۷ \times ۴ر۴۳ \times ۲ر۵^{۳/۲}=$$ ۱ر۸ ثانیه/متر مکعب



شکل ۲۷

فشار هیدرودینامیکی برسطح سرریز

ابتدا منحنی تغییر فشار P روی بدنه‌ی سطح سرریز طبق فورمول برنولی:

$$P=P_{۰}-\frac{V^{۲}}{۲g}$$

تعیین میشود. سرعت درنقطه‌ای که آب سطح سرریز سد متحرك را ترك مینماید برابر است با :

$$V_o = \sqrt{2g \cdot 2{,}76} = 7{,}35 \text{ متر/ثانیه}$$

سرعتهای نقطه‌های دیگر از رابطه‌ی:

$$V_i = V_o \frac{c_o}{c_i}$$

پیدا میشوند. جمیع محاسبه‌ها طبق‌آنچه بیان گردید در جدولی که ذیلاً ارائه میشود گنجانیده شده است. اندازه‌های P برحسب تن برمتر مربع، که ازآخرین ستون جدول بدست میآیند، برای تعیین منحنی تغییر فشار بکار برده میشوند.

بعلت انتخاب پروفیل نمونه‌ی اسکاند، بطوریکه پیش‌بینی میشد، تغییر فشار روی سطح فوق‌العاده رضایتبخش است. بالاخره بکمك ترسیم کثیرالاضلاع نیروها وزنجیراندازه‌ی منتجه‌ی نیروهای فشارمشخص میشود. برای سازنده‌ی‌سد متحرك تصویرقائم‌این نیروی منتجه یعنی ۱٫۴۵ تن برمتر طولی‌حائزاهمیت‌میباشد.

بطوریکه از شکل (۲۲) میتوان تخمین زد مقدار فشار هیدروستاتیکی برای عرض ۳ متر سرریز درحدود ۶٫۶ تن برمتر طولی میباشد. هرگاه طول دهانه‌ی سد برابر ۲۰ متر باشد ابتدا طبق تخمین فوق چنین تصور میشود که نیروی فشار آب بر روی سرریز که بایستی برای محاسبه‌ی قدرت دستگاه مانور سد متحرك منظور شود، درحدود ۲۰ متر × ۶٫۶ تن برمتر طولی = ۱۳۲ تن است، درصورتیکه‌طبق‌محاسبه‌ی فوق نیروی‌مزبور برابر ۲۰ متر × ۱٫۴۵ تن برمترطولی = ۲۹ تن میگردد واز اینجا اهمیت محاسبه‌ی‌آبده وفشار هیدرودینامیکی وهمچنین طرح منطقی شکل هندسی سرریز آشکار و واضح میشود.

جدول محاسبه

شمارش نقطه‌ها	طول c	c_o/c_i	$V_i = V_o \frac{c_o}{c_i}$	$V_i^2/2g$	P_o	$P = P_o - V^2/2g$ تن برمترمربع
a	۰٫۴۰	۱٫۰۰	۷٫۳۵	۲٫۷۵	۲٫۷۲	−۰٫۰۳
b	۰٫۴۰	۱٫۰۰	۷٫۳۵	۲٫۷۵	۲٫۶۳	−۰٫۱۲
c	۰٫۴۱	۰٫۹۶	۷٫۱۰	۲٫۵۵	۲٫۵۵	۰۰
d	۰٫۴۴	۰٫۹۰	۶٫۳۰	۲٫۰۵	۲٫۴۸	+۰٫۴۳
e	۰٫۵۰	۰٫۸۰	۵٫۹۰	۱٫۸۰	۲٫۵۰	+۰٫۷۰
f	۰٫۵۲	۰٫۷۵	۵٫۵۰	۱٫۵۵	۲٫۶۲	+۱٫۰۷
g	۰٫۵۵	۰٫۷۲	۵٫۳۰	۱٫۴۰	۲٫۸۵	+۱٫۴۵
h						