Prozhefa.com

با استفاده از جدول فوق، هیدروگراف‌های ورودی و خروجی مطابق شکل ۱۳-۳ رسم شده، ملاحظه می‌شود که نقطهٔ اوج هیدروگراف خروجی در محلی واقع می‌شود که دو هیدروگراف یکدیگر را قطع می‌نمایند. خواننده می‌تواند به راحتی مسأله را برای خود اثبات نماید.

۱۳-۲ روندیابی رودخانه (River Roating)

۱۳-۲-۱ روش ماسکینگام (Muskingum Method)

واضح است که حرکت سیلاب و در نتیجه روندیابی آن تابعی است از زبری کانال و مشخصات مخزن در منطقهٔ مورد مطالعه که در حالت روندیابی سیل از داخل مخزن می‌توان از تأثیر زبری صرفنظر نمود و تنها اثر مخزن را در نظر گرفت. چنین روشی که به «روندیابی مخزن» موسوم است و در آن فرض می‌گردد که تراز آب در تمام مخزن یکسان است می‌تواند هنوز برای روندیابی سیل در قسمتی از یک رودخانه که دارای سازهٔ کنترل‌کنندهٔ دبی خروجی نبوده و ضمن تأثیر قابل‌ملاحظه زبری، تراز آب نیز در ابتدا و انتهای منطقهٔ مورد مطالعه اختلاف محسوس‌تری دارد، مورد استفاده قرار گیرد، اما بدیهی است جوابهای به‌دست آمده از دقت کافی برخوردار نبوده بلکه تنها با تقریبی قابل قبول خواهند بود.

برای دقت بیشتر در این‌گونه مسایل از روشهای دیگری استفاده می‌گردد که از آن جمله است روشی که در سال ۳۵-۱۹۳۴ توسط Mc Carthy و به منظور تحقیقات روی بستر رودخانهٔ Muskingum در Ohio جهت کنترل سیل پیشنهاد و بدین‌منظور به روش ماسکینگام موسوم گردید.

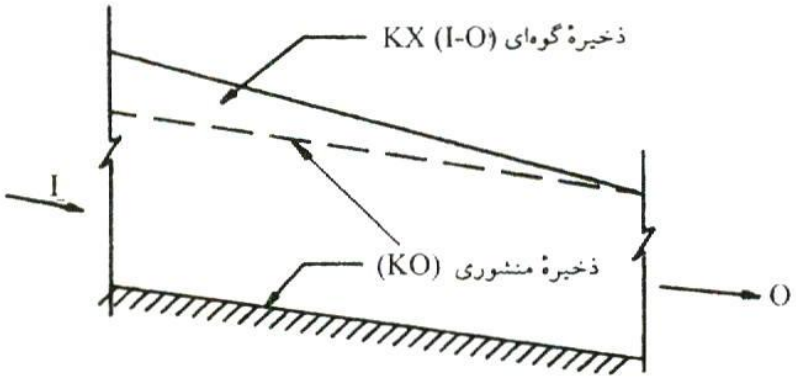
بدیهی است که در این حالت نیز معادلهٔ پیوستگی صادق بوده و لذا برای یک فاصلهٔ زمانی محدود Δt می‌توان معادلهٔ مزبور را جهت دو انتهای منطقهٔ موردنظر از رودخانه به شکل زیر نوشت:

$$\frac{۱}{۲}(I_۱ + I_۲)\,\Delta t - \frac{۱}{۲}(O_۱ + O_۲)\,\Delta t = V_۲ - V_۱ \qquad (۶\text{-}۱۳)$$

حجم ذخیره منحصراً به‌وسیلهٔ دبی خروجی محاسبه نخواهد شد بلکه چنانچه دبی‌های ورودی و خروجی در محدودهٔ خاص مورد مطالعه به ترتیب تابع عمق بالادست و پایین‌دست باشند (شکل ۱۳-۴)، ذخیرهٔ کل بستگی به هر دو دبی ورودی و خروجی داشته و به دو قسمت ذخیره منشوری (Prism Storage) که تنها تابع دبی خروجی می‌باشد و ذخیرهٔ گوه‌ای (Wedge Storage) که به تفاضل دبی‌های ورودی و خروجی $(I - O)$ بستگی دارد تقسیم می‌گردد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود چنانچه دبی‌های ورودی و خروجی مساوی باشند تنها ذخیرهٔ منشوری وجود داشته، از طرفی در صورتی‌که شدت جریان ورودی از شدت جریان خروجی بیشتر باشد، ارتفاع آب در ابتدای منطقه بیشتر از انتها بوده و ذخیرهٔ گوه‌ای مثبت به‌وجود خواهد آمد و چنانچه شدت جریان

Prozhefa.com



شکل ۱۳-۴ ذخیرهٔ منشوری و گوه‌ای

ورودی از شدت جریان خروجی کمتر گردد، آب رودخانه در حال پایین رفتن بوده و ذخیره گوه‌ای منفی تشکیل خواهد گردید. حال چنانچه رابطهٔ بین ذخیره کل، دبی ورودی و خروجی (V ، I و O) خطی فرض گردد، می‌توان با توجه به مطالب فوق ذخیره منشوری را معادل KO و ذخیرهٔ گوه‌ای را برابر $KX(I - O)$ درنظر گرفت و لذا:

$$V = KO + KX(I - O) \qquad (۷-۱۳)$$

$$V = K[IX + O(۱ - X)] \qquad (۸-۱۳)$$

معادلهٔ فوق که به معادلهٔ ماسکینگام مشهور است، اساس بحث در این روش را تشکیل داده و در آن K و X عبارتند از دو ضریب به گونه‌ای که با توجه به مجموعهٔ داده‌ها، روابط مذکور را بصورت حتی‌الامکان خطی تایید نمایند. با توجه به پیوستگی جریان، معادلهٔ ۱۳-۸ به شکل زیر در می‌آید:

$$V_۲ - V_۱ = K[X(I_۲ - I_۱) + (۱ - X)(O_۲ - O_۱)] \qquad (۹-۱۳)$$

با حذف $V_۲ - V_۱$ از معادلات ۱۳-۶ و ۱۳-۹ و ساده نمودن آن، به رابطهٔ زیر می‌رسیم:

$$O_۲ = C_۱' I_۲ + C_۲' I_۱ + C_۳' O_۱ \qquad (۱۰-۱۳)$$

که در آن:

$$C_۱' = \frac{۰/۵\Delta t - KX}{K - KX + ۰/۵\Delta t} \qquad (۱۱-۱۳)$$

$$C_۲' = \frac{۰/۵\Delta t + KX}{K - KX + ۰/۵\Delta t} \qquad (۱۲-۱۳)$$

$$C_۳' = \frac{-۰/۵\Delta t - KX + K}{K - KX + ۰/۵\Delta t} \qquad (۱۳-۱۳)$$

Prozhefa.com

و $C_1' + C_2' + C_3' = 1$ خواهد بود. و یا می‌توان مقدار O_2 را به‌صورت زیر به‌دست آورد:

$$O_2 = O_1 + C_1 (I_1 - O_1) + C_2 (I_2 - I_1) \qquad (۱۳-۱۴)$$

جایی‌که:

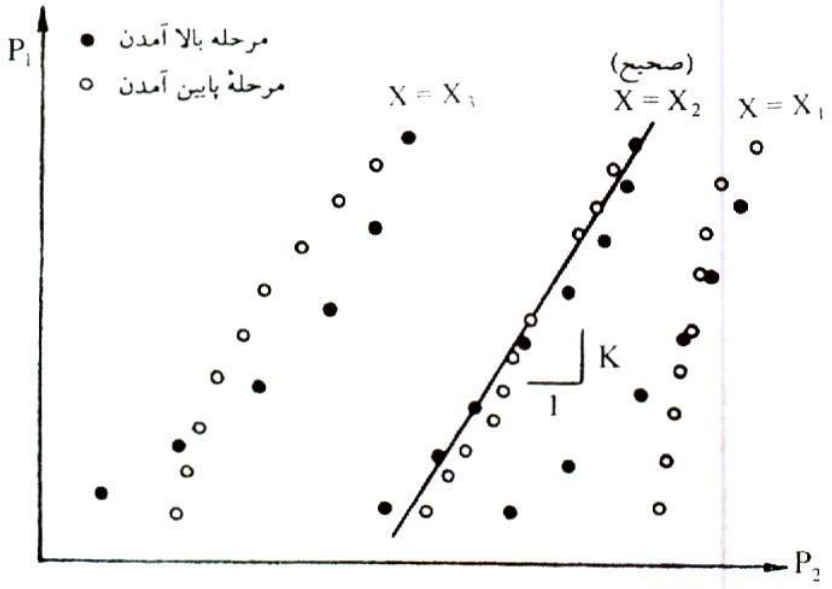
$$C_1 = \frac{\Delta t}{K - KX + 0.5\Delta t} \qquad (۱۳-۱۵)$$

$$C_2 = \frac{0.5\Delta t - KX}{K - KX + 0.5\Delta t} \qquad (۱۳-۱۶)$$

۱۳-۲-۱-۱ محاسبه ضرایب K و X برای محاسبهٔ مقادیر K و X، لازم است تا هیدروگراف‌های ورودی و خروجی برای یک سیل معین، مشخص باشد. حال با ترکیب دو معادلهٔ ۱۳-۶ و ۱۳-۹ می‌توان K را از رابطهٔ زیر تعیین نمود:

$$K = \frac{0.5\Delta t\,[(I_2 + I_1) - (O_2 + O_1)]}{X(I_2 - I_1) + (1 - X)(O_2 - O_1)} = \frac{P_1}{P_2} \qquad (۱۳-۱۷)$$

سپس با انتخاب مقادیر مختلف برای X و استفاده از هیدروگراف‌های ورودی و خروجی، تغییرات P_1 نسبت به P_2 را مشابه شکل ۱۳-۵ رسم نموده، آن مقدار از X که باعث ایجاد یک خط راست و یا تقریبا یک خط راست در اتصال نقاط مختلف برای دو حالت بالارونده و پایین‌رونده گردد، مقدار صحیح X بوده و K نیز از شیب خط مزبور به‌دست می‌آید (در مواقعی نیز لازم است تا از طریق درون‌یابی مقدار X را معین کرد). اضافه می‌شود که K دارای واحد زمان و X بدون بعد است.



شکل ۱۳-۵ تعیین مقادیر K و X در روش ماسکینگام

Prozhefa.com

شایان ذکر است که مقادیر X و K که در مطلب بالا ثابت فرض گردیدند، در حقیقت متغیر بوده و تابعی از خصوصیات قسمتهای مختلف منطقهٔ مورد مطالعه می‌باشند که کلیات این مطلب در سال ۱۹۶۹ توسط J.A.Cunge بیان گردید و بعد از آن نیز روشهای عددی برای تعیین دو مقدار فوق و با توجه به متغیر بودن آنها در سالهای ۱۹۷۸ و ۱۹۷۹ توسط V.M. Ponce امتحان گردیده‌اند.

۱۳-۲-۱-۲ تعیین هیدروگراف خروجی پس از تعیین مقادیر X و K برای یک سیل مشخص، می‌توان آنها را برای هر هیدروگراف ورودی دیگر از رودخانه به کار گرفت. همچنین لازم است تا برای جلوگیری از خطا، مقدار فواصل زمانی روند را در محدودهٔ خاصی انتخاب نمود که طبق توصیه V.T. Chow (۱۹۶۴) این محدوده به‌صورت $2KX < \Delta t < K$ می‌باشد. با انتخاب Δt ، مقادیر C_1 و C_2 از معادلات ۱۳-۱۵ و ۱۳-۱۶ محاسبه شده و با توجه به دانستن مقدار دبی خروجی در زمان شروع سیل، مقادیر بعدی دبی خروجی از معادلهٔ ۱۳-۱۴ و مطابق جدول ۱۳-۴ محاسبه می‌گردد. اضافه می‌نماید که روش ماسکینگام منحصراً موقعی کاربرد دارد که رابطهٔ بین O ، I و V مطابق معادلهٔ ۱۳-۸ خطی فرض شود و در هر حال این روش به نتایج بسیار دقیق منتج نخواهد گردید اما برای پروژه‌های کنترل سیل روش بسیار مناسبی است.

مثال ۱۳-۲

هیدروگراف ورودی یک جریان در جدول زیر مشخص شده است. برای رودخانهٔ موردنظر $X = ۰/۱۵$ و روز $K = ۲/۳$ معین گردیده‌اند مطلوب است تعیین هیدروگراف خروجی جریان با استفاده از روش ماسکینگام و با فرض آنکه مقدار دبی خروجی در لحظهٔ شروع سیلاب $۲/۵ m^3/s$ باشد.

(زمان) (روز)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
دبی ورودی (m^3/s)	۳	۴	۶	۹	۱۲/۵	۱۵	۱۷	۱۸/۵	۱۹/۵	۲۰	۱۹/۲۵	۱۸/۲۵	۱۷	۱۵/۵	۱۳/۵	۱۱	۸/۵	۶/۵	۵	۴

حل :

ملاحظه می‌شود که مقدار Δt معادل یک روز بوده و رابطهٔ زیر صادق است:

$$2KX = ۲ \times ۲/۳ \times ۰/۱۵ = ۰/۶۹ < \Delta t = ۱ < K = ۲/۳$$

برای محاسبهٔ مقدار دبی خروجی از معادلهٔ ۱۳-۱۴ استفاده می‌گردد:

$$O_2 = O_1 + C_1 (I_1 - O_1) + C_2(I_2 - I_1)$$

Prozhefa.com

و مقادیر C_1 و C_2 را می‌توان از روابط مربوطه به شکل زیر محاسبه نمود:

$$C_1 = \frac{\Delta t}{K - KX + ۰/۵\ \Delta t} = \frac{۱}{۲/۳ - ۲/۳ \times ۰/۱۵ + ۰/۵ \times ۱} = ۰/۴۱$$

$$C_2 = \frac{۰/۵\ \Delta t - KX}{K - KX + ۰/۵\Delta t} = \frac{۰/۵ \times ۱ - ۲/۳ \times ۰/۱۵}{۲/۳ - ۲/۳ \times ۰/۱۵ + ۰/۵ \times ۱} = ۰/۰۶$$

حال برای تعیین هیدروگراف خروجی و برای سادگی امر، مطابق جدول ۱۳-۴ عمل می‌گردد.

جدول ۱۳-۴ محاسبهٔ هیدروگراف خروجی (مثال ۱۳-۲)

(۱) زمان (روز)	(۲) I (m^3/s)	(۳) I_2-I_1 (m^3/s)	(۴) $C_2(I_2-I_1)$ (m^3/s)	(۵) I_1-O_1 (m^3/s)	(۶) $C_1(I_1-O_1)$ (m^3/s)	(۷) (۴)+(۶) (m^3/s)	(۸) $O_2=O_1+$(۷) (m^3/s)
۱	۳	۱	۰/۰۶	۰/۵	۰/۲۰۵	۰/۲۶۵	۲/۵
۲	۴	۲	۰/۱۲	۱/۲۴	۰/۵۱	۰/۶۳	۲/۷۶۵
۳	۶	۳	۰/۱۸	۲/۶	۱/۰۷	۱/۲۵	۳/۴۰
۴	۹	۳/۵	۰/۲۱	۴/۳۵	۱/۷۸	۱/۹۹	۴/۶۵
۵	۱۲/۵	۲/۵	۰/۱۵	۵/۸۶	۲/۴	۲/۵۵	۶/۶۴
۶	۱۵	۲	۰/۱۲	۵/۸۱	۲/۳۸	۲/۵۰	۹/۱۹
۷	۱۷	۱/۵	۰/۰۹	۵/۳۱	۲/۱۸	۲/۲۷	۱۱/۶۹
۸	۱۸/۵	۱	۰/۰۶	۴/۵۴	۱/۸۶	۱/۹۲	۱۳/۹۶
۹	۱۹/۵	۰/۵	۰/۰۳	۳/۶۲	۱/۴۸	۱/۵۱	۱۵/۸۸
۱۰	۲۰	-۰/۷۵	-۰/۰۴۵	۲/۶۱	۱/۰۷	۱/۰۲۵	۱۷/۳۹
۱۱	۱۹/۲۵	-۱	-۰/۰۶	۰/۸۴	۰/۳۴	۰/۲۸	۱۸/۴۱
۱۲	۱۸/۲۵	-۱/۲۵	-۰/۰۷۵	-۰/۴۴	-۰/۱۸	-۰/۲۵	۱۸/۶۹
۱۳	۱۷	-۱/۵	-۰/۰۹	-۱/۴۴	-۰/۵۹	-۰/۶۸	۱۸/۴۴
۱۴	۱۵/۵	-۲	-۰/۱۲	-۲/۲۶	-۰/۹۳	-۱/۰۵	۱۷/۷۶
۱۵	۱۳/۵	-۲/۵	-۰/۱۵	-۳/۲۱	-۱/۳۲	-۱/۴۷	۱۶/۷۱
۱۶	۱۱	-۲/۵	-۰/۱۵	-۴/۲۴	-۱/۷۴	-۱/۸۹	۱۵/۲۴
۱۷	۸/۵	-۲	-۰/۱۲	-۴/۸۵	-۱/۹۹	-۲/۱۱	۱۳/۳۵
۱۸	۶/۵	-۱/۵	-۰/۰۹	-۴/۷۴	-۱/۹۴	-۲/۰۳	۱۱/۲۴
۱۹	۵	-۱	-۰/۰۶	-۴/۲۱	-۱/۷۳	-۱/۷۹	۹/۲۱
۲۰	۴						۷/۴۲

Prozhefa.com

۱۳-۳ روش مقادیر اجرائی (Working Values)

در تعیین روندیابی سیل با این روش، به‌جای ذخیره گوِه‌ای در روش ماسکینگام، از شدت جریان اجرایی W(Working Discharge) استفاده می‌شود و آن عبارت است از شدت جریان دائمی فرضی که می‌تواند ذخیره‌ای معادل ذخیرهٔ گوه‌ای قبلی علاوه بر ذخیرهٔ منشوری ایجاد کند. یعنی اگر در این حالت ذخیرهٔ گوه‌ای را مطابق شکل ۱۳-۶ برابر $K(W - O)$ فرض کنیم خواهیم داشت:

$$K(W - O) = KX(I - O) \qquad (۱۳-۱۸)$$

$$W = X(I - O) + O = XI + O(۱ - X) \qquad (۱۳-۱۹)$$

و لذا در هر فاصلهٔ زمانی Δt ، می‌توان مقدار دبی خروجی آغاز و پایان را از روابط زیر به‌دست آورد:

$$O_۱ = \frac{W_۱ - I_۱X}{۱ - X} \qquad (۱۳-۲۰)$$

$$O_۲ = \frac{W_۲ - I_۲X}{۱ - X} \qquad (۱۳-۲۱)$$

که چنانچه این دو مقدار در معادلهٔ ۱۳-۶ (معادلهٔ پیوستگی) قرار داده شوند، خواهیم داشت:

$$V_۲ - V_۱ = \frac{\Delta t}{۲(۱ - X)}(I_۱ + I_۲) - \frac{\Delta t}{۲(۱ - X)}(W_۱ + W_۲) \qquad (۱۳-۲۲)$$

$$V_۱(۱ - X) + ۰/۵\,\Delta t\,(I_۱ + I_۲) - ۰/۵\,\Delta t\,W_۱ = V_۲(۱ - X) + ۰/۵\,\Delta t\,W_۲ \qquad (۱۳-۲۳)$$

حال اگر:

$$V_۱(۱ - X) + ۰/۵\,\Delta t\,W_۱ = R_۱ \qquad (۱۳-۲۴)$$

$$V_۲(۱ - X) + ۰/۵\,\Delta t\,W_۲ = R_۲ \qquad (۱۳-۲۵)$$

فرض گردند، رابطهٔ ۱۳-۲۳ به شکل زیر در می‌آید:

$$R_۲ = R_۱ + ۰/۵\,\Delta t(I_۱ + I_۲) - \Delta t\,W_۱ \qquad (۱۳-۲۶)$$

مقادیر $R_۱$ و $R_۲$ ، مقادیر اجرایی (Working Values) نامیده می‌شوند. از ادغام دو معادلهٔ ۱۳-۷ و ۱۳-۱۹، ذخیرهٔ کل به‌صورت:

$$V = KW \qquad (۱۳-۲۷)$$

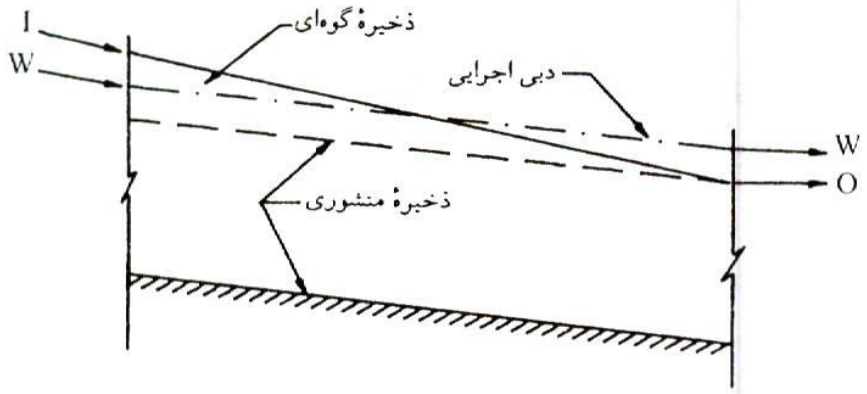
و مقدار ذخیرهٔ در آغاز و پایان هر فاصلهٔ زمانی به شکل:

$$V_۱ = K_۱\,W_۱ \qquad (۱۳-۲۸)$$

$$V_۲ = K_۲\,W_۲ \qquad (۱۳-۲۹)$$

حاصل می‌گردد.

Prozhefa.com



شکل ۱۳-۶ شمای ذخایر گوه‌ای و منشوری و دبی اجرایی

برای روندیابی سیل با این روش نخست مقدار W_1 را برای مقادیر معلوم I_1 ، O_1 و X محاسبه نموده و سپس V_1 و R_1 و R_2 را به ترتیب از روابط ۱۳-۲۸، ۱۳-۲۴ و ۱۳-۲۶ به‌دست می‌آورند. آن‌گاه با مشخص بودن K_2 (مربوط به O_2 فرضی) و استفاده از معادلات ۱۳-۲۵ و ۱۳-۲۹، مقدار W_2 و نهایتاً با به کارگیری رابطهٔ ۱۳-۲۱ مقدار O_2 تعیین گشته و با O_2 فرضی مقایسه می‌گردد. چنانچه دو مقدار با یکدیگر مساوی و یا نزدیک به یکدیگر بودند، این قسمت از مسأله حل شده و در غیراین‌صورت با O_2 انتخابی جدید مسأله تکرار می‌گردد. برای تعیین مقدار K ، چه در تمام فاصلهٔ زمانی ثابت $(K_1 = K_2 = K)$ و چه متغیر فرض شود بایستی مطابق آنچه در روش ماسکینگام گفته شد عمل گردد.

روش مقادیر اجرایی در بعضی موارد نظیر مواقعی‌که یک جریان ورودی اضافی داشته باشیم و یا جریان به‌وسیلهٔ مثلاً دریچه‌های سد کنترل گردد، از روش ماسکینگام دقیقتر است.

۱۳-۴ روش خصوصیات (Method of Characteristics)

این روش، یکی از روشهای هیدرولیکی روندیابی سیل است که اساس آن بر یک سری از معادلات جریانهای غیردائمی و در حقیقت حرکت موج سیل در رودخانه استوار است.

همان‌گونه که مکرر اشاره شده است، حرکت موج سیل در داخل یک رودخانه تابع معادلات مربوط به جریانهای غیردائمی بوده و بسته به این‌که دارای چه مشخصات و خصوصیاتی باشد، می‌توان حرکت آن را مورد بررسی قرار داد. یکی از مهمترین این سیل‌ها، موج سیل مونوکلینال یا موج سیل یک‌طرفه است که موج در هنگام حرکت به طرف پایین‌دست تغییر شکل نداده و در قسمت ۱۲-۲-۳-۱ مورد مطالعه قرار گرفت که براساس آن می‌توان سرعت سیل را از روابط ۱۲-۲۰ و ۱۲-۲۱ به‌دست آورد. در چنین حالتی ارتفاع پیشانی موج تغییر نکرده و از طرفی در عبارت $\frac{dQ}{dy}$ ، Q تنها تابعی از y می‌باشد. در این صورت (Q تنها تابع y) جریان یکنواخت بوده $(S_0 = S_f)$ و موج مربوطه را موج سینماتیک (Kinematic Wave)

Prozhefa.com

می‌نامند. برای اثبات وجود چنین موجی، می‌توان از معادلهٔ پیوستگی به شکل زیر استفاده نمود:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + T\frac{\partial y}{\partial t} = ۰ \qquad (۱۳-۳۰)$$

$$\frac{dQ}{dy}\cdot\frac{\partial y}{\partial x} + T\frac{\partial y}{\partial t} = ۰ \qquad (۱۳-۳۱)$$

$$\frac{۱}{T}\cdot\frac{dQ}{dy}\cdot\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = ۰ \qquad (۱۳-۳۲)$$

با توجه به رابطهٔ a۱۲-۲۱،

$$\frac{dx}{dt}\cdot\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = ۰ \qquad (۱۳-۳۳)$$

از طرفی،

$$dy = \frac{\partial y}{\partial x}\cdot dx + \frac{\partial y}{\partial t}\cdot dt \qquad (۱۳-۳۴)$$

و لذا،

$$\frac{dy}{dt} = \frac{dx}{dt}\cdot\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = ۰ \qquad (۱۳-۳۵)$$

که در آن:

$$\frac{dx}{dt} = V_w = \frac{۱}{T}\cdot\frac{dQ}{dy} \qquad (۱۳-۳۶)$$

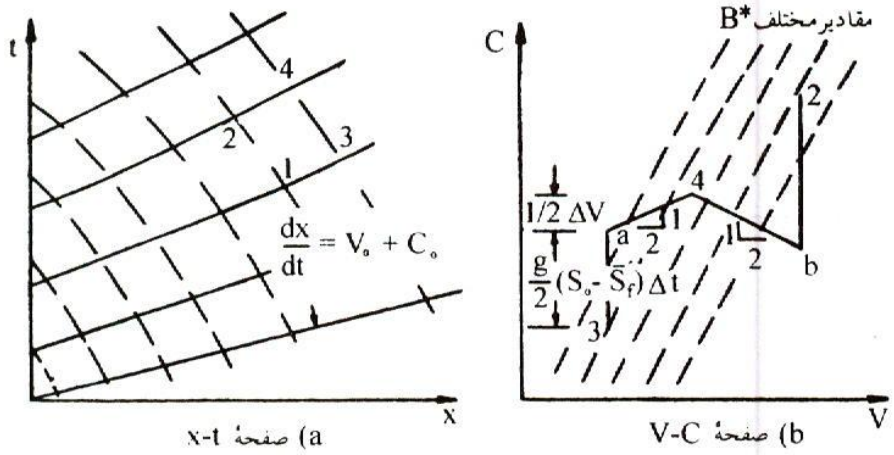
از معادلهٔ ۱۳-۳۵ مشخص می‌شود که اگر با سرعت V_w ، داده شده به‌وسیلهٔ معادلهٔ ۱۳-۳۶ حرکت کنیم، y و نتیجتاً Q ثابت دیده شده و لذا می‌توان نتیجه گرفت که موج سینماتیک موجود است و این موج از آن جهت سینماتیک نامیده شده که اساس آن تنها از معادلهٔ پیوستگی حاصل شده و حال آن‌که آن سری از امواج که از مجموعه معادلات پیوستگی و دینامیکی حاصل می‌گردند به‌امواج دینامیکی مشهورند. به عبارت دیگر در امواج دینامیکی سرعت به x و t بستگی داشته در حالی‌که در امواج سینماتیکی تنها تابع y می‌باشد.

در هر حال در روندیابی سیل به روش خصوصیات، به مجموعه معادلات جریانهای غیردائمی بستگی داشته و همان‌گونه که قبلاً نشان داده شد، این روش یکی از ابزارهای توانا برای حل مسایل جریانهای غیردائمی است. برای به کارگیری این روش، فرض شود که خطوط خصوصیات در صفحه x-t مطابق شکل a۱۳-۷ رسم گردیده باشند. چنانچه مقادیر V و C در نقاط ۱، ۲ و ۳ مشخص بوده و بخواهیم مقادیر مربوطه را در نقطه ۴ به‌دست آوریم، با استفاده از معادلات ۱۲-۳۶ و ۱۲-۳۷ می‌توان نوشت:

$$C_۴ - C_۲ = \frac{۱}{۲}g\,(S_۰ - \bar{S}_f)\,\Delta t - \frac{۱}{۲}(V_۴ - V_۲) \qquad (۱۳-۳۷)$$

$$C_۴ - C_۳ = \frac{-۱}{۲}g\,(S_۰ - \bar{S}_f)\,\Delta t + \frac{۱}{۲}(V_۴ - V_۳) \qquad (۱۳-۳۸)$$

Prozhefa.com



شکل ۱۳-۷ روندیابی سیل با روش خصوصیات

که در این معادلات، $\bar{S}_f$ عبارت است از متوسط شیب اصطکاک در فاصلهٔ زمانی. با فرض این‌که رودخانه مستطیلی عریض باشد ومقدار $g(S_o - \bar{S}_f)$معادل A^* در نظر گرفته شود:

$$A^* = gs_o - \frac{V^2 n^2 g}{R^{4/3}} = gs_o - \frac{V^2 n^2 g^{7/3}}{(g^{1/2}R^{1/2})^{8/3}} = gs_o - \frac{V^2 n^2 g^{7/3}}{C^{8/3}} \qquad (۱۳-۳۹)$$

با قرار دادن:

$$B^* = \frac{V^2}{C^{8/3}} \qquad (۱۳-۴۰)$$

در معادلهٔ ۱۳ -۳۹، داریم :

$$A^* = gs_o - B^* n^2 g^{7/3} \qquad (۱۳-۴۱)$$

که می‌توان از معادلهٔ ۱۳-۴۰ و به ازای مقادیر مختلف B^* ، منحنی کمکی نظیر شکل ۱۳b-۷ رسم نمود. حال با توجه به مقادیر معلوم x ، t ، V و C در نقاط ۲ و ۳، مقادیری برای این پارامترها در نقطهٔ ۴ حدس زده می‌شود. سپس مقداری برای B^* در نقطهٔ ۴ فرض گردیده و از آن‌جا مقادیر متوسط B^* برای فاصلهٔ زمانی از ۲ تا ۴ و ۳ تا ۴ محاسبه می‌گردد. با استفاده از معادلهٔ ۱۳-۴۱ مقادیر A^* مربوط به B^* های به‌دست آمده، معین و آن‌گاه مقادیر $\frac{g}{2}(S_o - \bar{S}_f)$ به شکل زیر محاسبه می‌گردند:

$$[\Delta t]_{2-4}\left[\frac{g}{2}(S_o - \bar{S}_f)\right]_{2-4} = \frac{1}{2}[A^*]_{2-4}[\Delta t]_{2-4} \qquad (۱۳-۴۲)$$

$$[\Delta t]_{3-4}\left[\frac{g}{2}(S_o - \bar{S}_f)\right]_{3-4} = \frac{1}{2}[A^*]_{3-4}[\Delta t]_{3-4} \qquad (۱۳-۴۳)$$

با به‌دست آوردن این مقادیر، نقاط ۲ و ۳ با توجه به مقادیر مربوطهٔ V ، C و B^* ، در شکل ۱۳b-۷

Prozhefa.com

مشخص شده و خطوط قائم $3a$ و $2b$ به مقدارهای $\frac{g}{2}(S_0 - \bar{S}_f)_{3-4}(\Delta t)_{3-4}$ و $\frac{g}{2}(S_0 - \bar{S}_f)_{2-4}(\Delta t)_{2-4}$ رسم می‌گردند. از نقاط a و b مطابق شکل خطوطی با شیب ۲:۱ رسم می‌گردند تا یکدیگر را در نقطهٔ ۴ قطع کنند. چنانچه B^* به‌دست آمده برای نقطهٔ ۴ با کمی تقریب مساوی همان مقادیر B^* به‌دست آمده از مقادیر V و C انتخابی باشد، اعداد انتخابی صحیح و اگر مغایر یکدیگر باشند، تکرار بعدی مورد نیاز می‌باشد. از مقدار به‌دست آمده نهائی برای C، عمق جریان از رابطهٔ $y \approx R = \frac{C^2}{g}$ به‌دست می‌آید و سپس برای دیگر نقاط نیز مشابه این عمل می‌گردد.

۱۳-۵ روش همانندی پخش (Diffusion Analogy)

یکی دیگر از روشهای هیدرولیکی تقریبی که می‌تواند در روندیابی سیل به کار گرفته شود، استفاده از تئوری پراکندگی (Diffusion Theory) ذرات جامد است که براساس آن، می‌توان معادلهٔ دیفرانسیل زیر را نوشت:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = K \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} \qquad (۴۴-۱۳)$$

در این معادله N تعداد ذرات، t زمان، K ضریب پخش و x فاصله می‌باشد. چنانچه فرض گردد پخش آشفتگی موجود در ذرات آب مشابه پخش ذرات است، این معادله می‌تواند توزیع ذرات سیال را در جهت جریان (x) به صورت تابعی از زمان (t) و موقعیت مکانی (x) معین سازد. حال اگر تأثیر آشفتگی جریان با تغییرات عمق جریان مشخص گردد، معادلهٔ فوق به‌صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = K \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \qquad (۴۵-۱۳)$$

از طرفی معادلهٔ ۱۲-۱۸ را برای یک کانال مستطیلی عریض با سطح مقطع ثابت و شیب کم و با فرض ثابت بودن ضریب شزی می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$Q = bCy\sqrt{y\left(S_0 - \frac{\partial y}{\partial x}\right)} \qquad (۴۶-۱۳)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{3}{2} bC \frac{\partial y}{\partial x}\sqrt{y\left(S_0 - \frac{\partial y}{\partial x}\right)} - \frac{1}{2} bCy \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\sqrt{\frac{y}{S_0 - \frac{\partial y}{\partial x}}} \qquad (۴۷-۱۳)$$

با توجه به این‌که $V = C\sqrt{y\left(S_0 - \frac{\partial y}{\partial x}\right)}$ می‌باشد، برای شیب کم می‌توان نوشت:

$$V_w = \frac{3}{2} V = \frac{3}{2} C\sqrt{y\left(S_0 - \frac{\partial y}{\partial x}\right)} \qquad (۴۸-۱۳)$$

با جاگذاری این معادله در رابطهٔ ۱۳-۴۷ داریم:

Prozhefa.com

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = bV\frac{\partial y}{\partial x} - \frac{bVy}{3(S - \partial y/\partial x)}\cdot\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \qquad (۴۹-۱۳)$$

با گذاشتن مقدار $\frac{\partial Q}{\partial x}$ از این معادله در معادلهٔ پیوستگی (۱۳-۳۰)، رابطهٔ زیر نتیجه خواهد شد:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{\partial y}{\partial t} + V\frac{\partial y}{\partial x} = K\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \qquad (۵۰-۱۳)$$

$$K = \frac{Vy}{3(S_0 - \partial y/\partial x)} \qquad (۵۱-۱۳)$$

رابطهٔ ۱۳-۵۰، معادلهٔ دیفرانسیل اصلی جریانهای سیل در رودخانه‌های طبیعی بوده که در آن ضریب K به ضریب پخش معروف و مقدار آن با توجه به مشخصات رودخانه متفاوت و از حدود 10^6 تا 10^7 سانتیمتر مربع بر ثانیه تغییر می‌یابد. برای حل این معادله، Hayami (۱۹۵۱) راه‌حل ذیل را ارائه می‌نماید:

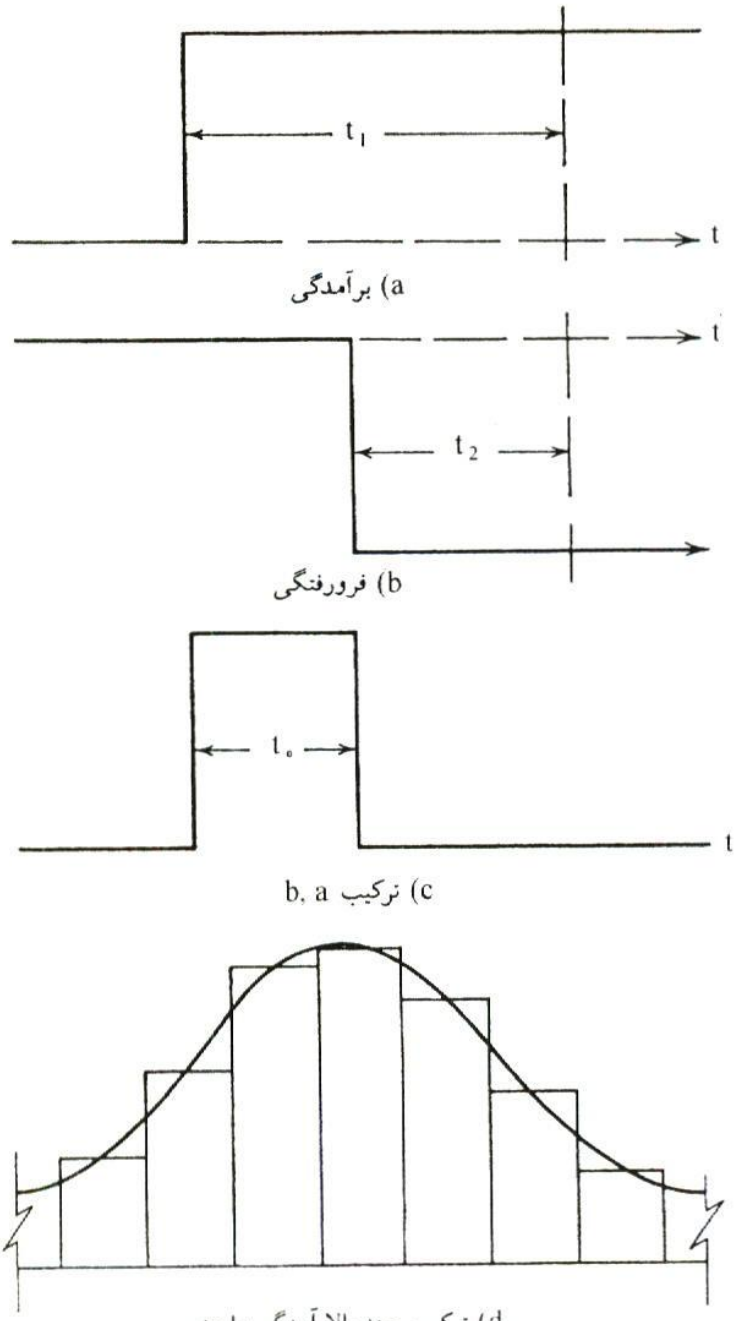
$$\frac{\Delta y_2}{\Delta y_1} = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\frac{x}{2\sqrt{kt}}} \exp\left[\frac{V_w x}{2K} - Z^2 - \left(\frac{V_w x}{2KZ}\right)^2\right] dZ \qquad (۵۲-۱۳)$$

که در آن Δy_1 = افزایش عمق جریان در نقطه‌ای بفاصلهٔ x از بالادست (مقطع ۱) نسبت به‌عمق نرمال اولیه (شکل ۱۳a-۸)، Δy_2 = افزایش عمق ایجاد شده در مقطع ۲، K = ضریب پخش، $V_w = 1/5V$، V = متوسط سرعت و Z = یک متغیر مربوط به یک موج موهومی با عمق ثابت پس از گذشت زمان t است که بنام واحد سیل نامیده می‌شود. سپس اثر یک بالاآمدگی آب در یک زمان محدود می‌تواند با ترکیب برآمدگی شکل ۱۳a-۸ و فرورفتگی بعدی نشان داده شده در شکل ۱۳b-۸ که برای مقدار مشابه به‌دست آمده است، به‌صورت شکل ۱۳c-۸ حاصل شود. آنگاه می‌توان هیدروگراف مربوطه را از ترکیب چند بالاآمدگی واحد مطابق شکل ۱۳c-۸ تخمین زد. بدیهی است حل معادلهٔ ۱۳-۵۲ به طریق عددی و با استفاده از کامپیوترهای سریع امکان‌پذیر خواهد بود.

۱۳-۶ تعیین حداکثر دبی خروجی از سازه‌های هیدرولیکی درحین روندیابی سیل

در بسیاری از موارد، هدف از روندیابی سیل عبارت است از تعیین حداکثر دبی خروجی از سازهٔ هیدرولیکی کنترل کنندهٔ جریان به منظور طراحی آن. به عنوان مثال چنانچه بخواهیم سرریز و یا تونل انحراف در یک سد را از نظر هیدرولیکی طراحی نمائیم، کافی است تا بتوانیم حداکثر دبی خروجی از آن را در حین وقوع سیل معین کنیم که این عمل عموماً با استفاده از روشهای روندیابی سیل و با توجه به خصوصیات هیدرولیکی سازهٔ موردنظر و این‌که با تغییر حجم و ارتفاع مخزن، چه مقدار آب را از خود

Prozhefa.com



شکل ۱۳-۸ روش همانندی پخش جهت روندیابی سیل (بعد از S. Hayami)

عبور داده و نهایتاً می‌بایست گنجایش عبور چه مقدار آب را داشته باشد، انجام می‌پذیرد. بنابراین اگر بتوان حداکثر دبی خروجی را در طول مدت سیلاب از سازهٔ موردنظر (اعم از این‌که به‌صورت تحت فشار عمل نماید یا آزاد) به هر طریق محاسبه نمود، می‌توان بلافاصله ابعاد لازم برای طرح هیدرولیکی سازه را معین ساخت. همان‌گونه که اشاره شد، تاکنون جهت این امر از روشهای مربوط به روندیابی سیل استفاده می‌گردیده که براساس آن به‌وسیله برنامه‌های کامپیوتری و گاه بصورت دستی (اما طولانی) هیدروگراف

Prozhefa.com

خروجی رسم و حداکثر دبی خروجی تعیین می‌شده است.

برای این منظور، در این قسمت یک روش بسیار ساده و سریع ارائه می‌گردد و اضافه می‌نماید که روش حاضر در عین تقریبی بودن، با دیگر روشهای تقریبی روندیابی سیل نظیر روش پالس اختلاف بسیار کمی داشته (گاه تنها در حدود ۲٪) و با اطمینان کامل قابل استفاده در عمل می‌باشد. مضافاً آن‌که به جهت سادگی و امکان عمل با دست و دستیابی سریع به جواب، نسبت به روشهای مزبور برتری خواهد داشت.

۱۳-۶-۱ شرح روش

فرض شود که هیدروگراف ورودی مطابق شکل ۱۳-۹ معلوم و هیدروگراف خروجی نیز با داشتن کلیهٔ مشخصات و داده‌ها، و با روش دقیق فرضی، مطابق منحنی خط‌چین همان شکل باشد. با توجه به این‌که حداکثر دبی خروجی در زمان t_1 به وقوع پیوسته و در محل برخورد دو هیدروگراف ورودی و خروجی ظاهر می‌شود، کافی است مقدار t_1 مشخص و سپس از اطلاعات مربوط به‌هیدروگراف ورودی، مقدار دبی حداکثر خروجی (Q_{mo}) را معین ساخت. برای این منظور به‌طریق ذیل عمل می‌گردد:

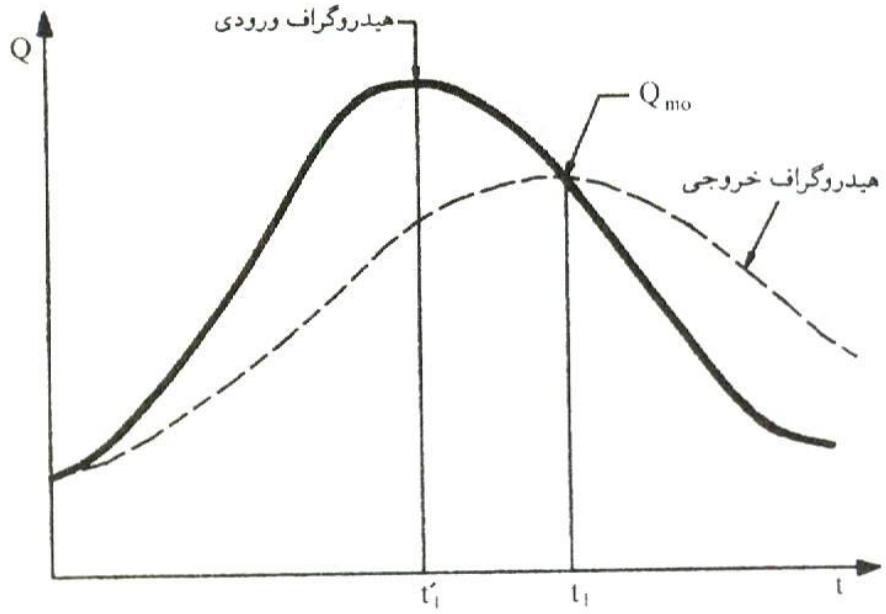
نخست مقداری برای t_1 حدس زده شده (بدیهی است $t_1 > t_1'$) و به ازای آن و با توجه به‌اطلاعات داده شده جهت هیدروگراف ورودی، حجم زیر منحنی ورودی تا زمان t_1 (V_{in}) محاسبه می‌گردد. با توجه به این‌که در این‌گونه مسایل حداکثر ارتفاع آب (H_{max}) در مخزن محدود است و می‌توان به ازای H_{max} و موقعیت توپوگرافی منطقه، اضافه حجم مخزن (V_s) را در حالت H_{max} به‌دست آورد (شکل ۱۳-۱۰)، حجم آب خروجی (V_{out}) و به عبارتی سطح زیر منحنی هیدروگراف خروجی حقیقی تا t_1 مشخص می‌گردد:

$$V_{out} = V_{in} - V_s \qquad (۵۳-۱۳)$$

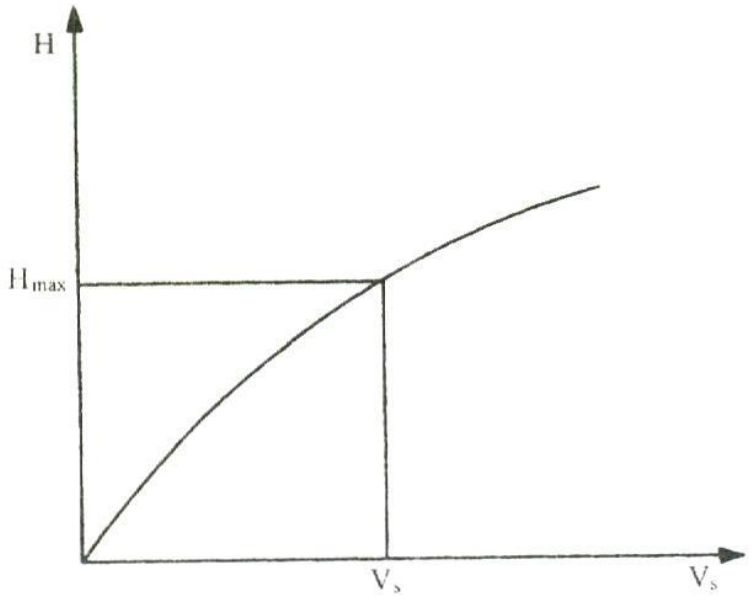
اضافه می‌نماید که برحسب نوع مسأله، همچنین می‌توان با این روش و با داشتن Q_{mo}، حداکثر ارتفاع و یا حجم آب در مخزن را محاسبه کرد.

حال مسأله برمی‌گردد به تعیین مقدار t_1 به گونه‌ای که سطح زیر منحنی خروجی معادل V_{out} باشد. بدیهی است منحنی هیدروگراف خروجی دارای شیبی کمتر از هیدروگراف ورودی بوده و از شروع تا نقطهٔ اوج، نسبت به هیدروگراف ورودی به خط مستقیم نزدیکتر است. در هر حال فرض می‌گردد هیدروگراف خروجی در این قسمت به‌صورت خط مستقیم بوده و سطح زیر منحنی مزبور معادل مساحت ذوزنقه $OABCD$ (شکل ۱۳-۱۱) است. شایان ذکر است که حتی اگر هیدروگراف خروجی دارای انحناء قابل‌ملاحظه‌ای باشد (همان شکل ۱۳-۱۱)، با فرض در نظر گرفتن خط مستقیم ABC، سطح منطقهٔ ۱ به V_{out} اضافه و سطح منطقهٔ ۲ از آن کاسته می‌گردد و از آن‌جاکه اختلاف این دو ($V_1 - V_2$) کم و بخصوص در مقایسه با سطح کل V_{out} ناچیز است، اختلاف نتایج به‌دست آمده با جوابهای حقیقی کم و ای‌بسا

Prozhefa.com



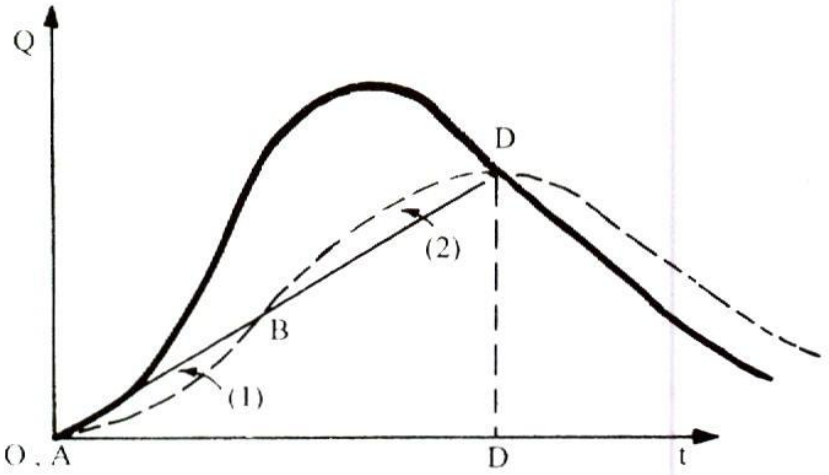
شکل ۱۳-۹ هیدروگراف ورودی و خروجی از مخزن



شکل ۱۳-۱۰ منحنی حجم - ارتفاع برای مخزن

در مواردی از دیگر روشهای تقریبی ارائه شده، دقیقتر باشد. در هر حال مقداری برای t_1 انتخاب و V_{out} محاسبه می‌گردد، چنانچه این مقدار V_{out} با میزان به‌دست آمده از معادلهٔ ۱۳-۵۳، برابر و یا نزدیک باشد، t_1 انتخابی صحیح و در غیراین‌صورت روش تکرار می‌گردد و نهایتاً با داشتن t_1 و با توجه به هیدروگراف معلوم ورودی، Q_{mo} که روی آن منحنی نیز وجود دارد مشخص می‌شود. ملاحظه می‌گردد که روش ارائه

Prozhefa.com



شکل ۱۳-۱۱

شده که برای اکثریت موارد قابل تعمیم است، یک روش آزمون و خطای بسیار ساده و سریع و در عین حال نسبتاً دقیق و کاملاً قابل استفاده بوده که برای روشن شدن بیشتر روش، به دو مثال پرداخته می‌گردد:

مثال ۱۳-۳

در مثال ۱۳-۱، مطلوب است تعیین حداکثر دبی خروجی از کانال.

حل:

همان‌گونه که در مثال ۱۳-۱ نشان داده شد، چنانچه بخواهیم حداکثر دبی خروجی را از روش روندیابی سیل به‌دست آوریم، می‌بایست راه نسبتاً طولانی را ادامه داد که با توجه به نتایج به‌دست آمده، نهایتاً مقدار حداکثر دبی خروجی حدوداً $۶۴٫۲ m^3/s$ و زمان وقوع این دبی ساعت ۳۰ می‌باشد.

حال با فرض استفاده از جدول ۱۳-۱ و بدون نیاز به به‌دست آوردن جدول ۱۳-۱، می‌توان محاسبات را شروع نمود. در آغاز برای t_1، عددی مثلاً برابر ۲۴hr انتخاب می‌گردد:

$$t_1 = ۲۴hr$$

$$V_m = \left[\left(\frac{۲۸ + ۳۴}{۲} + \frac{۳۴ + ۴۵}{۲} + \frac{۴۵ + ۵۹٫۵}{۲} + \frac{۵۹٫۵ + ۷۴٫۵}{۲} + \frac{۷۴٫۵ + ۸۳٫۵}{۲} + \frac{۸۳٫۵ + ۸۶}{۲}\right) + \frac{۸۶ + ۸۵}{۲} + \frac{۸۵ + ۸۰}{۲}\right] \times ۳ \times ۳۶۰۰$$

$$V_m = [(۳۵۸) + ۱۶۸] \times ۳ \times ۳۶۰۰ = ۵۶۸۰۸۰۰ m^3$$

در زمان $t_1 = ۲۴hr$، دبی خروجی:

$$Q_{mo} = ۸۰ m^3/s$$

Prozhefa.com

$$V_{out} = \left(\frac{۲۸ + ۸۰}{۲}\right) \times ۲۴ \times ۳۶۰۰ = ۴۶۶۵۶۰۰ \text{m}^۳$$

$$V_s = V_{in} - V_{out} = ۵۶۸۰۸۰۰ - ۴۶۶۵۶۰۰ = ۱۰۱۵۲۰۰ \text{m}^۳$$

حال نخست ارتفاع آب در دریاچه و سپس $V_{s۱}$ را محاسبه می‌کنیم. اگر $V_{s۱}$ به‌دست آمده مساوی V_s فوق باشد، جواب انتخابی درست و در غیراین‌صورت بایستی تکرار گردد:

$$Q_{mo} = ۸۰ \text{ m}^۳/\text{s} = by_c\sqrt{gy_c} = ۸ \times \sqrt{۹٫۸۱} \times y_c^{۳/۲}$$

$$y_c = ۲٫۱۷\text{m}$$

$$H = \frac{۳}{۲} \times ۲٫۱۷ = ۳٫۲۵\text{m}$$

$$V_{s۱} = (۳٫۲۵ - ۱٫۶۲) \times ۱۹۸۰۰۰۰ = ۳۲۲۷۴۰۰ \text{m}^۳ > V_s = ۱۰۱۵۲۰۰ \text{m}^۳$$

که می‌بایست زمان $t_۱$ انتخابی را افزایش دهیم. حال بتدریج $t_۱$ را افزایش داده و نهایتاً $t_۱ = ۳۰\text{hr}$ انتخاب می‌گردد:

$$t_۱ = ۳۰\text{hr}$$

$$V_{in} = \left[(۳۵۸) + \frac{۸۶ + ۸۵}{۲} + \frac{۸۵ + ۸۰}{۲} + \frac{۸۰ + ۷۳٫۵}{۲} + \frac{۷۳٫۵ + ۶۵}{۲}\right] \times ۳ \times ۳۶۰۰ = ۷۲۵۷۶۰۰ \text{m}^۳$$

$$Q_{mo} = ۶۵\text{m}^۳/\text{s}$$

$$V_{out} = \frac{۲۸ + ۶۵}{۲} \times ۳۰ \times ۳۶۰۰ = ۵۰۲۲۰۰۰ \text{m}^۳$$

$$V_s = ۷۲۵۷۶۰۰ - ۵۰۲۲۰۰۰ = ۲۲۳۵۶۰۰ \text{m}^۳$$

برای به‌دست آوردن $V_{s۲}$ مجدداً از خصوصیات کانال استفاده می‌شود:

$$۶۵ = ۸ \times \sqrt{۹٫۸۱} \times y_c^{۳/۲}$$

$$y_c = ۱٫۸۸۸\text{m}$$

$$H = \frac{۳}{۲} \times ۱٫۸۸۸ = ۲٫۸۳\text{m}$$

$$V_{s۲} = (۲٫۸۳ - ۱٫۶۲) \times ۱۹۸۰۰۰۰ = ۲۳۹۵۸۰۰ \text{m}^۳$$

که اختلاف آن با V_s حدود ۶٫۷٪ و از آن مقداری بیشتر است. اگر این خطا را برای V_s بپذیریم و فرض کنیم $t_۱$ انتخابی تقریباً صحیح است، حداکثر دبی خروجی برابر $۶۵\text{m}^۳/\text{s}$ بوده و نسبت به روش پالس حدود ۱٫۲٪ اختلاف نشان می‌دهد. بدیهی است اگر یکبار دیگر حل مسأله را تکرار کنیم به جواب دقیقتری نسبت به روش پالس می‌رسیم. در این‌جا یادآوری می‌نماید که خود روش پالس و دیگر روشهای مشابه یک روش تقریبی بوده و اختلاف دو جواب از دو روش تقریبی، مشخص نخواهد کرد که کدامیک به نتایج واقعی نزدیک‌تر است.

Prozhefa.com

مثال ۱۳-۴

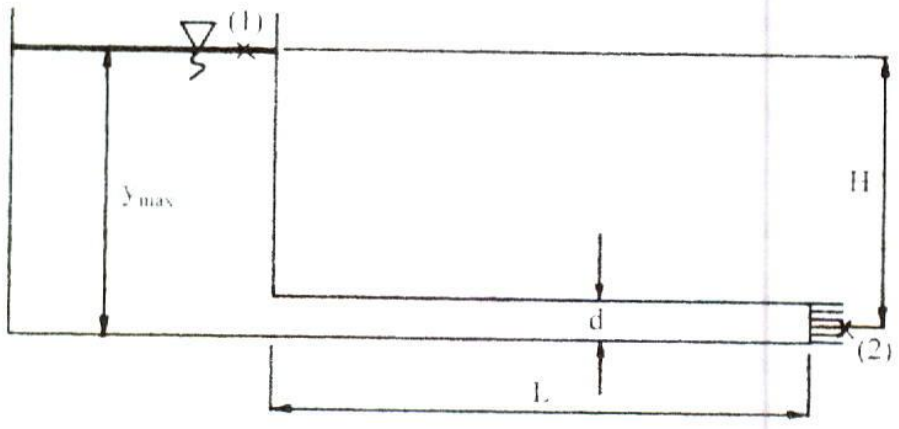
مطلوب است تعیین قطر تونل انحراف یک سد که بتواند سیلابی با هیدروگراف ورودی مطابق جدول ۱۳-۵را از خود عبور دهد به گونه‌ای که ارتفاع آب در پشت سد از ۱۱٫۷۲m متجاوز نگردد و در این حالت تونل به‌صورت تحت فشار عمل نماید. طول تونل ۱۵۰۰m، ضریب مانینگ ۰٫۰۱۵۳ = n ، شیب طولی آن ۰٫۰۰۹۵ = S_0 و ضرائب افت فشارهای موضعی در ورودی و خروجی ۰٫۴ = $K_1 = K_2$ و در انحناء تونل ۰٫۱۵ = K_3 فرض می‌گردد. همچنین مشخصات حجم - ارتفاع برای مخزن مذکور در جدول ۱۳-۶ آورده شده است.

جدول ۱۳-۵ مشخصات هیدروگراف ورودی (مثال ۱۳-۴)

زمان (hr)	۰	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶
دبی (m^3/s)	۰	۲۰	۱۰۰	۲۳۰	۱۹۰	۱۳۰	۹۰	۴۵	۲۰

جدول ۱۳-۶ مشخصات حجم - ارتفاع مخزن (مثال ۱۳-۴)

ارتفاع (m)	۰	۲	۳	۴	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۳
حجم (m^3)	۰	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۹۲۰۰۰۰	۱۷۲۰۰۰۰	۱۹۵۲۰۰۰	۲۳۵۳۰۰۰	۲۴۸۰۰۰۰	۲۸۸۰۰۰۰	۳۱۰۰۰۰۰	۴۶۰۰۰۰۰



شکل ۱۳-۱۲

Prozhefa.com

حل:

برای حل این مسأله به روش روندیابی، بایستی مطابق آنچه تا کنون گفته شد عمل نمود مضافاً آنکه در ابتدای امر و تا حالتی که ارتفاع آب در مخزن از قطر تونل (و حتی کمی بالاتر از قطر تونل) کمتر است جریان آزاد بوده و سپس به جریان تحت فشار تبدیل می‌گردد و لذا پیچیدگی مسأله بیشتر خواهد بود. با استفاده از روش پیشنهادی و از آن‌جاکه حداکثر ارتفاع آب در مخزن مشخص است، می‌توان حجم ذخیره (V_s) را مستقیماً محاسبه نمود:

$$y_{max} = ۱۱/۷۲\text{m}$$

از جدول ۱۳-۶:

$$V_s = ۳۶۴۰۰۰۰\text{m}^۳$$

نخست $t_۱$ را مساوی ۸ ساعت انتخاب می‌کنیم:

$$V_{in} = \left[\left(\frac{۰ + ۲۰}{۲} + \frac{۲۰ + ۱۰۰}{۲} + \frac{۱۰۰ + ۲۳۰}{۲}\right) + \frac{۲۳۰ + ۱۹۰}{۲}\right] \times ۲ \times ۳۶۰۰$$

$$= [(۲۳۵) + ۲۱۰] \times ۷۲۰۰ = ۳۲۰۴۰۰۰\text{m}^۳$$

در این زمان $Q_{mo} = ۱۹۰\text{m}^۳/\text{s}$ بوده و لذا:

$$V_{out} = \frac{۰ + ۱۹۰}{۲} \times ۸ \times ۳۶۰۰ = ۲۷۳۶۰۰۰\text{m}^۳$$

$$V_{s۱} = ۳۲۰۴۰۰۰ - ۲۷۳۶۰۰۰ = ۴۶۸۰۰۰\text{m}^۳ << ۳۶۴۰۰۰۰\text{m}^۳$$

که بایستی زمان افزایش یابد:

$$t_۱ = ۱۲\text{hr}$$

$$V_{in} = \left[(۲۳۵) + \frac{۲۳۰ + ۱۹۰}{۲} + \frac{۱۹۰ + ۱۳۰}{۲} + \frac{۱۳۰ + ۹۰}{۲}\right] \times ۷۲۰۰ = ۵۱۴۸۰۰۰\text{m}^۳$$

$$Q_{mo} = ۹۰\text{m}^۳/\text{s}$$

$$V_{out} = \frac{۰ + ۹۰}{۲} \times ۱۲ \times ۳۶۰۰ = ۱۹۴۴۰۰۰\text{m}^۳$$

$$V_{s۲} = ۵۱۴۸۰۰۰ - ۱۹۴۴۰۰۰ = ۳۲۰۴۰۰۰\text{m}^۳ < ۳۶۴۰۰۰۰\text{m}^۳$$

مجدداً روش را تکرار می‌کنیم:

$$t_۱ = ۱۲/۵\text{hr}$$

$$Q_{mo} = ۷۸/۷۵\text{m}^۳/\text{s}$$

$$V_{in} = ۵۱۴۸۰۰۰ + \frac{۹۰ + ۷۸/۷۵}{۲} \times ۰/۵ \times ۳۶۰۰ = ۵۲۹۹۸۷۵\text{m}^۳$$

Prozhefa.com

$$V_{out} = \frac{۰ + ۷۸/۷۵}{۲} \times ۱۲/۵ \times ۳۶۰۰ = ۱۷۷۱۸۷۵\,m^۳$$

$$V_{s۳} = ۳۵۲۸۰۰۰\,m^۳ \approx ۳۶۴۰۰۰۰\,m^۳$$

لذا $Q_{mo} = ۷۸/۷۵ m^۳/s$ خواهد بود. برای تعیین قطر تونل، معادلهٔ انرژی را بین دو نقطهٔ ۱ و ۲ از شکل ۱۳-۱۲ می‌نویسیم:

$$Z_۱ + \frac{P_۱}{\gamma} + \frac{V_۱^۲}{۲g} = Z_۲ + \frac{P_۲}{\gamma} + \frac{V_۲^۲}{۲g} + h_{f۱} + (K_۱ + K_۲ + K_۳)\frac{V_۲^۲}{۲g}$$

$$(۱۱/۷۲ + ۱۵۰۰ \times ۰/۰۰۹۵) + ۰ + ۰ = \frac{d}{۲} + ۰ + h_{f۱} + (۰/۴ + ۰/۴ - ۰/۱۵ + ۱)\frac{\left(\frac{۷۸/۷۵ \times ۴}{\pi d^۲}\right)^۲}{۲ \times ۹/۸۱}$$

برای محاسبهٔ $h_{f۱}$ از معادلهٔ مانینگ به صورت زیر استفاده می‌کنیم:

$$Q = \frac{A}{n} R^{۲/۳} S_۰^{۱/۲}$$

$$۷۸/۷۵ = \frac{\pi d^۲}{۴ \times ۰/۰۱۵۳}\left(\frac{d}{۴}\right)^{۲/۳}\left(\frac{h_{f۱}}{۱۵۰۰}\right)^{۱/۲}$$

$$h_{f۱} = \frac{۲۲۴۱۵/۱۷۶}{(d)^{۱۶/۳}}$$

و لذا:

$$\frac{۲۲۴۱۵/۱۷۶}{(d)^{۱۶/۳}} + \frac{۹۹۱/۲۱}{d^۴} + \frac{d}{۲} = ۲۵/۹۷$$

$$d = ۳/۷۶ m$$

Prozhefa.com

مسایل

۱-۱۳ سطح آب در یک مخزن سد با کناره‌های با شیب تند معادل $۵ \times ۱۰۶ m^۲$ فرض می‌گردد. چنانچه در یک حالت دائمی، جریان با دبی $۱۵۰ m^۳/s$ وارد مخزن و با همین شدت از طریق کانالی ذوزنقه‌ای به عرض ۵۰m و شیب طولی ۰٫۰۰۰۵ و $n = ۰٫۰۲۵$ و شیب کناره‌های (قائم) ۱: (افقی) ۱٫۵، از مخزن خارج شود و سپس در یک زمان $t = ۰$ سیلی با هیدروگراف ورودی مطابق جدول زیر به مخزن برسد، مطلوب است رسم هیدروگراف خروجی مربوطه (سطح مخزن در ارتفاع‌هایی بیش از حالت دائمی اولیه، ثابت فرض می‌گردد).

زمان (روز)	۰	۰٫۵	۱	۱٫۵	۲	۲٫۵	۳	۳٫۵	۴	۴٫۵	۵	۵٫۵	۶
دبی‌ورودی $m^۳/s$	۱۵۰	۱۷۵	۲۲۰	۳۰۰	۳۸۰	۳۷۵	۳۰۵	۲۳۵	۲۰۰	۱۸۰	۱۶۲	۱۵۰	۱۵۰

۲-۱۳ در مسیر یک رودخانه، جریان یکنواخت دائمی با شدت جریان نسبی $q = ۵ m^۳/s/m$ برقرار است. دریک زمان سیلی با هیدروگراف ورودی به معادلهٔ تجربی $y = ۷ - ۳ \cos \frac{\pi t}{۴۸}$ (y برحسب متر و t برحسب ساعت) در یکی از ایستگاههای رودخانه شروع می‌شود. مطلوب است روند سیل در مسیری به‌فاصلهٔ ۱۰۰km از ایستگاه مذکور در مدت ۳۶ ساعت.

۳-۱۳ در محل مخزن سد، مقادیر زیر به عنوان دبی‌های ورودی و خروجی اندازه گیری شده‌اند. مقدار ذخیره در مخزن را در هر زمان تعیین و منحنی مربوطه را نسبت به دبی خروجی رسم نمایید. همچنین مقادیر K و X را در روش ماسکینگام به‌دست آورید.

t(day)	$I(m^۳/s)$	$O(m^۳/s)$	t(day)	$I(m^۳/s)$	$O(m^۳/s)$
۱	۲٫۸	۲٫۸	۱۱	۱۴	۲۱
۲	۵	۳٫۲	۱۲	۱۱٫۵	۱۶
۳	۱۲	۴	۱۳	۹٫۵	۱۲٫۵
۴	۲۱	۹	۱۴	۸	۱۰
۵	۲۵	۱۵	۱۵	۶٫۸	۸٫۳
۶	۲۵	۲۰	۱۶	۵٫۸	۶٫۸
۷	۲۵	۲۳	۱۷	۴٫۹	۵٫۷
۸	۲۸٫۵	۲۴٫۵	۱۸	۴٫۱	۴٫۷
۹	۲۴	۲۵	۱۹	۳٫۴	۳٫۸
۱۰	۱۸	۲۴٫۶	۲۰	۲٫۸	۳

Prozhefa.com

برنامه کامپیوتری

به منظور دسترسی سریعتر به پاسخ حاصله از روش پالس، می‌توان از برنامه کامپیوتری زیر استفاده نمود. توسط این برنامه که به زبان کوئیک بیسیک نوشته شده است، با داشتن هیدروگراف ورودی و برای دو حالت مختلف از سیستم خارج کننده آب از مخزن (کانال باز یا سرریز)، می‌توان مقادیر هیدروگراف خروجی را معین و دو منحنی هیدروگراف ورودی و خروجی را بصورت ترسیمی مشاهده نمود.

برنامه پس از سؤال در مورد هیدروگراف ورودی و نوع و مشخصات سیستم خارج کنندهٔ آب و نیز مشخصات مخزن و سایر اطلاعات لازم، با استفاده از روش پالس، جدول مشخصات هیدروگراف خروجی را ارائه نموده، با اعلام حداکثر دبی خروجی از مخزن، منحنی‌های مربوط را رسم می‌نماید.

```
SCREEN 9: COLOR 14, 11
CLS
'          ________________  FLOOD ROUTING  ________________
'          ____________________________________________
LOCATE 10, 14: PRINT " **** PRESS 1 TO CONTINUE OR 2 TO EXIT":
INPUT ; BB
IF BB = 2 THEN 500
COLOR 4, 11: LOCATE 12, 14: INPUT " NUMBER OF INFLOW DATA"; U
SS = U
DIM T(5 * U), I(5 * U), O(5 * U), DELN(5 * U), AVI(5 * U), EC(5 * U)
DIM N(5 * U), VOL(5 * U), Y(5 * U), Q(5 * U), HD(5 * U), DELQ(5 * U)
PRINT "_____"
PRINT "    T(time),I(inflow)"
PRINT "_____"
Imax = 0
FOR K = 1 TO U
INPUT "  ", T(K), I(K)
IF I(K) > Imax THEN Imax = I(K)
NEXT K
Qmax = Imax
CLS : COLOR 4, 11
INPUT "   LAKE AREA(m ^ 2)"; AREA
INPUT "   THE FIRST OUTPUT DISCHARGE(m3/S) "; Q(1)
INPUT "   DELTA T(hr)": DELTAT
CLS : COLOR 4, 11
DD = DELTAT: COLOR 4, 11
```

Prozhefa.com


```
LOCATE 1, 4: PRINT " _____"
LOCATE 3, 8: PRINT "    1-CHANNEL "
LOCATE 5, 8: PRINT "    2-WEIR    "
LOCATE 7, 4: PRINT " _____"
PRINT "PRESS 1 OR 2"
INPUT ; J
IF J = 2 THEN GOTO 50
1 INPUT "   BOTTOM WIDTH(m)AND SIDE SLOPE(Z)="; B, Z
INPUT "     MANNINNG COEF(n) AND BED SLOPE(S0)="; N, S0
FOR S = 1 TO 2
IF S = 1 THEN D(S) = Q(1)
IF S = 2 THEN D(S) = Qmax
ETC1 = D(S) * N / (SQR(S0)): Y = .001: G = 9.81
DO
ETC2 = (B * Y + Z * Y ^ 2) ^ (5 / 3) / (B + 2 * Y * SQR(1 + Z ^ 2)) ^ (2 / 3)
Y = Y + .001
LOOP UNTIL (ETC1 - ETC2) < .0001
Y0(S) = Y - .001: ETC3 = D(S) ^ 2 / G: Y = .001
DO
ETC4 = (B * Y + Z * Y ^ 2) ^ 3 / (B + 2 * Z * Y)
Y = Y + .001
LOOP UNTIL (ETC3 - ETC4) < .0001
YC(S) = Y - .001
IF Y0(S) > YC(S) GOTO 10
E0(S) = YC(S) + (D(S) ^ 2) / (((B * YC(S) + Z * (YC(S) ^ 2)) ^ 2) * 2 * G)
VOL(S) = E0(S) * AREA: M(S) = VOL(S) / (DELTAT * 3600) + D(S) / 2: GOTO 40
10 E0(S) = Y0(S) + (D(S) ^ 2) / ((((B * Y0(S) + Z * (Y0(S) ^ 2)) ^ 2) ^ 2) * 2 * G)
VOL(S) = E0(S) * AREA: M(S) = VOL(S) / (DELTAT * 3600) + D(S) / 2
40 NEXT S
N(1) = M(1): GOTO 100
50 INPUT "   EFFECTIVE LENGTH OF SPILLWAY AND DISCHARGE COEFFICIENT OF
FLOW": L, C
' _____
HD(1) = (Q(1) / (C * L)) ^ (2 / 3):
VOL(1) = HD(1) * AREA: N(1) = (VOL(1) / (DELTAT * 3600)) + Q(1) / 2
HDmax = (Qmax / (C * L)) ^ (2 / 3):
VOLmax = HDmax * AREA: Nmax = (VOLmax / (DELTAT * 3600)) + Qmax / 2
```

Prozhefa.com


```
100 PRINT "_____"
PRINT "TIME        AV(Q)        N        DELTAN        Q(OUT)"
FOR K = 1 TO U STEP 1
AVI(K) = (I(K) + I(K + 1)) / 2: DELN(K) = AVI(K) - Q(K)
N(K + 1) = N(K) + DELN(K)
IF J = 2 THEN GOTO 110 ELSE GOTO 120
110 Q(K + 1) = ((Qmax - Q(1)) / (Nmax - N(1)) * (N(K + 1) - Nmax) + Qmax): GOTO 130
120 Q(K + 1) = ((D(2) - D(1)) / (M(2) - M(1)) * (N(K + 1) - M(2)) + D(2))
130 PRINT "_____"
PRINT T(K), AVI(K), N(K), DELN(K), Q(K)
NEXT K
Qmax = 0: Omax = 0
FOR I = 1 TO U
IF Q(I) >= Omax THEN Omax = Q(I)
IF I(I) >= Qmax THEN Qmax = I(I)
NEXT I
PRINT "  THE MAXIMUM QOUT(m ^ 3/s) IS="; Omax
 A$ = INPUT$(1)
 SCREEN 9: CLS : COLOR 2, 8
LINE (9, 20)-(601, 301), 3, B
VIEW (10, 21)-(600, 300)
WINDOW (0, 0)-(SS * DD, Omax + 30)
FOR I = 1 TO U - 1
LINE (T(I), I(I))-(T(I + 1), I(I + 1))
LINE (T(I), Q(I))-(T(I + 1), Q(I + 1))
NEXT I
LOCATE 22, 40: PRINT "Time(hr)": LOCATE 13, 1: PRINT "Q(m ^ 3/s)"
CLOSE #1
500 END
```

Prozhefa.com

برنامه کامپیوتری

اگرچه روش دستی پیشنهادی برای تعیین حداکثر دبی خروجی از سازه‌هایی چون سرریز و یا تونل انحراف آب، نسبتاً ساده است، اما می‌توان برای سهولت نیز از دو برنامه زیر که به زبان کوئیک بیسیک و به ترتیب برای محاسبه حداکثر دبی خروجی از روی یک سرریز یا از داخل یک تونل انحراف آب نوشته شده است، استفاده نمود. روش کار در برنامه دقیقاً همان روش دستی گفته شده است که با دادن هیدروگراف ورودی و مشخصات لازم برای سازه‌های مذکور، مستقیماً حداکثر دبی خروجی توسط آن‌ها محاسبه و اعلام می‌گردد.

```
CLS
' _____ CALCULATING THE MAXIMUM DISCHARGE OVER A SPILLWAY _____
' ____________________________________________________
SCREEN 9: COLOR 14, 11
INPUT "LAST TIME(h)"; N
INPUT "DEL TIME(h) "; Dt
DIM T(5 * N), Q(5 * N), VS(5 * N), VIN(5 * N)
DIM Vout(5 * N), VL(5 * N), VO(5 * N), HD(5 * N), DS(5 * N)
INPUT "   LENGTH OF SPILLWAY(m)"; L
INPUT "   COEFFICIENT OF SPILLWAY"; C
INPUT "   SURFACE AREA   (m^2)"; AREA
INPUT "   FIRST OUTPUT DISCHARGE(m3/s)"; B
FOR I = 0 TO N STEP Dt
INPUT "   TIME AND Q(m3/s)"; T(I), Q(I)
NEXT I
K = 1
FOR I = 1 TO N STEP 1
IF I MOD Dt = 0 THEN K = K + 1: GOTO 5
U1 = K * Dt: U2 = (K - 1) * Dt
A = (Q(U1) - Q(U2)) / Dt
Q(I) = Q(I - 1) + A
T(I) = T(I - 1) + 1
5 NEXT I
Tmax = 0: Qmax = 0
FOR I = 0 TO N
IF Q(I) > Qmax THEN Qmax = Q(I): Tmax = T(I)
NEXT I
FOR J = Tmax TO N STEP 1
FOR I = 0 TO J
VIN(J) = VIN(J) + (Q(I) + Q(I + 1)) / 2 * 3600
```

Prozhefa.com


```
NEXT I
Vout(J) = (Q(0) + Q(J)) / 2 * (T(J) - T(0)) * 3600
VL(J) = VIN(J) - Vout(J)
HD1 = (B / (L * C)) ^ (2 / 3)
HD(J) = (Q(J) / (L * C)) ^ (2 / 3)
VO(J) = (HD(J) - HD1) * AREA
VS(J) = ABS(VL(J) - VO(J))
NEXT J
VS = VS(Tmax)
FOR I = Tmax TO N
IF VS(I) < VS THEN VS = VS(I): Qout = Q(I)
NEXT I
PRINT "  ____________________________"
PRINT "  Qmax(m ^ 3/s)      VS2-VS1"
PRINT "  ____________________________"
PRINT Qout, VS
END
```

```
CLS
'  _____ CALCULATING THE MAXIMUM DISCHARGE THROUGH A TUNNEL _____
'  ____________________________________________________________
G = 9.81
SCREEN 9: COLOR 14, 11
INPUT "  LAST TIME(h)="; N
INPUT "  DEL TIME(h)= "; Dt
DIM T(5 * N), Q(5 * N), VS(5 * N), VIN(5 * N)
DIM Vout(5 * N), VL(5 * N), VO
INPUT "  BED SLOPE="; S
INPUT "  MANNING COEFFICIENT ="; n1
INPUT "  VOLUME OF STORAGE(m ^ 3)="; VO
INPUT "  FACTOR OF ENTRANCE LOSS"; K1
INPUT "  FACTOR OF OUTLET LOSS"; K2
INPUT "K3="; K3
INPUT "  LENGTH OF TUNNEL(m)="; L
INPUT "  Ymax(m)="; Ymax
FOR I = 0 TO N STEP Dt
```

Prozhefa.com


```
INPUT "  TIME(h) AND DISCHARGE(m3/s)"; T(I). Q(I)
NEXT I
F = 1
FOR I = 1 TO N STEP 1
IF I MOD Dt = 0 THEN F = F + 1: GOTO 5
U1 = F * Dt: U2 = (F - 1) * Dt
H = (Q(U1) - Q(U2)) / Dt
Q(I) = Q(I - 1) + H
T(I) = T(I - 1) + 1
5 NEXT I
Tmax = 0: Qmax = 0
FOR I = 0 TO N
IF Q(I) > Qmax THEN Qmax = Q(I): Tmax = T(I)
NEXT I
FOR J = Tmax TO N STEP 1
FOR I = 0 TO J
VIN(J) = VIN(J) + (Q(I) + Q(I + 1)) / 2 * 3600
NEXT I
Vout(J) = (Q(0) + Q(J)) / 2 * (T(J) - T(0)) * 3600
VL(J) = VIN(J) - Vout(J)
VS(J) = ABS(VL(J) - VO)
NEXT J
VS = VS(Tmax)
FOR I = Tmax TO N
IF VS(I) < VS THEN VS = VS(I): Q = Q(I)
NEXT I
Z1 = Ymax + S * L
D = .01
10 Hf1 = (Q * n1 * 4 / (3.1415 * D ^ 2 * (D / 4) ^ (2 / 3))) ^ 2 * L
X = (K1 + K2 + K3 + 1) * (Q * 4 / (3.1415 * D ^ 2)) ^ 2 / (2 * G)
Z2 = D / 2 + Hf1 + X
D = D + .001
IF ABS(Z1 - Z2) > .001 GOTO 10
PRINT "  ____________________________"
PRINT "   DIAMETER OF TUNNEL(m)="; D
PRINT "  ____________________________"
END
```

Prozhefa.com

Prozhefa.com

مراجع

1- Abrishami, J. and M. Saneie. (1991) "Hydraulic Jamp in Adverse Basin Slopes", M. Sc. Thesis, University of Tehran, P. 203.

2- Anderson, M.V. (1967) "Non-uniform Flow in Front of a Free Overfall", Acta Polytechnica, Scandinavia, Ci42, Copenhagen.

3- Argyropoulos, P.A. (1962) "A General Solution of the Hydraulic Jump in Sloping Channels", Proceedings of the American Society of Civil Engineers, J. of Hyd. Div., Vol. 88 (Hy4), PP. 61-77.

4- Arndt, R.E. A. and A. T. Ippen. (1967) "Cavitation Near Surfaces of Distributed Roughness", Hydrodynamics Report No. 104, Mass. Institute of Technology.

5- Bakhmeteff, B. A. (1932) "Hydraulics of Oper Channels" New York, Mc Graw-Hill Book Company, Inc.

6- Ball, J. W. (1976) "Cavitation from Surface Irregularities in High Velocity Flow", J. Hyd. Div. ASCE, 102(Hy9), PP. 1283-1297.

7- Benjamin, T. Brooke and M.J. Lighthill, (1954) "On Cnoidal Waves and Bores", Proc. Roy. Soc., London, A. Vol. 224, P. 448.

8- Bidone, G. (1820) "Experiences sur le la propagation des ands (Experiments on Backwater and the Propagation of Waves)", Memorie della Reale Accademia delle scienze di Torino, Turin, Vol. 25, PP. 21-112.

9- Blaisdell, F. W. and C.A. Donnelly, (1956) "The Box Inlet Drop Spillway and Its Outlet", Trans. of the Am. Society of Civil Engineers, Vol. 121, PP. 955-986.

10- Blaisdell, F.W. (1960) "Hood Inlet for Closed Conduit Spillways", Proc. Am. Soc. Civil Engrs., Vol. 86, o. Hy5, P. 7.

11- Bodhaine, G. L. (1976) "Measurement of Peak Discharge at Culverts by Indirect Methods", Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geologycal Survey, book 3, Chapter A3, U.S. Geologycal Survey, Washington.

12- Bos, M.G. (Ed.) (1976) "Discharge Measurement Structures", International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.

13- Bradley, J.N. and A. J. Peterka. (1957) "The Hydraulic Design of Stilling Basins". Proc. AM. Soc. Civil Engrs., Vol. 83(Hy5), Proc. PP. 1401-6.

Prozhefa.com

14- Brater E.F. and H.W. King. (1976) "Handbook of Hydraulics", New York, McGraw-Hill Book Company.

15- Cassidy, J.J. (1970) "Designing Spillway Crests for High-head Operation", J. of Hyd. div., Proc. ASCE, PP. 745-753.

16- Chow, Ven Te. (1959) "Open Channel Hydraulics", New York, McGraw-Hill Book Company, Inc.

17- Chow, V.T. (1964) "Handbook of Applied Hydrology", McGraw-Hill Book Co. Inc.

18- Crausse, E., G. Pouzens, and P. Cachon. (1952) "Contribution a'l'e'tude des vannes de fond. "Compt. rend. de l'Acad. Fr., Vol. 234, P. 2521.

19- Cunge, J. A. (1969) "On the Subject of Flood Propagation Computation Method (Muskingum Method)", J. of Hyd. Res., Vol. 7, No. 2.

20- Dakshinamoorthy, S. (1973) "Some Numerical Studies on Supercritical Flow Problems, "Ph.D. Thesis presented to the Indian Institute of Technology, Kanpur, India.

21- Delleur, J. W., J.C.I. Dooge and K.W. Gent. (1956) "Influence of Slope and Roughness on the Free Overfall", J. of Hyd. Div., Proc. ASCE, Aug.

22- Dressler, R.F. (1954) "Comparison of Theories and Experiments for the Hydraulic Dam-Break Wave", Int. Asso. of Hydrology, Asemblee generale de Rome, Vol. III, P. 319.

23- Elder, R.A. (1958) "Friction Measurements in the Appalachia Tunnel", ASCE, Trans. Paper No. 2961, P. 1249.

24- Evett J. B. and L. Chang (1989) "2500 Solved Problems in Fluid Mechanics and Hydraulics", Mc Graw-Hill, Shaum's solved problems series.

25- Ezra, A. A. (1954) "A Direct Step Method for Computing Water Surface Profiles", trans. Am. Soc. Civil Engrs, Vol. 119, PP. 453-462.

26- Falvey, H. T. (1982) "Cavitation in Spillways", part II, Aeration Groove Desing for Cavitation Protection, USBR, Denver.

27- Falvey, H.T. (1982) "Prediction Cavitation in Tunnel Spillways", Water Power and Dam Construction, 34(8), 13-15.

28- Farney, H. S. and A. Markus, (1962) "Side Channel Spillway Design", J. of Hyd. Div., Proc. ASCE, PP. 131-154.

29- Featherstone, R. E. and c. Nalluri, (1984) "Civil Engineering Hydraulics", London, Granada Publishing Ltd.

30- Flammer G.H., R.W. Jeppson and H.F. Keedy (1983) "Fundamental Principles and Application Fluid Mechanics".

31- Formica, G. (1955) "Esperienze preliminari sulle perdite di carico nei canali dovute a cambiamenti di sezione" (Preliminary Tests on Head Losses in Channels due to Cross-Sectional Changes), L'Energia elletrica, Milan, Vol. 32, No. 7, P. 554.

Prozhefa.com

33- Golze, A.A. (1977) "Handbook of Dam Engineering", New York: Van Nostrand Reinhold.

34- Govinda Rao, N.S. and D. Muralidhar, (1963) "Discharge Characteristics of Weirs of Finite Crest Width", La Houille Blanche, No. 5, PP. 537-545.

35- Grishin, M.M. (1987) "Hydraulic Structures", Moscow, Mir Publishers.

36- Hayami, S. (1951) "On the Propagation of Flood Waves", Bulletin No. 1, Disaster Prevention Research Institute, Koyoto University, Japan.

37- Henderson, F. M. (1966) "Open Channel Flow", New York, Macmillan Publishing Co. Inc.

38- Henderson, F. M. (1963) "Flow at the Toe of a Spillway: I-The 'Open Toe' Spillway: II (With D.G. Tierney) The "Solid Toe' Spillway", La Houille Blanche, Vol. 17. No. 6 (1962), P. 728, and Vol. 18, No. 1 (1963), P.42.

39- Henry, H.R. (1950) Discussion on "Diffusion of Submerged Jets", by M. L. Albertson et al, Trans. Am. Soc. Civil Engrs., Vol. 115, P. 687.

40- Hinds, J. (1926) "Side Channel Spillways", Trans. ASCE, Vol. 89, PP. 881-927.

41- Hinds, J. (1928) "The Hydraulic Design of Flume and Syphon Transitions", Trans. ASCE.

42- Hsu, E.Y. (1950), Discussion of "Control of the Hydraulic Jump by Sills", by J.W. Forster and R.A. Skrinde, Trans. of the Am. Society of Civil Engineers, Vol. 115, PP. 988-991.

43- Johnson, G. (1967) "The Effect of Entrained Air on the Scouring Capacity of Water Jets", 12th Int. Congress, LAHR, Fort Collins, Vol. 3, Paper c26, 218-226.

44- Johnson, V.E. (1963) "Mechanics of Cavitation", ASCE J. of Hyd. Div., 89(Hy3). 251-275.

45- Kanen, J.D. (1986) "Applied Hydraulics for Technology", New York, CBS College Publishing.

46- Kennison, K.R. (1944) "Discussion of the Hydraulic Jump in Sloping Channls", Trans. of the Am. Society of Civil Engineers, Vol. 109, PP. 1123-1125.

47- Khadar, M.H.A. and S. Rajagopal. (1972) "Hydraulic Jump in Adverse Channel Slopes", Irrig. Pwr., Vol. 29, PP. 7-82.

48- Kindsvater, C.E. (1944) "The Hydraulic Jump in Sloping Channels", Trans. Am. Society of Civil Engineers, Vol. 109, PP. 1107-1120.

49- Kindsvater, C.E. and R.W.C. Carter. (1957) :Discharge Characteristics of Rectangular Thin Plate Weirs", proceedings of the American Society of Civil Engineers, J. of Hyd. Div., Vol. 83, No(Hy6), PP. 1453/1-1453/36.

50- Li W.H. (1983), "Fluid Mechanics in Water Resources Engineering", Allyn and Bacon, Inc., U.S.A.

Prozhefa.com

51- Manning, R. (1891) "On the Flow of Water in Open Channels and Pipes", Trans. Inst of Civil Engineers of Ireland, Vol. 20, PP. 161-207.

52- March, G. De. (1934). "Saggio di teoria del funzinamento degli stramazzi lateali (Essay on the Preformance of Lateral Weirs)", L'Eergia elletrica, Milan, Vol. 11, No. 11, P 849.

53- Matthai, H.F. (1976) "Measurement of Peak Discharge at Width Contractions by Indirect Methods", Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey, U.S. Geological Survey Washington.

54- McCool, D.K., W.R. Gwinn, W.O. Ree and J.E. Garton. (1966) "Spatially Varied Flow in Vegetated Channel", Trans. ASAE, Vol. 9, No. 3, PP. 440-444.

55- Mises, R.V. (1917) "Berechnung von Ausfluess and Uberfallzahlen", Z. Ver. Deuts Ing., Vol. 61, P. 447.

56- Mostkow, F.A. (1957) "Sur le calcul des grilles de prise d'eau", La Houille Blanche, Vol. 12, No. 4, P. 570.

57- Novak, P. (1983) "Developments in Hydraulic Engineering", London, Applied Science Publishers Ltd.

58- Parshall, R. L. (1926) "the Improved Venturi Flume", Trans. Am. Soc. Civil Engrs., Vol. 89, P. 841.

59- Parshall, R. L. (1938), Discussion of "Measurement of Debris-Laden Stream Flow with Critical Depth Flumes", Trans. Am. Sco. Civil Engrs., Vol. 103, PP. 1254-1257.

60- Parshall, R. L. (1950), "Measuring Water in Irrigation Channel Parshall Flumes and Small Weirs", U.S. Soil conservation service, circular 843.

61- Parshall, R. L. (1953) "Parshall Flumes of Large Size", Colorado Agricultural Experiment Station Bulletin, No. 426A.

62- Ponce, V. M. (1979) "Simplified Muskingum Routing Equation", J. of Hyd. Div., Proc. ASCE.

63- Ponce, V. M. and V. Yevjevich, (1978) "Muskingum-Cunge Method with Variable Parameters", J. of Hyd. Div., Proc. ASCE.

64- Press, M.J. (1961) "The Hydraulic Jump", Engineering honours thesis presented to the University of Western Australia, Nedlands, Australia.

65- Rajaratnam, N. (1965) "The Hydraulic Jump as a Wall Jet", Proceedings of the American Society of Civil Engineers, J. of Hyd. Div., Vol. 91, No. Hy5, PP. 107-132

66- Rajaratnam, N. (1967) "Hydraulic Jumps", Advances in Hydroscience, Vol. Academic Press, New York, PP. 197-280.

67- Rajaratnam, N. and K. Subramanya. (1968) "Profile of the Hydraulic Jump", J. of Hyd Div., Proc. ASCE.

68- Raju, K.G.R. (1981) "Flow Through Open Channel", Tata McGraw-Hill, New York.

Prozhefa.com

69- Raju, K.G.R., B. Prasad and S.K. Gupta. (1979) "Side-weirs in Rectangular Channel", J. of Hyd. Div., Proc. ASCE, PP. 547-554.

70- Rand, W. (1955) "Flow Geometry at Straight Drop Spillways", Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 81, PP. 791-1, 791-13.

71- Rao, G. and N. Rajaratnam. (1963) "The Submerged Hydraulic Jump", Proc. Am. Soc. Civil Engrs., Vol. 89, No. Hyl, P. 139.

72- Reed, J.R. and A.J. Wolfkill. (1976) "Evaluation of Friction Slope Models", Rivers' 76 Symposium on Inland Waterways for Navigation, Flood Control, and Water Diversions, Colorado State University. Ft. Collins, PP. 1156-1178.

73- Riegel, R. M. and J.C. Beebe (1917) "The Hydraulic Jump as a Mean of Dissipating Energy", Miami Conservancy District Tech. Rep., Part III.

74- Rouse, H. (1938) "Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers", New York, McGraw-Hill Book Co. P. 301.

75- Rouse, H. (1943), Discussion of "Energy Loss at the Base of a Free Overfall", by W.L. Moore, Trans. Am. Soc. Civil Engrs., Vol. 108, P. 1381.

76- Rouse, H. (1950) "Engineering Hydraulics", John Wiley and Sons, Inc., New York, PP 553, PP. 564-569.

77- Safranez, K. (1934) "Length of Hydraulic Jump Investigated at Berlin", Civil Engineering. Vol. 4, No. 5, PP. 262-263.

78- Schoklitsch, A. (1917) "Uber Dambruchwellen", Sitzungberichte der K. Akademie der Wissenschaften, Vienna, Vol. 126, P. 1489.

79- Sengupta, D. (1971) "Hydraulic Behaviour of Bottom Racks". M. Tech. Thesis, Civil Eng. Dept., I.I.T. Kanpur.

80- Silvester, R. (1964) "Hydraulic Jump in All Shapes or Horizontal Channels", Proceedings of the American Society of Civil Engineers, J. of Hyd. Div., Vol. 90(Hy1), PP. 23-55.

81- Silvester, R. (1965) "Theory and Experiment on the Hydraulic Jump", 2nd Australiasian Conference on Hydraulics and Fluid Mechanics, PP. A25-A39.

82- Simon, A. L. (1986) "Hydraulics", New York. John Willey and Sons.

83- Sterens, J.C. (1944), Discussion of the Paper by Kindsvater "Hydraulic Jump in Sloping Channels", ASCE, Paper No. 2228, Trans. Vol. 109, PP. 1107-1154.

84- Straub, W.O. (1978) "A Quick and Easy Way to Calculate Critical and Conjugate Depths in Circular Open Channels", Civil Engineering. PP. 70-71.

85- Streeter, V.L. and E.B. Wylie. (1981) "Fluid Mechanics", 7th Edition, Mc Graw-Hill New York.

86- Subramanya, K. (1982) "Flow in Open Channels", New Delhi, McGraw-Hill Book Company

Prozhefa.com

87- Subramanya, K. (1986) "Flow in Open Channel", First Revised Edition, Tata McGraw-Hill New Delhi.

88- Subramanya, K. and S.C. Awasthy. (1972) "Spatially Varied Flow Over Side-Weirs", J. of Hyd. Div., Proc. ASCE, PP. 1-10.

89- Subramanya, K. and S. Dakshinamoorthy (1974) "Design of Supercritical Flow Contractions by Least Square Error Minimisation Technique, 5th Australasian Conf. on Hydr. and Fl. Mech., Christchurch, New Zeland, P. 57-63.

90- Subramanya, K. and D. Sengupta, (1981) "Flow Through Bottom Racks", Indian J. of Tech., Vol. 19, No. 2, PP. 64-67.

91- Toch, A. (1955) "Discharge Characteristics of Tainter Gates", Trans. Am. Soc. Civil Engrs., Vol. 120, P. 290.

92- U.S.B.R., (1964) "Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators".

93- Vennard, J. K. and R.L. Street (1982) "Elementary Fluid Mechanics", 6th Edition, John Wiley and Sons, New York.

94- Wang, X.R. and L.T. Chou. (1979) "The Method of Calculation of Controlling (or Treatment) Criteria for the Spillway Surface Irregularities", 13th ICOLD, New Delhi, Q50, R56, PP. 977-1003.

95- Webber, N.B. (1971) "Fluid Mechanics for Civil Engineers", London, Chapman and Hall Ltd.

96- Wylie, E.B. (1970) "Unsteady Free Surface Flow Computation", J. of Hyd. Div., Proc. ASCE, PP. 2241-2251.

97- Yarnell, D. L. (1934) "Pile Trestles as Channel Obstructions", U.S. Department of Agriculture, Tech. Ball. No. 429.

98- Yarnell, D. L. (1934) "Bridge Piers as Channel Obstructions", U.S. Department of Agriculture, Tech. Ball. No. 442.

۹۹- نجمائی - محمد، هیدرولیک کاربردی، انتشارات دانشگاه علم وصنعت ایران.

Prozhefa.com

فهرست واژه‌ها

الف - انگلیسی - فارسی

Absolute roughness	زبری مطلق
Absolute wave velocity	سرعت مطلق موج
Adverse slope	شیب منفی
Alternate depths	اعماق متناوب
Artificial channels	کانالهای مصنوعی
Average velocity	سرعت متوسط
Backwater	فراآب
Baffle blocks	بلوک‌های میانی در حوضچه آرامش
Bakhmeteff-Chow method	روش بختمف-چاو
Bernouli equation	معادلهٔ برنولی
Bottom racks	کف مشبک
Boundary	جداره - مرز
Boundary conditions	شرایط مرزی
Box culvert	آبروجعبه‌ای
Bresse Function	تابع برس
Bresse method	روش برس
Bridge	پل
Bridge pier	پایهٔ پل
Broad-crested weir	سرریز لبه پهن
Bucket	جام
Canal	کانال
Cavitation	کاویتاسیون
Cavitation index	شاخص کاویتاسیون
Centrifugal acceleration	شتاب جانب به مرکز
Channel	آبراهه - مجرا - کانال
Characteristic length	طول مشخصه
Characteristics-grid method	روش شبکهٔ خصوصیات
Chezy coefficient	ضریب شزی
Chezy equation	معادلهٔ شزی - رابطهٔ شزی
Choke	انسداد - گرفتگی
Chute	تند آبراه - شوت
Chute blocks	بلوک‌های پای تندآبراه
Circular	دایره‌ای - دایروی
Compound channel	کانال مرکب
Initial conditions	شرایط اولیه
Conjugate depths	اعماق مزدوج
Continuity equation	معادلهٔ پیوستگی
Contraction	انقباض
Contraction coefficient	ضریب انقباض
Control	کنترل

Prozhefa.com

Control section	مقطع کنترل
Control surface	سطح کنترل
Control volume	حجم کنترل
Convective acceleration	شتاب جابجائی
Courant number	عدد کورانت
Crest	تاج
Critical - flow flume	ناودان عمق بحرانی
Critical flow	جریان بحرانی
Critical depth	عمق بحرانی
Critical normal slope	شیب بحرانی نرمال
Critical slope	شیب بحرانی
Cross section	سطح مقطع
Culvert	آبرو-کالورت
Curvature	انحناء
Dam break	شکست سد
Darcy-Weisbach	دارسی - وایسباخ
Delivery curve	منحنی آبدهی
Depth	عمق
Diffusion analogy	همانندی پخش
Dimensional analysis	آنالیز ابعادی
Direct integration methods	روش‌های انتگرال‌گیری مستقیم
Direct-step method	روش گام به گام مستقیم
Discharge coefficient	ضریب جریان
Governing equation	معادلهٔ حاکمه
Drawdown	فروآب
Drop	شیب‌شکن
Drop spillway	سرریز شیب‌شکن
Drum gate	دریچهٔ طبلی
Dynamic equation	معادلهٔ دینامیکی
Dynamic viscosity	لزجت - لزجت دینامیکی
Eddy viscosity	لزجت گردابه‌ای
Eddy losses	افتهای موضعی ناشی از جدائی جریان
End conditions	شرایط حدی -شرایط انتهائی
Energy dissipator	انرژی گیرنده
Energy equation	معادلهٔ انرژی
Energy grade line	خط تراز انرژی
Energy loss	افت انرژی
Energy correction factor	ضریب تصحیح انرژی
Equation of motion	معادلهٔ حرکت
Equivalent roughness	زبری معادل
Erodible channel	کانال فرسایشی
Euler method	روش اولر
Euler numerical method	روش عددی اولر
Expansion	انبساط
Ezra method	روش اذرا
Finite difference method	روش تفاضلهای محدود
Finite element method	روش عناصر محدود
First hydraulic exponent	نمای هیدرولیکی اول
Flood routing	روندیابی سیل
Flood wave	موج سیل - موج سیلاب
Floodplain	دشت سیلابی - سیلابدشت
Flume	کانال پایه‌دار - فلوم
Free-surface flow	جریان با سطح آزاد
Freeboard	عمق آزاد - ارتفاع آزاد - لبهٔ آزاد
Friction force	نیروی اصطکاک

Prozhefa.com

Froude number	عدد فرود
Gate	دریچه
Chute spillway	سرریز شیبدار - سرریز شوت
Gradual Expansion	انبساط تدریجی
Gradual contraction	انقباض تدریجی
Gradually varied	متغیر تدریجی
Gradually varied flow	جریان متغیر تدریجی
Graphical integration method	روش انتگرال‌گیری ترسیمی
Gravity force	نیروی ثقل
Gravity wave	موج ثقلی
Horizontal slope	شیب افقی
Horse-shoe section	مقطع نعل اسبی
Hydraulic jump	پرش هیدرولیکی
Hydraulic depth	عمق هیدرولیکی
Hydraulic grade line	خط تراز هیدرولیکی
Hydraulic jump length	طول پرش هیدرولیکی
Hydraulic radius	شعاع هیدرولیکی
Hydraulic routing	روندیابی هیدرولیکی
Hydrograph	هیدروگراف
Hydrologic routing	روندیابی هیدرولوژیکی
Hydrostatic pressure distribution	توزیع فشار هیدرواستاتیکی
Improved Euler method	روش اولر بهبود یافته
Inertial force	نیروی شتاب‌دهنده
Initial depth	عمق اولیه
Inlet	ورودی
Irregular sections	مقاطع نامنظم
Kinematic routing	روندیابی سینماتیک
Kinematic viscosity	لزجت سینماتیک
Kinematic wave	موج سینماتیک
Lag	تأخیر
Lake	دریاچه
Laminar flow	جریان آرام - جریان لایه‌ای
Limit slope	شیب حد
Local acceleration	شتاب موضعی
Longitudinal profiles	نیمرخهای طولی
Loop-rating curve	منحنی مدرج حلقوی
Manning coefficient	ضریب مانینگ
Manning equation	رابطهٔ مانینگ
Manning roughness coefficient	ضریب زبری مانینگ
Method of characteristics	روش خصوصیات
Mild slope	شیب ملایم
Mobile-boundary channels	کانالهای با جدارهٔ متحرک
Momentum equation	معادله اندازه حرکت
Momentum correction factor	ضریب تصحیح اندازهٔ حرکت
Monoclinal wave	موج یک طرفه
Moody diagram	دیاگرام مودی
Morning glory spillway	سرریز نیلوفری
Muskingum method	روش ماسکینگام
Muskingum river	رودخانهٔ ماسکینگام
Natural channels	کانالهای طبیعی
Negative characteristic	خصوصیت منفی
Negative surge	موج منفی

Prozhefa.com

Negative wave	موج منفی
Newton - Raphson method	روش نیوتن - رافسون
Newton method	روش نیوتن
Newton's second law	قانون دوم نیوتن
Non-erodible channel	کانال غیرفرسایشی
Non-hydrostatic pressure distribution	توزیع فشار غیرهیدرواستاتیکی
Non-prismatic channels	کانالهای غیرمنشوری
Non-uniform	غیریکنواخت
Normal depth	عمق نرمال
Oblique hydraulic jump	پرش هیدرولیکی مایل
Ogee spillway	سرریز اوجی
Open channel	کانال باز
Oscillatory wave	موج نوسانی
Outlet	خروجی
Overflow spillway	سرریز لبهٔ آبریز
Overrun	اضافه جریان
Parabolic	سهمی شکل
Parallel flow	جریان موازی
Parshall flume	ناودان پارشال
Pier coefficient	ضریب پایه
Piezometric head	ارتفاع پیزومتری
Piezometric line	خط پیزومتری
Pipe culvert	آبرولوله‌ای
Pipe flow	جریان در لوله
Positive characteristic	خصوصیت مثبت
Positive surge	موج مثبت
Pressure distribution	توزیع فشار
Pressure flow	جریان تحت فشار
Prism storage	ذخیرهٔ منشوری
Prismatic channels	کانالهای **منشوری**
Proportional weir	سرریز متناسب
Puls method	روش پالس
Radial gate	دریچهٔ شعاعی
Rapidly varied	متغیر سریع
Rapidly varied flow	جریان متغیر سریع
Rating curve	منحنی مدرج
Rectangular	مستطیلی
Regime of flow	رژیم جریان
Relative roughness	زبری نسبی
Reservoir routing	روندیابی مخزن
Reynold's transport theorem	قضیه انتقال رینولدز
Reynolds number	عدد رینولدز
Rigid-boundary channels	کانالهای با جدارهٔ ثابت
River routing	روندیابی رودخانه
Roughness coefficient	ضریب زبری
Rounded-edged	گردگوشه
Adverse slope	شیب معکوس
Second hydraulic exponent	نمای هیدرولیکی دوم
Secondary flow	جریان ثانویه
Section factor	فاکتور سطح
Sequent depth	عمق ثانویه
Shaft spillway	سرریز نیلوفری
Sharp-crested weir	سرریز لبه تیز
Sharp-edged	تیزگوشه

Prozhefa.com

Shear force	نیروی برشی
Shear stress	تنش برشی
Shear velocity	سرعت برشی
Shock waves	امواج ضربه‌ای
Side slope	شیب کناره
Side weir	سرریز کناری
Side-channel spillway	سرریز باکانال جانبی
Sill	آب پایه
Simple wave	موج ساده
Simultaneous solution	حل همزمان
Single section	مقطع مجرد (واحد)
Siphon spillway	سرریز سیفونی
Slope of channel bottom	شیب کف کانال
Small slope	شیب کم
Solid boundary	مرز جامد
Solitary wave	تک موج
Spatially varied	متغیر مکانی
Spatially varied flow	جریان متغیرمکانی
Specific energy	انرژی مخصوص
Specific force	نیروی مخصوص
Spillway	سرریز
St.Venant equations	معادلات سنت - ونان
Stability condition	شرط پایداری
Stage	تراز
Standard step method	روش گام به گام استاندارد
Standing wave	موج ایستاده
Standing-wave flume	ناودان با موج ایستاده
State of flow	وضعیت جریان
Steady flow	جریان دائمی
Steep slope	شیب تند
Stilling Basin	حوضچهٔ آرامش
Streamline	خط جریان
Strickler's formula	فرمول استریکلر
Submerged jump	پرش مستغرق
Submerged hydraulic jump	پرش هیدرولیکی مستغرق
Sudden drop	پایین افتادگی ناگهانی
Sudden rise	بالاآمدگی ناگهانی
Sudden contraction	انقباض ناگهانی
Sudden expansion	انبساط ناگهانی
Submerged flow	جریان مستغرق
Supercritical flow	جریان فوق بحرانی
Surface tension	کشش سطحی
Surface wave	موج سطحی
Sutro weir	سرریز ساترو
Tailwater depth	عمق پایاب
Tailwater level	ترازپایاب
Tainter gate	دریچهٔ قطاعی
The best hydraulic section	بهترین مقطع هیدرولیکی
Total head	ارتفاع کل
Train of waves	امواج پشت سرهم
Transition	تبدیل
Trapezoidal	ذوزنقه‌ای
Translatory waves	امواج انتقالی
Trial - and - error	آزمون و خطا
Triangular	مثلثی
Triangular weir	سرریز مثلثی
Tunnel	تونل