

۷-۱- تعریف

اندازه گیری آب یا هیدرومتری یکی از موارد مهم در مطالعات هیدرولوژی و هیدرولیک می باشد. از آنجا که آب به دو صورت ساکن یا جاری در طبیعت وجود دارد بنابراین روشهای مختلفی برای اندازه گیری این دو حالت ارایه شده است. اندازه گیری در مورد آبهای ساکن شامل حجم و گاهی تراز سطح آب می باشد و در مورد آبهای جاری دبی یا شدت جریان است، که معادل حجم عبوری از یک مقطع معین در واحد زمان می باشد.

۷-۲ اندازه گیری آب های ساکن

آبهای ساکن مانند دریاچه ها و آبگیر یا تالاب ها و مخازن آب می باشند که برای اندازه گیری حجم آب در آنها دو حالت کلی وجود دارد یا از آب خالی هستند و یا دارای آب می باشند. در شرایط خالی بودن با استفاده از نقشه توپوگرافی و یا نقشه برداری و بهره گیری از روش های هندسی به سادگی قابل محاسبه است. اما در شرایطی که این مخازن دارای آب باشند باید با استفاده از دوربین نقشه برداریف محورهای موازی را تعیین نمود و سپس برش عرضی آنها را برداشت کرد. برای این کار دو روش ارایه شده است. یکی استفاده از عمق سنج های صوتی^۱ و دیگری استفاده از صفحه فلزی متصل به طناب و ترجیحاً طناب مدرج. با در اختیار داشتن این اطلاعات می توان حجم آب در مخازن را محاسبه نمود.

۷-۳ اندازه گیری آب های جاری

دبی یا شدت جریان آبهای جاری را می توان به یکی از روشهای زیر انجام داد.

- روش حجمی^۲ یا مستقیم
- اندازه گیری سرعت و سطح مقطع جریان آب
- روشهای تجربی مانند شیب - سطح
- روشهای رد یابی و استفاده از مواد شیمیایی
- استفاده از سازه های کوچک آبی و لوله ها
- استفاده از ابزارهای نوین

به طور کلی آنچه را که باید در همه این روش ها اندازه گیری کرد شامل موارد زیر است که با توجه به هر روش باید یک یا چند مورد آن را اندازه گیری کرد.

۱. اندازه گیری سطح آب
۲. اندازه گیری عمق آب
۳. اندازه گیری سرعت آب
۴. محاسبه حجم و دبی آب

این اندازه گیری به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم صورت می گیرد. اصولاً آب سنجی به سه طریق زیر امکان پذیر است:

- اندازه گیری سطح آب،
- اندازه گیری سرعت ، عمق و محاسبه سطح مقطع،
- کاربرد مقاطع کنترل و اندازه گیری سطح آب.

¹ Echo-Sounder

² Volumetric

در ایستگاه های هیدرومتری رسوب ستجی نیز انجام می شود که شامل اندازه گیری رسوبات معلق و بستر می باشد و به سه طریق زیر امکان پذیر است:

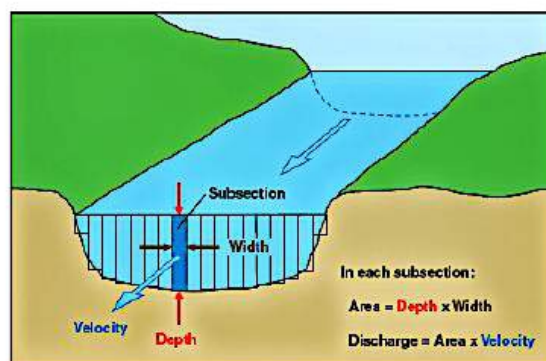
- اندازه گیری بار معلق،
- اندازه گیری بار بستر،
- اندازه گیری مصالح بستر.

۴-۷- محاسبه دبی جریان آب

دبی (Discharge) عبارت است حجم آبی که در واحد زمان از مقطعی در رودخانه (عمود بر جهت جریان) عبور می کند. تمام اندازه گیری های آب ستجی از قبیل سطح آب، عمق آب و سرعت که در بخش های قبل تشریح شد برای آن است که بتوان مقدار دبی را تخمین زد. چنانچه سرعت متوسط آب $\bar{V}$ و سطح مقطع جریان A (شکل ۷-۱۰) در دست باشد در آن صورت دبی (Q) عبارتست از:

$$Q = A\bar{V} \quad (۶-۷)$$

بنابراین جهت تخمین دبی باید هم سرعت متوسط و هم سطح مقطع اندازه گیری یا محاسبه شود.



شکل (۷-۱۰) محاسبه دبی جریان آب

۷-۴-۱- تعیین سرعت متوسط

به دست آوردن سرعت متوسط در یک آبراهه به چند طرق امکان پذیر است:
الف- روش یک نقطه ای

در این روش اندازه گیری سرعت آب فقط در یک نقطه انجام می شود. برای این کار ابتدا یک خط قائم نسبت به سطح آب در نظر گرفته شده و روی این خط سرعت در نقطه ای که فاصله آن از سطح آب حدود ۰/۵ تا ۰/۷ عمق (d) باشد (0.5d- 0.7d) اندازه گیری می شود. معمولاً در این مورد سرعت آب در 0.6d عمق از سطح آب) تعیین و به عنوان سرعت متوسط در نظر گرفته می شود. رقم 0.6d بر حسب تجربه به دست آمده است. این روش در مواردی به کار برده می شود که عمق آب از ۷۰ سانتی متر کمتر است.

ب- روش دو نقطه ای

روش دو نقطه ای در شرایطی کاربرد دارد که در آن عمق آب از ۷۰ سانتی متر بیشتر باشد. در این حالت سرعت آب در دو نقطه یکی در ۰/۲ و دیگری در ۰/۸ عمق (0.2d , 0.8d) از سطح آب اندازه گیری و سرعت متوسط $\bar{V}$ از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$\bar{V} = \frac{1}{2} (V_{0.2d} + V_{0.8d}) \quad (۷-۷)$$

که $V_{0.8d}$ و $V_{0.2d}$ به ترتیب سرعت آب در 0.2 و 0.8 عمق آب از سطح می‌باشد.

ج- روش سه نقطه‌ای

در این روش سرعت آب در 0.15 ، 0.5 و 0.85 عمق از سطح آب اندازه‌گیری و میانگین ریاضی آنها متوسط سرعت آب خواهد بود از:

$$\bar{V} = \frac{V_{0.15d} + V_{0.5d} + V_{0.85d}}{3} \quad (8-7)$$

که $V_{0.15d}$ ، $V_{0.5d}$ و $V_{0.85d}$ به ترتیب سرعت آب در 0.15 ، 0.5 و 0.85 عمق از سطح آب می‌باشد.

د- روش پنج نقطه‌ای

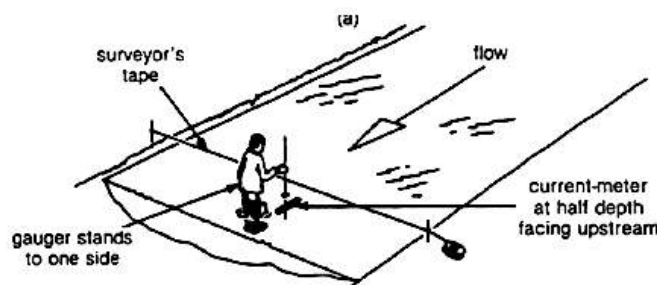
در این روش سرعت آب در سطح (V_s)، در نزدیکی های کف (V_b) و همچنین در 0.12 ، 0.46 و 0.8 عمق از سطح آب ($V_{0.8d}$ ، $V_{0.6d}$ ، $V_{0.2d}$) اندازه‌گیری و سپس سرعت متوسط ($\bar{V}$) از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{V} = \frac{1}{10} (V_s + 3V_{0.2d} + 2V_{0.6d} + 3V_{0.8d} + V_b) \quad (9-7)$$

این روش هنگامی که تغییرات سرعت نسبت به عمق یکنواخت نباشد بهتر از دیگر روش‌هاست.

برای آنکه سرعت آب در یک مقطع از رودخانه بطور دقیق‌تر محاسبه شود می‌توان مقطع رودخانه را مطابق شکل (۷-۷) شبکه بندی کرده و سرعت آب در محل هر یک از نقاط شبکه را اندازه‌کرد. برای محاسبه سرعت متوسط در یک مقطع تعدادی نقاط در سطح آب در آن مقطع انتخاب و سرعت متوسط آب در امتداد هر یک از خطوط عمودی که از این نقاط به داخل آب رسم شوند به یکی از روشهای ۵ گانه که در بالا اشاره شد اندازه‌گیری می‌شود. پس از آن که سرعت متوسط در امتداد هر یک از خطهای عمودی به دست آمد با میانگین‌گیری آنها می‌توان سرعت متوسط را بدست آورد. بر طبق استاندارد تعداد این خطوط عمودی نباید از ۲۰ کمتر باشد و هر چه بیشتر باشد بهتر و نتایج دقیقتر است. برای این منظور نخی را در عرض رودخانه بسته و نقاط مورد اندازه‌گیری روی نخ با علامت مشخص می‌شوند شکل (۷-۱۱) سپس در محل هر علامت سرعت متوسط جریان اندازه‌گیری می‌شود و از روی آنها سرعت متوسط در مقطع بدست می‌آید.

در صورتی که به دلیل جریان زیاد آب امکان رفتن به داخل آب نباشد از پلهای مخصوص که برای این منظور روی رودخانه ساخته می‌شود و بنام پلهای قلیزى تلفریک (شکل ۷-۱۱) معروف است استفاده می‌شود که سرعت سطح از روی آن و از بالا به داخل آب فرستاده می‌شود.



شکل (۷-۱۱) تقسیم مقطع رودخانه به قطعات کوچکتر و نقاط اندازه‌گیری سرعت در آن

۷-۴-۲- محاسبه دبی

برای محاسبه دبی از روش‌های زیر می‌توان استفاده کرد:

۱-۲-۴-۷ روش محاسباتی

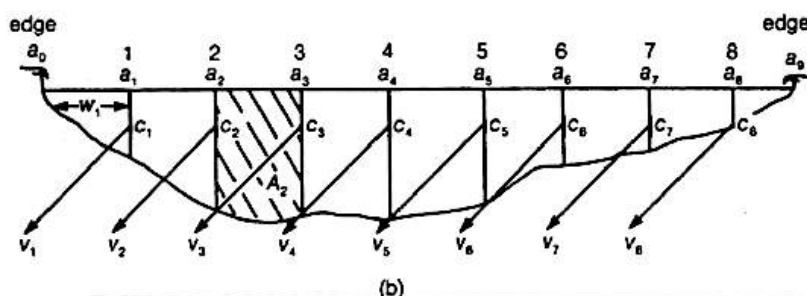
با استفاده از اطلاعات سرعت و سطح مقطع و به یکی از روش‌های زیر می‌توان دبی را برای مقطع جریان حساب کرد..

الف: روش مقطع متوسط^۱

سطح مقطع کل رودخانه مانند شکل ۱۲-۷ به چند مقطع کوچکتر تقسیم می‌شود. سرعت در محورهای عمودی اندازه‌گیری می‌شود و با استفاده از رابطه زیر دبی در مقطع میانی هر دو محور محاسبه می‌شود

$$q_i = \left(\frac{V_i + V_{i+1}}{2} \times \frac{d_i + d_{i+1}}{2} \right) \times b_i \quad (10-7)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i \quad (11-7)$$



شکل ۱۲-۷ تقسیم مقطع رودخانه به مقاطع کوچکتر و نقاط اندازه‌گیری سرعت در آنها

ب: روش مقطع میانی^۲

مانند روش اول و شکل ۱۲-۷ است. در این روش سرعت متوسط در هر محور در عمق عمودی هر محور از رابطه زیر محاسبه می‌شود و سپس از رابطه ۱۱-۷ دبی کل مقطع بدست می‌آید.

$$q_i = d_i \times v_i \left(\frac{b_i + b_{i+1}}{2} \right) \quad (12-7)$$

۲-۲-۷-۷ روش خطوط هم سرعت

این روش با استفاده از متحتی‌های هم سرعت در یک مقطع جریان انجام می‌شود. A_i مساحت بین دو خط هم سرعت و V_i سرعت متوسط بین دو خط هم سرعت باشد، دبی متوسط در کل مقطع از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$Q = \sum_{i=1}^n V_i \times A_i \quad (13-7)$$

۳-۲-۴-۷ محاسبه دبی از روی شیب و ضریب انتقال جریان

این روش به نام روش شیب - سطح هم گفته می‌شود. در این روش با استفاده از رابطه مانینگ و برداشت‌های صحرائی از مقاطع جریان ابتدا ضریب انتقال دبی (K) از رابطه مانینگ برآورد و سپس به کمک یکی از روش‌های دو و یا سه نقطه ای دبی برآورد

$$k = \frac{1}{n} \cdot AR^{2/3} \quad \text{رابطه مانینگ} \quad (18-7) \quad \text{می‌شود.}$$

¹ Mean section method

² Mid section method

و به کمک یکی از روش های زیر:

الف- روش دو نقطه ای

$$Q = \left\{ \frac{\Delta d_{1-2}}{\frac{L_{1-2}}{K_1 \times K_2} - \frac{1}{2gA_1^2} \left[1 - \frac{A_1^2}{A_2^2} \right]} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (19-7)$$

ب- سه نقطه ای

$$Q = \left\{ \frac{\Delta d_{1-3}}{\frac{L_{1-2}}{K_1 \times K_2} + \frac{L_{2-3}}{K_2 \times K_3} - \frac{1}{2gA_1^2} \left[1 - \frac{A_1^2}{A_3^2} \right]} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (20-7)$$

در روابط فوق:

Q = دبی بر حسب متر مکعب بر ثانیه

Δd_{1-2} اختلاف ارتفاع بین نقطه ۱ و ۲ به متر

K_1, K_2, K_3 ضریب انتقال مقاطع ۱، ۲، ۳

A_1, A_2, A_3 مساحت سطح مقطع در نقاط ۱، ۲، ۳

g شتاب ثقل

۷-۴-۳- اندازه گیری دبی با استفاده از سازه ها و فلوم ها برای جریان های کوچک

مهمترین وسایل اندازه گیری جریان شامل: فلوم، پارشال فلوم، سر ریز ها، روزنه ها و تبدیل ها می باشد. سرریزها صفحات فلزی هستند که به شکل های مختلف برش داده شده و بطور قائم جلو جریان آب قرار داده می شوند بطوری که آب بتواند از روی قسمت برش داده شده عبور کند. سر ریز ها از قدیمی ترین و ساده ترین لوازم اندازه گیری دبی هستند که دارای دقت نسبتاً مناسب بوده و ساخت و بهره برداری از آنها ساده است. از مهمترین انواع سر ریزها می توان به سر ریز مستطیلی، مثلثی و سیپولتی اشاره کرد. سر ریز های مثلثی برای اندازه گیری جریان هایی با دبی کم مورد استفاده قرار می گیرند. سر ریز های مستطیلی و سیپولتی برای جریان ها با دبی نسبتاً زیاد و عموماً در آبراهه ها یا کانال های بزرگ جریان مورد استفاده قرار می گیرند.

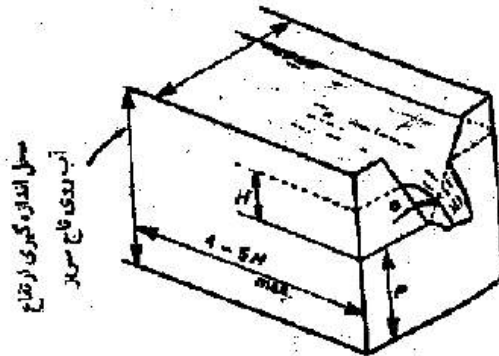
سر ریز سیپولتی یکی از مناسبترین نوع لوازم اندازه گیری است که می تواند در مانیتورینگ آبراهه ها مورد استفاده قرار گیرد. این سر ریز به دلیل متغیر بودن عرض از بالا به پایین دارای دقت مناسبی برای اندازه گیری جریان می باشد. اندازه گیری جریان با این سر ریز با استفاده از یک اشل صورت می گیرد. لذا در مواردی که دسترسی مشکل باشد یا جریان سیلابی سریعی رخ دهد، کاربرد اشل ماکزیمم می تواند در پیش بینی حداکثر سیل مناسب باشد در ذیل انواع سرریزها توضیح داده می شود.

۱-۳-۴-۷ سرریز مثلثی

این سرریزها با زاویه رأس α ساخته شده و اگر ارتفاع آب روی رأس سرریز H باشد (شکل ۱۲-۷) مقدار دبی از فرمول زیر محاسبه می شود.

$$Q = \frac{8}{15} C_e (\sqrt{2g}) (H^{2.5} \tan \frac{\alpha}{2}) \quad (۲۱-۷)$$

ضریب C_e برای سرریزهایی که لبه آنها تیز باشند حدود ۰.۶ است. اگر h و g در سیستم متریک باشند Q نیز بر حسب m^3/sec خواهد بود.



(شکل ۱۲-۷) یک سرریز مثلثی با قشردگی جانبی

۲-۳-۴-۷ سرریز مستطیلی لبه تیز ساده

این سرریز صفحه ساده مستطیلی است به عرض L (معادل عرض کانال یا نهر) که جلوی جریان آب قرار داده شده و آب بدون قشردگی از روی آن عبور می کند. دبی (Q) برای $C_e=0.61$ از رابطه زیر بدست می آید.

$$Q = \frac{2}{3} C_e \sqrt{2g} L H^{1.5} = 0.0184 . L H^{3/2} \quad (۲۲-۷)$$

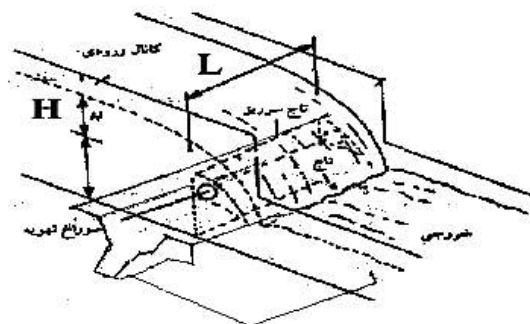
C_e = ضریب دبی (بین ۰.۶۲ تا ۰.۷۵ تغییر می کند).

L = طول تاج سرریز (cm)

H = ارتفاع آب روی تاج (cm)

Q = دبی بر حسب (lit/sec)

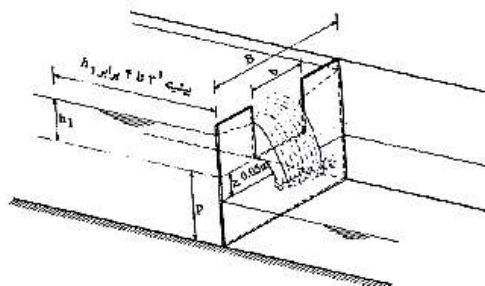
شکل ۱۳-۳ طرز قرار گرفتن سرریز مستطیلی ساده را در داخل کانال نشان می دهد. در این شکل عرض کانال با علامت L نشان داده شده است.



شکل (۱۳-۷) سرریز مستطیلی ساده

۳-۳-۴-۷ سرریز مستطیلی لبه تیز با فشردگی جانبی

در این سرریزها برشی به شکل مستطیل در قسمتی از یک صفحه مستطیلی ایجاد شده و هنگامی که سرریز جلو جریان آب گذاشته شود آب از داخل این برش با ارتفاعی که مقدار آن از تاج سرریز H می باشد عبور می کند (شکل ۱۴-۷).



شکل (۱۴-۷) سرریز مستطیلی با فشردگی جانبی

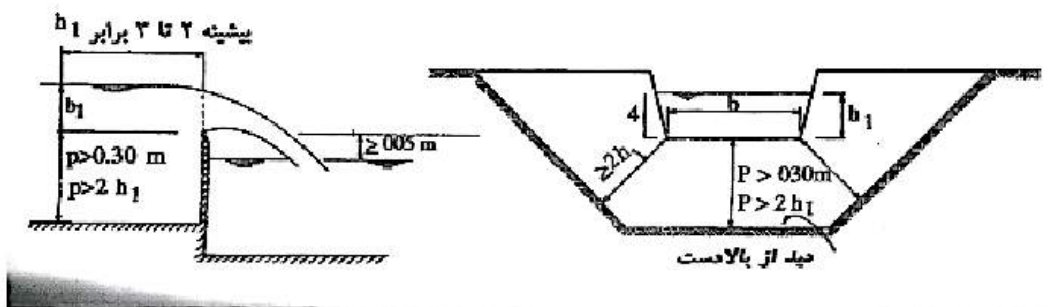
در این نوع سرریز عرض موثر معادل $L-0.2H$ می باشد یعنی از هر طرف به اندازه $0.1H$ کم می شود. رابطه آن به صورت زیر است. در قسمت دوم $Ce=0.61$ قرار داده شده است.

$$Q = \frac{2}{3} Ce \sqrt{2g} (L - 0.2H) H^{1.5} = 1.86 (L - 0.2H) H^{3/2} \quad (۲۳-۷)$$

۴-۳-۴-۷ سرریز ذوزنقه ای یا سیپولتی لبه تیز با فشردگی جانبی

مانند سرریز مستطیلی لبه تیز با مقطع ذوزنقه ای است که دارای شیب جانبی ۱:۴ می باشد (شکل ۱۵-۷). ضریب دبی (Ce) آن معادل ۰.۶۳ می باشد. در رابطه ۲۴-۷ مقدار Cw در سیستم متریک ۱.۸۶ و در سیستم امپریکال ۳.۳۷ است.

$$Q = C_w L H^{1.5} \quad (۲۴-۷)$$



شکل (۱۵-۷) سرریز ذوزنقه ای یا سیپولتی با فشردگی جانبی

۵-۳-۴-۷ روزنه

روزنه نیز یکی از وسایل اندازه گیری جریان در آبراهه ها است که عمدتاً در آبراهه های با دبی خیلی کم (کمتر 1000 Lps) و بدون رسوب مورد استفاده قرار می گیرد. مسئله رسوب و بخصوص رسوبات ناشی از ریزش کناره آبراهه ها که دارای ابعاد نسبتاً بزرگی هستند امکان گرفتگی یا ایجاد خطا در ثبت نتایج توسط روزنه را به دنبال دارد (شکل ۱۷-۷).

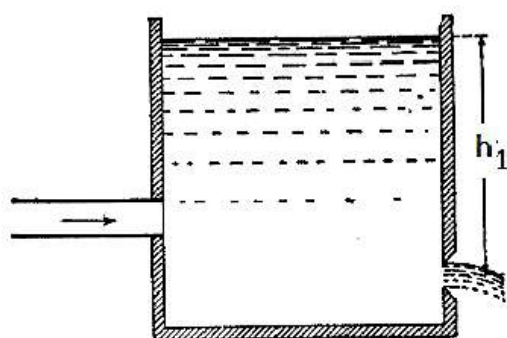
محاسبه روزنه در حالت آزاد از رابطه ۲۷-۷ و برای حالت استغرق از رابطه ۲۸-۷ بدست می آید.

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2gh_1} \quad (27-7)$$

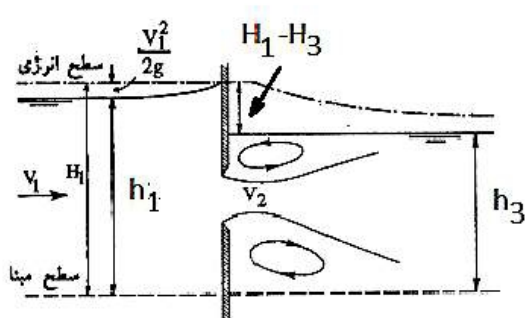
$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2g(h_1 - h_3)} \quad (28-7)$$

که در آن:

- C_d ضریب دبی روزنه
- A سطح مقطع روزنه
- h_1 ارتفاع آب در بالا دست روزنه
- h_3 ارتفاع آب در پائین دست روزنه



روزنه آزاد



روزنه مستغرق

شکل (۱۷-۷) روزنه های آزاد و مستغرق