دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده کشاورزی

گروه علوم و مهندسی خاک

هیدرولوژی

تهیه و تنظیم
حیدر غفاری

هرگاه شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک بیشتر باشد بخشی از آب حاصله از بارندگی در سطح حوضه باقی می‌ماند. این آب پس از پر کردن گودیهای سطح زمین (که به آن چالاب گفته می‌شود) در امتداد شیب زمین جریان پیدا کرده و از طریق شبکه آبراهه ها و سپس رودخانه اصلی از حوضه خارج می‌گردد. به این بخش از بارندگی (که می‌توان مقدار آن را در رودخانه‌ها اندازه‌گیری کرد) رواناب سطحی[1] می‌گویند. با توجه به اینکه خصوصیات حوضه نسبتاً ثابت است قاعدتاً بین بارندگی و رواناب می توان یک رابطه مستقیم انتظار

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 معیین 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. آما 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[1] و دیگری استفاده از صفحه فلزی متصل به طناب و ترجیحا 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[2] 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 امکان‌پذیر است:

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

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

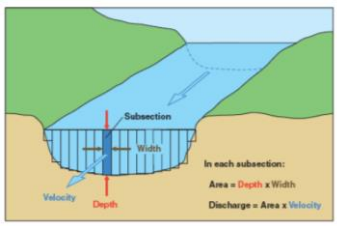
- اندازه‌گیری بار معلق،
- اندازه‌گیری بار بستر،
- اندازه‌گیری مصالح بستر.

۷-۴- محاسبه دبی جریان آب

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

$$Q = A\overline{V} \qquad (۶-۷)$$

بنابراین جهت تخمین دبی باید هم سرعت متوسط و هم سطح مقطع اندازه‌گیری 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 امکان‌پذیر است:

الف- روش یک نقطه‌ای

در این روش اندازه‌گیری سرعت آب فقط دریک نقطه انجام می‌شود. برای این کار ابتدا یک خط قائم نسبت به سطح آب در نظر گرفته شده و روی این خط سرعت در نقطه‌ای که فاصلهٔ آن از سطح آب حدود ۰/۵ تا ۰/۷ عمق (d) باشد (0.5d- 0.7d) اندازه‌گیری می‌شود. معمولاً در این مورد سرعت آب در 0.6d (۰/۶ عمق از سطح آب) تعیین و به عنوان سرعت متوسط در نظر گرفته می‌شود. رقم 0.6d بر حسب تجربه به دست آمده است. این روش در مواردی به کار برده می‌شود که عمق آب از ۷۰ سانتی‌متر کمتر است.

ب- روش دو نقطه‌ای

روش دو نقطه‌ای در شرایطی کاربرد دارد که در آن عمق آب از ۷۰ سانتی‌متر بیشتر باشد. در این حالت سرعت آب در دو نقطه یکی در ۰/۲ و دیگری در ۰/۸ عمق (0.8d , 0.2d) از سطح آب اندازه‌گیری و سرعت متوسط $\overline{V}$ از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

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

که $V_{0.2d}$ و $V_{0.8d}$ به ترتیب سرعت آب در ۰/۲ و ۰/۸ عمق آب از سطح می‌باشد.

ج- روش سه نقطه‌ای

در این روش سرعت آب در ۰/۱۵، ۰/۵ و ۰/۸۵ عمق از سطح آب اندازه‌گیری و میانگین ریاضی آنها متوسط سرعت آب خواهد بود از:

$$\overline{V} = \frac{V_{0.15d} + V_{0.5d} + V_{0.85d}}{3} \qquad (۸-۷)$$

که $V_{0.15d}$ ، $V_{0.5d}$ و $V_{0.85d}$ به ترتیب سرعت آب در ۰/۱۵، ۰/۵ و ۰/۸۵ عمق از سطح آب می‌باشد.

د- روش پنج نقطه‌ای

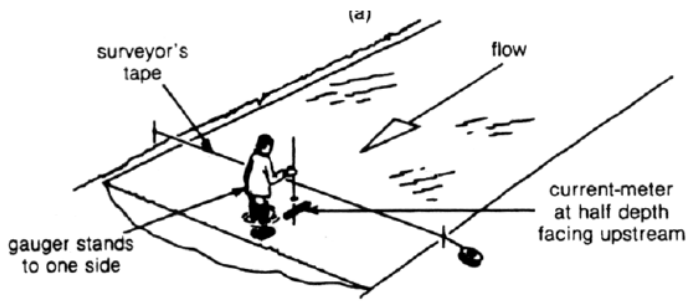
در این روش سرعت آب درسطح (V_s)،در نزدیکی های کف (V_b) و همچنین در ۰/۲، ۰/۶ و ۰/۸ عمق از سطح آب ، ($V_{0.8d}$, $V_{0.6d}$, $V_{0.2d}$) اندازه‌گیری و سپس سرعت متوسط ($\overline{V}$) از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\overline{V} = \frac{1}{10}(V_s + 3V_{0.2d} + 2V_{0.6d} + 3V_{0.8d} + V_b) \qquad (۹-۷)$$

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(۷-۱۱) 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 کنتر 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 ازپلهای مخصوص که برای این منظور روی رودخانه ساخته می‌شود و بنام پلهای فلزی تلفریک (شکل۷-۱۱) معروف است استفاده می‌شود که سرعت سنج 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 می توان استفاده کرد:

۷-۴-۲-۱ روش محاسباتی

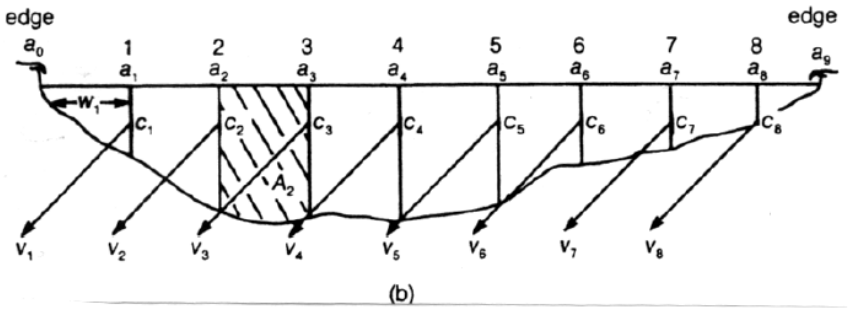
با استفاده از اطلاعات سرعت و سطح مقطع و به یکی از روش‌های زیر می توان دبی را برای مقطع جریان حساب کرد..

الف: روش مقطع متوسط[۱]

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

$$qi = \left(\frac{V_i + V_{i+1}}{2} \times \frac{d_i + d_{i+1}}{2}\right) \times b_i \qquad (۱۰-۷)$$

$$Q = \sum_{i=1}^{n} q_i \qquad (11-۷)$$



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

ب: روش مقطع میانی[۲]

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

$$Q = \sum_{i=1}^{n} v_i d_i \cdot \frac{b_{i+1} - b_{i-1}}{2} \qquad (12-۷)$$

۷-۲-۷-۲ روش خطوط هم سرعت

این روش با استفاده از منحنی های هم سرعت در یک مقطع جریان انجام می شود. Ai مساحت بین دو خط هم سرعت و Vi سرعت متوسط بین دو خط هم سرعت باشد، دبی متوسط در کل مقطع از رابطه زیر بدست می آید.

$$Q = \sum_{i=1}^{n} V_i \times A_i \qquad (۱۳-۷)$$

۱۴-۲ اندازه‌گیری سطح آب

اندازه‌گیری رقوم سطح آب در مخازن یا رودخانه‌ها و یا سطح ایستابی در آبهای زیرزمینی از عملیات معمول در هیدرولوژی است. از آنجایی که اندازه‌گیری سطح آب بطور مطلق مورد نظر نبوده بلکه نوسانات آن بیشتر مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد معمولاً سطح آب نسبت به یک سطح مرجع اندازه‌گیری و تغییرات آن در طول سال ثبت می‌شود.

یکی از ساده‌ترین روشهای اندازه‌گیری سطح آب نصب *خط‌کش* (stage) در حاشیهٔ رودخانه یا منبع آب است که اصطلاحاً به آن *اشل* می‌گویند. در صورتی که شرایط محلی ایجاب کند نصب یک خط‌کش در حاشیهٔ رودخانه (شکل ۱۴-۱ الف) کفایت خواهد کرد در غیر این صورت تعدادی خط‌کش (۱ و ۲ و ۳) در ارتفاعات مختلف نصب می‌شود بطوریکه در واقع خط‌کشی که در تراز بالاتر قرار گرفته است ادامهٔ خط‌کش پائینی باشد (شکل ۱۴-۱ ب). نصب این خط‌کشها مخصوص رودخانه‌هایی است که پهن و عریض باشند.

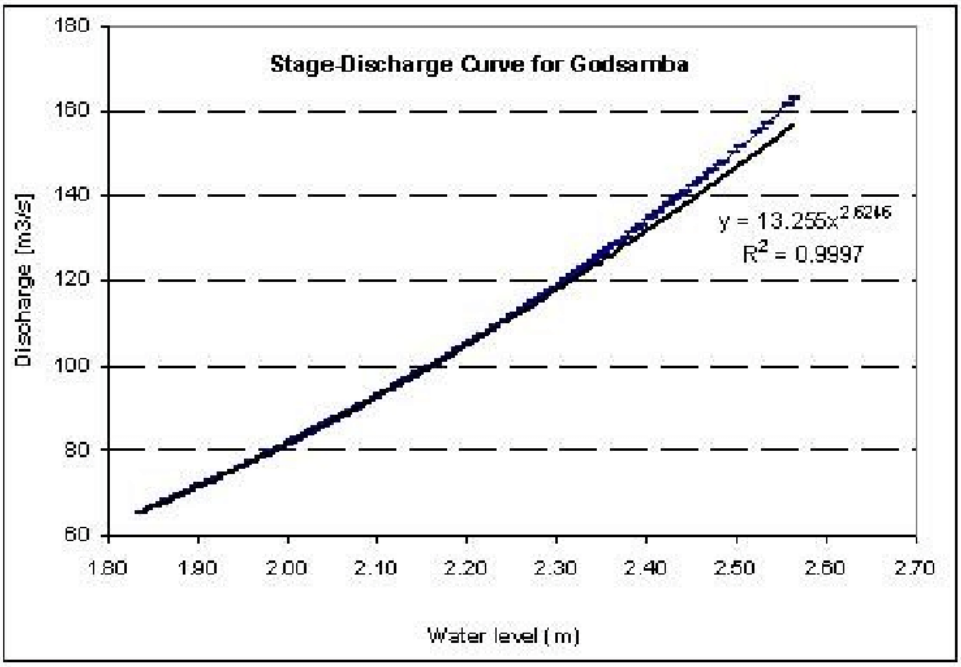
اندازه‌گیری سطح آب در هیدرولوژی از این جهت حائز اهمیت است که اگر در چند نوبت همزمان با اندازه‌گیری سطح آب مقدار دبی نیز اندازه‌گیری شود می‌توان بین دبی و رقوم سطح آب یک رابطه ریاضی یا نموداری را بنام *رابطه دبی - اشل* (stage-discharge) بدست آورد. با داشتن این رابطه بدون اندازه‌گیری دبی می‌توان فقط تراز سطح آب را از روی خط‌کش خوانده و مقدار دبی را تخمین زد. در عملیات هیدرولوژی معمولاً سطح آب روزانه دوبار بوسیله اشل قرائت می‌شود. اما در صورت وقوع سیل چون تغییرات دبی شدید است فاصله اندازه‌گیریها کوتاهتر می‌شود.

در مواردی که اندازه‌گیری روزانهٔ سطح اب به دلیل کمبود نیروی انسانی ممکن نباشد، از دستگاههای ثبات اندازه‌گیری سطح آب یا *لیمنوگراف* (limnograph) استفاده می‌شود. دراین حالت مطابق شکل ۱۴-۳ چاهکی در کنار رودخانه حفر و آب توسط تونلی به داخل آن هدایت و در داخل چاهک سطح آب توسط لیمنوگراف اندازه‌گیری می‌گردد. لیمنوگراف از قرقره‌ای تشکیل شده است که روی آن طناب یا کابلی قرار گرفته است. یک سرطناب به جسم شناور داخل آب چاهک و سر دیگر آن به وزنه‌ای متصل است. جسم شناوری که داخل چاهک قرار گرفته است در اثر نوسانات سطح آب چاهک بالا و پایین می‌رود و در نتیجه قرقره نیز به حرکت در می‌آید. حرکت قرقره، قلمی را که متصل به ان است به حرکت در می‌اورد. در مقابل قلم استوانه‌ای که دور آن صفحهٔ کاغذی پیچیده شده است در گردش است، چرخش استوانه توسط یک ساعت تنظیم می‌شود.

۳-۱۴ اندازه‌گیری عمق آب

ساده‌ترین وسیله برای اندازه‌گیری عمق آب استفاده از میله‌های مدرج است. به‌انتهای میله‌های اندازه‌گیری صفحه‌ای متصل است تا از فرو رفتن آن به داخل گل‌ولای و ایجاد اشتباه در اندازه‌گیری جلوگیری نماید. استفاده از میله محدود به شرایطی است که عمق آب کم باشد. در هنگام سیلابی بودن رودخانه و یا در مواردی که عمق آب زیاد باشد از کابلهایی که وزنهٔ سنگینی به آن متصل شده است استفاده می‌شود. بالا و پایین بردن کابل به داخل آب یا با دست و یا به کمک چرخ انجام می‌شود. هنگامی که وزنه به کف رودخانه برخورد کرد طولی از کابل که داخل آب قرار می‌گیرد اندازه‌گیری می‌شود که برابر عمق آب خواهد بود. استفاده از کابل دارای معایبی نیز می‌باشد. از جمله این‌که (۱) موقعیت برخورد وزنه به کف کانال را نمی‌توان بدرستی مشخص کرد و (۲) در جریانهای شدید کابل قائم قرار نگرفته که این امر موجب اشتباه در اندازه‌گیری می‌شود.

روش دیگر در اندازه‌گیری عمق آب رودخانه‌ها استفاده از ابزارهای صوتی به روش ***آوا-نگاری*** است. در این مورد از خاصیت سرعت عبور امواج صوت در داخل آب و برخورد آن به کف رودخانه و سپس برگشت امواج انعکاسی استفاده می‌شود. برای این منظور انواع دستگاهها ساخته شده است، نوع معمول آن در هیدرولوژی ***اکو- ساندر*** (echo-sounder) است. طرز کار اکو- ساندر براین اساس است که فاصلهٔ زمانی از ایجاد یک صدا تا زمان برگشت انعکاس آن از کف رودخانه اندازه‌گیری می‌شود.



منحنی سنجه آب (منحنی تراز-دبی)

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 شکل‌های مختلف برش داده شده و بطور قائم جلو جریان آب قرار داده می‌شوند 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 ازآنها 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 جریان‌هایی با دبی کم مورد استفاده قرار می گیرند. سر ریز های مستطیلی و سیپولتی برای جریان‌ها با دبی نسبتاً زیاد و عموماً در آبراهه ها یا کانال‌های 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 انداز گیری جریان می باشد.

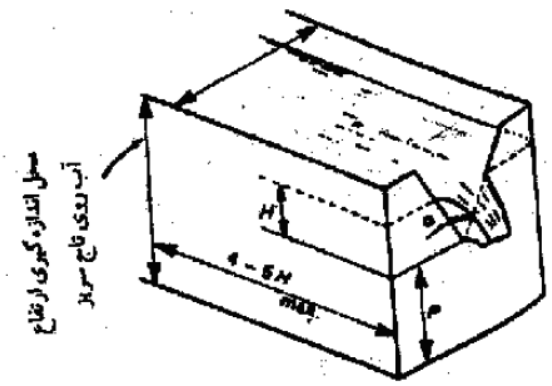
اندازه گیری جریان با این سر ریز با استفاده از یک اشل صورت می گیرد. لذا در مواردی که دسترسی مشکل باشد یا جریان سیلابی سریعی رخ دهد ، کاربرد اشل ماکزیمم می تواند در پیش بینی حداکثر سیل مناسب باشد در ذیل انواع سرریزها توضیح داده می‌شود.

۷-۴-۳-۱ سرریز مثلثی

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

$$Q = \frac{8}{15} Ce(\sqrt{2g})(H^{2.5} tg\frac{\alpha}{2}) \qquad (۲۱-۷)$$

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



۷-۴-۳-۲ سرریز مستطیلی لبه تیز ساده

این سرریز صفحهٔ سادهٔ مستطلی است به عرض L (معادل عرض کانال یا نهر) که جلوی جریان آب قرار داده شده و آب بدون فشردگی از روی آن عبور می‌کند. دبی (Q) برای Ce=0.61 از رابطه زیربدست می آید.

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

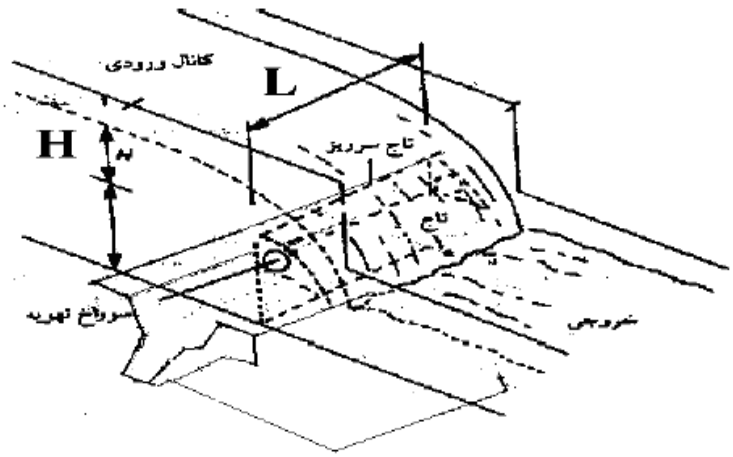
Ce- ضریب دبی (بین ۰.۶۲ تا ۰.۷۵ تغییر می کند.)

L= طول تاج سرریز (cm)

H= ارتفاع آب روی تاج (cm)

Q= دبی بر حسب (1it/sec)

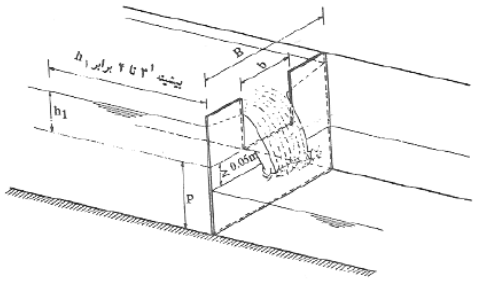
شکل ۳-۱۳ طرز قرار گرفتن سرریز مستطیلی ساده را در داخل کانال نشان می‌دهد. در این شکل عرض کانال با علامت L نشان داده شده است.



شکل (۷-۱۳) سرریز مستطیلی ساده

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

در این سرریزها برشی به شکل مستطیل در قسمتی از یک صفحهٔ مستطیلی ایجاد شده و هنگامی که سـرریز جلـو جریـان آب گذاشته شود آب از داخل این برش با ارتفاعی که مقدار آن از تاج سرریز H می‌باشد عبور می‌کند(شکل ۷-۱۴).



شکل (۷-۱۴) سرریز مستطیلی با فشردگی جانبی

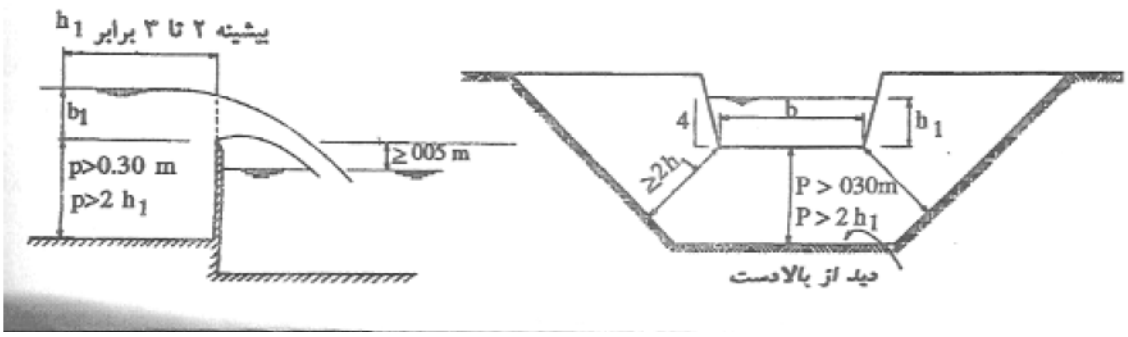
در این نوع سرریز عرض موثر معادل می‌L-0.2H باشد یعنی از هر طرف به اندازه 0.1 H کم می شود. رابطه آن به صورت زیر است. در قسمت دوم Ce=0.61 قرار داده شده است.

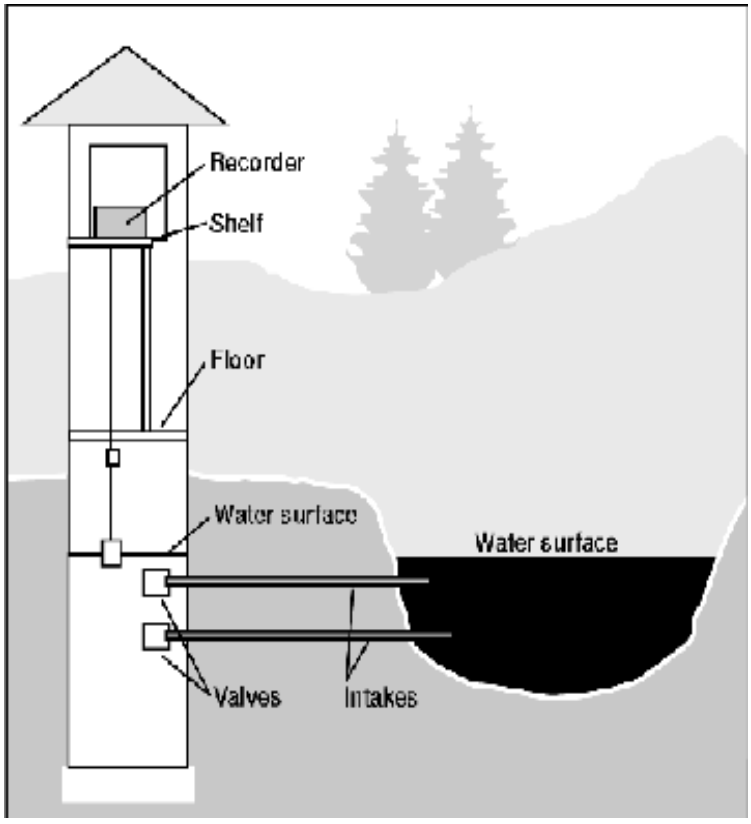
$$Q = \frac{2}{3} Ce\sqrt{2g}(L - 0.2H)H^{1.5} = 1.86(L. - 0.2H)H^{3/2} \qquad (۲۳-۷)$$

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

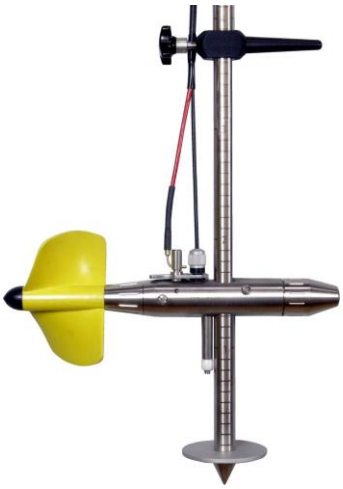
مانند سرریز مستطیلی لبه تیز با مقطع ذوذنقه ای است که دارای شیب جانبی ۱:۴ می باشد(شکل ۷-۱۵) . ضریب دبی (Ce) آن معادل ۰.۶۳ می باشد. درا رابطه ۷-۲۴ مقدار Cw در سیستم متریک ۱.۸۶ و در سیستم امپریکال ۳.۳۷ است.

$$Q = C_W L H^{1.5} \qquad (۲۴-۷)$$





لیمنوگراف



مولینه