فصل چهاردهم

# آب‌سنجی


مقدّمه
اندازه‌گیری سطح آب
اندازه‌گیری عمق آب
اندازه‌گیری سرعت آب
اندازه‌گیری باجسم‌شناور
اندازه‌گیری بادستگاه‌سرعت‌سنج
اندازه‌گیری باروشهای‌شیمیایی
اندازه‌گیری به‌روش‌صوتی
اندازه‌گیری دبی
سرعت متوسط
محاسبه دبی
اندازه‌گیری‌دبی‌درجریانهای‌کوچک
مسائل
منابع برای مطالعه بیشتر


## ۱۴-۱ مقدّمه

بخش اعظم دانش هیدرولوژی در زمینه‌های ریخت‌شناسی و رفتار رودخانه‌ها بر نتایج حاصله از اندازه‌گیری مستقیم آب استوار است. بسیاری از فرمول‌هایی که در طراحی سیستم‌های آبی به‌کار برده می‌شود از روی داده‌های تجربی و اندازه‌گیریهای صحرایی به‌دست آمده‌اند. تکمیل و یا تصحیح این فرمول‌ها نیز به چنین داده‌هایی بستگی دارد. از جمله اندازه‌گیریهایی که تحت عنوان آب سنجی یا **هیدرومتری** (hydrometry) صورت گرفته و در تحلیلهای هیدرولوژی از نتایج آنها استفاده می‌شود عبارتند از :

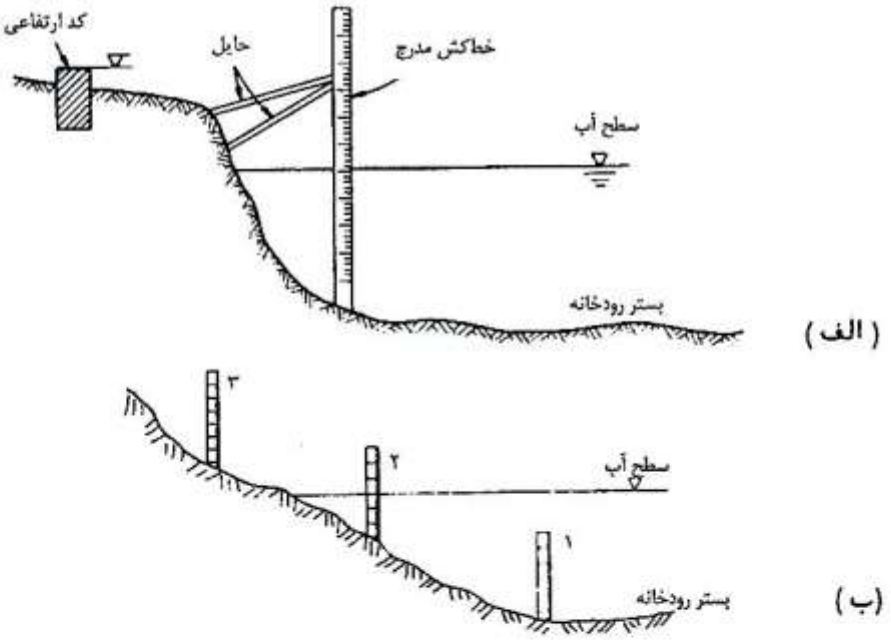
(۱)- اندازه‌گیری سطح آب
(۲)- اندازه‌گیری عمق آب
(۳)- اندازه‌گیری سرعت آب
(۴)- اندازه‌گیری دبی آب (مقدار جریان)

این اندازه‌گیریها ممکن است بصورت مستقیم انجام شده و یا با اندازه‌گیری عوامل وابسته بصورت غیر مستقیم به آنها دست یافت.

## 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.

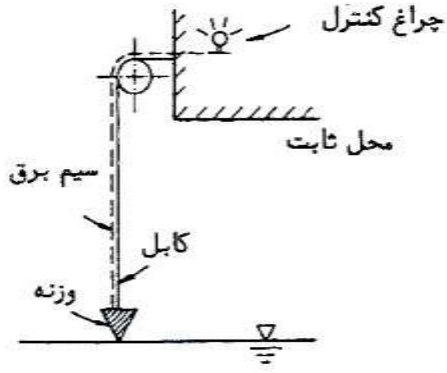



شکل ۱۴-۱ خط‌کش مدرج (اشل) برای اندازه‌گیری سطح آب

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. همانطور که گفته شد در حاشیه رودخانه یا مخازن محل ثابتی بنام **نقطه مرجع** (bench mark) در نظر گرفته می‌شود تا در صورتی که خط‌کش به علتی تخریب شد بتوان خط‌کش جدیدی را با همان وضعیت قبلی نصب کرد.

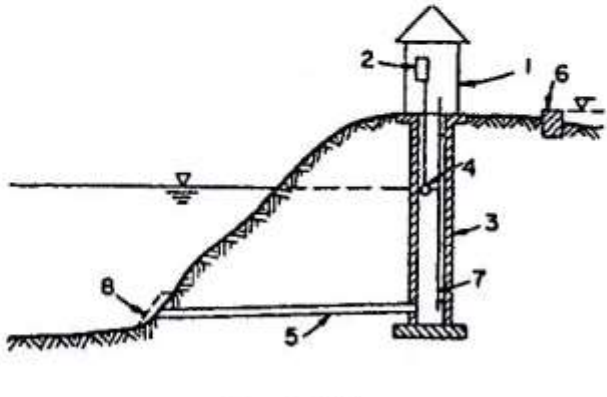
وسیلهٔ دیگری که در اندازه‌گیری سطح آب به کار برده می‌شود **عمق‌یاب** یا در عمل **سطح‌یاب** است. عمق‌یاب در مواردی به کار برده می‌شود که بتوان آن را در هر نوبت اندازه‌گیری در محل مشخصی مانند یک نقطه از پل تثبیت نمود. عمق‌یاب از یک وزنه و کابل سیمی مدرج تشکیل شده است (شکل ۱۴-۲). در هنگام برخورد وزنه با آب جریان الکتریکی که نیروی آن از یک باطری تأمین می‌شود برقرار شده و چراغ کنترل روشن می‌گردد. روشن شدن چراغ نشانهٔ برخورد کابل به سطح آب است و از روی آن می‌توان تراز آب را محاسبه کرد. دستگاه عمق‌سنج برای اندازه‌گیری تراز آب زیرزمینی در چاهها که امکان اندازه‌گیری مستقیم سطح آب وجود ندارد وسیله مناسبی است.



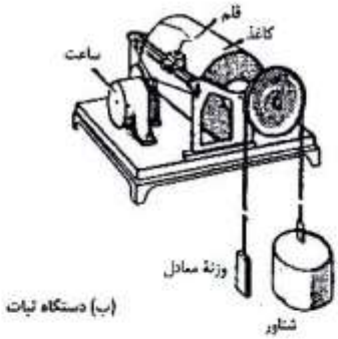

شکل ۱۴-۲ عمق‌یاب برای اندازه‌گیری سطح آب

در مواردی که اندازه‌گیری روزانهٔ سطح آب 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 آن است به حرکت در می‌آورد. در مقابل قلم استوانه‌ای که دور آن صفحهٔ کاغذی پیچیده شده است در گردش است، چرخش استوانه توسط یک ساعت تنظیم می‌شود. در اثر حرکت قلم خطی روی صفحهٔ کاغذ رسم می‌شود که از روی آن می‌توان رقوم سطح آب را بدست آورد.




(الف) چاهک و متعلقات




(ب) دستگاه ثبات

شکل ۱۴-۳ دستگاه اندازه‌گیری خودکار سطح آب

در پاره‌ای موارد فقط به اندازه‌گیری بالاترین رقوم سطح آب (داغاب) اکتفا می‌شود. برای این‌منظور ممکن است اشل با ماده‌ای اندوده شود که در اثر برخورد با آب تغییر رنگ دهد. در این صورت بآسانی می‌توان بالاترین تراز آب را بدون توجه به زمان وقوع آن ثبت نمود. در رودخانه‌های طبیعی بالاترین رقوم سطح آب از روی آثاری که آب بر دیوارهٔ رودخانه به جای می‌گذارد قابل اندازه‌گیری است.

## ۱۴-۳ 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.

## ۱۴-۴ اندازه‌گیری سرعت آب

اندازه‌گیری سرعت آب در هیدرولوژی آبهای سطحی یکی از عملیاتی است که معمولاً بصورت روزانه و یا در دوره‌های زمانی کوتاه انجام می‌شود. داشتن سرعت متوسط آب در یک رودخانه (V) از این جهت حائز اهمیت است که با داشتن آن و اندازه‌گیری سطح مقطع رودخانه (A) می‌توان مقدار دبی (Q) را بدست آورد ($Q = A.V$).

اندازه‌گیری سرعت آب به روشهای مختلف امکان‌پذیر است. انتخاب روش به شرایط محلی رودخانه، دقت مورد نیاز در اندازه‌گیری و در اختیار بودن وسایل و امکانات لازم بستگی دارد. در زیر به‌تشریح برخی از روشهای اندازه‌گیری سرعت آب در هیدرولوژی می‌پردازیم.

### ۱۴-۴-۱ اندازه‌گیری سرعت با جسم شناور

منظور از اندازه‌گیری سرعت با جسم شناور این است که جسمی مانند یک تکه چوب یا یک بطری نیمه پر از آب را که وزن مخصوص آن کمتر از آب باشد داخل آب انداخته و سرعت

حرکت آن را بین دو نقطهٔ مشخص از مسیر آب، اندازه‌گیری کنیم. این روش ساده‌ترین روش اندازه‌گیری سرعت است. دو نقطه از مسیر آب به طول ۲۰ تا ۳۰ متر که نسبتهً مستقیم و عاری از علف یا گیاهان آبی باشد انتخاب و جسمی که مطابق شکل ۱۴-۴ الف بتواند به صورت شناور در سطح آب قرار گیرد در داخل رودخانه یا نهر آب انداخته می‌شود. فاصله زمانی که جسم بین دو نقطه از مسیر را طی می‌کند (T) اندازه‌گیری می‌شود. اگر L فاصلهٔ بین دو نقطه باشد سرعت سطحی آب ($V_s$) عبارت است از

$$V_s = \frac{L}{T} \qquad (۱-۱۴)$$

تجربه نشان داده است که بین سرعت متوسط آب در مقطع رودخانه ($V_m$) و سرعت سطحی ($V_s$) که به روش فوق اندازه‌گیری می‌شود یک رابطه خطی بصورت زیر وجود دارد.

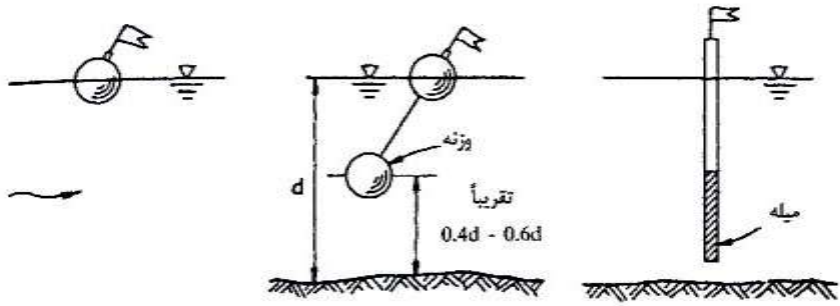
$$V_m = K.V_s \qquad (۲-۱۴)$$

ضریب K بستگی به عمق آب در رودخانه داشته و مقدار آن بین ۰/۶ تا ۰/۹ متغیر است که معمولاً ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود لذا:

$$V_m = 0.8\ V_s \qquad (۳-۱۴)$$

در رودخانه‌ها به هنگام سیل سرعت متوسط در عمق ۰/۵ متری از سطح رودخانه می‌باشد.

در پاره‌ای موارد به جسم شناور وزنه‌ای با نخ متصل می‌شود، بطوری که مطابق شکل ۱۴-۴ ب هنگامی که جسم شناور در سطح آب انداخته می‌شود وزنه در مکانی که موقعیت آن به اندازه تقریبی ۰/۴ تا ۰/۶ عمق آب از سطح رودخانه است قرار می‌گیرد. سرعت جسم شناور در این وضعیت برابر با سرعت متوسط جریان آب بوده و نیاز به‌اعمال‌ضریب‌اصلاحی‌نمی‌باشد. امروزه میله‌های شناور نیز ساخته شده‌اند که انتهای آنها کمی سنگین است و هنگامی که به آب انداخته می‌شوند بطور عمودی قرار می‌گیرند. با این میله‌ها نیز سرعت متوسط آب اندازه‌گیری می‌شود. توجه داشت که نباید میله هیچ‌وقت به کف رودخانه برخورد کند (شکل ۱۴-۴-ج).




الف - جسم شناور ساده　　ب - جسم شناور با وزنه　　ج - میله شناور

شکل ۱۴-۴ اندازه‌گیری سرعت با جسم شناور

نوعی دیگر از وسایلی که بعنوان جسم شناور در هیدرولوژی از آنها استفاده می‌شود ***شناورهای هیدرودینامیک*** است که به یک سیم یا نخ متصل بوده و از نقطه‌ای به داخل رودخانه انداخته می‌شوند. سرعت حرکت آب آن را به جلو برده و بین سیم و خط قائم زاویه‌ای برابر $\alpha$ که به‌آسانی قابل اندازه‌گیری است به وجود می‌آید (شکل ۱۴-۵). با داشتن $\alpha$ می‌توان سرعت آب در آن نقطه را از فرمول زیر محاسبه کرد.

$$V^2 = \frac{2\,w}{C\,A\,\rho}\,\mathrm{tg}\,\alpha \qquad (۴-۱۴)$$

که در آن:

V - سرعت آب (m/sec)

w - وزن مستغرق وزنه برحسب نیوتن (N)

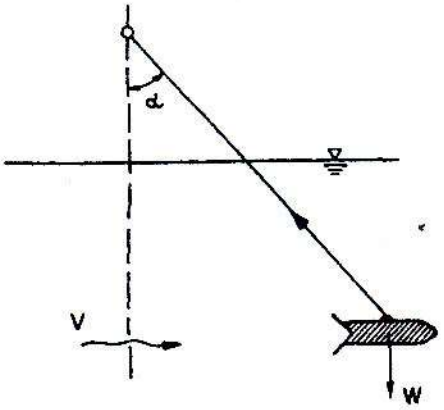
C - ضریب اصطکاک وزنه با آب

A - سطح مقطع وزنه بر صفحه‌ای که عمود بر جهت جریان آب قرار گرفته است ($m^2$)

$\rho$ - دانسیته آب ($kg/m^3$)

$\alpha$ - زاویه انحراف

معمولاً برای سرعتهای کم از وزنه‌های سبک با سطح مقطع زیاد و برای سرعتهای زیاد از وزنه‌های سنگین با سطح مقطع کوچک استفاده می‌شود. ضریب اصطکاک وزنه‌ها در آزمایشگاه تعیین و همراه با کاتالوگ دستگاه در اختیار استفاده کننده قرار می‌گیرد. پس از آن که وزنه در عمقهای مختلف قرار گرفت می‌توان تغییرات سرعت از سطح آب تا کف رودخانه را به دست آورد. در هر حال این روش عملا کمتر توسط هیدرولوژیست‌ها بکار گرفته می‌شود.



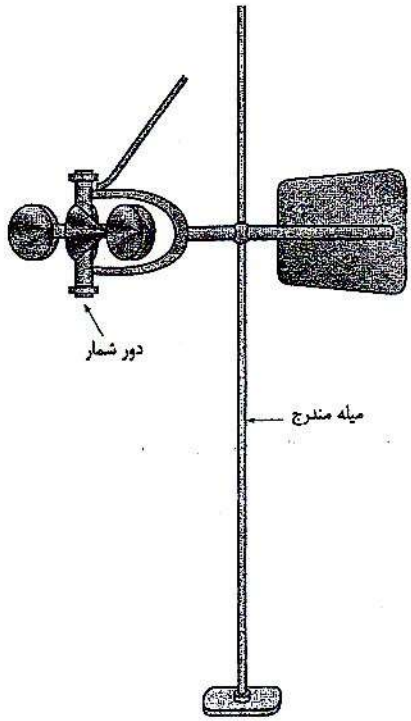

شکل ۱۴-۵ جسم شناور هیدرودینامیک

## ۱۴-۴-۲ اندازه‌گیری سرعت با دستگاه سرعت‌سنج

معمول‌ترین وسیله اندازه‌گیری سرعت آب در آبراهه‌ها استفاده از دستگاه سرعت سنج (current meter) یا *پروانه آبی* است. سرعت‌سنجها که در بین متخصصان هیدرولوژی بنام مولینه (نام فرانسوی آن) معروف است براین اصل استوارند که قسمت پروانه‌ای یا فنجانکهای آن در مقابل جریان آب قرار می‌گیرد و در اثر سرعت آب به چرخش در می‌آید(شکل ۱۴-۶). چرخش پروانه به سرعت آب بستگی دارد. تعداد دور پروانه از روشن و خاموش شدن چراغ و یا بوقهایی که در اثر قطع و وصل زده می‌شود تعیین می‌گردد. بعضی سرعت‌سنجها به شمارشگر نیز مجهز می‌باشند که تعداد دور را اندازه‌گیری می‌کند. اگر N تعداد دور پروانه در دقیقه باشد سرعت حرکت آب (V) عبارت خواهد بود از:

$$V = a + bN \qquad (۵-۱۴)$$

که a و b ضرایب مربوط به نوع سرعت‌سنج بوده و توسط کارخانه سازنده همراه با کاتالوگ دستگاه در اختیار قرار داده می‌شود و یا این که توسط کارشناسان با واسنجی دستگاه در آزمایشگاههای هیدرولیک بدست می‌آید. مثلاً برای سرعت سنج پرایس نوع فنجانی مقدار a و b به ترتیب برابر ۰/۰۳ و ۰/۶۵ می‌باشند. بهتر آن است که دستگاههای سرعت‌سنج هرچند




شکل ۱۴-۶ تیپ یک دستگاه سرعت‌سنج

وقت یکبار واسنجی شده تا اگر در ضرایب آن تغییراتی بوجود آمده است مشخص گردد . در جریانهای کم، سرعت‌سنج با دست در محل کار گذاشته می‌شود ولی در جریانهای زیاد وزنه‌ای به سرعت‌سنج متصل و از بالا توسط کابل سیمی در داخل آب قرار می‌گیرد (شکل ۱۴-۷). از سرعت‌سنجهایی که در حال حاضر در بازار مصرف زیاد دارند می‌توان انواع زیر را نام برد

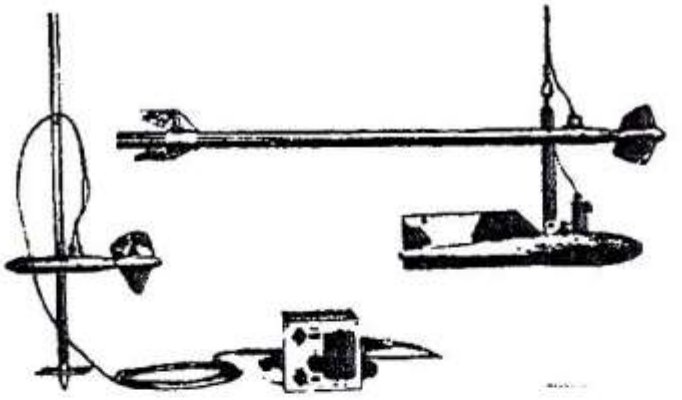
- سرعت‌سنج پرایس (Price)

- سرعت‌سنج نریپک (Neyrpic)

- سرعت‌سنج آت (Ott)

- سرعت‌سنج تامام (Tamam)

در برخی از سرعت سنجها محور پروانه یا فنجانکها عمودی و در برخی افقی است. در سرعت‌سنجهای پرایس که معمولترین نوع می‌باشند اگر در فرمول ۱۴-۵ سرعت V برحسب متر در ثانیه و N برحسب دور در ثانیه باشد مقادیر a و b به ترتیب ۰/۰۳ و ۰/۶۷ می‌باشند.



شکل ۱۴-۷ طرز قرار گرفتن سرعت‌سنج در داخل آب

## ۱۴-۴-۳ اندازه‌گیری سرعت با روشهای شیمیایی

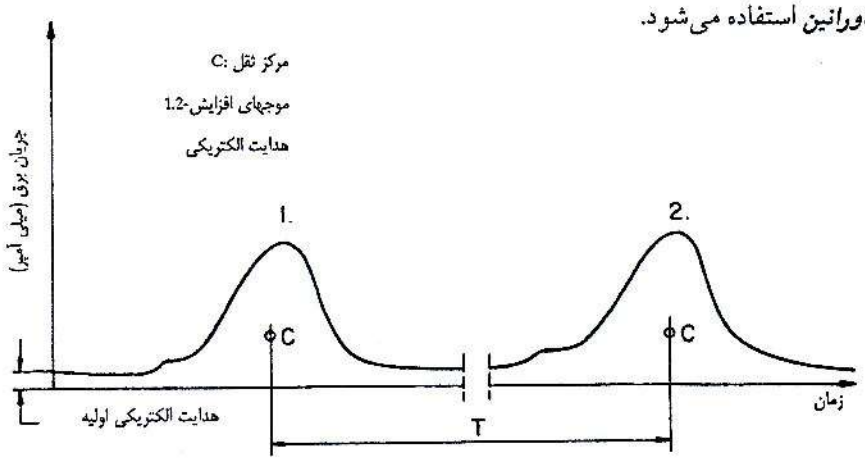
از روشهای شیمیایی نیز در اندازه‌گیری سرعت و دبی رودخانه‌ها سود جسته می‌شود. گرچه این روشها اخیراً زیاد توسعه پیدا کرده است ولی به دلیل آلوده شدن آب با مواد شیمیایی، هرچند مقدار آن کم است، مورد اعتراض زیاد واقع شده است. از انواع روشهای شیمیایی می‌توان اندازه‌گیری با نمک و مواد رنگی را نام برد.

**اندازه‌گیری با نمک** در این روش مقداری نمک طعام که به صورت محلول تهیه شده‌باشد در نقطه‌ای از رودخانه به داخل آب ریخته می‌شود. نمک با آب مخلوط شده و با سرعتی معادل سرعت متوسط حرکت آب به جلو می‌رود. اگر در نقطه‌ای در پایاب هدایت الکتریکی آب اندازه‌گیری شود مشاهده خواهد شد که پس از رسیدن نمک به آن نقطه، هدایت الکتریکی افزایش و سپس با گذشتن نمک از آن نقطه دوباره کاهش پیدا می‌کند. حال اگر در نقطه دیگری در پایین‌دست چنین اندازه‌گیری انجام شود این حالت در چند ثانیه یا دقیقه بعد اتفاق خواهد افتاد. بطوری که منحنی تغییرات هدایت الکتریکی نسبت به زمان در این دو نقطه مشابه شکل ۱۴-۸ خواهد بود. اگر فاصلهٔ زمانی بین اوجهای افزایش هدایت الکتریکی T و فاصله طولی بین نقاط اندازه‌گیری هدایت الکتریکی L باشد سرعت متوسط آب عبارت خواهد بود از

$$V = \frac{L}{T} \qquad (۶-۱۴)$$

مشکلی که دراین روش وجود دارد این است که باید دو دستگاه ثبات اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در دو نقطه وجود داشته باشد تا از روی آنها بتوان نقطه اوج افزایش هدایت الکتریکی (نقاط ۱ و ۲ در شکل ۱۴-۸) را در مقاطع ۱ و ۲ اندازه‌گیری کند.

**اندازه‌گیری با مواد رنگی** این روش اساساً مشابه روش قبلی است با این تفاوت که هزینه انجام آن کمتر و در ضمن دقت عمل نیز کم است. در نقطه‌ای از مسیر رودخانه مقداری مادهٔ رنگی به‌آب اضافه می‌شود و در نقطه‌ای دیگر که به فاصلهٔ L از آن قرار گرفته است غلظت مادهٔ رنگی در آب اندازه‌گیری می‌شود. زمانی که غلظت مادهٔ رنگی در پایین دست به اوج خود رسید (T) مشخص شده و از روی آن سرعت متوسط حرکت آب محاسبه می‌شود ($V = \frac{L}{T}$). در این روش بیشتر از موادی مانند *فلورسین* (Floresein) ، *رودامین* (Rhodamine)، *یدورپتاسیم*، *کلرورلیتیوم* و *اورانین* استفاده می‌شود.




شکل ۱۴-۸ اندازه‌گیری سرعت با نمک

### ۱۴-۴-۴ اندازه‌گیری سرعت به روش صوتی

در روش صوتی یا اولتراسونیک که هنوز در مراحل آزمایشی است تپ‌هائی (Pulses) از امواج صوتی از یک نقطهٔ آب به نقطهٔ دیگری که در پایین‌دست قرارگرفته است فرستاده می‌شود. فرستادن امواج یک‌بار در جهت جریان و بار دیگر در خلاف جهت جریان آب یعنی از پایین‌دست به طرف سرآب، انجام می‌شود. اختلاف زمان حرکت امواج در دو حالت تابعی از سرعت آب است که بدین‌وسیله اندازه‌گیری سرعت آب امکان‌پذیر می‌شود.

## ۱۴-۵ اندازه‌گیری دبی

تمام اندازه‌گیریهای آب‌سنجی از قبیل سطح آب، عمق آب و سرعت که در بخشهای قبل تشریح شد برای آن است که بتوانیم مقدار دبی را تخمین بزنیم. منظور از دبی (discharge) حجم آبی است که در واحد زمان از مقطعی از رودخانه (که عمود بر جهت جریان باشد) عبور کند. چنانچه سرعت متوسط آب $\overline{V}$ و سطح مقطع جریان A باشد مقدار دبی (Q) عبارت است از:

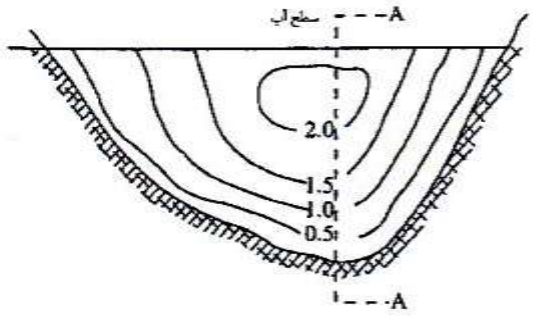
$$Q = A.\overline{V} \qquad (۱۴-۷)$$

بنابراین جهت تخمین دبی باید هم سرعت متوسط و هم سطح مقطع اندازه‌گیری یا محاسبه شود.سرعت جریان آب در مقطع یک رودخانه در نقاط مختلف آن متفاوت می‌باشد. بطوریکه اگر منحنی‌های هم‌سرعت را در یک مقطع رسم کنیم شکلی مشابه ۱۴-۹ خواهیم داشت. در این شکل مشاهده می‌شود که سرعت آب در جدار رودخانه بسیارکم بوده و هر چه به طرف وسط جریان و نقطه عمیق آن پیش برویم بر مقدار سرعت افزوده می‌شود. در یک مقطع معین حداکثر سرعت آب در سطح آب نخواهد بود بلکه کمی زیر سطح آب قرارگرفته است (حدود ۰/۲ عمق آب از سطح جریان). آزمایش نشان داده است که در عمق ۰/۶ از سطح آب سرعت حدوداً برابر سرعت متوسط در آن مقطع می‌باشد (شکل ۱۴-۹ قسمت b). چنانچه سرعت آب را در دو نقطه که به اندازه‌های ۰/۲ و ۰/۸ عمق از سطح آب قرارگرفته‌اند اندازه‌گیری و میانگین آنها را بدست آوریم، عدد بدست آمده حدوداً معادل سرعت آب در آن مقطع خواهد بود.

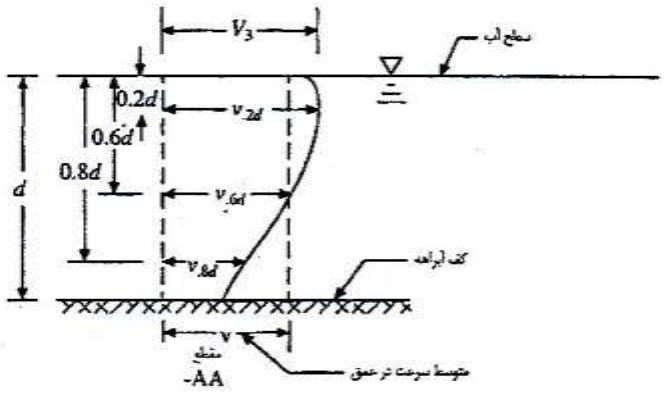
### ۱۴-۵-۱ سرعت متوسط

به دست آوردن سرعت متوسط در یک آبراهه به چند طریق امکان‌پذیر است :

**الف - روش یک نقطه‌ای** در این روش اندازه‌گیری سرعت آب فقط در یک نقطه و در وسط جریان آب 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 0.6 d (۰/۶ عمق از سطح آب) تعیین و به‌عنوان سرعت متوسط در نظر گرفته می‌شود. رقم 0.6 d برحسب تجربه به‌دست آمده است. این روش در مواردی به کار برده می‌شود که عمق آب از ۷۰ سانتی‌متر کمتر است.




(a)




(b)

**شکل ۱۴-۹ توزیع سرعت در مقطع یک آبراهه**

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

$$\bar{V} = \frac{1}{2}(V_{0.2d} + V_{0.8d}) \qquad (۸-۱۴)$$

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

$$\bar{V} = \frac{V_{0.15d} + V_{0.5d} + V_{0.85d}}{3} \qquad (۹-۱۴)$$

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 می‌باشد.

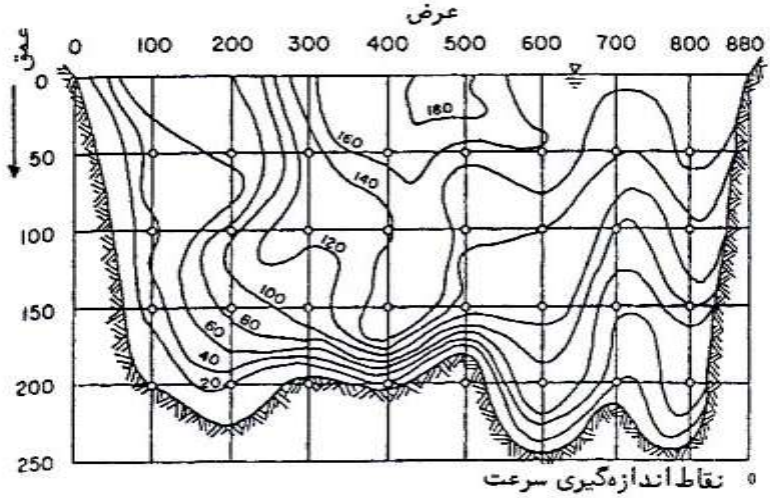
**د – روش پنج‌نقطه‌ای** در این روش سرعت آب در سطح ($V_s$)، در نزدیکی‌های کف ($V_b$) و همچنین در ۰/۲ ، ۰/۶ و ۰/۸ عمق از سطح آب ($V_{0.2d}$ ، $V_{0.6d}$ و $V_{0.8d}$) اندازه‌گیری و سپس سرعت متوسط ($\bar{V}$) از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$\bar{V} = \frac{1}{10}(V_s + 3V_{0.2d} + 2V_{0.6d} + 3V_{0.8d} + V_b) \qquad (۱۰-۱۴)$$

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

برای آن که سرعت آب در یک مقطع از رودخانه بطور دقیق‌تر محاسبه شود می‌توان مقطع رودخانه را مطابق شکل ۱۴-۱۰ شبکه‌بندی کرده و سرعت آب در محل هریک از نقاط شبکه را اندازه‌گیری کرد.

با داشتن سرعت در این نقاط، خطوط هم‌سرعت مطابق آنچه در رسم نقشه‌های توپوگرافی مرسوم است رسم می‌شود. سرعت متوسط در مقطع نیز همانند پیدا کردن ارتفاع متوسط یک منطقه که قبلاً گفته شد، از روی خطوط هم‌سرعت محاسبه می‌شود.

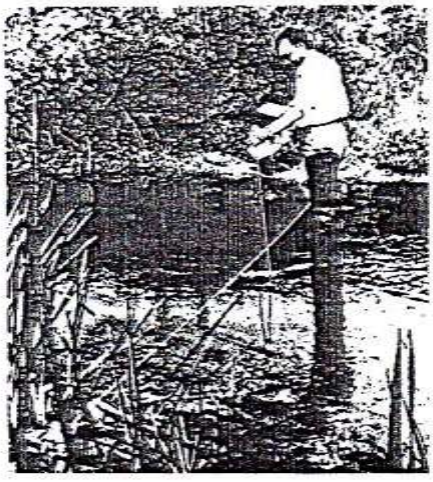



شکل ۱۴-۱۰ منحنیهای هم‌سرعت در یک مقطع از رودخانه

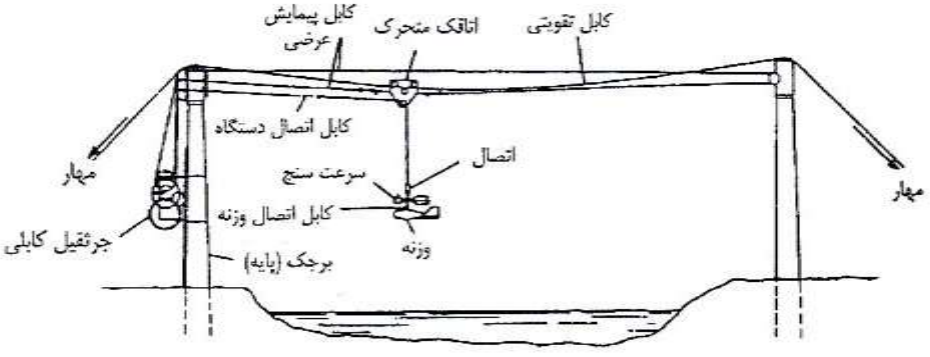
با توجه به این که رسم خطوط هم‌سرعت وقت‌گیر است برای محاسبه سرعت متوسط دریک مقطع تعدادی نقاط در سطح آب در آن مقطع انتخاب و سرعت متوسط آب در امتداد هریک از خطوط عمودی که از این نقاط به داخل آب رسم شوند به یکی از روشهای ۵گانه که در بالا اشاره شد اندازه‌گیری می‌شود.

پس از آن که سرعت متوسط در امتداد هریک از خطهای عمودی به دست آمد با میانگین‌گیری آنها می‌توان سرعت متوسط را بدست آورد. برطبق استاندارد تعداد این خطوط عمودی نباید از ۲۰ کمتر باشد و هرچه 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 ۱۴-۱۱) سپس در محل هر علامت سرعت متوسط جریان اندازه‌گیری می‌شود و از روی آنها سرعت متوسط در مقطع به دست می‌آید.

در صورتی که به دلیل بالا بودن جریان آب امکان رفتن به داخل آب نباشد از پلهای مخصوصی که برای این منظور روی رودخانه ساخته می‌شود و بنام پلهای *فلزی تلفریک* (شکل ۱۴-۱۲) معروف است استفاده می‌شود که سرعت‌سنج از روی آن و از بالا به داخل آب فرستاده می‌شود.



**شکل ۱۴-۱۱ اندازه‌گیری سرعت و عمق آب در مقطع یک رودخانه کوچک**

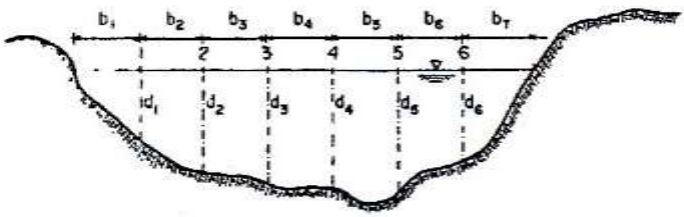



**شکل ۱۴-۱۲ پل فلزی تلفریک برای اندازه‌گیری سرعت آب در رودخانه‌های بزرگ، به کابلی که سرعت‌سنج به آن متصل شده است توجه کنید**

## ۱۴-۵-۲ محاسبهٔ دبی

محاسبهٔ دبی متوسط در یک جریان به طرق مختلف امکان‌پذیر است که ذیلاً به تشریح برخی از روشها می‌پردازیم.

**الف - روش ریاضی** اگر یک مقطع را مطابق شکل ۱۴-۱۳ به چند قسمت $b_1$ ، $b_2$ ، ... و $b_n$ تقسیم کنیم و عمق آب در محل هریک از تقسیمات $d_1$ ، $d_2$ ، $d_3$ ، ... و $d_n$ باشد با اندازه‌گیری




شکل ۱۴-۱۳ اندازه‌گیری دبی به روش ریاضی (فرمول ۱۴-۱۱)

سرعت متوسط در هریک از نقاط تقسیم $V_1$ ، $V_2$ ، ... و $V_n$ می‌توان مقدار دبی را که از هریک از قطعات تقسیم شده سطح مقطع می‌گذرد از فرمول زیر محاسبه کرد.

$$q_{i\to(i+1)} = \frac{\bar{V}_i + \bar{V}_{i+1}}{2} \times \left( \left[ \frac{d_i + d_{i+1}}{2} \right] [b_{i\to(i+1)}] \right) \qquad (۱۱-۱۴)$$

$q_{i\to(i+1)}$ = دبی در قسمتی از مقطع که بین دو خط عمودی i و i+1 قرار گرفته است ($m^3/sec$)

$V_i$ = متوسط سرعت آب در خط عمودی i، متر در ثانیه

$V_{i+1}$ = متوسط سرعت آب در خط عمودی i+1، متر در ثانیه

$d_i$ = عمق آب در خط عمودی i، متر

$d_{i+1}$ = عمق آب در خط عمودی i+1، متر

$b_{i\to(i+1)}$ = عرض سطح آب بین دو خط i و i+1، متر

با محاسبهٔ $q_i$ در هریک از اجزای سطح مقطع مقدار دبی کل (Q) عبارت خواهد بود از

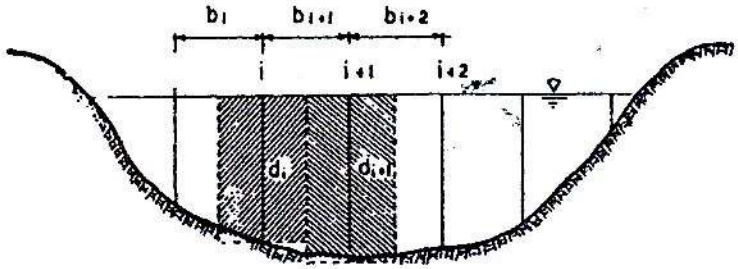
$$Q = \sum_{i=1}^{n} q_i \qquad (۱۲-۱۴)$$

که n تعداد مقاطع است. در رودخانه‌های معمولی مناسب‌ترین تعداد قطعات ۲۰ می‌باشد.

روش مشابه دیگر که برخی از هیدرولوژیست‌ها آن را ترجیح می‌دهند مطابق شکل ۱۴-۱۴ است که در آن مقدار دبی در هریک از مقاطع از فرمول ۱۴-۱۳ به دست می‌آید.

$$q_i = d_i V_i \left( \frac{b_i}{2} + \frac{b_{i+1}}{2} \right) \qquad (۱۳-۱۴)$$

اجزای فرمول‌های ۱۴-۱۲ و ۱۴-۱۳ همان است که در معادلهٔ ۱۴-۱۱ تشریح شده است.




شکل ۱۴-۱۴ محاسبهٔ دبی به روش ریاضی (فرمول ۱۴-۱۳)

**ب - روش خطوط همسرعت** همان‌طور که قبلاً بحث شد با رسم خطوط همسرعت می‌توان سرعت متوسط آب در یک مقطع را به دست آورد. اگر Ai مساحت بین هر دو خط همسرعت و Vi سرعت متوسط روی این مساحت باشد (میانگین سرعت در خط بالا و پایین آن) مقدار دبی عبارت خواهد بود از:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} V_i \times A_i \qquad (۱۴-۱۴)$$

**ج - محاسبه دبی با استفاده از مواد شیمیایی** تمام روشهای شیمیایی براساس رقیق شدن ماده‌ای که در نقطه‌ای از رودخانه وارد آب می‌شود استوار است. مادهٔ شیمیایی را می‌توان یک دفعه یا بطور پیوسته وارد رودخانه کرد. اگر حجمی (V) از یک مادهٔ شیمیایی به غلظت ($C_1$) را یک دفعه وارد آب رودخانه کنیم با فرض این که غلظت قبلی این ماده در رودخانه برابر $C_o$ بوده است در یک نقطه در پایین دست غلظت آب از نظر این ماده ابتدا $C_o$ است ولی پس از مدتی که مادهٔ شیمیایی به آن نقطه رسید بتدریج غلظت افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به نقطهٔ اوج دوباره کم شده و مجدداً به $C_o$ می‌رسد. معمولاً $C_o$ همیشه صفر است زیرا آب فاقد چنین مواد شیمیائی از همان ابتدا می‌باشد. منحنی تغییرات غلظت مادهٔ شیمیایی نسبت به زمان در نقطهٔ پایین‌دست مطابق شکل ۱۴-۱۵ می‌باشد.

اگر غلظت مادهٔ شیمیایی در آب ($C_2$) در فواصل اندازه‌گیری dt باشد مقدار دبی رودخانه (Q) عبارت خواهد بود از:

$$Q = \frac{VC_1}{\int_{t_1}^{t_2} (C_2 - C_o)\, dt} \qquad (۱۴-۱۵)$$

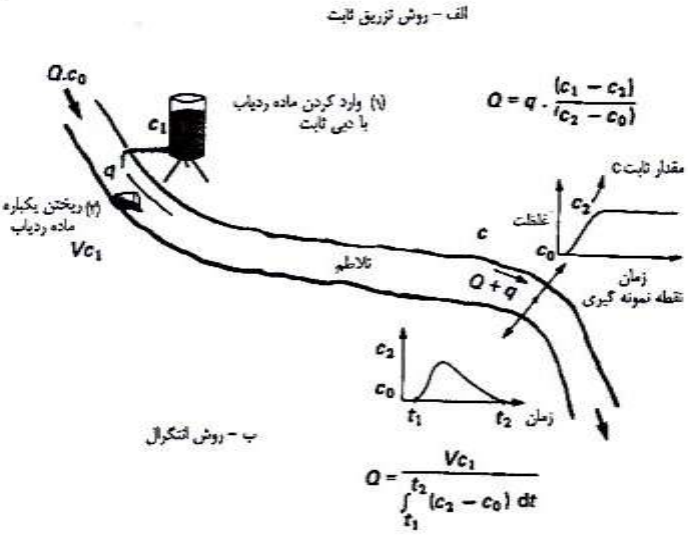
که $\int_{t_1}^{t_2} (C_2 - C_o)\, dt$ سطح زیر منحنی در شکل ۱۴-۱۵ است. هرچه دبی زیادتر باشد این سطح به دلیل رقیق شدن ماده، کوچکتر خواهد شد.

اگر ماده‌ای به غلظت $C_1$ با دبی q بطور پیوسته (تدریجی) وارد آب رودخانه شود با فرض این که غلظت اولیه آب رودخانه از نظر این ماده $C_0$ و ماده کاملاً با آب مخلوط شده باشد غلظت آب از نظر این ماده در نقطه‌ای واقع در پایین‌دست $C_2$ خواهد شد. در این صورت خواهیم داشت؛

$$Q = q \frac{(C_1 - C_2)}{(C_2 - C_0)} \qquad (۱۶-۱۴)$$

که Q دبی در نقطهٔ پایین‌دست است. در فرمول فوق چون $C_2$ در مقابل $C_1$ بسیار کوچک است بجای $C_1 - C_2$ می‌توان $C_1$ نوشت و در مخرج نیز به دلیل این که آب قاعدتاً فاقد غلظت اولیه $C_0$ است لذا مقدار آن صفر بوده و این معادله بصورت زیر درمی‌آید.

$$Q = q \frac{C_1}{C_2} \qquad (۱۷-۱۴)$$




**شکل ۱۴-۱۵ محاسبهٔ دبی با روش تزریق مادهٔ شیمیایی. (۱) ماده شیمیائی با دبی ثابت وارد آب می‌شود و (۲) ماده شیمیایی یک دفعه در آب ریخته می‌شود.**

## ● مثال ۱۴-۱

برای اندازه‌گیری دبی در یک رودخانهٔ کوهستانی مقداری مادهٔ رودامین با غلظت ۲۰،۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر با دبی ثابت ۳ میلی‌لیتر در ثانیه بطور پیوسته وارد رودخانه گردیده و غلظت آن در ۱۵۰۰ متری پایین‌دست اندازه‌گیری شده است که برابر ۰/۰۰۴۲ میلی‌گرم در لیتر بوده است. دبی رودخانه چقدر است؟

### حل

$C_1 = 20{,}000$ mg/lit

$C_2 = 0.0042$ mg/lit

$q = 3$ ml/sec

$$Q = \left(\frac{3}{10^6}\right) \frac{(20{,}000 - 0.0042)}{(0.0042 - 0)}$$

$$= 14.3 \text{ m}^3/\text{sec}$$

اگر از فرمول ۱۴-۱۷ استفاده شود خواهیم داشت

$$Q = \frac{3}{10^6} \left(\frac{20.000}{0.0042}\right)$$

$$= 14.28 \text{ m}^3/\text{sec}$$

### ● مثال ۱۴-۲

برای اندازه‌گیری دبی یک رودخانه ماده رنگی با غلظت ۱/۸ گرم در لیتر را بطور پیوسته با دبی ۰/۰۲۵ لیتر در ثانیه وارد رودخانه می‌کنیم. در سمت پائین‌دست سه بار از آب نمونه‌گیری شده و در هر بار غلظت ماده آهکی در آب به ترتیب ۵/۴۲، ۵/۳۵ و ۵/۵ میکروگرم در لیتر بوده است مقدار دبی رودخانه چقدر تخمین زده می‌شود.

### حل

$$C_2 = \frac{5.5 + 5.35 + 5.42}{3} = 5.42 \text{ micro-gr/lit}$$

$$= 5.42 \times 10^{-6} \text{ g/lit}$$

$$C_1 = 1.8 \text{ gr/lit}$$

$$Q = \frac{C_1}{C_2} q$$

$$Q = \frac{1.8}{5.42 \times 10^{-6}} (0.025) = 8302 \text{ lit/sec}$$

$$= 8.302 \text{ m}^3/\text{sec}$$

---

چنانچه مقداری ماده شیمیائی با غلظت $C_1$ یکباره در آب ریخته شود (در ایستگاه ۱) و غلظت این ماده در آب در قسمت پائین دست (ایستگاه ۲) در فواصل زمانی مشخص اندازه‌گیری شود تا زمانی که اطمینان حاصل شود که ماده رنگی از مقطع اندازه‌گیری ۲ بطور کامل عبور کرده باشد در این صورت خواهیم داشت:

مقدار ماده شیمیائی در ایستگاه ۱ $= VC_1$

مقدار ماده شیمیائی در ایستگاه ۲ $= Q \int_0^\infty C_i \, dt = Q \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i[(t_{(i+1)}) - (t_{(i-1)})]}{2}$

که n تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری شده است. نتیجه این معادله عبارت خواهد بود از:

$$Q = \frac{V C_1}{\sum_{i=1}^{n} C_i [(t_{(i+1)} - (t_{(i-1)})]/2} \qquad (۱۴-۱۸)$$

که در آن:

V = حجم ماده شیمیائی تزریق شده

$C_1$ = غلظت ماده شیمیائی تزریق شده

$C_i$ = غلظت ماده شیمیائی در نمونه اندازه گیری شده i

i = شماره ترتیب نمونه برداشت شده

$t_i$ = زمان که نمونه $C_i$ برداشت شده است.

## ● مثال ۱۴-۳

برای اندازه گیری دبی یک رودخانه مقداری ماده شیمیائی به حجم ۳/۱۲ لیتر و غلظت ۱/۷۵ گرم در لیتر را یکباره در آب ریخته‌ایم. بلافاصله پس از ریختن در نقطه‌ای از پائین دست که اطمینان داریم ماده شیمیائی کاملاً با آب مخلوط شده است در فواصل زمانی شروع به نمونه برداری از آب و اندازه گیری غلظت ماده شیمیائی در آب کرده‌ایم. در اولین اندازه گیری غلظت ماده شیمیایی در آب صفر و در دهمین اندازه‌گیری نیز غلظت صفر بوده است. مقادیر غلظت ماده شیمیائی در سایر نمونه‌ها به شرح زیر بوده است:

| زمان (دقیقه) | غلظت (میکرو گرم در لیتر) |
|---|---|
| 0 | 0.0 |
| 2 | 5 |
| 3 | 12.1 |
| 4 | 11.5 |
| 5 | 9.5 |
| 6 | 5.2 |
| 7 | 1.8 |
| 8 | 1.0 |
| 10 | 0.3 |
| 15 | 0.0 |

حساب کنید مقدار دبی رودخانه را:

### حل

با توجه به داده‌های مسأله جدول زیر را( جدول ۱۴-۱) تشکیل داده و سپس دبی را بدست می‌آوریم:

$$Q = \frac{V\,C_1}{\Sigma\, C_i\,[(t_{i+1}) - (t_{i-1})]/2}$$

$$Q = \frac{3.12\ (1.75)}{50.2 \times 10^{-6}}$$

$$Q = 108765\ \text{lit/min}$$

$$Q = 1.81\ \text{m}^3/\text{sec}$$

$$Q = 1810\ \text{lit/sec}$$

جدول ۱۴-۱

| نمونه | غلظت Ci $\mu$gr/lit | ti (min) | $[(t_{i+1})-(t_{i-1})]/2$ min | $\frac{C_i[(t_{i+1})-(t_{i-1})]}{2}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | (2-0)/2 = 1 | 0 |
| 2 | 5 | 2 | (3-0)/2 = 1.5 | 7.5 |
| 3 | 12.1 | 3 | (4-2)/2 = 1 | 12.1 |
| 4 | 11.5 | 4 | (5-3)/2 = 1 | 11.5 |
| 5 | 9.5 | 5 | (6-4)/2 = 1 | 9.5 |
| 6 | 5.2 | 6 | (7-5)/2 = 1 | 5.2 |
| 7 | 1.8 | 7 | (8-6)/2 = 1 | 1.8 |
| 8 | 1.0 | 8 | (10-7)/2 = 1.5 | 1.5 |
| 9 | 0.3 | 10 | (15-8)/2 = 3.5 | 1.1 |
| 10 | 0 | 15 | (15-10)/2 = 2.5 | 0 |
| جمع | | | | 50.2 |

**د - محاسبهٔ دبی از روی شیب و ضریب انتقال** این روش فقط به عنوان تخمین و در جاهایی که اندازه‌گیری مستقیم آب امکان‌پذیر نباشد به کار برده می‌شود. برای این منظور ۲ یا ۳ نقطه در مسیر رودخانه در نظر گرفته و در هر نقطه با تخمین سطح مقطع (A)، شعاع هیدرولیکی (R)، ضریب زبری مانینگ (n)، مقدار ضریب انتقال K از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} \qquad (۱۴-۱۹)$$

چنانچه اختلاف ارتفاع نقاط نیز $\Delta d$ باشد مقدار دبی برای مواردی که دو نقطه و یا ۳ نقطه را اندازه‌گیری کرده باشیم به ترتیب به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$Q = \left\{ \frac{\Delta d_{1\text{-}2}}{\frac{L_{1\text{-}2}}{K_1 \times K_2} - \frac{1}{2g\,A_1^2}\left[1 - \frac{A_1^2}{A_2^2}\right]} \right\}^{0.5} \qquad (۲۰-۱۴)$$

$$Q = \left\{ \frac{\Delta d_{1\text{-}3}}{\frac{L_{1\text{-}2}}{K_1 \times K_2} + \frac{L_{2\text{-}3}}{K_2 \times K_3} - \frac{1}{2g\,A_1^2}\left[1 - \frac{A_1^2}{A_3^2}\right]} \right\}^{0.5} \qquad (۲۱-۱۴)$$

اگر ۱، ۲ و ۳ به ترتیب شمارهٔ نقاط مورد نظر باشد در فرمول‌های فوق؛

Q = دبی برحسب مترمکعب در ثانیه

$\Delta d_{1\text{-}2}$ = اختلاف ارتفاع بین نقطه ۱ و ۲ برحسب متر

$K_1$، $K_2$ و $K_3$ = به ترتیب ضریب انتقال در نقاط ۱، ۲ و ۳

$A_1$، $A_2$ و $A_3$ = به ترتیب مساحت سطح مقطع جریان در نقاط ۱، ۲ و ۳ برحسب مترمربع

$\Delta d_{1\text{-}3}$ = اختلاف ارتفاع بین نقطه ۱ و ۳ برحسب متر

g = شتاب ثقل زمین برحسب متر بر مجذور ثانیه است.

در این روش باید در انتخاب نقاط و فاصلهٔ بین آنها دقت کافی بعمل آید. بطوریکه فاصله بین نقاط حداقل ۲۰ متر برای شیبهای حدود ۱ درصد، ۲۰۰ متر برای شیبهای حدود ۰/۱ درصد و ۲۰۰۰ متر برای شیبهای ۰/۰۱ درصد باشد. برای تخمین ضریب زبری مانینگ می‌توان به کتب درسی هیدرولیک مجاری روباز مراجعه کرد.

## ● مثال ۱۴-۴

می‌خواهیم حداکثر دبی راکه از یک رودخانه عبور کرده است از روی داغ آب سیل تخمین بزنیم. برای این منظور سه نقطهٔ A، B و Cکه درآن مقطع رودخانه نسبتهً ثابت بوده در نظر گرفته شده است. ضریب زبری مانینگ برابر ۰/۰۳۵ = n برآورد گردیده است. فاصلهٔ بین نقاط و شیب رودخانه به شرح زیر است.

| | A-B | B-C |
|---|---|---|
| L، فاصله (متر) | 163 | 90 |
| $\Delta d$، اختلاف ارتفاع (متر) | 0.37 | 0.28 |

و ضریب انتقال K در مقاطع A، B و C به صورت زیر برآورد شده است.

| مقطع | n | $\frac{1}{n}$ | A | R | $R^{2/3}$ | K |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 0.035 | 28.57 | 234 | 3.85 | 2.45 | 16408 |
| B | 0.035 | 28.57 | 240 | 3.70 | 2.39 | 16389 |
| C | 0.035 | 28.57 | 250 | 4.00 | 2.52 | 17982 |

**حل**

از روی معادلهٔ ۱۴-۲۱ مقدار Q برابر است با،

$$Q=\left\{\frac{0.65}{\frac{163}{16408\times16389}+\frac{90}{16389\times16982}-\frac{1}{19.6\times234^2}\left[1-\frac{234^2}{250^2}\right]}\right\}^{0.5}$$

$$Q = 903 \ m^3/sec$$

روش مذکور گرچه زیاد دقیق نیست ولی برای تخمین دبی‌های لحظه‌ای که در گذشته از یک رودخانه عبور کرده است می‌تواند مفید واقع گردد.

---

**هـ - محاسبهٔ دبی از روی قرائت اشل** اگر در یک نقطه از مسیر رودخانه که اشل یا خط‌کش اندازه‌گیری سطح آب نصب شده است چندین‌بار علاوه بر قرائت اشل دبی نیز از روی اندازه‌گیری سرعت متوسط و سطح مقطع تعیین گردد می‌توان رابطه‌ای را بین اشل و دبی به‌دست آورد. چنین رابطه‌ای در شکل ۱۴-۱۶ مشاهده می‌شود. نقاطی که در این شکل مشاهده می‌شود نتیجهٔ اندازه‌گیریهای مستقیم دبی و اشل بوده که از بین آنها منحنی رسم شده است. حال در صورتی که فقط اشل قرائت شود می‌توان از روی این نمودار دبی را تخمین زد. معادله‌ای که بر نقاط شکل ۱۴-۱۶ می‌توان برازش داد یک تابع نمائی است که بصورت زیر می‌باشد:

$$Q = aH^b \qquad (۱۴-۲۲)$$

اما اگر به ازاء $H = 0$ دبی صفر نباشد $(Q \neq 0)$ در این صورت باید در معادله بالا اصلاحاتی بصورت زیر انجام شود:

$$Q = a(H - H_o)^b \qquad (۱۴-۲۳)$$

مقادیر a و b و $H_o$ اعداد ثابتی هستند که باید به روش‌هائی مانند روش حداقل مربعات از روی داده‌های اندازه‌گیری شده دبی و اشل بدست آیند. چنانچه منحنی دبی اشل روی محورهای مختصات معمولی بصورت یک منحنی ساده مشاهده نشود می‌توان از طرفین معادله ۱۴-۲۳ لگاریتم گرفته وسپس بجای رسم Q نسبت به H مقادیر $\log(Q)$ نسبت به $\log(H - H_o)$ رسم شود که در این وضعیت معادله ۱۴-۲۳ بصورت زیر خواهد بود.

$$\log(Q) = \log a + b\,[\log(H - H_o)] \qquad (۱۴-۲۴)$$

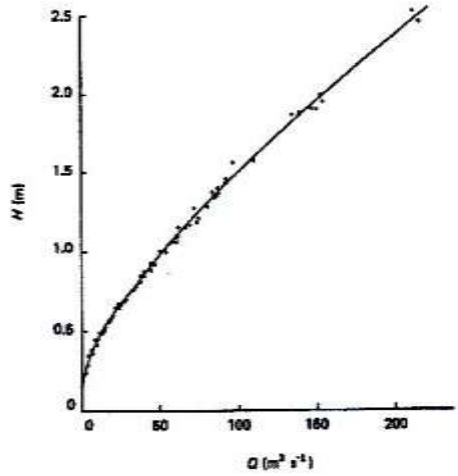
علاوه بر این با توجه با غیر منظم بودن مقطع رودخانه ممکن است بجای اینکه فقط یک منحنی یا معادله برای تغییرات دبی و اشل داشته باشیم برای هر قسمت از رابطه دبی-اشل یک خط یا معادله جداگانه بدست آید. مثلاً رابطه دبی-اشل که در شکل ۱۴-۱۶ بصورت ساده نشان داده شده است در سیستم مختصات لگاریتمی به دو قسمت شده است که هر قسمت دارای معادله و یا خط جداگانه‌ای است (شکل ۱۴-۱۷). یعنی برای H از صفر تا ۰/۷۰۹ متر یک خط با معادله:

$$Q = 70.252\ (H - 0.034)^{2.18} \qquad (۱۴-۲۵)$$

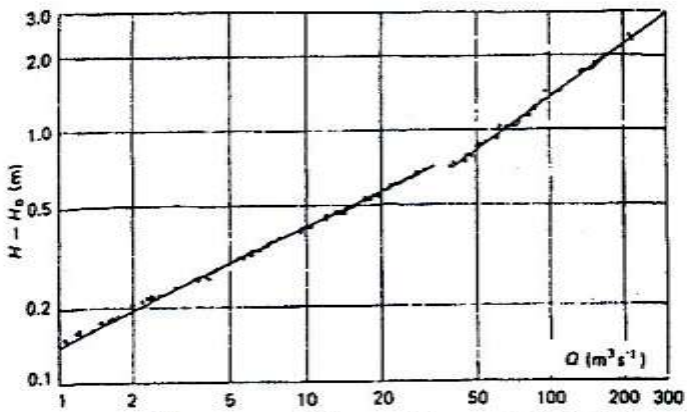
و برای مقادیر H از ۰/۷۰۹ تا ۲/۵۴ متر خط دیگری با معادله زیر:

$$Q = 65.048(H - 0.139)^{1.39} \qquad (۱۴-۲۶)$$

بدست می‌آید که در شکل ۱۴-۱۷ نشان داده شده است.

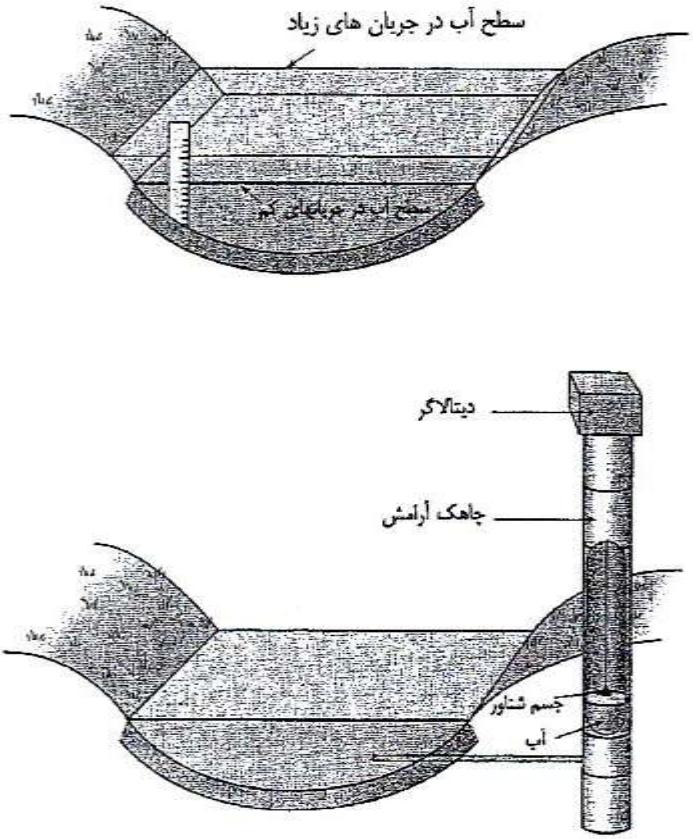



شکل ۱۴-۱۶ تیپ رابطه بین دبی - اشل




شکل ۱۴-۱۷ تیپ رابطه دبی و اشل در مختصات لگاریتمی

در اکثر رودخانه‌ها تنها به نصب یک خط‌کش مدرج (اشل) برای اندازه‌گیری سطح آب اکتفا می‌شود (شکل ۱۴-۱۸). اما اگر به دلیل تلاطم سطح آب نتوان به دقت عدد خط‌کش را قرائت کرد آب را از طریق یک لوله به داخل استوانه‌ای که در کنار رودخانه مطابق شکل ۱۴-۱۸ ساخته می‌شود هدایت کرده و سطح آب در این استوانه که برابر سطح آب در رودخانه خواهد بود از طریق یک دستگاه ثبات بنام لیمنوگراف (Limnograph) اندازه‌گیری و روی کاغذ ثبت و یا توسط دستگاه‌های لاگر ضبط می‌شود.




شکل ۱۴-۱۸ نصب اشل در کنار رودخانه برای اندازه‌گیری سطح آب و یا احداث چاهک آرامش و نصب دستگاه لیمنوگراف برای ثبت تغییرات سطح آب

## ۱۴-۵-۳ اندازه‌گیری دبی در جریان‌های کوچک

در دبی‌های کوچک اندازه‌گیری به روشهایی که تا به حال گفته شد امکان‌پذیر نیست. در این شرایط معمولاً از وسایل سادهٔ اندازه‌گیری آب استفاده می‌شود که عبارتند از : سرریز، روزنه و

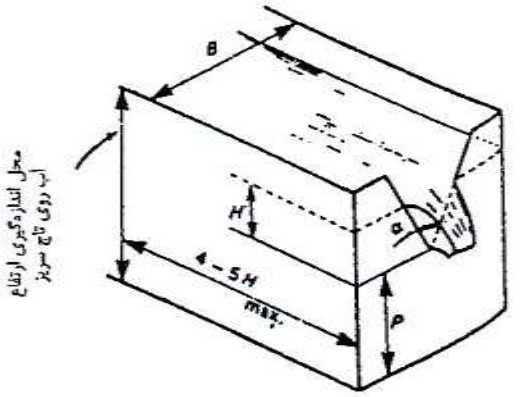
پارشال‌فلوم که با توجه به اهمیت آنها در هیدرولوژی فقط سرریزها به اختصار بحث می‌شوند. در لوله‌های خروجی چاهها امکان اندازه‌گیری دبی به روش مختصات نیز عملی می‌باشد.

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. انواع سرریزها عبارتند از

**الف - سرریز مثلثی** این سرریزها با زاویهٔ رأس $\alpha$ ساخته شده و اگر ارتفاع آب روی رأس سرریز H باشد (شکل ۱۹-۱۹) مقدار دبی از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$Q = \frac{8}{15} C(\sqrt{2g})(H^{2.5} \operatorname{tg} \alpha/2) \qquad (۲۷-۱۴)$$

ضریب C برای سرریزهایی که لبهٔ آنها تیز می‌باشد حدود 0.6 در نظر گرفته می‌شود. اگر h و g در سیستم متریک باشند ( h بر حسب متر و g بر حسب متر بر مجذور ثانیه) Q نیز برحسب $m^3/sec$ خواهد بود.




شکل ۱۹-۱۹ سرریز مثلثی شکل

**ب - سرریز مستطیلی ساده** این سرریز یک صفحهٔ سادهٔ مستطیلی است به عرض L (معادل عرض کانال یا نهر) که جلو جریان آب قرار داده شده و آب از روی آن عبور می‌کند. اگر ارتفاع آب روی تاج سرریز H باشد دبی (Q) عبارت خواهد بود از:

$$Q = 0.0184\ LH^{3/2} \qquad (۲۸-۱۴)$$

که در آن:

L = طول تاج سرریز (cm)

H = ارتفاع آب روی تاج (cm)

Q = دبی برحسب (lit/sec)

شکل ۱۴-۲۰ طرز قرار گرفتن سرریز مستطیلی ساده را در داخل کانال نشان می‌دهد. در این شکل عرض کانال با علامت b نشان داده شده است.

**ج -سرریز مستطیلی با فشردگی جانبی** دراین سرریزها برشی به شکل مستطیل در قسمتی از یک صفحهٔ 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 می‌باشد عبور می‌کند (شکل ۱۴-۲۱). در این حالت دبی از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

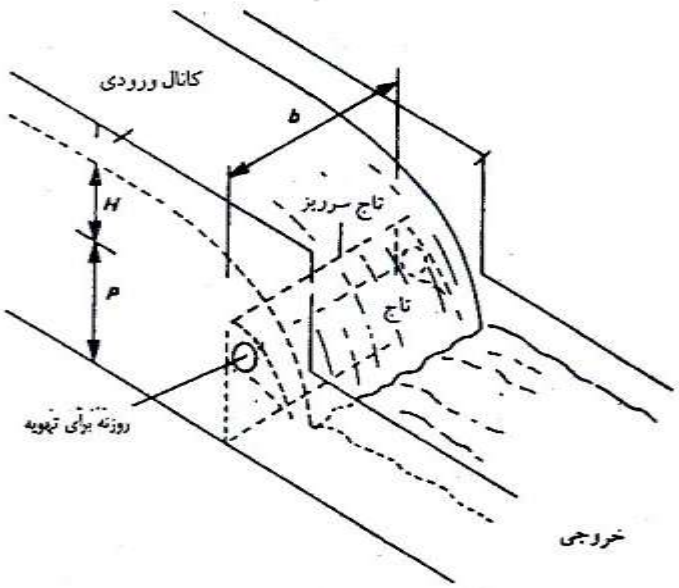
$$Q = 0.0184(L - 0.2H)^{3/2} \qquad (۱۴-۲۹)$$

که در آن:

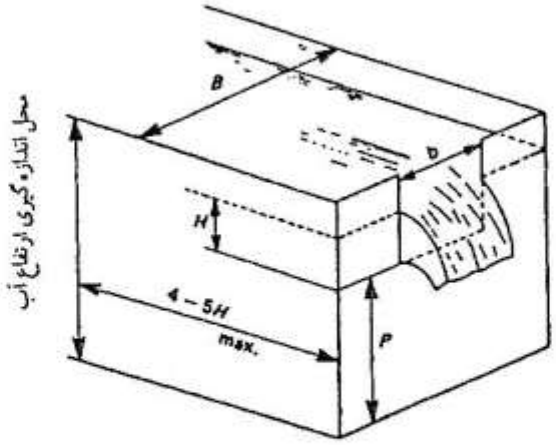
L = طول تاج سرریز (cm)

H = ارتفاع آب روی تاج (cm)

Q = دبی (lit/sec)




شکل ۱۴-۲۰ سرریز مستطیلی ساده




شکل ۱۴-۲۱ سرریز مستطیلی با فشردگی جانبی

علاوه بر انواع فوق سرریزهای دیگری نیز مانند سرریزهای ذوزنقه‌ای، سیپولتی و غیره ساخته می‌شوند که در آبیاری کاربرد زیادی دارند که از بحث پیرامون آنها خودداری می‌شود و برای کسب اطلاع در موارد وسائل اندازه‌گیری آب می‌توان به کتابهای درسی آبیاری یا هیدرولیک مراجعه کرد ولی باید توجه داشت که در رودخانه‌های نسبتا بزرگ ممکن است امکان نصب این وسایل وجود نداشته باشد که در این‌صورت باید تمهیدات دیگری بکارگرفت.

## مسائل

۱۴-۱ در چندین اندازه‌گیری که از محل نصب یک اشل به عمل آمده است نتایج زیر حاصل شده‌است.

| قرائت اشل (m) | دبی اندازه‌گیری شده ($m^3/sec$) |
|---|---|
| 0.4 | 7.846 |
| 0.445 | 10.104 |
| 0.495 | 12.979 |
| 0.440 | 9.838 |
| 0.50 | 13.288 |
| 0.505 | 13.601 |
| 0.472 | 11.608 |
| 0.483 | 12.253 |
| 0.350 | 5.690 |

الف – رابطه دبی – اشل را روی کاغذ گراف معمولی رسم کنید.

ب – رابطه دبی – اشل را روی کاغذ لگاریتمی رسم و معادله آن را حساب کنید.

ج - چنانچه در متوسط دبی سالانه این رودخانه قرائت اشل ۰/۴۱۰ متر باشد حجم آبی که در طول سال از این رودخانه می‌گذرد چقدر تخمین زده می‌شود.

۱۴-۲ محلول یک نمک معمولی به غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر با دبی ثابت ۰/۲۰ سانتی‌متر مکعب درثانیه‌وارد جریان آب شده است. غلظت نمک در آب قبلاً ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری گردیده است . در نقطه‌ای از پایین دست غلظت نمک در آب مجدداً اندازه‌گیری و برابر ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر بوده است. دبی جریان آب چقدر است.

جواب: ۰/۰۰۱ متر در مکعب در ثانیه

۱۴-۳ برای اندازه‌گیری سرعت متوسط آب در یک آبراهه با یک دستگاه سرعت سنج (مولینه) اقدام به اندازه‌گیری سرعت در ۰/۲ و ۰/۸ عمق آب (d) از سطح شده است که نتایج زیر بدست آمده است. اگر ضرایب سرعت سنج a=0.003 و b=0.38 باشد سرعت متوسط در این آبراهه چقدر است.

| عمق | تعداد دور | مدت (ثانیه) |
|---|---|---|
| 0.2 d | 35 | 50 |
| 0.8 d | 25 | 55 |

(جواب - ۰/۲۲۵ متر در ثانیه)

۱۴-۴ در اندازه‌گیری دبی از یک جریان داده‌های زیر بدست آمده است. مقدار دبی را محاسبه کنید.

| فاصله‌ازساحل‌چپ(m) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عمق جریان (m) | 0 | 1.35 | 3.31 | 5.0 | 9.0 | 5.38 | 3.78 | 1.78 |
| سرعت در 0.2 d | 0 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.6 | 0.5 |
| سرعت در 0.8 d | 0 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.3 |

(جواب - ۱۸ متر مکعب در ثانیه)

۱۴-۵ برای اندازه‌گیری جریان در یک نهر از مولینه‌ای استفاده شده است که ضرایب ثابت فرمول آن a=0.06 و b=0.4 می‌باشد. اندازه‌گیری در عمق‌های ۰/۲ و ۰/۶ و ۰/۸ از سطح انجام و نتایج زیر بدست آمده است.

| عمق | تعداد دور | مدت (ثانیه) |
|---|---|---|
| 0.2d | 40 | 59 |
| 0.6d | 15 | 49 |
| 0.8d | 30 | 54 |

مقدار سرعت آب چقدر است.

(جواب - ۰/۲۵ متر بر ثانیه)

۱۴-۶ نصب اشل در رودخانه‌ها برای چه منظوری است؟

الف - اندازه‌گیری سرعت ب - اندازه‌گیری ارتفاع (تراز) سطح آب

ج - اندازه‌گیری دبی　　د - هیچکدام

(جواب - ب)

۱۴-۷ در یک آبراهه با عمق کم، اندازه‌گیری در کدام عمق را برای مولینه توصیه می‌کنید.

الف - ۰/۶ عمق　　ب - ۰/۸ عمق

ج - ۰/۵ عمق　　د - هیچ کدام

(جواب - الف)

۱۴-۸ منحنی دبی - اشل چه رابطه‌ای است.

الف - رابطه بین سرعت و عمق جریان

ب - رابطه بین مقدار جریان و داغ آب روی اشل

ج - رابطه دبی و سرعت جریان

د - رابطه دبی و عمق جریان

(جواب - د)

۱۴-۹ در یک رودخانه (متوسط) برای اندازه‌گیری دبی بهتر آن است که مقطع را به چند قسمت تقسیم کنیم.

الف - ۸　ب - ۱۰　ج - ۲۰　د - ۱۴

(جواب - ج)

۱۴-۱۰ در یک مولینه توصیف a+bN برای چه منظوری است؟

الف - سرعت جریان　　ب - سطح مقطع جریان

ب - تراز سطح آب　　د - عمق جریان

(جواب - الف)

۱۴-۱۱ در رودخانه‌ها در هنگام سیل برای اندازه‌گیری دبی با مولینه از چه عمقی استفاده می‌شود؟

الف - ۰/۶ متر از سطح　　ب - ۰/۸ متر از سطح

ج - ۰/۵ متر از سطح　　د - ۰/۲ متر و ۰/۸ متر از سطح

(جواب - ج)

## منابع برای مطالعه بیشتر


1- Ackers, P. et al, *Weirs and flumes for flow measurment*. John Wiley, New York, 1978.

2- Charlton, F., *Measuring flow in open channels*, A Review of Methods, CIRIA, London, 1978.

3- Kinori, B. and J. Mevorach, *Manual of surface drainage engineering*, Elsevier, New York, 1984.

4- Roudkivi, A. J., *Hydrology*, Pergamon press, Oxford, 1979.

5- Shaw, E. M., *Hydrology in practice*, Van Nostrand Reinhold, London, 1988.

6- Wisler, C. O. and E. Brater, *Hydrology*, John Wiley, New York, 1949.