

# راهنمای تهیه آبنمود چشمه‌های کارستی و سازندهای سخت





# راهنمای تهیه آبنمود چشمه‌های کارستی و سازندهای سخت



## پیشگفتار

امروزه نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی ناشی از به کارگیری مناسب و مستمر آنها در پیشرفت جوامع، تهیه و کاربرد آنها را ضروری و اجتناب ناپذیر ساخته است. نظر به وسعت دامنه علوم و فنون در جهان امروز، تهیه ضوابط، معیارها و استانداردها در هر زمینه به مجامع فنی - تخصصی واگذار شده است.

با در نظر گرفتن مراتب فوق و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، تهیه استاندارد در بخش آب و آبفا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از این رو طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور برای نیل به این هدف، با مشخص کردن رسته‌های اصلی صنعت آب و آبفا اقدام به تشکیل مجامع علمی - تخصصی با عنوان کمیته‌های تخصصی نموده که نظارت بر تهیه این استانداردها را به عهده دارند.

استانداردهای صنعت آب و آبفا با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین می‌گردد:

- استفاده از تخصص‌ها و تجارب کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
  - استفاده از منابع و مأخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
  - بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادهای واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
  - ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری و ارزشیابی طرح‌ها
  - پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
  - توجه به اصول و موازین مورد عمل سازمان ملی استاندارد ایران و سایر موسسات معتبر تهیه‌کننده استاندارد
- طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور به منظور تسهیل در امر استفاده از استانداردها، تدوین و یا ترجمه نشریات و کتب تخصصی مرتبط با استانداردها را نیز در دستور کار خود داشته و نشریه حاضر در راستای نیل به این هدف تهیه شده است.
- آگاهی از نظرات کارشناسان و صاحب‌نظرانی که فعالیت آنها به نوعی در ارتباط با تهیه استانداردهای صنعت آب و آبفا می‌باشد، موجب امتنان خواهد بود.
- شایان ذکر است نشریه مذکور در سال ۱۳۸۲ تهیه و در سال ۱۳۹۶ در قالب نشریه داخلی طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور تنظیم شده است.

## تهیه و کنترل «راهنمای تهیه آبنمود چشمه‌های کارستی و سازندهای سخت» [نشریه شماره - ن]

این راهنما توسط شادروان آقای مهندس باقر مصلحی در چارچوب فعالیت‌های کمیته کارست و سازندهای سخت مرکز تحقیقات منابع آب (تماب) [۱۳۶۷-۱۳۶۶] تهیه و سپس در کمیته آب‌های زیرزمینی طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور، بررسی شده است.

### اعضای گروه تهیه‌کننده:

رحیم اتحاد	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور	دکترای آب و خاک
فیروزه امامی	طرح تهیه استانداردهای مهندسی	فوق لیسانس زمین شناسی
محمدحسین رشیدی	کارشناس آزاد	فوق لیسانس زمین شناسی
محمود صداقت	دانشگاه پیام نور	فوق لیسانس زمین شناسی و آبشناسی
بیژن مهرسا	مرکز تحقیقات منابع آب (تماب)	فوق لیسانس مهندسی آب‌های زیرزمینی
همچنین آقای مهندس احمد رجایی (فوق لیسانس آب‌های زیرزمینی) نیز در تهیه این نشریه همکاری داشته‌اند.		

### اعضای گروه تایید کننده (کمیته تخصصی مدیریت منابع آب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور):

بهرام ثقفیان	مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری	دکترای منابع آب
فضلعلی جعفریان	شرکت مدیریت منابع آب ایران	لیسانس زمین‌شناسی
عباسقلی جهانی	شرکت مهندسی مشاور بهان‌سد	فوق لیسانس مهندسی هیدرولوژی
پیمان دانش کارآراسته	دانشگاه بین‌المللی امام خمینی	دکترای علوم و مهندسی آبیاری
فاطمه قبادی حمزه‌خانی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور	دکتری مهندسی عمران - آب
حسن نقوی	شرکت مدیریت منابع آب ایران	فوق لیسانس آب زیرزمینی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۳	فصل اول - کلیات
۵	۱-۱- انتخاب چشمه
۵	۲-۱- عوامل مورد سنجش و تجهیزات مورد نیاز
۶	۳-۱- گردآوری داده‌ها و تشکیل پرونده
۹	فصل دوم - کنترل آمار
۲۳	فصل سوم - تهیه آبنمود
۲۵	۱-۳- آبنمود (هیدروگراف)
۲۵	۲-۳- هدف از بررسی آبنمود
۲۶	۳-۳- چگونگی تهیه آبنمود
۲۶	۴-۳- اجزای آبنمود
۲۷	۵-۳- عوامل موثر در آبنمود چشمه‌ها
۳۰	۶-۳- تجزیه و تحلیل آبنمود چشمه
۳۱	۱-۶-۳- منحنی فروکش ساده
۳۴	۲-۶-۳- منحنی فروکش مرکب
۳۶	۳-۶-۳- تشخیص نوع جریان و انواع کارست از منحنی‌های فروکش
۳۷	۷-۳- کاربرد آبنمود
۳۷	۱-۷-۳- استفاده از نسبت آبدهی بیشینه به کمینه در تعیین ویژگی‌های مخزن کارستی و تقسیم‌بندی چشمه‌ها
۳۸	۲-۷-۳- تعیین معادله تخلیه چشمه و بررسی روند تخلیه و کاهش آبدهی
۳۸	۳-۷-۳- تشخیص رژیم‌های جریان و شناخت سامانه زهکشی آبخوان
۳۸	۴-۷-۳- محاسبه حجم تخلیه چشمه و ذخایر دینامیکی مخزن
۳۹	۵-۷-۳- تعیین ارتباط بین آبدهی چشمه با رژیم بارش
۳۹	۶-۷-۳- محاسبه حجم تخلیه چشمه و رابطه آن با بارندگی موثر (محاسبه نفوذپذیری موثر)
۴۰	۷-۷-۳- مقایسه تغییرات سطح آب آبخوان و تغییرات آبدهی چشمه
۴۰	۸-۷-۳- برآورد ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان

## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۴۱	۳-۷-۹- تعیین چگونگی بهره‌برداری بهینه از ذخایر کارستی و سازندهای سخت (یا از آبخوان چشمه)
۴۳	فصل چهارم - بررسی‌های موردی
۴۹	منابع و مراجع

## فهرست شکل‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۲۶	شکل ۳-۱- اجزای تشکیل‌دهنده یک آبنمود
۳۱	شکل ۳-۲- انواع آبنمودهای مربوط به چشمه‌ها و رودخانه‌های کارستی
۳۴	شکل ۳-۳- مدل سامانه استاتیک (صرف‌نظر از مخزن) برای سامانه چشمه‌های سرریزی و غیرسرریزی با سه مولفه که Q نمایان‌گر تخلیه و R نمایان‌گر شعاع کانال جریان است. در پاسخ به یک ورودی دلخواه، Q معرف آبدهی و R معرف شعاع مجراست.
۳۵	شکل ۳-۴- شاخه فروکش آبنمود مرکب چشمه امبلا در یوگسلاوی. باید توجه کرد که ضرایب فروکش سه گانه، بزرگی متفاوتی دارند (میلانوویچ ۱۹۸۱).
۴۶	شکل ۴-۱- منحنی فروکش چشمه طاق بستان، محاسبه ضریب فروکش و حجم مخزن کارستی
۴۷	شکل ۴-۲- منحنی فروکش چشمه سراب نیلوفر، محاسبه ضریب فروکش و حجم مخزن کارستی
۴۸	شکل ۴-۳- منحنی فروکش چشمه روانسر، محاسبه ضریب فروکش و حجم مخزن کارستی



## مقدمه

آبدهی چشمه‌های پهنه‌های کارستی و سازندهای سخت، بازتاب بارندگی منطقه و تغذیه است و بررسی آن، اطلاعات بسیار سودمندی درباره ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان در اختیار قرار می‌دهد. برای دسترسی به این اطلاعات، باید چشمه‌هایی را در این پهنه‌ها انتخاب و آن‌ها را متناسب با عوامل مورد سنجش، تجهیز کرد. بر اساس آمار و اطلاعات گردآوری شده از این چشمه‌ها و تحلیل آن‌ها، شناخت ویژگی‌های محیط کارستی و سازندهای سخت امکان‌پذیر می‌شود. از مهم‌ترین عوامل مورد سنجش در چشمه‌های انتخابی، میزان آبدهی آن‌هاست. تحلیل تغییرات آبدهی در این چشمه‌ها (که در حل مسایل مدیریت منابع آب و سازه‌های هیدرولیکی این محیط‌ها، کمک فراوانی خواهد کرد)، موضوع اصلی این نوشتار است. افزون بر شرح و توضیح مسایل نظری، سه مورد از آبنمود چشمه‌ها در حوضه‌های آبریز کشور نیز بررسی و ارایه شده است.

### - هدف

هدف از تهیه این راهنما، بررسی آبنمود چشمه‌های کارستی و سازندهای سخت، برای کسب اطلاعات درباره ویژگی‌های هیدرولیکی و آب‌شناختی آبخوان و تحلیل داده‌ها در مورد رفتار سامانه زهکشی محیط‌های درز و شکاف‌دار حوضه است.

### - دامنه کار

بررسی آبدهی چشمه‌های کارستی و سازندهای سخت، در برنامه‌ریزی تامین آب برای مصارف مختلف و هم‌چنین بهره‌برداری مطلوب از منابع آب زیرزمینی، کاربرد دارد.



# فصل ۱

---

---

## کلیات



## ۱-۱- انتخاب چشمه

به دلیل اهمیت بررسی تغییرات آبدهی چشمه‌ها، برای دستیابی به ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی پهنه‌های کارستی و سازندهای سخت، باید آبدهی این چشمه‌ها اندازه‌گیری و تحلیل شود. البته تعداد چشمه‌های این پهنه‌ها از یک‌سو و محدودیت‌های اقتصادی از سوی دیگر، انتخاب تنها برخی از این چشمه‌ها را در منطقه الزامی می‌کند، به گونه‌ای که با این گزینش، بتوان به نتایج کامل درباره ویژگی‌های آبخوان دست یافت. انتخاب این چشمه‌ها بر پایه عواملی مانند موقعیت جغرافیایی، توپوگرافی، ریخت‌شناسی، زمین‌شناسی، وضعیت آبدهی چشمه و تغییرات آن، امکان دسترسی و نصب تجهیزات، و سهولت آماربرداری انجام می‌شود.

## ۱-۲- عوامل مورد سنجش و تجهیزات مورد نیاز

مهم‌ترین عوامل مورد سنجش در چشمه‌ها، میزان آبدهی و تغییرات آن، و همچنین بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب چشمه نسبت به زمان است. به همین منظور، ابتدا باید مظهر چشمه‌های انتخابی را برحسب نیاز، بسترسازی کرد و سپس به نصب وسایل اندازه‌گیری سطح آب در بستر (مانند اشل، دستگاه ثبات سطح آب یا آبنگار و ...) و وسایل اندازه‌گیری آبدهی (مانند پارشال فلوم و ...) اقدام کرد.

در چشمه‌های انتخابی، استخدام متصدی برای حفاظت منصوبات و همچنین قرائت اشل چشمه در صبح و عصر، ضروری است. به این ترتیب، با نصب تجهیزات گفته شده و به کار گماردن متصدی، مقدمات لازم برای جمع‌آوری آمار اطلاعات آبدهی چشمه، فراهم خواهد شد.

متصدی ایستگاه، ضمن مراقبت از ایستگاه و تمیز نگه داشتن پای اشل، هر روز باید در ساعت ۸ و ۱۶، سطح آب چشمه را از روی اشل بخواند و در فرم قرائت اشل، (فرم شماره ۱) یادداشت کند. همچنین باید در طی سال، تکنسین مسوول منطقه، دست کم ماهی یک بار و در زمان پربابی، به طور هفتگی یا هر ۱۵ روز یک بار، اندازه‌گیری‌های انجام شده را در فرم شماره ۲ یادداشت کند.

لازم به یادآوری است که بسترسازی باید در محلی انجام گیرد که اشل موردنظر، فقط سطح آب جاری شده از چشمه را نشان دهد و هیچ‌گونه آب اضافی از اطراف یا سیلاب‌های ناشی از بارندگی از پای آن عبور نکند. در واقع، اندازه‌گیری نیز باید در همین مکان انجام پذیرد.

پس از محاسبه مقادیر اندازه‌گیری شده، باید نتایج در برگ خلاصه اندازه‌گیری‌ها (فرم شماره ۳) وارد شود. سپس باید منحنی یا منحنی‌های بده - اشل ایستگاه، روی کاغذ لگاریتمی یا میلی‌متری رسم و جدول بده - اشل در فرم شماره ۴ وارد گردد. با استفاده از قرائت اشل متصدی و قرائت اشل‌های به‌دست آمده (توسط لیمینوگراف) یا اعداد استخراج شده از دیتا لاگر؛ آبدهی روزانه، حجم آب ماهانه و سالانه پس از تصحیح لازم، باید محاسبه و در فرم شماره ۵ نوشته شود.

برای بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب چشمه نیز، همراه با اندازه‌گیری بده از مظهر چشمه، نمونه‌برداری نیز انجام و نمونه‌ها به آزمایشگاه فرستاده می‌شود تا رابطه تغییرات آبدهی با عوامل گفته شده بررسی گردد. نتایج این اطلاعات، در فرم‌های ۶-۱ و ۶-۲ ثبت و در پرونده چشمه نوشته می‌شود.

در مطالعات موردی برحسب نیاز، داده‌های دیگری مانند دما، کیفیت زیستی آب چشمه و ... نیز برداشت می‌شود. برای مقایسه تغییرات آبدهی چشمه و تغییرات بارندگی، افزون بر تجهیزات گفته شده، باید در صورت نبودن باران‌سنج در محل یا نزدیک مظهر چشمه، نسبت به تاسیس و نصب باران‌سنج، و ترجیحاً باران‌سنج ثبات یا مجهز به دیتا لاگر، اقدام شود.

لازم به یادآوری است که گاه با مقایسه تغییرات آبدهی چشمه‌ها با تغییرات سطح ایستابی در آبخوان کارستی می‌توان به نتایج مهمی دست یافت. بنابراین در صورتی که بعداً نیاز به این بررسی‌ها باشد باید در بخش تجهیزات و تاسیسات، اقدام به تعیین محل و حفر پیزومتر در نزدیکی چشمه کرد و هم‌زمان، به تجهیز آن به وسایل اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی پرداخت.

### ۱-۳- گردآوری داده‌ها و تشکیل پرونده

ابتدا باید شناسنامه چشمه، براساس فرم استاندارد<sup>۱</sup> تهیه شود و سپس به گردآوری و بایگانی اطلاعات، آمار و اندازه‌گیری‌های دوره‌ای پرداخت. این اطلاعات شامل موارد زیر است:

- اندازه‌گیری‌های آبدهی چشمه،
- قرائت‌های اشل و ثبت آن‌ها در فرم‌های مربوط،
- نقشه موقعیت چشمه‌ها،
- منحنی یا منحنی‌های بده، اشل همراه با جدول‌های بده، اشل مربوط،
- آبنمود چشمه،
- کاغذ لیمنیگراف چشمه همراه با اشل‌های استخراج شده یا اطلاعات خروجی دیتا لاگر،
- آبدهی روزانه، ماهانه و سالانه مندرج در فرم‌های مربوط،
- برگ‌های نتایج تجزیه شیمیایی و اطلاعات فیزیکی آب چشمه و دمای هوا،
- آمار باران‌سنج‌های معمولی (فرم‌های شماره ۷ و ۸)،
- آمار برف‌سنجی،
- هیتوگرام (باران نگار<sup>۲</sup>) رگبارهای ثبت شده توسط باران‌سنج ثبات،

۱- برگ شناسایی و آمار چشمه (نشریه شماره ۲۳۹ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور)

- فرم بازدید چشمه و تجهیزات آن (ایستگاه آبسنجی) که توسط کارشناسان یا تکنسین‌ها تکمیل شده است (فرم شماره ۹)،

- دیگر اطلاعات جنبی و محلی در مورد چشمه، مانند تاثیر زمین‌لرزه، گل آلودشدن آب چشمه یا احتمال یخ‌زدن آن و ...

در ضمن پس از اندازه‌گیری همه عوامل، همراه با تحلیل آن‌ها، در پرونده چشمه بایگانی خواهد شد.





# فصل ۲

---

---

## کنترل آمار



پیش از تحلیل داده‌های چشمه‌ها، لازم است داده‌های گردآوری شده زیر بررسی و کنترل شود:

- اندازه‌گیری‌های آبدهی (اطلاعات فرم شماره ۲)،
- اندازه‌گیری‌های سطح آب چشمه (قرائت اشل)،
- بارندگی روزانه (اطلاعات فرم‌های شماره ۷ و ۸ همراه با اطلاعات فرم شماره ۱)،
- مقایسه قرائت اشل با آمار سطح آب ثبت شده توسط دستگاه ثبات،
- گزارش‌های بازدید ایستگاه آبسنجی چشمه (اطلاعات فرم شماره ۹)،
- منحنی بده - اشل با اندازه‌گیری‌های انجام شده،
- محاسبات آبدهی با استفاده از منحنی‌های بده - اشل.

وزارت نیرو

شرکت آب منطقه‌ای .....

برگ قرائت روزانه اشل

ادامه فرم ۱

وزارت نیرو

شرکت آب منطقه‌ای .....

برگ قرائت روزانه اشل

کد فرم: ۱

۱- نام رودخانه یا چشمه: ۲- نام ایستگاه:					
۳- کد ایستگاه:					
۴- تاریخ: ماه ..... سال .....					
نام و امضای تکنسین	نام و امضای متصدی	ملاحظات	۵- اشل (سانتی‌متر)		۴- روز
			۸ ساعت	۱۶ ساعت	
					۱۷
					۱۸
					۱۹
					۲۰
					۲۱
					۲۲
					۲۳
					۲۴
					۲۵
					۲۶
					۲۷
					۲۸
					۲۹
					۳۰
					۳۱

۱- نام رودخانه یا چشمه: ۲- نام ایستگاه:					
۳- کد ایستگاه:					
۴- تاریخ: ماه ..... سال .....					
نام و امضای تکنسین	نام و امضای متصدی	ملاحظات	۵- اشل (سانتی‌متر)		۴- روز
			۸ ساعت	۱۶ ساعت	
					۱
					۲
					۳
					۴
					۵
					۶
					۷
					۸
					۹
					۱۰
					۱۱
					۱۲
					۱۳
					۱۴
					۱۵
					۱۶

## وزارت نیرو

شرکت آب منطقه‌ای .....

کد فرم: ۲

## برگ اندازه‌گیری بده جریان سطحی

۱- نام رودخانه یا چشمه:			۲- نام ایستگاه:			۳- کد ایستگاه:			۴- تاریخ اندازه‌گیری:				
۵- زمان شروع اندازه‌گیری (ساعت: دقیقه: )			۶- ارتفاع سطح آب در شروع اندازه‌گیری			اشل (سانتی‌متر): لیمنیگراف (سانتی‌متر):			۷- زمان خاتمه اندازه‌گیری (ساعت: دقیقه: )				
۸- ارتفاع سطح آب در خاتمه اندازه‌گیری			اشل (سانتی‌متر): لیمنیگراف (سانتی‌متر):			۹- مشخصات مولینه (نام کشور و کارخانه سازنده):			شماره مولینه:				
شماره پروانه: (			شماره پروانه: (			شماره پروانه: (			شماره پروانه: (				
۲۱	۲۰	۱۹	۱۸	۱۷			۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰
شماره نقطه از مبدأ	فاصله از مبدأ (متر)	عمق آب (متر)	عمق مولینه از سطح آب (۰/۶ و ۰/۲) (۰/۸ متر)	تعداد دور در (ثانیه)	مدت (ثانیه)	تعداد دور در (ثانیه)	سرعت (متر بر ثانیه)			میانگین عمق مقطع (متر)	عرض مقطع (متر)	سطح مقطع (مترمربع)	بده (مترمکعب بر ثانیه)
							در عمق (۰/۶ و ۰/۲) (۰/۸)	میانگین قائم $\frac{0.8+0.2}{2}$	میانگین مقطع				
۲۲- تعداد نقاط اندازه‌گیری:			۲۳- عرض کل مقطع (متر):			۲۴- سطح کل مقطع (مترمربع):			۲۵- بده کل (مترمکعب بر ثانیه):				
۲۶- سرعت میانگین (متر بر ثانیه):			۲۷- کدورت آب:			۲۸- نمونه‌برداری رسوب: <input type="checkbox"/> نقطه ثابت <input type="checkbox"/> چند نقطه‌ای <input type="checkbox"/>			تعداد نمونه:				
۲۹- نمونه‌برداری آب <input type="checkbox"/>			۳۰- وضعیت بستر رودخانه:										
۳۱- اندازه‌گیری از داخل آب <input type="checkbox"/>			نام واحد اقدام‌کننده:			نام و امضای اندازه‌گیرنده:			نام و امضای کنترل‌کننده:				
از روی پل <input type="checkbox"/>													

ملاحظات: در پشت صفحه آورده شود.

## برگ خلاصه اندازه‌گیری

وزارت نیرو

کد فرم: ۳

شرکت آب منطقه‌ای ..... حوضه آبریز ..... رودخانه .....														
نام چشمه ..... سال آبی.....														
شماره	تاریخ اندازه‌گیری	میانگین اشل به سانتی‌متر <sup>۱</sup> (P)	عرض مقطع به متر	تعداد مقاطع	سطح مقطع به متر مربع (S)	بده به متر مکعب بر ثانیه	سرعت میانگین به متر بر ثانیه (Q/S)	تغییرات اشل به سانتی‌متر*	تصحیح اشل (شیفت) به سانتی‌متر*	درصد اختلاف شیفت*	شماره منحنی بده، اشل*	نوع مولینه و شماره آن	نام اندازه‌گیرنده	ملاحظات
۱														
۲														
۳														
۴														
۵														
۶														
۷														
۸														
۹														
۱۰														
۱۱														
۱۲														
۱۳														
۱۴														
۱۵														

نام و امضای کنترل کننده:

تاریخ تهیه:

نام و امضای تهیه کننده:

واحد اقدام کننده:

\* تکمیل اطلاعات این ستون‌ها اختیاری است.

## جدول بده - اشل

وزارت نیرو

کد فرم: ۴

شرکت آب منطقه‌ای ..... حوضه آبریز ..... سال آبی ..... کد حوضه .....											
رودخانه ..... نام چشمه ..... کد منبع آب .....											
این جدول از تاریخ ..... تا تاریخ ..... قابل استفاده است.											
اختلاف	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰	اختلاف
	m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec	
۰											
۰/۱											
۰/۲											
۰/۳											
۰/۴											
۰/۵											
۰/۶											
۰/۷											
۰/۸											
۰/۹											
۰											
۰/۱											
۰/۲											
۰/۳											
۰/۴											
۰/۵											
۰/۶											
۰/۷											
۰/۸											
۰/۹											

نام و امضای کنترل کننده:

تاریخ تهیه:

نام و امضای تهیه کننده:

واحد اقدام کننده:

برگ آماری مقدار جریان روزانه، ماهانه و سالانه، (اشل به سانتی‌متر، بده به مترمکعب بر ثانیه)

وزارت نیرو

کد فرم ۵:

آب منطقه‌ای ..... سال آبی .....																	
رودخانه ..... نام چشمه ..... کد منبع آب ..... تجهیزات ایستگاه .....																	
ردیف	مهر			آبان			آذر			دی			بهمن		اسفند		
	اشل	تصحیح	بده	اشل	تصحیح	بده	اشل	تصحیح	بده	اشل	تصحیح	بده	اشل	تصحیح	بده	اشل	تصحیح
۱																	
۲																	
۳																	
۴																	
۵																	
۶																	
۷																	
۸																	
۹																	
۱۰																	
۱۱																	
۱۲																	
۱۳																	
۱۴																	
۱۵																	
۱۶																	
۱۷																	
۱۸																	
۱۹																	
۲۰																	
۲۱																	
۲۲																	
۲۳																	
۲۴																	
۲۵																	
۲۶																	
۲۷																	
۲۸																	
۲۹																	
۳۰																	
مجموع																	
میانگین																	
حداکثر																	
حداقل																	
حجم به میلیون																	

بیشینه بده لحظه‌ای ..... متر مکعب بر ثانیه با اشل ..... سانتی‌متر در تاریخ .....

نام و امضای کنترل کننده:

تاریخ تهیه:

نام و امضای تهیه کننده:

واحد اقدام کننده:



ادامه فرم ۵

رودخانه ..... نام چشمه ..... کد منبع آب .....																		
تجهیزات ایستگاه .....																		
ماه	فروردین			اردیبهشت			خرداد			تیر			مرداد			شهریور		
	اشل	تصحیح	بده	اشل	تصحیح	بده	اشل	تصحیح	بده	اشل	تصحیح	بده	اشل	تصحیح	بده	اشل	تصحیح	بده
روز	اشل	تصحیح	بده	اشل	تصحیح	بده	اشل	تصحیح	بده	اشل	تصحیح	بده	اشل	تصحیح	بده	اشل	تصحیح	بده
۱																		
۲																		
۳																		
۴																		
۵																		
۶																		
۷																		
۸																		
۹																		
۱۰																		
۱۱																		
۱۲																		
۱۳																		
۱۴																		
۱۵																		
۱۶																		
۱۷																		
۱۸																		
۱۹																		
۲۰																		
۲۱																		
۲۲																		
۲۳																		
۲۴																		
۲۵																		
۲۶																		
۲۷																		
۲۸																		
۲۹																		
۳۰																		
۳۱																		
مجموع																		
میانگین																		
حداکثر																		
حداقل																		
حجم																		

نام و امضای کنترل کننده:

تاریخ تهیه:

نام و امضای تهیه کننده:

واحد اقدام کننده:

جدول آزمایش شیمیایی آبهای سطحی

وزارت نیرو

کد فرم: ۶-۱

رودخانه..... ارتفاع از سطح دریا..... عرض.....		طول..... نام چشمه..... شرکت آب منطقهای.....																		
درجه مطلوبیت از نظر کشاورزی C - S	%Na	SAR	یونها (میلی اکی والان بر لیتر)										pH	EC.10 <sup>6</sup> 25 °C	T.D.S Mg/l	دمای آب به سانتی گراد	درجه اشل به سانتی متر	بده به متر مکعب	تاریخ برداشت نمونه	
			SUM CAT-ION	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	SUMANI - ON	SO4 <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>								

واحد اقدام کننده: نام و امضای تهیه کننده: تاریخ تهیه: نام و امضای کنترل کننده:

## آزمایش شیمیایی آب‌های سطحی

کد فرم: ۲-۶

آزمایشگاه آب استان: .....				
شماره دفتر آزمایشگاه: .....				
نام رودخانه: .....				
نام چشمه: .....				
درجه اشل به سانتی‌متر: .....				
بده به مترمکعب بر ثانیه: .....				
تاریخ برداشت نمونه: .....				
تاریخ تحویل به آزمایشگاه: .....				
تاریخ جواب: .....				
pH	EC×10 <sup>6</sup> / 250C	T.D.S	%Na	S.A.R
اسیدیته	رسانندگی الکتریکی	(میلی‌گرم بر لیتر) باقی‌مانده خشک	درصد سدیم	
مجموع آنیون‌ها				
CO <sup>3</sup> HCO <sub>3</sub> Cl      SO <sub>4</sub>				
میلی‌اکی‌والان بر لیتر				
مجموع کاتیون‌ها				
Ca <sup>++</sup> Mg <sup>++</sup> Na <sup>+</sup> K <sup>+</sup>				
میلی‌اکی‌والان بر لیتر				
میلی‌گرم بر لیتر				
سختی کل <sup>۱</sup> (ppm)				
سختی موقت <sup>۲</sup> (ppm)				
نام و امضای سرپرست آزمایشگاه			دمای آب (سانتی‌گراد)	
نام و امضای کنترل کننده:		تاریخ تهیه:	نام و امضای تهیه کننده:	واحد اقدام کننده:

1- Total Hardness

2- Temporary Hardness



## برگ آمار ریزش‌های جوی به میلی‌متر

وزارت نیرو

کد فرم: ۸

شرکت آب منطقه‌ای ..... سال آبی ..... ۱۳.....												
ایستگاه .....												
عرض جغرافیایی .....												
طول جغرافیایی .....												
ارتفاع از سطح دریا .....												
روز	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱												
۲												
۳												
۴												
۵												
۶												
۷												
۸												
۹												
۱۰												
۱۱												
۱۲												
۱۳												
۱۴												
۱۵												
۱۶												
۱۷												
۱۸												
۱۹												
۲۰												
۲۱												
۲۲												
۲۳												
۲۴												
۲۵												
۲۶												
۲۷												
۲۸												
۲۹												
۳۰												
۳۱												
مجموع												
جمع بارش‌های جوی سالانه												
یادآوری: در کنار و در سمت راست مقدار بارش‌های جوی روزانه، روزهای برفی را با علامت * مشخص کنید.												

نام و امضای کنترل کننده:

تاریخ تهیه:

نام و امضای تهیه کننده:

واحد اقدام کننده:

## فرم بازدید و کنترل دستگاه‌های موجود در ایستگاه‌های آبسنجی

کد فرم: ۹

وزارت نیرو

امور مطالعات منابع آب شرکت آب منطقه‌ای .....

نام استان: ..... شهرستان: ..... نام چشمه: .....

نام متصدی: ..... نام بازدیدکننده: ..... تاریخ: .....

توجه داشته باشید که اگر شما به‌عنوان کارشناس یا تکنیسین مسئول منطقه، برای ایستگاه‌های تحت کنترل خود، اهمیت قایل شوید، حتماً متصدی هم برای آن ایستگاه‌ها ارزش قایل شده و به موقع وظایف خود را انجام می‌دهد. پس توجه کنید که همیشه همراه با متصدی به ایستگاه رفته و به دستگاه‌ها توجه بیش‌تری داشته باشید.

هنگام بازدید از ایستگاه آبسنجی به نکات زیر توجه کنید.

۱- آیا پای اشل - لیمنیگراف و کانال آن لایروبی شده و سطح اشل تمیز است؟  بلی  خیر

۲- آیا فلوتور سالم و روی آب شناور است؟  بلی  خیر

۳- آیا دیتا لاگر سالم است؟  بلی  خیر

۴- آیا چاهک لیمنیگراف و سطح آب چشمه با هم ارتباط دارد؟  بلی  خیر

۵- آیا آب به راحتی به پای اشل می‌رسد؟  بلی  خیر

۶- آیا اشل حقیقی و اشل لیمنیگراف با هم مطابقت دارد؟  بلی  خیر

۷- آیا ساعت حقیقی یا ساعت دستگاه با هم مطابقت دارد؟  بلی  خیر

۸- آیا دستگاه لیمنیگراف کوک دارد؟  بلی  خیر توجه کنید که فنر کوک را بیش‌تر از حد علامت قرمز حرکت ندهید. در ضمن پس از کوک کردن ساعت، ضامن از شکاف بیرون آورده شود.

۹- آیا مخزن جوهر، جوهر دارد؟  بلی  خیر

۱۰- آیا سر قلم دستگاه سالم است؟  بلی  خیر

۱۱- آیا اضافه شدن اشل را ثبت می‌کند؟  بلی  خیر توجه شود که فلوتور دستگاه همیشه باید سمت راست لیمنیگراف قرار گیرد.

۱۲- آیا قلم ثابت به طور دقیق از ابتدای کاغذ شروع به رسم کرده و در انتهای کاغذ برگشت می‌کند؟  بلی  خیر

اگر مبدا کاغذ لیمنیگراف، صفر در نظر گرفته نمی‌شود باید این مطلب را در تمام بازدیدها نوشت.

توجه داشته باشید که برای دستگاه لیمنیگراف می‌توان از دو نوع پولی استفاده کرد. اگر پولی بزرگ باشد، فاصله هر خانه، یک سانتی‌متر روی کاغذ برابر ۱۰ سانتی‌متر اشل حقیقی ولی پولی کوچک، ۵ سانتی‌متر اشل حقیقی است (اگر دستگاه تبدیل دارد با مقیاس مربوط اشل کاغذ را مشخص کنید).

توجه شود که خط‌های پیوسته روی کاغذ لیمنیگراف، ساعت ۱۲ شب و خط بریده، ساعت ۱۲ ظهر را نشان می‌دهد. در واقع فاصله بین این دو خط، ۱۲ ساعت است (هر خانه یک ساعت).

در هنگام بازدید لیمنیگراف، نام ایستگاه، تاریخ بازدید، ساعت روی کاغذ لیمنیگراف، ساعت حقیقی، اشل لیمنیگراف، اشل حقیقی و تصحیح آن‌ها و نام بازدیدکننده نوشته شود.

آیا متصدی ایستگاه، درجه اشل آن روز را قرائت و یادداشت کرده است؟ (۸ صبح و ۴ بعدازظهر)  بلی  خیر

واحد اقدام کننده: نام و امضای تهیه کننده: تاریخ تهیه: نام و امضای کنترل کننده:

# فصل ۳

---

---

تهیه آبنمود





### ۳-۱- آبنمود (هیدروگراف)

در فرهنگ‌ها و نشریه‌های موجود، برای آبنمود تعریف‌های گوناگونی ارائه شده است. در فرهنگ بین‌المللی آشناسی<sup>۱</sup>، تعریفی به شرح زیر آمده است:

«آبنمود، عبارت است از نمودار تغییرات کمیت‌های مختلف آشناسی مانند ارتفاع سطح آب، آبدهی، سرعت، حمل مواد و غیره برحسب زمان.»

و در فرهنگ هیدروژئولوژی<sup>۲</sup>، به شرح زیر آمده است:

«ثابت زمانی تخلیه جریان در برش عرضی معینی از رودخانه یا ثبت زمانی رقوم سطح آب رودخانه در یک نقطه معین.»

هرگاه آبنمود، رابطه سطح ایستابی یا تراز سطح آب را با زمان نشان دهد، آن را آبنمود ایستابی<sup>۳</sup>، و اگر آبنمود، رابطه بین آبدهی و زمان را مشخص کند، آن را آبنمود آبدهی<sup>۴</sup> یا به اصطلاح آبنمود می‌نامند.

### ۳-۲- هدف از بررسی آبنمود

آبنمود چشمه، امکان به دست آوردن اطلاعات مهمی درباره ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی سامانه آبخوان حوضه آگیر چشمه را فراهم می‌آورد و افزون بر تحلیل آن، داده‌های قابل توجهی را در مورد رفتار سامانه زهکشی محیط‌های درز و شکاف‌دار این حوضه ارائه می‌کند. هدف از بررسی آبنمود، به طور خلاصه عبارت است از:

- محاسبه حجم ذخایر دینامیکی،
- محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان،
- تعیین چگونگی بهره‌برداری بهینه از آبخوان چشمه،
- شناخت سامانه زهکشی آبخوان (درز و شکافی، بین دانه‌ای، انحلالی)،
- تشخیص رژیم‌های جریان،
- تشخیص روند کاهش آبدهی،
- تعیین ارتباط بین رژیم‌های چشمه با محیط تغذیه آبخوان،
- تعیین ارتباط بین رژیم چشمه و رژیم بارندگی.

۱- فرهنگ بین‌المللی هیدروژئولوژی، کتاب شماره ۹ طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور، ۱۳۶۹.

۲- فرهنگ هیدروژئولوژی، کتاب شماره ۱۷ طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور، ۱۳۷۴.

3- Stage Hydrograph

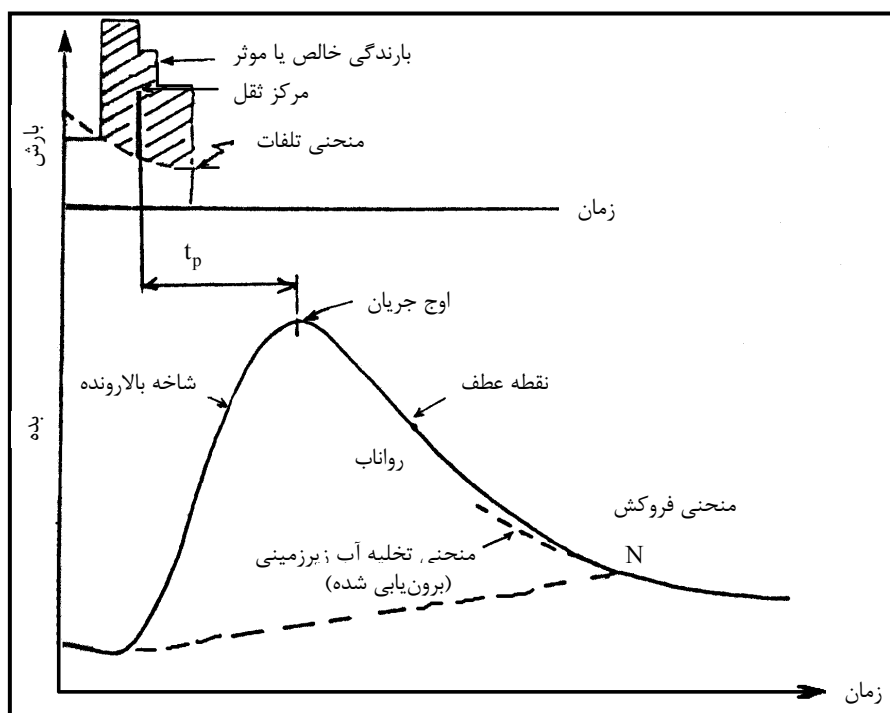
4- Discharge Hydrograph

### ۳-۳- چگونگی تهیه آبنمود

برای تهیه آبنمود در مطالعات هیدروژئولوژی، از اطلاعات آمار آبدهی چشمه برحسب زمان استفاده می‌شود. به این ترتیب که در یک دستگاه مختصات، روی محور عرض‌ها مقدار آبدهی و روی محور طول‌ها زمان مربوط، ثبت می‌شود. برحسب نیاز، شرایط و امکانات، می‌توان آبنمودها را در زمان‌های کوتاه مدت (ساعتی و کم‌تر از ساعت) تا درازمدت (سالانه) رسم کرد. اغلب در آبنمودهای کوتاه مدت، همراه با تهیه آبنمود، تغییرات بارندگی نسبت به زمان (باران نگار) نیز رسم می‌شود.

### ۳-۴- اجزای آبنمود

هر آبنمود، طبق شکل (۳-۱) از قسمت‌های زیر تشکیل شده است:



شکل ۳-۱- اجزای تشکیل‌دهنده یک آبنمود

#### الف- شاخه صعودی یا بالارونده

این شاخه، بیانگر شدت تغییرات افزایش آبدهی چشمه پس از تغذیه آبخوان است. یکی از مهم‌ترین عواملی که بر این شدت (شیب) تاثیر می‌گذارد، درجه کارستی شدن محیط است.

**ب- زمان تاخیر<sup>۱</sup>**

اختلاف زمان بین بارش و شروع افزایش آبدهی چشمه را، زمان تاخیر می‌نامند، این اختلاف زمان، نکات مهمی درباره ویژگی‌های محیط آبخوان در اختیار قرار می‌دهد.

**ج- نقطه اوج**

این نقطه، بیشینه آبدهی چشمه را نشان می‌دهد.

**د- شاخه فروکش (تاریسمان)**

بخشی از آبنمود است که نمایان‌گر کاهش آبدهی چشمه بوده و در پایان به جریان پایه<sup>۲</sup> منتهی می‌شود.

**ه- زمان تا اوج جریان<sup>۳</sup>**

مدت زمانی است که از شروع شاخه صعودی آبنمود، آغاز و تا زمان رسیدن به اوج جریان ادامه می‌یابد.

**و- نقطه عطف**

اغلب، نقطه عطف در شاخه فروکش به عنوان پایان تخلیه آب تغذیه شده است.

توضیح: برحسب ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان و عکس‌العمل آبخوان نسبت به تغذیه، آبنمود چشمه‌ها می‌توانند به صورت آبنمود ساده، دارای یک شاخه بالارونده، یک نقطه اوج و یک شاخه فروکش بوده و یا بیش از یک نقطه اوج داشته باشد (آبنمود مرکب).

**۳-۵- عوامل موثر در آبنمود چشمه‌ها**

عوامل بسیاری در شکل آبنمود چشمه، تاثیر می‌گذارند. این عوامل را می‌توان به شرح زیر رده‌بندی کرد:

زمین‌شناسی، یکی از عوامل بسیار مهم در شکل آبنمود است. از اجزای این عامل، می‌توان به درز و شکاف‌ها و گسل‌ها اشاره کرد. هرچه این شکستگی‌ها ریزتر، معابر آن‌ها کم‌عرض‌تر و توسعه آنها بیش‌تر باشد، آبدهی چشمه یکنواختی بیش‌تری خواهد داشت و نوسانات آبنمود ملایم‌تر است. درز و شکاف‌های باز موجب جریان متلاطم، تغییرات زیاد در آبدهی و احتمالاً خشک‌شدن چشمه در فصلی از سال خواهد شد. حرکت‌های زمین مانند زمین‌لرزه و زمین‌لغزه، گاه می‌تواند موجب تغییرات ناگهانی در بده چشمه‌ها شده و تا چندین برابر، بده چشمه را کم یا زیاد کند، و چه‌بسا موجب خشک شدن یا جابه‌جایی محل چشمه شود. انحلال‌پذیری سنگ‌ها، موجب باز شدن تدریجی درز و شکاف‌ها،

1- Lag Time  
2- Base Flow  
3- Time to Peak

شکستگی‌ها، گسل‌ها و حتی سطوح بین‌لایه‌ای می‌شود تا جایی که به فضاهای باز انحلالی تبدیل شده و در ادامه این توسعه، فضاهای به هم پیوسته غارها را پدید می‌آورند. سنگ‌های کربناتی، بویژه سنگ آهک‌ها، هرچه خالص‌تر باشند، انحلال‌پذیری بیشتری دارند و هرچه مقدار ناخالصی (به طور کلی رس) در آن‌ها بیشتر باشد، انحلال‌پذیری پایین می‌آید. بنابراین، سنگ‌شناسی و انحلال‌پذیری، در ارتباط با یکدیگر عمل می‌کنند، هرچه سنگ‌های کربناتی و رس بیشتر باشند، آبدهی چشمه یکنواخت‌تر و مقدار آن کم‌تر است و برعکس، در سنگ‌های کربناتی خالص، آبدهی تغییرات زیادی دارد.

– ریخت‌شناسی حوضه آبریز در شکل آب‌نمود موثر است. حوضه‌هایی با شیب زیاد، آب را سریع‌تر تخلیه می‌کنند، به همین دلیل، تغییرات آبدهی آن‌ها زیاد است. هرچه حوضه‌های آبریز، به شکل دایره شبیه‌تر باشند، تغییرات آبدهی آن‌ها زیادتر است. حوضه‌های آبریز دراز و کشیده از یکنواختی بیشتری در آبدهی برخوردارند.

– پوشش خاک: گستردگی و ضخامت بیشتر آن، باعث تنظیم جریان و یکنواختی آبدهی می‌شود. هم‌چنین خاک‌های با بافت ریز، در تنظیم و یکنواختی بیشتر آبدهی چشمه موثر است. وجود پوشش گیاهی نیز موجب یکنواختی در آب‌نمود چشمه می‌شود.

– بارندگی و چگونگی آن، نقش بسیار مهمی در شکل آب‌نمود دارد. اگر بارش به‌صورت برف در بلندی‌ها باشد، اغلب یخ‌زدگی، موجب می‌شود آبدهی در فصل زمستان یا از اوایل تا اواسط بهار، به کم‌ترین حد برسد و با ذوب برف، منحنی سیر صعودی طی کند. درحالی‌که اثر باران در مدت کوتاه‌تری روی آبدهی چشمه ظاهر می‌شود. درصد کمی از حجم آب رگبارها، به زیر زمین نفوذ می‌کند و با وجود حجم زیاد بارندگی، تاثیر کمی بر ذخیره آب دارد و اثر آن به صورت یک اوج بر آب‌نمود پدیدار می‌شود. درحالی‌که باران‌های ملایم و مداوم در تغذیه مخزن، نقش عمده‌ای دارند و موجب پیدایش شکل گرده‌ماهی در آب‌نمودها می‌شوند. تعداد دفعات بارندگی، می‌تواند به همان اندازه، در آب‌نمود، اوج ایجاد کرده و بین آن‌ها شیب ملایمی برقرار کند و با پیوستن به یکدیگر، اوج بلندتری را به‌وجود آورند. بارندگی در حوضه آبخیز، اگر در فاصله نزدیک به چشمه رخ دهد، تاثیر تغذیه آن زودتر دیده می‌شود و نقطه اوج آب‌نمود از نظر زمانی، نزدیک به زمان بارندگی خواهد بود؛ ولی اگر در فاصله دورتر بارندگی رخ داده باشد، زمان تاخیر بیشتر خواهد بود. اگر بارندگی سراسری باشد، در این صورت، قسمت اوج منحنی به صورت گرده‌ماهی یا پهن در خواهد آمد.

– دما، موجب ذوب برف و یخ می‌شود. در نقاط سردسیر، سرمای شبانه می‌تواند باعث کاهش آبدهی یا حتی قطع آن شود و با گرمای روز و ذوب برف، آبدهی افزایش یابد و در غروب، پیش از انجماد دوباره، به بیشینه خود برسد. در این صورت، آب‌نمود دارای نوسانات شبانه‌روزی خواهد بود. در مناطقی که سرما شدت دارد (ارتفاعات بلند) و انجماد در فصل سرما همیشگی است، نوسانات آب‌نمود نیز می‌تواند به تبع آن فصلی باشد.

- بخش عمده‌ای از پوشش برفی، در روزهای آفتابی بر اثر تصعید از بین می‌رود. بسته به تعداد روزها یا ساعت‌های آفتابی، مقدار تصعید متفاوت است، این مورد می‌تواند غیرمستقیم بر آبنمود چشمه تاثیر داشته باشد. بالا بودن نم نسبی، بر تبخیر اثر معکوس دارد. سرعت باد، موجب افزایش تبخیر می‌شود. بنابراین، این دو عامل نیز در شکل آبنمود تاثیر دارند، افزون براین که با نم نسبی بالا، حجم زیادی از آب در درز و شکاف‌های سنگ‌ها تقطیر می‌شود و به‌صورت شبنم درمی‌آید، هم‌چنین می‌تواند در تغذیه آبخوان و آبدهی چشمه موثر باشد.
- تغییرات آبدهی رودخانه‌ها و مسیل‌هایی که از آبگیر چشمه عبور می‌کنند، می‌تواند در آبدهی چشمه و شکل آبنمود آن اثر بگذارد. چه‌بسا رودخانه‌هایی که در حوضه آبریز مجاور جریان دارند ولی از راه سنگ بستر، خود چشمه یا چشمه‌هایی را در طرف دیگر، تغذیه می‌کنند. همین‌طور دریاچه‌ها و آبگیرها، و نوسان آب آن‌ها بر آبنمود یک چشمه، موثر خواهد بود.
- کشند (جزر و مد) دریا، می‌تواند بر شکل آبنمودهای چشمه‌های ساحلی موثر باشد. هنگام فراکشند (مد)، آبدهی چشمه کاهش و برعکس در زمان فروکشند افزایش می‌یابد. این احتمال وجود دارد که هنگام فراکشند، آب دریا وارد مخزن چشمه شود و هنگام فروکشند، آب چشمه به سوی دریا جریان یابد.
- دخالت انسان در سامانه‌های منابع آب، بر این منابع تاثیر کمی و کیفی می‌گذارد. احداث سد ممکن است باعث قطع شدن، کاهش یا افزایش آبدهی چشمه و یا حتی موجب پیدایش چشمه‌های جدید شود. تغییرات سطح آب مخزن سدها که از راه معابر زیرزمینی با چشمه‌های پایین‌دست مرتبط هستند، بر آبنمود این چشمه‌ها اثر می‌گذارد و در این صورت، تغییرات آبنمود، تابعی از تراز آب دریاچه پشت سد خواهد بود.
- احداث سدهای مخزنی و بالا آمدن آب مخزن، ممکن است موجب مستغرق شدن تعدادی چشمه شده و بر اثر فشار آب مخزن، جریان آن‌ها قطع شود یا به صورت چشمه زیردریاچه‌ای با آبدهی کم‌تر درآید و یا موجب پیدایش چشمه‌های جدید شود.
- نهرهای آبیاری، جریان آب و حجم آن، یا توقف جریان آن‌ها، ممکن است بر آبدهی چشمه و آبنمود تاثیر گذارد. آبکشی از مخزن‌های آب زیرزمینی توسط چاه‌های آب، عاملی موثر بر چشمه‌های مجاور و پایین‌دست خواهد بود.
- تغذیه مصنوعی مخزن‌های آب زیرزمینی می‌تواند موجب افزایش آبدهی شده، رابطه این دو را می‌توان روی آبنمود مشاهده کرد. ایجاد تغییرات دیگری مانند حفاری تونل‌ها، انبارهای مهمات و غیره، ممکن است بر آبدهی چشمه‌ها تاثیر بگذارد.
- افزون بر موارد بالا، تراز و موقعیت چشمه در پهنه کارستی نیز، در روند تغییرات آبدهی چشمه موثر است.
- هریک از مواردی که در این بخش به‌صورت خلاصه و بسیارگذرا عنوان شد، می‌تواند زمینه پژوهشی مفصل باشد.

عوامل موثر در شکل آبنمود را می‌توان به صورت زیر رده‌بندی کرد:

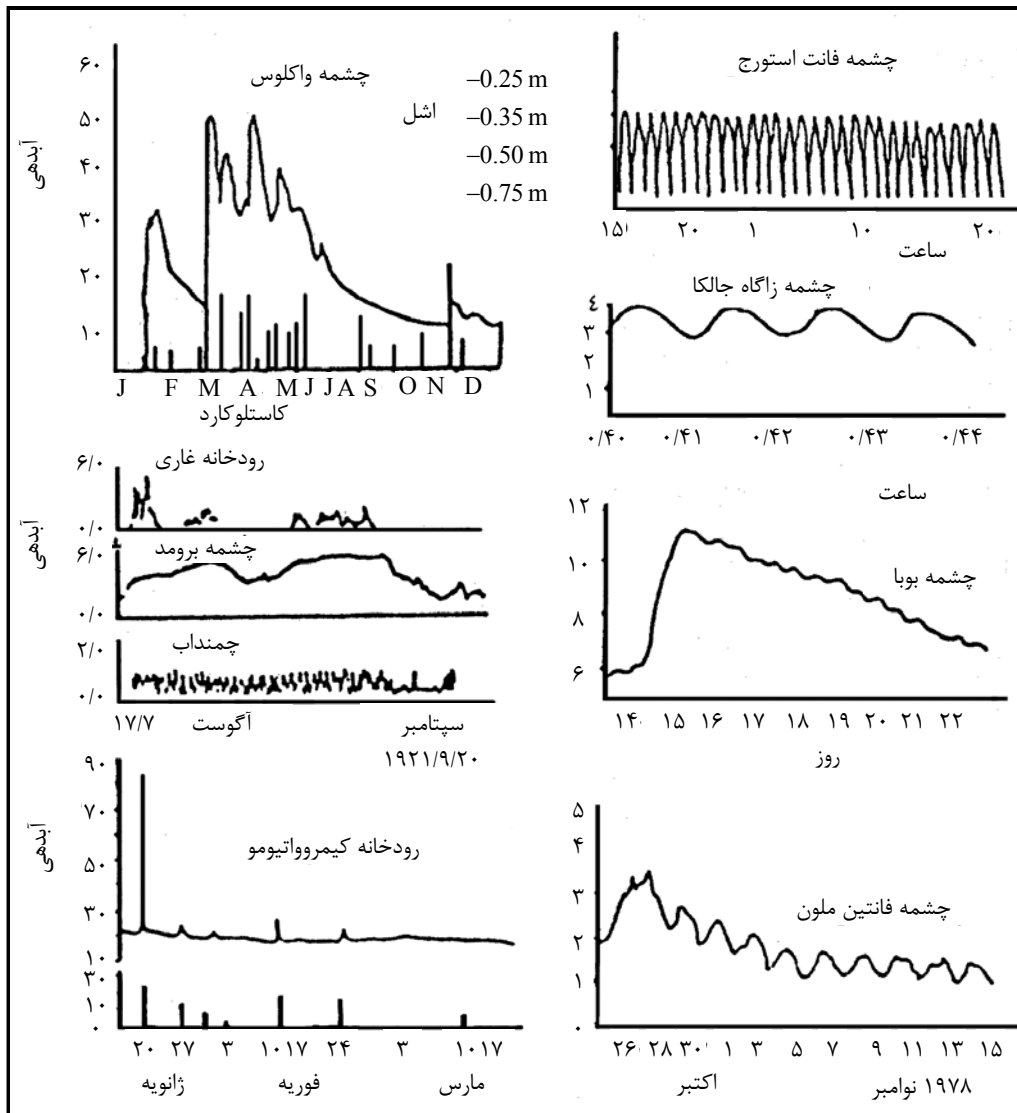
زمین‌شناسی	۱- وضعیت ساختاری چینه‌ها و حرکات زمین ۲- سنگ‌شناسی ۳- انحلال‌پذیری
ریخت‌شناسی حوضه	۱- ویژگی‌های فیزیوگرافی (شیب و شکل حوضه آبریز) ۲- پوشش خاکی و پوشش گیاهی
اقلیم‌شناسی	۱- بارش (نوع بارش، شدت، مدت، دفعات بارندگی، موقعیت بارندگی) ۲- دما ۳- تبخیر ۴- باد ۵- رطوبت هوا، شبنم
آبشناسی	۱- جریان‌های سطحی ۲- دریاچه‌ها ۳- جریان‌های کشندی
عوامل انسانی	۱- مخزن سدها و تغییرات سطح آب آن‌ها ۲- نهرهای آبیاری و چگونگی جریان آب ۳- آبکشی از مخزن آب زیرزمینی (پمپاژ چاه‌ها) ۴- تغذیه مصنوعی مخزن آب زیرزمینی

### ۳-۶- تجزیه و تحلیل آبنمود چشمه

شکل آبنمود چشمه، بازتاب‌کننده منحصر به فرد واکنش آبخوان در مقابل تغذیه است. به ویژه شکل و روند فروکش، اطلاعات مهمی در مورد ذخیره و ویژگی‌های ساختاری سامانه آبخوان تامین‌کننده چشمه فراهم می‌آورد. به این دلایل، تحلیل آبنمود چشمه، اطلاعات قابل توجهی درباره ماهیت و چگونگی کار سامانه زهکشی کارست ارایه می‌کند (شکل ۳-۲). اگر تغییرات کمی آب (آبنمودها)، با تغییرات هم‌زمان کیفی آن (کموگراف‌ها) با هم تحلیل شوند، نتایج بسیار بهتری به دست خواهد آمد.

همان گونه که پیش‌تر گفته شد، آبنمود دارای شاخه‌های بالارونده و فروکش است. شاخه بالارونده مربوط به زمان تغذیه حاصل از بارش و شاخه فروکش، مربوط به زمان تخلیه آب تغذیه شده است. لازم به یادآوری است که بارش‌های پی در پی در حوضه‌های آبریز بزرگ، شاخه فروکش آبنمود را تحت تاثیر قرار می‌دهد، زیرا هنوز تغذیه بارش‌های پیشین،

کاملاً تخلیه نشده که بارش بعدی رخ می‌دهد و روند شاخه‌های آبنمود را تغییر می‌دهد. اغلب، آبنمود از نقطه مشخصی به نام نقطه اوج که آغاز شاخه فروکش است، تغییر جهت می‌دهد و از آن به بعد، آبدهی با روند خاصی کاهش می‌یابد. این بخش از آبنمود را منحنی فروکش (تاریسمان) می‌گویند. برای تفکیک جریان پایه آبنمود، محاسبه حجم ذخیره دینامیکی و ویژگی‌های ساختاری آبخوان، از این منحنی استفاده می‌شود.



شکل ۳-۲- انواع آبنمودهای مربوط به چشمه‌ها و رودخانه‌های کارستی

### ۳-۶-۱- منحنی فروکش ساده

یک بارندگی معین روی حوضه‌ی کارستی، به تخلیه‌های متناسب با آن، منجر می‌شود. چشمه، عکس‌العمل‌های تخلیه‌ای معین و مهمی را نشان خواهد داد که ویژگی‌های آن به شرح زیر است:

الف- یک تاخیر زمانی پیش از پیدایش واکنش

- ب- یک آهنگ صعود تا نقطه اوج منحنی (بازوی بالارونده منحنی)
- ج- یک آهنگ فروکش، به گونه‌ای که تخلیه چشمه به سمت وضعیت خروجی چشمه پیش از بارندگی برمی‌گردد (بازوی فروکش)
- د- اختلالات کوچک یا ضربه‌هایی روی هر دو بازوی منحنی، اگرچه بازوی فروکش به شکل بارزتری دیده می‌شود. وقتی آبنمود در نقطه اوج خود است، اغلب، ذخیره در سامانه کارستی در بالاترین حد است. شدت تخلیه آب از ذخیره، توسط شیب شاخه فروکش منحنی مشخص می‌شود.
- تجزیه و تحلیل کمی شاخه فروکش آبنمود، اختصاصاً بر پایه کار مایه<sup>۱</sup> (۱۹۰۵) انجام گرفته است. وی فرض کرد که تخلیه چشمه، تابعی از حجم آب ذخیره شده در مخزن است، و آن را به شکل رابطه‌ی نمایی ساده زیر بیان کرد:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t} \quad (۱-۳)$$

در این رابطه:

$$Q_t = \text{آبدهی (مترمکعب بر ثانیه) در زمان } t$$

$$Q_0 = \text{آبدهی قبلی در زمان صفر (} t_0 \text{)}$$

$$t = \text{زمان طی شده (اغلب برحسب روز) بین } Q_t \text{ و } Q_0$$

$$e = \text{پایه لگاریتم طبیعی (نپرین)}$$

$$\alpha = \text{ضریب فروکش (تخلیه) چشمه از بعد عکس زمان (} T^{-1} \text{)}$$

اگر در کاغذ نیمه لگاریتمی، روی محور لگاریتمی آبدهی برحسب مترمکعب بر ثانیه ( $m^3/s$ ) و روی محور عددی زمان برحسب روز آورده شود، خط راستی به دست می‌آید که شیب آن  $-\alpha$  خواهد بود. شکل لگاریتمی معادله ۱-۳ به شرح زیر است:

$$\log Q_t = \log Q_0 - 0.4343\alpha t \quad (۲-۳)$$

که مقدار  $\alpha$  را می‌توان از رابطه ۳ به دست آورد:

$$\alpha = \frac{\log Q_1 - \log Q_2}{0.4343(t_2 - t_1)}, \quad t_2 - t_1 = t, \quad Q_2 = Q_t, \quad Q_1 = Q_0 \quad (۳-۳)$$

چون  $e^{-\alpha}$  در معادله (۱) مقداری ثابت است، گاهی آن را با  $\beta$  که ثابت فروکش نامیده می‌شود، جایگزین می‌کنند. در نتیجه، معادله به این صورت نوشته می‌شود:

$$Q_t = Q_0 \cdot \beta^t \quad (۴-۳)$$

ثابت فروکش را می‌توان از عبارت لگاریتمی زیر محاسبه کرد:

$$\log \beta = \frac{\log Q_t - \log Q_0}{t} \quad (۵-۳)$$



هنگام رسم منحنی فروکش آبنمود کارستی (روی کاغذ نیمه لگاریتمی)، اغلب مشاهده می‌شود که دست کم در برخی قسمت‌ها، منحنی غیرخطی است.

بنابراین، برای تطابق بهتر داده‌ها باید از معادلات دیگری استفاده کرد، از جمله تابع نمایی دوبل زیر:

$$Q_t = Q_{\bullet} e^{-\alpha t^n} \quad (6-3)$$

که شکل لگاریتمی آن به صورت معادله ۷ است:

$$\log(\log \frac{Q_{\bullet}}{Q_t}) = n \log t + \log \alpha - 0.36222 \quad (7-3)$$

از سوی دیگر، شاید توسط یک رابطه سهمی، انطباق بهتری صورت پذیرد:

$$Q_t = \frac{Q_{\bullet}}{(1+ct)^n} \quad (8-3)$$

که شکل لگاریتمی آن به صورت معادله ۹ است:

$$\log Q_t = \log Q_{\bullet} - n \log(1+ct) \quad (9-3)$$

پارامتر  $c$  را می‌توان از رابطه ۱۰ محاسبه کرد:

$$c = \frac{1}{t} \left[ \left( \frac{Q_{\bullet}}{Q_t} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \quad (10-3)$$

و ثابت فروکش از رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$\beta = \frac{c}{Q_{\bullet}^{\frac{1}{n}}} \quad (11-3)$$

توان  $n$ ، اغلب عددی بین ۰/۵ تا ۲ است. عبارات دیگری که در سامانه‌های کارستی کاربرد دارد، توسط مانژین (۱۹۷۵) بیان و بحث شده است.

با توجه به فروکش بده پایه آبراهه‌های سطحی، مارتین (۱۹۷۳) اظهار کرد که مقادیر ثابت فروکش (معادله ۵) بین صفر تا یک متغیر اما اغلب بین ۰/۵۰۰ تا ۱/۰۰۰ است، گرچه این فاکتور معنی فیزیکی روشنی ندارد. بنابراین، مارتین پیشنهاد می‌کند از مفهومی معادل با نیم عمر در فیزیک هسته‌ای که بسیار مناسب‌تر است، استفاده شود.

یک نیم دوره جریان  $(t_{0.5})$  را می‌توان به این صورت تعریف کرد: «زمان لازم، برای اینکه بده پایه رودخانه (یا چشمه)

نصف شود.»

بنابر تعریف بالا،  $2Q_{t_{0.5}} = Q_{\bullet}$  بوده و با جایگزین کردن آن در معادله ۴، روابط زیر به دست می‌آید:

$$Q_{t_{0.5}} = 2Q_{t_{0.5}} \beta^{t_{0.5}^n} \quad (12-3)$$

$$\frac{1}{2} = \beta^{t_{0.5}^n} \quad (13-3)$$

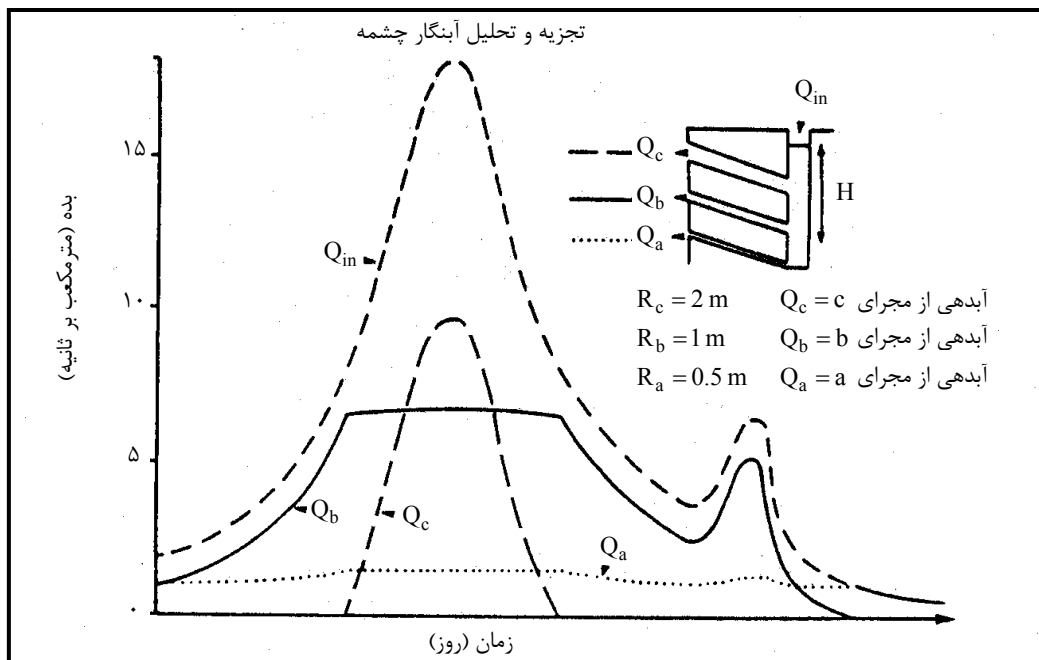
$$t_{0.5} = \log \beta / \log \beta \quad (14-3)$$

عامل  $t_{0.5}$  دارای ویژگی‌های زیر خواهد بود:

الف- مستقل از  $Q_0$  و  $Q_t$  و زمان طی شده بین آنها است،  
 ب- مماس بر تغییرات بوده و می‌تواند از صفر تا بی‌نهایت تغییر کند،  
 ج- به آسانی از معادله (۳-۱۴) قابل محاسبه بوده و به سادگی از راه معادله فوق، با  $\beta$  مربوط می‌شود،  
 د- مقیاس مستقیمی برای آهنگ فروکش بوده و می‌تواند به عنوان شاخص نمایی فروکش جریان، به کار گرفته شود.  
 مقدار ضریب فروکش  $\alpha$  در رابطه ۳-۱ از ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان، به ویژه تخلخل موثر و ضریب قابلیت انتقال به دست می‌آید. وقتی  $\alpha$  یا  $\beta$  (معادله ۳-۴) بزرگ و  $t_{0.5}$  کوچک است، شیب منحنی فروکش، تند خواهد بود و دلالت بر زهکشی سریع مجاری و ذخیره کم زیرزمینی دارد. اگر تغذیه‌ای صورت نگیرد اما  $\beta$  و  $\alpha$  کوچک و  $t_{0.5}$  بزرگ باشد، دلالت بر زهکشی (تخلیه) آرام آبخوان کارستی دارد که احتمالاً ناشی از یک شکاف وسیع یا شبکه متخلخل با ظرفیت ذخیره بسیار زیاد و مقاومت بالا در برابر تغذیه است.

### ۳-۶-۲- منحنی فروکش مرکب

منحنی‌های نیمه لگاریتمی داده‌های فروکش چشمه‌های کارستی، اغلب از دو یا چند بخش تشکیل شده‌اند که یک یا چند بخش آن، ممکن است خطی باشد و براساس آن‌ها، می‌توان یک یا چند ضریب فروکش به دست آورد. در این موارد، مسیر بخش‌ها به طور مجزا، بهترین شناخت را از ویژگی‌های آبخوان ارایه می‌کند. چنین منحنی‌هایی، نمایان‌گر ویژگی‌های آب‌شناختی آبخوان‌های کارستی و ذخایر مختلف و مخازن متصل به آن‌هاست (شکل ۳-۳) که در سامانه زهکشی دخالت دارند.



شکل ۳-۳- مدل سامانه استاتیک (صرف نظر از مخزن) برای سامانه چشمه‌های سرریزی و غیرسرریزی با سه مؤلفه که  $Q$  نمایان‌گر تخلیه و  $R$  نمایان‌گر شعاع کانال جریان است.

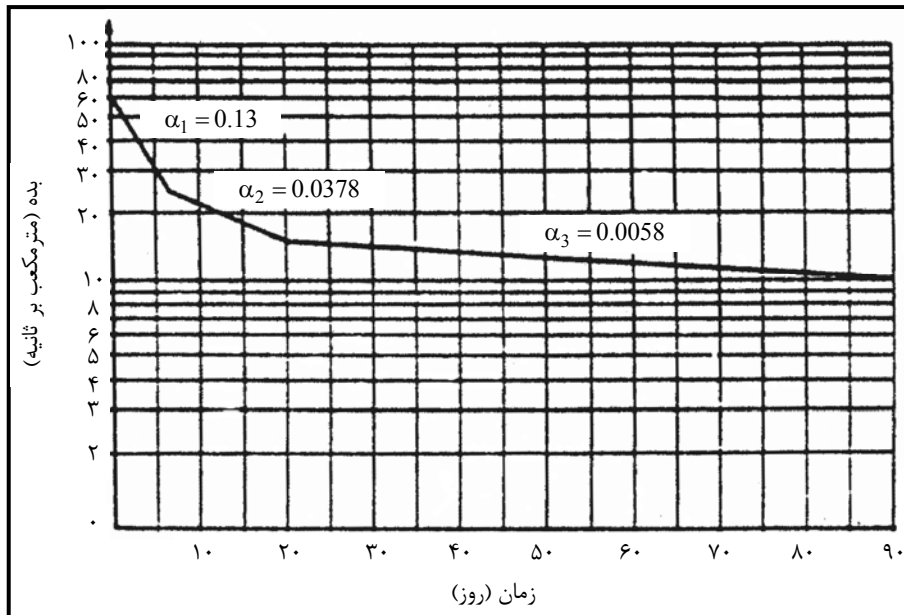
در پاسخ به یک ورودی دلخواه،  $Q$  معرف آبدهی و  $R$  معرف شعاع مجراست.

هنگامی که منحنی فروکش مرکب، شامل دو یا چند بخش خطی باشد، می‌توان معادله ۱ را برای هر بخش خطی به صورت معادله ۳-۱۵ نوشت:

$$Q_t = Q_{\bullet n} \cdot e^{-\alpha_n \cdot t} \quad (15-3)$$

که در آن  $Q_t$  بده در روز  $t$ ام از زمان شروع منحنی فروکش،  $n$  شماره هر بخش خطی از منحنی فروکش و  $\alpha_n$  ضریب فروکش در آن بخش از منحنی است.  $t$  برابر است با زمان طی شده از ابتدای همان بخش خطی از منحنی فروکش برحسب روز و  $Q_{\bullet n}$  مقدار بده در ابتدای بخش خطی  $n$ ام از منحنی فروکش بوده که مقدار آن را می‌توان به طور مستقیم از روی محور بده قرائت کرده و یا با استفاده از معادله ۳-۱۵، مقدار آن را به دست آورد. با توجه به اینکه مقدار بده در ابتدای هر بخش ( $Q_{\bullet}$ ) برابر است با مقدار بده در انتهای بخش قبلی ( $Q_t$ ).

شکل (۳-۴) منحنی فروکش چشمه امبلا را نشان می‌دهد.



$\alpha_1$  = ضریب فروکش بخش اول منحنی فروکش

$\alpha_2$  = ضریب فروکش بخش دوم منحنی فروکش

$\alpha_3$  = ضریب فروکش بخش سوم منحنی فروکش

شکل ۳-۴ - شاخه فروکش آبنمود مرکب چشمه امبلا در یوگسلاوی. باید توجه کرد

که ضرایب فروکش سه‌گانه، بزرگی متفاوتی دارند (میلانویچ ۱۹۸۱).

حجم آب تخلیه شده از چشمه از زمان شروع منحنی فروکش، برابر با سطح زیر منحنی فروکش است. برای به دست آوردن حجم تخلیه چشمه در هر بخش از منحنی فروکش، باید از معادله تخلیه چشمه در هر بخش انتگرال‌گیری کرد. لذا با انتگرال‌گیری از معادله ۳-۱۵ حجم آب تخلیه شده از چشمه در هر بخش، به صورت معادله ۳-۱۶ به دست می‌آید:

$$V_t = \int_{t_2}^{t_1} Q_{\bullet n} \cdot e^{-\alpha_n \cdot t} \cdot dt \quad (16-3)$$

با حل معادله ۳-۱۶، معادله ۳-۱۷ به دست می‌آید:

$$V_t = \frac{Q \cdot n}{\alpha_n} \cdot e^{-\alpha_n \cdot t} \Bigg|_{t_2}^{t_1} \quad (17-3)$$

که در آن  $V_t$  حجم آب تخلیه شده از چشمه در فاصله زمانی  $t_2 - t_1$  است. بدیهی است که در معادله ۱۷-۳ برای به دست آوردن حجم تخلیه برحسب مترمکعب، با توجه به آن که واحد زمان برحسب روز و واحد بده برحسب مترمکعب بر ثانیه است، بنابراین، باید معادله فوق در ضریب ۸۶۴۰۰ ضرب شود.

میلانویچ از روی این منحنی به این نتیجه رسید که آبخوان مورد نظر وی، سه نوع تخلخل دارد که توسط سه ضریب فروکش با بزرگی متفاوت مشخص می‌شوند. وی عنوان کرد که  $\alpha_1$  واکنش از تخلیه سریع غارها و مجاری است که با حجم‌های بزرگی از آب، پر شده‌اند. این مخزن‌ها، در فاصله زمانی حدود ۷ روز تخلیه می‌شوند. ضریب  $\alpha_2$  به‌عنوان شاخص جریان خروجی سامانه درزهای کارستی به هم پیوسته، تعیین شده که زهکشی آن حدود ۱۳ روز طول کشیده است.  $\alpha_3$  واکنش به زهکشی آب از خلل و فرج و درزهای باریک گفته می‌شود که شامل فضاهایی در داخل سنگ‌ها و خاک‌ها در بالای سطح ایستابی و هم‌چنین ماسه‌ها و ذخایر رسی داخل غارهاست.

### ۳-۶-۳- تشخیص نوع جریان و انواع کارست از منحنی‌های فروکش

در آبخوان‌های درز و شکاف‌دار کارستی، می‌توان پنج نوع منحنی فروکش را به شرح زیر تشخیص داد:

- منحنی‌های فروکش ساده که رژیم آب زیرزمینی را با جریان ورقه‌ای نشان می‌دهد. محیط نفوذپذیر این آبخوان‌ها، مناطق زمین‌ساختی است که آب مناطق درز و شکاف‌دار مجاور را منتقل می‌کند. این نواحی با مواد خرد شده پر شده است.
- منحنی‌های فروکش مرکب، نشان‌دهنده دو رژیم فرعی با جریان ورقه‌ای هستند. محیط نفوذپذیر این گونه آبخوان‌ها از سنگ‌های کربنات پردرز و شکاف تشکیل شده که بیش‌تر دارای سامانه‌های منظم درزه‌های ریز و درشت فراوان و حتی در مقیاس وسیع همراه با نفوذپذیری ناهمگن هستند.
- منحنی‌های فروکش مرکب، نشان‌دهنده تلفیقی از رژیم‌های فرعی با جریان ورقه‌ای، و رژیم‌هایی با جریان آشفته است. محیط نفوذپذیر این آبخوان‌ها شامل سنگ‌های خردشده با سامانه‌ای از درزه‌های ریز و درشت باز و سنگ‌های جنبی با درزه‌های کوچک باز و مجاری کارستی است.
- منحنی‌های فروکش مرکب، که تلفیقی از رژیم‌های فرعی با جریان ورقه‌ای است، دو یا چند رژیم فرعی با جریان آشفته را نشان می‌دهد. این منحنی‌ها، محیط نفوذپذیر سنگ‌های کربناته به‌شدت کارستی شده و کارست رسیده را مشخص می‌کنند.
- منحنی‌های فروکش مرکب، که حاصل تلفیق دو یا سه رژیم با جریان آشفته هستند. این منحنی‌ها، سامانه مجرای عبور آب زیرزمینی را که هیچ‌گونه ارتباط هیدرولیکی قابل ملاحظه‌ای با درز و شکاف‌های سنگ‌های مجاور ندارد، نشان می‌دهد.

توضیح مهم: تفسیر منحنی‌های تخلیه چشمه‌ها، براساس آمار روزانه یا دست کم هفتگی، روش مناسبی برای ارزیابی نوع نفوذپذیری و ظرفیت آبخوان‌هاست.

### ۳-۷- کاربرد آبنمود

در ادامه، مهم‌ترین کاربردهای آبنمود چشمه به صورت فهرست‌وار بیان شده و سپس به شرح مختصر هریک از آن‌ها پرداخته شده است:

- استفاده از نسبت آبدهی بیشینه به کمینه در تعیین ویژگی‌های مخزن کارستی و تقسیم‌بندی چشمه‌ها
- تعیین معادله تخلیه چشمه و بررسی روند تخلیه و کاهش آبدهی
- تشخیص رژیم‌های جریان و شناخت سامانه زهکشی آبخوان
- محاسبه حجم تخلیه چشمه و ذخایر دینامیکی مخزن
- تعیین ارتباط بین آبدهی چشمه با رژیم بارش (محاسبه نفوذپذیری موثر)
- محاسبه حجم تخلیه چشمه و رابطه آن با بارندگی موثر
- مقایسه تغییرات سطح آب آبخوان و تغییرات آبدهی چشمه
- برآورد ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان
- تعیین چگونگی بهره‌برداری بهینه از ذخایر کارستی و سازندهای سخت و یا از آبخوان چشمه

### ۳-۷-۱- استفاده از نسبت آبدهی بیشینه به کمینه در تعیین ویژگی‌های مخزن کارستی و تقسیم‌بندی

#### چشمه‌ها

یکی از موارد کاربرد چشمه‌های کارستی، استفاده از نسبت آبدهی بیشینه به آبدهی کمینه<sup>۱</sup> چشمه‌هاست که از آن، در تشخیص ویژگی‌های مربوط به حجم مخزن کارستی استفاده می‌شود و بر اساس آن می‌توان چشمه‌ها را تقسیم‌بندی کرد. در این‌جا، برای مثال به مشخصات چشمه بزرگ لیتنو<sup>۲</sup> در یوگسلاوی اشاره می‌شود:

$$\Rightarrow Q_{\text{mean}} = 11.5 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{آبدهی میانگین}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{min}} = 5 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{آبدهی کمینه}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{max}} = 30 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{آبدهی بیشینه}$$

$$Kn = \frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{min}}} = \frac{30}{5} = 6 \quad \text{(ضریب ناهم‌شکلی)}$$

1-  $Q_{\text{max}}/Q_{\text{min}}$

2- Litno

$$K_m = \frac{Q_{\min}}{Q_{\text{mean}}} = \frac{5}{11.5} = 0.435 \quad (\text{ضریب کم‌ترین آبدهی})$$

در مثال بالا، از آبدهی میانگین ( $Q_{\text{mean}}$ )؛ آبدهی کمینه ( $Q_{\min}$ )، آبدهی بیشینه ( $Q_{\max}$ )، ضریب ناهم‌شکلی ( $Kn$ ) و ضریب کم‌ترین آبدهی ( $K_m$ ) نام برده شده که بیانگر وضعیت آبخوان کارستی است و از آن‌ها به نام مشخصات اصلی چشمه نیز نام برده می‌شود.

واژه‌های آبدهی کمینه، بیشینه و میانگین در یک دوره اندازه‌گیری سالانه معنی‌دار هستند و هرچه ضرایب ناهم‌شکلی و ضریب آبدهی کمینه به واحد نزدیک‌تر باشند، آبدهی چشمه از یکنواختی و دوام بیش‌تری برخوردار است.

### ۳-۷-۲- تعیین معادله تخلیه چشمه و بررسی روند تخلیه و کاهش آبدهی

مقادیر آبدهی و زمان مربوط به شاخه فروکش آبنمود چشمه روی کاغذ نیمه لگاریتمی رسم می‌شود. (آبدهی روی محور لگاریتمی و زمان روی محور عددی). اگر در زمان فروکش آبنمود چشمه، تغذیه جدیدی در آبخوان صورت نگرفته باشد، شاخه فروکش روی کاغذ نیمه لگاریتمی، اغلب به یک یا چند بخش خطی تبدیل می‌شود، مانند شاخه فروکش چشمه امبلا در یوگسلاوی (شکل ۳-۴) که از سه بخش خطی تشکیل شده است. معادلات بخش‌های خطی، همان معادله ۱۵ بوده و مقدار  $\alpha$ ، با استفاده از آبدهی‌های دو زمان  $t_1$  و  $t_2$  روی هر بخش خطی، براساس رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \frac{\log Q_1 - \log Q_2}{0.4343(t_2 - t_1)}$$

### ۳-۷-۳- تشخیص رژیم‌های جریان و شناخت سامانه زهکشی آبخوان

این مورد در بند ۳-۶-۳ توضیح داده شده است و از تکرار آن خودداری می‌شود.

### ۳-۷-۴- محاسبه حجم تخلیه چشمه و ذخایر دینامیکی مخزن

ذخایر دینامیکی، شامل حجم آبی است که در بالای تراز مظهر چشمه قرار دارد. پایین‌ترین تراز خروجی چشمه‌ها و بالاترین تراز آب در مخزن، حداکثر ارتفاع ذخیره دینامیکی یا ستون آب در کارست اشباع است. حجم آب ذخیره شده در بالای تراز چشمه‌های آهکی به روش مایه (۱۹۰۵)، از نقطه اوج آبنمود یا شروع فروکش محاسبه می‌شود. در این روش، تغییرات آبدهی چشمه برحسب زمان با تحلیل روند کاهش آبدهی<sup>۱</sup> پس از قطع بارندگی در دوره خشک، بررسی شده است. بر اساس این تحلیل، مقدار آب ذخیره‌شده در بالای تراز چشمه از رابطه ۳-۱۸ قابل محاسبه است:

$$V = \frac{86400 \times Q}{\alpha} \quad (۳-۱۸)$$

در این رابطه:

$$Q_0 = \text{آبدهی برحسب متر مکعب بر ثانیه (m}^3/\text{s)},$$

$$V = \text{حجم ذخایر دینامیکی برحسب مترمکعب (m}^3\text{)}, \text{ و}$$

$$\alpha = \text{ضریب فروکش.}$$

اگر رژیم آبدهی چشمه از چند رژیم تشکیل شده باشد، به صورت معادله ۳-۱۹ خواهد بود:

$$V = 86400 \left( \frac{Q_{0.1}}{\alpha_1} + \frac{Q_{0.2}}{\alpha_2} + \frac{Q_{0.3}}{\alpha_3} + \dots + \frac{Q_{0.n}}{\alpha_n} \right) \quad (3-19)$$

به عنوان مثال، در چشمه‌ای در کشور فرانسه، تغییرات آبدهی روی کاغذ نیمه لگاریتمی ترسیم شده و مقدار  $\alpha$  را

پیدا کرده‌اند که از رابطه زیر مقدار  $Q_0$  محاسبه شده و به دست می‌آید:

$$\alpha = \frac{\log Q_1 - \log Q_2}{0.4343(t_2 - t_1)}$$

در این مثال:

$$Q_0 = 2.6 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (آبدهی در لحظه } t_0\text{)}$$

$$\alpha = 0.00312 \text{ (ضریب فروکش)}$$

بنابراین حجم ذخایر دینامیکی برابر است با:

$$V = \frac{86400 \times 2.6}{0.00312} = 72 \times 10^6 \text{ میلیون مترمکعب}$$

### ۳-۷-۵- تعیین ارتباط بین آبدهی چشمه با رژیم بارش

همان‌گونه که در صفحات پیش توضیح داده شد، در بین عوامل مختلف، آبدهی چشمه‌ها بیش‌ترین ارتباط را با بارندگی دارند. از این رو می‌توان چگونگی و نوع بارندگی منطقه را با آبنمود چشمه مقایسه کرد. باران‌های تند و رگبارها، کم‌تر فرصت نفوذ در زمین را پیدا می‌کنند درحالی‌که باران‌های ملایم و طولانی، نفوذ بسیار زیادی دارند. ریزش به صورت برف، با ذوب تدریجی و نفوذ همراه است که در همین حال، با تبخیر نیز توأم است و بسته به شرایط آب و هوایی و دمای محیط، می‌تواند متفاوت باشد، این مولفه را می‌توان در محیط‌های مختلف جغرافیایی تجربه کرد.

### ۳-۷-۶- محاسبه حجم تخلیه چشمه و رابطه آن با بارندگی موثر (محاسبه نفوذپذیری موثر)

عوامل مرتبط در این رابطه، به شرح زیر بوده که در معادله ۲۰ قابل اعمال هستند:

$$I_c = \frac{Q_m \times t}{P_0 \times A} \times 100 \quad (3-20)$$

در این رابطه:

$P_0$  = میانگین بارندگی سالانه حوضه به متر،

$I_c$  = نفوذپذیری موثر به درصد،

$Q_m$  = آبدهی میانگین چشمه برحسب مترمکعب بر ثانیه،

$A$  = وسعت حوضه آبریز چشمه برحسب مترمربع،

$t$  = زمان برحسب ثانیه.

مثال: چشمه لیتنو در یوگسلاوی

$$A = 55 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$P = 950 \text{ mm} = 0.95 \text{ m}, t = \text{یک سال} = 31536 \times 10^3 \text{ ثانیه}, Q_m = 1.15 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$I = \frac{1.15 \times 31536 \times 10^3 \times 100}{0.950 \times 55 \times 10^6} = \%69.4 \approx \%70$$

همان‌گونه که پیداست، در این رابطه حجم تخلیه سالانه به حجم بارندگی سالانه برحسب درصد محاسبه می‌شود که

در مثال بالا، معادل ۷۰ درصد بارندگی است.

### ۳-۷-۷- مقایسه تغییرات سطح آب آبخوان و تغییرات آبدهی چشمه

اگر بتوان سطح آبخوان کارستی را در چاه‌های مشاهده‌ای اندازه‌گیری کرد، به آسانی می‌توان نوسانات سطح آب را با میزان تغییرات آبدهی چشمه یا در واقع آبنمود آبخوان را با آبنمود چشمه مقایسه کرد. بدیهی است بین این دو مولفه باید ارتباط مستقیمی برقرار باشد به شرطی که آبخوان اندازه‌گیری شده، همان منبع تغذیه چشمه باشد. اگر این تغییرات روی محور مختصات انتقال داده شود، می‌توان رابطه آن دو را به صورت معادله نوشت. این رابطه ممکن است خطی یا نمایی باشد:

$$Q_s = f(h) \quad (۳-۲۱)$$

که در آن:

$h$  = اختلاف ارتفاع تراز بیشینه آب تا مظهر چشمه (متر)

$Q_s$  = بده چشمه (مترمکعب بر ثانیه)

### ۳-۷-۸- برآورد ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان

به طور کلی، روش‌های محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی در آبخوان‌های زیرزمینی، بر اساس فرضیه‌های دوپویی و معادلات دارسی و با در نظر گرفتن شرایط ویژه، قابل استفاده است، اما از آنجا که تاکنون هیچ‌گونه روش جایگزینی برای آبخوان‌های درز و شکافدار و کارستی پیدا نشده، برخی پژوهشگران در سطح بین‌المللی برای مخزن‌های کارستی، از همان روش‌های به‌کارگرفته شده در آبخوان‌های آبرفتی استفاده کرده‌اند؛ از جمله میلانویچ از یوگسلاوی که در مورد مخزن‌های کارستی، از روش تاپس برای محاسبه ضریب قابلیت انتقال (T) و ضریب ذخیره (S) بهره برده است. براین اساس، سطح آب در پیزومتر مجاور چشمه اندازه‌گیری و از فرمول ۳-۲۲ برای محاسبه T کمک گرفته می‌شود:



$$T = \frac{0.183 \times Q_{\text{mean}}}{\Delta_s} \quad (22-3)$$

در این رابطه:

$T$  = ضریب قابلیت انتقال آبخوان به متر مربع بر ثانیه،

$Q_{\text{mean}}$  = آبدهی میانگین به مترمکعب بر ثانیه برای طول دوره فروکش به روز،

$\Delta_s$  = مقدار افت پیژومتر در طول دوره فروکش برای یک چرخه لگاریتمی به متر.

برای محاسبه ضریب ذخیره (S) نیز از فرمول ۳-۲۳ استفاده می‌شود:

$$S = \frac{2.25T \times t_0}{x^2} \quad (23-3)$$

در این رابطه:

$T$  = ضریب قابلیت انتقال سفره به متر مربع بر روز،

$t_0$  = طول زمان فروکش به روز،

$S$  = ضریب ذخیره به درصد،

$X$  = فاصله پیژومتر تا دهانه چشمه به متر است.

همان‌گونه که در بالا گفته شد، این روش برای آبخوان‌هایی با جریان‌های غیرخطی، چندان مصداق ندارد. به همین دلیل، پژوهش‌گر باید در حد امکان، نقاط زیادی را بررسی و محاسبه کرده و آن‌ها را رده‌بندی کند و سپس طیفی از ارقام به دست آمده را به عنوان ضرایب  $T$  و  $S$  انتخاب نماید.

### ۳-۷-۹- تعیین چگونگی بهره‌برداری بهینه از ذخایر کارستی و سازندهای سخت (یا از آبخوان چشمه)

بخشی از منابع آب موجود در مخزن‌های کارستی یا سازندهای سخت، در رقومی بالاتر از تراز دهانه چشمه قرار می‌گیرند، که آن بخش از منابع را به نام منابع دینامیکی می‌شناسند و بخشی دیگر، پایین‌تر از رقوم دهانه چشمه ذخیره شده‌اند که به نام ذخایر استاتیکی خوانده می‌شوند.

ذخایر دینامیکی، به طور طبیعی و در اثر نیروی گرانش، در طول مدت جریان از دهانه چشمه خارج می‌شوند، درحالی‌که منابع استاتیکی در مخزن باقی می‌مانند. اگر منابع دینامیکی در دوره بهره‌برداری در بخش‌های مختلف مانند کشاورزی و شرب صنعت، پاسخ‌گوی نیازها نباشد، می‌توان با حفر چاه و پمپاژ آن‌ها، از ذخایر استاتیکی نیز بهره‌برداری کرد. چه بسا مقدار تخلیه چشمه در دوره آبدار بودن بیش از میزان مورد نیاز و یا نوسان آبدهی به اندازه‌ای باشد که دوره‌ای پرآب و بیش از نیاز و دوره‌ای کم آب و ناکافی هنگام نیازها باشد.

در این صورت، با بهره‌برداری به کمک چاه‌ها در فصل‌های نیاز و پایین انداختن سطح آب آبخوان مورد نظر، می‌توان نسبت به تنظیم تخلیه اعم از طبیعی یا مصنوعی اقدام و بهره‌برداری از چشمه را مطابق نیاز به مصرف منظم کرد.

بنابراین، لازم است که مدیریت بهره‌برداری بهینه افزون بر ذخایر سرریزی (دینامیک)، با رعایت شرایط و زمان از ذخایر باقی‌مانده (استاتیک) نیز بهره‌گیری و در نهایت تلفیقی مناسب از این دو ایجاد کرد.

با استفاده از آبنمود چشمه، حجم ذخایر دینامیکی، زمان تخلیه آن‌ها، لحظه مرگ چشمه و مدت زمان خشکیدگی چشمه محاسبه می‌شود. هم‌چنین به کمک بررسی‌های هیدروژئولوژیکی و اکتشافی می‌توان ذخایر استاتیکی را ارزیابی و حدود آن را تعیین کرد و با توجه به مقدار و زمان مورد نیاز، تخلیه تلفیقی را بهینه کرد.

به مفهوم دیگر، بهره‌برداری بهینه یا توسعه بهره‌برداری پایدار<sup>۱</sup> عبارت است از: بهره‌برداری بهینه<sup>۲</sup> در زمان‌های مناسب به شکلی که در درازمدت، آسیب‌های کمی و کیفی به آبخوان وارد نشود.

---

<sup>۱</sup>- Sustainable development

<sup>۲</sup>- Optimum

# فصل ۴

---

---

## بررسی‌های موردی



محاسبه ضریب فروکش و حجم قابل تخلیه چشمه‌های طاق بستان، سراب نیلوفر و روانسر:

برای رسم آبنمود به منظور ترسیم منحنی فروکش و سرانجام محاسبه ضریب فروکش و حجم ذخیره چشمه‌های سازندهای سخت، آمار همه چشمه‌هایی که آبدهی روزانه برای آن‌ها تهیه می‌شود، بررسی شده است. در این بررسی‌ها مشاهده شد که موقعیت اشل در این چشمه‌ها به گونه‌ای است که افزون بر آب چشمه، مقداری از جریان‌های سطحی اطراف به ویژه در زمان سیلاب نیز، وارد آب چشمه شده و از پای اشل عبور می‌کنند که تفکیک آن‌ها از آب چشمه به سادگی امکان‌پذیر نیست، بنابراین تهیه منحنی فروکش بر اساس آبدهی‌های شاخه فروکش آبنمود چشمه، ممکن نشد. به ناچار، برای آرایه مثال در این نشریه، از اندازه‌گیری دوره‌ای چشمه‌های طاق بستان (شکل ۴-۱)، سراب نیلوفر (شکل ۴-۲) و روانسر (شکل ۴-۳) استفاده و نسبت به رسم منحنی و محاسبه ضریب فروکش به ترتیب زیر اقدام شد:

با بررسی آمار این چشمه‌ها مشاهده شد که بیش‌ترین مقدار آبدهی این چشمه‌ها مربوط به ماه‌های اسفند و فروردین هر سال است و پس از آن، تخلیه چشمه‌ها سیر نزولی پیدا کرده است، از این رو، اندازه‌گیری چشمه‌ها از این ماه‌ها به بعد روی کاغذ نیمه لگاریتمی (آبدهی برحسب لیتر بر ثانیه روی محور لگاریتمی و زمان برحسب روز روی محور ساده) پیاده و مناسب‌ترین خط روی نقاط اندازه‌گیری برازش داده شده است.

همان‌گونه که پیش از این گفته شد، معادله این منحنی به صورت زیر است:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

که در این رابطه:

$Q_0$  = آبدهی چشمه در آخر فصل تغذیه (ابتدای زمان فروکش) اغلب، مقدار آن بیشینه است،

$Q_t$  = بده چشمه در هر لحظه در شاخه فروکش آبنمود،

$e$  = پایه لگاریتم طبیعی (نپرین)،

$t$  = زمان مربوط به  $Q_t$ ،

$\alpha$  = ضریب فروکش.

برای محاسبه مقدار  $\alpha$  مختصات دو نقطه از خط مذکور را مانند  $t_1$  و  $Q_1$  و  $t_2$  و  $Q_2$  استخراج کرده سپس  $\alpha$  از فرمول

زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \frac{(\log Q_1 - \log Q_2)}{0.4343(t_2 - t_1)}$$

$$\alpha = \frac{3.176 - 3.041}{0.4343 \times 83} = 37 \times 10^{-4} \text{ (روز)}^{-1}$$

برای سراب نیلوفر

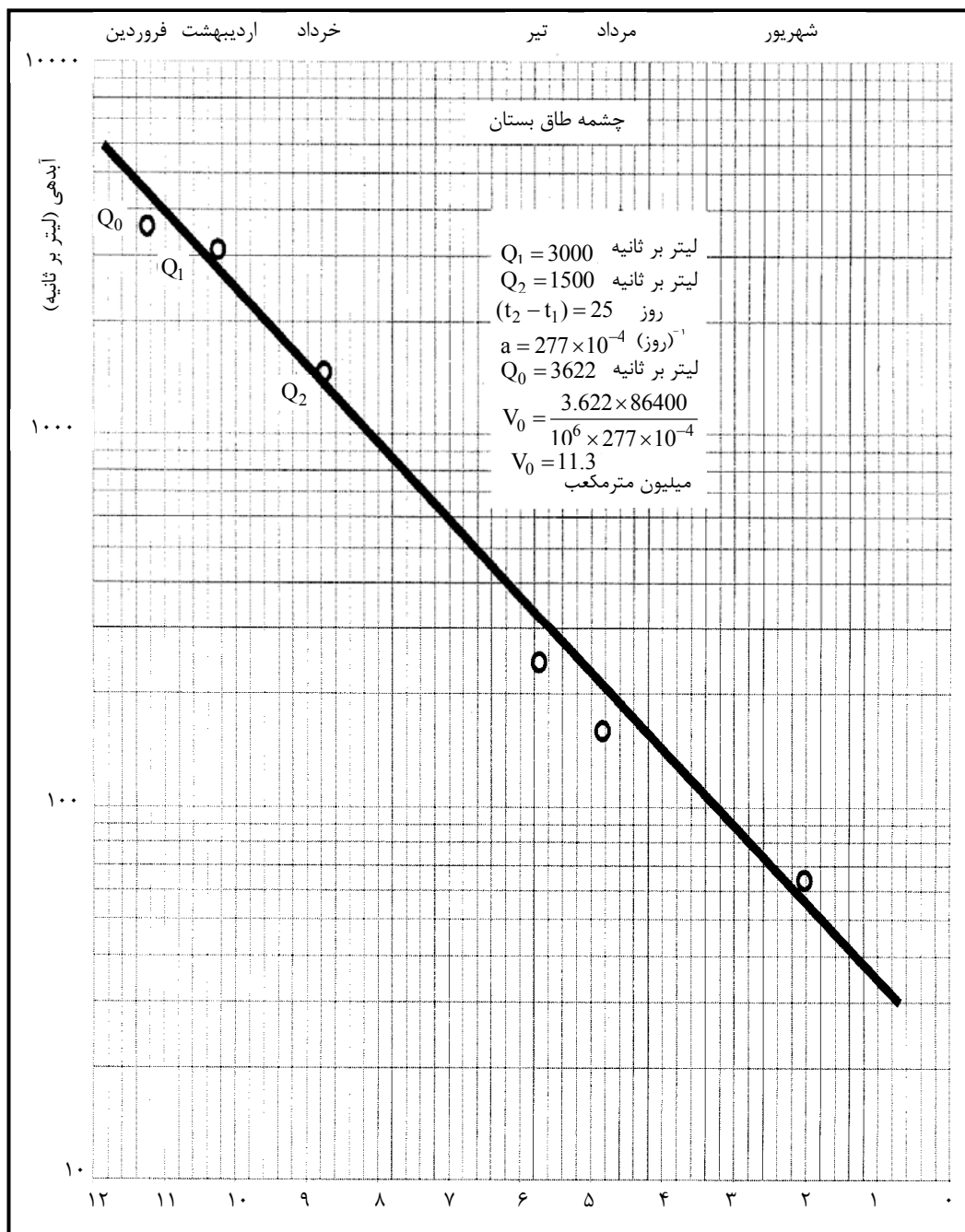
و اگر در انتهای فصل تغذیه، آبدهی چشمه  $Q_0$  و حجم آب قابل تخلیه مخزن چشمه  $V_0$  باشد، در این صورت:

$$V_0 = \frac{Q_0}{\alpha}$$

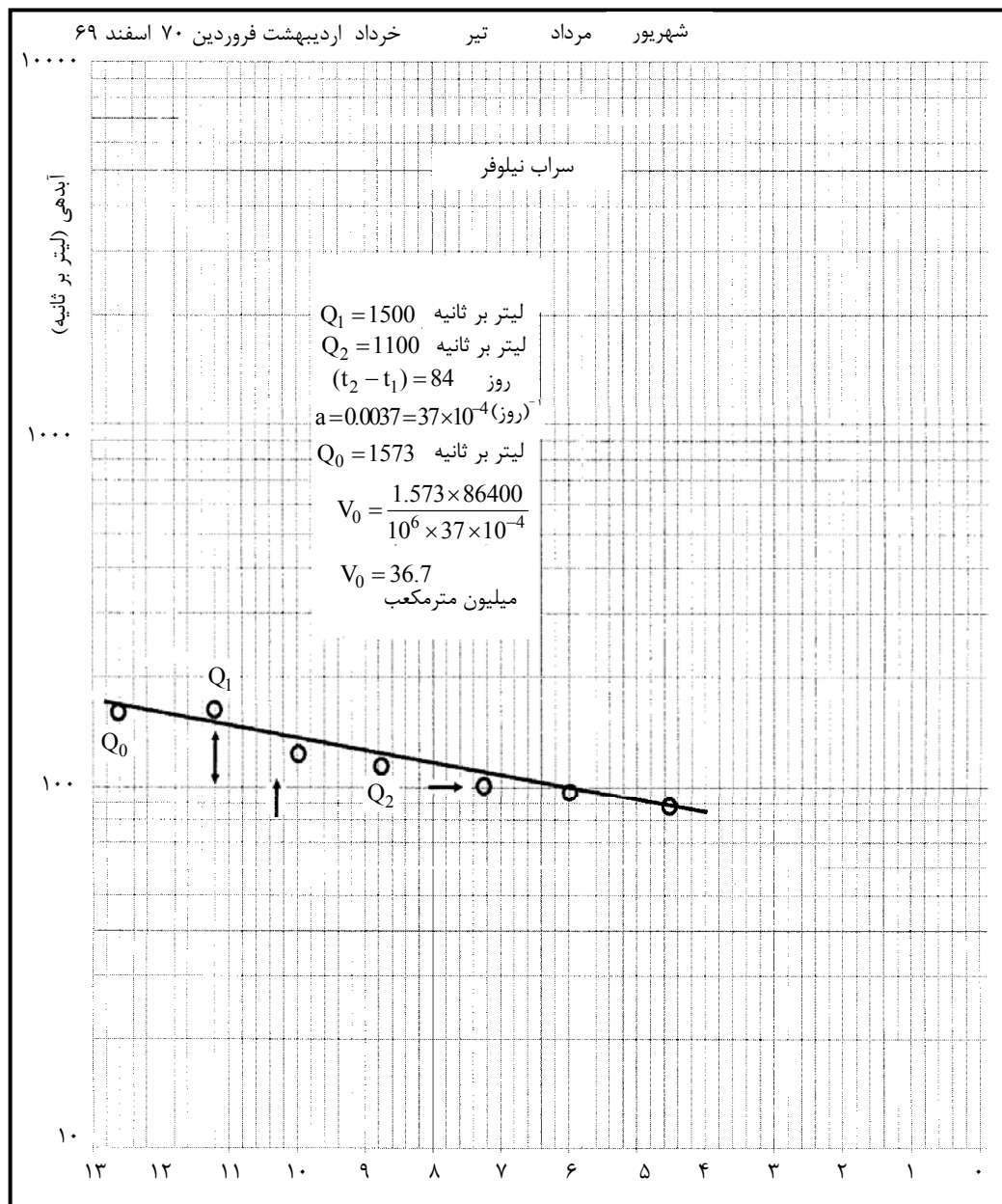
که در مورد چشمه سراب نیلوفر

$$V_0 = \frac{1.573 \times 86400}{10^6 \times 37 \times 10^{-4}} = 36.7 \text{ (میلیون مترمکعب)}$$

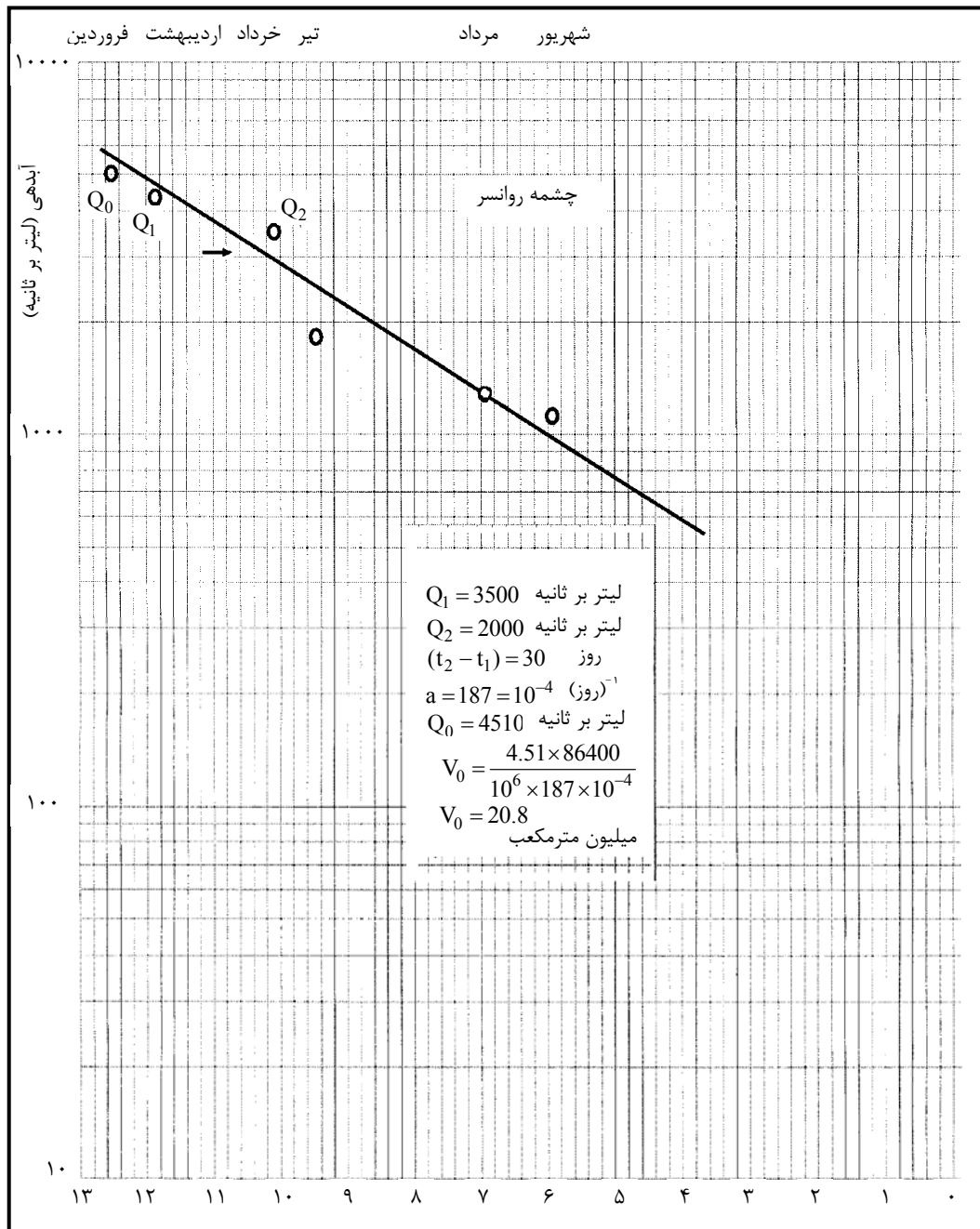
نتایج مربوط به دو چشمه دیگر، روی این نمودار مربوط درج شده است.



شکل ۴-۱- منحنی فروکش چشمه طاق بستان، محاسبه ضریب فروکش و حجم مخزن کارستی



شکل ۴-۲- منحنی فروکش چشمه سرآب نیلوفر، محاسبه ضریب فروکش و حجم مخزن کارستی



شکل ۴-۳- منحنی فروکش چشمه روانسر، محاسبه ضریب فروکش و حجم مخزن کارستی



## منابع و مراجع

- ۱- محاسبه حجم ذخایر تجدیدشونده سازندهای سخت با استفاده از تغییرات آبدهی چشمه‌ها، سال ۱۳۷۵. (دستورالعمل شماره ۵ تلفیق مطالعات، کدهای ۱۰۱۴ - ۳۴۹ - ۴۳۰)، (تماب).
- ۲- کمیته فنی اطلس منابع آب (دستورالعمل شماره ۷) تهیه نقشه موقعیت چشمه‌ها، سال ۱۳۷۲ (کدهای ۷۲۴ - ۲۸۵ - ۴۳۰)، (تماب).
- ۳- کتاب هیدرولوژی کاربردی، دکتر امین علیزاده، آستان قدس، بنیاد فرهنگی رضوی.
- ۴- کتاب هیدروژئولوژی کارست، تألیف پطر - ت میلانوویچ، ترجمه عبدالوحید آغاسی با همکاری احمد افراسیابیان، سال ۱۳۷۸، طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور.
- ۵- مقدمه ای در بررسی منابع آبدار آهکی، تهیه و تنظیم: محسن داودی، سال ۱۳۶۱، کد ۱۳۶ - C.
- ۶- هیدرودینامیک آب‌های زیرزمینی در منابع آهکی و برآورد کمی ذخایر قابل بهره‌برداری در کشور یوگسلاوی، نوشته میلانوویچ، ترجمه محسن داودی، سال ۱۳۶۳.
- ۷- مطالعه شناسایی منابع آب کارستیک و سازندهای سخت کرمانشاه (حوضه قره سو) علیای کرخه، جلد ۱ و ۲، مهندسین مشاور گاماسیاب.
- 8- Derek Ford & Paul Williams, 1989, Karst Geomorphology and Hydrology, Department of Geography, University of Auckland.