

# Yüzeysel Akış

**Oluşumu** Yeryüzünde belli bir alan üzerine düşen yağışın, sızma ve evapotranspirasyon kayıpları dışında kalan kısmı yüzeysel akışı meydana getirir. Dere, çay, ırmak, nehir gibi su yollarıyla akışa geçen bu sular göllerde ve denizlerde son bulurlar.

Akarsu biriktirme sistemi içerisindeki yüzeysel akışı, zemin nemi, yeraltısuyu katkısı ve kar erimeleri de besleyebilmektedir.

$$R = P - S - E - D \mp h_{yas}$$

R: Yüzeysel akış

P: Yağış

S: Sızma

E: Evapotranspirasyon

D: Tutma

$h_{yas}$ : Yeraltısuyu katkısı

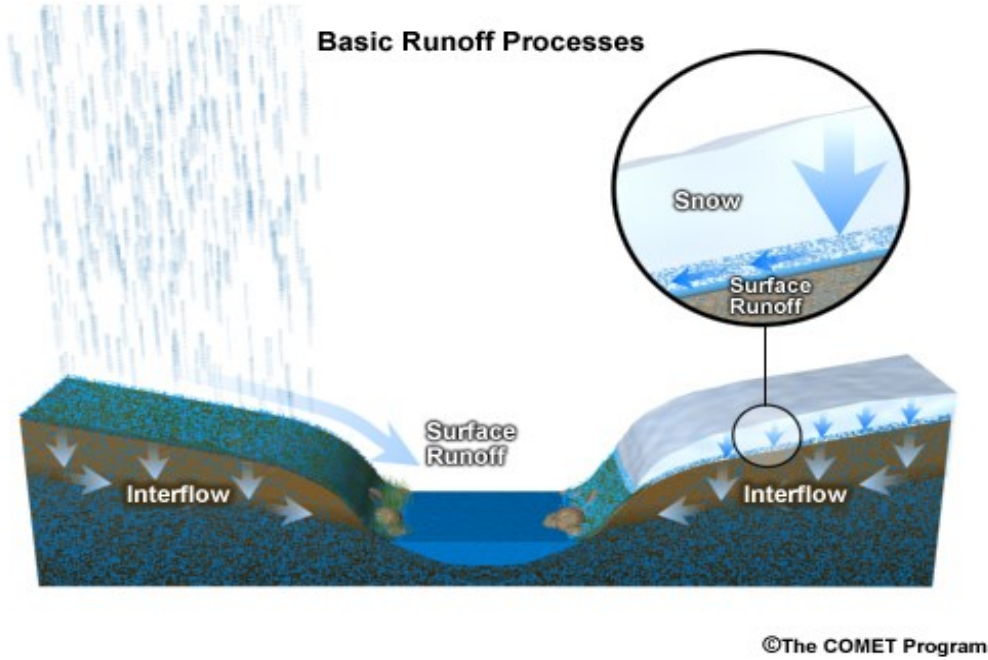
## Etki Eden Faktörler

1. **Havzanın Fiziksel Özellikleri** (Havzanın alanı, eğimi, ortalama kotu, vs..)
2. **Zemin cinsi ve jeolojik yap** (sızmayı etkiler)
3. **İklim** (yağış, yağışın biçimi kar vs, alasal dağılımı, sıcaklık, vs)
4. **Bitki örtüsü** (sızmayı ve evapotranspirasyonu etkiler)

# Yüzeysel Akış

## Önemi

- Su mühendisliği açısından son derece önemli bir kaynaktır. Sulama, içme suyu, enerji üretimi, su temini gibi ihtiyaçlar için temel su kaynağıdır.



Fazlası ise taşkınlar olarak adlandırılmakta ve can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Bu nedenlerden ötürü yüzeysel akış su kaynaklarının gelişim planlarının hazırlanabilmesi için taşkın tekerrürlerinin belirlenebilmesi için mutlaka havza genelinde ölçülmesi gereken bir hidrolojik parametredir.

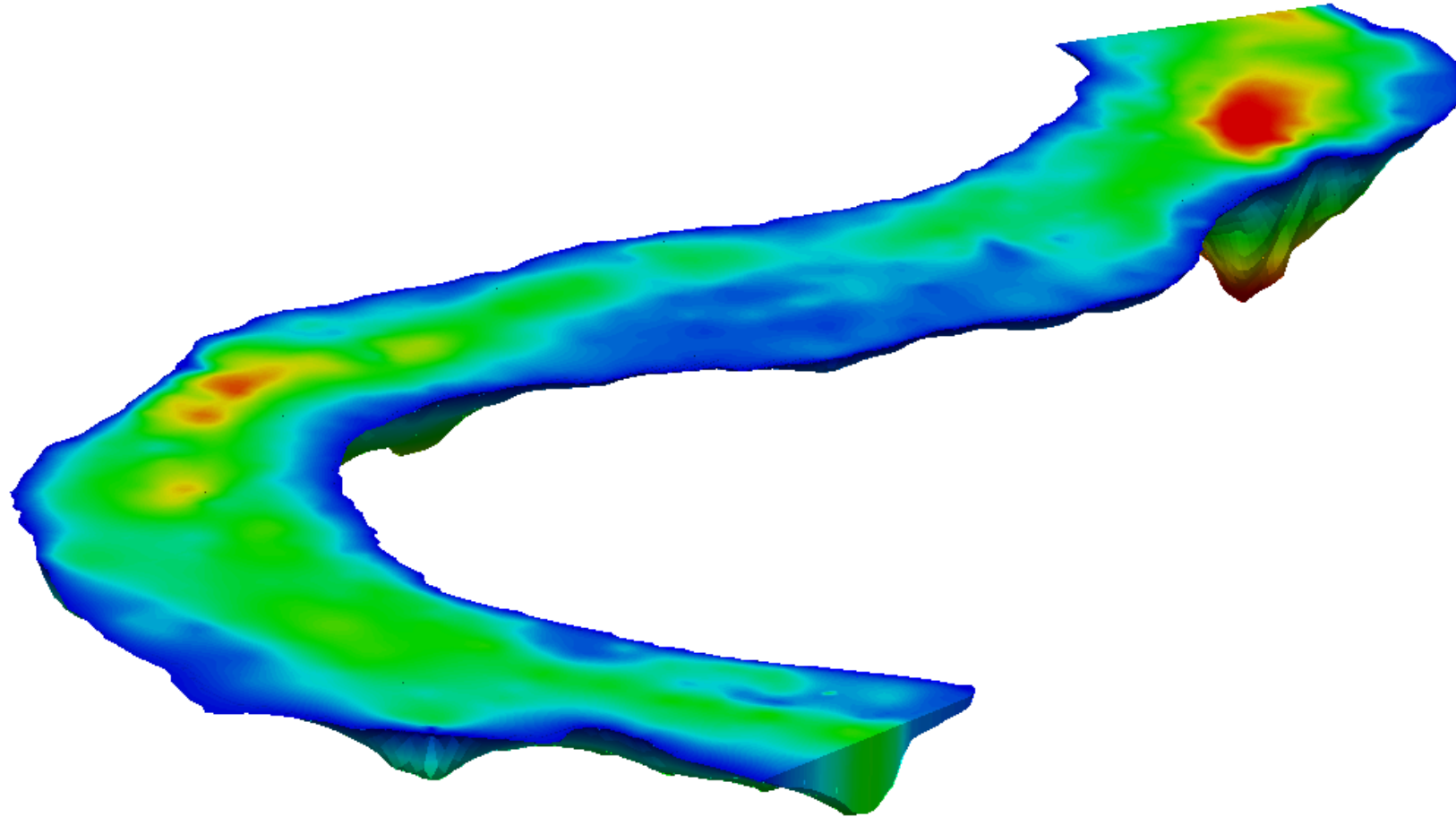
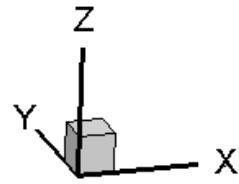


# Akım Ölçümleri ve Verilerin Analizi

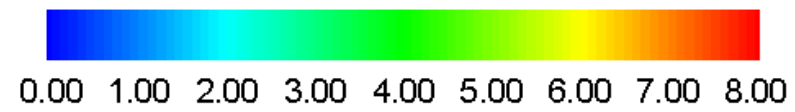
- Hidrolojinin akı ölçmeleri ile ilgilenen alt disiplinine **HİDROMETRİ** denir.
- **Akım ölçmelerinin amacı** akarsuyun bir kesitindeki su seviyesini ve kesitten geçen debiyi (birim zamanda geçen su hacmini) zamana bağlı olarak belirlemektir.
- Süreklilik denklemine göre **debi ortalama hız ile akış kesiti alanının çarpımına eşit olduğundan debiyi ölçmek için hız ve kesit ölçmeleri yapmak ve elde edilen sonuçlardan debiyi hesaplamak gerekir.** Ancak, bu gibi ölçmeleri sürekli yapmak çok zor ve masraflı olacağından pratikte bu istasyonun debi-seviye bağıntısı (anahtar eğrisi) bir kere belirlendikten sonra **sadece su seviyesi ölçmekle yetinilir, bu seviyeye karşı gelen debi anahtar eğrisinden okunur.**

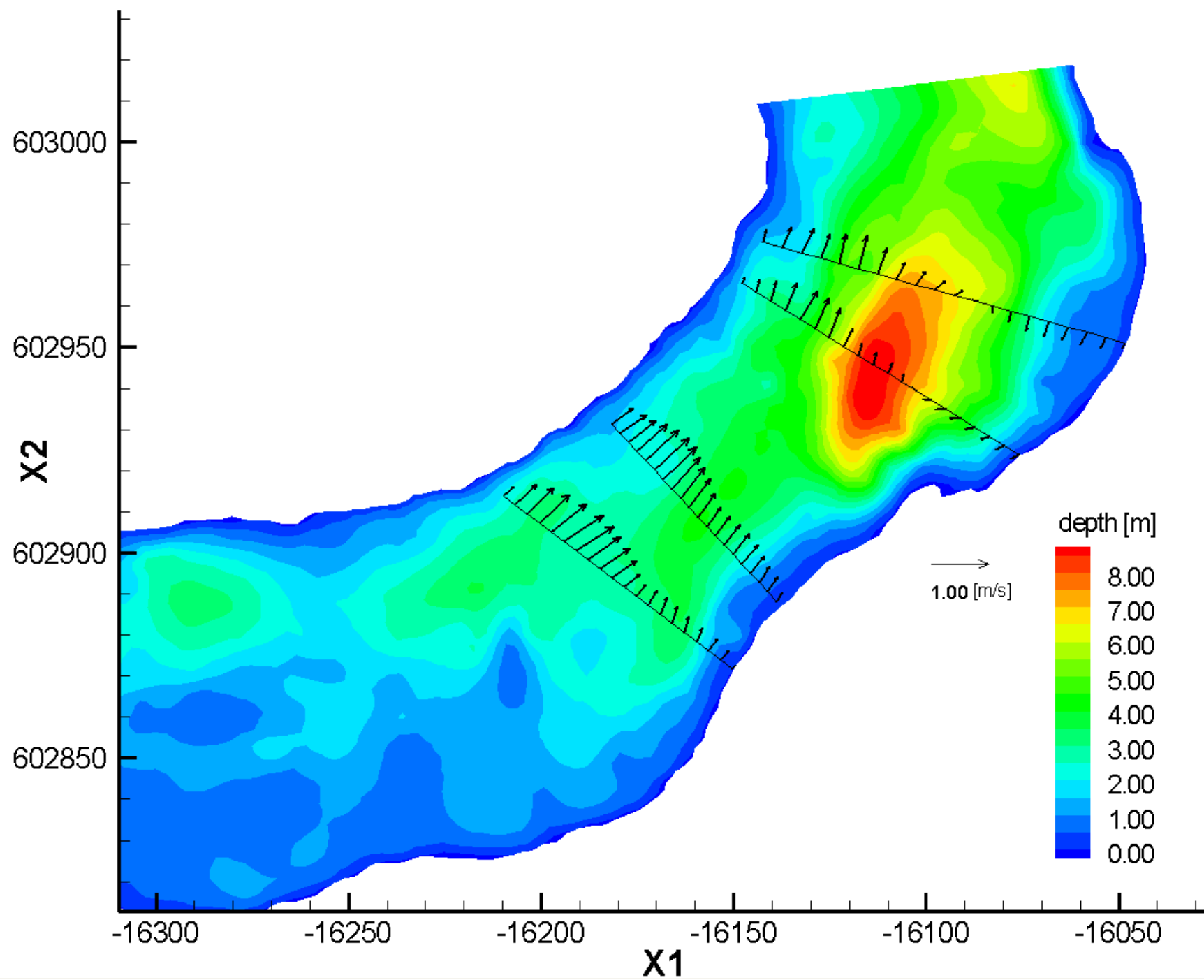
# Akarsuların Enkesitleri

- Doğal akarsuların enkesitleri, düzensizdir.
- Akım hızları, hem akarsuyun akımı yönünde hem de akarsuyun enkesiti üzerinde konuma ve zamana göre değişkendir.
- Bu nedenle debinin her seferinde doğrudan ölçülmesi zordur.



Derinlik





# Su Seviyesi Ölçümleri

Herhangi bir karşılaştırma düzlemine göre ölçülen su yüzeyi kotuna seviye denir. Karşılaştırma düzlemi olarak genellikle ortalama deniz yüzeyi seçilir. Su seviyesi ölçümünde iki tür ölçek kullanılır:

- Limnometre  
Yazıcı olmayan ölçek
- Limnigraf  
Yazıcı olan ölçek

# Yazıcı olmayan ölçekler (limnometre)

- **Eşel:** En basit ve en çok kullanılan santimetre bölmeli ahşap veya metal bölmeli çubuktur.
  - Köprü ayağına, akarsuyun şevindeki bir duvara, ya da başka bir yapıma tutturulabilir.
  - Belli aralıklarla eşelde suyun yükseldiği seviye okunur.
  - Su seviyesindeki değişimler büyük ise çeşitli değişme bölgeleri için birden fazla eşel kullanılabilir.
  - Daha prezisyonlu ölçümler için bazen eşel eğik olarak da yerleştirilebilir.
  - Eşelin sıfırı seviye okumaları daima pozitif değerler alacak şekilde belirlenmelidir.

# Yazıcı olmayan ölçekler (limnimetre)

- **Bölmeli telin ucuna bağlanan bir ağırlık okuma yapılacağı zaman su yüzüne değdirilir,** bir sabit göstergeden seviye okunur. Bu limnimeterenin üstünlüğü akarsuyun dışında kaldığı için akımdan zarar görmemesi ve yüksek sularda da yanına varılabilmesidir.
- **Şamandıralı ölçekler**
- **Elektrikli ölçekler;** bunlarda ağırlığın suya değmesi ile bir elektrik devresi kapanır ve seviye hassas olarak okunabilir. Rezistans ve kapasitans kullanan elektrikli ölçme düzenleri de vardır.

# Yazıcı olmayan ölçekler (limnimetre)

- Yazıcı olmayan ölçekler günde bir defa (Türkiye'de saat 8'de), ya da iki defa (Türkiye'de saat 8 ve 16'da ) okunur.
- Taşkın zamanlarında daha sık (1-6 saatte bir) okuma yapılması uygun olur.

# Limnimetre - Eşel

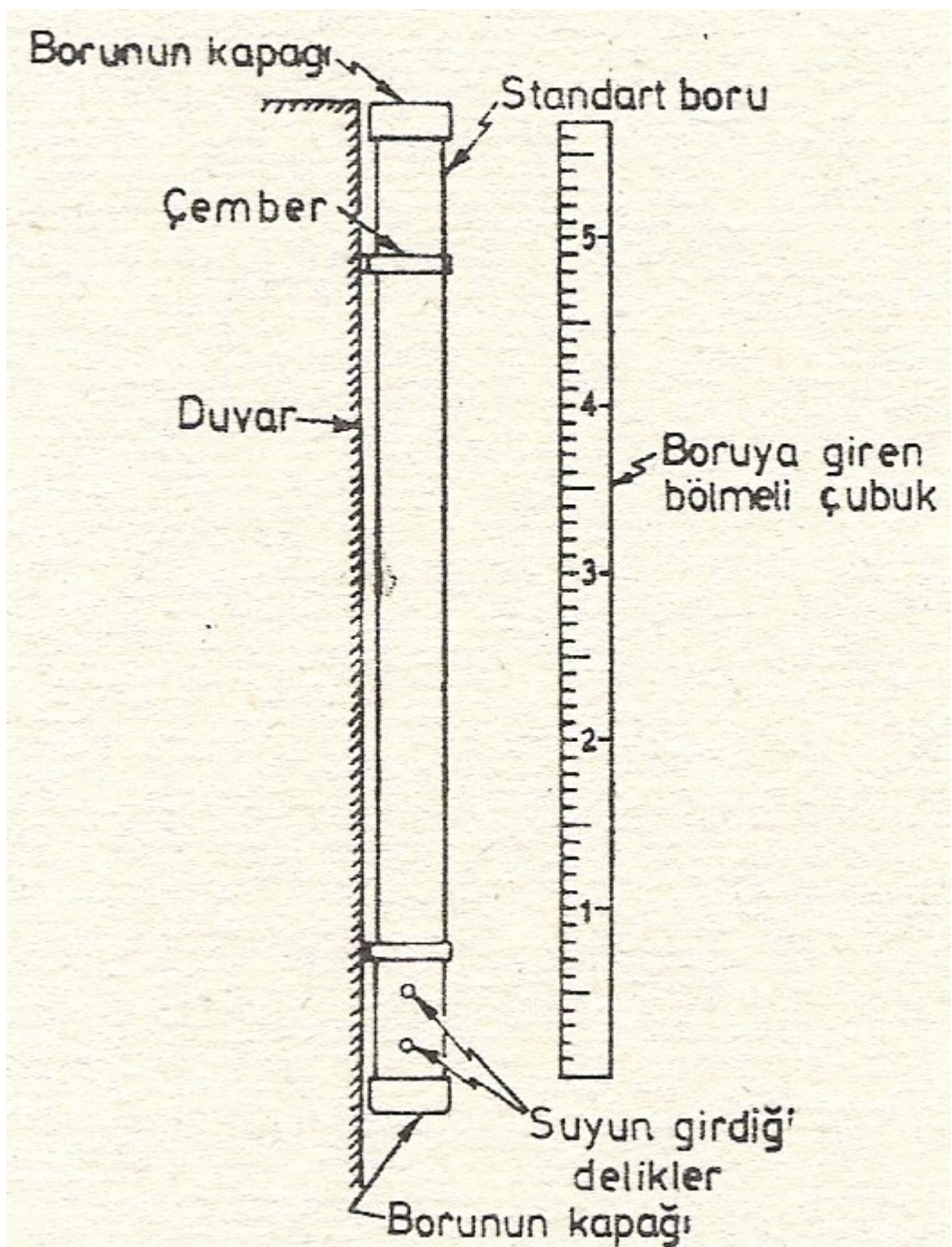


# Limnimetre-Kademeli Eşel



# Limnometre

- Taşkınlarla en yüksek su seviyesinin belirlenmesi önemlidir. Çoğu durumda bir taşkın anında eşelin yanında bulunmak tehlikelidir ve mümkün olmaz.
- Bunun için altı delikli bir boruya mantar parçaları konur. Borudaki su seviyesi, taşkın sırasındaki su seviyesine sürekli eşittir.
- Mantarlar sular yükselirken yükselir ama çekilirken boru cidarına yapıştıkları için alçalmazlar. Böylece su seviyesinin en yüksek olduğu andaki seviye kayıt edilmiş olur.



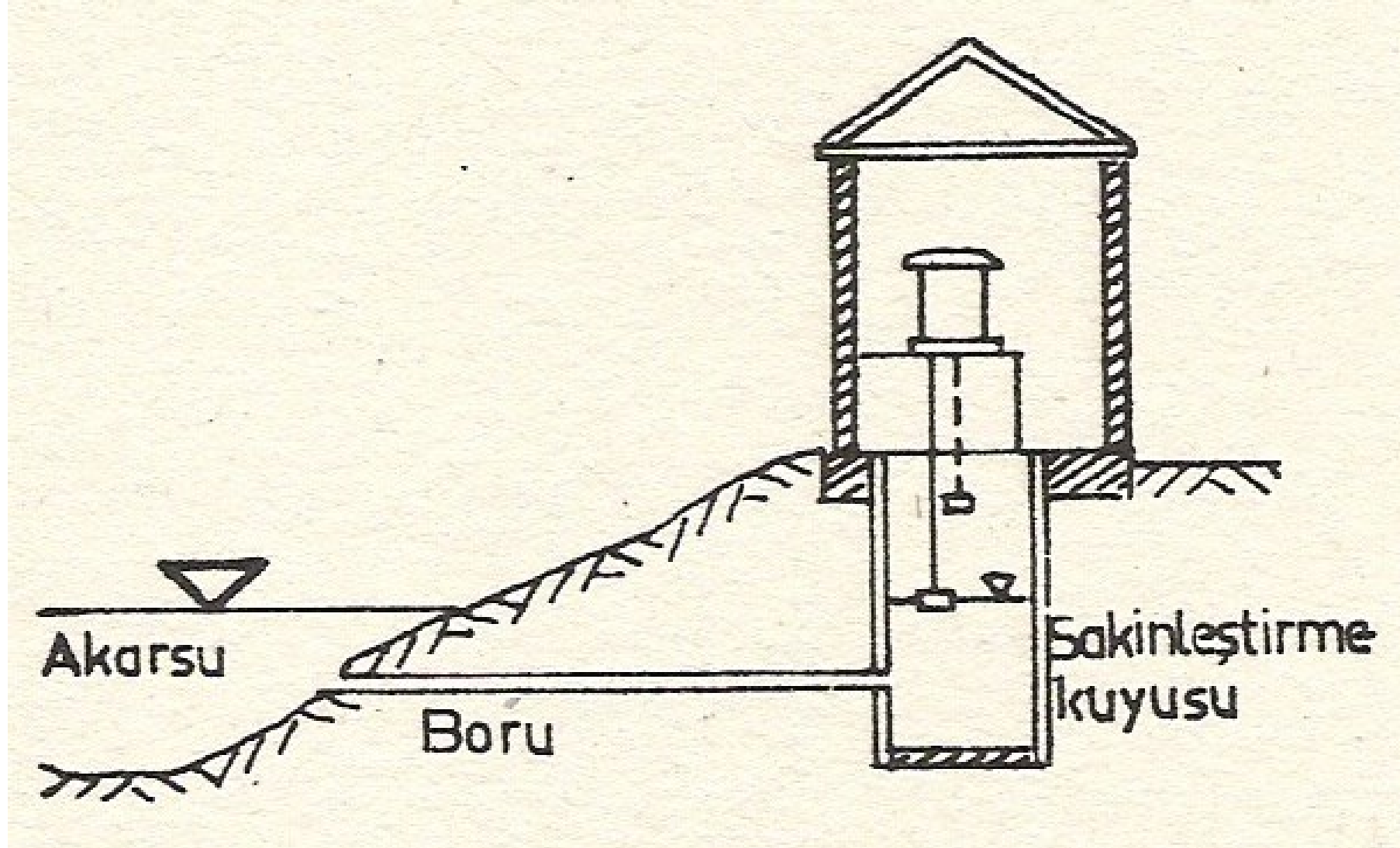
Suyun ulaştığı  
en yüksek  
seviyeyi  
belirlemek için  
kullanılan  
limnometre

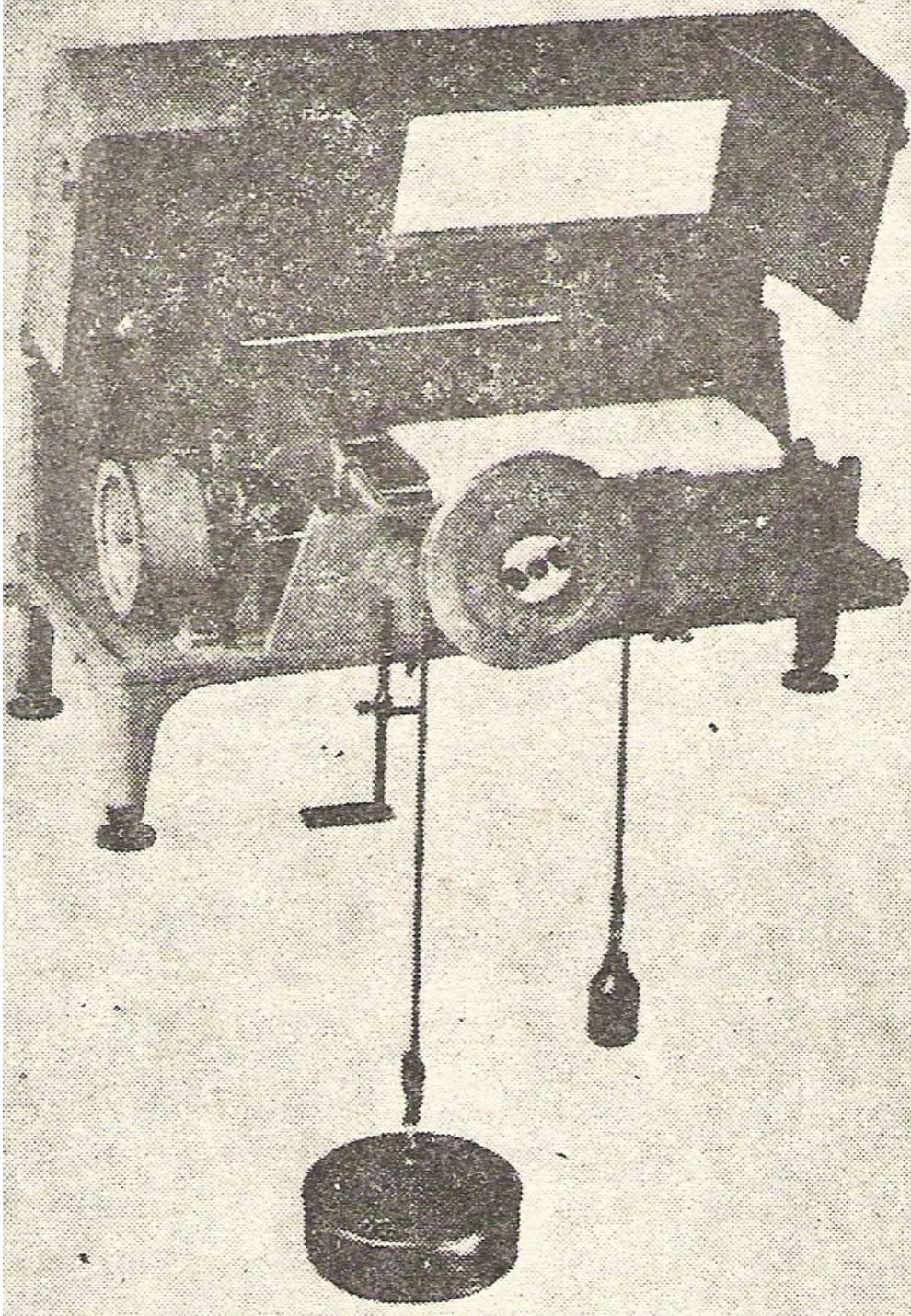
# Limnigraf

Limnigrafların duyarlılıkları yaklaşık 3 mm'dir.

Günümüzde limnigraflar yüksek teknolojili iletişim aygıtları (GSM, uydu) ile donatılarak akarsu seviyeleri gerçek zamanlı olarak alınabilmektedir.

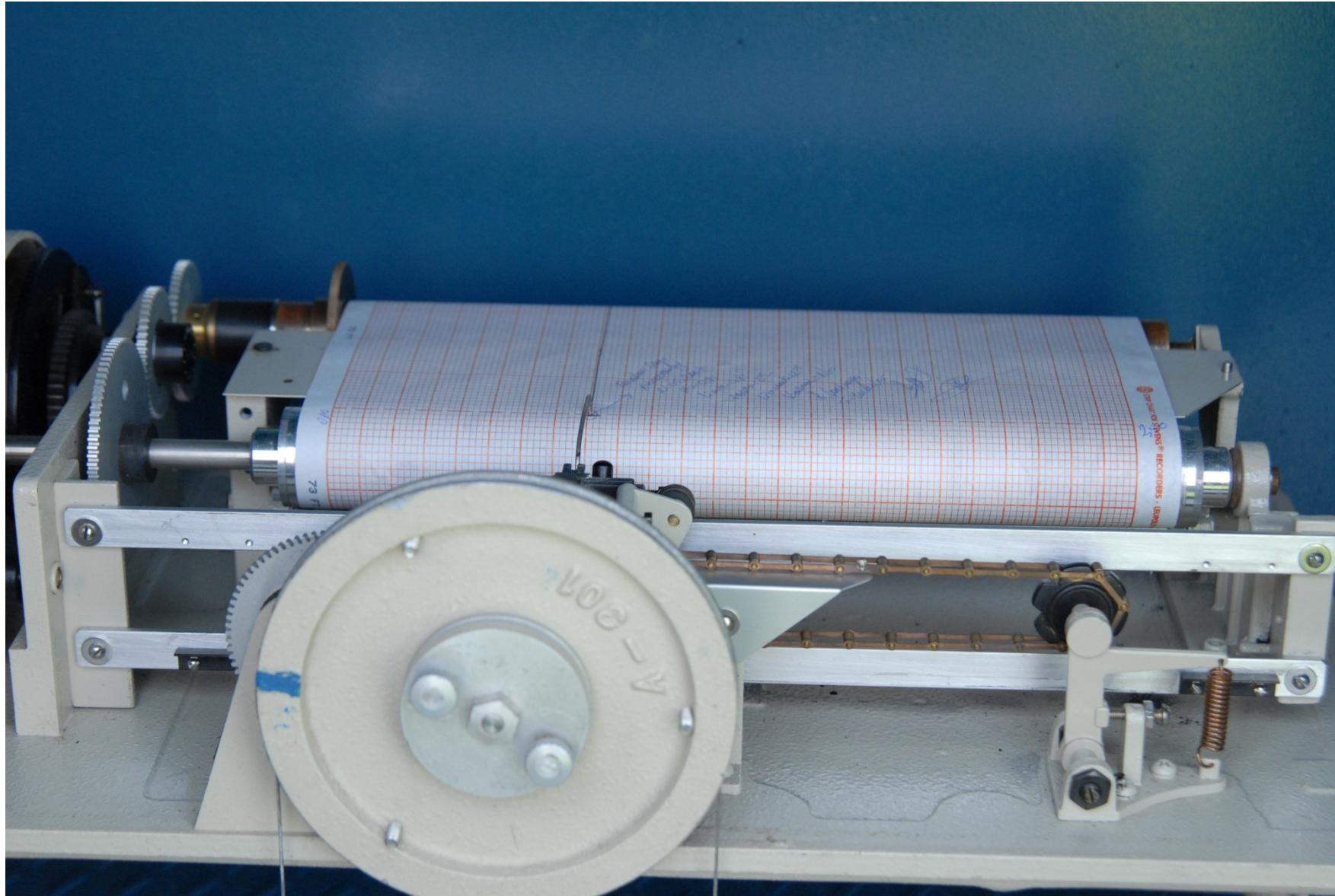
# Limnigraf





Ott ve Stevens  
tipi limnigraf

# Limnigraf



# Limnigraf



# Limnigraf



# Boru Limnigraf



# Boru Limnigraf



# Su Yüzü Eğiminin Belirlenmesi

- Su yüzü eğimindeki küçük değişimler, akarsulardaki akıntı hızlarını önemli ölçüde etkileyebilmektedir.
- Bu nedenle, akıntı hızı tahmini amaçlı su seviyesi ölçümleri çok yüksek doğrulukla yapılmalıdır.
- Su yüzünün eğimi iki kesitte ölçülen seviyelerden hesaplanabilir.
- Bu kesitler arasındaki uzaklığın akarsuyun 5 katı kadar olması ve seviye okumalarının aynı anda yapılması gerekir.
- Kıvrımlı akarsularda su yüzü eğimi iki kıyı boyunca farklı olabileceğinden her iki kıyı boyunca ayrı ayrı ölçümler yapmak uygun olur.
- Taşkınlar sırasında su yüzeyi eğimi için; yükselen suyun bıraktığı izlerden faydalanarak tahmin etmek gerekir.

# Akım Hızının Ölçülmesi - Muline

- Muline akım doğrultusunda yönlenerak akım etkisinde dönen pervanesi olan bir aygıttır.
- Akım hızı ile pervanenin birim zamandaki dönüş sayısı arasında doğrusal bir bağıntı vardır.
- Hata payı %0,5'ten azdır.
- Çok düşük hızları ölçmek mümkün olmaz.
- Mulinelerin kalibre edilmeleri gerekir.

# Akım Hızının Ölçülmesi - Muline

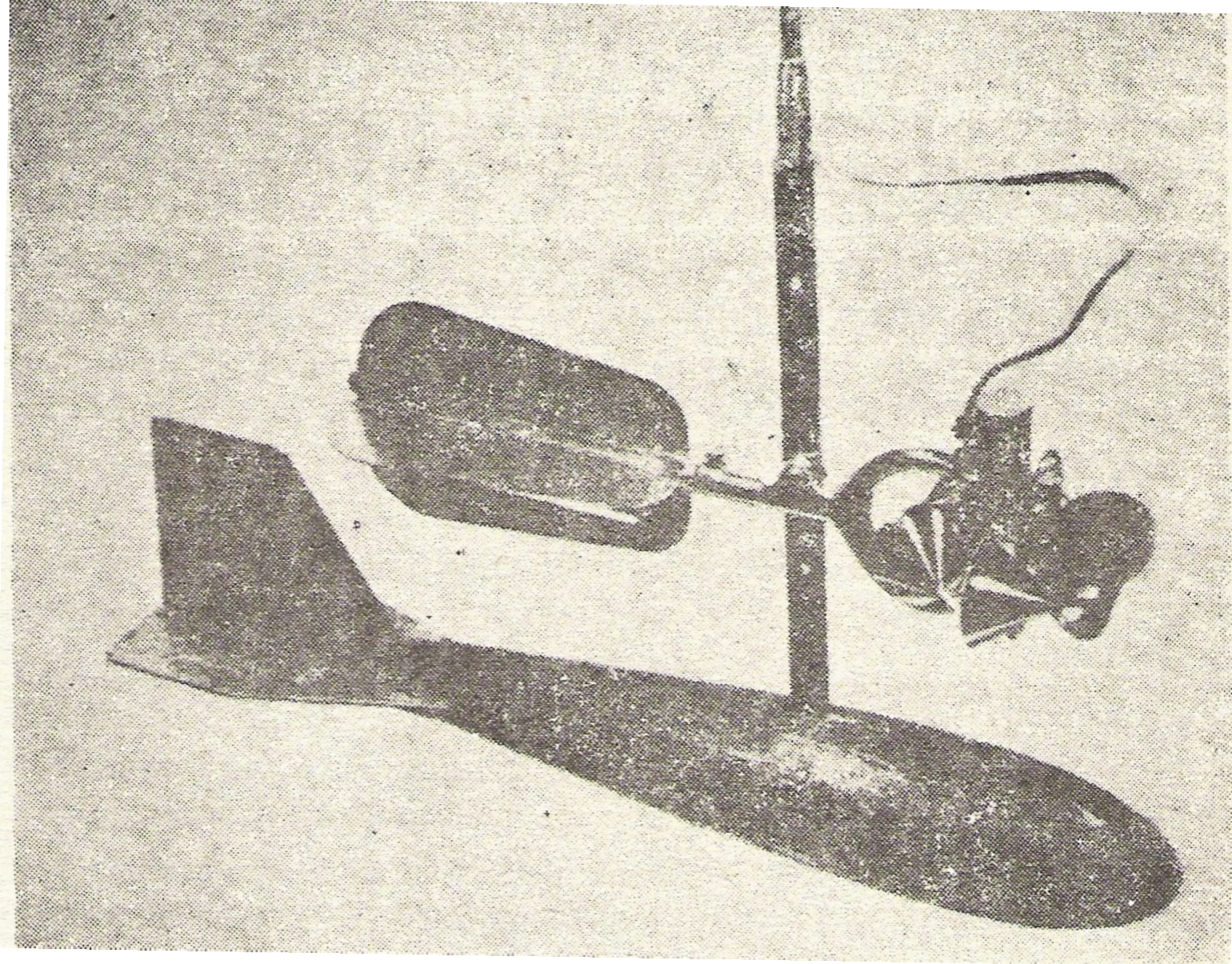
$$V = \underbrace{a}_{\downarrow} + \underbrace{(b \cdot n)}_{\swarrow \text{Devir}}$$

Üretici tarafından  
verilen kalibrasyon  
katsayıları

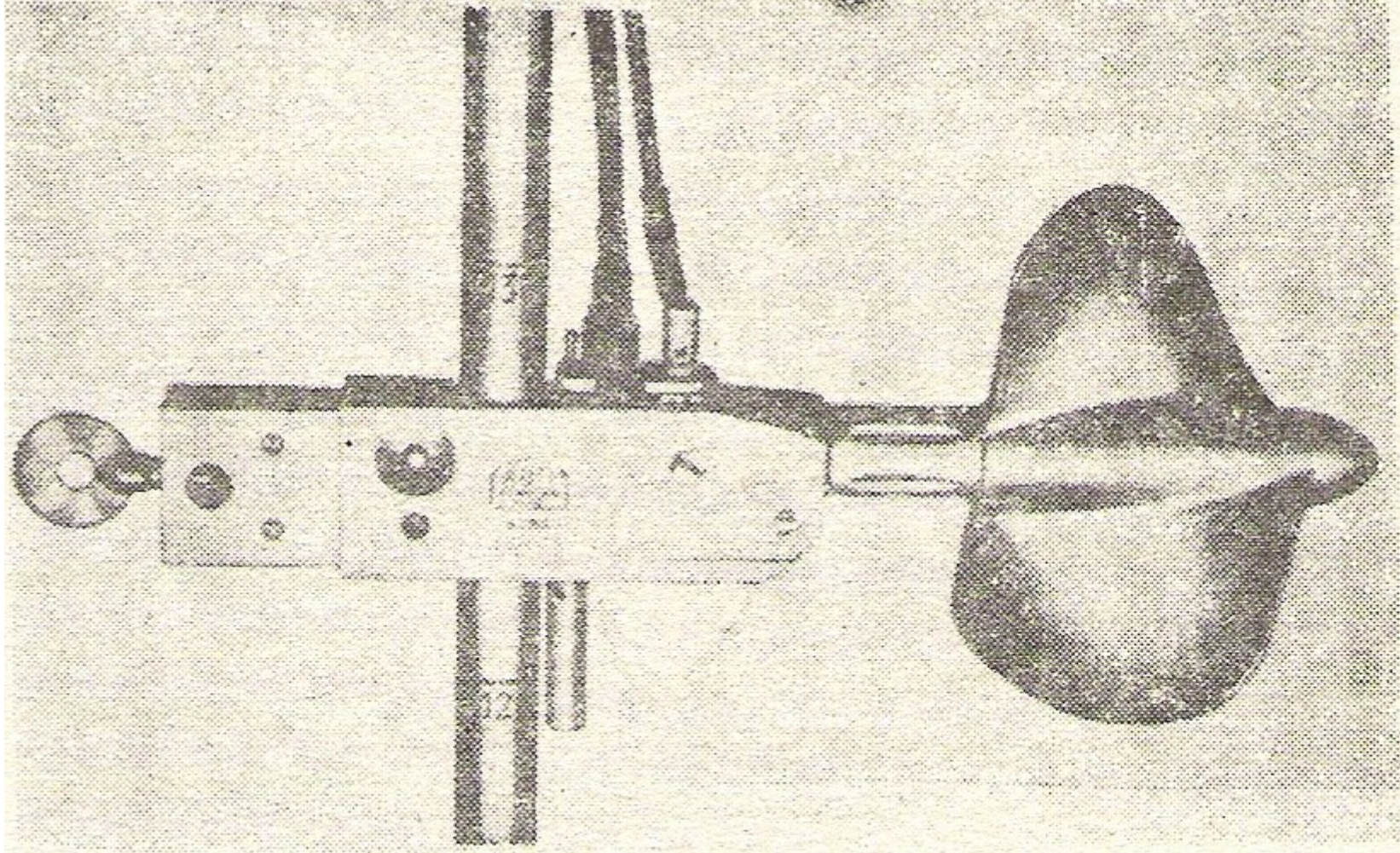
$$\underbrace{n_1 < n < n_2}$$

Kalibrasyon  
katsayılarının geçerli  
olduğu devir aralığı

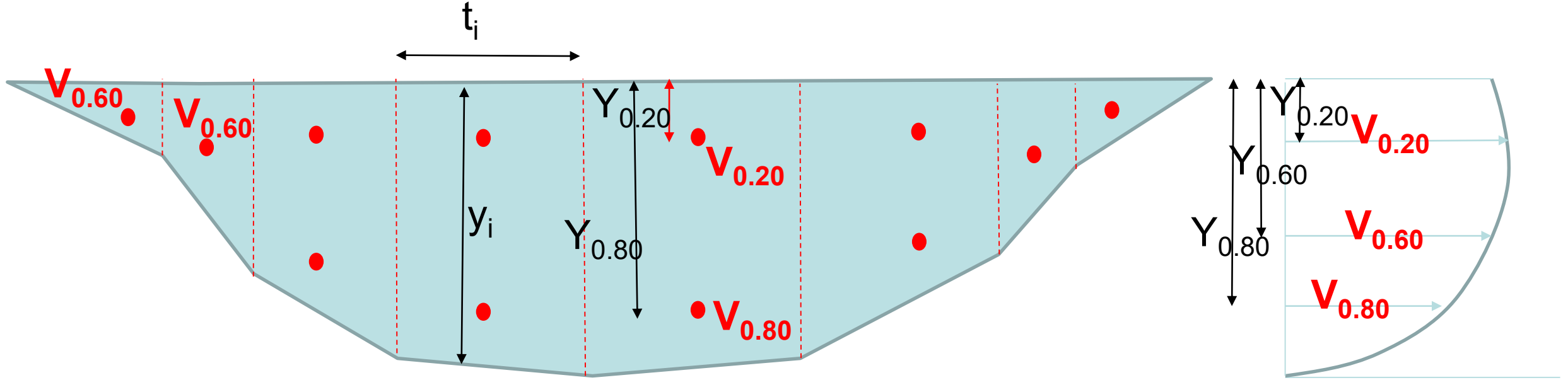
# DüŖey Eksenli (Gerdelli) Moline



# Yatay Eksenli (Uskurlu) Moline



# Yüzeysel Akış



- a)  $y_i \leq 0.5$  m ise derinliğin %60 ındaki hız  
 $V_i = V_{0.6}$
- b)  $y_i > 0.5$  m ise derinliğin %20 ve %80'indeki hızların ortalaması  $V_i = 0.5(V_{0.2} + V_{0.8})$

$$a_i = t_i y_i$$

$$q_i = a_i V_i$$

$$Q = \sum q_i$$

# Hız Ölçümünde Kullanılan Diğer Yöntemler

- Yüzer cisimlerin (yüzgeç) kullanılması: Yüzer cismin hızı ölçülüp 0,8 ile 0,9 arasında bir katsayı ile çarpılır.
- Enkesitteki ortalama akıntı hızının ultrason dalgaları ile ölçülmesi.

# Enjeksiyon Yöntemi ile Debi Ölçümü

- Çok çalkantılı (türbülanslı) akımlarda, çok yüksek ya da çok düşük akım hızlarında, buz tutmuş akarsularda muline ile ölçüm yapmak zordur.
- Bu durumda iz maddesi ya da boyar madde (doğada izlenebilen madde) kullanılarak debi ve konsantrasyon üzerinden kütle dengesi kurulur ve ölçülen konsantrasyon kullanılarak debi hesaplanır.

# Enjeksiyon Yöntemi ile Debi Ölçümü

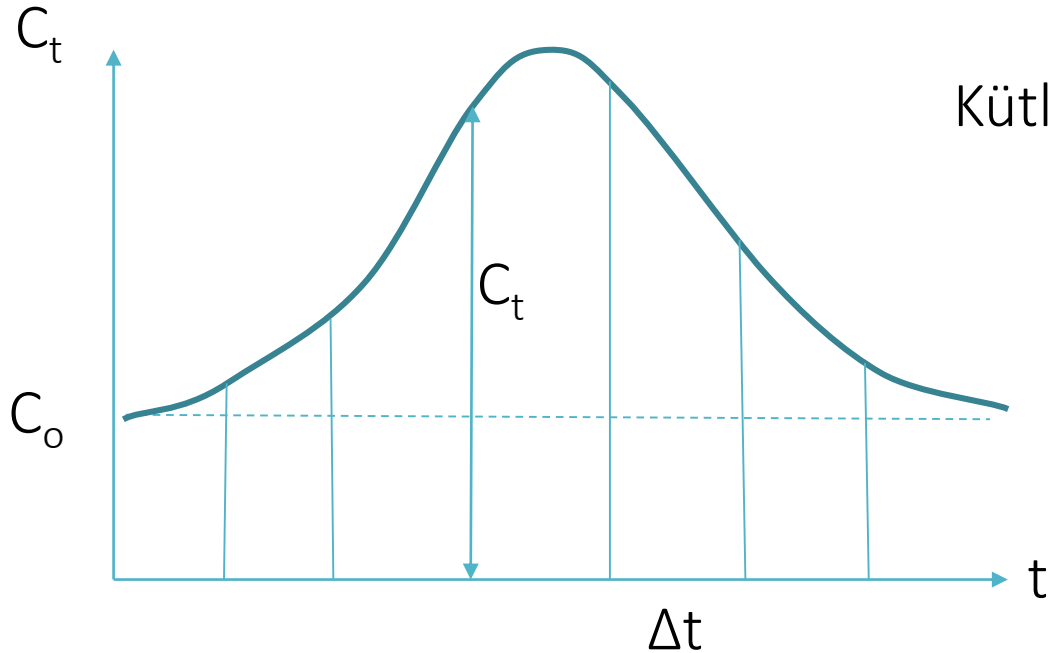
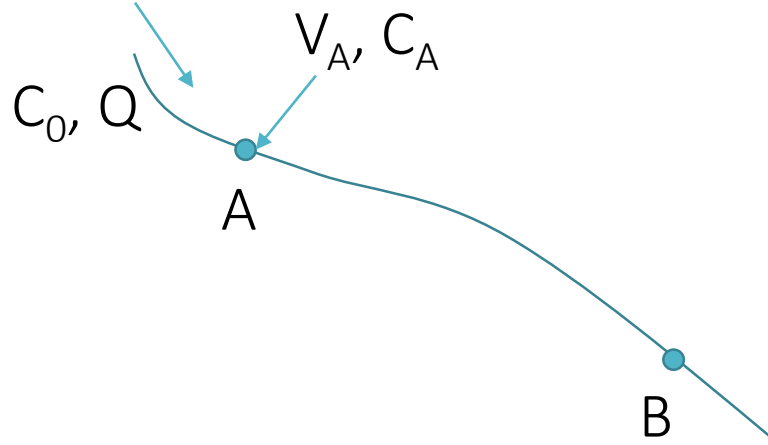
Çok hızlı ( $V > 6 \sim 7$  m/sn); Çok yavaş ( $V < 0.2 \sim 0.3$  m/sn) akım koşullarında;  
fazla sürüntü maddesi olduğu durumlarda;

- Ani enjeksiyon yöntemi
- Sürekli enjeksiyon yöntemi



# Yüzeysel Akış

## İzleyicilerle Debi Ölçümü-Ani Enjeksiyon



A kesitinden akarsuya ani olarak katılan izleyici kütlesi

$$M_A = V_A C_A$$

B kesitinden geçen kütle

$$M_B = \int_{t=0}^{\infty} (C_t - C_0) Q dt \approx \sum_{t=0}^{n\Delta t} (C_t - C_0) Q \Delta t$$

Kütlenin korunumu gereğince  $M_A = M_B$

Akarsu kolundaki debi

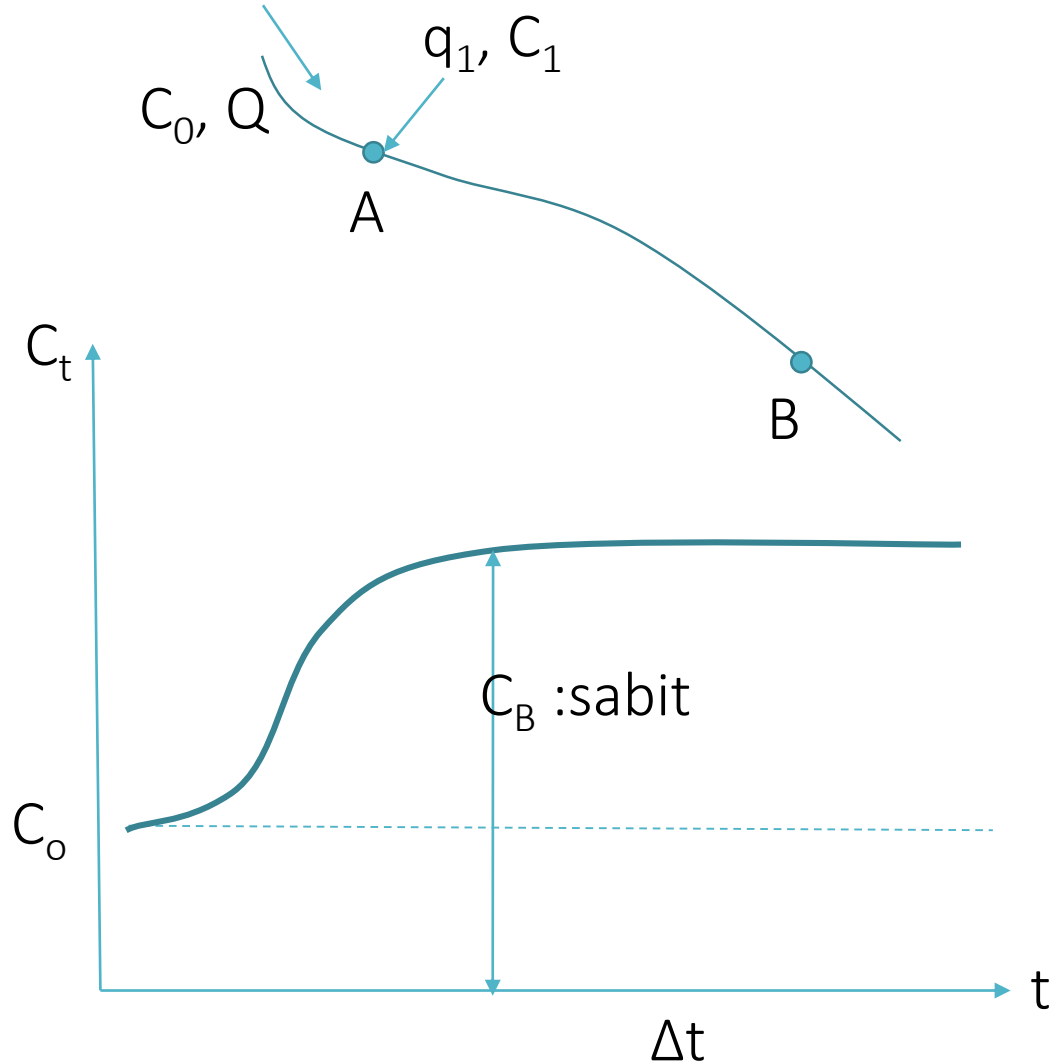
$$Q \cong \frac{V_A C_A}{\sum_{t=0}^{n\Delta t} (C_t - C_0) \Delta t}$$

A ve B kesitleri arasındaki ortalama seyahat süresi

$$t \cong \frac{\sum t C_t}{\sum C_t}$$

# Yüzeysel Akış

## İzleyicilerle Debi Ölçümü-Sürekli Enjeksiyon



A kesitinden geçen izleyici kütlesi

$$M_A = Q C_0 + q_1 C_1$$

B kesitinden geçen kütle

$$M_B = (Q + q_1) C_B$$

Kütlenin korunumu gereğince  $M_A = M_B$

Akarsu kolundaki debi

$$Q \cong \frac{q_1 (C_1 - C_B)}{(C_B - C_0)}$$

# Savaklar ve kanallarla debi ölçümü

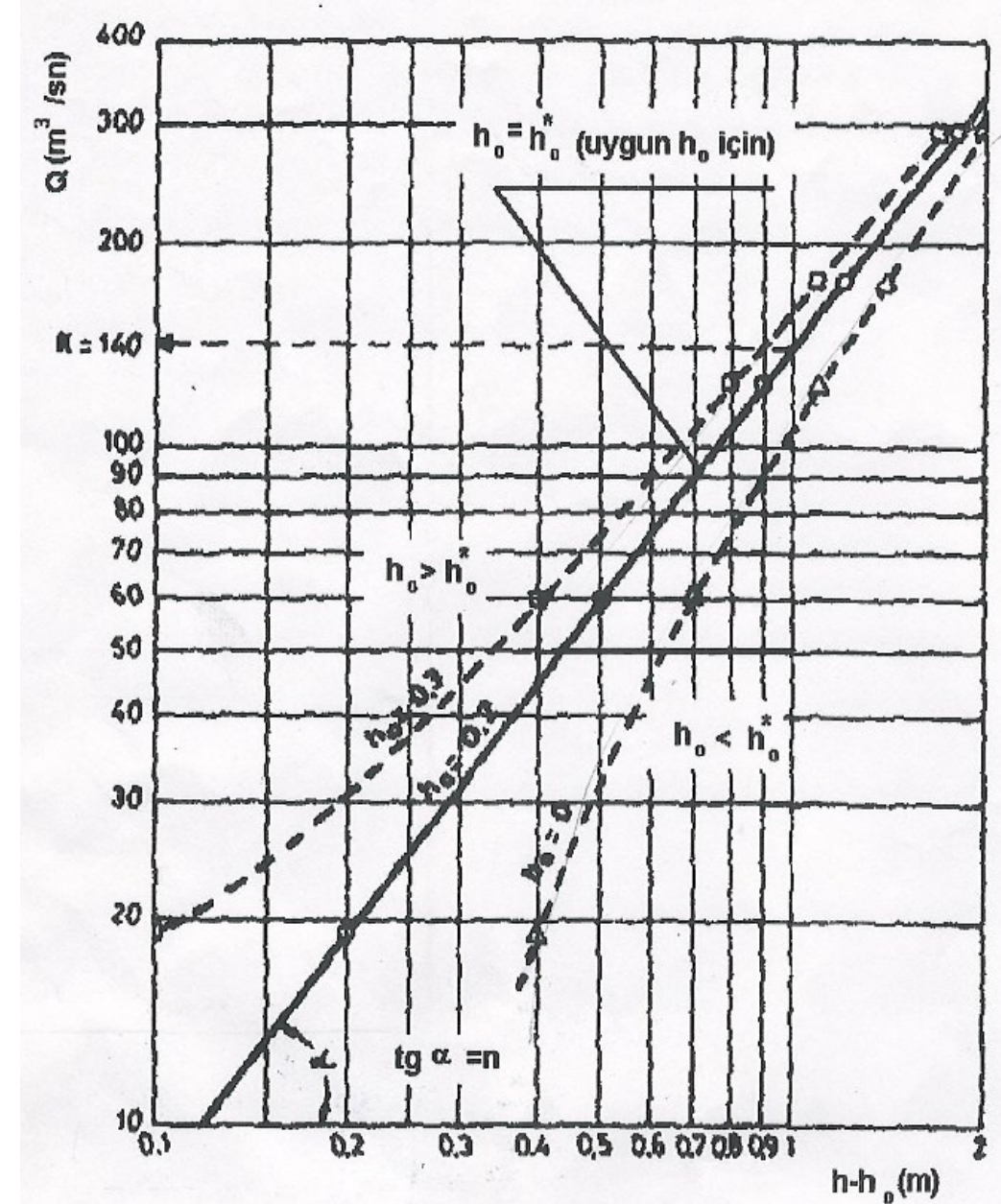
Küçük ve hızlı akan akarsularda ( $Q < 2 \sim 3 \text{ m}^3/\text{sn}$ ); keskin kenarlı üçgen, yamuk (trapez) ve dikdörtgen savaklarla, geniş başlıklı savaklarla gibi düzeneklerle debi ölçmek mümkündür.



# Yüzeysel Akış

## Akım Anahtar Eğrisinin Elde Edilmesi

**Amaç:** Bir istasyon kesitinde farklı seviyelerde ölçülen debilerden yararlanarak debi-seviye ilişkisi belirlenir. Bu ilişkiye **Anahtar Eğrisi** denir. Bu ilişki belirlendikten sonra istasyonda ilerleyen dönemlerde sadece seviye ölçümü yapılır ve debiler bu ilişkiden hareketle elde edilir.



# Yüzeysel Akış

## Akım Anahtar Eğrisinin Elde Edilmesi

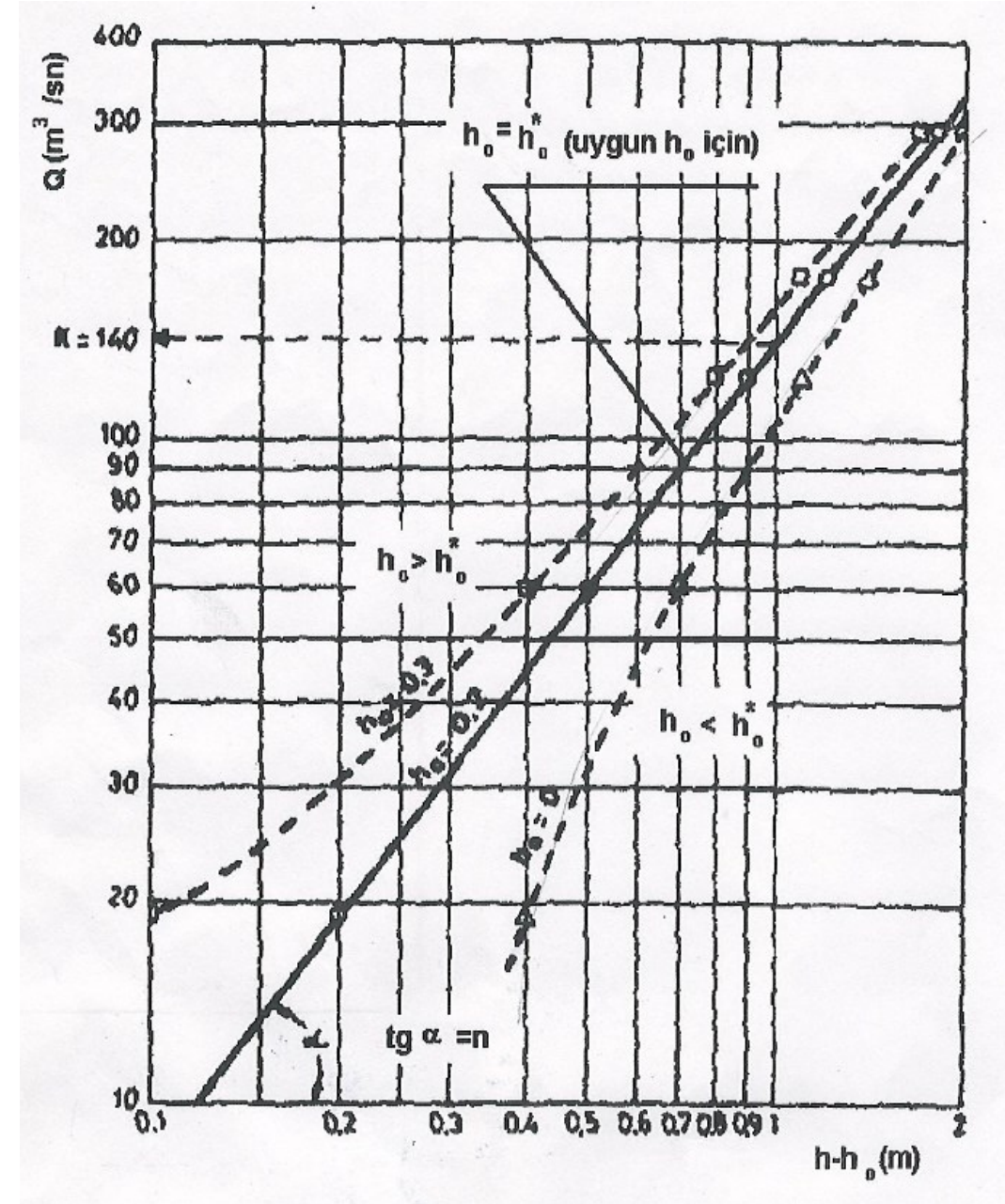
Yöntem: İstasyon kesitinden geçen debi ile seviye arasındaki ilişki;

$Q = K(h - h_0)^n$   $h \geq h_0$  biçiminde olup, K,  $h_0$  ve n sabitleri debi ve seviye ölçümlerinden grafik yada analitik yöntemlerle belirlenebilir.

### Grafik Çözüm

$$\ln Q = \ln K + n \ln(h - h_0)$$

Seçilen bir  $h_0$  için Q ve  $(h-h_0)$  değerleri log-log grafik kağıdı üzerinde bir doğru vermelidir.  $h_0$  deneme yanılma ile bir doğru elde edilinceye kadar değiştirilir. Uygun değeri bulunduğunda doğrunun  $(h-h_0)=1$  değeri için K, eğiminden de n parametresi belirlenir.



# Kontrol Kesiti

- Anahtar eğrilerini belirlemek için uygun olan bir enkesittir.
- Anahtar eğrisinde küçük bir debi değişimine karşılık büyük bir seviye değişiminin olabilmesi için (duyarlı ölçüm), kontrol kesitinin dar ve derin olması uygun olur.
- Hız dağılımının mümkün olduğunca üniform olabilmesi için, kontrol kesitinin düzgün olması istenir.

# Anahtar eğrisi su yüzeyi eğimine göre değişkense

- Barajların kabarma eğrisi içinde kalan akarsu kesitleri
- Hareketli bağlamaların ve köprülerin memba tarafında
- Bir gölün veya akarsuya bir kolun karıştığı yerin memba tarafında

çeşitli su yüzü eğimleri için farklı anahtar eğrileri kullanmak gerekir.

# Yüzeysel Akış

## Akım Anahtar Eğrisinin Elde Edilmesi

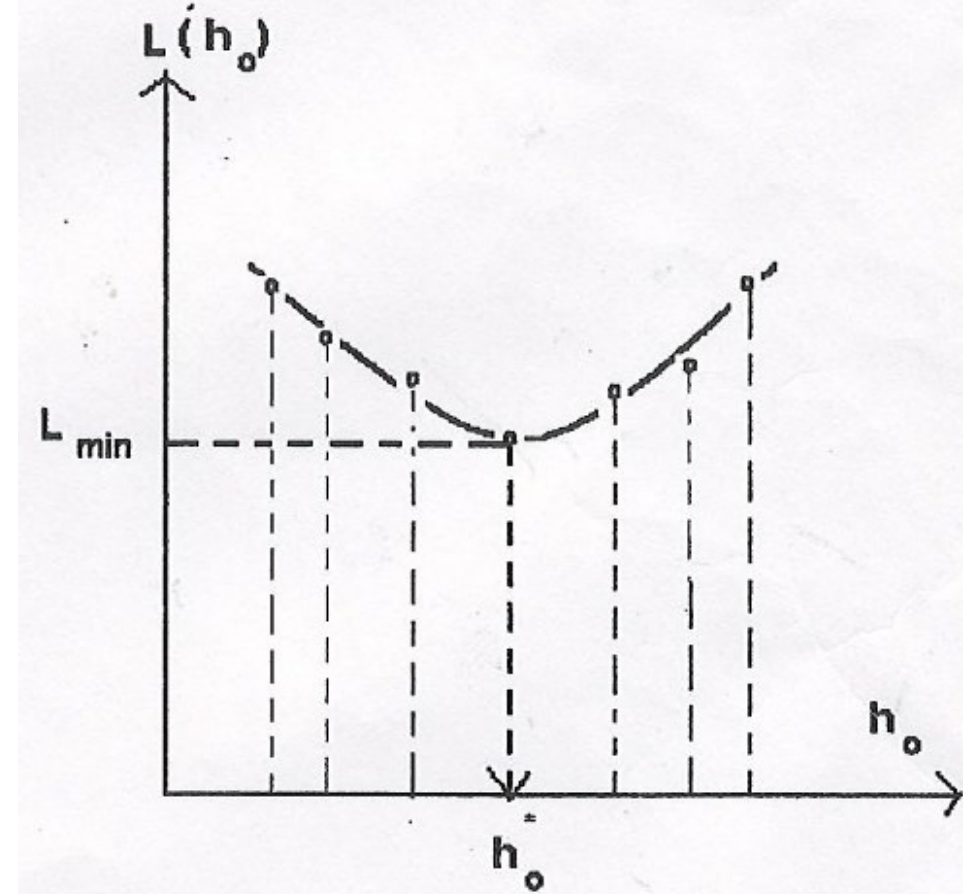
### İstatistiksel Çözüm

$$\ln Q = \ln K + n \ln(h - h_0)$$

Seçilen herhangi bir  $h_0$  için  $\ln Q = y$  ve  $\ln(h - h_0) = x$  olmak üzere N adet debi ve seviye ölçümü kullanılarak  $y = a + bx$  doğrusal bağıntısının a ve b parametreleri regresyon analizi ile hesaplanır.

$n = b$ ,  $K = e^a$  dönüşümü ile de n ve K parametreleri belirlenir. Seçilen  $h_0$  ve belirlenen n ve K parametreleri için gözlenmiş h'lara karşılık anahtar eğrisinden  $Q = K(h - h_0)^n$  değerleri hesaplanır ve  $e = (Q_{\text{gözlem}} - Q_{\text{hesap}})$  hata değerleri belirlenir.

$L(h_0) = \sum e^2$  toplam hataları,  $h_0$  değerlerine göre çizdirildiğinde, toplam hatayı minimum yapan  $h_0$  değeri bulunur. Bu  $h_0$  için n ve K anahtar eğrisinin diğer parametreleridir.



# Hidrometri İstasyonları Ağı

1. Baz (esas) istasyonlar, temel akım verilerinin oluşturulduğu, sürekli ve referans istasyonlar olup, akarsuyun başlıca kolları üzerinde kurulurlar.
2. Sekonder (tali) istasyonlar
3. Geçici (özel amaçlı) istasyonlar, genellikle araştırma amaçlıdırlar.

Dünya Meteoroloji Örgütü hidrometri istasyonlarının sıklığı için düz bölgelerde; 1000-2500 km<sup>2</sup>'de bir istasyon; dağlık bölgelerde 300-1000 km<sup>2</sup>'de bir istasyon, dağlık bölgelerde istasyonların arasındaki kot farkı 500 m'den fazla olmamalıdır.

# Yüzeysel Akış

## Günlük Ortalama Seviye ve Günlük Ortalama Debi

Akım gözlem istasyonlarında seviye gözlemleri kesikli yada sürekli biçimde gerçekleştirilir.

Kesikli seviye gözlemleri gün içinde **standart** zamanlarda yapılır.

Kesikli ölçüm yapılan istasyonlarda **Limnimetre** yada **Eşel** denen cetveller yardımıyla akarsudaki seviyeler okunarak kaydedilir.

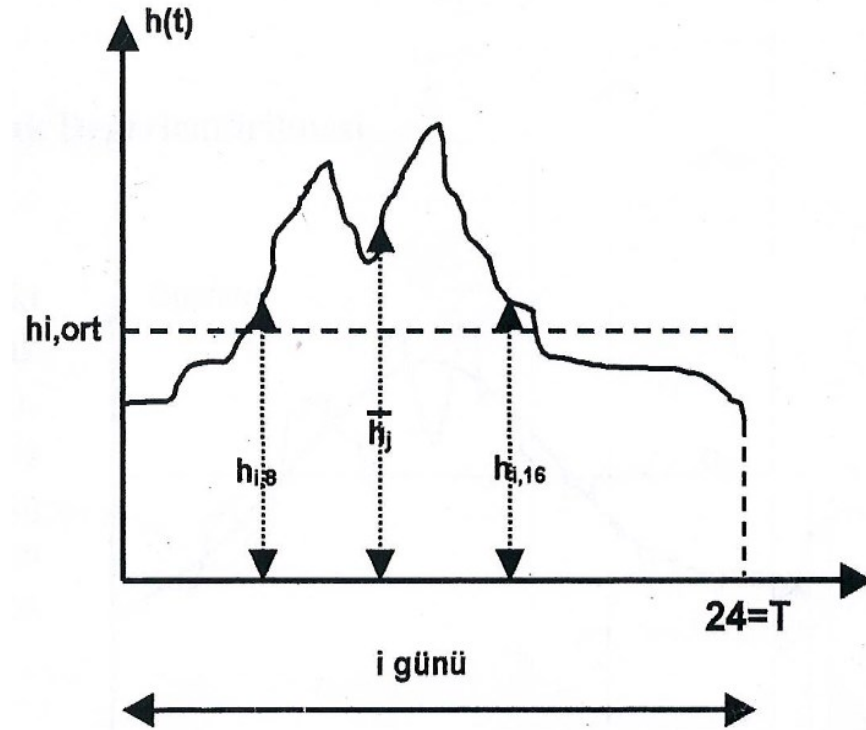
Sürekli ölçüm yapan istasyonlarda ise seviyeler **Limnigraf** denen otomatik seviye ölçen cihazlarla her 5 dk, 10 dk, 15 dk, 1 saat ...gibi zaman aralıklarıyla kaydedilmektedir.

Kuramsal olarak günlük ortalama seviye;

$$h_{i,ort} = \frac{1}{T} \int_0^T h(t) dt \cong \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \bar{h}_j \text{ bağıntısıyla tanımlanır.}$$

Bu bağıntıda  $\Delta t$  ölçüm aralığı olmak üzere;

$n=T/ \Delta t$  ,  $h_j$  j. Zaman aralığında ölçülen seviyedir.



$$Q_{i,ort} = K(h_{i,ort} - h_0)^n$$

# Yüzeysel Akış

## Kesikli Seviye Ölçümlerinden Günlük Ortalama Seviye Hesabı

Akım gözlem istasyonlarında kesikli seviye ölçümleri ve seviye hesabı uluslar arası standartlara bağlanmıştır.

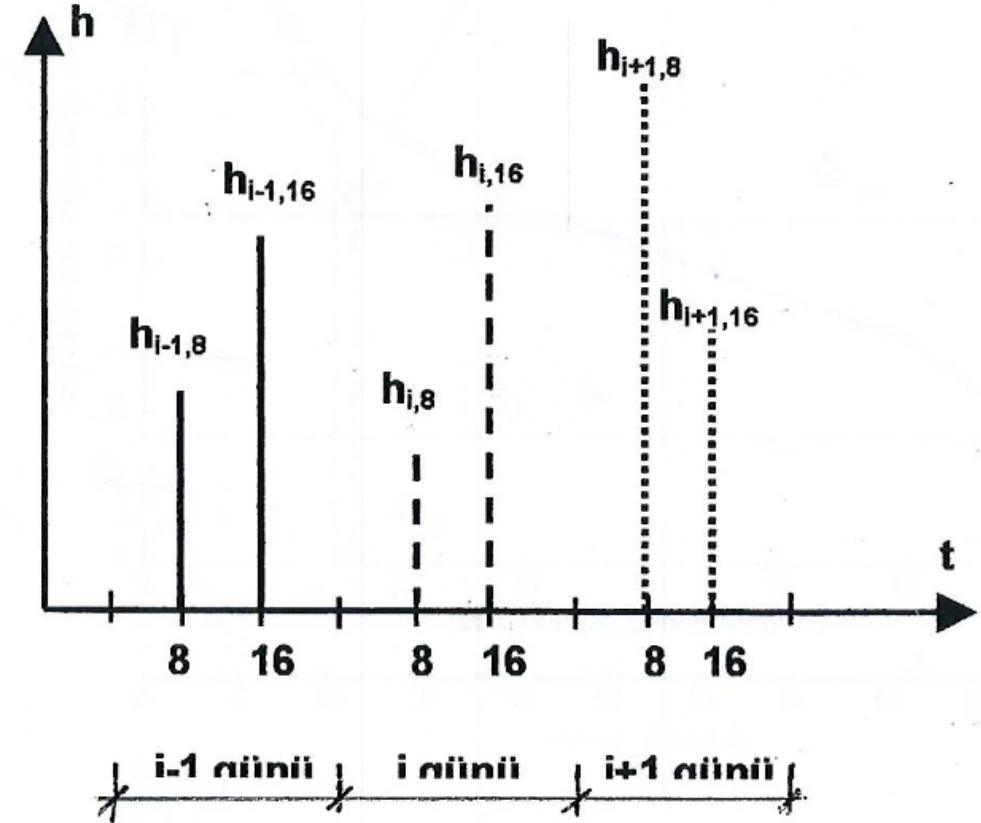
a) Günde tek seviye ölçümü yapılıyorsa

$$h_{i,ort} = \frac{1}{18} [h_{i-1,8} + 13h_{i,8} + 4h_{i+1,8}]$$

b) Günde iki seviye ölçümü yapılıyorsa

$$h_{i,ort} = \frac{1}{12} [h_{i-1,16} + 5(h_{i,8} + h_{i,16}) + h_{i+1,8}]$$

$$Q_{i,ort} = K(h_{i,ort} - h_0)^n$$



# Yüzeysel Akış

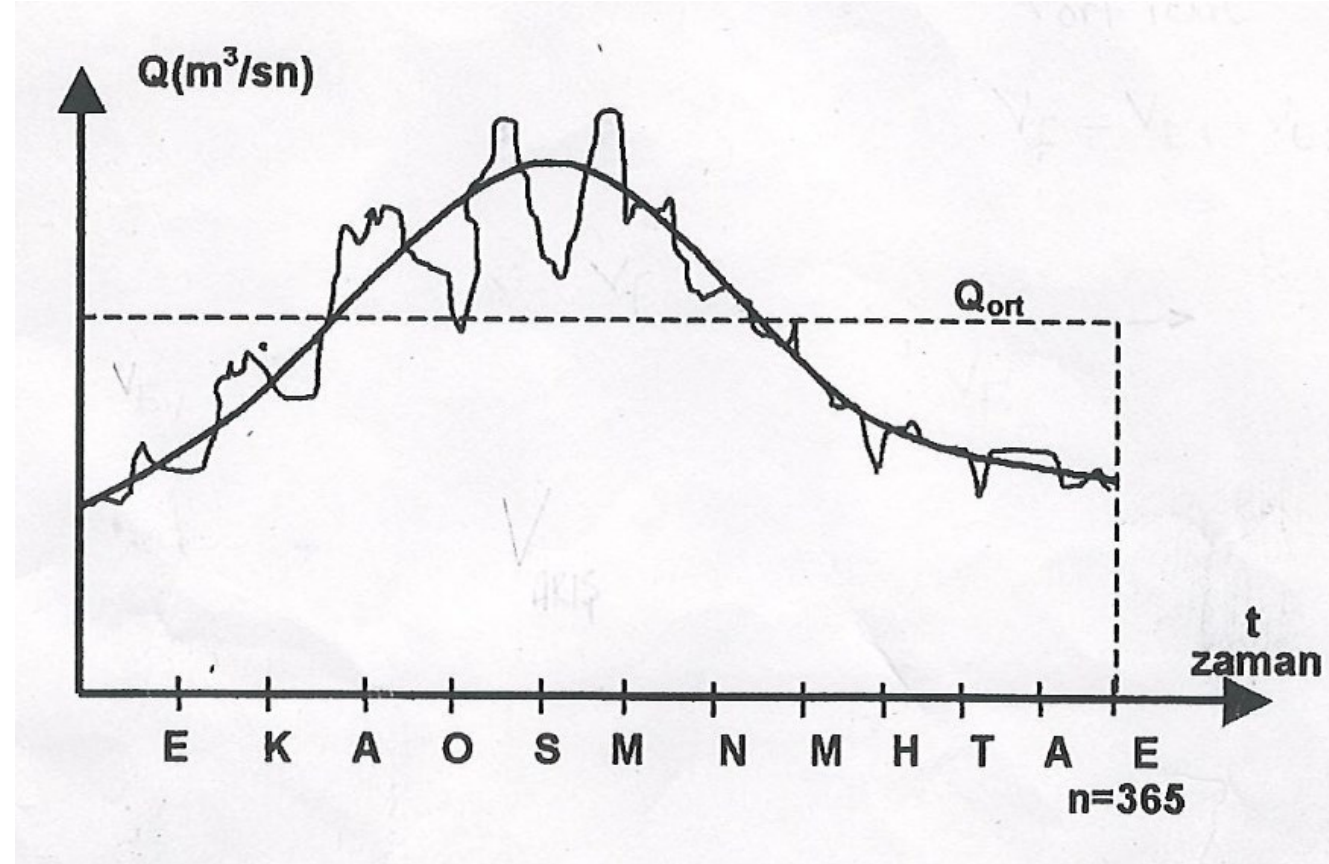
## Debi Ölçümlerinin Grafiksel Olarak Değerlendirilmesi

### Debi-Gidiş Grafiği

Debi ölçümlerinin zaman içindeki oluşum sıralarına uygun olarak noktalanmasıyla elde edilir.

Debilerin zaman içindeki (mevsimsel, yıllık, vs) değişimlerini görmek amacıyla çizilir.

Grafiğin altında kalan alan, toplam akış hacmini vermektedir.



# Yüzeysel Akış

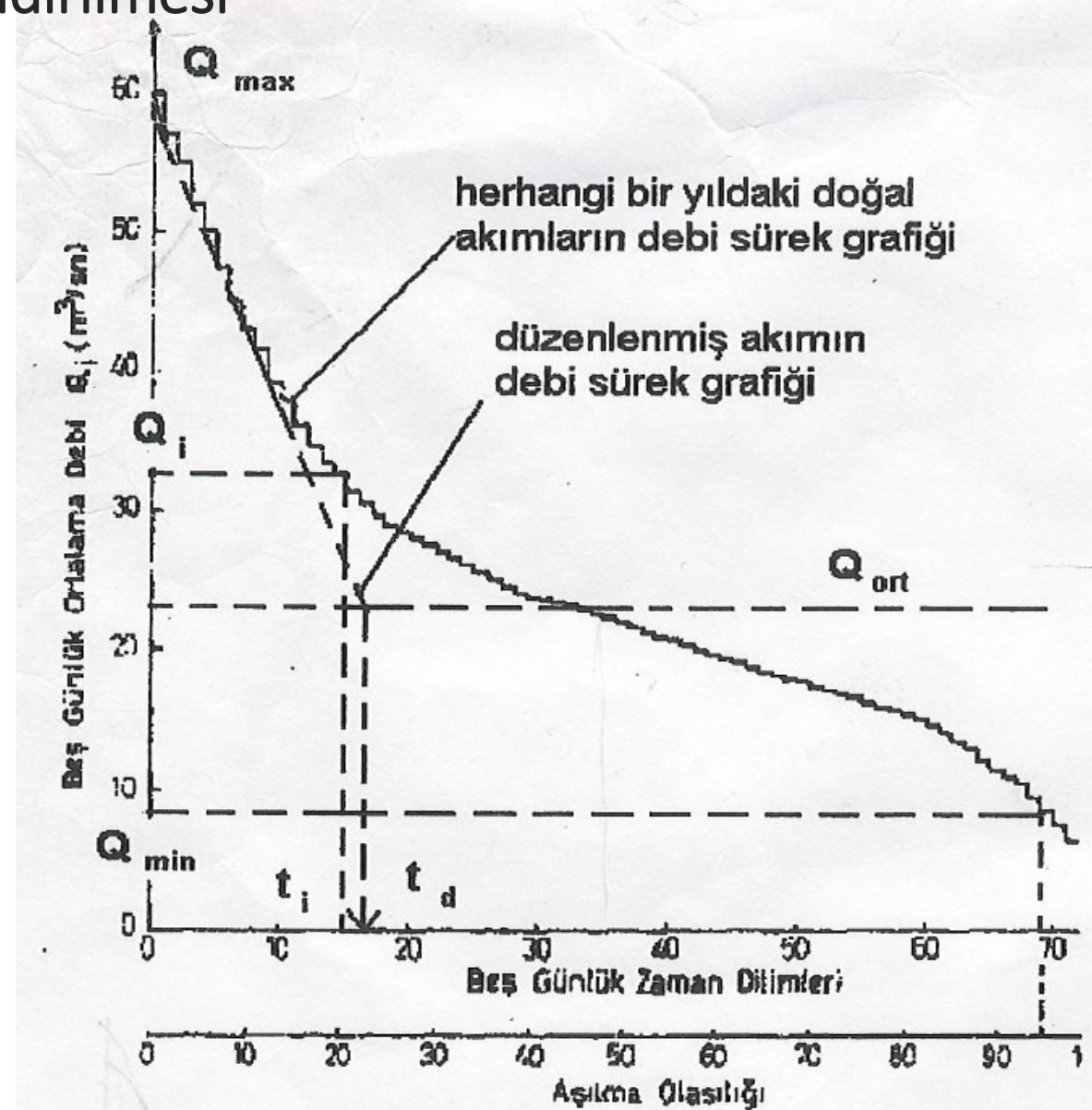
## Debi Ölçümlerinin Grafiksel Olarak Değerlendirilmesi

### Debi-Süreklilik Grafiği

Debi ölçümlerinin büyükten küçüğe noktalanmasıyla elde edilir.

Herhangi bir debinin ve bundan daha büyük debilerin akarsuda görüldüğü gün sayılarının yada frekanslarının belirlenmesinde kullanılır.

Grafiğin altında kalan alan, toplam akış hacmini vermektedir.



# Yüzeysel Akış

## Debi Ölçümlerinin Grafiksel Olarak Değerlendirilmesi

### Toplam Debi (Eklenik Akımlar) Grafiği

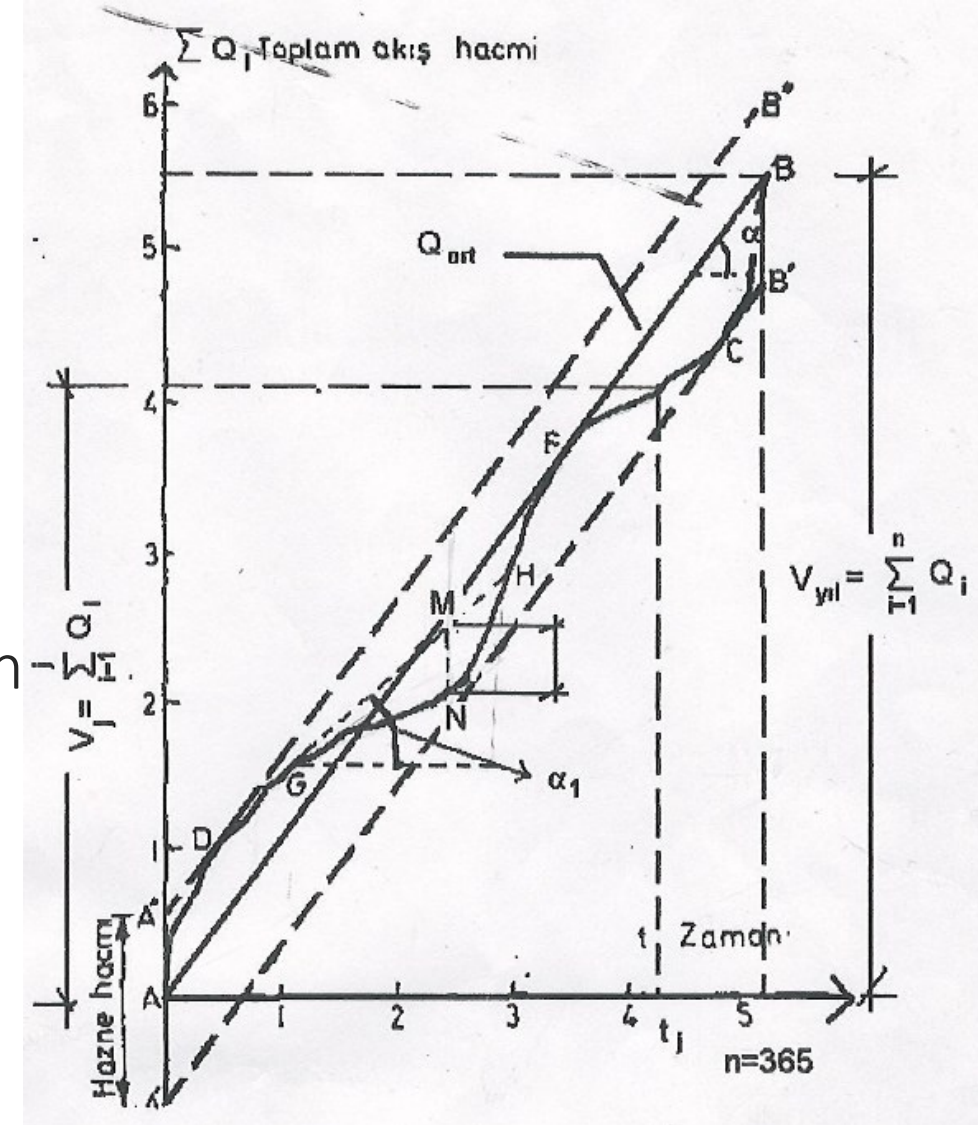
Debi ölçümlerinden elde edilen akış hacimlerinin eklenik olarak çizilmesiyle elde edilir.

Eğri üzerindeki herhangi bir noktadaki teğetin eğimi, o andaki debiye eşittir.

Eğri üzerindeki iki noktayı birleştiren doğru parçasının eğimi o zaman aralığındaki ortalama debiye eşittir.

Herhangi bir çekim doğrusuna paralel olarak ardışık tepe ve çukur noktalardan çizilecek teğetler arasındaki düşey fark, çekimi düşünülen debiyi sağlayacak hazne hacmini (düzenleme hacmini) verir.

Bu eğri yardımıyla debi ölçümü yapılan noktada gerçekleştirilecek bir barajın hazne kapasitesi belirlenebilir.



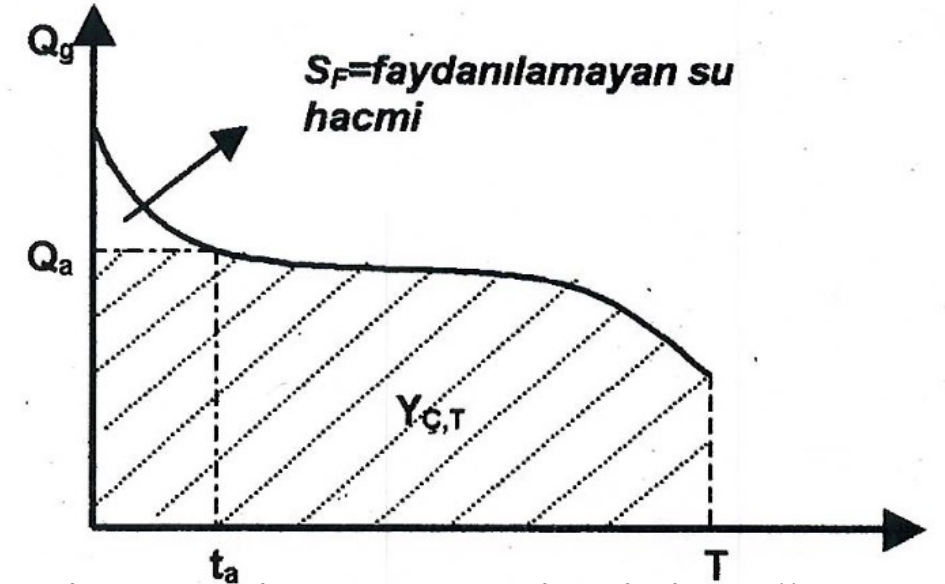
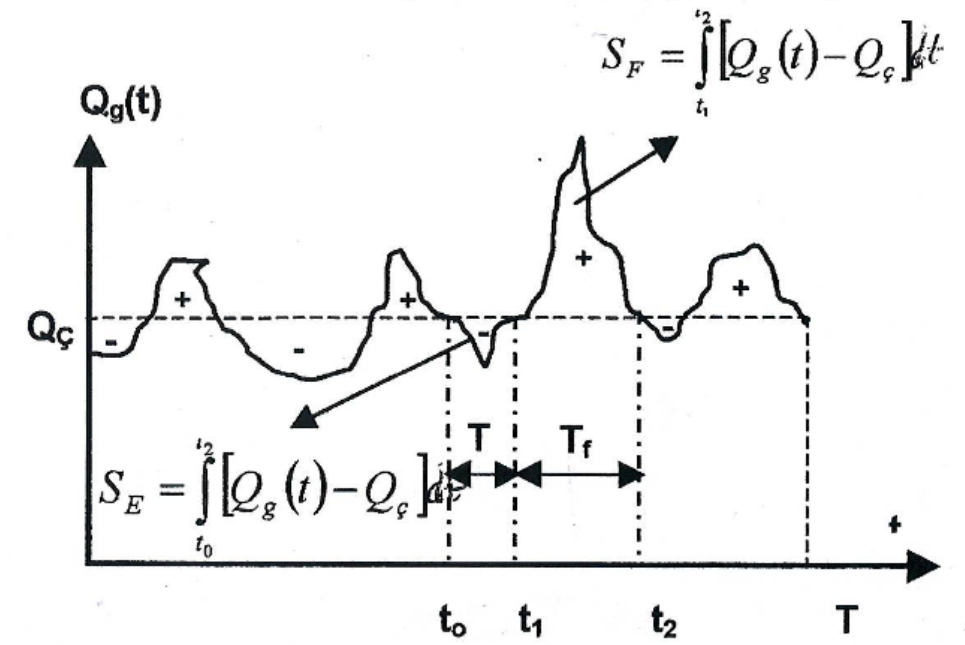
$$\tan \alpha = Q_{ort}$$

# Yüzeysel Akış

## Düzenleme Hacmi Hesabı

### Düzenleme İhtiyacı

Kurak dönemlerdeki su ihtiyaçlarını karşılamak üzere sulak dönemlerdeki ihtiyaç fazlası suların depolanması gerekmektedir. Bu işleme **düzenleme ihtiyacı** denir.



$t_a$ : Santralin tam kapasite çalışabileceği süre

$Y_{c,T}$ : akarsudan çevrilen su hacmi

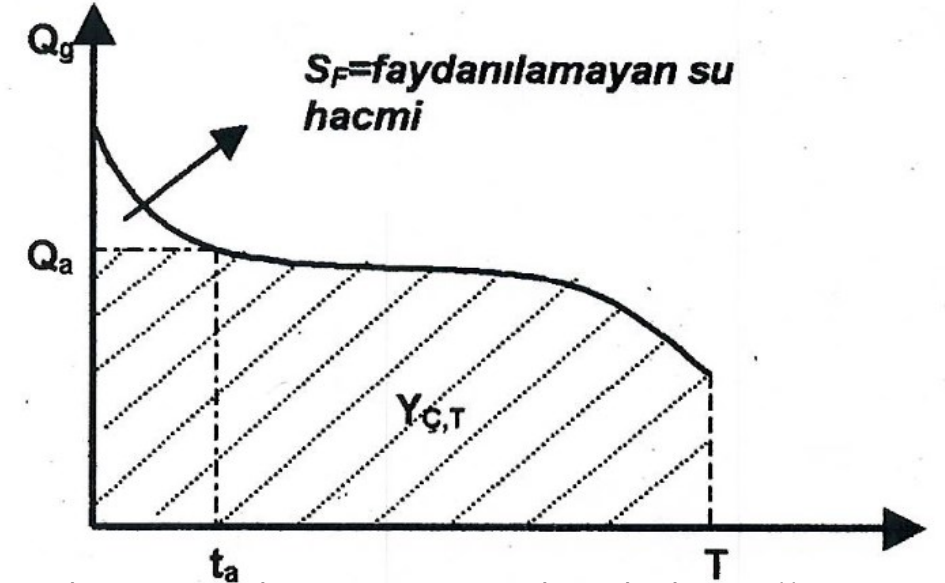
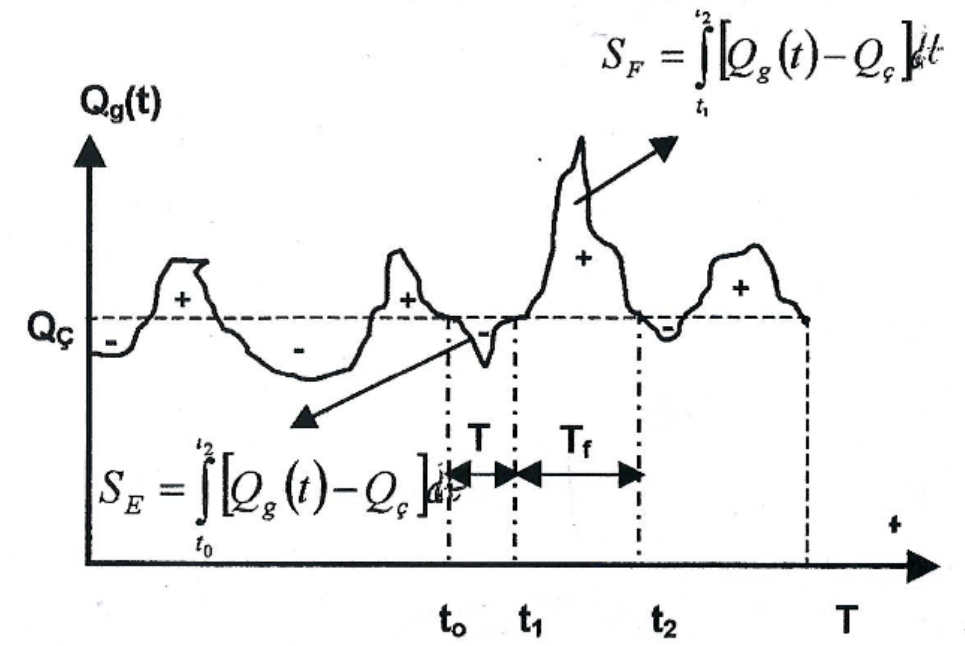
# Yüzeysel Akış

## Düzenleme Hacmi Hesabı

### Akarsudan Yararlanma Oranı

Akarsudan düzenleme yapılarak yada yapılmaksızın belli bir  $T$  süresince alınabilen su hacminin, bu sürede akarsudan geçen toplam su hacmine oranına **yararlanma oranı** denir.

Örneğin yandaki debi-sürek eğrisindeki eğrinin altındaki toplam alan ( $Y_{G,T}$ )  $T$  süresindeki toplam akış hacmine eşittir. Bu sürede akarsudaki  $Q_a$  ve daha küçük debileri çevirebilen bir çevirme santrali yapılması durumunda santralin yararlanma oranı  $(a)=Y_{Ç,T}/Y_{G,T}$  olmaktadır.



$t_a$ : Santralin tam kapasite çalışabileceği süre  
 $Y_{Ç,T}$ : akarsudan çevrilen su hacmi

# Yüzeysel Akış

## Eklenik Fark Analizi ile Hazne Hacmi Tayini

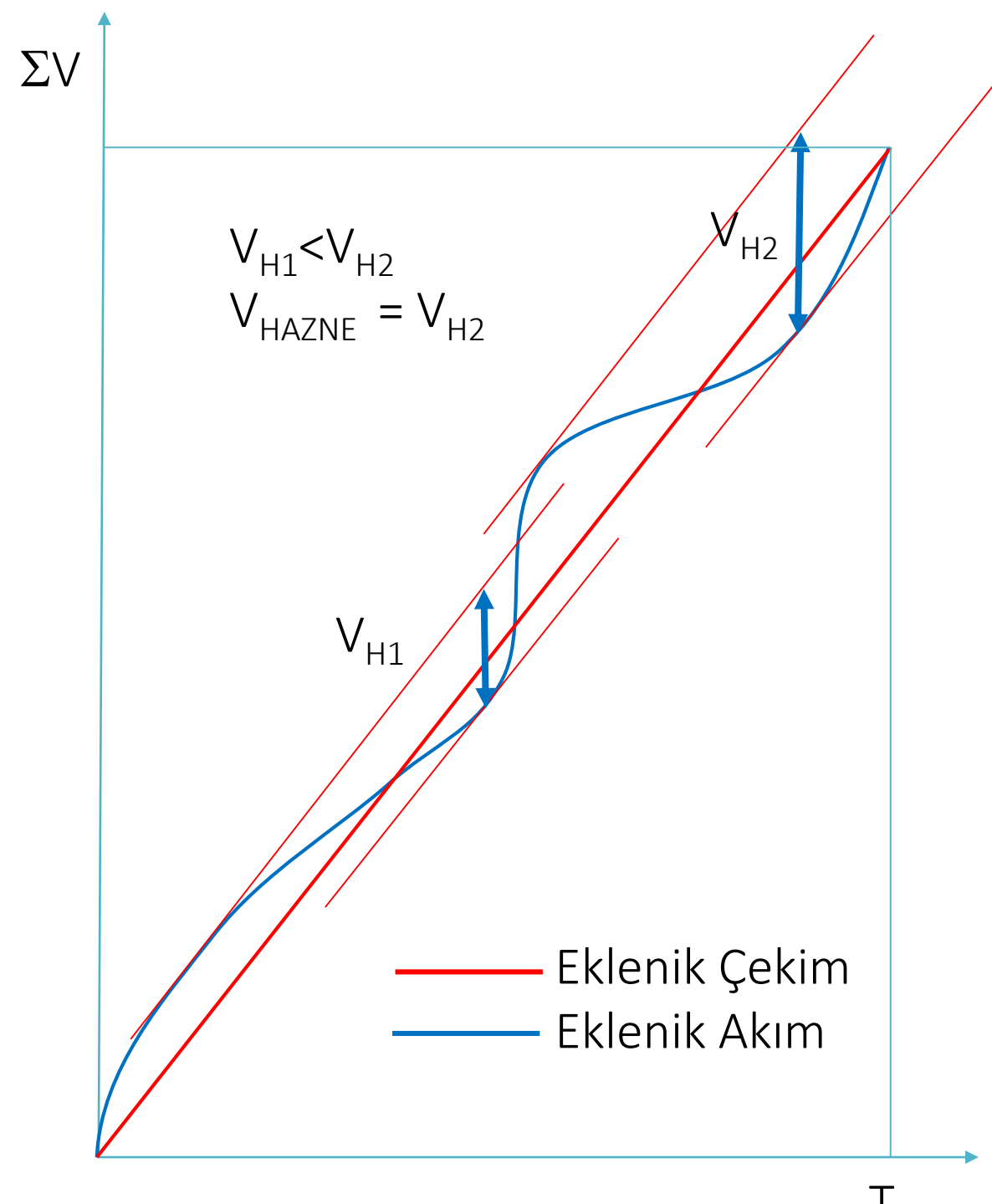
Bir baraj yeri akımları hacimlere dönüştürülüp bu hacimler eklenik olarak zamana göre noktalanırsa eklenik akımlar grafiği elde edilir. Aynı eğri üzerine sabit bir çekim debisi için eklenik çekim doğrusu çizilirse;

### a) Tam Düzenleme Hacmi ( $a=1$ )

Ardışık tepe ve çukur noktalardan eklenik çekim doğrusuna çizilen teğetler arasındaki düşey farka eşittir.

$$V_{Hi} = |S_{\min}| + |S_{\max}|$$

$$V_{\text{hazne}} = \max(V_{Hi})$$



# Yüzeysel Akış

# Eklenik Fark Analizi ile Hazne Hacmi Tayini

### b) Kısmi Düzenleme Hacmi ( $a < 1$ )

Ardışık tepe noktalarından eklenik çekim doğrusuna çizilen teğetler arasındaki düşey farka eşittir.

$$V_{\text{hazne}} = |S_{\text{min}}|$$

$$V_{\text{hazne}} = \max(V_{\text{Hi}})$$

$$a = \frac{\sum V_{\text{ÇEKİLEN}}}{\sum V_{\text{GİREN}}}$$

