

MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
MANİSA TEKNİK BİLİMLER
MESLEK YÜKSEKOKULU
İNŞAAT TEKNOLOJİSİ PROGRAMI

HİDROLİK

DERS NOTLARI

Dr.Öğr.Üyesi Barış YILMAZ

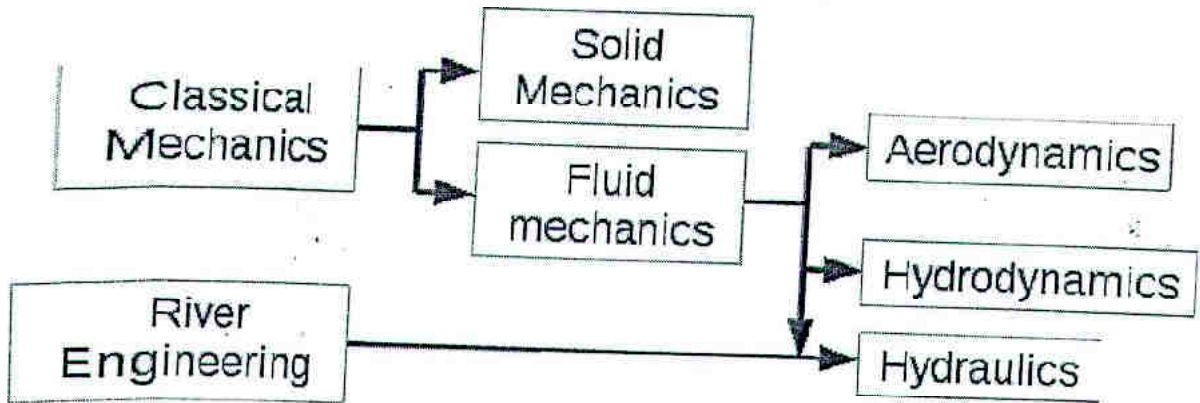
MANİSA-2018

1. TEMEL KAVRAMLAR

1.1. GİRİŞ

Doğada madde; katı ve akışkan (sıvı ve gaz) halinde bulunur. Maddeye etkiyen kuvvetleri ve maddenin hareketini inceleyen mekanik bilimi de yukarıdaki sınıflandırmaya uygun olarak ikiye ayrılmaktadır.

Bunlardan akışkanlar mekaniği; sıvı ve gazların durgun ve hareketli haldeki davranışları ile ilgilenen bir bilim dalıdır.



Hidrolik, durgun ve hareketli halindeki sıvıların ilgili tesislerle olan karşılıklı ilişkilerini inceleyen bir bilim dalıdır.

Boru akımları, serbest yüzeyli akımlar, baraj dizaynı, pompa, türbin ve hidroelektrik santrali ile ilgili problemlerin çözümünde (örneğin içme, kullanma ve sulama sularının istenilen yerlere iletilmesi, kanalizasyon ve drenaj sularının ilgili ortamdan uzaklaştırılması gibi) kullanılan uygulamaya dönük bir bilim dalıdır.

1.2. HİDROLİKTE KULLANILAN BİRİM SİSTEMLERİ

Günümüzde çok uygulama alanı bulan (MKS) sistemi yanında (SI) birim sistemine geçiş süreci yaşanmaktadır. (SI) birim sistemi **System International d'Unites** cümlesinde yer alan ilk iki kelimenin baş harfleridir (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. Birim sistemleri

Büyüklik	MKS	SI
Uzunluk	metre (m)	metre (m)
Kütle	kg.s ² /m	kilogram (kg)
Zaman	saniye(s)	saniye(s)
Kuvvet	kilogram (kg)	newton(N=kg.m/s ²)
Enerji	kg.m	joule(J=N.m)
Güç	kg.m/s	watt(W=J/s)
Basınç	kg/m ²	pascal(Pa=N/m ²)

3. AKIŞKANIN TANIMI

Küçük bir kuvvetin etkisi ile şekil değiştirebilen, kolayca akabilen ve konuldukları kabın eklini alan cisimlere akışkan denir.

Hareketsiz bir akışkana şekil değiştirten kuvvet dirençle karşılaşmaz. Ancak şekil değiştirmenin yeterince yavaş olması gerekir. Çok hızlı bir şekil değiştirtme akışkanlarda belirli dirençler meydana getirir. Ancak hareketin durması halinde bu dirençlerde yok olur.

Akışkanlar sıvılar ve gazlar olmak üzere ikiye ayrılır.

Sıvılar bulunduğu kabın şeklini alır. Çünkü sıvılarda moleküller arası çekme kuvvetleri sıvının belli bir şeklini meydana getirebilmesi için yeterli olmamaktadır. Sonuç olarak sıvıların belli bir hacmi vardır fakat şekli yoktur denilebilir.

Sıvılar, sıkıştırılmayan ya da çok az sıkıştırılabilen akışkanlardır. Ancak çok büyük basınçlar halinde hacimlerinde ve yoğunluklarında çok küçük bir değişme görülür.

Gazlar ise buldukları kabı doldurur. Çünkü gazlarda moleküller arası çekme kuvvetleri bunları bir arada tutmaya yetmemektedir. Gaz molekülleri devamlı hareket halinde bulduklarından belli bir hacim ve belli bir şekil meydana getirmezler. Bundan da anlaşılacağı gibi gazlar devamlı hareket halinde ve çarpışarak bir birinden uzaklaşmak eğiliminde olan moleküllerden oluşmaktadır. Bu nedenle belli bir hacmi ve biçimi olmayıp buldukları kabı tamamen doldururlar. Ancak kapalı kap içinde tutuldukları zaman denge durumunda bulunan gazlar kabın açılması halinde genişterek ortama yayılabilmektedir. Herhangi bir kokunun belli bir hacim içerisinde hemen yayılması bunun somut bir kanıtıdır.

Gazlar üzerindeki her türlü basınç kaldırılınca sonsuza kadar genişler. Bu nedenle gazlar hiçbir zaman serbest yüzey veya atmosferik yüzey yaratmazlar ancak bir sıvı veya katı ile ortak yüzey yaparlar. Tamamen kapalı bir kap içerisindeki gazın, basıncı, sıcaklığı ve hacmi arasında belli bir ilişki vardır.

Gazlar kolayca sıkıştırılabilen bir akışkan olduğundan basıncın artması veya azalması halinde kolayca sıkışıp genişlenebilir.

Buaya kadar yapılan açıklamalar Çizelge 1.2. de özetlenmiştir.

Çizelge 1.2. Akışkanların başlıca özellikleri

AKIŞKANLAR	
1.SIVILAR	2.GAZLAR
- Belirli bir hacmi kaplar. Belirli şekilleri yoktur.	- Buldukları kabı tamamen doldururlar.
- Hacimleri değiştirilemez.	- Hacimleri değiştirilebilir.
- Hacimleri küçültülmek istendiğinde büyük dirençle karşılaşılır. Başka bir anlatımla sıkışma özelliği çok azdır.	- Büyük bir sıkışma ve genişleme özelliğine sahiptir.

Akışkanlar hakkında daha net bilgi edinmek için bunların katı cisimler ile karşılaştırılmasında yarar vardır.

1. Her katı cismin kendine özgü bir şekli vardır. Şekil değişikliği ancak büyük kuvvetlerin uygulanması ile gerçekleşebilir. Akışkanın ise kendine özgü bir şekli yoktur. Ancak içinde bulunduğu kabın şeklini alır.
2. Akışkanda deformasyon (sonlu bir şekil değişimi) çok küçük bir kuvvet değişimi ile bile oluşturulabilir. Bunun için yeterli olan koşul deformasyonun olabildiğince yavaş yapılmasıdır. Hızlı şekil değiştirme durumunda ise akışkanda belirli dirençler meydana gelir. Katı cisimlerde ise deformasyon büyük kuvvetlerin etkisi ile olur.
3. Akışkanlar üzerine gelen bir basınç kuvveti aynı şiddette her yöne yayılır. Katı cisimler ise basınç kuvvetini ancak uygulama yönünde nakleder.

1.4. SIVILARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

1.4.1. Özgül Kütle

Bir cismin özgül ağırlığının (γ) yerçekimi ivmesine (g) bölünmesi sonucu bulunan değerdir. Formüle edilmesi halinde özgül kütle (ρ);

$$\rho = \gamma / g \quad \text{olup;}$$

$$\text{MKS sisteminde;} \quad \rho = (\text{kg/m}^3) / (\text{m/s}^2) = (\text{kg} \times \text{s}^2) / \text{m}^4 \quad (1.1)$$

Hidrolikte genellikle MKS birim sistemi kullanılır. Bu sistemde hacim birimi m^3 tür. Bu bilgiler varlığında suyun özgül kütle hesaplayalım.

Uygulamada suyun özgül ağırlığı $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$, yerçekimi ivmesi ise $9,81 \text{ m/s}^2$ olduğundan suyun özgül kütle (ρ); denklem (1.1) ile

$$\rho = \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{9,81 \text{ m/s}^2} = 102 \text{ kg} \times \text{s}^2 / \text{m}^4$$

bulunur.

Suyun atmosfer basıncında ve değişik sıcaklıklarda özgül kütle değerleri Çizelge 1.3 de gösterilmiştir.

1.4.2. Özgül Ağırlık

Birim hacimdeki sıvının ağırlığına özgül ağırlık denir. γ (gamma) sembolü ile gösterilen özgül ağırlık birimi t/m^3 , kg/m^3 ve gr/cm^3 birimleri ile ifade edilir.

Özgül ağırlık (γ); özgül kütle (ρ) nin yerçekimi ivmesi (g) ile çarpımına eşittir. Bu tanıma göre özgül ağırlık (γ);

MKS sisteminde:

$$\gamma = \rho \times g = \frac{\text{kg} \times \text{sn}^2}{\text{m}^4} \times \frac{\text{m}}{\text{sn}^2} = \text{kg/m}^3 \quad (1.2)$$

Özgül ağırlığın, suyun sıcaklığına ve suya etki eden basınca bağlı olduğu görülmüştür. Normal atmosfer basıncı altında +4 C⁰ deki suyun özgül ağırlığı maksimum değerdedir. Buna göre 1 m³ saf suyun +4 C⁰ ve 760 mm cıva basıncına eşdeğer atmosfer basıncındaki ağırlığı 1000 kg dir ve özgül ağırlığı $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$ veya $\gamma = 1 \text{ gr/cm}^3$ tür. (Çizelge 1.3.).

Suda erimiş tuzlar, suyun özgül ağırlığını artırır. Örneğin Baltık Denizi'nde suyun özgül ağırlığı $\gamma=1007 \text{ kg/m}^3$, Atlas Okyanusu'nda $\gamma=1035 \text{ kg/m}^3$, Hazar Denizi'nde $\gamma=1020 \text{ kg/m}^3$, Karadeniz'de $\gamma=1017 \text{ kg/m}^3$, Marmara Denizi'nde $\gamma=1020 \text{ kg/m}^3$, Ege Denizi'nde $\gamma=1024 \text{ kg/m}^3$, Akdeniz'de $\gamma=1040 \text{ kg/m}^3$, Kızıldeniz de $\gamma=1065 \text{ kg/m}^3$ ve Tuz Gölü'nde $\gamma=1322 \text{ kg/m}^3$ tür.

Suyun farklı sıcaklık derecelerindeki özgül ağırlık derecelerindeki özgül ağırlık değerleri Çizelge 1.3 de gösterilmiştir.

Çizelge 1.3 – Atmosfer basıncında tatlı suyun fiziksel özellikleri

Sıcaklık t, (°C)	Özgül ağırlık γ (kg/m ³)	Özgül kütle ρ , (kg.s ² /m ⁴)
0	999,9	101,93
4	1000,0	101,94
10	999,7	101,91
20	998,2	101,78
30	995,7	101,50
40	992,2	101,14
50	988,1	100,72
60	983,2	100,23
80	971,8	99,06
100	958,4	97,70

Hidrolik problemlerin çözümünde genellikle;

Özgül ağırlık=1000 kg/m³ (4⁰C)

Özgül kütle =102 kg.sn²/m⁴(4⁰C) alınmaktadır.

HİDROLİK :

(Uygulama 1.1)

Aşağıdaki boşlukları doldurunuz.

1. Akışkanlar ve olmak üzere ikiye ayrılır.
2. Sıvılar bulunduğu kabın alır.
3. Gazlar ise buldukları kabı
4. Sıvıların hacmi Gazların hacmi
5. Uygulamada suyun özgül ağırlığı 1000, 1 gr/..... ve t/m³ birimleri ile ifade edilir.
6. Yerçekimi ivmesi $g = \dots\dots\dots$ m/s² dir.
7. Suda erimiş tuzlar suyun özgül ağırlığını
8. 4 °C deki tatlı suyun özgül ağırlığı kg/m³ tür.
9. 0 °C ve 10 °C de suyun özgül ağırlığı 1000 kg/m³ten
10. 1020 kg/m³, 1024 kg/m³ ve 1040 kg/m³ üç denizden alınan su örneklerinin özgül ağırlıklarıdır. Aşağıdaki boşlukları doldurunuz.

Ege Denizi = kg/m³ Akdeniz = kg/m³

Marmara Denizi = kg/m³

11. Hidrolikte MKS ve birim sistemleri kullanılmaktadır. MKS birim sistemi metre, kilogram ve saniyenin baş harflerinden oluşur. CGS birim sistemi ise ve nin baş harflerinden oluşur.

2 HİDROSTATİK

Akışkanlar mekaniğinin durgun halde bulunan sıvıları konu alan bölümü Hidrostatik olarak alandırılır. Durgun haldeki akışkan parçacıkları arasında kayma gerilmesi mevcut olmadığından tüm kuvvetler sınır yüzeyine dik olarak etki etmekte ve viskoziteden bağımsız olmaktadır. Bu nedenle, hidrostatik ile ilgili bağıntılar, kuvvet ve momentle ilgili mekanik prensiplerin uygulanmasıyla kolayca elde edilebilmektedir. Çözümler tam ve kesin olup deneylere başvurulması gerekmemektedir.

Elindiği gibi basınç birim alana etki eden kuvvet olup formüle edilmesi halinde;

$$P = F / A \quad (2.1)$$

şeklinde yazılır. Burada:

$$P = \text{Basınç (ton/m}^2\text{)}, (\text{kg/m}^2) \quad F = \text{Kuvvet (ton)}, (\text{kg}) \quad A = \text{Alan (m}^2\text{)}$$

21. BASINÇ BİRİMLERİ

Basıncın ifade edilmesinde kullanılan endüstri ve teknikte kullanılan birimler aşağıda ayrı ayrı verilmiştir.

1. MKS sisteminde kabul edilen basınç birimi kg/m^2 dir.
2. Endüstri yada teknikte kabul edilen basınç birimi ise kg/cm^2 dir.
3. Bazı hallerde basınç, su veya cıva sütununun yüksekliği **mm** olarak kullanılmaktadır.

Br basınç h cm dir demek 1 cm^2 yüzeye, h cm yüksekliğindeki sıvının ağırlığı etki ediyor demektir. Örneğin 10 metre yüksekliğindeki su sütununun 1 cm^2 lik yüzeye yaptığı basınç, 1000 cm^3 suyun ağırlığı yani 1 kg suya eşdeğerdir. Yine örneğin 76 cm yüksekliğindeki cıva sütununun 1 cm^2 yüzeye yaptığı basınç 76 cm^3 cıvanın ağırlığı yani;

$$P = h \times \gamma \quad (2.2)$$

$$P = 76 \times 13,6 = 1033,6 \text{ gr/cm}^2 = 1,033 \text{ kg/cm}^2 \text{ dir.}$$

4. 76 cm yüksekliğindeki cıva sütununun 1 cm^2 ye deniz seviyesinde yaptığı basınç 1 atmosfer basıncına eşittir.

Yüksekliğe bağlı olarak değişen atmosfer basıncı deniz düzeyinde $P_{\text{atm}} = 1,033 \text{ kg/cm}^2$ olup iki şekilde ifade edilir.

- a. Fiziksel atmosfer ($1,033 \text{ kg/cm}^2$) olup $+4^\circ\text{C}$ de 10,33 m saf su yüksekliğinin veya 0°C de 76 cm cıva (hg) yüksekliğinin 1 cm^2 yüzey alana yaptığı basınçtır. ($1,033 \text{ kg/cm}^2$)

- b. **T**eknik atmosfer (1 kg/cm^2) olup $+4^\circ\text{C}$ de 10 m saf su yüksekliğinin veya 0°C de $735,5 \text{ mm}$ civa (hg) yüksekliğinin 1 cm^2 yüzey alana yaptığı basınçtır. Teknikte 1 atmosferdir.

2.2. SIVILARDA BASINÇ YÖNÜ VE DÜŞEY BOYUNCA BASINÇ DEĞİŞİMİ

Katı bir cisimde, bitişik zerreler arasında mevcut olan kesme gerilmesi nedeniyle, belli bir noktadaki gerilmeler farklı yönlerde farklı değerlerde olmaktadır. Fakat durgun halde bir sıvıda kesme gerilmesi bulunmadığından komşu yüzeyler arasındaki kuvvetler sadece yüzeylere dik gelen basınç kuvvetlerinden oluşur. Bu nedenle durgun haldeki bir sıvıda herhangi bir noktadaki basınç her yönde aynıdır.

Bu düşünce ile atmosfer basıncının sıfır olarak alınması halinde denklem (2.2) yani $P=\gamma \cdot h$ eşitliği elde edilir ki bu eşitlik HİDROSTATİK BASINÇ eşitliğidir. Böylece durgun sıvıda düşey boyunca basınç değişimini veren eşitlik elde edilmiş olur. (2.2) eşitliğinden anlaşılacağı gibi durgun haldeki bir sıvının aynı derinlikte bulunan bütün noktalarında aynı basınç söz konusudur.

Başka bir anlatımla, serbest sıvı yüzeyinden aynı derinlikteki noktalardaki basınç aynıdır. Bu noktalardan geçen düzleme EŞ BASINÇ düzeyi veya NİVO düzeyi denir. Buna göre eş basınç düzeyi sıvı durgun halde iken yataydır.

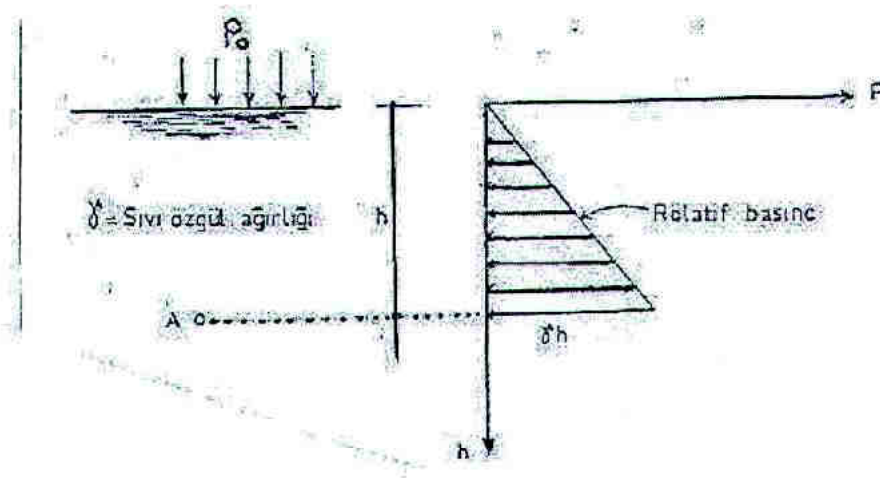
Sonuç olarak durgun haldeki bir sıvının içinde yalnız düşey yönde basınç değişimi mevcuttur. Yatay yönlerde basınç değişimi yoktur. Durgun halde bulunan bir sıvının herhangi bir noktasına etki eden bir hidrostatik basıncın değeri sıvının özgül ağırlığı ile o noktanın sıvı serbest yüzeyinden olan (h) derinliği ile çarpımına eşittir.

Durgun halde bulunan sıvılarda düşey boyunca basınç değişiminin temel denklemi olan $P=h \times \gamma$ eşitliğinden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

1. İki nokta arasında seviye farkı yoksa basınç farkı da yoktur.
2. İki nokta arasında ki basınç farkı $h \times \gamma$ çarpımına eşittir.
3. Sıvı içindeki yatay düzlemdeki her noktada basınç aynıdır.

2.3. HİDROSTATİK BASINÇIN ŞEMATİK GÖRÜNÜMÜ

Denge halinde bulunan sıvı yüzeyinden (h) kadar derinlikte bulunan ve şekil 2.1 de gösterilen A noktasındaki hidrostatik basınç, sıvının özgül ağırlığı γ ile gösterilmesi halinde aşağıdaki formüle ulaşılır.



Şekil 2.1. Hidrostatik basıncın şematik görünümü

$$P = P_0 + \gamma \cdot h \quad (2.3)$$

Burada P_0 = **Atmosfer basıncını** göstermektedir. Bu haliyle hesaplanan basınca **MUTLAK BASINÇ** denilmektedir. Sıvı içerisindeki A noktasındaki basınç:

$$P - P_0 = \gamma \cdot h$$

şeklinde hesaplanabilir.

Bu şekilde hesaplanan basınca **RÖLATİF BASINÇ** denir. Hidrolikte daima rölatif basınçlar kullanılır yani $P_0 = 0$ kabul edilir. Aksi belirtilmedikçe basınç denince rölatif basınç akla gelmelidir.

$$P = \gamma \cdot h$$

eşitliği ile hesaplanan rölatif basınç eşitliğindeki h basınç yüksekliği olarak bilinir.

Basınç konusunu iki örnek ile açıklayalım.

ÖRNEK 2.1. Atmosfer basıncını ($P_0 = 1,033 \text{ kg/cm}^2$), cm cıva yüksekliği cinsinden ifade ediniz.

ÇÖZÜM

$$h_{\text{cıva}} = P_0 / \gamma_c = \frac{1,033 \text{ kg/cm}^2}{13,6 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3} = 76 \text{ cm}$$

Keza atmosfer basıncı $1,033 \text{ kg/cm}^2$ akışkan yüksekliği cinsinden $10,33 \text{ m.s.s.}$ olduğuna ve cıva sudan $13,6$ defa daha ağır olduğuna göre aynı basınç $10,33/13,6 = 0,76 \text{ m}$ cıva yüksekliği olacaktır ki bu yukarıda hesaplanan değer ile uyum içerisindedir.

ÖRNEK 2.2. Özgül ağırlığı $0,82 \text{ kg/l}$ olan bir yağın 428 cm yağ sütunu yüksekliğinin tabana yaptığı basıncı m.s.s. ve kg/cm^2 cinsinden ifade ediniz.

ÇÖZÜM

m.s.s.:

$$\gamma_y \cdot h_y = \gamma_s \cdot h_s$$

eşitliği yazılabilir ve bu eşitlikten

$$h_s = (\gamma_y / \gamma_s) h_y = (0,82 / 1,0) 4,28 = 3,51 \text{ m.s.s.}$$

olarak hesaplanabilir.

kg/cm²:

$$P = \gamma_y \cdot h_y = (0,82 \times 10^{-3}) 428 = 0,351 \text{ kg/cm}^2 \text{ dir.}$$

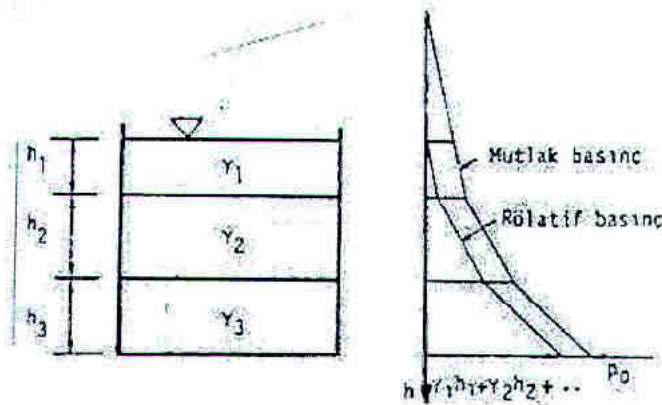
2.4. DEĞİŞİK ÖZGÜL AĞIRLIKLIL SIVI

Değişik özgül ağırlıklı ve birbirine karışmayan sıvılar bir kap içerisine konulduklarında özgül ağırlığı en az olanın en üstte ve en fazla olanın en altta olduğu görülür (Şekil 2.2).

Sıvı tabakalarının yükseklikleri h_1, h_2 ise kabın tabanındaki basınç:

$$P = p_0 + h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2 \quad (2.4)$$

şeklindedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Değişik özgül ağırlıklı sıvılar

2.5. YATAY YÜZEY ÜZERİNE GELEN KUVVET

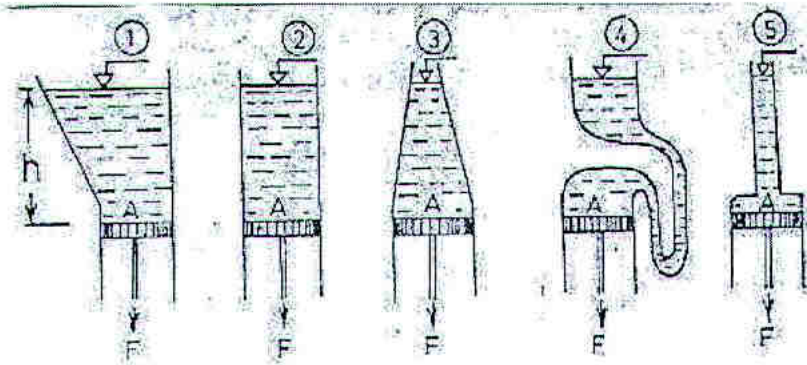
Yatay yüzey üzerine etki eden hidrostatik basınç kuvveti:

$$F = \gamma \times h \times A \quad (2.5)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlik $P = \gamma \cdot h$ şeklinde verilen hidrostatik basınç eşitliğinde A yüzey alanının ilave edilmesinden ibarettir.

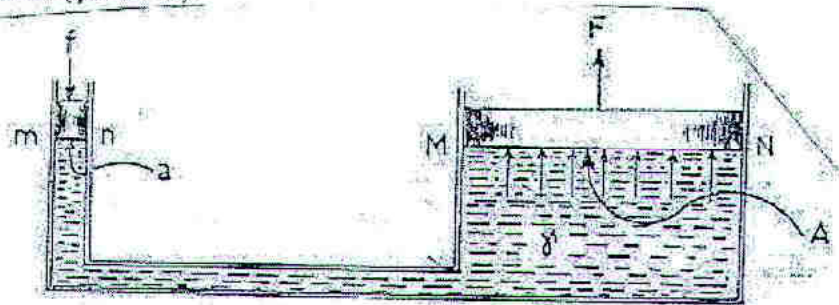
Sıvıların içinde bulunduğu kabın tabanına yaptığı basınç kabın şekline ve kap içerisindeki sıvı miktarına bağlı değildir. Basınç kuvveti sıvı yüksekliğine ve sıvı özgül ağırlığına bağlıdır.

Şekil 2.3 de gösterilen pistonların hepsinde A taban alanları ve h sıvı yükseklikleri aynı olduğu için pistonları iten bütün F kuvvetleri birbirine eşittir.



Şekil 2.3. Hidrostatik paradoks

Bilindiği gibi, katı bir cismin üzerine gelen basınç kuvveti doğrultusunda iletilirken sıvı üzerine gelen basınç yalnız kuvvet doğrultusunda değil her doğrultuda aynen iletilir. Fransız fizikçi Pascal (1623 – 1662) prensibi olarak bilinen bu kural hidrolik krikolar da uygulanmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Hidrolik kriko

Şekil 2.4 de görüldüğü gibi, hidrolik krikolar çapları aynı olmayan iki silindirin alt tarafından bir boru ile birleştirilmesinden oluşan bir birleşik kaptan ibarettir. Şekil 2.4 de gösterilen ve alanı a olan mn pistonuna bir f kuvveti etki etsin. Bu mn pistonunun birim alanına etki eden basınç gerilmesi

$$P = f / a$$

olacaktır. Alanı A olan MN pistonunun birim alanına etki eden basınç gerilmesi ise

$$P = F / A$$

olacaktır. Pascal prensibine göre, mn ve MN pistonlarının birim alanlarına etki eden basınç aynı olacağına göre,

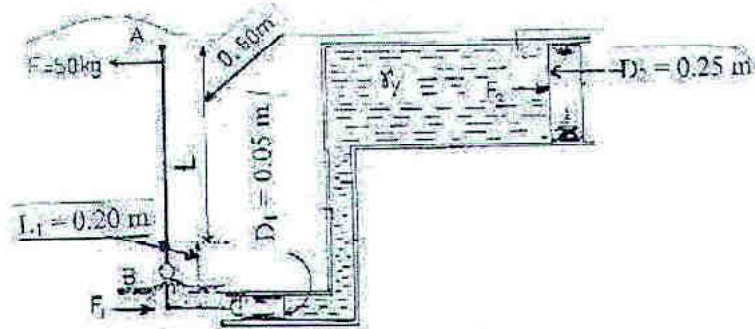
$$f / a = F / A \quad (2.6)$$

eşitliği yazılır. Burada MN pistonunu dengede tutabilmek için gerekli F kuvveti,

$$F = f (A / a)$$

şeklinde ifade edilir. Bu ifadeden anlaşılacağı gibi büyük piston alanı (A) küçük piston alanı (a) dan n defa büyükse F kuvveti de f kuvvetinden n defa büyük olacaktır.

ÖRNEK 2.3. Şekil 2.5 de gösterilen hidrolik kriko düzeni yatay düzlem üzerinde bulunmaktadır. B noktasında eklemeli A koluna 50 kg lık bir kuvvet küçük pistonu etki etmektedir. Çapı 0,25 m olan büyük pistonu meydana getirilen F_2 kuvvetini hesaplayınız.



Şekil 2.5. Hidrolik kriko problemi

ÇÖZÜM

Önce küçük pistonu etki eden F_1 kuvvetinin büyüklüğü moment olarak;

$$F \times L = F_1 \times L_1$$

denklemden $50 \times 0,6 = F_1 \times 0,2$ $F_1 = 30 / 0,2 = 150 \text{ kg}$ olarak bulunur.

Büyük pistonu etki eden F_2 kuvveti

$F_2 / A_2 = F_1 / A_1$ şeklinde verilen denklem (2.6) ile:

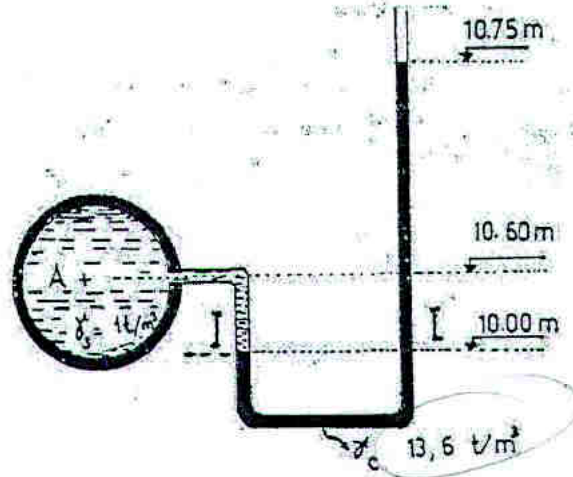
$$F_2 = F_1 (A_2 / A_1) = F_1 \left(\frac{\pi \cdot D_2^2 / 4}{\pi \cdot D_1^2 / 4} \right) \text{ olduğundan}$$

$$F_2 = 150 \left(\frac{0,25^2}{0,05^2} \right) = 3750 \text{ kg hesaplanır.}$$

2.6. ÖRNEK PROBLEMLER

1-MANOMETRE İLE BASINÇ ÖLÇÜLMESİ

Şekil 2.6 da gösterilen U manometresi ile içerisinde su akan bir borunun A noktasındaki basıncı a) ton/m^2 b) kg/m^2 c) m.s.s. (metre su sütunu) cinsinden hesaplayınız. Rölatif basınçla çalışılacaktır.



Şekil 2.6. U manometresi ile basınç ölçülmesi

ÇÖZÜM :

a) I – I nivo düzeyi üzerindeki her iki koldaki basınç değerleri birbirine eşit olduğundan;

$$P_A + \gamma_s h_s = \gamma_c \times h_c$$

$$P_A + 1 \text{ ton/m}^3 \times (10,6 - 10,0 \text{ m}) = 13,6 \text{ ton/m}^3 \times (10,75 - 10,0)$$

$$P_A + 0,6 \text{ ton/m}^2 = 10,2 \text{ ton/m}^2$$

$$P_A = 10,2 - 0,6 = 9,6 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{b) } 9,6 \text{ ton/m}^2 = 9,6 \times 1000 / \text{m}^2 = 9600 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{c) } 9600 \text{ kg} / 10000 \text{ cm}^2 = 0,96 \text{ kg/cm}^2$$

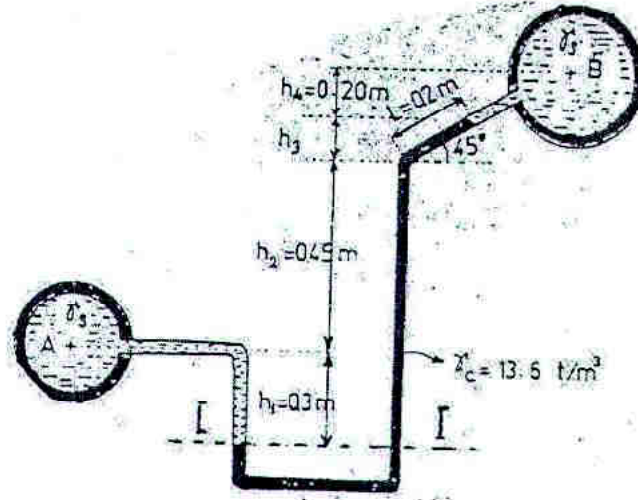
d) 1 m su sütununun 1 cm^2 lik yüzeye yaptığı basınç 100 gr/cm^2 dir. 1 kg/cm^2 lik basıncı 10msu sütunu yüksekliği meydana getirir.

$$10 \text{ m.s.s.} \quad 1 \text{ kg/cm}^2 \text{ ise}$$

$$x = 0,96 \times 10 = 9,6 \text{ m.s.s} \quad 0,96 \text{ kg/cm}^2$$

2 – MANOMETRE İLE BASINÇ FARKI ÖLÇÜLMESİ

Şekil 2.7 de gösterilen sistemde diferansiyel manometre ile içerisinde su akan A ve B borularının A ve B noktalarındaki basınç farkını hesaplayınız.



Şekil 2.7. Diferansiyel manometre ile basınç farkı ölçülmesi

ÇÖZÜM:

I – I nivo düzeyi üzerindeki her iki koldaki basınç değerleri birbirine eşit olduğundan;

$$P_A + (\gamma_s \times h_1) = \gamma_c (h_1 + h_2 + h_3) + (\gamma_s \times h_4) + P_B$$

$$\text{Bu eşitlikte bilinmeyen } h_3 \text{ değeri } \sin 45 = \frac{h_3}{0,20}$$

$$h_3 = 0,7 \times 0,20 = 0,14 \text{ m}$$

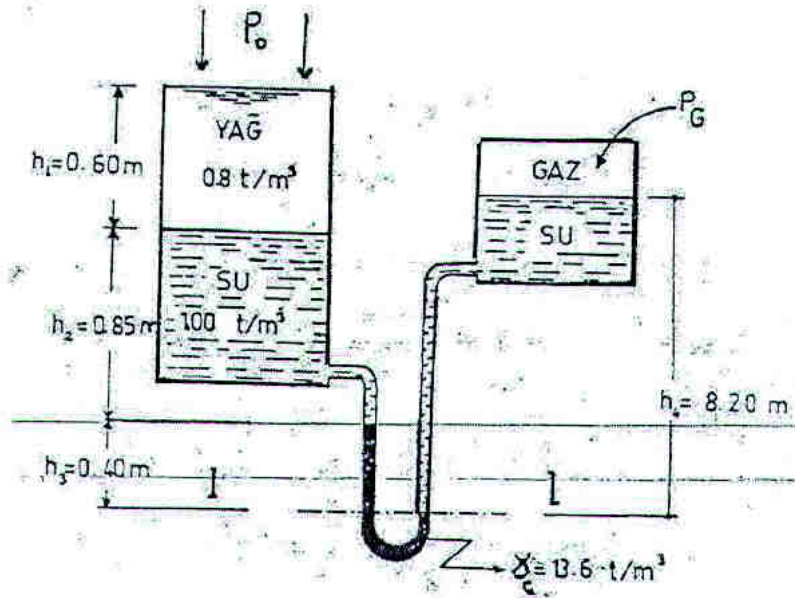
$$P_A + (1 \text{ t/m}^3 \times 0,3 \text{ m}) = 13,6 \text{ t/m}^3 (0,3 \text{ m} + 0,45 \text{ m} + 0,14 \text{ m}) + (1 \text{ t/m}^3 \times 0,2 \text{ m}) + P_B$$

$$P_A + 0,3 \text{ t/m}^2 = (13,6 \text{ t/m}^3 \times 0,89 \text{ m}) + 0,2 \text{ t/m}^2 + P_B$$

$$P_A - P_B = 12,1 - 0,3 + 0,2 = 12 \text{ t/m}^2 \quad \text{bulunur.}$$

3- MUTLAK BASINÇ HESABI

Sayısal değerleri Şekil 2.8 de gösterilen gazın mutlak basıncını hesaplayınız.



Şekil 2.8. Mutlak basıncın ölçülmesi

ÇÖZÜM:

I – I nivo düzeyi üzerindeki her iki koldaki basınç değerleri birbirine eşit olduğundan;

$$P_0 + P_y + P_s + P_c = P_s + P_G$$

$$P_0 + (\gamma_y \times h_1) + (\gamma_s \times h_2) + (\gamma_c \times h_3) = (\gamma_s \times h_4) + P_G$$

$$P_0 + (0,8 \times 0,6) + (1 \times 0,85) + (13,6 \times 0,4) = (1 \times 8,2) + P_G$$

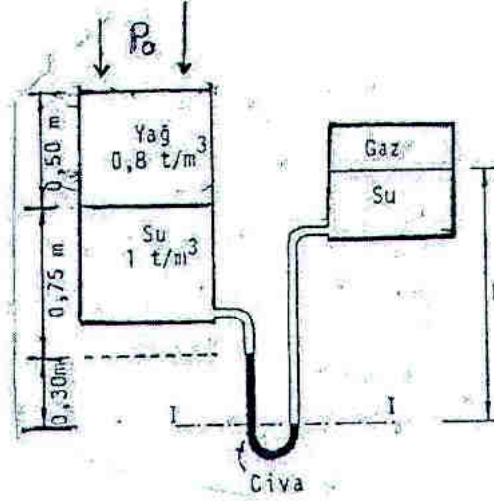
Bu eşitlikte bilinmeyen atmosfer basıncı $P_0 = 10,33 \text{ t/m}^2$ olup eşitlikte yerine konulduğunda

$$10,33 + (0,48 + 0,85 + 5,44) = 8,2 + P_G$$

$$P_G = 17,10 - 8,2 = 8,9 \text{ t/m}^2 \text{ veya } 0,89 \text{ kg/cm}^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

4-BASINÇ YÜKSEKLİĞİ HESABI

Şekil 2.9 da gösterilen manometre sisteminde kapalı kaptaki gazın mutlak basıncı $P_G = 4 \text{ t/m}^2$ olduğuna göre h yüksekliğini hesaplayınız.



Şekil 2.9. Basınç yüksekliğinin belirlenmesi

ÇÖZÜM:

I - I nivo düzeyi üzerindeki her iki koldaki basınç değerleri birbirine eşit olduğundan;
 $P_0 + (0,8 \times 0,5) + (1 \times 0,75) + (13,6 \times 0,3) = 1 \times h + 4$

$$10,33 + 0,40 + 0,75 + 4,08 = h + 4$$

$$15,56 \text{ t/m}^2 = h + 4 \text{ t/m}^2$$

$$h = 15,56 - 4 = 11,56 \text{ t/m}^2 = 11,56 \times 1000 / 10000 = 1,156 \text{ kg/cm}^2$$

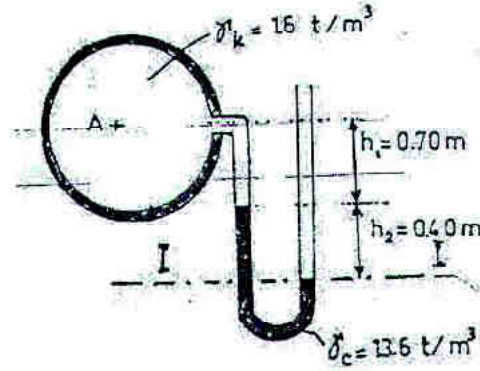
(10 metre su sütununun 1 cm^2 ye yaptığı basınç 1 kg/cm^2 dir)

$$h = 1,156 \text{ kg/cm}^2 \text{ (10 metre su sütununun } 1 \text{ cm}^2 \text{ ye yaptığı basınç } 1 \text{ kg/cm}^2 \text{ dir)}$$

$$h = 11,56 \text{ m}$$

5 - NEGATİF BASINÇ HESABI

Şekil 2.10 da gösterilen tank içerisinde özgül ağırlığı $1,6 \text{ t/m}^3$ olan tetraklorür bulunmaktadır. Şekilde gösterilen değerlerden yararlanarak A noktasındaki negatif basıncı (vakum) hesaplayınız. Rölatif basınçla çalışılacaktır.



Şekil 2.10. Negatif basıncın ölçülmesi

ÇÖZÜM:

I - I nivo düzeyi üzerindeki her iki koldaki basınç değerleri birbirine eşit olduğundan;

$$P_A + (\gamma_t \times h_1) + (\gamma_c \times h_2) = 0$$

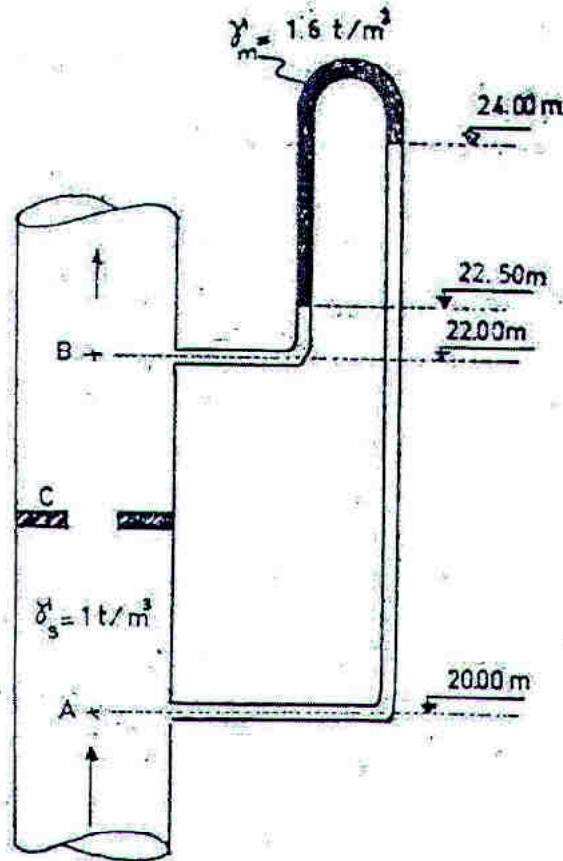
$$P_A + (1,6 \times 0,7) + (13,6 \times 0,40) = 0$$

$$P_A = - [(1,6 \times 0,7) + (13,6 \times 0,40)]$$

$$P_A = -6,56 \text{ t/m}^2 \text{ veya } P_A = -6,56 \times 1000/10000 = -0,656 \text{ kg/cm}^2 \text{ negatif basınç bulunur.}$$

6- BASINÇ FARKI HESABI (2)

Sayısal değerleri Şekil 2.11 de gösterilen AB borusunun içinden su akmaktadır. Boru ilerisinde C noktasında engel nedeniyle basınç farkı oluşmaktadır. Boru üzerine yerleştirilen sıvı diferansiyel manometresiyle A ve B noktaları arasındaki basınç farkını hesaplayınız.



Şekil 2.11. Diferansiyel manometre ile basınç farkı ölçülmesi

ÇÖZÜM :

İstenilen basınç farkı P_A ve P_B net basınç farkı değerlerinden oluşmaktadır.

$$P_B - [(1,0 \text{ t/m}^3 \times 0,5 \text{ m}) + (1,6 \text{ t/m}^3 \times 1,5 \text{ m})]$$

$$P_B - (0,5 \text{ t/m}^2 + 2,4 \text{ t/m}^2) = P_B - 2,9 \text{ t/m}^2$$

$$P_A - [(1,0 \text{ t/m}^3 \times 4 \text{ m})] = P_A - 4 \text{ t/m}^2$$

$$P_A - 4 \text{ t/m}^2 = P_B - 2,9 \text{ t/m}^2$$

$$P_A - P_B = 4 - 2,9$$

$$P_A - P_B = 1,1 \text{ t/m}^2$$

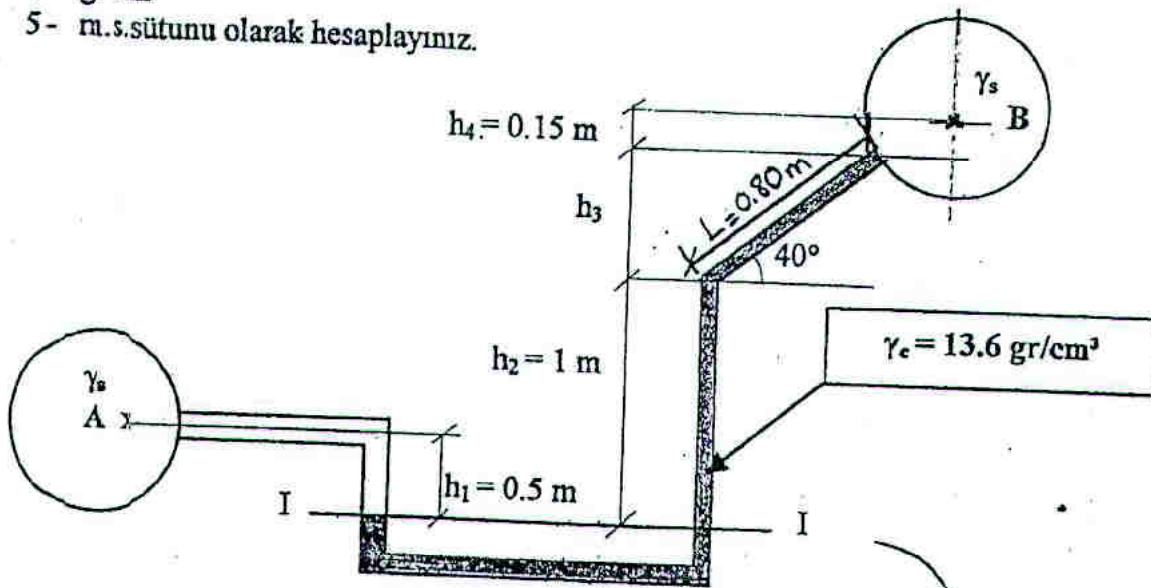
HİDROLİK

DİFERANSİYEL MANOMETRE İLE BASINÇ FARKI ÖLÇÜLMESİ

UYGULAMA 2.1

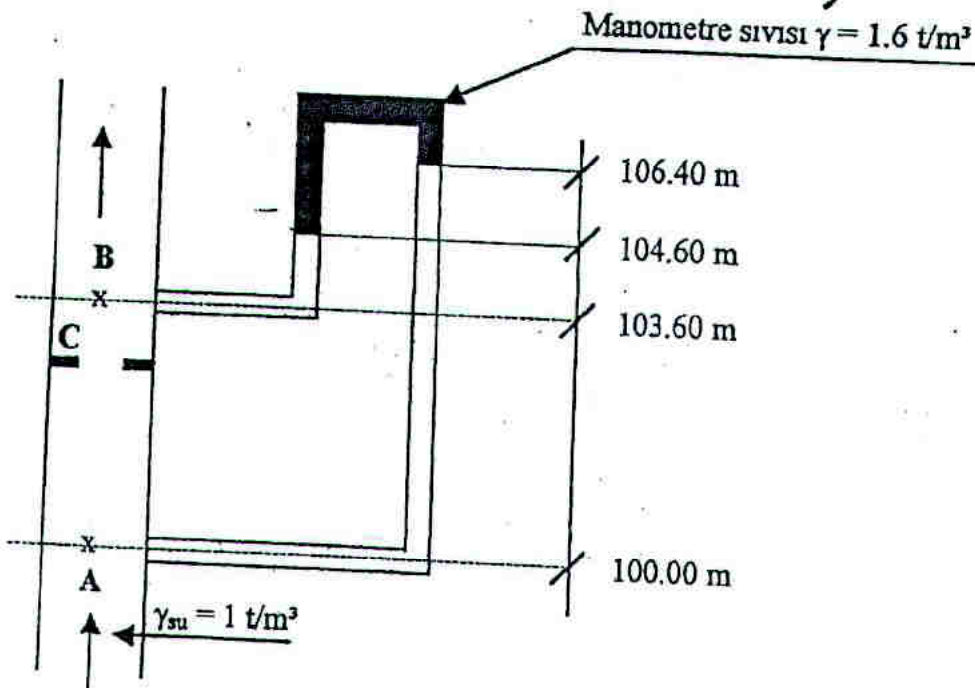
Aşağıdaki sistemde A ve B boruları arasındaki basınç farkını

- 1- t/m^3
- 2- kg/m^3
- 3- kg/cm^2
- 4- gr/cm^3
- 5- m.s.sütunu olarak hesaplayınız.



(Uygulama 2.2)

Aşağıdaki boru sisteminde C noktasındaki engel nedeniyle oluşan basınç farkını hesaplayınız.

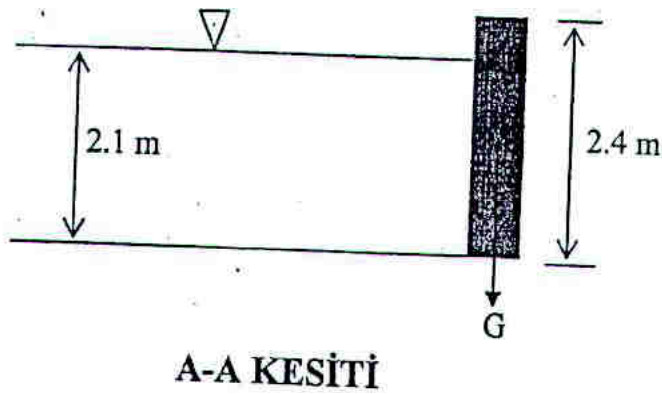
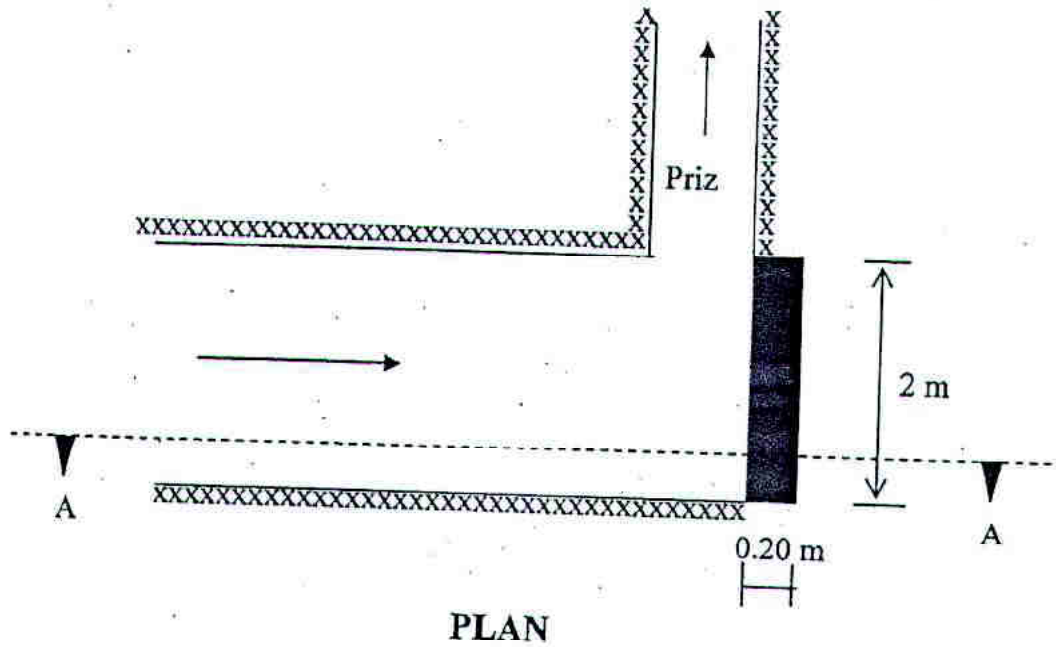


HİDROLİK

(Uygulama 2.3)

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi dikdörtgen kanaldaki su, önüne çekilen 0.20m x 2.0m boyutlarındaki bir beton duvarla saptırılacaktır. Duvarın devrilme tahkikini deprem kuvveti, zemin sürtünmesi, sızıntı basıncı gibi diğer dinamik kuvvetleri dikkate almadan sadece hidrostatik su basıncını ve gövde ağırlığını dikkate alarak yapınız (Betonun özgül ağırlığı $\gamma_b = 2.3 \text{ t/m}^3$ alınacaktır). Devrilme emniyet katsayısının 2 olması durumunda gerekli duvar kalınlığı kaç metre olmalıdır.

$$d_c = \frac{\overset{+}{M}_B}{\overset{-}{M}_B} = \frac{\text{Devirmeye karşı momentler toplamı}}{\text{Devirmeye çalışan momentler toplamı}}$$



ÇÖZÜM:**Hidrostatik su basıncının hesaplanması:**

$$F = \frac{1}{2} \cdot \gamma h \cdot h$$

$$F = \frac{1}{2} \cdot 1 \text{ t/m}^3 \cdot 2,1 \text{ m} \cdot 2,1 \text{ m} = 2,20 \text{ t/m}$$

Duvar uzunluğu 2 m olduğuna göre toplam kuvvet:

$$F = 2,20 \text{ t/m} \cdot 2 \text{ m} = 4,40 \text{ t} \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

Duvar ağırlığının hesaplanması:

$$G = V \cdot \gamma_{\text{beton}}$$

$$G = (0,20 \cdot 2 \cdot 2,4) \cdot 2,3 = 2,20 \text{ t}$$

Momentlerin hesaplanması:

Devirmeye çalışan moment:

$$M_1 = F \cdot (2,1 / 3) = 4,41 \cdot 0,70 = 3,08 \text{ tm}$$

Devrilmeye karşı koyan moment:

$$M_2 = G \cdot (0,20 / 2) = 0,22 \text{ tm}$$

Tahkik:

$$d_e = \frac{M_B}{M_B} = \frac{\text{Devrilmeye karşı koyan moment}}{\text{Devirmeye çalışan moment}} = \frac{M_2}{M_1}$$

$$d_e = \frac{0,22}{3,08} = 0,07 \text{ Devrilme emniyet katsayısı 2 ve daha fazla olmalıdır.}$$

Duvar kalınlığını 1,1 m yapalım. Bu durumda;

$$G = (1,1 \cdot 2 \cdot 2,4) \cdot 2,3 = 12,14 \text{ t}$$

$$M_2 = 12,14 \cdot (1,1 / 2) = 6,68 \text{ tm} \text{ olarak hesaplanır.}$$

$$d_e = \frac{6,68}{3,08} = 2,16 \text{ bulunur. Tahkik sağlanmış olur.}$$



$$d_e = 2 = \frac{M_2}{3,08} \Rightarrow M_2 = 6,16 \text{ tm}$$

$$6,16 = G \cdot \frac{k}{2}$$

$$6,16 = (k \cdot 2,4 \cdot 2) \cdot 2,3 \cdot \frac{k}{2}$$

$$6,16 = 5,52 k^2 \Rightarrow k = 1,056 \text{ m} \text{ olmalıdır.}$$

3. AKIM VE ENERJİ

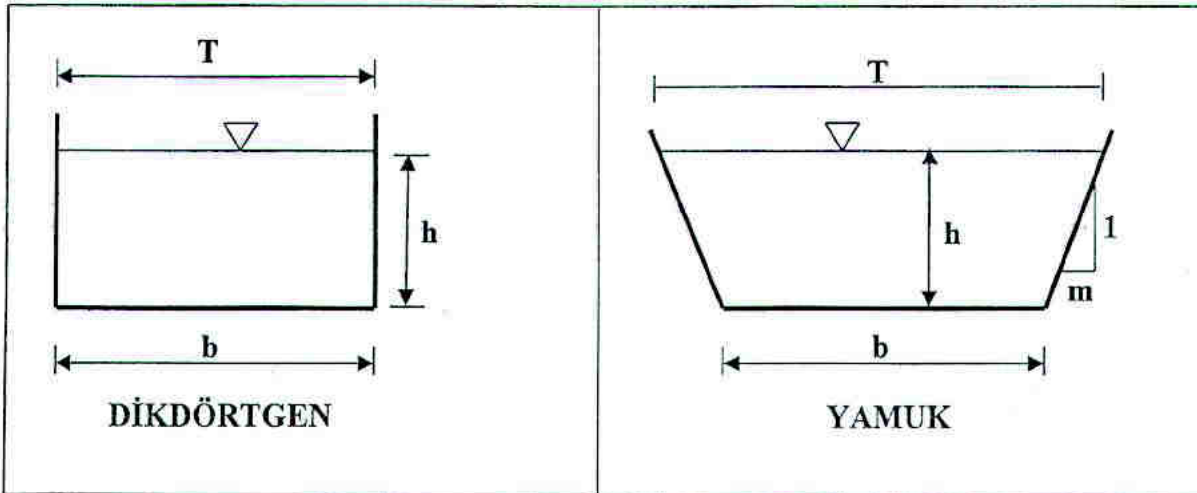
3.1. GİRİŞ

Akımların incelenmesinde kullanılan bazı değim ve kavramlar ile bunların tanımları aşağıda verilmiştir.

- Akış kesiti (A)** : Akıma dik olarak alınan su ile dolu kesit (m^2)
Debi (Q) : Akış kesitinden birim zamanda geçen suyun hacmi (m^3/s veya l/s)
Ortalama hız (V) : Debinin akış kesitine oranı (m/s)
Islak evre (P) : Akış kesitinde su ile kanal veya boru yüzeyi arasındaki ortak hattın uzunluğu (m)
Su st genişliği (T) : Akış kesitinde su ile atmosfer arasındaki ortak hattın uzunluğu (m)
Hidrolik derinlik (D) : Akış kesitinin su st genişliğine oranı (m)
Hidrolik yarıçap (R) : Akış kesitinin ıslak çevreye oranı (m)

Yukarıdaki deyim ve kavramlar dikdörtgen ve yamuk kesit için izelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Dikdörtgen ve yamuk kesitin geometrik elemanları



	DİKDÖRTGEN	YAMUK
Akış kesiti ; A (m^2)	$b.h$	$h(b+mh)$
Islak evre ; P (m)	$b+2h$	$b+2h(1+m^2)^{1/2}$
Hidrolik yarıçap ; R (m)	$(b.h)/(b+2h)$	$h(b+mh) / (b+2h(1+m^2)^{1/2})$
Su st genişliği ; T(m)	b	$b+2mh$
Hidrolik derinlik ; D(m)	h	$h(b+mh)/b+2mh$

Hesaplanan debinin uygun hidrolik koşullarda taşınmasında en önemli etken hızdır. Çünkü

$$Q = A \cdot V \quad (3.1)$$

şeklinde verilen **süreklilik denkleminde** de görüldüğü gibi debi sabit kaldığında hızın artması akış kesitinin küçültülmesi yada hızın küçülmesi akış kesitinin büyümesi sonucu oluşur. Bu iki öğeden akış kesitini : istediğimiz gibi seçmemiz mümkün olduğundan hızın incelenmesi gerekir.

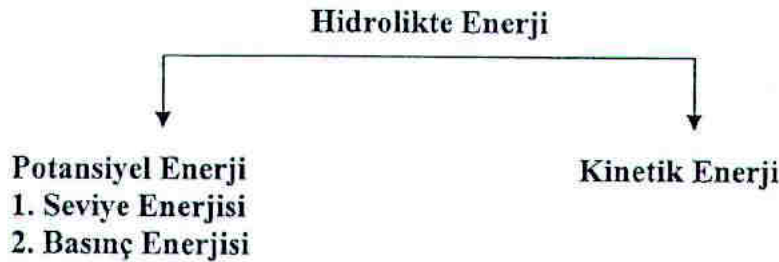
Ancak sabit debi (Q) varlığında iki kesitten birinde akış kesit alanı (A_1), ortalama hız (V_1), diğer kesitte akış kesit alanı (A_2) ve ortalama hız (V_2) ise süreklilik denklemi,

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (3.2)$$

şeklinde yazılır.

3.2. HİDROLİKTE ENERJİ ÇEŞİTLERİ

Hidrolikte iki çeşit enerji söz konusudur. Bunlardan birincisi **potansiyel enerji** olup sıvıların bulunduğu seviye veya konumundan dolayı sahip oldukları enerjiyi gösterir. İkincisi ise **kinetik enerji** olup sıvının hareket halinde olmasından dolayı sahip olduğu enerjidir. Bu iki enerji Şekil 3.1 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Hidrolik enerji çeşitleri

3.2.1. Potansiyel Enerji

Şekil 3.1 de görüldüğü gibi potansiyel enerji biri seviye (konum) diğeri basınç olmak üzere iki kısımdan oluşur.

3.2.1.1. Seviye (Konum) Enerjisi

Su kütlelerinin bulunduğu seviye nedeniyle sahip olduğu enerjiye **seviye enerjisi** denir. Bu enerji konum veya yükselti enerjisi adı ile de anılır.

Seviye enerjisi bir karşılaştırma düzleminden söz konusu noktaya kadar (Z) düşey mesafe (geometrik kot) olup akışkanın birim ağırlığı ve (Z) düşey mesafesi nedeniyle iş yapabilme yeteneği olarak bilinir (Şekil 3.2).

3.2.1.2. Basınç Enerjisi

Serbest su yüzeyinden diğer bir anlatımla atmosferik yüzeyden söz konusu noktaya kadar olan su sütununun ağırlığına eşit olan enerjiye **basınç enerjisi** denir. Burada karşılaştırma düzlemi olarak serbest su yüzeyi alınmakta ve söz konusu noktaya kadar olan düşey mesafe ölçülmektedir (Şekil 3.2).

Buna göre enerji sıfır olarak kabul edilen serbest su yüzeyinden (h) mesafesi ($h = P / \gamma$) kadar aşağıda bulunan (γ) ağırlığındaki birim sıvı hacminin basınç enerjisi

$$P / \gamma \quad (3.3)$$

doğrudan (h) a eşit olmaktadır.

3.2.1.3. Toplam Potansiyel Enerji

Akışkanın herhangi bir noktasındaki toplam potansiyel enerjisi ilgili noktanın seviye enerjisi ile basınç enerjisinin toplamına eşittir.

Bu tanımın formüle edilmesi halinde toplam potansiyel enerji (E_p);

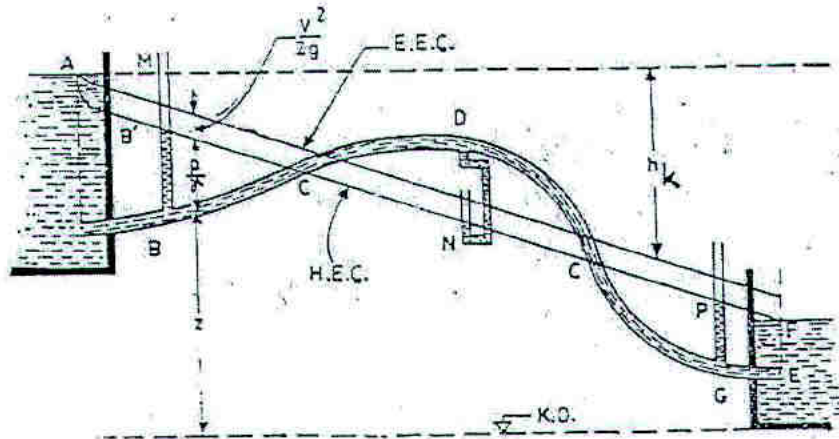
$$E_p = Z + (P/\gamma) \quad (3.4)$$

E_p = Potansiyel enerji (m)

Z = Seviye enerjisi (m)

P/γ = Basınç enerjisi (m)

Şekil 3.2 de görüldüğü gibi toplam potansiyel enerji karşılaştırma düzlemi ile serbest su yüzeyi arasındaki düşey mesafeye eşit olmaktadır. Bu mesafe **potansiyel yük**, **hidrolik yük** ve **piyezometrik yük** adı ile de anılmaktadır.



Şekil 3.2. Enerji ve hidrolik eğim çizgileri

3.2.1. Kinetik Enerji

Cisimlerin hareket halinde olmalarından dolayı sahip oldukları enerjiye **kinetik enerji** denir. Hareket halinde bulunan akışkanlar potansiyel enerji yanında kinetik enerjiye de sahiptirler.

Mekanikte bilindiği gibi ; (m) kütlesine ve (V) hızına sahip bir cismin sahip olduğu kinetik enerji:

$$E_k = 1/2 \cdot m \cdot V^2 \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte m yerine eşdeğeri olan $m = \gamma / g$ yazılması halinde kinetik enerji;

$$E_k = V^2/2 \cdot g \quad (3.6)$$

E_k = Kinetik enerji (m)

V = Hız (m/sn)

g = Yerçekimi ivmesi (9,81 m/sn²)

Özelle sıvıların birim ağırlığının hızı nedeniyle iş yapabilme yeteneğine **kinetik enerji** denilmektedir. $V^2/2g$ değerine eşit kabul edilen kinetik enerji **hız yükü** adı ile de anılmaktadır.

3.2.3. Toplam Enerji

Sıvıların birim ağırlığının seviyesi (Z), basıncı (P / γ) ve hızı nedeniyle ($V^2/2g$) sahip olduğu iş yapabilme yeteneğine **toplam enerji** adı verilir. Sonuçta toplam enerji (E);

$$E = Z + (P / \gamma) + (V_1)^2 / 2g \quad (3.7)$$

Şekil 3.3 de görüldüğü gibi toplam enerjiyi bir akım borusu sisteminde iki kesit için yazdığımızda iki kesitteki toplam enerji birbirine eşit olmaktadır.

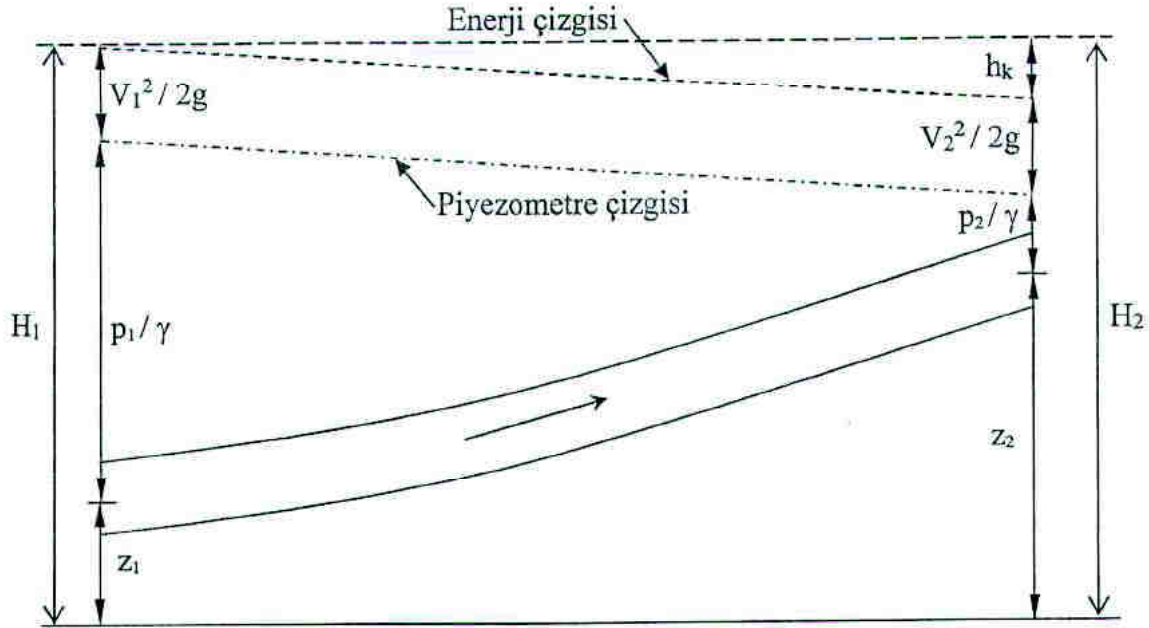
$$Z_1 + (P / \gamma) + (V_1)^2 / 2g = Z_2 + (P / \gamma) + (V_2)^2 / 2g \quad (3.8)$$

Bu denkleme **Bernoulli denklemi** adı verilmektedir.

Gerçek ve sıkıştırılamaz akışkanın düzenli akımında sürtünme nedeniyle oluşan enerji kaybının göz önüne alınması gerekir. Sürtünme nedeniyle oluşan enerji kaybı (h_k) değerini Bernoulli denklemine ilave etmek gerekir. Doğadaki bütün akışkanların viskoziteleri nedeniyle sürtünmeleri sonucu enerji kaybı (h_k) söz konusu olduğundan değerini Bernoulli denklemine ilave etmek gerekir.

Sürtünmesiz, sıkışmaz yani ideal akışkan için $H_1 = H_2$ ise de (Şekil 3.3) sürtünmeli yani gerçek sıvılardan H_2 'ye h_k 'nın ilavesi gerekir. Sonuçta enerji denklemi mühendislik uygulamalarında aşağıdaki şekliyle kullanılır.

$$Z_1 + (P / \gamma) + (V_1)^2 / 2g = Z_2 + (P / \gamma) + (V_2)^2 / 2g + h_k \quad (3.9)$$



Şekil 3.3. Enerji ve hidrolik eğim çizgileri

3.3. ENERJİ ÇIZGİLERİ

Şekil 3.2 de gösterildiği gibi iki su deposu arasında aynı çapta bir boru hattı düşünelim. Bu hattın B, D ve G noktalarına piyezometre borusu yerleştirilmiştir. İlgili şekilde B noktasına yerleştirilen piyezometre borusunda su seviyesi B' noktasına kadar yükselecektir. Yani $BB' = (P / \gamma)$ olacaktır.

Bir borunun diğer su deposundaki E ucu kapatılırsa B noktasındaki piyezometre borusunda su seviyesi bileşik kaplar prensibine göre M noktasına kadar yükselecektir. Akış olması halinde su seviyesinin M noktasından B' noktasına kadar düşmesi iki nedenden kaynaklanacaktır. Bunlardan biri basınç yükünün hız yüküne dönüşmesi ikincisi ise A ve B noktaları arasında sürtünmeden dolayı meydana gelen yük kaybıdır.

Suyun akış halinde olması durumunda G noktasındaki piyezometredeki su seviyesi de yukarıda açıklanan iki nedenden dolayı P noktasında olacaktır. İşte B ve G noktalarındaki piyezometredeki su seviyelerinin birleştirilmesi sonucu oluşan B'P çizgisine **Hidrolik Eğim Çizgisi (HEÇ)** veya **Piyezometre Çizgisi** adı verilir. Bu çizgi boru hattı boyunca basınç yükü değerlerini gösterir. Şekil 3.2.de gösterildiği gibi B'B mesafesine **basınç yükü**, B noktası ile karşılaştırma düzlemi arasındaki düşey mesafeye (Z) **seviye yükü** adı verilir.

Boru üzerindeki C noktalarını inceleyelim. Bu nokta hidrolik eğim çizgisi üzerinde bulunduğu için basınç yükü sıfır olup C noktasındaki basınç atmosferik basınç değerindedir (Şekil 3.2).

Boru üzerindeki D noktasına gelince; Şekil 3.2 de görüldüğü gibi bu nokta HEÇ üzerinde bulunmaktadır. Bu noktadaki basınç yükü $-DN$ kadardır. Sonuçta D noktasında negatif basınç bulunmakta ve bu noktada DN kadar **vakum** vardır.

Şekil 3.2 deki **HEÇ** bize boru hattı boyunca basınç dağılımını inceleme olanağı verir. Boru doğru hat halinde ve sabit çapta olursa **HEÇ** doğru hat şeklinde kendini gösterir. Ancak hemen belirtmek gerekir ki sürekli yük kaybı yanında boru hattı boyunca dirsek, vana v.b. elemanlar yanında boru çapında değişiklik olursa; dirsek, vana gibi elemanların ve boru çapının değiştiği noktalarda yersel yük kayıplarından dolayı hidrolik eğim çizgisinde ani değişimler olacaktır.

Şekil 3.2 de olduğu gibi boru çapının sabit olması nedeniyle iki nokta arasındaki enerji eğim çizgisindeki düşü (h_k) iki nokta arasındaki yük kaybına eşittir.

Yine Şekil 3.2 de depodaki su yüzeyinden yatay olarak çizilen enerji çizgisinin herhangi bir noktasından **HEÇ** kadar olan düşey mesafe Λ noktasından söz konusu noktaya kadar olan yük kaybı ile o noktadaki hız yükü değerinin toplamına yani;

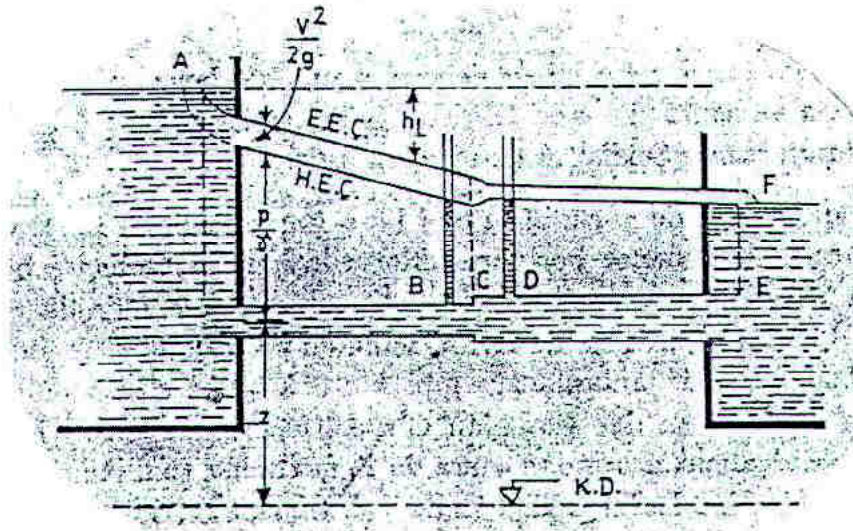
$V^2/2g + h_k$ değerini göstermektedir. Şimdi borunun önce başlangıç noktasını ele alalım. Depodan boruya girişte A noktasındaki enerji çizgisinde bir düşme olacaktır.

Bu düşü miktarı borudaki hız yükü ($V^2/2g$) ile yersel giriş yük kaybı (h_{kg}) toplamına eşdeğerdir. Giriş kaybı ilerde yersel yük kaybı başlığı altında incelenecektir.

Borunun son E noktasındaki basınç yükü EF mesafesine eşdeğerdir. Şekil 3.2 de görüldüğü gibi **HEÇ** F noktasında son bulmaktadır. Eğer Şekil 3.2 de görüldüğü gibi boru depo içinde değil de atmosferde son bulmuş olsa yani su açık havaya serbestçe boşalmış olsa idi bu durumda **HEÇ** E noktasından geçecektir.

Enerji eğim çizgisine **EEÇ** gelince Şekil 3.2 de görüldüğü gibi bu çizgi **HEÇ** den $V^2/2g$ kadar daha yüksekte geçmektedir.

Hidrolik eğim çizgilerini iki su deposu arasında boru çapının değişik olması durumunu inceleyelim (Şekil 3.4).



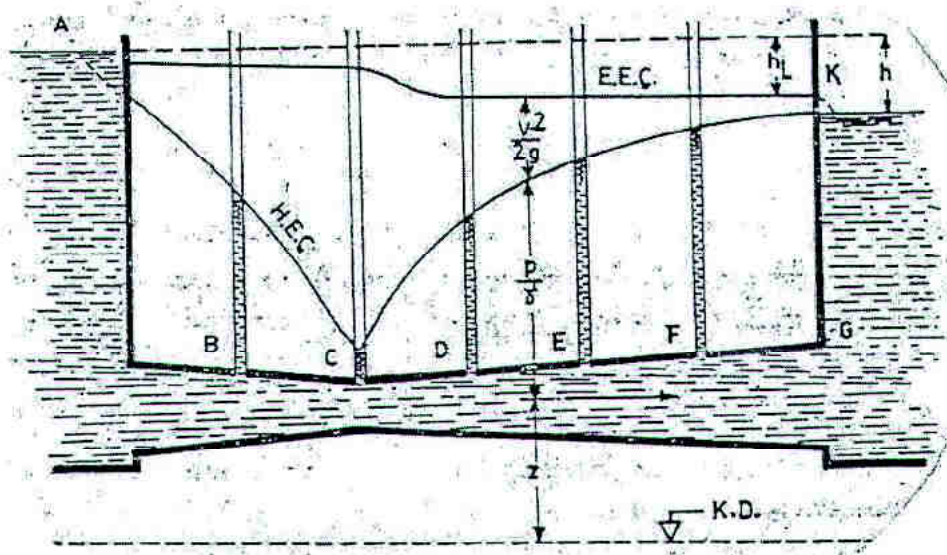
Şekil 3.4. Enerji ve hidrolik eğim çizgileri

Şekil 3.4 de görüldüğü gibi; su depodan önce küçük çaplı bir boru ile çıkmakta sonra boru çapı C noktasında genişleyip diğer deponun içine dökülmektedir.

Hidrolik eğim çizgisi HEÇ yük kayıplarının bir göstergesi olduğundan küçük çaplı boru boyunca eğim değeri daha fazla büyük çaplı boru boyunca eğim değeri daha fazla büyük çaplı boru boyunca daha azdır. Bu durum bize küçük çaplı borularda (küçük akış kesitlerinde) sürtünme kaybının daha çok olduğu göstermektedir. Nitekim sürtünme kaybı boru yarıçapı ile ters orantılı olup boru yarıçapı küçüldükçe sürtünme kaybı artmaktadır.

CE noktaları arasında akış kesit alanı büyüdüğü için HEÇ ve EEÇ eğiminde azalma görülmüştür. CE noktaları arasında akış kesit alanı büyüdüğü için sürtünme nedeniyle yük kaybı azalırken akım hızı azalmış sonuçta her iki çizginin eğimi de azalmış olur.

Şekil 3.5 de iki su deposu arasında boru çapı C noktasına kadar azalmakta ve yine C noktasından G noktasına kadar artmaktadır.



Şekil 3.5. Enerji ve hidrolik eğim çizgileri

Şekil 3.5 de görüldüğü gibi; B,C,D,E ve F noktalarına piyezometre boruları yerleştirilmiştir. Bu borularda yükselen su seviyeleri birleştirilerek HEÇ çizilmiştir. Şekil 3.4 de de görüldüğü gibi HEÇ C noktasına kadar azalmış bu noktalardan itibaren K noktasına kadar artmıştır. HEÇ nin bu dalgalanması tamamen akışkanın hız değeri ile ilgilidir.

Boru çapı daraldıkça (akış kesit alanı küçüldükçe) hız yükü $V^2/2g$ değeri büyümekte ve en dar yeri olan C noktasında hız yükü maksimum değere ulaşırken H,E,Ç, de en düşük noktaya ulaşmaktadır.

Şekil 3.2 , Şekil 3.4 ve 3.5 in incelenmesinden aşağıdaki prensiplere varılır;

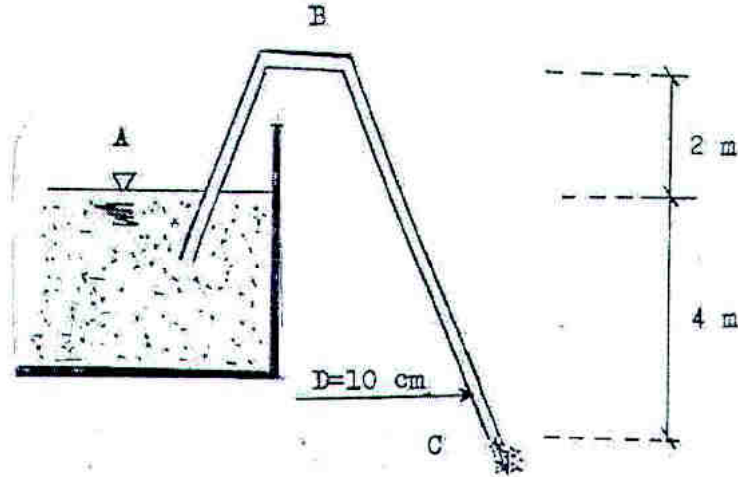
EEÇ sistemine enerji ilave edilmedikçe akış yönünde azalma gösterir.

HEÇ yük kaybına bağlı olarak akış yönünde azalır. HEÇ ve EEÇ akış kesit alanı aynı olduğu sürece birbirine paralel seyrederek.

ÖRNEK PROBLEMLER

1-HIZ, DEBİ VE MUTLAK BASINÇ HESABI

Aşağıda verilen şekildeki sayısal değerlerden yararlanarak sifonda su hızını (V), debiyi (Q) ve B noktasındaki mutlak basıncı hesaplayınız. Yersel ve sürekli kayıpları ihmal edilecektir.



ÇÖZÜM

1.1. Sifonda Su Hızı

A ile C arasındaki Bernoulli denklemi, denklem (3.8) ile V_c hızı

$$\frac{V_A^2}{2 \times g} + \frac{P_A}{\gamma} + Z_A = \frac{V_C^2}{2 \times g} + \frac{P_C}{\gamma} + Z_C$$

$$V_A = 0 \quad , \quad P_A = P_C = P_0$$

$$Z_A = \frac{V_C^2}{2 \times g}$$

$$4 = \frac{V_C^2}{2 \times g} \quad , \quad V_C^2 = 4 \times 2 \times 9,81 \quad , \quad V_C = (4 \times 2 \times 9,81)^{1/2} \quad , \quad V_C = 8,86 \text{ m/s bulunur.}$$

1.2. Debi

Denklem (3.1) ile

$$Q = A \times V$$

$$Q = \left(\frac{\pi \times D^2}{4} \right) \times 8,86 = \left(\frac{3,14 \times 0,10^2}{4} \right) \times 8,86 = 0,0696 \text{ m}^3/\text{sn} \text{ veya } 69,6 \text{ l/s hesaplanır.}$$

1.3. B Noktasındaki Mutlak Basınç

A ile B arasında Bernoulli denklemi uygulanırsa B noktasındaki basınç denklem (3.1) ile; B noktasındaki mutlak basınç;

$$\frac{V_A^2}{2 \times g} + \frac{P_A}{\gamma} + Z_A = \frac{V_B^2}{2 \times g} + \frac{P_B}{\gamma} + Z_B$$

$$V_A \approx 0, P_A = P_0 \text{ olup B noktasındaki hız yükü } \frac{V_B^2}{2 \times g} = \frac{8,86^2}{19,62} = 4 \text{ m}$$

$$0 + \frac{P_0}{\gamma} + 4 = 4 + \frac{P_B}{\gamma} + 6$$

$$\frac{P_0}{\gamma} = 6 + \frac{P_B}{\gamma}, \quad \frac{P_0}{\gamma} - 6 = \frac{P_B}{\gamma} = 10,33 - 6 = 4,33 \text{ m}$$

$$\frac{P_B}{\gamma} = 4,33 \quad P_B = 1 \times 4,33 = 4,33 \text{ t/m}^2 \text{ hesaplanır.}$$

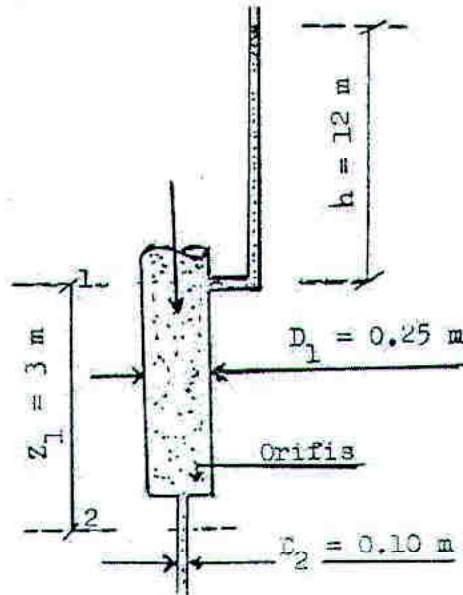
$$P_0 = 10,33 \text{ t/m}^2$$

$$P_0 = 1,033 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Teknik Atü} = 1 \text{ kg/cm}^2$$

2-BİR BORU ÜZERİNDEKİ İKİ FARKLI AKIŞ KESİTİNDE HIZ

Aşağıdaki şekilde verilenlere göre 1 ve 2 nolu kesitlerde su hızını hesaplayınız. Orifislerdeki yük kayıpları ihmal edilecektir.



ÇÖZÜM:

$$Q = A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$$

$$V_1 \times \left(\frac{\pi \times D_1^2}{4} \right) = V_2 \times \left(\frac{\pi \times D_2^2}{4} \right)$$

$$V_1 \times \left(\frac{\pi \times 0,25^2}{4} \right) = V_2 \times \left(\frac{\pi \times 0,10^2}{4} \right)$$

$$0,25^2 \times V_1 = 0,10^2 \times V_2$$

$$V_2 = V_1 \times \left(\frac{0,25}{0,10} \right)^2 = 6,25 \times V_1 \text{ bulunur.}$$

1 ve 2 kesitleri için Bernoulli denklemi V_1 ve V_2 hızları: denklem (3.1) yazılırsa:

$$\frac{V_1^2}{2 \times g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2 \times g}$$

$$\frac{V_1^2}{2 \times g} + h + Z_1 = \frac{V_2^2}{2 \times g}$$

$$h + Z_1 = \frac{V_2^2}{2 \times g} - \frac{V_1^2}{2 \times g}$$

$$12 + 3 = \frac{(6,25^2 \times V_1^2) - V_1^2}{2 \times g}$$

$$15 = \frac{V_1^2 \times (6,25^2 - 1)}{19,62}$$

$$15 = 1,939 \times V_1^2$$

$$V_1 = \left(\frac{15}{1,939} \right)^{1/2} = 2,78 \text{ m/sn}$$

$$V_2 = 6,25 \times V_1$$

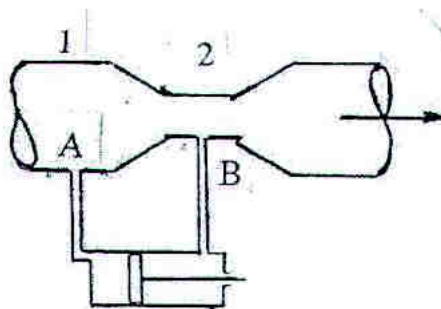
$$V_2 = 6,25 \times 2,78 = 17,38 \text{ m/sn bulunur.}$$

3-BASINÇ FARKI VE TOPLAM KUVVET HESABI

Aşağıda çapı yersel olarak daralan borudan su akmaktadır. A kesitinde çap 0,95 cm, B kesitinde 0,64 cm ölçülmüştür.

3.1. A kesitindeki su hızı 4,57 m/sn olduğunda A ve B arasındaki basınç farkını hesaplayınız.

3.2. A ile B arasındaki 1,90 cm çapında bir silindir bağlanmıştır. Piston üzerine etkiyen toplam kuvveti bulunuz.



ÇÖZÜM

3.1. A ile B Noktaları Arasında Basınç Farkı:

1 ve 2 arasında Bernoulli denklemi; denklem (3.8),

$$\frac{V_1^2}{2xg} + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2xg} + \frac{P_2}{\gamma}$$

$$\frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} = \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2xg}$$

1 ve 2 arasında süreklilik denklemi denklem (3.1) yazılıp

$$V_1 x \left(\frac{\pi x D_1^2}{4} \right) = V_2 x \left(\frac{\pi x D_2^2}{4} \right)$$

$$D_1^2 x V_1 = D_2^2 x V_2$$

$$V_2 = \left(\frac{D_1}{D_2} \right) x V_1 = \left(\frac{0,95}{0,64} \right)^2 x 4,57$$

$V_2 = 10,07$ m/sn bulunur.

Buradan basınç farkı ise ;

$$P_1 - P_2 = \frac{\gamma x (V_2^2 - V_1^2)}{2xg} = \frac{1 x (10,07^2 - 4,57^2)}{19,62} = \frac{80,55}{19,62} = 4,1 \text{ t/m}^2 \quad \text{hesaplanır.}$$

3.2. Piston Üzerine Etkiyen Kuvvet:

$$\text{Piston Alanı} : \left(\frac{\pi x D^2}{4} \right) = \left(\frac{3,14 x 0,019^2}{4} \right) = 0,283 x 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$P_1 - P_2 = 4,10 \text{ t/m}^2 \text{ olup}$$

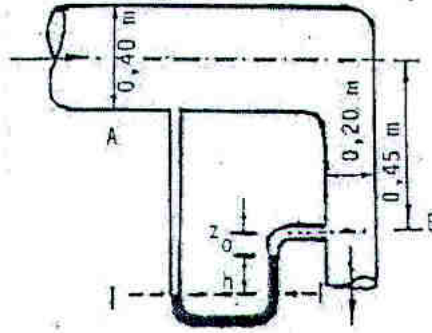
$$P_1 - P_2 = 4,10 \text{ (t/m}^2) x 2,83 x 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,00116 \text{ t veya } 1,16 \text{ kg'dır.}$$

4-BASINÇ FARKI VE CİVALI MANOMETREDE h YÜKSEKLİĞİ HESABI

Aşağıdaki şekilde gösterilen dairesel kesite sahip dirsekten 200 lt/sn'lik su geçmektedir.

4.1. A ve B kesitleri arasındaki basınç farkını bulunuz.

4.2. Cıvalı manometredeki h yüksekliğini hesaplayınız.



ÇÖZÜM

4.1. A ve B Kesitleri Arasındaki Basınç Farkı:

Süreklilik denklemi denklem (3.1) ile ilk aşamada V_A ve V_B hızları hesaplanır.

$$Q = A_A \times V_A = A_B \times V_B$$

$$V_A = \frac{Q}{A_A} = \frac{0,200}{\left(\frac{\pi \times 0,4^2}{4}\right)} = \frac{0,200}{\left(\frac{3,14 \times 0,4^2}{4}\right)} = \frac{0,200}{0,1256} = 1,59 \text{ m/sn}$$

$$V_B = \frac{Q}{A_B} = \frac{0,200}{\left(\frac{\pi \times 0,2^2}{4}\right)} = \frac{0,200}{\left(\frac{3,14 \times 0,2^2}{4}\right)} = \frac{0,200}{0,0314} = 6,36 \text{ m/sn}$$

Sistem dengede olduğundan her iki kesitteki Bernoulli denklemi denklem (3.8) öğeleri toplamı birbirine eşittir. A ve B noktaları arasındaki basınç farkı ;

$$\frac{V_A^2}{2 \times g} + \frac{P_A}{\gamma} + Z_A = \frac{V_B^2}{2 \times g} + \frac{P_B}{\gamma} + Z_B$$

$$\left(\frac{1,59^2}{2 \times 9,81}\right) + \frac{P_A}{\gamma} + 0,45 = \left(\frac{6,36^2}{2 \times 9,81}\right) + \frac{P_B}{\gamma} + 0$$

$$0,13 + \frac{P_A}{\gamma} + 0,45 = 2,06 + \frac{P_B}{\gamma}$$

$$\frac{P_A}{\gamma} + 0,58 = 2,06 + \frac{P_B}{\gamma}$$

$$\frac{P_A}{\gamma} - \frac{P_B}{\gamma} = 2,06 - 0,58$$

$$\frac{P_A - P_B}{\gamma} = 1,48 \text{ m}$$

$$P_A - P_B = 1,48 \times \gamma$$

$$P_A - P_B = 1,48 \text{ m} \times 1 \text{ t/m}^3 = 1,48 \text{ t/m}^2 \text{ hesaplanır.}$$

4.2. Sistemde Civa Yüksekliği (h) Hesabı

Manometrede 1-1 nivo düzeyi üzerinde her iki kolda basınçlar eşit olduğundan, civa yüksekliği;

$$P_A + (h + Z_0 + 0,45) \times \gamma_m = P_B + (h \times \gamma_{\text{civa}}) + (Z_0) \cdot \gamma_s$$

$$P_A + (h \times \gamma_s) = P_B + (h \times \gamma_c)$$

$$P_A - P_B = (h \times \gamma_c) - (h \times \gamma_s)$$

$$P_A - P_B = h \times (\gamma_c - \gamma_s) \text{ dir.}$$

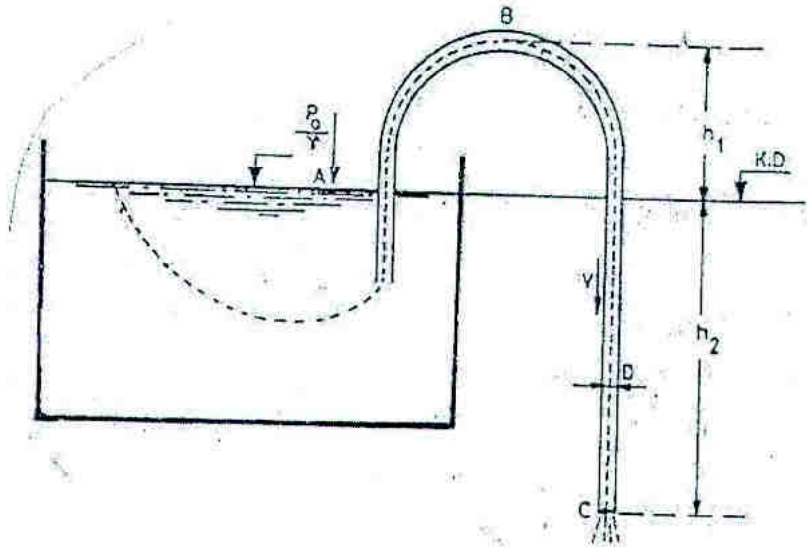
$$1,93 = h \times (13,6 - 1,0)$$

$$1,93 \text{ t/m}^2 = (12,6 \text{ t/m}^3) \times h$$

$$h = \frac{1,93}{12,6} = 0,153 \text{ m} = 15,3 \text{ cm bulunur.}$$

5- SIFONDA DEBİ EŞİTLİĞİ HESABI

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi ; bir depodan sifon aracılığı ile su boşalmaktadır. Şekilden yararlanarak sifondan geçen debinin hesaplanmasında kullanılan eşitliği (formülü) hesaplayınız.



ÇÖZÜM:

Depodaki serbest su düzeyi üzerindeki A noktası ile sifon boru çıkışındaki C noktası arasında Bernoulli denklemi denklem (3.8) uygulanırsa şekilden de görüldüğü gibi;

$$\frac{V_A^2}{2 \times g} + \frac{P_0}{\gamma} + Z_A = \frac{V_C^2}{2 \times g} + \frac{P_0}{\gamma} + Z_C$$

$$0 + \frac{P_0}{\gamma} + 0 = -h_2 + \frac{P_0}{\gamma} + \frac{V_C^2}{2 \times g}$$

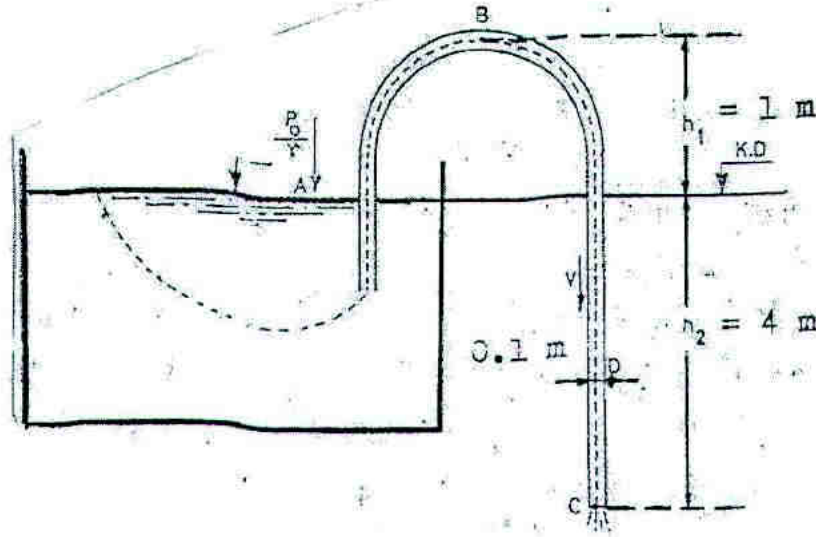
$$h_2 = \frac{V_C^2}{2 \times g} \text{ veya } V_C = (2 \times g \times h)^{1/2}$$

elde edilir.

Debi (Q) ; akış kesit alanı (A) ile hız (V) çarpımına eşit olduğundan sifondan geçen debinin hesaplanmasında ; $Q = A \times V = \left(\frac{\pi \times D^2}{4} \right) \times V$ veya $Q = \left(\frac{\pi \times D^2}{4} \right) \times (2 \times g \times h)^{1/2}$ eşitliği elde edilir.

6-SIFONDA HIZ, DEBİ VE NEGATİF BASINÇ

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi ; bir depodan sifon aracılığı ile su boşalmaktadır. Şekildeki sayısal değerlerden yararlanarak sifondan geçen debiyi, su hızını ve B noktasındaki basıncı hesaplayınız.



ÇÖZÜM

6.1. Su Hızı:

Sifonda su hızı $V = (2 \times g \times h)^{1/2}$ eşitliği ile ;

$$V = (2 \times 9,81 \times 4)^{1/2} = (78,48)^{1/2} = 8,86 \text{ m/sn hesaplanır.}$$

6.2. Debi:

Debi denklem (3.1) ile ;

$$Q = A \times V \text{ eşitliği ile ;}$$

$$Q = \left(\frac{3,14 \times 0,1^2}{4} \right) \times 8,86 = 0,0695 \text{ m}^3/\text{sn veya } 69,5 \text{ lt/sn hesaplanır.}$$

6.3.B Noktasında Basınç:

A ve B noktaları arasında Bernoulli denklemi [denklem (3.8)] uygulanırsa ;

$$\frac{V_A^2}{2 \times g} + \frac{P_0}{\gamma} + Z_A = \frac{V_B^2}{2 \times g} + \frac{P_B}{\gamma} + Z_B$$

$$0 + \frac{P_0}{\gamma} + 0 = h_1 + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2 \times g}$$

Sifonda hız $V = (2 \times g \times h)^{1/2}$ veya $h_2 = \frac{V^2}{2 \times g}$ olup ayrıca $\frac{P_0}{\gamma}$ atmosfer basıncı sıfır alındığında

$$0 + 0 + 0 = h_1 + \frac{P_B}{\gamma} + h_2$$

$$\frac{P_B}{\gamma} = -(h_1 + h_2)$$

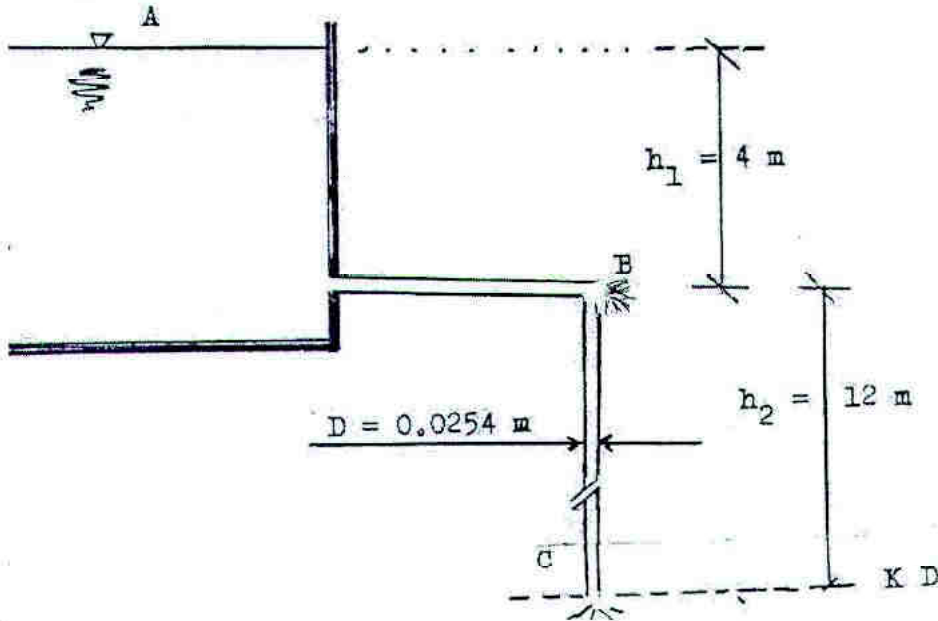
$$\frac{P_B}{\gamma} = -(1 + 4) = -5 \text{ m.s.s. veya } -0,5 \text{ kg/cm}^2 \text{ dir.}$$

Buradan çıkan sonuçlar;

1. $V = (2 \times g \times h)^{1/2}$ olduğunda sifonda su hızı h_2 yüksekliğinin karekökü ile doğru orantılı olarak artar.
2. h_1 ve h_2 arttıkça relatif basınç artar.

7-SUYUN YÜKSEKLİK, HIZ VE DEBİ İLİŞKİSİ

Aşağıda gösterilen su deposundan alınan suyun B ve C boru çıkışlarındaki hız ve debi değerlerini hesaplayıp sonuçları yorumlayınız.



ÇÖZÜM

7.1. B Çıkışı Hız ve Debi Değerleri:

A ve B noktaları arasında Bernoulli denklemi [denklem (3.8)] uygulanırsa ;

$$\frac{V_A^2}{2 \times g} + \frac{P_0}{\gamma} + Z_A = \frac{V_B^2}{2 \times g} + \frac{P_B}{\gamma} + Z_B$$

$$V_A \cong 0 \quad , \quad P_A = P_B = P_0 \text{ olduğundan ;}$$

$$0 + 0 + 4 = \frac{V_B^2}{2 \times g} + 0 + 0$$

$$\frac{V_B^2}{2 \times g} = 4 \quad , \quad V_B^2 = 2 \times 9,81 \times 4 = 78,48$$

$$V_B = \sqrt{78,48} = 8,86 \text{ m/sn} \quad \text{bulunur.}$$

Debi ; denklem (3.1) ile ;

$$Q = AxV = \left(\frac{\pi x D^2}{4} \right) x 8,86 = \left(\frac{3,14 x 0,0254^2}{4} \right) x 8,86 = 0,00448 \text{ m}^3/\text{sn} \quad \text{veya} \quad 4,48 \quad \text{lt/sn}$$

bulunur.

7.2. C Çıkışı Hız ve Debi Değerleri:

A ve C noktaları arasında Bernoulli denklemi [denklem (3.8)] uygulanıp ve hızı ;

$$\frac{V_A^2}{2 \times g} + \frac{P_A}{\gamma} + Z_A = \frac{V_C^2}{2 \times g} + \frac{P_C}{\gamma} + Z_C$$

$$V_A \cong 0 \quad , \quad P_A = P_B = P_0 \text{ olduğundan ;}$$

$$0 + 0 + 16 = \frac{V_C^2}{2 \times g} + 0 + 0$$

$$\frac{V_C^2}{2 \times g} = 16 \quad , \quad V_C^2 = 2 \times 9,81 \times 16$$

$$V_C = \sqrt{313,92} = 17,72 \text{ m/sn} \quad \text{bulunur.}$$

Debi ; denklem (3.1) ile ;

$$Q = AxV = \left(\frac{\pi x D^2}{4} \right) x 17,72 = \left(\frac{3,14 x 0,0254^2}{4} \right) x 17,72 = 0,00897 \text{ m}^3/\text{sn} \quad \text{veya} \quad 8,97 \quad \text{lt/sn}$$

bulunur.

7.3. Hız ve Debi Değerlerinin Yorumu

Düşey yükseklik 4 m ve 16 m'dir. Bu değerlerin karekökleri sırası ile 2 ve 4'tür. Başka bir anlatımla ikinci değer birincinin 2 katıdır. 16 m yükseklikte elde edilen hız değeri 4 m yükseklik için elde edilen değer iki katıdır. Sonuç olarak su hızı ve debisi düşey yüksekliğinin karekökü ile doğru orantılı artmaktadır.

4. BORU İÇERİSİNDE AKIM

4.1 GİRİŞ

En kesitin tamamen su ile dolu aktığı ve hiçbir akışkan zerreciğin atmosferle temas etmediği akımlara **basınçlı akım** adı verilir. Özellikle inşaat ve çevre mühendisliğinde boru akımları ile ilgili çok uygulama vardır. Bunlara hidroelektrik tesisleri cebri boru akımlarını, su getirme tesisleri iletim ve şebke boru akımlarını örnek gösterebiliriz.

Su ile ilgili mühendislik çalışmalarında, örneğin debi bilindiğinde bu debiyi en ekonomik şekilde taşıyacak boru çapının, boru akımlarında yük (enerji) kayıplarının hesaplanması gerekir. Bu ve benzeri hesapların yapılabilmesi için boru içerisindeki akımın mekaniğinin bilinmesi gerekir.

Bu bölümde, boru akımları, boru akımlarında yük (enerji) kayıpları hakkında bilgiler verilip uygulamaya dönük örnek problemler çözülecektir.

4.2 SÜREKLİ ENERJİ KAYIPLARI

Üçüncü bölümde açıklandığı gibi birim ağırlığa sahip sıvı zerreciği bir noktadan diğerine giderken sürtünmeler sonucu ortaya çıkan ısı nedeniyle bir miktar enerji kaybeder. Bu enerji kaybı boru boyunca sürekli olduğu için **sürekli enerji kaybı** adı ile anılır. Sürekli yük kaybının hesaplanmasında; **Darcy-Weisbach** denklemi kullanılır.

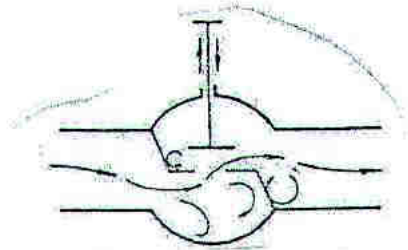
$$h_{cs} = f(L/D).(V^2/2g) \quad (4.1)$$

Burada;

h_{cs}	= Sürekli yük kaybı	(m)
f	= Sürtünme katsayısı	(Boyutsuz)
L	= Boru uzunluğu	(m)
D	= Boru çapı	(m)
V	= Ortalama hız	(m/s)
g	= Yer çekimi ivmesi	(9,81 m/s ²)

4.3 YERSEL ENERJİ KAYIPLARI

Bir boru sistemi, düzgün borularla ve bu boruları birbirine sadece bağlayan (manşon) veya özel bağlantı parçalarının dirsekler, dallanmalar, kesit değişimleri (rekor parçaları) olabilir. Böyle bir bağlantıda, örneğin bir vanada, akımın şematik görünüşünü inceleyelim (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Vanada yersel enerji kayıpları

Vana içinin geometrik yapısı nedeniyle akımdan ayrılmalar ve çeviriler oluşacaktır. Çevirilerin oluşması akışkan parçacıklarının birbiri ile sürtünmesi olup bu sürtünme sonucu akışkan enerjisinin bir kısmı ısıya harcar yani fazladan bir enerji kaybeder. Bu enerji kaybı vananın olduğu yerde meydana geldiği için **yersel enerji kaybı** adını alır. Daha önce Darcy-Weisbach denklemi ile belirlenen sürekli enerji kaybının boru boyu ile doğru orantılı olduğunu söylemiştik. O halde sürekli enerji kaybı boru boyuna bağlı olmasına karşın enerji kaybı yersel değişiklikten kaynaklanmaktadır.

Genelde yersel kayıp büyüklüğü; hız değişiminin ani yada yavaş gerçekleşmesine bağlıdır. Değişim ne kadar ani olursa kayıplarda o kadar büyük olmaktadır.

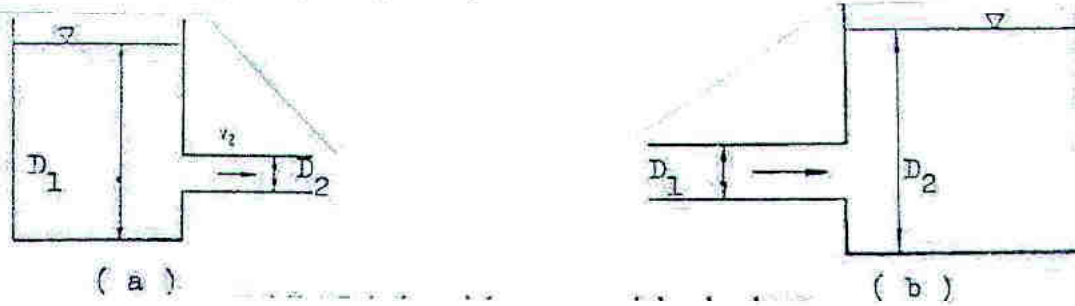
Yapılan araştırmalar yersel kayıpların boru içindeki akışkanın ortalama hızının karesi ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir. Yersel yük kaybı aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$h_{ky} = k \cdot (V^2) / 2g \quad (4.2)$$

Burada;

h_{ky}	= Yersel yük kaybı	(m)
k	= Yersel kayıp katsayısı	(Boyutsuz)
V	= Kesitsel ortalama hızı	(m/s)
g	= Yer çekimi ivmesi	(9,81 m/s ²)

Yersel kayıp katsayısı yersel konumlara göre değişim gösterir. Örneğin Şekil 4.2 de görüldüğü gibi eğer boru bir hazneden çıkıyor yada hazneye giriyor ise ani genişleme ve ani daralma nedeni ile yersel yük kaybı oluşur.



Şekil 4.2 Ani daralan ve ani genişleyen boru

Hazneden boruya giriş halinde (Şekil 4.2a) yersel yük kaybı;

$$h_{ky} = 0,5 V^2 / 2g \quad (4.3)$$

denklemleri ile hesaplanır. Yani $k = 0,5$ dir.

Borudan hazneye giriş halinde ise (Şekil 4.2b) yersel yük kaybı

$$h_{ky} = V^2 / 2g \quad (4.4)$$

denklemleri ile hesaplanır. Yani $k = 1$ dir.

4.4 BORULARIN HİDROLİK HESABI

Buraya kadar verilen bilgiler varlığında boruların hidrolik hesabı yapılabilir. Aşağıda bu hesaplar da kullanılacak denklemler özet olarak verilmiştir. Bunun için Şekil 4.3 de gösterilen boru düzeninde yersel yük kaybına neden olan bir A engeli bulunsun. Kullanacağımız denklemler;

a. Süreklilik denklemi

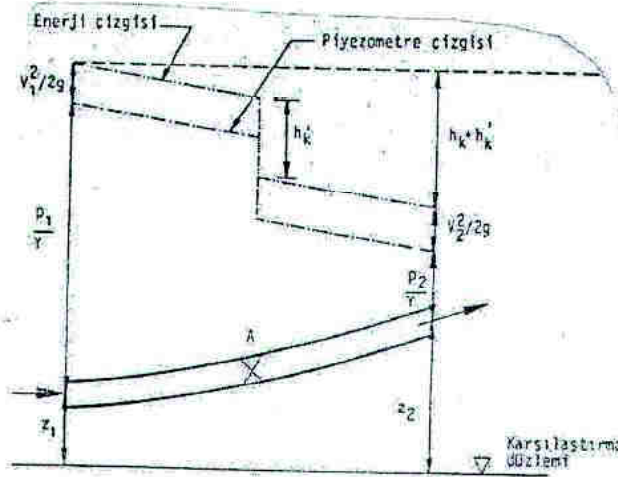
$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (4.5)$$

b. Enerji denklemi (Bernoulli Denklemi)

Enerji denklemi iki kesit için

$$(V_1^2 / 2g) + (P_1 / \gamma) + Z_1 = (V_2^2 / 2g) + (P_2 / \gamma) + Z_2 + (h_{ks} + h_{ky}) \quad (4.6)$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.3 Boru akımlarında sürekli ve yersel yük kayıpları

(4.6) denkleminde h_{ks} ve h_{ky} olmak üzere iki tip enerji kaybı görülmektedir.

Bunlardan h_k sürtünme sonucu boru boyunca oluşan toplam sürekli enerji kaybı olup borunun L uzunluğu boyunca meydana gelen enerji kaybıdır.

$$h_{ks} = f \cdot (L/D) \cdot (V^2 / 2g)$$

h_{ky} ise bir boru bağlantısında meydana gelen yersel enerji kaybı olup;

$$h_{ky} = k \cdot V^2 / 2g \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

k değeri yersel kaybı meydana getiren geometriye göre ilgili bağıntı, tablo ya da grafiklerden bulunur.

Sonuç olarak boru sistemlerinde sürekli ve yersel yük kayıplarının doğru hesaplanması özel önem taşır. Zira bu kayıplar hesaplandığında sistem verimli çalıştığı gibi ekonomik bir projelendirme de gerçekleştirilmiş olur.

ÖRNEK 4.1:

Bir su deposundan çapı $D = 20$ cm, uzunluğu $L = 250$ m olan bir boru ile $Q = 150$ lt/s lik debi taşınacaktır. Bu boruya ait sürtünme katsayısı $f = 0,0135$ olarak bulunmuştur. Sistemde oluşan toplam yük kaybını hesaplayınız.

ÇÖZÜM:

1. Boruda su hızı

$$V = Q/A = 0,15 / (\pi D^2/4) = 0,15 / (3,14 \cdot 0,2^2) / 4 = 4,78 \text{ m/s}$$

2. Sürekli (h_{ks}) yük kaybı

$$h_{ks} = f(L/D)(V^2/2g) = 0,0135 (250/0,2) (4,78^2/19,62) = 19,65 \text{ m}$$

Yersel (h_{ky}) yük kaybı

$$h_{ky} = k(V^2/2g) = 0,5 (4,78^2/19,62) = 0,58 \text{ m olarak hesaplanır.}$$

Depodan boruya giriş kayıp katsayısı $k = 0,5$ alınmıştır.

3. Toplam yük kaybı

$$h_{ks} + h_{ky} = 19,65 + 0,58 = 20,23 \text{ m dir.}$$

ÖRNEK 4.2:

Çapı $D=15$ cm, uzunluğu $L=100$ m olan boru sisteminde sürekli yük kaybı $h_{ks}=8,5$ m, boru sürtünme katsayısı $f=0,0145$ olduğuna göre borudan akan suyun debisini hesaplayınız.

ÇÖZÜM:

Sürekli yük kaybı, $h_k = f \cdot L / D \cdot (V^2 / 2g) = 0,0145 \cdot 100 / 0,15 \cdot (V^2 / 19,62) = 8,5$ m olduğuna göre V hesaplanabilir.

Bu denklemden $V = 4,15$ m/s hesaplanır.

$$Q=A \cdot V = (\pi \cdot D^2 / 4) \cdot V = (3,14 \cdot 0,15^2 / 4) \cdot 4,15 = 73,3 \text{ lt/s hesaplanır.}$$

ÖRNEK 4.3:

Uzunluğu $L=200$ m olan boru sisteminde sürekli yük kaybı $h_{ks}= 65$ m, sürtünme katsayısı $f=0,016$ m ve sistemde taşınan suyun debisi 50 lt/s olduğuna göre, boru çapını ve akımın hızını hesaplayınız.

ÇÖZÜM:

$$h_{ks} = f(L/D)(V^2/2g) \text{ ise } 65 = 0,016 (200/D) (0,05/(3,14D^2/4))^2 / 19,62$$

$$D^5 = 0,000010179 \text{ ise } D = (0,000010179)^{1/5} = 0,1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

$$A = \pi D^2 / 4 = (3,14 \cdot 0,1^2) / 4 = 0,00785 \text{ m}^2$$

$$V = Q/A = 0,05 / 0,00785 = 6,34 \text{ m/s}$$

ÖRNEK 4.4:

Uzunluğu $L=1500$ m olan dökme demir boru ile bir su deposundan bir yerleşim alanına içme ve kullanma suyu taşınmaktadır. Sürekli yük kayıplarının $h_{ks} = 77$ m olarak hesaplandığı sistemde $Q = 174$ lt/s lik debinin taşındığı boru çapını (D) hesaplayınız. Boru sürtünme katsayısı $f = 0,02$ dir.

ÇÖZÜM:

Boru sisteminde sürekli yük kaybı;

$$h_k = f \cdot (L/D) \cdot (V^2/2g) \text{ eşitliğiyle hesaplanır.}$$

Diğer taraftan süreklilik denklemi;

$$Q = A \cdot V \text{ olup}$$

$$V = A \cdot Q \text{ veya } V = Q / (\pi D^2/4) \text{ yada } V = 4Q / \pi D^2 \text{ dir.}$$

$h_k = f \cdot (L/D) \cdot (V^2/2g)$ denkemine V değeri yazılırsa;

$$h_k = f \cdot (L/D) \cdot (4Q / \pi D^2)^2 / 2g$$

$$h_k = f \cdot (L/D) \cdot (16Q^2 / \pi^2 D^4) / 2g$$

$$h_k = f \cdot (L/D) \cdot (8Q^2 / \pi^2 D^4) / g$$

$$h_k = f \cdot (8LQ^2 / \pi^2 D^4 g)$$

$$h_k \cdot \pi^2 \cdot D^4 \cdot g = f \cdot 8L \cdot Q^2$$

$$D^4 = (f \cdot 8L \cdot Q^2) / (h_k \cdot \pi^2 \cdot g)$$

Sonuçta boru çapı;

$$D^4 = (0,02 \cdot 8 \cdot 1500 \cdot 0,174^2) / (77 \cdot 3,14^2 \cdot 9,81)$$

$$D^4 = 0,0009756$$

$$D = (0,0009756)^{1/4} = 0,2499 \text{ m veya } D \cong 0,25 \text{ m hesaplanır.}$$

MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
MANİSA TEKNİK BİLİMLER
MESLEK YÜKSEKOKULU
İNŞAAT TEKNOLOJİSİ PROGRAMI

HİDROLOJİ

DERS NOTLARI

Dr.Öğr.Üyesi Barış YILMAZ

MANİSA-2018

1. GİRİŞ

1.1.HİDROLOJİNİN TANIMI

Canlıların susuz ortamda yaşamaları mümkün olmadığından insanlar tarihin başlangıcından itibaren su ile ilgilenmişler, suyun özelliklerini tanımaya, hareketlerini yönelten kanunları belirlemeye, yaratabileceği tehlikeleri önlemeye ve daha da önemlisi ondan en iyi şekilde yararlanmaya çalışmışlardır.

Suyun hareketini inceleyen bilime hidromekanik, bu bilimin teknikteki uygulamasına hidrolik adı verilir. **Hidroloji** ise suyun yer küresindeki dağılımını ve özelliklerini inceler. Daha geniş anlamda hidroloji, yer küresinde yani yer üstünde, yer altında ve atmosferde suyun çevrimini, dağılımını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, çevreyle ve canlılarla olan karşılıklı ilişkilerini inceleyen temel ve uygulamalı bir bilim dalıdır.

1.2. HİDROLOJİNİN ÖNEMİ

Günümüzde suyun kontrolü ve kullanılması ile ilgili mühendislik çalışmaları su kaynaklarının geliştirilmesi adı altında toplanmaktadır. Bunlar;

1. **Suyun kullanılması ile ilgili çalışmalar:** Su getirme, sulama, su kuvveti tesisleri ve akarsularda ulaşım gibi.
2. **Su miktarının kontrolü ile ilgili çalışmalar:** Taşkınların önlenmesi, drenaj, kanalizasyon tesisleri gibi.
3. **Su kalitesinin kontrolü ile ilgili çalışmalar:** Su kirlenmesinin önlenmesi.

Yukarıda sayılan çalışmaların planlama, projelendirme, inşaat ve işletme aşamalarında suyun miktar ve özellikleri ile ilgili bazı soruların cevaplandırılması istenir.

Örneğin taşkınlardan koruma amaçlı inşa edilecek bir barajın hesabında belli bir süre (100 yıl gibi) içinde görülebilecek en büyük taşkın tahmini gerekir.

Öte yandan bir su kuvveti tesisinin güvenilir gücünün belirlenmesi için akarsuda belli bir süre boyunca (yılda 180 gün) uzun gözlem yılları ortalama debisinin bilinmesi gerekir. Bu gibi örnekleri daha da çoğaltabiliriz.

Su kaynaklarının geliştirilmesi ile ilgili mühendislik çalışmalarının hemen hepsinde karşımıza çıkan bu gibi soruları hidroloji bilimi cevaplandırır. Bu cevapların yeterli doğrulukta olması gerekir. Zira ekonomik nedenlerle hidrolojik hesaplarda diğer mühendislik hesaplarında olduğu kadar büyük emniyet katsayılarının kullanılmasına izin verilmez. Örneğin tahmin edilenden büyük bir taşkın gelmesi barajın yıkılmasına yol açabilir. Yine örneğin bir su kuvveti tesisi için küçük debi tahmini beklenen gücün elde edilmesini engeller. Sonuçta bazı hallerde tehlikeli bazı hallerde de ekonomik yönden sakıncalı sonuçlar ortaya çıkabilir.

1.3. HİDROLOJİNİN METODLARI

Hidrolojik çalışmalar genellikle aşağıdaki sırayı izlerler:

1. Ölçmeler: Çalışmaların ilki olan ölçmelerle; yağış, buharlaşma ve akım gibi doğal veriler toplanır. Bunun için yeter sıklıkta ölçme ağı kurulması ve ağıdaki ölççeklerin itinalı okunması gerekir.

2. Verilerin işlenmesi: Ölçmeler sonunda elde edilen veriler çok sayıda ve dağınıktır. Verilerin kullanılabilmesi için değerlendirmeye ve yorumlamaya uygun hale getirilmeleri gerekir. Bunun için sistem analizi ve bilgi işleme yöntemleri kullanılır.

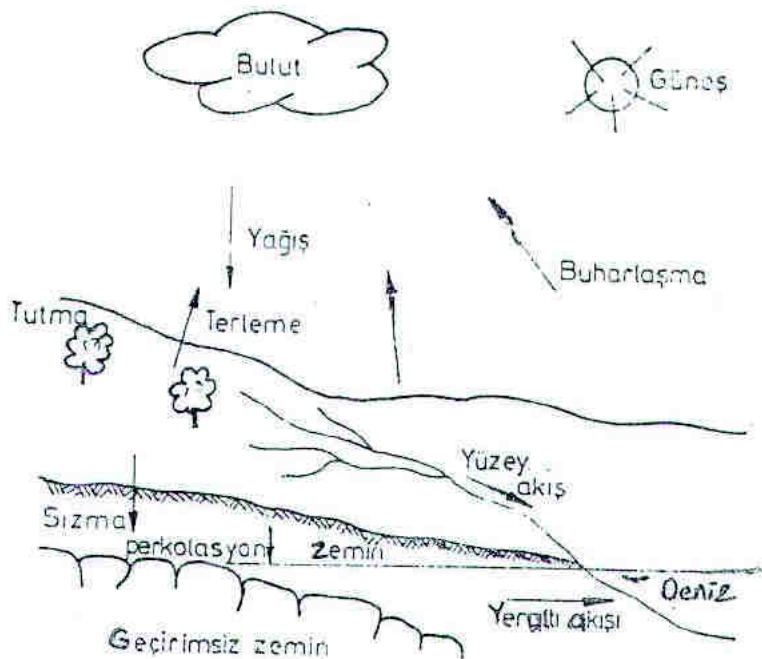
3. Matematik modeller kurulması: Hidrolojik olayları yöneten kanunların belirlenmesi için bu olayların matematik modellerinin kurulması ve bunların ölçme sonuçları ile karşılaştırarak kontrol edilmesi gerekir.

4. Olasılık (ihtimal) hesabı ve istatistik yöntemlerin uygulanması: Hidrolojik olayların değerleri fazla sayıda ve çok değişkendir. Bu değerler önceden kesinlikle belirlenemez. Örneğin 30 yıllık ölçme sonuçlarını kullanarak bir akarsuda 100 yıl içinde görülebilecek en büyük taşkını bilmek mümkün değildir. Bu taşkın ancak mühendislik istatistiği varlığında tahmin edilebildiğinden istatistiğin hidrolojideki önemi büyüktür.

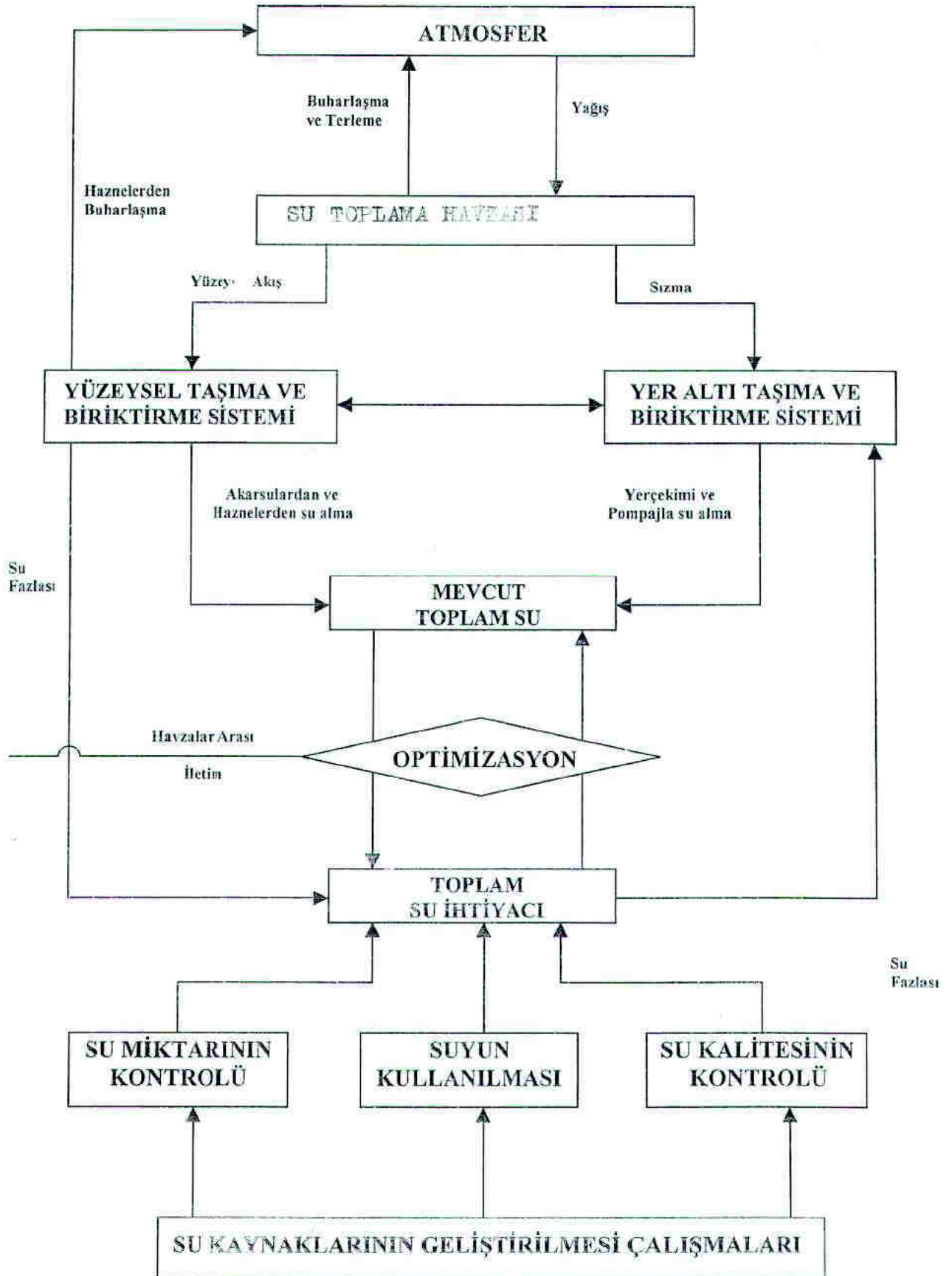
1.4. HİDROLOJİK ÇEVİRİM

Su doğada çeşitli yerlerde ve çeşitli hallerde (katı, sıvı, gaz) bulunur ve yer küresinde sürekli çevrim halindedir. İşte suyun doğada dönüp durduğu yolların tümüne birden hidrolojik çevrim denir (Şekil 1.1).

Hidrolojik çevrimi incelemeye çevrimin herhangi bir noktasından başlayabiliriz. Atmosferden başladığında, Şekil 1.1'de görüldüğü gibi, atmosferde buhar halinde bulunan su yoğunlaşarak yağış şeklinde yeryüzüne düşer. Yeryüzüne düşen yağışın büyük bir bölümü (% 60-70) zeminden ve su yüzeyinden buharlaşarak yada bitkilerden terleme yolu ile denizlere ulaşmadan atmosfere geri döner. Ayrıca bir kısmı bitkiler tarafından tutulur. Bir kısmı ise zemin içine süzülerek zemin nemini sağlar yada yeraltı suyuna karışır. Bunların dışında kalan yağışın bir kısmı yerçekimi etkisi ile yüzey akışa geçip akarsulara oradan da denizlere ulaşır. Denizlere ulaşan su daha sonra buharlaşarak atmosfere geri döner.



Şekil 1.1. Hidrolojik çevrimin başlıca elemanları.



Şekil 1.2. Bir akarsu havzası için insan tarafından değiştirilmiş şekliyle hidrolojik çevrim

Hidrolojik çevrim için gerekli enerji güneşten ve yerçekiminden sağlanır.

Yeryüzünde insanlar hidrolojik çevrimi etkilemekte yada değiştirmektedir (Şekil 1.2). Şekil 1.2 de insanlar tarafından değiştirilmiş şekli ile hidrolojik çevrim gösterilmiştir. Bu şeklin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi; insanlar tarafından inşa edilen baraj ve göletlerin biriktirme hızlarından buharlaşma yolu ile önemli miktarda su atmosfere geri dönmektedir.

İnsanlar tarafından değiştirilmiş hidrolojik çevrimin Türkiye için sayısal değerleri Şekil 1.3 de gösterilmiştir.

15. SU DENGESİ DENKLEMİ

Hidrolojik çevrimin herhangi bir parçasında suyun ne yok olduğu ne de yoktan var olduğu:

$$X - Y = \Delta S \quad (1.1)$$

şeklinde verilen su dengesi denklemi ile ifade edilir.

X = Hidrolojik sistemde belli bir zaman aralığında giren su miktarı

Y = O zaman aralığında sistemden çıkan su miktarı

ΔS = Bu zaman aralığında hidrolojik sistemde biriken yada azalan su miktarı

Su dengesi denkleminin ögeleri Şekil 1.4 de gösterilmiştir. Şekil 1.4 ün incelenmesinden de anlaşılacağı gibi hidrolojik sisteme giren su miktarı:

x_1 = Yağış

x_2 = Yüzeysel akış

x_3 = Yeraltı akışı

bileşenlerinden,

sistemden çıkan su miktarı ise

y_1 = Buharlaşma ve terleme

y_2 = Yüzeysel akış

y_3 = Yeraltı akışı

bileşenlerinden,

sistemde biriken su miktarı ise

ΔS_1 = Tutma

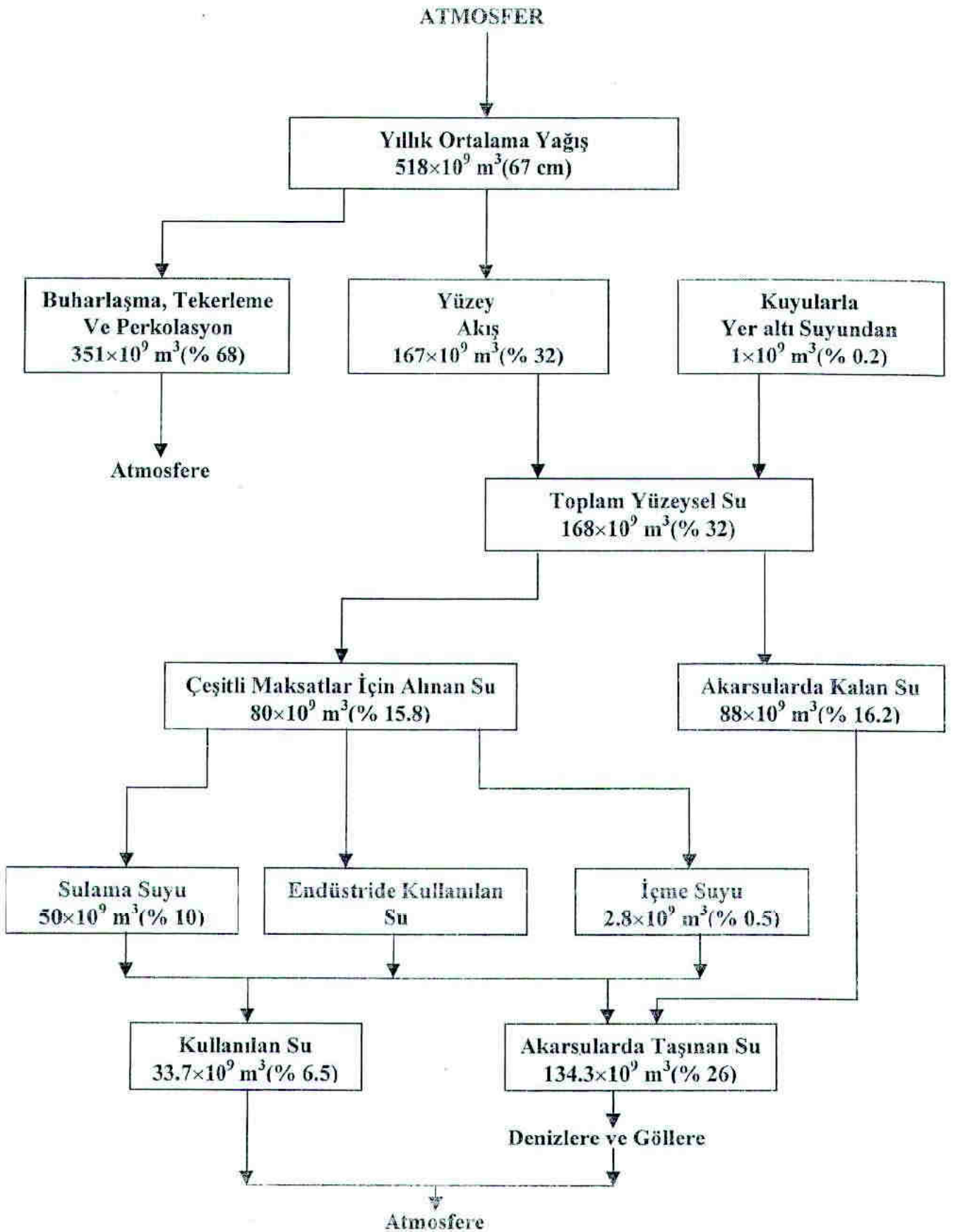
ΔS_2 = Yüzeysel biriktirme

ΔS_3 = Yeraltında biriktirme

ΔS_4 = Kar örtüsü

ΔS_5 = Zemin nemi

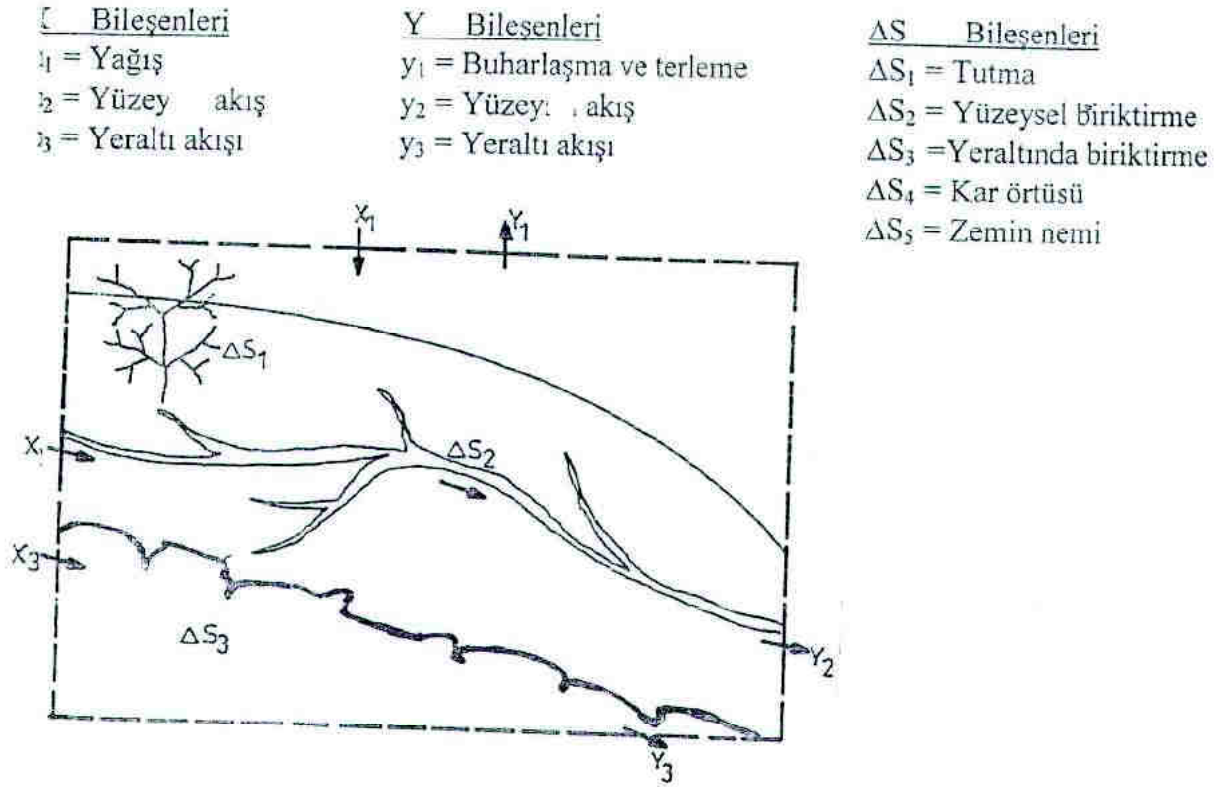
bileşenlerinden oluşmaktadır.



Şekil 1.3. Türkiye için hidrolojik çevrimin elemanlarının sayısal değerleri

ΔS nin işareti sistemde depolanan su miktarının artması halinde artı, azalması halinde eksi olur.

Herhangi bir Δt zaman aralığında $X > Y$ ise yani hidrolojik sisteme giren su miktarı sistemden çıkan su miktarından fazla ise ΔS artı işaretli olur. Yani sistemde birikmiş olan su miktarı artar. Bunun tersi yani $X < Y$ ise ΔS eksi işaretli olur. Başka bir anlatımla hidrolojik sisteme giren su miktarı hidrolojik sistemden çıkan su miktarından azdır.



Şekil 1.4. Su dengesi denklemi öğelerinin bileşenleri

1.6. YER KÜRENİN SU DENGESİ

Doğa, su miktarı bakımından denge halindedir. Su tükenmeyen bir doğal kaynak olduğundan yerküresindeki toplam su miktarı zamanla değişmez. Zira uzun sürede hidrolojik çevrimin herhangi bir parçasına giren ve çıkan su miktarı birbirine eşittir. Örneğin yerküresine bir yılda düşen yağış o yıl buharlaşarak havaya geri dönen su miktarına eşittir. Bu miktar yılda ortalama 100 cm kadardır.

Dünyada karalar üzerine düşen yıllık yağış 75 cm, denizler üzerine düşen yıllık yağış ise 107 cm dir. Karalar üzerinden olan yıllık buharlaşma 48 cm, denizler üzerinden olan yıllık buharlaşma ise 118 cm dir.

Olay kısa süreli incelendiğinde bile büyük sayısal değişiklikleri görmek olasıdır. Bir yağış ölçüğünde örneğin yağışlı bir ay içinde günlük yağış miktarları birbirinden çok farklı olabilir. Bu yağış ölçüğünde olduğu gibi etki güçleri ve türleri iyi belirlenemeyen çok sayıda faktör hidrolojik olayların incelenmesini güçleştirir.

Herhangi bir zaman aralığında suyun yer küresinin çeşitli kısımlarındaki dağılımı incelendiğinde suyun çok büyük kısmının (%97.4) denizlerde (hidrosfer) bulunduğunu görürüz (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. Yer küresinin su kaynakları

Kaynaklar	Hacim (10^6 km^3)	%
Denizler	1348.000	97.39
Buzullar	27.820	2.010
Yer altı Suyu	8.062	0.580
Göller ve Akarsular	0.225	0.020
Atmosfer	0.013	0.001
Toplam	1384.120	100.00

Karalarda (litosfer) ve havada (atmosfer) bulunan $36 \times 10^6 \text{ km}^3$ suyun kendi içinde dağılımı ise Çizelge 1.2 de gösterilmiştir.

* Çizelge 1.2. Yer küresinde suyun dağılımı

Yer Küresinin Kısımları	Su (%)
Kutup buzulları	77.23
Yüzeğe yakın yeraltı suyu	9.86
Derin yeraltı suyu	12.35
Zemin nemi	0.17
Göller	0.35
Akarsular	0.003
Atmosfer	0.04

Çizelge 1.2 nin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi akarsularda ve atmosferde bulunan su yüzdeleri çok küçüktür. Ancak gerek atmosferde gerekse akarsularda su sürekli hareket halindedir. Örneğin akarsular denizlere yılda yaklaşık $40 \times 10^3 \text{ km}^3$ su taşımaktadır. Diğer taraftan yeryüzüne yılda ortalama 100 cm yağış düşmekte ve karalara düşen yağışın 1/3 kadarı yüzeysel akışla akarsulara oradan da denizlere ulaşmaktadır.

Ülkemize yılda yağış halinde düşen ortalama $509 \times 10^9 \text{ m}^3$ suyun % 38'i ($186.5 \times 10^9 \text{ m}^3$) akarsularda akış halinde değişik su kaynaklarına (deniz, göl vb.) ulaşmaktadır. Türkiye'nin kullanılabilir yer altı suyu potansiyelinin ise yılda $9.5 \times 10^9 \text{ m}^3$ olduğu tahmin edilmektedir.

1.7. ÖRNEK PROBLEMLER

1. BARAJ HAZNESİNDE SU DENGESİ (I)

Demirköprü Baraj haznesinde 1971 yılı Haziran ayı başında $495,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ su bulunmaktadır. Bu ay Gediz Nehri ortalama debisi $15.8 \text{ m}^3/\text{s}$ dir. Haziran ayında baraj haznesinden $8.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ su buharlaşmıştır. Hiç yağışın düşmediği bu ayda barajdan $50,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ su çekilmiştir. Haziran ayı sonunda barajda $476,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ su bulunduğuna göre baraj haznesinden bir ay boyunca ne kadar su sızmıştır?

ÇÖZÜM

Denklem 1.1 deki bileşenler Haziran ayı için hesaplandığında:

X bileşenleri:

X in tek bileşeni olup Haziran ayında Gediz Nehri akım hacmidir.

$$X = 30 \times 86\,400 \times 15,8 = 41 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Y bileşenleri:

$$y_1 = 50,5 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ (Enerji üretim amaçlı çekilen su)}$$

$$y_2 = 8,5 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ (Göl yüzeyinden buharlaşan su)}$$

$$y_3 = F \text{ (Baraj gölünden 1 ay boyunca sızan su)}$$

Diğer taraftan Haziran ayı sonunda baraj haznesinde;

$$\Delta S = \Delta S_2 - \Delta S_1 = 476,4 - 495,5 = -19,1 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ su azalmıştır.}$$

Yukarıda bileşenlerin değerleri su dengesi denkleminde yazılırsa;

$$X - Y = \Delta S$$

$$X - (y_1 + y_2 + F) = \Delta S$$

$$41 \times 10^6 - (50,5 \times 10^6 + 8,5 \times 10^6 + F) = -19,1 \times 10^6$$

$$41 \times 10^6 - 59 \times 10^6 - F = -19,1 \times 10^6$$

olup bir ay boyunca baraj haznesinden sızan su hacmi;

$$F = (19,1 - 18,9) \times 10^6 = 1,1 \times 10^6 \text{ m}^3$$

bulunur.

2. BARAJ HAZNESİNDE SU DENGESİ (II)

1983 Haziran ayı Demirköprü Barajı haznesi yüzey alanı $32.207 \times 10^6 \text{ m}^2$ dir. Aynı ayda baraj haznesine dökülen Gediz nehri ortalama debisi $10.39 \text{ m}^3/\text{s}$, yine aynı ayda haznedeki çekilen suyun ortalama debisi $14.39 \text{ m}^3/\text{s}$ dir. Hazneye 8.4 mm yağışın düştüğü bu ayda haznedeki su buharlaşmıştır. Bu ay boyunca haznedeki $0.28 \times 10^6 \text{ m}^3$ su sızdığına göre baraj haznesindeki aylık su hacmi değişikliğini,

ÇÖZÜM

Su dengesi denklemini $X - Y = \Delta S$ şeklinde olup, denklemdaki X bileşenlerini

x_1 : Baraj haznesine Gediz nehrinin taşıdığı su miktarı

x_2 : Baraj haznesine düşen yağış

oluşturur.

X bileşenleri (mm):

$$x_1 = 10.39 \times 30 \times 86400 = 26.93 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ veya } 26.93 \times 10^6 \text{ m}^3 / 32.207 \times 10^6 \text{ m}^2 = 0.836 \text{ m} = 836 \text{ mm}$$

$$x_2 = 8.4 \text{ mm}$$

Y bileşenleri:

$y_1 =$ Akış

$y_2 =$ Buharlaşma

$y_3 =$ Sızma

$$y_1 = 14.39 \times 30 \times 86400 = 37.30 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ veya } 37.30 \times 10^6 / (32.207 \times 10^6) = 1.158 \text{ m} = 1158 \text{ mm}$$

$$y_2 = 0.2142 \times 32.207 \times 10^6 = 6.89 \times 10^6 \text{ veya } 0.2142 \text{ m} = 214.2 \text{ mm}$$

$$y_3 = 0.28 \times 10^6 / 32.207 \times 10^6 = 0.0087 \text{ m} \approx 8.7 \text{ mm}$$

$$32.207 \times 10^6 = 0.0087 \text{ m} = 8.7 \text{ mm}$$

Haziran ayında baraj haznesi hacminde değişme (ΔS):

$$X - Y = \Delta S$$

$$(x_1 + x_2) - (y_1 + y_2 + y_3) = \Delta S$$

$$(836 + 8.4) - (1158 + 214.2 + 8.7) = \Delta S = -536.5 \text{ mm} \rightarrow$$

$$\Delta S = 844.4 - 1380.9 = -536.5 \text{ mm} = -53.65 \text{ cm} \quad \Delta S = -0.5365 \times 32.207 \times 10^6 = -17.28 \times 10^6 \text{ m}^3$$

değerleri Haziran ayında baraj haznesi su seviyesinde ~~53.65~~ cm alçalma olduğunu veya $17.28 \times 10^6 \text{ m}^3$ suyun azaldığını gösterir.

53,65 cm

3. BARAJ HAZNESİNDE SU DENGESİ (III)

Bir şehrin su ihtiyacını karşılamak için yapılan bir baraj haznesinin yüzey alanı 17 km^2 , hazneyi besleyen akarsuyun havza alanı 50 km^2 dir. Şehrin günlük ortalama su ihtiyacı $50 \times 10^3 \text{ m}^3$ tür.

Yıllık yağış yüksekliğinin 880 mm , yıllık buharlaşma yüksekliğinin 1250 mm ve havza yıllık yüzey akış yüksekliğinin 330 mm olduğu bir yılda hazne hacminde ne kadar değişme olur?

ÇÖZÜM

Su dengesi denklemi; denklem (1.1):

$$X - Y = \Delta S$$

şeklinde olup, denklemdeki X bileşenleri:

x_1 : Baraj haznesine 1 yıllık zaman aralığında ulaşan akış

x_2 : Baraj haznesine 1 yıllık zaman aralığında düşen yağıştan

oluşur. Bu bileşenlerin (m^3) cinsinden değerleri:

$$x_1 = 0.33 \times 50 \times 10^6 = 16.5 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$x_2 = 0.88 \times 17 \times 10^6 = 15 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$x_1 + x_2 = X = 31.5 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Su dengesi denklemindeki Y bileşenlerini:

y_1 : Baraj haznesinden 1 yıllık zaman aralığında buharlaşan su miktarı
 y_2 : Şehrin 1 yıllık su ihtiyacı

oluşturur. Bu bileşenlerin (m^3) cinsinden değerleri:

$$\begin{aligned} y_1 &= 1.25 \times 17 \times 10^6 = 21.25 \times 10^6 \text{ m}^3, \\ y_2 &= 365 \times 0.05 \times 10^6 = 18.25 \times 10^6 \text{ m}^3 \\ Y &= 39.50 \times 10^6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Hazne hacminde yıllık değişme; denklem (1.1) ile

$$\Delta S = 31.5 \times 10^6 - 39.50 \times 10^6 = -8 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ tür. Yada hazne hacminde } 8 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ su azalmıştır.}$$

4. HAVZADA SU DENGESİ

Alanı 200 km^2 olan bir akarsu havzasına Eylül ayında 50 mm yağış düşüyor. Havzanın çıkış noktasında bu ayda ölçülen ortalama debi $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$ dir. Havzadaki gözlem kuyularında yapılan ölçümlerde bu ay boyunca yeraltı su düzeyinin 60 mm alçaldığı görülmüştür. Eylül ayı evapotranspirasyon yüksekliği 100 mm dir. Bu ay boyunca zemin nemi ne kadar değişmiştir?

ÇÖZÜM

Denklem (1.1) $X - Y = \Delta S$ şeklinde olup bir aylık zaman aralığında denklem bileşenleri mm olarak:

X bileşeni sadece yağış olup,

$$x_1 = \text{Yağış} = 50 \text{ mm}$$

Y bileşenleri:

Havzadan çıkan aylık debi

$$y_1 = 2,3 \times 86400 \times 30 / 200 \times 10^6 = 0,03 \text{ m} = 30 \text{ mm}$$

Evapotranspirasyon:

$$y_2 = 100 \text{ mm}$$

Yer altı su seviyesindeki azalma $\Delta S_1 = -60 \text{ mm}$ olup bu değerler denklem (1.1) de yerlerine yazıldığında;

$$\begin{aligned} X - (y_1 + y_2) &= \Delta S_1 + \Delta S_2 \\ 50 - (30 + 100) &= -60 + \Delta S_2 \\ \Delta S_2 &= -20 \text{ mm} \end{aligned}$$

hesaplanır. Bu sonuç bize, zemin neminde 20 mm azalma olduğunu yada başka bir anlatımla evapotranspirasyon için gerekli suyun kısmen zemin neminden karşılandığını gösterir.

Su Kaynakları

Dünya'daki toplam su miktarı 1,4 milyar km^3 'tür. Bu suların %97,5'i okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su olarak, %2,5'i ise nehir ve göllerde tatlı su olarak bulunmaktadır. Bu kadar az olan tatlı su kaynaklarının da %90'ının kutuplarda ve yeraltında bulunması sebebiyle insanoğlunun kolaylıkla yararlanabileceği elverişli tatlı su miktarının ne kadar az olduğu araştırılmaktadır.

Türkiye'de yıllık ortalama yağış yaklaşık 643 mm olup, yılda ortalama 501 milyar m^3 suya tekabül etmektedir. Bu suyun 271 milyar m^3 'ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m^3 'lük kısmı yeraltı suyunu beslemekte, 158 milyar m^3 'lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsu vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 69 milyar m^3 'lük suyun 28 milyar m^3 'ü pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Ayrıca komşu ülkelerden ülkemize gelen yılda ortalama 7 milyar m^3 su bulunmaktadır. Böylece ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli 193 milyar m^3 olmaktadır.

Yeraltı suyunu besleyen 41 milyar m^3 de dikkate alındığında, ülkemizin toplam yenilenebilir su potansiyeli brüt 234 milyar m^3 olarak hesaplanmıştır. Ancak günümüz teknik ve ekonomik şartları çerçevesinde, çeşitli maksatlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yurt içindeki akarsulardan 95 milyar m^3 , komşu ülkelere yurdumuza gelen akarsulardan 3 milyar m^3 olmak üzere, yılda ortalama toplam 98 milyar m^3 'tür. 14 milyar m^3 olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m^3 olup, 44 milyar m^3 'ü kullanılmaktadır.

SU KAYNAKLARI POTANSİYELİ

Yıllık ortalama yağış	643	mm/yıl
Türkiye'nin yüzölçümü	783.577	km^2
Yıllık yağış miktarı	501	milyar m^3
Buharlaşma	274	milyar m^3
Yer altına sızma	41	milyar m^3
Yüzey Suyu		
Yıllık yüzey akışı	186	milyar m^3
Kullanılabilir yüzey suyu	98	milyar m^3
Yer Altı Suyu		
Yıllık çekilebilir su miktarı	14	milyar m^3
Toplam Kullanılabilir Su (net)	112	milyar m^3
Gelişme Durumu		
DSİ Sulamalarında Kullanılan	32	milyar m^3
İçmesuyunda Kullanılan	7	milyar m^3
Sanayide Kullanılan	5	milyar m^3
Toplam Kullanılan Su	44	milyar m^3

Su varlığına göre ülkeler aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır:

Su Fakirliği : Yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1.000 m^3 'ten daha az.

Su Azlığı : Yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 2.000 m^3 'ten daha az.

Su Zenginliği : Yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 8.000-10.000 m^3 'ten daha fazla.

Türkiye su zengini bir ülke değildir. Kişi başına düşen yıllık su miktarına göre ülkemiz su azlığı yaşayan bir ülke konumundadır. Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1.519 m^3 civarındadır.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2030 yılı için nüfusumuzun 100 milyon olacağını öngörmüştür. Bu durumda 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1.120 m^3 /yıl civarında olacağı söylenebilir. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisi ile su kaynakları üzerine olabilecek baskıları tahmin etmek mümkündür. Ayrıca bütün bu tahminler mevcut kaynakların 20 yıl sonrasına hiç tahrir edilmeden aktarılması

1. YAĞIŞ

Atmosferden sıvı yada katı halde yeryüzüne düşen sulara yağış denir. Sıvı haldeki yağış yağmur şeklindedir. Katı haldeki yağış ise kar, dolu, çığ ve kırağı şeklinde olabilir. Yağmur ve kar hidrolojik bakımdan iki önemli yağış şeklidir.

Yağış, meteoroloji mühendisliğinin ilgi alanına girer. Bu nedenle bu bölümde, daha çok yağmur ve kar ölçümleri ve bu ölçümlerle elde edilen yağış katsayılarının nasıl analiz edileceği anlatılacaktır.

2.1. YAĞIŞIN MEYDANA GELMESİ

Havadaki su buharının yağış halinde yeryüzüne düşmesi için aşağıdaki koşulların birlikte gerçekleşmesi gerekir.

Yağışın düştüğü bölgede atmosferde yeterli miktarda su buharı bulunması gerekir. Atmosferdeki su miktarının büyük bir kısmı deniz suyunun buharlaşmasından oluşur. Bu nedenle karalar üzerine düşen yağışın %90' ı denizlerden olan buharlaşma kaynaklıdır.

Hava soğumalıdır. Hava soğuyunca su buharı taşıma kapasitesi azalır ve yoğunlaşma olur. Soğuma mikron mertebesinde tozlar(organik cisim, kil daneleri, toz, duman, volkanik kül vb) üzerinde gerçekleşir. Bu tozlar atmosferde sürekli mevcuttur.

Su buharının yoğunlaşmasıyla bulutlar meydana gelir. Bulutlardaki su damlacıkları çok küçük (1-100 mikron arası) olup buharlaşma olmadan yeryüzüne düşmeyip sürekli atmosferde kalır. Bu damlacıkların yeryüzüne düşmesi için 1 mm kadar irilikte olması gerekir.

Bulutlardaki sıvı haldeki su miktarı çok düşük olduğundan (0.5 – 4 gr/m³) yağışın uzun süre devam etmesi için atmosferin alt tabakalarındaki su buharının sürekli olarak hava akımları ile yukarı yükselip yoğunlaşması gerekir.

Yağışın meydana gelmesi için soğuma da gereklidir. Soğuma havanın yukarı yükselmesi sonucu gerçekleşir. Zira yeryüzünden yukarı yükselen hava kütesinin sıcaklığı azalır.

Hava yükselmesinde de çeşitli etkenler rol oynar. Yükselme etkenine göre çeşitli yağış tipleri oluşur. Bunlar **konvektif, orografik ve cephe yağışlarıdır.**

Bunlardan **konvektif yağış**; yeryüzüne yakın havanın etrafı dağlarla çevrili bir bölgede yükselmesi sonucu oluşur. Bu tür yağışlar kısa süreli ancak şiddetlidir. İç Anadolu'da yaz akşamları görülen yağışlar bu türdendir. *Zirkivani yağmurları*

Orografik yağışlar denizden gelen nemli ve sıcak hava kütesi yükselirken bir dağ dizisini aşması sırasında oluşur. Toros dağlarının Akdeniz'e bakan yamaçlarına düşen yağışlar bu türdendir.

Cephe yağışları bir sıcak hava kütesi ile soğuk hava kütesinin atmosferde bir cephe boyunca karşılaşması sonucunda oluşur. Ülkemizde yağışların çoğu bu türdendir. Bu yağışların şiddeti orta olup süreleri uzundur.

2.2. YAĞIŞIN ÖLÇÜLMESİ

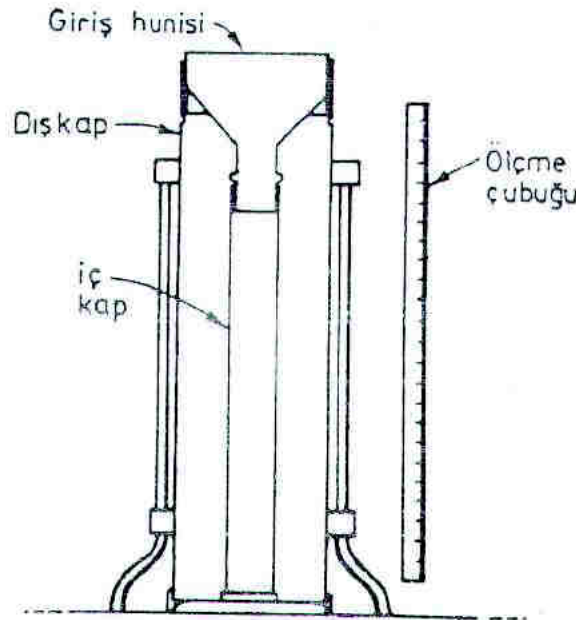
Belli bir zaman süresinde yatay bir yüzey üzerine düşen ve düştüğü yerde kalarak biriktiği kabul edilen su sütununun yüksekliği ile ifade edilir. Yağış yüksekliği hidrolojik çalışmalarda çoğu zaman mm cinsinden ölçülür.

2.2.1. Yağmurun Ölçülmesi

Yağmurun ölçülmesi yazıcı yada yazıcı olmayan ölçerlerde yapılır.

Yazıcı Olmayan Yağış Ölçerler (Plüvyometre): Düşey kenarlı standart biçimli kaplardır. Çok kullanılan bir plüvyometre tipi 20 cm çaplı silindir şeklindedir (Şekil 2.1). Bu kabın içine ilanı silindir alanının 1/10 kadar olan bir iç kap yerleştirilir. Şekilde görüldüğü gibi iç kabın ist yüzeyi de dış kapla aynı kesit alanına sahiptir. İç kapta toplanan yağış ölçme çubuğu ile ölçülür. Okuma 10 a bölünerek yağış yüksekliği elde edilir. 50 mm yağış olunca iç kap dolar. Bu değere ulaşmadan iç kap boşaltılır.

Plüvyometreler yağış yüksekliğinin zamanla değişimini kaydetmezler. Ancak belli zaman aralığındaki toplam yağışı verirler. Okumalar genellikle günde bir defa (bazen 6 veya 12 saatte bir) yapılır. Erişilmesi zor yerlerde uzun süre içinde yağışı toplamak için daha büyük larlar kullanılır.

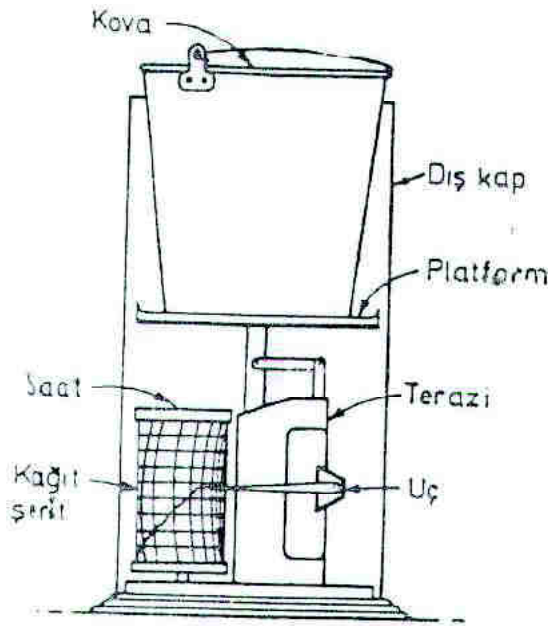


Şekil 2.1. Plüvyometre

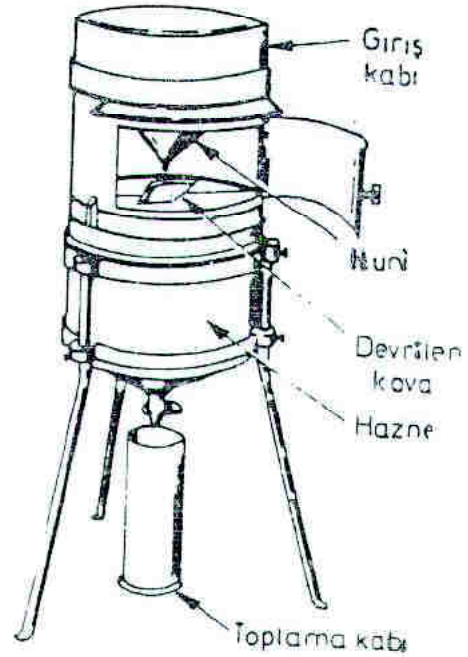
Yazıcı Yağış Ölçerler (Plüvyograf): Yağış yüksekliğinin zamanla değişimini kağıt üzerine kaydederler. Bunlardan iki tanesi aşağıda verilmiştir.

a. Tartılı: Bu tür ölçeklerde yağış bir kovada toplanır (Şekil 2.2). Yaya bağlı olan kova ayrılaşınca kağıt şeritle temas halindeki yazıcı ucu hareket ederek yağışı kaydeder. Bu tip plüvyometrelerle hassas ölçümler yapılabilmektedir. Türkiye’de en çok bu tip plüvyograflar kullanılmaktadır.

b. Devrilen kovalı: Bu yağış ölçerlerde dolan kova ters çevrilip boşalırken aynı zamanda kağıt şerit üzerine basamaklı bir çizgi işaret eder (Şekil 2.3). Boşalan kovanın yerini ikinci kova alır. Her basamak genellikle 0.5 mm veya 0.3 mm ye karşı gelir. Bu tip plüvyograflar Türkiye’de kullanılmamaktadır.



Şekil 2.2. Tartılı plüvyometre



Şekil 2.3. Devrilen kovalı plüvyograf

Yağış yüksekliğinin ölçülmesinde şamandıralı yağış ölçerlerden ve radarlardan da yararlanılır. Özellikle radarlar yardımı ile 200 km yarıçapındaki bir bölge içindeki yağış ölçülebilmektedir. WSR – 57 tipi bu radarlardan Türkiye’de DMI de mevcuttur.

2.2.2. Karın Ölçülmesi

Kar yağışı da yağmur ölçerlerle ölçülür. Plüvyometre ve tartılı plüvyografin iç kapları çıkarılarak kar ölçmeleri için kullanılabilir. Toplanan karın donmayıp erimesi için içine kalsiyum klorür ve etilen glikol gibi antifriz maddeler katmak gerekir. Kar ölçmelerinde ölçenin kar örtüsü altında kalmaması için yerden oldukça yükseğe yerleştirilmesi gerekir.

Kar ölçmesi ile ilgili ölçümler, bölge alanının, bölgede kar kalınlığı ve yoğunluğu değişiminin ölçülmesini kapsar.

Kar örtüsü alanının sınırlarının belirlenmesinde hava fotoğraflarından ve son yıllarda suni aydullardan yararlanılmaktadır.

Karın erimesiyle meydana gelecek akış hacminin hesabında **karın su eşdeğerini**, yani kar eridiği zaman meydana gelecek su sütununun yüksekliğini bilmek önem taşır. Karın su eşdeğeri kara küçük bir silindir sokularak alınan kar örneğinin eritilmesiyle bulunur.

Kar örtüsü ölçümleri bölgedeki kar örtüsünü temsil edecek şekilde seçilmiş ve yıldan yıla değişmeyen bir **kar izi** boyunca 10 – 200 m aralarla en az 10 noktada yapılır. Zira karın derinliği ve yoğunluğu kısa mesafeler içinde değiştiğinden buna bağlı olarak su eşdeğeri de değişir. Kar izi ölçmeleri 15 günde veya ayda bir kez yapılır. Karla örtülü bölgede 300 m lik kot aralıklarıyla ölçüm yapılması uygun olur. Büyük havzalarda kar izi ölçüm sonuçlarından yararlanılarak hesaplanan regresyon denklemlerinden yararlanarak havzanın kar örtüsü ile ilgili büyüklükleri tahmin edilebilir.

Karın su eşdeğeri, kar altında kalan zemine yerleştirilmiş radyoizotoplar ve kar yastıkları ile de ölçülebilmektedir. Alkole doldurulmuş 3 – 4 m çapındaki lastik yastıklara bağlı manometrede kar örtüsünün basıncı ölçülebilmektedir. Basınç ölçümlerinden su eşdeğerine geçilmektedir.

Karın su eşdeğeri, zeminden yayılan doğal gamma ışınlarının kar örtüsü tarafından yutulma miktarına bağlı olarak uçaklarla da ölçülebilmektedir.

Ülkemizde E.İ.E., D.S.İ. ve D.M.İ. tarafından kar ölçümleri yapılmaktadır.

2.2.3. Ölçüm Hataları

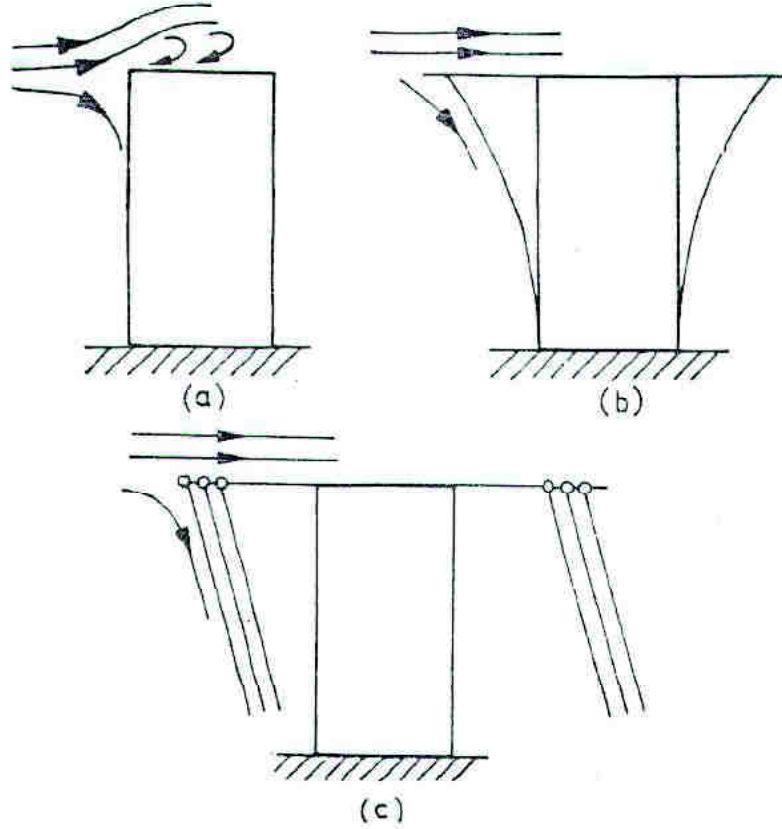
Plüvyometre ve plüvyograflarla yağışın ölçülmesinde çeşitli hatalar meydana gelmektedir. Bu hatalardan en önemlisi okunan değerlerin gerçek değerlerden daha küçük olmasıdır. En iyi koşullarda bile ölçümlerde hata payı %10 a kadar çıkabilmektedir.

Rüzgar, önemli bir hata nedenidir. Ölçeğin yerden yüksekliği arttıkça rüzgar hızı da arttığından ölçeğe giren yağış yüzdesi azalır. Bu hata hafif yağışlarda %50 ye kadar çıkabilmektedir.

Bu hataları azaltmak için ölçeği olabildiğince yere yakın (D.M.İ. ölçeği yerden 1 m yukarıya yerleştirmektedir.) ve rüzgar etkisinde kalmayacak bir yere yerleştirmek gerekir. Ayrıca ölçeklerde **rüzgar perdesi** kullanmak uygun olur. Zira rüzgar perdeleri hava akımının ölçeğin ağzı üzerinde çevriler ve düşey akımlar meydana getirmesine engel olur (Şekil 2.4).

Diğer bir ölçüm hata nedeni de bina, ağaç gibi yüksek engeller nedeniyle yağışın bir kısmının ölçeğe girmemesidir. Bunu önlemek için ölçeği, engel yüksekliğinin iki katı kadar uzağa yerleştirmek gerekir. Ayrıca kaptaki toplanan suyun buharlaşmasını önlemek için su yüzeyinde ince bir yağ tabakası oluşturmak uygun olur.

Okumaların homojenliğini bozmamak için ölçeklerin yerlerinin ve konumlarının değiştirilmemesine özen göstermek gerekir.



Şekil 2.4. Yağış ölçümüne rüzgarın etkisi: (a) Rüzgar perdesiz ölçek (b) Nipher perdeli ölçek (c) Alter perdeli ölçek

2.2.4. Yağış Ölçekleri Ağı

yağış ölçüm hatalarını azaltmada gösterilen özen ölçek ağı kurarken de gösterilmelidir. Özellikle yağış şiddetinin yerden yere hızla değiştiği dağlık bölgelerde ve deniz etkisinde kalan bölgelerde ölçekler daha sık yerleştirilmelidir. Ancak ekonomik nedenlerle ölçek ağı istenildiği kadar sıkıştırılmamaktadır.

Dünya Meteoroloji Teşkilatı; düz bölgelerde $600 - 900 \text{ km}^2$ de, dağlık bölgelerde $100 - 250 \text{ km}^2$ de bir ölçek yerleştirilmesini önermektedir. Dağlık bölgelere ölçekler en çok 500 m kot farkı ile yerleştirilmelidir. Yağışın zaman içindeki değişimini belirlemek için ölçeklerin %10 - 20 kadarının yazıcı ölçek olmasında yarar görülmektedir.

Ülkemizde 450 kadarı plüvyograf olmak üzere 1500 yağış ölçeği olup 500 km^2 ye bir ölçek düşmektedir. Ancak dağlık bölgelerde yeterince sık değildir. Örneğin 1500 m nin üstünde sadece 150 ölçek bulunmaktadır.

Türkiye'de toplam yağış verileri 1963 yılından beri D.M.I. tarafından yayınlanmaktadır. Kayıtları uzun süreli olan ölçeklerin sayısı çok azdır. Örneğin 30 yıldan uzun süreli ölçeklerin sayısı 25 dir.

2.3. YAĞIŞ KATSAYILARININ ANALİZİ

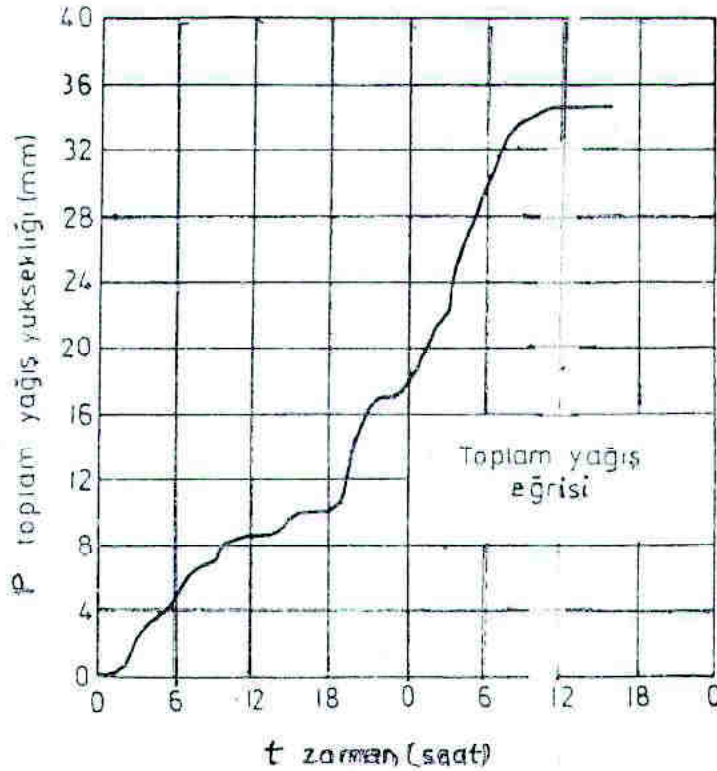
Plüvyometre ve plüvyograflarla elde edilen yağış kayıtları hidrolojik çalışmalarda kullanılmak amacı ile çeşitli şekillerde değerlendirilir. Bu değerlendirmede kullanılan başlıca yöntemler aşağıda verilmiştir.

2.3.1. Toplam Yağış Eğrisi ve Hiyetograf

Bir yazıcı yağış ölçerlerden elde edilen yağış kaydı yağış yüksekliğinin (P) zamanla (t) değişimini gösteren bir P-t eğrisi şeklindedir (Şekil 2.5). Buna toplam yağış eğrisi denir.

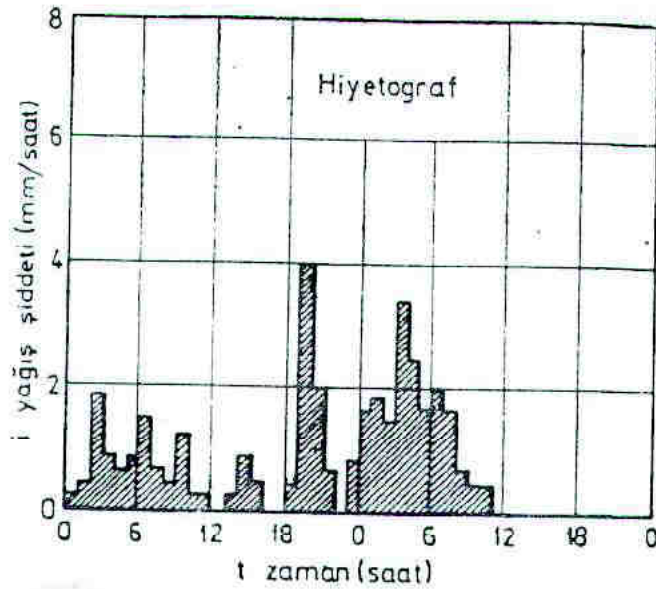
Birim zamanda Δt (saat), düşen yağış yüksekliğine ΔP , yağış şiddeti (I) denir.

$$I = \Delta P / \Delta t \quad (2.1)$$



Şekil 2.5. Toplam yağış eğrisi

Yağış şiddetinin zamanla değişimini gösteren eğriye hiyetograf adı verilir. bu da genellikle basamaklı çizilir. Şekil 2.5 deki yağışın hiyetografı Şekil 2.6 da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Hiyetograf

At zaman aralığı, bölgenin büyüklüğüne uygun şekilde seçilir. Bu süre genellikle 1-6 saat arasında kalır. Gerekirse süre 5 dakikaya kadar indirilebilir.

Yağış şiddeti (I), 1 mm/saat den 20 mm/saat e kadar değişebilir. Bu iki değer arasındaki yağışlar aşağıdaki şekilde sınıflandırılır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Yağış şiddetinin sınıflandırılması

Yağış	Yağış şiddeti, I (mm/saat)
Hafif	< 2.5
Orta şiddetli	2.5 - 7.5
Şiddetli	7.5 <

Doğada seyrek de olsa 100 mm/saat ve daha şiddetli, kısa süreli yağışlar görülebilmektedir.

2.3.2. Yağış Kayıtlarının Homojen Hale Getirilmesi

Bir yağış ölçüğünün yeri, konumu, ölçmede uygulanan yöntemin değişmesi ya da bilinmeyen bir nedenle ölçülen değerlerin homojenliğinden kuşku duyulması durumunda gerekli kontrollerin ve gerekirse düzeltmenin yapılması gerekir. Düzeltme yağış kayıtları homojen hale getirilir.

Yağışların homojen hale getirilmesinde **çift toplam yağış eğrisi** yöntemi uygulanır. Bu yöntemde bir eksene o bölgedeki bütün ölçeklerin yıllık yağışlarının ortalaması, zaman içinde geriye gidilerek eklemeli olarak, bir eksene, homojenliğinden kuşku duyulan yıllık yağışların toplamı yine zaman içinde geriye gidilerek işaretlenir.

Yağış kayıtları homojen değil ise değer çiftleri x-y düzleminde noktalandığından noktaların bir doğru boyunca dağılmadığı görülür. Doğrunun eğimindeki kırıklık, ölçüğün yerinin veya konumunun değiştiği noktayı gösterir.

Homojenliğin bozulması ölçme sistemindeki bir değişiklik dışında hidrolojik sistemdeki bir değişiklikten de kaynaklanabilir. Örneğin bir yağış ölçüğünün yakınına yüksek bir binanın yapılması homojenliği bozabilir.

2.3.3. Eksik Verilerin Tamamlanması

Br ölçekteki kayıtların bir kısmı eksik ise, bu eksiklik yakında bulunan ölçeklerin kayıtlarından tamamlanır. Eksik ölçeğe en yakın 3 ölçekteki yıllık ortalama yağışlar N_A , N_B , N_C eksik olan yağışa karşı gelen okumalar P_A , P_B , P_C ise yıllık ortalama yağışı N_X olan ölçekteki bilinmeyen yağış yüksekliği:

$$P_X = \frac{1}{3} \left(\frac{N_X}{N_A} P_A + \frac{N_X}{N_B} P_B + \frac{N_X}{N_C} P_C \right) \quad (2.2)$$

eşliği ile tahmin edilir. Eğer, N_A , N_B ve N_C nin N_X den farkları %10 dan az ise denklem 2.2 yerine aritmetik ortalama ile (denklem 2.3) bilinmeyen yağış yüksekliği (P_X) hesaplanabilir.

$$P_X = \frac{P_A + P_B + P_C}{3} \quad (2.3)$$

2.3.4. Ortalama Yağış Yüksekliğinin Bulunması

Bir bölgenin ortalama yağış yüksekliği o bölgede mevcut yağış ölçeklerinden faydalanılarak hesaplanır. Ölçekler ne kadar sık olursa elde edilen sonuçların doğruluğu o kadar artar. Çünkü topografya, bitki örtüsü, göller, yapılar vb etkenler yağışın üniform dağılmasına engel olur.

Bölgesel ortalama yağış yüksekliğinin hesaplanmasında, her bir yağış ölçeğinin temsil ettiği alanın belirlenmesine yönelik yöntemler kullanılır. Bu yöntemler:

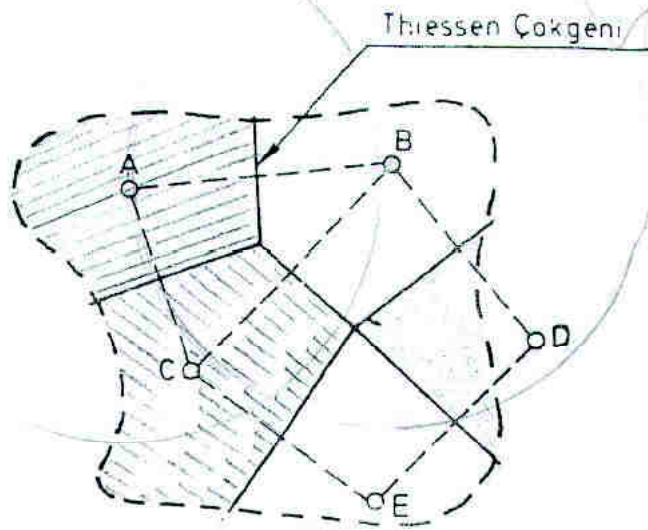
1. **Aritmetik Ortalama:** Bu yöntem bölgedeki bütün ölçek okumalarının aritmetik ortalamasına dayanır. Dağlık bölgelerde ve şiddetli yağışlar sırasında yağış ölçeği kısa mesafelerde hızla değiştiğinden aritmetik ortalama iyi sonuç vermeyebilir.

Bu yöntem yağış ölçeklerinin oldukça üniform dağıldığı 500 km² den küçük alanlara uygulanır.

2. **Thiessen Yöntemi:** Bu yöntemde bir ölçeğin temsil ettiği alanı bulmak için birbirine yakın ölçekler bir doğru parçası ile birleştirilip orta dikmeleri çizilir. Her bir ölçeğin çevresinde, bu dikmelerden oluşan çokgenin, (Thiessen çokgeni), o ölçekteki yağış ile temsil edildiği kabul edilir (Şekil 2.7).

Thiessen çokgeni çizilirken bölgenin dışında kalan fakat meteorolojik bakımdan bölge ile homojen olduğu kabul edilen ölçeklerde Thiessen çokgeni çiziminde kullanılır (Şekil 2.7 de D ölçeği gibi). Böylece ağırlıklı ortalama ile yağış yüksekliği hesaplanır.

$$P_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i A_i}{\sum_{i=1}^N A_i} \quad (2.4)$$

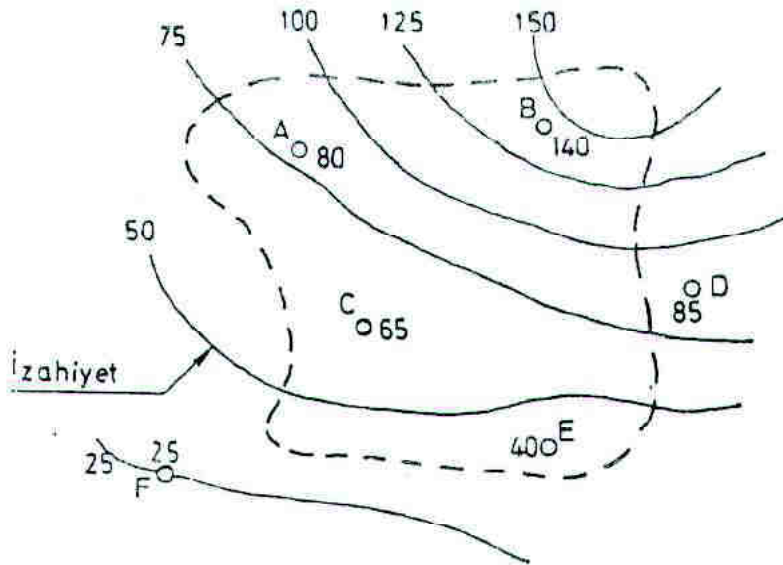


Şekil 2.7. Thiessen çokgeni

Eurada A_i yağış yüksekliği P_i olan ölçüğün çevresindeki bölgenin alanı, N ölçek sayısıdır. Bu yöntem $500 - 5000 \text{ km}^2$ arasındaki bölgelerde uygulanır. Thiessen çokgeni yağıştan yağışa değişmediği için bir bölgede bir kere çizilmesi yeterli olur.

3. Eş Yağış Çizgileri (İzohiyet) Yöntemi: Bu yöntemde yağış yüksekliği aynı olan noktaları birleştiren eş yağış eğrileri çizilir (Şekil 2.8). İki ardışık eş yağış çizgisi arasında kalan alana eş yağış çizgileri ortalaması kadar yağış düştüğü kabul edilerek ağırlıklı ortalama ile ortalama yağış yüksekliği hesaplanır.

Eş yağış çizgileri çizilirken bölge topografyası ve bölge yağış dağılışı bilgileri kullanabildiği için bu yöntem özellikle dağlık bölgelerde iyi sonuç verir.



Şekil 2.8. Eş yağış çizgileri (İzohiyetler)

1.4 ÖRNEK PROBLEMLER

1. YAĞIŞ KAYITLARININ HOMOJEN HALE GETİRİLMESİ

Bir akarsu havzasında A yağış ölççeği yıllık yağışların homojenliğinden şüphe edilmektedir. Bu ölççeğin yıllık toplam bu ölççeğe komşu 3 ölççeğin yıllık ortalama yağışları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Yıllık yağışlar

Yıllar	A ölççeği (cm)		Komşu ölççek (cm)		Yıllar	A ölççeği (cm)		Komşu ölççek (cm)	
	P_A	ΣP_A	P_{ort}	ΣP_{ort}		P_A	ΣP_A	P_{ort}	ΣP_{ort}
1991	32,5	32,5	32,0	32,0	1998	34,1	266,2	35,0	264,0
1992	34,4	66,9	32,1	64,1	1999	33,2	299,4	34,1	298,1
1993	35,2	102,1	35,9	100,0	2000	32,4	331,8	31,9	330,0
1994	30,3	132,4	30,1	130,1	2001	18,2	350,0	25,5	355,5
1995	33,1	165,5	37,9	168,0	2002	15,8	365,8	24,9	380,4
1996	32,4	197,9	24,2	192,2	2003	18,4	384,2	29,8	410,2
1997	34,2	232,1	36,8	229,0	2004	15,8	400,0	26,9	437,1

1. A ölççeği yıllık yağışlarının homojenliğini kontrol ediniz.
2. Gerekirse ilgili yıllık yağışları homojen hale getiriniz.

ÇÖZÜM

1. Homojenlik kontrolü

İlk aşamada A ölççeği ve komşu ölççek eklenik değer çiftleri x-y düzleminde noktalanır. (Şekil 2.9). Şekil 2.9’un incelenmesinden de anlaşılacağı gibi 1991-2000 yılları arasında noktalar bir doğru boyunca dağılırken 2000-2004 arasında kalan 4 yılda bu doğrudan sapma olmuş ya da homojenlik bozulmuştur.

2. A ölççeği yağışlarının homojen hale getirilmesi

1991-2000 ve 2000-2004 yılları arası değer çiftleri bir doğru boyunca dağılmıştır. Bu doğruların denklemleri $y = a + bx$ şeklinde olup denklemlerin b değerleri doğru eğimi gösterir.

1991-2000 arası $b_1 = 1,00$

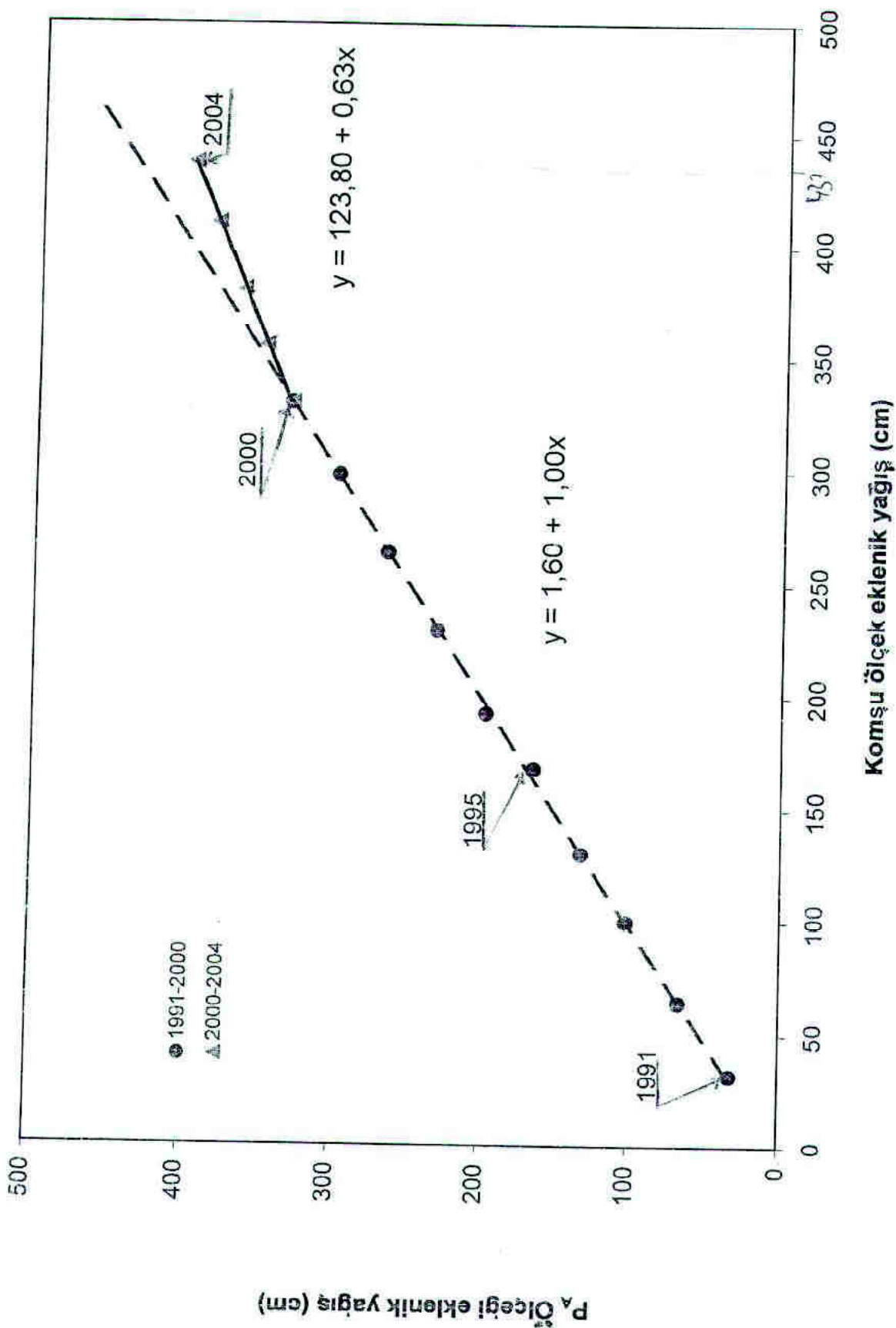
2000-2004 arası $b_2 = 0,63$

olup homojenlikte kullanılacak katsayı $k = 1 / 0,63 = 1,58$ hesaplanır. Homojen hale getirilmiş A ölççeği değerleri Çizelge 2.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Homojen hale getirilmiş yıllık yağışlar

Yıllar	Yağış P_A (cm)	Homojen yağış P_A (cm)
2001	18,2	28,7*
2002	15,8	24,9
2003	18,4	29,1
2004	15,8	24,9

(* = $18,2 \times 1,58 = 28,7$ cm)

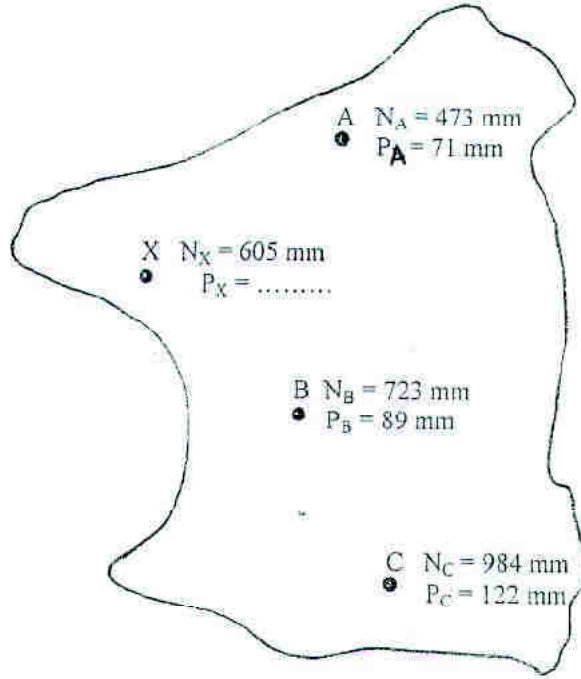


Şekil 2.9. P_A ölçeği ile komşu ölçekler eklenik yağış ilişkisi

2 EKSİK YAĞIŞ VERİLERİNİN TAMAMLANMASI

Bir akarsu havzasında bulunan X, A, B ve C ölçekleri ortalama yıllık yağış yükseklikleri: $N_X = 605$ mm, $N_A = 473$ mm, $N_B = 723$ mm ve $N_C = 984$ mm dir. Bu havzada 18 saat süren bir yağış fırtınası sonunda X ölçeği yağışı ölçülememiş diğer ölçekler $P_A = 71$ mm, $P_B = 89$ mm ve $P_C = 122$ mm ölçülmüştür.

X ölçeği yağış yüksekliğini (18 saat fırtınaya karşılık gelen) hesaplayınız.



ÇÖZÜM

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{N_x}{N_A} P_A + \frac{N_x}{N_B} P_B + \frac{N_x}{N_C} P_C \right)$$

Problemde verilen değerler yerine konursa, x ölçeği yağış yüksekliği

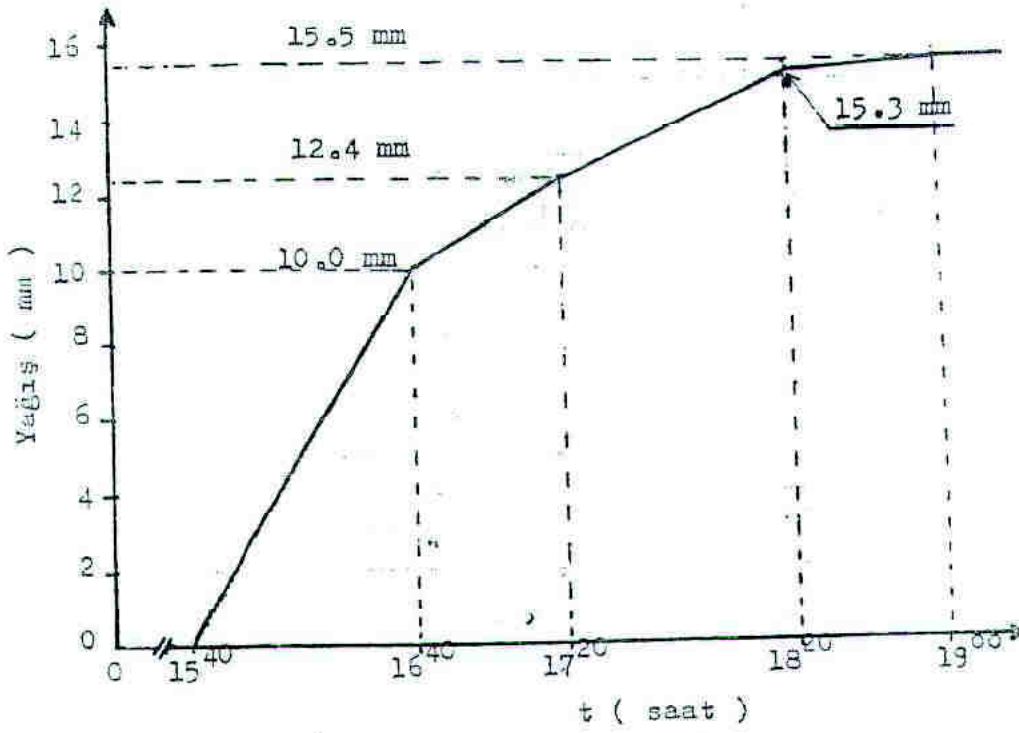
$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{605}{473} 71 + \frac{605}{723} 89 + \frac{605}{984} 122 \right) = 80 \text{ mm bulunur.}$$

3. HIYETOGRAF ÇİZİMİ

Bir akarsu havzasında saat $15^{40} - 19^{00}$ arasında düşen bir yağışın toplam yağış eğrisi Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Bu yağışa ait hiyetrografi çiziniz.

ÇÖZÜM

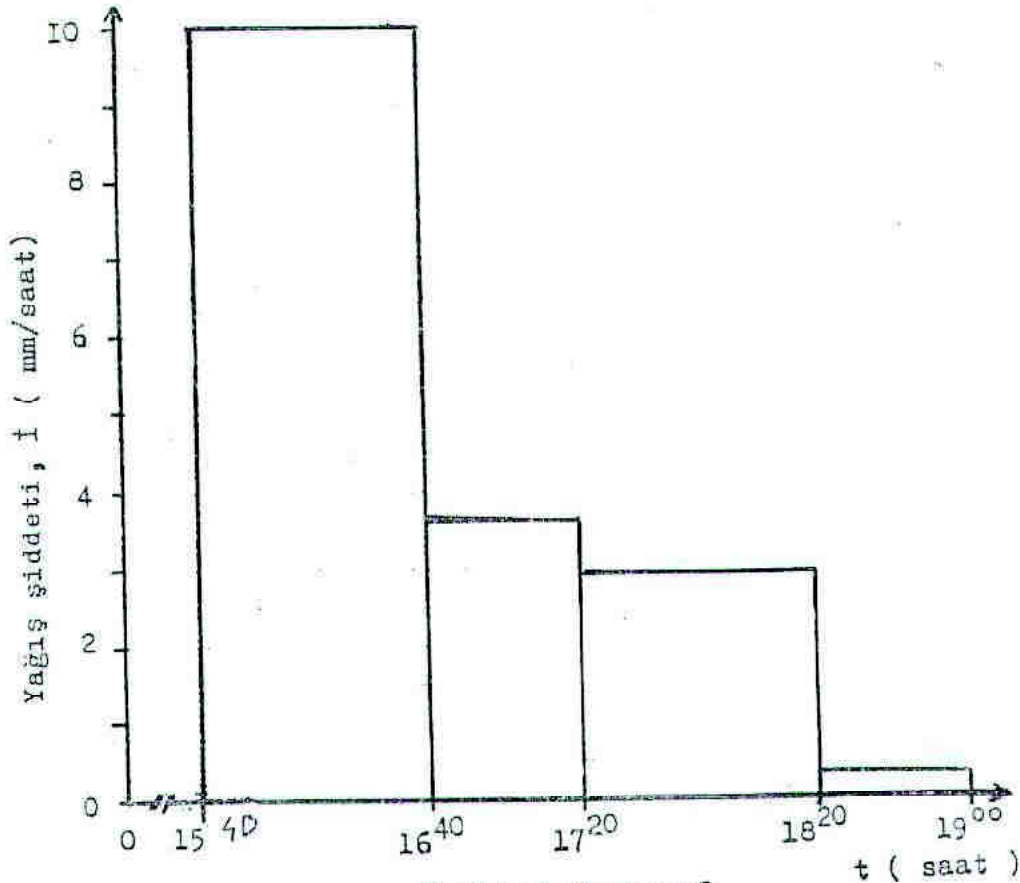
Hiyetograf yağış şiddetinin zamanla değişimini gösteren basamaklı çizgiler grubu olduğu için Şekil 2.10'dan yararlanarak hiyetrografın yatay eksen değerleri t (saat), karşılığı olan yağış şiddeti I (mm/saat) hesaplanır (Çizelge 2.4). Sonra bu değerlerden yararlanarak hiyetrograf çizilir (Şekil 2.11).



Şekil 2.10. Toplam yağış eğrisi

Çizelge 2.4. Yağış şiddeti değerlerinin hesaplanması

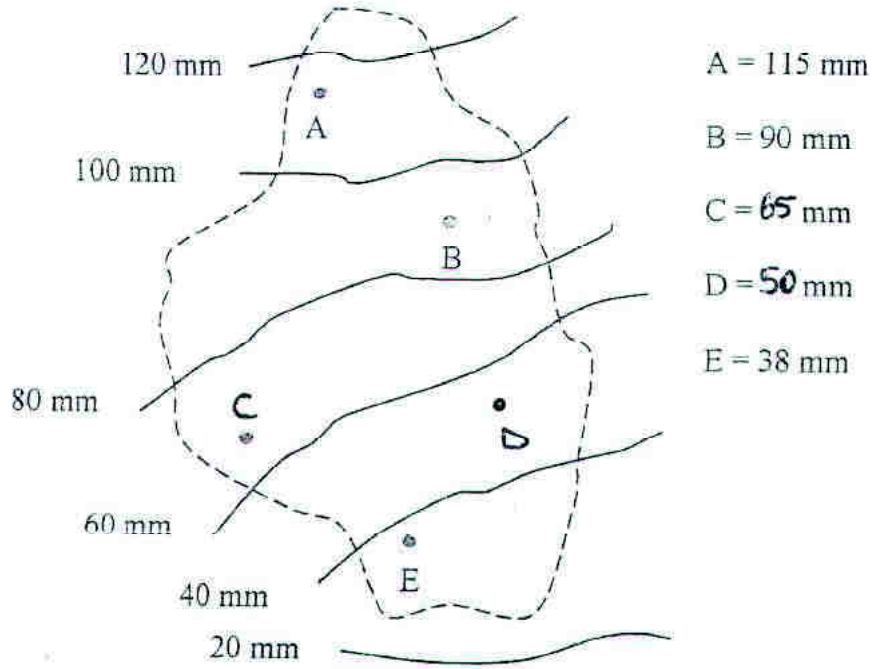
Yağış süresi (dakika)	Yağış (mm)	Yağış şiddeti , I (mm / saat)
$15.40 - 16.40 = 60$	$10.0 - 0.0 = 10.0$	$10 \times 60/60 = 10.0$
$16.40 - 17.20 = 40$	$12.4 - 10.0 = 2.4$	$2.4 \times 60/40 = 3.6$
$17.20 - 18.20 = 60$	$15.3 - 12.4 = 2.9$	$2.9 \times 60/60 = 2.9$
$18.20 - 19.00 = 40$	$15.5 - 15.3 = 0.2$	$0.2 \times 60/40 = 0.3$



Şekil 2.11. Hiyetograf

4. EŞYAĞIŞ ÇİZİGİLERİ (İZOHİYET) YÖNTEMİ

Aşağıdaki akarsu havzasında bir yağış sırasında ölçülen yağış yükseklikleri (P_i) ve bu yağışa ait eş yağış çizgileri (izohiyetler) Şekil 2.12 de, izohiyetler arasında kalan alanlar (A_i) Çizelge 2.5 de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Eş yağış eğrileri (izohiyetler)

Çizelge 2.5. Eş yağış çizgileri arası alanlar

Eş yağış çizgileri, P (mm)	Alan, A_i (km^2)
>120	1.2
120 – 100	6.4
100 – 80	9.6
80 – 60	8.6
60 – 40	11.8
40 – 20	4.4
Toplam	42.0

Ortalama yağış yüksekliğini aritmetik ortalama ve eş yağış çizgileri (izohiyetler) yöntemine göre hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Ortalama yağış yüksekliği

Aritmetik ortalama

$$P_{\text{ort}} = (115 + 90 + 50 + 65 + 38) / 5 = 71,6 \text{ mm}$$

Eş yağış çizgileri (izohiyet) yöntemi

Bu yöntemle havza ortalama yağış yüksekliğini hesaplamak için ilk aşamada izohiyetler arası alanlar (A_i), ardışık iki izohiyet arasındaki yağış yüksekliği (P_i) ve havza yağış yüksekliğinin yerel dağılımını (P_{ort}) gösteren sayısal değerler belirlenir (Çizelge 2.6).

Çizelge 2.6.. İzohiyetler, izohiyetler arası alanlar ve yağış yüksekliği

İzohiyetler, (mm)	Yağış, P_i (mm)	Alan, A_i (km ²)	$P_i \times A_i$
>120	130	1,2	156
120 – 100	115	6,4	736
100 – 80	90	9,6	864
80 – 60	65	8,6	559
60 – 40	50	11,8	590
40 – 20	38	4,4	167
Toplam		42,0	3072

Ortalama yağış yüksekliği;

$$P_{\text{ort}} = 3072 / 42 = 73,1 \text{ mm}$$

4. THIESSEN YÖNTEMİ

Şekil 2.13 de bir hidrolik havza, Şekil 2.14'de bu havzadaki yağış ölçeklerinin Thiessen çokgenleri gösterilmiştir. Thiessen çokgen alanları $A = 40 \text{ km}^2$, $B = 60 \text{ km}^2$, $C = 50 \text{ km}^2$, $D = 120 \text{ km}^2$ ve $E = 10 \text{ km}^2$ olup ölçeklerin çok yıllık yağış ortalaması ;

$$A = 700 \text{ mm} \quad B = 650 \text{ mm} \quad C = 600 \text{ mm} \quad D = 550 \text{ mm} \quad E = 500 \text{ mm} \text{ dir.}$$

1. Thiessen çokgeni çiziminde izlenen yolu kısaca anlatınız.
2. Havza ortalama yağış yüksekliğini, Thiessen yöntemine göre hesaplayınız.
3. Havza alanı yağış yüksekliği ilişkisini tanımlayan $y = a - b \log x$ denklemi ile 50 km^2 lik alt havzada inşa edilecek su depolama yapısına ulaşacak yıllık yüzey akış suyunu m^3 cinsinden hesaplayınız. Akış katsayısı 0,16 dir.

ÇÖZÜM

1. Thiessen çokgenleri çizimi

Her bir ölçüğün çevresindeki A_i alanını belirlemek için birbirine yakın ölçekler doğru parçasıyla birleştirilip orta dikmeler çizilir. Her bir ölçüğün çevresinde bu dikmelerin meydana getirdiği çokgenin (Thiessen çokgeni) o ölçekteki yağış ile temsil edildiği kabul edilir. Thiessen çokgeni çizilirken havzanın dışında kalan, fakat meteorolojik bakımdan havza ile

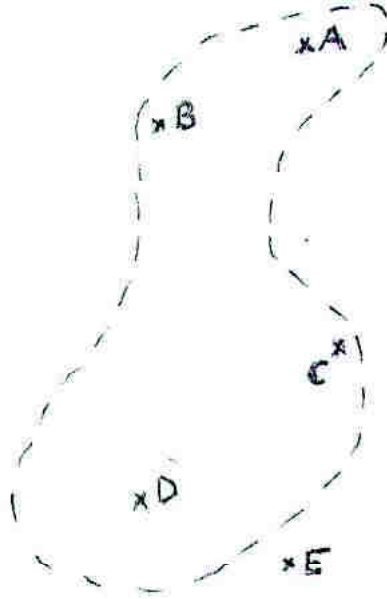
benzer özellikte olduğu kabul edilen ölçekler de Thiessen çokgeni çiziminde kullanılır. Şekil 2.14'te E ölçeği gibi.

2. Ortalama yağış yüksekliği

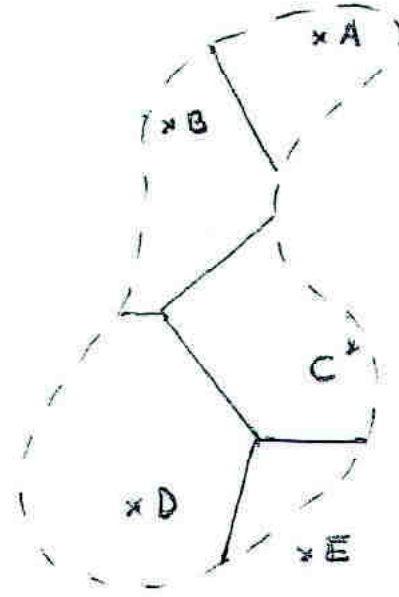
Aritmetik ortalama

$$P_{ort} = (700 + 650 + 600 + 550) / 4 = 625 \text{ mm}$$

Ortalama yağış yüksekliği hesabında havza içindeki 4 yağış ölçeği değeri kullanılmıştır.



Şekil 2.13. Hidrolojik havza



Şekil 2.14. Thiessen çokgenleri

Thiessen yöntemi

Bu yöntemle havza ortalama yağış yüksekliğini hesaplamak için Thiessen çokgen alanları (A_i), çokgen alanlarını temsil eden yağış yüksekliği (P_i) ve havzada yağış yüksekliğinin yerel dağılımını (P_{ort}) gösteren sayısal değerler hesaplanır (Çizelge 2.79).

Çizelge 2.7. Çokgen alanları ve yağış yükseklikleri değerleri

Çokgenler	Yağış P_i (mm)	Alan A_i (km ²)	$P_i \times A_i$	ΣA_i (km ²)	$\Sigma P_i \times A_i$	P_{ort} (mm)
A	700	40	28×10^3	40	28×10^3	700
B	650	60	39×10^3	100	67×10^3	670
C	600	50	30×10^3	150	97×10^3	647
D	550	120	66×10^3	270	163×10^3	604
E	500	10	5×10^3	280	168×10^3	600
Toplam		280	168×10^3			

Ortalama yağış yüksekliği

$$P_{ort} = 168 \times 10^3 / 280 = 600 \text{ mm}$$

3 Yıllık yüzey akış

İkinci aşamada $y = a - b \log x$ denkleminin katsayıları hesaplanır.

lg40	$x_D y_D$	700 DATA	
lg100	$x_D y_D$	670 DATA	$a = 900,5$
..	..	.....	$b = -120,2$
..	..	.....	$r = -0,980$
lg280	$x_D y_D$	600 DATA	

Denklemin $P_{\text{yağış}} = 900,5 - 120 \times \log 50 = 696,3 \text{ mm}$ 'dir. Bu yağışın

$696,3 \times 0,16 = 111,4 \text{ mm}$ 'si yüzey akışa geçer.

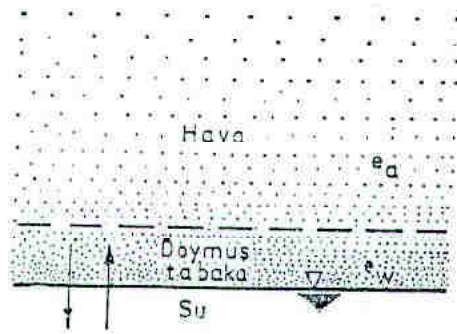
Stı depolama yapısına $0,1114 \text{ m} \times 50 \times 10^6 \text{ m}^2 = 5,57 \times 10^6 \text{ m}^3$ ulaşır.

3. BUHARLAŞMA

Atmosferden yeryüzüne düşen yağışın önemli bir kısmını tutma, buharlaşma ve terleme yolu ile akış haline geçmeden atmosfere geri döner. Bu kayıpların belirlenmesi özellikle kurak mevsimlerde hidrolojik bakımdan büyük önem taşır.

3.1. BUHARLAŞMA OLAYI

Suyun sıvı halden gaz (su buharı) haline geçmesine **buharlaşma** (evaporasyon) denir. Su yüzeyindeki moleküller yeterli bir kinetik enerji kazandığı zaman kendilerine tutmaya çalışan diğer moleküllerin çekiminden kurtulup su ortamından havaya yükselirler. Bu arada su yüzeyi yakınında havadan suya geçen moleküllere de rastlanır. Sudan havaya geçen moleküllerin sayısı daha fazla ise buharlaşma olayı vardır denir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Su yüzeyinden buharlaşma

Buharlaşma olayı çeşitli etkenlere bağlıdır:

1. Suyun sıcaklığı arttıkça moleküllerin hızı da arttığından yüzeysel gerilim azalır ve sonuçta buharlaşma olur.
2. Buharlaşmanın devam etmesi için su buharının su yüzeyinden uzaklaşması gerekir. Bu da hava hareketi (rüzgarlar) ile mümkündür. Bu nedenle rüzgarın buharlaşmayı devam ettirmede rolü büyüktür.
3. Su moleküllerinin hızını artırarak buharlaşma sağlamak için enerji gereklidir. 1 gr suyun buharlaşması için gerekli ısı suyun sıcaklık derecesine göre 539 – 597 kalori arasında değişir. Doğadaki su kütlelerinin buharlaşması için gerekli enerji güneşten gelen ışınlarla sağlanır.
4. Suda erimiş tuzlar buharlaşmayı azaltır. Bu azalma %1 kadardır.
5. Suyu konulan bazı maddeler ile su yüzeyinde çok ince bir film tabakası oluşturulduğunda buharlaşmayı azaltmak mümkündür. Özellikle kurak bölgelerdeki büyük biriktirme haznelere için önem taşıyan bu konudaki araştırmalar devam etmektedir. Örneğin asetil alkol kullanılarak buharlaşmanın % 40 oranında azaldığı belirlenmiştir.
6. Su derinliği mevsimlik buharlaşma miktarını etkilemektedir. Derin su kütleleri hava sıcaklığındaki değişimlere daha geç uyum sağladığından derin sularda buharlaşma, sığ su kütlelerine göre yazın daha az, kışın daha çok olmaktadır.

3.2. SU YÜZEYİNDEN BUHARLAŞMA

Meteorolojik koşullara bağlı olarak yeryüzündeki su yüzeylerinden buharlaşma miktarı 1 – 10 mm/gün arasında değişmektedir. Bu miktarın belirlenmesi özellikle baraj göllerinde önem taşır. Örneğin Keban Barajı'nın biriktirme haznesinden yılda $800 \times 10^6 \text{ m}^3$, Eskişehir Porsuk Barajından $22.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ suyun buharlaşarak atmosfere döndüğü hesaplanmıştır.

Su yüzeyinden buharlaşmaya etki eden etkenlerin çokluğu nedeniyle buharlaşmayı belirlemek çok güçtür. Bu nedenle su yüzeyinden buharlaşmayı belirlemek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar; ısı dengesi metodu, kütle transferi metodu, ampirik metotlar, su dengesi metodu ve buharlaşma tavalarıyla yapılan ölçümlerdir. Bu metotlardan ilk dördü ile buharlaşmanın belirlenmesi oldukça güçtür. Çünkü eşitliklerdeki öğelerin büyüklüklerinin prezisyonlu ölçümü yapılamamaktadır. Örneğin su dengesi metoduna göre buharlaşmayı (E) veren eşitlik:

$$E = P + X - Y - F - \Delta S \quad (3.1)$$

şeklindedir.

E: Belli bir zaman aralığındaki buharlaşma miktarı

P: Aynı zaman aralığındaki yağış

X: Kütleye giren su miktarı

Y: Kütlede çıkan su miktarı

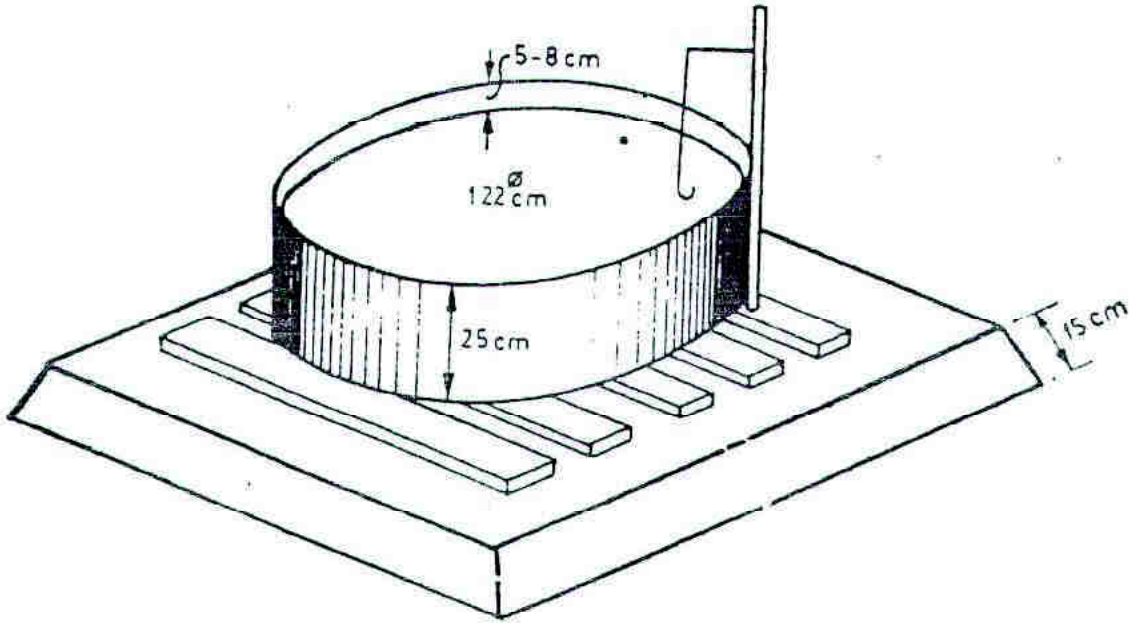
F: Yer altına sızan su miktarı

ΔS : Kütle hacmindeki değişim

olup, bu metodun başarıyla uygulanabilmesi için denklemin sağ tarafındaki büyüklüklerin prezisyonlu olarak ölçülmesi gerekir. Aksi halde buharlaşmanın hesabında büyük hatalar yapılabilmektedir. Uygulamada bu büyüklüklerin hassas olarak ölçülmesi güç olduğundan bu yöntem her zaman kullanılmamaktadır. Yine aynı eşitlikteki F değerinin belirlenmesi oldukça güçtür. Ancak uzun süreli (aylık, yıllık) buharlaşma değerleri bu yöntemle hesaplanabilmektedir.

Serbest su yüzeyinden buharlaşmayı ölçmek için günümüzde buharlaşma tavaşı denilen kaplar kullanılmaktadır. Türkiye'de ve bir çok ülkede su yüzeyinden olan buharlaşmayı ölçmek için A sınıfı buharlaşma tavaları kullanılmaktadır. Bu tavanın çapı 122 cm, derinliği 25 cm dir (Şekil 3.2). Buharlaşma tavaları ile buharlaşan su yüksekliğini gerçeğe yakın belirlemek için tavanın yerden yüksekliği ve içindeki su seviyesi Şekil 3.2 deki değerlere uygun olmalıdır.

Ancak tavadan buharlaşan su miktarı, büyük su kütlelerinden (baraj haznesi, göl gibi) buharlaşan su miktarıyla aynı olmamaktadır. Bunun başlıca nedeni; tavadaki suyun kütlelerinin azlığı nedeniyle hava sıcaklığındaki değişimlerden kolay etkilenmesidir. Ayrıca tavadan ısı yansımaları, tava cidarından olan ısı alışverişi ve tava çevresinin az nemli olması da buharlaşmayı etkilemektedir. Buharlaşma tavaşı ile büyük su kütleleri arasındaki buharlaşma farkını azaltmak için çeşitli önlemler düşünülmüştür. Örneğin BPI tavasında tava çapı 2 m, tava su derinliği 60 cm alınarak su kütlesi artırılmış, Young tavasının üstüne 6 mm aralıklı elek teli yerleştirilmiştir. Ayrıca tavayı toprağa gömmek ya da su yüzeyinde yüzdürmek gibi işlemlere başvurulmuştur. Bu tür önlemler sonucu tavalarda ölçülen buharlaşma miktarları büyük su kütlelerindeki yakını olmasına karşın elde edilen sonuçlar kararlı olmamıştır.



Şekil 3.2. A sınıfı buharlaşma tavaı.

Günümüzde hazneden olan buharlaşmanın belirlenmesinde A sınıfı tavada olan buharlaşmadan yararlanılmaktadır. Hazneden olan buharlaşma değerine geçmek için buharlaşma tavaındaki değer tava katsayısı ile çarpılması önerilmektedir. A sınıfı tavada yıllık buharlaşma için katsayı 0.7 kabul edilir. Bu değer in değişme sınırı 0.6 – 0.8 dir. 0.7 kabul edilmesi ile yapılacak hata %15 in altında kalmaktadır. Aylık buharlaşma hesabında ise katsayı daha geniş sınırlar arasında değişmektedir. Örneğin sonbaharda yüksek, ilkbahar düşük değerler alınmaktadır.

Buharlaşmayı ölçmek için en az 5000 km² ye bir tava yerleştirilmesi önerilmektedir. Ülkemizde DSİ ve DMİ tarafından kullanılan 160 kadar buharlaşma tavaı vardır.

3.3. ZEMİN VE KAR YÜZEYİNDE BUHARLAŞMA

Zemin yüzeyinden buharlaşma su yüzeyinden buharlaşmaya benzer. Ancak bu halde, özellikle az geçirimli zeminlerde su moleküllerinin yemeleri gereken direnç daha büyüktür. Zeminin üst kısmı tamamen doymuş ise zeminden buharlaşma su yüzeyinden buharlaşmaya eşit olmaktadır. Aksi halde zeminden buharlaşma miktarı, zemindeki mevcut su miktarı ile sınırlıdır. Bu nedenle buharlaşmada zeminin üst katlarındaki nem ve zeminin su iletim kapasitesi önemli rol oynamaktadır. Uygulamada yer altı su yüzeyi ile zemin yüzeyi arası 1 – 3 m olursa zeminden buharlaşma miktarı çok olmaktadır.

Kar yüzeyinden de buharlaşma olmaktadır. Kar ve buz katı halden doğrudan doğruya buhar haline geçebilir. Süblimasyon denen bu olayın meydana gelebilmesi için havanın çığleşme noktası (doymuş hale geçeceği sıcaklık derecesi) kar yüzeyinin sıcaklığından az olmalıdır. Kar yüzeyinden buharlaşma, çok rüzgarlı havalarda günde 5 mm ye varabilirken genellikle ayda 15 mm kadardır. Bu değer aynı koşullarda su yüzeyinden buharlaşmanın 1/5 i kadardır.

3.4. TERLEME VE TUTMA

Bitkilerin suyu kökleriyle zeminden alıp, gelişmeleri amacıyla faydalandıktan sonra yapraklarından buhar halinde havaya vermelerine terleme denir. Terleme miktarı zeminde mevcut su miktarıyla sınırlıdır. Zemin nemi kuruma noktasının altına düşünce terleme durur.

Hidrolojik yönden bitkilerle kaplı zeminlerde buharlaşma ve terleme kayıplarını belirlemek gerekir.

Tutma; bitkiler üzerinde kalan ve yeryüzüne hiç varmayan yağış olarak tanımlanır. Bitkiler tarafından tutulan su, uzun bir süre sonra buharlaşacağı için, tutma kayıplarına uzun süre içinde buharlaşma kayıpları gözüyle bakılabilir.

Tutma miktarı yağış başlangıcında çok fazladır, bitkiler ıslandıkça azalır. Tutma miktarı bitkilerin tutma kapasitesine bağlı olduğu için hafif yağışlarda yağışın daha büyük bir % si (% 40 a kadar) tutulur. Bu bakımdan tutma kayıplarının bitki örtüsü sık olan bölgelerde özellikle kısa süreli ve düşük şiddette yağışlarda önemi büyüktür.

3.5. EVAPOTRASPIRASYON

Bir bölgede terleme yoluyla bitkilerden, zeminden, su ve kar yüzeyinden buharlaşma sonucu oluşan toplam su kayıplarına evapotraspirasyon kayıpları denir. Evapotraspirasyon kayıplarının potansiyel ve gerçek değerleri arasında ayırım yapmak gereklidir. Zira yeterli zemin nemi bulunmadığı takdirde meydana gelecek kayba potansiyel evapotraspirasyon denir. Gerçek evapotraspirasyon ise mevcut zemin nemiyle sınırlı olduğu için daha az olabilir.

Türkiye'de yıllık yağış yüksekliği 67 cm olduğuna ve bunun ancak %32 si yüzeysel akışa geçtiğine göre yıllık ortalama evapotraspirasyon kayıpları $67 \times 0.68 = 45.5 \text{ cm}$ dir.

Gerçek evapotraspirasyon zemin nemine, bitki örtüsüne ve bitkilerin gelişme durumuna bağlı olduğu için belirlenmesi güçtür. Bunun belirlenmesinde zeminden alınan toprak örneklerinin neminde zamanla meydana gelen değişimleri ölçerek evapotraspirasyon miktarı belirlenebilir. Diğer bir ölçme yöntemi lizimetre adı verilen 0.1 – 1 m çapında, 1 – 2 m derinliğinde içi toprak dolu beton veya benzeri kaplarda istenen bitki yetiştirilip yağışları, sızma kayıplarını ve kabın ağırlığındaki değişimleri ölçerek su dengesi eşitliği ile evapotraspirasyon miktarı bulunmaktadır.

Bir bölgede evapotraspirasyonun öğelerini ayrı ayrı belirlemek güç olduğundan toplam evapotraspirasyon kayıplarını tahmin etmek için çeşitli formüller ortaya atılmıştır. Bunların en basitlerinde; havzanın yıllık evapotraspirasyon miktarı; yıllık ortalama hava sıcaklığı ve yıllık yağışa bağlı olarak belirlenmektedir. Bu formüllerden iki tanesi aşağıda verilmiştir.

1.Coutagne Formülü:

$$U = P - \lambda \times P^2 \quad (3.2)$$

$$\lambda = \frac{0.001}{0.8 + 0.14 \times T}$$

2. Turc Formülü:

$$U = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (3.3)$$

$$L = 300 + 25 \times T + 0.05 \times T^3 \quad (3.4)$$

Bu formüllerde;

U: Yıllık evapotraspirasyon (mm)

P: Yıllık yağık yüksekliği (mm)

T: Yıllık ortalama hava sıcaklığı ($^{\circ}C$)

dır. Bölgedeki bitki örtüsünün cinsini de hesaba katan potansiyel evapotraspirasyon formülleri özellikle bitkilerin aylık su ihtiyaçlarının belirlenmesinde kullanılır. Bunlardan en yaygını Blaney – Cridle formülüdür. Bu formül;

$$U = k \times f \times 25.4 \quad (3.5)$$

$$f = P \times \left(\frac{1.8 \times t + 32}{100} \right) \quad (3.6)$$

şeklinde olup :

U: Aylık evapotraspirasyon (mm)

k: Bitki cinsine bağlı katsayı

P: İlgili ayda gündüz saatlerinin yıldaki gündüz saatlerine oranı (%)

t: Aylık ortalama hava sıcaklığı ($^{\circ}C$)

3.6. ÖRNEK PROBLEMLER**1. GÖLDEN BUHARLAŞMA (I)**

Yüzölçümü 200 km^2 olan bir gölde yıllık yağış yüksekliği 70 cm olarak ölçülmüştür. Göle giren akarsuların yıllık ortalama debisi $1.20 \text{ m}^3/\text{sn}$, gölden çıkan akarsuların ortalama debisi $1.27 \text{ m}^3/\text{s}$ dir. O yıl boyunca göldeki su seviyesinin 9 cm yükseldiği gözlenmiştir. Göldeki suyun yeraltına sızması ihmal edilmiştir. Bu bilgiler varlığında yıl içinde göl yüzeyindeki yıllık buharlaşma yüksekliğini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Denklem (1.1) de $X - Y = \Delta S$ şeklinde verilen su dengesi denklemi öğelerinin bileşenlerini su yüksekliği cinsinden hesaplayalım:

Yağış, $x_1 = 70 \text{ cm}$

Giren su; $\bar{x}_2 = \frac{1.20 \times 365 \times 86400}{200 \times 10^6} = 0.19 \text{ m} = 19 \text{ cm}$

$$\text{Çıkan su; } y_1 = \frac{1.27 \times 365 \times 86400}{200 \times 10^6} = 0.20m = 20cm$$

$$\text{Sızma; } y_2 = 0$$

$$\text{Buharlaşma; } y_3 = ?$$

$$\Delta S = 9 \text{ cm}$$

Bu değerler varlığında su dengesi denklemi aracılığı ile göl yüzeyinden olan yıllık buharlaşma yüksekliği;

$$(x_1 + x_2) - (y_1 + y_2 + y_3) = \Delta S$$

$$(70 + 19) - (20 + 0 + Y_3) = 9$$

$$89 - 20 - Y_3 = 9$$

$$y_3 = 89 - (20 + 9) = 60 \text{ cm dir.}$$

2. GÖLDEN BUHARLAŞMA (II)

Ortalama göl yüzey alanı 1600 km^2 olan Tuz Gölü'nde yıllık buharlaşma 1217.3 mm , yıllık yağış yüksekliği ise 293.1 mm dir. 1974 yılında işletmeye açılan Konya Ovası Ana Tahliye Kanalı yılda ortalama $102.75 \times 10^6 \text{ m}^3$ suyu Tuz gölüne boşaltmaktadır. Göre giren diğer akımlar $768.35 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{yıl}$ dir.

Konya Ovası Ana Tahliye Kanalı tarafından Tuz Gölü'ne boşaltılan drenaj sularının Tuz Gölü'nün kurumasını engelleyip engellemediğini sonuçta tuz üretimini olumsuz yönde etkileyip etkilemediğini belirleyiniz.

Göl tabanından olan sızma ihmal edilecektir.

ÇÖZÜM

$X - Y = \Delta S$ şeklinde verilen su dengesi denkleminin (Denklem 1.1) öğelerini m^3 cinsinden hesaplayalım:

Bir yıllık zaman süresi için X, göle giren x_1 yüzey akışı, x_2 ana tahliye kanalı suları akışı ve x_3 yağıştan oluşur.

$$\text{Yüzey akışı; } x_1 = 768.35 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Ana tahliye; } x_2 = 102.75 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Yağış; } x_3 = 1600 \times 10^6 \times 0.2931 = 468.9 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Y ise y_1 buharlaşma bileşeninden oluşur.

$$y_1 = 1600 \times 10^6 \times 1.2173 = 1947.68 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Bu değerler su dengesi denkleminde yerine yazıldığında:

1. Tahliye kanalı inşaatından önce:

$$\Delta S = (x_1 + x_3) - y_1 = (768.35 \times 10^6 + 468.9 \times 10^6) - 1947.68 \times 10^6$$

$$\Delta S = -710.43 \times 10^6 m^3$$

2. Tahliye kanalı inşaatından sonra:

$$\Delta S = (x_1 + x_2 + x_3) - y_1 = (1340 \times 10^6) - 1947.68 \times 10^6 = -607.68 \times 10^6 m^3$$

hesaplanır. ΔS değerlerinin Konya Ovası Ana Tahliye Kanalı inşasından önce ve sonra eksi çıkması ana tahliye kanalı sularının tuz üretimini olumsuz yönde etkilemediğini gösterir.

Nitekim, günümüzde yaz aylarında gölde kuruma olup tuz üretimi aksamamaktadır.

3. BARAJ HAZNESİNDE SU DENGESİ

1970 yılı Temmuz ayı Hirfanlı Barajı biriktirme haznesi yüzey alanı 400 km^2 dir. Bu ay boyunca haznede toplanan su hacminde $150 \times 10^6 m^3$ azalma olmuştur. Barajın yakınındaki bir buharlaşma tavaşında bu ayın buharlaşma yüksekliği 20 cm ölçölmüştür. Temmuz ayı tava katsayısı 0.75 tir. Bu ayda barajın çıkışında ölçölen ortalama debi $130 m^3/s$ dir. Hirfanlı Barajı'nın girişinde Kızılırmak Nehri'nin Temmuz ayı ortalama debisini hesaplayınız.

CÖZÜM

Baraj haznesine giren su hacmi Kızılırmak Nehri'nin getirdiği X hacminden ibarettir (Bu ayda hazneye yağış düşmediği kabul edilmiştir) hazneden çıkan hacimler ise: y_1 çıkan debi hacmi ve y_2 buharlaşma hacmidir.

Çıkan su hacmi:

$$y_1 = 130 \times 31 \times 86400 = 348 \times 10^6 m^3$$

Hazneden buharlaşmayı hesaplamak için tavada ölçölen buharlaşma miktarını tava katsayısı ile çarpmak gerekir.

Buharlaşma;

$$y_2 = 0.75 \times 0.2 \times 400 \times 10^6 = 60 \times 10^6 m^3$$

Su dengesi denklemini; $X - (y_1 + y_2) = \Delta S$

$$X - (348 \times 10^6 + 60 \times 10^6) = -150 \times 10^6$$

$$X = 258 \times 10^6 m^3 \text{ tür.}$$

Bu hacimden Kızılırmak Nehri'nin aylık ortalama debisi:

16- ORTA AMAÇLI KAPALI HAVZA

1619- TUZ GÖLÜ-KALDIRIM TUZLAGI

YERİ	:(35 25'11"0-38 57'03"K)Ankara'nın Gereflikeğhisar İlçesi yakınındaki Kıldırım telesisindedir.		
YAGIS ALANI	:11900.0 Km.	YAKLAŞIK İQT :	905 m.
GÖZLEM SÜRESİ	:24 Ekim 1959- 30 Eylül 1986		
EN YÜKSEK VE EN DÜŞÜK SEVİYELER	:1986 Sa yılında en yüksek seviye	: 62	Cm. (18. 1.1986)
	:1986 Sa yılında en düşük seviye	: 00	" (1.10.1985)
	Gözlem süresinde en yüksek seviye	: 175	" (19. 3.1981)
	Gözlem süresinde en düşük seviye	: 00	" (9.8. 1962)
SEVİYE GÜÇÜ	:ESEL.		
DÜŞÜNCELER	:		

SEVİYELER 1 EKİM 1985'DEN 30 EYLÜL 1986'YA KADAR CM. OLARAK

GÜN	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	SUBAT	MART	NISAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
1	0	0	18	26	35	48	36	40	30	15	0	0
2	0	0	18	29	35	48	35	40	30	13	0	0
3	0	0	17	37	34	45	35	40	30	10	0	0
4	0	0	17	39	34	41	34	38	30	8	0	0
5	0	0	17	43	26	41	34	37	26	6	0	0
6	0	0	17	40	23	41	35	40	27	5	0	0
7	0	5	22	43	25	41	35	40	27	4	0	0
8	0	5	22	40	28	40	38	40	33	3	0	0
9	0	5	24	40	32	39	38	37	29	3	0	0
10	0	0	24	46	35	36	38	37	19	3	0	0
11	0	0	24	42	37	36	38	29	14	0	0	0
12	0	8	27	44	42	36	38	29	27	0	0	0
13	0	10	30	41	44	36	46	14	30	0	0	0
14	0	10	34	47	44	35	52	25	25	0	0	0
15	0	10	31	44	44	35	50	25	24	0	0	0
16	0	10	30	53	42	35	44	27	24	0	0	0
17	0	14	26	60	41	35	42	27	24	0	0	0
18	0	15	25	62	45	34	40	27	23	0	0	0
19	0	15	22	47	51	35	40	27	21	0	0	0
20	0	12	24	41	52	35	42	27	20	0	0	0
21	0	14	20	40	49	35	44	27	13	0	0	0
22	0	15	20	40	46	35	41	29	11	0	0	0
23	0	15	20	40	46	35	40	34	17	0	0	0
24	0	15	20	43	51	40	40	34	18	0	0	0
25	0	15	22	40	52	40	40	30	17	0	0	0
26	0	15	21	38	52	40	40	30	15	0	0	0
27	0	16	23	38	46	36	40	25	15	0	0	0
28	0	16	27	35	45	38	41	15	16	0	0	0
29	0	18	28	36	---	37	41	33	15	0	0	0
30	0	17	30	31	---	36	41	35	15	0	0	0
31	0	---	27	36	---	36	---	31	---	0	0	---
MAKS.	0	18	34	62	52	50	52	40	33	15	0	0
MIN.	0	0	17	26	23	34	34	14	11	0	0	0

SU YILI (1986) YILLIK MAKS. 62 MIN. 0 CM OLARAK VERİLMİŞTİR.

Tuz Gölü, Türkiye haritasında duruşu itibarıyla sanki bir Mevlâî ve yanında küçük cırağını andırarak görünüşiyle, Anadolu topraklarında binlerce yıldır sessiz sedasız duruyor.

ER YEN GÜZELLİK: TUZ GÖLÜ

SEZA KALAYCI Ö ALI ÜNAL

İç Anadolu bozkırları ve anız vakımlarıyla ünlüdür. Bir de melankolik bir perspektifte yitip giden teğaf direkleriyle, Anadolu'nun tu özellikleri insanın içinde Hüzün çiçekleri açtırıyor. İster istemez yeryüzünde hü- zünden başka bir şeylerin olma- dığı duygusuna kapılıyor insan bu amaçsız bozkırlarda.

Tuz Gölü Türkiye haritasın- da duruşu itibarıyla sanki bir Mevlâî ve yanında küçük cıra- nını andırarak görünüşiyle, Anado- lu topraklarında binlerce yıldır sessiz sedasız duruyor. Yeryü- zünün en ilginç coğrafi oluşum-

larından olan Tuz Gölü, suları tamamen göl çarşağını doldur- duğunda 1642 kilometrekarelik yaz aylarında buharlaşmanın et- kisiyle 1100 kilometrekarelik bir alanı kapsıyor. Yüzeyle 20, bazı senelerde 35 santimetreye ka- dar kalınlıklarda tuz tabakasıyla kaplanıyor Tuz Gölü. Ancak or- talama 8 santimetreden yapı- lıyor Tuz Gölü'nde üretim. Bunun hem temiz üretim hem de gele- cek yıllara daha rahat tuz taba- kası bırakmak amacıyla yapıldı- ğını belirtiyor yetkililer. Tabii bir- de kullanılan teknolojinin ger- ekliklerinden kaynaklanıyor.



çok olacağını belir- tiyor. Kırtenme hi- yaylanıyor. e Amerikalılar hibe re'ye kredi verir.

miz bunun için bir önlem almaz ya da alınmazlar. Sulama amaçlı ola- rak kurulan kanallar zamanla Kon- ya'nın sanayi bölgesinin üzerine ku- rulması nedeni ile kirlenmiş olarak ak- maya başlar. 1978'den 2001'e geldi- ğimiz zamana kadar Tekel Genel Müdürlüğü ile Çevre Bakanlığı bir- çok toplantılar yapar Tuz Gölü'nün kurtarılması için. Bu toplantılarda bir çok proje üretilir fakat bir türlü hayata geçirilemez. Süphesiz sula- ma kanalları iyi niyetle yapılır fakat sonuç Hint atasözünün de dediği gi- bidir: "Cehennemden giden yol iyi ni- yet taşlarıyla döşelidir".

Gölü çevre iller kirleniyor

Konya'dan gelen ve hem kanalizasyon hem de sanayi atıklarını taşıyan kanal, Tuz Gölü'nü en çok kirlüten akıntı. Bunun dışında Aksaray, Ci- hanbeyli, Inlice, Beyşehir, Bozkır ve Sereflikochisar kanalizasyonları da kirlenmede önemli elken.

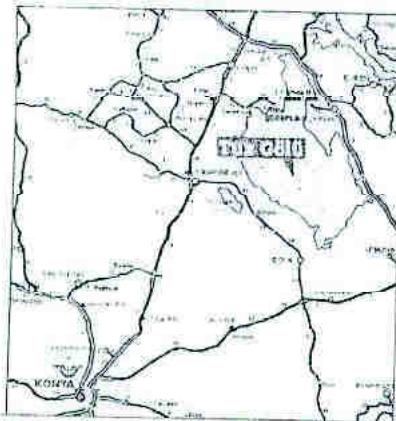
Bu kanalizasyonları 1992 verile- rine göre göle verdikleri sanayi atıkları şöyle; 1947 ton deterjan, 90 bin ton yağ ve gres, 1500 ton orga- nik madde, 28 ton nitrat, 18 bin ton sülfat, 276 kilo civa.



32

33

FOTOĞRAF: MEHMET AKINIS



$$Q = \frac{258 \times 10^6}{31 \times 86400} = 96 m^3 / s \quad \text{hesaplanır.}$$

4. YILLIK EVAPOTRASPIRASYON

Meriç – Ergene havzasına ait yıllık ortalama sıcaklık, yıllık yağış ve havzanın yıllık akış yüksekliği aşağıda verilmiştir.

$$\text{Yıllık ortalama hava sıcaklığı} \\ T = 13.1 (^{\circ}C)$$

$$\text{Yıllık yağış} \\ P = 637 (mm)$$

$$\text{Yıllık akış yüksekliği} \\ R = 144.2 (mm)$$

1. Coutagne ve Ture formülleriyle havzanın yıllık akış yüksekliğini hesaplayınız.
2. Havza koşullarına uygun formülü seçiniz.

Coutagne formülü:

$$U = P - \lambda \times P^2$$

$$\lambda = \frac{0.001}{0.8 + 0.14 \times T} = \frac{0.001}{0.8 + 0.14 \times 13.1} = \frac{0.001}{2.634} = 0.00038$$

$$U = 637 - (0.00038 \times 637^2) = 637 - 154.2 = 482.8 mm \quad (\text{Yıllık evapotraspirasyon})$$

Akış yüksekliği $R = P - U$ eşitliği ile;

$$R = 637 - 482.8 = 154.2 mm$$

$$\text{Fark} = 154.2 - 144.2 = 10.0 mm$$

Ture formülü:

$$U = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25 \times T + 0.05 \times T^3$$

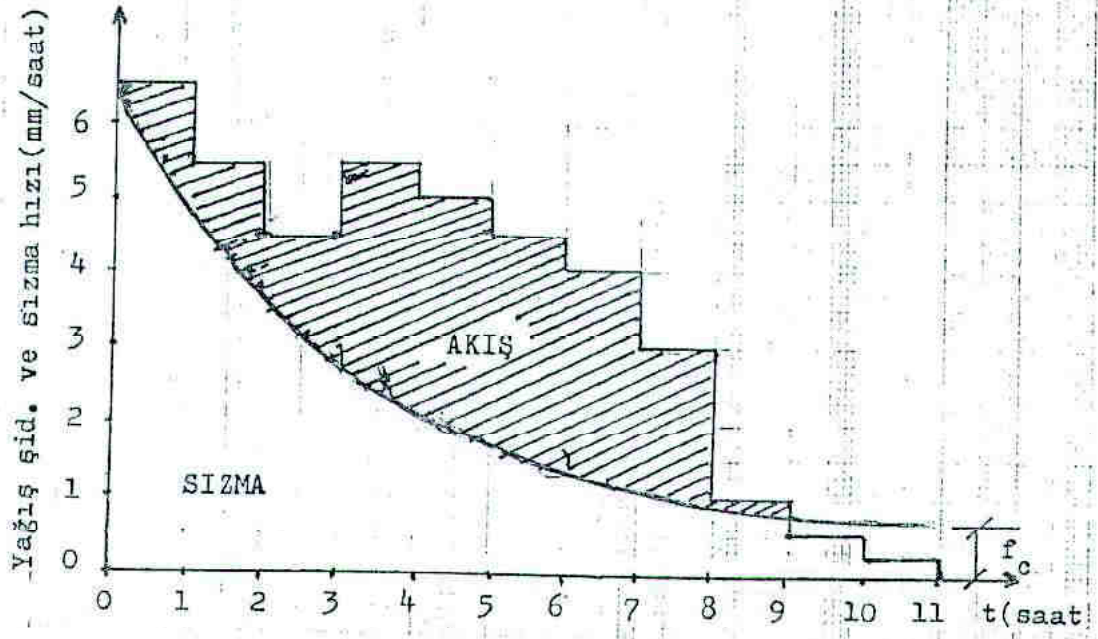
$$L = 300 + 25 \times 13.1 + 0.05 \times 13.1^3$$

$$L = 740$$

$$U = \frac{637}{\sqrt{0.9 + \frac{637^2}{740^2}}} = \frac{637}{1.28} = 497.6 mm \quad (\text{Yıllık evapotraspirasyon})$$

$$\text{Akış yüksekliği} \quad R = 637 - 497.6 = 139.4 mm \quad \text{Fark} = 139.4 - 144.2 = -4.8 mm$$

Ture formülü ile hesaplanan 139.4 mm değeri gözlem değeri 144.2 mm ye daha yakın olduğu için akış kayıtları olmayan benzer havza koşullarında yıllık akış yüksekliği Ture formülü ile hesaplanmalıdır.



Şekil 4.1. Standart sızma eğrisi

Horton standart sızma eğrisi için aşağıdaki denklem verilmiştir.

$$f = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt} \quad (4.1)$$

Bu denklemde yağışın başlamasından sonra t anındaki sızma kapasitesi f , yağışın başlangıcındaki sızma kapasitesi f_0 , yağış ilerledikçe (1-3 saat içinde) sızma kapasitesinin erişeceği limit değer f_c ile gösterilmektedir. Bu denklemdeki f_0 , k ve f_c değerleri zemin cinsi ve bitki örtüsüne göre çok farklı değerler olabilmektedir.

4.2. SIZMA HIZI

Sızma hızı; bir yağış sırasında birim zamanda zemine gerçekten giren su miktarıdır.

Yağış şiddeti, sızma kapasitesi ve sızma hızının zamanla değişimi Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Sızma kapasitesi, sızma hızı ve yağış şiddeti ilişkisi

Zaman(Saat)		0	1	2	3	4	5	6
Yağış Şiddeti		2	2.5	4	6	5	2.5	1.5
Sızma Kapasitesi	mm/saat	5.5	4.3	3.5	2.6	2	1.7	1.5
Sızma Hızı		2	2.5	3.5	2.6	2	1.7	1.5

4. SIZMA

Yeryüzüne düşen yağışın bir kısmı yerçekimi ve diğer etkiler sonucu zemin içine süzülür. Bu olaya sızma (**infiltrasyon**) denir. Sızan su önce zemin nemini ve daha sonra yüzeyaltı akışını meydana getirir. Geriye kalanı da daha derinlere sızarak (**perkolasyon**) yeraltı suyuna karışır. Sızan su; yüzeysel akışı etkilemesi, zemin nemini sağlaması ve yeraltı suyunun en önemli kaynağını oluşturması bakımından önemlidir.

4.1. SIZMA KAPASİTESİ

Belli koşullar altında birim zamanda zemine sızan maksimum su miktarına **sızma kapasitesi** denir. Sızma kapasitesi çeşitli etkenlere bağlıdır. Bunlardan en önemlileri:

1. **Zemin dane büyüklüğü ve geçirimliliği:** Gevşek zeminlerde sızma kapasitesine karşı koyan direnç daha küçük olduğu için sızma kapasitesi daha yüksektir. *D.37 SK7*
2. **Başlangıç nemliliği:** Islak zeminde kapılar boşluklar kısmen, suyla dolmuş olduğundan sızma kapasitesi kuru zemine göre daha azdır. *3 Nem SK5*
3. **Bitki örtüsü ve organik maddeler:** Bu maddelerin varlığı yüzeysel akışı engellediği için suyun zemine girmesini kolaylaştırır. Yine bu maddeler yağmur darbelerinin zemini sıkıştırmasını engeller. Sonuçta bu maddelerin bulunduğu zeminlerde geçirgenlik arttığı için sızma kapasitesi yüksektir. *6.07 SK7*
4. **Zeminin yüzey durumu:** Zemin yüzeyinde çok ince danelerin, CaCO_3 ve Na_2CO_3 gibi maddelerin bulunması suyun zemine girmesini zorlaştırdığından bu tür zeminlerde sızma kapasitesini düşüktür. *ince toprak SK5*
5. Zeminde bulunan hava birikintileri sızmayı zorlaştırır. *Sıkışmış Hava SK5*
6. Toprağın işleme şekli de sızmayı olumlu yada olumsuz yönde etkiler.

Yukarıda sayılan etkenler nedeniyle çıplak arazide sızma kapasitesi 0.25-25 mm/saat arasında değişen değerler alabilirken, bitki örtüsünün çokluğu bu değerleri 3-7 kat artırabilir.

Sızma kapasitesini belirlemek için yağış ve akış miktarları ölçülür. Gerekirse evapotranspirasyon, tutma ve yüzeysel biriktirme gibi diğer kayıpları da hesaba katarak su dengesi denkleminde yararlanarak sızma kapasitesi hesaplanabilir.

Sızma kapasitesi infiltrometreler yardımı ile veya suni yağmur yağdırarak da saptanabilir.

Su toplama havzasında bir yağış sırasında veya infiltrometrelerle elde edilen standart sızma eğrisine tipik bir örnek Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekil 4.1 de bir yağış sırasında sızma kapasitesinin zamanla değişimi çok açık bir şekilde görülmektedir.

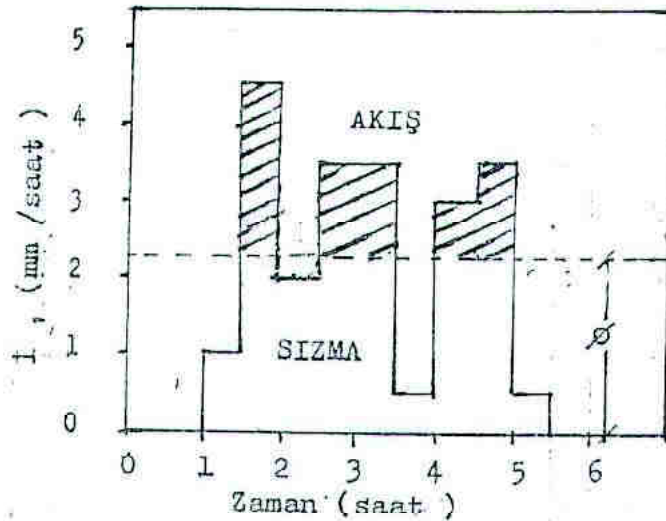
Çizelge 4.1'in incelenmesinden de anlaşılacağı gibi; yağış şiddetinin sızma kapasitesinden büyük olması halinde sızma hızı sızma kapasitesine eşit olmaktadır. Yağış şiddeti sızma kapasitesinden küçük ise sızma hızı ancak yağış şiddeti kadar olabilmektedir.

1.3. SIZMA İNDİSLERİ

Nisbeten küçük ve homojen bölgelerde akış miktarını hesaplamak için standart sızma eğrisine göre belirlenen sızmayı yağıştan çıkarmak yoluna gidilebilir. Ancak, bölgede yağış şiddeti ve sızma kapasitesi yerden yere değişiyorsa standart sızma eğrisini elde etmek kolay olmaz. Bunun yerine yağış sırasındaki ortalama sızma miktarını gösteren sızma indisleri kullanılır. Sızma indisleri kullanımı özellikle zeminin başlangıçta ıslak ve yağışın şiddetli olması halinde iyi sonuç vermemtedir. Zira böyle bir yağış sırasında sızma kapasitesi değişmemektedir.

İki farklı sızma indisi kullanılmaktadır.

1. \emptyset İndisi: Şekil 4.2'de gösterildiği gibi bir hiyetograf üzerinde öyle bir yatay çizgi çizilirse ki bu çizgi üzerinde kalan alan toplam akış yüksekliğine eşit olsun. Bu şekilde çizilen çizginin ordinatı \emptyset indisi olarak tanımlanır.



Şekil 4.2. \emptyset sızma indisi

2. W İndisi: P , yağış yüksekliğini, R , akış yüksekliğini, S , yüzeysel biriktirme yüksekliğini, t_p yağış sırasında yağış şiddetinin sızma kapasitesinden büyük olduğu süreyi göstermek üzere W indisi şöyle tanımlanır.

$$W = \frac{P - R - S}{t_p} \quad (4.2)$$

4.4. ÖRNEK PROBLEMLER

1. HALKA İNFİLTROMETRE VE STANDART SIZMA EĞRİSİ

İç çapı 35 cm olan bir halka infiltrometre ile yapılan deney sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Halka infiltrometre deney sonuçları.

Zaman (dakika)	0	2	5	10	20	30	60	90	150
Eklenen su (cm ³)	0	278	658	1173	1974	2500	3345	3875	4595

Sızma kapasitesinin zamanla değişimini belirleyip standart sızma eğrisini çiziniz.

2. $f = f_c + (f_0 + f_c) e^{-kt}$ şeklinde verilen Horton denklemi öğelerinden f_0 , f_c ve k değerlerini hesaplayınız.

3. Horton denklemi ile 30 ve 60 ıncı dakikalarda beklenen sızma kapasitesi değerlerini hesaplayınız.

4. Hesapladığımız denklemden yararlanarak standart sızma eğrisini çiziniz.

ÇÖZÜM

1. Sızma kapasitesinin zamanla değişimi

Sızma kapasitesinin zamanla değişimini belirlemek sonuçta standart sızma eğrisini çizilebilmek amacıyla halka infiltrometre ile deney başlangıcından deney sonuna kadar saat olarak belirli aralıklarla (Δt) infiltrometreye eklenen su hacmi; infiltrometre alanı ($3.14 \times 3^2 / 4$) = 962 cm² ye bölünerek o zaman aralığında sızan su yüksekliği (Δf) hesaplanmıştır (Çizelge 4.3).

Zemine sızan su yüksekliği (Δf) kendisine ait değer çiftine (Δt) bölünerek birim zaman aralığında zemine sızan su miktarının bir ifadesi olan sızma kapasitesi (f) değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 den yararlanarak çizilen standart sızma eğrisi Şekil 4.3 de gösterilmiştir.

2. Horton denklemi öğeleri

$f = f_c + (f_0 + f_c) e^{-kt}$ şeklinde verilen Horton denklemi infiltrometre koşullarında;

f = Deneyin başlamasından sonraki t anındaki sızma kapasitesi

f_0 = Deneyin başlangıcındaki sızma kapasitesi

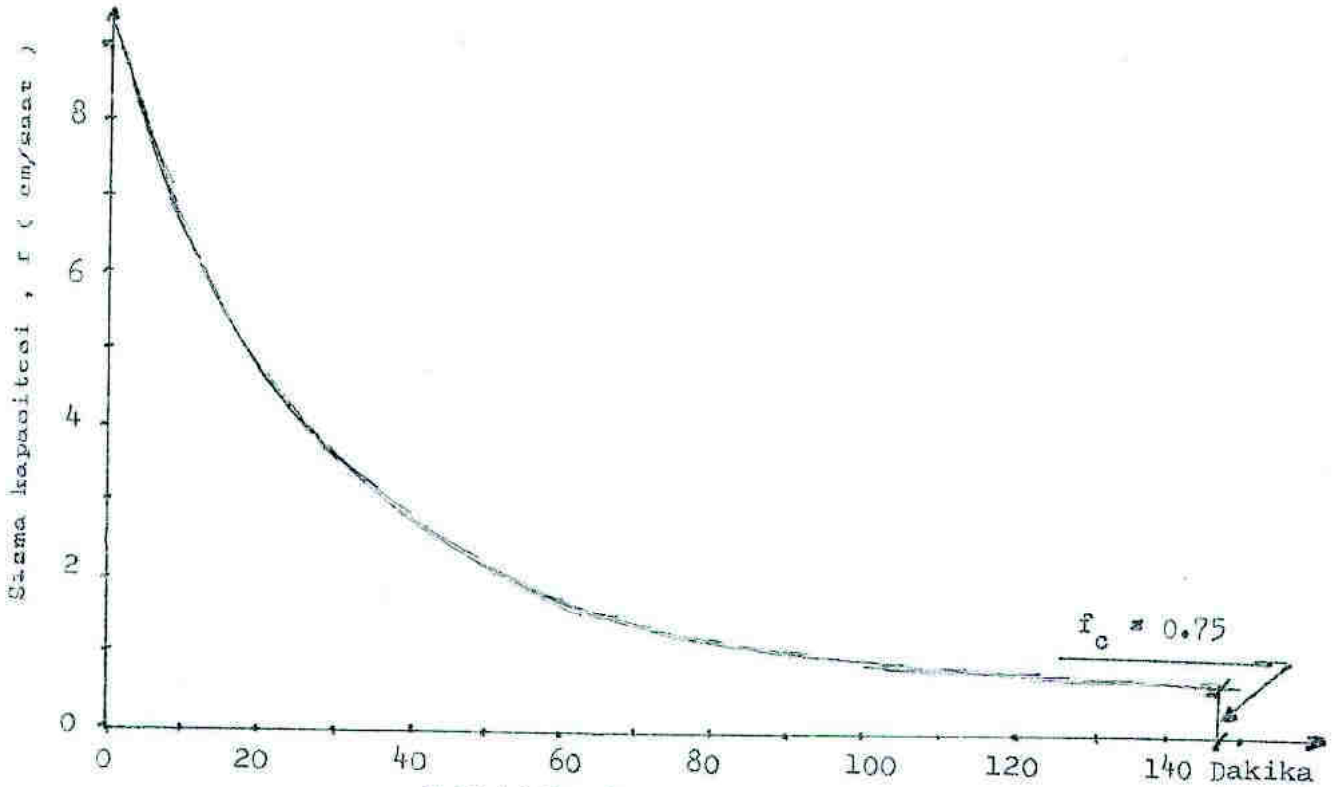
f_c = Deney başlangıcından sonraki (1-3 saat içinde) sızma kapasitesinin erişeceği limit değer

k = Katsayıdır.

Çizelge 4.3- Sızma kapasitesi değerlerinin hesaplanması

Zaman		Eklenen su hacmi (cm ³)	Eklenen su yüksekliği (cm)	Sızan su yüksekliği Δf (cm)	Sızma kapasitesi $f = \Delta f / \Delta t$ (cm/saat)
(Dak)	Δt (Saat)				
0		0			
2	0.033	278 ¹	0.289	0.289	8.76
5	0.050	658	0.684	0.395	7.90
10	0.083	1173	1.219	0.535	6.45
20	0.167	1924	2.000	0.781	4.68
30	0.167	2500	2.599	0.599	3.59
60	0.500	3345	3.477	0.878	1.76
90	0.500	3875	4.028	0.551	1.10
150	1.000	4595	4.777	0.749	0.75

(1) $278 \text{ cm}^3 / 962 \text{ cm}^2 = 0.289 \text{ cm}$, $0.289 \text{ cm} / 2 \text{ dak}(0.033 \text{ saat}) = 8.76 \text{ cm/saat}$



Şekil 4.3 Standart sızma eğrisi

f_0 , f , f_c ve k değerleri zemin cinsi ve bitki örtüsüne bağlı değerlerdir. k katsayısı değerini hesaplamak için Horton denklemi $f - f_c = (f_0 + f_c) e^{-kt}$ şeklinde yazılabilir. Her iki tarafın logaritması alınırsa eşitlik $\ln(f - f_c) = \ln(f_0 + f_c) - kt$ şekline dönüşür.

Bu denklem $[\ln(f - f_c) ; t]$ eksen takımında eğimi k olan bir doğru şeklinde görülür. Bu doğrunun koordinatları Çizelge 4.3 de verilen değerlerden yararlanarak hesaplanabilir (Çizelge 4.4). Hesaplarda $f_c = 0.75 \text{ cm/saat}$ değeri kullanılmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.4 Eğimi k olan doğrunun koordinatları

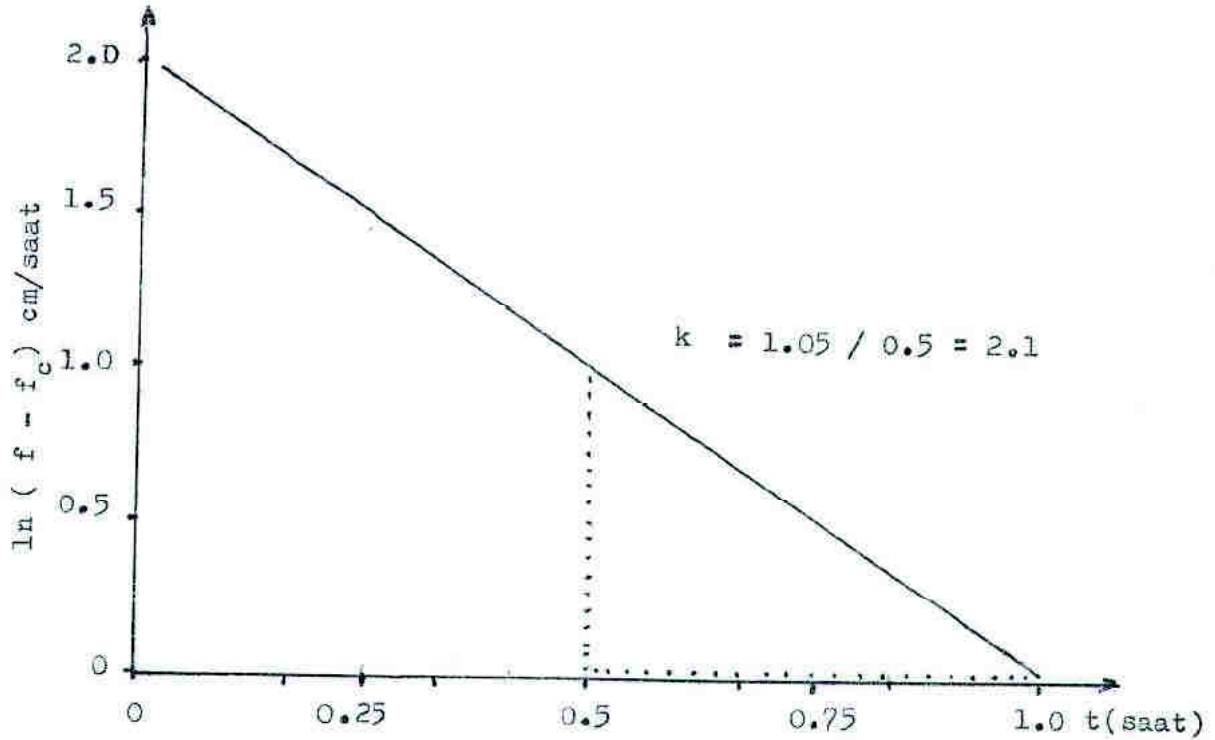
t(saatt)	0.033	0.083	0.167	0.33	0.50	1.00	1.50
f(cm/saat)	8.76	7.90	6.45	4.68	3.59	1.76	1.10
f-f _c	8.01	7.15	5.70	3.93	2.84	1.01	0.35
ln(f-f _c)	2.08	1.97	1.74	1.37	1.04	0.01	-1.05

[ln (f - f_c) ; t] eksen takımında değer çiftlerinin noktalanmasından yararlanarak çizilen doğrunun eğimi bize k değerini vermektedir(Şekil 4.4)

Sonuçta Horton denklemi;

$$f = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt}$$

$f = 0.75 + (8.76 - 0.75) e^{-2.1t}$ şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.4 Horton denklemi k katsayısı belirlenmesi

Doğrunun eğimi hesap makinesi aracılığı ile de hesaplanabilir.

Mode LR

0.033	X _D Y _D	8.01	Shift	ln	DATA	
0.083	"	7.15	"	"	"	Shift
.	.	.	.	.	.	b=-2.11
.	.	.	.	.	.	r=-0.999
1.50	X _D Y _D	0.35	"	"	"	

Heap yoluyla bulunan eğim Şekil 4.4 ten yararlanarak bulunan eğime yakın ancak gerçek eğnidir.

S. $e^{-7-2}=5$ için Çizelge 4.8 de 0.01 anlamlılık düzeyinde verilen korelasyon katsayısı 0.874 olup, hesaplanan korelasyon katsayısı (-0.999) mutlak değer olarak çizelge değerinden büyüktür ($-0.999 > 0.874$). Bu durum değişkenler arasında %99 güven düzeyinde anlamlı ancak ters yönlü bir ilişki olduğunu gösterir.

3. Sızma kapasitesi değerleri

Horton denklemi; $f = 0.75 + (8.76 - 0.75) e^{-2.1t}$ olup

$t = 10 / 60 = 0.5$ saat için;

$$f_{0.5} = 0.75 + (8.76 - 0.75) e^{-2.1 \times 0.5} = 3.55 \text{ cm/saat}$$

$t = 10 / 60 = 1$ saat için;

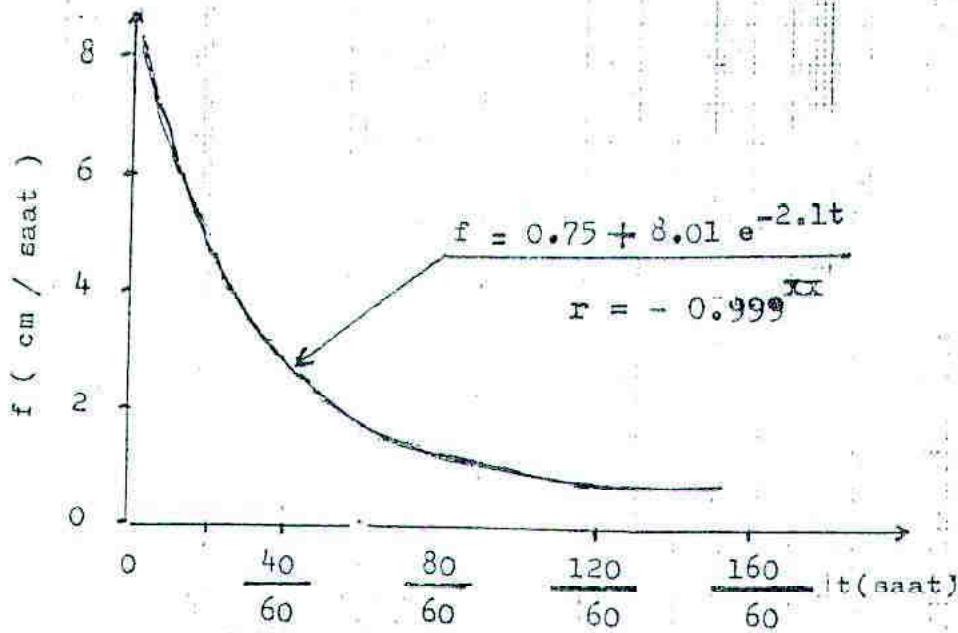
$$f_{1.0} = 0.75 + (8.76 - 0.75) e^{-2.1 \times 1} = 1.73 \text{ cm/saat hesaplanır.}$$

4. Standart sızma eğrisi

Standart sızma eğrisi çizmek için $f = 0.75 + 8.01e^{-2.1t}$ şeklinde hesaplanan Horton denklemi ile ϕ/k sayıda saat (t) değerleri için sızma kapasitesi (f) değerleri hesaplanır (Çizelge 4.5). Bu değerlerden yararlanarak standart sızma eğrisi çizilir (Şekil 4.5).

Çizelge 4.5. Horton denklemi ile hesaplanan f değerleri

t(saat)	2/60	10/60	20/60	30/60	60/60	90/60	150/60
f(cm/saat)	8.21	6.39	4.72	3.55	1.73	1.09	0.79



Şekil 4.5. Standart sızma eğrisi

2 STANDART SIZMA EĞRİSİ ÇİZİMİ (2)

Falka infiltrometre ile araştırma amaçlı yapılan bir çalışmada sızma kapasitesi f (cm/saat) değerlerinin zamana t (saat) göre değişimi aşağıda verilmiştir.

t(saat)	2/60	10/60	20/60	30/60	60/60	90/60	150/60
f _c m/saat)	7.50	5.60	4.00	2.40	1.40	0.50	0.40

1. Üzerinde araştırma yapılan zemin için Horton denklemi öğelerini belirleyiniz ya da hesaplayınız.

2. Standart sızma eğrisini çiziniz.

ÇÖZÜM

1. Horton denklemi öğeleri

Horton denklemi $f = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt}$ şeklinde olup denklem $f - f_c = (f_0 - f_c) e^{-kt}$ şeklinde yazılabilir. İki tarafın logaritması alınırsa denklem $\ln (f - f_c) = \ln (f_0 - f_c) - kt$ şekline dönüşür. Bu denklem ($\ln Y = \ln a - bX$) şeklinde yazılabilen bir denklemdir.

Yukarıdaki çizelgede görüldüğü gibi Horton denklemi öğelerinden $f_0=7.50$ cm/saat ve $f_c=0.40$ cm/saattir. Denklemin geriye kalan tek öğesi k ; t (saat) ile $f - f_c$ (cm/saat) değer çiftlerinden yararlanarak aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Horton denklemi öğeleri hesabı

t (saat)	f-f _c (cm/saat)		f-f _c (cm/saat)		Shift b=-2.14 r=-0.999
	X _D Y _D		ln	DATA	
0.033	X _D Y _D	7.5-0.4=7.1	Shift	ln	DATA
0.166	"	5.6-0.4=5.2	"	"	"
0.333	"	4.0-0.4=3.6	"	"	"
0.666	"	2.4-0.4=2.0	"	"	"
1.000	"	1.4-0.4=1.0	"	"	"
1.500	"	0.5-0.4=0.1	"	"	"

k değeri -2.14 olup Horton denklemi;

$$f = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt}$$

$$f = 0.40 + (7.50 - 0.40) e^{-2.14t}$$

$$f = 0.40 + (7.10) e^{-2.14t} \text{ şeklinde yazılabilir.}$$

2. Standart sızma eğrisi

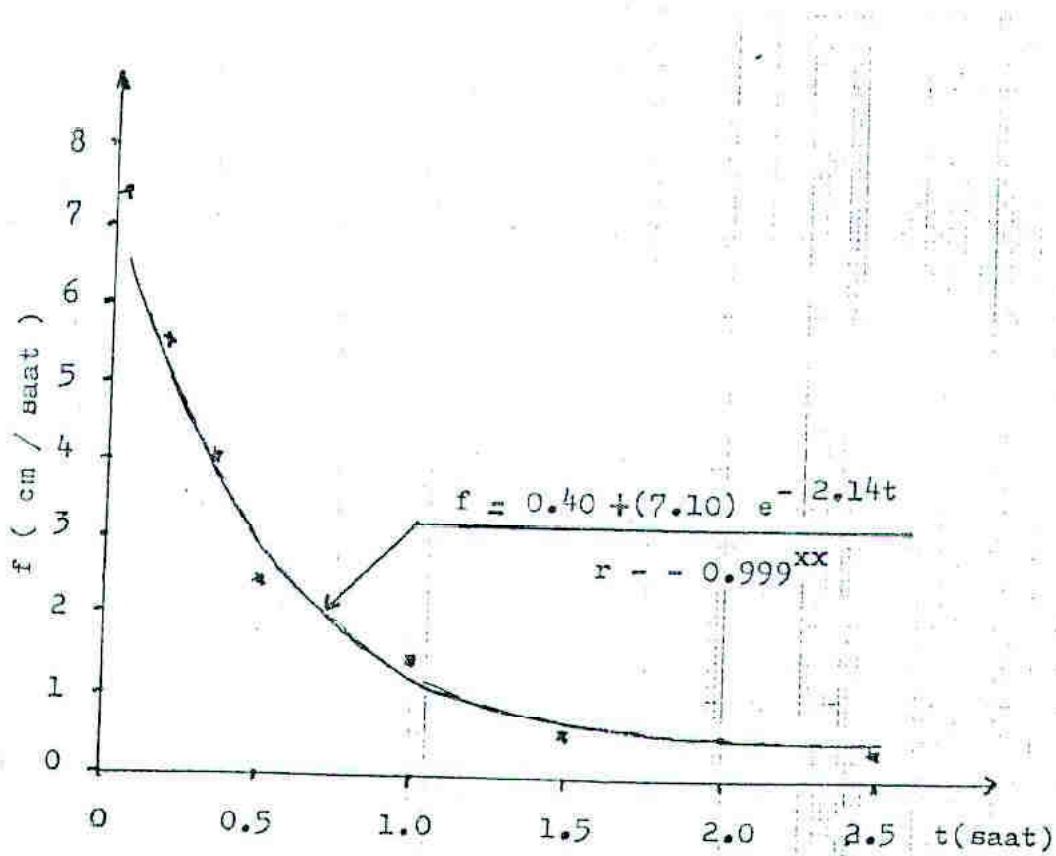
Standart sızma eğrisi çizebilmek için Horton denkleminden yararlanarak aşağıdaki çizelgede görüldüğü gibi t (saat), f (cm/saat) değer çiftleri hesaplanır (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Horton denklemi ile hesaplanan değer çiftleri

t(saatt)											f(cm/saat)		
5/60	=	0.083	×	2.14	Shift	e^x	1/x	×	7.10	+	0.40	=	6.34
15/60	=	0.25	×	"	"	"	"	×	"	+	"	=	4.55
30/60	=	0.5	×	"	"	"	"	×	"	+	"	=	2.83
60/60	=	1.0	×	"	"	"	"	×	"	+	"	=	1.23
90/60	=	1.5	×	"	"	"	"	×	"	+	"	=	0.68
120/60	=	2.0	×	"	"	"	"	×	"	+	"	=	0.50
150/60	=	2.5	×	"	"	"	"	×	"	+	"	=	0.43

Hesaplanan bu değer çiftlerinden yararlanarak standart sızma eğrisi milimetrik kağıt üzerine çizilir (Şekil 4.6).

Bu ilişki için hesaplanan korelasyon katsayısı $r = -0.999$ hesaplanır. Diğer taraftan s.d. $6-2=4$ için Çizelge 4.8 den 0.01 anlamlılık düzeyindeki korelasyon katsayısı 0.917 okunur. Hesaplanan korelasyon katsayısı mutlak değer olarak çizelge değerinden büyük olduğu için $(-0.999 > 0.917)$ iki değişken arasında %99 güven düzeyinde anlamlı ancak ters yönlü bir ilişki olduğu sonucuna varılır.



Şekil 4.6. Standart sızma eğrisi

Çizelge 4.8. Korelasyon katsayısı değerleri

n \ P	0.10	0.05	0.02	0.01
1	0.988	0.997	1.000	1.000
2	0.900	0.950	0.980	0.990
3	0.805	0.878	0.934	0.959
4	0.729	0.811	0.882	0.917
5	0.669	0.754	0.833	0.874
6	0.622	0.707	0.789	0.834
7	0.582	0.666	0.750	0.789
8	0.549	0.632	0.716	0.765
9	0.521	0.602	0.685	0.735
10	0.497	0.576	0.658	0.708
11	0.476	0.553	0.634	0.684
12	0.458	0.532	0.612	0.661
13	0.441	0.514	0.592	0.641
14	0.426	0.497	0.574	0.623
15	0.412	0.482	0.558	0.606
16	0.400	0.468	0.542	0.590
17	0.389	0.456	0.528	0.575
18	0.378	0.444	0.516	0.561
19	0.369	0.433	0.503	0.549
20	0.360	0.423	0.492	0.537
25	0.323	0.381	0.445	0.487
30	0.296	0.349	0.409	0.449
35	0.275	0.325	0.381	0.418
40	0.257	0.304	0.358	0.393
45	0.243	0.288	0.338	0.372
50	0.231	0.273	0.322	0.354
60	0.211	0.250	0.295	0.325
70	0.196	0.232	0.274	0.302
80	0.183	0.217	0.256	0.283
90	0.173	0.205	0.242	0.267
100	0.164	0.195	0.230	0.254

3- SIZMA İNDİSİNİN HESAPLANMASI (1)

Bir akarsu havzasında bir taşkın sırasında ölçülen yüzey akış yüksekliği 45 mm. dir. yağış boyunca havzada ölçülen yağış şiddeti (\bar{I}) aşağıda verilmiştir. Bu yağış için havzanın ϕ indisini hesaplayınız.

Zaman (saat)	0	1	2	3	4	5	6	Toplam
\bar{I} (mm/saat)		13	19	46	20	33	19	P=150 mm

ÇÖZÜM

Verilen değerlere göre ilgili yağıştan oluşan toplam yağış yüksekliği $p=150$ mm dir. Yüzey akış yüksekliği ise $R=45$ mm olup bu yağış boyunca toplam sızma yüksekliği;

$$F=P-R=150-45=105 \text{ mm dir.}$$

Yağış boyunca (6 saat) yağış şiddetinin sızma kapasitesinden büyük olduğu yani yağış boyunca yüzey akış olduğu varsayıldığında havzanın ϕ indisini:

$\phi = F/T=105/6=17.5$ mm/saat olarak bulunur. Bu sonuç ise yağışın başlangıcındaki ilk bir saatlik süre içinde düşen yağışın hiç akışa geçmediğini ($\bar{I}=13$ mm/saat $< \phi = 17.5$ mm/saat) ve dolayısıyla bu süredeki yağışın ϕ indisini hesaplamasında kullanılmaması gerektiğini gösterir. Buna göre bu yağış dışındaki toplam sızma yüksekliği:

$$F=(150-13)-45=92 \text{ mm} \quad \text{Saat 1 - 6 arası } (\bar{I}) \text{ mm/saat değerleri } > 18.4 \text{ mm/saat olduğundan}$$

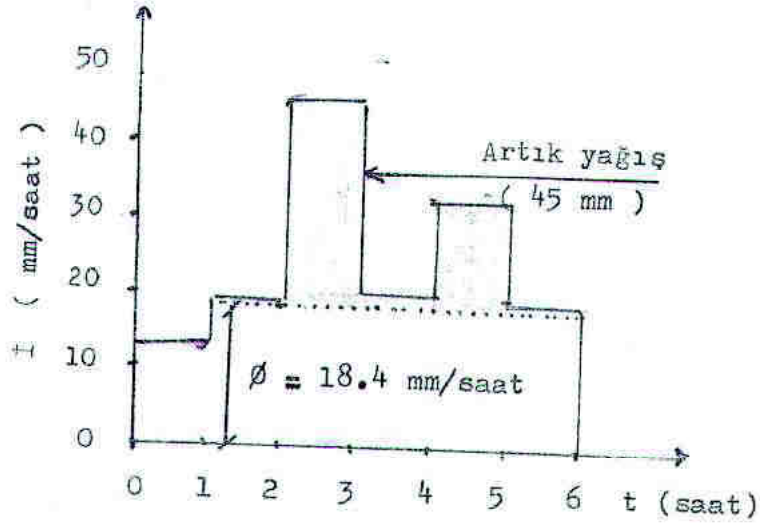
$$\phi = 92/5 = 18.4 \text{ mm/saatir.}$$

$\phi = 18.4$ mm/saat kabul edilmesi halinde yüzey yağış yüksekliği 45 mm olarak bulunmaktadır. Bu değer verilen yüzey akış yüksekliğine eşittir. (Çizelge 6).

ϕ indisini değeri Şekil 4.8'de hiyetograf üzerinde de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6- ϕ indisinin hesaplanması

t (saat)	\bar{I} (mm/saat)	Yağış, P(mm)	ϕ (mm/saat)	Yüzey akış (mm)
0-1	13	13	18.4	-
1-2	19	19	"	0.6
2-3	46	46	"	27.6
3-4	20	20	"	1.6
4-5	33	33	"	14.6
5-6	19	19	"	0.6
Toplam(mm)		150		45.0



Şekil 4.8 Ø sızma indisinin hyetograf üzerinde gösterilmesi

4- SIZMA İNDİSİ HESABI (2)

Bir havzada bir taşkın sırasında ölçülen dolaysız akış yüksekliği 1.05 mm dir. Çizelge 4.7 de verilen yağış değerlerinden yararlanarak bu yağış için havzanın Ø indisini hesaplayınız. Ayrıca Ø indisini hyetograf üzerinde gösteriniz.

Çizelge 4.7- Yağış değerleri

Zaman(saatt)	Yağış süresi(dak.)	Yağış, P(mm)	İ (mm/saat)
16.00-17.00	60	2.70	2.7
17.00-18.30	90	10.10	6.7
18.30-21.00	150	6.00	2.4
21.00-22.00	60	0.40	0.4
22.00-00.30	150	0.30	0.12
Toplam		19.50	

ÇÖZÜM

Verilen değerlere göre toplam yağış yüksekliği $P=19.5$ mm dir. Dolaysız akış yüksekliği $R=1.05$ mm olarak verildiğine göre yağış boyunca toplam sızma yüksekliği $F=P-R=19.50-1.05=18.45$ mm dir. İlk aşamada yağış süresince sızma kapasitesinin yağış şiddetinden küçük olduğunu varsayalım. Bu takdirde havzanın Ø indisi:

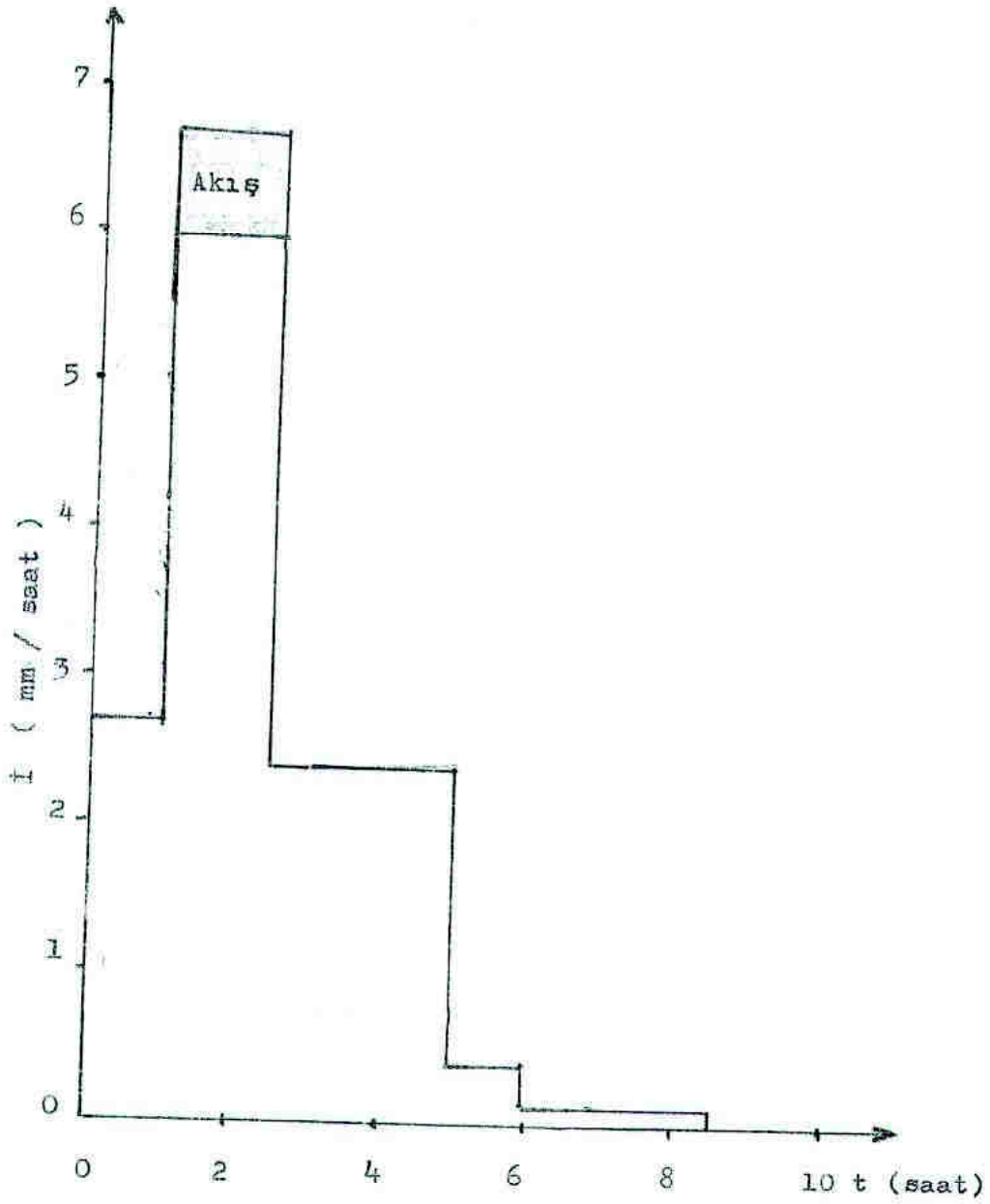
$$\varnothing = 18.45 / 8.5 \text{ dak.} = 2.17 \text{ mm/saat bulunur.}$$

Bu sonuç ise yağışın saat 21.00-00.30 arasında akışa geçmediğini ($\dot{I} < 2.17$ mm/saat) ve dolayısıyla bu sürenin Ø indisi hesabında dikkate alınmaması gerektiğini göstermektedir. Buna göre $\varnothing = 18.45 - (0.40 + 0.30) / 300 \text{ dak} = 17.75 / 5 \text{ (saat)} = 3.55 \text{ mm/saat}$ değerini alır. Bu sonuç bize saat 16.00-17.00 ve 18.30-21.00 arasında düşen yağışın da akışa geçmediğini gösterir. Buna göre havzanın Ø indisi:

$$\varnothing = 17.75 - (2.70 + 6.00) / 90 \text{ dak} = 9.05 / 1.5 = 6 \text{ mm/saat bulunur.}$$

Bulunan değer kontrol edilebilir. $6.7-6.0=0.7$ mm/saat bu şiddetteki yağış 1.5 saatte $0.7 \times 1.5=1.05$ mm dolaysız akış yüksekliğine neden olur.

Yağışa ait hietograf ve \emptyset indisi Şekil 4.9 da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Hietograf ve \emptyset indisi

