

SULAMA SİSTEMLERİNDE KANAL SIZMA KAYIPLARINI SAPTAMA YÖNTEMLERİ

Feridun Hakgören (1)

ÖZET

Sulan alanlarda kaynaktan saptırılan suyun yaklaşık % 35-40'ı taşıma anında kanal taban ve şevlerinden sızma ile kaybolmaktadır. Bu kayıplar sadece sulama suyunda azalmalara neden olmamakta bundan daha önemlisi çevre arazilerde drenaj ve tuzluluk gibi sorunlar yaratmaktadır.

Bu sorunların çözümü için planlanacak projelerde ekonomik değerlendirmelere, kanalların kaplanmasına ve oluşturulacak drenaj şebekesinin yoğunluğu ve tipine karar vermek için sızma kayıplarının oldukça doğru bir şekile saptanması gerekir. Bu yazıda kanallardan olabilecek sızma kayıplarının saptanması için deneysel, teorik ve amprik yöntemler hakkında bu konuda çalışacak olanlara yararlı olabilecek bilgiler verilmeğe çalışılmıştır.

I. GİRİŞ

Ülkemizde bugün sulanabilir tarım alanların yaklaşık % 25'i sulanabilmektedir. Artan nüfusu beslemek ve gelişen sanayiye gerekli ham maddeleri sağlamak amacıyla mevcut sulanabilir alanların sulamaya açılması hazırlanan beş yıllık kalkınma planlarında öngörülmektedir. Sulanabilir alanlardan daha yüksek verim alabilmek için sulamanın zorunlu olduğu bilindiğine göre, kaynaktan alınan suyun tarla başına ulaşıncaya kadar en az kayıpla taşınması gerek-

mektedir. Bu kayıpların azaltılması sulama suyunun doğal yollarla sağlanmasının güç olduğu kurak bölgelerde özellikle önemli olmaktadır. Bu bölgelerde kaynaktan saptırılan suyun kullanılan araziye taşınması anında bu miktarın ortalama % 35-40'ı kullanılacak alanlara ulaşmadan sızma yoluyla kanal taban ve şevlerinden kaybolmaktadır. Özellikle sulama suyunun geçirgen topraklardan taşınması anında kanallardan sızan sular çevre arazi-

lerde önemli sorunlar yaratmaktadır. Birçok sulama sisteminde aşırı sulama ve kanal sızmaları sonucunda yükselen taban suyunun etkisiyle proje alanı toprakları çoraklaşmış ve kullanılmaz hale gelmiştir. Özellikle kanallardan sızan sular tarımsal arazilerde drenaj sorunlarının meydana gelmesinde önemli bir etken olmaktadır.

Ülkemiz olanaklarına göre küçüm-senmeyecek yatırımların yapıldığı sulama şebekelerinden beklenen yararın sağlanabilmesi bu tesislerin rasyonel bir şekilde kullanılmasıyla ve mevcut sudan en iyi şekilde yararlanmakla mümkün olabilecektir. Sulanan alanlarda önemli sorunlar yaratan su kayıplarını; sızma buharlaşma, transpirasyon ve şebekede bulunan sınaî yapıalarda meydana gelen sızıntılar oluşturur. Kanallardaki sızma kayıpları ise taşıma kayıplarının en büyük kısmını meydana getirir.

Dinamik bir olay olan sızmaya bir çok etmenler etki etmektedir. Bunlar, kanal malzemesinin geçirgenliği, kanalın su taşıma zamanı, taban suyu derinliği, kanaldaki su derinliği, suyun taşımış olduğu sediment miktarı, kanal

ıslak alanının büyüklüğü, taban suyu derinliği ve biyolojik etkenlerdir.

Sulama kanallarında suyun sızma ile kaybolması üzerinde önemle durulacak bir sorundur. Bu tesislerden meydana gelen sızmalar suyun kaybolmasına, çevre ve aşağı arazilerde drenaj sorunlarının artmasına ve çorak toprakların oluşmasına neden olur. Dolayısıyla bu bölgelerde taban suyu düzeyini bitki kök bölgesinin altına düşürmek, tuzluluk ve alkalilik sorunlarına engel olmak amacıyla kanallardan meydana gelen sızmaları saptamak gerekmektedir. Çünkü çalışmalar göstermiştir ki kaynaktan saptırılan suyun 1/3'ü taşıma sırasında, 1/3'ü suyun araziye verilmesi sırasında kaybolmakta ve sadece 1/3'ü bitki kök bölgesinde depo edilebilmektedir.

Toprak kanallarda sızma kayıpları toprağın yapısına bağlı olarak 75-1500 l/m²/gün arasında değişmektedir. Özellikle dolguda geçirilen toprak kanallarda bu kayıplar oldukça yüksektir. İyi bakımlı kaplama kanallarda ise sızma kayıpları kanal uzunluğuna bağlı olarak taşınan suyun % 5'ini geçmemelidir.

2. SIZMA KAYIPLARININ SAPTANMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

Bir sulama projesindeki başarıye yetiştirilecek bitkilerin maksimum su gereksinimlerini en iyi şekilde saptamakla sağlanabilir. Ancak bitkinin toplam su gereksinmesi saptanırken suyun taşıma ve uygulanması sırasında meydana gelebilecek kayıplarında dikkate alınması gerekmektedir.

Özellikle, sulama suyunun geçirgen topraklarda taşınması sırasında kanal şev ve tabanlarındaki sızma kayıp-

larının meydana getirdiği zararlar büyük olmaktadır. Bu nedenle, geçirgen topraklarda inşa edilen toprak kanalların geçirimsiz bir malzemeyle kaplanmasıyla; tesis ömrünün uzatılması, işletme bakım masraflarının azaltılması, çevre arazilerde drenaj sorunlarının azalması, su nakil depolama ve dağıtım randımanlarının artırılması, kamulaştırma bedellerinin azalması gibi yararlar sağlanabilmektedir.

Sızma miktarlarının saptanması, kanal projelenmesinde ve kaplama malzemesi için ekonomik karşılaştırmaların yapılmasında önemlidir. Özellikle sulama projelerinde kanalların kaplanmasına karar verilirken sızma kayıplarının doğrulukla saptanması gerekir. Bu nedenle birçok araştırmacı kanallardan sızmayla kaybolan su miktarını saptamak amacıyla en uygun yöntemi bulmaya çalışmışlardır (Robinson ve Rohwer 1959; Bouver, 1963).

Sulama kanallarında sızmayla meydana gelen su kaybını önlemek için kullanılan yöntemler a) kanallara giren-çıkan akımın ölçülmesiyle; b) havuzlama (göllendirme); c) sızma ölçeri*; d) amirik eşitlikler ve e) özel yöntemler olmak üzere beş gruba ayrılabilir (Kraatz 1971).

Sulama şebekelerindeki kanallar ve tarla arklarından sızma ile meydana gelen kayıpların birçok ifade şekli olup, bunlardan en fazla uygulananlar ise kanal ıslak çevresinin birim alanından kaybolan su hacmi ($m^3/m^2/24$ saat), kanalın belli uzunluğunda kanala giren debinin yüzdesi olarak kaybolan su (%-km), kanalın birim uzunluğundan 24 saat içinde kaybolan su hacmi ($m^3/m/24$ saat)'dir

2.1.Kanala Giren-Çıkan Akımın Ölçülmesi

Yöntem, belli bir kanal kesimi için de akan suyun başlangıç ve bitiş noktalarında ölçülmesi ile elde edilen değerlerden sızma kaybının saptanmasını kapsar. Giren-çıkan debinin ölçülmesiyle sızma kayıplarının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$S_k = (Q_G - Q_C)$$

Burada, S_k ölçüm yapılan kanal kesimindeki sızma kayıpları m^3/s , Q_G giren akım m^3/s , Q_C çıkan akım m^3/s .

Burada saptanan sızma kayıpları küçükse buharlama kayıplarının sızma kayıplarına etkisi yok denecek kadar azdır. Yöntemle sağlıklı değerler elde edebilmek için akım ölçmelerinin uzun kanal kesimlerinde yapılması gerekir. Aksi halde kısa kanal kesimlerinde ölçmeler yapıldığında sızma kayıpları gerçek değerden daha küçük bulunacaktır.

Sızma miktarlarının büyük olduğu kanallarda aynı kanal segmentinde çeşitli ölçümler yapıp bunların ortalaması alınırsa oldukça güvenilir sonuçlar elde edilebilir. Bunun yanında daha doğru sonuçlar isteniyorsa denemeye alınan kanal segmentindeki günlük giren-çıkan akımların saptanması yerinde olur. Bu ölçümler sırasında % 1 hata kabul edilebilmektedir.

Kanala giren çıkan akımın ölçülmesiyle sızma kayıplarının saptanması anında aynı koşullara sahip benzer kanal kesimleri seçilmeli, seçilen kanal kesimleri arasında su sızıntı ve kaçakları olmamalı ve ölçmeler mümkünse aynı aletle yapılmalıdır.

Giren-çıkan akımın ölçülmesinde kanaldaki su hızını ölçmede çeşitli yöntemler vardır. Ancak bunların en doğru sonuç vereni Mulinelerle akan suyun hızının ölçülmesidir. Burada dikkat edilecek husus ölçümün yapıldığı yerde kanal kesitinin muntazam şekilde olmasıdır.

*Seepage meter anlamında

2.2. Havuzlama (Göllendirme) Yöntemi

Sızma kayıplarının saptanmasında kullanılan havuzlama yöntemi deneysel yöntemler içinde en doğru sonuç verenidir. Yöntemin tek sakıncası durgun sudaki sızma miktarının akar haldeki suda meydana gelebilecek sızma miktarından farklı olabilmesidir. Bununla beraber diğer yöntemlerin uygulanması anında yapılabilecek mühendislik hatalarıyla karşılaştırıldığında bu farklılığın oldukça küçük olduğu görülmüştür.

Havuzlama yönteminde, sızma kayıpları ölçülmesi istenilen kanalın bir bölgesinin iki ucu saç levha ile kapatılarak meydana gelecek havuzda su düzeyindeki düşüşler bir ölme çubuğu yardımı ile gözetlenir. Ölçüm yapılırken rüzgarın havuz içindeki su düzeyine etkisi önlenmeli ve ölçüm anında buharlaşma kaybı ile düşen yağış miktarları saptanmalıdır. Bu değerler elde edildikten sonra sızma kayıpları şöyle hesaplanır (Skogerboe ve Walker 1975).

$$S = \frac{W (d_1 - d_2) \cdot L}{P \cdot L} \quad (2)$$

Burada, S ortalama sızma kaybı $m^3/m^2/24$ saat, W havuzlanan suyun ortalama genişliği, m, d_1 , deneme başlangıcındaki su derinliği, m, d_2 24 saat sonraki su derinliği m, P kanalın ortalama ıslak çevresi m, L havuz boyu m.

Doğru sonuçlar elde edebilmek için seçilen havuz kesimine giren veya çıkan bir akışın olmamasına, havuzdaki su derinliğinin mümkün olduğu kadar sabit tutulmasına özen gösterilmelidir. Bu yöntemin giren-çıkan akımın ölçül-

mesi yöntemine karşın başlıca yararı çok küçük sızma kayıplarının bile oldukça doğru bir şekilde saptanabilmesidir. Çünkü havuzdaki su düzeyinden alınacak derinlik ölçmeleri akım ölçmelerinden daha doğru bir şekilde yapılabilecektir.

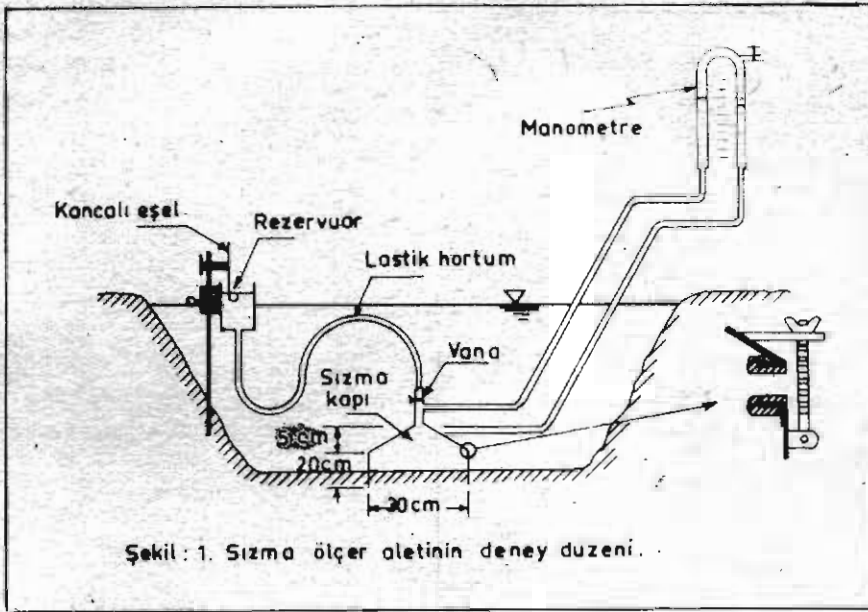
Yöntemin uygulanması sırasında denemenin yapıldığı koşullara bağlı olarak havuz boyu kısa veya uzun alınabilir. Çünkü uzunluk sonuçların doğruluğuna etki etmeyecektir. Fakat havuz boyu oldukça uzun alındığında eğim nedeniyle başlangıç ve son kısımındaki su derinliği eşit olarak korunamayacağı gibi uzun havuz boyunda su yüzeyi üst genişliğinde de homojenlik sağlanamayacaktır. Bu durumlar sızma kayıplarının doğru olarak saptanmasını etkileyecektir.

Sızma kayıpları saptanırken eğer havuz yeni inşa edilmişse suyun havuz içinde bir veya iki gün bekletilmesi doğru sonuçların elde edilmesi bakımından gereklidir.

2.3. Sızma Miktarı Ölçeri (Seepage Meter)

Permeametrelerden uyarlanılarak çeşitli tip sızma miktarı ölçerler geliştirilmiştir. Aletin iç kısmındaki hidrolik yükü kanaldaki hidrolik yüke eşit kılıp bunu korumak oldukça güçtür. Bu nedenle sızma ölçer bir rezervuara bağlanarak değişken düzeyli bir teknik kullanılmıştır.

Alet genel olarak 30 cm çapında ve 20 cm yüksekliğinde kanal zemini toprağına çakılabilen silindirik şeklindeki bir kapla bir su rezervuarı ve manometreden meydana gelmiştir (Şekil 1).



Sızma miktarı ölçerle ölçüm yapılmadan önce rezervuardaki su düzeyi kanaldaki su düzeyinden 2,0-2,5 cm yüksekte tutulur. Sızma ölçeri kabındaki suyun kanal zemininden sızması sonucunda rezervuar su düzeyindeki düşüş kanal banketine yerleştirilen ters U şeklindeki manometre yardımıyla ölçülür. Manometrenin bir kolu lastik hortum vasıtasıyla sızma kabına, diğer kolu ise kanaldaki suya bağlanır. Kanal tabanında sızma başlayınca sızma kabına bağlı manometre kolundaki su düzeyi düşecek, buna karşın kanaldaki suya bağlı koldaki su düzeyi yükselecektir. Deney anında manometrenin kollarında su düzeylerinde meydana gelecek düşüş ve yükselişler bir ordinat sisteminde zamana göre işaretlenirse elde edilen eğrilerin kesiştiği noktada sızma kabındaki basınçla kanaldaki basınç birbirlerine eşit olacaktır (şekil 2). Bu eğrilerin kesim noktasında bir dakikalık zaman içindeki

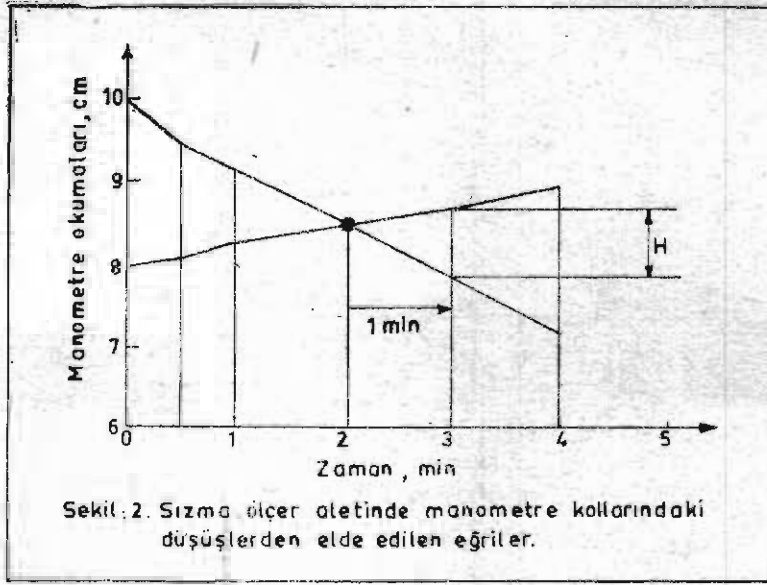
düşüş ölçülerek aşağıdaki eşitlik yardımıyla sızma miktarı hesaplanabilir (Bouwer ve Rice, 1963).

$$q_s = H \frac{R_v^2}{R_c^2} \quad (3)$$

Burada, q_s sızma kayıpları cm/min, H manometredeki 1 dakika içindeki düşüş cm/min, R_v rezervuar yarıçapı cm, R_c silindir yarıçapı cm.

Bu yöntemle sızma miktarı denemeleri kanal tabanında yapılmaktadır. Oysa kanal şevlerinden meydana gelen sızma kayıpları kanal tabanına göre daha yüksektir. Bu nedenle güvenilir sonuçlar elde etmek için sızma ölçerlerle kanal tabanı kadar şevlerden de ölçüm alınmalıdır.

Yöntemle oldukça güvenilir sonuçlar elde edebilmek için deneme sayısını artırmak gerekecektir. Sızma kayıplarını istenilen hata sınırında hesaplayabilmek için yapılacak ölçüm



sayısı istatistiksel olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunabilir (Brockway ve Worstell, 1969).

$$N_e = \left(\frac{100 t s}{D \bar{X}} \right)^2 \quad (4)$$

Burada N_e istenilen deneme sayısı, t deneme sayısına ve istenilen güven sınırına bağlı olasılık fonksiyonu, S örneklerin standart sapması, D verilen olasılık düzeyinde hesaplanan ortalamaların gerçek ortalamalardan en yüksek sapma yüzdesi ve \bar{X} sızma ölçerlere yapılan ölçümlerin ortalamasıdır.

2.4 Amirik Eşitlikler

Kanal uzunluğu, kanaldaki su derinliği, ıslak çevre gibi kanal elemanlarından yararlanılarak geliştirilmiş çeşitli amirik eşitlikler bu amaç için kullanılmaktadır. Amirik eşitliklerle doğru sonuçların alınması ancak bunların geliştirildiği koşullarda uygulanmasıyla sağlanabilir. Fakat yine de bu eşitlikler, uygulanabilecek deneysel

yöntem bulunmadığı hallerde kullanılabilir.

David ve Wilson (Dhillon, 1967) kaplanmış kanallardaki taşıma kayıplarını saptamak için su eşitliği geliştirmişlerdir:

$$S_L = 0,45 \cdot C \frac{P_w \cdot L}{4 \times 10^6 + 3650 \sqrt{V}} H_w^{1/3} \quad (5)$$

Burada, S_L kanalın bir metresindeki sızma kaybı $m^3/m/gün$, P_w kanal ıslak çevresi m , L kanal uzunluğu m , H_w kanaldaki su derinliği, V kanaldaki su hızı m/s ve C kanal inşa edildiği malzemeye bağlı bir kat sayı (Çizelge 1).

Toprak kanallarda FAO - UNESCO (1974) kanal zemini permeabilitesinden yararlanılarak sızma kayıplarını saptamada;

$$S = s \cdot \frac{Q \cdot L}{100} \quad (6)$$

Çizelge 1. Kaplama tipi ve kalınlığına göre C katsayısı

Kaplama Tipi	Kaplama Kalınlığı (cm)	C katsayısı
Beton	10	1
Kil kütlesi	15	4
Hafif asfalt	—	5
Çimento sıva	—	10

Eşitliği kullanılmaktadır. Burada, S her km kanal uzunluğundaki sızma kayıpları m^3/s L kanal uzunluğu km, Q kanalda akan su debisi m^3/s ve s ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$s = \frac{A}{Q^m}$$

A ve m toprak permeabilitesine bağlı katsayısı olup Çizelge 2'den bulunabilir.

Çizelge 2. A ve m katsayıları

Katsayı	Permeabilite		
	Düşük	Orta	Yüksek
A	0,70	1,90	3,40
m	0,30	0,40	0,50

Eşitliklerde görüleceği gibi kanaldaki su debisi arttıkça taşıma randımanı buna bağlı olarak artacak zeminin permeabilitesi yüksek olduğu hallerde ise taşıma randımanı hızla düşecektir.

Sızma kayıpları ölçme eşelleri yardımıyla akım kayıtlarından yararlanılarak saptanabilir. Bu konuda Dorlot su eşitliği önermektedir (FAO - UNESCO, 1973).

$$W_p = \frac{S_p}{R \cdot V \cdot 86,4} \cdot 100 \quad (7)$$

Burada, W_p su kaybı $\%$ -km, S_p sızma kayıpları $m^3/m^2/gün$, R kanalın ortalama hidrolik yarıçapı, m, V suyun akış hızı m/s 'dir.

Taşıma kayıplarının hesaplanmasında kullanılan diğer bir eşitlik ise Molesworth ve Yennidumie'nin geliştirdiği

eşitliktir (Doorenbos, 1963). Buna göre sızma kayıpları:

$$S = c \times L \times P \times \sqrt{R} \quad (8)$$

Burada, S kanalın L uzunluğundaki taşıma kayıpları m^3/s , c toprağın tabiatına ve sıcaklığına bağlı bir katsayı (kil için $c=0,0015$ ve kum için $c=0,003$), L kanal uzunluğu km, P kanalın ıslak çevresi m ve R ise ortalama su derinliği m.

Kostyakov tarafından (Mosonyi, 1963) farklı permeabilitedeki topraklarda açılmış kanallarda akan su debisinden yararlanılarak bir günde kanalın birim uzunluğundan kaybolan sızma kayıplarını saptamada şu eşitlikler önerilmektedir.

$q = 2,94 Q^{0,5}$ yüksek geçirgen topraklar için

$q = 1,64 Q^{0,6}$ orta geçirgen topraklar için

$q = 0,60 Q^{0,7}$ düşük geçirgen topraklar için (9)

Burada, q kanalın birim uzunluğundaki sızma kaybı $m^3/gün$, Q kanal debisi m^3/s 'dir.

2.5 Özel Yöntemler

2.5.1 Grafikselsel Çözüm

Sulama kanallarında taşınan suyun etkisiyle oluşan sızma kayıplarının saptanmasında kullanılan grafikselsel çözüm elektrikselsel anoloji yöntemlerinden türetilmiştir. Bunlardan Bouwer (1963)'ün grafikselsel çözümü oldukça pratik sonuçlar vermektedir. Yöntemin uygulanabilmesi için kanal zemininin hidrolik kondaktivitesi, kanal boyutları ve taban suyunun durumu gibi etkenlerin bilinmesine gereksinim vardır.

Toprak profilinde tabakalara ilişkin hidrolik kondaktivite değerlerindeki farklılık sızma akışını azaltacaktır. Buna göre Bouwer kanallarda meydana gelebilecek sızma kayıplarını grafikselsel olarak saptamak için üç temel koşul kabul etmiştir (Şekil 3).
Bunlar,

— Kanalın üniform bir toprak içinden geçirildiği ve kanal tabanı altında oldukça geçirimli bir tabakanın bulunduğu hal (A koşulu)

— Kanalın üniform bir toprak içinden geçirildiği ve kanal tabanı altında geçirimsiz bir tabakanın bulunduğu hal (B koşulu)

— Sızma kayıplarını kontrol etmek amacıyla kanalın geçtiği doğal

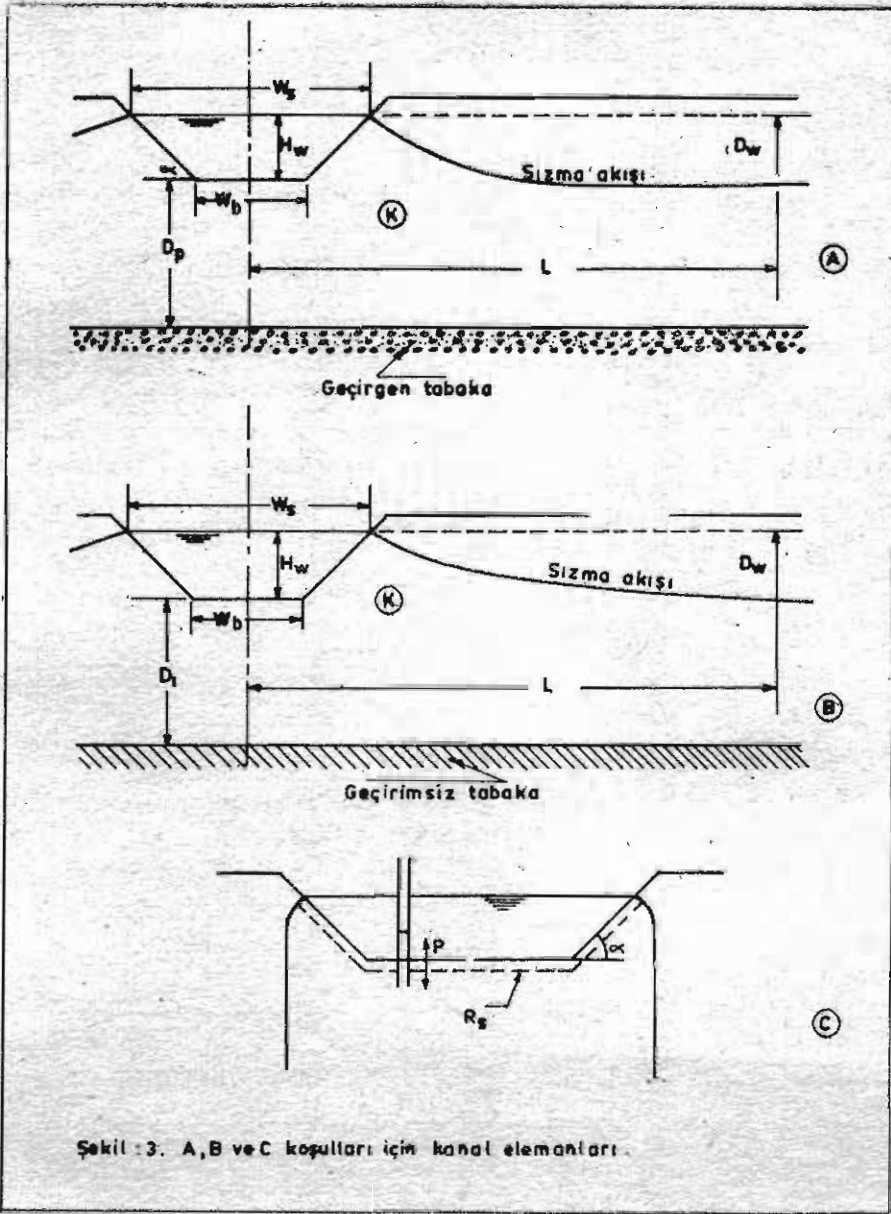
zeminin hidrolik kondaktivitesinden daha düşük hidrolik kondaktivitedeki bir malzemeyle kaplandığı hal (C koşulu)

Elektrikselsel anoloji şebekeleri yardımıyla hazırlanan abaklarla A ve B koşullarındaki sızma kayıpları saptanabilir. Yöntemde bu koşullar için verilen kanal elemanları ve bunlarla ilgili semboller şekil 3'de belirtilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi D_w sızma akışına etki eden hidrolik yüküdür. Büyük A ve B koşullarında kanaldaki serbest su düzeyi ile yatay taban suyu düzeyi arasındaki uzaklığa eşittir. Yöntemde yatay taban suyu düzeyi kanal ekseninden taban genişliğinin 10 katı alınarak bulunmuştur. Bu kabullenmeler sonucunda Bouwer 1/1 şevli trapez kesitli toprak kanallarda üç farklı su derinliğinde sızma kayıplarını saptamak için çeşitli abaklar geliştirmiştir (Şekil 4,5,6). Bu abaklardan elde edilen boyutsuz I_s/K değeri ile kanal zemini hidrolik kondaktivitesi ve kanal elemanlarında yararlanılarak birim uzunluktaki kanal kesitinden günde meydana gelebilecek sızma miktarı şu eşitlikle bulunabilir.

$$q = \frac{I_s}{K} \cdot KxW_s \quad (10)$$

Burada q birim kanal uzunluğundaki sızma kaybı $m^3/gün/m$, I_s/K eğrilerden elde edilen boyutsuz bir değer K kanal zemininin hidrolik kondaktivitesi $m/gün$ W_s kanaldaki su üst yüzü genişliği m .

Şev eğimi 1/1'den farklı olan trapez kesitli kanallarda ise kanaldaki su derinliği (H_w) ve kanal su yüzü üst genişliği (W_s)'den yararlanılarak istenilen şev eğimi için kanal taban genişliği bulunabilir. Bundan sonra bilinen bu de-



ğerler yardımıyla sızma miktarı Şekil 4, 5, 6'dan yararlanılarak hesaplanabilir.

C koşulu ise analitik olarak ifade edilebilir. Bu halde kanal kaplama malzemesi altındaki basınç kanalın üstüne oturtulduğu toprak basıncına eşit ka-

bul edilerek kanal kesitinde herhangi bir noktadaki sızma miktarı toplam yük kayıplarını (su derinliği - kritik basınç) kaplamanın hidrolik impedansına bölmek suretiyle hesaplanabilir (Şekil 3). Bu tarif tüm kanal ıslak çevresi için düşünülürse C koşulu için sızma mik-

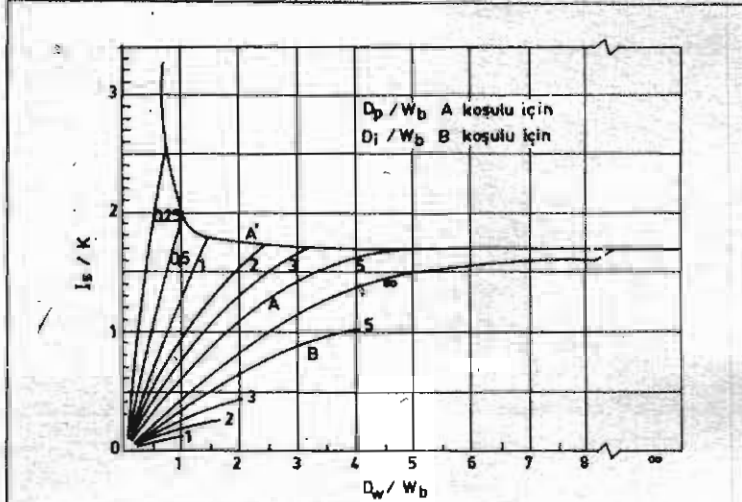
tarının saptanmasında aşağıdaki eşitlik uygulanabilir.

$$I_s = \frac{H_w - P_c}{W_s \cdot R_s} \left(\frac{H_w}{\sin \alpha} + W_b \right) \quad (11)$$

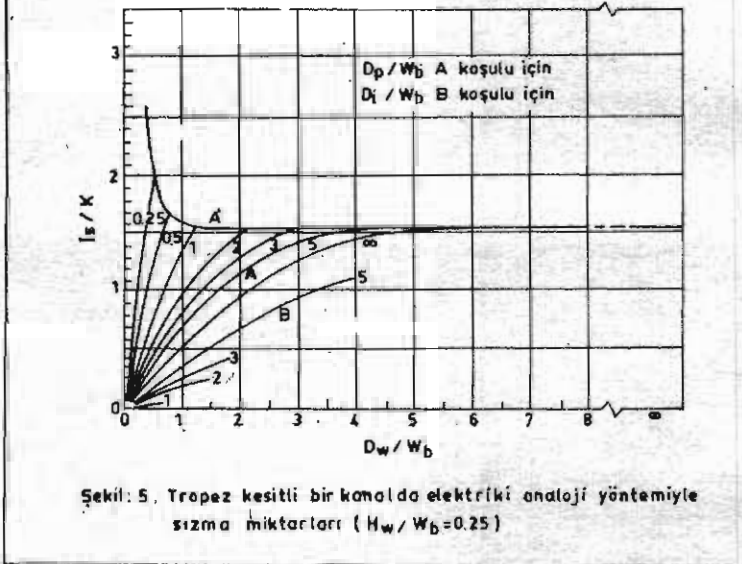
Burada I_s birim kanal uzunluğunda sızma miktarı $m^3/gün/m$, H_w kanaldaki su derinliği m , P_c kritik basınç

m , W_s su yüzü üst derinliği m , R_s hidrolik impedans $gün$, α kanal şev açısı ve W_b kanal taban genişliği m 'dir.

Kanal tabanı altında satüre olmamış akım koşullarında nispeten ince ve yavaş geçirgen bir kaplama malze



Şekil 4. Trapez kesitli bir kanalda elektriki analogi yöntemiyle sızma miktarları ($H_w/W_b=0.50$)



Şekil 5. Trapez kesitli bir kanalda elektriki analogi yöntemiyle sızma miktarları ($H_w/W_b=0.25$)

mesinden meydana gelebilecek sızma kayıplarının saptanmasında yukardaki eşitlik kullanılabilir. Böyle bir kaplama şeklinde hidrolik impedans, kaplama kalınlığının kaplamanın hidrolik kondaktivitesine bölünmesiyle hesaplanabilir. Bu halde hidrolik impedansın birimi zaman olmakta ve birim yük farklılığında kaplama kalınlığından geçen derinlikteki sızma için istenilen zaman olarak tanımlanabilmektedir.

2.5.2. İz Elementleri

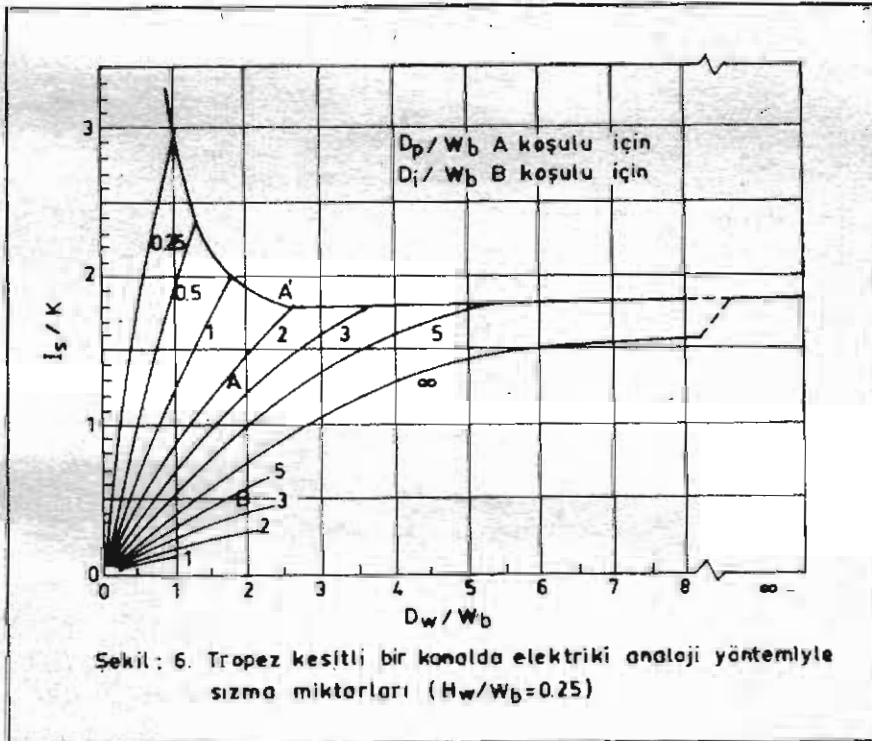
Son yıllarda kanal ve rezervuarlardan meydana gelen sızma kayıplarının saptanmasında bazı kimyasal maddeler iz element olarak kullanılmaktadır. Bunlardan özellikle radyoaktif maddeleri oldukça iyi sonuçlar vermesine karşın pahalı ve zararlı etkileri nedeniyle kullanılmaları sınırlandırılmaktadır.

Kanallardan çevre arazilere sızan suyun akışı hızı iz elementin geçiş zamanından saptanarak sızma kayıpları şu eşitlikle bulunabilir (Krisnamurthy ve Rao 1969).

$$q = V_r d \left(\sec \theta + \frac{\sin \theta}{\theta} \right) \quad (12)$$

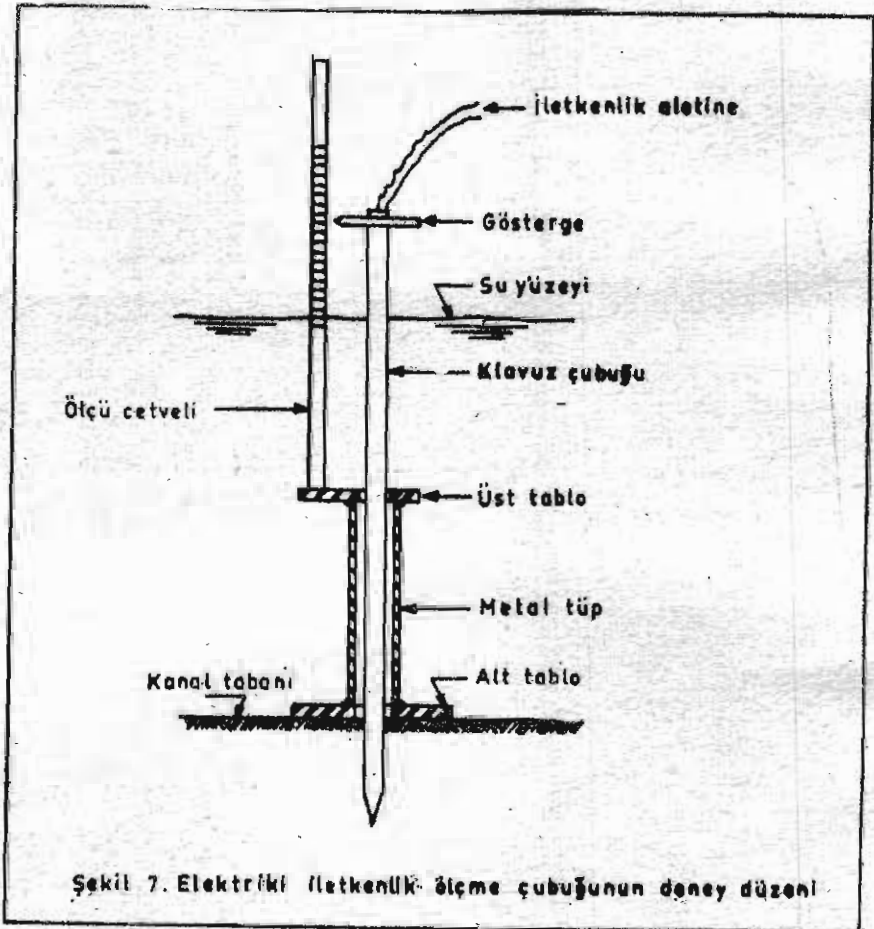
Burada q kanalın birim uzunluğunda sızma kayıpları $m^3/gün/m$, V_r sızıntı akımının ölçülen hızı $m/gün$, d kanal ekseninden gözlemin yapıldığı yere olan uzaklık m , ve θ ölçme noktasında akım hatlarının düşeyle yaptığı açıdır.

Kanal ve rezervuarlarda sızma kayıplarının saptanmasında uygulanan tuz penetrasyon tekniği ise iz element yöntemi gibidir. Bu yöntemde sızma kayıpları su içinde eriyen tuzun kanal tabanında ilerleme hızından saptanmaktadır. Kanal tabanına uygulanan tuzun bir kısmı su ile eriyerek tabandan



yanlara ve alt katlara doğru hareket edecektir. Tuz tamamen çözünüp kaybolduktan sonra normal su tekrar kanal tabanından sızmaya başlayacaktır. Böylece zemin malzemesi içinde farklı tuz konsantrasyonlarında dalga şeklinde tabakalar oluşacaktır. Profildeki bu tuz dağılımı elektriki iletkenlik ölçme çubuğu yardımıyla saptanabilir (Şekil 7). Aleti kanal tabanına çakıldıkça başlangıçta elektriki iletkenlik gittikçe artacak ve sabit bir değere ulaşacak sonra tekrar azalmaya başlayacaktır. İşte elektriki iletkenliğin dolayısıyla tuz kon-

santrasyonunun en yüksek değere ulaştığı nokta, profildeki sızma akışının doruk noktasını verecektir. Bu anda iletkenlik ölçme çubuğundaki derinlik, tuz uygulamasının başlaması ile ölçü çubuğunun toprağa saplandığı an arasında geçen zamana bölünerek tuz dalgasının yayılma hızı saptanabilir. Bu yayılma hızı ve kanal zemin malzemesinin toplam porozitesinden yararlanılarak kanal tabanından meydana gelen sızma miktarı şu eşitlikle hesaplanabilir (Bouwer ve Rice, 1968).



Şekil 7. Elektriki iletkenlik ölçme çubuğunun deney düzeni.

$$I_s = n \cdot V_s \quad (13)$$

Burada I_s sızma miktarı m/gün, n toprağın toplam porozitesi % ve V_s tuz dalgasının yayılma hızı m/gün.

Yöntemde kullanılacak tuz cinsi ve miktarı toprak bünyesine kanalda akan suyun hızına bağlı olarak değişiklikler gösterir. Örneğin bu amaç için kumlu, çakıllı zeminlerde sodyum kloradın kullanılmasına karşın, killi zeminlerde flakülasyonu önleyerek toprak permeabilitesini düşürmemek için kalsiyum klorad veya alüminyum sülfat gibi tuzlar kullanılır. Düşük hızlı kanallarda m^2 'ye 1 kg. yüksek hızlı kanallarda ise m^2 'ye en az 2 kg

kristal veya kaya şeklinde tuz uygulanabilir. Derin ve yüksek akışlı kanallarda suyun uygulanan tuzu sürüklemesini önlemek için tuzlar torbalara konarak kanal tabanına yerleştirilir.

Elektriki rezistans yöntemleriyle de sızma kayıpları saptanabilir. Bu yöntemde piezometrelerle kanal eksenine dik doğrultudaki sızma akımı ve basınç dağılımı bulunup, zeminin permeabilite kat sayısından da yararlanılarak sızma kayıpları hesaplanabilir. Fakat yöntem fazla işçiliğe gereksinim olması nedeniyle arazi çalışmalarından ziyade laboratuvar çalışmaları için daha uygundur.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Bouwer, H., 1963. Theory of Seepage Flow Systems. Proceeding seepage Symposium. Phoenix, Arizona, 1963, USDA, ARS, 41-90, s. 52-56.
- Bouwer, H. and Rice, R. C., 1968. Salt Penetration Technique for Seepage Measurement. Irrig. and Drainage. Div. Jour. Amer. Soc. Civ. Engin. Proc. 94 (IR.4) s. 481-492.
- Bouwer, H. and Rice, R. C., 1969. Review of Methods for Measuring and Predicting Seepage. Seepage Symposium, Phoenix, Arizona 1968 USDA, A S, 41-147. s. 117.
- Brockway, C. E. and Worstell, R.V. 1969. Field Evaluation of Seepage Measurement Methods. Seepage Symposium, Phoenix D, Arizona, 1968. USDA, ARS, 41-147. s. 121-127.
- Dhillon, G. S. 1967. Estimation of Seepage Losses from Lined Channels. Indian Journal of Power and River Valley Development, 17 s. 16-20.
- Doorenbos, J. 1963. A Literature Survey of Seepage in Canals. Preliminary report. Wageningen, International Institute for Land Reclamation and Improvement.
- FAO-UNESCO, 1973. Irrigation, Drainage and Salinity An International Source Book, Hutchuson and Co. Ltd. London.
- Kraatz, D. B., 1971. Irrigation Canal Lining. Food and Agricultural Organization of The United Nation. Rome.
- Krishnamurty, K. and Rao, S. M. 1969. Theory and Experiment in Canal Seepage Estimation Using

Radio Isotops. Journal of Hydrology. Vol IX, s. 2277-294.

Mosomyi, E., 1963. Water Power Development. Vol. I. Low Head Power Plants. Hungarioan Academy of Sciences, Budapest, s. 322-323.

Robinson, A. R. and Rohwer, C. 1959. Measuring Seepage from Ir-

rigation Channels. USDA in Cooperation with the USBR, Technical Bulletin No. 1203.

Skogerboe, G. V. and Walker, W. L. 1975. Lining Irrigation Channels For Salinity Control. Reprinted from the Proceeding of the ASCE. Irrigation and Drainage Division Specialty Conference held at Logan, Utah.