

KURUTMA SİSTEMLERİNDE OPTİMUM

DREN ARALIĞININ BELİRLENMESİ

Recep BAKIŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

1991

KURUTMA SİSTEMLERİNDE OPTİMUM DREN
ARALIĞININ BELİRLENMESİ •

Recep BAKIŞ

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Hidrolik bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Anadolu Üniversitesi
Merkez Kütüphane

Danışman : Doç.Dr. Sedat KAPDAŞLI

Şubat - 1991

Recep BAKIŞ'ın YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırladığı "Kurutma Sistemlerinde Optimum Dren Aralığının Belirlenmesi" başlıklı bu çalışma jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Doç.Dr. Sedat KAPDAŞLI

Üye : Prof.Dr. Necati AĞIALIOĞLU

Üye : Prof.Dr. Mehmet BİLGİN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun **20 ŞUBAT 1991**.....
gün ve **268-7**... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. Rüstem KAYA
Enstitü Müdürü

Ö N S Ö Z

Tarım topraklarında borulu drenaj, zeminin su ile doygun hale gelmesini, zararlı tuzların birikmesini ve toprak yapısının bozulmasını engellemek amacıyla, fazla suların arazi dışına atılmasını sağlar.

Drenaj problemini, toprak yüzeyinde biriken ve toprak içinde bitki kök bölgesi derinliğinde toplanan fazla sular meydana getirmektedir. Drenaj sistemlerinin projelendirilmesinde dren aralıklarının; doğru ve yeterli bir şekilde planlanması lazım.

Bu çalışmada dren aralıklarının optimum olarak hesaplanması amaçlanmıştır. Bitki kök derinliğine göre, yeraltı suyunu zemin yüzeyinden belirli bir mesafede tutmak için, yerleştirilecek dren borularının aralıkları araştırılmıştır.

Homojen ve homojen olmayan zeminlerde, permeabiliteye bağlı olarak dren aralıkları hesaplanmış ve nap yüzeyi açık bir şekilde belirlenmiştir.

Dren aralıklarında oluşan akımın çözümü için, BASIC dilinde hazırlanmış örnek bilgisayar programı hazırlanmış ve çözümler sonlu farklar metoduna göre yapılmıştır.

Yaptığım bu çalışma sırasında değerli düşüncelerinden yararlandığım, İstanbul Teknik Üniversitesi'nden saygı değer tez hocam sayın Doç.Dr. Sedat KAPDAŞLI ile bölümümüz öğretim üyesi sayın Hasan TOZLUK'a teşekkür ederim.

Ö Z E T

Bu çalışmada, tarım topraklarındaki borulu drenaj aralıklarının optimum hesabı yapılmıştır. Dren aralıklarının belirlenmesinde; hidrolojik şartlar, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri ile geçirimsiz tabaka derinliği en önemli faktörlerdir.

Birinci bölümde, drenajın tanım ve özellikleri ile dren tesislerinde meydana gelen gelişmeler açıklanmıştır.

İkinci bölümde, tarım topraklarındaki zararlı suların meydana geliş nedenleri; alınacak önlemler ve kurutma metodlarından bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, drenajın fayda ve mahzurları ile dren şebekelerinde kullanılan boruların özellikleri, bu borularla yapılan hidrolik hesaplar açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, dren aralıkları hakkında yapılan literatür araştırmaları ve özellikleri incelenmiş, önemli araştırmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde, homojen ve homojen olmayan zeminlerde meydana gelen yeraltı suyu akımı, sonlu farklar metoduyla çözülmüştür.

Altıncı bölümde, örnek çözümler ve şekiller yapılmıştır.

Yedinci bölümde, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar belirtilmiştir.

S U M M A R Y

In this study the optimization of drainage spacing has been made for piped drainage systems in agricultural fields. The hydrological conditions, the physical and chemical properties of the ground and the depth of impermeable layer are the most important factors to compute drainage spaces.

Definition and specifications of drains and developments in the area are explained in the first chapter.

The reasons emergence of the harmful waters in the agricultural fields, possible measures to be taken and the drainage methods are subjected in the second chapter.

The third chapter is attributed to the topics of advantages and disadvantages of drainage, and properties of the pipes which are used in drainage system. Furthermore the hydrolic analysis are explained for the pipes in this chapter.

In the fourth chapter studies are examined which are made on the subject in the past some informations are given for the ones which are assumed most important published works in the literature.

In the fifth chapter, the underground water flow through the homogeneous and non homogeneous soil is analyzed by employing the method of finite difference.

Some solved problems and drawings are presented in the sixth chapter. The results of the study are presented in the seventh chapter which is constituted the last part of the study.

İ Ç İ N D E K İ L E R

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	111
ÖZET	1V
SUMMARY	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	x1
TABLolar DİZİNİ	xv
SİMGELEr DİZİNİ	xvi
I. BÖLÜM	1
1. GİRİŞ	1
1.1. Dren Tesislerinin Tarihi Gelişimi	1
1.2. Dren Tesislerinde Meydana Gelen Gelişmeler ..	2
II. BÖLÜM	3
2. KURUTMANIN TEMELİ	3
2.1. Kuraklık İndeksi	3
2.2. Tarım Topraklarındaki Zararlı Sular	4
2.2.1. Zararlı suların meydana geliş nedenleri	4
2.2.2. Tarım topraklarını etkileyen zararlı sular	4
2.2.2.1. Yağış suları	4
2.2.2.2. Deşarj kanallarının yetersizliği	6
2.2.2.3. Yüzeysel akışa geçemeyen yağış suları	6
2.2.2.4. Yeraltı suyunun zemin yüze- yine yakın olması	6

İ Ç İ N D E K İ L E R (Devam)

Sayfa

2.2.2.5. Sulama suyunun fazla miktarda kullanılması	6
2.2.2.6. Akarsulardan dolayı oluşan zararlı sular.....	7
2.2.2.7. Civar arazilerden gelen zararlı sular	7
2.2.3. Kurutulacak arazi hakkında gerekli bilgiler	8
2.2.4. Kurutma metodları	8
2.3. Toprakların Sınıflandırılması	9
2.3.1. Sulak bölge toprakları (Humid)	10
2.3.2. Kurak bölge toprakları (Arid)	10
III. BÖLÜM.....	11
3. DRENAJIN ESASLARI	11
3.1. Drenajın Faydaları	11
3.2. Drenlerin Açık Hendeklere Göre Faydaları ...	11
3.3. Drenlerin Açık Hendeklere Göre Kusurları ..	12
3.4. Dren Boruları	12
3.4.1. Dren borularının başlıca özellikleri	12
3.4.2. Kil dren boruları	13
3.4.3. Plastik dren boruları	15
3.4.4. Topraktaki fazla suların dren boru- larına girişi	18
3.4.5. Yeraltı suyu hareketi	20
3.5. Permeabilitenin Belirlenmesi	20
3.5.1. Permeabilitenin belirlenmesi metodları	20

İ Ç İ N D E K İ L E R (Devam)

	<u>Sayfa</u>
3.5.2. k(permeabilite) katsayısının belirlenmesi	21
3.6. Dren Şebekeleri	23
3.6.1. Ana drenler	24
3.6.2. Toplayıcı drenler	25
3.6.3. Emici drenler	25
3.6.4. Çevre dren borusu	27
3.7. Hidrolik Hesap	27
3.7.1. Drenler için teorik akım formülü ...	28
3.7.2. Drenler için amprik formül	31
IV. BÖLÜM	32
4. DREN ARALIKLARININ HESABI	32
4.1. Genel	32
4.2. Düzgün ve Düzgün olmayan Akım Şartları ..	32
4.2.1. Düzgün akış şartları	33
4.3. Hooghoudt Denklemine Esasları	35
4.3.1. Su seviyesi için Hooghoudt denklemi- nin yağmur veya sulama suyu ile be- lirlenmesi	37
4.3.2. Hooghoudt'un eşdeğer tabakası d'nin hesabı	40
4.3.3. Tabakalaşmış zemin için Hooghoudt denklemi	41
4.3.4. Hooghoudt denkleminin kullanılışı ..	42
4.3.5. Yağmur suyu veya sulama suyu oranının belirlenmesi.....	42
4.3.6. Hooghoudt denkleminin ıslak alanlara uygulanması	43

İ Ç İ N D E K İ L E R (Devam)

	<u>Sayfa</u>
4.4. Kirkham 1958 Formülü	44
4.5. Bureau of Reclamation Formülü	44
4.6. Ernst Formülü	46
4.7. Donnan Formülü	50
V. BÖLÜM	53
5. ÇALIŞMANIN AMACI	53
5.1. Genel	53
5.2. Yeraltı Su Yüzeyi Denklemi	54
5.3. Geçirimsizlik Katsayıları Farklı Zeminlerde Nap Yüzeyi	56
5.4. İki Boyutlu Akım Denklemi	59
5.5. Laplace Denklemine Sonlu Fark İfadesi	62
5.6. Başlıca Sınır Şartları	66
5.7. Akım Değerlerinin İterasyon Metoduyla Hesaplanması	66
VI. BÖLÜM	69
6.1. Genel	69
6.2. Örnek Çözümler	70
6.2.1. Düşey yönde iki tabakalı zemin durumu	70
6.2.2. Düşey yönde iki tabakalı zemin durumu	76
6.2.3. Düşey yönde üç tabakalı zemin durumu	82
6.2.4. Düşey yönde üç tabakalı zemin durumu	88
6.2.5. Permeabiliteleri farklı üç tabakalı zemin durumu	92

İ Ç İ N D E K İ L E R (Devam)

Sayfa

6.2.6. Permeabiliteleri farklı iki tabakalı zemin durumu	96
6.2.7. Permeabiliteleri farklı iki tabakalı zemin durumu	100
6.2.8. Düşey yönde iki tabakalı zemin durumu	104
6.2.9. Permeabiliteleri farklı düşey yönde iki tabakalı zemin durumu	108
6.2.10. Permeabiliteleri farklı iki tabakalı zemin durumu	112
6.3. Su Yüzeyi Farklarının Hesabı	118
6.3.1. $k/k_{ort} > 1.0$ durumu	118
6.3.2. $k/k_{ort} < 1.0$ durumu	121
VII. BÖLÜM	123
SONUÇLAR	123
KAYNAKLAR	125
EKLER	

Ş E K İ L L E R D İ Z İ N İ

Sayfa

2.1.	Toprak profili	9
3.1.	Geçirimsiz topraklarda bozuk drenajın etkisi	18
3.2.	Dren borusunun giriş direncine bağlı olarak taban su seviyesinin değişmesi	19
3.3.	Kil (k) ve PVC (P) borularına suyun akımı	19
3.4.	Sabit seviyeli permeabilite deneyi	21
3.5.	Enine ve eğik drenlerin yerleştirilmesi	26
3.6.	Dik drenlerin yerleştirilmesi	26
3.7.	Toplayıcı drenlerle-Emici drenlerin bağlantı yerleri.....	27
3.8.	Dren borularının çap (AÇ) grafiği suları (V) debi (Q) (kil künk drenler $k_b = 0.7 \text{ mm}$)	29
3.9.	Oluklu dren borularının çap (AÇ) grafiği su hızı (V) debi (Q) (kivrımlı PVC dren boruları $k_b = 2.0 \text{ mm}$)	30
3.10.	Dren borularının çap (AÇ) grafiği suları (V) debi (Q) (Düz PVC borular $k_b = 0.1 \text{ mm}$)	31
4.1.	Düşey, radyal ve yatay akış bileşenleri	34
4.2.	Hooghoudt için drenaj-derinlik diyagramı	37
4.3.	Hooghoudt'a göre dren altında oluşan akım	41
4.4.	İki tabakalı toprakta tabakaların pozisyonları	47
4.5.	Ernst formülünün prensibi	47
4.6.	Homojen toprak	48
4.7.	Dren farklı iki tabakanın sınırındadır	48
4.8.	Dren borusu üst tabakada bulunması durumu	49
4.9.	Donnan formülünün prensibi	50
5.1.	Düşey yönde tabakalaşmış zemin	53
5.2.	Dupuit formülünün prensibi	54
5.3.	İki tabakalı zemin durumunda yeraltı su yüzeyi	56
5.4.	Üç tabakalı zemin durumunda yeraltı su yüzeyi	58

Ş E K İ L L E R D İ Z İ N İ (Devam)

Sayfa

5.5. Düzlemde akım durumu	61
5.6. Sonlu fark ağı	63
5.7. Eğri sınırlarında sonlu fark ağı	64
6.1. Permeabiliteleri farklı zeminde dren aralığının belirlenmesi	70
6.1.a. Permeabiliteleri farklı zeminde yeraltı su yüzeyi ve akım çizgileri	72
6.1.b. Homojen zeminde yeraltı suyu akımı ve akım çizgileri	73
6.1.c. Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri	74
6.1.d. Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasın- daki Δh farkları	75
6.2. Permeabiliteleri farklı zeminlerde dren aralığının belirlenmesi	76
6.2.a. Homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyi	78
6.2.b. Homojen zeminde nap yüzeyi	79
6.2.c. Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyi	80
6.2.d. Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasın- daki Δh farkları	31
6.3. Permeabiliteleri farklı üç tabakalı zeminde dren aralığının (L) belirlenmesi	82
6.3.a. Homojen olmayan zeminde nap yüzeyi	84
6.3.b. Homojen zeminde nap yüzeyi	85
6.3.c. Homojen ve homojen olmayan zeminde nap yüzeyi	86
6.3.d. Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasın- daki Δh farkları	87
6.4. Permeabiliteleri farklı üç tabakalı zeminde dren aralığının belirlenmesi	88
6.4.a. Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri	90
6.4.b. Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasın- daki Δh farkları	91

Ş E K İ L L E R D İ Z İ N İ (Devam)

Sayfa

6.5.	Düşey yönde farklı geçirimsizliğe ait zeminde dren aralığının belirlenmesi	92
6.5.a.	Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri	94
6.5.b.	Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları	95
6.6.	Düşey yönde iki tabakalı zemin durumu	96
6.6.a.	Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri	98
6.6.b.	Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları	99
6.7.	Düşey yönde iki tabakalı zeminde dren aralığının belirlenmesi	100
6.7.a.	Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri	102
6.7.b.	Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları	103
6.8.	Permeabiliteleri farklı zeminde dren aralığının belirlenmesi	104
6.8.a.	Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri	106
6.8.b.	Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları	107
6.9.	Permeabiliteleri farklı düşey yönde iki tabakalı zemin durumu	108
6.9.a.	Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri	110
6.9.b.	Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları	111
6.10.	Permeabiliteleri farklı iki tabakalı zeminlerde dren aralığının durumu	112
6.10.a.	Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri	114
6.10.b.	Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları	115

Ş E K İ L L E R D İ Z İ N İ (Devam)

Sayfa

6.11.	Çözülen örnekler için homojen ve homojen olmayan zeminlerde $k/k_{ort} > 1.0$ değerleri	116
6.12.	Çözülen örnekler için homojen ve homojen olmayan zeminlerde $k/k_{or} < 1.0$ değerleri	117
6.13.	Eğrilerin eğimi ile k/k_{ort} değeri arasındaki ilişki ($k_1/k_{ort} > 1.0$)	119
6.14.	k/k_{ort} değerlerine göre A değeri	120
6.15.	eğrilerin eğimi ile k/k_{ort} değeri arasındaki ilişki ($k_2/k_{ort} < 1.0$)	122

T A B L O L A R D İ Z İ N İ

Sayfa

3.1. DIN 1180'e göre kil drenaj borularının ebatları	14
3.2. DIN 1187'ye göre PVC dren borularında giriş açıklıkları toplam yüzeyi	16
3.3. DIN 1187'ye göre düzenli PVC dren borularının ölçüleri	17
3.4. Permeabilitenin farklı geçirgenlik sınırları	23
3.5. DIN 1185'e göre ana drenlerin planlanması	24
3.6. Toprak cinsine göre toplayıcı eğimleri	25
3.7. Dren borularının hidrolik hesapları için birim alan akım miktarları	28

S İ M G E L E R D İ Z İ N İ

A	Yüzeysel sular
A_a	Arazi yapısına bağlı katsayı
A_n	Numune kesit alanı
B	Buharlaşma
D	Dren tabanı ile geçirimsiz tabaka arasındaki mesafe
d	Eşdeğer tabaka kalınlığı
DIN	Drenaj için Alman teknik şartnamesi
D_v	Düşey bileşen için tabaka kalınlığı
D_o	Radyal direnç için tabaka kalınlığı
D_1	k_1 tabakasının yatay bileşeni için ortalama kesit
D_2	k_2 tabakasının yatay bileşeni için ortalama kesit
F	Yabancı arazi suları
G_T	Geçirimsiz tabaka
h_L	Dren borusundaki su yüksekliği
h_o	Maksimum nap yüksekliği
i	Kuraklık indeksi
J	Nap yüzeyi eğimi
k	Permeabilite
k_b	Dren boruları için pürüzlülük katsayısı
k_o	Ortalama permeabilite katsayısı
k_p	Kilo kuvvet
L	Dren aralığı
l	Yarı dren aralığı
L_n	Numune boyu
N_w	Boru çapı
OYSS	Orijinal yeraltı su seviyesi
R	Hidrolik yarıçap
S	Toprakta depolanan su
S_z	Zararlı su miktarı

S İ M G E L E R D İ Z İ N İ (Devam)

t	Dikkate alınan zaman aralığı
U	Islak çevre
V	Dren borusundaki su hızı
Y	Yağış ortalaması
YASS	Yeraltı su seviyesi
Q	Drenaj borusundan alınan toplam debi
q	Drenaj birim debisi
Q _n	Deney numunesinden geçen su hacmi
γ	Özgül ağırlık
θ _A	Düşey yönde eğri sınırına olan mesafenin şebeke aralığına oranı
θ _B	Yatay yönde eğri sınırına olan mesafenin şebeke aralığına oranı
x,y	Koordinat sistemi
Δx	Yatayda seçilen aralık
Δy	Düşeyde seçilen aralık
φ	Potansiyel akım fonksiyonu
ψ	Akım fonksiyonu

I. B Ö L Ü M

1. GİRİŞ

Dünya nüfusu büyük bir hızla artmaktadır. Bu nüfus artışı ile beraber daha çok insanın beslenmesini zorunlu hale getirmektedir. Teknolojide yeni buluşlar insan yaşamına kolaylıklar sunmuştur. İnsan ihtiyaçlarının karşılanması için yeni kaynaklar araştırılmaktadır. İnsanın yaşamı için, zorunlu ihtiyaçlarını karşılayan temel kaynak topraktır.

Dünyadaki toprak kaynağı sınırlıdır. Artan nüfus ise, bu sınırlı kaynakla beslenmek zorundadır. Bunu başarmak için bütün toprakların verimini arttırmak ve bu artışı yaparken gerekli tedbirleri almak gerekir.

İnsan yaşamı için gerekli olan tarım bitkilerinden maksimum faydayı sağlamak için toprağın cinsine bağlı olarak, toprak su ilişkisi iyi ayarlanmalıdır. Toprağın içindeki su miktarı toprağın ihtiyacı olan değer altında veya üstünde ise elde edilecek ürünün miktarı ve kalitesi istenilen değerden az olur.

Toprağın kurutulması genel olarak, toprağın yüzeyinde veya bünyesinde bulunan (profilindeki) fazla suların kontrollü olarak dışarı atılması, aynı zamanda toprağın ısınması ve havalanmasını sağlamak amacıyla yapılır. Kurutma işlemleri optimum şekilde yapılmalıdır.

Fazla miktarda kaliteli ürün yetiştirmek için yeraltı su seviyesini, ekilecek bitkinin cinsine göre belirli bir derinlikte tutmak lazımdır.

1.1. Dren Tesislerinin Tarihi Gelişimi

Tarihsel belgelere göre, ilk drenler miladın başlangıç yıllarında taş ve kil borulardan yapıldığı bilinmektedir. Orta çağda ise drenler

tamamen unutulmuştur. 1650 yıllarında İngiltere'de ahşap ve taş (çakıl) drenler kullanılmıştır. Almanya'da boruların başlangıcı sayılabilecek çatıda kullanılan mahya kiremitleri, dren borusu olarak kullanılmıştır.

İngiltere'de 1840 yılında pres makinasının icadı ile kil borularının yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur. Dren tesisleri 150 yıldan beri uygulanmaktadır. Bu uygulamalar sonunda geniş bir bilgi birikimi oluşmuştur. Dren tesislerinin daha da geliştirilmesi için bir çok ülkede teorik ve deneysel araştırmalar yapılmıştır. Dren makinalarının icadı sayesinde dren borularının daha kolay döşenmesi sağlanmıştır.

Plastik boruların devreye girmesiyle (P.V.C - tırtıllı P.V.C), toprak bünyesindeki fazla suların borulara girmesi mümkün hale getirilmiş olup bu alanda en büyük gelişme sağlanmıştır.

1.2. Dren Tesislerinde Meydana Gelen Gelişmeler

Son yirmi yılda dren tesislerindeki başlıca gelişmeler şunlardır:

- 1- İşçi ücretlerinin artması sonucu, dren tesislerinin yapımı yalnız özel durumlarda insan gücüyle yapılmaktadır.
- 2- Toprak ve zemin bilim dallarındaki gelişmeler sayesinde drenlerin hesap esasları değişmiş drenleme sınırları genişletilmiştir.
- 3- Tarımda makinalaşma sonucu toprağa gelen yük artmıştır. Bu nedenle dren tesislerinin yapımında problemler ortaya çıkmıştır.
- 4- Dren tesisleri sayesinde toprağın ıslaklığı giderilmiş tarım araçlarının arazide uzun süre çalışma arzusu gerçekleştirilmiştir.

II. B Ö L Ü M

2. KURUTMANIN TEMELİ

2.1. Kuraklık İndeksi

Tarım topraklarında kurutma yapılabilmesi için yıllık yağış yüksekliği 600 mm'den fazla olması gerekir. Yüzeysel akışa geçen suların arazi eğimine göre (% 0 - % 2) arasında olmalıdır. Eğer yüzeysel akışa geçen suların dışarıya atılma imkanı yok ise, toprakta çoraklaşmayı önlemek için 600 mm'den az yağışlı, sulama yapılan kurak bölgelerde kurutma sistemleri oluşturulmalıdır. Tarım toprakların da yüzeysel akışa geçen suların tahliye imkanı var ise; kurutma yapılmayabilir.

Tarım topraklarında, arazi yapısına göre kurutmanın gerekli olup olmadığını anlamak için, yağış sıcaklık, buharlaşma ve sızmalara göre kuraklık indeksi ile belirlenir [12].

$$i = \frac{Y}{t+10} \dots\dots\dots (2.1)$$

Burada;

i : Kuraklık indeksi

Y : En az 10 yıllık yağış ortalaması

t : Aynı yıllara ait sıcaklık ortalaması

Eğer kuraklık indeksi 60 değerinden küçük ise kesin olarak kurutma yapılmalıdır. Eğer 40 ila 60 arasında ise kurutma yapılmayabilir. Arazinin kurutulmasına karar verdikten sonra toprağın ıslaklık (rutubet-nem) durumu araştırılır.

2.2. Tarım Topraklarındaki Zararlı Sular

2.2.1. Zararlı suların meydana geliş nedenleri

Tarım topraklarındaki zararlı sular bitki kök bölgesini etkileyerek büyümesini ve bitkinin gelişip verimli olmasını engeller. Bitkilerin gelişmesi için optimum seviyede su almaları gerekir. Eğer toprak, ihtiyaçtan fazla su ihtiva ediyorsa, bitkiye zarar vermeğe başlar. İhtiyaç fazlası olan bu sulara veya ıslaklığa zararlı su denir.

Tarım topraklarında yağış veya sulamadan sonra, bitki, gerekli faydalı suyu depo eder. Toprak profili bir miktar hava da ihtiva eder. Toprak profili sürekli olarak suya doymun bir halde olursa, bitki kök bölgesinde bakteri faaliyetleri durur; organik maddeler yığılır ve bitkinin beslenmesini engeller. Bu gibi yerlerde rutubetli arazide yetişen yabancı otlar türer. Böylece tarım bitkilerinin verimi düşerek kalitesinin bozulmasına neden olur. Su taşkınları ve yeraltı su seviyesinin yüksekte olması, toprakların çoraklaşmasına neden olur.

2.2.2. Tarım topraklarını etkileyen zararlı sular

2.2.2.1. Yağış suları

Tarım topraklarında zararlı sular en çok yağışlardan meydana gelir. Ard arda yağışlı geçen yıllarda toprak tamamıyla zararlı sulara maruz kalır. Toprak yüzeyinde sürekli buharlaşma da meydana gelir. Yağış ve buharlaşma arasında Zunker'e göre, [9]

$$Y + F = A + B + S \dots\dots\dots (2.2)$$

Bağıntısı mevcuttur.

Burada;

Y : Yağış

F : Yabancı arazi suları

A : Yüzeysel sular

B : Buharlaşma

S : Bölgede depolama

Bir bölgede zararlı suların miktarı ise,

$$S_z = h + F_a + F_h - A_a - A_h - B - S_f \dots\dots\dots (2.3)$$

Burada;

a : Yüzeysel akış

h : Yeraltı suyu

f : Depolanan faydalı su

z : Zararlı su endeksi dir.

Tarım topraklarının zararlı sulardan etkilenmemesi için $S_z = 0$ olmalıdır.

Eğer yağışlardan dolayı toprak zararlı sulardan etkileniyorsa

$F_a = F_h = 0$ olur. $A_a - A_h = A$ ile gösterilirse;

$$S_z = h - A - B - S_f \dots\dots\dots (2.4)$$

şeklinde ifade edilir. Eğer topraktaki zararlı sular yüzeysel akışa ge-

çen yabancı sulardan oluşuyor ise; $F = F_a + F_h$ olmak üzere $S_z = F$

şeklinde ifade edilir.

Genel olarak zararlı sular yukarıda tanımlanan faktörlerin beraberce tesir etmesi sonucu oluşur.

A_a değeri arazi eğimine, kullanım şekline ve toprağın yapısına bağlıdır.

2.2.2.2. Deşarj kanallarının yetersizliği

Fazla suların topraktan atılması için yeterli tahliye kanalları veya borular sistemi olmalıdır. Yağışlardan veya sulamadan sonra toprak yüzeyinde biriken suların en kısa zamanda dışarıya atılması gerekir. Fazla suları, yeterli derinlikte tahliye kanalları inşa ederek çözmek mümkündür.

2.2.2.3. Yüzeysel akışa geçemeyen yağış suları

Tahliye kanalları arazinin topografik yapısına göre inşaa edilmez ise, yağış suları arazinin düz ve alçak kısımlarında göllenir. Bu gibi arazileri kurutmak için, küçük alanlı arazileri, düzeltmek ve yükseltmek gerekir. Çok çukur kısımlarda ise su yutucu kuyular açmak gerekir. Büyük alanlı arazilerde ise, yüzeysel akışı engelleyen kısımları kaldırmak, tahliye kanallarına yeterli eğim verilerek fazla suları dışarı atmak gerekir.

2.2.2.4. Yeraltı suyunun zemin yüzeyine yakın olması

Tarım topraklarında yeraltı suyu, genelde toprak yüzeyine yakın geçirimsiz veya az geçirimli bir tabakanın bulunmasından oluşur. Eğer zemin yüzeyine 1.3 m'den daha yakın bir geçirimsiz tabaka mevcut ise yağışlardan oluşan sızmaları önleyeceğinden yeraltı suyu zemin yüzeyine kadar yükselir. Tarım topraklarında, yeraltı suyunun bitkiye zarar vermemesi için zemin yüzeyinden en az 80 cm aşağıda olmalıdır. Bu tip arazilerde sızmaların oluşması için makinalarla derin sürüm yapılmalıdır.

2.2.2.5. Sulama suyunun fazla miktarda kullanılması

Tarım bitkilerinin ihtiyacı olan su verilirken çiftçiler belirli ara-

lıklarla, yüzeysel sulama ile suyu verirler. Bu sulama sırasında fazla miktarda akıtılan sular arazinin düz ve alçak kısımlarında birikime neden olur. Yersel olarak oluşan ıslaklık bitkiye büyük zarar verir. Bu gibi durumlarda arazinin düz kısımlarında fazla suları arazi dışına deşarj edecek tahliye kanalları yapılmalıdır. Arazinin alçak olan kısımları düzeltilerek veya dışardan toprak getirilerek doldurulur.

Bilindiği gibi yeraltı suyu zamanla sızan fazla suların etkisiyle yeryüzüne doğru yükselir. Bu yükselme sırasında toprağın alt tabakalarından erittiği zararlı tuzları, toprak yüzeyi ile bitki, kök bölgesi civarında bırakır. Buradaki zararlı tuzlar çoraklaşmaya neden olur. Dünyada ve ülkemizde kurak ve yarı kurak bölgelerdeki pek verimli olmayan toprakların çoğu, çorak topraklardır. Toprağın sulanmasından sonra fazla suların tahliye edilmesi için kurutma şebekeleri yapılmalıdır.

2.2.2.6. Akarsulardan dolayı oluşan zararlı sular

Tarım topraklarının civarından akan, akarsuların yamaçlarından sızan sular yersel olarak zararlı ıslaklık meydana getirirler. Bu sızan su miktarı toprağın geçirimsizliğine, su tutma kapasitesine göre değişir. Zararlı suları önlemek için, tarım topraklarının içinden akan akarsuların şevlerini ve tabanı kaplamak suretiyle önlenir. Ayrıca arazi kenarına hendek kazarak veya yerleştirilen dren borularla fazla sular dışarı atılır.

2.2.2.7. Civar arazilerden gelen zararlı sular

Eğim nedeniyle civar araziden gelen, yağış veya yeraltı suyundan oluşan zararlı suları arazinin çevresine açılan çevre hendekleri veya çevre drenlerle önlenir. Toplanan sular bir boşaltıcı ile arazi dışına atılır. Eğer eğim nedeniyle bu imkansız ise, arazi kenarına inşaa edilecek bir havuzda toplanan fazla sular bir pompa vasıtası ile dışarı atılır.

2.2.3. Kurutulacak arazi hakkında gerekli bilgiler

- 1- Bölgenin iklim şartlarının araştırılması
- 2- Kurutulacak arazinin topoğrafyası
- 3- Kurutma bölgesinde toprak etüdüleri
- 4- Kurutma bölgesinin jeolojik incelemesi
- 5- Fazla suların meydana geliş nedenleri
- 6- Drene edilecek su miktarı
- 7- Kurutma sahasındaki mevcut yapılar (yol, menfez, vb.)
- 8- Arazinin tabii akış durumu

2.2.4. Kurutma metodları [9]

- 1- Arazide çukur kısımların doldurularak yükseltilmesi
- 2- Su yutucu kuyuların inşası
- 3- Suyu seven bitkilerin yetiştirilmesi
- 4- Arazinin derin gevşetilmesi
- 5- Açık hendeklerle kurutma
- 6- Derin sürüm
- 7- Drenlerle kurutma

Arazinin yapısına ve drene edilecek su miktarına göre; yukarıda açıklanan kurutma metodlarından en uygun olanı, kurutma metodu olarak seçilir.

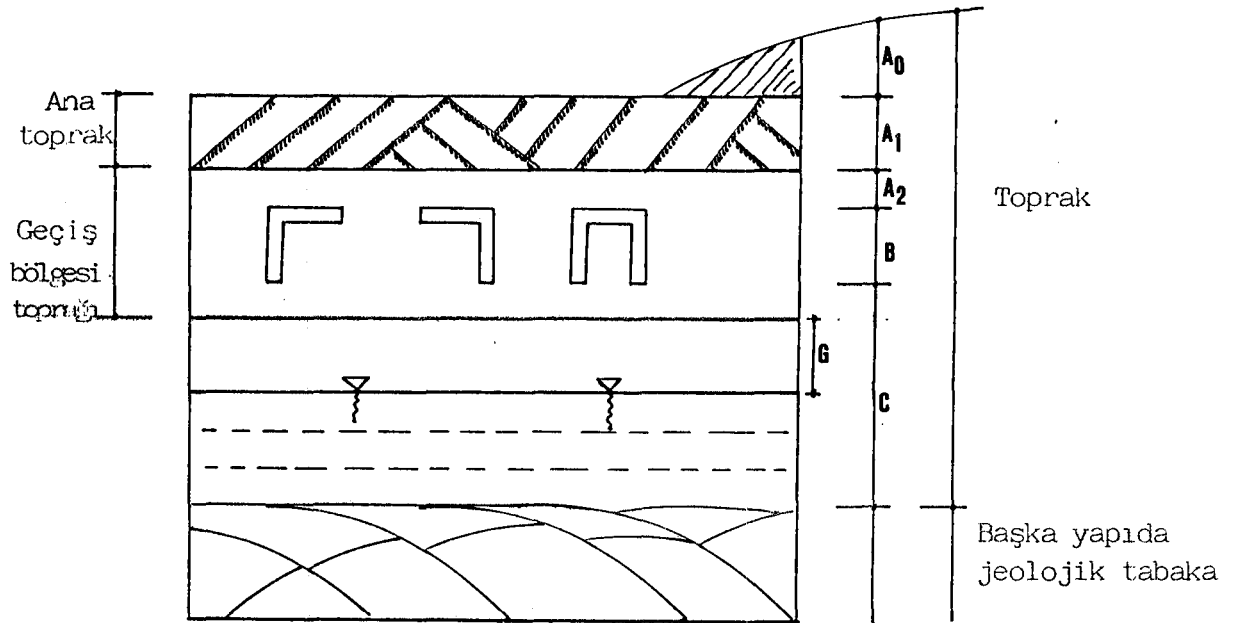
Yalnız tarım toprakları genelde yaz mevsiminde kullanıldığından kurutmanın etkili olabilmesi için açık hendeklerle veya drenlerle yapılmalıdır.

Çünkü tarım bitkilerini zararlı sulardan korumak için yağış veya sulamadan sonra, fazlalık sularını arazi dışına deşarj etmek gerekir.

2.3. Toprakların Sınıflandırılması

Bitkilerin yetiştiği ortam topraktır. Optimum verim elde etmek için toprak özelliklerinin iyi bilirmesi gerekir.

Toprak yeraltı ve yerüstü tesirleriyle fiziksel, kimyasal biolojik değişimler sonucu, mineral ve organik maddelerden meydana gelen zeminin üst tabakasına denir. Ayrıca su, hava ve küçük canlıları bünyesinde bulundurur.



Şekil - 2.1. Toprak profili

A₀ : Toprak yüzeyinde mineral bakımından zengin (humus) katıdır.

A₁ : Humuslu yüzeyde oluşan mineral toprak

A₂ : Yıkanmış, mineral bakımından fakir topraktır.

B : Üst tabakadan yıkanan mineraller burada toplanır.

C : Üst tabakaların bu tabakadan oluştuğu söylenebilir.

Derin köklü bitkiler bu tabakaya kadar yetişirler.

G : Y.A.S.S.'nin değişim bölgesindeki toprak katıdır.

2.3.1. Sulak bölge toprakları (Humid)

Bu bölgelerde meydana gelen yağışlar, buharlaşmadan daha fazla olduğundan arazi daima ıslaktır. Bu nedenle su toprağın alt tabakalarına sızarken toprağı yıkayarak mineral bakımından fakir hale getirir. Fakat toprakların yıkanmasından dolayı ihtiva ettiği tuz miktarı az olduğundan çoraklaşma meydana gelmez [21].

2.3.2. Kurak bölge toprakları (Arid)

Bu bölgelerdeki yağış miktarı, buharlaşmadan azdır. Eğer bu fark fazla ise; topraklarda çoraklaşma meydana gelir. Çoraklaşmayı önlemek için, toprağın sulanması gerekir. Sulamadan sonra çözölen zararlı tuzları toprakları uzaklaştırmak için drenaj şebekesi, sulama şebekesiyle beraber bulunmalıdır [21].

III. B Ö L Ü M

3. DRENAJIN ESASLARI

3.1. Drenajın Faydaları

Dren tesisleri genel olarak; bitkilere zarar veren fazla suları toprak bünyesinden dışarı atarak, bitki için gerekli su dengesini düzenleyen; toprağın havalanmasını ve ısınmasını sağlayan, toprak altında borulu veya borusuz olarak planlanan yapay kurutma sistemidir. Başlıca faydaları ise;

- 1- Çoraklaşmayı önler
- 2- Kök bölgesinde havalanmayı sağlar
- 3- Fazla suları uzaklaştırarak toprağın donmasını önler
- 4- Yeraltı suyunu alçaltarak, arazi verimini arttırır
- 5- Elverişli kök derinliğini arttırır
- 6- Sulama suyundan tasarruf sağlar
- 7- Bataklık sahaları kurutularak yeni tarım alanları kazanılır.
- 8- Erozyon tehlikesi azalır

3.2. Drenlerin Açık Hendeklere Göre Faydaları [9]

Dren boruları toprağın altına yerleştirildiğinden, arazi kaybı meydana gelmez. Açık hendeklerle yapılan kurutmada ise yaklaşık % 10 - % 15 arazi kaybı meydana gelir. Arazide hendeklerin olmaması, toprağın makine ile işlenmesini kolaylaştırır. Dren şebekeleriyle yapılan kurutmalarda, açık hendeklerdeki gibi yapımı zorunlu olan köprü, menfez, ters sifon gibi sanat yapıları yapılmaz. Dren tesisleriyle yapılan kurutmalarda, tesis masrafları çok azdır. Dren tesislerinde, zararlı hayvan ve bitkilerin kurutma sistemine yerleşmesi, üremesi mümkün

değildir. Dren şebekeleriyle yapılan kurutmada, arazinin her tarafı üniform'a yakın bir kurutmaya maruz kalır.

3.3. Drenlerin Açık Hendeklere Göre Kusurları

Bazı kriterler göze alındığı zaman, açık hendeklerle kurutma sistemi özellikle ekonomik faktörlerde, drenlere göre daha uygundur. Bunlar kısaca özetlenirse;

- 1- Dren tesislerinin yapımı çok masraflıdır
- 2- Zararlı suların cazibe ile dışarı akıtılması için drenlerde minimum eğim % 0.1'den büyük olmalıdır.
- 3- Drenlerle kurutmada zararlı suları sızma yoluyla deşarj edeceğinden, suyun dışarı atılması daha geç olur.
- 4- İyi boyutlandırılmayan dren tesisleri, gereğinden fazla suyu drene ederek, toprak bünyesindeki faydalı suyu azaltır.
- 5- Dren tesislerindeki arızaların bulunup giderilmesi çok zor ayrıca ek masraf gerektiren durumlardır.
- 6- Planlamada yapılabilecek hataların giderilmesi imkansız hale gelir.
- 7- Hendekler daha kolay kontrol edilir.

3.4. Dren Boruları

3.4.1. Dren borularının başlıca özellikleri

Sulanan alanların drenajında açık yada kapalı,veya her ikisinin kombinasyonunda oluşan sistemlerden yararlanılır. Bir drenaj sistemini meydana getiren kanallar ve boru hatları, en büyük üniteden itibaren en alt bölümlere doğru; ana toplayıcı dren, toplayıcı dren ve emici

drenlerden meydana gelir. Bir sistemde bu ünitelerin hepsinin bulunması gerekmez. Aslında drenaj sisteminin planlanması demek; toplayıcı ve emici drenlerin döşeme derinlik ve aralıklarının en emniyetli ve ekonomik şekilde inşaa esaslarının tesbiti demektir.

Kurutma sistemlerinde zararlı suları emici drenler toplar. Emici drenlerde toplanan su, toplayıcı drenlere aktarılır, oradan da ana toplayıcıya verilir. Ana toplayıcı drende toplanan toplam zararlı sular arazi dışına (çay, dere) gibi yerlere atılır.

Yapılan drenaj sisteminde toplayıcılar açık, emiciler kapalı ise "Teksel borulu"; her ikisi de kapalı ise "Birleşik borulu"; her ikisi de açık ise "Birleşik açık" sistemler adını alır [19].

3.4.2. Kil dren boruları

Kil borularının ana maddesi kil veya lem'dir. İçerisinde taş çakıl, kireç olmamalıdır. Modern kiremit fabrikalarında kil boru, kalitele-ri DIN 1180'e göre yapılır. Bu boruların ölçüleri DIN 1180'e göre standartlaştırılmıştır.

Usûlüne uygun üretilen kil dren boruları aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır [9].

- Yüksek birim hacim ağırlığı $\gamma = 1.7 \text{ kg/m}^3$
- Donmaya karşı dayanıklılık
- Aşındırıcı sulara karşı dirençli olmak
- Toprak içinde uzun süre dayanmak
- DIN 1180'e göre minimum kırılma yükü $NW \geq 50$ için 700 KP (kilo kuvvet)

Tablo -3.1. DIN 1180'e göre kil drenaj borularının ebadları [9].

Çapı	Dış kısmın şekli	Ortalama iççap	Ortalama uzunluk	Ortalama min. et kalınlığı		Kesit yüzeylerinin boru aksına dik hattan, müsaade edilebilir sapmaları		Minimum kırılma	
						Kalite I	Kalite II	Kalite I	Kalite II
		d (mm)	I (mm)	S (mm)		I (mm)			
50	6	48-53	333-323-338	6	12	± 3	± 5	900	700
80	veya	63-68	333-323-338	7	14	± 4	± 6	1050	850
100	8	73.84	333-323-338	8	16	± 4	± 6	1400	1000
130	Kenarlı	97-105	333-323-338	8	18	± 5	± 7	1200	1200
160	8 veya	126-137	333-328-328	10	21	± 6	± 7	1700	1450
200	12 kenarlı	156-167	333-328-328	12	23	± 8	± 8	200	1700
		194-210-500	333-493-507	14	24	± 9	± 9	2400	2000

- DIN 1180'e göre minimum kırılma yükü $NW > 200$ için 2000 KP

Kil ve dren borularının şekilleri iç yüzeyleri çember, dış yüzeyleri ise çember, altıgen veya sekizgen olabilir.

Kil dren boruları arazide açılan hendeklerin içine birbiriyle birleşecek şekilde döşenirler. Birleşme yerleri tam düz olmaz ise yani borular döşendikten sonra mekanik olarak toplanmalar gösterirse, birleşme yerleri 0.5 mm açıklığın altına düşerse, suyun girişi engellenir. Bunun için boruların dış kısmı şimdi givli yapılmaktadır.

3.4.3. Plastik dren boruları

Basıncılı plastik borular 20 yıldan beri kullanılmaktadır. Plastik borular klorinleşmiş hidrojen gruplarının bir polimerizasyon ürünüdür ($\dots - CH - CH_2 - CH - \dots$). Büyük organik moleküllerden oluşur. Plastik borular Polyvinyl Chlorid (kısaltılmışı PVC)'den üretilir [9].

PVC ihtiva ettiği yüksek klorine rağmen ateşe ve kimyasal olaylara çok dirençli beyaz bir tozdur. Dren borusu üretiminde PVC kullanılır. Bu gün tırtıllı plastik borular daha elastiki ve hafif olmaları nedeniyle, düz plastik borulara tercih edilmektedir.

Plastik borular çok hafiftirler $\gamma = 1.3 \text{ KP/m}^3$. Düşük bir hacim ağırlığına sahiptirler. Kimyasal olarak bozulmazlar. Taşınmaları ve drenaj yerinde yerleştirilmeleri kolaydır. Muntazam açılmış su giriş deliklerine sahiptirler. Kullanım ömürleri uzundur.

DIN 1187 şartnamesi, plastik borular üzerinde bırakılacak açıklıkların birim boru boyu için minimum olarak Tablo 3.2'de verilmiştir [9].

Tablo -3.2. DIN 1187'ye göre PVC dren borularında giriş açıklıkları toplam yüzeyi

Boru çapı (NW) (mm)	Açıklık alanı (Cm ² /m)
40	6
50	8
> 50	10

Tablo - 3.3. DIN 1187'ye göre düzenli PVC dren borularının ölçüleri [9].

Anma çapı	Dış çapı	Misade edilebilir sapma	Minimum duvar kalınlığı	Misade edilebilir sapma	İç çap ¹⁾	Minimum ²⁾ ağırlık	Minimum kol derinliği
40	40	+ 0.3	1.0	+ 0.5	38	0.171	60
50	50	+ 0.3	1.0	+ 0.5	48	0.216	75
63	63	+ 0.4	1.3	+ 0.6	60	0.353	90
75	75	+ 0.4	1.5	+ 0.7	72	0.485	105
90	90	+ 0.5	1.8	+ 0.8	86	0.700	115
110	110	+ 0.6	1.9	+ 0.8	106	0.904	120
125	125	+ 0.7	2.0	+ 0.8	121	1.08	125
140	140	+ 0.8	2.3	+ 0.9	135	1.40	125
160	160	+ 0.8	2.5	+ 1.0	155	1.75	125

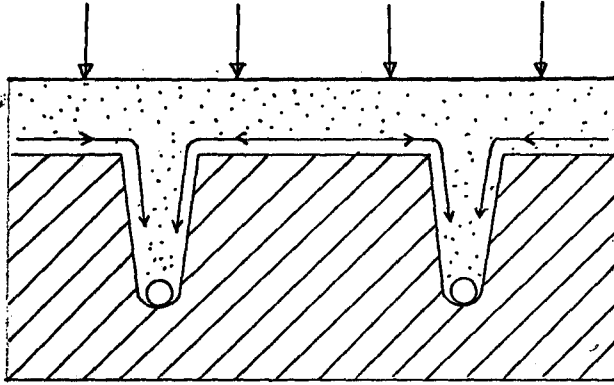
1) Bu değerler değişmez

2) Minimum et kalınlığına göre

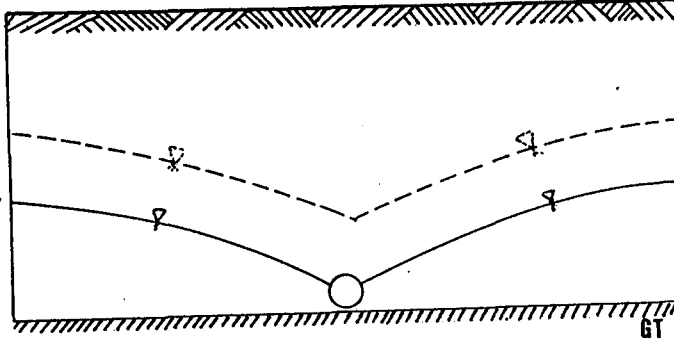
3.4.4. Topraktaki fazla suların dren borularına girişi

Dren borusu, içine girecek suya karşı gösterdiği direnç, toprağın permeabilitesi ve borunun giriş açıklığına bağlı olarak büyük veya küçük olabilir. Suyun dren borusuna girerken karşılaştığı direnç nedeniyle taban su seviyesi yükselir veya alçalır.

Dren boruları arasındaki taban suyu toprağın permeabilitesine bağlı olarak küçük permeabilite de büyük eğrilik, büyük permeabilite de küçük eğrilik meydana gelir.

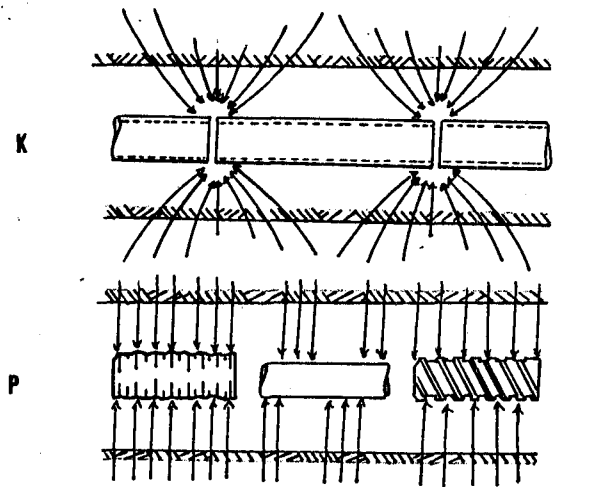


Şekil - 3.1. Geçirimsiz topraklarda bozuk drenajın etkisi



Şekil -3.2. Dren borusunun giriş direncine bağlı olarak taban su seviyesinin değişmesi

Dren aralıkları ne kadar küçük tutulursa, taban suyu o kadar çok alçalır. Çünkü drenlerin içine giren su fazlalaşır. Genelde drenlerde meydana gelen su akımı laminer ve üniform bir akımdır, ve Darcy konumuna uyar. Süreklilik denkleminde dren sistemindeki akım, Laplace dif eransiyel teorisine göre potansiyel akımlar şeklinde düşünülerek açıklanabilir. Toprak gözeneklerindeki fazla sular, borular arasındaki açıklıkların yerine bağlı olarak şekil -3 .3'teki gibi oluşur.



Şekil -3.3. Kil (K) ve PVC (P) borularına suyun akımı

3.4.5. Yeraltı suyu hareketi

Yeraltı suyunun kaynağı genelde yağıştır. Fakat yerüstü sularından oluşan sızmalar nedeniyle yeraltı suyu sürekli beslenir. Yeraltı su seviyesi zemin yüzeyine yakın ise yüksek bir debi ile beslenmektedir, yada zemin içinde geniş ölçü de sızma olayı vardır. Tarım toprakların da sık sık yapılan arazi sulamalarının da yeraltı suyuna büyük etkisi bulunmaktadır [17].

Yeraltı su akımını ifade eden en önemli bağıntı Darcy Kanunu'dur. Yeraltı suyu viskoz olduğundan sürtünmeye maruz kalır. Zemin boşlukları içinde süzülürken sürtünmeler nedeniyle mekanik enerjinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşür. Yani akımın meydana gelebilmesi için mekanik enerjiye sahip olması gerekir. Su kitlesi bu mekanik enerji ile harekete geçer. Enerjinin bir kısmı ısıya dönüşür. Kinetik enerji sıfır olur, potansiyel enerjinin minimum olduğu yerde durur.

Kısacası su kitlesi piyezometrik düzeyi yüksek olan bir noktadan, alçak olan bir noktaya doğru akacaktır. Kitle içindeki bu akış, suyun hidrolik eğimi sıfır olunca durur.

Eğer zemin içinde, sabit bir nokta gözönüne alınırsa, bu noktadan geçen bir su zerresi belli bir yolu, yani akım çizgisini takip eder. Akım permenant kabul edilirse; gözönüne alınan sabit noktadan geçen her su zerresi aynı yolu; akım çizgisini takip edecektir. Bu nokta üzerinde su zerrelerinin hızları birbirine eşittir.

3.5. Permeabilitenin Belirlenmesi

3.5.1. Permeabilitenin belirlenmesi metodları

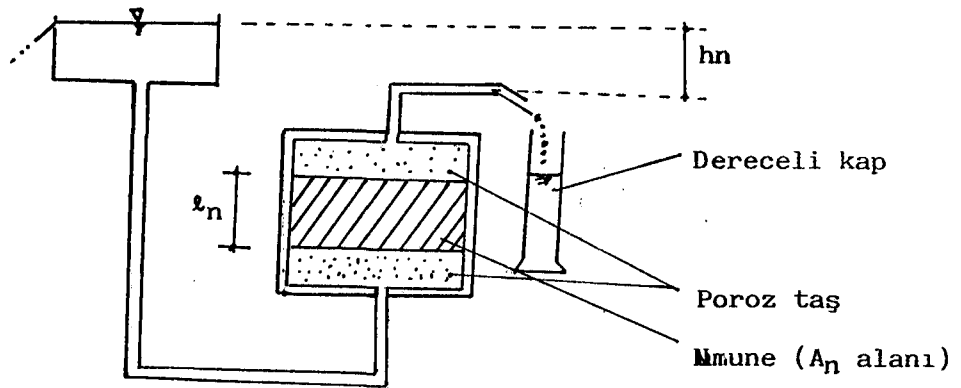
Permeabilite katsayısı (k), arazi ve laboratuvarlarda farklı bir çok

metotla hesaplanabilir. Kısaca permeabilite tanımlanacak olursa; birim hidrolik eğim altında suyun, zemin içindeki hızıdır. Permeabilitenin tesbit edildiği başlıca metotlar şunlardır [9].

- Burgu deliği metodu
- İnfiltrasyon boru metodu
- İnfiltrimetre ile ölçüm
- Toprakların hava geçirgenliği
- Kesme direnci
- Belle kazmak suretiyle numune almak
- Sabit seviyeli permeabilite deneyi

3.5.2. K (Permeabilite) katsayısının belirlenmesi

Geçirimli zeminlerde permeabilitenin hesabı en basit şekliyle; sabit seviyeli permeabilite deneyi yapılarak yaborda belirlenebilir. Şekil -3.4'de görüldüğü gibi numunenin alt ve üstüne geçirimli taş yerleştirilir. Numuneden belli bir zaman içinde geçen debi dereceli kap yardımıyla belli bir zaman süresi içinde hesaplanır. [20].



Şekil -3.4. Sabit seviyeli permeabilite deneyi

Burada;

$$V_n = k_n \cdot J_n \dots\dots\dots (3.1)$$

$$Q_n = V_n \cdot A_n \dots\dots\dots (3.2)$$

$$Q = k_n \cdot J_n \cdot A_n = A_n \cdot k_n \cdot \frac{h_n}{L_n} \dots\dots\dots (3.3)$$

dikkate alınan zaman içinde poroz taşlardan t sürede geçen su hacmi ise

$$Q > A_n \cdot k_n \cdot \frac{h_n}{L_n} \cdot t \dots\dots\dots (3.4)$$

k_n ifadesi ise ;

$$k_n = \frac{Q \cdot L_n}{h_n \cdot A_n \cdot t} \dots\dots\dots (3.5)$$

Q_n : t zaman aralığında numuneden geçen su hacmi

k_n : Permeabilite katsayısı

h_n : Hidrolik yük

L_n : Numune boyu

t : Dikkate alınan zaman aralığı

A_n : Numune kesit alanı

Permeabilite katsayısı $k > 10^{-2}$ cm/sn geçirimli zemin

Permeabilite katsayısı $10^{-6} < 10^{-2}$ yarı geçirimli zemin

Permeabilite katsayısı $k < 10^{-6}$ cm/sn geçirimsiz zemin [20].

Tablo -3.4. Permeabilitenin farklı geçirgenlik sınırları

$k = 10^{+2}$	10^1	10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-8}
Çakıl		Kum	Çakıl kum ve silt		Kil
Geçirimli		yarı geçirimli		geçirimsiz	

Bu deneyin anlamı, permeabilite katsayısı (k)'nin zeminin porozitesine, cinsine, zemin boşluklarının düzgün olup olmamasına ve sıvının viskozitesine bağlı olarak değiştiğini ifade eder.

Zemin içinde permeabilite katsayısı, yatay ve düşey doğrultuda farklı değerlere sahip olabilir. Merkeze yönelik (radyal) akımlarda da farklı bir permeabilite katsayısı vardır. Permeabilite katsayısı zeminin sıkışma ve konsolidasyon durumuna göre de değişir. Bu değişme permeabilitenin küçülmesi yani geçirgenliğinin az olmasına neden olur.

Permeabilite katsayısı ölçümler yapılırken, çok hassas ölçülmelidir. Çünkü küçük hatalar permeabilite katsayısında yüz, hatta bin mertebesinde küçük veya büyük ölçülmesine neden olur.

3.6. Dren Şebekeleri

Drenaj şebekesi yapılmadan önce, proje planlanmasında toprak cinsine göre, kısmi drenleme veya arazinin tamamı için yapılacak tam drenlemeye karar verilir.

Kısmi drenleme : Bir bölgede zemin geçirgenliği (k) sık sık değişiyorsa bu durumu gözlemlemek için; arazinin bir kısmına drenaj uygulanır[7].

Tam drenleme : Toprak incelemeleri sonunda lokal incelemeler arasında az fark bulunuyorsa, K homojen kabul edilerek arazinin tamamını drene edecek şebeke inşaatına gidilir.

3.6.1. Ana drenler

Ana dren boruları arazinin en çukur kısımlarından geçmelidir. Toplayıcı borulardan gelen suları boşaltıcı kısma ileten en büyük borudur. Ana dren uzunluğu, boru çapına bağlıdır. Hız, eğim, uzunluk kriterleri Tablo -3.5' te verilmiştir. Ana drenlerin yollarla, duvar, çit gibi tesislerle kesilmesinden kaçınmalıdır. Eğer kesilmesini önlemek mümkün değilse; bu gibi yerlerde sağlam boru kullanılmalıdır. Eğer ana drenlerde oluşan hızlar Tablo -3.5.'de verilen hızlardan büyük olursa toprakta yıkanma meydana gelir. Böyle durumlarda eğimi küçültmek gerekir.

Tablo -3.5. DIN 1185'e göre ana drenlerin planlanması [9].

Toprak cinsi	I (%) min.Eğim	I (%) max.eğim	V max.hız m/sn	IQp(%) Eğim	L max. (Dren aralığı)	NW Çap	Su girişi için min. açıklık cm ² /m
Mineral Toprak	0.45	8	1.5	4	500	150	8
Pit Toprak	0.15	4	1	0.4	400	150	8

Ana toplayıcıların, drene ettikleri arazi alanı 2 km² den küçük ise, suyu deşarj ettikleri boşaltıcılardan 30 cm yukarıda olmaları gerekir. Eğer arazi alanı 2 km² den büyük ise ana toplayıcı boşaltıcı drenin ortalama su seviyesinden 10 cm yukarıda olmalıdır. Büyük arazilerin kurulması sırasında, bir den fazla ana toplayıcı boru kullanımında iki boru arası en az emici aralığı kadar olmalıdır.

3.6.2. Toplayıcı drenler

Esas görevleri emici borulardan gelen suları, ana toplayıcıya aktarmaktır. Emici borulara göre daha alçak olan arazi kotlarından geçmelidir. Toplayıcı borularda yön değişikliği söz konusu ise, oraya kontrol bacaları inşaa edilmelidir. Toplayıcı boruların maksimum boyları 1000 m, min çapları 65 mm, ve boruların içinde maksimum hız 1.5 m/sn olmalıdır. Eğer hızlar daha büyük ise dren şütleri ile eğim ve hız küçük tutulur. Toprak cinsine bağlı olarak minimum toplayıcı eğimleri Tablo -3.6.'da verilmiştir.

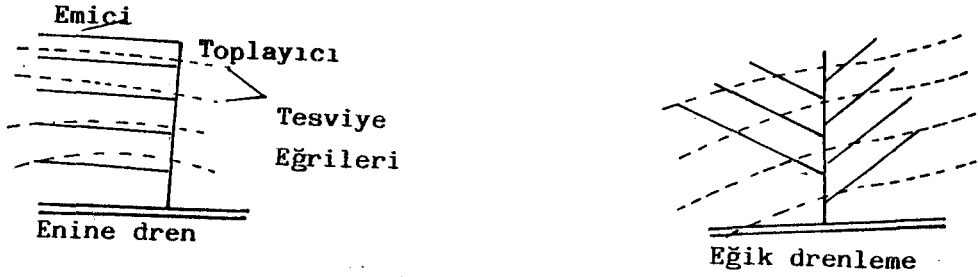
Tablo 3.6. Toprak cinsine göre toplayıcı eğimleri [9].

Toprak cinsi	Eğim I(%)
Birikinti kum ve silt	0.45
Demir ihtivalı toprak	0.30
Siltli lem	0.25
Kumlu lem	0.20
Killi lem	0.15
Bataklık	0.05

3.6.3. Emici drenler

Arazide bulunan zararlı suları toplayarak, toplayıcı borulara ileten borulardır. Esas kurutmayı bu borular yapar. Emici borularda hidrolik hesap yapmağa gerek yoktur. Minimum boru çapları 50 mm. ve sabittir.

Emiciler arazi eğimine bağlı olarak yerleştirilirler. Eğer arazi eğimi % 0.5'ten büyük ise; tesviye eğrilerine paralel olarak; enine ve eğik drenler döşenir. Boyuna drenler ise tesviye eğrilerine dik bir şekilde yerleştirilir.

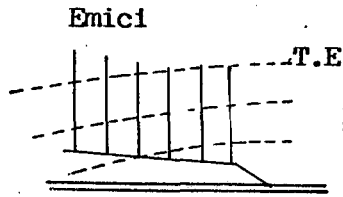


Şekil -3.5. Enine ve eğik drenlerin yerleştirilmesi

Enine drenler, arazi kurutmalarında en etkili (tepsiye eğrilerine paralel) yerleştirme şeklidir.

Eğik drenler ise emiciler kadar etkili olmasalar da, dik yerleştirilen emicilerden daha etkilidir.

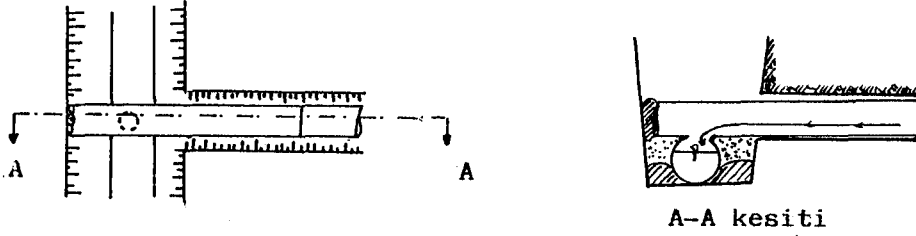
Boyuna drenler, zorunlu olmadıkça özellikle tarım topraklarında uygulanmamalıdır. Çünkü drenaj yönünden zararlı suları emme kabiliyeti oldukça düşüktür.



Şekil - 3.6. dik drenlerin yerleştirilmesi

Emici drenlerde minimum eğim % 0.25, maksimum eğim % 8 olmalıdır. Emici uzunlukları 200 m. seçilmelidir. Bazı şartlardan dolayı emici boyları 200 metreden büyük alınır, hidrolik hesaplar yapılarak boru çapları belirlenir. Eğer eğimler çok düşük ise boylar 150 metre seçilebilir. Akıcı bir yapıya sahip zeminlerde emici boyları daha kısa tutularak, birleşim yerleri filitre malzemesiyle koruma altına alınmalıdır.

Zemin yapısına bağlı olarak yerleştirilen emicilerin kaymaları, okmeleri önlenmelidir.



Şekil -3.7. Toplayıcı drenlerle - Emici drenlerin bağlantı yerleri

3.6.4. evre dren borusu

Komőu araziden gelecek zararlı sularla yeraltı, sularını tutmak için gerekirse arazinin dört tarafı bu dren borularla çevrilebilir. A-razi yapısına bağlı olarak 1.5 metre derinliğe kadar indirilebilir. Drenaj Őebekesinde ilk önce dren boruları yerleştirilmelidir. Boru çapları çok büyük seçilmelidir. Minimum boru çapı 80 mm olmalıdır. evre dren boruları için açılan hendeklerin tabanına ve kenarları ile üstünü örterken, geçirimli malzeme kullanılmalıdır.

3.7. Hidrolik Hesap

Borulu drenajın amacı; yağışlardan, sulama ve yeraltı suyu nedeniyle oluşan fazla suları zararsız bir Şekilde topraktan uzaklaştırarak toprağın uygun ortamda işlenmesini sağlamaktır.

Drenaj sisteminin debisi; $q \text{ t/sn km}^2$ veya $q \text{ t/sn ha}$ uzaklaştırması gereken miktardır.

$$1 \text{ mm yağış} = 1 \text{ t/m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha} = \frac{10000}{86400} = 0.116 \text{ t/sn ha}$$

1 mm/gün birimi ha çevirmek için

1 mm/gün x 0.116 = lt/sn/ha elde edilir.

q belli bir drenaj alanından

DIN 4047 ve DIN 4049'a göre [9].

$$Q = q \cdot F \dots\dots\dots (3.6)$$

DIN 1185'e göre debi değerleri yıllık ortalama yağışlara göre sınıflandırılmışlardır.

Tablo -3.7. Dren borularının hidrolik hesapları için birim alan akım miktarları

Ortalama yıllık yağış (mm)	Birim debiler q (lt/sn. ha)	
	Ağır ve orta ağır.top.	Hafif topraklar
600	0.40	0.55
650-750	0.40-0.55	0.55-0.70
750-1000	0.55-0.70	0.70-1.00
> 1000	0.70-1.00	1.00-1.80

3.7.1. Drenler için teorik akım formülü

Dren kapasitesi DIN 1185'e göre PRANTL COLEBROOK formülüyle hesaplanır [9].

$$V = -2.0 \text{ Log } \left[\frac{2.51 \cdot V}{D \cdot \sqrt{2g.D.j}} + \frac{k_b}{3.71.D} \right] \cdot \sqrt{2g.D.J} \dots\dots(3.7)$$

Daire kesitli borular için;

$$Q = V \cdot F \dots\dots\dots (3.8)$$

F : Daire kesit alanı olduğundan,

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 2.0 \text{ Log} \left[\frac{2.51 \cdot V}{D \sqrt{g \cdot D \cdot J}} + \frac{k_b}{3,71 \cdot D} \right] \cdot \sqrt{2g \cdot D \cdot J} \dots\dots(3.9)$$

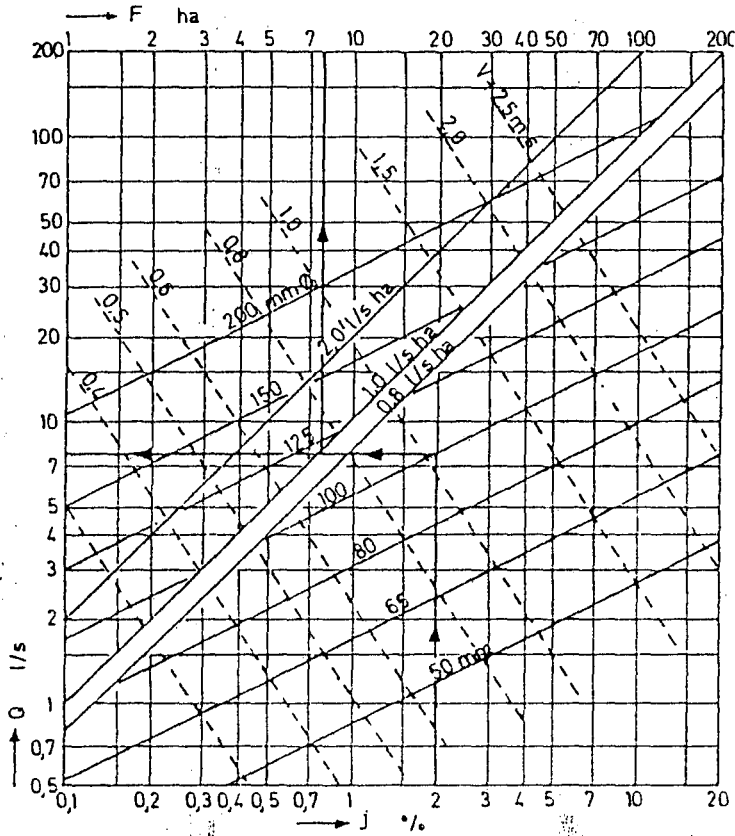
Borular için tesbit edilmiş olan k_b pürüzlülük katsayısı

Kil borular için $k_b = 0.70 \text{ mm}$.

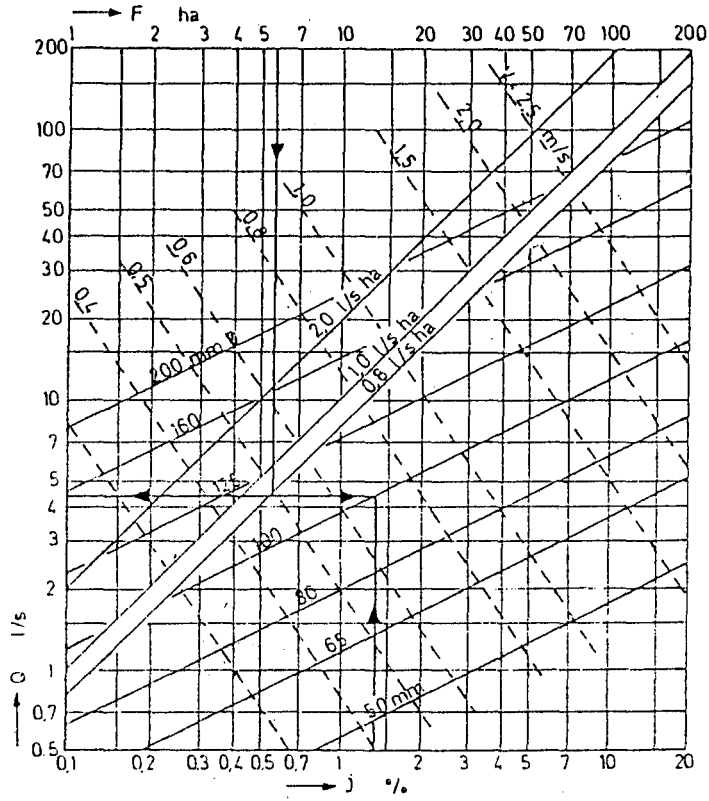
Kıvrımlı PVC borular $k_b = 2.0 \text{ mm}$.

Düz PVC borular $k_b = 0.1 \text{ mm}$.

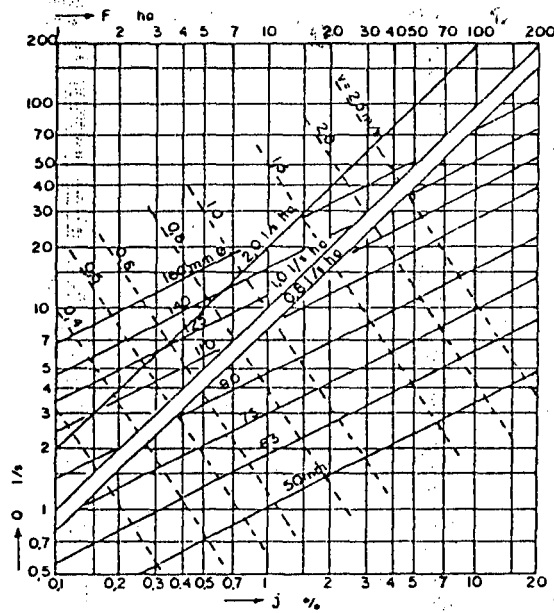
Pürüzlülük katsayılarına göre literatürde hesapların kolayca yapılması için grafikler geliştirilmiştir [9] .



Şekil-3.8 : Dren borularının çap (AÇ) grafiği suları (V) debi (Q)
(Kil künk drenler $k_b = 0,7 \text{ mm}$)



Şekil-3.9: Oluklu dren borularının çap (AÇ) grafiği Su hızı (V)
debi (Q) (Kıvrımlı PVC dren boruları $K_b = 2.0 \text{ mm}$)



3.10: Dren borularının çap (AÇ) grafiği suları(V)
debi(Q) (Düz PVC borular $k_b = 0.1 \text{ mm}$)

3.7.2. Drenler için amprik formül

GAUCKLER - MANNING STRICKLER formülüne göre, [9]

$$V = k_S \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \text{ [m/sn]} \dots\dots\dots (3.10)$$

Burada;

V = Boru içindeki su hızı (m/sn)

k_S = Pürüzlülük katsayısı ($m^{1/3}/sn$)

R = Hidrolik yarıçap (m)

J = Su yüzeyi eğimi (arazi eğimine eşit) (%)

Burada D (cm), J (%) ve $k_S = 75$ ($m^{1/3}/sn$) alınarak (3.10) denklemi

$$V = 1.38 D^{2/3} \cdot J^{1/2} \text{ (m/sn)} \dots\dots\dots (3.11)$$

denklemi elde edilir. (3.8) eşitliğinde değerler yazılırsa;

$$Q = 0.1085^{8/3} \cdot J^{1/2} \text{ (lt/sn)} \dots\dots\dots (3.12)$$

amprik ifadesi meydana gelir.

Eğer $k \neq k_S = 75$ ise yeni k pürüzlülük değeri $k_y = k / k_S$ ile çarpılarak k_y (istenilen pürüzlülük katsayısı)'ye göre V ve Q elde edilir.

IV. B Ö L Ü M

4. DREN ARALIKLARININ HESABI

4.1. Genel

Dren sisteminin randımanı ve ekonomisi üzerinde en etkili faktör, dren borularının döşeme derinliği ile aralıklarına bağlıdır. Dren borularının derinliği ekilecek bitkinin kök derinliğine bağlı olarak veya toprağın kullanım amacına göre değişir.

Dren aralıkları, potansiyel akımlara bağlı teorik buluşlara göre, objektif olarak hesaplanıp kullanılabilir. Dren aralıklarının hesaplanması büyük ölçüde sabit akım durumuna göre belirlenmiştir. Toprağa giren su ile topraktan çekilen debi birbirine eşittir [9].

Dren aralığı hesap yönteminde, bir taraftan toprakta aşırı ıslaklık oluşturan neden, diğer taraftan da toprak permeabilitesi gözönüne alınır.

Dren aralığı hesabı, sadece yeter derecede permeabl olan ($k > 0.06$ m/gün) ve yeraltı suyu içeren topraklarda uygulanır.

Paralel drenler arasındaki yeraltı suyu akımı; düşey, yatay ve radyal bileşenlere ayrılabilir. Bu bileşenler bir akım çizgisinin bileşenleridir. Bu akım çizgileri yaklaşık bir metodla çizilebilir.

4.2. Düzgün ve Düzgün Olmayan Akım Şartları

Dren aralığının hesabında kullanılan formüllerin çoğu, HOOGHOUTT ve ERNST'de dahil düzgün akış şartları için geliştirilmiştir. Devamlı düzgün yağış, drenlerin düzgün beslenmesi yani giren su miktarı çıkan su miktarına eşit kabul edilmiştir.

Uygulamada bu kabul ender olur. Fakat tabiatda taban suyu hem alçalır, hem de yükselir. Buna rağmen çözümlerde düzgün akış şartları gözönüne alınacaktır.

Belirli hidrolojik şartlar altında drenaj sistemi için drenaj akış katsayısı bilinmelidir. Drenaj katsayısı, düzgün ve düzgün olmayan akış şartları için farklıdır.

Düzgün olmayan akış formülü için drenaj katsayısı belirli bir durum, başlangıç alınarak, belirli gün sayısında taban suyunda istenilen alçalmadan sonra belirlenebilir (t zamanda h_0 'dan h_t 'ye düşme).

Düzgün akış formülünde, belirli dren derinliği için drenaj katsayısı; müsaade edilen en yüksek taban suyu seviyesi $[h]$ ve $[q]$ 'nin bir bileşimidir. Proje akışı $[q]$; ortalama yağış dağılışı, dren derinliği ve $[h]$ maksimum nap yüksekliğine göre elde edilir.

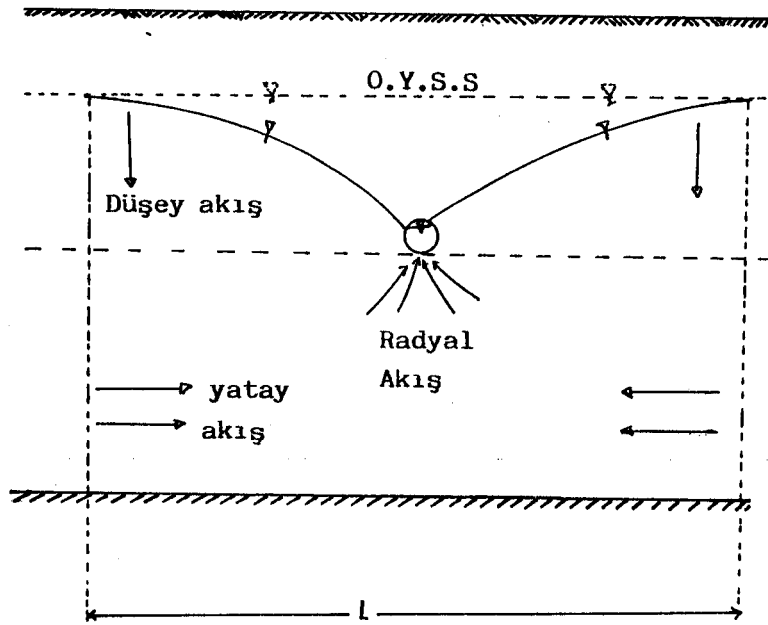
Drenaj sistemi için hesap edilen, drenaj katsayısının yeterli olup olmadığı yıl içerisinde taban suyu ve tarım üzerindeki etkisinden anlaşılır. Eğer giren su ile boşalan su birbirinden farklı ise; düzgün olmayan akış formülleri kullanılmalıdır (Dunn 1954, Kraijenhoff 1958, Maasland 1956) [10].

4.2.1. Düzgün akış şartları

Taban suyunun dren sistemlerine akışı; düşey, yatay veya radyal akım şeklinde meydana gelir. Akım çizgileri dren borularına yaklaştığı zaman, akımda büzülme ve yavaşlama meydana geliyorsa oluşan bu akım radyal akımdır.

Dren aralıklarının hesabında genelde yatay ve radyal dirençler

dikkate alınır. Çünkü direnç küçüktür. Dren aralıklarının hesaplanmasında geçirimsiz tabakanın büyük etkisi vardır. Şekil -4.1. de akım durumları şematik olarak gösterilmiştir. Akımın yatay veya düşey dirençli geçirimsiz tabakanın derinliğine bağlıdır. geçirimsiz tabaka, dren borularının derinliğine göre üç şekilde olabilir.



Şekil 4.1. Düşey, radyal ve yatay akış bileşenleri

- a - Eğer dren borusu geçirimsiz tabaka üzerinde veya çok yakınına yerleştirilirse yatay direnç büyür, radyal direnç çok küçük olur. Dren aralık hesapları yatay dirence göre yapılır.
- b - Geçirimsiz tabaka $\frac{1}{4} L$ 'den daha derinde ise; yatay direnç küçülür, ama radyal direnç çok büyür. Dren aralıklarını radyal direnç değerine göre çözmek gerekir.
- c - Geçirimsiz tabaka ile dren borusu arasında $\frac{1}{4} L$ 'den daha az bir mesafe bulunursa, radyal ve yatay dirençlere göre hesapları yapmak gerekir.

c maddesinde açıklanan durum üzerinde bir çok araştırmacı önemli çalışmalar yapmış olmakla birlikte bunlardan önemlisi, Hooghoudt'un çalışmasıdır.

4.3. Hooghoudt Denkleminin Esasları

Drenaj problemlerinin çözümü, basitçe uygulanan matematiksel ifadelerle hesaplanabilir. Literatür araştırmaları sonunda görülen genel durum; zemin durumunun çok değişik olması nedeniyle, yaklaşık metodlar verilmiştir.

Bulunan teorik ifadeler, küçük alanlara uygulanarak gerekli deney sonuçları belirlenir. Bulunan deney sonuçları ile teorik sonuçlar birbiriyle karşılaştırılır. Bir çok durumda deney sonuçları ile teorik sonuçlar tamamen birbirine uymaz. Bu durumda teorinin uygulanmasında fikir yürütmek gerekir.

Bazı durumlarda teori, drenajın derinlik ve problemin çözümü için uygun sonuçlar verir. diğer durumlarda teori sadece özel yaklaşımlarda yararlı olur [14].

Drenaj sisteminin esas amacı lokal alanların drenajını sağlamaktır. Rutubetli zeminler için Hollanda'lılar bir çok teknik metot geliştirmiş ve hala kalkınmada kullanılmaktadırlar. Bu konuda drenaj probleminin çözümü için genel metodlar verilmiştir.

Bureau of Reclamation sulama yapılan bölgelerde drenaj probleminin çözümü için yol göstermektedir. Sulama alanları, ıslak alanlardan farklı olsa da aralarında benzerlik olduğundan sulama analizlerindeki aynı metodlar kullanılır.

Hollanda'lı Dr. S.B. Hooghoudt araştırmaları sonunda, drenaj probleminin önemli bir çözümünü bulmuştur. Hooghoudt sağanak yağış ile taban su seviyesini bir denklem haline getirmiştir.

Sağanak yağış, zemin permeabilitesi drenaj derinliği ve drenaj alanı için su seviyesi yüksekliği, nasıl verilir?

Yeraltı su akışı, geçirimsiz tabaka ile sınırlandırıldığından dolayı drenaj sisteminden çıkan su miktarı; zemin yüzeyinden sızan yağmur veya sulama suyu miktarına eşittir.

Bu durumda su seviyesi denklemi, yağmur veya sulama suyu ile belirtilir. Amaç su seviyesi denkleminin çözümünü yapmaktır. Bu denklemin çözümünü aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

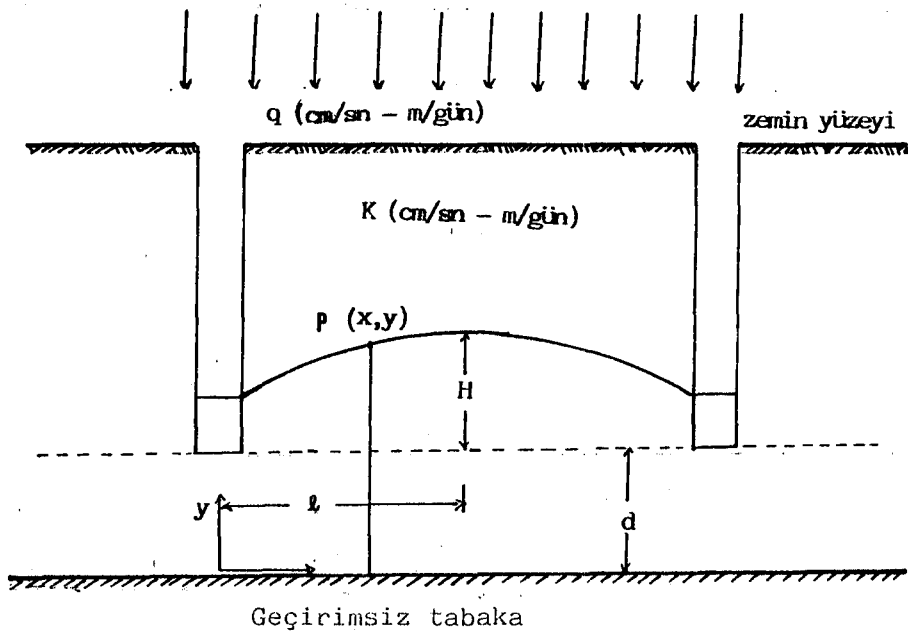
- 1 - Yağmur veya sulama suyu miktarı
- 2 - Zeminin permeabilitesi
- 3 - Drenaj derinliği ve alanı
- 4 - Geçirimsiz tabaka derinliği

Matematiksel ifadelerde 4. madde önemli bir faktör değildir. Kabul-ler üzerine problemin matematiksel analizleri birleştirilince sonuçta, spesifik bir su seviyesi kotu elde edilir. Daha sonraki çözümlerde bu kotun faydalı veya zararlı olacağı uygulanacak alana bağlı olarak bulunur.

Kullanılabilir drenaj teorilerinde Dr. S.B. Hooghoudt kadar ABD'den Dr. Don Kirkham "Sabit yer problemlerinin çözümü" yöntemi de önemlidir. Ancak Houghoud teorisi basittir, Kirkham teorisi karışık matematiksel fonksiyonlar gerektirmektedir [14] .

4.3.1. Su seviyesi için Hooghoudt denkleminin yağmur veya sulama suyu ile belirlenmesi

Hooghoudt geçirimsiz bir tabaka üzerinde drenaj analizini Şekil -4.2.'de açıklamıştır [14] .



Şekil 4.2. Hooghoudt için drenaj - derinlik diyagramı

Hooghoudt analizinde arazi üzerine yağın yağmur sabit bir oranda kabul edilir. Hidrolik eğim bir noktadaki su yüzeyinin eğimi olarak kabul edilir. Bu kabul Dupuit-Forchheimer (D-F) kabulü gibidir.

Drenaj sistemlerinde, toplam akışlar için D-F kabullerinin tam doğru olması mukaverete de bağlıdır (Gerçek değerin % 10'u hariç).

Hooghoudt'un başlıca kabulleri şunlardır;

1 - Zemin homojen ve geçirimliliği (k)

- 2 - Drenaj aralığı L (2ℓ)
- 3 - Hidrolik eğim, bir noktadaki su seviyesinin eğimine eşittir (d_y/d_x)
- 4 - Zemin içindeki suyun hareketi Darcy konusuna uyar
- 5 - Drenaj ile geçirimsiz tabaka arasındaki derinlik d' dir.
- 6 - q yağmur veya sulama suyu miktarı
- 7 - Orjin bir drenajın merkezinden ve geçirimsiz tabakanın üzerinden alınır.

Şekil -4.2.'de görüldüğü gibi geçirimsiz tabaka üzerindeki su seviyesinde bir $P(x,y)$ noktası alınır. Hesaplar bu düzlem arasında yapılmaktadır. Su oranı q , orta nokta ile şapka kesit düzeminden birim alandan geçen miktarın toplamına eşit olur. Yüzey alanı $(\ell - x) \times 1$ 'dir. Birim zamanda akan su miktarı;

$$q_x = (\ell - x) \times q \dots\dots\dots (4.1)$$

q_x için, Darcy kanunu uygulanarak; ikinci bir ifade elde edilir. Çünkü hidrolik eğim; herhangi bir noktada su seviyesi ile yaptığı sapmaya eşit olduğu kabul edilmişti. Yani hidrolik eğim = d_y/d_x geçirimsiz tabaka üzerinde su yüksekliği y 'dir. Akımın kesit alanı düzlemde y 'ye eşittir. Darcy kanununda y ifadesi yerine konulursa,

$$q_x = k \cdot y \frac{d_y}{d_x} \dots\dots\dots (4.2)$$

elde edilir.

(4.1) ile (4.2) birbirine eşit olmalıdır.

$$(\ell - x) \cdot q = k \cdot y \frac{d_y}{d_x} \dots\dots\dots (4.3)$$

(4.3) ifadesi düzenlenirse;

$$q_l \cdot d_x - x \cdot q_{d_x} = k \cdot y \cdot d_y \dots\dots\dots (4.4)$$

(4.4) denkleminin integrali alınır;

$$\int q_l \cdot d_x - \int x \cdot q_{d_x} = \int k \cdot y \cdot d_y \dots\dots\dots (4.5)$$

$$(q_l) \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2} = k \cdot \frac{y^2}{2} \dots\dots\dots (4.6)$$

sınır şartlarına göre çözüm yapılırsa;

$$x = 0 \text{ için } y = h + d \quad ; \quad l = \frac{L}{2}$$

$$x = l \text{ için } y = H + d$$

(4.6) eşitliği sınır şartlarına göre çözülürse;

$$L^2 = \frac{4k (H^2 - h^2 + 2dH - 2dh)}{q} \dots\dots\dots (4.7)$$

eşitliği elde edilir.

Burada en önemli nokta, geçirimsiz tabakadan, dren tabanına kadar olan d mesafesi faktörüdür. Bu değer (d) sonsuza kadar gider; L 'de sonsuza kadar gider ki bize drenaj bölgesini verir.

Drenajın tabanındaki akım için, D-F kabulleri hesapta doğru sonuç vermez. Pratik olarak drenaj başta boş olarak kabul edilir. Bu nedenle Hooghoudt denklemi;

$$L^2 = \frac{4 \cdot k \cdot H}{q} (2d + H) \dots\dots\dots (4.8)$$

kadar azalır. (4.8) denklemi Hollanda, Avustralya ve ABD'de dizayn amacıyla kullanılmıştır.

Denklem 3. dereceden bir elips'tir. Koordinat sistemi orta nokta ile drenaj arasına taşınıncaya elips olduğu görülür. (4.6) eşitliği tekrar yazılırsa, ve bu eşitlikte (4.9) denklemi yerine konulursa;

$$q_l \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2} = \frac{k \cdot y^2}{2}$$

$$x_1 = l - x \dots\dots\dots (4.9)$$

denklemi (4.6)'da yerine yazılırsa;

$$\frac{y^2}{(q \cdot l^2/k)} + \frac{x^2}{l^2} = 1 \dots\dots\dots (4.10)$$

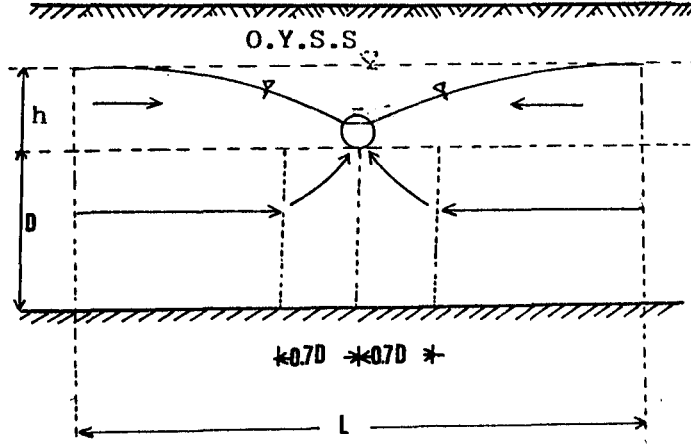
elde edilir. Bu eşitlikte elips'in alt ve üst eksenlerinin değerleri

l ve $l \cdot \sqrt{\frac{q}{k}}$ dır.

4.3.2. Hooghoudt'un eşdeğer tabakası d'nin hesabı

Hooghoudt tarafından ortaya atılan "Eşdeğer Tabaka" kavramı [d] drenler arasındaki radyal akış etkisini içerisine almaktadır. Yeraltı su akımının çoğu drenler altında meydana geliyorsa dren aralıklarında büyük değişimlere neden olur.

Yeraltı su akışı drenlerden itibaren 0.7.D mesafeye kadar yatay akış halinde meydana gelir. Drenlerden itibaren 0.7.D mesafeye kadar radyal akış vardır [4].



Şekil -4.3. Hooghoudt'a göre dren altında oluşan akım

Drenlerin altında D kalınlığı bir geçirgen tabaka var ise; teorik olarak d durumuna çevrilebilir.

R toplam direnç olmak üzere ;

$$R = \text{Toplam direnç} = \text{Yatay direnç} + \text{Radyal direnç} \dots (4.11)$$

Hooghoudt radyal direnç için , $1/\pi \ln (0.7 \cdot D/r)$ ifadesini teklif etmiştir.

Yatay direnç drenlerden itibaren $0.7D$ 'ye kadar hesaplanmıştır [2].

$$R_h = (L - 1,4.D) / (8 \cdot DL) \dots \dots \dots (4.12)$$

$$d = L / 8 (R_h + R_r) \dots \dots \dots (4.13)$$

elde edilir.

4.3.3. Tabakalaşmış zemin için Hooghoudt denklemi. [9]

Zemin tabakasının drenaj üzerindeki geçirimsizliği k_1 ve drenaj

hattının altındaki geçirimsizliği k_2 ise Hooghoudt formülü

$$L^2 = \frac{4}{q} (k_1 \cdot H^2) + \frac{8}{q} (k_2 d H) \dots\dots\dots (4.14)$$

elde edilir. Yatay çok tabakalı zeminlerde permeabilite katsayısı permeabilitelerin ortalaması alınarak hesaplanır. Drenaj çizgisi üzerinde üç ayrı geçirimsizliğe sahip k_1, k_2, k_3 ve üç ayrı derinlik b_1, b_2, b_3 mevcut ise ortalamaları;

$$k_0 = \frac{k_1 \cdot b_1 + k_2 \cdot b_2 + k_3 \cdot b_3}{b_1 + b_2 + b_3} \dots\dots\dots (4.15)$$

ifadesinden hesaplanır (Yatay tabakalaşma durumu)

4.3.4. Hooghoudt denkleminin kullanılışı

Geçirimsiz tabakaların derinliğine bağlı olarak drenaj altındaki akım için grafikler çıkarılmıştır. Hooghoudt akımının, yatay akışı ile derinlikle değişimi tahmin edilen radyal akımla karşılaştırdı. Wesseling (1964), Hooghoudt'un derinlik denkleminin % 5 doğru olduğuna işaret etti. Hooghoudt ile elde edilen derinlik denkleminin değeri $3d$ değerindedir.

Geçirimsiz bir tabakanın belirlenmesi, genelde düzensiz bir alanda yapılır. Alt tabakanın geçirgenliği üst tabakanın onda biri ise, o zaman bir analizle geçirimsiz tabaka olduğu kabul edilebilir. Geçirimsiz tabakadan suyun sızması veya olmaması kabulü geçerli değildir. Suyun önemli miktarı geçirimsiz tabakadan geçebilir, kabulü yapılır. Fakat deneysel olarak alınan akım gerçek akımdaki gibi etkili değildir [14].

4.3.5. Yağmur suyu veya sulama suyu oranının belirlenmesi

Tabandaki su miktarı, zeminden sızan suyun belirlenmesiyle elde

edilir. Hooghoudt denklemindeki q ise, yağmur suyu veya sulama suyu oranıdır. Yağışlar seyrek olarak uzun zaman periyodunda sabit ise, bu durumda q pek çok faktöre bağlıdır. Aşırı yağışlarda önce nemli bölgeler dikkate alınır.

Yeraltı su seviyesinin yeniden oluşum miktarına bir çok faktör etki eder. Bu faktörler;

- Çok şiddetli yağmur anında zeminin su alması
- Kayıpları önleme
- Sızma derinliği
- Artezyen sızması
- Yüzeysel akış
- Evapotranspirasyon (Buharlaştırma)

Sonuç olarak denilebilir ki; q parametresi karmaşık olan hidroliğin bir faktörüdür. q parametresini ölçmek için en uygun çözüm; drenajdan dışarı atılan suyu ölçerek elde edilir.

4.3.6. Hooghoudt denkleminin ıslak alanlara uygulanması

Ekilebilir alanlar için su seviyesi zemin yüzeyinden itibaren 50 cm'den fazla olamaz. Çim alanlar için 40 cm'dir. Bu şartlarda drenaj derinliği yaklaşık 80-90 cm'dir. Hollanda'da kullanılan bir yaklaşıma göre drenajın oranı veya q yaklaşık olarak 5-7 mm/gün alınabiliyor.

Zemin yağmur suyuna maruz kaldığı zaman su seviyesi yükselir. Zamana bağlı olarak oluşan su yükseklikleri ile o zamana ait sıcaklıklar grafik halinde işaretlenirse bitkilere çok büyük faydası olur [14].

4.4. Kirkham 1958 Formülü

Kirkham, problemi matematiksel yollar kullanarak analiz etmiştir. Bulduğu sonuçlar Hooghoudt' tan daha kesindir. Fakat matematiksel sonuçları çok karmaşıktır. Wesseling her iki formül arasındaki farkın % 5' ten az olduğunu ifade etmiştir [14].

Kirkham forülü ise;

$$H^d = (LR/k) \times F (2r/L, D/L) \dots\dots\dots (4.16)$$

F ifadesi ise;

$$F = \frac{1}{n} \left\{ \ln \frac{L}{\pi \cdot r} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1}{m} \left(\cos \frac{m\pi r}{\left(\frac{L}{2}\right)} - \cos m\pi \right) \cdot \left(\coth \frac{m\pi D}{\left(\frac{L}{2}\right)} - 1 \right) \right] \right\} \dots\dots\dots (4.17)$$

H^d = Maksimum su yüksekliği

R = Yağış oranı = q

k = Permeabilite

D = Dren tabanı ile geçirimsiz tabaka arasındaki mesafe

L = Dren aralığı

r = Dren yarı çapı

4.5. Bureau of Reclamation Formülü

Dren aralıklarının hesabı için önemli çalışmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar gösteriyor ki, yeraltı suyu hareketi ile ilgili daha kesin dizayn metodları elde edilebilir. Yeraltı suyu akımının değişken olması nedeniyle zeminde herhangi bir noktadaki akım sabit değildir. Bu akım zamanla değişebiliyor, zamanla değişen akımlar "sabit durumlu", tersi akımlar ise süreksiz akımdır.

Drenajın geçici durumu ile ilgili yapılan öncü çalışmalar Bureau of Reclamation komusyonu ile R.D. Glover tarafından yapılmıştır. (4.18) ifadesi Glover ve (B.R) tarafından yapılan çalışmalar sonunda bulunmuştur [14].

$$\frac{k.D}{s} \cdot \frac{dy}{dt} = \frac{d^2y}{dx^2} \dots\dots\dots (4.18)$$

Burada;

k = Permeabilite

D = Su akıntısının tabandan itibaren derinliği

s = Spesifik kabul

y = Suyun başlangıç noktasından itibaren, deniz seviyesinden yüksekliği

Bu metod geçici su seviyesi için çıkarılmıştır.

Zemine paralel olan drenajların denklem çözümleri Glover ve arkadaşları tarafından çözülmüştür. Bu çözümler zemine paralel drenajlar içindir. Farklı şekildeki araziler içinde farklı çözümler elde edilmiştir. Bu çözümler Bureau of Reclamation tarafından kullanılmaktadır. denklem 4. dereceden bir paraboldür.

t = 0 hali için fonksiyon;

$$y = \frac{8.H}{L^4} (L^3 \cdot x - 3L^2 \cdot x^2 + 4Lx^3 - 2x^4) \dots\dots\dots (4.19)$$

her iki drenaj türünde su seviyesi benzer yaklaşımlarla veya;

$$y = 0 \quad t = 0 \quad x = 0$$

$$y = 0 \quad t = 0 \quad x = L \quad \text{şeklindedir.}$$

Denklemdaki iki sınır şartı için (4.19) eşitliği

$$y = \frac{192.H}{\pi^5} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(2m+1)^2 \cdot \pi^2 - 8}{(2m+1)^5} \exp\left(-\frac{(2m+1)^2 \cdot \pi \cdot \alpha \cdot t}{L^2}\right) \cdot \sin \frac{(2m+1) \cdot \pi \cdot x}{L} \dots (4.20)$$

Burada;

$$\alpha = k \cdot D/s$$

k = Permeabilite

D = Bölgenin akış derinliği

L = Dren aralıkları

H = Drenajın orta noktasındaki su yüksekliği

Her iki drenaj arasındaki su yüksekliği ise;

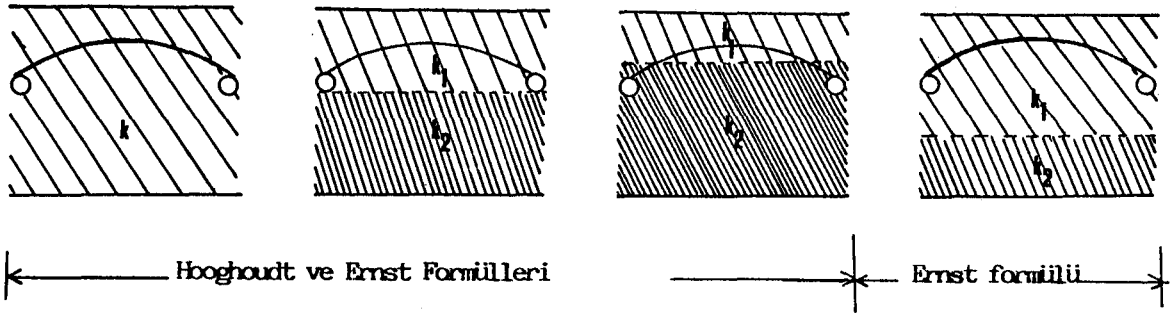
$$y + x = \frac{L}{2} \text{ gibi}$$

$$H = \frac{192}{\pi^5} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} (-1)^{(n-1)/2} \frac{n^2 - 3/\pi^2}{n^5} \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2 \alpha \cdot t}{L^2}\right) \dots (4.21)$$

Serinin ilk terimini almak suretiyle yaklaşık bir çözüm elde edilir.

4.6. Ernst Formülü

Kurutma alanında, birden fazla geçirimli tabaka mevcutsa; ve dren boruları üst toprak tabakasına yerleştirilirse Ernst formülü kullanılır. Hooghoudt formülünün kullanıldığı diğer çözümler içinde kullanılabilir. Literatürlerde bu formüllerin rahat kullanılması için grafikler hazırlanmıştır.

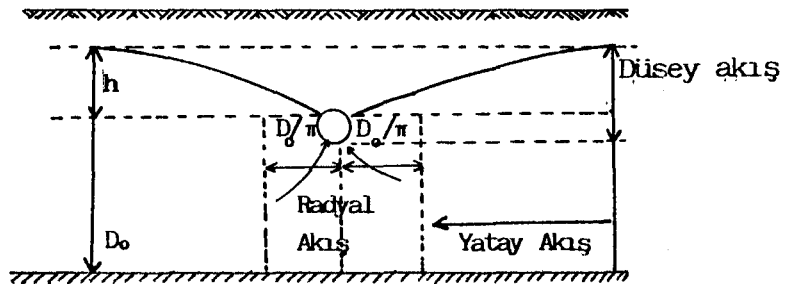


Şekil -4.4. İki tabakalı toprakta tabakaların pozisyonları

Ernst formülünün esas özelliği; yeraltı su akımını üç bileşene ayırarak incelenmesidir [9].

- Dişey akış (V)
- Yatay akış (h)
- Radyal akış (r)

üç hidrolik yükün toplamı $h = h_v + h_h + h_r$ 'dir. Bu akış için gerekli hidrolik yük, her bir bileşen için formülden hesaplanır. Dren aralığı ise deneme - yanılma yöntemiyle bulunur.



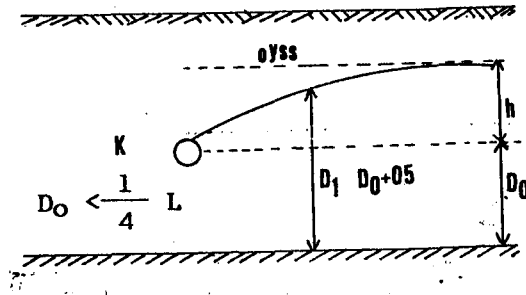
Şekil -4.5. Ernst formülünün prensibi

Genel ifadesi;

$$h = \frac{q \cdot D_v}{k_1} + \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot k \cdot D} + \frac{q \cdot L}{\pi \cdot k} \ln \frac{D_0}{u} = h_v + h_h + h_r \dots (4.22)$$

Tarım topraklarında genelde üç duruma restlanır [4].

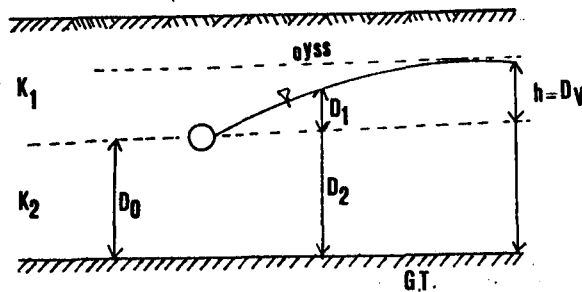
- 1 - Dren borusu geçirimsiz tabaka seviyesinin altında, D_0 derinlikte; homojen tabaka ise $D_0 < \frac{1}{4} \cdot L$ durumu



Şekil -4.6. Homojen toprak

$$h = \frac{q \cdot L^2}{8kD_1} + \frac{qL}{\pi \cdot k} \ln \frac{D_0}{u} \dots (4.23)$$

- 2 - Dren seviyesi farklı iki tabakanın birleşme yerindedir.



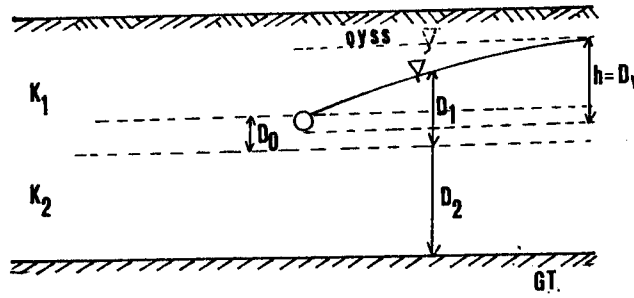
Şekil -4.7. Dren farklı iki tabakanın sınırındadır.

$$k_1 \lesssim k_2 : h = \frac{qL^2}{8(k_1D_1+k_2D_2)} + \frac{qL}{\pi k_2} \ln \frac{D_0}{u} \dots\dots\dots (4.24)$$

$$k_1 \ll k_2 : h = \frac{q \cdot D_V}{k_1} + \frac{qL^2}{8k_2D_2} \ln \frac{D_0}{u} \dots\dots\dots (4.25)$$

$k_1 \gg k_2$: Hooghoudt formülü kullanılır.

3 - Dren boruları altında iki farklı tabaka var ise;



Şekil -4.8. Dren borusu üst tabakada bulunması durumu

$$h = \frac{q \cdot D_V}{k_1} + \frac{qL^2}{8(k_1D_1+k_2D_2)} + \frac{qL}{\pi k_1} \ln \frac{aD_0}{u} \dots\dots\dots (4.26)$$

Çözümler grafikte yapıldığı zaman a; k_2/k_1 ve D_2/D_0 'a bağlı olarak çözülür [9].

Formülde;

h = Hidrolik yük

D_V = Düşey bileşen için tabaka kalınlığı

D_1 = k_1 tabakasının yatay bileşeni için ortalama kesit

D_2 = k_2 tabakasının yatay bileşeni

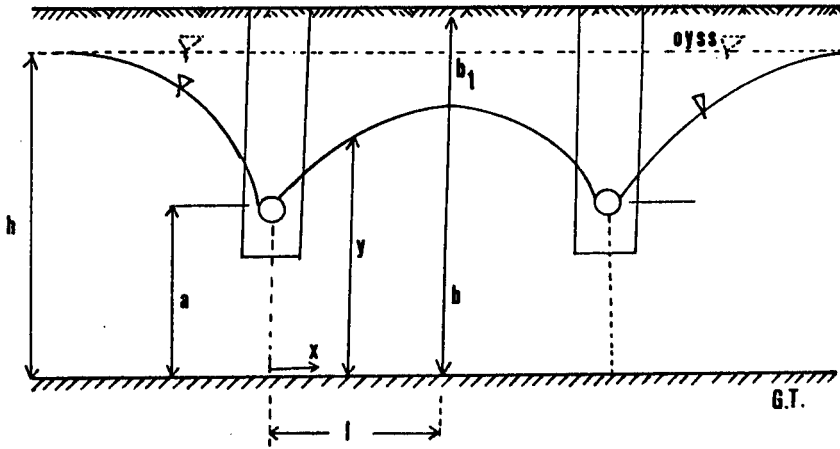
D_0 = Radyal direnç için tabaka kalınlığı

u = Islak çevre

q = Birim debi

4.7. Donnan Formülü

Yeraltı su seviyesini düşürmek için; alınacak Q debisi ile dren aralığı, derinliği ve başka veriler arasında bulunan ilişki için bir çok öneriler yapılmış, bu öneriler arasında Donnan yaklaşımı en pratik olanıdır. Türkiye'de Devlet Su İşleri ile Köy Hizmetlerinde pratik hesaplar genelde Donnan formülü ile yapılır [6].



Şekil -4.9. Donnan formülünün prensibi

- Orjinal yeraltı su seviyesi
- İstenen son su yüzeyi
- Zemin yüzünden itibaren yeraltı suyu derinliği b_1 (mt)
- Yeraltı suyu nap yüksekliği ile geçirimsiz tabaka (b) derinliği (mt)
- Dren derinliğinin geçirimsiz tabakaya (a) uzaklığı (mt)
- Dren aralıkları (L)mt göstermektedir.

Herhangi bir kesitin dren ekseninden uzaklığı, x ve bu kesitteki debi q_x ise;

$$x = 0 \quad \text{için} \quad q_x = Q/2, \quad \ell = \frac{L}{2}$$

$$x = \ell \quad \text{için} \quad q_x = 0$$

$$q_x = (\ell - x) \cdot 1 \dots\dots\dots (4.27)$$

Drenler arası orta uzaklık $\frac{L}{2}$ ve debi $\frac{Q}{2}$ dir.

$$(\ell - x) \cdot \frac{Q}{2} = \ell \cdot q_x \dots\dots\dots (4.28)$$

$$q_x = \frac{1}{L} \cdot (\ell - x) \cdot Q \dots\dots\dots (4.29)$$

diğer taraftan Darcy eşitliği yazılırsa;

$$q_x = k \cdot y \cdot \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots (4.30)$$

Hendek boyunca bir metre boyda kesit alanı $y \times 1 \text{ m}^2$ 'dir.

(4.29) ve (4.30) eşitlikleri birbirine eşitlenip düzenlenirse;

$$Q = \frac{4 \cdot k(b^2 - a^2)}{L^2} \dots\dots\dots (4.31)$$

Bu ifadenin çıkarılışında şu kabuller yapılmıştır.

- Drenaj borusunun bir yanından giren akım debi 1 m. boru boyunca $Q/2 \text{ m}^3/\text{sn}/\text{m}$ ve bu değer değişmez.
- Akım yatay dren yan yüzeylerine diktir
- Drenlerin orta noktasına gidildikçe debi azalır

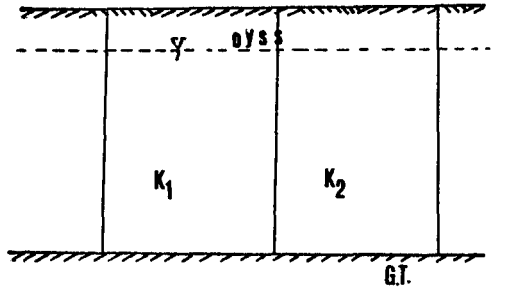
Drenler arasında Q 'nun uzaklıkla orantılı olarak değişmesi yaklaşık olarak doğrudur.

V. B Ö L Ü M

5. ÇALIŞMANIN AMACI

5.1. Genel

Dren aralıklarının hesabı için, zemin permeabilitesi genel olarak, yatay şekilde tabakalaşmış zeminler için hesaplanmış, formülasyonların geneli bu teori üzerine kurulmuştur. Aynı zemin şartlarında tabakalaşmanın düşey yönde olduğu düşünülürse; bu şartlarda oluşacak olan yeraltı su yüzeyi tıpkı yatay tabakalaşmış zeminin özelliklerini yansıtır. Ancak bir drenaj şebekesi kurulursa; demlere doğru oluşan yeraltı suyu ile farklı geçirimlilikteki tabakalarda oluşacak nap yüzeyi birbirinden farklı olacaktır.



Şekil -5.1. Düşey yönde tabakalaşmış zemin

Bu farklılık drenajın her metresinden alınan q debisinin ve farklı geçirimlilikteki tabakaların permeabilitelerine bağlıdır.

Bu çalışmada yeraltı suyu debisi sabit olarak dikkate alınmış ve akımın yatay yönde oluştuğu kabul edilmiştir.

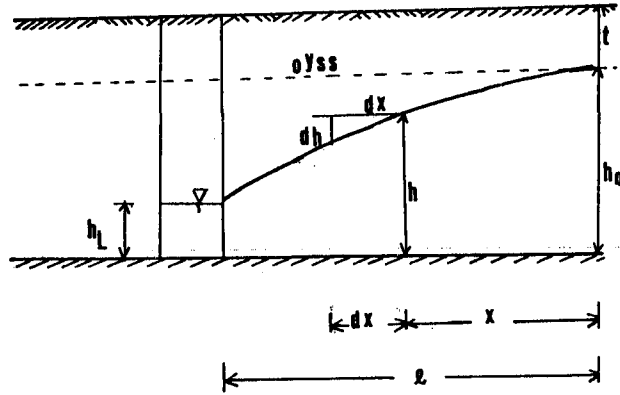
Drenaj sistemi kurulmadan önce, zeminde mevcut olan yeraltı su seviyesi, drenaj borularının yerleştirilmesinden sonra belirli bir miktar alçalır. Meydana gelen yeni nap yüzeyi permeabiliteleri farklı zeminlerin özelliklerine bağlıdır.

Permeabilitesi büyük olan zemin bölgesi, suyu çabuk filitre ettiğinden alçak bir nap yüzeyi meydana gelir.

Permeabilitesi küçük olan zeminlerde ise akımda bir yavaşlama meydana geldiğinden nap yüzeyi, zemin yüzeyine daha yakın olur.

5.2. Yeraltı Su Yüzeyi Denklemi

Dren aralıkları ilk yaklaşımda Dupuit kanunu ve süreklilik denklemine göre yapılmıştır [15].



Şekil -5.2. Dupuit formülünün prensibi.

Dupuit eşitliğine göre;

$$Q = -k \cdot h \frac{dh}{dx} \dots \dots \dots (5.1)$$

(5.1) denklemi x boyunca h_0 'dan h a kadar integralini alıp h cinsinden ifade edilirse;

$$h^2 = h_0^2 - \frac{2Q}{k} \cdot x \dots \dots \dots (5.2)$$

Su yüzü denklemi debi ve permeabilite (k) 'ya bağlı olarak bulunur.

(5.2) ifadesinin sınır şartları gözönüne alınır;

$$x = l \quad \text{için} \quad h = h_L \quad \text{olur.}$$

(5.2) denkleminde bu ifadelerin yazılması sonucu;

$$h_L^2 = h_0^2 - \frac{2Q}{k} \cdot l \quad \dots \dots \dots (5.3)$$

$$\frac{2Q}{k} = \frac{h_0^2 - h_L^2}{l} \quad \dots \dots \dots (5.4)$$

ifadesi elde edilir.

(5.4) denkleminin sağdaki eşitliği (5.2) ifadesinde yerine yazılır ve denklem düzenlenirse;

$$h^2 = h_0^2 - \frac{h_0^2 - h_L^2}{l} \cdot x \quad \dots \dots \dots (5.5)$$

ifadesi elde edilir.

(5.5) denklemi debi ve permeabiliteye bağlı olarak, nap yüzeyini geçirimsiz tabaka üzerindeki her x mesafesinde geometrik kotunu verir.

Denklemden ;

$$h_0 = \text{Drenler arası orta noktadaki maksimum nap yüksekliği (mt)}$$

$$h_L = \text{Suyun dren borusundaki yüksekliği (mt)}$$

$$l = \frac{L}{2} \quad \text{dren aralıkları yarı mesafesi (mt)}$$

$$h = \text{Her } x \text{ mesafesinde nap yüksekliği (mt)}$$

Dren borusuna serbest yüzlü bir akım şeklinde, sızan yeraltı suyu için şu kabuller yapılmıştır.

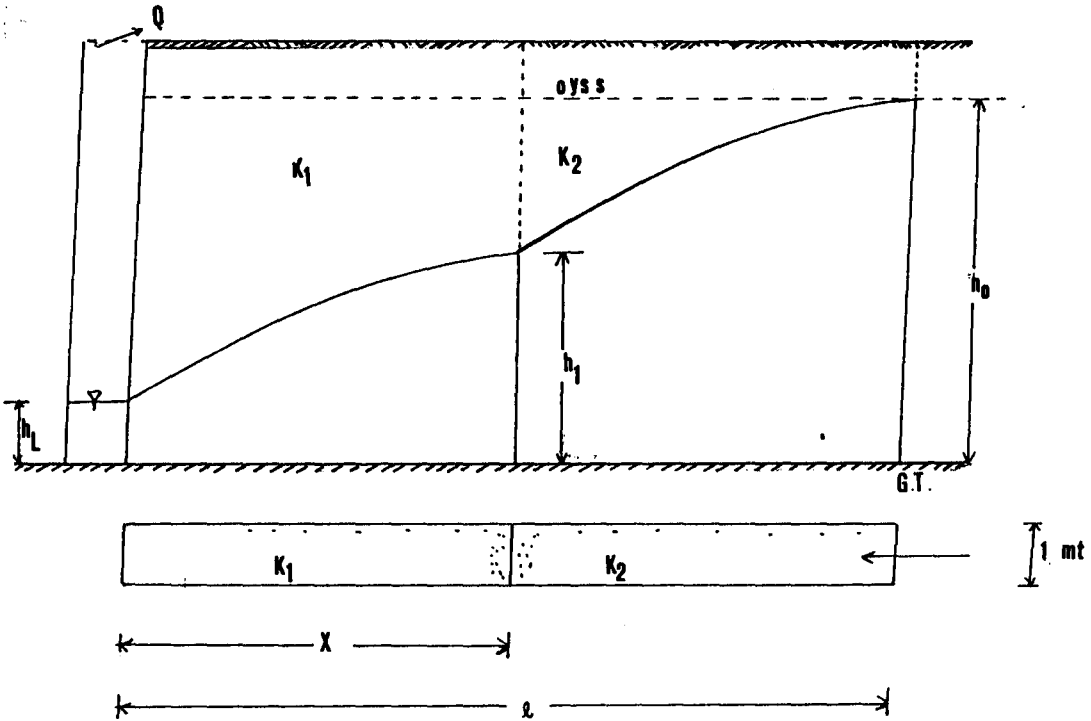
- l mesafesinde zemin homojen ve izotrop

- Akım bütün bölgede Darcy kanununa uyar
- Akım iki boyutludur.
- Akım permenantır
- Su sıkışmaz kabul edilmektedir.
- Akım düşey düzlemde meydana gelmektedir
- geçirimsiz tabaka yataydır

5.3. Geçirimsizlik Katsayıları Farklı Zeminlerde Nap Yüzeyi

Homojen topraklarda, yeraltı su yüzeyinin genel ifadesi Dupuit eşitliğinden [18] ;

$$Q \cdot x = \frac{k}{2} (h_1^2 - h_L^2) \dots \dots \dots (5.6)$$



Şekil - 5.3. İki tabakalı zemin durumunda yeraltı su yüzeyi

Permeabiliteleri k_1 ve k_2 olan iki tabaka olduğu kabul edilirse; hendek veya dren borusunun bu tabakalardan herhangi birine yerleştirilmesi sözkonusudur. Dren borusu, geçirim katsayısı k_1 ve etki alanı x olan bir zemin içinde yerleştirilmiş, geçirim katsayısı k_2 ve dren ekseninden itibaren etki alanı l olan diğer bir zeminle çevrilmiş olduğu dikkate alınır, farklı geçirimliliğe sahip bu zeminlerde yeraltı su yüzeyi (nap yüksekliği) farklı olacaktır.

Eğer k_1 bölgesinin geçirim katsayısı k_2 den büyük ise; yeraltı suyu k_2 bölgesinde zemin yüzeyine yaklaşacaktır. k_1 bölgesinin geçirimlilik katsayısı k_2 'den küçük ise; k_1 bölgesi çok sıkıştırılmış veya az geçirimliliğe sahip demektir. Bu durumu Dupuit teorisine göre inceleyerek, genel ifade denklemi geçirim katsayıları farklı olan iki zemin tabakası için ayrı ayrı yazılırsa;

$$Q \cdot (l-x) = \frac{k_2}{2} (h_0^2 - h_1^2) \dots\dots\dots (5.7)$$

$$Q \cdot (x-0) = \frac{k_1}{2} (h_1^2 - h_L^2) \dots\dots\dots (5.8)$$

(5.7) ve (5.8) denklemleri düzenlenip yazılırsa;

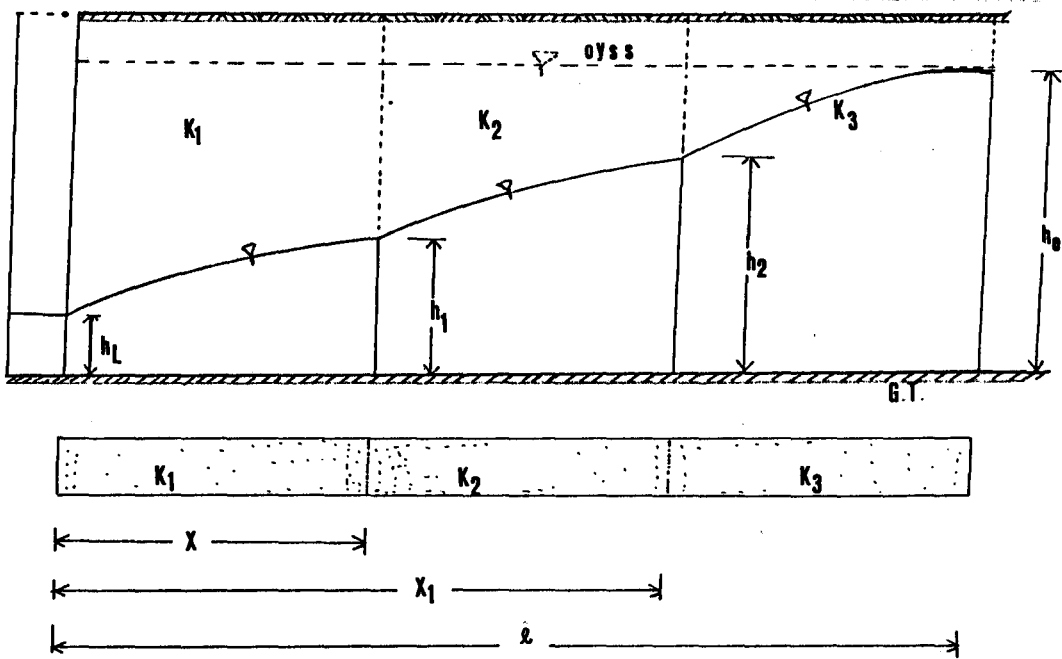
$$h_0^2 - h_1^2 = \frac{2Q}{k_2} (l-x) \dots\dots\dots (5.9)$$

$$h_1^2 - h_L^2 = \frac{2Q}{k_1} (x-0) \dots\dots\dots (5.10)$$

(5.9) ve (5.10) denklemlerinde k_1 , k_2 , l , x , h_0 ve h_L biliniyorsa h_1 değeri hesaplanabilir. Eğer h_1 yüksekliği ile k_1 , k_2 , l , x , h_0 ve h_2 belli ise; debi (5.11) denkleminde hesaplanabilir.

$$Q = \frac{h_0^2 - h_L^2}{2 \left[\frac{1}{k_2} (l-x) + \frac{1}{k_1} (x-0) \right]} \dots \dots \dots (5.11)$$

(5.9) ve (5.10) denklemlerindeki h_1 değeri, iki denklemin çözüm sonucu aynı değeri vermesi gerekir. Aksi halde dren aralıklarının hesabında bulunan $l = \frac{L}{2}$ değeri yeniden seçilmelidir. Çözüm doğru ise bulunan l mesafesine bağlı olarak k_1 ve k_2 bölgelerinin etki uzunluğu ne kadar ise hesaplarda, (5.9) veya (5.10) denklemleriyle iki tabakanın tam sınırındaki h_1 elde edilir. Aynı teoriden hareketle iki dren arası orta nokta simetri eksenini olmak üzere, dren borusu ile simetri eksenini arasında farklı geçirimsizlikte kaç tabaka mevcut ise, her sınırdaki h mesafesi hesaplanır. Bu denklemler permeabiliteleri farklı üç tabaka için yazılırsa;



Şekil -5.4. Üç tabakalı zemin durumunda yeraltı su yüzeyi

(5.6) genel ifadesinden hareketle;

$$h_0^2 - h_2^2 = \frac{2Q}{k_3} (l - x_1) \dots\dots\dots (5.12)$$

$$h_2^2 - h_1^2 = \frac{2Q}{k_2} (x_1 - x) \dots\dots\dots (5.13)$$

$$h_1^2 - h^2 = \frac{2Q}{k_1} (x - 0) \dots\dots\dots (5.14)$$

(5.12), (5.13) ve (5.14) ifadelerine bağılı olarak sınırlardaki h_1 ve h_2 ifadeleri biliniyorsa debi miktarı hesaplanabilir.

5.4. İki Boyutlu Akım Denklemi

Zemindeki yeraltı suyu akımı, üç boyutlu bir akımdır. Fakat yeraltı suyu akımını analitik olarak çözmek çok zordur. Bu nedenle yeraltı su akımını çözmek için akımın iki boyutlu olduğunu kabul etmek gerekir. Yeraltı su akımı, birbirine paralel düzlemlerde meydana gelir. geçirimli zeminlerdeki akım, bir düzlem içinde iki boyutlu olarak incelenirken; akım düzlemi yatay veya düşey olabilir.

Geçirimli zemin homojen ve izotrop kabul edilirse; xy düşey düzleminde sıvı hareketlerinin temel denklemleri [16]

$$q_x = \frac{\partial \phi}{\partial x} , \quad q_y = \frac{\partial \phi}{\partial y} \dots\dots\dots (5.15)$$

Burada; ϕ potansiyel fonksiyon olmak üzere;

$$\phi = -k (y + P/\gamma) \quad (y \text{ eksenini pozitif yön})$$

$$\phi = -k (P/\gamma - y) \quad (y \text{ eksenini negatif yön}) \dots\dots\dots (5.16)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (5.17)$$

(5.15) bağıntısı (5.17) ifadesinde yerine yazılırsa;

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \dots\dots\dots (5.18)$$

eşitliği elde edilir.

Hidro dinamiğin akım fonksiyonu ve akım çizgisi kavramları geçirimli zeminlerde incelenirse;

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} = \frac{\partial(-q_y)}{\partial y} \dots\dots\dots (5.19)$$

şeklinde yazılabilir.

(5.19) bağıntısı, $(-q_y dx + q_x dy)$ ifadesinin bir $\psi(x,y)$ fonksiyonunun tam diferansiyelidir.

Buna göre;

$$d\psi = \frac{\partial \psi}{\partial x} dx + \frac{\partial \psi}{\partial y} dy = -q_y dx + q_x dy \dots\dots\dots (5.20)$$

yazılabilir. (5.20) denkleminde;

$$q_x = \frac{\partial \psi}{\partial y} , \quad q_y = \frac{-\partial \psi}{\partial x} \dots\dots\dots (5.21)$$

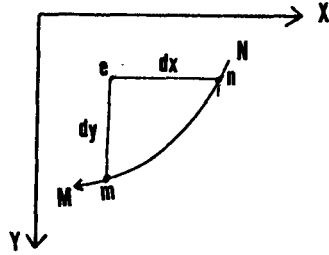
ifadeleri yazılabilir.

Akım çizgisinin diferansiyel denklemi;

$$d\psi = -q_y dx + q_x dy = 0 \dots\dots\dots (5.22)$$

(5.22) bağıntısı bir diferansiyel denklemdir; ve çözümü $\psi(x,y)=\text{sabit}$, olur. Zeminde meydana gelen akımın, akım çizgisi ile debi arasındaki ilişki ise şu şekilde açıklanabilir [16].

NM düşey düzlemde bir eğri olsun ;



Şekil -5.5. Düzlemde akım durumu

NM eğrisinin, çok küçük bir parçası olan nm gözönüne alınırsa; nm'den geçen debi dQ olur.

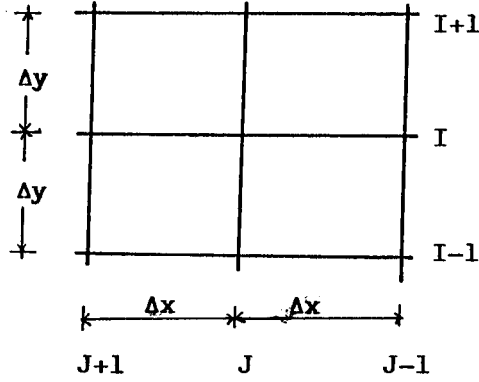
Süreklilik denklemlerine göre : nm'den geçen debi em'den geçen ve $q_x dy$ 'ye eşit olan en'den geçen ve $q_y(-dx)$ 'e eşit olan debilerin toplamına eşittir.

$$dQ = -q_y dx + q_x dy = d\psi \dots\dots\dots (5.23)$$

bağıntısı elde edilir. NM'den geçen debi ise;

$$Q = \int_N^M dQ = \int_N^M d\psi = \psi_N - \psi_M \dots\dots\dots (5.24)$$

kısmi diferansiyel denklemler cebrik denkleme dönüşür. Sürekli olan çözüm alanında bir çözüm ağı yerleştirilerek bu ağın her hoktasında cebrik denklemin geçerli olduğu kabul edilir [13].



Şekil -5.6. Sonlu fark ağı

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \dots\dots\dots (5.27)$$

eşdeğerleri yerine yazılırsa;

$$\frac{\psi_{i+1,J} + \psi_{i-1,J} - 2\psi_{i,J}}{\Delta x^2} + \frac{\psi_{i,J+1} + \psi_{i,J-1} - 2\psi_{i,J}}{\Delta y^2} \dots\dots (5.28)$$

$$\beta = \frac{\Delta x}{\Delta y} \quad \text{kabul edilirse;}$$

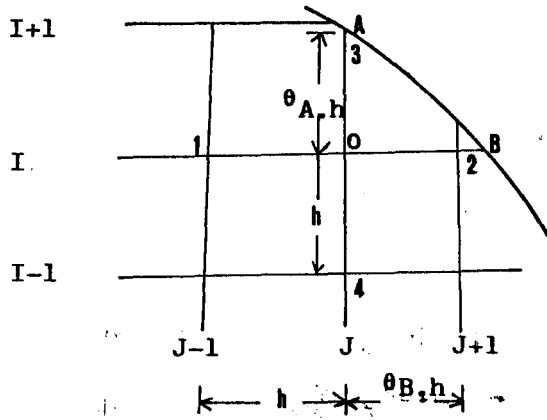
$$\psi_{i+1,J} + \psi_{i-1,J} + \beta^2(\psi_{i,J+1} + \psi_{i,J-1}) - 2(1+\beta^2)\psi_{i,J} = 0 \dots\dots (5.29)$$

$$\beta = 1 \quad \text{için ;}$$

Burada $\Delta x = \Delta y$ olması durumunda Laplace denkleminin merkezi sonlu fark ifadesi elde edilir.

$$\psi_{i,J} = \frac{\psi_{i+1,J} + \psi_{i-1,J} + \psi_{i,J+1} + \psi_{i,J-1}}{4} \dots\dots\dots (5.30)$$

Laminer akım denklemleri, potansiyel haldeki ifadelerle göre, eğri sınırlarda daha karışıktır. Alana yerleştirilecek sonlu fark ağı; sınır noktaları ile çakışmayacağından eğri yüzeylere yakın noktalar için yapılacak hesaplar düzgün sınırlı hesap molekülleri ile yapılamaz. Çünkü Laplace diferansiyel denklemi parabolik bir fonksiyondur.



Şekil -5.7. Eğri sınırlarında sonlu fark ağı

Eğri sınırlarındaki akım fonksiyonunu ifade eden denklemde; θ_A ve θ_B eğri sınırlarındaki orana göre dört durumda olabilir.

$$1 - \theta_A = 1.0 \quad \text{ve} \quad \theta_B = 1.0$$

$$2 - \theta_A < 1.0 \quad \text{ve} \quad \theta_B = 1.0$$

$$3 - \theta_A = 1.0 \quad \text{ve} \quad \theta_B < 1.0$$

$$4 - \theta_A < 1.0 \quad \text{ve} \quad \theta_B < 1.0$$

şeklinde ifade edilebilir.

$$(\nabla^2 \psi)_O = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \quad (5.31)$$

$$(\nabla^2 \psi)_O = \frac{1}{h^2} [1 \quad -2 \quad 1] \begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_0 \\ \psi_3 \end{bmatrix} + \frac{1}{h^2} [1 \quad -2 \quad 1] \begin{bmatrix} \psi_3 \\ \psi_0 \\ \psi_4 \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{h^2} \left[\frac{2}{1+\theta_B} - \frac{2}{\theta_B} + \frac{2}{\theta_B(1+\theta_B)} \right] \begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_0 \\ \psi_2 \end{bmatrix} + \frac{1}{h^2} \left[\frac{2}{\theta_A(1+\theta_A)} - \frac{2}{\theta_B} + \frac{2}{1+\theta_B} \right] \begin{bmatrix} \psi_3 \\ \psi_0 \\ \psi_4 \end{bmatrix}$$

$$0 = \frac{1}{h^2} \left[\frac{2}{1+\theta_B} \psi_1 - \frac{2}{\theta_B} \psi_0 + \frac{2}{\theta_B(1+\theta_B)} \psi_2 + \frac{2}{\theta_A(1+\theta_A)} \psi_3 - \frac{2}{\theta_A} \psi_0 + \frac{2}{1+\theta_A} \psi_4 \right]$$

$$0 = \left[\frac{2}{1+\theta_B} \psi_1 + \frac{2}{\theta_B(1+\theta_B)} \psi_2 + \frac{2}{\theta_A(1+\theta_A)} \psi_3 + \frac{2}{1+\theta_A} \psi_4 \right] \frac{1}{h^2} - \left[\frac{2}{\theta_B} \psi_0 + \frac{2}{\theta_B} \psi_0 \right] \frac{1}{h^2}$$

Denklem düzenlenip ψ_0 çekilirse;

$$\psi_0 = \left[\frac{\theta_B \psi_1 + \psi_2}{\theta_B(1+\theta_B)} + \frac{\theta_A + \psi_4 + \psi_3}{\theta_A(1+\theta_A)} \right] / \left[\frac{\theta_A + \theta_B}{\theta_A + \theta_B} \right] \dots \dots \dots (5.32)$$

(5.32) denklemi ile eğri sınırlarında alan denkleminin hesaplanmasını sağlar [11].

$\theta_B = TB(I,J)$: Yatay yönde eğri sınırına olan mesafenin şebeke aralığına oranıdır.

$\theta_A = TA(I,J)$: Düşey yöndeki eğri sınırına olan mesafenin şebeke aralığına oranıdır.

(5.32) denklemi genelleştirilirse;

$$F_0 = F(I,J); F_1 = F(I,J-1); F_2 = F(I,J+1); F_3 = F(I+1,J); F_4 = F(I-1,J)$$

indisli eşitlikleri (5.32)'de yazılırsa;

$$F(I,J) = \left[\frac{TB(I,J) \cdot F(I,J-1) + F(I,J+1)}{TB(I,J) (1+TB(I,J))} + \frac{TA(I,J) \cdot F(I-1,J) + F(I+1,J)}{TA(I,J) (1+TA(I,J))} \right] / \left[\frac{TA(I,J) + TB(I,J)}{TA(I,J) \cdot TB(I,J)} \right] \dots \dots \dots (5.33)$$

İncelenen problemde $F(I,J)$ ile boyutsuz akım fonksiyonu gösterilmiştir. (5.33) denklemi eğri sınırlarındaki akım fonksiyonunun hesap değerini ifade etmektedir.

5.6. Başlıca Sınır Şartları

- Maksimum nap yüksekliği boyunca yatay hızlar küçük olduğundan dolayı, düşey yönde akım fonksiyonu lineer bir dağılım olabilir. Burada $F(I,1) = 2F(I,2) - F(I,3)$ sınır şartı kullanılabilir.
- Katı cidarında (geçirimsiz tabaka), cidara dik yöndeki hızlar sıfırdır. Bu cidarın akım alanının alt sınırı olduğu gözönüne alınırsa; fonksiyon değeri sıfır çıkar.
 $F(1,J) = 0.00$ 'dir.
- Dren borusuna oluşan akımda, seçilen düşey aralık boru çapından küçük ise; $F(I,J_{max}) = 2F(I,J_{max-1}) - F(I,J_{max-2})$ sınır şartı kullanılabilir [1].

5.7. Akım Değerlerinin iterasyon Metoduyla Hesaplanması

İki boyutlu akım denklemlerinin eğri sınırlarda çözümünün yapılabilmesi için, türevler sonlu fark yaklaşımları ile değiştirilerek; diferansiyel denklemler cebirsel denklemler haline getirilir. Hesap ağının her noktasında, dönüştürülmüş cebirsel denklem geçerlidir. Akım alanının her noktasında, fonksiyonun değeri, etrafındaki noktalara göre belirlenir. Hesap ağının nokta sayısı kadar bilinmeyen olmasına rağmen, bilinmeyen kadar da denklem mevcuttur.

Bu çalışmada problemin çözümünde merkezi sonlu fark yaklaşımı kullanılmıştır. Çünkü merkezi sonlu fark ile yapılan çözümlerde, hatalar küçük mertebelerde kalmaktadır.

Problemin çözümü için, başlangıçta akım alanının iç noktalarında bir tahmin değeri esas alınır. Bu yapılan tahmin değerlerinden hareketle; iterasyon yaparak gerçek değerlere yaklaşılr.

Akım alanın her noktasında (I,J) çözümler yapılır; ve çözüme yakın fonksiyon değeri hesaplanır. Her noktada hesaplanan fonksiyonun son değeri ile bir önceki adımda hesaplanan fonksiyon değeri belli bir limite gelinceye kadar iterasyon işlemine devam edilir. Son iki adım arasındaki fark çok az ise fonksiyon yakınsaktır. Bu yakınsaklık ise denklemden bilinmeyen sayısı ile çözüme başlarken kabul edilen iç noktaların tahmin değerlerine bağlıdır.

İterasyon sayısı, problemde seçilen ağın sıklığına ve çözümde iki ayrı iterasyon adımı arasındaki hassaslık derecesine bağlı olarak büyür veya küçülür.

Hazırlanan bilgisayar programıyla, eğri sınırları da dahil olmak üzere akım fonksiyon değerlerinin hesaplanmasını sağlar. Yatayda x eksenini ve dikeyde y eksenini kabul edilmiş; bu kabule göre akım alanı Δx ve Δy aralıklarına bölünmüştür. (5.5) denklemini esas alınarak (ℓ) yarı dren aralığı, (h_0) maksimum nap yüksekliği, (h_L) dren boru çapı olmak üzere her Δx mesafesinde nap yüksekliği (h) hesaplanmıştır. Bulunan bu değerlere göre her (I,J) noktasında θ_A ve θ_B değerleri bulunmuştur.

Bu değerler yardımıyla, sınır şartları verilerek istenen hassaslık derecesine göre, akım alanının her noktasında fonksiyon değeri hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar boyutsuz akım değerlerini ifade etmektedir. Akım alanı küçük aralıklara bölünmüş, bu nedenle iterasyon sayısı artmıştır. Elde edilen sonuçlarla akım çizgileri çizilmiştir.

Homojen olmayan topraklarda ise, kendi içinde homojen olan bölgeler için ayrı ayrı çözüm yapılmıştır. Permeabiliteleri farklı bölgelerde meydana gelen nap yüzeyleri ve akım çizgileri birleştirilerek akım çizgilerinin şekilleri elde edilmiştir.

VI. B Ö L Ü M

6.1. Genel

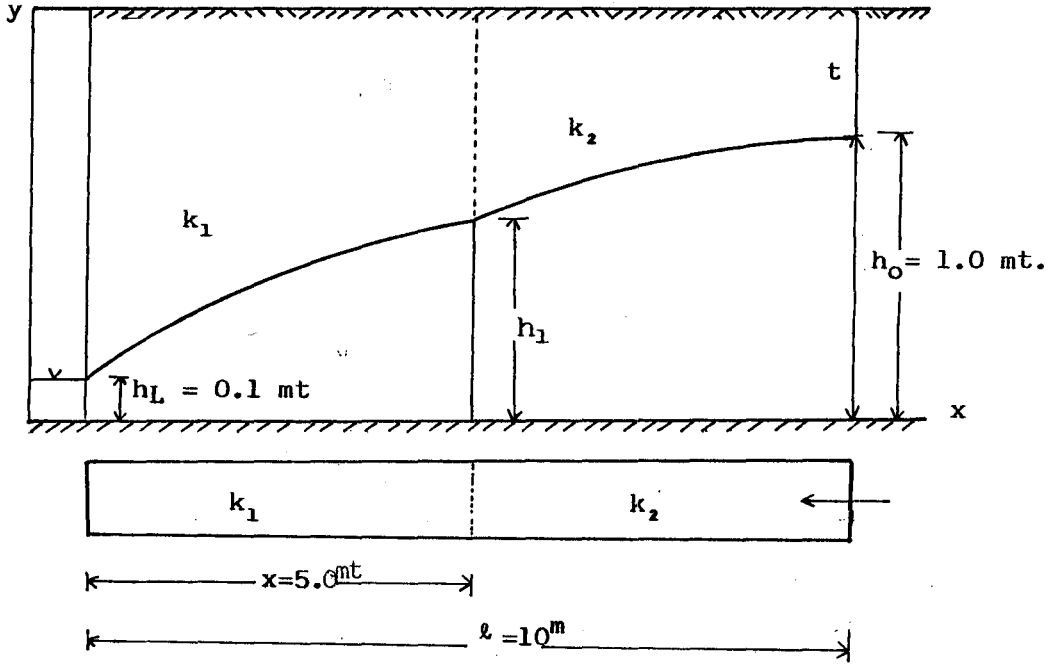
Dren aralıklarının optimum hesabı için zeminin düşey yönde tabakalaşmış olduğu kabul edilmiştir. Hesaplanan örnek çözümlerde dren aralığı, iki veya üç tabakalı zeminin durumuna göre belirlenmiştir. Bütün örnek çözümlerde x yatay eksen ve y düşey eksen olmak üzere, akım alanı Δx ve Δy aralıklarına bölünmüştür. Yatay ekseninde $\Delta x = 0.5$ mt. ve düşey yönde $\Delta y = 0.1$ mt. ve sabittir. Maksimum nap yüksekliği geçirimsiz tabakadan veya geçirimsiz tabakanın eşdeğeri olan d' 'den itibaren $h_0 = 1.0$ mt. alınmıştır. Dren çapı olarak, $h_L = 0.1$ mt sabit kabul edilmiştir.

Yeraltı suyunun düşey yönde tabakalaşmış zeminde meydana getirdiği akım, sonlu fark denklemleri (5.33) ile hesaplanmış. Permeabiliteleri farklı olan zeminde, aynı permeabiliteye sahip zemin bölgesi bağımsız olarak çözülmüş ve elde edilen çözümler birleştirilerek yeraltı su yüzeyi (nap yüzeyi) elde edilmiştir. Geçirimliliği farklı olan zemin bölgeleri yerine bütün zemin kitlesinin ortalama permeabilitesine göre (k_{ort}), çözümlü yeraltı suyunun homojen nap yüzeyi belirlenmiştir.

Homojen ve homojen olmayan zemin durumlarına göre yeraltı suyu nap yüzeyleri çizilip aralarındaki Δh farkları hesaplanmıştır. $k/k_{ort} > 1.0$ ve $k/k_{ort} < 1.0$ değerlerinin her x değişiminde Δh farkları da gösterilmiştir.

6.2. Örnek Çözümler

6.2.1. Düşey yönde iki tabakalı zemin durumu



Şekil -6.1. Permeabiliteleri farklı zeminde dren aralığının belirlenmesi

Verilenler

$$q = 0.034 \text{ m}^3/\text{gün}/\text{m}$$

$$h_0 = 1.0 \text{ mt.}$$

$$h_L = 0.1 \text{ mt}$$

$$k_1 = 0.8 \text{ m/gün}$$

$$k_2 = 0.6 \text{ m/gün}$$

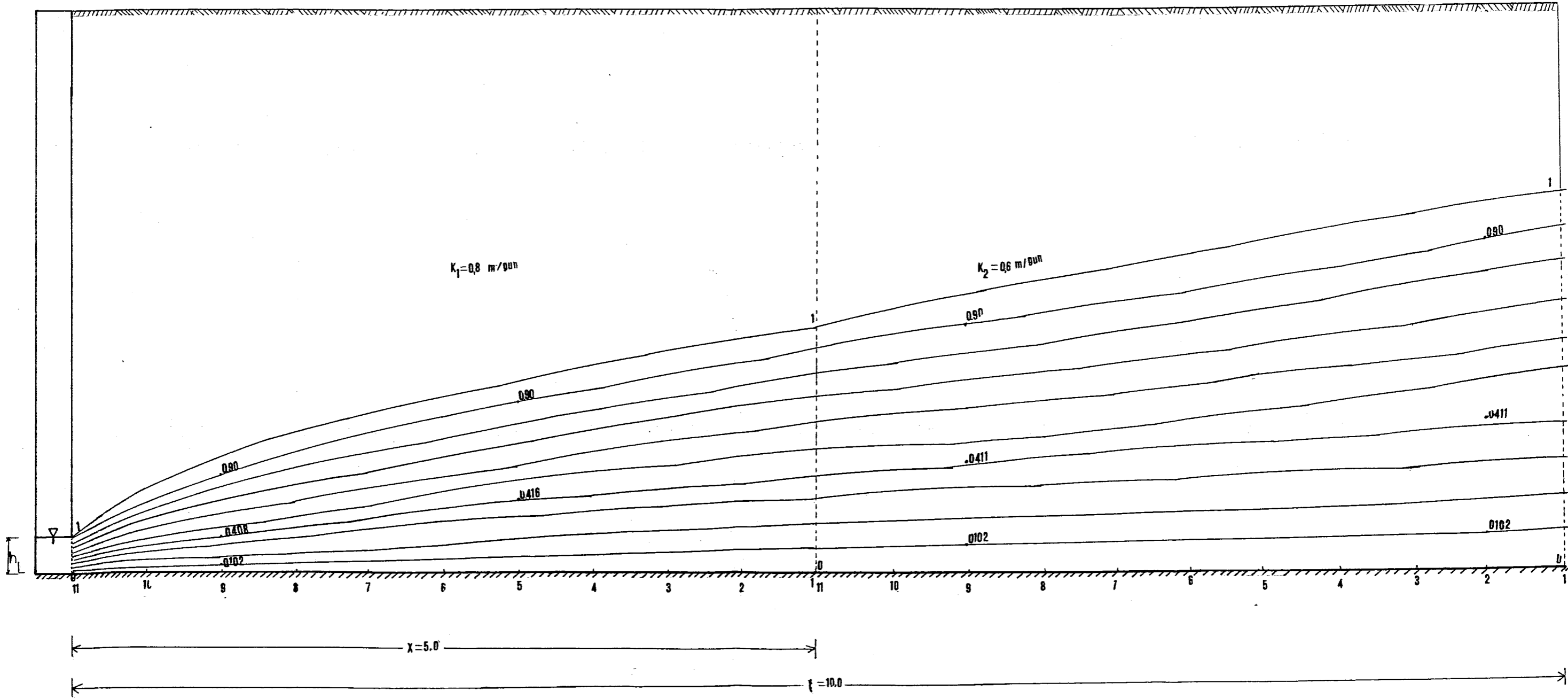
$$D = 1.71 \text{ mt}$$

$$x = 5.0 \text{ mt}$$

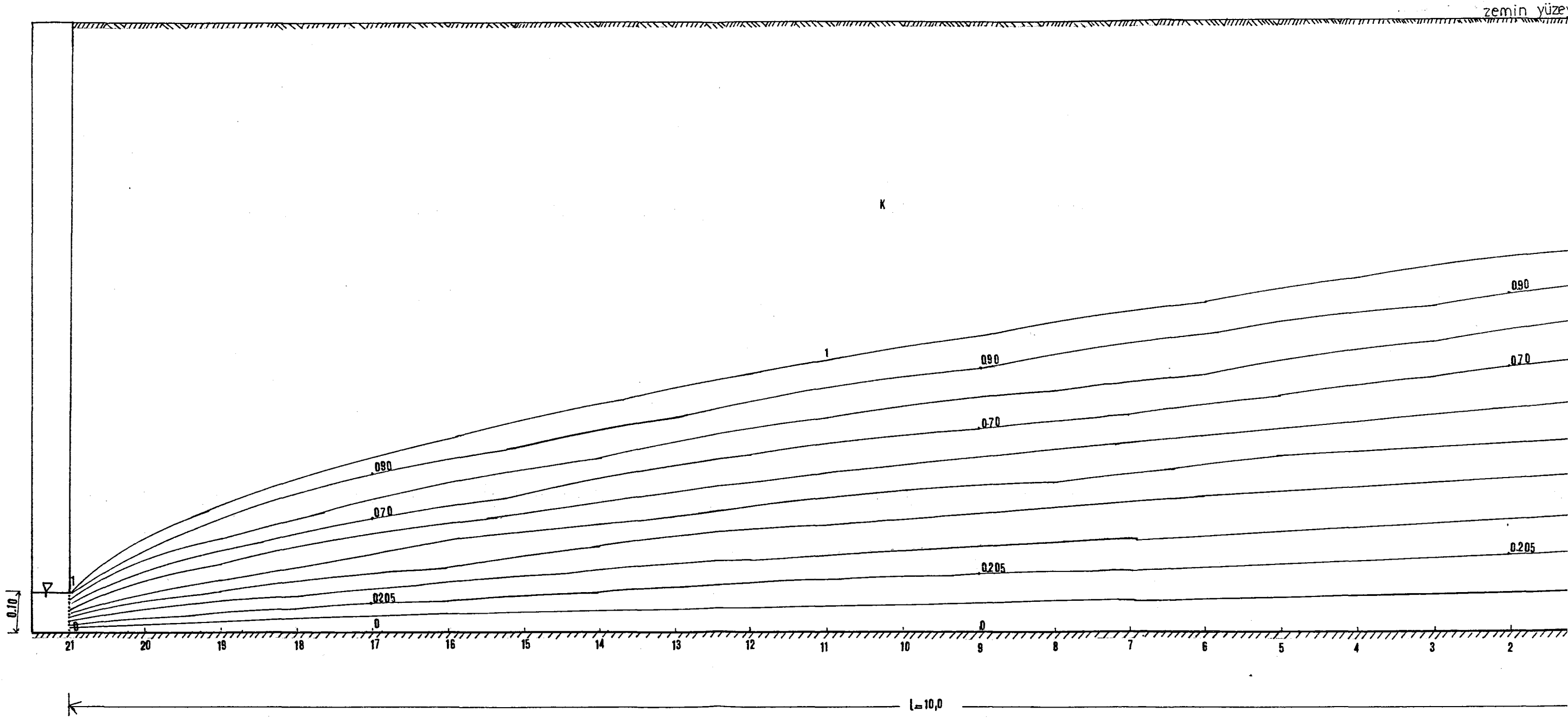
İstenen

$$L = ?$$

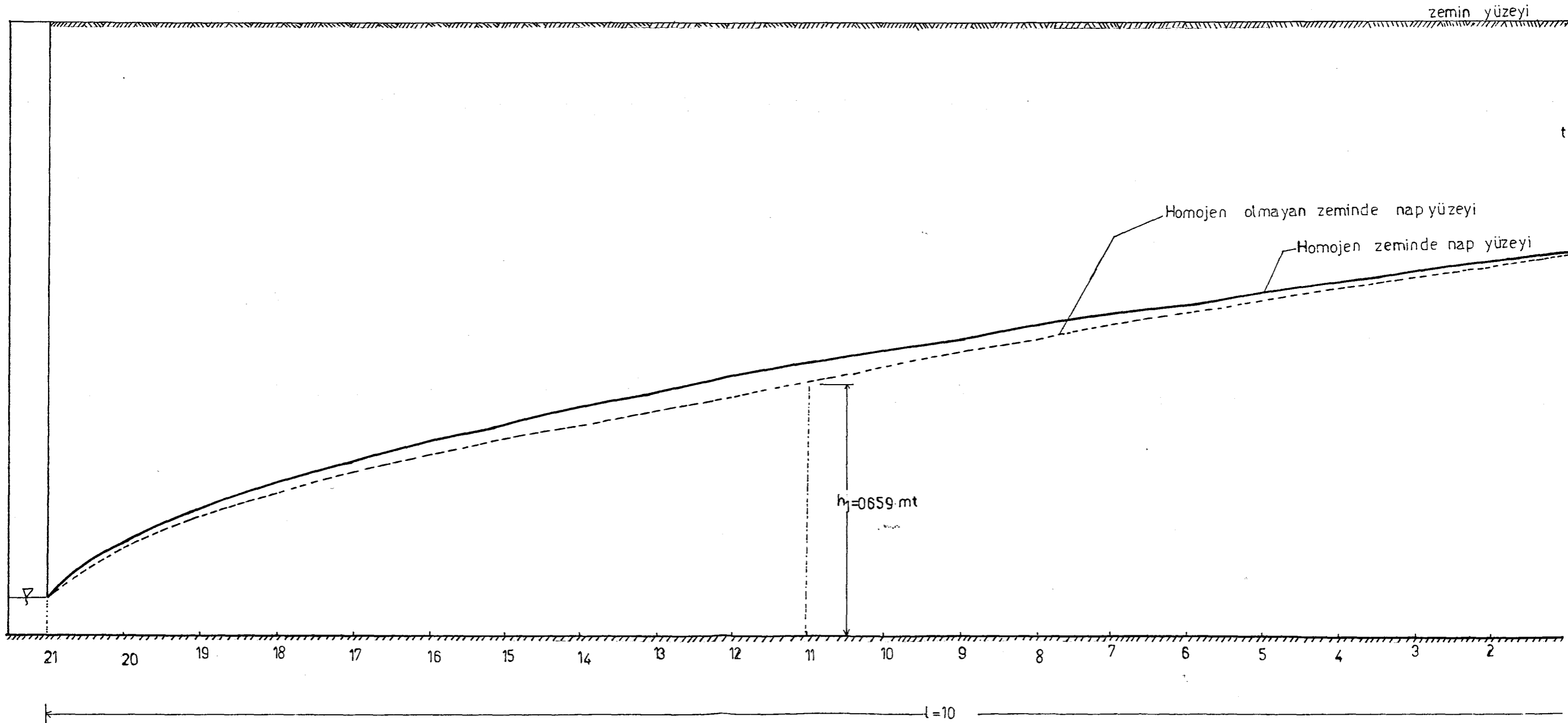
$$h_1 = ?$$



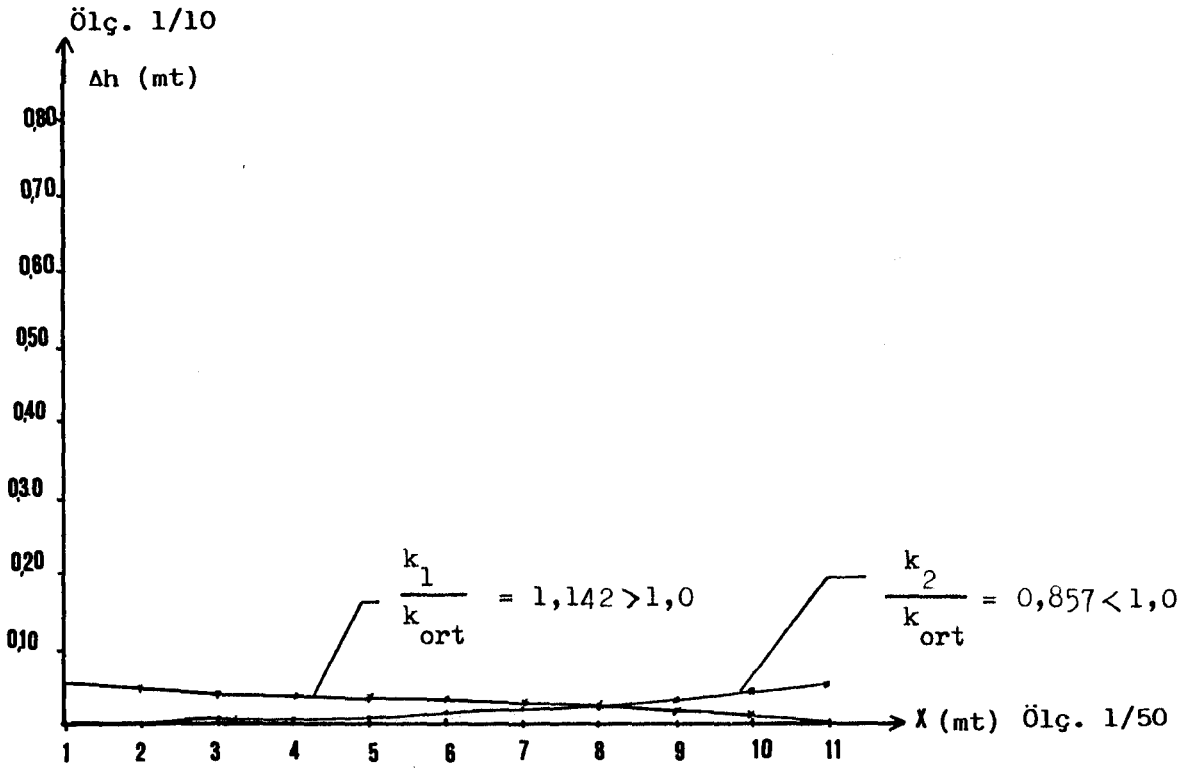
Şekil 6.1.a Permeabilitesi farklı zeminde yeraltı su yüzeyi ve akım çizgileri



Şekil 6.1.b Homojen zeminde yeraltı suyu akımı ve akım çizgileri



Şekil.6.1.c Homojen ve homojen olmayan zeminlerde oluşan nap yüzeyleri

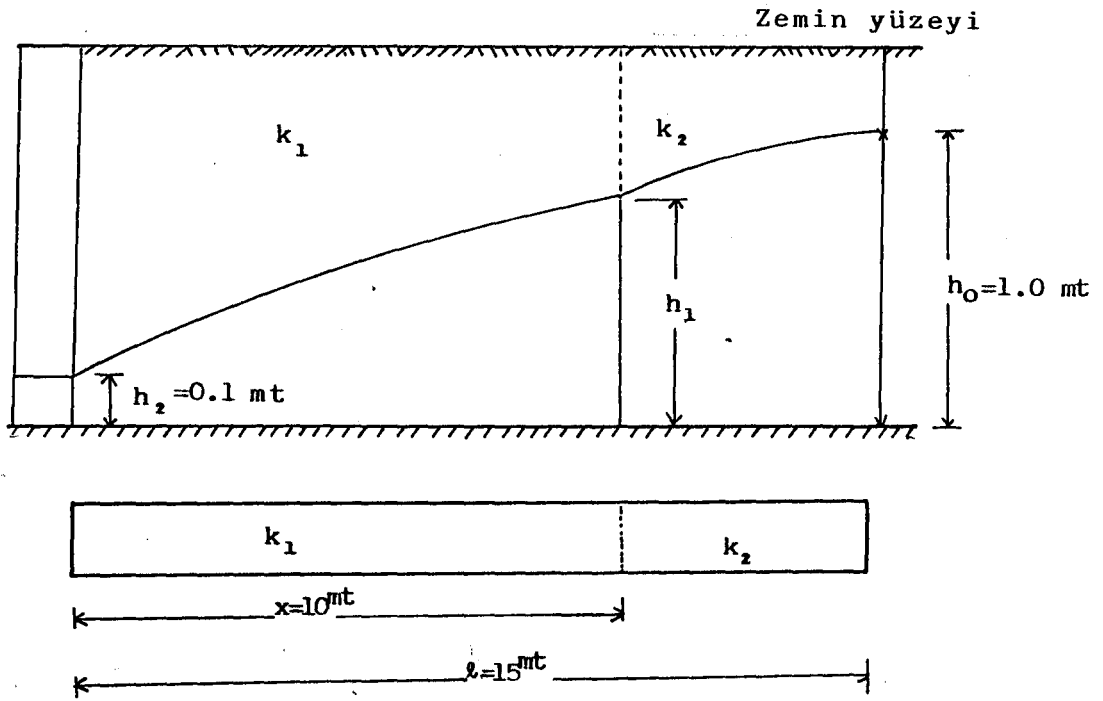


Şekil -6 ld : Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları.

daha düşük olduğu Şekil -6.1 a'da görülebilir. Homojen ve homojen olmayan zeminde, nap yüzeyleri arasındaki Δh farkı da belirlenmiştir.

Şekil -6.1. d homojen zemin ve homojen olmayan zeminde meydana gelen nap yüzeyleri aralarındaki Δh farkları drenler arası yarı aralığına göre hesaplanmıştır. Maksimum nap seviyesi ile dren borusu üzerinde Δh farklarınının sıfır olduğu Şekil -6.1 c' den görülebilir.

6.2.2. Düşey yönde iki tabakalı zemin durumu



Şekil -6.2. Permeabiliteleri farklı zeminlerde dren aralığının belirlenmesi

Verilenler

$$q = 0.0137 \text{ m}^3/\text{gün}/\text{m}$$

$$h_0 = 1.0 \text{ mt}$$

$$h_L = 0.1 \text{ mt}$$

$$k_1 = 0.9 \text{ m/gün}$$

$$k_2 = 0.2 \text{ m/gün}$$

$$D = 2.10 \text{ mt}$$

$$x = 10 \text{ mt}$$

İstenen

$$L = ?$$

$$h = ?$$

Çözüm

$$k_{\text{ort}} = \frac{k_1 + k_2}{2} = 0.55 \text{ m/gün}$$

Denklem (4.11), (4.12) ve (4.13)'ten

$d = 2.30 \text{ mt}$ hesaplanır.

(4.8) Hooghoudt ifadesinden

$L = 30.0 \text{ mt}$ bulunur. $l = L/2 = 15 \text{ mt}$

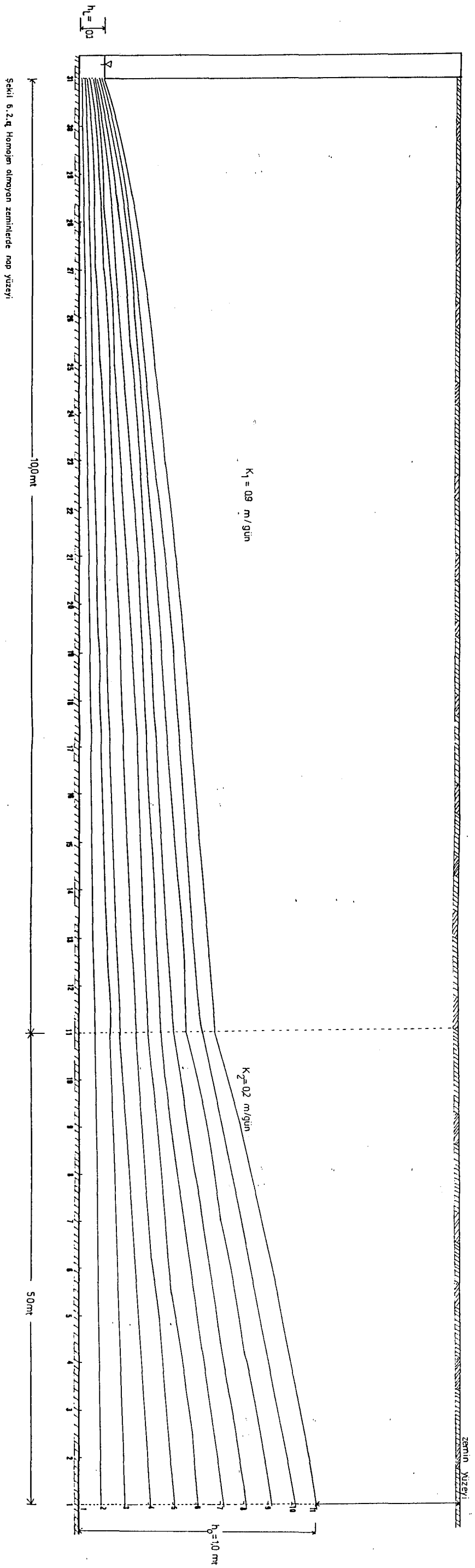
(5.9) veya (5.10) denkleminde

$h_1 = 0.561 \text{ mt.}$ elde edilir.

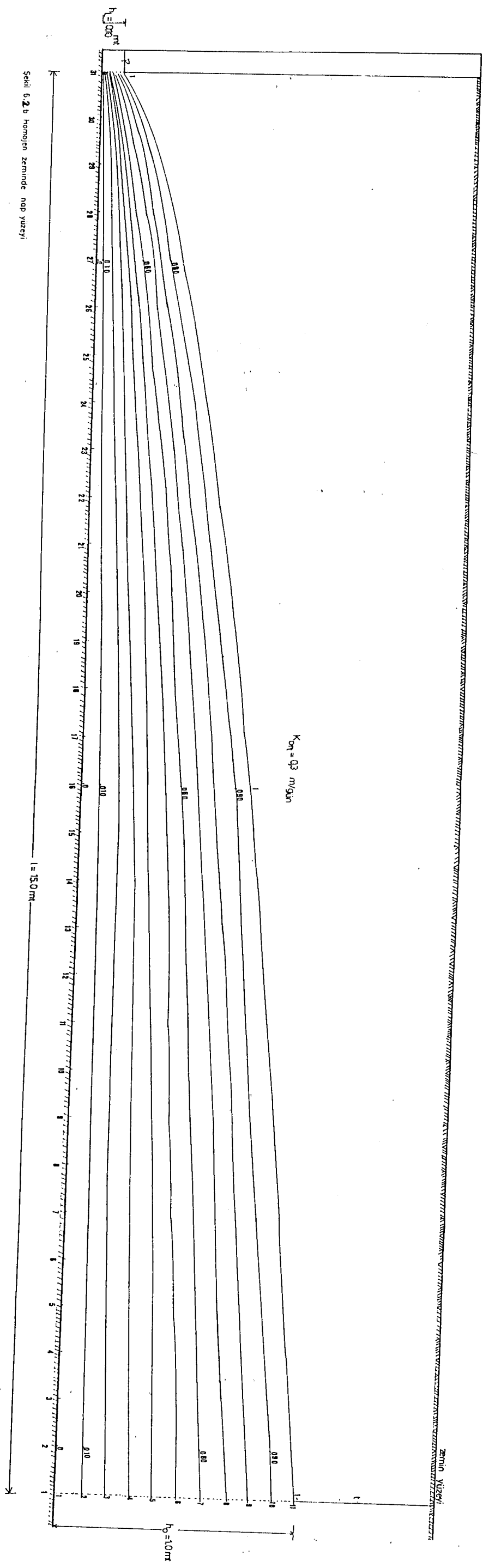
Şekil -6.2 Zemin özellikleri ve yapılan kabullere göre dren aralığı belirlenmiştir. İki dren borusunun orta noktası simetri ekseni kabul edilmiş, permeabiliteleri farklı zeminde yeraltı su yüzeyi hesaplanarak Şekil -6.2 a' da gösterilmiştir. k_1 bölgesinin permeabilite katsayısı büyük olduğundan yeraltı su yüzeyi (nap yüzeyi), k_2 bölgesinin nap yüzeyinden daha düşüktür. Çünkü k_2 bölgesinin zemin yapısı çok ince danelerden meydana gelmiş veya sıkışık bir yapıya sahiptir. k_2 bölgesinde yeraltı su akımı zeminin permeabilitesi nedeniyle yavaşlamaktadır. Suyu filtre imkanı az olduğundan dolayı yeraltı su seviyesi zemin yüzeyine yaklaşmaktadır.

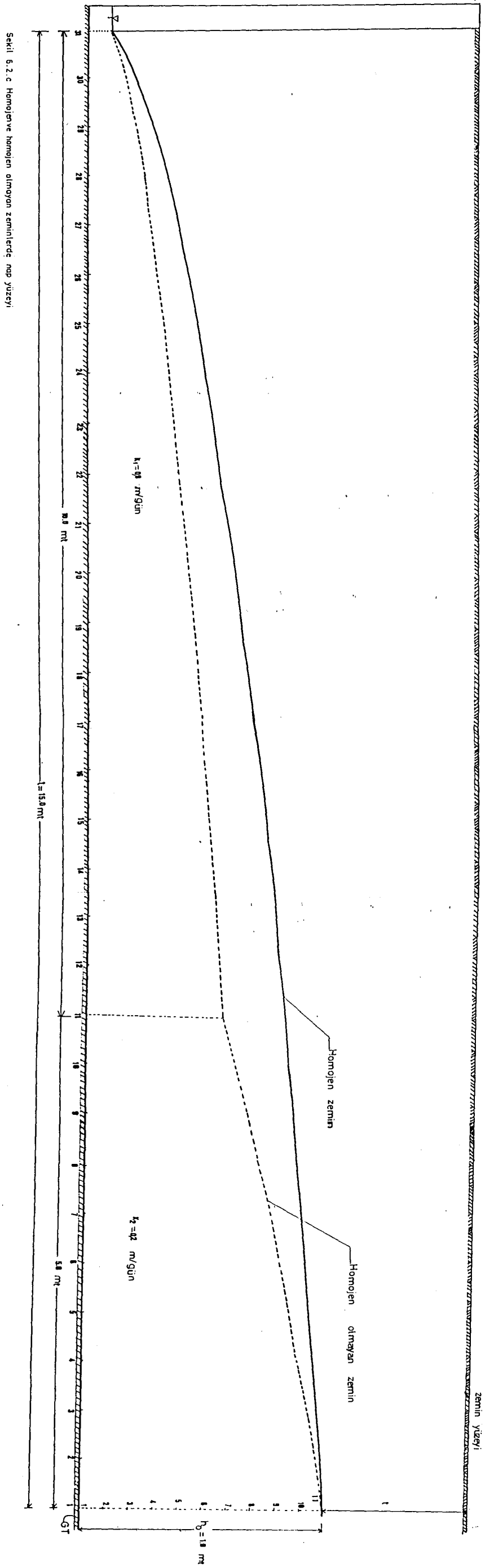
Farklı geçirimsizliği kapsayan zemin kitlesinin aynı permeabiliteye sahip olduğu düşünülerek, nap yüzeyi k_{ort} göre, çözülmüştür. Şekil -6.2 b de görüldüğü gibi, zemin k_{ort} göre homojendir.

Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri optimum dren aralığına göre Şekil -6.2 c'de çizilmiştir. Nap yüzeyleri aralarındaki



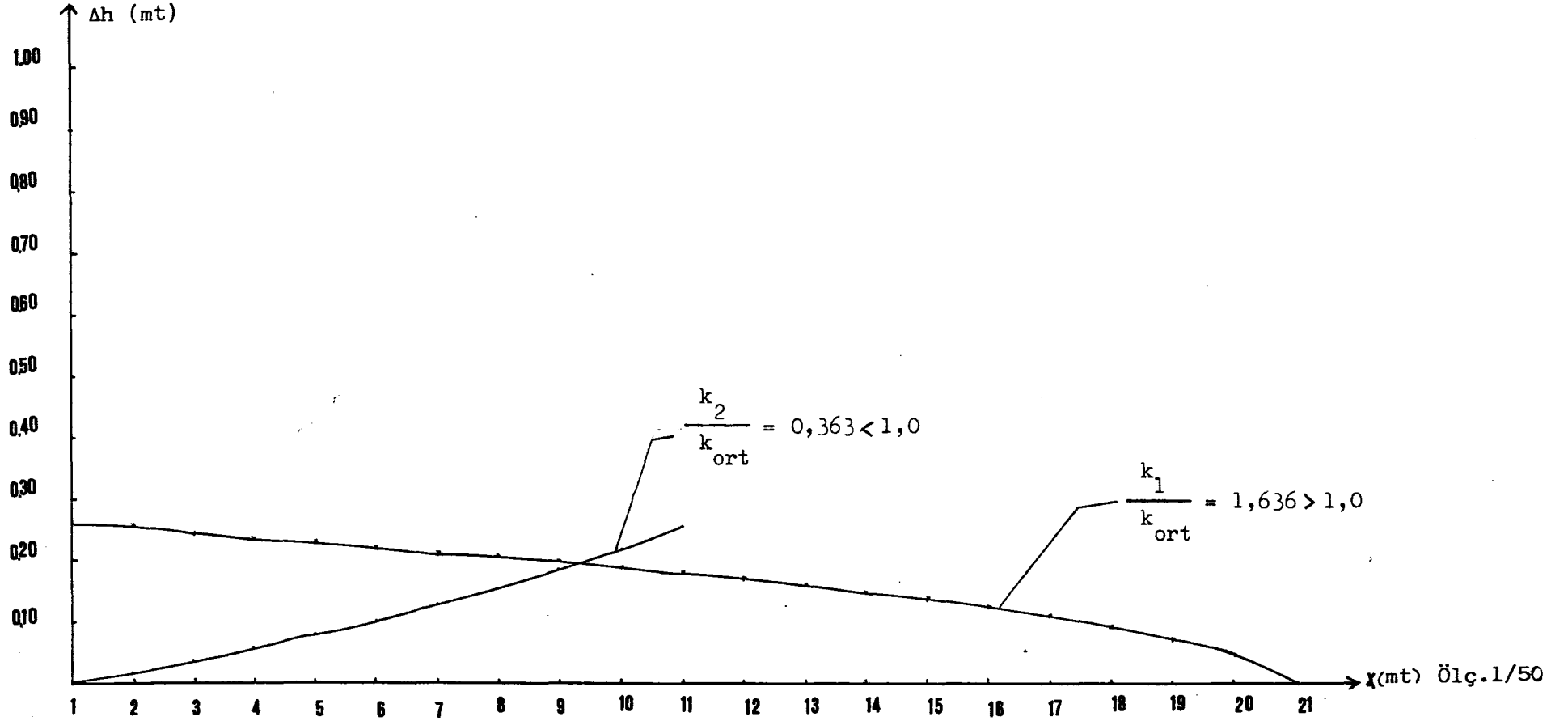
Sekil 6.2.d Homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyi





Sekil 6.2.c Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyi

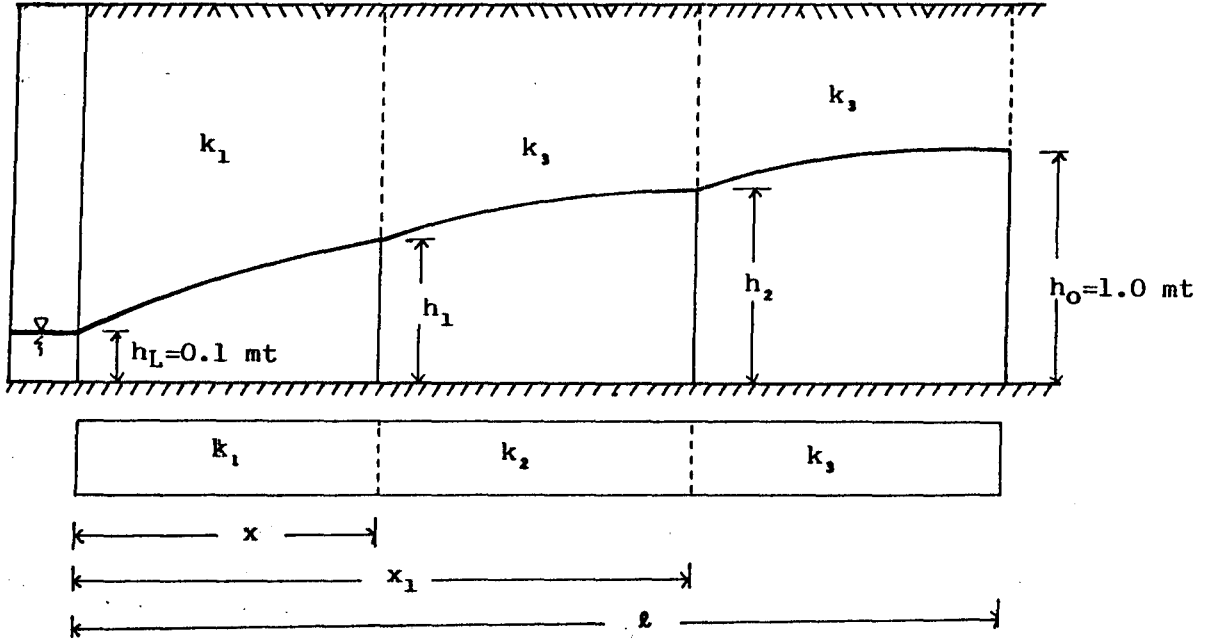
Ölç. 1/10



Şekil -6. 2d : Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları

Δh farkları çıkarılarak Şekil- 6.2 d' de gösterilmiştir.

6.2.3. Düşey yönde üç tabakalı zemin durumu



Şekil -6.3. Permeabiliteleri farklı üç tabakalı zeminde dren aralığının (L) belirlenmesi

Verilenler

$$q = 0.00645 \text{ m/gün}$$

$$k_1 = 0.5 \text{ m/gün}$$

$$k_2 = 0.3 \text{ m/gün}$$

$$k_3 = 0.1 \text{ m/gün}$$

$$h_L = r = 0.1 \text{ mt}$$

$$D = 2.80 \text{ mt}$$

$$x = 5 \text{ mt}$$

$$x_1 = 10 \text{ mt}$$

İstenen

$$L = ?$$

$$h_1 = ?$$

$$h_2 = ?$$

Çözüm

$L = 30$ mt seçildi

$$k_{\text{ort}} = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3} = 0.3 \text{ m/gün}$$

Denklem (4.11), (4.12) ve (4.13)'ten

$$d = 1.92 \text{ mt}$$

(4.8) Hooghoudt ifadesinden,

$L = 30$ mt hesaplanmıştır.

$l = L/2 = 15$ mt olarak belirlenmiştir.

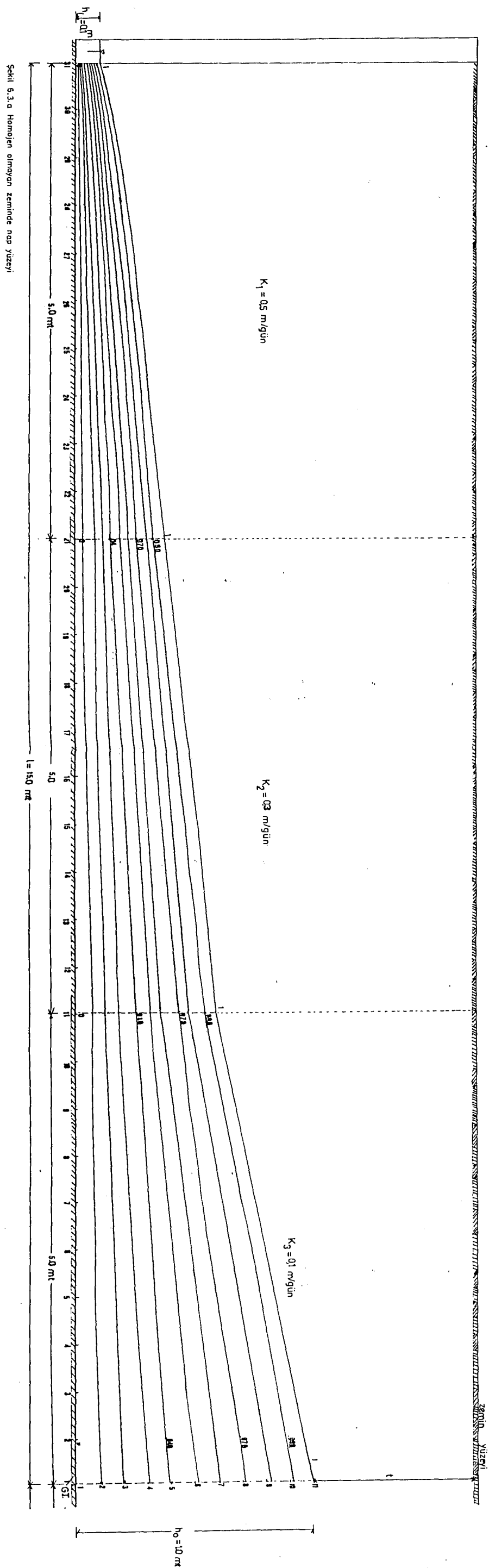
(5.12) denkleminden $h_2 = 0.595$ mt

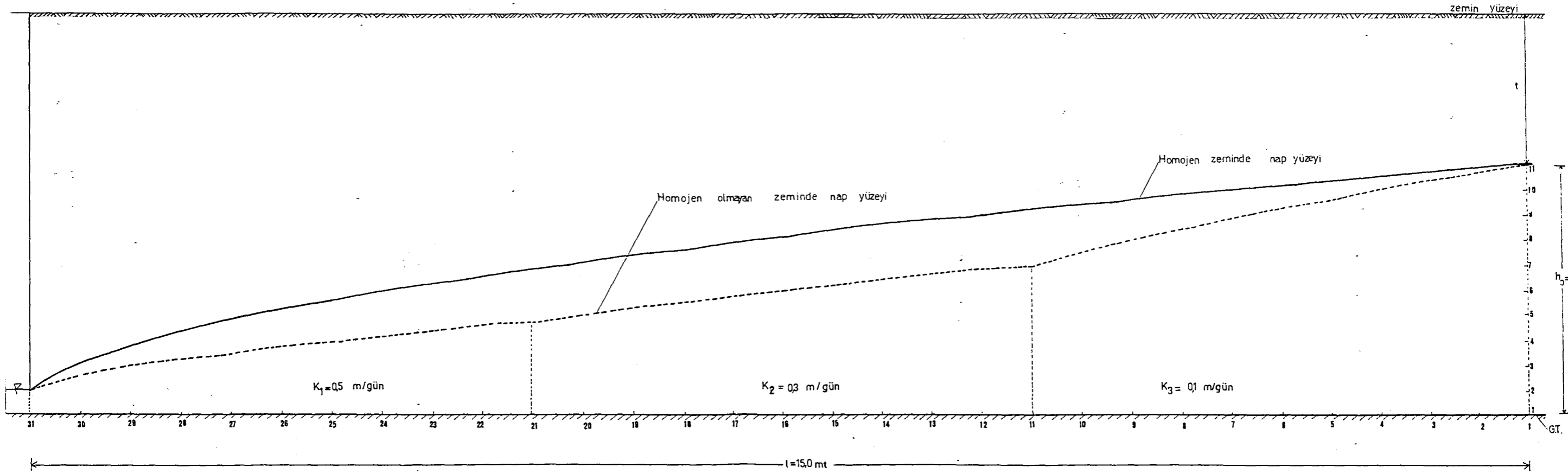
ve (5.13) veya (5.14) denkleminden de $h_1 = 0.372$ mt olarak hesaplanmıştır. Seçilen x ve x_1 uzunluğuna göre h_1 ve h_2 , tabakalar arasındaki nap yükseklikleri geçirimsiz tabakadan itibaren değişebilir.

Üç tabakada meydana gelen nap seviyeleri, her zemin tabakasının geçirimsizliğine bağlı olarak artmakta veya azalmaktadır. Şekil -6.3 a'da, homojen olmayan zemin bölgelerinde nap yüzeyleri ve akım çizgileri çizilmiştir. Yeraltı su yüzeyi permeabiliteye bağlı olarak; büyük geçirimsizliğe ait tabakalarda alçak seviyede, küçük geçirimsizliğe ait tabakalarda ise yüksektir.

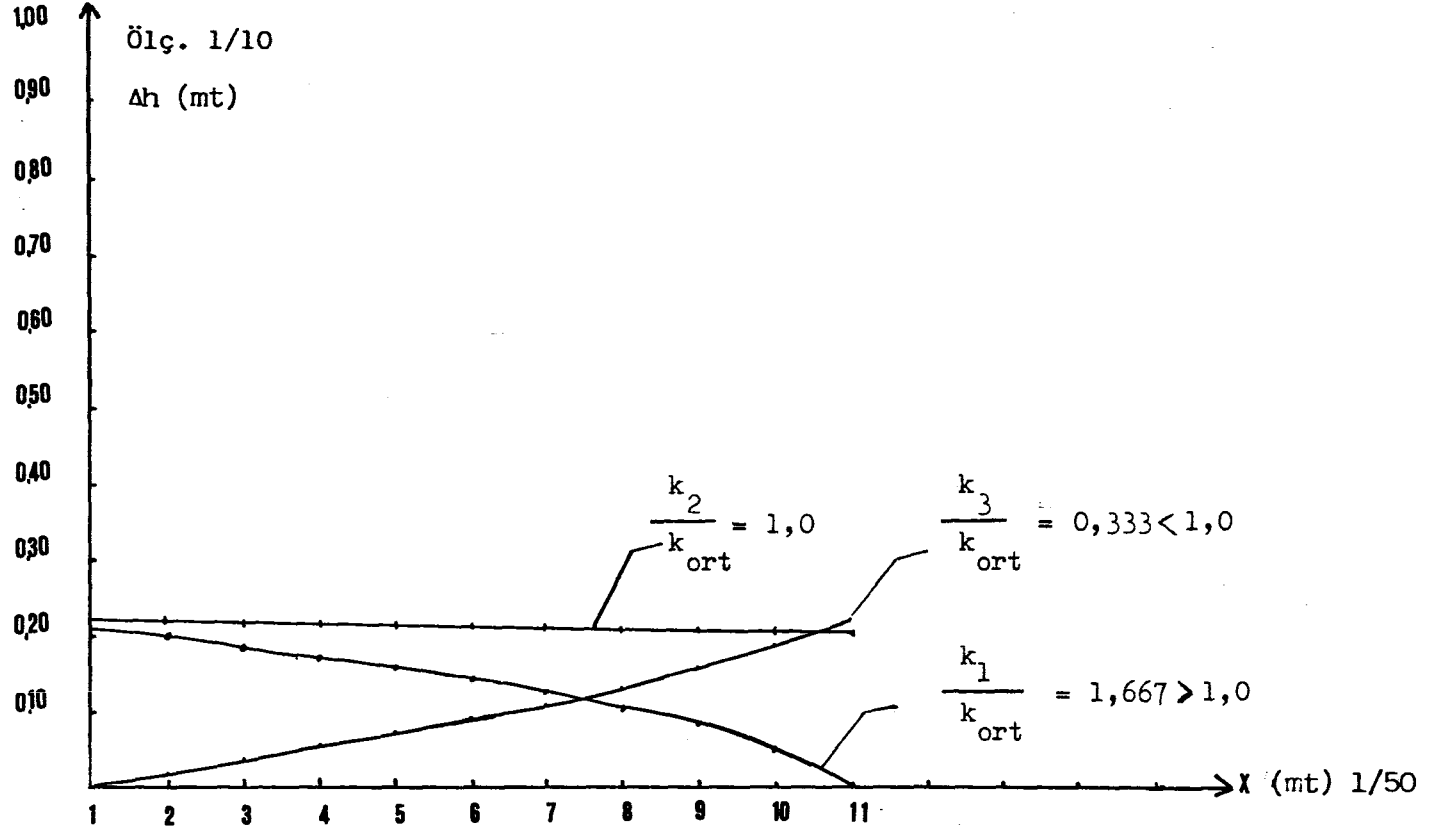
k_1 , k_2 ve k_3 zemin bölgelerinin toplam uzunluğu l dikkate alınarak permeabilitelerin ortalamasına göre homojen çözüm yapılmıştır.

Şekil -6.3 b'de homojen çözüm sonucu, nap yüzeyi ve akım çizgileri çizilmiştir.





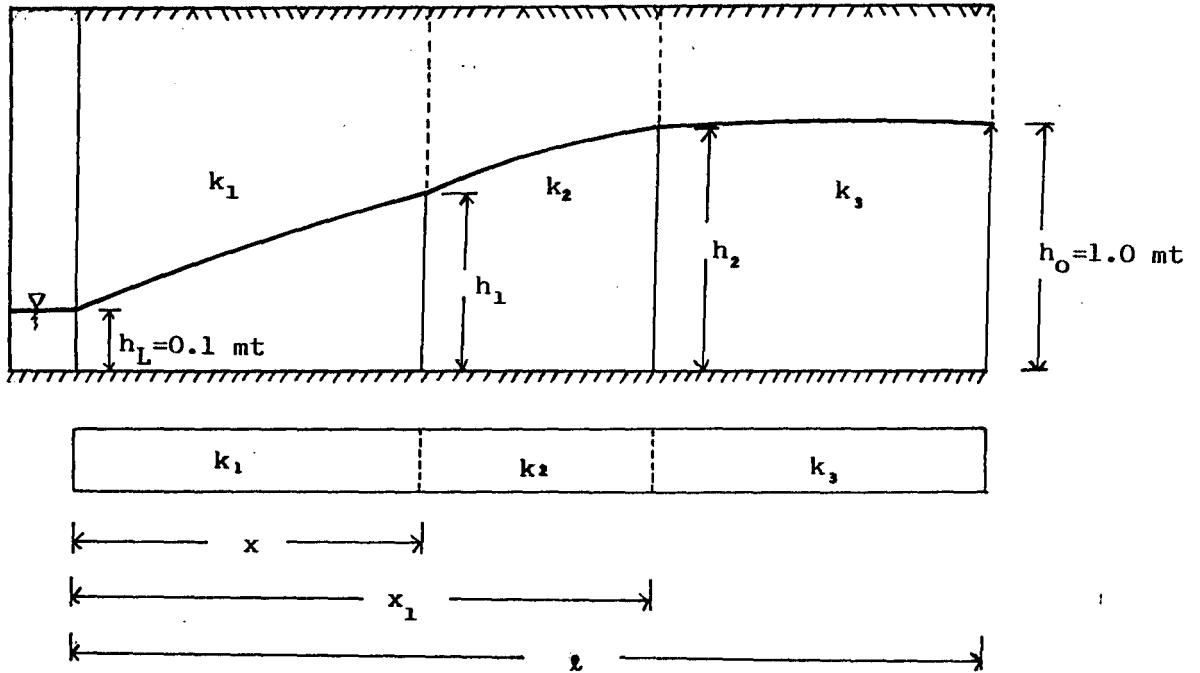
Sekil 6.3.c Homojen ve homojen olmayan zeminde nap yüzeyi



Şekil -6. 3d: Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları

Şekil -6.3 c'de ise homojen ve homojen olmayan zeminlerde yeraltı su yüzeyleri bir arada belirtilmiştir. Nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları x boyunca Şekil -6.3 d'de gösterilmiştir

6.2.4. Düşey yönde üç tabakalı zemin durumu



Şekil - 6.4. Permeabiliteleri farklı üç tabakalı zeminde dren aralığının belirlenmesi

Verilenler

$$q = 0.0174 \text{ m}^3/\text{gün}/\text{m}$$

$$h_0 = 1.0 \text{ mt}$$

$$h_L = 0.1 \text{ mt}$$

$$k_1 = 0.9 \text{ m/gün}$$

$$k_2 = 0.2 \text{ m/gün}$$

$$k_3 = 0.9 \text{ m/gün}$$

$$D = 5.5 \text{ mt}$$

$$h_L = r = 0.1 \text{ mt}$$

İstenen

$$L = ?$$

$$h_1 = ?$$

$$h_2 = ?$$

Çözüm

$$k_{\text{ort}} = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3} = \frac{0.9 + 0.2 + 0.9}{3} = 0.667 \text{ m/gün}$$

$L = 30.0 \text{ mt}$ seçildi.

Denklem (4.11), (4.12) ve (4.13)'ten

$d = 2.43 \text{ mt}$ belirlenir.

(4.8) Hooghoudt ifadesinde yukarıda seçilen dren aralığının sağladığı görülmüştür.

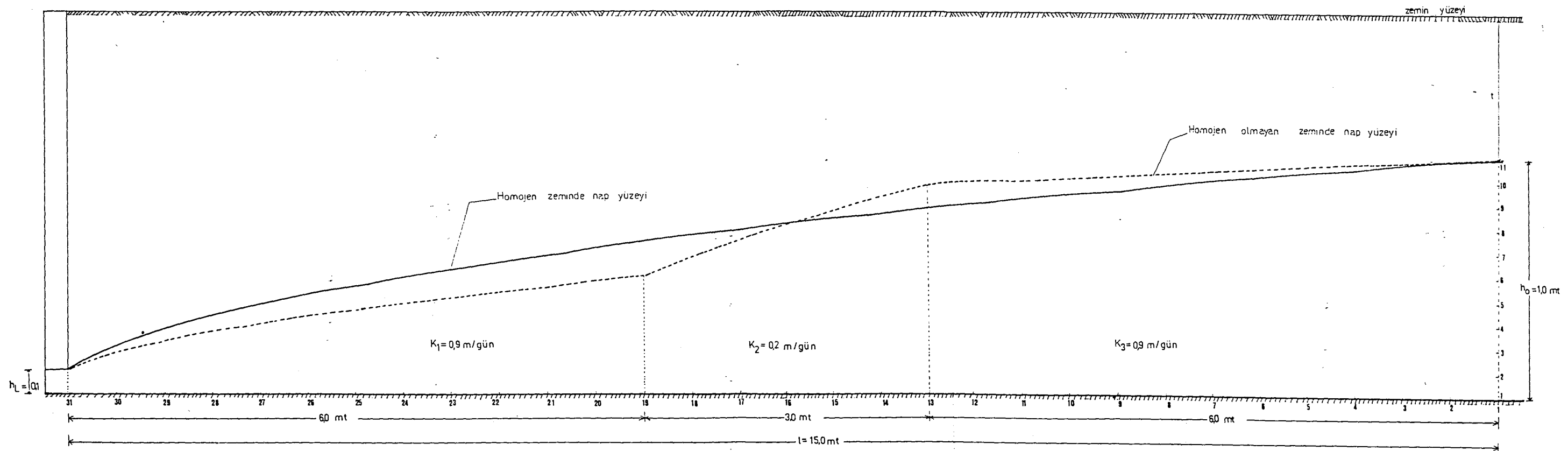
$L = 30 \text{ mt}$ hesaplanmış ve ilk seçilen L boyu doğru seçilmiştir.

$l = L/2 = 30/2 = 15.0 \text{ mt}$ yarı dren aralığıdır.

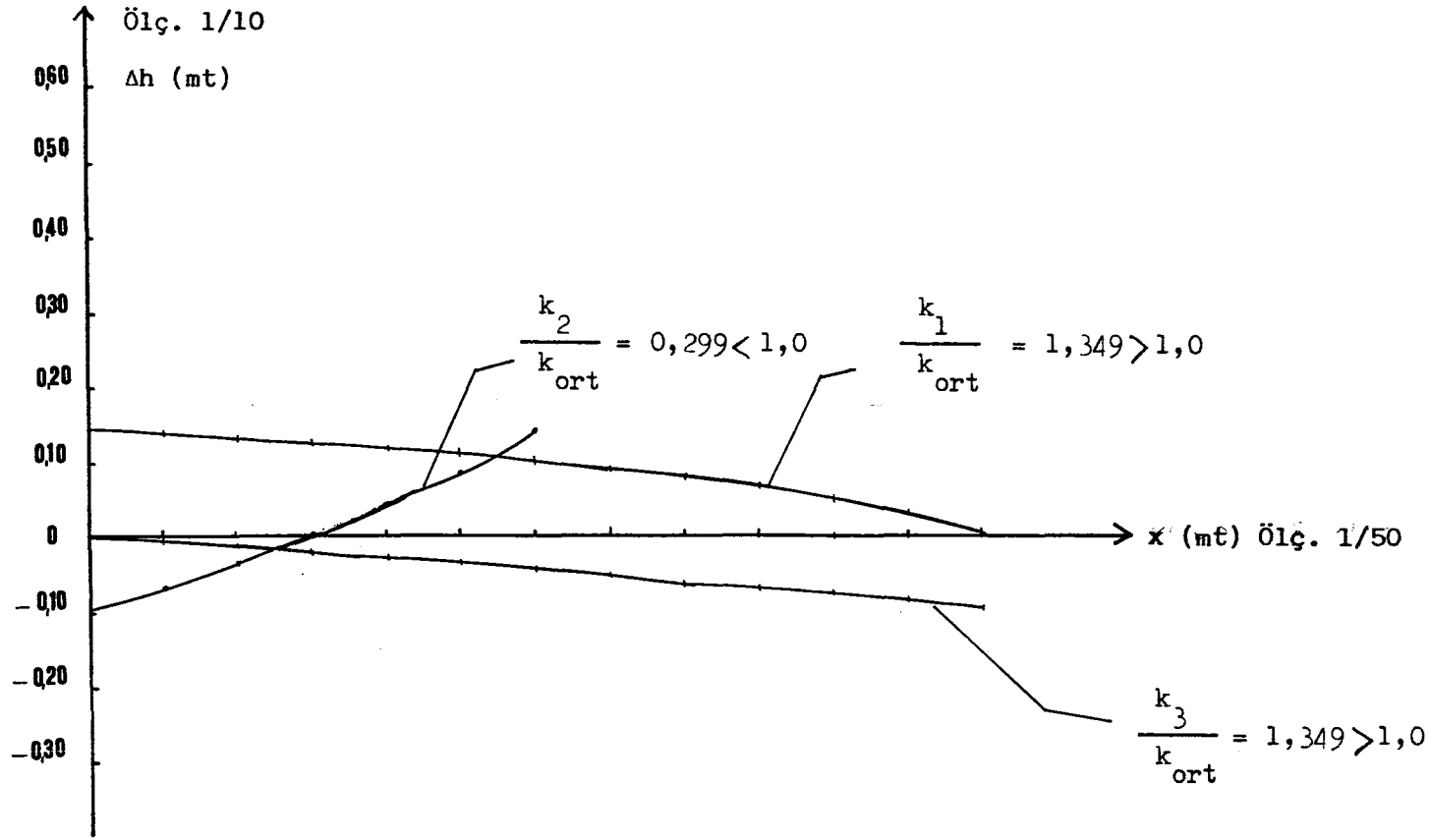
k_1 , k_2 ve k_3 bölgelerinin uzunluğu seçilerek h_1 ve h_2 hesaplanmıştır. $x = 6 \text{ mt}$, $x_1 = 9 \text{ mt}$ ve $l = 15 \text{ mt}$ için denklem (5.12)'den $h_2 = 0.876 \text{ mt}$ ve denklem (5.13) veya (5.14) ifadelerinden de $h_1 = 0.492 \text{ mt}$ olarak belirlenmiştir.

Şekil -6.4'te belirlenen değerlere göre, optimum dren aralığı hesaplanmıştır. İki dren arasındaki L mesafesinin ortası simetri eksenini kabul edilerek, permeabiliteleri farklı zemin bölgelerinin nap yüzeyleri Şekil-6.4 a da gösterilmiştir. k_1 , k_2 ve k_3 zemin bölgelerinin permeabilite katsayılarının ortalamasına göre de homojen nap yüzeyi hesaplanmıştır. Homojen ve homojen olmayan zemin durumuna göre nap yüzeyleri Şekil -6.4 a' da belirtilmiştir.

Permeabiliteleri farklı zemin bölgelerinde oluşan nap yüzeyi homojen



Şekil 6.4.a Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri



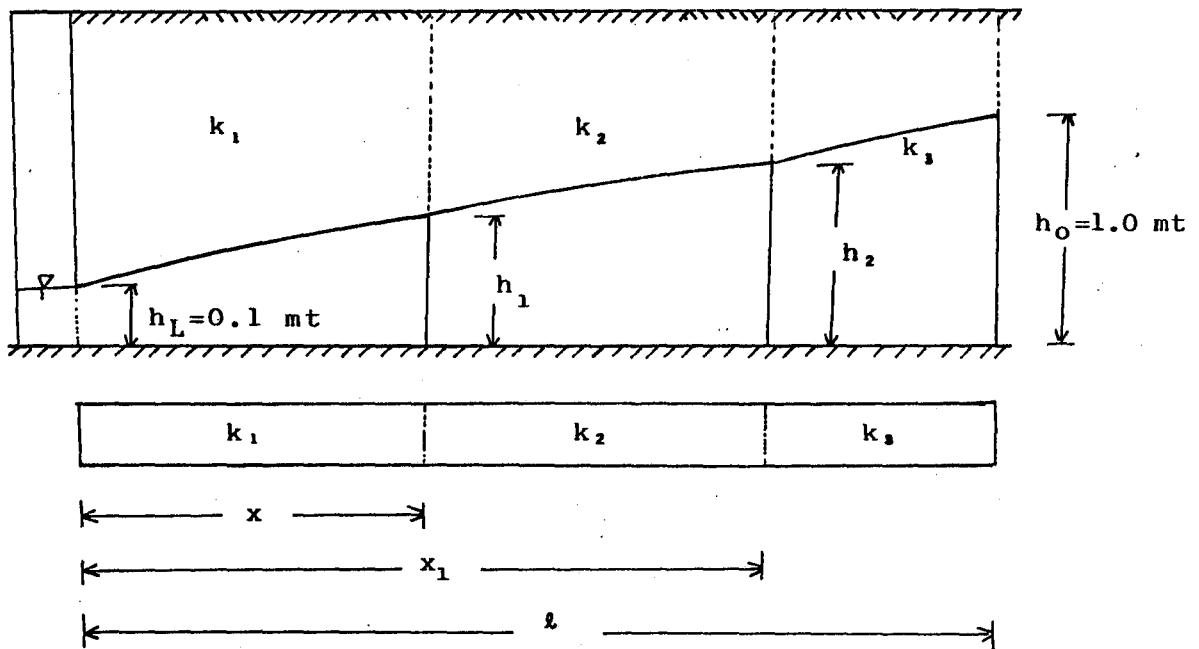
Şekil 6-4b : Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap Yüzeyleri arasındaki Δh farkları.

çözümle elde edilen nap yüzeyinden, k_2 bölgesinin tam orta kısmından sonra daha da yükselmiştir. Çünkü k_2 bölgesinin permeabilite katsayısı çok küçüktür. Bu bölgede akım yavaşlamaktadır. Akımda meydana gelen yavaşlama nedeniyle, k_3 zemin bölgesinde de nap yüzeyinin yükselmesine neden olmaktadır.

Homojen olmayan zeminde oluşan nap yüzeyi, homojen zemin durumunda meydana gelen nap yüzeyinin üstünde ise iki nap yüzeyi arasındaki Δh farkları negatif olmaktadır.

Zeminde l boyunca homojen nap yüzeyi ile homojen olmayan nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları seçilen her aralıkta Şekil -6.4 b' de gösterilmiştir.

6.2.5. Permeabiliteleri farklı üç tabakalı zemin durumu



Şekil -6.5. Düşey yönde farklı geçirimsizliğe ait zeminde dren aralığının belirlenmesi

<u>Verilenler</u>	<u>İstenen</u>
$q = 0.0158 \text{ m}^3/\text{gün}/\text{m}$	$L = ?$
$h_0 = 1.0 \text{ mt}$	$h_1 = ?$
$h_L = r = 0.1 \text{ mt}$	$h_2 = ?$
$k_1 = 0.8 \text{ m/gün}$	
$k_2 = 0.5 \text{ m/gün}$	
$k_3 = 0.2 \text{ m/gün}$	
$x = 5 \text{ mt}$	
$x_1 = 10 \text{ mt}$	
$D = 5 \text{ mt}$	

Çözüm

$L = 26 \text{ m}$ seçildi.

$$k_{\text{ort}} = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3} = \frac{0.8 + 0.5 + 0.2}{3} = 0.5 \text{ m/gün}$$

Denklem (4.11), (4.12) ve (4.13)'ten

$d = 2.19 \text{ mt}$ bulunur.

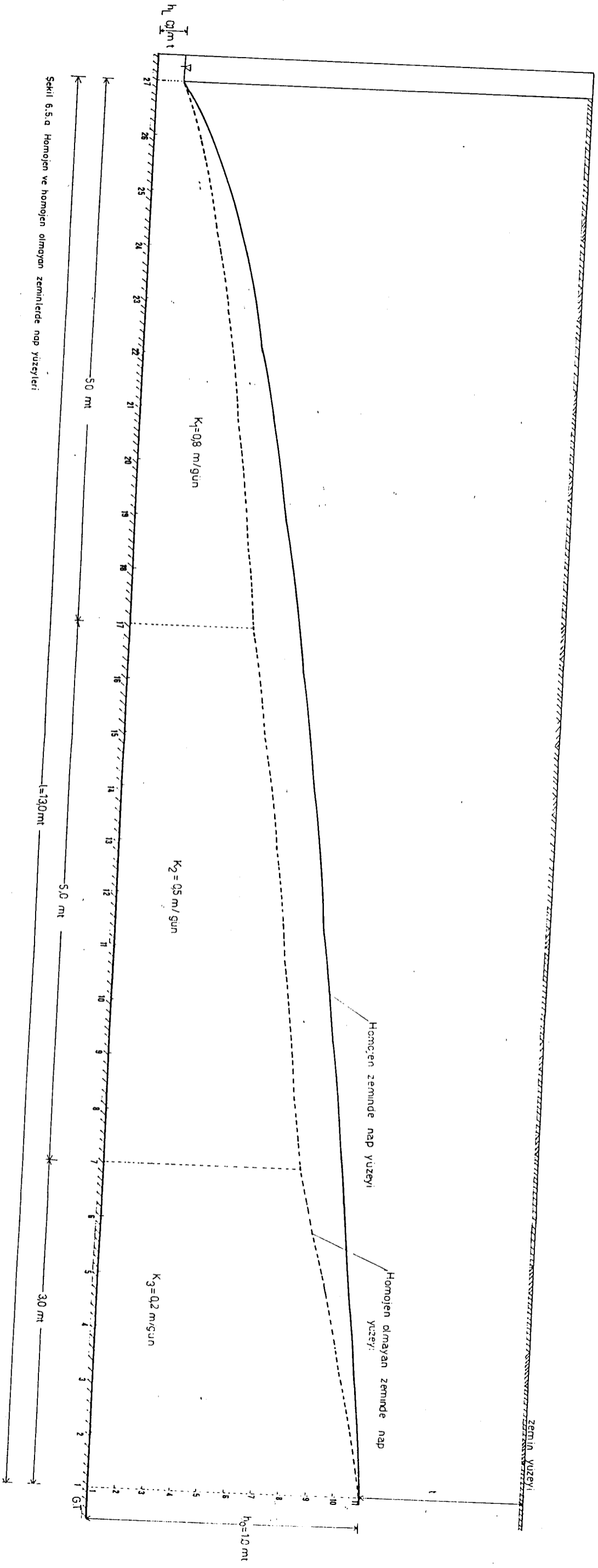
Denklem (4.8)'den

$L = 30 \text{ mt}$ için sağ eşitlik sağlamaktadır. Seçilen L doğrudur.

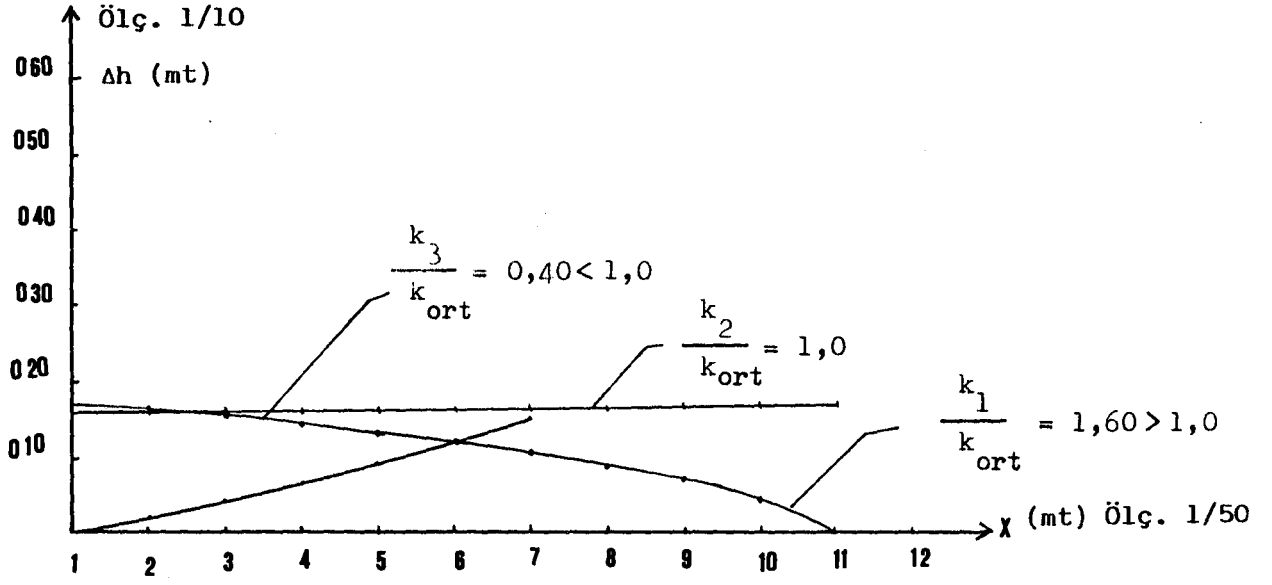
$d = L/2 = 30/2 = 15 \text{ mt}$ yarı dren aralığıdır.

$x = 5 \text{ mt}$ ve $x_2 = 10 \text{ mt}$ için denklem (5.12)'den $h_2 = 0.725 \text{ mt}$ ve denklem (5.13) veya (5.14)'ten $h_1 = 0.456 \text{ mt}$ olarak hesaplanır.

Optimum dren aralığı Şekil -6.5' te verilen değerlere göre hesaplandıktan sonra, zemin bölgeleri ayrı ayrı çözümlenip nap yüzeyleri elde edilmiştir. Şekil -6.5 a' da görüldüğü gibi k_1 , k_2 ve k_3 zemin



Şekil 6.5.a Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri



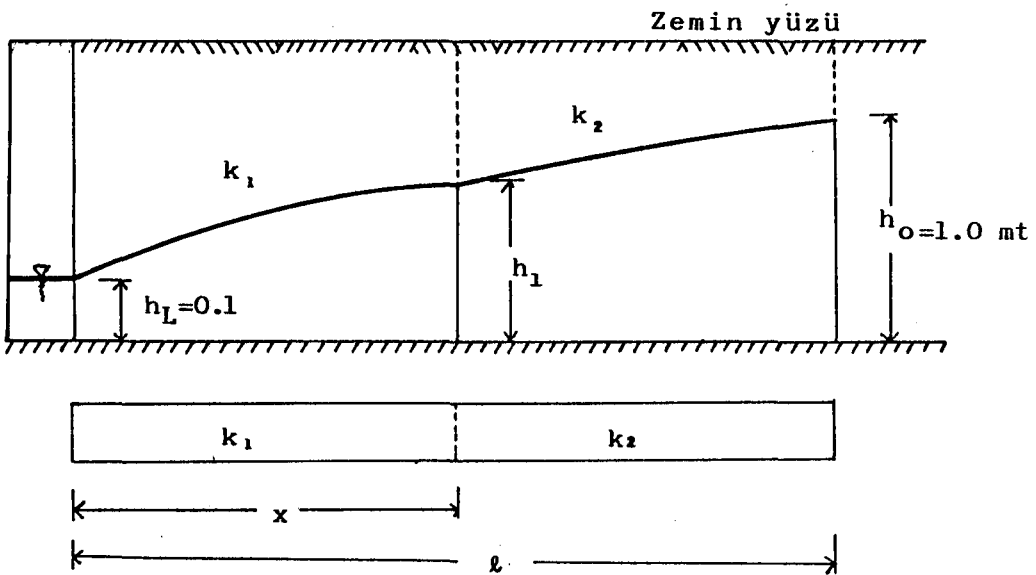
Şekil -6. 5b: Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları.

bölgelerinin yeraltı su yüzeyleri çizilmiştir. ℓ yarı dren aralığı içindeki zemin kitlesinin ortalama permeabilite katsayısına göre nap yüzeyi tekrar hesaplanarak Şekil -6.5 a' da belirtilmiştir.

Kesik çizgilerle gösterilen, homojen olmayan zeminde hesaplanan nap yüzeyi ile sürekli çizgiyle gösterilen homojen zemine ait nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları Şekil -6.5 b' de gösterilmiştir.

Homojen zemindeki nap yüzeyi, ortalama permeabilite katsayısının küçük olması nedeniyle zemin üzeğine daha yakındır. Homojen olmayan zeminde ise, k_1 bölgesinin permeabilite katsayısı büyük olması dolayısıyla nap yüzeyi, homojen nap yüzeyinin altında kalmıştır. Homojen nap yüzeyi, homojen olmayan nap yüzeyinden daha yüksek olduğundan $k/k_{ort} > 1.0$ ve $k/k_{ort} < 1.0$ değerleri x ekseninin pozitif tarafında kalmıştır (Şekil -6.5 b).

6.2.6. Permeabiliteleri farklı iki tabakalı zemin durumu



Şekil -6.6. Düşey yönde iki tabakalı zemin durumu

Verilenler

$$q = 0.0113 \text{ m}^3/\text{gün/m}$$

$$h_0 = 1.0 \text{ mt}$$

$$h_L = r = 0.1 \text{ mt}$$

$$k_1 = 0.8 \text{ m/gün}$$

$$k_2 = 0.3 \text{ m/gün}$$

$$D = 2.40 \text{ mt}$$

İstenen

$$L = ?$$

$$h_1 = ?$$

Çözüm

$L = 28 \text{ mt}$ seçildi.

$$k_{\text{ort}} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{0.8 + 0.2}{2} = 0.5 \text{ m/gün}$$

Denklem (4.11), (4.12) ve (4.13)'ten

$d = 1.72 \text{ mt}$ olarak bulunur.

(4.8) denkleminde $L = 28 \text{ mt}$

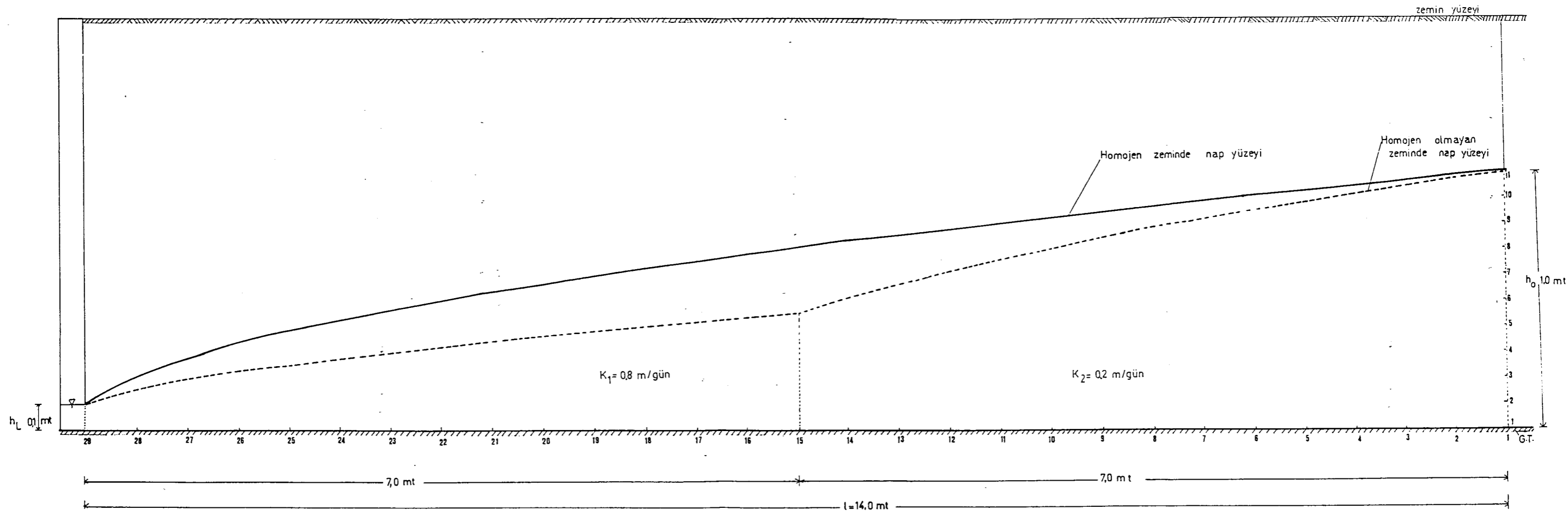
Sağdaki eşitliğe eşit olduğu ispatlanmıştır.

$l = L/2 = 28/2 = 14 \text{ mt}$ yarı dren aralığı dikkate alınarak

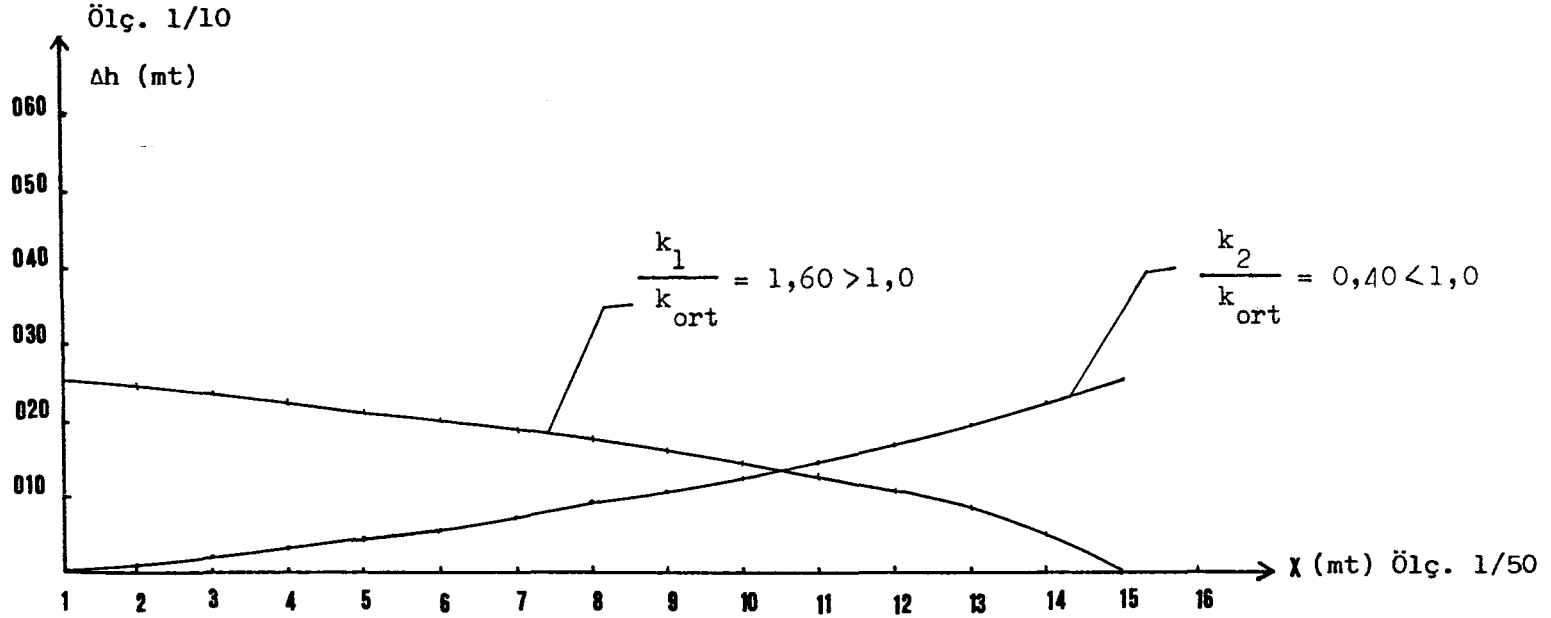
$x = 7 \text{ mt}$ seçilmiştir.

(5.9) veya (5.10) denklemlerinden $h_1 = 0.456 \text{ mt}$ değeri elde edilir.

Optimum dren aralığı, verilen değerlere göre hesaplanarak, homojen olmayan zeminde nap yüzeyinin elde edilmesini sağlamıştır. Ortalama permeabilite katsayısına göre homojen zemin için de nap yüzeyi hesaplanarak Şekil -6.6 a' da izah edilmiştir. Homojen çözümle elde edilen nap yüzeyi, homojen olmayan nap yüzeyinin üzerindedir.



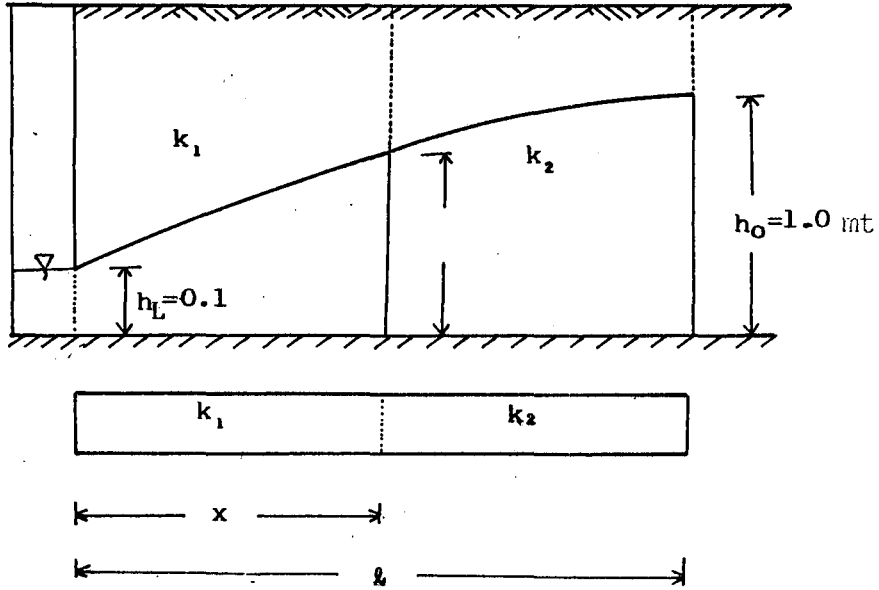
Şekil 6.6a Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri



Şekil 6-6b : Homojen ve Homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları.

İki nap yüzeyi arasındaki Δh farkları Şekil -6.6 b' de görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

6.2.7. Permeabiliteleri farklı iki tabakalı zemin durumu



Şekil -6.7 Düşey yönde iki tabakalı zeminde dren aralığının belirlenmesi.

Verilenler

$$q = 0.044 \text{ m}^3/\text{gün}/\text{m}$$

$$h_0 = 1.0 \text{ mt}$$

$$h_L = r = 0.1 \text{ mt}$$

$$k_1 = 0.4 \text{ m/gün}$$

$$k_2 = 0.8 \text{ m/gün}$$

$$D = 1.0 \text{ mt}$$

İstenen

$$L = ?$$

$$h_1 = ?$$

Çözüm

$$L = 12.0 \text{ mt} \text{ seçilerek}$$

$$k_{\text{ort}} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{0.4 + 0.8}{2} = 0.6 \text{ m/gün}$$

elde edilir, buna göre;

(4.11), (4.12) ve (4.13) denklemlerinden

$d = 0.83$ m bulunur.

(4.8) denkleminde $L = 12$ mt hesaplanır. Başlangıçta seçilen L doğru alınmıştır. Yani L ifadesi (4.8) bağıntısında sağdaki eşitliği sağlamıştır.

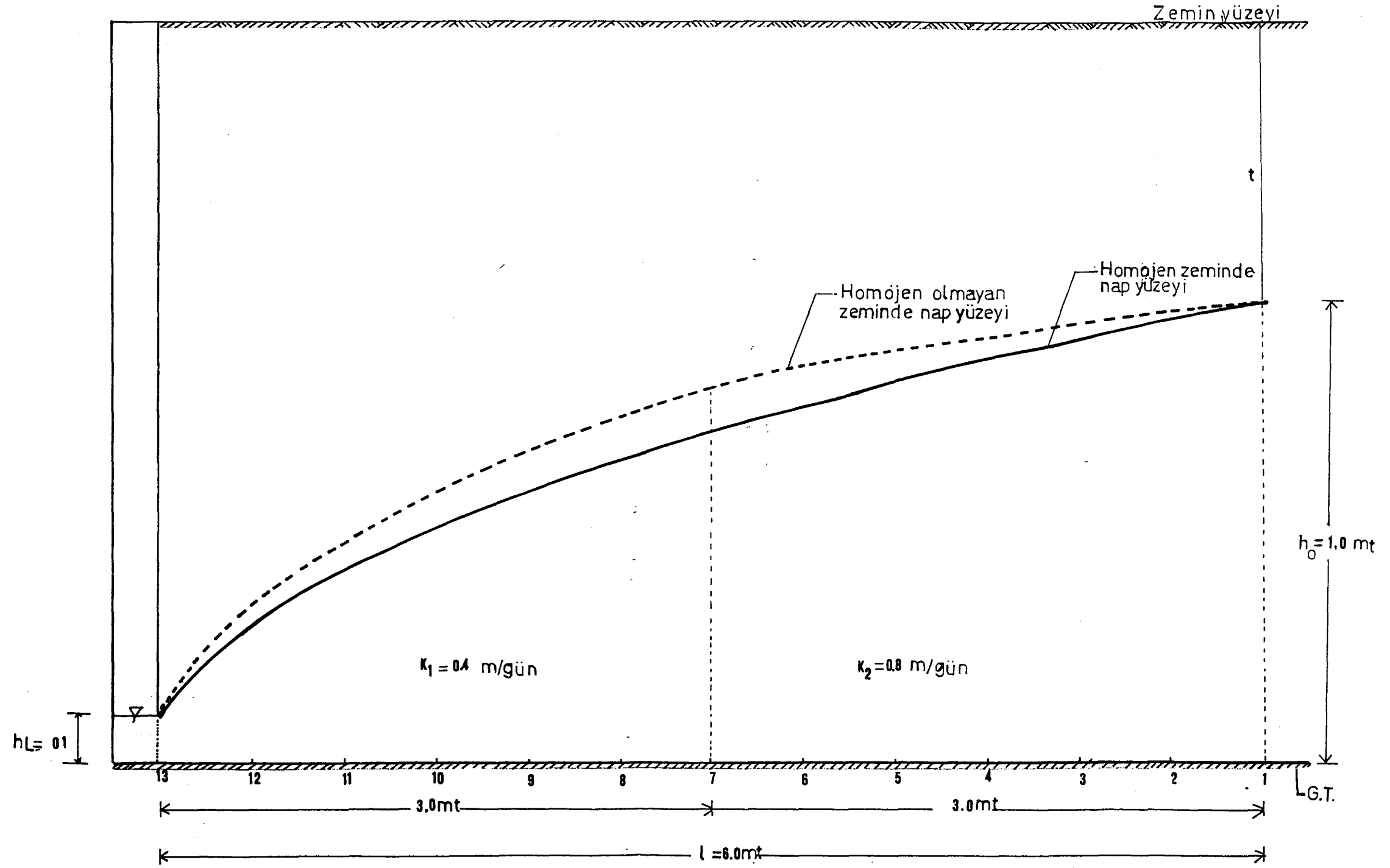
$\lambda = L/2 = 12/2 = 6$ mt yarı dren aralığıdır.

$x = 7.0$ mt seçilerek (5.9) veya (5.10) denklemlerinden

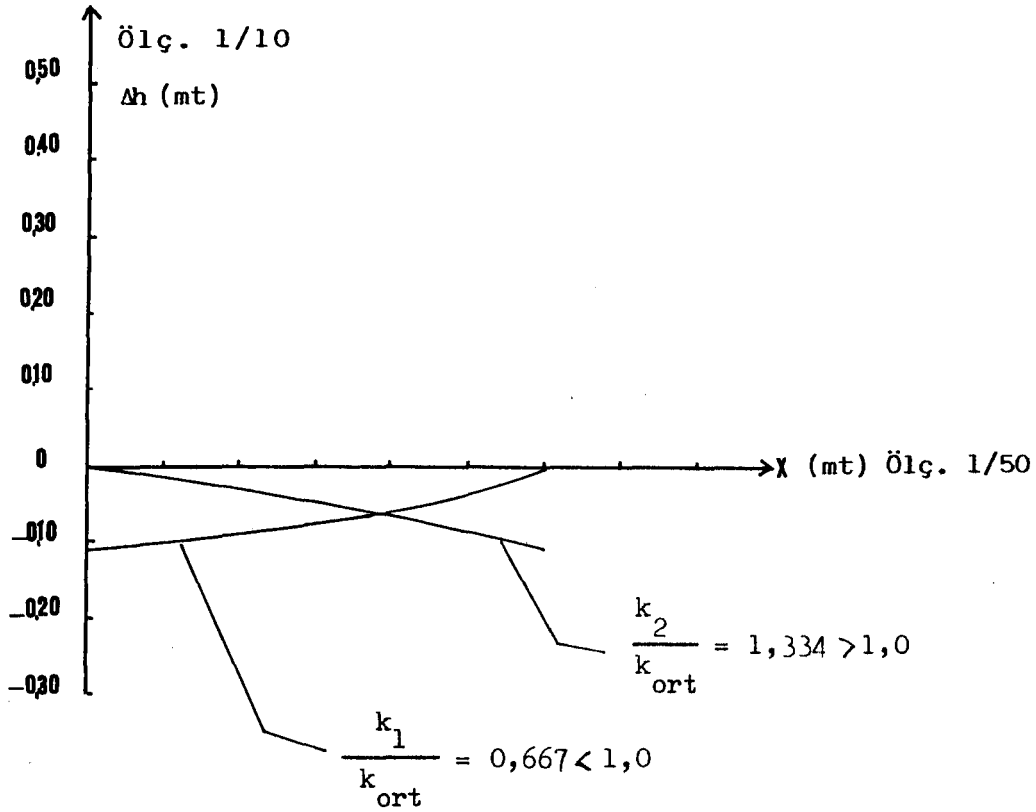
$h_1 = 0.818$ m bulunur.

k_1 bölgesinde permeabilite katsayısı, k_2 bölgesinin permeabilite katsayısından küçük olması nedeniyle, akımda bir yavaşlama meydana gelmektedir. k_1 ve k_2 permeabilitelerine göre nap yüzeyleri elde edilip Şekil -6.7 a' da gösterilmiştir. k_2 bölgesinin permeabilitesi büyük olması nedeniyle yeraltı suyu zemin yüzeyine doğru yükselmektedir. Permeabilitelerin ortalamasına göre nap yüzeyi tekrar hesaplanıp Şekil -6.7 a'da açıklanmıştır.

Farklı permeabiliteler içeren zeminlerde meydana gelen nap yüzeyi, ortalama permeabiliteye göre belirlenen nap yüzeyinden daha yüksektir. Nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları bu nedenle negatif olup Şekil-6.7 b de gösterilmiştir. Bu nedenle Δh farkı λ mesafesine bağlı olarak x ekseninin alt tarafında çizilmiştir.

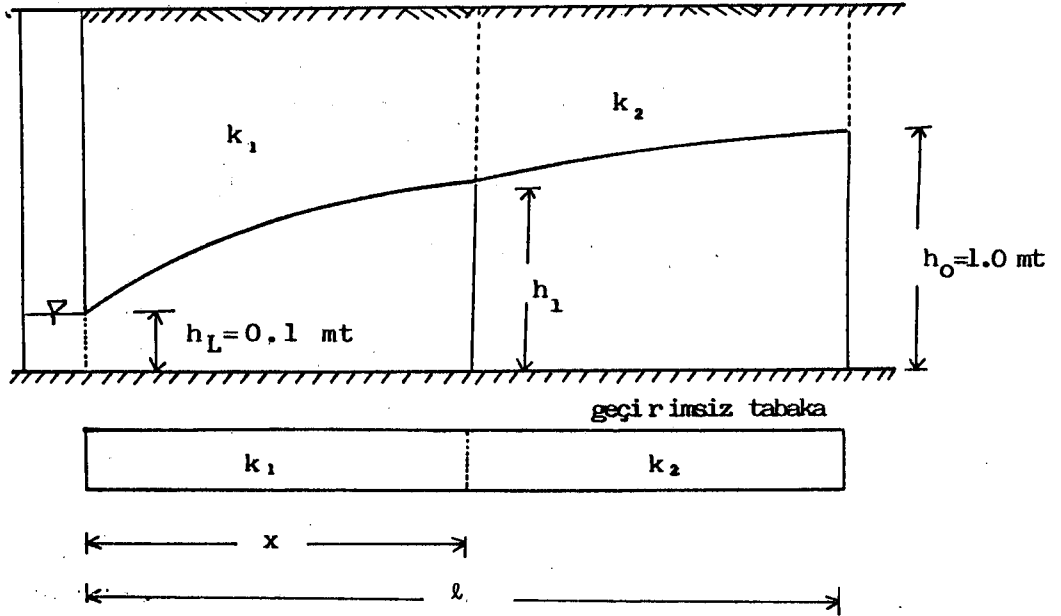


Şekil 6.7.a Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri



Şekil 6-7b : Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları.

6.2.8. Düşey yönde iki tabakalı zemin durumu



Şekil -6.8 Permeabiliteleri farklı zeminde dren aralığının belirlenmesi

Verilenler

$$q = 0.0113 \text{ m}^3/\text{gün}/\text{m}$$

$$h_0 = 1.0 \text{ mt}$$

$$h_L = r = 0.1 \text{ mt}$$

$$k_1 = 0.2 \text{ m/gün}$$

$$k_2 = 0.8 \text{ m/gün}$$

$$D = 2.40 \text{ mt}$$

İstenen

$$L = ?$$

$$h_1 = ?$$

Çözüm

$L = 28 \text{ mt}$ seçilerek,

$$k_{\text{ort}} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{0.2 + 0.8}{2} = 0.5 \text{ m/gün}$$

(4.11), (4.12) ve (4.13) denklemlerinden

$d = 1.72$ mt elde edilir.

(4.8) denkleminden $L = 28$ mt bulunur. Başlangıçta seçilen L doğru alınmıştır.

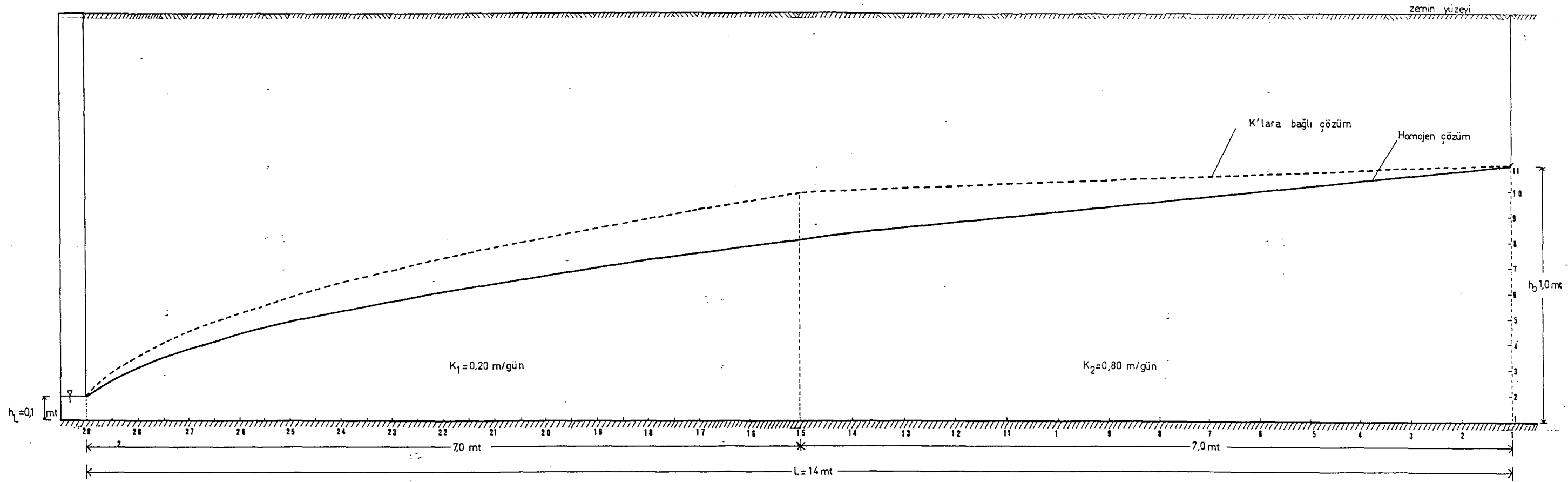
$l = L/2 = 28/2 = 14$ mt yarı dren aralığıdır.

$x = 7$ mt seçilerek (5.9) veya (5.10) denklemlerinden

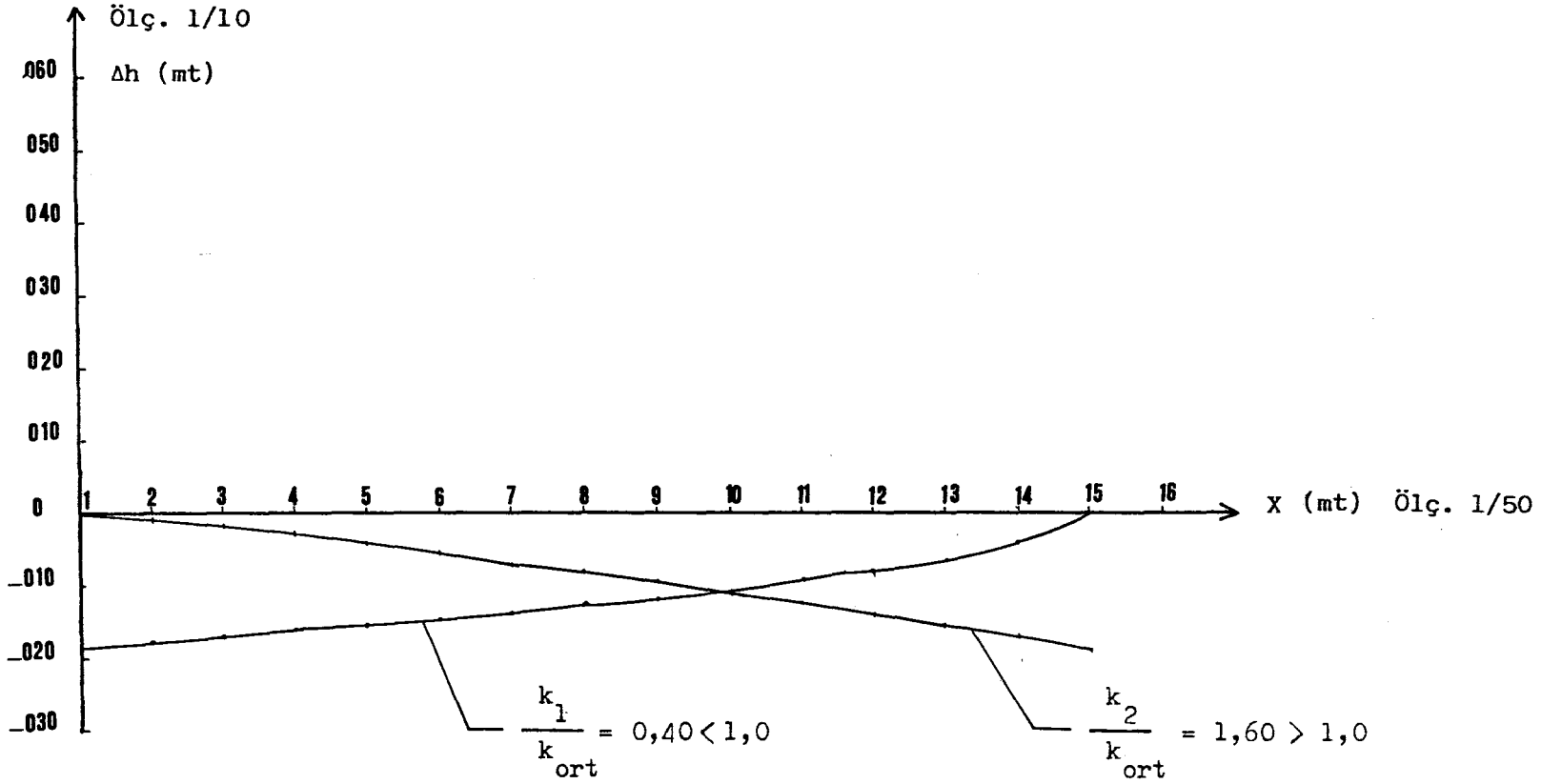
$h_1 = 0.895$ mt bulunur.

Dren borusu civarında bulunan zeminin, küçük permeabiliteye sahip olması nedeniyle yeraltı suyu akımını frenlemektedir. Akımda meydana gelen bu yavaşlama nedeniyle nap yüzeyinde yükselmeler olmaktadır. Düşey yönde iki tabakanın, ortalama permeabilitesine göre nap yüzeyi hesaplanmış olup farklı permeabilitelere göre elde edilen nap yüzeyi ile beraber Şekil -6.8 a' da gösterilmiştir.

Farklı permeabilitelerden oluşan k_1 ve k_2 zemin bölgelerinde nap yüzeyi, homojen çözümlerle (k_{ort}) elde edilen nap yüzeyinden daha yüksektir. Denklem (4.8)'den hesaplanan L dren aralığına bağlı olarak, $l=L/2$ boyunca iki nap yüzeyi arasındaki Δh farkı xy koordinat sistemine göre x ekseninin alt tarafında kalmıştır. Şekil -6.8 b' de görüldüğü gibi k_1/k_{ort} , x boyunca azalıp x eksenini üzerinde sıfır olmaktadır. k_2/k_{ort} ise $(l-x)$ boyunca artmaktadır. Homojen olmayan nap yüzeyi (k_2), ile homojen nap yüzeyi (k_{ort}) arasındaki Δh farkı artmış ve simetri eksenini üzerinde sıfır olmuştur.

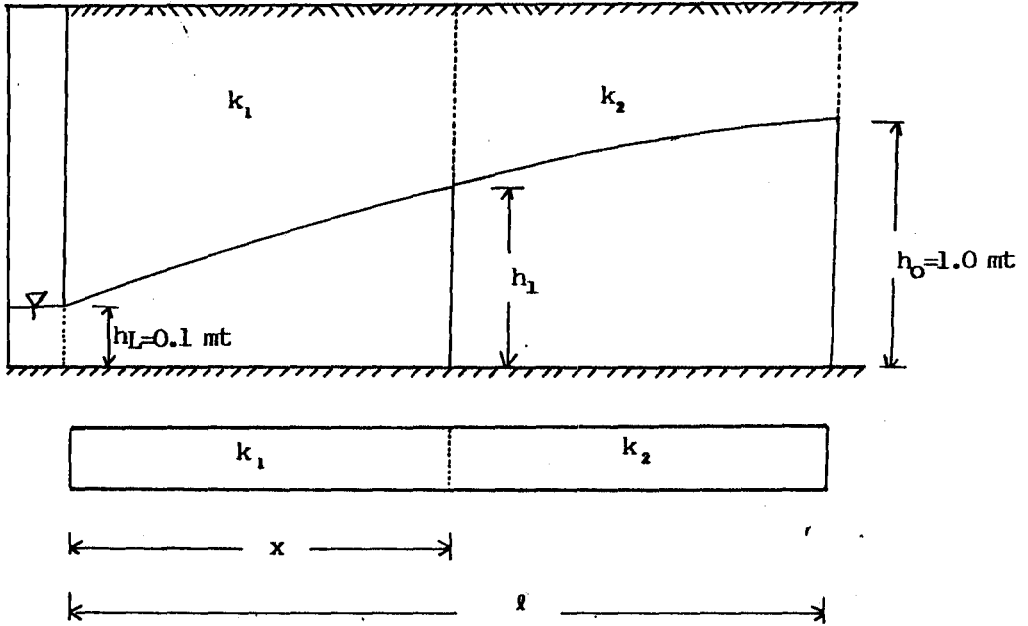


Şekil 6.8.a Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri



Şekil 6-8b : Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları.

6.2.9. Permeabiliteleri farklı düşey yönde iki tabakalı zemin durumu



Şekil -6.9. Permeabiliteleri farklı iki tabakalı zeminde dren aralığının hesabı

Verilenler

$$q = 0.018 \text{ m}^3/\text{gün}/\text{m}$$

$$h_0 = 1.0 \text{ mt}$$

$$h_L = r = 0.1 \text{ mt}$$

$$k_1 = 0.80 \text{ m/gün}$$

$$k_2 = 0.30 \text{ m/gün}$$

$$D = 3.20 \text{ mt}$$

İstenen

$$L = ?$$

$$h = ?$$

Çözüm

$$k_{\text{ort}} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{0.8 + 0.3}{2} = 0.55 \text{ m/gün}$$

$L = 24 \text{ mt}$ seçildi.

Denklem (4.11), (4.12) ve (4.13)' ten

$d = 1.86 \text{ mt}$ bulunur.

Denklem (4.8)'den L değeri yerine yazılırsa, sol ve sağ eşitliklerin eşit olduğu görülür. Başlangıçta seçilen L doğrudur.

$$l = L/2 = 24/2 = 12 \text{ mt}$$

yarı dren aralığıdır.

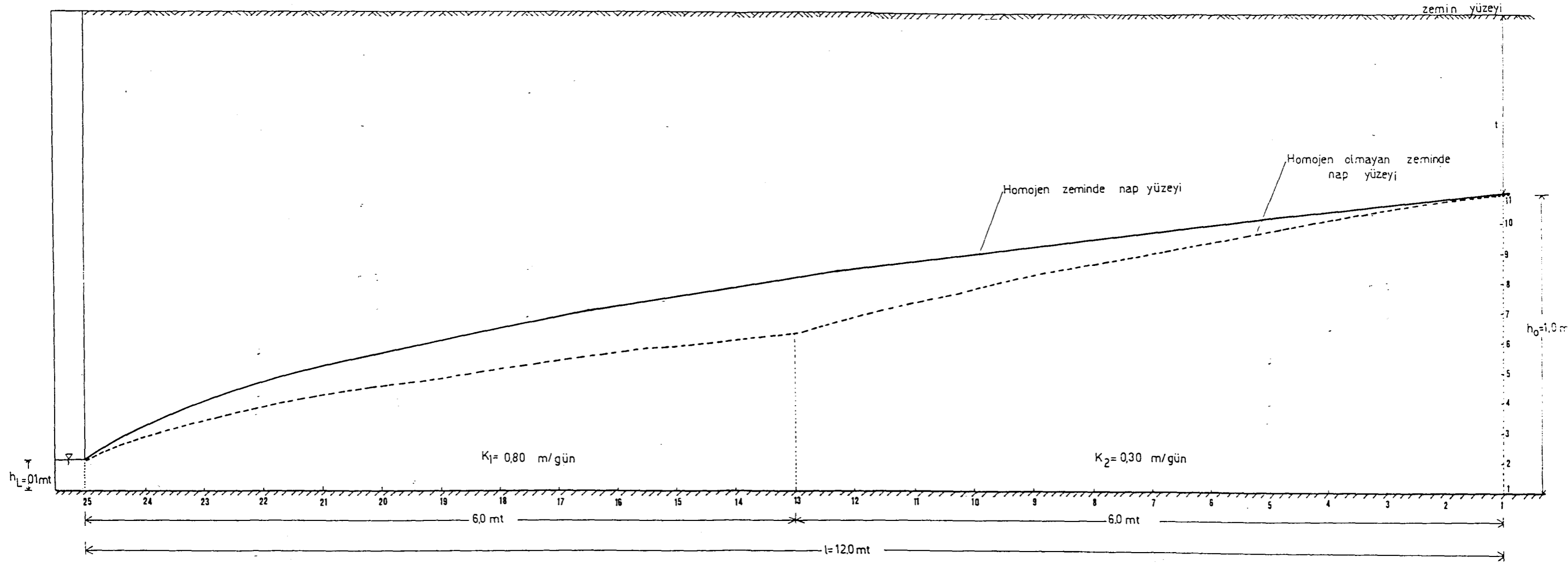
(5.9) veya (5.10) ifadelerinden $h_1 = 0.529 \text{ mt}$ elde edilir.

Şekil 6.9' da verilen değerlere göre l ve h_1 değerleri hesaplanmıştır. k_1 ve k_2 permeabilitelerine göre x ve $(l-x)$ boyunca nap yüzeyi belirlenip Şekil -6.9 a' da gösterilmiştir. Farklı permeabilitelerin ortalaması alınarak l boyunca homojen nap yüzeyi belirlenmiş, Şekil -6.9 a' da izah edilmiştir.

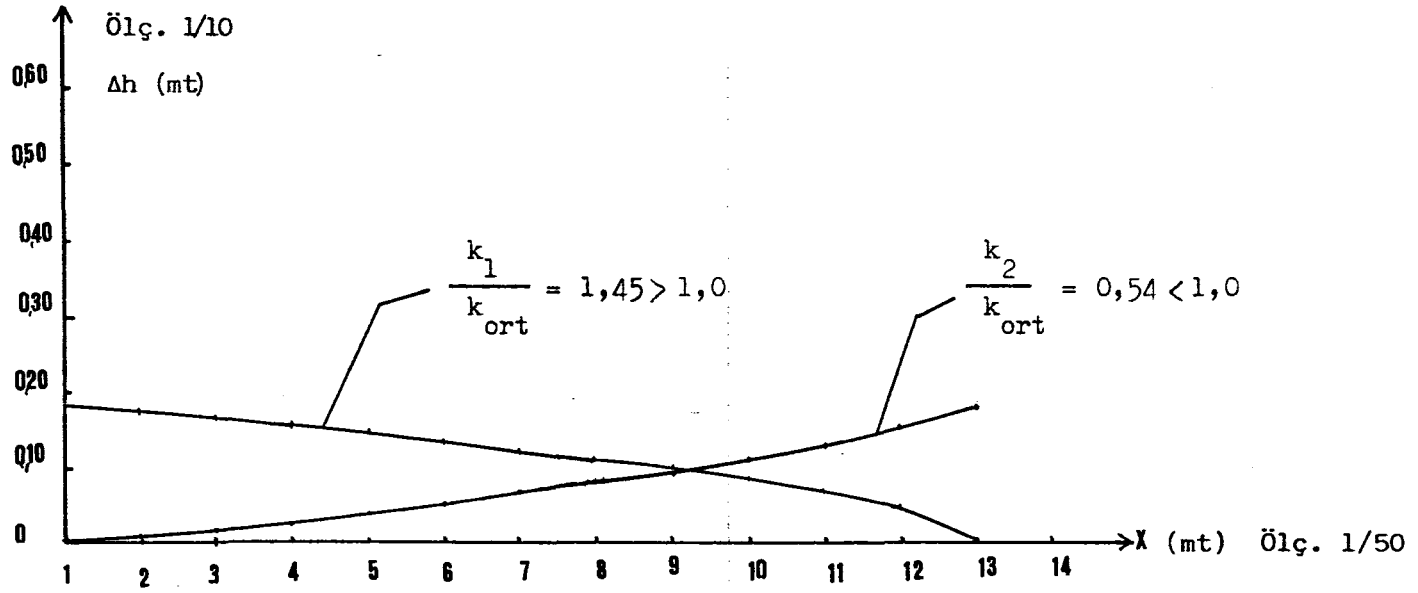
Homojen ve homojen olmayan zemin durumuna göre, Şekil -6.9 a' da belirtilen nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları l boyunca çıkarılmış ve Şekil -6.9 b'de belirtilmiştir.

Dren borusu civarında olan $k_1 = 0.8 \text{ m/gün}$ permeabiliteye sahip olan zemin, x boyunca yeraltı suyunu çabuk bir şekilde filitre etmektedir. $(l-x)$ zemin bölgesi ise, permeabilitesi küçük olduğundan dolayı akımda bir yavaşlama meydana getirmektedir. Böylece nap yüzeyinin yükselmesine neden olmaktadır.

Homojen nap yüzeyi, farklı permeabilitelere göre belirlenen nap yüzeyinden, yarı dren aralığı boyunca daha yüksekte olmasından dolayı Δh



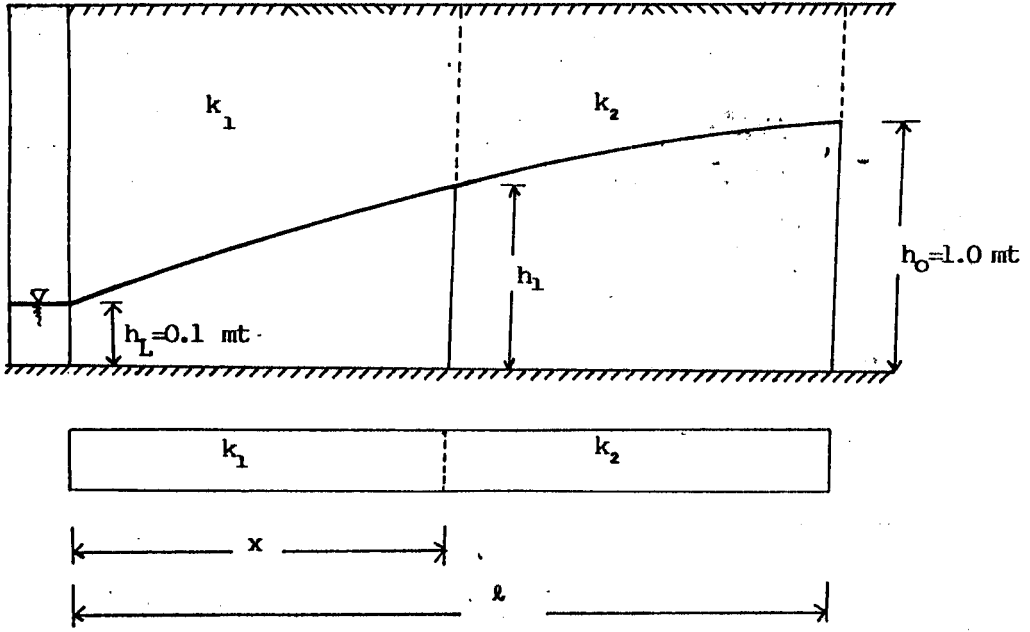
Sekil 6.9.a Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri



Şekil -6. 9b : Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları.

farkları pozitiftir. Şekil -6.9 b' de $k_1/k_{ort} > 1$ ve $k_2/k_{ort} < 1.0$ eğrileri x eksenin üst tarafındadır.

6.2.10. Permeabiliteleri farklı iki tabakalı zemin durumu



Şekil -6.10 Permeabiliteleri farklı iki tabakalı zeminde dren aralığının durumu

Verilenler

$$q = 0.0445 \text{ m}^3/\text{gün/m}$$

$$h_0 = 1.0 \text{ mt}$$

$$h_L = r = 0.1 \text{ mt}$$

$$k_1 = 0.9 \text{ m/gün}$$

$$D = 2.30 \text{ mt}$$

İstenen

$$L = ?$$

$$h_1 = ?$$

Çözüm

$$k_{ort} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{0.9 + 0.6}{2} = 0.75 \text{ m/gün}$$

$L = 16$ mt seçildi.

Denklem (4.11), (4.12) ve (4.13)' ten

$d = 1.40$ mt bulunur.

Denklem (4.8)'den L değeri yerine yazılırsa, sol ve sağ eşitliklerin birbirine eşit olduğu görülür. Başlangıçta seçilen

$L = 16$ mt değeri doğrudur.

$\ell = L/2 = 16/2 = 8$ mt yarı dren aralığıdır.

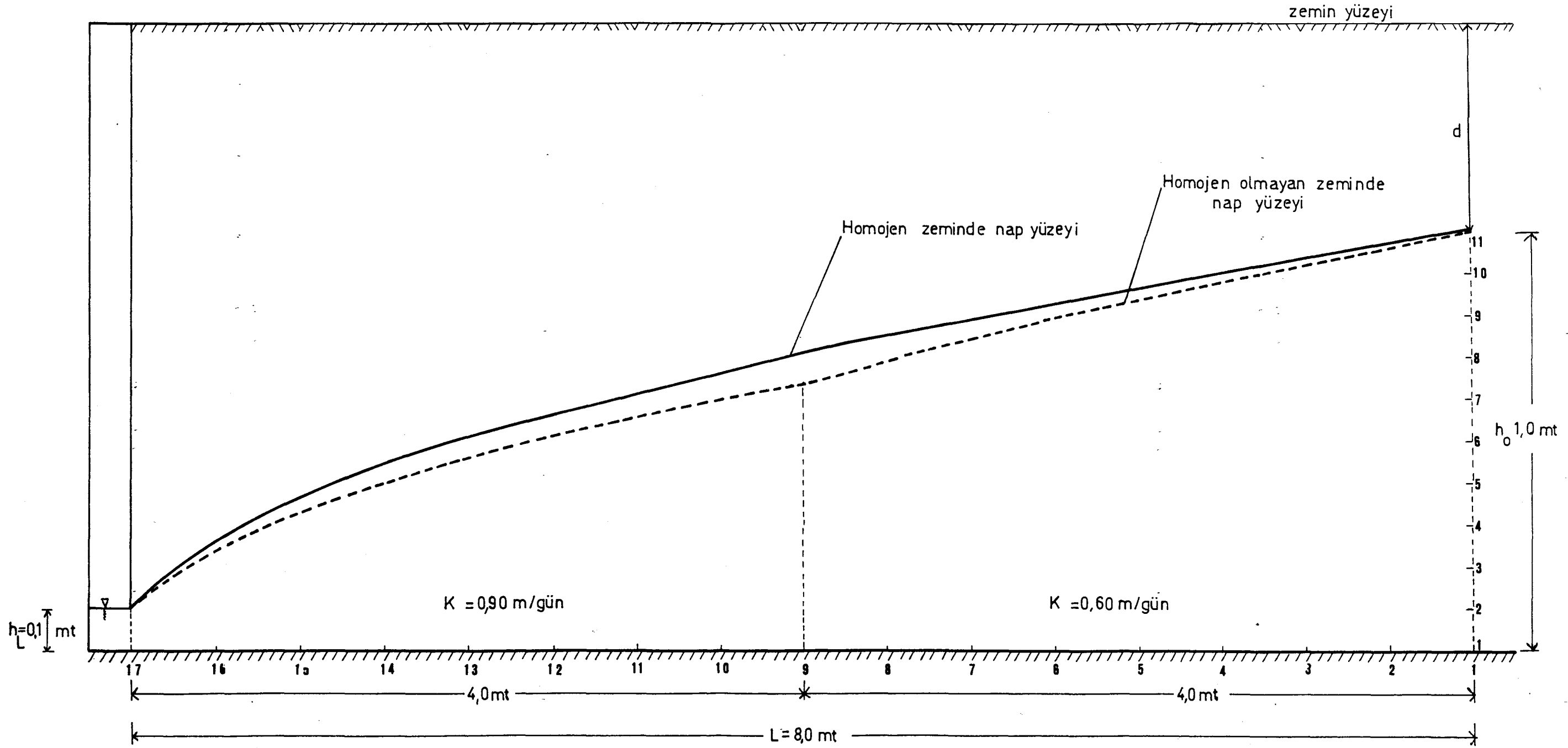
(5.9) veya (5.10) denklemlerinden $h_1 = 0.637$ mt elde edilir.

Şekil -6.10 da verilen değerlere göre, ℓ ve h_1 değerleri hesaplanmıştır. Farklı permeabilitelere göre x ve $(\ell-x)$ zemin bölgelerinde nap yüzeyleri belirlenip Şekil -6.10 a da ifade edilmiştir.

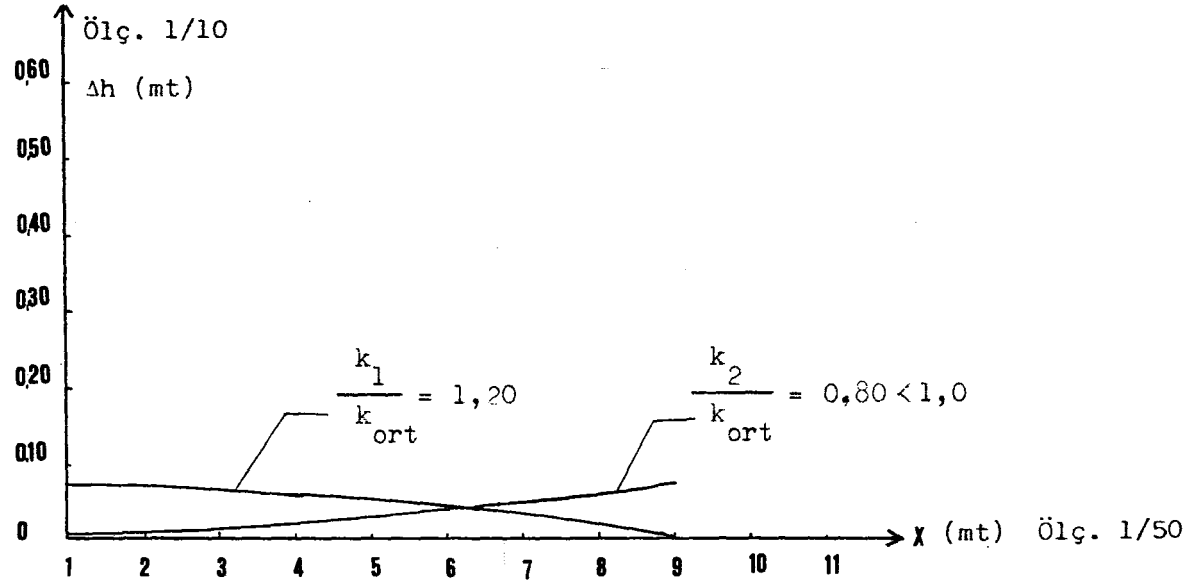
Farklı permeabiliteleri içeren zemin kitlesinin ortalaması alınarak, ℓ yarı dren aralığı boyunca homojen nap yüzeyi de hesaplanmıştır. Şekil - 6.10 a'da homojen ve farklı permeabilitelerden meydana gelen nap yüzeyleri çizilerek karşılaştırılmıştır.

Zeminin, homojen ve homojen olmayan durumuna göre nap yüzeyleri arasındaki Δh farkları Şekil -6.10 b de görüldüğü gibi ifade edilmiştir.

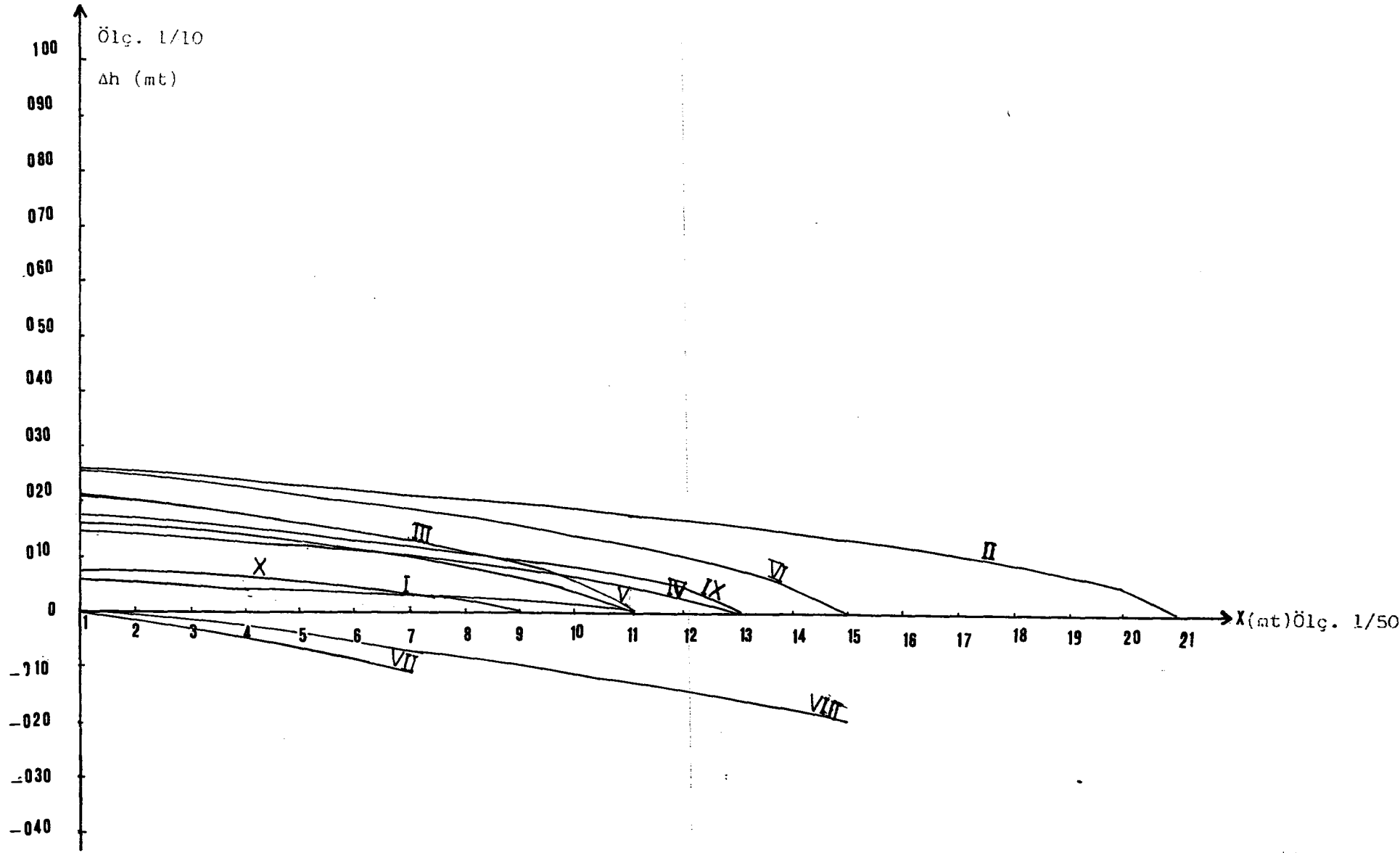
Permeabilitesi büyük olan zeminde, akım kolayca filitre edilerek dren borusuna girmektedir. Bu bölgede (k_1) nap yüzeyi alçak seviyededir. Permeabilite katsayısı küçük olan zeminde, yeraltı su akımı engellendiğinden nap seviyesi zemin yüzeyine doğru yükselmektedir.



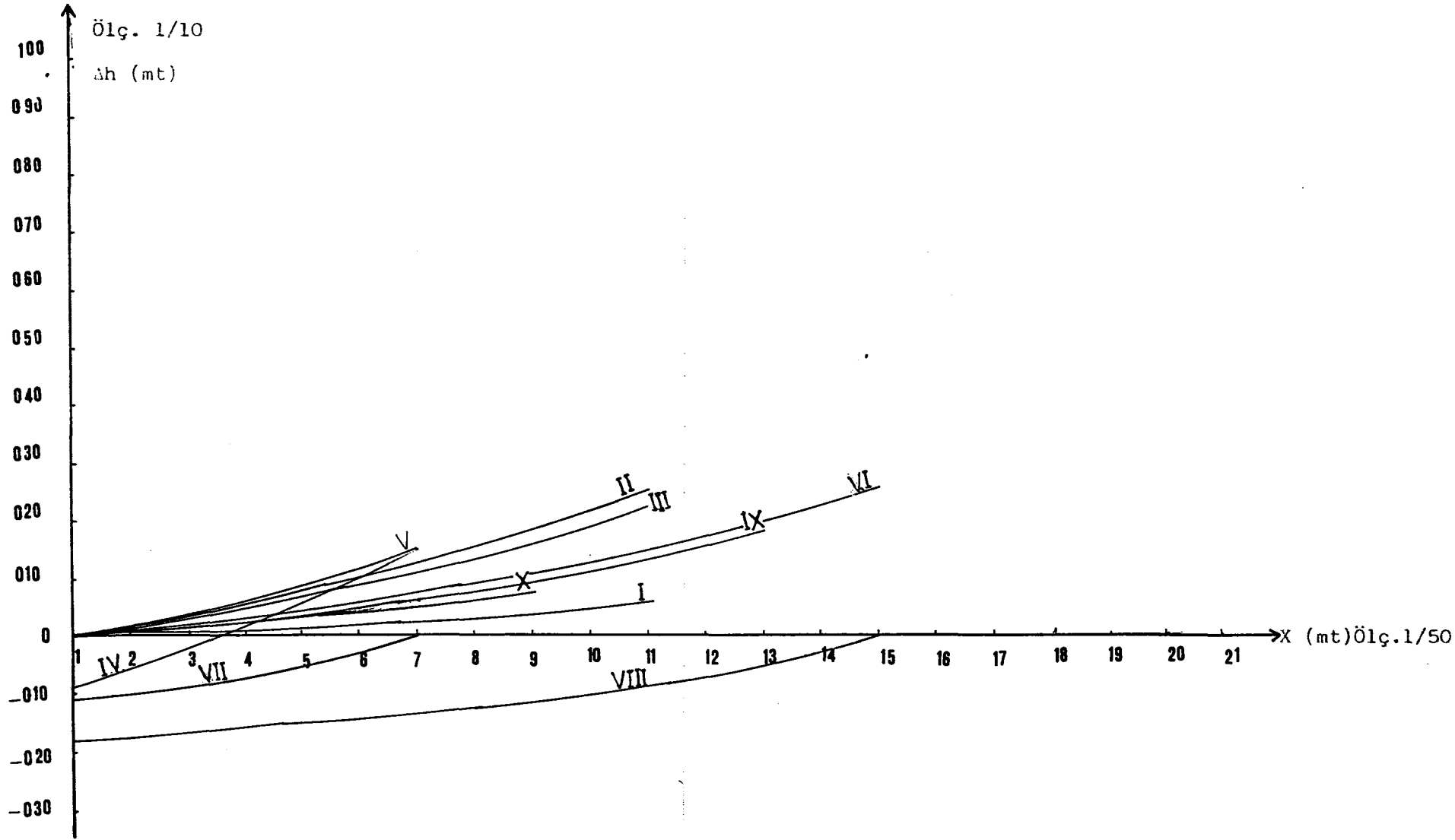
Şekil 6.10. a Homojen ve homojen olmayan zeminlerde nap yüzeyi



Şekil 6-10b : Homojen ve Homojen Olmayan Zeminlerde Nap Yüzeyleri Arasındaki Δh Farkları.



Şekil 6-11 : Çözülen örnekler için homojen ve homojen olmayan zeminlerde $\frac{k}{k_{ort}} > 1,0$ değerleri



Şekil 6-12 : Çözülen örnekler için homojen ve homojen olmayan zeminlerde $\frac{k}{k_{ort}} < 1,0$ değerleri.

6.3. Su Yüzeyi Farkının Hesabı

Homojen ve homojen olmayan durumlarda, su yüzeyleri arasındaki Δh kot farkları k/k_{ort} değerleri için çizilen şekillerden görüleceği gibi Δh değerinin x ile değişimi lineer olarak kabul edilebilir. Bu kabulden hareketle Δh değeri k/k_{ort} , ve x değerine bağlı olarak ifade edilebilir.

6.3.1. $k/k_{ort} > 1.0$ durumu

Eğrilerin eğimi ile k/k_{ort} değeri arasında şekil 6.13'te görüldüğü gibi lineer bir bağıntı vardır, ve aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$C_1 = \log(\text{tg}\alpha) = 2.70 + 0.645 \frac{k_1}{k_{ort}} \dots\dots\dots (6.1)$$

Δh kot farkı ise;

$$\Delta h = A + C_1 \cdot x \dots\dots\dots (6.2)$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki A sabiti ise yine k/k_{ort} değerinin bir fonksiyonudur, ve Şekil -6.14'te görüldüğü gibi, iki değişken arasında yine lineer bir bağıntı vardır. Bu bağıntı;

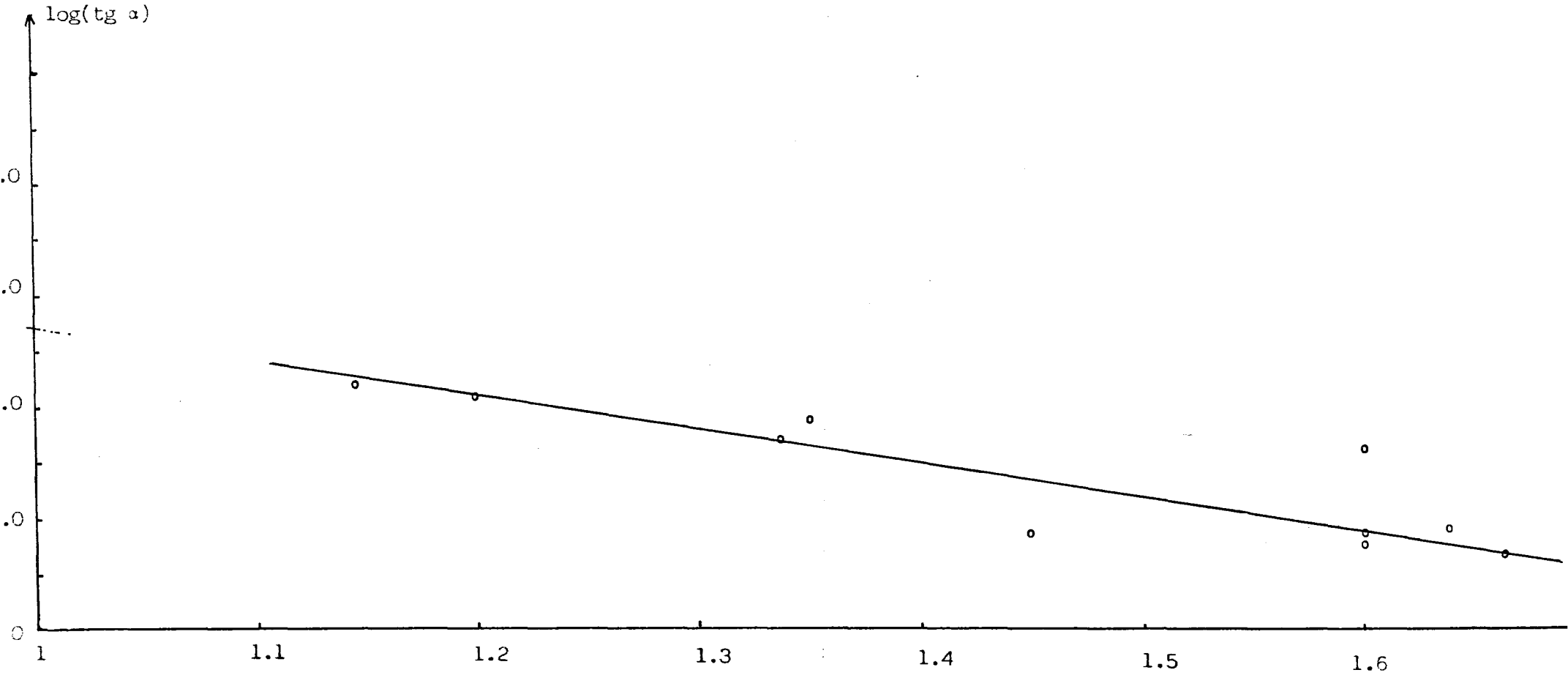
$$A = 0.4 \left[-1 + \frac{k_1}{k_{ort}} \right] \dots\dots\dots (6.3)$$

şeklinde yazılabilir. Buradan hareketle Δh değeri;

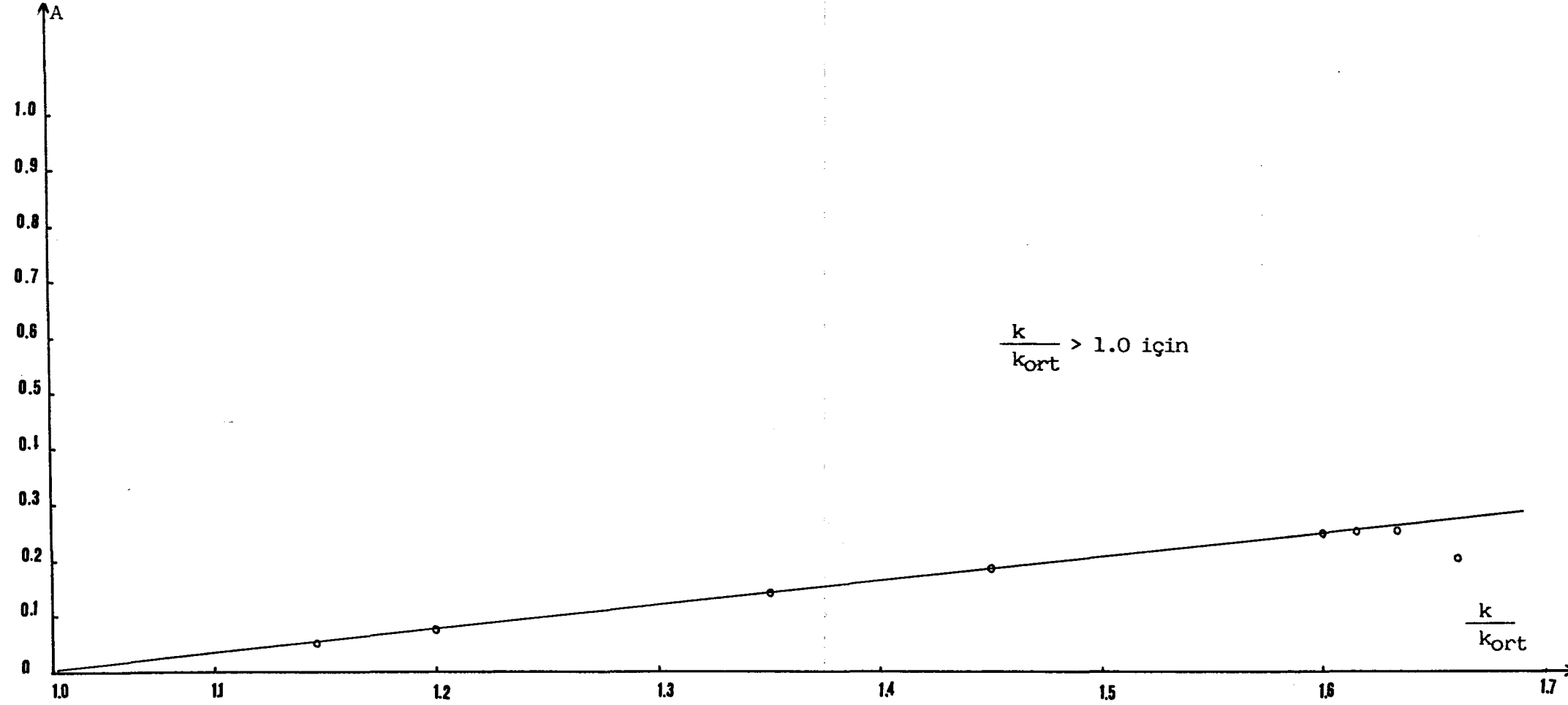
$$\Delta h = A - \left[10 \left[2.70 - 0.645 \frac{k_1}{k_{ort}} \right] \right] \cdot x \dots\dots\dots (6.4)$$

ifadesi elde edilir.

$\frac{k_1}{k_{ort}} > 1.0$ için



Şekil -6.13 : Eğrilerin eğimi ile k/k_{ort} arasındaki ilişki ($k_1/k_{ort} > 1.0$)



Şekil -6.14 : k_1/k_{ort} değerine göre A değeri

6.3.2. $k/k_{ort} < 1.0$ durumu

Eğrilerin eğimi ile k/k_{ort} değeri arasında, yine bir lineer bağıntı Şekil -6.15'te görüldüğü gibi mevcuttur, aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$C_2 = \log (tg\alpha) = 1.25 + \frac{k_2}{k_{ort}} \dots\dots\dots (6.5)$$

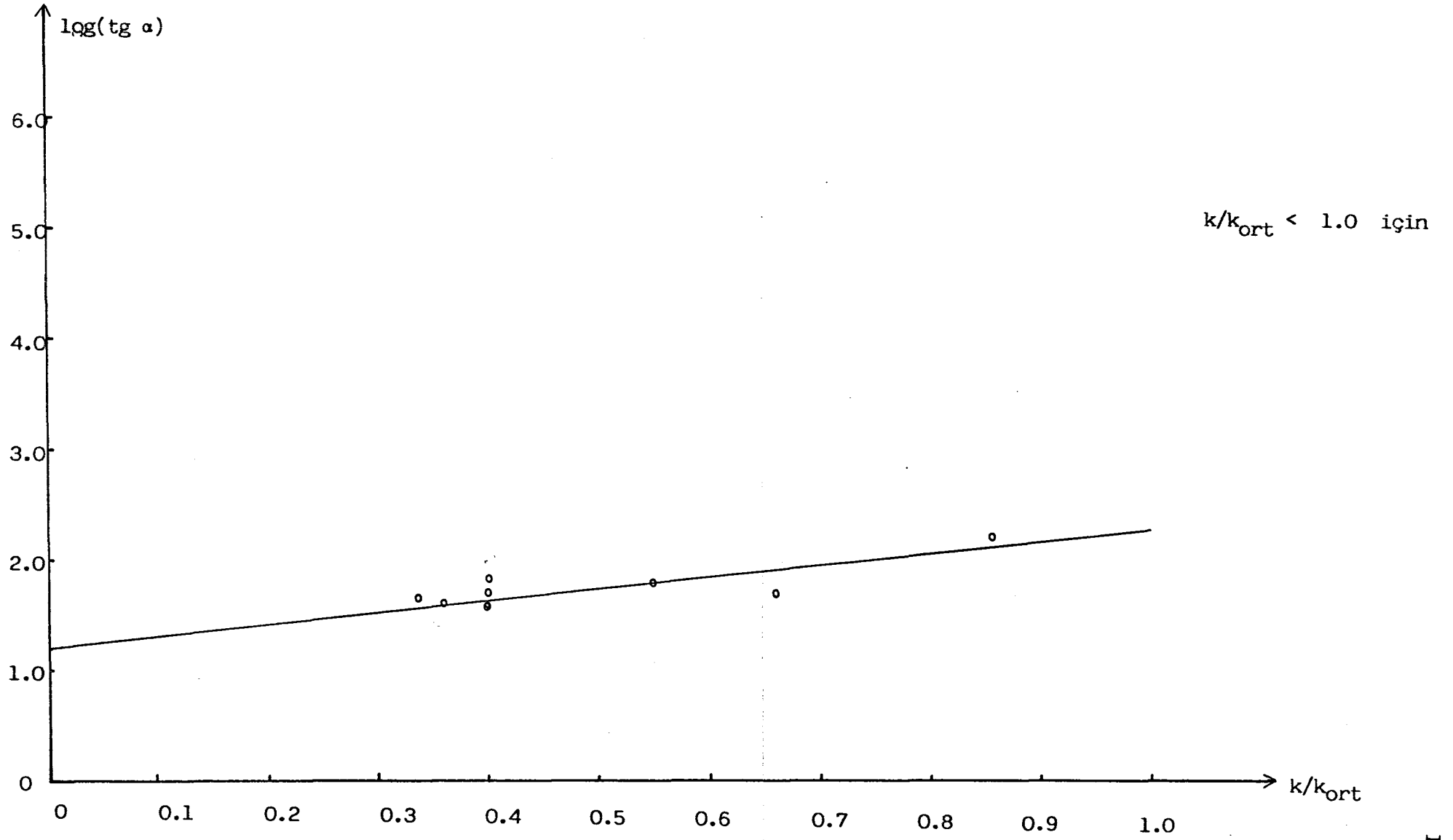
Δh kot farkı ise;

$$\Delta h = B + C_2 \cdot x \dots\dots\dots (6.6)$$

şeklinde yazılabilir. Örneklerin çözümünden B değerinin daima sıfır olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu durumda;

$$\Delta h = \left[10^{-\left[1.25 + \frac{k_2}{k_{ort}}\right]} \right] \cdot x \dots\dots\dots (6.7)$$

ifadesi ile hesaplanabilir.



Şekil -6.15 : Eğrilerin eğimi ile k/k_{ort} arasındaki ilişki ($k_2/k_{ort} < 1.0$)

VII. B Ö L Ü M

SONUÇLAR

Dren aralığının optimizasyonunu amaçlayan bu çalışmadan, elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde şöyle özetlenebilir.

Dren aralıklarının optimum hesabı için yapılan literatür araştırmalarında; bu aralığın hesabına bir çok faktörün etki ettiği görülmüştür. Bölgenin hidrolojik özellikleri, yeraltı su seviyesi, bölgenin topoğrafik özellikleri ile toprağın kimyasal ve fiziksel özellikleri, geçirimsiz tabakanın durumu, ekilecek bitkinin kök derinliği başlıca etki faktörleridir.

Hooghoudt denklemi temel alınarak yapılan hesaplarda; yeraltı su yüksekliği maksimum seviyede alçatmadan sonra iki dren borusunun tam ortasında eğimi sıfır olmaktadır.

Homojen zemin durumunda Darcy eşitliğine bağlı olarak yeraltı su seviyesi sabit olmak şartı ile giren debi, çıkan debiye eşittir. Düşey düzlemde meydana gelen akımda, akım çizgileri dren borusuna doğru birbirine yaklaşmakta, dren borusundan uzaklaştıkça paralel olarak birbirinden ayrılmaktadır. Yeraltı su seviyesi ise parabol şeklinde bir fonksiyonu ifade eder.

Homojen zeminde, dren aralıkları bir çok araştırmacı tarafından yaklaşık olarak birbirine yakın sonuçlar bulmuşlardır.

Homojen olmayan zeminlerde, yani farklı permeabiliteden meydana gelen ve düşey yönde tabakalaşmış zeminlerde ise, k geçirimsizlik katsayısına bağlı olarak yeraltı su seviyesi değişmektedir. Geçirimsizliği az olan zeminlerde yeraltı suyu yükselmekte, geçirimsizliği fazla olan zemin-

lerde ise yeraltı suyu daha çabuk drene olduğundan alçak bir parabol şeklini almaktadır. Bu şartlarda dren aralıklarını etkileyen en önemli faktör zemin geçirimsizlik katsayısıdır.

Dren aralıklarında oluşan akımın, iki boyutlu denklemleri çıkarılıp sonlu farklar metoduyla meydana gelen akımın akım çizgileri çizilmiş, homojen zeminde oluşan akım çizgileri ile homojen olmayan zeminde oluşan akım çizgileri birbirinden farklı olduğu görülmüştür.

Dren borusunun döşendiği zemin bölgesinin geçirimsizliği az ise, homojen zeminde yapılan çözüme göre daha fazla yükselmektedir. Farklı k' lardan oluşan nap yüksekliği ile homojen zemindeki nap yüksekliği birbirinden farklıdır. Homojen zemin durumuna göre, yapılan çözümle elde edilen nap yüzeyi ile homojen olmayan zeminde yapılan çözüm sonucu bulunan nap yüzeyleri arasındaki Δh farklarına bağlı olarak aşağıdaki bağıntılar elde edilmiştir.

$$a) k/k_{ort} > 1.0$$

$$\Delta h = A - \left[10 - \left[2.70 - 0.645 \frac{k_1}{k_{ort}} \right] \right] \cdot x$$

$$b) k/k_{ort} > 1.0$$

$$\Delta h = \left[10 + \left[1.25 + \frac{k_2}{k_{ort}} \right] \right] \cdot x$$

K A Y N A K L A R D İ Z İ N İ

- [1]. Ağırallıoğlu, N., 1977, Sifonlu Şaft Savaklarda Akım durumunun Etüdü ve Başlık Şeklinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası.
- [2]. Ayyıldız, M., Drenaj Sistemlerinde Dren Aralık Formüllerinin Karşılaştırılması Üzerinde Bir Araştırma, A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, Sayı 426.
- [3]. Berkman, İ., 1965, Büzlü ve Düger Borulu Drenaja Ait Metodlar ve Makinalar, Köyişleri Bakanlığı Topraksu Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- [4]. Berkman İ., 1967, Dren Aralıklarının Hesaplanmasına Ait Bazı Nomograflar, Atatürk Üniversitesi Basımevi, Erzurum.
- [5]. Beyazıt, M., 1970, Mühendislik Hidroliği, Dördüncü Hidrolik Kongresi Tutanakları, Arı Kitabevi Matbaası, İstanbul.
- [6]. Çağlarer, B., 1979, Yollarda Yeraltı Suyu Drenajı, T.C. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Yayını, No 238.
- [7]. Çeçen, K., 1963, Dren Tesislerinin Planlanması inşası ve Bakımı için Direktifler, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [8]. Çeçen, K., 1963, Sulama Tesisleri, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- [9]. Demirbaş, S., 1987, Kapalı Drenaj, T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- [10]. Drenaj, T.C. Köyişleri ve Kooperatifler Bakanlığı Topraksu Genel Müdürlüğü, Standart No. St. 1-004-69, Ankara.
- [11]. Ghali, A., and Neville, A.M., 1977, Structural Analysis, Second Edition, Newyork, July.
- [12]. Kapdaşlı, S., 1989, Kurutma Ders Notları, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Anabilim Dalı, İstanbul.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- [13]. Koutitas, G.C., Element Of Computational Hydrolics, U.S.A, Capman and Hall, Newyork.
- [14]. Luthin, J.N., 1965, Drainage Engineering Professor Of Water Sience Civil Engineering University Of California, Jhon Willy Sons, INC. P.P. 149-172 California.
- [15]. Mc Wherter, D.B., and Sunada, D.K., 1977, Ground-Woter Hydrology and Hydraulics, U.S.A., Colorado.
- [16]. Omay, E., 1967, Geçirimli Zeminlerdeki Sıvı Akımını Açıklayan Teorilerin Tenkidi ve Drenaj Hendegi Problemi İçin Çözüm, Doktora Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Basımevi.
- [17]. Savcı, E., 1982, Yeraltı Su Yüzeyinin Permanant Olmayan Alçalması, Doçentlik tezi.
- [18]. Taner, N., 1967, Hidrolik Cilt III I.T.Ü. Kütüphanesi Sayı 965, Çağlayan Basımevi.
- [19]. Tarus, C., 1982, Drenaj, T.C. Köyişleri ve Kooperatifler Bakanlığı Topraksu Genel Müdürlüğü VII. Daire Başkanlığı, Ankara.
- [20]. Topkaya, H., 1974, Teknik Hidrolik, Hidrodinamik ve Hidrostatik, Güven Kitabevi, Ankara.
- [21]. Withers, B., and Vinand, S., 1974, Irrigation Design and Practice.

```

10 INPUT "EKRAM=0 , YAZICI=8 ";A
20 IF A=0 THEN A$="SCRN" ELSE A$="LPT1"
30 OPEN A$+": "FOR OUTPUT AS #1
40 DEFDBL A-H:DEFINT I,J:DEFDBL K-Z
50 PRINT#1, CHR$(15)
60 REM BU PROGRAM SONLU FARKLAR METODU ILE
61 REM YERALTI SUYUNUN AKIM DEGERLERINI HESAPLAR
70 REM H0 MAKSIMUM NAP YUKSEKLIGI
80 REM HL BDRU CAPI VEYA HENDEK ICINDEKI SU YUKSEKLIGI
90 REM L IKI DREN ARASINDAKI MESAFENIN YARISI
100 REM M Y YONUNDE SECILEN DY ARALIK SAYISI
110 REM N X YONUNDE SECILEN DX ARALIK SAYISI
111 READ H0,HL,L,M,N
120 DATA 1,0.1,6,10,12
130 M=M+1:N=N+1:CARP=(H0^2-HL^2)/L
140 DIM M(M),N(N),HJ(N),YA(N),TA1(N),BA(M),XA(M),F(M,N),XI(M),TB1(M),TB(M,N),TA
(M,N),S1(M,N)
150 DY=H0/(M-1):DX=L/(N-1):IR=INT(HL/DY):IR=IR+1
160 PRINT #1,"DX=";DX,"DY=";DY
170 PRINT #1,"h0=";H0,"hL=";HL:PRINT #1,
180 PRINT#1,"J SUT SAY. ";" HER NOK.h DEG. ";" DUSEYDE AR.MIK. ";" TA ORAN"
190 PRINT#1,"===== ";" ===== ";" ===== ";" ====="
200 FOR J=1 TO N
210 HJ(J)=SQR(H0^2-CARP*(J-1)*DX)
220 CA=INT(HJ(J)/DY)
230 YA(J)=HJ(J)-CA*DY
240 TA1(J)=YA(J)/DY
250 PRINT #1,USING"J(##)";J,
260 PRINT #1,USING" hJ(##)=";J;
270 PRINT #1,USING"###.####";HJ(J);
280 PRINT #1,USING" ##.####";YA(J);
290 PRINT #1,USING" ##.####";TA1(J)
300 NEXT J
310 IF DY>HL THEN 320
320 PRINT #1,:PRINT #1,:PRINT #1,
330 PRINT#1,"ISAT SAY ";" X HER NOK.UZAK ";" YATAY AR.MIK ";" TB ORAN"
340 PRINT#1,"===== ";" ===== ";" ===== ";" ====="
350 FOR I= 2 TO M-1
360 IF (I-1)*DY<HL OR (I-1)*DY=HL THEN XI(I)=L :GOTO 410
370 XI(I)=(H0^2-((I-1)*DY)^2)/CARP
380 BA=INT(XI(I)/DX)*DX
390 XA(I)=XI(I)-BA
400 TB1(I)=XA(I)/DX
410 PRINT #1,USING"I(##)";I,
420 PRINT #1,USING" XI(##)=";I,
430 PRINT #1,USING"###.####";XI(I),
440 PRINT #1,USING" ##.####";XA(I),
450 PRINT #1,USING" ##.####";TB1(I)

```

```

460 NEXT I
470 FOR I=2 TO M
480 FOR J=2 TO N
490 X=(J-1)*DX:Y=(I-1)*DY
500 IF X=XI(I) THEN TB(I,N)=TB1(I):F(I,J)=.5
510 IF DY<=HL THEN TA(I,N)=TA1(J):F(I,J)=.5
520 IF X=XI(I) AND DY=HL THEN F(I,J)=.5:TB(I,J)=TB1(I):TA(I,J)=TA1(J)
530 IF (J-1)*DX>XI(I) THEN F(I,J)=1
540 TA(I,J)=1:TB(I,J)=1
550 IF X>XI(I) AND (X-XI(I))<DX THEN TB(I,J-1)=TB1(I):F(I,J)=1
560 IF Y>HJ(J) AND (Y-HJ(J))<DY THEN TA(I-1,J)=TA1(J):F(I,J)=1
570 IF I=IR AND J=N THEN F(I,J)=1:TB(I,J)=TB1(I):TA(I,J)=TA1(J)
580 IF F(I,J)<>1 THEN F(I,J)=.5
590 NEXT J
600 NEXT I
610 F(M,1)=1
620 PRINT #1,:PRINT #1,
630 FOR I=2 TO M
640 FOR J=2 TO N
650 IF TA(I,J)=1 AND TB(I,J)=1 THEN 670
660 PRINT #1,USING"F(## , ##)=##.## TA(## , ##)=##.##### TB(## , ##)=##.##
####";I,J,F(I,J),I,J,TA(I,J),I,J,TB(I,J)
670 NEXT J
680 NEXT I
690 PRINT #1,:PRINT #1,
700 FOR J=1 TO N:F(I,J)=0:NEXT J
710 FOR I=2 TO M-1
720 F(I,1)=2*F(I,2)-F(I,3)
730 NEXT I
740 IF DY=HL OR DY>HL THEN 780
750 FOR I=2 TO IR
760 F(I,N)=2*F(I,N-1)-F(I,N-2)
770 NEXT I
780 FOR I=2 TO M-1
790 FOR J=2 TO N-1
800 IF F(I,J)=1 THEN 870
810 A=TB(I,J)*F(I,J-1)+F(I,J+1)
820 B=(TB(I,J)*(1+TB(I,J))) : 'PRINT #1,TB(I,J);(1+TB(I,J));B
830 C=(F(I+1,J)+TA(I,J)*F(I-1,J)): 'PRINT #1,F(I+1,J);TA(I,J);F(I-1,J);C
840 D=(TA(I,J)*(1+TA(I,J))) : 'PRINT #1,TA(I,J);(1+TA(I,J));D
850 E=(TA(I,J)+TB(I,J))/(TA(I,J)*TB(I,J)): 'PRINT #1,TA(I,J);TB(I,J);E
860 F(I,J)=(A/B+C/D)/E : 'PRINT I,J,F(I,J)
870 NEXT J
880 NEXT I
890 FOR I=2 TO M
900 FOR J=2 TO N
910 IF ABS(S1(I,J)-F(I,J))>.00001 THEN ITER=ITER+1:PRINT"ITER SAY=";ITER :GOTO 9

```



```
920 NEXT J
930 NEXT I
940 GOTO 1020
950 FOR I=2 TO M
960 FOR J=2 TO N
970 S1(I,J)=F(I,J)
980 NEXT J
990 NEXT I
1000 GOTO 710
1010 PRINT #1,:PRINT #1,
1020 PRINT#1, "ITERASYON SAYISI";ITER
1030 PRINT#1, "*****"
1040 PRINT #1,
1050 PRINT #1,"I SATIR ", "J SUTUN", "F(I,J) ISE I,J'KI DEGERI"
1060 PRINT #1, "=====", "=====", "====="
1070 FOR I=1 TO M
1080 FOR J=1 TO N
1090 IF I=M AND J=1 THEN F(I,J)=1:GOTO 1110
1100 IF F(I,J)=1 THEN 1130
1110 F(I,J)=F(I,J)
1120 PRINT#1, I,J,F(I,J)
1130 NEXT J
1140 NEXT I
```