

DOLGU BARAJLAR⁽¹⁾

- I -

Yazan :
Prof. G. SCHNITTER
ETH, Zürich

Çeviren :
Mehmet YAVAŞ
Y. Müh.

GİRİŞ

Kullanılan yapı malzemesine göre barajlar: Beton barajlar ve (toprak veya kaya = taş) dolgu barajlar diye adlandırılır. Aşağıda dolgu barajlar, sıkıştırılmış toprak veya kaya dolgu barajlar hakkında izahat verilecektir.

Amerika Birleşik Devletlerinde (USA) son on yılda yapılan barajların % 75'inin dolgu baraj ve % 25'inin beton baraj olduğu düşünülürse dolgu barajların ehemmiyeti anlaşılır. Gelecekte de dolgu barajlar daha çok inşa edilecektir. 1950'den sonra memleketimizde inşa veya ihale edilmiş 13 barajdan dördü beton, dokuzu dolgu barajdır.

TATBİKAT

Beton barajlar sağlam kaya temel icap ettiği halde dolgu barajlar gevşek kaya üzerine, hattâ gerekli tedbirler alınmak şartıyla geçirimsiz zemin üzerinde dahi inşa edilebilir. Ağırlık veya kemer barajları oturacak müsait kaya şartlarını haiz yerler dağlık bir memleket olan İsviçre'de bile nadirdir. Dolgu barajların geçmişte ve gelecekte tatbiki için bu yegâne sebep olmamakla beraber mühim bir sebeptir. Kayalık zemin (temel) bizatihi bir beton baraj inşasını mümkün kılarsa bile dolgu baraj muayyen hallerde daha ekonomik düşebilir; bir taraftan topoğrafik şartların bir beton baraj inşasına müsait olmayışı, diğer taraftan dolgu için baraj yeri civarında müsait malzemenin mevcudiyeti bunun için mucip sebeplerdir. Keza burada da diğer mühendislik meselelerinde olduğu gibi her hal kendi başına mütalâa edilmeli, mukayeseli iktisadilik hesapları yapılarak muhtelif beton ve dolgu baraj tipleri arasında en uygun olanı bulunmalıdır. Bu yapılırken bittabi baraj inşası yanında diğer tâli inşaatları da, -bilhassa sızıntıların ve taşkınların tahliyesi de, mukayeseye ithal edilmelidir. Zira bir toprak barajın feyezan sularının akıtılmasında aranacak şartlar bir örme veya beton barajınkinden çok daha ehemmiyetli ve ileridir. Bu ise ifadesini şu şekilde bulur: Dolgu barajın su seviyesi üzerinde kalan kısmı (serbest bordosu) yani, baraj üst kotu (kreş) ile âzami göl seviyesi farkı dolgu barajlarda (3-4 m), örme barajlara (1-1,5 m) nazaran daha yüksek ve dolu sa-vağın ebatlandırılmasında esas alınan feyezan mikta-

Bu yazı COURSE D'EAU ET ENERGIE dergisinin 1956 Şubat ve Temmuz/Ağustos/Eylül sayılarından tercüme ve memleketimizle ilgili birkaç cümle ilâve edilmiştir.

rı dolgu barajlarda, beton barajlara nazaran daha büyük seçilmek icap eder. Feyezan hiç bir zaman dolgu barajı aşmamalıdır; çünkü o takdirde baraj yıkılır.

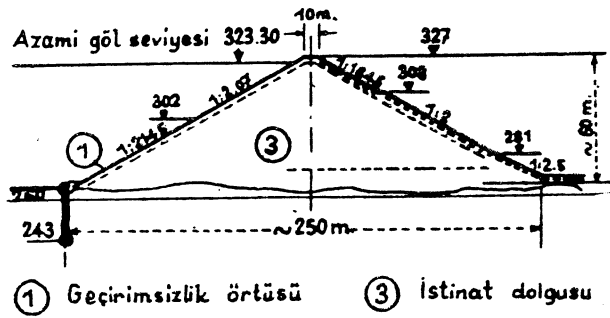
Dolgu barajın beton baraja iktisaden üstün olması için bugünkü fiyat şartlarına göre dolgu baraj m³ fiyatının beton baraj birim fiyatının beşte bir veya altıda birinden daha düşük olması lâzımdır. Şunu ilâve etmek mümkündür: Toprak kazma, nakil ve sıkıştırma vasıtaları, daha umumi olarak, toprak inşaat makinelerinin İkinci Cihan Harbi ve ondan sonraki zamanda geçirmiş olduğu inkişaf dolayısıyla dolgu baraj maliyetleri çok az artmış olmasına mukabil beton inşaat fiyatları artmış olup bu da dolgu barajların lehine kaydedilecek bir husustur. Bu husus gerek Bureau of Reclamation (USBR), gerekse Corps of Engineers'in fiyat istatistiklerinde esassh ve açık olarak görülmektedir.

Nihayet dolgu baraj inşaatını teşvik eden esaslı ve üçüncü bir sebep de zikredilmelidir. Evvelce bir dolgu baraj sadece tecrübelerle dayanılarak tayin ve inşa edilirken ve bu yüzden bazı beklenmedik haller doğarken bugün, henüz başlangıcında olduğumuzu ilâve etmemiz icap eden zemin mekaniği sayesinde temel ve dolgu malzemesinin fiziki ve fenni hususiyetlerini tetkik ederek bir dolgu barajın tayini, inşai şekli ve inşası ilmi esaslara göre yapılabilmektedir. Bir toprak veya kaya (taş) dolgu baraj; bugün arazide lâboratuvar ve resim masasında beton inşaatından daha az emekle yapılmıyan bir mühendislik işi olmuştur; USA istatistiklerine göre yeni metodlarla inşa edilmiş dolgu barajlarda umumiyetle gayet ehemmiyetsiz hasarlar müşahade edilmiştir.

DOLGU MALZEMESİ VE TEMEL ETÜDLERİ

Her baraj yeri seçilmeden önce etraflı topoğrafik, jeolojik, petroğrafik ve hidroğrafik etüdlar yapılmalıdır, ki burada bunların tafsilatına girilmeyecektir. Buna mukabil dolgu barajlar için tipik olan etüdlere işaretil edilecektir, ki bunların ehemmiyet ve vüs'at ve dolayısıyla maliyetleri hakkında hâlâ yanlış görüşler mevcuttur. Bir dolgu baraj için:

- Barajın en uygun yeri tesbit edilmeden önce plan-kote ve kesit bakımından;
- İnşaat için olgunlaşmış projenin hazırlanması sırasında müteakbil hesaplar, mümkün olan büyük çapta ilâve tecrübelerle en mühim zemin katsayılarının tesbiti;
- İnşaat esnasında malzemenin hakiki özelliklerinin devamlı kontrolü ve tatbik edilmekte olan inşa metodu muvacehesinde malzemenin durumu ve bu me-



Şekil 1. — Su yüzünde geçirimsiz kaplamalı dolgu baraj.

todun adaptasyonu bakımından;

-- Ve keza inşaat bittikten sonra şekil değiştirmelerin (oturmaların) kontrolü, boşluk suyu gerilimlerinin ve zâti ağırlık ve su basıncı altında muhtemel sızmalar bakımından arazide ve lâboratuvarda etraflı etüdler yapmak zaruridir.

Bu etüdlerin yapılması, nezareti, kıymetlendirilmesi ve mânalandırılması için zemin mekanizminde yetişmiş personele ihtiyaç vardır. DSI'nin baraj şantiyelerinde birer arazi lâboratuvarı bulunur. Şimdi Ankara'da bir Merkez Lâboratuvarı kurulmuş olup bu tesis memleket çapında büyük bir ihtiyaca cevap verecektir.

Mevzuu ilgilendiren bütün fiziki ve fennî hususiyetler ile bunların bir toprak barajın hususiyetlerine olan tesirleri ve keza çeşitli araştırma metodları hakkında bu dar çerçeve içersinde umumi bir fikir vermek bile imkânsızdır. Sadece hepsinden mühim olan, bir toprak barajın stabilite ve geçirimsizliğini tâyin eden değerleri sayalım. Özgül ağırlık ve dane terkininin (granülometri) yanında bunlar bilhassa makaslama mukavemeti, sıkışma ve "k" geçirimsizlik (permeabilite) katsayısı ile keza boşluk suyu basıncıdır. Özgül ağırlık ve granülometri bilinen mefhumlardır. Bir malzemenin makaslama mukavemeti onun içsel sürtünme açısı ve kohezyonuna tâbidir. Bunun için şekli bir münasebet olarak Koulomb kanunu geçer.

$$s = c' + (\sigma_n - u) \tan \varphi'$$

s = Makaslama mukavemeti kg/cm²

σ_n = Toplam normal gerilme

u = Boşluk suyu basıncı

c = Kohezyon

φ = İç sürtünme açısı

Görülebileceği üzere makaslama mukavemeti boşluk suyu basıncına büyük çapta tâbidir. Her gevşek taş, katı madde ve boşluklardan müteşekkildir. Bunlar kısmen su kısmen hava ile doludur; hakikatte çok nadir olan bir durum tam doyma (işba) halidir ki bütün boşluklar su ile doludur. Mevzuubahis basınçlarda su gayri kabili tazyiktir; hava ise kabili tazyiktir; buna göre zeminde su ve hava sıkıştırılabilen bir karışım

teşkil eder. Bu karışımın basınçlar başlıca üç sebepten ileri gelir:

1. Sızmalardan dolayı: Su altında gevşek bir kayanın hidrostatik kaldırmaya maruz bulunduğu bilinen bir husustur, su kadar ki su sükûnette veya ilâve bir akıntıya maruz bulunsun.

2. Konsolidasyon neticesinde: Gevşek bir kaya kütlesi devam eden dolgu ile ilâve olarak yüklendiğinde, yeni yükün altında bir oturmaya maruzdur. Katı madde gayri kabili tazyik ve fakat boşluklardaki hava ise sıkışabildiğinden bu yeni yük ilk anda boşlukları dolduran su - hava karışımı tarafından kabul edilir ve binnetice bu karışım bir tazyike, "boşluksuyu gerilim" e maruz kalır. Bu dahili basınç altında karışım yer değiştirmek ister. Şayet zeminin geçirimsizliği büyük ise bu hâdise çabuk gelişir; geçirimsiz (bağlayıcı) zeminde ise bu olay, yani "konsolidasyon" uzun zaman, yıllarca devam eder. Bu esnada herhangi bir noktada konsolidasyon sadece geçirimsizliğe tâbi olmayıp aynı zamanda suyun serbest çıkışına kadar katedeceği yola da tâbidir (sızma yolu uzunluğunun karesi ile tabiiyet). Dolgunun ilerleyişi, yani ağırlığın artımı, hususiyle bugünkü tempoda, boşluk suyu basıncının yavaş gelişen yokoluşuna ve bu basıncın katı maddenin dâne yapısına aktarılmasına nisbetle çok çabuk inkışaf etmektedir.

Boşluk suyu basıncı "u" oldukça yüksek değerler alabilmekte, hattâ hâd şekli olarak âzami gerilim,

σ_n normal gerilmeye eşit

olabilmektedir ki, bu takdirde makaslama mukavemeti ancak kohezyona eşit yani çok küçük olmaktadır. USBR (United States Reclamation Bureau) kaba bir tahmin olarak geçirimsiz kısmın kenarında bu âzami gerilimin 2/3, si, ve hava yüzü kenarında da 1/3, ini kabul etmektedir. Boşluk suyu basıncı gerilimleri lâboratuvarda nümuneler üzerinde doğrudan doğruya ölçü veya ölçme ve hesaplama suretiyle tecrübi olarak elde edilebilir.

$$\Delta V \text{ Ödometrede } \sigma_0 = P_0 \text{ dan } \sigma$$

ya yüklenen bir nümunenin hacim değişimi;

Va Tecrübeye başlamadan önce nümune içersindeki hava hacmi;

Vw Tecrübeye başlamadan önce nümune içersindeki su hacmi;

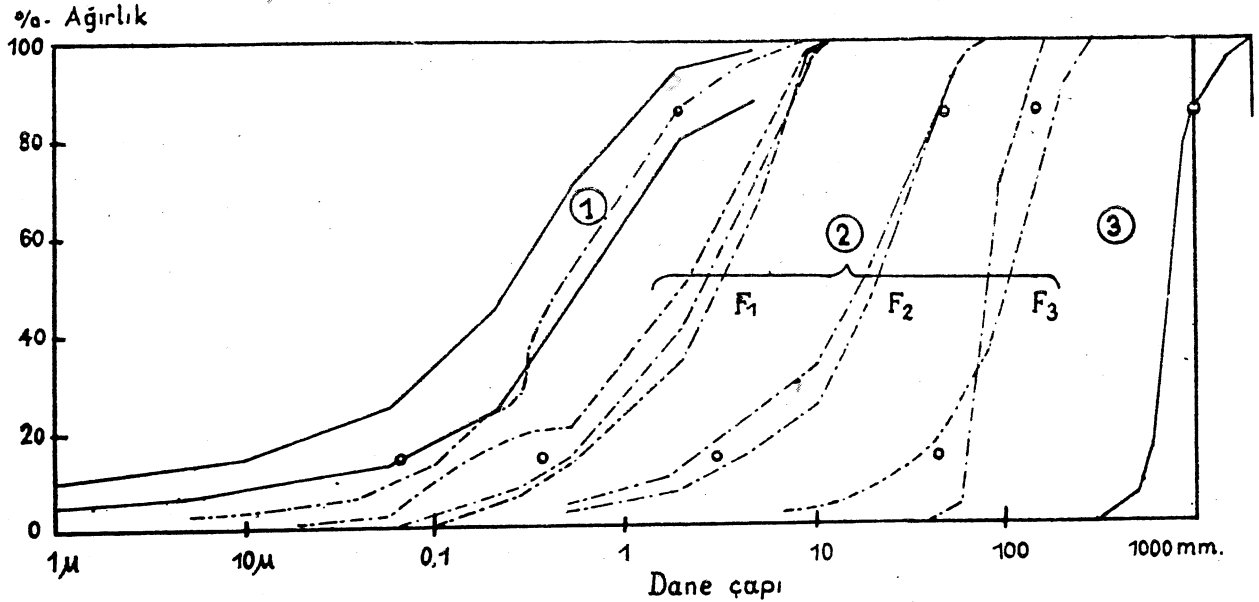
j Suda ne miktar havanın erimiş olduğunu gösteren Henry sabitesi (j = 0,02)

olarak gösterilirse Boyle - Mariott Kanununa göre ve Henry Kanunu da (Erimiş suyun hacmi basınca tâbi değildir) göz önünde bulundurularak

$$u = \frac{P_0 \cdot \Delta V}{V_a + j V_w - \Delta V}$$

denklemini çıkar; tam doyma halinde V = Va olacağından

$$u = \frac{P_0 \cdot V_a}{j \cdot V_w}$$



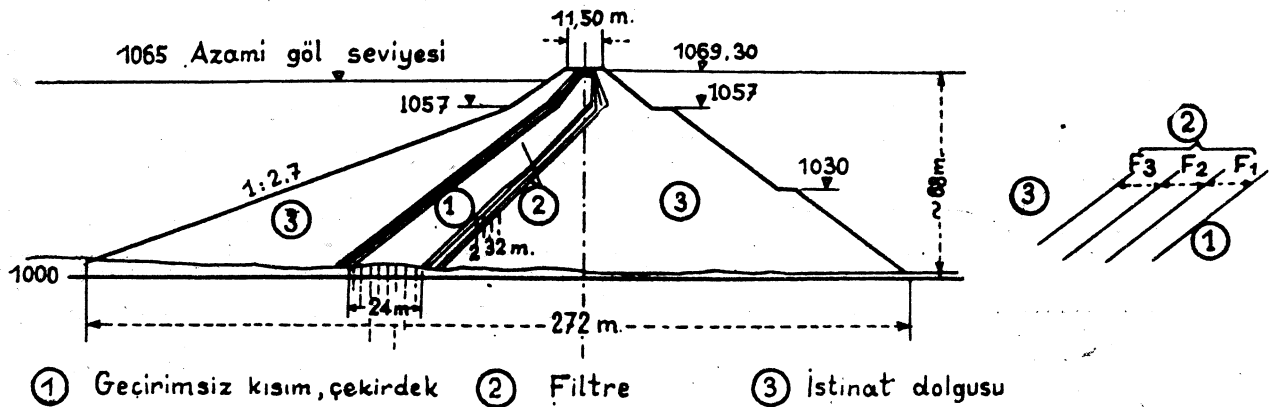
Şekil 4. — Şekil 3'e ait granülometri eğrisi

makta) yapılan dolgu barajlar yerine şimdi hemen hemen istisnasız olarak kısımlara ayrılmış maktada yapılmaktadır. Dolgu malzemesi olarak (umumiyetle ve yanlış olarak "toprak") kum, mil, taş ve plâstik olmayan kil kullanılabilir; yeter ki bunlar organik karışımlar ihtiva etmesin; humus; torf ve fazla plâstik kil elverişli değildir.

Geçirimsiz kısım baraj gövdesi dahilinde çekirdek olarak su tarafında şakuli veya eğik surette veya hut Geçirimsiz yüzey (Demirköprü'de olduğu gibi) olarak tanzim edilebilir. Bunun durumu evveleminde baraj kesitinin mütebaki şeklini tâyin eyler.

Şekil — 1'de istinat dolgusu kum - çakıl ve taştan yığılmıştır (Taş dolgu baraj). Beton levhalar, demirli beton (Kuzey Afrika'daki kaya dolgu barajlar), bitümlü beton (Ruhr Baraj Birliğindeki yeni barajlar) dan müteşekkil geçirimsiz diyafram, filtre (süzgeç) olarak teşkil edilen bir tabaka ile su yüzünde istinat dolgusuna oturur (Şekil — 2). Bu hal tarzı su

tarafındaki baraj topuğunun kaymaya karşı emniyet-te olmasını icap ettirir. Faydası, hava yüzü dolgusunun tamamen istinat dolgusu olarak yığılmasını ve bu sevin daha dik olarak teşkiline imkân vermesidir. Geçirimsizlik cidarı bir yandan harici tesirlerle zedelenmeye maruz, öte yandan kolay ulaşılabilir ve bu yüzden tamire gayet müsait durumdadır. Fazla olarak bu bitümlü b.tondan iki katlı bir cidar olarak teşkil edilebilir ve iki katın arasına bir su tahliye tabakası yerleştirilebilir; bu tabaka bir su tahliye sistemi ile irtibatlandırılır ve böylece dayanıklı bir sızdırmazlık cidarı temin edilebilir. Ruhr havzasındaki yeni inşaatlarda 60 metreye kadar hazne yüksekliklerinde gayet iyi neticeler elde edilmiştir. Askeri taarruzlar karşısında kolayca zedelenmesi hasebiyle bu hal tarzı resmi makamlar tarafından kabul edilmiyerek kum ve çakıl ve kırma taştan kalın bir tabaka ile kaplanması talep edilmektedir, ki bu hem direkt hem de indirekt olarak maliyetin yükselmesini intaç etmektedir. Su yü-



Şekil 5. — Kademeli filtre ve eğik çekirdekli dolgu baraj.

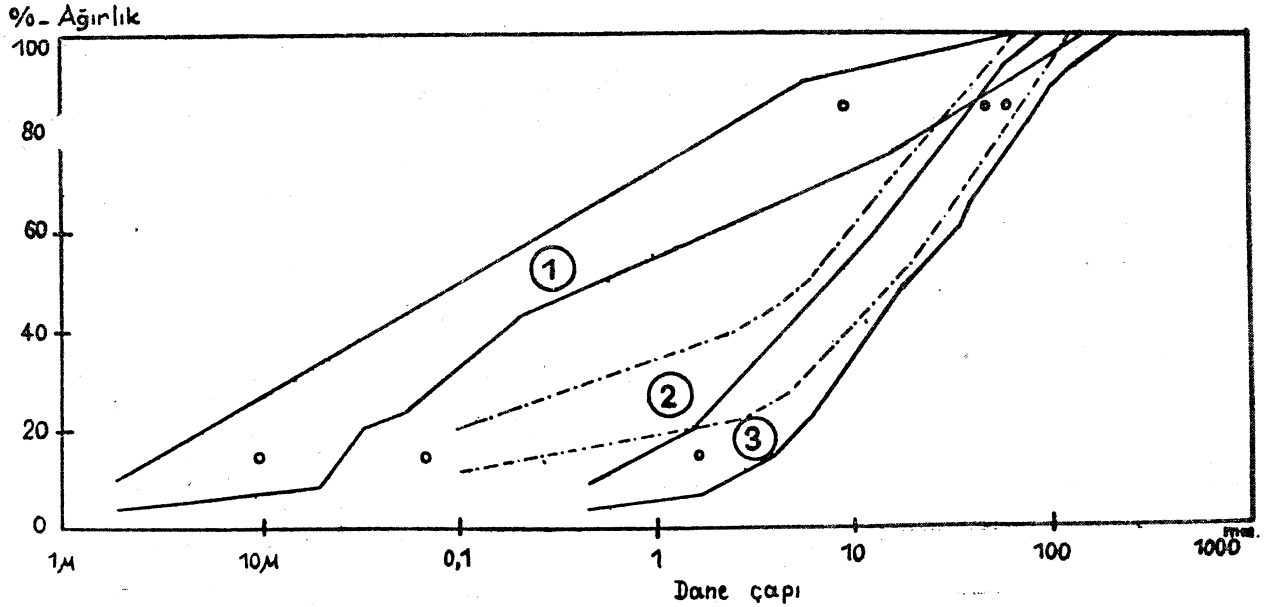
zû kaplaması olmasa, şevin meyli sadece inşai sebeplerle tahdit edilmiş olup 1 : 1,5 değerine kadar yükseltilebilirdi; kaplama konunca meyil öyle seçilmelidir ki hiç bir suretle kaplamanın kayması mevzu bahis olmasın ve bu da zemin mekanığı özellikleri bakımından oldukça yatık şevleri icap ettirebilir.

Şekil — 3'te baraj mihverine simetrik olarak baraj içi geçirimsizliğinin nasıl tanzim edildiği görülmektedir. Dolgunun su tarafındaki yığılması mümkün mertebe geçirimli malzemeden, hususiyile su yüzü sevi yakınındaki dolgu geçirimli malzemeden müteşekkildir. Su yüzü sevi, dolgu darbesi ve âni olarak alçalan su seviyesinden mütevellit dahili erozyona karşı yeteri kadar sağlam blok malzeme (rip - rap) ile korunur. Hava tarafındaki yığma istinat gövdesini teşkil eder; su basıncını yalnız bu taşır. Bunun hava tarafındaki sevi yağmur ve kar tesirlerine karşı kaplanmalı yahut çim veya münasip nebat örtüsüyle korunmalıdır. Bu halde dahi çekirdek (dolgu) ile taşıyıcı dolgu arasında bir süzgeç (filtre) tabakasının

gün çekirdek malzemesinin bol olduğu zaman mevzu bahis olur.

SIZDIRMAZLIK (GEÇİRİMSİZLİK)

Mümkün tipler bu şekilde karakterize edildikten sonra sızdırmazlığın icrasının ehemmiyeti kolayca görülür. Satih sızdırmazlığı için bugün ön plânda bulunan malzemeler (teçhizat) yukarıda belirtildi. Ekseriya dahili sızdırmazlık için şunlar kullanılmaktadır: Palplanş halinde demir, ahşap, beton, betonarme ve bağlayıcı malzeme (kil.) Ahşap ve demir kısa zamanda terk edilmiştir; son zamanda beton ve betonarme diyafram taraftarları da, meselâ İsveç'te kaya doğu barajlarda (Harspranget) kullanıldığı üzere, biraz şüphe etmektedirler. Rijit beton duvar, keza ince, sağlam bir şekilde demirlenmiş, derzlerle bölünmüş betonarme duvar, (perde) da sızıntıya karşı yeteri kadar emniyet bahşetmemektedir. İstinat dolgusundaki deformasyonlar o kadar gayri mütecanis ki perdenin hesabına esas alınacak kuvvetler gereği gibi toparlanamamakta ve bu yüzden ister istemez çatlamalar ol-



Şekil 6. — Şekil 5'e ait granülometri eğrisi

tanzimi esastır (Şek. 4). Ve çok defa malzemenin yıkanıp sürüklenmesini önlemek için su yüzü dolgu ile çekirdek arasına da bir filtre düşünmek mühimdir. Bu hal tarzı diyaframın münasip şekilde yüklenmesini ve deformasyonunun mümkün mertebe muntazam olmasını sağlar, buna mukabil büyük kütleleri icap ettirir? Çünkü dolgunun su tarafındaki kısmı taşımaya iştirak etmez. Sızdırmazlık diyaframı, bilâhare gayri kabili müşahade bir hale gelir.

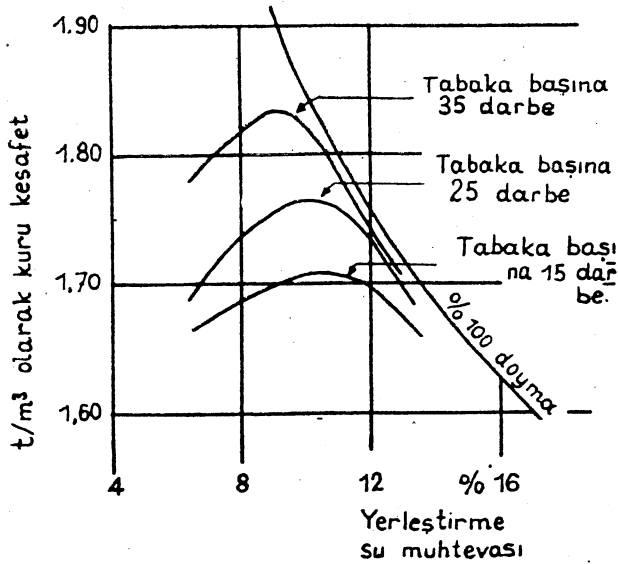
Şekil — 5'teki tipte geçirimsiz diyafram toprak malzemeden müteşekkil olup su tarafına doğru meyilidir; bu suretle diyaframın sathı büyümekle beraber dolgunun müessir kısmı da arttırılmış olur. Bunun deformasyonları gayri kabili rüyet olabilir. Bu hal tarzı, çekirdeğin kalın inşa edilebilmesi bakımından uy-

maktadır.

Bu sebeplerden dolayı geçirimsizlik tercihan bir "çekirdek" ile sağlanır; çekirdeğin mümkün mertebe killi olarak, moren, saf kil veya harici tesirlerle iyice ufalanarak kaolinleşmiş (tahallül etmiş) granit gibi sızdırmaz, bağlayıcı toprak malzemesinden yapılması lâzımdır. Darcy'ye göre âzami sızdırmazlık em-

salı $k \leq 10^{-6}$ cm/sn olmalıdır. (-Baraj kesitle-

rinin mütecanis (homogen) olması halinde $k = 10^{-4}$ ilâ 10^{-5} cm/sn'ye inilebilir-). Çekirdek mümkün olduğu kadar mütecanis bir kütleden müteşekkil olmalıdır. Gerek çekirdek içerisinde gerekse çekirdeğin temel ve yamaçlarla birleşim yerlerinde potansiyel sızma kanalları bulunmamalıdır; çok fazla oturmağa mü-



Tokmağın düşme yüksekliği 25cm
Tokmak ağırlığı 2,5 Kg.

Standard

Proctor - Deneyi:

(Numune çapı 10 cm)

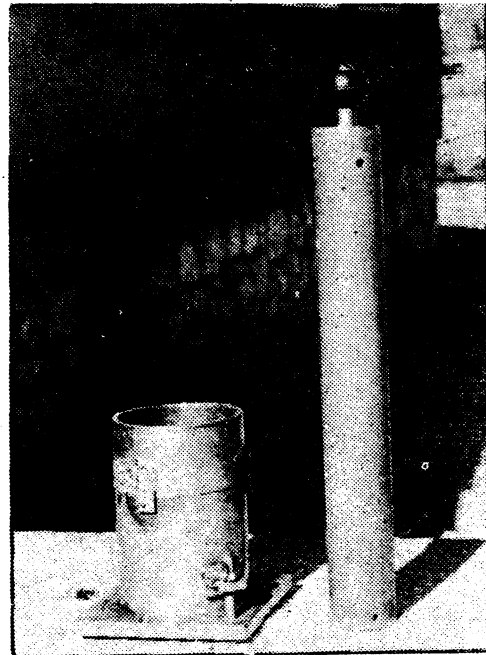
Şekil 7. — Proctora göre sıkıştırma kabiliyetinin tecrübesi.

sait ve hassas olmamalıdır; makaslama mukavemeti iyi olmalıdır; tane büyüklüğü mümkün mertebe 100 ilâ 120 mm'den küçük ve ufak tanelerin nisbeti fazla olmalıdır. Bu evsafıta malzemenin bulunamadığı dağlık bölgelerde çekirdek malzemesinin kumdan tam veya betonit ile suni olarak imalının mümkün olup olmadığına bakmak lazımdır; yahut diğer plâstik bir malzemenin meselâ bitumen betondan bir diyaframın imali düşünülmelidir. Bitumen beton Portland çimentosu betonuna nazaran farklı evsaf arzeder. Birkaç yıl önce Resia Barajının inşasında çekirdek malzemesini geçirimsiz yapmak için betonit ilâve edilmiştir; Göscheneralp'de başlanan bir kaya dolgu barajın çekirdek malzemesinin hazırlanmasında Opalinuston kullanılmaktadır. Çekirdek sıklığının tesbitinde birbirini nakzederek iki lâzimeyi telif eylemek icap etmektedir. Şöyle ki: Çekirdek malzemesi ne kadar sıkı olursa sızdırmazlığı o nisbette fazla olacağından sıkı olması arzu edilir; buna mukabil makaslama mukavemeti ekseriya az ve boşluk suyu basıncı o nisbette çok olacağından arzu edilmez. Çekirdek malzemesi tabakalar halinde yerleştirilir, tabakaların kalınlığı sıkıştırma teçhizatına, malzemenin evsafına tâbidir. Her tabaka geniş veya dar uçlu keçi ayağı -veya lâstik- tekerlekli silindirlerle sıkıştırılır. Tabaka kalınlığı ve silindirin geçiş sayısı inşaat mahallinde yapılacak tecrübelerle tesbit edilir.

Mühim bir husus yerleştirme sırasında malzeme-

nin su muhtevasıdır; bu: Muayyen bir nümunedeki suyun ağırlığının aynı nümunenin kuru kesafet nisbetinin yüzde olarak ifadesi demektir. Zira muayyen bir sıkıştırma programında âzami kesafet, optimal tâbir edilen muayyen bir su muhtevasında elde edilir. Kâşifine izafetle "Proctor Eğrisi" tâbir edilen ve su muhtevasıyla kesafet arasındaki münasebeti gösteren bu eğri her malzeme için çok tipiktir. Fakat tecrübe şartları, meselâ sıkıştırma programı değişirse bu eğrinin değişeceğine dikkat etmek lazımdır (Şek. 7 ve 8). Kuru kesafet en büyük olduğu zaman zeminin boşluk suyu basıncı en az olacaktır, yani katı maddenin en sıkışık bir şekilde yerleşmesi vukubulacaktır ki bunun neticesinde daha büyük bir makaslama mukavemeti ile suyu geçirimsizlik ve keza daha az oturma hassasiyeti elde edilir (iyi sıkıştırılmış barajlarda dolgu yüksekliğinin % 1 kadar şakuli oturmalar). Pratik mülâhazalarla, Proctor eğrisi ile elde edilen optimal su muhtevasına nazaran muayyen bir tolerans kabul edilir. Bu mevzuda iki ayrı nokta nazar ortaya çıkmıştır. Bilhassa Reclamation Büro (USBR) tarafından temsil edilen bir tanesi optimal su muhtevasından bir miktar daha (% 1-3) az su ile yerleştirmeyi müdafaa eder. Bu teknik herşeyden önce büyük boşluk suyu basınçlarının teşekkülünü önleyecek ve fiiliyatta daha yüksek su muhtevası ile çalışma rizikolarını azaltacaktır. Corps of Engineers tarafından temsil edilen diğer nokta nazar optimalden bir miktar daha fazla su muhtevasıyla yerleştirmeyi müdafaa eder. Böylece muhtemel yarıma tehlikesi, oturmalar v.s. önlemek istenir ki bilhassa plâstisitesi yüksek saf killi toprak çekirdekler için ehemmiyeti haizdir.

(Gelecek sayıda b. tecek.)



Şekil 8. — Standard sıkıştırma kalıbı ve çekici (Demirköprü)