

Sürüntü ve Muallâk Maddelerin Baraj Göllerinde Yığılması Olayı ve Dip Savakların Tesiri

Yazan :
Necati ENGEZ
Ord. Prof. Dr. Yük. Müh.

Ö Z E T

Memleketin ekonomik hayatında önemli bir yatırım konusu teşkil eden barajların gerisinde teşekkül eden sun'î göllerin, buraya gelen akar suların taşıdığı sürüntü ve muallâk maddelerin çökelmeleri ile, hacimlerinden her yıl bir miktar kaybetmeleri, bunların ömürlerinin mahdud olmasını icabettirmektedir. Bu itibarla barajdan mümkün olduğu kadar fazla faydalanmak için, baraj ömrünün imkân nisbetinde uzatılmasına çalışılır.

Bu yazıda sun'î göllerin yığıntı maddesi ile dolmalarının ekonomik durumu belirtildikten sonra bu dolmalara sebep olan sürüntü ve muallâk maddelerin nasıl meydana geldikleri izah edilmiştir. Bu hususta başlıca âmül olan erozion miktarlarını fâyetin ve tahmin usulleri gösterilmiş ve baraj projelerinin hazırlanması esnasında, sun'î göllerin ömürlerinin tahmini hususunda göz önünde tutulacak kriteriumlar belirtilmiştir. Baraj hazinesi tabanında mümkün mertebe az miktarda yığıntı maddesi toplanması için miyahî havza da erozionu azaltacak tedbirler ve hazine menba tarafında çökelme bölgeleri ihdası cihetleri gösterilmiştir.

Sürüntü ve muallâk maddelerin baraj hazinesi tabanında yığılma şekilleri, yoğun akım teşekkülü izah edilmiş, yoğun akım hareketi hakkındaki düşünceler ve hareket denklemleri gözden geçirilmiştir.

Baraj hazinesindeki yığıntı maddelerin bertaraf edilmesi için taraklama gibi kazı usulleri ile, dip savaklardan ve boşaltım tesislerinden bu maddeleri dışarı atma imkânları ve dip savakların tesiri mütalea edilmiştir. Dip savakların tesiri hususunda yapılan model deneyi sonuçları gösterilmiş ve son zamanlarda bazı barajlarda tesis edilen çamur atma mecralarının önemi belirtilmiştir.

I. GİRİŞ

Sulama, şehir ve endüstri ihtiyaçları için gerekli suların sağlanması, fezeyanlardan koruma ve enerji elde edilmesi gibi çeşitli maksatlarla inşa edilen barajların gerisinde husule gelen ve bir biriktirme hazinesi durumunda bulunan sun'î göllerin ömrü sonsuz olmayıp sınırlıdır. Akarsuların getirdiği katı maddelerin göl tabanında yığılması ile meydana gelen hazine hacmindaki kayıplar baraj gölü ömrünün sınırlı olmasında başlıca âmül olmaktadır. Bu hazine kapasitesinin % 80 kaybedilmesi ile genel olarak barajın faydalı hayatının sona erdiği kabul edilir.

Çeşitli maksatlarla inşa edilen barajların sayısı

1925 yılındanberi o derece artmıştır ki insanlık tarihinin hiçbir devrinde bu mertebeyi bulmamıştır. Fakat maalesef bu barajların birçoğunun ömrü 200 yıldan daha az olduğu tahmin edilmektedir. Birleşik Amerika'da Tarım Bakanlığı Soil Conservation Servisinin 1930 danberi bu hususta yaptığı incelemelere göre Birleşik Amerika'daki barajların % 64 ünün ömrü yüz yıldan daha azdır. Kuzey Afrika ve Hindistan'da da baraj göllerinin katı maddelerle dolması tehlikesi vardır. Cezayir'de 1846 da inşa edilen Sig Barajı 1858 de, yani 12 yıl gibi kısa bir zaman sonra dolmuştur. Yine Cezayir'de 90 m yükseklikteki Fodda barajının 1/3 ü 20 yıldan az bir zamanda dolmuştur. Keza Cezayir'de 1859 da inşa edilen Meurad barajı, 1871 de inşa edilen Saint-Lucien barajı, yine 1871 de inşa edilen Fergoug barajı, 1882 de inşa edilen Cherurfas barajı tamamen dolmuşlar ve işe yaramaz hale gelmişlerdir.

Memleketimizde, İmparatorluk devrinde İstanbul şehrinin bir kısım su ihtiyacını karşılamak üzere inşa edilmiş olan Büyükdere civarındaki küçük kârgir barajların miyahî havzası ormanlık bölgede bulunduğu için, aradan uzun zaman geçmiş olmasına rağmen bu bakımdan herhangi tehlikeli bir durum göstermemişlerdir.¹⁾ Keza İstanbul'un Anadolu Yakasının su ihtiyacını sağlamak üzere 65 yıl kadar önce inşa edilen eski Elmalı Barajı şimdiye kadar hacminin ancak % 12 sini kaybetmiş olmakla yakın bir gelecekte herhangi bir tehlike göstermemektedir.²⁾ Fakat Anadolu'nun muhtelif yerlerinde inşa edilen veya edilecek olan barajlar için durum aynı değildir. Problemin ciddi olarak ele alınması ve gerekli inceleme ve araştırmaların yapılması ve araştırmalara devam edilmesi lâzımdır.

Büyük bir yatırım konusu olan baraj tesislerinde, faydalı göl hacminin katı maddeler ve çamurlarla dolması keyfiyeti, baraj inşa edilecek yerlerin az olması, müteakip baraj yerinin ilkinde göre daha elverişsiz olması ve baraj inşa fiatlarının gittikçe artması, üzerinde durulması gereken önemli bir ekonomik problem teşkil eder.

Birleşik Amerika'da 1940 da yapılan tahminlere göre hazinelerinin kum ve çamurla dolması yüzünden baraj envestismanlarındaki yıllık kayıp en az 10 milyon doları bulmaktadır. Birçok hallerde yatırım daha amorti edilmeden hazine silt ile dolmuştur.

Burada karşılaşılan ekonomik problem iki çeşittir. Birincisi, miyahî havza yüzünün erozion ile taşınması ve arazinin fakirleşmesi, ikincisi ise buradan taşınan malzemenin birçok faydalı maksatlar için tesis edilen yerleri ve hacimleri işgal etmesidir.

¹⁾ Necati Engez. Study in Sedimentation in Reservoir, Proceeding of the fifth Meeting large Denis, Paris 1955, C. 3.

²⁾ Bk. I.

Bir baraj hazinesinin ekonomik hayatı birçok faktörlere tâbidir. Bunların en önemlisi biriktirilen suyun kullanma şeklidir. Diğer faktörler ise :

(1) Mümkün olan kontrol tedbirlerinin ekonomik sebepleri ve tesir derecesi,

(2) Mevcut hazinenin yeniden yapılması bedeli,

(3) Hazinenin siltle dolmasının av hayvanları, balık, görünüüş ve ulaştırma üzerine tesiri.

Baraj sun'î göllerinin siltle dolmasının önemi anlaşıldıktan sonra birçok memleketlerde bilhassa yirminci yüzyılın başındanberi akar suların sürüntü ve muallâk maddeleri üzerine bilgi toplanmaya başlanmış ve bu husustaki çalışmalar gittikçe artmıştır.

Muallâk madde üzerine ilk ölçmeler 1808 ve 1809 yıllarında Rhone ırmağında yapılmıştır. Keza Almanya'da Harburg'da Elbe üzerinde Blume 1837 den 1854 e ve Fransa'da Garonne ırmağı üzerinde Baumgarten 1839 dan 1847 ye kadar süren ölçmeler yapılmıştır.

Birleşik Amerika'da ilk muallâk madde ölçüsü 1838 de Mississippi ırmağında Talcott tarafından yapılmıştır. Gerek bu ırmak, gerekse Missouri ırmağında ve USA'nın güney batı kısmında birçok akar sularda 19 ncu yüzyılın son yarısında birçok incelemeler yapılmıştır.

Hazinelerin kum ve çamurla dolması etüdlerine USA da bilhassa 1930 dan beri önem verilmeye başlanmıştır. Soil Conservation Service 1934 de bu hususta geniş bir program ile çalışmaya başlamış ve 1939 a kadar 76 hazinenin ve 1950 ye kadar da birkaç yüz hazinenin etüdlerini tamamlamıştır. Bu hususta sedimentation komitesi kurulmuş olup, bu komite tarım, ticaret, iş işleri, sağlık bakanlıkları temsilcileri ile Devlet Enerji Komisyonu ve Tennessee Valley Authority temsilcilerinden meydana gelmiştir.

Fransa'da baraj hazinelerinin siltlenmesi keyfiyetinin incelenmesine Birleşik Amerika ve Kuzey Afrika'ya göre daha az yer verilmiştir. Buna sebep, tehlikenin burada diğerlerine göre daha az olmasındandır. Electricité de France tarafından Sautet barajında tesis edilen Sedimentation Etüd Merkezi en yeni ölçü âletleri ile techiz edilmiş ve en yeni metodlarla çalışmaya başlamıştır. Bu merkez diğer yerlerde kurulacak bu gibi merkezler için örnek olacak durumdadır. Burada ilk ölçmelere 1950 de başlanmış olup uzun yıllar sürecektir.

Baraj hazineleri siltlenmesinin incelenmesi yalnız mevcut olanların faydalı ömrünü tâyin bakımından değil, aynı zamanda yeniden kurulacak tesislerin faydalı ve ölü hacimlerini tâyin etmek ve bu hususta ekonomik mukayeseler yapabilmek üzere baraj projelerinin hazırlanmasında göz önünde tutulacak kriteriumları elde etmek bakımından da önemlidir.

II. Sürüntü ve muallak maddelerin husule gelmesi; miktarlarının tâyin ve tahmini

I. Husule Geliş Şekli

Akarsuların taşıdıkları sürüntü ve muallak maddeler erozion olayı ile zeminde az veya çok sıklıkla

bulundukları yerden ayrılıp suyun sürüklenme tesiri ile akarsu yataklarına girerler.

Erozion, miyahî havzada yağmur tanelerinin zeminine çarpması ile başlar ve suyun sürüklenme kuvvetine göre çeşitli şekillerde devam eder. Yağmur tanelerinin husule getirdiği erozion, tanenin iriliğine ve zeminine çarpma hızına göre değişir.

Bir akarsuyun doğuş yeri olan havzadan başlayarak bütün yatağı boyunca nazarı itibare alınacak sürüntü ve muallak madde kaynakları şu suretle sıralanabilir :

Miyahî havza yüzeyinde husule gelen erozion, tabii yamaç oluklarında husule gelen erozion, akarsu kıyılarında, feyezan yatağında, yol kenarlarında husule gelen erozion, nihayet kum ve çakıl ocakları, maden artıkları yığınları, endüstri artığı yığınları ve inşaat faaliyeti.

Burada belirtilen erozion olayı esas itibariyle yüzeysel erozion ve kenar erozionu diye iki büyük gruba ayrılabilir.

Yağışlı bölgelerde yüzeysel erozion akarsuların taşıdığı sürüntü ve muallak maddelerin önemli bir kısmını teşkil eder. Buna mukabil Arid veya Semi-Arid bölgelerde de kenar erozionu önemli miktarlara baliğ olabilir. Teşekküllü genç ve yumuşak olan ve koruyucu örtüsü bulunmayan, yağışları seyrek fakat kesif ve şiddetli olan bölgeler erozion için müsait bir yer teşkil ederler. Kuzey Afrika'da Cezayir bu bakımdan tipik bir yer olarak gösterilir. Memleketimizde de kesif croziona mâruz birçok havzalar vardır. Akan su ile taneler, harekete geçtikten sonra sürüntü maddesi ve muallak madde halinde bulunurlar. İri taneler tabanda yuvarlanarak ve zıplayarak hareket edip sürüntü maddeleri, ince taneler de yüzerek hareket edip muallak maddeleri teşkil ederler. Bu iki kısım arasındaki sınır tane iriliği, akarsuyun sarfiyatının ve eğiminin bir fonksiyonudur.

Türbülans teorisi muallak madde hareketini izah eder. Bu teoriye göre sıvıdan silt ve silt tanesinden silt tanesine düzensiz bir enerji intikali husule gelir. Ağırlık, suyun kaldırma kuvveti ve çevrinti akımları bu hususta önemli rol oynarlar.

Gayet ince zemin tanelerinden ibaret olan silt, tane iriliği itibariyle, American Society for Testing Materials (ASTM), Bureau of Reclamation, Bureau of Soils, United States Department of Agriculture tarafından 0.005 mm ile 0.05 mm, Massachusetts Institut of Technology (MIT) tarafından 0.002 mm ile 0.06 mm, National Park Service, United States Department of the Interior tarafından 0.006 mm ile 0.2 mm arasında bulunduğu kabul edilmektedir.

2. Erozion ile akarsuya karışan maddelerin miktarlarının tâyin ve tahmini

Önce en önemli miktarı veren yüzeysel erozionu alalım. Burada husule gelen miktar, miyahî havzanın yüzölçümünde, arazinin topoğrafya ve jeolojisine, zeminin ve örtüsünün karakterine, yağışın miktar ve şiddetine, akışın miktar ve şiddetine tâbi olarak değişir.

Değişik zemin ve eğimlerde, çeşitli iklim şartları ve yağış durumlarında, değişik arazi kullanılması ve örtüsü hallerinde, erozion ile husule gelen zemin kayıplarına ait ölçme sonuçları US Soil Conservation Service tarafından toplanmış olup bu suretle 19 araştırma istasyonuna ait 5 ilâ 15 yıla ait bilgiler elde edilmiştir.

Musgrave, yüzeysel eroziondan husule gelecek maddelerin miktarını hesap için aşağıdaki gibi amprik bir formül geliştirmiş olup :

$$E = FRS^{1.35} \cdot L^{0.35} \cdot P^{1.75} \quad (1)$$

Burada :

E = Bir yılda husule gelmesi muhtemel yüzeysel aşınmayı inches olarak,

F = Zeminin aşınabilme ve diğer fiziksel özelliklerine tâbi bir katsayıyı,

R = Arazinin örtüsü ile ilgili bir katsayıyı,

S = Yüzde olarak arazinin eğimini,

L = Arazinin eğim uzunluğunu, feet olarak,

P = 2 yıl tekerrürlü 30 dakikalık max. yağışı inches olarak gösterir.

Arazide ve deneme istasyonlarında yapılan ölçülere göre değişik zemin tipleri için F ve R katsayılarını veren tablolar hazırlanmıştır. Cezayir'de tehlikeli karakterdeki yağış olarak 24 saatte 30 mm, iki saatte 20 mm yahut bir saatten az zamanda 15 mm veya daha fazla olan yağışlar nazarı itibare alınmaktadır.

Kenar erozyonları kanal erozyonu içinde mütalâa edilebilir. Kanal erozyonu, tabii oluk, yatak ve kıyı erozyonlarını ihtiva eder. Bu suretle husule gelen zemin kayıpları arazide yapılan ölçmelerle tâyin edilir. Kanal erozyonu ile husule gelen yan veya düşey değişmeler muhtelif zamanlardan alınan hava fotoğraflarından, enkesit ölçmelerinden veya arazi sahiplerinden alınan tarihi bilgilerle tâyin ve tahmin edilir.

Kanal erozyonunun hesabı için Birleşik Amerika'da

$$D.L.R.N.P./43560 = \text{acre} - \text{feet} \quad (2)$$

formülü verilmiş olup, burada :

D = Kanal derinliğini, feet olarak,

L = Kanal uzunluğunu, feet olarak,

R = Yıllık yan erozionu, feet olarak,

N = Aşınmaya maruz kıyı sayısını,

P = aşınan kıyı uzunluğunun yüzdesini gösterir.

Yollardaki eroziondan husule gelecek maddelerin miktarı ise iki suretle hesabedilebilir :

1. Kanal erozionu tarzında

2. Aşağıdaki formülü kullanarak :

$$D \cdot W \cdot L / 43560 = \text{acre} - \text{feet} \quad (3)$$

Y

Burada :

D = Yolun aşınan kısmının derinliğini, feet olarak

Y = Yolun yaşını, yıl olarak

W = Yol yüzünün genişliğini, feet olarak,

L = Yolun aşınan kısmının uzunluğunu, feet olarak gösterir.

Maden artıklarından, endüstri artıklarından ve inşaat faaliyetinden akarsulara karışan maddelerin miktarını hesap için genel bir metot yoktur. Bunların her bir hususi halde hesap ve tahmini icabeder.

III. Baraj göllerinin sürüntü ve muallak maddelerle dolması, husule gelen yığılmaların göl tabanındaki dağılım şekli, baraj projelerinde bu bakımdan nazarı itibare alınan kriteriumlar

I. Baraj göllerinde husule gelen yığılmalar ve dağılımı :

Akarsuların baraj göllüne karışması ile akım kesiti birdenbire büyür, hız çok küçülür ve geniş bir hacim içinde yayılma olayı husule gelir. Akarsuyun taşıdığı iri taneler bu esnada hemen sun'î gölün baş tarafında yığılmaya başlar ve burada delta teşekkülü meydana gelir; bu kısımdan itibaren menbaa doğru akarsuda taban yükselmesi hâsıl olur. Kavşak yerinden itibaren bu yığın yelpaze tarzında her yıl sun'î göl içinde biraz daha ilerler, ve sevli olan ön kısmına gittikçe daha ince taneler, yığılmak suretiyle gölün baş taraflarında, tabanda ve mansaba doğru hafif eğimli bir plato teşekkül eder ve bu suretle göl hacminde bir azalma husule gelir. Su altındaki bu platonun değişmesi şu şekilde şematize edilebilir :

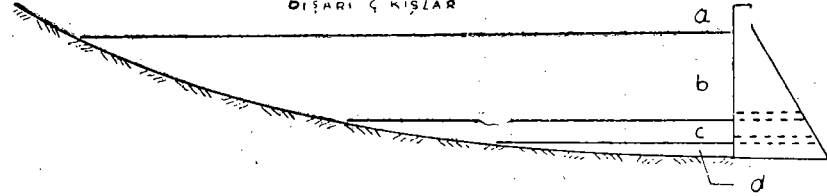
Feyezan esnasında, platonun cephesi baraja doğru ilerler; eğimi azalır, mansap nihayeti bir dolgu sevi teşkil eder. Sarfiyat ortalama değerini haiz oldukça yığılmada bir azalma görülür; platonun eğimi artar. Plato mansap cephesinin sun'î göl altında ilerlemesi epeyce bir müddet sonra yine başlar; fakat bu ilerleme oldukça yavaş olur. Su seviyesinin inmesi platonun baraja doğru ilerlemesini mucip olur, halbuki su seviyesinin yükselmesi yığılmayı menbaa doğru artırır.

Akar suyun baraj hazinesine kavuşmasından sonra muallâk maddeler hazine içine yayılır ve huzun, türbülansın yeter derecede amorti edildikleri yerlerde çökelmeye başlarlar. Bu itibarla genel olarak hazinenin menba tarafındaki su altı platosunda silt ve kil yığılmalarına pek rastlanmaz.

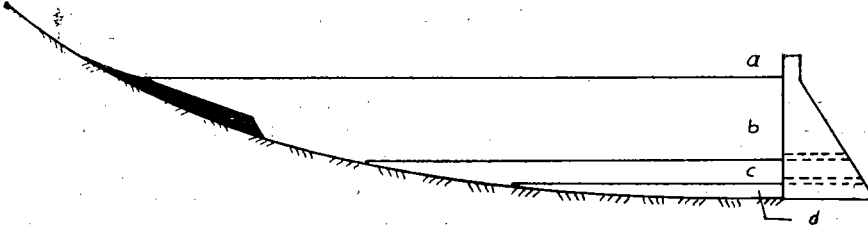
Muallak haldeki kolloidal maddeler hazine içinde aşağı doğru inerler ve suya karışmayan yoğun bir sıvı teşkil ederler. Isı ve tuzluluk derecesi arasındaki farklar her iki sıvının karışmama olayı üzerine tesir eder. Bu çamur akımı veya yoğun akım bazı hallerde hazine suyu üzerinde ilerleyebilir. Genel olarak bunlar aşağı doğru inerler ve hazine-tabanı üzerinde akmaya başlarlar. Hazine tabanının mansap kısmında yine genel olarak iri taneler yığılmaz; buradaki yığılmalar daha ziyade ince taneler ve çamurdan ibarettir.

Hakikatte bu olaylar çok karışıktır, meselâ dolu olmayan baraj hazinesine giren feyezana suları, taşıdıkları iri taneleri çok uzaklara hattâ baraja kadar götürebilirler. Fakat çok kere çok ince taneler hazine mansap taraf çukurluğunda yığılır ve baraj gerisinde birikmeye başlar. Ufak, dar ve az uzunluktaki hazinelerde muallak maddeler tamamıyla çökecek zaman

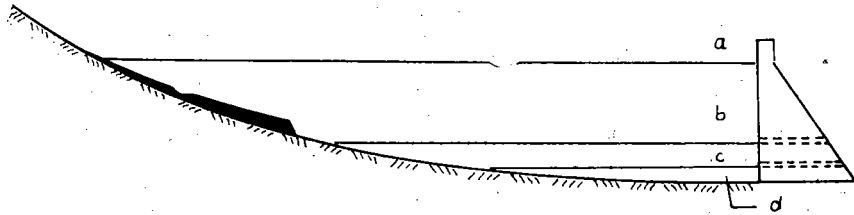
a b c d
FEYZAN KORUM HACMI BİRİKTİRME HACMI KULLANILMAYAN HACIM ÖLÜ HACIM
===
DIŞARI ÇIŞILAR



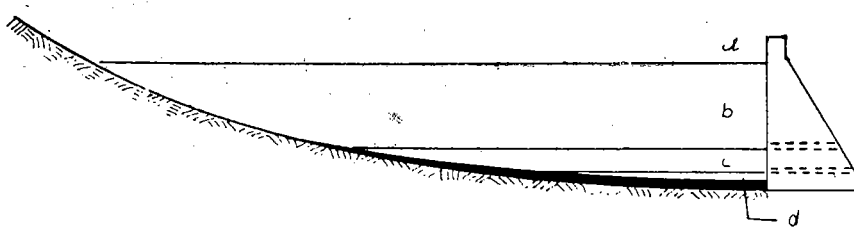
Hazinenin ilk durumu
Hiçbir yığıntı yok



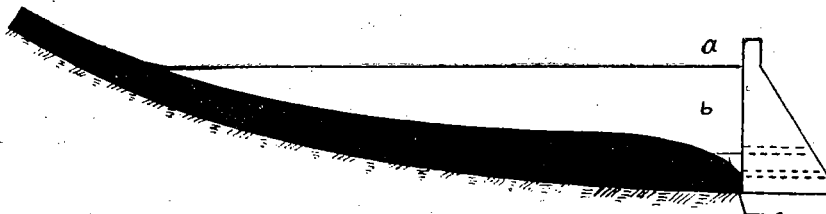
Hazinenin baş tarafı kısmen sürüntü maddesi ile dolu
Hazine normal olarak su ile dolu



Hazine kum gibi ince maddelerle kısmen dolu
Hazine hacmi kısmen azalmış



Hazine silt ve kil ile kısmen dolu
Hazine hacmi epice azalmış



Hazine yığıntı maddesi ile dolu. Bu durumda yakalama tesiri sıfır
Mevcut hacim ancak dip savaklarla sağlanıyor

bulamadıklarından piriz veya dolu savak vasıtası ile kısmen mansap tarafa geçerler.

Yoğun akım hakkındaki bilgilerimiz çok eksiktir; bu hususta esaslı teorik ve denel araştırmalar yapılmaktadır.

Franse'da Sautet barajında sarımsak bir yoğun akım müşahade edilmiş olup, bu akım hazinenin uzaktan mavimsi olarak görülen sularına karışmadan prize doğru yaklaşmaktadır.

Fakat tipik yoğun akıma Birleşik Amerika'da Boulder barajının meydana getirdiği «Lake Mead» de rastlanmaktadır. En ince taneleri teşkil eden koloidal maddelerle iri taneler arasında ince kumlarla siltler bulunurlar. Bunlar da hazine içine yayılıp, hızın çok küçük olmasına rağmen epeyce müddet muallâk halde kaldıktan sonra çöklerler. Bunlara hazine menba taraf tabanında ve iri maddeler arasında da tesadüf edilebilir de, genel olarak büyük çoğunlukla hazinenin üçte iki üst tarafında yığılırlar. Burada şunu belirtmek doğru olur ki, yığılmalar yalnız talveg de değil tabanın her seviyesinde husule gelir ve böylece hazinenin biriktirme kapasitesi genel olarak azalır (Şekil 1), değişik yığılma şartları altında bulunan hazineleri göstermektedir.

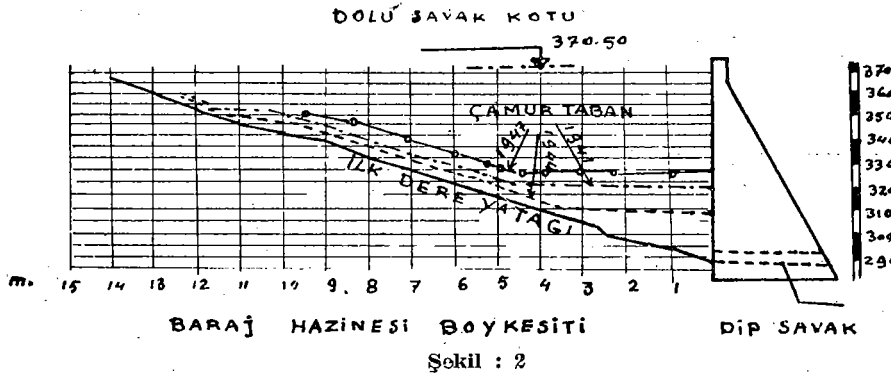
Çökme ve çökeltinin hazine içindeki dağılımı üzerine :

1. Hazine şekli,
2. Çökelen madde karakteristikleri,
3. Hazinenin işletme şekli,
4. Çökelti maddesi - hazine hacmi arasındaki nisbet,
5. Hazineye giren sularla hazine kapasitesi arasındaki bağıntı faktörleri tesir eder.

Hazine içinde yığılan maddeler aylarca su altında kalınca yoğunlukları artar ve bir sınıf değere doğru yaklaşır, viskozitesi hissedilir derecede artar.

Hazinenin mansap taraf çukurluğunda biriken çamurların üst yüzleri hemen hemen yataydır. (Şekil 2). Cezayir'de Foddag barajı tabanında yığılan çamurlara ait profilleri göstermektedir. Zamanla su

3) Comtes rendus: 4. Congre des grands barrages, New Delhi 1951, R. 49



Sekil : 2

altındaki çamur yığınları sıkışır, fakat hiç sıkışmadan sıvı halinde kalan çamurlara da rastlanmıştır. Ceza-yir'de bu hale çok kere rastlanır. Bu hususta en güzel misâl Cheurfas barajı olup tamamiyle çamurla dolan bu baraj hazinesinde, inşasından beri 70 sene geçtiği halde, sıkışmamış çamur bulunmaktadır. Yığılan maddelerin sıkışma hızı taşıyan maddelerin tabiatına ve onların granülometresine tâbidir. Eğer yığıntı içinde çok miktarda kum ve silt bulunursa sıkışma daha çabuk olur. Çökelti maddesi tanelerinin özgül ağırlıklarının hemen hemen birbirine yakın ve takriben 2.65 civarında olduğu kabul edilebilir. Bu itibarla çökelti maddelerinin yoğunluğu su tarafından işgal edilen boşluk hacmine tâbidir. Bu da malzemenin iriliğine, tane karışımına ve sıkışma derecesine göre değişir. Sıkışma derecesi de bir sıra faktörlere tâbidir.

Tabii ve sun'î göl tabanlarındaki çamur nümuneleri üzerinde yapılan araştırmalarda en küçük yoğunluk olarak Bavyera'da Niedersonthofen gölünün tabanında marn olan üst tabakada 349 kg/m³, en büyük yoğunluk olarak da Birleşik Amerika'da Iowa'da Cedar Valley'de Cedar River'deki kum tabakasında 1763 kg/m³ bulunmuştur.

Sıkışma üzerine tesir eden faktörler :

1. Üstteki yığın ağırlığı,
2. Kurumaya maruz kalma derecesi,
2. Tane iriliği,
4. Geçirimsizlik,
5. Zaman

Sedimentation mühendisi ilk yoğunluğu, belirli bir zaman, meselâ 100 yıl sonraki yoğunluğu ve bir period zarfındaki ortalama yoğunluğu bilmek ister. Burada bir yıl sonraki yoğunluğu ilk yoğunluk olarak alabiliriz. İri taneli malzemenin ilk sıkışması çabuk olup ondan sonraki sıkışma azalır. Bu itibarla iri taneli malzeme nümunelerinin yoğunluğu ilk yoğunluk olarak alınıp bunların ne zaman yığıldığının pek önemi yoktur.

Sıkışmanın zaman ile değişmesi hakkında Lane ve Koelze:

$W = W_1 + K \cdot \log T$
formülünü vermişlerdir.

Burada :
W = T yıl sonraki yoğunluğu, lbs/cu.foot olarak
W₁ = Bir yıl sonraki yoğunluğu, lbs/cu.foot olarak
K = Yığılan madde sınıfına ve hazine operasyonu şartlarına göre sıkışma üzerine tesir eden bir sayı
T = Sıkışma yılı sayısını
log = lo kaidesine göre olan logaritmayı gösterir.
W₁ ve K'nın değerleri Tablo I de verilmiştir.

Hazine operasyonu	Tablo : I					
	Kum		Silt		Kil	
	0.05-1.00		0.05-0.005		0.005	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
	W ₁	K	W ₁	K	W ₁	K
a. Yığılan maddeler hermen daima su altında	93	0	65	5.7	30	16.0
b. Normal olarak hazine seviyesinin mutedil derecede aşağı inmesi	93	0	74	2.7	46	10.7
c. Normal olarak hazine seviyesinin çok miktarda aşağı inmesi	93	0	79	1.0	60	6.0
d. Normal olarak hazine tamamen boşalıyor	93	0	82	0	78	0

Misal : Yığılan madde daima su altında bulunuyor.

Karışımı :

Kum = % 20

Silt = % 40

Kil = % 40

100 yıl sonra sıkışma neticesindeki yoğunluğu = 0.20 (93) + 0.40 (65+5.7 log 100) + 0.40 (30+16 log 100) = 74 lbs/cu. feet elde olunur.

Miller (Bureau of Reclamation) tarafından yapılan etüdler (4) formülünün biraz büyük değer verdiğini göstermiştir.

Miller tarafından teklif edilen formül :

$$W_{ort} = W_1 + 0.34 K \frac{T}{T-I} \quad (5)$$

şeklindedir.

2. Baraj projelerinde nazarı itibare alınan kriteriumlar

Baraj hazinelerinde kapasite kaybı üzerine tesir eden faktörler şunlardır.

1. Kapasite - Miyahî havza oranı.

Bu faktör baraj hazinesi ilk hacminin miyahî havza yüz ölçümüne oranı olarak ifade edilir. Birleşik Amerika'daki müşahedelere göre eğer bu oran 100 acres-feet/milkareye eşit veya daha büyük olursa hazine ömrü uzun olduğu kabul edilir. Meselâ Wilson barajındaki bu K/M oranı 227 acres-feet/milkare olup kapasitedeki yıllık kayıp ancak yüzde 0.11 dir.

Witzig, kapasite - Miyahî havza oranının yıllık yığılmaları olan bağıntısını araştırmış ve 1940 yılına kadar birçok coğrafi bölgeler için elde edilmiş olan değerleri logaritmik olarak grafikte incelemiş, aşağıdaki genel denklemi elde etmiştir :

$$\Delta R = 1 (K/M)^{0.83} \quad (6)$$

Burada :

ΔR = Yıllık siltlenme miktarını, acres - feet/mil-kare

I — Bölge katsayısını

K

— = Miyahî havzanın her milkaresi için ilk ha-

M

zine hacmini, acres-feet/milkare olarak gösterir. Witzig, I katsayısını Birleşik Amerika'nın Güneydoğu eyaletlerinden Alabama, Georgia, Virginia, Maryland ve South Carolina'daki 19 baraja ait değerlerden elde etmiş olup alt sınırı 0.00307, üst sınırı ise 0.0375 dir.

2. Hazineye gelen sürüntü ve muallâk madde miktarları. Sürüntü ve muallâk maddelerin husulü ve miktarı üzerine tesir eden faktörler daha önce bahis konusu edildi.

3. Hazinesin yakalama tesiri :

Bu tesir, hazinede biriken yığıntı maddesi miktarı ile, hazineden çıkan yığıntı maddesi miktarı arasındaki oran ile ifade edilip, biriktirme kapasitesi ile gelen sular arasındaki oran, hazinenin yaşı, hazinenin şekli, suyun çıkış metodu ve tipi, hazinenin geciktirme müddeti, gelen maddelerin karışımı ve değişik şartlar altında ince maddelerin durumu gibi birçok faktörlerle ilgilidir.

Genel olarak kapasite-miyahî havza oranı yüksek olan bir hazinenin yakalama tesiri de yüksek olduğu halde hazineden geçen suyun hacmi küçük olabilir. Buna karşılık alçak bir yakalama tesiri normal olarak alçak K/M oranını haiz hazinelerde husule gelir. Bu iki kaidenin istisnalarına da rastlanmıştır. Meselâ Arid bir bölgede, dolu savağın nadir olarak çalıştığı hazinelerde yüksek yakalama tesiri husule gelebilir. Buna karşılık, çok nemli bölgelerde aynı K/M oranını haiz bir hazinede, dolu savağın sık ve sürekli çalışması ile nisbeten alçak bir yakalama tesiri husule gelebilir. Yeni araştırmalar, kapasite-gelen sular oranının (K/S), yakalama tesirini tâyin için, kapasite-miyahî havza oranından (K/M) daha iyi bir kriterium teşkil ettiğini göstermiştir.

Yığıntı maddesi (Sediment) verme derecesi :

Yıllık yığıntı maddesi miktarı ile yıllık toplam erozion arasındaki oran yığıntı maddesi verme derecesi diye tarif edilip⁴⁾, miyahî havza ile ilgili birçok faktörlere tâbidir. Bunlar arasında, net olarak yığıntı maddesi husulüne iştirak eden alanın şekli ve büyüklüğü, miyahî havzadaki derelerin sıklığı ve miyahî havzanın topoğrafik karakteristikleri bulunup, bu sonuncusu miktar olarak yükseklik-uzunluk oranı (R/L) ile ifade edilir.

Birleşik Amerika'da Maner, Texas ve Oklahoma'daki Red Hills. Physiografik alanında yaptığı yığıntı maddesi verme derecesi etüdünde, (R/L) ile ifade edi-

len yükseklik ve miyahî havzanın maximum uzunluğu oranının, net olarak yığıntı maddesi husulüne iştirak alanından veya diğer faktörlerden ziyade yığıntı maddesi verme derecesi ile daha yakından bağıntılı olduğunu bulmuştur. 25 baraj hazinesi üzerinde yapılan bu incelemelerde şu suretle hareket edilmiştir: 1) Yığıntı maddesi husulüne iştirak alanın her bir mil karesi için toplam yığıntı maddesini tâyin etmek için hazine yakalama tesiri ve net olarak iştirak alanı için gerekli işlemleri yaptıktan sonra mevcut hazineler üzerinde yapılan ölçme sonuçlarının tablo halinde hazırlanması, 2) Elde mevcut bilgilerin ait olduğu perioda ait toplam erozion miktarının etüdü, 3) Yığıntı maddesi verme derecesinin 1) ve 2) deki bilgilerin kullanılarak elde edilmesi, 4) Erozion malzemesinin mansaba doğru gönderilmesi üzerine tesir bakımından düşülen fiziksel bilgileri toplamak üzere herbir hazine miyahî havzasının detaylı olarak incelenmesi, 5) Yığıntı maddesi verme derecesini ifade eden bir denklemin elde edilmesi için 4) de elde edilen bilgilerle yığıntı maddesi verme derecesi arasındaki bağıntının tesisi, 6) Bahis konusu denklemindeki bağımsız değişkenlerin karakteristiklerinin tâyini. (Şekil : 3) deki yığıntı maddesi verme derecesi eğrisinin denklemi

$$\log Sv = 2.94259 - 0.82362 \log (R/L) \quad (7)$$

olup, burada :

Sv = Yıllık toplam erozionun yüzdesi olarak tâyin edilen yığıntı maddesi verme derecesini R/L = Miyahî havzaya ait yükseklik - uzunluk oranını gösterir.

Teklif edilen bir feyezan barajının üst tarafındaki miyahî havzaya ait etüdler tamamlandıktan sonra elde edilen bilgiler proje için toplanır. Burada halihazır ve gelecekteki şartlar için olmak üzere yıllık toplam erozion hesaplanır ve her iki hal için erozion mahsulü malzeme için yığıntı maddesi verme derecesi tâyin edilir. Gelecekteki şartlardan maksat, ileride miyahî havza üzerinde yapılacak ıslâhat olup, bu suretle bilhassa yüzeysel erozionda önemli azalmalar görülür.

50 yıllık bir devre için tâyin edilen toplam sürüntü maddesi miktarı tasarlanan feyezan barajının yakalama tesirinin hesabında kullanılır. Birleşik Amerika'da Western Gulf States de Soil Conservation Service tarafından projesi hazırlanan feyezan barajlarının geciktirme tesiri yüzde 85 ilâ 95 kadardır. Çalışmanın bundan sonraki safhası, yığıntı maddesi (Sediment) in hazine içindeki kuru ağırlığı ile zeminin, yerindeki kuru ağırlığı arasındaki farkı bulup buna göre gerekli düzeltmeleri yapmaktır. Texas, Oklahoma ve Arkansas'da yapılan ölçmeler göstermiştir ki, daima su altında bulunan yığıntı maddesi hacminin, yerindeki zemin hacmine oranı ortalama olmak üzere 1.3/1.0 olarak bulunmuştur.

Proje maksadiyle yığıntı maddesi miktarlarına ait bilgilerin toplanmasındaki son adım, bu maddelerin feyezan geciktirme hazinesi içine dağılımını tahmin etmektir. Bu dağılım yığıntı maddesinin tabiatına, hazinenin şekline ve topoğrafyasına, hazineye giren akar-

(Baştarafı 22. Sayfada)

DEFORMASYON METODU :

- I. Düğüm Noktası Deplasman Yapmayan çerçeveler
- II. Denklemlerin Çözülmesi
- III. Düğüm Noktaları Deplasman Yapan Çerçeveler ve Sistemleri
- IV. Isı Tesiri
- V. Çok Katlı Çerçeveler
- VI. Guseli Kirişler

CROSS METODU :

SABİT NOKTALAR METODU

- I. Klâsik Kuvvet Metodu
- II. Kuvvet Metoduna Ait Misaller
- III. Sıcaklık Tesiri
- IV. Atalet Momenti Değişken Büyük Açıklıklı Çerçeveler.

suların tabiatına ve feyezan hazinesinin boşalma müddetine tâbidir. Hazineye toplanan yığıntı maddeleri hazinenin hem ölü hacım olarak ayrılan kısmında, hem de bunun üzerindeki feyezan geciktirme kısmında çökelirler. Birleşik Amerika'da Western Gulf States'deki feyezan barajlarında toplam yığıntı maddesinin feyezan geciktirme kısmına isabet eden nisbeti yüzde 10 ilâ 30 arasındadır.

Şimdiki halde Birleşik Amerika'da biriktirme hazineleri için yapılan analizlerde yapım büyüklüğünü çok kere mevcut su imkânları ve ekonomik mülâhazalar dikté edip, bir veya iki jenerasyondan ilerisinin nazarı itibare alınması nâdirdir. Bureau of Reclamation gibi teşekküllerin projelerinde amortisman için mutad olarak 100 yıldan daha az bir devre alınmaktadır. Bununla beraber Bureau'nun şartnamesinde biriktirme hazinelerinde yığıntı maddesi (Sediment) ile husule gelecek hacım kaybından dolayı ekonomik durumun kaybolmağa başlaması sınırı için 100 yıl kabul edilmiştir.

Baraj ve biriktirme hazinelerinin plânlanmasında ve projelendirilmesinde yığıntı maddesi birikmesi bakımından başlıca aşağıdaki mülâhazalar göz önünde tutulur.

1. Belirli bir zaman zarfında hazineye birikecek yığıntı maddesinin seviyesini bilmek önemlidir. Bu bilgi dip savak ve su alma seviyelerinin tayinine yarar.
2. Hazine işletme hacminin yığıntı maddesi birikmesi ile azalması miktarının bilinmesi, istenen biriktirme hacminin sağlanması için gerekli baraj yüksekliğinin tayini için lâzımdır. Yığıntı maddesi birikmesinin su alma üzerine tesiri çok kere işletme etüdleri ile elde edilir.

3. Hazinesinin menba taraflarında biriken sürüntü maddesi yığınının bilinmesi, menba taraflarda su seviyesinin yükselmesi bakımından önemlidir. Bu seviye yükselmesi bilhassa feyezan zamanlarında menba taraftaki faydalı arazi ve tesisleri su altında bırakma tehlikesine maruz kılar. Bu keyfiyet projede göz-önünde tutulmalıdır.

4. Hazine tabanında çökelen yığıntı maddeleri, hazine seviyesi uzun müddet çok aşağı indiği zamanlarda, faydalanma bakımından bazı gelişmelere imkân verir.

5. Eğer hazine yalnız yığıntı maddesi biriktirmek maksadı ile inşa ediliyorsa bu takdirde önemli miktarda yığıntı maddesi hazine kret seviyesinin üstünde birikebilir.

Bu itibarla yalnız hazineye gelen yığıntı maddesinin miktarını bilmek kâfi olmayıp bunların nasıl ve nerede yığılmaları lâzım geldiğini de tayin etmek icabeder.

(Devamı gelecek sayıda)

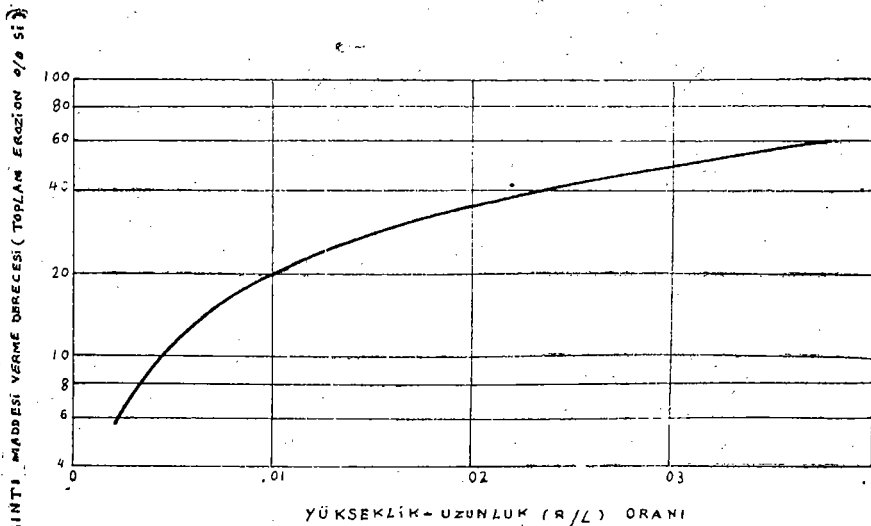
**MÜHENDİS ARKADAŞLARA UCUZ
DAKİLO MAKİNESİ**

Yeni ithal ettiğimiz Alman mamulâtı ERİKA Türk klavyesi yazı makineleri oda âzalarımıza beheri 945.— T.L. sına verilecektir.

Cazımsal Kollektif Şirketi

Sümer Sokak, 7/3
Yenişehir — ANKARA
Tel. : 12 18 70 — 12 88 17

(MÜHENDİSLİK - 83)



Şekil : 3