

TORTUM GÖLÜ SU TOPLAMA HAVZASINDA SEDİMENTASYON SORUNU VE KONTROLÜ ÜZERİNE ARAŞTIRMA¹

Dr. Yusuf Z. GÜRESİNLİ²

Kı s a Ö z e t

Ülkemizde çeşitli nedenlerle meydana gelen erozyon süreci ve bunun doğal sonucu olan sedimantasyonun toprak ve su kaynaklarının geliştirilmesine olan olumsuz etkilerinin büyük boyutlara ulaştığı bilinen bir gerçektir.

Araştırma alanı çok fazla arızalı bir topografyaya sahip olan 1792 km²'lik havzanın tümünü kapsamaktadır.

Havzadan araştırma süresine ait sediment taşınım miktarının saptanabilmesi için su potansiyeline dayanılarak gözlem yerine göre akım - süreklilik analizi yapılmıştır.

Erozyonun kontrolü ile sedimantasyonun zararları azaltılabilir. Ayrıca gölün dolması da bir noktaya kadar önlenabilir.

1. GİRİŞ

Ülkemizden taşınan toprak miktarı diğer ülkelerle karşılaştırılırsa Türkiye Dünya'da en fazla aşınmaya uğrayan ve akarsulara aşırı derecede sediment veren ülkelerin başında gelmektedir. Nitekim, Türkiye arazisinden bir yılda taşınan materal miktarı, tüm Avrupa kıtasından bir yılda taşınandan daha çoktur (HOLEMAN, 1968, 737 - 747).

Bir yandan toprak ve su varlığının kaybına, bir yandan da tarımsal kirlenmeye yol açan erozyon süreci ve bunun doğal sonucu olan sedimantasyonun son derece önemli bir sorunu olmasına karşın, Türkiye'de bu konudaki çalışmaların oldukça sınırlı olduğu dikkati çekmektedir.

Sedimantasyonun direk etkisi sadece tarla ziraatı yapılan alanları verimsizleştirmekten ibaret olmayıp, aynı zamanda rezervuarların dolmasına neden olarak hizmet sürelerini kısaltmaktadır. Örneğin Keban gölü şimdiden dolmaya başlamıştır (KILINÇ, 1976, S. 1 - 18).

¹ Bu yazı Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak İlimi Dalında Prof. Dr. Hayati ÇELEBİ'nin yönetiminde hazırlanmış doktora çalışmasının özetidir.

² Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü Araştırma Şefi, Erzurum.

Bu nedenle su kaynaklarının kullanılması için gerekli her türlü depolama tesislerinin projelendirilmesinde birikecek sediment miktarlarının dikkate alınması gerekmektedir. Öte yandan sulama ve drenaj hendeklerinin sedimentten temizlenmesi büyük masrafları gerektirmektedir.

Hepsinden önemlisi de toprağın kaybolmasıdır (ÖZDENGİZ, 1970, S. 43 - 53; USLU, 1971; ÇELEBİ, 1971, S. 46 - 62).

Bu araştırma, Tortum gölünün de belirgin şekilde dolmasına yol açan havzadaki sedimantasyon durumunu ortaya koymak, halen uygulanan arazi kullanma biçimlerinin toprak ve su kaybı üzerindeki etkisini saptamak bakımından ele alınmıştır.

2. MATERYAL

2.1. Havzanın doğal karakteristikleri

2.1.1. Coğrafi konum

Tortum gölü su toplama havzası Erzurum'un kuzey doğusunda 41°07'45" ve 41°45'50" doğu boylamları ile 40°10'54" ve 40°41'57" kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır.

Araştırma sahası 1972 Km' olup havzanın tümünü kapsamaktadır. Bunun 560 hektarı Tortum gölü'ne aittir.

2.1.2. Jeolojik durum

Tortum ve çevresinin jeolojik yapısı daha önce yerli ve yabancı bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Ayrıca havzanın jeolojik haritası da verilmiştir (M.T.A. 1962).

GATTINGER (1962), Tortum'un güneyindeki Üst Miosen bölgenin Oligosen üzerinde gene jips ve tuz ile başladığını belirtmiştir. Araştırmacı, bu serinin yukarıya doğru jipsli kil, marn, kumtaşı, konglomera ve killi şistler halinde devam ettiğine değinmiş ve volkanizmanın geniş ölçüde andezit lavlarını meydana getirdiğini ortaya koymuştur. Gattinger, Tortum gölü civarının filiş durumunda olduğunu, özellikle gölün kuzey - doğu yakasındaki Güllü Bağdat dağı'nın marnlı kalker ara katkılarını içeren Üst Kretase filişinden oluştuğunu saptamıştır.

ACAR (1975), Tortum ve çevresinde Mesozoik'e ait Üst Jura devrinin genellikle sığ deniz fasiyesi özelliğinde gelişen filiş serisini alttan üste doğru şu şekilde sıralamıştır: 1) Volkanik ara tabakalı filiş serisi, 2) Marnlı seri, 3) Kumtaşı ve silt taşı serisi.

Havzada genellikle Mesozik Tersiyer ve Kuaterner'den oluşmuş jeolojik formasyonlar görülür (AYGEN, 1972, S. 25 - 27). Bunlardan Mesozoik'e ait Kretase filiş formasyonları çok geniş bir alanı kapsamaktadır. Bilindiği gibi filiş formasyonu litolojik özellikleri bakımından aşınmaya ve taşınmaya çok elverişlidir (ÖNCEL, 1975, S. 35).

2.1.3. Topoğrafya

Havzanın topoğrafik yapısı incelenirken arazi ve büro çalışmalarında 1 : 25000 ölçekli Tortum'a ait 22 adet topoğrafik paftalar kullanılmıştır.

Havza topoğrafik yönden son derece arızalı olup bu özellik toprak kaybında etkin olan karakteristiklerin başında gelmektedir. Havzada ağırlıklı ortalama eğim % 18 olarak saptanmıştır (BENSON and THOMAS, 1970).

Cetvel 1. Havzanın saptanan eğim gruplarına göre alanları ve toplam havza alanına oranları.

Eğim gurupları 1 / %	Alan (Dekar)	Toplam alana oran %
0-3	477 725	2,7
3-8	953 109	5,3
8-20	3 172 166	17,7
>20	13 262 893	74,0
Göl	55 950	0,3
Toplam	17 921 843	100,0

1 /Eğim grupları (Soil Survey Staff, 1955)'den alınmıştır.

2.1.4. Mecra karakteristikleri

Tortum çayı ana mecrası oldukça dar bir vadi koridorunda ve dik yamaçlar arasında (30 - 45°) Doğu ve batıdan birleşen çok sayıda yan derelerin sularını da toplayarak Tortum gölüne ulaşır.

Tortum çayının Şekil 1'de boyuna profili verilmiş olup vahşi bir dere karakterine sahip olan ana mecraya bağlı önemli akarsularında eğim özellikleri saptanmıştır.

2.1.5. İklim

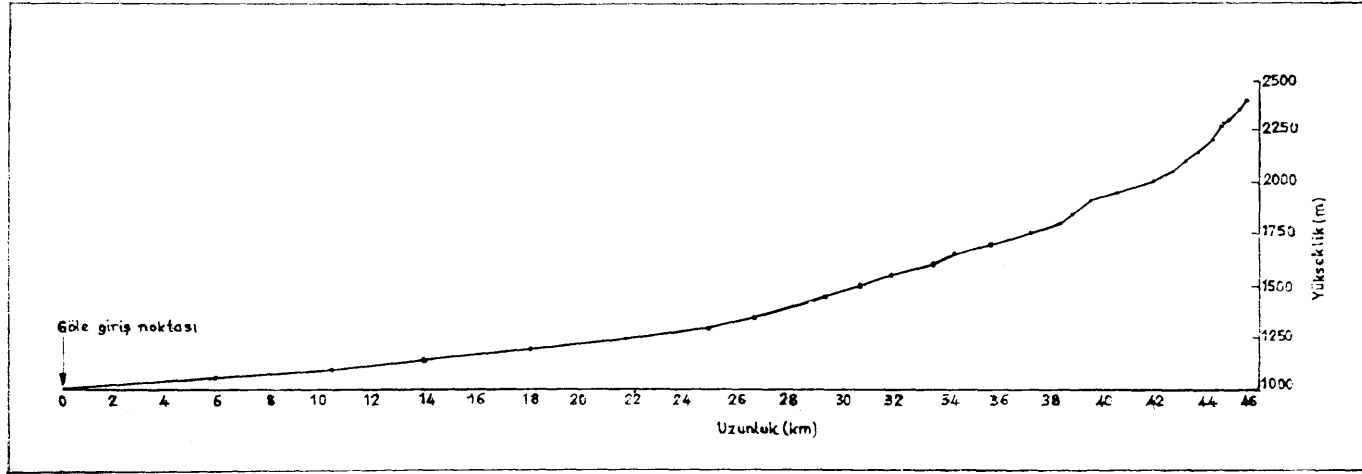
Havza, Doğu Anadolu'nun sert kara ikliminin etkisi altındadır. Tortum ilçesinin, rakımın 1000 metreye kadar düşmesi nedeni ile mikroklima karakteri arz ettiği ileri sürülmekte ise de bu gibi alanların çok geniş ölçüde olmadığı görülmüştür.

Yüzey akış ve toprak kaybı yönünden yağışların çeşidi ve miktarı kadar şiddeti ve mevsimlere göre dağılışı da önemlidir. Bu nedenle araştırma süresine ait ekstrem yağışlar Cetvel 2'de verilmiştir. Araştırma dönemine ait meteorolojik değerler, Tortum ilçesi ve Uzundere bucağına ait meteoroloji istasyonlarından sağlanmıştır.

Havzanın Thorntwaite yöntemi ile yapılan iklim analizi sonuçlarına göre havzanın iklim tipi «kurak az nemli» olarak adlandırılabilir.

2.1.6. Toprak

Havza toprakları oluşumları yönünden iki büyük grubu ayrılabilir, 1) Taşınarak oluşmuş allüviyal ve kollüviyal topraklar, 2) Yerinde oluşmuş topraklardır. Dağ-



Şekil 1. Tortum Çayının boyuna profili

lık alanlarda çıplak kaya ve molozlardan ibaret arazi tipi ile akarsu taşkın yataklarında ve özellikle fazla eğimli yamaçlarda, orman örtüsü tahrip edilmiş lithosol ve regesol topraklar hakimdir. Havzanın ayrıca toprak haritası verilmiştir.

Çevre 2. Tortum'a ait ekstrem yağışlar 1.

Tarih	Başlama zamanı	Bitme zamanı	Süre (dak)	Yağış (mm)	Yağış Yoğunluğu (cm/saat)
18.5.1973	16,20	16,30	10	13,8	8,2
7.6.1973	15,55	16,05	10	20,6	12,3
1.7.1973	18,00	18,20	20	15,4	4,6
2.5.1974	13,35	13,54	10	16,2	9,7
17.6.1974	11,20	11,35	15	13,6	5,4
24.8.1974	16,05	16,35	10	4,2	2,5
2.9.1974	15,20	15,39	19	12,6	3,9
11.6.1975	11,00	11,20	20	10,4	3,0
3.10.1975	11,03	11,08	5	10,2	12,2
23.5.1976	12,35	13,55	20	8,2	2,5
23.6.1976	10,20	10,40	20	15,4	4,6
20.7.1976	13,00	13,15	15	23,3	9,6
30.8.1976	11,35	11,45	10	13,9	8,3

1. Tortum meteoroloji istasyonundan sağlanan verilere göre bulunmuştur.



Sekil 2. Şenyurt bucağında, yamaçlardaki orman tahribinden geriye kalan «peruk» (*Cotinus coggygria*) denilen çalılarının görünümü.

2.1.7. Bitki örtüsü ve arazi kullanma şekli

Havzada insan müdahalesi olmadan önce orman vejetasyonunun hakim olduğu eldeki delillerden anlaşılmaktadır (Şekil 2). Bugün orman kalıntısı durumunda olan alanlar çok az yer kaplar (% 8,79). Havzanın doğal vejetasyon ve kültür bitkileri bakımından bugünkü kullanma durumları ile arazi sınıflarının alanları ve toplam araziye oranları saptanmıştır.

Havzada orman vejetasyonunu teşkil eden önemli türler Cetvel 3'te verilmiş olup bunlara ek olarak önemli bazı buğdaygil, baklagil yem bitkileri ve çeşitli soğanlı bitki türleri de bulunmaktadır.

Cetvel 3. Havzada bulunan önemli ağaç ve ağaçgöçk türleri.

Botanik isimleri	Türkçe isimleri
<i>Pinus sylvestris</i> L.	Sarı çam
<i>Juniperus excelsa</i> L.	Boylu ardıç
<i>Juniperus nana</i> Willd.	Bodur ardıç
<i>Quercus phellos</i> L.	Bodur meşe
<i>Populus tremula</i> L.	Titrek kavak
<i>Populus nigra</i> L.	Kara kavak
<i>Populus nigra</i> var. <i>pyramidalis</i> Spach.	Şark kavağı (Selvi kavağı)
<i>Carpinus betulus</i> L.	Adi gürgen
<i>Salix fragilis</i> L.	Gevrek söğüt
<i>Salix alba</i> L.	Ak söğüt
<i>Eleagnus</i> L. spp.	İğde
<i>Hippophae rhamnoides</i> L.	Yabani iğde (Sincan)
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Dışbudak
<i>Robinia pseudo-acacia</i> L.	Yalancı akasya
<i>Crataegus orientalis</i> Pall. et M.B.	Alıç
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	Geyik diken
<i>Mespilus germanica</i> L.	Muşmula
<i>Cotinus coggygria</i> Scop.	Peruk çalısı
<i>Cotoneaster nummularia</i> Fisch. et Mey.	Dağ muşmulası
<i>Rosa canina</i> L.	Kuşburnu
<i>Berberis crataegina</i> L.	Karamuk (Kadın tuzluğu)
<i>Paliurus aculeatus</i> Lam.	Karaçalı
<i>Tamarix</i> L. spp.	İlgın
<i>Prunus spinosa</i> L.	Çakal eriği
<i>Clematis vitalba</i> L.	Asma (Yabani asma)

Çetvel 4. Havzada arazi kullanma kabiliyet sınıfları

A.K.K. Sınıfları		Alan	
		Hektar	%
Kültüvasyona uygun arazi	I	270,0	0,15
	II	2250,2	1,26
	III	6550,5	3,66
	IV	26000,4	14,55
	V	36,4	0,02
Kültüvasyona uygun olmayan arazi	VI	26700,0	14,95
	VII	108651,4	60,82
	VIII	8200,0	4,59
Toplam		178658,9	100,00

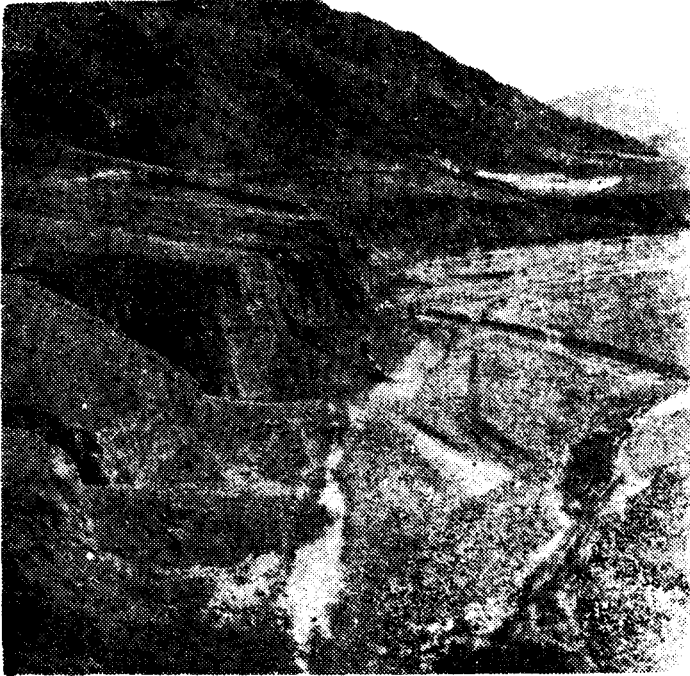
Çetvel 5. Havzanın şimdiki arazi kullanma durumu.

Arazi kullanma şekilleri		A l a n	
		Hektar	%
Kuru tarım	K	9319,3	5,20
Sulu tarım	S	3584,3	2,00
Bağ - bahçe	B	1595,0	0,89
Çayır	Ç	1433,7	0,80
Mera	M	142263,6	79,38
Orman	O	7168,9	4,01
Funda	F	4520,0	2,52
Akarsu taşkın yatakları	İY	537,7	0,30
Sazlık ve bataklık	W	36,4	0,02
Kayalık, göl ve iskân alanı	ÇK	8759,5	4,88
T o p l a m		179218,4	100,00

2.1.8. Erozyon durumu

Havzanın her yerinde şiddetli erozyonun izleri olan çıplak kayalık sahalara, derin ve dik yarıntılar görülmektedir (Şekil 3). Havzada zaten hızlı olan jeolojik erozyona paralel olarak yüzey erozyon insan müdahalesi ile daha çok artmış ve bugün havzada kapladığı alan 122 376 hektara ulaşmıştır.

Tortum çayı ana mecrası üzerinde, Tortum'a 43 Km. uzaklıkta, Dikyar Köyünün Üngüzek kapı mevkiinde bir gözlem yeri tespit edilmiştir. Eşelin (Limnometre) tesbit edildiği ve derenin en kesitinin alındığı yer 41° 31' 12" doğu boylamı 40° 32' 07" kuzey enleminde olup rakımı 1100 m'dir.



Şekil 3. Aksukapı mevkiinde sel yarıntısının (oyuntu erozyonunun) görünüşü

Akım ve süspansediment ölçümlerinin birlikte yapıldığı bu gözlem yeri 1157.2 km² lik bir havzayı temsil etmektedir. Feyezanlı günlere ait ölçümler ise aynı yere çok yakın bulunan Dikyar köprüsünden yapılmıştır.

3. YÖNTEM

3.1. Gözlem yerinin tesbiti ve akım ölçümlerinin yapıldığı yer

Tortum gölü su toplama havzasının sedimantasyon sorununu ortaya koymak için hidrometrik yöntemlere göre yapılan ölçümlerin yürütüldüğü gözlem yeri göle 5 km. geride Dikyar köprüsü yakınındadır. Gerekli ölçümlerin yapıldığı bu yerin tesbitinde kesitin zamanla oyularak veya dolarak önemli şekilde değişmemesi, normal yatak eğiminin olması, akımın genellikle düzgün olması ve akış istikametinin öl-

çüm kesitine dik olması aranılan koşullar olmuştur (BAYAZIT, 1974, S. 73 - 95; BAYRAMGİL, 1975, S. 1 - 10).

3.1.1. Seviye ölçümleri

Seviye ölçümlerinde eşel (Limnometre) kullanılmıştır. Eşel derenin talveg kotuna göre sıfırlanmış ve sabit bir röpere bağlanmıştır (U.S. Bureau of Reclamation, Water Measurement, 1969).

Akarsuyun seviye ölçümleri günde iki defa (saat 8,00 ve 16,00'da) yapılmıştır. Günlük ortalama seviyenin hesaplanmasında seviye değişimleri doğrusal kabul edilerek aşağıdaki formül uygulanmıştır (TROSOLANSKI, 1954, S. 6 - 23).

$$\bar{H} = \frac{A + 5(B + C) + D}{12} \quad (1)$$

Burada : \bar{H} = günlük ortalama seviye (cm), A = bir gün önceki saat 16,00 ölçümü (cm), B = ortalama seviye hesaplanacak günün saat 8,00 ölçümü (cm) C = ortalama seviye hesaplanacak günün saat 16,00 ölçümü (cm), D = bir gün sonraki saat 8,00 ölçümü (cm) dir. İşlemi kolaylaştırmak için :

$$h = a + b + c + d \quad (2)$$

formülünü verecek şekilde $\frac{A}{12} = a$, $\frac{5B}{12} = b$, $\frac{5C}{12} = c$ ve $\frac{D}{12} = d$ gösterilerek geliştirilen abaklar kullanılmıştır (D.S.İ., 1973).

Taşkınlu günlerin ortalama seviyelerinin hesaplanması için aşağıda belirtilen formülde (h_1) en düşük, (h_2) en yüksek su seviyesini (a) ise okumaların kaç saat ara ile yapıldığını göstermektedir (U.S. Geological Survey, 1970).

$$\bar{H} = \frac{h_1 + h_2}{2} + a + a \sum_{k=2}^{h=1} hk \quad (3)$$

3.1.2. Hız ölçümleri

Akarsuyun kontrol kesitinde hız ölçümleri yapılırken, dönme eksenini suyun akış doğrultusuna paralel olan, Arkansas tipi Aott marka muline kullanılmıştır. Mulinenin pervanesi 1:10 devirli olup, 10 devirde bir sinyal vermektedir (Şekil 4).

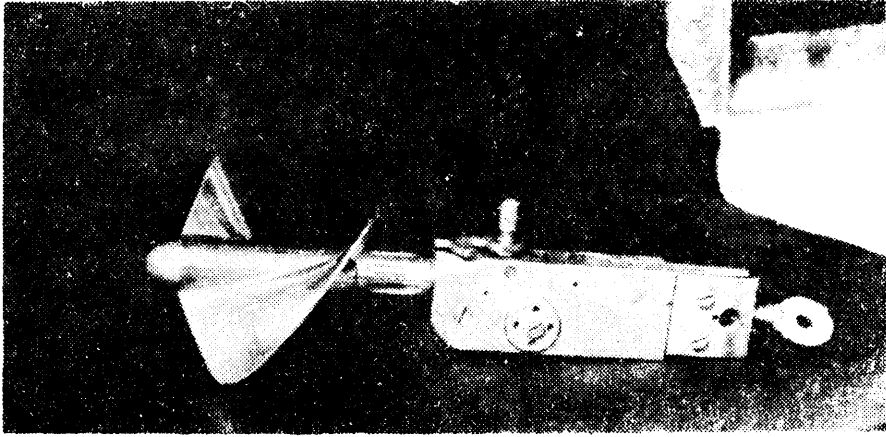
$$V = a \cdot n + b \quad (4)$$

Burada : V = suyun hızı (m/sn), n = saniyedeki devir sayısı, a = pervanenin biçimine ve şekline bağlı bir kat sayısı, b = pervane ekseninin sürtünme kat sayısıdır, bu formül esas alınmak suretiyle işlemi kolaylaştırmak için hazırlanan muline hız tablosu kullanılmıştır (D.S.İ. Araştırma Dairesi, 1972). Her su dilimine ait ortalama hız bulunurken su derinliği 40 cm'yi geçmeyince derinliğin 0,60'indeki hız ölçülmüş ve su derinliği 40 cm'den fazla ise derinliğin 0,20 ve 0,80'indeki yapılan hız ölçümlerinin ortalaması alınmıştır (D.S.İ. ve E.İ.E., 1972; BAYAZIT, 1974, S. 73 - 95). Tortum çayının kontrol kesitinden belirli bir süre içerisinde geçen su miktarının saptanması için süreklilik formülü kullanılmıştır.

$$Q = V_1 \cdot A_1 \quad (5)$$

Burada : Q = Akımı (m^3/sn), V_1 = su diliminin ortalama hızı (m/sn), A_1 = su

diliminin ıslak kesit alanını (m^2) ifade etmektedir (SELER, 1958, S. 25-5); TOWNSEND and BLUST, 1960, S. 11-20; BOYER, 1964, S. 3-37).



Şekil 4. Akım ölçümlerinde kullanılan muline.

Akım anahtar eğrisi : Gözlem yerindeki akarsu kesitinde akımı ile seviye arasındaki bağıntıyı gösteren akım - anahtar eğrisi çizilmiştir (Şekil 8).

Su potansiyeli cetveli : Akım anahtar eğrilerinden çıkartılan seviye - sarfiyat cetvellerine göre her su yılı için aylık ve yıllık su potansiyeli hesaplanmıştır (8a, 8b, 8e).

Akım süreklilik cetveli : Su potansiyeli tablolarından her su yılı için günlük akım değerlerinin zamana göre dağılımı tesbit edilmiştir (Cetvel, 8).

Akım süreklilik eğrisi : Gözlem süresine ait akım gidiş çizgisinden yararlanılarak çizilmiştir (MİLLER 1951, S. 3-15).

3.1.3. Taşkın akımları ve tekerrür analizleri

Havzada oluşan taşkınlara ait debiler ve tekerrür periyotları saptanmıştır (SOYKAN 1967, S. 81-106; ÖZAL, 1968, S. 1-10).

Cetvel 6. Havzada önemli akarsuların çeşitli frekanslı taşkın sarfiyatları (m³ sn)

Tekerrür periyodu (yıl)	Q 2,33	Q 5	Q 10	Q 50	Q 100
Tortum çayı	82	103	140	179	253
Tortum kale deresi	70	83	110	172	268
Vihik deresi	76	110	127	130	201
Bağlar deresi	20	39	53	83	96

3.2. Süspans ve kaba sedimentin bazı fiziksel ve kimyasal analizleri

Süspans ve kaba sedimentin standart yöntemlere göre mekanik analizleri (BOUYOCOS, 1935; SOYDAM, 1960, S. 7-15; EINSTEIN, 1950), Yatak yükünün

% 90'nın geçtiği (D_{90}), geometrik ortalama çapı, etkili dane çapı, özgül ağırlık ve hacim ağırlıkları tayin edilmiştir (DÜZGÜNEŞ, 1963, S. 26; AASHTO, 1974).

3.3. Taşınan süspanse sediment miktarının saptanması

3.3.1. Gözlem yerinde yapılan ölçümler

Ölçüm düşeylerinin seçimi : Akarsuyun en kesitinde genişliğin 1/4, 1/2 ve 3/4 noktalarındaki üç düşey kesitinde ölçümler yapılmıştır (CHIEN, 1952, S. 33).

Sediment örneklerinin alınması : Süspanse sediment örneklerinin alınmasında derinlik integrasyon yöntemi uygulanmıştır (COLBY, 1956, S. 1 - 168). Derinlik integrasyon ölçüm aleti olarak da U.S.DH - 48 mekaniksel ölçek kullanılmıştır (Şekil 5).

Örnek alma frekansı ve örneklerin muhafazası : Kışın en az onbeş günde diğer mevsimlerde ise en az haftada bir defa süspanse sediment örneği alınmıştır. Taşkın aylarında daha sık örnek alınmıştır (ÜÇÜNCÜ, 1966, S. 2 - 7). Her ölçümde alınan üç adet örnek laboratuvara kapalı kutular içerisinde taşınmıştır.

3.3.2. Laboratuvar ölçümleri

$$\text{Konsantrasyon (ppm)} = A \cdot \frac{\text{Sedimentin kuru ağırlığı (gr)}}{\text{Su - sediment karışımı ağır. (gr)}} \cdot 10^6 \quad (6)$$



Şekil 5. U.S.DH - 48 derinlik integrasyon ölçeği ile süspanse sediment ölçümlerinden bir görünüş.



Şekil 6. U.S.DH - 48 Süspanse sediment öceğinin yakından görünüşü.

Sedimenti sudan ayırmada düşük konsantrasyonlu örnekler için filtrasyon yöntemi, 2000 mg/lt - 10000 mg/lt arasında sediment konsantrasyonu içeren örneklerde buharlaştırma yöntemi uygulanmıştır (COLLIER, 1971, S. 1 - 6; ARICA, 1971, S. 1 - 36).

3.3.3. Süspanse sediment veriminin hesaplanması

Süspanse sediment veriminin hesaplanmasında akım - süreklilik analizi ile birlikte kullanılan sediment taşınım eğrisi yöntemi uygulanmıştır (MILLER, 1951, S. 3 - 15).

Günlük sediment hesabı : Örneklerin analizi ile elde edilen sediment konsantrasyonları ancak belirli bir tarih ve saatteki anlık değerleri ifade etmişlerdir. Buna dayanılarak debi ve konsantrasyon değerlerinin bütün gün değişmediği kabul edilerek günlük sediment miktarı aşağıda belirtilen formül uyarınca hesaplanmıştır (GEOLOGICAL SURVEY, 1970).

$$S = Q \cdot C \cdot K \quad (7)$$

Burada : S=günlük sediment miktarı (ton/gün), Q=Günlük ortalama debi (m³/sn), C=Günlük ortalama sediment konsantrasyonu (ppm), K=86400.10⁻⁶

Sediment anahtar eğrisi : Günlük sediment miktarları (ton/gün) ile günlük sarfiyatlar (m³/sn) arasındaki korelasyondan hareket edilerek çizilmiştir (Şekil 10).

3.4. Kaba sediment miktarının ölçülmesi ve hesaplanması

Sürüntü halinde hareket eden kaba sediment (bed-load) miktarının bulunmasında ampirik formüllerin kullanıldığı tahmin yöntemi uygulanmıştır (MEYER-PETER and MÜLLER, 1948). Ele alınan kesit için akım-yükseklik ve akım-sürekli eğrilerinden yararlanılmış olup belirtilen formülün kullanılmasında U.S. Bureau of Reclamation tarafından hazırlanmış olan abaklardan yararlanılmıştır.

$$g_s = 5,296 \left[10,346 \left(\frac{Q_s}{Q} \right) \left(\frac{D_{90}}{n} \cdot \frac{1}{6} \right) \cdot d_s - 0,627 \cdot D_m \right]^{3/2} \quad (8)$$

Burda : g_s =Kesitin 1 m'lik kısmından geçen kaba sediment (ton/gün), Q_s = kaba sedimenti tayin eden debi (m^3/sn), Q =Debi (m^3/sn), d =Kesitteki suyun derinliği (m), s =eğim (%), D_{90} =mecra materyalinin % 90'ının daha ince olduğu tane çapı, D_m =Materyalin etkili tane çapı, n =Mecranın toplam pürüzlülüğü.

3.5. Taşınan yıllık toplam sediment miktarı ve sediment veriminin hesaplanması

Bunun için A.H. EINSTEIN (1950) tarafından önerilen dolaylı yaklaşım yöntemi uygulanmıştır. Havzanın sediment verimi, aşağıdaki formüle göre saptanmıştır (MILLER, S. 3 - 15; ROEHL, 1962, S. 202 - 213).

$$\text{Sediment verimi} = \frac{\text{Yıllık toplam sediment (ton)}}{\text{Drenaj alanı (Km}^2\text{)}} \quad (9)$$

4. SONUÇLAR

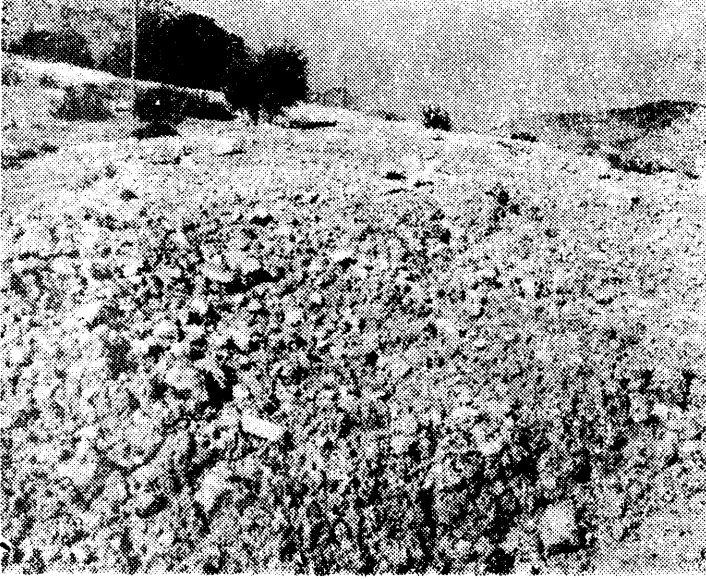
4.1. Hidrometrik ölçüm sonuçları

Aylık ortalama seviyeler 1974 su yılında 24 - 98 cm, 1975 su yılında 30 - 87 cm, 1976 su yılında ise 34 - 142 cm, arasında büyük bir değişim göstermesine karşın, yıllık ortalama seviyelerde (50 - 72 cm) daha az bir değişim vardır. İklim analizi sonuçlarına göre havzanın yağış rejiminin kışın ve ilk baharın orta derecede su fazlası olduğunu göstermektedir. Araştırma dönemine ait Haziran ayı taşkınlarının seviyeleri diğer aylara göre daha yüksektir. Tortumun 22 yıllık yağış ortalamalarının da Mayıs ve Haziran aylarında (66,6 - 63,7 mm) diğer aylara oranla yüksek bulunması yağışla akış arasındaki ilişkinin önemli olduğunu göstermiştir.

Akım ölçüm sonuçları incelendiğinde 1974 su yılında akımın diğer yıllara oranla düşük olması o yıl yağışlarının azlığına bağlanabilir. Gözlem süresince minimum (1,00 m^3/sn) akım 1973 yılının Aralık, maksimum (84,4 m^3/sn) akım 1976 yılının Haziran ayında saptanmıştır.

Tortum çayının gözlem yerine göre her su yılı için çıkarılan akımanafter eğrilerinden su potansiyeli hesaplanmıştır (Cetvel 7). Havzanın araştırma dönemine ait bulunan yıllık ortalama akım değerleri 6-8 m^3/sn birim alandan meydana gelen yıllık ortalama akış miktarı 4-6 lt/ $m^2 \cdot Km^2$ ve yıllık toplam su potansiyeli 196.10⁶ - 257.10⁶ m³ arasında değişmektedir.

Havzada taşkınların esas nedeni olan şiddetli yağışların veya sağnakların en fazla olduğu Mayıs ve Haziran aylarında akım değerlerinin diğer aylara nisbeten araştırma süresince en fazla bu aylarda elde edilmesi havzanın taşkın akımları (Taşkın pikleri) ile hidrolojik karakteristikleri arasında kuvvetli bir bağıntı olduğunu göstermektedir. Sediment taşınımında en fazla rol oynayan taşkınların havza üzerindeki etkisini belirlemek için havzadaki önemli derelerin değişik frekanslı taşkın sarfiyatları saptanmıştır. Tortum çayında her yıl beklenen ortalama taşkın akımının $82 \text{ m}^3/\text{sn}$ oluşu (Cetvel 6), havzada erozyon ve sedimentasyonun çok ileri bir düzeyde bulunduğunu kanıtlamaktadır. Akım süreklilik verileri incelendiğinde zamanın tümünde olabilen akım $1 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'den düşük olmuştur (Cetvel 9).



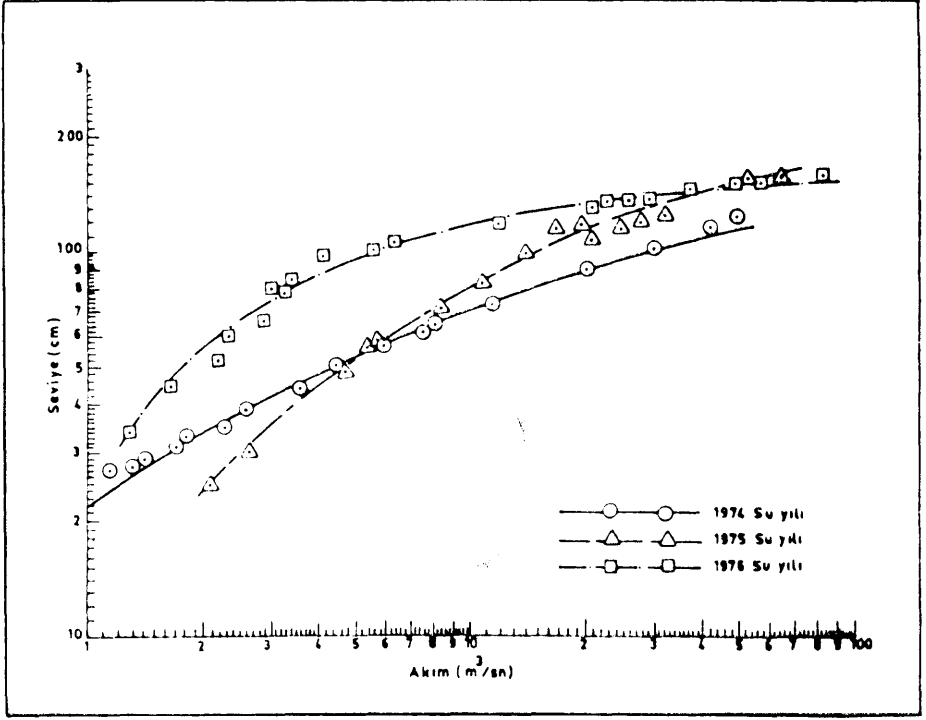
Şekil 7. Aksu köyünde bir bahçede taşkından sonraki taşıntı birikimi.

Cetvel 7. Seviye ile akım arasındaki istatistiksel yönden ikili ilişkiler.

Akım - anahtar eğrisinin ait olduğu su yılı	Eğrinin regresyon denklemi	Hesaplanan F değeri	R	R ²
1974 su yılı	$y=25,63 + 4,52x - 0,052x^2$	397,95**	0,967	0,935
1975 su yılı	$y=33,90 + 4,85x - 0,045x^2$	237,94**	0,998	0,996
1976 su yılı	$y=63,38 + 3,37x - 0,028x^2$	49,97**	0,979	0,958

4.2. Sediment ölçüm sonuçları

Gözlem süresince ortalama süspanse sediment konsantrasyonları 1975 yılı Haran ayında taşkın nedeni ile suyun seviyesi 184 cm 'yi gösterirken (04590 ppm) en fazla aynı yılın Ocak ayında suyun seviyesi 29 cm . iken (1.0 ppm) en düşük bulun-



Şekil 8. Tortum çayının Dikyar gözlem yerine ait akım - anahtar eğrileri.

muştur. Havzada yağışların en fazla olduğu akım değerlerinin yükseldiği Nisan - Temmuz arasında sediment konsantrasyon değerlerinin diğer aylara oranla yüksek bulunması sediment taşınımıyla havza hidrolojisi arasında çok önemli bir ilişkinin varlığını kanıtlamaktadır. Akışın bulanık olduğu günlerinde en fazla bu devreye rastladığı görülmektedir.

Günlük ortalama debi ile günlük ortalama sediment konsantrasyonu arasında genellikle doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Ancak akarsuyun nehir veya sel rejiminde olmasına bağlı olarak aynı debiye karşın konsantrasyon değerleri değişmektedir.

Günlük ortalama akım ile günlük ortalama sediment arasındaki ilişkiden süspanse sediment anahtar eğrisi çıkarılmıştır (Cetvel 10).

Akım süreklilik analizi ile birlikte kullanılan sediment anahtar eğrisi yöntemi uyarınca Tortum çayının gözlem yerine göre havzadan taşınan yıllık toplam süspanse sediment miktarı $3.695 \cdot 10^6$ ton ($1,759 \cdot 10^6$ m³) bulunmuştur. Havzada bir yılda 1 km² alandan 1207 m³ materyal taşınmakta olup, buna göre havzada ortalama 1,2 mm aşınma olduğu sonucu çıkmaktadır.

Akım ile taşınan sediment miktarı arasındaki ilişkiler istatistiksel açıdan da değerlendirilerek bunların arasında aynı yönde eğrisel logaritmik bir ilişkinin bu-

Çelvel Ba. Tortum Çayının Dıkyar gözlem yerine göre su potansiyeli 1/ (1974 su yılı)

Günler	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1	1,10	1,15	1,10	1,10	1,20	1,20	1,50	20,00	26,00	50,00	5,40	9,80
2	1,93	1,30	1,10	1,10	1,45	1,15	1,50	20,00	32,50	34,00	5,00	14,00
3	1,15	1,30	1,15	1,15	1,35	1,20	1,60	20,00	30,00	21,00	5,00	11,00
4	1,10	1,20	1,15	1,15	1,35	1,35	1,50	20,00	23,00	23,50	5,00	9,80
5	1,10	1,35	1,10	1,15	1,35	1,50	1,30	21,00	26,00	38,00	5,00	9,00
6	1,10	1,35	1,15	1,20	1,45	1,50	1,50	21,50	24,00	23,00	4,60	8,70
7	2,60	1,35	1,10	1,15	1,35	1,45	1,20	21,50	26,00	16,00	5,00	8,40
8	1,20	1,20	1,10	1,10	1,35	1,35	1,20	23,50	26,00	11,50	5,20	8,10
9	1,15	1,30	1,10	1,10	1,30	1,15	1,50	23,50	35,00	9,20	5,00	8,10
10	1,15	1,30	1,15	1,20	1,20	1,35	1,60	26,00	27,00	7,00	5,20	7,80
11	1,15	1,20	1,10	1,15	1,35	1,10	1,90	23,50	26,00	6,60	5,20	8,70
12	1,15	1,20	1,00	1,15	1,50	1,10	2,90	23,50	21,50	7,80	5,00	11,50
13	1,45	1,20	1,15	1,10	1,50	1,30	2,20	26,00	21,50	9,20	5,00	17,00
14	1,60	1,15	1,30	1,10	1,20	1,50	2,10	30,00	23,50	9,20	5,00	14,00
15	1,60	1,20	1,70	1,15	1,15	1,10	2,10	37,00	36,00	10,50	4,60	9,80
16	1,70	1,15	1,45	1,10	1,10	1,20	3,30	37,00	24,00	3,40	4,60	8,70
17	1,60	1,30	1,35	1,15	1,10	1,10	6,00	34,00	20,50	6,40	5,00	8,70
18	1,20	1,20	1,10	1,15	1,10	1,20	7,40	32,50	16,00	6,40	5,00	8,40
19	1,80	1,10	1,10	1,20	1,10	1,10	8,70	30,50	17,50	6,40	5,80	8,10
20	2,30	1,20	1,15	1,30	1,10	1,15	9,00	30,00	35,00	6,00	7,00	7,80
21	2,40	1,10	1,30	1,20	1,10	1,50	9,20	30,00	44,00	6,00	7,00	7,00
22	2,60	1,10	1,35	1,20	1,10	1,45	9,40	45,50	26,00	6,00	11,00	6,80
23	2,60	1,10	1,45	1,20	1,10	1,45	10,50	35,50	21,50	5,60	11,50	6,60
24	2,40	1,20	1,35	1,15	1,10	2,10	11,50	30,00	17,50	5,60	9,80	6,00
25	2,10	1,10	1,35	1,10	1,10	1,45	12,80	26,00	15,50	5,40	8,10	6,00
26	1,60	1,10	1,35	1,20	1,10	1,45	14,25	26,00	17,50	5,40	7,40	6,00
27	1,50	1,10	1,35	1,20	1,15	1,45	15,00	24,00	18,00	5,00	4,40	5,60
28	2,00	1,10	1,35	1,30	1,20	1,35	18,00	23,50	20,50	5,00	8,70	5,40
29	2,40	1,30	1,30	1,35		1,45	20,50	24,00	24,00	5,00	7,80	5,40
30	2,00	1,30	1,20	1,30		1,45	20,00	23,00	29,00	5,20	7,40	5,40
31	1,20		1,20	1,10		1,45		29,00		5,40	9,00	
Toplam	51,80	36,20	38,25	36,25	34,40	41,60	200,00	341,00	758,50	369,70	194,70	257,60
Ort.akım	1,67	1,21	1,23	1,16	1,22	1,34	6,67	27,12	25,28	11,92	6,28	8,58
Lt/sn/km ²	1,15	0,83	0,84	1,79	0,84	0,92	4,58	18,61	17,35	8,18	4,30	5,89
Akım 10 ⁶ m ³	4,48	3,13	3,30	3,13	2,97	3,59	17,28	72,66	65,53	31,94	16,82	22,26
Akım mm.	3,07	2,15	2,26	2,15	2,04	2,46	11,86	49,86	44,969	21,91	11,54	15,27
Max.akım	2,60	1,35	1,70	1,30	1,50	2,10	20,50	48,50	44,00	50,00	11,50	17,00
Min.akım	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	20,00	16,50	5,00	4,40	5,40

Yıllık ort. akım 7.80 m³/sn, max. akım 50,00 m³/sn, min. akım 1,10 m³/sn. Yıllık toplam akım 247,09 milyon m³, 169,54 mm., 5,36 lt/sn/km².

1/ Akımlar m³/sn dir.

(x) Akım ölçümünün yapıldığı günleri gösterir.

Cetvel 8b. Tortum Çayının Dikyar gözlem yerine göre su potansiyeli 1/ (1975 su yılı)

Günler	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1	5,40	4,40	2,50	2,40	2,40	2,50	3,20	8,60	13,25	4,20	4,30	2,20
2	5,70	4,40	2,60	2,40	2,40	2,50	3,40	7,20	9,60	4,10	2,30	2,20
3	5,70	4,60	2,60	2,40	2,40	2,50	4,10	6,50	9,40	4,10	2,15	2,30
4	5,70	5,00	2,50	2,50	2,40	2,60	4,60	6,50	9,40	4,10	2,15	2,30
5	5,70	5,00	2,60	2,40	2,50	2,70	5,40	6,50	9,40	3,90	2,10	2,40
6	5,70	5,00	2,60	2,40	2,50	2,60	5,70	6,20	9,00	3,90	2,10	2,40
7	5,90	5,00	2,70	2,30	2,50	2,40	6,80	6,00	8,60	4,20	2,10	2,40
8	5,70	5,00	2,70	2,40	2,50	2,50	6,40	6,20	8,40	4,60	2,10	2,40
9	5,70	4,90	2,60	2,50	2,40	2,60	6,50	6,20	8,00	5,60	2,10	2,40
10	5,90	4,80	2,50	2,50	2,40	2,60	7,20	6,50	8,30	6,50	2,10	2,50
11	5,90	4,60	2,50	2,50	2,40	2,70	7,80	7,20	13,00	6,40	2,50	2,50
12	5,30	4,30	2,50	2,10	2,60	2,60	12,80	9,40	20,10	8,20	6,60	2,50
13	5,90	4,10	2,40	2,10	3,20	2,60	14,00	13,00	12,80	10,00	5,40	2,50
14	5,70	3,00	2,50	2,60	4,30	2,80	12,30	13,25	8,60	9,80	3,00	7,80
15	5,30	3,50	2,50	2,50	4,60	2,70	7,60	16,00	8,00	10,30	2,30	6,80
16	5,70	3,40	2,50	2,50	3,20	2,70	5,90	18,10	8,20	13,25	2,50	4,60
17	5,70	3,30	2,50	2,50	2,80	2,30	6,00	16,50	8,20	9,80	2,40	3,50
18	5,80	3,00	2,50	2,50	2,70	2,80	7,20	13,00	9,00	9,60	2,40	3,10
19	5,90	2,60	2,60	2,50	2,70	2,80	8,60	16,00	21,30	9,40	2,40	3,10
20	5,70	2,50	2,50	2,60	2,60	2,80	9,60	15,50	19,00	10,00	2,40	3,40
21	5,70	2,40	2,40	2,60	2,50	3,10	9,00	16,00	22,50	11,80	2,50	6,40
22	5,70	2,40	2,40	2,60	2,40	3,40	7,60	16,00	66,00	10,80	2,40	27,50
23	5,70	2,40	2,40	2,50	2,40	3,90	7,60	15,00	17,30	9,80	2,40	11,30
24	5,70	2,60	2,50	2,50	2,50	3,30	7,80	13,75	12,60	12,80	2,40	3,90
25	5,70	2,50	2,50	2,50	2,60	4,90	7,80	13,25	11,50	46,00	2,40	3,40
26	5,70	2,20	2,50	2,60	2,60	4,10	7,80	12,00	8,00	22,10	2,40	3,40
27	5,60	2,10	2,50	2,70	2,50	3,20	8,00	13,25	6,80	9,40	2,40	3,10
28	5,40	2,10	2,50	2,60	2,50	3,00	11,30	15,30	5,00	7,20	2,90	3,00
29	5,40	2,15	2,50	2,50		3,00	16,00	15,50	4,50	6,80	3,90	3,20
30	5,60	2,40	2,50	2,40		3,00	25,50	22,50	4,30	6,40	53,00	3,20
31	5,60		2,40			3,00		21,30		5,90	33,60	
Toplam	176,8	106,5	73,0	74,1	75,5	91,2	253,5	378,2	380,3	291,0	166,2	131,7
Ort.akım	5,70	3,54	2,51	2,47	2,69	2,94	8,45	12,20	12,67	9,38	5,36	4,39
Lt/sn/km ²	3,91	2,42	1,72	1,69	1,95	2,02	5,79	8,37	8,69	6,43	3,67	3,01
Akım 10 ⁹ m ³	15,27	9,19	6,73	6,40	6,52	7,87	21,90	32,67	32,85	25,13	44,36	11,37
Akım mm.	10,47	6,30	4,62	4,39	4,47	5,40	15,02	22,41	22,54	17,24	9,85	7,80
Max.akım	5,90	5,00	2,70	2,70	4,60	4,90	25,50	22,50	65,00	46,00	53,00	27,50
Min.akım	5,40	2,10	2,40	2,10	2,40	2,40	3,20	6,00	4,30	3,90	2,10	2,20

Yıllık ort. akım 6,03 m³/sn, max. akım 66,00 m³/sn, min. akım 2,10 m³/sn, Yıllık toplam akım 196,26 milyon m³, 130,51 mm, 4,13 lt/sn/km².

1/ Akımlar m³/sn. dir.

(x) Akım ölçümünün yapıldığı günleri göstermektedir.

Cetvel 8e. Tortum Çayının Dıkyar gözlem yerine göre su potansiyeli 1/ (1976 su yılı)

Günler	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
1	1,36	1,30	1,30	1,30	1,30	1,34	1,60	6,60	26,00	54,00	3,70	3,00
2	1,36	1,30	1,30	1,30	1,32	1,34	1,75	6,40	32,00	75,20	3,70	2,95
3	1,36	1,30	1,30	1,30	1,30	1,36	1,75	6,60	34,00	50,00	3,60	2,90
4	1,38	1,30	1,30	1,30	1,30	1,34	1,76	7,20	42,00	36,00	3,60	2,85
5	1,32	1,30	1,30	1,30	1,30	1,35	1,80	10,00	26,00	16,00	3,60	2,85
6	1,32	1,32	1,30	1,30	1,30	1,32	1,30	12,00	22,00	7,00	3,90	2,80
7	1,32	1,32	1,30	1,30	1,32	1,36	1,85	14,50	20,00	5,10	4,60	2,75
8	1,32	1,32	1,30	1,30	1,32	1,34	1,85	14,00	20,00	5,20	5,40	2,75
9	1,34	1,32	1,30	1,30	1,30	1,32	1,93	16,00	24,00	5,20	7,00	2,75
10	1,32	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,96	14,50	42,00	5,20	13,50	2,75
11	1,34	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	2,10	15,00	36,00	5,10	26,00	2,75
12	1,34	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	2,56	14,00	30,00	5,00	34,00	2,75
13	9,80	2,20	1,80	1,30	1,30	1,30	2,70	13,50	28,00	4,90	38,00	5,80
14	4,10	3,00	1,54	1,30	1,32	1,30	2,45	14,50	22,00	4,90	42,00	4,20
15	1,64	3,90	1,30	1,30	1,32	1,34	2,45	15,00	28,00	5,10	40,00	3,60
16	1,64	1,52	1,30	1,30	1,32	1,36	2,30	18,00	28,00	5,40	28,00	3,50
17	1,32	1,34	1,36	1,30	1,34	1,36	5,60	19,00	24,00	6,00	17,00	3,25
18	1,32	1,32	1,32	1,32	1,34	1,38	3,00	22,00	22,00	7,00	12,80	3,25
19	1,32	1,30	1,32	1,30	1,34	1,38	2,90	17,00	20,00	12,50	8,40	3,25
20	1,30	1,30	1,30	1,30	1,34	1,38	2,60	26,00	42,00	38,00	4,30	3,20
21	1,32	1,30	1,30	1,30	1,34	1,38	2,50	22,00	42,00	53,00	3,70	3,20
22	1,34	1,32	1,30	1,30	1,34	1,38	2,55	19,00	46,00	54,00	3,20	3,20
23	1,34	1,32	1,32	1,30	1,36	2,50	3,10	17,00	60,00	28,00	3,05	3,25
24	1,34	1,32	1,30	1,30	1,58	1,60	3,10	19,00	46,00	14,00	2,95	3,25
25	1,32	1,32	1,30	1,30	1,50	1,43	6,60	22,00	46,00	9,80	2,90	3,25
26	1,32	1,34	1,30	1,32	1,36	1,52	4,10	22,00	46,00	3,40	2,90	3,25
27	1,32	1,34	1,34	1,32	1,34	1,54	6,70	20,00	50,00	5,70	2,90	3,50
28	1,32	1,32	1,30	1,32	1,34	1,58	6,40	22,00	48,00	5,40	2,90	3,50
29	1,32	1,30	1,30	1,30	1,32	1,58	6,40	32,00	84,80	5,00	2,95	3,60
30	1,32	1,30	1,32	1,30		1,54	6,00	30,00	58,00	4,00	3,25	3,50
31	1,32		1,30			1,54		28,00		3,80	3,20	
Toplam	53,10	50,74	41,22	39,08	38,76	44,39	95,65	535,80	1094,80	550,93	340,40	94,40
Ort.akım	1,71	1,69	1,32	1,30	1,33	1,43	3,18	17,28	36,49	17,79	10,98	3,24
Lt/sn/km ²	1,17	1,16	0,90	0,89	0,91	0,98	2,18	11,90	25,04	12,19	7,53	2,22
Akım 10 ⁶ m ³	4,58	4,38	3,53	3,37	3,35	3,70	3,26	46,29	94,59	47,59	29,40	8,41
Max.akım	9,80	9,00	1,80	1,32	1,53	2,50	6,60	32,00	84,80	75,20	42,00	5,80
Akım mm	3,15	3,00	2,44	2,31	2,29	2,53	5,67	31,76	64,91	32,65	20,17	5,77
Min.akım	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,66	6,40	20,00	4,00	2,90	2,75

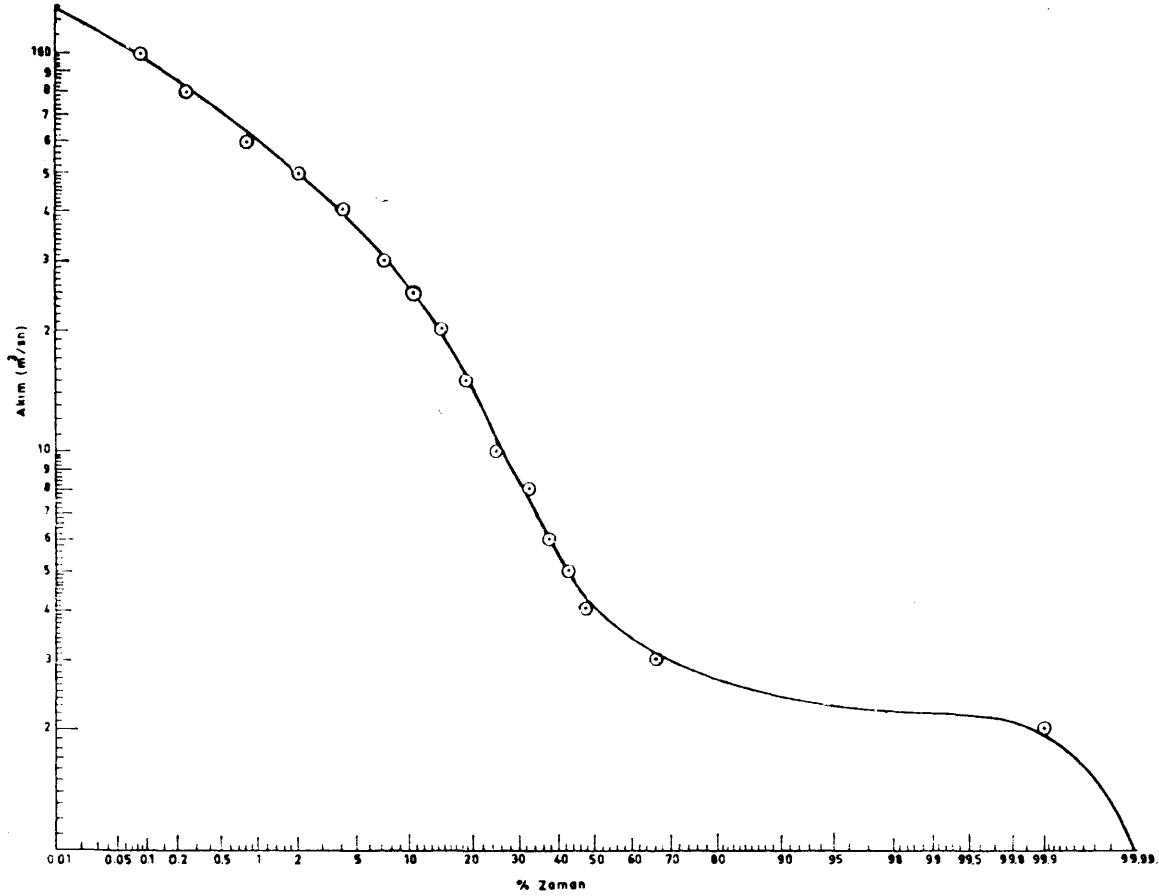
Yıllık ort. akım 8,20 m³/sn, max. akım 84,80 m³/sn, min. akım 1,30 m³/sn. Yıllık toplam akım 257,45 milyon m³, 176,65 mm, 5,58 lt/sn/km².

1/ Akımlar m³/sn. dir.

(x) Akım ölçümünün yapıldığı günleri gösterir.

Çetvel 9: Tortum Çayının Dikyar gözlem yerine göre akım - süreklilik verileri

Akım limitleri (log.sıra) m^3/sn	S U Y I L I			Toplam	Kümülatif değer	Kümülatif değer- in toplam akıma oranı (%)
	1974	1975	1976			
0,5						
1	1			1	1094	100,00
2	134		136	370	1093	99,90
3	12	161	30	203	723	65,11
4	1	26	33	60	520	47,57
5	19	30	9	58	460	42,10
6	22	39	12	73	402	36,80
8	17	35	13	65	329	30,13
10	25	26	6	57	264	24,10
15	13	23	12	48	207	18,90
20	14	12	14	40	159	14,52
25	23	6	11	40	119	10,86
30	19	2	11	32	79	7,21
40	13	1	9	23	47	4,29
50	2	1	12	15	24	2,19
60		1	5	6	9	0,82
80		1	1	2	3	0,27
100			1	1	1	0,09



Şekil 9

Tortum Çayı - Dikyar gözlem yerinin araştırma süresine ait (1974, 1975 ve 1976 su yılları) akım - sürelik eğrisi

lunduğu görülmüştür. Sediment anahtar eğrisine ait regresyon denklemi ve korelasyon kat sayısı belirtilmiştir. Buna göre, gözlem süresine ait akım ile taşınan sediment miktarı arasında % 1 seviyede önemli pozitif ($R=0,81$) bir ilişki saptanmıştır.

Tortum çayının gözlem yerine göre hesaplanan yıllık toplam kaba sediment, süspansedimentin % 16'sı olup 596.10^3 ton (227.10^3 m³) bulunmuştur.

Buradan Tortum çayının gözlem yerine göre toplam sediment debisi dolaylı yaklaşımla $4,3.10^6$ ton ($1,910^6$ m³) olarak saptanmıştır. Buna göre, havzanın toplam sediment verimi $2,9.10^6$ ton km²/yıldır.

4.3. Havza karakteristikleri ile sediment verimi arasındaki ilişkiler

Havzanın her tarafında sediment verimi aynı ölçüde olmayıp yer yer önemli değişiklikler görülmektedir. Bu durum başta, arazinin eğimi, kullanma şekli ve aşınmaya uğrayan arazinin litolojik özelliklerine bağlıdır. Dik eğimli düşük kohezyonlu ve bitki örtüsünden mahrum alanlarda aşınma ve taşınma en fazladır.

Çizel 10. Tortum gölü su toplama havzasının gözlem yerine göre yıllık toplam süspansedimentin hesaplanması

1	2	3	4	5	6	7	
Zamanın sınırlar değerleri (%)	Zaman aralığı (%)	Sınırların orta noktası (%)	Akım (m ³ /sn)	Sediment (ton/gün)	Günlük su sarfiyatı 2X4 (m ³)	Günlük sediment sarfiyatı 2X5 (ton)	
0,00 - 0,02	0,02	0,01	130,00	1000000,0	0,026	200,000	
0,02 - 0,10	0,08	0,06	104,00	710000,0	0,083	568,000	
0,10 - 0,50	0,40	0,30	73,00	360000,0	0,316	1440,000	
0,50 - 1,50	1,00	1,00	61,00	205000,0	0,610	2050,000	
1,50 - 5,00	3,50	3,25	43,00	80000,0	1,505	2800,000	
5,00 -15,00	10,00	10,00	26,00	24500,0	2,600	2450,000	
15,00 -25,00	10,00	20,00	14,00	4800,0	1,400	480,000	
25,00 -35,00	10,00	30,00	8,40	950,0	0,840	95,000	
35,00 -45,00	10,00	40,00	5,40	240,0	0,540	24,000	
45,00 -55,00	10,00	50,00	4,10	90,0	0,410	9,000	
55,00 -65,00	10,00	60,00	3,38	38,0	0,380	3,800	
65,00 -75,00	10,00	70,00	3,00	25,0	0,300	2,500	
75,00 -85,00	10,00	80,00	2,60	13,0	0,260	1,300	
85,00 -95,00	10,00	90,00	2,40	9,0	0,240	0,900	
95,00 -98,50	3,50	96,75	2,25	8,0	0,079	0,280	
98,50 -99,50	1,00	99,00	2,19	6,9	0,022	0,070	
99,50 -99,90	0,40	99,70	2,10	6,0	0,006	0,024	
99,90 -99,98	0,08	99,94	1,30	2,9	0,001	0,002	
99,98 -100,0	0,02	99,99	1,00	0,0	0,000	0,000	
Günlük toplam					:	3,589	10124,576

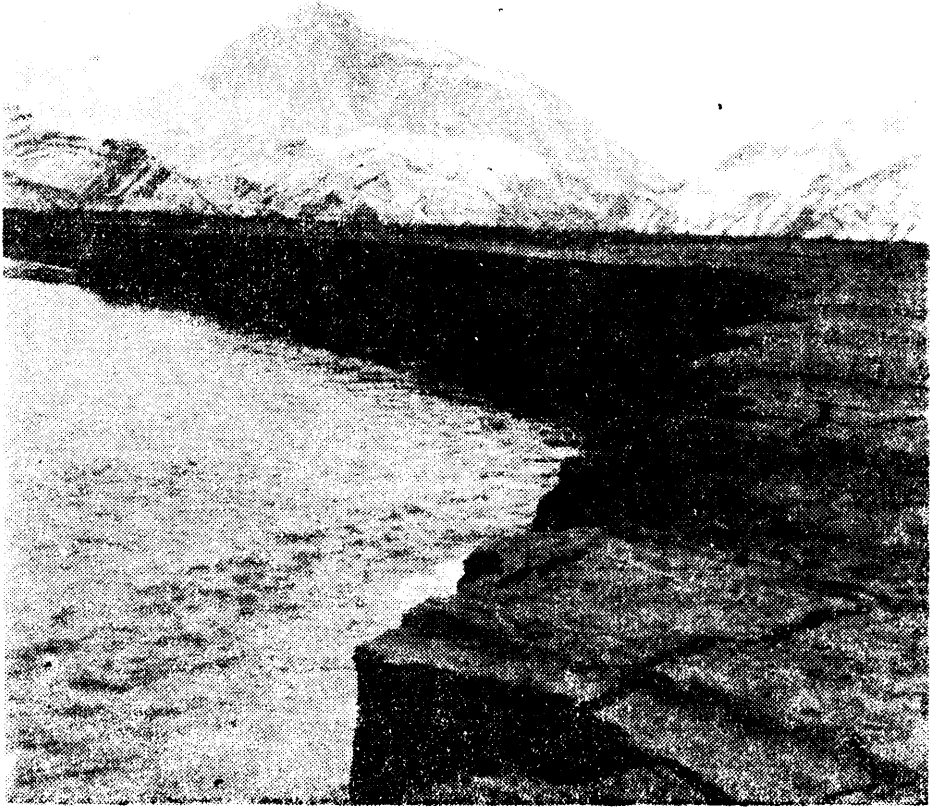
Havzadaki önemli akarsuların eğim derecesi, uzunluğu ve şekli (Şekil 1) incelendiğinde, mecra karakteristiklerinin bu fizyografik etkenlere bağlı olarak sediment taşınımında çok önemli rol oynadığı görülmektedir.

Havzada değişik boyutta sediment veren kaynaklardan biri de özellikle akarsu yatakları boyunca meydana gelen çeşitli heyelânlar, toprak akıntıları ve bilhassa donma ve çözünme olaylarına bağlı olan yamaç döküntüleridir.

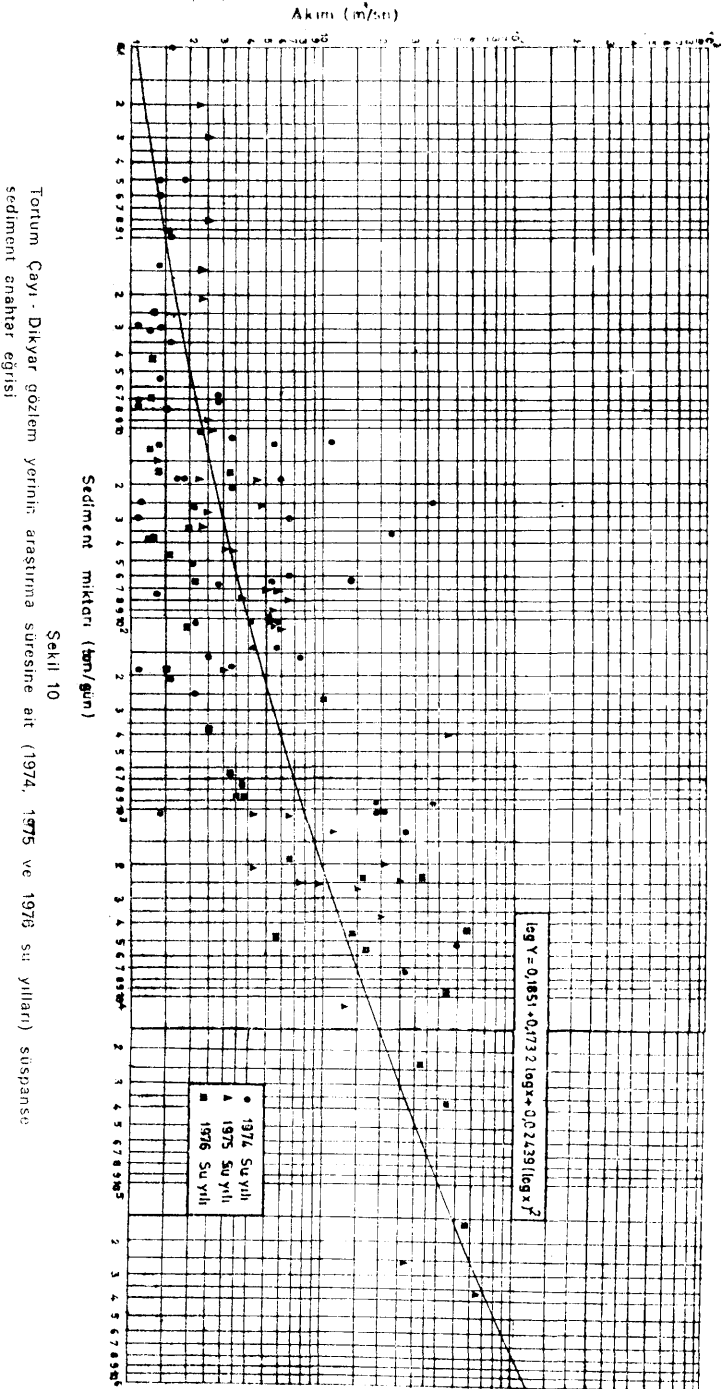
Kemerli dağından inen büyük bir heyelânın Tortum çayı vadisini kapayarak Tortum gölünü meydana getirmesi havzada kitle hareketlerinin de ne derece etkin durumda olduğunu göstermektedir.

Havzanın iklimsel ve fizyografik özellikleri her çeşit erozyonun en ileri düzeyde olmasına uygun düşmektedir.

Diğer taraftan bitki örtüsünün aşırı tahribi özellikle yukarı havzada oyuntu erozyonunu hızlandırmıştır.



Şekil 11. Tortum gölünün siltasyonundan bir görünüş.



5. HAVZADA SEDİMENTASYONUN AZALTI LMA OLANAKLARI VE BAZI ÖNERİLER

Havzada sedimantasyonun azaltılması için alınacak önlemler iki ana grupta toplanabilir.

1 — Gerekli sanat yapıları inşa etmek suretiyle sedimenti uygun yerlerde tutmak,

2 — Havzada erozyon kontrolü ile sedimentin oluşumuna engel olmak.

Uzun yıllar yanlış kullanımlar ve tahripler sonucu doğal dengenin bozulduğu bu havza gerek orman varlığı, gerek diğer üretim kaynakları yönünden oldukça fakir bir bölgedir. Havzanın bugün için hiç bir değer üretmeyen alanlarının yeniden verimli duruma getirilmesi ve taşkınların önlenmesi için en geçerli ve sürekli yol erozyonun ortadan kaldırılmasıyla sağlanabilir. Buna paralel olarak havzada, gerek ilgili devlet kuruluşları gerek yerel halkın katkısı ve bilinçlendirilmesiyle elverişli koşulların olduğu eski orman alanlarının öncelikle ağaçlandırılması gerekmektedir. Ayrıca mera islah çalışmalarına ağırlık verilmeli ve bu yönden çözüme yukarı havzadan başlanmalıdır. Diğer taraftan yan derelerin islahında yamaç arazi stabilizasyonu üzerinde durulmalı ve en ekonomik ve sürekli çözüm sağlayan canlı iksa önlemleri geniş çapta uygulanmalıdır.

Sonuç olarak bütün ilgili kuruluşlar tarafından alınması gerekli olan kültürel, teknik ve yönetsel önlemlerin uzun dönemde sistemli bir şekilde uygulanabilmesi için Tortum gölü koruma ormanı amenajman planı hazırlanmalı ve Tortum gölü çevresi ulusal bir park durumuna getirilmelidir.

K A Y N A K L A R

ACAR, A., 1975. Tortum ve çevresinin jeoloji ve jeomorfolojisi üzerinde bir araştırma. Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi, Araştırma Servisi No. 26: 1-30 Erzurum.

American Association of State Highways and Transportation Officials 1974 (AASHTO). T-96, T-104: 248, 317-321.

ANDERSON, H. W., 1954. Suspended sediment discharge as related to streamflow, topography, soil and land use, Transactions of the American Geophysical Union 35: 268-281.

Analysis of flow-duration, sediment rating curve method of computing sediment yield. U.S. Department of the Interior (USDI), Bureau of Reclamation Sedimentation Section Denver, Colorado, 1951: 3-15.

ARICA, V., 1974. Sediment analizi tekniği, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Direktörlüğü, Hidrografi Şubesi, Teknik yayın 12: 1-36.

AYGEN, T., 1972. Tortum - özel sayı, İller bankası dergisi, sayı 6: 25-27. Ankara.
BAYAZIT, M., 1974. Hidroloji İ.T.Ü No 999: 72-95.

BAYKAMGİL, O., 1975, Akım ve göl rasat istasyonlarının kuruluş ve donatılması, DSI, Genel Müdürlüğü, 1-10, Ankara.

BENSON, M. A. and THOMAS, D. M., 1970, Generalization of stream flow characteristics from drainage-basin characteristics, Geological Survey, Wat - Sup.

BOYER, M. C., 1964, Stream flow measurement Handbook of Applied Hydrology, Section 15: 3-37 Mc. Graw - Hill.

BOUYOUCOS, G. J., 1953, The Clay ratio as a criterion of the susceptibility of soils to erosion, Jour. Am. Soc. Agron., 27: 738-741.

COLBY, B. R., 1956, Relation of sediment discharge to stream flow, U.S. Department of the Interior Geological Survey Water Resources Division Open File Report, 1-168.

COLLIER, C. R., 1974, An approximation of sediment yields from watersheds in Minnesota, American Society of Agricultural Engineers paper No. 74-2506; 1-6 Michigan.

CHIEN, N., 1952, Efficiency of depth integrating suspended-sediment samplers, Trans. Amer. Geol. Union, 33: 693-698.

ÇELEBİ, H., 1971, Toprak erozyonu, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No. 37: 46-62, Erzurum.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (D.S.İ.) 1972, Araştırma Dairesi müline hız tablosu, Ankara.

DUZGÜNEŞ, O., 1965, Bilimsel araştırmalarda istatistik prensipleri ve metodları, Ege Üniversitesi matbaası, 26, İzmir.

EINSTEIN, A. H., 1950, The bed-load function for sediment transportation in open channel-flow, U.S. Dept. Agr. Tech. Bul. 1026.

GATTINGER, E. T., 1962, Geological map of Turkey - Trabzon 1:500000, MTA yayınları 1-34, Ankara.

HOLEMAN, J. E., 1968, The sediment yield of major rivers of the world: water Resources research 4: 737-747.

KILINÇ, M. Y., 1976, Sediment problemi - Tarımsal kirlenme, Ortaoğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümü, Üniversite sonrası erozyon ve sedimantasyon notları, 1. ve 2. Bölüm: 1-18 ve 2-14, Ankara.

MILLER, C. B., 1951, Analysis of flow-duration sediment-rating curve method of computing sediment yield, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation Sedimentation Section, Denver, Colorado, 3-15.

MEYER - PETER, E. and MULLER, R., 1948, Formulas for bed-load transport, LAHR, Second Meeting - Stockholm.

ONCEL, K., 1975, Zeminlerin sökülebilirliği ile sp tipi dalga hızları arasındaki ilişki, T.C.K. Teknik Bülteni Sayı 61: 350, Ankara.

ÖZDENGİZ, A., 1970. *Iğdır ovası sulama şebekesinin bugünkü durumu. Şebeke dahilindeki toprakların sulama yönünden problemleri ve çözüm yolları üzerinde bir araştırma (Doçentlik tezi) Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi.*

ÖZAL, K., 1968. *Feyezan hidrolojisi hakkında genel bilgiler. Taşkınlar Hidrolojisi, sayfa 1 - 10, DSİ. Genel Müdürlüğü, Ankara.*

SOYDAM, S., 1960. *Rezervuarlarda toplanan sedimentin birim ağırlığı. DSİ. Etüt ve Planlama Rehberi No. 11 - 23: 7 - 15.*

Soil Survey Staff. 1951. Soil Survey Manual. USDA. Handbook No. 18. Agricultural Research Administration. Washington 25 DC.

TRASKOLANSKI, A. T., 1954. *Hydrometry. 6 - 23.*

U.S. Geological Survey. 1970. Guy, H.P., Norman, V.W. «Field methods for measurement of alluvial sediment» Techniques of Water Resources Investigations of the U.S.G.S. Book 3, Chap. C. 2.

UÇUNCÜ, N., 1962. *Yandere ıslahında yamaç arazi stabilizasyonu. Etüt ve Planlama Rehberi. No. 11 - 31 DSİ Matbaası, 1 - 15, Ankara.*

O Z E T

Bu araştırma şiddetli erozyon etkisi altında bulunan Tortum gölü su toplama havzasında sedimantasyon sorununun ortaya konması ve bu alanda toprak kullanma ve yöntemi için ileride uygulanabilecek bazı çözüm yöntemlerinin belirlenebilmesi amacıyla ele alınmıştır.

Havzanın ıslah edilebilmesi ile ilgili gerekli hidrolojik verilerin toplanması için Tortum çayı ana mecrası üzerinde seçilen gözlem yerinde hidrometrik yöntemlere göre 1974, 1975 ve 1976 su yıllarına ait yapılan ölçümlere göre akım - anahtar eğrileri çıkarılmış ve buradan su potansiyeli hesaplanmıştır.

Akım ölçümlerinin yapıldığı gözlem yerinde araştırma süresince derinlik - entegrasyon yöntemine göre süspanse sediment ölçümleri yapılmıştır.

Akım - süreklilik analizi ile birlikte kullanılan sediment - anahtar eğrisi yöntemi uyarınca Tortum çayının gözlem yerine göre drenaj alanından taşınan yıllık toplam süspanse sediment miktarı bulunmuştur.

Kaba sediment miktarının bulunmasında Meyer - Peter ve Müller (1948) tarafından geliştirilen tahmin yöntemi uygulanmıştır.

Havza karakteristiklerinin sedimantasyon süreci üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için havzanın jeolojik yapısı, toprak dağılımı ve topoğrafik durumu ile mecrâ özellikleri incelenmiştir.

Havzanın bugün için bir değer üretmeyen alanlarının yeniden verimli hale getirilmesi ve taşkınların önlenmesi için en geçerli ve sürekli yol erozyonunun kontrolüdür.

Bütün bu önlemlerin öncelik sırasına göre uzun dönemde sistemli bir şekilde uygulanabilmesi için Tortum gölü koruma ormanı amenajman planı hazırlanmalı ve Tortum gölü çevresi ulusal bir park durumuna getirilmelidir.

A RESEARCH ON THE EXTENT OF SEDIMENTATION AND ITS CONTROL IN TORTUM LAKE WATERSHED

Dr. Yusuf Z. GÜRESİNLİ¹

S U M M A R Y

This study is conducted in Tortum lake watershed which is under severe erosion to determine the extent of sedimentation and to give some recommendations for the future land use to slow erosion.

An observation post was located on the main branch of Tortum river and stream flow measurements were made for the years of 1974, 1975 and 1976 by using hydro-metric methods to collect hydrologic data.

Suspended sediment samples were taken from the river by depth integration method on place where stream flow measurements were taken.

Total amount of suspended sediment carried from the drainage basin were measured and calculated was found by using the depth-integration method, analysis of flow-duration and sediment rating curves together.

The method developed by Meyer-Peter and Müller (1948) for the estimation of bed-load was used.

Those factors having an important role on the sediment production such as geology, types of soils and topography of the basin and characteristics of the stream bed were studied to determine the effects of the basin features on sedimentation.

Control of erosion can decrease the damage of sedimentation hence the protection of agricultural land against floods may be achieved.

A good management plan for the forests should be prepared to protect Tortum lake, and the surrounding land must be reserved as national park in order to protect the watershed.

¹ Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü Araştırma Şefi, Erzurum, Turkey