

SERİ
SERIES
SERIE
SÉRIE

Å

CİLT
VOLUME
BAND
TOME

28

SAYI
NUMBER
HEFT
FASCICULE

2

1978

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

ORMAN FAKÜLTESİ

DERGİSİ

REVIEW OF THE FACULTY OF FORESTRY,
UNIVERSITY OF ISTANBUL
ZEITSCHRIFT DER FORSTLICHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT ISTANBUL
REVUE DE LA FACULTÉ FORESTIÈRE
DE L'UNIVERSITÉ D'ISTANBUL



AKIM VE SEDİMENT ÖLÇMELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ YOLUYLA BOZÇAY HAVZASININ YILLIK SEDİMENT VERİMİNİN HESABI

Dr. Ertuğrul GÖRCELİOĞLU †

Ö z e t

Güneybatı Anadolu Göller Yöresinde Burdur kapalı havzasının güney bölümünün sularını toplayarak Burdur Gölüne akıtan Bozçay, yörenin en önemli akarsuyu durumundadır. Bu akarsuyun boğaz kesimindeki Karaçalı Akım Rasat İstasyonunda D.S.İ. tarafından 1966 - 1968 yılları arasında sürdürülen sediment ölçme çalışmalarından sağlanan verilerin değerlendirilmesi, yöredeki erozyon ve sedimentasyon önemini ortaya koyar nitelikte bir sonuca ulaşılmasını sağlamıştır. Bu tip analizler için oldukça yetersiz sayılabilecek verilerle yapılan bu ön değerlendirme, Bozçay havzasından taşınan materyal miktarının yılda ortalama olarak 1,58 m³/ha'ı bulunduğunu göstermektedir.

Akarsuların gerek yatak yükü, gerekse asılı yük olarak taşıdıkları materyal miktarı ile debileri arasında gerçek bir bağıntı olduğu bilinmektedir. Ancak yatak yükünün örnekleme yoluyla hesaplanmasında yaygın ve yeteri kadar güvenilir bir yöntemin henüz bulunamamış olması nedeniyle, arazi çalışmalarında çoğunlukla yalnız asılı yük olarak taşınan materyal üzerinde durulmaktadır.

Asılı sedimentle su akışı (debi) arasında basit bir ilişki beklenmemelidir. Belli bir debi, değişik hidrolojik olguların bir sonucu olabilir ; kar erimesi, şiddetli bir yağış, değişik coğrafi boyutlar ve yağış süreleri v.b. akımı etkileyebilir ve her durumda farklı bir asılı sediment yükü söz konusudur. Bununla birlikte birçok araştırmacılar, akarsuların taşıdığı asılı materyal miktarının, akarsuyun debisinin bir fonksiyonu olduğunu kabul etmişler ve bu tip bir bağıntının, kabaca da olsa, gerçeğe yakın bir sonuç verdiğini ortaya koymuşlardır (GRAF 1971, s. 235 - 237).

Bu yazıda, akarsularda yapılan akım ve sediment ölçmelerinin değerlendirilmesine bir örnek olmak üzere, Burdur Gölü kapalı havzasının güney bölümünün sularını göle boşaltan en önemli akarsu durumundaki Bozçay'ın sediment veriminin hesaplanmasına çalışılmıştır.

Bozçay havzasının boğaz kesiminde ve akarsuyun ovaya açıldığı noktada D.S.İ. nin Karaçalı Akım Rasat İstasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonda sürekli akım ölçmelerinin yanısıra, 22.6.1966 ve 27.12.1968 tarihleri arasında sediment ölçmeleri de yapılmıştır.

Sediment örnekleri alınmasının çok pahalı bir işlem olması ve söz konusu akarsu üzerinde sedimentten önemli ölçüde zarar görecektir herhangi bir yapının düşünülmesi nedeniyle, Bozçay'dan, ancak otomatik olarak kaydedilen akım ölçmeleri için istasyona gidildiği zamanlarda sediment örnekleri alınmakla yetinilmiş, fakat bu örneklerin yüksek su (feyezan) dönemlerini de kapsamasına dikkat edilmiştir.

Böyle durumlarda birkaç yıllık sonuçlar değerlendirilerek, akarsuyun sediment verimi kolayca hesaplanabilir (TANG - ÜÇÜNCÜ 1971, s. 10).

Bozçay - Karaçalı Akım Rasat İstasyonunda alınan sediment örneklerinin analizi D.S.I. Laboratuvarında yapılmıştır. Söz konusu analiz sonuçları burada değerlendirilerek, Burdur Gölü kapalı havzasının -göl alanı dışında- yarısından fazlasını meydana getiren Bozçay drenaj havzasının yıllık sediment verimi konusunda yaklaşık bir sonuç elde edilmesine çalışılacaktır.

Aslı sediment örneklerinden sağlanan verilerin değerlendirilmesinde kullanılan normal prosedür, sediment yükü ile su akımı (debi) arasında bir korelasyon bulmaktır. Bu korelasyonu gösteren grafik «Sediment Anahtar Eğrisi» adını alır ve bu eğri «Akım Süreklilik Eğrisi» ile bağıntıya getirilerek, belli bir peryotta havzadan taşınan materyal miktarı hesaplanır (SUNDBORG 1964, s. 44 - 46).

Sediment örnekleri yalnız «nokta ölçmeleri» niteliğinde olduğundan, yıllık sediment taşınmasını bulmak için bu ölçme sonuçlarının enterpolasyonu gereklidir. Bu enterpolasyon sediment anahtar eğrilerinden yararlanılarak yapılmakta ve günümüzde sediment ölçmelerinin enterpolasyonu konusunda bundan daha iyi bir yöntem bulunmamaktadır (LINSLEY - KOHLER - PAULHUS 1958, s. 288).

Debi ile sediment miktarını bağıntıya getirebilmek için, bilinmesi gereken en önemli faktörlerden birisi konsantrasyondur. Konsantrasyon, örnekteki sediment ağırlığının, sediment - su karışımı ağırlığına oranıdır. Sediment ölçmeleri, Karaçalı Akım Rasat İstasyonundaki belli profilde üç ayrı düzeyde yapılmış ve laboratuvar analizleriyle ortalama sediment konsantrasyonu, n/1.000.000 (ppm) cinsinden bulunmuştur. Sediment örneklerinin alındığı andaki akarsu debisi de ayrıca ölçülmüştür.

Sediment örnekleri çok sık aralıklarla alınmamışsa, bu takdirde örneklerin analizi ile elde edilen konsantrasyonlar ancak belirli bir tarih ve saatteki «enstantane» değerleri ifade ederler. Bu durumda örnek alma tarih ve saatindeki debi ve milyonda konsantrasyon (ppm) değerleri bellidir. Bu değerlere dayanılarak, debi ve konsantrasyonun bütün gün değişmediği kabul edilmek suretiyle sediment miktarı ton cinsinden hesaplanır.

Günlük ortalama debi ve günlük ortalama sediment konsantrasyonu değerlerinden yararlanılarak günlük sediment miktarının hesaplanması amacıyla yaygın biçimde kullanılan formüllerden birisi,

$$Q_s = Q_w \cdot C \cdot K$$

TABLO I. BOZÇAY - KARAÇALI AKIM RASAT (DSI) İSTASYONUNA AİT ÖLÇÜLEN VE HESAPLANAN DEĞERLER

Sıra No	Örneğin alındığı tarih	Günlük Ortalama Değerler		
		Debi Q_w (m ³ /san)	Sediment konsantrasyonu C (ppm)	Sediment miktarı Q_s (ton/gün)
1	23. 6.1966	0.46	133.69	5.31
2	23. 7.1966	1.20	104.81	10.87
3	29. 7.1966	1.30	180.36	20.26
4	20. 8.1966	0.56	83.27	4.03
5	3. 9.1966	0.76	111.56	7.33
6	7. 9.1966	0.84	95.66	6.94
7	16. 9.1966	1.00	118.22	10.22
8	8.10.1966	1.05	110.64	10.04
9	14.10.1966	1.00	53.54	4.63
10	24.10.1966	1.20	65.30	6.77
11	29.10.1966	1.05	1353.13	122.76
12	11.11.1966	1.55	73.97	9.91
13	19.11.1966	1.55	94.03	12.59
14	24.11.1966	1.55	74.83	10.02
15	7.12.1966	2.10	271.25	49.22
16	16.12.1966	7.60	2393.67	1900.10
17	23.12.1966	5.40	3223.36	1503.89
18	4. 1.1967	3.20	317.25	87.71
19	11. 1.1967	4.30	963.41	357.93
20	3. 2.1967	3.00	634.42	164.44
21	7. 2.1967	3.20	265.71	73.46
22	10. 2.1967	3.80	413.03	135.61
23	16. 2.1967	2.70	167.35	39.04
24	22. 2.1967	3.00	191.14	49.54
25	1. 3.1967	3.20	782.28	216.28
26	9. 3.1967	3.60	801.95	249.44
27	16. 3.1967	4.90	942.55	399.04
28	28. 3.1967	4.10	901.84	319.47
29	5. 4.1967	7.60	1465.21	962.12
30	12. 4.1967	6.30	729.86	397.28
31	17. 4.1967	6.90	552.23	329.22
32	26. 4.1967	5.80	372.41	186.62
33	5. 5.1967	6.30	523.72	285.07
34	13. 5.1967	7.60	1350.47	886.77
35	17. 5.1967	6.00	1370.48	710.46
36	23. 5.1967	6.30	989.94	538.84
37	29. 5.1967	3.00	277.72	71.99
38	6. 6.1967	1.80	138.74	21.58
39	15. 6.1967	1.20	125.90	13.05
40	20. 6.1967	0.90	214.39	16.67
41	28. 6.1967	0.19	279.18	4.58
42	4. 7.1967	0.90	841.13	65.41
43	11. 7.1967	0.84	265.88	19.30

(Tablo 1. den Devam)

Sıra No	Örneğin alındığı tarih	Günlük Ortalama Değerler		
		Debi Q_w (m ³ /san)	Sediment konsantrasyonu C (ppm)	Sediment miktarı Q_s (ton/gün)
44	12. 7.1967	0.76	50.05	3.29
45	17. 7.1967	0.69	237.17	14.14
46	25. 7.1967	0.76	465.38	30.56
47	2. 8.1967	0.69	100.61	6.00
48	7. 8.1967	0.62	102.22	5.48
49	14. 8.1967	0.50	150.25	6.49
50	21. 8.1967	0.56	122.73	5.94
51	31. 8.1967	0.62	127.41	6.83
52	6. 9.1967	1.80	3021.58	469.92
53	20. 9.1967	1.05	130.50	11.84
54	30. 9.1967	0.56	71.15	3.44
55	5.10.1967	0.78	78.09	5.26
56	9.10.1967	1.00	131.02	11.32
57	17.10.1967	0.62	100.11	5.36
58	20.10.1967	0.70	109.32	6.61
59	25.10.1967	1.60	4168.69	576.28
60	28.10.1967	1.10	189.21	17.98
61	1.11.1967	1.70	4960.86	728.65
62	8.11.1967	1.50	297.98	38.62
63	17.11.1967	1.40	121.52	14.70
64	22.11.1967	1.40	146.33	17.70
65	29.11.1967	1.20	98.66	10.23
66	7.12.1967	1.20	51.20	5.31
67	13.12.1967	1.25	22.45	2.43
68	16.12.1967	1.60	95.11	13.15
69	20.12.1967	5.50	1968.25	935.31
70	27.12.1967	4.20	838.15	304.15
71	29.12.1967	5.00	1687.82	729.14
72	5. 1.1968	14.50	5354.25	6707.80
73	9. 1.1968	11.50	4501.94	4473.13
74	15. 1.1968	6.60	789.44	438.77
75	24. 1.1968	6.90	648.19	386.43
76	2. 2.1968	5.50	543.99	258.50
77	6. 2.1968	8.40	2225.76	1615.37
78	14. 2.1968	10.50	1848.08	1676.58
79	19. 2.1968	22.00	5056.55	9611.49
80	15. 3.1968	15.00	2936.81	3806.11
81	5. 4.1968	13.50	659.21	768.90
82	12. 4.1968	13.50	670.39	781.94
83	16. 4.1968	11.50	818.95	813.71
84	31. 4.1968	21.00	1155.71	2096.92
85	25. 4.1968	12.00	954.49	989.62
86	30. 4.1968	9.40	539.76	438.37

(Tablo 1. den Devam)

Sıra No	Örneğin alındığı tarih	Günlük Ortalama Değerler		
		Debi Q_w (m ³ /san)	Sediment konsantrasyonu C (ppm)	Sediment miktarı Q_s (ton/gün)
87	14. 5.1968	3.60	203.18	63.20
88	23. 5.1968	3.10	344.60	92.30
89	30. 5.1968	3.40	307.20	90.24
90	4. 6.1968	3.20	438.40	121.21
91	18. 6.1968	2.40	57.97	12.02
92	20. 6.1968	2.00	192.18	33.21
93	25. 6.1968	1.40	169.06	20.45
94	6. 7.1968	0.70	274.17	16.58
95	12. 7.1968	0.56	129.90	6.29
96	16. 7.1968	0.56	117.70	5.69
97	25. 7.1968	0.45	111.15	4.32
98	30. 7.1968	0.45	142.38	5.54
99	8. 8.1968	0.56	139.77	6.76
100	14. 8.1968	0.56	123.20	5.96
101	23. 8.1968	0.62	128.68	6.89
102	14. 9.1968	1.25	143.37	15.48
103	21. 9.1968	1.10	138.99	13.21

biçimindedir (TANG - ÜÇÜNCÜ 1971, s. 12 - 13). Bu formülde :

Q_s = Günlük sediment miktarı ton/gün

Q_w = Günlük ortalama debi m³/san.

$K = \gamma \cdot T \cdot 0,000\ 001$

$\gamma = 1$ m³ suyun ağırlığı ton

$T = 86400$ (24 saat içindeki saniye sayısı)

$K = 1,00 \cdot 86400 \cdot 0,000\ 001$

$K = 0,0864$

C = Sediment konsantrasyonu ppm

dur.

K'nın değeri yerine konulunca, formülü

$$Q_s = 0,0864 \cdot Q_w \cdot C$$

biçimini almaktadır.

Bozçay - Karaçalı istasyonunda ölçülen akım (debi) ve sediment konsantrasyonu değerleriyle, bu değerlere dayanılarak yukarıdaki formül yardımıyla hesaplanan günlük sediment miktarları Tablo I'de gösterilmiştir.

Bu tablodan da açıkça görüldüğü gibi, bazı günlerdeki materyal miktarları ortalama büyük ölçüde farklıdır. «Bu durum birçok hidrolojik faktörlere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Fakat aylık ortalama değerler arasında farklar genellikle

daha küçüktür ve bu değerler birbirleriyle daha iyi uyuşurlar» (GRAF 1971, s. 236). Hem bu uyumu sağlamak, hem de işlemleri kolaylaştırmak üzere tablodaki debi (Q_w) ve sediment miktarı (Q_s) değerleri aylar itibarıyla toplanmış ve buradan Tablo II deki aylık ortalama değerler hesap edilmiştir.

Ortalama debi ile ortalama sediment miktarı arasındaki ilişkinin

$$Q_s = a \cdot Q_w^b$$

biçiminde gösterilmesinin gerçeğe en uygun sonuçları verdiği, birçok araştırmalardan anlaşılmaktadır (GRAF 1971, s. 235 ; ENGEZ 1955, s. 326 - 340). Eldedi X (Q_w) ve Y (Q_s) değerlerini kullanarak

$$Y = a \cdot X^b$$

biçiminde bir üstel fonksiyondaki a ve b değerlerini elde edebilmek amacıyla, aşağıdaki prosedür uyarınca programlanan bir «Olivetti - Programma 101» komputerinden yararlanılmıştır.

$$Y = a \cdot X^b$$

$$\log Y = \log a + b \cdot \log X$$

$$\frac{\Delta_1}{\Delta} = \log a$$

$$\frac{\Delta_2}{\Delta} = b$$

$$n \cdot a + b \cdot \Sigma \log X = \Sigma \log Y$$

$$a \cdot \Sigma \log X + b \cdot \Sigma (\log X)^2 = \Sigma \log X \cdot \log Y$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} n & \Sigma \log X \\ \Sigma \log X & \Sigma (\log X)^2 \end{vmatrix} = n \cdot \Sigma (\log X)^2 - (\Sigma \log X)^2$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} \Sigma \log Y & \Sigma \log X \\ \Sigma \log X \cdot \log Y & \Sigma (\log X)^2 \end{vmatrix} = \Sigma \log Y \cdot \Sigma (\log X)^2 - \Sigma \log X \cdot \Sigma \log X \cdot \log Y$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} n & \Sigma \log Y \\ \Sigma \log X & \Sigma \log X \cdot \log Y \end{vmatrix} = n \cdot \Sigma \log X \cdot \log Y - \Sigma \log X \cdot \Sigma \log Y$$

Bu logaritmik çözümdede kolaylık sağlamak amacıyla debi ve sediment miktarı verileri 10^3 ile çarpılmak suretiyle büyütülmüş¹⁾ ve Tablo III hazırlanmıştır.

Yukarıdaki işlem sonucunda :

$$\Delta = 1938,66297$$

$$\Delta_1 = -1334,41330$$

¹⁾ Bu yolla elde edilen logaritmik eşitlikte herhangi bir X değeri için Y yi hesaplamak, X değerinin yine 10^3 ile çarpılarak yerine konulması ve sonuçta elde edilen Y değerinin bu kez 10^3 e bölünmesi gerekir.

TABLO II. AYLIK ORTALAMA DEBİ VE SEDİMENT MİKTARLARI

Aylar	Örnek sayısı (n)	Ortalama Debi (m ³ /san)	Ortalama Sediment Miktarı (ton/gün)
Ocak	6	7,833	2075,295
Şubat	9	6,900	1513,781
Mart	5	6,160	998,070
Nisan	10	10,750	776,470
Mayıs	8	4,193	342,359
Haziran	9	1,506	27,720
Temmuz	12	0,764	16,872
Ağustos	9	0,588	6,043
Eylül	8	1,045	67,300
Ekim	10	1,010	76,668
Kasım	8	1,481	105,302
Aralık	9	3,761	604,744

TABLO III. ÇÖZÜM İÇİN GEREKLİ VERİLER

Aylar	Örnek sayısı n	X (Q _w · 10 ³)	log X	Y (Q _s · 10 ³)	log Y
Ocak	6	7833	3,99393	2075295	6,31708
Şubat	9	6900	3,83885	1514781	6,18066
Mart	5	6160	3,78958	998070	5,99916
Nisan	10	10750	4,03141	776470	5,89012
Mayıs	8	4193	3,62252	342359	5,53448
Haziran	9	1506	3,17782	27720	4,44279
Temmuz	12	764	2,88309	16872	4,22717
Ağustos	9	588	2,76938	6043	3,78125
Eylül	8	1045	3,01912	67300	4,82802
Ekim	10	1010	3,00432	76668	4,88461
Kasım	8	1481	3,17056	105302	5,02244
Aralık	9	3761	3,57530	604744	5,78157

$$\Delta_1 = 3372,86084$$

$$\frac{\Delta_1}{\Delta} = \log a = \frac{1334,41330}{1938,66297}$$

$$\log a = -0,68831$$

$$a = 0,20497$$

$$\frac{\Delta_2}{\Delta} = b = \frac{3372,86084}{1938,66297}$$

$$b = 1,73978$$

olarak bulunmuş ve böylece aranan bağıntının,

$$Y = 0,20497 \cdot X^{1,73978}$$

ya da

$$\log Y = \log 0,20497 + 1,73978 \cdot \log X$$

$$\log Y = -0,68831 + 1,73978 \cdot \log X$$

biçiminde formüle edilebileceği saptanmıştır.

Ancak, daha önce de değinildiği gibi akarsuyun debisi ile taşıdığı sediment miktarı arasında basit ve mutlak bir ilişki olduğu düşünülemez. Sediment miktarında meydana gelen değişmelerle akarsuyun debisi arasındaki ilişkinin derecesini ortaya çıkarabilmek için belirlilik (determinasyon) katsayısının hesabı gerekir.

Korelasyon hesapları için gereken değerlerin bulunması amacıyla Tablo IV A ve Tablo IV B düzenlenmiş, bunlardan yararlanılarak belirlilik katsayısı ;

$$r^2 = 1 - \frac{\Sigma(Y - Y_e)^2}{\Sigma(Y - \bar{Y})^2} = 1 - \frac{2930961,159}{5162300,897}$$

$$r^2 = 1 - 0,568$$

$$r^2 = 0,432$$

olarak elde edilmiştir. Korelasyon katsayısına varmak için, belirlilik katsayısının karekökünü almak yeterlidir (GÜRTAN 1971, s. 571). Dolayısıyla korelasyon katsayısı da,

$$r = \sqrt{0,432}$$

$$r = \pm 0,657$$

olarak bulunmuştur. Regresyon katsayısının işareti (+) olduğundan, korelasyon katsayısının işareti de (+) dir ve sonuç olarak

$$r = + 0,657$$

demektir.

TABLO IV A. KORELASYON HESAPLARI İÇİN ÖZEL İŞLEMLER

Ölçülen Değerler		Y'nin Regresyon Denklemi ile Hesaplanan Değerleri	Korelasyon Hesapları İçin Özel İşlemler	
X	Y	$Y_e = 0,20497 \cdot X^{1,73970}$	Yanımlar ($Y - Y_e$)	Standard Yanılma ($Y - Y_e$) ²
7,833	2075,295	1219,744	855,551	731967,510
6,900	1513,781	978,235	535,546	286809,520
6.160	998,070	803,021	195,049	38044,112
10,750	776,470	2115,700	-1329,230	1793537,000
4,193	342,359	411,232	- 68,873	4743,490
1,506	27,720	69,248	- 41,528	1724,575
0,764	16,872	21,264	- 4,392	19,290
0,588	6,043	13,483	- 7,440	55,354
1,045	67,300	36,668	30,632	938,319
1,010	76,668	34,558	42,110	1773,252
1,481	105,302	67,260	38,042	1447,194
3,761	604,744	340,355	264,389	69901,543
	$\Sigma Y =$ 6810,624		$\Sigma(Y - Y_e) =$ 499,856	$\Sigma(Y - Y_e)^2 =$ 2930961,159

TABLO IV B. KORELASYON HESAPLARI İÇİN ÖZEL İŞLEMLER

Y'nin Ortalaması $\bar{Y}(Y/n)$	Yanımlar $Y - \bar{Y}$	Standard Yanılma $(Y - \bar{Y})^2$
459,114673	1616,180	2612038,849
459,114873	1054,666	1112321,063
459,114673	538,855	290365,063
459,114673	317,355	100814,504
459,114673	- 116,756	13631,887
459,114673	- 431,395	186101,364
459,114673	- 442,243	195578,582
459,114673	- 453,072	205274,081
459,114673	- 391,815	153518,738
459,114673	- 382,447	146265,458
459,114673	- 353,813	125183,408
459,114673	145,629	21207,991
	$\Sigma(Y - \bar{Y}) =$ 1516,147	$\Sigma(Y - \bar{Y})^2 = 5162300,897$

Hidrolojide, korelasyon katsayısı (indeksi) değeri 0,6 - 1,0 arasında bulunduğu, yani $0,6 < r < 1,0$ olduğu takdirde, fenomenler arasında iyi bir direkt (pozitif) korelasyon söz konusudur (NEMEC 1972, s. 139 - 140).

Uygunluğu böylece belirlenen regresyon denkleminde yararlanılarak, Bozçay için sediment anahtar eğrisi çizilmiştir (Resim 1).

Daha önce de değinildiği üzere bu eğri, akım süreklilik eğrisi ile bağıntıya getirilerek değerlendirilir. Bir yıl içindeki akımın tarih itibarıyla değil de büyüklük itibarıyla değişimini bulmak gerektiğinde, ortalama günlük akımlara ait akım süreklilik eğrisi çizilir. Bu eğri, günlük ortalama akımları ölçülmüş bulunan belli bir yıla ait olabileceği gibi, birkaç ya da birçok yıla ait de olabilir.

İkinci durumda, bütün periyot (n yıl) % 100 olarak düşünülür. Süre yine 365 gün alınır; fakat değerler bütün periyot için bir ortalama temsil ederler (NEMEC 1972, s. 232).

Akım süreklilik eğrisini çizebilmek için Bozçay - Karaçalı Akım Rasat İstasyonunda 1966 - 1968 su yıllarında¹ ölçülen günlük ortalama akım değerleri, D.S.İ. akım rasat yıllıklarından alınmıştır. Bu üç yıl içinde ölçülen maksimum günlük ortalama debi 37,00 m³/san. (23.1.1966), minimum günlük ortalama debi de 0,19 m³/san. (28.6.1967) olmuş, bu amplitüd 2 m³/san'lık eşit aralıklara bölünerek² Tablo V'in birinci sütununda gösterilmiştir. Aynı tablonun ikinci sütununda bu aralıklara tekabül eden günlük akım sayısı (frekans), üçüncü sütununda da bu akım sayısının yüzde olarak değeri (oransal frekans) yazılmıştır. Tablonun dördüncü ve beşinci sütunlarında ise kümülatif frekans değerleri hesaplanmıştır.

Bu frekans dağılım tablosu hazırlandıktan sonra, apsisde süre (gün ve % olarak), ordinatta da debiler (m³/san.) gösterilmek suretiyle 1966 - 1968 yıllarına ait akım süreklilik eğrisi çizilmiştir (Resim 2).

Böylece sediment anahtar eğrisinin temsil ettiği periyot için akım süreklilik eğrisi de elde edildikten sonra, bu iki eğrinin kombine edilerek değerlendirilmesi amacıyla bir sediment hesap tablosu hazırlanmıştır (Tablo VI). Sediment hesap tablosunun birinci sütununa, uygun akım süreklilik limitleri (sınırları) yazılmış, ikinci sütununda, birinci sütundaki sınırlar arasında kalan aralıklar, üçüncü sütununda da aralıkların orta noktaları gösterilmiştir.

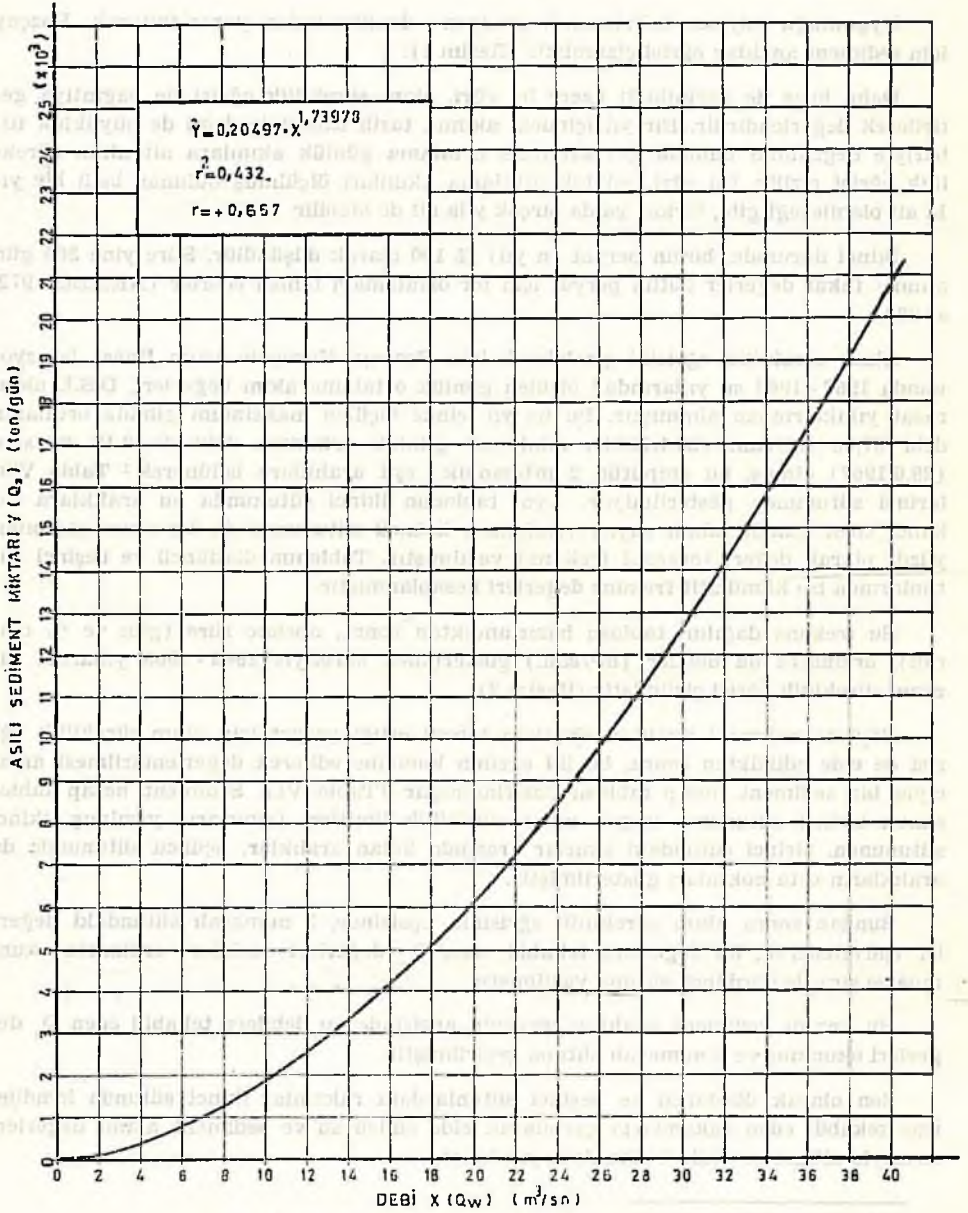
Bundan sonra akım süreklilik eğrisinin apsisinde, 3 numaralı sütundaki değerler işaretlenerek, bu değerlere tekabül eden $Q_{\%}$ değerleri (debiler) ordinatta okunmuş ve sıra ile dördüncü sütuna yazılmıştır.

Bu kez de sediment anahtar eğrisinin apsisinde bu debilere tekabül eden Q_s değerleri okunmuş ve 5 numaralı sütuna geçirilmiştir.

Son olarak dördüncü ve beşinci sütunlardaki rakamlar ikinci sütunda kendilerine tekabül eden rakamlarla çarpılarak elde edilen su ve sediment akımı değerleri sırasıyla altıncı ve yedinci sütunlara yazılmıştır.

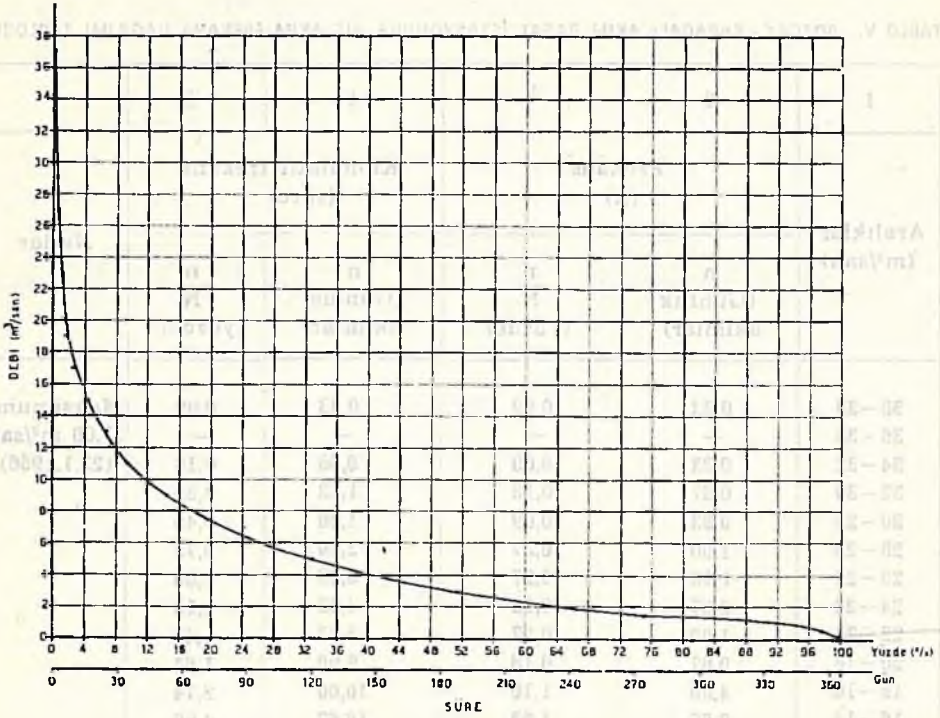
¹ Su yılı, bir önceki yılın Ekim ayında başlayıp, o yılın Eylül ayı sonunda biter.

² 2 - 0 m³/san aralığı, eğrinin sonundaki düşüşü belirleyebilmek amacıyla 2 - 1 ; 1 - 0,5 ; 0,5 - 0 olmak üzere yine eşit aralıklara bölünmüştür.



Resim 1. Sediment Anahtar Eğrisi

Figure 1. Sediment Rating Curve



Resim 2. Akım Süreklilik Eğrisi
Figure 2. Flow - Duration Curve

Bu tablo böylece tamamlandığında, altıncı sütundaki rakamlar toplamı, akım süreklilik eğrisinin temsil ettiği süre içindeki ağırlıklı ortalama debiyi (m^3/san), yedinci sütundaki rakamlar toplamı da günlük sediment miktarını ($ton/gün$) verecektir.

Buraya kadar yapılan işlem ve hesaplar sonucunda, Bozçay havzasından yalnız asılı yük (süspansed sediment) olarak taşınan materyal miktarının günde yaklaşık olarak 810,307 tonu bulunduğu, bir yılda taşınan miktarın ise :

$$810,307 \times 365 = 295\,762,055 \text{ ton}$$

olduğu anlaşılmaktadır.

Havzanın (Karaçalı istasyonuna kadar) alanı $1541,6 \text{ km}^2$ olarak ölçüldüğüne göre, birim alandan taşınan asılı materyal miktarı :

$$295\,762,055 : 1541,600 = 191,854 \text{ ton/km}^2/yıl$$

dır.

Çeşitli toprakların 1 m^3 ünün ağırlığı ortalama olarak $1,4 \text{ ton}$ kabul edildiğine (FOURNIER 1960, s. 190) göre, bu sonuç,

$$191,854 : 1,4 = 137,039 \text{ m}^3/\text{km}^2/yıl$$

ya da

$$137,039 : 100 = 1,37 \text{ m}^3/\text{ha/yıl}$$

olarak da ifade edilebilir.

TABLO V. BOZÇAY - KARAÇALI AKIM RASAT İSTASYONUNA AİT AKIM FREKANS DAĞILIMI TABLOSU

1	2	3	4	5	6
Aralıklar (m ³ /san)	Frekans (n)		Kümülatif frekans (süre)		Notlar
	n (Günlük akımlar)	$\frac{n}{N}$ (yüzde)	n (Günlük akımlar)	$\frac{n}{N}$ (yüzde)	
38-36	0,33	0,09	0,33	0,09	Maksimum 37,00 m ³ /san (23.1.1966)
36-34	—	—	—	—	
34-32	0,33	0,09	0,66	0,18	
32-30	0,67	0,18	1,33	0,36	
30-28	0,33	0,09	1,66	0,45	
28-26	1,00	0,27	2,66	0,73	
26-24	1,00	0,27	3,66	1,00	
24-22	0,67	0,18	4,33	1,18	
22-20	1,00	0,27	5,33	1,46	
20-18	0,67	0,18	6,00	1,64	
18-16	4,00	1,10	10,00	2,74	
16-14	6,67	1,83	16,67	4,56	
14-12	9,00	2,46	25,67	7,03	
12-10	9,33	2,56	35,00	9,58	
10-8	18,67	5,12	53,67	14,69	
8-6	35,67	9,77	89,34	24,45	
6-4	31,33	8,58	120,67	33,03	
4-2	67,33	18,44	188,00	51,43	
2-1	85,00	23,27	273,00	74,70	Minimum 0,19 m ³ /san (28.6.1967)
1-0.5	84,00	22,99	357,00	97,69	
0.5-0.0	8,33	3,16	365,33	99,97	
	365,33	100,00			

Eldeki olanaklarla D.S.I.'nin Karaçalı istasyonunda yürüttüğü sediment ölçmelerinde uygulanmış olan örnekleme yöntemi, aslında böyle bir hesapla gerçeğe yakın bir sonuç elde etmek için yetersizdir. Bununla birlikte burada, aslı sediment ölçmelerinin belli bir amaçla nasıl değerlendirilebileceğine bir örnek olmak üzere bu verilerin kullanılması yoluna gidilmiştir.

TABLE VI. ASILI (SÜSPANSE) SEDİMENT HESAP TABLOSU

1	2	3	4	5	6	7
% Sınırlar	% Aralıklar	% Aralıkların orta noktaları	Q_w Debiler m^3/san	Q_s Sediment ton/gün	2x4 Su akımı	2x5 Sediment akımı
0,00 — 0,02	0,02	0,01	37,00	18170,057	0,00740	3,63401
0,02 — 0,10	0,08	0,06	36,90	18084,705	0,02952	14,46776
0,10 — 0,50	0,40	0,30	36,60	17829,675	0,14640	71,31870
0,50 — 1,50	1,00	1,00	24,00	8556,462	0,24000	85,56462
1,50 — 5,00	3,50	3,25	16,40	4411,551	0,57400	143,90429
5,00 — 15,00	10,00	10,00	10,80	2132,850	1,08000	213,28500
15,00 — 25,00	10,00	20,00	7,60	1157,317	0,76000	115,73170
25,00 — 35,00	10,00	30,00	5,40	638,608	0,54000	63,86080
35,00 — 45,00	10,00	40,00	4,00	378,863	0,40000	37,88630
45,00 — 55,00	10,00	50,00	3,10	243,160	0,31000	24,31600
55,00 — 65,00	10,00	60,00	2,40	155,781	0,24000	15,57810
65,00 — 75,00	10,00	70,00	1,80	94,438	0,18000	9,44380
75,00 — 85,00	10,00	80,00	1,40	60,990	0,14000	6,09900
85,00 — 95,00	10,00	90,00	1,20	46,643	0,12000	4,66430
95,00 — 98,50	3,50	96,75	0,60	13,966	0,02100	0,48881
98,50 — 99,50	1,00	99,00	0,35	5,468	0,00350	0,05468
99,50 — 99,90	0,40	96,70	0,20	2,065	0,00080	0,00828
99,90 — 99,98	0,08	99,94	0,10	0,618	0,00008	0,00049
99,98 — 100,00	0,02	99,99	0,01	0,011	0,000002	0,000002
					4,792702	810,306622

Bulunan sonucun, yalnız asılı yük olarak taşınan materyal miktarı olduğuna yukarıda değinilmişti. Akarsuların aşağı kısımlarında ölçülen asılı yük miktarları, havzalardan koparılıp çeşitli biçimlerde taşınan materyal miktarlarının çok küçük bir bölümünü temsil etmektedir. Dolayısıyla asılı yük miktarı, yatak yükü halinde taşınan materyal miktarı ölçülmediği sürece, havzadan taşınan toplam materyal miktarı hakkında yeterli bir fikir veremez.

Bir havzadan taşınan toplam sediment miktarının bulunmasında, hesap yapma olanaklarının olmadığı durumlarda yatak yükü olarak askıdaki sediment yükünün % 10 - 15'inin kabul edilebileceği, Birleşmiş Milletler Örgütü'nün konuya ilişkin bir raporuna¹ dayanılarak bildirilmektedir. (CÖNTÜRK 1968, s. 26). Havzadaki dere-lerde yatak yükü taşınmasının fazla olduğu gözönünde tutularak bu oran % 15 kabul edilirse, Bozçay'ın toplam sediment verimi yaklaşık olarak :

$$158 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{yıl} = 1,58 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yıl}$$

bulunur.

Verilerin bazı bakımlardan yetersizliğine karşın güvenilir bir yöntemle elde edilen bu değerler üzerinde tartışılabilir. Ancak yörede ve havzada yapılan çeşitli ölçme, inceleme ve gözlemler, elde edilen bu sonucun durumu oldukça gerçeğe yakın bir biçimde yansıttığını göstermektedir.

Yatak Yükü (m ³ /km ² /yıl)	Asılı Yük (m ³ /km ² /yıl)	Toplam Sediment (m ³ /km ² /yıl)	Yatak Yükü (%)	Asılı Yük (%)
0,00 - 10,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00 - 20,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20,00 - 30,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30,00 - 40,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40,00 - 50,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50,00 - 60,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60,00 - 70,00	0,00	0,00	0,00	0,00
70,00 - 80,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80,00 - 90,00	0,00	0,00	0,00	0,00
90,00 - 100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
100,00 - 110,00	0,00	0,00	0,00	0,00
110,00 - 120,00	0,00	0,00	0,00	0,00
120,00 - 130,00	0,00	0,00	0,00	0,00
130,00 - 140,00	0,00	0,00	0,00	0,00
140,00 - 150,00	0,00	0,00	0,00	0,00
150,00 - 160,00	0,00	0,00	0,00	0,00
160,00 - 170,00	0,00	0,00	0,00	0,00
170,00 - 180,00	0,00	0,00	0,00	0,00
180,00 - 190,00	0,00	0,00	0,00	0,00
190,00 - 200,00	0,00	0,00	0,00	0,00
200,00 - 210,00	0,00	0,00	0,00	0,00
210,00 - 220,00	0,00	0,00	0,00	0,00
220,00 - 230,00	0,00	0,00	0,00	0,00
230,00 - 240,00	0,00	0,00	0,00	0,00
240,00 - 250,00	0,00	0,00	0,00	0,00
250,00 - 260,00	0,00	0,00	0,00	0,00
260,00 - 270,00	0,00	0,00	0,00	0,00
270,00 - 280,00	0,00	0,00	0,00	0,00
280,00 - 290,00	0,00	0,00	0,00	0,00
290,00 - 300,00	0,00	0,00	0,00	0,00
300,00 - 310,00	0,00	0,00	0,00	0,00
310,00 - 320,00	0,00	0,00	0,00	0,00
320,00 - 330,00	0,00	0,00	0,00	0,00
330,00 - 340,00	0,00	0,00	0,00	0,00
340,00 - 350,00	0,00	0,00	0,00	0,00
350,00 - 360,00	0,00	0,00	0,00	0,00
360,00 - 370,00	0,00	0,00	0,00	0,00
370,00 - 380,00	0,00	0,00	0,00	0,00
380,00 - 390,00	0,00	0,00	0,00	0,00
390,00 - 400,00	0,00	0,00	0,00	0,00
400,00 - 410,00	0,00	0,00	0,00	0,00
410,00 - 420,00	0,00	0,00	0,00	0,00
420,00 - 430,00	0,00	0,00	0,00	0,00
430,00 - 440,00	0,00	0,00	0,00	0,00
440,00 - 450,00	0,00	0,00	0,00	0,00
450,00 - 460,00	0,00	0,00	0,00	0,00
460,00 - 470,00	0,00	0,00	0,00	0,00
470,00 - 480,00	0,00	0,00	0,00	0,00
480,00 - 490,00	0,00	0,00	0,00	0,00
490,00 - 500,00	0,00	0,00	0,00	0,00
500,00 - 510,00	0,00	0,00	0,00	0,00
510,00 - 520,00	0,00	0,00	0,00	0,00
520,00 - 530,00	0,00	0,00	0,00	0,00
530,00 - 540,00	0,00	0,00	0,00	0,00
540,00 - 550,00	0,00	0,00	0,00	0,00
550,00 - 560,00	0,00	0,00	0,00	0,00
560,00 - 570,00	0,00	0,00	0,00	0,00
570,00 - 580,00	0,00	0,00	0,00	0,00
580,00 - 590,00	0,00	0,00	0,00	0,00
590,00 - 600,00	0,00	0,00	0,00	0,00
600,00 - 610,00	0,00	0,00	0,00	0,00
610,00 - 620,00	0,00	0,00	0,00	0,00
620,00 - 630,00	0,00	0,00	0,00	0,00
630,00 - 640,00	0,00	0,00	0,00	0,00
640,00 - 650,00	0,00	0,00	0,00	0,00
650,00 - 660,00	0,00	0,00	0,00	0,00
660,00 - 670,00	0,00	0,00	0,00	0,00
670,00 - 680,00	0,00	0,00	0,00	0,00
680,00 - 690,00	0,00	0,00	0,00	0,00
690,00 - 700,00	0,00	0,00	0,00	0,00
700,00 - 710,00	0,00	0,00	0,00	0,00
710,00 - 720,00	0,00	0,00	0,00	0,00
720,00 - 730,00	0,00	0,00	0,00	0,00
730,00 - 740,00	0,00	0,00	0,00	0,00
740,00 - 750,00	0,00	0,00	0,00	0,00
750,00 - 760,00	0,00	0,00	0,00	0,00
760,00 - 770,00	0,00	0,00	0,00	0,00
770,00 - 780,00	0,00	0,00	0,00	0,00
780,00 - 790,00	0,00	0,00	0,00	0,00
790,00 - 800,00	0,00	0,00	0,00	0,00
800,00 - 810,00	0,00	0,00	0,00	0,00
810,00 - 820,00	0,00	0,00	0,00	0,00
820,00 - 830,00	0,00	0,00	0,00	0,00
830,00 - 840,00	0,00	0,00	0,00	0,00
840,00 - 850,00	0,00	0,00	0,00	0,00
850,00 - 860,00	0,00	0,00	0,00	0,00
860,00 - 870,00	0,00	0,00	0,00	0,00
870,00 - 880,00	0,00	0,00	0,00	0,00
880,00 - 890,00	0,00	0,00	0,00	0,00
890,00 - 900,00	0,00	0,00	0,00	0,00
900,00 - 910,00	0,00	0,00	0,00	0,00
910,00 - 920,00	0,00	0,00	0,00	0,00
920,00 - 930,00	0,00	0,00	0,00	0,00
930,00 - 940,00	0,00	0,00	0,00	0,00
940,00 - 950,00	0,00	0,00	0,00	0,00
950,00 - 960,00	0,00	0,00	0,00	0,00
960,00 - 970,00	0,00	0,00	0,00	0,00
970,00 - 980,00	0,00	0,00	0,00	0,00
980,00 - 990,00	0,00	0,00	0,00	0,00
990,00 - 1000,00	0,00	0,00	0,00	0,00

SUMMARY

A PRELIMINARY ANALYSIS OF SUSPENDED - SEDIMENT SAMPLING DATA TO OBTAIN A SHORT - TERM AVERAGE SEDIMENT YIELD OF THE RIVER BOZÇAY

Dr. Ertuğrul GÖRCELİOĞLU

Abstract

A preliminary analysis of suspended - sediment sampling data collected between 1966 - 1968 shows that the mean annual suspended - sediment yield of the River Bozçay is about 137 cubic meters per square kilometer of its drainage area. Together with bed load, the total quantity of material transported from the catchment area reaches up to 158 cubic meters per square kilometer per annum.

The Lakes Region in the southwest of Anatolia (Turkey) comprises many closed basins and lakes. Soil erosion, sediment transport and deposition in this region are sources of important and widespread problems. All these phenomena together with some others have brought many unfavourable social and economic limitations to the people living in the region.

Bozçay is one of the most important rivers in the Lakes Region of Anatolia and it drains waters of an area of more than 1500 square kilometers into the southern end of the Lake Burdur.

In this study, it is intended to obtain a short - term average sediment yield of the River Bozçay by analysing the suspended - sediment sampling data collected between 1966 - 1968.

The normal procedure used in the analysis of suspended - sediment sampling data is to find a correlation between sediment load and water discharge. The sediment - rating curve is applied to a flow - duration curve and the quantity transported during a certain period is calculated. It is generally accepted that sediment - rating curves can provide fairly satisfactory results for the prediction of mean annual sediment rates.

With the figure of annual suspended - sediment load as a basis and also including the estimated quantity of bed load, the total quantity of material likely to be transported from the catchment area to a certain point is calculated.

In this study, it is presumed that the results of the measurements of suspended material and water discharge can be correlated by a relation such as

$$Y = a \cdot X^b$$

which is given in Fig. 1, where Y is the estimated average suspended material (Q_s) in tons per day, and X is the water discharge (Q_w) in cubic meter per second; the constant is found to be $a = 0,20497$ and the exponent, $b = 1,73978$.

Since all the measured values of water discharge and suspended material had been multiplied by 10^3 for the sake of logarithmic simplicity before the process of computing, it is necessary to multiply any X (Q_w) value by 10^3 before the application of this relation, and then to divide the estimated Y (Q_s) value by 10^3 ; e.g., if we are trying to find the value of Y for a given value of $X = 10$ m³/sec, the application should be

$$Y = 0,20497 \cdot 10000^{1,73978}$$

which gives a result such as

$$Y = 1865564,626$$

and the computed value of Y for $X = 10$ m³/sec is therefore;

$$Y = 1865,565 \text{ tons per day.}$$

By applying this sediment-rating curve to the flow-duration curve (Fig. 2), the average quantity transported from the catchment area of Bozçay during one year is found to be 295762 tons. This means that the short term mean annual sediment rate for the drainage area of Bozçay is about 191,9 tons per square kilometer, or 137,04 cubic meters per square kilometer.

The quantity of bed load is estimated to be about 15 per cent of the suspended-sediment load of the river. Including this quantity of bed load, the total quantity of material likely to be transported from the catchment area is about 158 cubic meters per square kilometer per annum, that is 1,58 cubic meters per hectare per annum.

These results are obviously computed through a widely accepted method. However, the period of suspended-sediment sampling was relatively short and therefore these data could be regarded insufficient. In spite of this disadvantage, the results obtained seem to be rather satisfactory when compared with some other estimates for the region.

KAYNAKLAR

CÖNTÜRK, H. 1968. *Erozyon, Sediment ve Sedimentasyon Etüdüleri*. E.İ.E.İ. Yayını, Ankara.

ENGEZ, N. 1955. *Su Yapıları - Cilt II*. İ.T.Ü. Yayın No. 328, İstanbul.

FOURNIER, F. 1960. *Climat et Erosion*. Presses Universitaires de France, Paris.

GRAF, W.H. 1971. *Hydraulics of Sediment Transport*. McGraw-Hill Book Company, New York.

GÜRTAN, K. 1971. *İstatistik ve Araştırma Metodları*. İ.Ü. Yayın No. 1670, İşletme Fakültesi No. 10, İstanbul.

LINSLEY, R.K. ; KOHLER, M.A. ; PAULHUS, J.L.H. 1958 *Applied Hydrology*. Mc Graw - Hill Book Co. Inc. , New York - Toronto - London.

NEMEC, J. 1972. *Engineering Hydrology*. McGraw - Hill Publishing Company Ltd. , Maidenhead - Berkshire.

SUNDBORG, A. 1964. *The Importance of the Sediment Problem in the Technical and Economic Development of River Basins*. Uppsala. Vetenskapsakademien. Arsb. 8.

TANG, G. ; ÜÇÜNCÜ, N. 1971. *Askı Materyali (Süspanse Sediment) Ölçülmesi ve Hesaplanmasına Ait Kılavuz*. D.S.İ. Matbaası, Ankara.