

## Hurman Çayı Havzasında Ölçülen ve Ampirik Yöntemlerle Hesaplanan Sediment Verimlerinin Karşılaştırılması

Necati AKSU<sup>1</sup>, Kenan UÇAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Valiliği, 1. Özel Dairesi, Sulama ve Toprak İşleri Müd., Kahramanmaraş

<sup>2</sup>KSÜ, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

**Geliş Tarihi (Received) :07.02.2012**

**Kabul Tarihi (Accepted) : 21.12.2012**

**Özet:** Bu çalışma ile Hurman Çayı Havzası'nda ampirik yöntemlerle hesaplanan süspansediment verimleriyle, ölçümle bulunan sediment verimi değerleri karşılaştırılmış ve ampirik yöntemlerden havza için uygulanabilir olan ampirik yöntem araştırılmıştır. Ölçülen akımlar ve bunlara karşılık gelen sediment değerlerinden yararlanılarak havzanın sediment anahtarı değeri çıkarılmıştır. Günlük ortalama akım değeri kullanılarak anahtarı değeri ile ilgili Hurman Çayı Havzası'nın sediment verimi  $23.745 \text{ tonyıl}^{-1}\text{km}^{-2}$  olarak hesaplanmıştır. Ampirik yöntemlerle hesaplanan sediment verimleri; Brüt Erozyon Yöntemi ile  $201.975 \text{ tonyıl}^{-1}\text{km}^{-2}$ , Ünlversal Toprak Kayıpları Etkinliği (USLE, Universal Soil-Loss Equation) ile  $198.500 \text{ tonyıl}^{-1}\text{km}^{-2}$ , Etkinliği ile  $142.935 \text{ tonyıl}^{-1}\text{km}^{-2}$  ve Türkiye Genel Denklemi ile de  $72.570 \text{ tonyıl}^{-1}\text{km}^{-2}$  bulunmuştur. Bu çalışmada, gözleme dayalı hesaplamaya en yakın değeri, Türkiye Genel Denklemi, en uzak değeri ise USLE (Ünlversal toprak kaybı etkinliği) ve Brüt Erozyon etkinlikleri vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Havza, Hurman Çayı, Sediment Verimi, USLE

### Estimation of Sedimentation with Empirical Methods in Hurman Stream Basin

**Abstract:** The objective of this study was to compare suspended sediment yield, calculated by empirical methods, with measured data in Hurman stream basin and the most appropriate empirical method was determined for the basin. Sediment rating curve of the basin was obtained by using the measured flows and corresponding sediment values. Sediment yield of the basin was calculated as  $23.745 \text{ tonyear}^{-1}\text{km}^{-2}$  using daily mean flow values and rating curve equation. Sediment yield was found as  $201.975 \text{ tonyear}^{-1}\text{km}^{-2}$  for Gross Erosion Method,  $198.500 \text{ tonyear}^{-1}\text{km}^{-2}$  for Universal Soil Loss Equation (USLE),  $142.935 \text{ tonyear}^{-1}\text{km}^{-2}$  for Electrical Works Etude Administration (EIE), and  $72.570 \text{ tonyear}^{-1}\text{km}^{-2}$  for General Equation of Turkey. In this study, the General Equation of Turkey estimated the measured data as the best whereas the USLE (Universal soil-loss equation), and Gross Erosion Method estimated the measured data as the worst.

**Keywords:** Basin, Hurman River, Sediment Yield, USLE

#### GİRİŞ

Su depolama yapılarının depolama kapasitesini doğru olarak belirlemek, depolama yapısının hizmet süresi boyunca görevini tam olarak yerine getirmesini sağlayacaktır. Aksi durumda su istenilen karlılıktan yararlanamamaktadır. Zamanla öngörülen seviyeye getirilemeyeceği için projeden beklenen yarar sağlanamayacaktır. Su depolama yapılarının depolama hacminin azalmasına sebep olan etkenlerin başında havzadan su ile taşınan sediment miktarı gelir. Sedimentasyon birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de önemli sorunlardan birisidir (Öztürk, 2002).

Erozyonun şiddetinin bilinmesi açısından da önemli olan sediment miktarının belirlenmesi ile ilgili çalışmaların artarak sürdürülmesi, birçok açıdan ülkemizi ve ülkemiz insanlarını zarara uğratan erozyonu azaltacak önlemlerin alınması için gereklidir.

Sediment tahminine yönelik olarak yapılacak çalışmaların, akarsuların debilerine bağlı olarak farklılıklar arz etmektedir. Hidrolik kuvvetlere bağlı

olarak, sediment parçacıklarından kaba bünyeli olanların yatak yüzeyi ile temas halinde, ince bünyelilerin ise türbülans hızının etkisiyle süspansediment halde hareket ettikleri bilinmektedir. Taşınan sedimentin %50 ila %95'i süspansedimenttir. Bu yüzden süspansediment miktarı önemlidir. Yatak yükü miktarı aslı yükün %5'inden %25'ine kadar değişmektedir. Etkinin çok fazla olduğu dağlık arazilerde bu oran %50'ye kadar ulaşabilmektedir (Yanmaz, 1997).

Dolayısıyla taşınan sediment miktarını belirlemek için, süspansediment halde bulunan sediment konsantrasyonunun bilinmesine ihtiyaç vardır. Bunun için, çalışma yapılan akarsudan belirli bir sıklıkta ve belirli su seviyelerinden alınan örneklerin, laboratuvar ortamında analizi ile süspansediment miktarı tespit edilir. Farklı debi miktarlarına karşılık gelen sediment miktarı belirlenerek o akarsu için sediment anahtarı değeri oluşturulur. Sonra bu değerlerden her akıma karşılık gelen süspansediment miktarları tespit edilir (Demirkıran, 1997).

Sorumlu Yazar: Uçan, K., ucan@ksu.edu.tr

\* Yüksek Lisan tez çalışmasıdır.

Sediment taşınımını etkileyen jeolojik, topoğrafik ve klimatolojik faktörlerin çok fazla ve bunların birbirleriyle olan etkilerinin karmaşık olması nedeniyle herhangi bir akarsuyun taşıdığı sediment miktarının analitik olarak hesaplanabilmesi oldukça zordur. Bu amaçla geliştirilmiş birçok farklı tahmin yöntemleri bulunmakla birlikte, mümkün olduğu kadar uzun süreli ölçüm sonuçlarından yararlanılması daha güvenli bir yoldur (Miller, 1951).

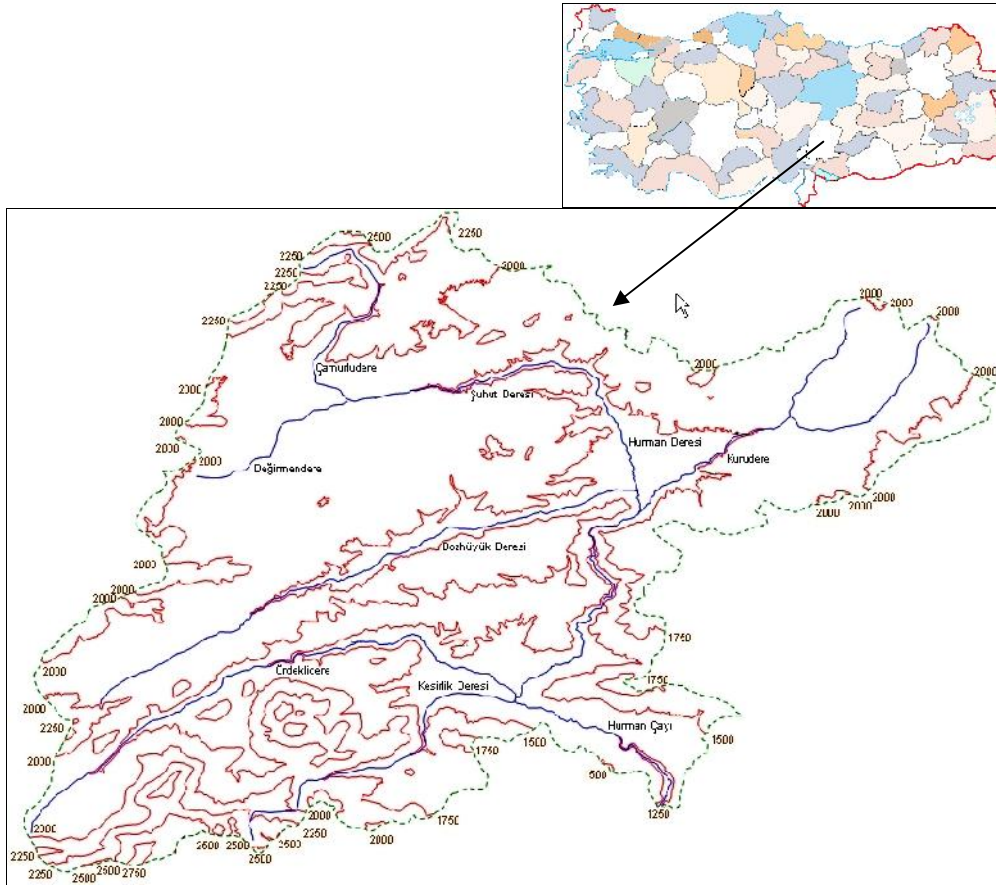
Bu çalışmada, Elektrik Enerji Etüt Dairesi (E E)'nin sediment gözlem sonuçlarından yararlanılarak hesaplanan sediment verimi ile E E, Türkiye'de Genel

Erozyon, Brüt Erozyon ve USLE ampirik metodlarıyla hesaplanan sediment verimleri karşılaştırılarak hangi ampirik modelin daha iyi sonuç verdiği belirlenmeye çalışılmıştır.

## MATERYAL ve METOT

### Materyal

Hurman Çayı Havzası, Ceyhan Ana Havzası'nın bir alt havzasıdır. Havza çıkış noktasının koordinatları  $36^{\circ} 55' 14''$  D –  $38^{\circ} 25' 21''$  K'dir. Havzanın topoğrafik ve su yolları haritası ekil 1 ve ekil 2'de verilmiştir.



ekil 1. Hurman Çayı Havzası Topoğrafik Haritası

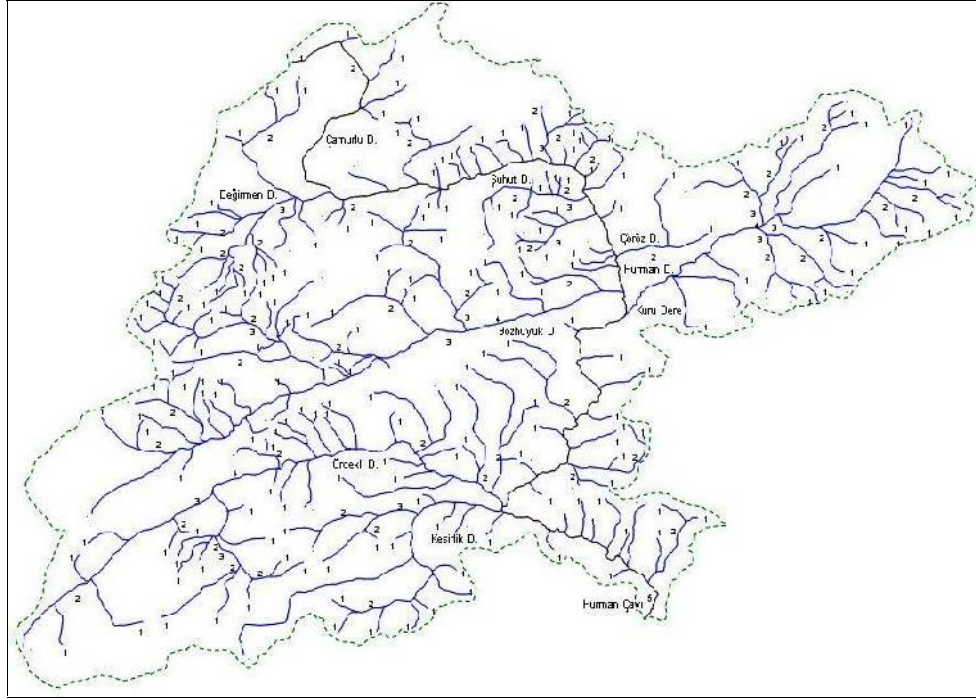
Hurman Çayı, Ceyhan Irmağını besleyen ve Elbistan Ovası'na su sağlayan önemli bir kaynaktır. En önemli kolları uzunluk sırasına göre, Bozhüyük, Ördekli, Kurudere, Kesirlik ve Deirmendere dereleridir.

Çalışmada, meteorolojik veriler havzaya en yakın olan Afyon Meteoroloji stasyonundan elde edilmiştir (Tablo 1). Bu verilere göre bölgede 1975–2005 yılları arasındaki ortalama yıllık toplam yağış miktarı 442.0 mm'dir.

Sediment ve akım verileri E E Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Çalışmada, Genel

Müdürlüğe bağlı 2015 numaralı Tanır Akım Gözlem stasyonuna ait 39 yıllık aylık sediment ölçüm verileri kullanılmıştır.

Havzanın eğim yönünden asıl problemlen olan kısımları VI. ve VII. sınıf arazilerdir. Havza arazilerinin %86'sı bu sınıf arazilerden oluşmaktadır. Bu arazilerde yüksek eğim söz konusudur. Havzanın %5.5'ini oluşturan III. ve IV. sınıf arazilerde eğim orta düzeydedir. Kalan %8.5'lik kısım çıplak kayalıklardan oluşmaktadır. Havza arazilerinin alan ve alan yüzdelere göre eğim sınıfları Tablo 2'de verilmiştir.



ekil 2. Hurman Çayı Havzası Su Yolları Haritası

Tablo 1. Af in Meteoroloji stasyonu 1975–2005 Yılları Ortalama iklim Verileri

Meteorolojik Elemanlar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Yıllık
Top.Yağı (mm)	57.2	46.6	53.9	56.2	51.5	14.8	4.7	1.1	8.2	35.4	48.5	63.9	442.0
Sıcaklık (°C)	-3.2	-1.4	3.6	10.1	14.7	19.2	23.2	22.8	18.1	11.7	4.5	-0.4	10.2
Nem (%)	78	74	67	59	56	48	42	43	48	60	70	78	60
Buhar Basıncı (hPa)	4.1	4.3	5.3	7.0	9.1	10.4	11.6	11.3	9.4	7.9	6.0	4.9	7.6
Rüzgâr Hızı (msn <sup>-1</sup> )	2.0	2.1	2.0	2.0	1.8	1.8	2.1	2.1	1.8	1.7	1.8	1.9	1.9
Buharlaştırma (mm)	-	-	-	55.3	144.5	192.2	239.2	227.2	155.4	77.0	11.3	-	77.0

Tablo 2. Havzada A m m iddeti Alan ve Oranları

	Zayıf A m m	Orta A m m	iddetli A m m	Çok id. A m m	A m m sızs	Toplam
Alanı (km <sup>2</sup> )	-	19.5	199.5	619.1	77.1	915.2
Oranı (%)	-	2	22	68	8	100

### Metot

#### Sediment Verimi Hesapları

##### 1. E E Gözlem Sonuçları ile Hesaplama

Değişik seviyelerdeki debilere ait süspansediment örnekleri derinlik entegrasyon yöntemine göre "US. DH-48" sediment örneği alma aletleriyle alınmakta ve alınan bu örnekler laboratuvar ortamında filtrasyona tabi tutularak sediment konsantrasyon değerleri E itlik 1 ile ppm olarak tespit edilmektedir.

Sediment Konsantrasyonu (ppm) =

$$\frac{\text{Sediment(Kum+Silt+Kil)} \times 10^6}{\text{Örnek(Su+Sediment)Ağırlığı}} \quad (1)$$

Elde edilen net sediment 0.0625 mm gözenek çaplı eleklerden geçirilerek, ele in üstünde kalan kum ve altına geçen (silt+kil) miktarının toplam sedimente göre ağırlık yüzdeleri tespit edilmektedir. Bu oranlardan sedimentin birim hacim ağırlığı (ton/m<sup>3</sup>) dikkate alınmaktadır.

Alınan örneklerin laboratuvar ortamında tespit edilen ppm değerlerinden yararlanılarak, akarsuyun o andaki debisine karşılık gelen süspansediment miktarları E itlik 2 ile hesaplanmaktadır (Julien, 1995).

$$Q_s = Q \times C \times 0.0864 \quad (2)$$

E itlikte; Q<sub>s</sub>: sediment miktarı (tongün<sup>-1</sup>), Q: sediment örneği alındığı anda ölçülen akım, (m<sup>3</sup>sn<sup>-1</sup>), C: sediment konsantrasyonunu (ppm) göstermektedir.

Örnek alındı 1 anda ölçülen debi ile hesaplanan günlük sediment miktarı arasında E itlik 3'deki gibi bir ili ki vardır. Bu ili ki, o havzaya ait anahtar e risi e itli ini ortaya koymaktadır (Anonim, 2000).

$$Q_s = a Q^b \quad (3)$$

E itlikte, a ve b de erleri, akarsu istasyonunun havza ve iklim karakteristiklerine ba lı istasyon katsayılarıdır.

## 2. E E E itli i ile Hesaplama

E E, sediment verimini farklı de i kenlere göre ele alarak E itlik 4'ü geli tirmi tir (Sevinç, 1993).

$$Q_s = 0.002 \times P_o^{1.143} \times A^{0.423} \times I^{-0.233} \times P_{15}^{-0.298} \times P_{30}^{-1.740} \times P_{60}^{1.979} \times P_{1440}^{-0.573} \times K_n^{0.045} \times P_n^{-0.221} \times EI^{-0.340} \times Q_m^{0.536} \times L^{0.703} \quad (4)$$

E itlikte;  $Q_s$ : yıllık ortalama sediment miktarı ( $10^3$  ton),  $P_o$ : yıllık ortalama ya 1 miktarı (mm), A: havza alanı ( $km^2$ ), I: ana su yolu e imi (%),  $P_{15}$ : 2 yıl tekerrürlü 15 dakikalık ya 1 miktarı (mm),  $P_{30}$ : 2 yıl tekerrürlü 30 dakikalık ya 1 miktarı (mm),  $P_{60}$ : 2 yıl tekerrürlü 60 dakikalık ya 1 miktarı (mm),  $P_{1440}$ : 2 yıl tekerrürlü 1440 dakikalık ya 1 miktarı (mm),  $K_n$ : akım indeksi,  $P_n$ : ya 1 indeksi, EI: yıllık ortalama erozyon indeksi ( $R$ ), ( $ton-mha^{-1}$ ),  $Q_m$ : Yıllık ortalama en yüksek debi ( $m^3sn^{-1}$ ), L: Ana su yolu uzununu (km) göstermektedir.

Akım ve ya 1 indeksleri ve en yüksek debi ortalaması E itlik 5,6 ve 7 ile hesaplanmaktadır (Göksu ve ark., 1979).

Akım indeksi;

$$K_n = Q_m \times Q_{ort} \times 10^{-3} \quad (5)$$

$Q_{ort}$ : Yıllık ortalama akım, ( $m^3sn^{-1}$ )

Ya 1 indeksi;

$$P_n = (P_{1440}) \times P_o \times 10^{-3} \quad (6)$$

Yıllık ortalama en yüksek debi:

$$Q_m = (Q_{m1} + Q_{m2} + \dots + Q_{mn}) / n \quad (7)$$

E itlikte ;  $Q_{m1}$ ,  $Q_{m2}$ ,..... $Q_{mn}$ : Yıllık en yüksek debiler, ( $m^3sn^{-1}$ ) ve n: yıl sayısıdır.

Erozyon indeksi (EI), bir ya 1 m toplam kinetik enerjisi (KE) ile bu ya 1 m 30 dakikalık en büyük iddetinin (I) 2 ile çarpımının ((cm/30min) x 2 = cm/h), 100'e bölünmesinden elde edilir. Yıl içinde ya an her bir ya 1 için aynı i lem yapılarak bulunan de erler toplanır ve yıllık (EI) bulunur. Bu i lem yapılırken, hangi ya 1 ların dikkate alınaca ı belirli kriterlere göre tespit edilir. Bu kriterlere göre 6 saat veya daha fazla ya 1 sız bir süre ile veya 6 saatlik süre içerisinde 1.27 mm'den az bir ya 1 la birbirinden ayrılan ya 1 lar ayrı ya 1 lar sayılır ve dikkate alınır. Bu ya 1 lardan, ya 1 miktarı 12.7 mm'den az olanlar, 15 dakikalık maksimum iddeti 24 mm/h'den de az ise de erlendirmeye alınmazlar (Çanga, 2007).

Ya 1 faktörü, plüviyograf kayıtlarından seçilen erozyona neden olabilecek ya 1 ların bir kısım özelliklerinden yararlanılarak E itlik 8 yardımıyla hesaplanabilir.

$$R = \frac{I_m \times KE}{100} \quad (8)$$

E itlikte; R: erosiv ya 1 faktörü (ton-mha-1)  $I_m$ : ya 1 m, ya 1 süresince en büyük 30 dakikalık iddeti (cmh-1) KE: ya 1 m toplam kinetik enerjisini (ton-m ha-cm-1) göstermektedir.

Kinetik enerji de eri E itlik 9 yardımı ile hesaplanabilir.

$$KE = 210.1 + 89 \log I \quad (9)$$

E itlikte; KE: Ya 1 m her bir cm'sinin kinetik enerjisi ( $ton-m ha^{-1}$ ), I: Hesaplama yapılan dönemdeki ortalama ya 1 iddetini (cmh<sup>-1</sup>) göstermektedir.

Ülkemizde bulunan 66 meteoroloji istasyonunun plüviyograf diyagramları bu eilde incelenmi ve e R de erine sahip istasyonlar birle tirilerek (Do an, 1987) tarafından iso-erodent haritası elde edilmi tir. Havza için erozyon indeksi veya erozyon ya 1 faktörü de eri bu haritadan tespit edilmi tir.

Plüviyograf diyagramlarının bulunmadı ı yerler için (EI) de erinin bulunmasına yönelik yapılan çalı malar, yıllık ortalama erozyon indeksiyle; yıllık ortalama ya 1 m, 2 yılda bir dü mesi beklenen 1 saatlik ya 1 m ve 2 yılda bir dü mesi beklenen 24 saatlik ya 1 m çarpımı arasında iyi bir korelasyon oldu unu göstermi tir (E itlik 10; Wischmeier, 1962).

$$EI_{30} = f(P \cdot I_1^{2y1} \cdot I_{24}^{2y1}) \quad (10)$$

E itlikte;  $EI_{30}$ : erozyon indeksi, ( $ton-m ha^{-1}$ ), f: fonksiyon, P: yıllık ya 1 (cm),  $I_1^{2y1}$  : 2 yılda bir dü mesi beklenen 1 saatlik ya 1 (cm) ve  $I_{24}^{2y1}$ : 2 yılda bir dü mesi beklenen 24 saatlik ya 1 (cm) de erlerini göstermektedir.

## 3. Türkiye için Bulunan Genel Sediment E itli i ile Hesaplama

E E tarafından Türkiye genelinde yapılan ölçüm sonuçları de erlendirilerek, ölçüm yapılan her istasyonun net ya 1 alanı ile uzun yıllara ait ortalama süspansediment miktarları arasındaki regresyon analizi sonucu elde edilen e itlik a a ıda verilmi tir (E itlik 11).

$$Q_s = 6.21 A^{1.36} (R^2 = 0.79) \quad (11)$$

E itlikte;  $Q_s$ : ta iman süspansediment miktarı, (tonyl<sup>-1</sup>), A: net ya 1 alanı ( $km^2$ ) ve  $R^2$ : korelasyon katsayısıdır.

## 4. Brüt Erozyon Yöntemi ile Hesaplama

Arazilerin kullanım durumu, kullanım durumlarına göre nitelikleri ve i lenme yüzdelere göre hangi toprak gurubunda oldukları belirlenerek, o guruba ait brüt erozyon miktarı,  $m^3da^{-1}yl^{-1}$  olarak brüt erozyon yöntemi için yapılan sınıflandırma tablolarından elde edilmektedir. Havzadan ta iman süspansedimentin yo unlu u, E E kaynaklarından  $1.28 tonm^{-3}$  olarak alınmi tir. Sediment ula ım oranları, farklı özelliklerdeki her arazi gurubunun büyüklü üne göre, ilgili tablolardan normal alanlar için elde edilmekte, tabloda yer almayan daha büyük arazi parçaları için bu oran Rochl e itli i ile hesaplanmaktadır. Bu de erler toplanarak havzaya ait toplam brüt sediment miktarı

bulunmaktadır (Özer, 1990). Brüt erozyon, bütün erozyon çeşitlerini içermekte olduğundan, süspansediment miktarının tespiti için havza artlarına göre toplam sediment içerisinde önemli bir orana sahip olan ve kaba sediment olarak da adlandırılan yatak yükü (bed-load) miktarı toplamdan düşülmüştür. Havzanın arazi artları dikkate alınarak yatak yükü oranı, aslı yükün yüzdesi olarak belirlenmektedir (Yanmaz, 1997). Elde edilen süspansediment miktarı havza alanına oranlanarak sediment verimi ( $\text{tonyil}^{-1}\text{km}^2$ ) olarak hesaplanmıştır.

### 5. USLE Yöntemi ile Hesaplama

USLE yöntemine göre birim alandan kaybolan toprak kaybının hesaplanmasında E itlik 12 kullanılmıştır (Wischmeier ve Smith, 1978).

$$A = R K L S C P \quad (12)$$

E itlikte; A: birim alandan toprak kaybı ( $\text{tonha}^{-1}$ ), R: yağış faktörü (erozyon indeksi (EI) sayısı), ( $\text{ton-mha}^{-1}$ ), K: toprak erozyon duyarlılığı faktörü (22.13 metre uzunlukta ve %9 eğimli devamlı nadas yapılan bir araziden birim erozyon indeksine karşılık erozyon oranı), L: eğim uzunluğu faktörü (herhangi uzunlukta bir araziden oluşan toprak kaybının, aynı toprak tipi ve eğimde 22.13 m uzunlukta bir araziden oluşan toprak kaybına oranı), S: eğim dikliği faktörü (herhangi bir eğim dikliğine sahip bir araziden oluşan toprak kaybının, %9 eğim dikliği ve aynı toprak tipi ile eğim uzunluğuna sahip bir araziden oluşan toprak kaybına oranı), C: ürün amenajman faktörü (belirli bir ürün yetiştirme ve amenajmana sahip bir araziden oluşan toprak kaybının K faktörünün de dahil edildiği nadas koşullarındaki araziden oluşan toprak kaybına oranı), P: erozyon kontrol uygulamaları faktörüdür (e yükseltme ve rillerine paralel tarım, eritvari ekim veya teraslama yapılan bir araziden oluşan toprak kaybının, eğim alanı sürüm yapılan arazide oluşan toprak kaybına oranı). Bu parametrelerin nasıl elde edildiği aşağıda açıklanmıştır.

Yağış faktörü (R): Havza için iso-erodent haritasından okunmuştur (Doğan, 1987).

Azımsız duyarlılık (erodabilite) katsayısı (K): Topraklar, silt, çok ince ve orta boyutlu kum, kil, organik madde miktarı ile yapı ve geçirgenliğine bağlı olarak değişik derecelerde erozyona uğurlar. Her bir toprak grubu için erozyon duyarlılık katsayısı E itlik 13 yardımı ile elde edilebilir. Her grup için elde edilen erozyon duyarlılık katsayısının, alan ağırlıklı ortalaması alınarak havzanın ortalama erozyon duyarlılık katsayısı hesaplanabilir.

$$100 K = 2.1 M^{1.14} (10^{-4}) (12-a) + 3.25 (b-2) + 2.5 (c-3) \quad (13)$$

E itlikte; K: toprak erozyon duyarlılık katsayısı, M: tane büyüklüğü deşeni, a: organik madde miktarı (%), b: Toprak yapısının sınıflama kodu ve c: Toprak geçirgenlik yönünden sınıftır.

Havzayı temsil eden K deşeri E itlik 14 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$K = \sum A_i K_i / A \quad (14)$$

E itlikte;  $A_i$ : farklı toprak özelliklerine sahip her bir arazi alanı  $K_i$ : her bir arazi için nomogramdan elde edilen K deşeri (Wischmeier, 1962), A: toplam havza alanıdır.

Eğim uzunluğu (L) ve eğim dikliği (S) faktörleri: Havzalarda eğim uzunluğu ve eğim dikliği faktörünün birlikte değerlendirildiği (LS) faktörünün CBS (Coğrafî Bilgi Sistemi) ile belirlenmesinde Toxopeus (2000), %21'den küçük eğimli alanlar için E itlik 15'i, %21'den büyük eğimli alanlar için E itlik 16'yı geliştirmiştir.

$$LS = \left( \frac{L}{72.6} \right) \times (65.41 \times \sin(S) + 4.56 \times \sin(S) + 0.065) \quad (15)$$

$$LS = \left( \frac{L}{22.1} \right)^{0.7} \times (6.432 \times \sin(S^{0.79})) \times \cos(S) \quad (16)$$

Topoğrafik katsayı da denenen eğim faktörü, Brooks ve ark. (1975), tarafından önerilen E itlik 17 yardımıyla da saptanabilir (Öztürk, 2002).

$$LS = \left( \frac{\lambda}{22.13} \right)^{0.3} \left( \frac{S}{9} \right)^{1.3} \quad (17)$$

E itliklerde; LS: Topoğrafik katsayı,  $\lambda$ : eğim uzunluğu (m), S: eğim derecesidir (%).

Havzanın ortalama eğim derecesi, Williams ve Berndt (1972), tarafından önerilen yöntem uygulanarak elde edilebilir. Bu yöntemde her bir alt havzadaki eğim yükseklikleri arasında kalan alanın eğimi, E itlik 18 ile bulunabilir (Öztürk, 2002).

$$S_i = \left[ \frac{H (LC_j + LC_{j+1})}{DA_i} \right] \times 100 \quad (18)$$

E itlikte; S: iki eğim yükseltme risi arasındaki alanın eğimi (%), H: ardışık eğim yükseltme rileri arasındaki kot farkı (km),  $LC_j$ : J eğim yükseltme risinin uzunluğu (km),  $LC_{j+1}$ : J+1 eğim yükseltme risinin uzunluğu (km),  $DA_i$ : Ardışık eğim yükseltme rileri arasında kalan alan, ( $\text{km}^2$ ),

Eğim uzunluğu (L), E itlik 19 ile hesaplanabilir (Wischmeier ve Smith 1978).

$$L = (l/22.1)^m \quad (19)$$

E itlikte; L: eğim uzunluğu faktörü, l: arazi eğim uzunluğu (m). m: Eğim uzunluğu ve derecesi ilişkisini gösteren üs deşeri ("m" için ortalama deşeri 0.5'tir. 'Eğim <0.005' için 'm=0.3'; '0.005 < Eğim <0.10' için 'm=0.4'; 'Eğim >0.10' için 'm=0.6'dır)

Eğim dikliği (S), E itlik 20 ile hesaplanabilir.

$$S = 0.43 + 0.30 s + 0.043 s^2 / 6.613 \quad (20)$$

E itlikte; s: eğim derecesidir (%).

Eğim %10-50 ve eğim uzunluğu 800 m'ye kadar olan araziler için E itlik 21 kullanılabılır.

$$LS = (l/22.1)^{0.6} \times (s/9)^{1.4} \quad (21)$$

E itlikten LS'nin hesaplanabilmesi için, eğim uzunluğu (L) parametresinin tespit edilmesi gereklidir. Bu parametre; topoğrafik harita üzerinden ölçülen deşerler kullanılarak kontur ekstrem yöntemiyle hesaplanmıştır (E itlik 22).

$$L = LC \times LB / (2 \times EP \times \sqrt{LC^2 - LB^2}) \quad (22)$$

E itlikte; L: e im uzunlu u (m), LC: e yükselti e risi uzunlu u (km), LB: e yükselti baz hattı uzunlu u (km), EP : LB'nin kesti i su yolları sayısı, C : bitki örtüsü faktörü ve P: toprak muhafaza faktörüdür.

Bitki örtüsü faktörü (C): Bu de er, arazi kullanım haritası, toprak haritası ve uydu görüntülerinden faydalanılarak tespit edilmi tir. Arazi kullanım durumu ve bitki örtüsüne göre her bir alan, harita üzerinden ölçülmü tür. Bu alanların toplam alan içerisindeki oranları yüzde olarak tespit edilmi tir. Belirlenen (C) de erleri alan oranları ile çarpıldıktan sonra, çarpım de erleri toplanarak, havza için ortalama (C) faktörü belirlenmi tir.

Toprak muhafaza faktörü (P): Havzada hiçbir toprak koruma önlemi alınmadı ndan, erozyonun önlenmesinde toprak muhafazası ile sa lanabilecek pozitif katkı söz konusu de ildir. Di er bir ifade ile e itli in sonucunu

olumlu etkileyebilecek her hangi bir toprak koruma oranı mevcut de ildir. Dolayısıyla faktör de eri l'e e ittir ve sonuca çarpım olarak yansıdı ndan, etkisizdir.

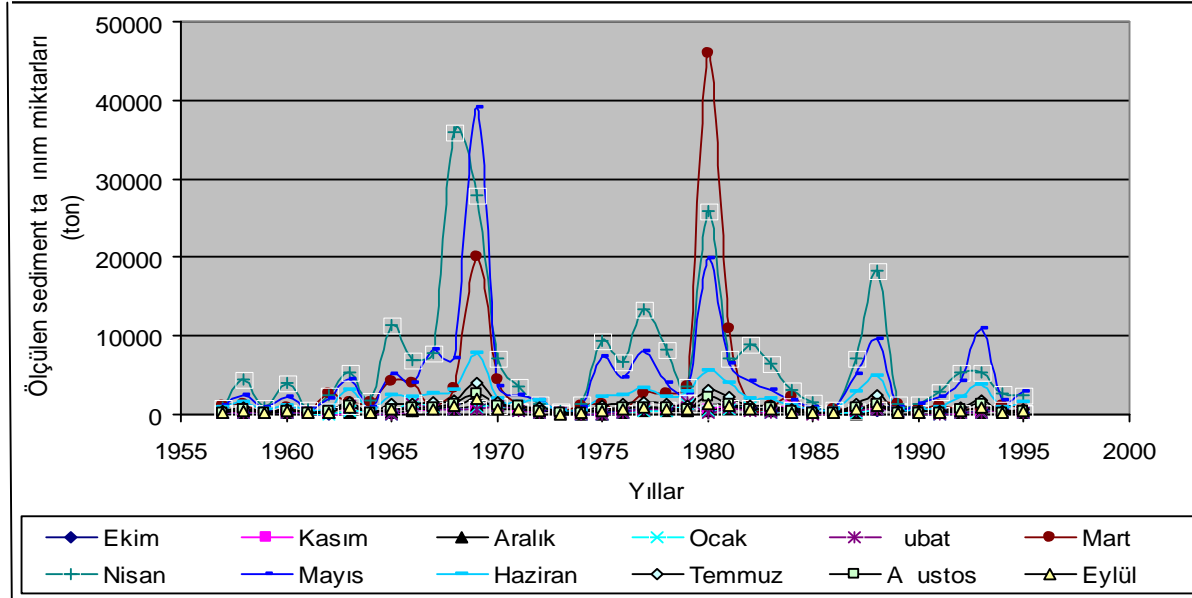
Sediment iletim oranının belirlenmesi: Bu oran havza büyüklü üne ba lı olarak a a ıda verilen Rochl e itli i ile hesaplanmı tır (Anonim, 2001).

$$SDR = 36 (A)^{-0.20} \quad (23)$$

E itlikte; SDR: sediment iletim oranı (%) ve A: havza alanıdır (km<sup>2</sup>).

### BULGULAR ve TARTI MA

Hurman Çayı havzasına ait 1957-1995 yıllarına ait aylık sediment miktarları ekil 3'de verilmi tir. ekilde görüldü ü gibi en yüksek verim ortalama ya 1 m fazla oldu u Mart-Nisan ve Mayıs aylarında meydana gelmi tir (Tablo 1). Ocak ve ubat aylarında ya 1 ların fazla olmasına ra men ya 1 lar daha çok kar eklinde oldu u için bu aylardaki sediment miktarı az olmu tur.



ekil 3. 1957–1995 Yılları Aylık Sediment Miktarları (ton)

Farklı yöntemlere göre elde edilen yıllık sediment verimi de erleri Tablo 3'de verilmi tir. Tablo incelendi inde yöntemlerin Gözleme Dayalı Hesaplamaya oranlarına bakıldı nda büyük farklılıklar elde edilmi tir. Gözleme Dayalı Hesaplamaya en yakın de er Türkiye Genel Sediment E itli i'yle elde edilmi tir. En büyük fark Brüt Erozyon yöntemi ile

hesaplanan de erle ortaya çıkmı tır. Brüt Erozyon'un sırasıyla USLE ve E E E itli i takip etmi tir. Di er taraftan ampirik yöntemler arasında USLE ile Brüt Erozyon yönteminin sonuçları birbirine çok yakın bulunmu tur. Bu ikisine en yakın de er E E E itli i ile bulunan de erdir.

Tablo 3. Farklı Yöntemlerle Hesaplanan Süspansediment Verimleri

Yöntemler	Sediment Verimleri (tonyıl <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )	Farklar (ton yıl <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )	Sapma Miktarı (Hesaplanan / Gözlenen)
Gözleme Dayalı Hesap	23.745	0	0
USLE	198.500	+ 174.755	8.45
Brüt Erozyon Oranı	201.975	+ 178.230	5.51
E E E itli i	142.935	+ 119.190	6.09
Genel Sediment E itli i	72.570	+ 49.095	3,09

Ölçülen değerlerle, ektiklerde elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıklar farklı araçların yaptıkları çalışmalarda da elde edilmiştir. Yağlı Gölet Havzası'nda yapılan çalışmada gölette biriken sediment miktarı ölçümle  $333 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$  olarak bulunurken, Musgrave Formülü ile  $4110 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ , Brüt Erozyon oranı ile  $2548 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ , USLE ektik i ile  $870 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ , MUSLE Ektik i ile  $1132 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$  olarak bulunmuştur (Sevinç, 1990). Demirkıran (1998), Güvenç Gölet Havzası'nda 8 yılda gölette biriken sediment miktarını ölçümle  $337408 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ , Musgrave Formülü ile  $245025 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ , Brüt Erozyon oranı ile  $46592 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ , USLE Ektik i ile  $237494 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ , Ektik i ile  $1200288 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$  olarak bulunmuştur (Ouz ve Balçın, 2001). Ekinli II Gölet Havzası'nda gölette biriken sediment miktarı ölçümle  $3695 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ , Musgrave Formülü ile  $81804 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ , Brüt Erozyon oranı ile  $579 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ , USLE Ektik i ile  $9775 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ , Ektik i ile  $54661 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ , Ektik i ile  $54385 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$  olarak bulunmuştur (Ouz ve Balçın, 2001).

### SONUÇ ve ÖNERİLER

Havza için de iki yöntemlerle hesaplanan sediment verimleri birbirinden çok farklı sonuçlar ortaya koymuştur. En küçük değer, sediment gözlemlerinden elde edilen değer olup  $23.745 \text{ tonyıl}^{-1} \text{ km}^2$ 'dir. Bu sonuç değerlendirildiğinde, havza yüzeyinden yılda  $0.02 \text{ mm}$  toprağın akarsu ile süspans olarak taşındığı anlaşılmaktadır. Bu yükseklik, ardından sonra havza içerisinde biriken atınma miktarını (yatak yükünü) kapsamamaktadır. Hesaplamalarda en büyük değer  $201.975 \text{ tonyıl}^{-1} \text{ km}^2$  ile Brüt Erozyon yöntemiyle bulunmuştur. Bu değere göre ise havza yüzeyinden yılda yaklaşık  $0.16 \text{ mm}$  yükseklikteki materyal, süspans sediment olarak havzadan uzaklaştırılmaktadır.

Havzada ampirik ektiklerle yapılan sediment verimi hesaplarında, ölçüm sonuçlarına göre yapılan hesaplama en yakın değer Genel Sediment Ektik iyle ( $72.500 \text{ tonyıl}^{-1} \text{ km}^2$ ) bulunmuştur. Ancak bu değer bile gözleme dayalı hesaplanan sonucun 3 katından fazladır. Diğer taraftan Genel Sediment Ektik i'nin Ektik i ölçümlerinin değerlendirilmesi ve genellenmesi ile elde edilmiş bir ektik olması bu göreceli yakınlığı sağlamış olabilir.

USLE ve Brüt Erozyon yöntemlerinin sonuçları birbirine çok yakındır. Gözlemle yapılan hesaplama yakınlık sırasına göre Ektik i ( $142.935 \text{ tonyıl}^{-1} \text{ km}^2$ ), USLE ( $198.500 \text{ tonyıl}^{-1} \text{ km}^2$ ) ve Brüt Erozyon yöntemleri ( $201.975 \text{ tonyıl}^{-1} \text{ km}^2$ ) olarak sıralanmışlardır (Tablo 3).

Yapılan bu çalışmada, gözlenen ile ampirik yöntemlerle hesaplanan sediment değerleri arasındaki büyük farkların; ayda bir kez ölçümle alınan ppm değerlerinin ay boyunca sabit olduğu kabulünden kaynaklandığı düşünülebilir. Bilindiği üzere farklı debilerde birbirinden farklı sediment konsantrasyonları; hatta aynı debide dahi zamanla değişen farklı sediment konsantrasyonları söz konusu olabilmektedir. Dolayısıyla daha gerçek sonuçlara ulaşılmak

isteniyorsa; günlük, hatta anlık yani sürekli ölçüm yapabilecek altyapılar oluşturulmalıdır.

Yağlı, akı, erozyon ve sediment birikimi olaylarının birbirleriyle ilişkili oldukları düşünüldüğünde, özellikle uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi teknolojilerinin giderek daha fazla yaygınlık kazanmasıyla söz konusu olayları birlikte dikkate alan kombine ve CBS ile entegre modellerin geliştirilmesi ve kullanımına yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

### KAYNAKLAR

- Anonim. 2000. Türkiye Akarsularında Süspans Sediment Gözlemleri ve Sediment Taşıma Miktarları, Elektrik Enerji Genel Müdürlüğü, Yayın No: 20 – 17, Ankara.
- Anonim. 2001. Sediment Ders Notları, Sediment Etütleri Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Çanga, M.R. 2007. Ünsel Toprak Kayıpları Tahmini Ektik i, [www.agri.ankara.edu.tr/soil\\_sciences/1235\\_Bolum\\_5\\_Toprak\\_Kayıplarının\\_Tahmini.pdf](http://www.agri.ankara.edu.tr/soil_sciences/1235_Bolum_5_Toprak_Kayıplarının_Tahmini.pdf) (18.07.2006)
- Demirkıran, O. 1997. Tarım ve Mühendislik, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Sayı 54, 45–46.
- Demirkıran, O. 1998. Ankara Yenimahalle Güvenç Havzası Sediment Verimi. Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Yılı 1997. T.C. Bakanlık KHGM APK Dairesi Başkanlığı Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Müdürlüğü, Yayın No: 106, Ankara.
- Doğan, O. 1987. Türkiye Yağlılarının Erosiv Potansiyelleri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Göksu, E., Uygun, N., Alıncık, A. Barlas, S. 1979. Türkiye Akarsularında Sediment Verimi ve Sediment Taşıma Miktarları ile Havza Parametreleri Arasındaki İlişkiler, I. Ulusal Hidroloji Kongresi, 12-14 Kasım, TÜ, İstanbul.
- Julien, P.J. 1995. Erosion and Sedimentation, Cambridge University Press, Melbourne, USA, 280s.
- Miller, C.B. 1951. Analysis of Flow-Duration, Sediment-Rating Curver Method of Computing Sediment Yield, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation Sedimentation, Denver, Colorado.
- Ouz, N., Balçın, M. 2001. Artova Ekinli II Gölet Havzası Sediment Verimi. Tokat Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü, (Ara Rapor 1982–2001), Tokat, 35s.
- Özer, Z. 1990. Su Yapılarının Projelendirilmesine Hidrolojik ve Hidrolik Esaslar (Teknik Rehber), Havza Islahı ve Göletler Daire Başkanlığı, KHGM, Ankara, 709 s.
- Öztürk, F. 2002. Yüzey Akı ve Sediment Miktarının AGNPS Modeli ile Belirlenmesi, Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, Ankara, 32 s.
- Sevinç, A.N. 1990. Eskişehir – Sivrihisar – Mercan Köyü Yağlı Gölü Havzası Sediment Verimi Araştırması. Köy Hizmetleri Eskişehir Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın No: 214, Rapor Serisi No: 164, Eskişehir.

- Sevinç, A.N. 1993. Havza Sediment Verimi. KHGM Ankara Ara tırma Enstitüsü Yayınları, Ankara.
- Toxopeus, A.G. 2000. Clibodas The Erosion Issue, ILWIS Application Guide, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC), Enschede, The Netherlands, s.307-322.
- Williams, J.R., Berndt, H.D. 1972. Sediment Yield Computed with Universal Equation. J of the Hydraulics Div., ASCE, Vol. 98, No. HY6.
- Wischmeier, W.H. 1962. Storm and Soil Conservation. Journal of Soil and Water Conservation, 17: 55-59.
- Wischmeier, W.H., Smith D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses -A Guide to Conservation Planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.
- Yanmaz, M. 1997. Applied Water Resources Engineering, METU Press. Ankara.