

HAVZA HİDROLOJİSİNE DAYANARAK SEDİMENT VERİMİNİN TAHMİNİ (1)

Yazan (2)

J. R. Williams

H. D. Berndt

Çeviren (3)

Saim KARAKAPLAN

Yüzeş akış hakkında bilgiler gerek tiren sediment verimi modelleri, günlük sediment verimini tahmin etmek için, hidrolojik modellerle bağdaştırılmıştır. Genel olarak, sediment verimi brüt erozyonun ulaşım nispeti derecesinde azaltılması ile tahmin edilmektedir. Ortalama yıllık brüt erozyon, yağmur enerjisine dayanan denklemlerle tahmin edilebilir (Wischmeier ve Smith, 1965; Musgrave, 1947). Bu yaklaşım; ulaşım nispeti, güvenilir derecede saptanabildiği takdirde küçük rezervurların planlamalarında yeterli olabilir. Bununla beraber; su kalitesinin modellendirilmesi gibi diğer uygulamalar için genellikle yetersizdir. Su kalitesinin modellendirilmesi, umumiyetle bir yıldan daha kısa bir zaman aralığını gerektirir ve kirletici taşınımının saptanması için hem yüzeş akış hem de sedimentin bilinmesine ihtiyaç duyulur. Zaman aralığı bir yıl olsa bile, ortalama yıllık sediment verimine ek olarak yıllık se-

dimment değişiminin bilinmesi de önem taşır.

Üniversal Toprak Kayıp Denklemi (Wischmeier ve Smith, 1965), denklemdeki yağmur enerjisi faktörü yerine bir yüzeş akış faktörü ikame edilmek suretiyle Williams (1975) tarafından modifiye edilmiştir. Modifiye denklem sediment verimi tahmininde yapılan hatayı azaltmakta, ulaşım nispetine olan ihtiyacı kaldırmakta ve münferit yağışlara uygulanabilmektedir. Yağmur faktörü sadece parçalanma olayında kullanılan enerjiyi temsil ettiğinden Üniversal Toprak Kayıp Denklemi ulaşım nispetinin bilinmesini gerektirir. Yüzeş akış faktörü, parçalanma ve taşınma olayları için gerekli enerjiyi temsil ettiğinden modifiye denklem, ulaşım nispetinin bilinmesini gerektirmez. Riesel - Texas, Chickasha - Oklahoma, Oxford - Mississippi, Treynor - Iowa, Hastings - Nebraska ve

(1) Transactions of the ASAE, 1977, 20 (6): 1100-1104

(2) USDA-ARS, Temple, Texas.

(3) Ziraat Fakültesi Toprak İlimi Bölümü Doçenti, Erzurum.

Boise - Idaho'da elde edilen değerlerle yapılan çalışmada modifiye denklemin her havzada münferit yağışlardan oluşan sediment verimindeki değişimin % 80 veya daha fazlasını açıklayabildiğini göstermiştir. Bu çalışmada, alanı 0,01 ile 234 km² ve eğimi takriben % 1 ile % 30 arasında değişen 60 havza ele alınmıştır. Havza sayısının çokluğuna rağmen yüzey akış ölçümleri yapılmış ve kullanılmıştır. Su kaynaklarının planlanmasında ölçülmüş yüzey akışlar çoğunlukla mevcut olmadığından yüzey akış genellikle bir hidrolojik model yardımıyla tahmin edilir. Bu nedenle, modifiye denklemin tahmin doğruluğunu iyi bir şekilde değerlendirebilmek için tahminle bulunan yüzey akışların bilinmesi gereklidir.

Günlük yüzey akış hacmi, Toprak Muhafaza Servisi yüzey akış eğri numaraları tekniği (USDA - SCS, 1972) ve bir toprak nemi indeksi hesaplama yöntemine dayanan su verimi modeli (Williams ve LaSeuer, 1976) ile tahmin edilebilir. Bu model, akım ölçümü yapılan bir havzada kalibre edilmesi gereken, bilinmeyen bir parametreye sahiptir. Kalibrasyon yapıncaya, bu model kullanılmak suretiyle kısa rasat süreleri (3-5 yıl) kalibre edilen havza için daha da uzatılabilir ve akım ölçümü yapılmayan komşu havzaların su veriminin tahmininde kullanılabilir. Texas'ta alanı 0,5-2227 km² arasında değişen takriben 50 havza ile yapılan çalışmalar söz konusu modelin yüzey a-

kışı oldukça doğru olarak yansıttığını göstermiştir.

Modifiye denklemde, yüzey akış hacmi yanında, her yağış olayının zirve debisinin de bilinmesi gerekir. Zirve debisi, tahmin edilen hidrograflardan çıkarıldığından hesaplama fazla zaman gerektirir. Zamandan kazanmak için, farklı büyüklükteki birkaç yağış olayının zirve debisi hesaplanarak yüzey akış hacmi ile karşılaştırılmıştır. Böylece, elde edilen akım - hacim ilişkisi, modifiye denklemde kullanılacak bütün zirve debilerin tahmininde kullanılmıştır. Seçilmiş bazı yağışların zirve debileri HYMO isimli kompüter programı (Williams ve Hann, 1973) ile tahmin edilmiştir. Programdaki "COMPUTE HYD" ifadesi kaynak yüzey akışı kısa süreli hidrografla birlikte kullanarak yağış hidrograflarını saptar. Kısa süreli birim hidrograf iki parametrelili gamma dağılımı ve bir azalan fonksiyonla hesaplanır (Williams, 1972). Kaynak yüzey akış artışı, havzanın su alikoma fonksiyonu ile hesaplanır (Snyder, 1971).

Modifiye denklemle yüzey akış modellerinin kobinasyonu Texas'ta alanı 0,7-513 km² olan 26 havzaya uygulanmıştır. Bu uygulamalar, sediment-yüzey akış modelinin aylık ve yıllık sediment veriminin tahmininde kullanılabileceğinin makul olduğunu göstermiştir.

Sediment Modeli

Modifiye denklem aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$Y = 11,8 (Q \times q_p)^{0.56} K C P L S \quad (1)$$

Burada;

Y= Münferit yağıştan meydana gelen sediment verimi, ton,

Q= Yüzey akış hacmi, m³,

q_p= Yüzey akış piki, m³/sn,

K= Toprak faktörü,

LS= Eğim uzunluğu ve dikliği faktörü,

C= Mahsül üretim şekli faktörü,

P= Erozyon kontrol önlemleri faktörü,

Q ve q_p değerleri yüzey akış modelinden çıkarılmaktadır. Q ve q_p arasındaki korelasyon yüksek olmakla

beraber, Q değeri daha çok parçalanma olayı ve q_p ise sediment taşınımı ile ilgilidir. Bitki örtüsü ve toprak muhafaza yapıları nedeniyle akımın geciktirilmesi halinde q_p azaldığı için sediment taşınımı da azalır.

K, havza alanına göre ağırlıklı ortalama alınarak bulunur.

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i DA_i}{DA} \quad (2)$$

Burada;

K_i = i toprağının K değeri,

DA_i = i toprağının drenaj alanı,

DA = Toplam drenaj alanı ve

n = Havzadaki farklı K değerli toprak sayısı.

Havzanın ortalama eğim dikliği tesviye eğrisi uzunluğu yöntemi (Williams ve Berndt, 1976) ile hesaplanabilmektedir.

$$S = \frac{0,25 Z (LC_{25} + LC_{50} + LC_{75})}{DA} \quad (3)$$

Burada; Z havza roliefi olup, LC_{25} , LC_{50} ve LC_{75} , Z'nin % 25, 50 ve 75'indeki tesviye eğrilerinin uzunlukları olmaktadır.

Ortalama havza eğim uzunluğu tesviye eğrisi - ekstrem, nokta yöntemi ile hesaplanabilir (Şekil 1).

$$L = \frac{LC \times LB}{2 EP \sqrt{LC^2 - LB^2}} \quad (4)$$

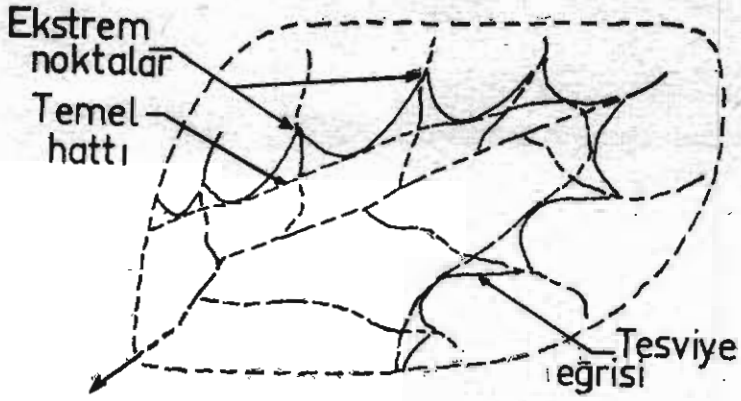
Burada; LC: LC_{25} , LC_{50} ve LC_{75} tesviye eğrilerinin toplam uzunluğu, LB: LC_{25} , LC_{50} ve LC_{75} tesviye eğrilerine ait temel hattı uzunluğunun toplamı ve EP ise LC_{25} , LC_{50} ve LC_{75}

tesviye eğrileri üzerindeki ekstrem noktaların (ekstrem noktalar bir kanalın tesviye eğrisini kestiği yerdir) toplam sayısıdır. LS faktörü aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$LS = \left(\frac{L}{22,1} \right)^M (0,065 + 0,0454 S + 0,0065 S^2) \quad (5)$$

Burada; M % 3'den dik eğimler için 0,5 ve daha yatık eğimler için 0,3 olarak alınır.

Her mahsule ait C değeri Wischmeier ve Smith (1965) tarafından hazırlanmış tablolardan her ay için ayrı ayrı tayin edilir.



Şekil 1. Ekstrem noktalar ve temel hattı.

P faktörü, havzanın işlenen kısımları için USDA - SCS (1975) tarafından yayınlanmış teknik yayın No. 51'de verilen bilgiler yardımı ile tah-

min edilir. Her aya ait ortalama CP değerini elde etmek için C ve P faktörlerin çarpımının alana göre ağırlıklı ortalaması alınır.

$$CP_j = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ij} \times P_i \times DA_i}{DA}, \quad j = 1, 12 \quad (6)$$

Burada;

C_{ij} = i alanındaki mahsül için j ayna ait C değeri

P_i = i alanına ait P değeri,

n = Havzadaki farklı alanların sayısı.

Yüzey Akış Hacim Modeli

Günlük yüzey akış hacmi, Toprak Muhfaza Servisine ait yüzey akış eğri numaraları tekniği (USDA - SCS, 1972) ve bir toprak nemi indeksi hesaplama yöntemine dayanan su verim modeli (Williams ve LaSeur, 1976) ile tahmin edilebilir. Yüzey akış, Toprak Muhfaza Servisi denklemi ile tahmin edilir.

$$Q = \frac{(R - 0,2 s)^2}{R + 0,8 s} \quad (7)$$

Burada;

Q = Günlük yüzey akış,

R = Günlük yağmur miktarı,

s = Yağışın alıkonma derecesi ile ilgili bir parametre. Toprak nemi indeksi ile s parametresi arasındaki ilişki aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir.

$$SM = V - s \quad (8)$$

Burada; SM toprak nemi indeksi ve V toprağın maksimum nem depolama değeridir. SM'de geniş bir değişim olanak verme bakımından yeterli bir depolama sağlaması ve yine günlük yağmurun SM'yi uygun tarzda etkile-

mesine müsaade edecek yeterli küçük-
lükte olması nedeniyle V için 50 cm.lik
bir değer öngörülmüştür.

Toprak nemi indeksi aşağıdaki
denklemlerle bulunmuştur.

$$SM_t = \frac{SM + R}{1 + (B (SM + R) \sum_{t=1}^T LE_t)} - Q \quad (9)$$

Burada;

SM= T günlük periyot zarfında
ilk düşen yağmurun başlangıcında top-
rak nemi indeksi,

SM_t= t gününde toprak nemi in-
deksi,

LE_t= t günü için ortalama aylık
göl yüzünden buharlaşma (her ay için
sabittir).

T= Yağmurların başlangıçları a-
rasındaki günler sayısı,

B= Toprakta (derine sızma ve
evapotranspirasyonla), nem kaybol-
ma,

R ve Q= ilk yağmur için yağış ve
yüzey akış miktarı.

Nem kaybolma katsayısını (B)
saptamak için bu model, ölçümlerin
yapıldığı bir havzada kalibre edilme-
lidir. Kalibre edilince, yüzey akış ka-
yıtları ölçümlerin yapıldığı havza için
genişletilebilir veya komşu ölçüm yapıl-
mayan havzaların yüzey akışını tahmin
etmede kullanılabilir.

Pik - Akış Modeli

Piki (zirve debiyi) tahmin etmek
için HYMO isimli kompüter programı
(Williams ve Hann, 1973) kullanılır.
COMPUTE HYD ifadesi kaynak yüzey
akışı kısa süreli birim hidrografla birleş-
tirilerek yağış hidrografını hesaplar. Kısa
süreli birim hidrografın hesaplanmasın-
da kullanılan denklemler :

$$q = q_p \left(\frac{t}{t_p} \right)^{(n-1)} e^{-(1-n) \left(\frac{t}{t_p} - 1 \right)} \quad (10)$$

$$0 \leq t \leq t_0$$

$$q = q_0 e^{-\left(\frac{t_0 - t}{\lambda} \right)} \quad (11)$$

$$t_0 \leq t \leq t_0 + 2\lambda$$

$$q = 0,136 q_0 e^{-\left(\frac{t_0 + 2 - t}{\lambda_1} \right)} \quad (12)$$

$$t_0 + 2\lambda \leq t \leq \infty$$

Burada;

$q = t$ zamanındaki akım debisi,

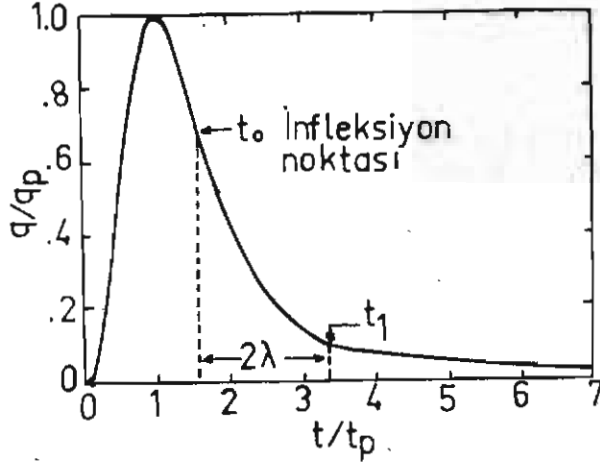
$t_p =$ Pike erişme zamanı,

$n = \lambda/t_p$ 'ye bağımlı bir boyutsuz parametre,

$q_0 =$ İnfleksiyon noktasındaki (Şekil 2) debi,

$t_0 =$ İnfleksiyon noktasındaki zaman,

λ ve $\lambda_1 =$ Alçalma katsayıları.



Şekil 2. Boyutsuz birim hidrograf.

Şayet t_p , q_p , λ ve λ_1 değerleri bilinirse n değeri λ/t_p 'nin bir fonksiyonu olduğundan, kısa süreli birim hidrograf hesaplanabilir. Geliştirilmiş denk-

lemler (Williams, 1972) vasıtasıyla şekil parametreleri olan t_p , λ , ve λ_1 tahmin edilebilir.

$$t_p = 1,96 DA^{0.39} ZL^{-0.50} \quad (13)$$

$$\lambda = 3,17 DA^{0.24} ZL^{-0.84} \quad (14)$$

$$\lambda_1 = 3\lambda \quad (15)$$

Burada; t_p , λ ve λ_1 saat, DA km² ve ZL yükselti uzunluk oranı m/km'dir.

Kısa süreli birim hidrografın zirve debisi aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$q_p = \frac{G DA Q}{t_p} \quad (16)$$

Buradaki G kısa süreli boyutsuz birim hidrorgaftan tayin edilebilir.

$$G = \frac{j}{\int_0^{\infty} \frac{q}{q_p} dt} \quad (17)$$

Burada j, birimleri ifade eden bir sabitedir (Şayet $q = m^3/sn$, $Q = cm$, $DA = km^2$, ve $t =$ saat alınırsa, $j = 2,778'$ dir).

$$r_t = r_c + (r_o - r_c) e^{-Ht} \quad (18)$$

Burada;

$r_t = t$ zamanındaki alıkonma nispeti,

$r_c =$ minimum alıkonma ispeti,

$$H = a \left(\frac{I_t + r_u - r_o}{I_t + r_u - r_c} \right) \left(\frac{I_t - r_c}{I_t + r_c} \right) \quad (19)$$

Burada;

$a =$ Boyutsuz bir parametre,

$I_t = t$ zamanındaki yağmur şiddeti,

$r_u =$ Maksimum alıkonma nispeti,

r_c değeri, hidrolojik toprak gruplarına

Kaynak yüzey akıştaki artışı tahmin etmede alıkonma fonksiyonu (Snyder, 1971) kullanılır. HYMO da kullanılan alıkonma fonksiyonu aşağıdaki şekildedir.

$r_o = t$ 'nin sıfır olduğu zamandaki alıkonma nispeti,

$H =$ Aşağıdaki denklemle ifade edilen bir katsayı.

göre değişir ve r_u 50 cm/saatlik bir değer olarak alınmıştır. Böylece bilinmeyen parametreler a ve r_o 'dir. Slack ve Synder (1976) aşağıdaki denklemle bu parametreleri yüzey akış eğri numaraları ile bağdaştırmışlardır.

$$\log_{10} a = -1,575 - 0,147 r_c - 0,00624 D + 0,0491 D r_c + 0,0171 CN \quad (20)$$

ve

$$r_o = 1,45 I_t + r_c (1 - 0,315 I_t) \quad (21)$$

Burada; r_c , r_o ve I_t cm/sa, D saat olarak süre ve CN toprak Muhafaza Servisi yüzey akış eğri numarasıdır.

Hidrografın hesaplanması çok zaman aldığından hacimce çok değiş-

ken sadece üç veya dört hidrograf tahmin edilir. Zirve debi ile yüzey akış hacmi arasında aşağıdaki gibi bir ilişki çıkarılmıştır.

$$q_P = b_1 Q^{b_2} \quad (22)$$

Buradaki b_1 ve b_2 sabiteleri zirve debi ve yüzey akış hacminin logaritmik kâğıda işaretlenmesiyle bulunmaktadır.

Modelin Kullanılışı

Sediment veriminin tesbitinde gerekli adımlar:

1. Yüzey akış modelinin havzaya göre kalibrasyonu. Gerekli bilgiler:

a. Günlük yağmur yağışları,

b. Ortalama aylık göl yüzünden buharlaşma,

c. Toprak Muhafaza Servisi II. numaralı nem durumu için yüzey akış eğri numarası,

d. Ölçümle bulunmuş ortalama yıllık yüzey akış,

Bu değer, toprak nemi tükenme katsayısının optimum değerini tayinde kullanılır. Ölçümle bulunan aylık yüzey akış ölçülerek ve tahmin edilerek bulunan aylık ve yıllık yüzey akışın karşılaştırılmasını yapmak için kullanılabilir.

Takriben üç yıllık döküman yüzey akış modelinin kalibrasyonu için umumiyetle yeterlidir. Modelin kalibrasyonunda toprak nemi azalma katsayısı, ölçülerek ve tahmin edilerek bulunan ortalama yıllık yüzey akış arasında uyum kurmak için ayarlanmaktadır.

Elde edilen bilgiler:

- a. Toprak nemi indeksi azalma katsayısı,
- b. Ortalama yüzey akış eğri numarası,

c. Günlük, aylık ve yıllık yüzey akış, ölçülerek ve tahmin edilerek bulunan yüzey akışın aylık ve yıllık standart sapmaları ve R^2 .

2. Zirve debi ile hacim arasındaki ilişkinin saptanması. HYMO kompüter programının COMPUTE HYD ifadesi için gerekli bilgiler:

a. Havzanın alanı, röliyefi ve uzunluğu,

b. Kalibrasyondan çıkan Toprak Muhfaza Servisi ortalama yüzey akış eğri numarası ve

c. 24 saat süreli yağmur yağışı için yağmur dağılımı (Hershfield, 1961). Dağılım, yağış miktarı - süre ilişkisini göstermekte olup, üç farklı tekerrür aralığındaki yağışların (100, 10 ve 1 yıl) her biri için gereklidir.

Elde edilen bilgiler:

a. Üç farklı tekerrür aralığındaki yağışların her biri için yüzey akış hidrografi.

b. Zirve debi ve yüzey akış hacmi.

22 numaralı denklemdeki sabitleri bulmak için yüzey akış hacmi ile zirve debi logaritmik kağıda işaretlenir.

3. Sediment veriminin tahmini, gerekli bilgiler:

a. Ünlversal Toprak Kayıp Denklem faktörleri (K-C-P-LS)

b. Günlük yağmur yağışları

c. Ortalama aylık göl yüzünden buharlaşma

d. Şayet kalibrasyona tabi tutulmuş havzanın sediment verimi tahmin edilecekse, toprak nemi azalma katsayısı kalibrasyon işleminden alınır. Şayet komşu gözlem yapılmayan havzanın sedimenti tahmin edilecekse, kalibrasyon işleminden bulunan ortalama yüzey akış eğri numarası ve gözlem yapılmayan havza için II. numaralı nem durumuna göre eğri numarası gereklidir.

Elde edilen bilgiler:

a. Günlük , aylık ve yıllık yüzey akış ve sediment verimi.

b. Aylık ve yıllık yüzey akış ve sediment veriminin standart sapması.

Modelin Geçerliliğinin Araştırılması

Model Texas' taki 26 su toplama havzasından elde edilen değerlerle denenmiştir. Modelle bulunan aylık ve yıllık sediment, ölçümlerin yapıldığı 8 havzanın sediment değerleri ile karşılaştırılmıştır. Havza gecikme değeri nedeni ile hidrografin ayrılmasındaki güçlükten dolayı günlük sediment mukayesesi yapılamamıştır. 26 havzanın geriye kalan 18'inde rezervuar etüdüleri ile sediment verimi ölçülmüştür. Böylece, sadece ortalama yıllık sediment verimi mukayese edilebilmiştir. Bu mukayeselerde kullanılan değerler tablo 1 de görülmektedir.

Tablo 2'de elde edilen sonuçlar verilmiştir. Modelle ve ölçülerek bulunan ortalama yıllık sediment veriminin genellikle yakın ilişki verdiği ($R^2 = 0,98$) ve standart sapmanın 92 ton/km² olduğu anlaşılmıştır. Bazı havzalar, sel yarıntısı ve akarsu erozyonu ile önemli miktarda sediment oluşturmuştur. Bu kaynaklardan gelen ortalama yıllık sediment veriminin tahmini Toprak Muhafaza Servisince yapılmıştır. Ve tahmin edilerek bulunan sediment verimine ilave edilmiştir.

Aylık sediment verimi ölçümlerin yapıldığı 8 havzanın Texas-Riesel'de bulunan 4 ü küçük olup Zirai Araştırma Servisine (ARS) aittir. Bu havzaların aylık R^2 değeri, geriye kalan USGS'ye ait 4 büyük havzadan genellikle çok daha iyi bulunmuştur. Bununla beraber, yüzey akış için aylık R^2 değeri de keza küçük havzalar için çok yüksektir. Havza büyüklüğü arttıkça tahmin doğruluğunun azalmasının ana nedenlerinden biri her havzada sadece bir yağmur ölçerin kullanılmış olmasındandır. Keza, Riesel'deki hav-

zalara kurulmuş yağış ölçerler, büyük havzalara en yakın yerleşim merkezinde bulunan yağmur ölçerlere nazaran gerçek yağış miktarını daha iyi yansıtmadurumundadır. Aylık ve yıllık ölçülerek ve tahmin edilerek bulunan sediment verimi değerlerindeki standart sapmalar 8 havzanın çoğunda iyi bir mukayese vermiştir. Bu çok önemlidir: Çünkü, bu durum yağışa ait bilgilerin havzanın gerçek ortalama yağış değerini çoğunlukla yeterli seviyede yansıtmamasına rağmen, modelin sediment verimini gerçeğe yakın bir şekilde tahmin ettiğini gösterir. Sediment verim tahminleri gerçeğe uygundur. Zira, ölçülerek ve tahmin edilerek bulunan aylık değerler her zaman yakın ilişki vermekle beraber, benzer bir dalgalanma göstermiştir. Ortalama yıllık sediment veriminin tayini hariç, makul sapmaları tahmin edilmeyen bir modelin kullanılacağı az olacaktır.

Sediment verimi tahmini yılın her ayı için kararlı olup, bazı mevsimler için fazla, diğerleri için düşük değildir. Söz konusu 8 havzanın ölçülerek ve tahmin edilerek bulunan ortalama aylık sediment verimi mukayesesi Tablo 3'de görülmektedir. Tahminden doğan hata yıl içinde genellikle tesadüfi bir dağılışı göstermektedir (pozitif veya negatif).

Özet ve Tavsiyeler

Günlük, aylık ve yıllık sediment verimi, sediment verim modeli (modifiye, Ünlversal Toprak Kaybı Denklemi) hidrolojik modellerle birleştirilerek oldukça doğru bir şekilde tahmin edilebilir. Toprak Muhafaza Servisi yüzey akış eğri numaraları ve toprak nem indeksine dayanan bir su verimi modeli, günlük yüzey akış hacminin tayininde

Tablo 1. Yüzey akış ve sediment tahmininde kullanılan havza özellikleri.

Havza	Yer	Rasat süresi	Alan km ²	K	C	P	LS	Or. CN	Ortalama yıllık yüzey akış,cm	
W-1	Riesel	1960—69	0,71	0,34	0,75	0,30	0,24	76,2	15,95	
W-2	Riesel	1940—47	0,71	0,34	0,80	1,00	0,24	76,9	25,78	
	Y	Riesel	1,25	0,33	0,50	0,10	0,27	74,9	14,46	
	D	Risel	1960—75	4,48	0,26	0,25	0,38	0,27	79,8	20,28
	G	Riesel	1960—75	17,72	0,31	0,30	0,48	0,24	78,4	18,48
Big Sandy	Bridgeport	1968—72	513,00	0,25	0,10	1,00	0,42	70,1	5,23	
Clear	Sanger	1968—72	388,50	0,30	0,35	0,85	0,37	69,3	11,02	
Little Elm	Aubrey	1966—72	122,00	0,32	0,50	0,38	0,32	77,3	19,57	
Pin Oak	Hubbard	1966—71	20,51	0,32	0,30	0,55	0,32	77,6	20,88	
Honey (11)	McKinney	1952—67	4,97	0,32	0,55	0,30	0,78	78,2	19,13	
Honey (12)	McKinney	1952—69	3,26	0,33	0,61	0,51	0,41	77,6	19,30	
Clear Fork (7)	Polville	1955—69	6,32	0,25	0,00	—	0,64	69,0	8,89	
Clear Fork (10)	Weatherford	1955—68	11,01	0,28	0,04	0,37	0,75	68,3	8,61	
Elm Fork (11-8)	Gainesville	1958—68	4,84	0,34	0,09	0,90	0,54	76,5	12,19	
Chambers (37)	Cleburne	1960—69	5,05	0,24	0,07	1,00	0,53	72,0	10,80	
Chambers (101-A)	Frost	1960—68	6,06	0,34	0,54	0,60	0,39	75,8	17,78	
Escondido (1)	Kenedy	1954—69	7,33	0,25	0,30	1,00	0,52	62,9	6,43	
Calaveras (6)	San Antonio	1956—68	17,35	0,25	0,30	1,00	0,32	64,3	5,16	
Cummins (6)	Giddings	1958—69	7,15	0,30	0,08	1,00	0,22	75,7	17,78	
Mukewater (9)	Bangs	1961—70	11,78	0,35	0,22	0,45	0,30	70,2	6,27	
Green (1)	Dublin	1955—67	8,75	0,32	0,29	1,00	0,44	71,3	8,00	
Sulphur (3)	Lampasas	1959—68	27,40	0,30	0,00	—	0,40	71,5	8,89	
Deep (8)	Brady	1951—66	10,41	0,34	0,14	0,35	0,66	72,6	6,25	
Lower San Saba (9)	San Baba	1960—73	7,46	0,28	0,04	1,00	0,72	74,3	6,35	
Diablo Arroyo	McMary	1960—70	76,43	0,25	0,00	—	1,42	62,2	0,64	
Cow Bayou (3)	Moody	1955—75	3,42	0,35	0,29	1,00	0,67	73,6	12,70	
Cow Bayou (4)	Bruceville	1956—69	13,47	0,32	0,09	1,00	0,75	73,6	13,34	

Tablo 2. Rasatla ve tahminle bulunan sediment ve yüzey akışların mukayesesi.

Havza	Or. Yıllık sediment verimi, ton/km ²			R ²	Sediment verimindeki satandart sapma					
	Rasatla	Tahminle			Aylık		Yıllık		Yüzey akış R ²	
		Yarını	Toplam		Rasat	Tahmin	Rasat	Tahmin	Aylık	Yıllık
W-1 (1960-69)	336	0	414	0,84	77	77	367	396	0,95	0,98
W-1 (1940-47)	2356	0	2358	0,95	452	419	2044	1773	0,95	0,98
Y	94	0	85	0,69	23	15	102	71		
D	130	0	132	0,51	32	21	139	101	0,92	0,94
G	167	0	172	0,80	33	27	147	137		
Big Sandy	45	12	47	0,32	9	10	40	39	0,42	0,43
Clear	404	64	320	0,38	84	57	321	227	0,64	0,80
Little Elm	333	15	276	0,73	51	45	111	180	0,65	0,81
Pin Oak	414	11	351	0,75	73	72	240	272	0,83	0,92
Honey (11)	1385	177	1560			392		1410		0,87
Honey (12)	1096	63	1290			346		1246		0,96
Clear Fork (7)	1317	905	1295			409		1675		
Clear Fork (10)	762	83	754			259		1070		
Elm Fork (11-8)	840	336	841			172		593		
Chambers (37)	157	186	368			120		352		
Chamberks (101-A)	791	16	860			181		568		
Escondido (1)	401	94	492			185		651		0,91
Calaveras xx (6)	246	—	159			40		217		0,90
Cummins xx (6)	137	—	117			19		85		
Mukewater (9)	140	11	146			32		107		0,64
Green (1)	258	29	471			124		370		0,88
Sulpui xx (3)	25	—	26			5		24		
Deep xx (8)	161	—	133			35		152		0,88
Lower San Saba (9)	139	7	143			28		141		
Diablo Arroya xx	397	—	348			167		726		
Cow Bayou (3)	1615	246	1574			340		1355		
Cow Bayou (4)	497	47	476			100		400		0,91

xx : Yarını sediment verimi tahmin edilmemiştir.

Tablo 3. Rasat ve tahminle elde edilen ortalama aylık sediment veriminin mukayesesi.

Havza	Ortalama Aylık Sediment Verimi, ton/km ²											
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
W-1 (1960-69)												
Rasat	12,5	25,1	66,8	56,2	79,5	54,9	4,9	19,9	2,2	3,1	3,6	6,9
Tahmin	27,1	54,7	63,9	73,3	74,4	55,8	9,2	13,0	9,4	3,4	9,6	19,9
W-1 (1940-47)												
Rasat	89,2	216,4	295,5	408,4	710,9	248,9	23,1	0,0	70,8	14,1	164,7	114,0
Tahmin	74,2	266,4	356,0	413,1	668,1	252,0	19,9	0,7	66,8	11,6	126,6	101,5
Y												
Rasat	3,1	9,1	18,8	10,1	14,6	15,9	1,3	2,0	2,0	2,9	6,9	5,6
Tahmin	4,9	10,1	14,3	12,1	11,4	11,6	3,2	2,0	3,1	3,1	3,4	4,7
D												
Rasat	4,9	14,3	21,1	23,3	14,6	6,9	3,1	9,0	3,8	18,8	4,9	4,7
Tahmin	6,0	14,8	22,9	20,4	16,1	11,9	2,5	5,2	10,1	11,0	5,4	5,8
G												
Rasat	9,6	18,6	25,8	25,1	21,3	19,0	6,0	4,9	6,9	10,8	8,7	9,9
Tahmin	9,4	20,2	28,2	25,8	23,7	24,0	5,2	4,7	6,9	6,7	6,9	10,1
Big Sandy												
Rasat	0,9	1,3	7,2	3,8	15,2	1,3	0,7	0,7	4,0	6,0	0,4	2,9
Tahmin	0,9	0,3	15,2	10,8	7,5	0,3	0,0	0,3	9,3	0,0	0,0	2,4
Clear												
Rasat	2,5	22,2	51,3	34,5	137,3	5,2	1,3	1,6	31,1	40,8	1,8	74,2
Tahmin	0,0	10,1	46,5	72,0	66,7	4,2	0,3	0,3	25,5	32,8	2,5	59,4
Little Elm												
Rasat	5,8	21,5	36,5	87,6	76,4	6,7	0,9	6,9	13,2	24,4	18,4	34,3
Tahmin	0,7	15,1	39,4	72,6	61,8	13,9	0,9	0,9	21,0	20,3	2,8	25,5
Pin Oak												
Rasat	8,1	21,3	34,5	123,2	67,0	50,0	0,1	1,6	28,9	19,7	13,4	37,0
Tahmin	11,3	17,9	49,3	125,2	67,2	16,3	0,2	17,0	12,5	10,4	5,4	18,2

kullanılmaktadır. Bu modelin rasat yapılan bir havzada kalibre edilmesi gerekir. Böylece rasat yapılan havzanın kısa rasat süresi genişletilebilir veya komşu rasat yapılmayan havzaların su verimini tahmin etmede kullanılabilir. Pik debi değeri HYMO kompütür programını kullanmak suretiyle değişik büyüklükteki birkaç yağış için tahmin edilir. Hesaplama zamanından tasarruf etmek için, pik debiler yüzey akış hacimleriyle ilişki kurularak her günlük akım hacminin piki kolayca tayin edilebilir. Günlük sediment verimini tahmin etmek için modifiye denklemin çözümünde tahminle bulunan günlük yüzey akış hacmi ve pik değeri kullanılır. Modifiye denklem ulaşım nispetine olan ihtiyacı kaldırır. Çünkü yüzey akış faktörü parçalanma ve sediment taşınımında kullanılan enerjiyi temsil etmektedir. Bununla beraber, modifiye denklem sediment seyir modeli olmadığından birikim yeri tayin edilemez.

Yüzey akış - sediment modeli Texas'ta 26 havzaya uygulanmıştır. Ölçülerek ve modelle tahmin edilen ortalama yıllık sediment verimi arasında $R^2 = 0,98$ 'lik bir korelasyon bulunmuştur. Havzaların 8'inde ölçülerek ve modelle bulunan aylık sediment miktarları arasında ortalama $R^2 = 0,66$

lık bir ilişki saptanmıştır. Tahminde yapılan doğruluk havza alanı azaldıkça genel olarak artmıştır. Bunun esas nedeni, alan azaldıkça yağış ölçerinin ölçtüğü yağışın gerçek yağışı daha iyi yansıtmasındandır. Ölçümle ve modelle bulunan sediment veriminin aylık ve yıllık standart sapmaları bu 8 havzada iyi bir mukayese vermiştir. Standart sapmadaki yakın mukayese durumu ölçümle bulunan değerle her zaman iyi bir şekilde bağdaşmadığı halde tahmindeki dalgalanmaların uygun olduğunu gösterir. Keza, model, yıl boyunca kararlı bir tahmin vermiştir (sediment tahmini bazı mevsimler için az bazı mevsimler yüksek olmamıştır).

Sediment - yüzey akış modeli rezervuar planlamasında faydalı olabilir. Zira, uzun süreli ortalama yıllık sediment verimi doğru bir şekilde tahmin edilebilir. Aylık sediment verimleri oldukça doğru olduğundan ve standart sapmalar ölçümdeki standart sapmalarla yakın bir mukayese verdiği için, bu model su kalitesinin modellendirilmesi gibi diğer uygulamalar içinde faydalı olabilir. Bilinmesi gereken değerleri basit ve kompütür masraflarının düşük olması nedeniyle bu model çoğu uygulamalar için pratiktir.

Kaynakların Listesi

1. Heishfield, D. M. 1961. Rainfall frequency atlas of the United States for durations from 30 minutes to 24 hours and return periods from 1 to 100 years. U. S. Department of Commerce Weather Bureau Technical Paper No. 40. 115 pp.
2. Musgrave G. W. 1947, The quantitative evaluation of factors in water erosion, a first approximation. Journal of Soil and Water Conservation 2: 133-138.
- 3, Slack, R. B. and M. Snyder. 1976. Predicting storm runoff through

- a curve number retention function linkage. Manuscript proposed for publication in Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE.
4. Synder, W. M. 1971. A proposed watershed retention function. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE 97 (IRI): 193-201.
 5. U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1972. National engineering handbook, hydrology, Section 4, Chapters 4-10.
 6. U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1975. Procedure for computing sheet and rill erosion on project areas. Technical Release No. 51, Geology, 16 p.
 7. Williams, J. R. 1972. Concept of a technique for an analysis of watershed runoff events, p. 111-120, In: Decisions with inadequate hydrologic data. Proceedings of the second international symposium in hydrology.
 8. Williams, J. R. 1975. Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. p. 244-252. In: Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources: Proceedings of the sediment - yield workshop. USDA Sedimentation Lab., Oxford, MS, November 28-30, 1972. ARS-S-40.
 9. Williams, J. R. and H. D. Berndt. 1976. Determining the universal soil loss equation's eight-slope factor for watersheds. Proceedings of the National Soil Erosion Conference. May 25-26.
 10. Williams, J. R. and R. W. Hann. 1973. HYMO: Problem oriented computer language for hydrologic modeling users manual. ARS-S-9, 76 p.
 11. Williams, J. R. and W. V. LaSeur. 1976. Water yield model using SCS curve numbers. Journal of the Hydraulics Division ASCE 102 (HY9): 1241-1253.
 12. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1965. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agriculture Handbook 282. USDA-ARS.