
SERİ		CİLT		SAYI		
SERIES		VOLUME		NUMBER		
SERIE	A	BAND	46	HEFT	1	1996
SÉRIE		TOME		FASCICULE		

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

ORMAN FAKÜLTESİ

D E R G İ S İ

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



DERE AKIMLARININ SİMULASYON MODELİYLE TAHMİNİ VE BİR UYGULAMA

Prof. Dr. Süleyman ÖZHAN¹⁾

Kısa Özet

Bu çalışmada dere akımının tahmininde kullanılan simülasyon modellerinden Hidroloji Enstitüsü Bütünsel Yaklaşım Modeli tanıtılmış, Belgrad Ormanı Ortadere I ve IV nolu havzalarında ölçülmüş bulunan iki yıllık akım değerleri kullanılmak suretiyle model parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon sonuçları, modelin yapraklı ormanla kaplı havzalar için uygulanabileceğini, ölçülen ve tahmin edilen akım değerleri arasındaki ilişkinin önemli olduğunu göstermiştir. Daha iyi sonuçlar elde etmek için yağışın tipi ve şiddeti ile kar erime tarihinin dikkate alınması gerekli görülmektedir.

1. GİRİŞ

Hidroloji, suların oluşumu, sirkülasyonu, dağılışı, fiziksel ve kimyasal özellikleri ile canlıları da kapsayan çevresine etkileriyle ilgilenen bir bilim olarak tanımlanmaktadır (FLEMING 1972). İnsanların yaşamıyla ilgisi olması bakımından bu bilim dalı üzerinde binlerce yıldan beri durulmakta ve buna paralel olarak da ölçme, hesap ve tahmin yöntemlerinde gelişmeler olmaktadır.

Bilgisayarın kullanıma girişiyle beraber yaklaşık 40 senedir hidrologistler elde ettikleri verileri bir yandan hızlı bir biçimde değerlendirme olanağı bulurken öte yandan karar verme aşamasında yararlanmak üzere havzaların su üretimini tahmin için dere akımını belirleyecek modellerin geliştirilmesini hızlandırmıştır. Bu modeller arasında başlıcaları SSARR (The US Army Corp of Engineers Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation Model (ROCKWOOD 1964), The Stanford Watershed Model (CRAWFORD/LINSLEY 1966), British Road Research Model (WATKINS 1962), Kozak Model (KOZAK 1962) Mero Watershed Model (MERO 1968), Institu-

1) İ.Ü. Orman Fakültesi Havza Amenajmanı Anabilim Dalı

te of Hydrology Lumped Model (BLACKIE / EELES 1985) vb. sayılabilir. Her bir model su döngüsü içinde yer alan parametrelerin bazılarını esas almak suretiyle aylık veya günlük su verimini tahmin etmeyi amaçlamaktadır.

Bu makalenin yazarı, İngiliz Kültür Derneği bursiyeri olarak İngiltere'de Wallingford Hidroloji Enstitüsü'ndeki çalışmaları sırasında yukarıda sözü edilen modellerden "Hidroloji Enstitüsü Bütünsel Yaklaşım Model"i üzerinde durmuş ve İ.Ü. Orman Fakültesi Havza Amenajmanı Anabilim Dalı tarafından yürütülmekte olan "İstanbul Çevresinde Yer Alan Meşe-Kayın Orman Ekosistemlerinde Eş-Havza Denemeleri" projesi çerçevesinde 1 Ekim 1978 - 30 Eylül 1980 tarihleri arasında kaydedici akım ölçerler yardımıyla belirlenen dere akımlarını kullanmak suretiyle sözü edilen modelin uygulanabilirliğini araştırmıştır. Zira bu model İngiltere ve Doğu Afrika'da büyüklüğü 37 hektardan 1600 km² ye kadar değişen ve yıllık yağışı 500 mm ile 2500 mm olan havzalarda kabul edilebilir sonuçlar vermiştir (BLACKIE / EELES 1985).

İşte bu yazı çerçevesinde önce model ana hatlarıyla tanıtılacak, uygulama sonucu verilecek ve değerlendirilmesi yapılacaktır.

2. HİDROLOJİ ENSTİTÜSÜ KAVRAMSAL MODELİ

Modelde genel olarak bir havza sisteminde yağışın buharlaşınca kadar geçirdiği evrede yani su döngüsünde var olduğu bilinen olgulara dayanılmakta ve akım süreklilik denklemine göre sonuca ulaşılmaktadır. Bilindiği gibi akım süreklilik denklemi genel olarak;

$$Q = P - AE \pm \Delta S \pm \Delta G$$

şeklinde yazılmaktadır. Burada;

- Q = Dere Akımı
- P = Yağış
- AE = Gerçek Evapotranspirasyon
- S = Toprak Nemi Depolamasındaki Değişim
- G = Taban Suyu Depolamasındaki Değişim

Bu modelde akış diyagramı Şekil-1'de verilmiş bulunmaktadır. Modelde su döngüsünde yer alan yağış dışındaki ana öğeler dört ayrı bölümde (Su depolama kısmı) temsil edilmektedir. Bunlar: 1) İntersepsiyon depolama bölümü, 2) Geçici yüzeysel depolama bölümü, 3) Toprak nemi depolama bölümü ve 4) Taban suyu depolama bölümüdür.

1) İntersepsiyon Depolama Bölümü

Bu bölümde yağışın bir kısmı havzadaki bitki örtüsü ve ölü örtü tarafından tutularak buharlaşmaktadır. Bu buharlaşma miktarını hesaplamak için Calder-Newson denklemi kullanılmaktadır. Bu denklem

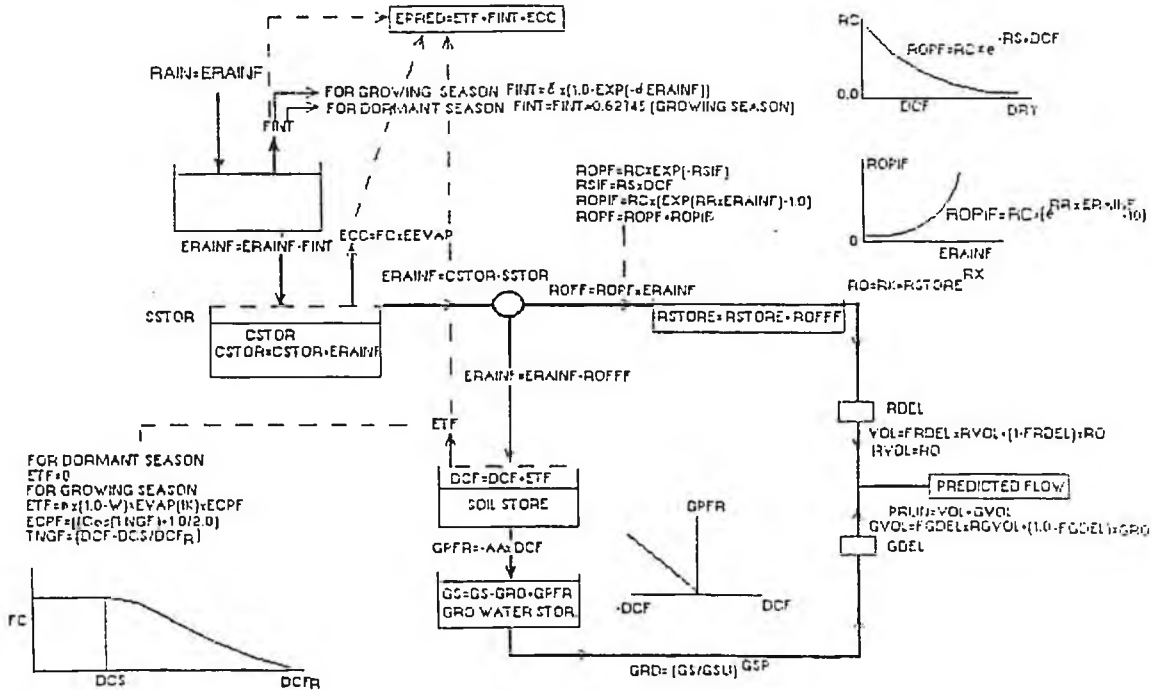
$$FINT = \gamma [1.0 - EXP(-\delta \times ERAINF)]$$

şeklinde dir.⁽¹⁾

Ancak bu denklem iğne yapraklı orman için geliştirildiğinden yaprağını döken orman için bir düzeltme faktörü kullanmak gerekmektedir ki bu faktör, Belgrad Ormanında yapılan bir araştırma (ÖZHAN 1982) sonucuna göre belirlenmiş ve böylece denklem yapraksız dönem için:

(1) Formüllerde verilen kısaltmaların anlamı Tablo 1'de açıklanmıştır.

HİDROLOJİ ENSTİTÜSÜ BÜTÜNSEL YAKLAŞIM MODELİ
 THE INSTITUTE OF HYDROLOGY LUMPED MODEL



Şekil 1: Hidroloji enstitüsü bütünsel yaklaşım modeli
 Figure 1: The Institute of hydrology lumped model

Tablo 1: Modelde Yer Alan Bazı Kısaltmaların Anlamı**Table I:** Some Abbreviations in Model

RAIN	Yağış Rainfall
ERAINF	Etkili Yağış Effective rainfall
EEVAP	Potansiyel evaporasyon Potential evaporation from free water surface
EPRED	Tahmin edilen toplam evaporasyon Predicted evaporation
FINT	İntersepsiyon Interception
ECC	Yüzey depolamasından meydana gelen transpirasyon Transpiration from surface store
EXP	e tabanına göre üs Exponential
CSTOR	Toprak yüzeyinde su depolama miktarı Contents of soil surface store
ROPF	Toprak nemi açığının etkilediği yüzeysel akış Runoff affected by soil moisture deficit
ROFFF	Toplam yüzeysel akış Surface runoff total
RSTORE	Kanal depolama miktarı Content of channel store
ETF	Gerçek transpirasyon Actual transpiration
W	Tepe tacının nemli olduğu zaman fraksiyonu Fraction of the time when the canopy is wet
IK	Gün sayısı Day counter
INGF	Su açığı fonksiyonu Function of the water deficit
DCF	Su açığı Water deficit
GPFR	Toprakta depolanan suyun tabansuyuna sızma oranı Percolation rate to groundwater
GS	Tabansuyu depolamasının mevcut seviyesi Current level of groundwater storage

Tablo 1'in devamı
Table 1 Continued

RO	Akış Runoff
GRO	Tabansuyundan akış Runoff from groundwater
FGDEL	Tabansuyunun geciken bölümü Fraction part of groundwater delay
FRDEL	Akışın geciken bölümü Fraction part of runoff delay
VOL	Dere akımına katılan toplam yüzeysel akış Total surface runoff in transit
RVOL	Günün bir bölümündeki dereye katılan yüzeysel akış Surface runoff in transit (fraction of day)
RGVOL	Gün boyunca yüzeysel akış Surface runoff (whole day)
GVOL	Dere akımına katılan taban suyu akışı Groundwater in transit
PRUN	Tahmin edilen dere akımı Predicted streamflow

$FINT = FINT \times 0.62745$ şeklini almıştır.

Yağış, intersepsiyon süreciyle birlikte iki kısma ayrılmaktadır ki bunlar;

a) İntersepsiyonla kayıp;

Yapraklı dönem için : $FINT = \gamma [1.0 - EXP(-\delta \times ERAINF)]$

Yapraksız dönem için : $FINT = FINT \times 0.62745$

b) Toprak yüzeyine ulaşan etkili yağış

$$ERAINF = ERAINF - FINT$$

2) Geçici Yüzeysel Depolama Bölümü

Toprak yüzeyinde geçici depolama bölümünde su bulunduğu meydana gelecek evaporasyon, serbest su yüzeyinden meydana gelen potansiyel evaporasyon miktarından yararlanarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır ve formüldeki FC terimi optimize edilir.

$$ECC = FC \times EEVAP$$

Modelde ERAINF olarak gösterilen ve bu geçici depolamada tutulamayan etkili yağışın bir bölümü yüzeysel akışa geçer ve bir bölümü toprak nemi depolama bölümüne girer.

Yüzeysel akış aşağıdaki eşitlikle belirlenir.

$$ROFFF = ROPF \times ERAINF$$

Burada ROPF toprak nemi açığı ve yağış şiddetinin bir fonksiyonu olup aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanır.

$$ROPF = RC \times EXP(-RSIF)$$

$$RSIF = RS \times DCF$$

$$ROPIF = RC \times [EXP(RR \times ERAINF) - 1.0]$$

$$ROPF = ROPF + ROPIF$$

Formüllerdeki RC, RS ve RR optimize edilecek parametrelerdir.

Dere akımına katılacak yüzeysel akış miktarı ise:

$$RO = RK \times RSTORE^{RX}$$

Burada başlangıçtaki depolama miktarını gösteren RSTORE zaman dilimlerinde meydana gelen gecikmelerle (RDEL) dereye doğru gittikçe azalmaktadır (BLACKIE / EELES 1985).

Etkili yağışın yüzeysel akışa geçmeyen bölümü ise infiltrasyon yoluyla toprak nemi depolama bölümüne gider ki bu:

$$ERAINF = ERAINF - ROFFF$$

denklemlerle model de yerini bulmaktadır.

3) Toprak Nemi Depolama Bölümü

Toprak nemi depolama bölümünü etkili yağışın yüzeysel akıştan geriye kalan bölümü besler ve bu bölümdeki su da transpirasyonla ve tabansuyuna perkolasyonla kayba uğrar.

Transpirasyonla kaybolan miktar:

$$ETF = B \times (1.0 - w) \times EVAP (IK) \times ECPF$$

$$ECPF = (\cos(TNGF) + 1.0) / 2.0$$

$$TNGF = (DCF - DCS) / DCF_R$$

formülleri yardımıyla hesaplanır.

Burada ECPF toprak nemi açığının (DCF) bir fonksiyonu olup DCS, toprak nemi açığı nedeniyle transpirasyonun azalmaya başladığı nokta, DCF_R ise transpirasyonun durduğu nokta değerleri olup bunlar optimize edilmektedir.

Toprak nemi depolamasında bir su açığı varsa tabansuyuna doğru bir perkolasyon söz konusu değildir. Ancak bu bölümde bir su fazlası varsa sabit bir oranda su miktarı taban suyuna drene olur. Bu miktar, basit bir doğrusal fonksiyonla belirlenir (EELES 1978).

$$GPFR = -AA \times DCF$$

4) Taban Suyu Depolama Bölümü

Taban suyu depolama bölümüne, toprak suyu depolamasındaki bir kısım su (GPFR) gelir ve bu mevcut miktara eklenir (DOUGLAS 1974). Taban suyu depolamasından meydana gelen kayıp sadece dereye doğru giden taban suyu akışı (GRO) olup bu miktar taban suyu depolamasındaki mevcut seviyenin bir fonksiyonudur:

$$GRO = (GS/GSU)^{GSP}$$

Burada GSU ve GSP optimize edilecek parametrelerdir.

Dereye doğru giden tabansuyu akışı (GRO), zamanla gecikme faktörüyle (GDEL) yavaşlamaktadır.

Buraya kadar açıklanmaya çalışılan modelin geçici yüzeysel depolama bölümünden dere akımına katılan toplam yüzeysel akış:

$$VOL = FRDEL \times RVOL + (1.0 - FRDEL) \times RO$$

formülüyle ve tabansuyu depolama bölümünden dere akımına katılan taban suyu akışı da:

$$GVOL = FGDEL \times RGVOL + (1.0 - FGDEL) \times GRO$$

formülüyle hesaplanmaktadır. Böylece dere akımının tahmini:

$$PRUN = VOL + GVOL$$

formülüyle belirlenmektedir.

Yine modelde hesaplanan intersepsiyon (FINT), transpirasyon (ETF) ve yüzeysel geçici depolamadan meydana gelen buharlaşmanın (ECC) toplanmasıyla da toplam buharlaşma tahmin edilmektedir;

$$EPRED = FINT + ETF + ECC$$

3. MODEL UYGULAMASI VE OPTİMİZASYONU

3.1 Veriler

Havza I ve Havza IV e ilişkin aylık ortalama akım değeri ile Bahçeköy Meteoroloji İstasyonundan alınan aylık yağış değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Havza I'in akım değerleri 1978 yılı Ekim ayı, Havza IV'ünkü ise 1978 yılı Kasım ayında başlamakta ve 1980 Eylül sonuna kadar devam etmektedir. Burada havzaların kısaca tanıtılması uygun bulunmuştur.

3.2 Akım Ölçmesi Yapılan Havzaların Tanıtımı

Dere akımlarının ölçüldüğü Havza I ve Havza IV, Karadeniz'e takriben 3 km uzaklıkta bulunan İstanbul Belgrad Ormanının Kurtkemerli bölgesi içinde yer almaktadır.

Havza I ve Havza IV sırasıyla 71.9 ve 77.5 hektar büyüklüğünde olup her ikisi de tamamen ormanla kaplıdır. Bu ormanı oluşturan başlıca ağaç türleri meşeler (*Quercus petraea*, *Quercus frainetto* Ten.) ve kayın (*Fagus orientalis*) dir. Bu ağaç türlerine yer yer değişik oranlarda gürgen (*Carpinus betulus* L.) kestane (*Castanea sativa* Mill.) Kızılağaç (*Alnus glutinosa* L.) ve üvez (*Sorbus torminalis*) gibi türler karışım sağlamaktadır.

Tablo 2: Havza I ve IV'e İlişkin Aylık Ölçülen Akım Değerleri (mm) ve Yağış (mm)**Table 2:** Monthly Observed Streamflows and Precipitation for Catchment I and IV

Aylar Months	Havza-I Catchment-I Akım (mm) Runoff (mm)	Havza-IV Catchment-IV Akım(mm) Runoff (mm)	Yağış (mm) Precip. (mm)
10/1978	88,019		261.4
11/1978	7,506	11,837	84.4
12/1978	42,787	59,61	183.7
01/1979	27,624	54,64	144.7
02/1979	13,726	34,438	77.6
03/1979	5,282	8,997	21.5
04/1979	6,257	8,26	70.6
05/1979	2,94	3,626	24.3
06/1979	4,489	2,466	19.2
07/1979	1,74	1,661	58.8
08/1979	2,846	1,495	102.1
09/1979	1,344	1,076	34.8
10/1979	2,4	2,181	160.9
11/1979	84,583	148,083	243.7
12/1979	45,817	72,687	179.1
01/1980	107,078	134,385	220.6
02/1980	89,791	123,123	200.3
03/1980	182,364	200,752	200.4
04/1980	19,188	19,284	47.8
05/1980	6,734	8,238	68.6
06/1980	3,588	2,763	21.8
07/1980	1,968	1,78	23.9
08/1980	1,788	1,2	58.6
09/1980	2,484	1,897	92.7

Havzaların içinde yer aldığı yöre, Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre "nemli, mezo-termal, su açığı yaz mevsiminde ve orta derecede görülen, okyanus etkisine yakın" bir iklime sahiptir. Yıllık ortalama yağış ortalaması 1094 mm. olup ortalama sıcaklık ise 12.8°C'dir (ÖZHAN 1977).

Toprağı oluşturan anamateryal Karbonifer kil şisti ile Neojen kili ve çakıl depolarıdır. Karbonifer kil şistlerinden oluşan topraklar genellikle sıg ve orta derin, taşlı, balçıklı kil türünde; organik maddece zengin ve hızlı geçirendir.

Neojen depolarından gelişen topraklar ise derin, üstte balçıklı kil altta kil türündedir ve orta derecede geçirgenliğe sahiptir.

Her iki anamateryalden gelişen topraklar yüksek bir erozyon potansiyeline sahip olup üzerlerinde yüzeysel akışa karşı iyi bir tampon etkisi gösteren 5 cm kalınlığında mull tipi ölü örtü tabakası bulunmaktadır (BALCI ve Ark. 1986 ve 1993).

Havzaların deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 140 m ve ortalama eğimleri Havza-I'de %10 ve Havza-IV'de %14'tür.

3.3 Parametrelerin Optimizasyonu

Tablo 3'de verilen parametrelerin başlangıç değeri olarak Eeles (1978) tarafından yapılan bir araştırmada optimize edilen değerler alınmış, bu parametrelerin optimum değerlerini elde etmek için de objektif fonksiyon minimize edilmiştir. Bu fonksiyon, ölçülen ve tahmin edilen dere akımları arasındaki fark karelerinin toplamı olarak belirtilmekte ve:

$$F = \sum (Q_{obs} - Q_{pred})^2$$

olarak formüle edilmektedir (Nash ve Sutcliffe, 1970).

Belirtme katsayısı hesaplanmak suretiyle de uygulamanın etkinliği irdelenmiş ve katsayı;

$$RE = (FO - F) / FO$$

formülüyle hesaplanmıştır. Buradaki FO,

$$FO = \sum (Q_{obs} - Q_{mean})^2$$

olup, ölçülen akım ile ortalama akım değerleri arasındaki fark karelerinin toplamını ifade etmektedir. Belirtme katsayısının kare kökü ise korelasyon katsayısıdır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Havza-I ve Havza-IV için optimize edilen parametre ve değerleri Tablo 3'de verilmiş olup uygulanan modelde 19 parametre bulunmaktadır. İki yıllık periyot verilerine göre kalibrasyon sonuçları ise Tablo 4'de görülmektedir. Aylık korelasyon katsayısı Havza-I için 0.9759 ve Havza-IV için 0.9677 bulunmuştur. Belirtme katsayıları ise Havza-I ve IV için sırasıyla 0.9524 ve 0.9364 tür. Bu değerler ölçülen ve tahmin edilen akım arasındaki ilişkinin çok önemli olduğunu göstermektedir.

Ölçülen ve tahmin edilen akımlara ilişkin hidrograflar Şekil 2 ve 3'de verilmiş bulunmaktadır.

Kalibrasyon periyodu içinde ölçülen toplam akım ile tahmin edilen toplam akım arasında meydana gelen hata yüzdesi Havza-I için % 0.657 ve Havza-IV için % 0.037 hesaplanmıştır ki bunun da çok küçük bir fark olduğu görülür.

Havza-I ve Havza-IV için aylık ölçülen ve tahmin edilen akım değerlerinden elde edilen akım süreklilik eğrileri Şekil 4 ve 5'de verilmiştir. Bu eğriler, ölçülen ve tahmin edilen akımların uyumluluğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Gerek Tablo 2 gerekse Şekil 2 ve 3'den izlenebileceği gibi ölçülen maksimum debi ile tahmin edilen maksimum debi arasında büyük fark görülmektedir. Bu durum kar erimesinin dere akımı üzerinde etkili olmasıyla açıklanabilir. Zira karın düştüğü tarih ile eriyip dere akımına katıldığı tarih arasında uzun veya kısa süreli bir fark olmakta, ancak bu model içerisinde ifadesini bulamamaktadır. Diğer bir fark nedeni de akım değerlendirmesinin günlük 0-24 saatleri arasını, yağış değerinin de 09.00-09.00 saatleri arasını kapsamaması olabilir.

Tablo 3: Model Parametreleri ve Optimize Edilmiş Havza Değerleri**Table 3: Model Parameters and Catchment Optimised Values**

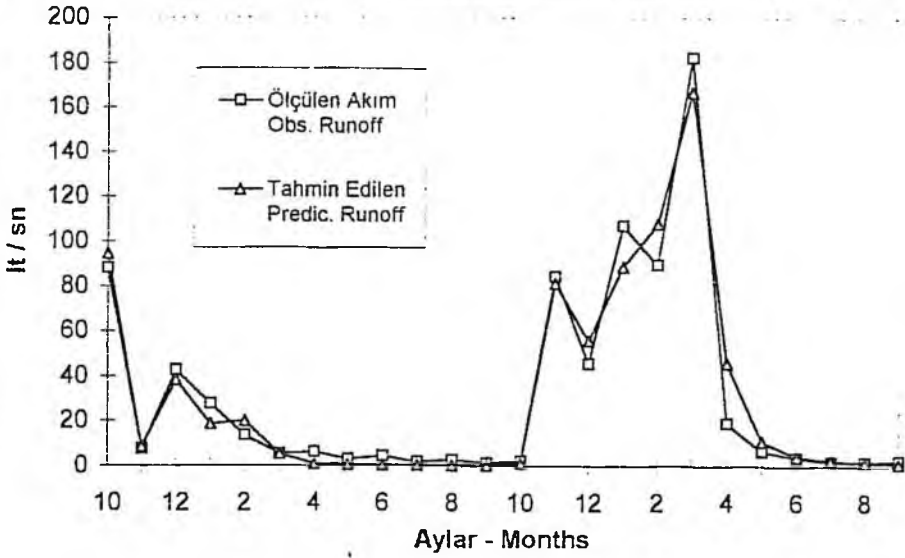
PARAMETRELER Parameters and stores			OPTİMİZE EDİLMİŞ DEĞER OPTIMISED VALUES	
			Havza-I Catchment-I	Havza-IV Catchment-IV
İntersepsiyon depolaması Interception store				
γ	Gama	Ampirik intersepsiyon sabitesi Empirical interception constant	6,1	7,1
δ	Delta	Ampirik intersepsiyon sabitesi Empirical interception constant	0,199	0,499
Geçici yüzey depolaması Surface detention store				
FC	Potansiyel evaporasyon yardımıyla topraktan meydana gelen evapotranspirasyonu tahmin için kullanılan faktör Factor to estimate soil store evapotranspiration loss from potential evaporation		0,85	0,72411
SSTOR	Toprak yüzeyindeki depolama miktarı Size of surface soil store		84	6
Yüzeysel akış Surface runoff				
RC	Yağış/yüzeysel akış sabitesi Rainfall/direct runoff constant		0,62315	0,78267
RS	Topraktaki su açığına göre yağış/akış sabitesi Rainfall/runoff exponential decay constant for soil moisture deficit		0,01299	0,01499
RR	Yağış/akış şiddeti üssel sabitesi Rainfall/runoff intensity exponential constant		0,01157	0,00786
RK	Akış öteleme faktörü Runoff routing factor		0,06055	0,14714
RX	Akış öteleme indeksi Runoff routing index		3,20106	5,65104
RDEL	Yüzeysel akış gecikme faktörü Surface runoff delay factor		0,01324	0,0236
Toprak nemi depolaması Soil moisture store				
β	Beta Beta		1,17	1,17
CWET	Tepe tacının nemli olduğu zaman fraksiyonu Fraction of the time when the canopy is wet		0,045	0,045
DCS	Toprak nemi açığı nedeniyle transpirasyonun azalmaya başlama noktası Soil moisture deficit below which beta factor is constant		51,38206	35,38206

Tablo 3'ün devamı
Table 3 Continued

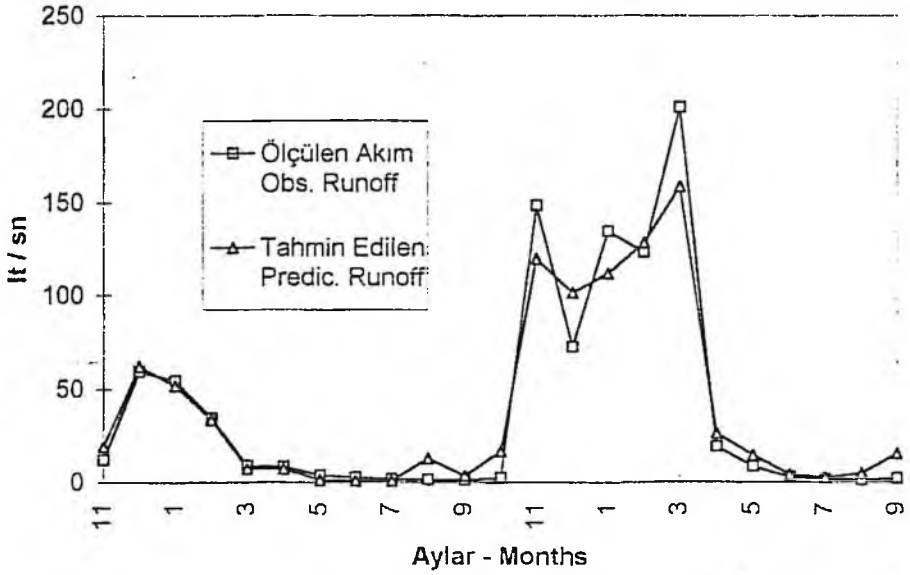
PARAMETRELER Parameters and stores		OPTİMİZE EDİLMİŞ DEĞER OPTIMISED VALUES	
		Havza-I Catchment-I	Havza-IV Catchment-IV
DCFR	Toprak nemi açığı nedeniyle transpirasyonun durduğu nokta Deficit above which there are no evaporation losses from the soil store	78,94206	68,94206
DCF	Başlangıçtaki toprak nemi açığı Initial moisture deficit of soil store	321	130
AA	Taban suyu besleyen toprak suyu perkolasyon faktörü Soil store percolation factor for groundwater recharge	0,17721	2,17721
Tabansuyu depolaması Groundwater store			
GSU	Tabansuyu çıkışı değeri Groundwater outflow denominator	36,00751	36,00751
GSP	Tabansuyu çıkışı indeksi Groundwater outflow index	2,83717	2,83717
GDEL	Tabansuyu çıkışı gecikme faktörü Groundwater outflow delay factor	11,10933	21,10933

Tablo 4: Model Kalibrasyon Sonuçları
Table 4: Results of Model Calibration

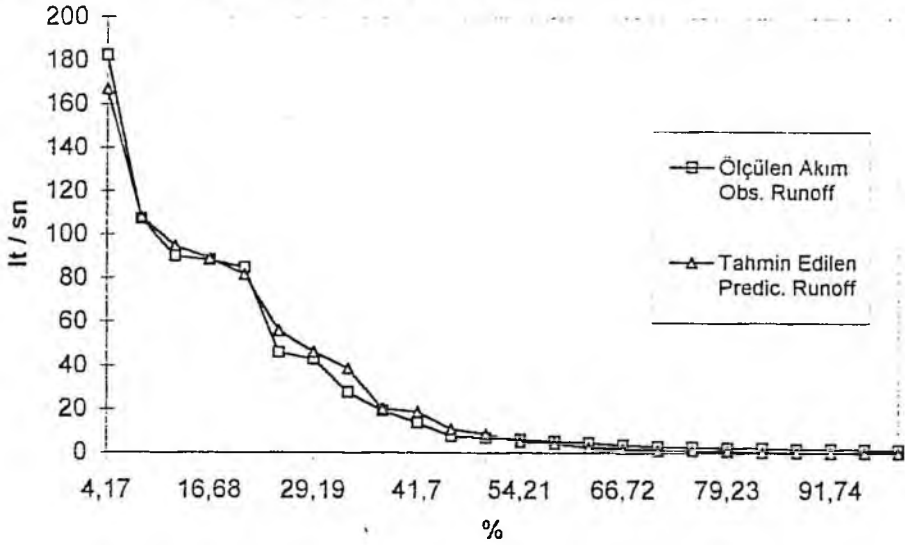
	Havza-I Catchment-I	Havza-IV Catchment-IV
Aylık Korelasyon Katsayısı Monthly Correlation Coefficient	0.9759	0.9677
Belirtme Katsayısı Monthly Efficiency (RE)	0.9524	0.9364
Başlangıç Varyansı Initial Variance (FO)	41846,750	73522,437
Son Varyansı Final Variance (F)	1993,989	4679,164
Tahmin Edilen Akım (Q_{pred}) Predicted Flow (mm)	757,28027	904,47656
Ölçülen Akım (Q_{obs}) Observed Flow (mm)	752,34009	904,80688
Hata Error in Flow	0.657 %	0.037 %



Şekil 2: Havza-I için aylık ölçülen ve tahmin edilen akım
Figure 2: Monthly observed and predicted flow for catchment-I

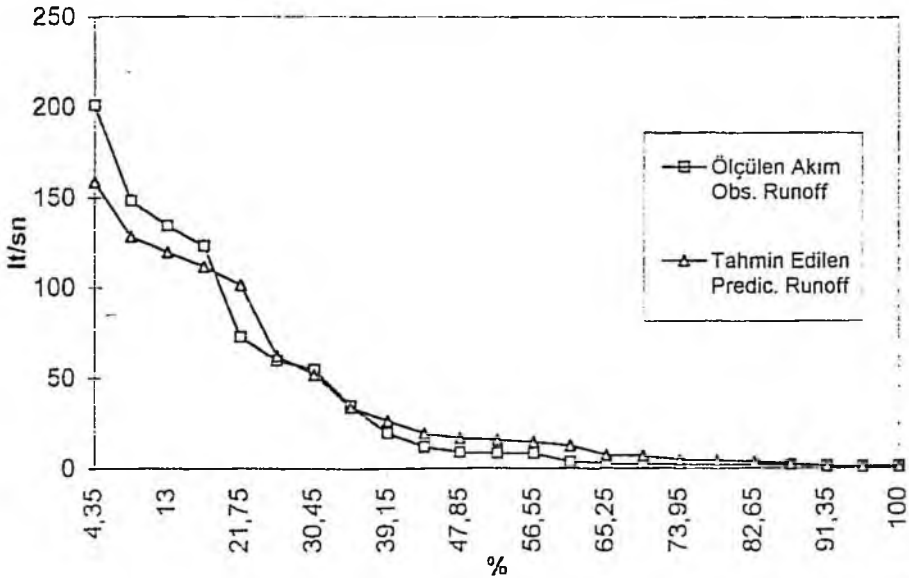


Şekil 3: Havza-IV için aylık ölçülen ve tahmin edilen akım
Figure 3: Monthly observed and predicted flow for catchment-IV



Şekil 4: Havza-I için aylık ölçülen ve tahmin edilen akım süreklilik eğrisi

Figure 4: Flow duration curve of monthly predicted and observed flows for catchment-I



Şekil 5: Havza-IV için aylık ölçülen ve tahmin edilen akım süreklilik eğrisi

Figure 5: Flow duration curve of monthly predicted and observed flows for catchment-IV

5. SONUÇ

Elde edilen kalibrasyon bulguları "Hidroloji Enstitüsü Kavramsal Modeli'nin yapraklı ormanla kaplı yağış havzaları için de uygulanabileceğini göstermektedir. Daha iyi sonuçlar elde edebilmek için yağışın tipi ve şiddetinin de değerlendirilmesi gerekli görülmektedir. Bu veriler kullanılabilirliği takdirde aylık ve günlük korelasyon katsayıları çok daha yüksek bulunabilir.

Ölçülen ve tahmin edilen toplam akımların karşılaştırılması sonunda da modelin iyi bir sonuç verdiği söylenebilir. Bununla birlikte ölçülen ve tahmin edilen maksimum akımlar arasındaki farkın azaltılması, kar yağışlarının oluş tarihleriyle eriyip dereye karışma tarihlerinin gözlemlenerek veri değerlendirmesinde dikkate alınmasıyla mümkün görülmektedir.

ESTIMATION OF STREAMFLOWS BY SIMULATION MODEL AND AN APPLICATION

Prof. Dr. Süleyman ÖZHAN

Abstract

The Institute of Hydrology Lumped Model which is one of the simulation models used in estimation of streamflow was described and model parameters were optimised on the two years of observed flows from the Ortadere catchments I and IV in Belgrad Forest, Calibration results show that the model could be applicable for catchments having broadleaved forests, relations between observed and predicted flows were significant. In order to get better results, precipitation characteristics such as type, and intensity, and dates of snowmelt should be taken into account.

1. INTRODUCTION

For last three decades scientists have been using mathematical modelling to forecast the flow from a catchment. Various models have been developed in so far. The Institute of Hydrology Lumped model (IH) being one of these models has produced acceptable results in the simulation of catchments in the UK and East Africa (BLACKIE / EELES 1985).

The data from the Ortadere experimental catchment consisting of a mature oakbeech forest near Istanbul in Turkey have been used for the purpose of calibrating the IH model. The objectives of the study have been (I) to gain the knowledge about the modelling and (II) to optimise the parameters for the Ortadere catchment.

2. THE INSTITUTE OF HYDROLOGY LUMPED MODEL

The model is shown schematically as figure 1. It has four stores. These stores are: an interception store, a surface detention store, a soil moisture store and a groundwater store.

Interception Store

Water is lost from this store by evaporation. In order to calculate the interception loss Calder-Newson equation has been used. It is given as:

$$FINT = \gamma [1.0 - \text{EXP}(-\delta \times \text{ERAINF})]$$

Yet, this equation has been developed for the coniferous forest and has, therefore, been optimised and due to the deciduous forest and a correction factor has been used for the dormant season. This factor is determined from a study carried out by OZHAN (1982).

The output from this store can be summarised as:

$$(1) FINT = \gamma [1.0 - \text{EXP}(-\delta \times \text{ERAINF})]$$

$$(2) \text{ERAINF} = \text{ERAINF} - FINT$$

Surface detention store

Evaporation from the surface-detention store when it contains water is estimated by using potential evaporation from free water surface, EEVAP, optimising a factor, FC, for this term:

$$\text{ECC} = \text{FC} \times \text{EEVAP}$$

Any excess rainfall representing ERAINF from this store is divided between surface runoff and the soil moisture store.

Surface runoff ROFFF is determined by the expression

$$\text{ROFFF} = \text{ROPF} \times \text{ERAINF}$$

where ROPF is a function of the soil moisture deficit, DC, and the rainfall intensity estimated by

$$\text{ROPF} = \text{RC} \times \text{EXP}(-\text{RSIF})$$

$$\text{RSIF} = \text{RS} \times \text{DCF}$$

$$\text{ROPIF} = \text{RC} \times (\text{EXP}(\text{RR} \times \text{ERAINF}) - 1.0)$$

$$\text{ROPF} = \text{ROPF} + \text{ROPIF}$$

where the factors RC, RS, RR are parameters to be optimised.

The volume surface runoff is treated as a non-linear reservoir giving the volume contribution to flow as:

$$\text{RO} = \text{RK} \times \text{RSTORE}^{\text{RX}}$$

where RSTORE is the reservoir content at the start of the interval. This in turn is delayed by RDEL time intervals (BLACKIE/EELES 1985). The parameters RK, RX and RDEL are optimised or estimated from field data.

The residual effective rainfall represents the infiltration to the soil moisture store:

$$\text{ERAINF} = \text{ERAINF} - \text{ROFFF}$$

Soil Moisture Store

The soil moisture store accepts residual effective rainfall as input, against which it balances losses to transpiration, and percolation to groundwater store.

The actual transpiration is given by:

$$ETF = \beta (1.0 - W) \times EVAP (IK) \times ECPF$$

$$ECPF = (\text{Cos} (TNGF) + 1.0) / 2.0$$

where ECPF is a function of the soil moisture deficit, DCF,

$$TNGF = (DCF - DCS) / DCF_R$$

where DCS and DCF_R represent, respectively, the soil moisture deficits at which transpiration begins to be constrained and finally ceases.

A simple linear function governs percolation from the soil store to groundwater store (EELLES 1978). If there is a deficit there is no recharge but where there is a water surplus than a constant proportion is drained from the soil store:

$$GPFR = -AA \times DCF$$

Groundwater Store

The groundwater store receives water by percolation from the soil store at a rate GPFR and this is added to the contents of the store (DOUGLAS 1974). The only loss from the store is as baseflow to the stream, GRO, at a rate which is a function of the contents of the groundwater store, GS,

$$GRO = (GS / GSU)^{GSP}$$

where GSU and GSP are parameters to be evaluated.

This output is delayed in time by a factor, GDEL. In this store the capillary rise is neglected.

The volume of runoff contributing to the streamflow is calculated as:

$$VOL = FRDEL \times RVOL + (1.0 - FRDEL) \times RO$$

and the volume of baseflow to the streamflow

$$GVOL = FGDEL \times RGVOL + (1.0 - FGDEL) \times GRD$$

Total streamflow, thus, in time interval n, is predicted as

$$PRUN = VOL + GVOL$$

On the other hand the total evaporation is calculated by summing the interception loss, FINT, transpiration, ETF, and evaporation from the surface detention store, ECC.

$$EPRED = FINT + ECC + ETF$$

3. DATA

The data of streamflow have been obtained from an experimental catchments study conducted by BALCI at all. in Turkey. Preliminary results of this study are described in a paper of Journal of Hydrology (1986). Calibration results are also published in a paper of Review of the Faculty of Forestry (1993). The climatic data were collected from a weather station near the catchments.

The data used were continuous from October 1978 to September 1980. This data were used to optimise the model parameters.

4. THE CATCHMENTS CHARACTERISTICS

The catchments are located within Belgrad forest which is about 3 miles from the Black Sea. The areas commanded by the streamflow structures are 71.9 and 77.5 hectares and completely forested. Tree species of the forest are primarily oak (*Quercus petria*, *Quercus frainetto* Ten.) and beech (*Fagus orientalis*). These dominant tree species are mixed with varying amount of hornbeam (*Carpinus betulus* L.), Chestnut (*Castanea sativa* Mill), alder (*Alnus glutinosa* L.), and mountain ash (*Sorbus torminalis*).

The climate of the catchments is characterized as B₂B₁sb₄ according to Thornthwaite method: humid, mesothermal oceanic with a moderate water deficit in Summer (OZHAN 1977), Precipitation for the areas averages about 1094 mm. annually and mean annual temperature is 12.8°C.

Underlying parent materials include mainly Carboniferous clay schists and Neogene loamy, gravelly deposits (BALCI at all. 1986). The soils derived from Carboniferous clay schists are usually shallow to moderately deep, gravelly, loamy clay in texture, rich in organic matter with moderately good permeability rates. The soils developed on Neogene deposits are deep, loamy clay in surface horizons and clay in the subsoil with medium permeability rates.

Both soils have high erodibility potentials. The mull type forest floor with an average depth of 5 cm. has a good buffering effect on overland flows.

Mean elevation of the catchments is around 140 m. above sea level and average slopes are 10 percent in Catchment-I and 14 percent in Catchment-IV.

5. OPTIMISING OF PARAMETERS

The parameter set is first initiated with values taken from a study carried out by Eeles (1987) and the objective function to obtain the optimum values of the model parameters has been used. This is a simple sum of squares of the residuals:

$$F = \sum (Q_{\text{obs}} - Q_{\text{pred}})^2$$

The efficiency has been considered as the regression coefficient of determination.

$$RE = (FO - F) / FO$$

where

$$FO = \sum (Q_{\text{obs}} - Q_{\text{mean}})^2$$

The square root of RE has been used as the correlation coefficient.

6. RESULTS

The model parameters optimised on the two years calibration periods for the Ortadere catchments-I and IV are shown in Table 3. The model applied has nineteen parameters (Table 3).

The monthly correlation coefficient is 0.9759 over the calibration period for catchment-I and is 0.9677 for catchment-IV (Table 4). The monthly efficiency is 0.9524 for catchment-I and is 0.9364 for catchment-IV.

The model gives 0.657 % error in total discharge between the observed and predicted flows for catchment-I and 0.037 % for catchment-IV. The observed and the predicted flows are presented in figure 2 and 3. Flow duration curves are also shown in figures 4 and 5. These curves use monthly totals and show the good agreement between the predicted values and the observed streamflow.

The differences between max. observed and predicted flows seem to be high. This could be explained by the fact that snowmelt is an effective factor on the streamflow and it includes timing error in terms of data processing. On the other hand the daily rainfall data are from 0900 to 0900 but the streamflow data are from 0-2400. This could be a source of error.

7. CONCLUSIONS

The results show that the IH model could work on broadleaved forest catchment. In order to get the better fit the type, and intensity of precipitation are the important factors. When the data stated above are available the model used in this study could produce a good monthly correlations.

A comparison of predicted total flow with observed flow, indicates that the model yields a very good result. However, due to the snowmelt, considerable differences between predicted and observed maximum flow are seen. Direct measurements are required of snow fall and snowmelt in the catchments.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study is supported by the British Council. The autor would like to acknowledge the British Council for their financial aid. Without the encouragement and assistance of Mr. J.R. Blackie and Mr. W.D. Eeles this study would not have been possible. The author gratefully acknowledges the cooperation of them. Acknowledgement is also made to his colleagues Prof. Dr. A. Nihat Balci and Prof. Dr. Necdet Ozyuvaci who have given me the permission to use the data.

KAYNAKLAR

- BALCI, N., ÖZYUVACI, N., ÖZHAN, S., 1986: *Sediment and Nutrient Discharge Through Streamflow From two Experimental Watersheds in Mature Oak-Beach Forest Ecosystems Near Istanbul, Turkey. Journal of Hydrology, 85 (1986). Elsevier Science Publisher B.V., Amsterdam-Printed in the Netherlands, p-31-47.*
- BALCI, N., ÖZYUVACI, N., ÖZHAN, S., ŞENGÖNÜL, K., 1993: *İstanbul Çevresinde Yer Alan Meşe-Kayın Orman Ekosistemlerinde Eş-Havza Denemeleri ile İlgili Kalibrasyon Dönemi Sonuçları. İ.Ü. Or. Fak. Dergisi, Seri A, Cilt 43, Sayı 1.*
- BLACKIE, J.R., EELES, C.W.O., 1985: *Lumped Catchment Models. Hydrological Forecasting, Edited by M.G. Anderson and T.P. Burt. John Wiley and Sons Ltd.*
- CRAWFORD, N.H., LINSLEY, R.K., 1966: *Digital Simulation in Hydrology Stanford Watershed Model IV. T.R. 39. Stanford. Calif. Dept. of Civil Engineering. Stanford University.*
- DOUGLAS, J.R., 1974: *Conceptual Modelling in Hydrology. Inst. Hydrool. Report, No. 24.*
- EELES, C.W.O., 1978: *A Conceptual Model For the Estimation of Historic flows. Report No. 55, Wallingford, Oxon.*
- FLEMING, G., 1972: *Computer Simulation Techniques in Hydrology. Elsevier, New York, Amsterdam.*
- KOZAK, M., 1968: *Determination of the Runoff Hydrograph on a deterministic basis using a digital computer. Proc. Symp. the Use of Analogue and Digital Computers in Hydrology. Vol. 1. Tucson, IASH/UNESCO.*
- MERO, F., 1969: *An Approach to Daily Hydrometeorological Water Balance Computations for Surface and Groundwater Basins. Seminar on Integrated Surveys for River Basin Development, Delft.*
- NASH, J.E., SUTCLIFFE, J.V., 1970: *River Flow Forecasting Through Conceptual Models. IA. J. Hydrology 10:282.*
- ÖZHAN, S., 1977: *Belgrad Ormanı Ortadere Yağış Havzasında Ölü Örtünün Hidrolojik Bakımdan Önemli Özelliklerinin Bazı Yöresel Etkenlere Göre Değişimi. Variation in Some Hydrologic Properties of Forest Floor as Related to Certain Environmental Factors in Ortadere Watershed of Belgrad Forest. İ.Ü. Orman Fak. Yayınları. İ.Ü. Yay. No. 2330, Or. Fak. Yay. No. 235.*
- ÖZHAN, S., 1982: *Belgrad Ormanındaki Bazı Meşcerelerde Evapotranspirasyonun Deneysel Olarak Saptanması ve Sonuçların Ampirik Modellerle Karşılaştırılması. Determination of Evapotranspiration From Various Stands in Belgrad Forest and Comparasion of the Results With Those of Calculated by Empirical Formulas. İ.Ü. Or. Fak. Yay. No. 2906, Or. Fak. Yay. No. 311.*
- ROCKWOOD, D.M., 1964: *Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation. Engineering Studies Project 171, Tech. Bull, No. 22. US Army Engineer Divisioon. North Pacific, Portland, Oregon.*
- WATKINS, L.H., 1962: *The Design of Urban Sewer Systems. Road Research Tech. Paper No. 55. London, Dept. of Scientific and Industrial Research, Her Majesty's Stationery Office.*