

SERİ B CİLT 33



SAYI 1 1983

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

# ORMAN FAKÜLTESİ

## DERGİSİ



## HAVZA ORTALAMA YAĞIŞININ BULUNMASINDA YENİ BİR YÖNTEM

Doç. Dr. Ertuğrul GÖRCELİOĞLU<sup>1</sup>

### G İ R İ Ş

Hidrolojik verilere, su kaynaklarıyla ilgili her türlü tesislerin yapımında şu ya da bu ölçüde gereksinme duyulmaktadır. Rezervuar, baraj, sulama, kurutma (drenaj) ve akarsu ıslah projelerinde, ayrıca daha birçok hidrolojik çalışmalarda karşılaşılan sorunların çözümü için öncelikle gereksinme duyulan veri, belirli bir alana, daha doğrusu bir havzaya düşen yağışın ortalama değeri olmaktadır.

Bir havzaya düşen ortalama yağışın bulunması, akış değerlerine geçmek bakımından ilk adımdır. Bu bakımdan, çoğu mühendislik alanlarında olduğu gibi Orman Mühendisliği alanında da - özellikle dağlık arazi ıslahında, erozyon ve sel kontrolüne ilişkin çalışmalarda - havza ortalama yağışının bulunması sözkonusu olmaktadır.

Bir barajda toplanabilecek suyu belirleyebilmek için önce havzaya düşen yıllık ortalama yağışı bulmak gerekir. Bu yıllık yağıştan, akış değerleriyle baraja ulaşacak su miktarı, oradan da - baraj gerisinde depolanacak sudan yararlanılarak - sulanacak arazi miktarı ya da elde edilebilecek su gücü bulunur. Öte yandan bir havzaya düşen ortalama yağış, tarım alanlarındaki bitkilerin su gereksiniminin ne kadarının yağmurdan karşılandığını, buna göre de ne kadarının barajdan ya da sulama kanalından çekilebileceğini hesaplamak açısından da önemlidir.

Konuya sel kontrolü (sellerden korunma) yönünden yaklaşıldığında, yöre iklimine göre bir ya da birkaç gün süreli yağışların ne kadarının akışa geçtiği önem taşır. Çünkü sellerden korunmak amacıyla yapılacak sel kapanları ya da barajların boyutları, bu süredeki yüzeysel akışı depolayabilecek şekilde belirlenir. Bu gibi taşkın öteleme yapıları selleri tutup geciktirir ve mansap tarafından azar azar su birakarak taşkınların neden olacağı zararları önler. Yağış miktarını bilmeden böyle bir yapı için gerekli olan su tutma kapasitesi belirlenemez.

Görüldüğü ki bir havzaya düşen yağışın ortalamasına, yerine ve güdülen amaçta göre ya yıllık ortalama, ya mevsimlik ortalama, ya aylık ortalama, ya (bir ya da birkaç) günlük ortalama olarak sık sık gereksinme duyulmaktadır.

Bir havzanın gerçek ortalama yağışı, ancak bütün havzanın çok sayıda yağışölçerle donatılmasıyla elde edilebilir. Bu ise, çok küçük deneme alanları dışında pratik olarak mümkün değildir ve dolayısıyla büyük alanlar için gerçek ortalama yağış miktarı bilinemez. Bu durumda yapılabilecek şey, büyük alanlar için, değeri yağışölçer sayısına bağlı bulunan bir ortalamanın hesaplanmasıdır. Bu amaçla uy-

<sup>1</sup> I.O. Orman Fakültesi, Orman İnşaatı, Geodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Bahçeköy - İstanbul.

gun ve yeterli bir örnekleme yapılması ve elde edilecek verilerin mantıklı temelle-re dayalı güvenilir yöntemlerle analiz edilmesi suretiyle iyi bir sonuca ulaşılabılır.

Bu yazıda büyük bir alana (havzaya) düşen yağışın ortalama değerinin hesaplanmasında kullanılan başlıca yöntemlere değinilecek, bu amaçla BETHLAHMY (1976) tarafından önerilen ve -yeterince güvenilir olmasının yanısıra - diğer yön-temlere oranla daha avantajlı olan yeni bir yöntem (İki Eksen Yöntemi) tanıtıla-caktır.

## 1. HAVZA ORTALAMA YAĞIŞININ BULUNMASINDA KULLANILAN BAŞLICA YÖNTEMLER

### 1.1. Genel

Bir havzanın ortalama yağışının bulunmasında öteden beri yaygın biçimde kul-lanılmakta olan bazı yöntemler vardır. Bu yöntemlerin herbiri belli koşullarda uygulandıklarında, gerçek değeri bilinmeyen havza ortalama yağışına kabul edile-bilir ölçüde yaklaşılabilir.

Bir sağanağın bir alana bıraktığı yağışın miktarı, bir ya da birkaç noktada maksimumdan, sağanağın etkilediği alanın sınırında minimuma kadar değişebilir. Bu değişim, sağanağın etkilediği bir havzaya düşen ortalama yağışın hesaplanma-sında bazı sorunlar çıkarır. Bu nedenle, belli bir havzanın ortalama yağışının, bu-lunmasında dikkatli olmak, amaca ve koşullara göre kullanılacak yöntemin seçil-mesinde ve özellikle uygulanmasında titiz davranmak gerekmektedir.

Havza ortalama yağışının herhangi bir yöntemle hesaplanmasında, havza içe-risinde ve havzanın yakın çevresinde bulunan bütün meteoroloji ve yağışölçer istasyonlarının değerleri kullanılır.

Ortalama yağışın hesaplanmasında en çok kullanılan yöntemler;

- 1) Aritmetik Ortalama Yöntemi,
- 2) Thiessen Yöntemi,
- 3) Eşyağış Eğrileri Yöntemi,
- 4) Karma Yöntemler

biçiminde sıralanabilir.

### 1.2. Aritmetik Ortalama Yöntemi

Basit Ortalama Yöntemi, Direkt Ortalama Yöntemi gibi değişik adlarla da ani-lan bu yöntem, havza ortalama yağışının bulunmasında yararlanılan yöntemlerin en basit olanı ve özellikle nisbeten yayvan (düz) olan arazilerde en çok kullanılanıdır.

Bu yöntem, bir havza içinde birden fazla yağış istasyonunun bulunduğu du-rumlarda, istasyonların yağış değerlerinin aritmetik ortalamasının alınmasından iba-rettir.

Yıllık ortalama yağış gerekliyse yıllık yağışlar, günlük ortalama yağış gerek-liyse günlük yağışlar ortalanarak sonuca ulaşılır.

Bu yöntemde her istasyondaki ölçmeler eşit ağırlıklı kabul edilmektedir. Özellikle havzanın iklim bakımından homojen olduğu ve yükseltinin bir noktadan diğerine aşırı ölçüde ve birdenbire değişmediği durumlarda aritmetik ortalama yöntemi ile yeterli derecede amaca ulaşılabilir. Ancak dağlık bölgelerde ve şiddetli yağışlar sırasında yağış yüksekliği kısa mesafeler içinde hızla değiştiğinden, bu gibi yer ve durumlarda aritmetik ortalama yöntemi iyi sonuç vermeyebilir.

Bu yöntem yağışölçerlerin oldukça üniform dağıldığı 500 km<sup>2</sup> den küçük havzalarda kullanılabilir (BAYAZIT, 1974).

Bu yöntemle elde edilecek ortalamanın değeri yağışölçer sayısına bağlı bulunmaktadır. Diğer yöntemler için de geçerli olan bu bağıntı üzerinde yapılan araştırmalar, yağışölçer sayısının artmasıyla, hesaplanacak ortalama yağış değerinin de büyüdüğünü ortaya koymaktadır (GILMAN, 1966). Bunun başlıca üç nedeni vardır :

- 1) Bir alana düşen yağış, belli bir yağış (sağanak) merkezinden uzaklaşıldıkça üniform şekilde azalma göstermez;
- 2) Alan (havza) içinde yüksek yağış şiddetine sahip bir değil, birçok nokta (merkez) vardır;
- 3) Bu noktaları örnekleme olasılığı, örnekleme yoğunluğu (yağışölçer sayısı) ile orantılı olarak artar.

### 1.3. Thiessen Yöntemi

Bu yöntemde alan herbir yağışölçerin (istasyonun) çevresinde parçalara ayrılır ve bu ayırma işlemi, alanın her noktası en yakınındaki istasyona ait parça içinde kalacak şekilde yapılır. Bunu yapmak için birbirine yakın istasyonlar doğru parçalarıyla birleştirilir. Bu doğru parçalarından herbirinin orta dikmesi çizilerek diğer orta dikmelerle kesiştirilir (Genellikle istasyonları birleştiren doğru parçaları ince ve kesik çizgiler, orta dikmeler ise kalın ve kesiksiz çizgiler halinde çizilmektedir). Böylece herbir istasyonun çevresinde dikmelerin sınırlandığı birer çokgen (Thiessen çokgeni) oluşturulur. Yöntemin temelinde, bu şekilde oluşturulan herbir çokgenin, içinde yer alan istasyonun yağışı ile temsil edildiği varsayımı yatmakta, başka bir deyişle herbir istasyondaki yağış miktarının, yakındaki başka bir istasyona olan mesafenin yarısına kadar geçerli olduğu kabul edilmektedir.

Thiessen çokgenleri çizilirken havzanın dışında kalan, fakat meteorolojik bakımdan havza ile benzer karakterde olduğu belirlenen -ya da öyle olduğu kabul edilebilen - yağışölçer istasyonları da gözönüne alınır. Bu takdirde havza dışına taşan çokgenler normal olarak açık (kapanmamış durumda) kalacaktır.

Thiessen çokgenleri yağıştan yağışa değişmediğinden, bir havza için bir kere çizilmesi yeterli olur. Ancak yağışölçer (istasyon) sayısında zamanla bir değişme (artma ya da eksilme) söz konusu olduğu takdirde, her değişiklikten sonra çokgenlerin son duruma göre yeniden çizilmesi gerekir.

Çokgenlerin çizilmesinden sonra, herbir çokgenin havza sınırları içinde kalan kısmının alanı - planimetre ile ya da milimetrik kâğıtla - bulunur. Bu alan ölçme-

lerinin doğru yapılp yapılamadığının kontrol edilmesi uygun olur; ölçülen alanlar toplamının tüm havza alanına eşit çıkması, alan ölçmelerinin doğru yapıldığını gösterir. Bu kontrolden sonra, herbir yağışölçerde (istasyonda) ölçülmüş bulunan yağış miktarı o yağışın temsil ettiği çokgenin alanı ile çarpılmak, bu çarpımlar toplamı da havzanın tüm alanına bölünmek suretiyle tüm havzaya ait ağırlıklı ortalama yağış;

$$P_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot A_i}{A} = \frac{A_1 \cdot P_1 + A_2 \cdot P_2 + \dots + A_n \cdot P_n}{A}$$

şeklinde bulunur. Burada  $P_{ort}$ =havza ortalama yağışı (mm),  $A$ =tüm havza alanı (km<sup>2</sup>),  $A_i$ ( $A_1, A_2, \dots, A_n$ )=çokgenlerin alanları (km<sup>2</sup>),  $P_i$ ( $P_1, P_2, \dots, P_n$ )=herbir istasyonda ölçülen yağış yükseklikleri (mm),  $n$ =çokgen (istasyon) sayısıdır.

Bu uygulamanın değişik bir şeklinde ise, çokgenlerin alanları bulunduğundan sonra, herbir alanın tüm havza alanına oranı yüzde cinsinden hesaplanmakta, bu yüzde değeri, o çokgenin içindeki istasyonda ölçülen yağışa ağırlık olarak verilmekte ve tüm havzanın ağırlıklı ortalama yağışı;

$$P_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot A_i}{100} = \frac{A_1 \cdot P_1 + A_2 \cdot P_2 + \dots + A_n \cdot P_n}{100}$$

şeklinde elde edilmektedir (NEMEC, 1972).

Thiessen yönteminin uygulanışına ait sayısal bir örnek, Şekil 1 de ve bununla bağlantılı olarak Tablo I'de verilmiştir (ULUGÜR, 1972). Bu örnekten de anlaşılacağı üzere Thiessen yönteminde herbir istasyona, çevresindeki çokgenin alanıyla orantılı bir önem katsayısı verilmekte, başka bir deyişle herbir istasyonda ölçülen yağış değerine, temsil ettiği çokgenin alanıyla orantılı bir ağırlık kazandırılmaktadır.

Thiessen yöntemi, istasyonların üniform dağılmayışından gelen etkileri hesaba katan, iklimi ve dağların dağılışı üniform olmayan yerlerde aritmetik ortalama yönteminden daha iyi sonuç veren, «baraj mühendislerinin itirazsız kullanabildikleri» (ULUGÜR, 1972) bir yöntemdir.

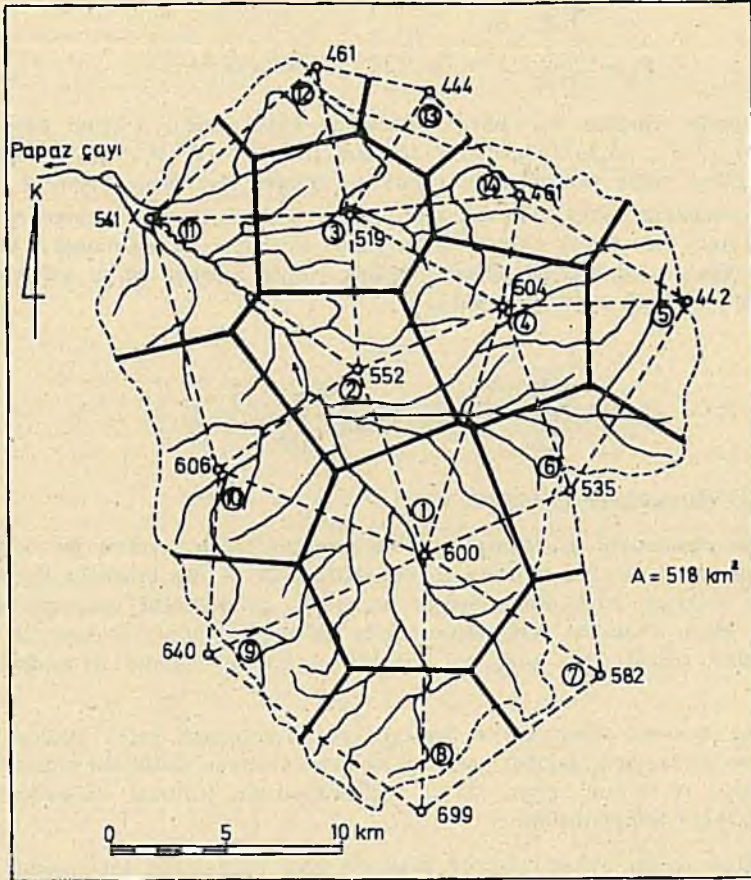
Bu yöntem, alanı 500 - 5 000 km<sup>2</sup> arasında olan havzalarda kullanılabilir (BAYAZIT, 1974).

#### 1.4. Eşyağış Eğrileri Yöntemi

Bu yöntemde, havza sınırları belirlenip istasyonlar yerleştirildikten sonra, aynı yağış yüksekliğine sahip olan noktaları birleştiren eşyağış eğrileri (izohiyetler) çizilir. Eşyağış eğrilerinin geçirilmesinde, eşyüksekti eğrilerinin çiziminde kullanılan doğrusal enterpolasyon teknikleri aynen kullanılır. Bu enterpolasyonda, deneyim sahibi bir hidrometeoroloğun gözetim ve denetimi yanlışlıkların önlenmesi bakımından önem taşır. Eşyağış eğrilerinin geçirilmesinde, dağların denize bakan yüzlerinin da-

ha fazla yağış aldığı, yağışın yükseltiye bağlı olarak arttığı hesaba katılır; dağların ve hâkim rüzgârların etkisi gözönünde tutulur. Uzun süreli ortalama yağışlara ait eşyağış eğrilerinin gidışı, genelde havzanın eşyüksekti eğrilerinin gidışine uyar; maamafih bunun dışındaki durumlarla da sık sık karşılaşılabılır.

Eşyağış eğrileri, amaca göre uzun süreli ortalama yağışlar, yıllık, aylık yağışlar, belli yıllar ve aylar, ayrıca münferit sağanak yağışlar için çizilebilir.



Şekil 1.

Eşyağış eğrilerinin çizilmesinden sonra, en yüksek ve/veya en düşük yağışlı eşyağış eğrisi ile havza sınırı arasında kalan alan, daha sonra da birbirini izleyen (ardışık) eşyağış eğrileri arasında kalan alanlar ölçülür. Bu ölçmelerin planimetre ile ya da milimetrik kâğıttan yararlanılarak yapılması olanağı vardır ve sonuçta elde edilen alanlar toplamının tüm havza alanına eşit olup olmadığı kontrol edilir.

İki eşyağış eğrisi arasındaki alanla bu iki eğri arasındaki ortalama yağış (söz-konusu iki eğrinin temsil ettiği yağışların ortalama değeri) çarpılarak, bu alana

(iki eğri arasında kalan alana) düğen yağmur miktarı - hacim olarak - bulunur. Herbir aralık için bu şekilde bulunan yağış hacimleri toplanır. Sonra bu toplam yağış hacmi havzanın tüm alanına bölünerek havza için ortalama yağış yüksekliği (derinliği), - Thiessen yöntemindekine benzer bir işlemle -;

$$P_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot A_i}{A} = \frac{A_1 \cdot P_1 + A_2 \cdot P_2 + \dots + A_n \cdot P_n}{A}$$

şeklinde bulunur. Burada  $P_{ort}$  = havza ortalama yağışı (mm),  $A$  = tüm havza alanı ( $km^2$ ),  $A_i$  ( $A_1, A_2, \dots, A_n$ ) = ardışık eşyağış eğrileri arasında kalan alanlar ( $km^2$ ),  $P_i$  ( $P_1, P_2, \dots, P_n$ ) = ardışık eşyağış eğrilerinin yağış değerleri ortalaması (mm),  $n$  = eşyağış eğrilerinin çevrelediği alan (aralık) sayısıdır.

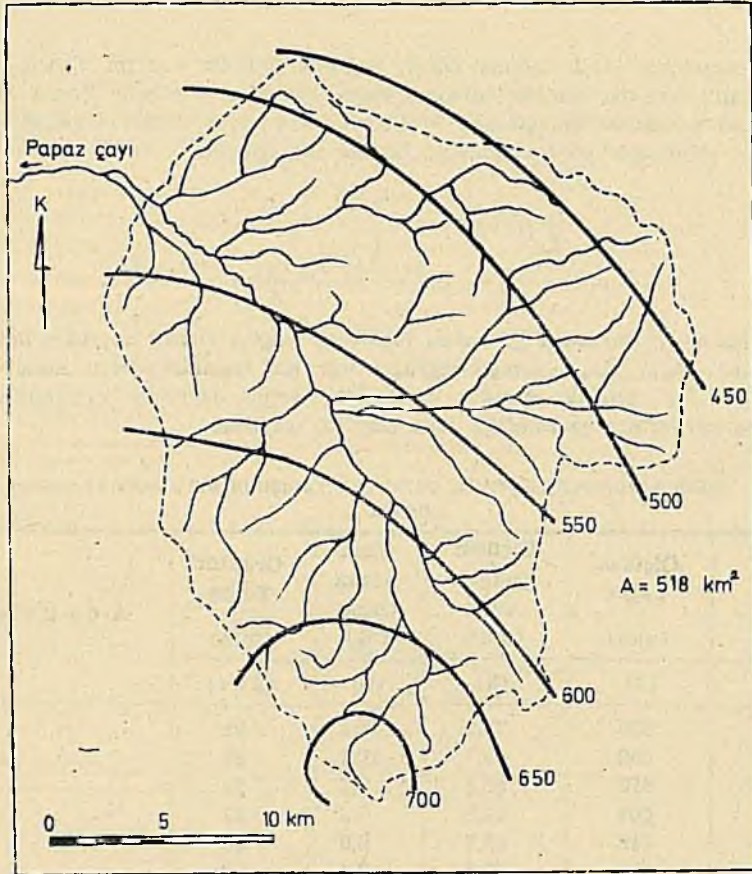
TABLO I. THIESSEN YÖNTEMİYLE HAVZA ORTALAMA YAĞIŞININ BULUNMASINA İLİŞKİN SAYISAL ÖRNEK.

Istasyon No.	Ölçülen Yağış (mm)	Ölçülen Çokgen Alanı ( $km^2$ )	Tüm Alana Oran (%)	Orantılı Yağış (mm)	Açıklama
(1)	(2)	(3)	(4)	(2×4)	
1	600	78,2	15,1	91	
2	552	62,7	12,1	67	
3	519	38,8	7,5	39	
4	504	37,8	7,3	37	
5	442	35,7	6,9	30	
6	535	29,5	5,7	30	
7	582	7,8	1,5	9	
8	699	23,3	4,5	31	
9	640	36,8	7,1	45	
10	606	62,7	12,1	73	
11	541	58,7	11,3	61	
12	461	10,9	2,1	10	
13	444	6,2	1,2	5	
14	461	29,0	5,8	26	
T o p l a m		518,0	100,0	554	Havza ortalama yağışı

(Uluğür 1972'den)

Bu yöntemde en yüksek ve/veya en düşük değerli eşyağış eğrisinin çevrelediği (bu eşyağış eğrisiyle havza sınırı arasında kalan) alan için yağış değeri ortalama ile değil, bu işi yapan hidrolog ya da mühendisin takdiri ile bulunarak hesaba katılmaktadır. Bu esneklik, hidrolog ya da mühendisin deneyimlerinden yararlanma olanağı vermesi bakımından yararlı olmaktadır.

Eşyağış eğrileri yönteminin uygulanışına alt sayısal bir örnek, Şekil 2'de ve bununla bağlantılı olarak hazırlanan Tablo II'de verilmiştir (ULUGÜR, 1972).



Şekil 2.

TABLO II. EŞYAĞIŞ EĞRİLERİ YÖNTEMİYLE HAVZA ORTALAMA YAĞIŞININ BULUNMASINA İLİŞKİN SAYISAL ÖRNEK.

Eşyağış Eğrisi (mm)	Eşyağış Eğrisi İçindeki Kümülatif Alan (km <sup>2</sup> )	Eşyağış Eğrileri Arasındaki Net Alan (km <sup>2</sup> )	Ortalama Yağış (mm)	Yağış Hacmi (km <sup>2</sup> × mm)	Açıklama
(1)	(2)	(3)	(4)	(3 × 4)	
700	13	13	715	9 295	$P_{\text{ort}} = \frac{289\,360}{518} = 555 \text{ mm}$
650	45	32	675	21 600	
600	135	90	625	56 250	
550	257	122	575	70 150	
500	444	187	525	98 175	
450	482	38	475	18 050	
< 450	518	36	440	15 840	
<b>Toplam</b>	<b>518</b>	—	—	<b>289 360</b>	



Eşyağış eğrileri yöntemi genellikle büyük havzalarda kullanılır. Küçük havzalarda kullanılmak istendiğinde çok zaman alıcı olmakta ve havzada sadece birkaç yağış istasyonunun bulunması halinde yeter doğrulukta sonuç vermemektedir (NEMEC, 1972).

Eşyağış eğrileri yönteminin başarısı büyük ölçüde analizi yapan kişinin deneyim ve becerisine bağlıdır. İstasyonlar arasında doğrusal enterpolasyon yapıldığı takdirde, elde edilecek sonuçlar Thiessen yönteminin sonuçlarına çok yakın olacaktır. Öte yandan yeterli titizlikle yapılmamış bir analiz ciddi hatalara yol açabilir (LINSLEY - KOHLER - PAULHUS, 1975).

## 1.5. Karma Yöntemler

### 1.5.1. Kareler Yöntemi

Bu yöntemde ortalama yağış bulunacak alan eşit büyüklükte karelere ayrılır. Herbir karedeki yağış yüksekliğinin, o kare içinde kalan istasyonda ölçülen yağış değerine eşit olduğu kabul edilir. Karede birden fazla yağışölçer (istasyon) varsa, bunların ortalaması alınır; karede hiç yağış istasyonu yoksa, en yakın iki istasyonun yağış değerleri arasında enterpolasyon yapılır. Böylece herbir karedeki yağış yükseklikleri bulunduktan sonra, bunlar toplam kare sayısına bölünerek - sözkonusu alanın tümü için - ortalama yağış yüksekliği elde edilir (BAYAZIT, 1974):

$$P_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n}$$

Burada  $P_{ort}$  = alanın (havzanın) ortalama yağış (mm),  $P_i (P_1, P_2, \dots, P_n)$  = herbir karedeki yağış yüksekliği (mm),  $n$  = kare sayısıdır.

Bu yöntem aritmetik ortalama yönteminden biraz farklı olmakla birlikte, ona yakın sonuçlar vermektedir. Arazinin nisbeten yayvan olduğu, orografik etkilerin fazla önem taşımadığı alanlarda uygulanabilir.

### 1.5.2. «Ortalama Yağışın Yüzdesi» Yöntemi

Dağlık yörelerde sağanak yağış ortalamalarının bulunması amacıyla çok kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, sağanak yağış miktarının mevsimlik ya da yıllık yağışa oranı herbir yağışölçer istasyonu için belirlenip, bu değerler harita üzerinde yerlerine yazılır. Aynı değere (orana) sahip olan noktalar, - «eşoran eğrisi» diyebileceğimiz - eğrilerle birleştirilir. İki ardışık eğrinin değerlerinin ortalaması ile ortalama mevsimlik ya da yıllık yağış değeri çarpılarak, sözkonusu iki eğri arasında kalan alan için sağanak yağış derinliği (yüksekliği) bulunur ve bu işlem bütün eğri aralıkları (ardışık eğriler arasında kalan bütün alanlar) için yapılır. Bu şekilde herbir eğri aralığı için bulunan sağanak yağış yükseklikleri, ait oldukları aralığın alanları ile çarpılarak, ardışık eğriler arasında kalan alanlara düşecek sağanak yağış miktarları - hacim olarak - elde edilir. Herbir aralığın bu yağış hacimleri toplanmak ve toplam hacim havzanın genel alanına bölünmek suretiyle,

havzanın tümü için geçerli ortalama sağanak yağış derinliği hesaplanmış olur (GILMAN, 1966).

Bu yöntemin uygulanışında, Tablo II'ye benzer bir tablo hazırlanması uygundur.

### 1.5.3. Kısaltılmış «Eşyüzdeler» Yöntemi

Herbir istasyon için sağanak yağış toplamının yıllık ortalama yağışa oranı hesaplanır. Bu oranlara Thiessen çokgenlerine göre ağırlık kazandırılır. Bu şekilde ağırlıklandırılan her bir oran, havzadaki istasyonların ortalama yıllık yağışlarının ortalaması ile çarpılır.

Kısaltılmış «eşyüzdeler» yöntemi, özellikle aynı havza için çok sayıda münferit sağanak yağışların ya da sağanak yağış periyotlarının incelenmesi gereken durumlarda yararlı olmaktadır (GILMAN, 1966).

### 1.5.4. Diğer Yöntemler

Konuya ilişkin olarak çeşitli araştırmacılar tarafından önerilmiş daha başka yöntemler de vardır. Bu yöntemler (Bkz: AKIN, 1971; CHIDLEY - KEYS, 1971; EDWARDS, 1972; MANDEVILLE - RODDA, 1972; SALTER, 1972; SHAW - LYNN, 1972) üzerinde burada durmayacağız.

## 2. YENİ BİR YÖNTEM : İKİ EKSEN YÖNTEMİ

### 2.1. Genel

Geniş bir alana, örneğin bir havzaya ait ortalama yağış genellikle buraya kadar anlatılmış bulunan yöntemlerden ya aritmetik ortalama, ya Thiessen, ya da eşyağış eğrileri yöntemi ile bulunmakta, değişik hesap aşamalarında bunların bir arada kullanıldığı karma yöntemlerden de zaman zaman yararlanılmaktadır.

Aritmetik ortalama yöntemi yağışölçerlerin (istasyonların) üniform bir dağılım gösterdiği, topoğrafyanın yayvan olduğu yerlerde iyi sonuç vermektedir.

Thiessen yöntemi yağışölçerlerin üniform bir dağılım göstermediği, orografik etkilerin ihmâl edilebilir düzeyde olduğu yerlerde kullanılmaya elverişlidir.

Eşyağış eğrileri yöntemi de Thiessen yöntemi gibi yağışölçerlerin üniform bir dağılım göstermediği yerlerde kullanılabilen, özellikle orografik etkilerin önemli ölçüde sözkonusu olduğu geniş alanlar için uygun bulunmaktadır.

Bir ölçüde karmaşık ve zaman alıcı Thiessen ve eşyağış eğrileri yöntemleri esas itibarıyla objektif olmakla birlikte, bunların verecekleri sonuçlar analizi yapanın uyguladığı işlemlere, ayrıca bu kişinin deneyimine, becerisine ve arazi yapısı ile sağanak yağış karakteristikleri konularındaki bilgisine bağlı bulunmaktadır. Bu yöntemler için hazırlanmış bilgisayar programları da vardır (Bkz.: Thiessen yöntemi için DISKIN, 1970; Eşyağış eğrileri yöntemi için KWAN et al. 1968).

Bilgisayar programları aynı zamanda diğer araştırmacılar tarafından önerilen yöntemlerde de kullanılmaktadır. Belli bir yöntemin genelde avantajlı olması, küçük

alanlarda tek (münferit) yağış değerlerinin yerine büyük alanlarda mevsimlik ya da yıllık yağışın kullanılmasına bağlıdır (BETHLAHMY, 1976)..

Su bilançosu etütleri için aylık ve yıllık alansal yağışın kullanılması, buna karşılık taşkın hidrolojisi etütleri için ise tek (münferit) yağış (sağanak yağış) değerlerinin kullanılması uygundur (VAHL, 1972).

Burada üzerinde duracağımız yeni yöntem Nedavia Bethlahmy (1976) tarafından geliştirilmiştir. «İki Eksen Yöntemi» adıyla önerilen yöntem kolay olmasının yanı sıra kendine özgü ve güvenilir sonuçlar vermekte, Thiessen ve Eşyağış eğrileri yöntemlerinin ağırlıklandırma avantajlarına sahip bulunmakta ve kolaylıkla bilgisayara uygulanabilmektedir.

İki eksen yöntemi her bir yağışölçer istasyonunu objektif bir şekilde ağırlıklandırmaktadır. Bir istasyon açısının - derece ya da radyan cinsinden ifade edilebilen değeri, istasyonun, havza eksenlerine göre konumuna bağlıdır; istasyon ağırlığı, o istasyona ait açı değerinin bütün istasyon açılarının toplamı değerine oranıdır; bir havzaya düşen yağışın ortalama miktarı da, bütün istasyonlara ait ağırlıklarla o istasyonlarda ölçülen yağışların çarpımları toplamına eşit olmaktadır.

## 2.2. Temel Kabuller

İki eksen yöntemi üç kabule dayanmaktadır. Bunlardan birincisi, bütün yağışölçerlerin bir alana düşen ortalama yağış bakımından eşit önemde olmadıklarıdır; dolayısıyla bir ağırlıklandırma işlemi gereklidir. Bu kabul, basit ortalama yöntemi dışındaki bütün yöntemlerde vardır.

İki eksen yönteminin ikinci kabulü, bir havzanın merkezine yakın yerde bulunan bir yağışölçer istasyonunun, havzanın merkezinden uzakta bulunan bir yağışölçer istasyonundan daha ağırlıklı olduğudur. Bu kabul mantıklıdır; zira bir havzanın merkezindeki bir sağanak yağış olayının, havzanın sınırı yakınındaki ya da dışındaki bir sağanak yağış olayına oranla havza içerisinde daha büyük bir alanı etkilemesi olasılığı daha fazladır. Bu kabul de Thiessen yönteminde aynen sözkonusudur. Bir örnek olmak üzere, biri merkezde, diğeri de sınırda (çevre üzerinde) bulunan iki yağışölçerin yer aldığı dairesel bir havza düşünelim. Thiessen yöntemi-ne göre, merkezdeki yağışölçer havzanın % 80,4 ünü, çevre (daire) üzerindeki yağışölçer ise havzanın sadece % 19,6 sını temsil eder. Daire üzerindeki yağışölçer daire dışına çıkarıldığı takdirde, bunun nisbi ağırlığı giderek küçülecek ve daire merkezinden bir çap mesafesi kadar uzakta nisbi ağırlık 0 olacaktır. Bu durumda bu yağışölçer havza alanının % 0 mı temsil ederken, merkezdeki yağışölçer havza alanının % 100 ünü temsil edecektir. Merkezden olan uzaklığın büyümesiyle önem derecesinin azalması şeklindeki bu ilke aynı zamanda iki eksen yönteminde de vardır; fakat azalma oranı çok farklıdır.

Örnekte (yani iki yağışölçere sahip dairesel havzada), merkezdeki yağışölçer için istasyon açısı  $90^\circ$  ve daire üzerindeki yağışölçer için ise istasyon açısı  $45^\circ$  dir. Merkezdeki istasyonun ağırlığı  $90^\circ / (90^\circ + 45^\circ) = 0,67$  ve daire üzerindeki istasyonun ağırlığı  $45^\circ / (90^\circ + 45^\circ) = 0,33$  tür. Daire üzerindeki yağışölçer merkezden bir çap mesafesi kadar uzaklığa taşındığı takdirde merkezdeki istasyonun açısı  $90^\circ$  olarak kalır; fakat dış istasyon açıları minimum  $26,6^\circ$  (istasyonun eksenlerden herhangi

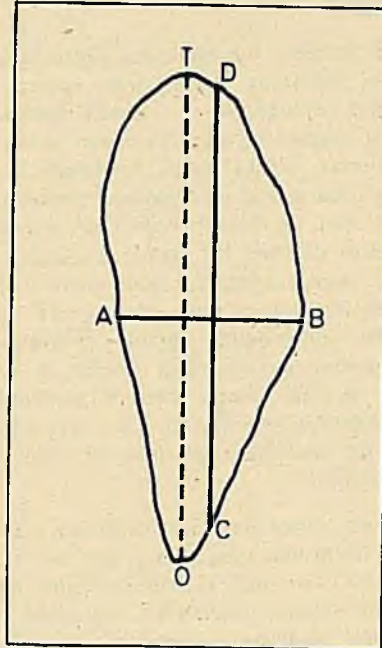
birinin uzantısı üzerinde bulunması halinde) ile maksimum  $29,3^\circ$  (İstasyonun eksenlerin arasında - ortasında - bulunması halinde) arasında değişecektir; merkez ve dış istasyonların bunlara tekabül eden ağırlıkları da sırasıyla (0,75; 0,25) ve (0,77; 0,23) olacaktır.

İki eksen yönteminin üçüncü bir kabulü, bir yağışölçerin önem derecesinin (ağırlığının), o yağışölçerin havzanın iki eksenine göre yerine (konumuna) bağlı bulunduğudur. Bu kabul Thiessen yönteminde de zımnen vardır.

Sabit üç yağışölçerin ortasında yer alan ve dairesel olmayan bir havza düşünelim. Havza kendi merkezi etrafında döndürüldüğü takdirde herbir (sabit) yağışölçerin önem derecesi havzanın durumuna (pozisyonuna) bağlı olarak değişecektir. Bu kabul, bilgili hidrologların izledikleri yoldan da anlaşılacağı üzere esyağış eğrileri yönteminde de sözkonusudur; nitekim esyağış eğrilerinin çizilmesinde sadece yağış miktarları değil, aynı zamanda arazinin esyüksekti eğrileri de dikkate alınmakta ve bu esyüksekti eğrileri bir havzanın eksenleriyle bağıntıya getirilmektedir.

### 2.3. Eksenlerin Yerleştirilmesi ve İstasyon Açılarının Belirlenmesi

Bir havzanın merkezi göz kararıyla belirlenebilir; ancak bu yolla belirlenebilecek merkezin kişiden kişiye değişmesi nedeniyle standart bir prosedüre gereksinme vardır. İki eksen yönteminde bir havzanın merkezi, havzanın büyük ve küçük eksenlerinin kesişme noktası olarak belirlenir. Çoğu durumlarda eksenler şöyle yerleştirilebilir (Şekil 3):

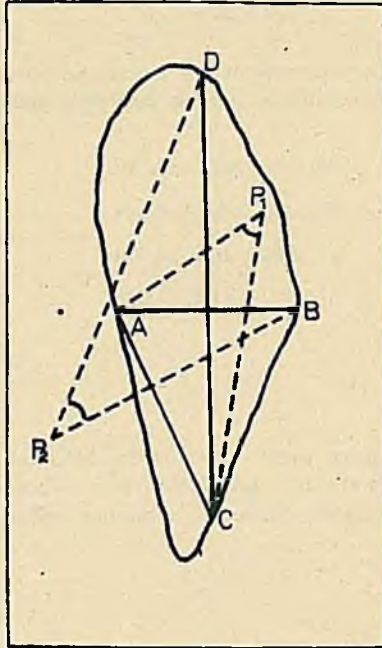


Şekil 3.

Havzanın çıkış noktası (ağız) (O), havza sınırı üzerindeki en uzak noktaya (T) birleştirilir; bu doğrunun orta noktasından bu doğruya dik bir doğru (AB) çizilir ki bu, küçük eksen olur. Bu küçük eksenin orta noktasından bu eksene dik bir doğru (CD) çizilerek büyük eksen elde edilir.

Bu prosedür her duruma uymayacaktır. Örneğin havza hilal biçiminde ise, başlangıçta çizilen OT doğrusu tamamen ya da kısmen havza sınırları dışında kalır; Bu takdirde küçük eksen havzanın içinde kalacak, bunun orta noktasından buna dik olarak çizilecek doğrunun havza tarafından sınırlandırılan kısmı da büyük eksen oluşturacaktır. Havzanın kabak biçiminde olması halinde ise OT başlangıç doğrusu, uzunluğu maksimum olacak doğrultuda çizilecektir.

Bir istasyon açısı, istasyon noktasını küçük ve büyük eksenlerin istasyona uzak olan uçlarına birleştiren doğrular arasındaki açıdır (Şekil 4). Örneğin  $P_1$  istasyonu küçük eksenin yukarısında, büyük eksenin sağındadır ve açısı  $AP_1C$  dir.  $P_2$  istasyonu küçük eksenin aşağısında, büyük eksenin solundadır ve açısı  $BP_2D$  dir. Tam merkezde yer alan bir istasyonun açısı daima  $90^\circ$  dir (mümkün olan maksimum büyüklükteki açı) ve diğer bütün istasyonların açıları  $90^\circ$  den daha küçüktür.



Şekil 4.

Bir istasyon açısının büyüklüğü ya doğrudan doğruya bir açıölçerle - mekanik olarak - ölçülebilmekte, ya da bütün noktaların koordinatları bilindiği takdirde hesaplanabilmektedir. Örneğin koordinatları  $(x_1, y_1)$  ve  $(x_2, y_2)$  olan iki noktayı birleştiren bir doğrunun uzunluğu (L);

$$L = [(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2]^{1/2}$$

dir. Herhangi bir ABC üçgeninde ise - A, B, C açıları karşısındaki kenarların uzunlukları sırasıyla a, b, c ile gösterildiğinde - A açısı;

$$A = \arccos[(b^2 + c^2 - a^2)/2bc]$$

dir. Dolayısıyla (Şekil 2 de) AP<sub>1</sub>C açısı da;

$$P_1 = \arccos[(\overline{AP_1}^2 + \overline{P_1C}^2 - \overline{AC}^2) / 2 \overline{AP_1} \cdot \overline{P_1C}]$$

şeklinde hesaplanır.

#### 2.4. İstasyon Ağırlığı

«i» yağışölçer istasyonunun istasyon ağırlığı (W<sub>i</sub>), istasyonun açısının (A<sub>i</sub>) bütün istasyon açıları toplamına oranıdır :

$$W_i = A_i / \sum A_{i=1,n}$$

Dolayısıyla, K, F, G yağışölçer istasyonlarının açıları sırasıyla 60°, 75° ve 80° ise, açılar toplamı 215° dir ve istasyonların ağırlık değerleri sırasıyla :

$$W_K = 60^\circ / 215^\circ = 0,279$$

$$W_F = 75^\circ / 215^\circ = 0,349$$

$$W_G = 80^\circ / 215^\circ = 0,372$$

$$\sum W_i = 1,000$$

olarak elde edilir.

#### 2.5. Ortalama Yağış

Bir havzaya düşen ortalama yağış (P<sub>a</sub>), bütün istasyonların ağırlıklı yağışlarının toplamıdır. i istasyonlarında P<sub>i</sub> yağış ölçülmüş ve bunlara ait ağırlık W<sub>i</sub> olarak hesaplanmış olsun. Bu takdirde havzanın ortalama yağışı :

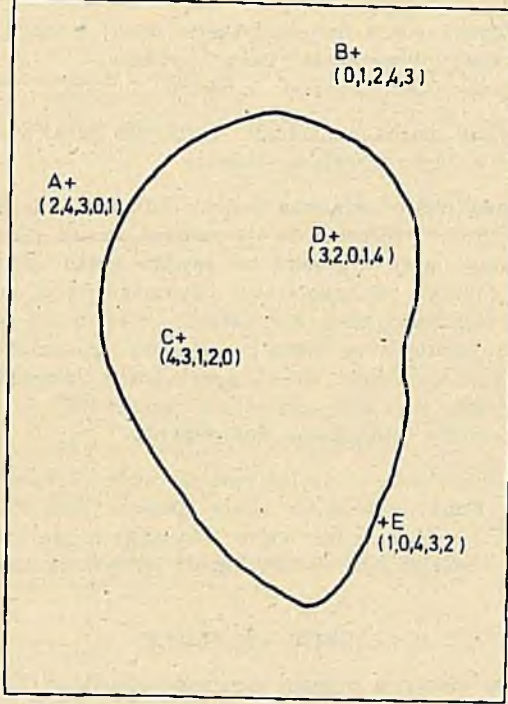
$$P_a = \sum W_i \cdot P_i$$

olacaktır.

Şekil 5 te, A dan E ye kadar harflerle gösterilen istasyonlarda bulunan beş yağışölçerin yer aldığı hipotetik bir havza görülmektedir. Herbir istasyonda beş ayrı sağanakta düşen toplam yağışlar zaman sıralaması itibarıyla belirtilmiştir. Beş hipotetik sağanaktan herbiri başka bir istasyonda yoğunlaşmıştır.

Bu hipotetik havzanın aldığı ortalama sağanak yağış miktarları, yaygın olarak kullanılan üç yöntemle ve ayrıca iki eksen yöntemiyle hesaplanmış değerler halinde Tablo III'de gösterilmiştir.

Bu tablodan, basit ortalama yönteminin beş yağış için de idantik değerler verdiği görülmektedir. Buna karşılık bir ağırlıklandırma prosedürü kullanan yöntemler herbir yağış için farklı sonuçlar vermektedir; fakat beş sağanak yağışın büyüklük dereceleri genellikle üniformdur ve kullanılan yöntemle bağlı olarak biraz değişmektedir.



Şekil 5.

TABLO III. BEŞ HİPOTETİK YAĞIŞ İÇİN DÖRT AYRI YÖNTEMLE HESAPLANAN HAVZA ORTALAMA YAĞIŞLARI.

Yağış	Y ö n t e m			
	Basit Ortalama (cm)	Thiessen (cm)	Eşyağış Eğrileri (cm)	İki Eksen (cm)
1	2,00	2,86	2,51	2,38
2	2,00	2,01	1,84	2,14
3	2,00	1,95	1,80	1,81
4	2,00	1,76	1,76	1,87
5	2,00	1,43	1,46	1,80

GILMAN (1966), eşyağış eğrileri yöntemini açıklarken sonuçta 5,8 cm ortalama yağış değeri veren bir örnek yapmıştır. Aynı verilerin iki eksen yöntemiyle analizinden de aynı sonuç elde edilmektedir.

## 2.6. Tartışma

Bir havzanın ortalama yağışını hesaplamak amacıyla önerilen iki eksen yöntemi, üç kabule dayanmaktadır :

- (1) Bir alana düşen ortalama yağış bakımından bütün yağışölçerlerin önem derecesi aynı değildir;
- (2) Alanın merkezine yakın bir yağışölçerin önem derecesi, merkezden uzak-taki bir yağışölçerin önem derecesinden daha büyüktür;
- (3) Bir yağışölçerin önem derecesi, havzanın biçiminden etkilenmektedir.

Bu kabuller, yaygın olarak kullanılan -aritmetik ortalama dışındaki- diğer yöntemlerin temelinde de aynen sözkonusudur.

Genellikle bir alana düşen ortalama yağışın bulunmasında kullanılan yöntemler arasında eşyağış eğrileri yöntemi en iyi yöntem olarak düşünülmekle birlikte, bu da gerçek ortalamayı vermez. Çünkü bir eşyağış eğrili harita, sınırlı sayıdaki örnekleme noktalarına (yağış istasyonlarına) dayanılarak hazırlanmış olması nedeniyle, yağışın gerçek dağılımını göstermemektedir; nitelik bir tek yağışölçerin ek-lenmesi bile farklı bir haritanın ve sonuçta farklı bir ortalamanın ortaya çıkmasına neden olacaktır. Aynı zamanda, eldeki aynı veriler kullanıldığında bile farklı, fakat makul eşyağış eğrili haritalar elde etmek mümkündür ve bunlar -aynı verilerle aynı alan için- farklı ortalamalar vereceklerdir.

Bu durum, yani aynı verilerle farklı sonuçlar elde edilmesi, Thiessen yöntemi için de sözkonusudur. Buna karşılık iki eksen yöntemi, belli bir veriler dizisi için sadece bir tek sonuç vermekte, sonuç diğer yöntemlerin gerektirdiği süreden çok daha kısa bir sürede alınabilmekte ve tüm analiz kolayca bilgisayar için programlanabilmektedir.

## 3. ÖZET VE SONUÇ

Bir havzaya düşen ortalama yağışın hesabında genellikle (1) Aritmetik ortalama yöntemi, (2) Thiessen yöntemi, (3) Eşyağış eğrileri yöntemi kullanılmaktadır (BALCI, 1978).

Aritmetik ortalama yöntemi, havzadaki yağış istasyonlarında ölçülen yağışların ortalamasının alınmasından ibarettir.

Thiessen yönteminde, her istasyonda ölçülen yağışa, o istasyonun temsil ettiği alanın büyüklüğüyle orantılı bir ağırlık kazandırılmaktadır.

Eşyağış eğrileri yöntemi, ardışık eşyağış eğrilerinin ortalama yağışına, bu eşyağış eğrileri arasındaki alana göre ağırlık kazandırır.

Bu yöntemlerden herbiri belli koşullarda yeterli ve güvenilir sonuçlar vermekle birlikte, aritmetik ortalama yönteminden eşyağış eğrileri yöntemine doğru hesapların inceliği ve doğruluğu artmaktadır. Hızlı ve yaklaşık bir hesap için ilk yöntem, incelikli son hesaplar için ise geliştirilmiş son iki yöntem kullanılır (ULUGÜR, 1972).

En iyi yöntemler olmalarına rağmen, gerek Thiessen, gerekse eşyağış eğrileri yöntemlerinin yine de bazı sakıncalı yanları vardır. Bu sakıncaları ortadan kaldır-



mak üzere yeni bir yöntem olarak önerilmiş bulunan «İki Eksen» yöntemi, esas itibariyle Thiessen ve EĞyağış Eğrileri yöntemlerinin dayandığı kabullere dayanmakta, sonuç yöntemi uygulayan kişiye göre değişmemekte ve diğerlerine oranla daha kısa sürede alınabilmektedir.

İki Eksen yöntemi, dört aşamada uygulanmaktadır :

- (1) Standart bir prosedürle havzanın iki eksenini çizilir;
- (2) Herbir yağış istasyonu için istasyon açısı - istasyon noktasını iki eksenin uzaktaki uçlarına birleştiren doğrular arasındaki açı ölçülmek ya da hesaplanmak suretiyle - belirlenir;
- (3) Herbir istasyonun ağırlık değeri (o istasyonun açısının bütün istasyon açıları toplamına oranı) bulunur;
- (4) Herbir istasyonda ölçülen yağışın o istasyona ait ağırlık değeriyle çarpılmasından elde edilen değerlerin toplanması suretiyle, havzanın ağırlıklı ortalama yağışı hesaplanır.

#### K A Y N A K L A R

- AKIN, J. E., 1971. *Calculation of the Mean Areal Depth of Precipitation. J. Hydrol.*, 12.
- BALCI, A. N., 1978. *Toprak Koruması (Ders Notları). İ.Ü. Orman Fakültesi, İstanbul (Teksir baskı).*
- BAYAZIT, M., 1974. *Hidroloji. İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı: 999, İstanbul.*
- CHIDLEY, T. R. E. - KEYS, K. M., 1971. *A Rapid Method of Computing Areal Rainfall. J. Hydrol.*, 12.
- DE WIEST, R. J. N., 1965. *Geohydrology. John Wiley, New York.*
- DISKIN, M. H., 1970. *On the Computer Evaluation of Thiessen Weights. J. Hydrol.*, 11.
- EDWARDS, K. A., 1972. *Estimating Areal Rainfall by Fitting Surfaces to Irregularly Spaced Data. Proc. of the Geilo Symp., 1972, Vol. II. WMO 326/IAHS 106.*
- GILMAN, C. S., 1966. *Rainfall. Handbook of Applied Hydrology, Sect. 9 (Edt. V.T. Chow), McGraw Hill, New York.*
- KWAN, J. Y. - RILEY, J. P. - AMISAL, R. A., 1968. *A Digital Computer Program to Plot Isohyetal Maps and Calculate Volumes of Precipitation. Proc. of the Tucson Symp., 1968, Vol. I. IAHS 80.*
- LINSLEY, R. K. - KOHLER, M. A. - PAULHUS, J. L. H., 1972. *Hydrology for Engineers. McGraw-Hill - International, Tokyo.*
- MANDEVILLE, A. N. - RODDA, J. C., 1972. *A Contribution to the Objective Assessment of Areal Rainfall Amounts. Proc. of the Wellington Symp., 1970, Vol. II. IAHS 97.*
- NEMEC, J., 1972. *Engineering Hydrology. McGraw-Hill, London.*
- SALTER, P. M., 1972. *Areal Rainfall Analysis by Computer. Proc. of the Geilo Symp. 1972, Vol. II. WMO 326/IAHS 106.*
- SHAW, E. M. - LYNN, P. P., 1972. *Areal Rainfall Evaluation Using Two Surface Fitting Techniques. Hydrol. Sci. Bull.*, 17.
- ULUGÜR, M. E., 1972. *Su Mühendisliği. Çağlayan Kitabevi, İstanbul.*
- VAHL, H., 1972. *Computerized Calculation of Areal Precipitation and Its Accuracy. Proc. of the Geilo Symp., 1972, Vol. II. WMO 326/IAHS 106.*