

Sayı (Number): 1



## Kuraklık Göstergeleri

Zekâi Şen

Aralık (December) 2016  
İstanbul - Türkiye

**KURAKLIK KÜLLİYESİ**  
**TURKISH WATER FOUNDATION**  
**DROUGHT FACULTY**

## KURAKLIK BÜLTENİ : SAYI 1

### Kuraklık Göstergeleri

*Zekâi ŞEN*

©2016 SU VAKFI

Tüm yayın hakları anlaşmalı olarak Su Vakfı'na aittir.  
Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir, izinsiz çoğaltılamaz, basılamaz.

Basıma Hazırlayan :  
Muhiddin YENİGÜN



SU VAKFI

Libadiye Cad. Doğanay Sokak No:6 Kat:4 Üsküdar İstanbul  
Tel: (216) 412 3383 - Faks: (216) 412 3390  
suvakfi@suvakfi.org.tr - www.suvakfi.org.tr

# Kuraklık Göstergeleri

Zekâi Şen

Su Vakfı, Libadiye Caddesi, Doğanay Sokak No: 6, Kat 4, Üsküdar, İstanbul, Turkey

## Özet

Eksiklik genel olarak, bir maddenin istenilen (gerekli) seviyeden daha az olması halinde ortaya çıkan bir durumdur. Hemen her doğal, sosyal, ekonomik, vb. olayda “eksiklik” söz konusu olabilir. “Kuraklık” terimi su kaynakları ile ilgili olarak sıkça kullanılır ve göz önünde tutulan hidro-meteoroloji değişkeninin zaman veya konumlarında gerekli miktarın olmamasına işaret eder. Kuraklık kısa sürelerde değil de bir yılı aşabilen ve bazen 8-10 yıl kadar bile sürebilen bir doğal su eksikliğini gösteren olaydır. Mesela, Türkiye’de bazı bölgelerde ortalama kuraklık süresi 3-5 sene olabilmektedir. Taşkın gibi diğer doğal afetlerden farklı olarak kuraklık, küçük alanlarda değil on binlerce km<sup>2</sup>lik alanları kapsayacak biçimde etkisini sürdürebilir. Kuraklık belirli bir topografyaya da bağlı değildir ve çölleşme denilen özellikle nemli bölgelerde insan faaliyetleri sonrasında ortaya çıkan olaylara da benzerlik gösterir. Mesela, bir yerde su kaynaklarının plansız ve yetersiz kullanılması, o bölgeye gereğinden fazla göç olması, sanayileşmenin ve tarımın gerekli sınırları aşması sonucunda gerekli olan fazla suyun yeraltından çekilmesi ile düşen yeraltı su seviyeleri sonrasında toprak nemi azalır ve beraberinde yeşil alanların yok olmaya yüz tutması ile çölleşme başlar ve devam eder. Kuraklıkla ilintili olaylar arasında meralarda aşırı hayvan otlatılması, zayıf tarım yöntemlerinin kullanılması, ormansızlaştırma, yeterli ve uygun olmayan zemin nemi muhafazası bunlar arasında sayılabilir.

## 1. Giriş

Kuraklığın en uç (ekstrem) mertebesinde açlık baş gösterir ve buradan da kuraklıkla beraber canlı hayatı için gerekli olan gıda maddelerinin gereği gibi üretilmediği anlamı çıkar. Kuraklığa maruz kalan dünyanın fakir ülkelerinde iyi beslenmeme ve hastalıklı durumların ortaya çıkmasını kuraklık olayından soyutlamak mümkün değildir. Nasıl kuraklık iklim olayları arasında en uç durumlardan birini göstermekte ise açlıkta iyi beslenememenin bir uç durumudur.

Kurak alanlar, kuraklığın yayılımı, kurak devreler ve tekrarlanma sıklığı gibi özellikler günlük, aylık ve yıllık iklim elemanlarını ve uzun süreli normalleri (ortalamaları) içeren çeşitli ilişkiler kullanarak saptanabilir. Kuraklık sorununun çok karmaşık olduğu yerlerde yalnızca meteorolojik/klimatolojik elemanları içeren göstergelerin kullanımına genellikle karşı çıkılmaktadır. Bu görüşlere göre böyle alanlarla ilgili tüm fizik ve biyolojik etkileri tek başına tümü ile hesaba katabilecek bir gösterge bulunmamaktadır (Gbeckor ve Kove, 1989).

Su varlığının tanımlaması ile ilgili birçok sebep bulunmasına rağmen su potansiyelini, bitkilerin su ihtiyaçlarını ve kuraklığı değerlendirmek için en kullanışlı gösterge yağıştır. Yağış zaman ve alan ile süreklilik göstermediği için istatistik değerlendirilmesi çok karmaşık bir iklim elemanıdır. Buna karşılık, kuraklık ve çölleşme ile mücadele için gerçekleştirilen her atılım özellikle kurak ve yarı-kurak alanlarda, alanın yağışını göz önünde bulundurmaktır. Kurak ve yarı-kurak otlak alanlarında evcil hayvanların yararlandığı meralar tehlike sınırında bulunmaktadır. Birbiri ardınca gelen kurak yıllar uzun süreli çölleşme süreçlerini destekleyebilir. Konu ile ilgili olarak Afrika'da son 20 yıl içinde ortaya çıkan kuraklıklar ve özellikle Sahel, Sudan ve Etiyopya kuraklıkları dikkat çekici ve öğreticidir.

Yaygın insan kullanımının ya da baskısının bulunmadığı az zarar görmüş eko-sistemler genellikle doğal olaylardan kaynaklanacak yıkıcı etkileri karşılayabilecek güçtedir. Bu eko-sistemler kurak yılların ve tarım alanlarındaki yoğunluğun (fazla ekim) ortak etkilerinden genellikle korunamaz. Bu ortak etkiler rüzgâr ve su aşınmasını (erozyonunu) destekleyebilir. İşte o zaman, bu etkiler sürekli veya aralıklı çölleşme olaylarını yönlendirecektir. Özetle yağış, yarı-kurak alanlarda bir sınırlayıcı faktör olduğuna göre yağış verilerinin gözetimi bitki örtüsünün, su kaynaklarının ve potansiyel çölleşmenin durumunu saptama yönünden çok önemlidir.

Kuraklıkların alan ve zaman özelliklerini incelemek için kullanılan göstergeler yağış gibi tek meteorolojik parametrenin kullanımından birçok değişkeni içeren karmaşık yöntemlerin kullanımına kadar uzanmaktadır. Bazıları da su dengesi eşitliğine dayanmaktadır (Palmer, 1968). Tarım ürünlerinin, çiftlik hayvanlarının, çayırların/otlakların, yaban hayatının üzerinde kuraklığın meydana getirdiği etkilerin kullanımı da oldukça yaygındır.

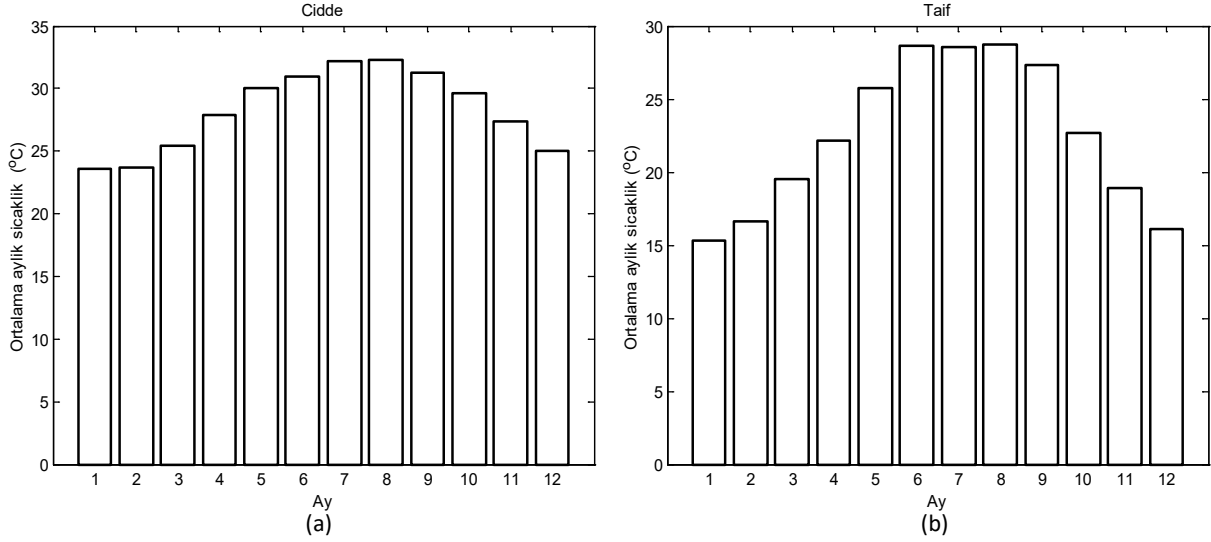
Kuraklığın ifadesi için çeşitli göstergeler geliştirilmiştir (WMO, 1975a,b; Erinç, 1965, 1969; Ogallo, 1989; Rao, 1986; Al-Sefry vd., 2005). Doğal olarak her bir göstergenin diğerlerine göre daha faydalı ve eksik yönleri bulunmaktadır.

## 2. Kıraklık Göstergesi

Kuraklığın ortaya çıkmasında bir yerdeki iklim değişkenliği de rol oynar. Kuraklığın önlenmesinde hidrolojik değerlendirmeler bunların proje ve plan şeklinde uygulamaya dökülmesi önemlidir. Kurak ve yarı-kurak bölgelerde kıraklıktan söz edilebilir (Al-Sefry vd., 2005). Mesela, Arap Yarımadası'nın Hicaz bölgesi (Mekke-i Mükerrreme, Cidde, Taif) göz önünde tutulursa, burada yıllık ortalama yağış miktarları sahil bölgelerinde 100 mm dağlık bölgelerde ise 500 mm civarındadır. Ancak bu yörelerde aşırı sıcaklık ve bunun neticesinde

buharlaşma ile su kaybı vardır. Kurak bölgelerde genel olarak yağışlardaki yerel değişkenlikler nemli bölgelerden daha fazladır. Kurak bölgelerde bu değişkenlikler konumdan konuma da farklılıklar gösterir. Ayrıca kurak alanlarda yağışölçer sayısı da azdır. Bu sebeple buralarda yapılan hesaplamaların olayı ne kadar temsil ettiği de sorgulanabilir. Diğer taraftan, ortalama aylık sıcaklıklar sahil ve dağlık böl-

gelerde birbirinden oldukça farklıdır. Mesela, en düşük sıcaklıklar Ocak ayında 15 °C ve 23 °C arasında iken en yüksek sıcaklıklar Haziran ayında 28 °C ve 32 °C arasındadır. Ortalama aylık sıcaklıklar Şekil 1’de gösterilmiştir. Buradan yıl boyunca aylık sıcaklıklarda biri yüksek sıcaklıkların bulunduğu Haziran-Aęustos süresi diğeri de düşük sıcaklıkların hüküm sürdüğü Aralık-Şubat aylarıdır.



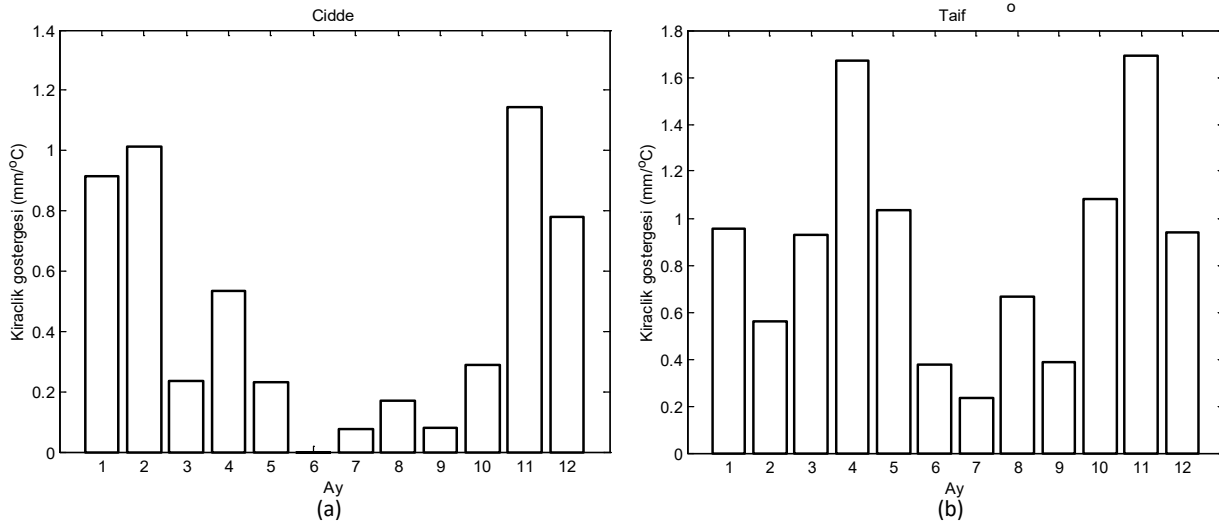
Şekil 1 Aylık ortalama sıcaklıklar (a) Cidde, (b) Taif

Kurak bölgelerin ortak özelliği yağışların yetersiz olmasıdır ve bu sebeple buralarda stratejik yeraltı suyu planlamalarının yapılmasının gerekliliğidir. Bunun için de güvenilir yağış ve sıcaklık ölçümlerine ihtiyaç vardır. Kıracılık göstergesi,  $K_g$ , olarak Şekil 2’de verilen grafiğin hazırlanmasında ortalama aylık yağışların,  $\bar{Y}$ , ortalama aylık sıcaklıklara,  $\bar{S}$  oranı düşünölmüştür. Böylece aşağıda tanım-

lanan bir gösterge ortaya çıkmıştır (Al-Sefry vd., 2005).

$$K_g = \frac{\bar{Y}}{\bar{S}} \quad (1)$$

Bu birim sıcaklık değişikliğine karşı gelen yağış değişimi olarak da alglanabilir. Boyutu [mm/°C] dir.



Şekil 2. Kıracılık göstergesi, (a) Cidde, (b) Taif

Kuraklığın değişik göstergeleri sunulmuştur. Mesela, sadece yağış esaslı olanlarda yağışsız olan herhangi bir 15 günlük süre kurak bir süre olarak algılanır. Bazı bölgelerde 21 gün veya daha fazlası yağışın normal üçte birinden daha az olması süresini kuraklık olarak esas almıştır. Bazı göstergeler de yüzde yağış üzerindedir. Bazıları yıllık yağışların %70'inden bazıları da aylık yağışların %60'ından daha az yağışların ortaya çıkması durumlarını kuraklık olarak algılamaktadır. Bazen de %85'den daha az yağışların olması kuraklık diye algılayanlar vardır. Denklem (1) ile tanımlanan kıraçlık göstergesi en düşük değeri 0 olarak alır ve bu da hiç yağış olmaması durumuna karşılık gelir. Bunun dışında genel olarak 1 civarında sayısal değeri olur. Şekil 2'den Arap Yarımadası için bunun 2'ye yakın değer aldığı anlaşılmaktadır. Kıraçlık göstergesi ne kadar büyük ise düşük sıcaklıkla ilgili yağışlarda o kadar büyük olur. Büyük kıraçlık göstergesi kurak ve yarı-kurak bölgelerde yeraltı suyunun daha fazla beslenmesi anlamına gelir. Kasım ayı dışında Kızıl Deniz kıyısında düşük yükselteli bir konuma sahip olan Cidde şehrinin kıraçlık göstergesi hep 1'den küçüktür. Bunun sebebi buralara kadar uzanabilen Akdeniz iklimidir. Buna mukabil Kızıl Deniz dağlık bölgesinde 2.000 m civarında yükseltiye sahip olan Taif şehrinin kıraçlık göstergesi biri Nisan diğeri de Kasım olmak üzere iki ayrıcalıklı ay bulunmaktadır. Nisan ayının etkisi Hint Okyanusu'ndan gelen muson akımları dolayısı iledir.

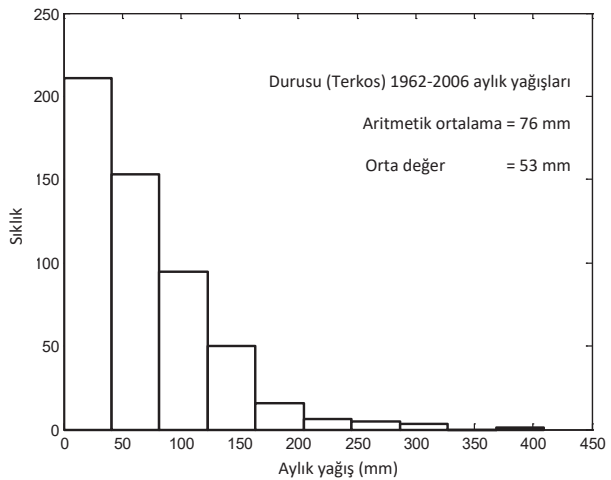
### 3. Normal Kuraklık Göstergesi (NKG)

Buna normal yağış göstergesi adı da verilir. Bunun en basit hali bir yerde 30 yıl veya daha fazla yağış kayıtları bulunması durumunda uygulanabilir. Basit olarak bir yağış miktarının o yerde "normal" denilen 30 yıllık yağış aritmetik ortalamasına oranıdır. Bunun uygulaması değişik zaman sürelerinde (gün, hafta, ay, yıl) yapılabilir ve faydaları şunlardır.

- 1) Küçük bölgelerde ve kısa dönemlerde iyi sonuç verir,
- 2) Kolay anlaşılır, farklı şartlara kolaylıkla uygulanır, konum ve mevsime bağlı olarak değişir.

Bu pratik yönlerine karşılık bu göstergenin mahzurları arasında şunları söyleyebiliriz.

- 1) Aritmetik ortalama ile bulunan yağış, yağış verilerinin özellikle 1 yıldan daha kısa süreli olması durumlarında simetrik dağılıma sahip olmamaları sonucunda hesaplamalar orta değer (medyan) ile yapılmalıdır. Bu nokta pratikte otomatik olarak aritmetik ortalama şeklinde alındığından hatalar yapılmaktadır,
- 2) Aylık veya mevsimlik yağış ölçüğü normal dağılıma uymaz. Normal dağılımda orta değer ve aritmetik ortalama aynıdır. Buna örnek olarak uzun yağış dönemine ait İstanbul Durusu (Terkos) aylık yağışların dağılımına bakarsak Şekil 3'deki gibi çarpık bir grafik ortaya çıkar ve burada aritmetik ortalama daima orta değerden daha büyüktür.
- 3) Burada "normal" terimi sadece matematik bir özelliktir ve hava şartları veya meteoroloji durumları ile ilgili değildir.



Şekil 3 İstanbul Durusu aylık yağış dağılımı

Şekilden aylık yağış dağılımının simetrik olmadığını anlarız. Bu konumda gelecek yıllarda düşük yağış değerlerinin daha büyük sıklıkla ortaya çıkması beklenmektedir. i-in-ci zaman fasılasındaki NKG hesaplaması

$$(NKG)_i = 100 \frac{X_i}{\bar{X}} \quad (2)$$

şeklinde yapılır. Burada  $X_i$ , i-inci yağış değışkeni değeri ve  $\bar{X}$ 'de uzun süre ortalamasını gösterir. Yukarıda söylendiği üzere bir yıldan daha küçük sürelerde kayıt edilmiş hidro-meteoroloji değışkenlerinin kullanılması halinde aritmetik ortalama yerine orta değeri (medyan) alınmalıdır. Zaman sü-

resi bir aydan birkaç aya kadar mevsimleri, bir yılı veya su yılını temsil eder. Her durumda normal yağışın % 100'e karşı geldiği kabul edilir.

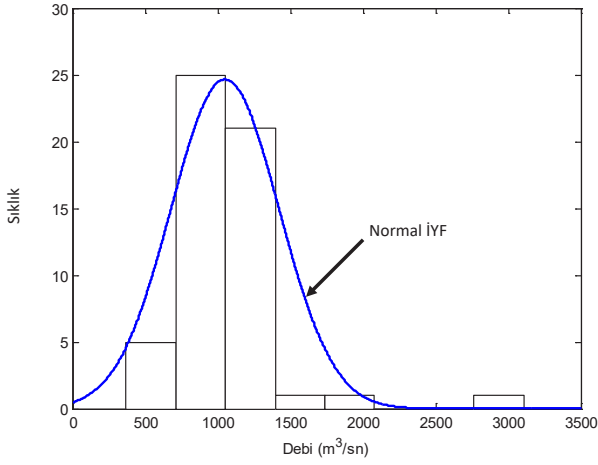
Misal olarak Seyhan nehri üzerinde 1940 yılından beri akımların ölçüldüğü Köprüçay (Toros Dağları'ndan doğarak doğa harikası kanyonlardan geçen Köprüçay) akım istasyonu yıllık akış debileri ve bunlara karşı gelen NKG değeri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1 Köprüçay akım istasyonu NKG'leri

Yıl	Debi (m <sup>3</sup> /sn)	NKG	Sınıf	Yıl	Debi (m <sup>3</sup> /sn)	NKG	Sınıf
1940	3106,11	291,74	S	1966	1484,42	139,43	S
1941	1316,72	123,67	S	1967	1020,12	95,82	K
1942	1245,76	117,01	S	1968	1212,79	113,91	S
1943	1077,13	101,17	S	1969	1225,61	115,12	S
1944	1265,1	118,83	S	1970	1278,91	120,12	S
1945	1156,15	108,59	S	1971	903,69	84,88	K
1946	1339,03	125,77	S	1972	761,42	71,52	K
1947	1070,57	100,55	S	1973	745,89	70,06	K
1948	1119	105,10	S	1974	680,28	63,90	K
1949	771,64	72,48	K	1975	1144,62	107,51	S
1950	635,69	59,71	K	1976	940,1	88,30	K
1951	1022,28	96,02	K	1977	921,99	86,60	K
1952	953,72	89,58	K	1978	1195,85	112,32	S
1953	1757,94	165,12	S	1979	1166,36	109,55	S
1954	847,04	79,56	K	1980	1019,35	95,74	K
1955	986,82	92,69	K	1981	1202,05	112,90	S
1956	854,8	80,29	K	1982	1279,55	120,18	S
1957	641,11	60,22	K	1983	835,24	78,45	K
1958	1147,77	107,81	S	1984	1180,63	110,89	S
1959	883,01	82,94	K	1985	837,6	78,67	K
1960	847,44	79,60	K	1986	937,62	88,07	K
1961	879,8	82,64	K	1987	871,21	81,83	K
1962	866,94	81,43	K	1988	1015,95	95,42	K
1963	1196,56	112,39	S	1989	779,67	73,23	K
1964	660,8	62,07	K	1990	838,4	78,75	K
1965	1169,7	109,87	S				

1990 yılına kadar olan akım değeri- den elde edilen NKG değeri- nin aritmetik ortalama değeri 1064.67 m<sup>3</sup>/sn, standart sapma 370.57 m<sup>3</sup>/sn ve orta değeri ise 1019.35 m<sup>3</sup>/sn'ye eşittir. Akımlar yıllık olduğundan

ihtimal yoğunluk fonksiyonunun (İYF'nun) normal (Gauss) dağılımına uyması beklenir. Şekil 4'te Köprüçay istasyonunun gözlem ve teorik İYF'ları verilmiştir.



Şekil 4 Köprüçay yıllık sıklık diyagramı (İYF)

Denklem (2.2)'ye göre yapılan NKG hesaplamalarının sonucu aynı çizelgede gösterilmiştir. Burada  $NKG > 100$  olan durumlar sulak,  $S$ ,  $NKG < 100$  olan durumlar ise kuraklık,  $K$ , sınıflarını gösterir. NKG göstergesine göre en kurak yılın miktar olarak 1950 olduğu anlaşılır çünkü en küçük NKG değeri bu yılda ortaya çıkmıştır ( $NKG = 59,71$ ). NKG esaslı en uzun kuraklık süresi ise 1985-90 yılları arasındadır.

#### 4. Oncul Kuraklık Gösterge (OKG)

Gibbs ve Maher (1967) tarafından geliştirilen NYG sınıflaması için öncelikle uzun dönem yağış kayıtlarının en küçükten en büyüğe doğru sıralanması ile toplam İYF (TYİF) elde edildikten sonra bu dağılım fonksiyonu 10 tane oncul kısma ayrılır (bunun anlamı ihtimal 0 ile 1 arasında değiştiğine göre 10 onculun değişim aralıkları sırası ile 0-0,1; 0,1-0,2; . . . ; 0,9-1,0 olur. 1. oncul yağış olaylarının % 10'dan az, 2. oncul ise yağışın %20'yi aşmadığı miktardır. Buna göre ardışık 2 onculun birleşmesi ile 5 tane sınıf ortaya çıkar (Çizelge 2). Bu hesaplamaların yapılabilmesi için en az 30 yıllık yağış verilerine ihtiyaç vardır. Tanımdan orta değer kayıt periyodunun üstünde yağış miktarı %50'yi aşmayacaktır (White ve O'Meagher, 1995).

Çizelge 2. Kurak ve ıslak periyotlar için oncul sınıfları

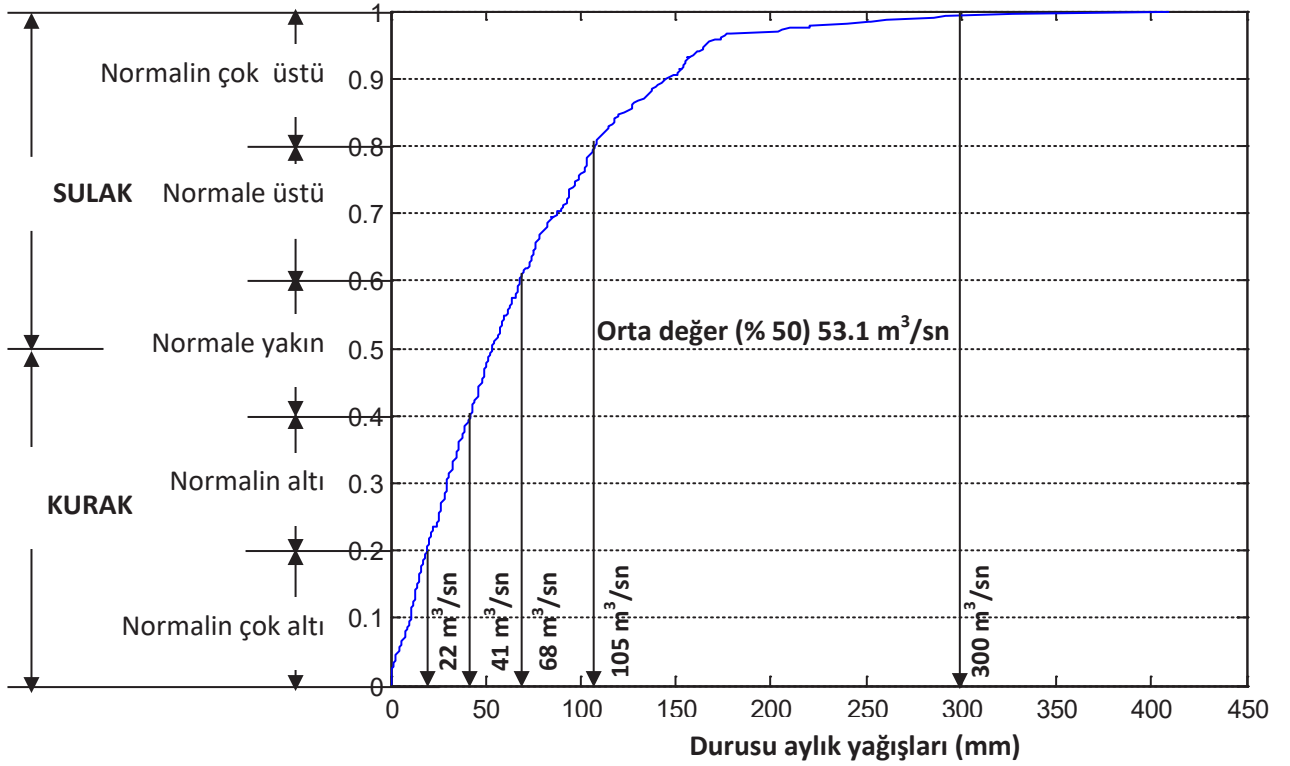
İkili oncullar	Yüzde miktar	Sınıf
1-2	%20'nin çok altında	normalin çok altı
3-4	%20'ye yakın	normalin altında
5-6	%20 yanında	normale yakın
7-8	%20'nin üstünde	normal üstü
9-10	%20'nin çok üstünde	normalin çok üstü

Bu yaklaşımın uygulaması olarak Durusu (Terkos) gölü aylık yağışları (1962-1992) kullanılmıştır. Verilerin TİYF deneysel olarak aşağıdaki adımların kullanılması ile elde edilmiştir.

- 1)  $n = 30$  tane veri en küçükten en büyüğe doğru sıraya dizilir,
- 2) Sıralanmış her bir veriye birer mertebe,  $m$ , atanır. Böylece en küçük verinin mertebesi  $m = 1$  en büyük değer için ise  $m = 2$ 'dir.
- 3) Sıralanmış verilerin herbirinin aşılma ihtimali,  $p_m$ , aşağıdaki ifadede hesaplanır
 
$$p_m = \frac{m}{n+1} \quad (3)$$
- 4) Sıralanmış verilerin kendilerine ait mertebe ihtimallerine karşı işaretlenmesi sonucunda Şekil 5'teki TİYF elde edilir.

Bu şekilde düşey ekseninde ilk önce alttaki (üstteki) 5 oncul Kurak (Sulak) sınıfları ve daha sonra da Çizelge 2'ye göre daha ayrıntılı sınıflamalar verilmiştir. Eldeki verilere göre bulunan TİYF'nden sınıflama onculları sınırlarına göre aylık yağış değerleri yatay eksenden okunabilir. Mesela normalin çok altında kalan değerler kuraklık sınıflaması içinde bir alt kümeyi teşkil ederler ve burada yağış değerleri sıfır ile 22  $m^3/sn$  arasında değişir. Diğer alt kümeler Çizelge 2'ye göre bu şekilden tesbit edilebilir.





Şekil 5 Oncul sınıflandırma

## 5. Palmer Kuraklık Şiddeti Göstergesi (PKŞG)

Bu gösterge NYG ve OKG'ye göre daha fazla tercih edilir ve bünyesinde tek değişkenden (yağıştan) başka meteoroloji değişkenlerini de bulundurur (Smith vd., 1993). PKŞG Palmer (1965) tarafından zemin nemi toplamının değişimini ölçmek için geliştirilmiştir. Bu gösterge yağış ve sıcaklık verileri ile yerel zeminin mevcut su muhtevasına dayandırılmıştır. PKŞG'nin amacı standartlaştırılmış nem şartlarının ölçümlerini sağlamak için alan ve aylar (ve haftalar) arasında karşılaştırma yapabilmektir. Giriş değişkenlerinden su dengesi denkleminin tüm temel terimleri (terleme+buharlaştırma, zemin beslenmesi, akış ve yüzey tabakasından nem kaybı) tesbit edilebilir.

- 1) PKŞG bir meteorolojik kuraklık göstergesidir ve anormal kuru veya ıslak sürelerin uzun zaman şartlarına cevap verir,
- 2) Şartlar kurudan normale ve ıslağa değişirken PKŞG'ye göre hesaplanan kuraklık akarsu, göl ve su biriktirme haznesi seviyeleri ve diğer uzun dö-

nemlere ait hidrolojik etkiler sona erer (Karl ve Knight, 1985),

- 3) PKŞG yağış ve sıcaklık verileri ile hesap edilir ve alansal olarak toprağın uygun su içeriğini de içine alır,
- 4) Girdilerden su denge eşitliğinin temel terimleri belirlenebilir (buharlaştırma, toprak nemi akış ve yüzeyden olan nem kayıpları gibi),
- 5) İnsan etkileri (sulama gibi) PKŞG'de düşünülmemiştir. Son zamanlarda bu konu ile ilgili yapılan çözümleme (analiz) Alley (1984) tarafından izah edilmiştir,
- 6) PKŞG kuraklığın (benzer şekilde ıslaklığın) süresini de içerir. Bu yaklaşımda uzun dönem ortalarında anormal ıslak ay gösterge üzerinde baskın etkiye sahip olmamalıdır. Bir kuraklık serisinde normale yakın yağışların bulunduğu yerde kuraklık aşılmıştır anlamı anlaşılmamalıdır.

Son zamanlarda PKŞG artık meteorolojik gösterge değil de hidrolojik kuraklık göstergesi olarak tanımlanır; çünkü nem akımı (yağış), akış ve depolamayı hesaba katar ama uzun dönem gidişini (trendini) hesaba

katmaz (Karl ve Knight, 1985). PKŞG kabaca -6 ve +6 arasında nem şartlarının ölçeğini sınıflamada seçilir (Çizelge 3). Haftalık PKŞG değerleri her yıl bitki büyüme mevsimi esnasında iklim ayırıştırması için hesaplanır ve haftalık hava ve bitki bültenlerinde yayınlanır. Toprak nem şartları için oldukça hassas ve çok etkin ölçüm verdiğinden tarımda yaygın bir biçimde kullanılır.

Çizelge 3. PKŞG sınıflandırması

PKŞG	Sınıf
4 veya daha fazla	Uç (ekstrem) sulak
3,00 - 3,99	Çok sulak
2,00 - 2,99	Orta sulak
1,00 - 1,99	Oldukça sulak
0,50 - 0,99	Az sulak
0,49 - (-0,49)	Normale yakın sulak
- 0,50 - (- 0,99)	Normale yakın kurak
- 1,00 - (- 1,99)	Az kurak
- 2,00 - (- 2,99)	Oldukça kurak
- 3,00 - (- 3,99)	Çok kurak
- 4,00 - (- 4,99)	Aşırı kurak

PKŞG'den kuraklık izleme aracı olarak da faydalıdır. PKŞG'nin 3 tane artı karakteri belirlenmiştir (Alley, 1984). Bunlar,

- 1) Hesaplamalar sonucunda standartlaştırılmış nem şartlarını gösteren bir gösterge elde edilir. Ağırlık katsayıları ile konum ve aylar arasında kıyaslama yapmaya imkan verir,
- 2) Bir bölge için yakın zamanda hava olaylarındaki anormalliğin ölçüsünde karar verici olarak kolaylık sağlar,
- 3) Alansal olarak devam eden şartlar içinde tarih açısından görüş sağlar,
- 4) Geçmiş kuraklıkların zaman ve alan temsilini sağlar.

PKŞG kuraklık izleme sistemlerinde de kullanılır ama bazı mahzurları da vardır. Ayrıntıları Alley (1984) ve Karl ve Knight (1985) tarafından sunulmuş olan bu mahzurların bazıları şunlardır.

- 1) Zeminin mevcut su muhtevası çoğu durumda bilinmemektedir. Bu nedenle hesaplamalar bu değişkene çok hassastır.
- 2) Bu gösterge kuraklıkların başlangıcını 7-8 ay gecikmeli olarak ortaya çıkarır,
- 3) Değerleri kuraklık şiddetini miktar olarak belirler ve kurak veya sulak gidişlerin başlaması ile bitmesini işaretlendirir. Çok az bilimsel anlama sahiptir,
- 4) PKŞG toprak nem tipi için hassastır ama uygulandığı bölge için oldukça genel bilgi verir,
- 5) Toprak seviyeleri arasındaki su dengesi hesaplamaları kolaylaştırılmıştır ama alan çalışmaları için tam doğru olarak temsili olmayabilir,
- 6) Kar yağışı ve örtüsü ile donmuş yer PKŞG'de yer alamaz. Bütün yağışlar yağmur olarak alınmalıdır. PKŞG'nin uygulanmasında zamanlama kış ve bahar aylarında kar yağışı olan bölgelerde yanlış olabilir,
- 7) Yağış düşerek akışa dönüştüğünde bunların arasında doğal bir ilişki düşünülmemiştir. PKŞG'de akış meydana gelmesine izin verilmez, yüzeyde ve alt yüzeylerdeki toprak seviyesi doyan kadar akımın tahmin edilmemesine sebep olur,
- 8) Potansiyel buharlaşma Thornthwaite yöntemi kullanılarak (Bayazit vd., 1997) tahmin edilir. Bu teknik geniş kabul görür fakat hala sadece bir yaklaşımdan ibarettir.

Zemin nemi depo ve kayıp terimleri yüzey ve onun altındaki tabaka olmak üzere iki tabaka için değerlendirilir. Yüzey tabakası için su deposunun 25 mm'ye eşit olduğu varsayılır ve alttaki tabakanın mevcut su muhtevası ise konumun zemin özelliklerine bağlıdır. Tava buharlaşması, PE, Thornwaite (1948) tarafından verilen yöntemle göre hesaplanır (bak Bayazit vd., 1997). Zeminden olan terleme+buharlaşma (evapotranspirasyon, ET) kayıplarının PE'nin o ayın yağışından, P, daha büyük olması durumunda

ortaya çıktığı kabul edilir. Potansiyel oranda zemin nemi kaybının bulunduğu da kabul edilir. Zemin nemi kaybının, L, potansiyel oranda ortaya çıktığı kabul edilir. Potansiyel kayıp, PL, ise ay boyunca yağışın sifıra eşit olması durumunda ET'ye olan zemin nemi kaybı olarak alınır. Eğer P, PE'den daha büyük ise beslenmenin, R, ortaya çıktığı varsayılır. Potansiyel beslenme, PR, zeminin kendi mevcut su muhtevasına (MSM) ulaşabilmesi için gerekli nem olarak tanımlanır. Akış, RO, P'nin MSM'ndan daha büyük olması halinde ortaya çıkar. Potansiyel akış, PRO, ise MSM'dan PR'nin çıkarılması ile elde edilir. Bir yöredeki mevcut şartlar altında gerçek yağış ile iklim olarak uygun yağış arasındaki fark (d) aşağıdaki denklem ile verilmiştir.

$$d = P - (\alpha PE + \beta PR + \gamma PRO - \delta PL) \quad (4)$$

Burada,

$$\alpha = \frac{\overline{ET}}{\overline{PE}} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{\overline{R}}{\overline{PR}} \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{\overline{RO}}{\overline{PRO}} \quad (7)$$

ve

$$\delta = \frac{\overline{L}}{\overline{PL}} \quad (8)$$

Tüm bu ifadelerde sağ taraftaki terimlerin üzerindeki çizgi bunların aritmetik ortalama olarak alınması gerekliliğine işaret eder.

Denklem (4)'deki parantez içindeki ifade su dengesini temsil eder. Nem anomalisi göstergesi de

$$Z = Kd \quad (9)$$

ifadesinden hesaplanır. Burada ağırlık katsayısı şu şekilde tesbit edilebilir.

$$K = \frac{17.67\overline{K}}{\sum_{i=1}^{12} D_i \overline{K}} \quad (10)$$

Burada,

$$\overline{K} = 1.5 \log \left[ \frac{\overline{PE + R + RO}}{\overline{P + L}} + 2.8 \right] + 0.50 \quad (11)$$

Burada da  $D_i$ , i ayı için d mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Ağırlık katsayıları PKŞG'nin konumdan konuma kıyaslanmasını mümkün kılar. i-inci aydaki kuraklığın kuraklık şiddeti ( $X_i$ ) aşağıdaki formüle göre herbir kurak ayın değerinin toplanması ile elde edilir.

$$X_i = \frac{Z}{2.691 + 0.309i} \quad (12)$$

Böylece i-inci ay için PKŞG önceki ayın kuraklık şiddetinden ( $X_{i-1}$ ) ve hesabı istenen ayın nem anomalitesi ( $Z_i$ ) göz önünde tutularak Alley (1984) tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$(PKŞK)_i = 0.897X_{i-1} + \frac{Z_i}{3} \quad (13)$$

## 6 Yüzeysel Su Temini Göstergesi (YSTG)

Bu gösterge PKŞG'yi daha da geliştirmek için nem şartlarını göz önünde tutarak Shafer ve Dezman (1982) tarafından sunulmuştur. PKŞG'da tektür (homojen) bölgeler için toplam nemi algoritması ayarlanmış ve "dağ su bağımlılığı" ayrıca "dağ kar yığınları" da ana eleman olarak tanımlamıştır. YSTG için kar yığını, akış, yağış ve su biriktirme haznesi depolaması olmak üzere 4 girdi gerekir. Bu gösterge mevsime bağlı bir şekilde kışın kar yığını, yağış ve su biriktirme haznesi depolamasını hesaplamaya yarar. Yaz ayları esnasında akım YSTG'nin eşitliğinin içinde bir eleman olarak kar yığını ile yer değiştirir. Özel yatak akımlarında YSTG yaklaşımını belirlemek için aylık veriler bütün yağış istasyonlarında, su biriktirme haznelerinde, kar yığını/akım ölçüm istasyonlarında yatağın üzerinde toplanır ve özetlenir. Her özetlenen bileşke uzun dönem veri kümesinden faydalanılarak ve sıklık çözümlemesi (analizi) kullanılarak normalleştirilir. Aşılmanın olmama

ihtimali elemanların ardarda toplamlarının ihtimali devam etmekte olan toplamdan daha büyük olabilir ve sıklık çözümlemesinde herbir elemana bağlı olarak elde edilebilir. Bu da bileşenler arasındaki ihtimalin karşılaştırılmasına izin verir.

Her bir eleman yatak ve su yüzeyi için tipik karşılaştırmasına dayanarak ağırlık işaretlemlenebilir. Bu ağırlık bileşkeleri girdi yatağını temsilen YSTG değerini tanımlamak için toplanabilir. PKŞG gibi YSTG – 4.2 ve + 4.2 arasındaki değerlere sahiptir. Düz alanda değil eğimli arazide toprak nemini araştırmış ama kar erimesi dahil edilmemiştir. YSTG, PKŞG ile birlikte kullanıla gelmiş ve aşağıdaki faydaları bulunmaktadır.

- 1) Yüzey su kaynaklarının temsili ölçümleri karşısında veri ve hesaplama için kolaylık sağlar,
- 2) Diğer batılı bölgelerde gayet iyi olarak modellenir ve uygulanır.

Bütün bunlara rağmen YSTG'nin pratik uygulamalarda kullanılmasında aşağıdaki mahzurlar bulunmaktadır.

- 1) YSTG uygulamada sınırlamalar getirir. Sisteme yeni alınan ölçümü devam etmeyen bir istasyonun sisteme eklenmesine ve bileşenin etkisini belirlemek için yeni sıklık çözümlemesine ihtiyaç vardır,
- 2) Yatağında su yönetiminin alışılmış değişiklikleri, akım ayrılması (diversiyonu) olarak veya yeni su biriktirme haznesi gibi YSTG'ye yeni alınan her bir bileşen için yeni algoritmalar geliştirmek gerekir. Böylece, göstergeyi tektür zaman serilerinden hesaplamak çok zordur,
- 3) Eğer olaylar geçmiş zaman serisine dayandırılmış ise uç (ekstrem) olaylarda sorun çıkar ve gösterge temel bileşenlerin sıklık analizi ile bu olayların tekrar değerlendirilmesine gerek duyar.
- 4) Çok kısa süreli hidro-meteorolojik gözlem serisinin bulunması,

- 5) Çok geniş alanlardaki önemli konum farklılıkları dolayısı ile ağırlıklar bir konumdan diğerine önemli farklılıklar gösterir,
- 6) Şayet bir istasyondaki ölçümlerde eksiklikler varsa bir veya birkaç değişkenin gözlemleri de yok olabilir ve bu durumda yeniden bir sıklık çözümlemesi yapılmalıdır
- 7) Bölgede yeni inşaa edilen baraj ve biriktirme haznelere olması durumunda herbir su dengesi bileşeni için ağırlıkların yeniden ayarlanması gereklidir,
- 8) Eğer uç değerler önceden kayıt edilmemiş ise bunlar için geçerli bir İYF alınmalıdır,
- 9) YSTG herbir su toplama havzası için kendisine has olduğundan diğer havzalarla kıyaslama yapılmasına müsade etmez.

Hesaplamalar aylık esasta yapılır, herbir değişken uzun süre ortalamalarına bölünerek normalleştirilir ve bir sıklık çözümlemesi (analizi) ile de aşılıma ihtimalleri hesaplanır. Verilen bir su toplama havzasında herbir bileşenin yüzey suyuna katkısına göre bulunan aşılıma ihtimalleri birer ağırlık katsayısı ile çarpılır. Bu ağırlıklı değerlerin toplamı 0,50 çıkarımı ile sıfır konumunda merkezleştirilir. Ayrıca PKŞG ile aynı değişim aralığına (-4.2 ile +4.2 arası) getirmek için bulunan değer 12'ye bölünür. Shafer and Dezman (1982) tarafından verilen denklem aşağıda sunulmuştur. YSTG'nin hesaplanması aylık olarak yapılır.

$$YSTG = \frac{aP_k + bP_y + cP_a + dP_b - 50}{12} \quad (14)$$

Burada a, b, c ve d sırası ile kar, yağmur, akış ve depolama biriktirmesi için birer katsayı olup toplamları 1'e eşittir ( $a + b + c + d = 1$ ).  $P_k$ ,  $P_y$ ,  $P_a$  ve  $P_b$  sırası ile kar, yağmur, akış ve biriktirmenin aşılıması ihtimallerini gösterir. Yaz aylarında YSTG kar, yağmur ve biriktirme için kış aylarında ise akış, yağmur ve biriktirme verileri için kullanılır. Garen (1993) tarafından değiştirilmiş YSTG sınıflandırması Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4 Değiştirilmiş YSTG sınıflaması

YSTG	Kuraklık sınıfı	Yıgışım sıklık (yaklaşık)
(- 2,00) - 000	Oldukça kurak	% 26 - % 50
(- 3,00) – (- 2,00)	Orta kurak	% 14 - % 26
(- 4,00) – (- 3,00)	Şiddetli kurak	% 2 - % 14
< (- 4,00)	Aşırı kurak	< % 2

## 7 Ürün Nemi Göstergesi (ÜNG)

İngilizce Crop Moisture Index (CMI) adı verilen ÜNG ürün şartlarının haftadan haftaya izlenmesini sağlayan meteorolojik bir göstergedir. Palmer tarafından 1968’de PKŞG’nin hesaplamasına benzer olarak geliştirilmiştir. PKŞG’nin uzun dönem meteorolojik sulak ve kurak gidişlerinin izlenmesinden ÜNG ona kısa dönem ürün üretim bölgelerine karşı gelen kısa dönem nem şartlarını geliştirmek için düzenlenmiştir. ÜNG ortalama sıcaklığa ve toplam yağışa bağlıdır. Her hafta ölçümü yapılan ÜNG değeri bir sonraki haftaya da ilave edilir. ÜNG değişim şartlarına hızlıca cevap verir ve haritalardan uzaysal ve zamansal ağırlıklıdır. Yaygın olarak haftalık temelde gösterilir ve farklı bölgelerde nem şartlarını karşılaştırmak için kullanılır. Ayrıca kısa dönem değişimlerde hızlı bir şekilde cevap vermesinin yanında uzun dönem şartları için de hatasız bilgi sağlanabilir. Mesela, kuraklık anında faydalı bir yağışta nem şartlarını göstermek için ÜNG değeri kullanılabilir. ÜNG’nin diğer karakteristik özelliği uzun dönem kuraklık izlemedeki sınırları ÜNG tipik olarak her bir mevsimde 0 yakınında başlar ve biter. Bu sınırlama genellikle gelişen mevsim dışında nem şartlarını izlemeyi önler. Kurak dönem genellikle birkaç yılı aşar. ÜNG özel ürün gelişim mevsiminin başlangıcında tohum gelişimi esnasında da uygun değildir.

Bu göstergenin değerleri – 4 ile + 4 arasında değişir. “Aşırı kurak”, “ortalama kurak”, “normale yakın kurak”, “normal su temini üzeri kurak” ve “bol su temini du-

rumları “ sırası ile -4, -2, 0, 2 ve 4 ÜNG’ye karşı gelir.

## 8 Erinç Kuraklık Göstergesi (EKG)

Türkiye’nin kuraklık sorununu ve kurak/nemli alanlarını ve devrelerini gösterebilmek hedefi ile özellikle coğrafyacılar tarafından en çok kullanılan Erinç göstergesidir (Erinç, 1969). Girdi olarak yağışa ve buharlaşma ile su kaybına yol açan esas etki olarak en büyük sıcaklığa dayanmış ve aşağıdaki yağış etkinliği ya da kuraklık göstergesi-eşitliğini önermiştir. EKG Denklem (1)’de verilen yağış sıcaklık oranına benzer ancak burada yıllık yağış ve sıcaklıklar söz konusudur.

$$EKG = \frac{\bar{Y}}{\bar{S}} \quad (15)$$

Burada Y yıllık yağış tutarını [mm] ve S’de yıllık ortalama en büyük sıcaklığı [°C] gösterir. Buharlaşma+terleme ile kaybın çok olması sebebi ile aylık ortalama en büyük sıcaklığın 0’dan düşük olduğu aylar göz önüne alınmaz. Böylece buharlaşma+terlemenin etkili olamadığı donlu ayların sıcaklık ortalamasını düşürücü ve bu sebeple de yağış etkinliği bakımından aldatıcı etkileri ortadan kalkmış olur. Buna karşılık aynı aylarda düşen ve bir bölümü sonraki aylarda buharlaşma+terlemeye uğrayan kar veya buz olarak tutulmuş yağışların olumlu etkisini göstermek mümkün olmaktadır (Türkeş, 1990). EKG sonuçları, bitki gelişmesinin yayılış alanları ile karşılaştırılarak yağış etkinliği bakımından aşağıdaki sınıflara ayrılmıştır (Çizelge 5).

Çizelge 5 Erinç sınıflandırması

EKG	Sınıf	Bitki örtüsü
< 8	Tam kurak	Çöl
8-15	Kurak	Çölümsü kıraç
15-23	Yarı-kurak	Kıraç
23-40	Yarı-nemli	Park görünümlü koru ormanı
40-55	Nemli	Nemli orman
> 55	Çok nemli	Çok nemli orman



EKG'yi herhangi bir süre ya da mevsim için kullanmak mümkündür. Bu durumda elde edilecek gösterge değerlerinin yağış etkinliği sınıflarından hangisine girdiğini saptamak için bunlar süreye göre değişen katsayılarla çarpılır. Örneğin, bir aylık gösterge 12, iki aylık gösterge 6, üç aylık gösterge 4, dört aylık gösterge 3 ve altı aylık gösterge 2 ile çarpılır.

## 9 Yağış Parametreleri Kuraklık Göstergeleri

Yağış alan ve zamanla büyük değişimler gösterdiğinden birçok sistem için su varlığını etkileyen ana faktör durumundadır. Bu sebeple birçok gösterge esas olarak yağış şartlarına dayanmaktadır. Kuraklığın saptanmasında kullanılan yağış şartlarını şöylece verebiliriz.

- 1) Yağışla merkezi eğilim ölçüleri (aritmetik ortalama, orta değer, vb.) arasında bir karşılaştırma yapmak,
- 2) Standart sapma, değişim aralığı vb. gibi dağılma ölçülerinin kullanmak,
- 3) Kurak-nemli devrelerin karakteristiklerini kullanmak,
- 4) Çeşitli sistemlerin su ihtiyaçlarının bilinen tehlike (hassas) seviyeleri ile ilişkili bazı yağış sınırlarının kullanılması.

### 9.1 Merkezi Eğilim Ölçülerinin (Ortalamaların) Kullanımı

Bazı kuraklık göstergeleri yağış kayıtlarının merkez değerle (aritmetik ortalama ya da orta değer) karşılaştırır. İkisi arasındaki fark bir yerdeki kuraklık olayının şiddetini gösterir. Halbuki yukarıda sözü edilen NKG herbir yağış değerinin aritmetik ortalamaya oranının yüzdesi olarak tanımlanmıştır. Çeşitli yerler arasındaki kuraklık özelliklerini karşılaştırmak hedefi ile göstergeler genellikle merkezi değerleri ve standart sapmaları kullanarak normalleştirilir. Ortalama planlama hedefleri için yararlı olabilen klimatolojik bir göstergedir. Merkezi eğilim ölçü-

lerine dayalı göstergeler su kullanma süresi boyunca sistemin gerek duyduğu gerçek su talebindeki önemli zaman değişimlerini yeterli ölçüde nitelendirmeyebilir. Son yıllardaki bu baskının sistem üzerindeki toplu etkilerini göstermek gayesi ile toplam anomalileri kullanma konusunda da bazı çalışmalar yapılmıştır (Balcı, 1992).

Meteorolojik kuraklığı gösterebilmek hedefi ile elde edilmesi kolay olduğu için en yaygın olarak kullanılan yağış istatistiği ortalamalar ya da normallerdir. Ancak ortalamalar yağış dizilerindeki önemli farklılıkları değerlendirmek bakımından uygun bir istatistik değildir. Çok yıllık yağış toplamalarının dağılımı normalden önemli bir fark göstermeyebilir ama aylık ya da günlük toplamalar normal (Gaussian) dağılımından belirgin ayrılıklar gösterir. Gibbs (1964, 1975) günlük, aylık ve hatta yıllık yağış toplamalarının kare köklerinin hemen hemen normal dağıldığını göstermiştir. Ona göre kare kökü alınan değerlerin ortalama ve standart sapması tüm yağış dağılışının yeterli bir göstergesi olabilir.

### 9.2 Dağılma (Değişkenlik) Ölçülerinin Kullanımı

Dağılma ölçülerine dayalı kuraklık ihtimal göstergeleri kuraklığın şiddetine bağlı kritik yağış sınırlarını ayırmak için bazı değişkenlik ölçüleri ile standart sapma, çeyrekler, beşlik ya da yüzlük birlikler kullanılır (Foley, 1957; WMO, 1975a; Gibbs, 1975). Değişkenlik parametreleri gözlemlerin ortalama (merkez değer) üzerindeki dağılma derecesini gösterdiğinden, merkez değerlerle ilgili problemler dağılma ölçülerinin doğasından gelmektedir. Bu sorunlar yağış gözlemlerinin istatistik dağılımını da içerir. Öteki istatistik dağılımlar çarpık verilerle yararlı olabiliyorsa da bunların sonuçlarının fizik yorumlanması bazen çok güç olmaktadır. Yukarıda açıklanan oncul kuraklık göstergesi bu tür bir yaklaşımdır ve verilerin or-

talama değerden (orta değer) olan sapmaları üzerine kurulmuştur.

### 9.3 Bazı Kritik Su Kullanma Ölçülerinin Kullanımı

Yağıştan elde edilen en gerçekçi göstergeler normal su kullanma işlemleri için sistemin ihtiyaç duyduğu en büyük ve en küçük yağış tutarlarını göz ardı etmeyenlerdir. Su kullanma etkinliklerindeki geniş zaman değişimlerinden dolayı birçok yazar sistemin haftalık, aylık ya da mevsimlik su beklentilerini kuraklık parametrisasyonları için referans düzeyi olarak kullanmışlardır. Mesela, haftalık yağış 1/2 normal, aylık yağış normalin %60'ı kadardır. Ogallo (1989) günlük ya da 5 günlük yağış olaylarının kullanımını su sıkıntısının kısa süreli etkilerini ve özelliklerini saptamanın en iyi yollarından biri olarak önermiştir.

### 9.4 Günlük Yağış Olaylarının Kullanımı

Günlük yağışların bitkilerin ekim tarihleri, büyüme ve gelişme devreleri ve hasat edilmeleri gibi tümü ile yağışa bağlı olan ve gün gün uygulanan etkinlikler üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Günlük yağışlar birçok hastalığın ve zararlı durumların ortaya çıkmasını ve yayılmasını da yönlendirir. Bu sebeple birçok kuraklık ihtimal göstergeleri günlük yağış olaylarından türetilmiştir. Günlük yağışların tutarına ve süresine uygulanan bazı sınır değerler kuraklık çalışmalarında kullanılmaktadır (WMO, 1975a,b).

### 10. Yaygın Olarak Kullanılan Kuraklık Göstergeleri

Günümüzde en doğru, ayrıntılı ve yeterli kuraklık göstergelerinin esas olarak su kaynağı ve bir sistemin su talebi arasındaki dengeyi tanımlayan su dengesi eşitliğinden türetilenler olduğu konusunda yaygın bir düşünce bulunmaktadır (Ogallo, 1989). Bir bakıma su arzı ve talebi arasındaki dengenin göz önünde tutulması ile kuraklık izlenmesi ve hesaplamaları yapılabilir. Mesela, bit-

ki-toprak ortamı için kullanılan örnek bir su dengesi eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$Y = A+B+B_T+T+S \quad (16)$$

Burada, Y, A, B, B<sub>T</sub>, T ve S sırası ile yağış, akışa geçen su, bitki kök kuşağının dışındaki drenaj, buharlaşma+terleme, toprak suyu deposundaki değişim ve bitki içindeki su birikimini gösterir. Şiddetli kurak devreler için Y, A ve B sıfıra yakındır böylece S, B<sub>T</sub> ve T arasındaki denge kuraklık olayının şiddetini verir. Haftalık toprak nemi şartlarını değerlendirmek için kullanılabilen PKŞG su dengesi eşitliğine iyi bir örnektir. Bu gösterge ayların sayısı, beslenme faktörü (mm), kayıp ve su denge faktörüne bağlıdır. Ancak, burada belirtmek gerekir ki en gerçekçi kuraklık ihtimal göstergeleri su dengesi modellerinden türetilenler olduğu halde, genellikle, buna benzer yöntemlerin birçok yerde kullanımını sınırlayan sorunlar bulunmaktadır. Bunlar model parametrelerinin doğru hesaplanması ya da sağlanması ile ilişkili güçlükleri içermektedir. Yağış gözlem ağı ile karşılaştırıldığında su dengesi modellerine giren bazı parametrelerin gözlem ağı sıklığı yeryüzünün birçok alanında oldukça yetersizdir (WMO,1983).

### 11. Köppen Kuraklık Göstergesi (KKG) ve Benzerleri

Kuraklığın alan sınırlaması çok önemlidir ve bu genel olarak makro-iklim bölgelerinin tesiri ile ilgilidir. Yağış etkinliğini çeşitli klimatolojik şartların fonksiyonu olarak formüllerle ifade etmek için pek çok deneme yapılmıştır. Bu yaklaşımların çoğu yağış miktarı, rejimi ve sıcaklık arasındaki ilişkilere dayanır. Bu konuda ilk yapılan çalışmalar arasında Köppen (1918) tarafından ileriye sürülen ve kurak bölge sınırını aşağıdaki denklemdeki dengeye göre belirleyen durumdur. Buna göre kurak bölgenin sınırı,

$$Y=2S+20 \quad (17)$$

denklemini ile belirlenir. Burada Y [cm] cin-

sinden yıllık yağış miktarı S ise [°C] cinsinden yıllık sıcaklığı temsil eder. Bu denklem yağış desenini göz önünde tutmadığından daha sonra yine aynı yazar tarafından 1922 yılında aşağıdaki şekilde değiştirilmiştir.

Kurak (B) ve nemli (A, B, C) iklimlerin sınırında:

$$\begin{aligned} \text{Kış yağışlı sahalarda} \quad Y &= S+22 \\ \text{Yaz yağışlı sahalarda} \quad Y &= S+45 \quad (18) \\ \text{Tam yağışlı sahalarda} \quad Y &= S+35 \end{aligned}$$

Bunlarda yine aynı yazar tarafından 1936 yılında değiştirilerek en sonunda aşağıdaki denklemlerin kullanılması tavsiye edilmiştir.

Kurak (BW) ve yarı-kurak (BS) iklimlerin sınırında:

$$\begin{aligned} \text{Kış yağışlı sahalarda} \quad Y &= S \\ \text{Yaz yağışlı sahalarda} \quad Y &= S+14 \quad (19) \\ \text{Tam yağışlı sahalarda} \quad Y &= S+7 \end{aligned}$$

Yarı-kurak (BS) ve nemli (A, B, D) iklimlerin sınırında:

$$\begin{aligned} \text{Kış yağışlı sahalarda} \quad Y &= 2S \\ \text{Yaz yağışlı sahalarda} \quad Y &= 2(S+14) \quad (20) \\ \text{Tam yağışlı sahalarda} \quad Y &= 2(S+7) \end{aligned}$$

geçerlidir. En kurak yaz ayında yağış miktarı en yağışlı kış ayının yağış miktarının 1/3'ünden daha az ve 40 mm'den az ise söz konusu istasyon "kış yağışlı sayılmaktadır". En yağışlı yaz aylarındaki ortalama yağış miktarı en kurak kış ayı yağış miktarının 1/10'undan çok ise bu "yaz yağışlı" istasyondur. Bu iki hale uymayan durumlarda "tam yağışlı" olarak alınmalıdır.

Klimatolojik araştırmalarda çok kullanılan diğer bir yaklaşım de Martonne (1926) tarafından teklif edilmiş olan kuraklık göstergesidir.

$$G_y = \frac{Y}{S+10} \quad (21)$$

Bu formülde Y, [mm] cinsinden yıllık yağış, S [°C] cinsinden yıllık ortalama sıcaklığı;

G<sub>y</sub> ise kuraklık göstergesini (yıllık) ifade eder. Denklem (21)'in uygulanması halinde elde edilen göstergeler ne kadar büyük ise yağış etkinliği o kadar fazla yani iklim o oranda nemlidir. Bu göstergeye göre sınıflama Çizelge 6'da gösterilmiştir. Bu formülü aylık olarak kullanmak da mümkündür.

Çizelge 6 Sınıflandırma

Göstege değeri	Bölge özelliği
G <sub>y</sub> < 10	Çöl
10 < G <sub>y</sub> < 20	Yarı kurak
20 < G <sub>y</sub> < 30	Yarı-nemli
G <sub>y</sub> > 30	Nemli

Diğer taraftan, Thornthwaite'e göre herhangi bir istasyonun yağış etkinliği aşağıdaki formülle tespit edilir.

$$G_n = \frac{100F-60N}{P} \quad (22)$$

Burada G<sub>n</sub>, F, N, ve P sırası ile nemlilik göstergesini, aylık su fazlasının yıllık toplamını, aylık su noksanının yıllık toplamını ve potansiyel terleme+buharlaştırmanın (evapotranspirasyonun) yıllık değerini gösterir. Nemli iklim bölgelerinde gösterge değeri artı, kurak iklimlerde ise ekidir. Göstergenin sifıra eşit olduğu yerler nemli ve kurak sahalardan arasındaki sınırı teşkil eder. Çizelge 7'de bu gösterge için geçerli olan sınıflar verilmiştir.

Çizelge 7 Thorthwaite sınıflaması

G <sub>n</sub>	Sınıf	İklim
> 100	Tam nem	Nemli
80 - 100	Nemli	
60 - 80	Nemli	
40 - 60	Nemli	
20 - 40	Nemli	
0 - 20	Yarı nemli	
(- 20) - 0	Kurak - yarı nemli	Kurak
(- 40) - (- 20)	Yarı-kurak	
< (- 40)	Tam kurak (Çöl)	



Gibbs ve Maher (1967) tarafından geliştirilen yağışın sıklık dağılımının karakteristiklerine ait genel bir sınıflandırma Avustralya Meteoroloji Bürosunun yağış çalışmalarında 1969 yılından beri kullanılmaktadır. Burada ortalama terimi aylık yağışın 30. ve 70. yüzde birler arasında ortaya çıkışını tanımlamak için kullanılmıştır. İlk oncul birim aralığı şiddetli ya da tam kurak şartları, onuncu oncul birim aralığı tam nemli şartları gösterir ve sınıflandırma aşağıdaki Çizelge 8’de verilmiştir. Bu sınıflandırma Bölüm 2.4’de verilen oncul sınıflamanın biraz daha gelişmiş halidir.

Çizelge 8 Sıklık sınıflandırması.

Tanımlama	Yüzde birler aralığı	Oncul aralığı
Ortalamanın çok çok üzerinde	90’ın üzerinde	10
Ortalamanın çok üzerinde	80-90	9
Ortalamanın üzerinde	70-80	8
Ortalama	30-70	4-7
Ortalamanın altında	20-30	3
Ortalamanın çok altında	10-20	2
Ortalamanın çok çok altında	10’un altında	1

Son yıllarda kurak iklimlerin ve yeryüzünün kurak ve yarı-kurak alanlarındaki çölleşmeye eğilimli ya da çölleşme süreçlerinin tehdit ettiği alanların saptanmasında en çok kullanılan gösterge Budyko-Lettau kuraklık oranıdır. Budyko (1958) tarafından gerçekleştirilen ışınımaya bağlı gösterge Lettau (1969) tarafından kuraklık oranı,  $K_0$ , olarak adlandırılmış ve aşağıdaki biçimde tanımlanmıştır.

$$K_0 = \frac{1}{GY} \quad (23)$$

Bu eşitlikte I, yeryüzünde yıllık ortalama net ışınımı, Y yıllık ortalama yağışı ve G su için buharlaşma gizli ısısını gösterir.  $K_0$  yeryüzündeki net ışınım enerjisi bütçesinin bir yılın yağış tutarını buharlaştırmak için gereken ısı enerjisine oranıdır. Yıllık ortalama değerler kullanılır ve rüzgâr sistemleri ile

getirilen ısı enerjisini içermez (Hare, 1983, 1985). Budyko (1958,1974) kendi göstergesi için Çizelge 9’daki sınıflandırmaları önermiştir.

Çizelge 9 Budyko sınıflandırması

Kuraklık oranı, $K_0$	Bitki durumu
> 3,4	Çöl
2,3-3,4	Yarı-çöl
1,1-2,3	Kıraç

Budyko önemli bir canlı kütleye sahip olan birçok kurak eko-sistemi çöl olarak tanımlamıştır. Hare (1983) Budyko’nun kuraklık oranı sınır değerlerini ve bunların bitki gelişmesi karşılıklarını çölleşme eğilimlerine göre yeniden düzenlemiştir. Öte yandan asıl ilgiyi kuraklık oranı 2-7 arasında olan kara alanlarında toplamıştır. Bu alanlar çölleşme olaylarının önemli boyutlarda olduğu yerlere karşılık gelmektedir. Hare (1983) Çizelge 10’da verilen ilişkileri belirlemiştir.

Çizelge 10 Kuraklık sınıflandırması

Kuraklık oranı, $K_0$	Kıraçlık kuşakları
> 10	Tam çöl. Yeraltı suları ya da birbirine bağlı kuyu sistemlerinin dışında yerleşmelerin bulunması sebebi ile çölleşmenin etkisi mühim değildir
7-10	Çöl kenarı. Çölleşme çiftlik hayvanlarından yararlanan kuşaklarda etkilidir.
2-7	Yarı-kurak kuşak. Fazla çiftlik hayvanı yetiştirilmesi ya da toprağın işlenmesi (fazla ekim) sebebi ile yaygın çölleşme vardır.
< 2	Yarı-nemli iklimler. Çölleşme az olur.

## Kaynaklar

- Al-Sefry, S., Şen, Z., Al-Ghamdi, S. A., Al-Ashi, W., and Al-Baradi, W. (2005). Strategic ground water storage of Wadi Fatimah – Makkah region Saudi Arabia. Saudi Geological Survey, Hydrogeology Project Team, Final Report.
- Alley, W. M., 1984. The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23: 1100-1109.
- Balci, O., (1994), "Validation, Verification, and Testing Techniques throughout the Life Cycle of a Simulation Study," *Annals of Operations Research* 53, 121-174.
- Bayazıt, M., Şen, Z., Avcı, İ., 1997. Hidroloji Uygulamaları, Sayı: 1455, Üçüncü Baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Budyko, M. I., 1958. The Heat Balance of the Earth's Surface. Trs. Nina A. Stepanova .U.S. Dept.of Commerce. Washington.
- Budyko, M. I., 1974. *Climate and Life*. Academic Press. New York (and.London).
- Erinç, S., 1969. *Klimatoloji ve Metodları*. İst. Üniv. Coğr. Enst. Yay. No.35. İstanbul.
- Erinç, S., 1969. Yağış Müessiriyeti Üzerine Bir Deneme ve Yeni Bir İndis. İst. Üniv. Coğr. Enst. Yayın No:41. İstanbul.
- Foley, J. C., 1957. Drought in Australia. Bulletin no.43.Bureau of Meteorology. Melbourne.
- Garen, D. C., (1993). Revised surface water supply index for western United States. *J. Water Resour. Planning and Management*. 119(4): 437-454.
- Gbeckor-Kove, N., 1989. Drought and Desertification. WMO/TD-No.286. WCAP.No.7:41-73.Geneva.
- Gibbs, W. J., 1964. Space-time Variation of Rainfall in Australia. Symposium on Water Use and Management.
- Gibbs, W. J., 1975. Drought, Its Definition, Delineation and Effects. Drought Special Environmental Report, No.5. WMO/TD-No.193 WCP. No.134.Geneva.
- Gibbs, W. J. and Maher, J. V., 1967. Rainfall deciles as drought indicators. Bureau of Meteorology Bulletin No. 48, Commonwealth of Australia, Melbourne.
- Hare, F. K., 1983. Climate and Desertification. WMO. No.44.Geneva.
- Hare, F. K., 1985. Climate Variations, Drought and Desertification.WMO. No. 653.(iklim değişimleri, Kuraklık ve Çölleşme.D.M.İ. Gn.Md.lüğü.
- Karl, T. R. and Knight, R. W., 1985. Atlas of monthly hydrological drought indices (1931-1983) for the contiguous United States. Historical Climatology Series 3-7, National Climatic Data Center, Asheville, Nc.
- Lettau, H., 1969. Evapotranspiration climatology: 1. A new approach to numerical prediction of monthly evapotranspiration, run off and soil moisture storage, *Monthly Weather Review*, 97: 691-699, 1969.
- Ogallo, L. J., 1989. Drought and Desertification (Report of the CCL Rapportuer on Drought and Desertification in Warm Climates to the Tenth Session of the Commission for Climatology. 1989. Lisbon ). WCAP. No.7.WMO/TD-No.1-40. Geneva.
- Palmer, W. C., 1965. Meteorological drought. US Weather Bureau Res. Paper No. 45, 58.
- Palmer, W. C., 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the new crop moisture index, *Weatherwise*, 21: 156-161.

- Rao, G. A., 1986. Drought Probability Maps. CagM-VIII Rapportuer on Drought Probability Maps WMO.WCP (2470). Geneva.
- Shafer, B.A.; and L.E. Dezman. 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In Proceedings of the Western Snow Conference, pp. 164–175. Colorado State Univ., Fort Collins, CO.
- Smith, D. I., Hutchinson, M. F. and McArthur, R. J., 1993. Australian climatic and agricultural drought: payments and policy. Drought Network News, 5 (3): 11-12.
- Thornthwaite, C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Rev. 38. 5–94.
- Türkeş, M., 1990. Türkiye’de kurak bölgeler ve önemli kurak yıllar. İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- White , D. H. and O’Meagher, B., 1995. Coping with exceptional droughts in Australia. Drought Networks News, 7 (2), 13-17.
- WMO, 1975 a, Drought: Special Environmental Report No.5 .WMO.No.403. Geneva.
- WMO,1975 b, Drought and Agriculture. WMO Technical Note.138 Geneva.
- WMO, 1983, Report of the Meeting on Climate System WMO.wcp.No.64.Geneva.

*Tüm Su Vakfı bültenlerini <http://bulten.suvakfi.org.tr> adresinden bilgisayarınıza indirebilirsiniz.*



SU VAKFI

Libadiye Cad. Doğanay Sokak No:6 Kat:4 Üsküdar İstanbul  
Tel: (216) 412 3383 - Faks: (216) 412 3390  
suvakfi@suvakfi.org.tr - www.suvakfi.org.tr