

# Paylaştırılmış entropi kavramının kuraklık ölçütü olarak kullanılabilirliği

## Applicability of apportionment entropy as a drought index

Ülker Güner BACANLI<sup>1\*</sup>, Türkyay BARAN<sup>2</sup>, Fatih DİKBAŞI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.  
ugbacanli@pau.edu.tr, fdikbas@pau.edu.tr

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizli, Türkiye.  
turkay.baran@deu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 13.11.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 20.06.2016

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.80664

Araştırma Makalesi/Research Article

### Öz

Kuraklık, en önemli doğal afetlerden biridir. Sunulan çalışmanın temel amacı, kuraklık ölçütü olarak Paylaştırılmış Entropinin (PE) kullanılabilirliğini araştırmaktır. Bu amaçla, Kuzey Ege bölgesindeki istasyonların yağış gözlem verilerinden hareketle, Standart Yağış İndeksi (SYİ), ve PE kuraklık indeksleri belirlenerek karşılaştırılmıştır. Sunulan çalışmada, Kuzey Ege Bölgesinde uzun süreli yağış verileri olan 29 istasyon ele alınmıştır. Çalışmanın sonuçları, bir yandan PE yönteminin kuraklık ölçütü olarak kullanılabilirliğine ilişkin sonuçlar verir; diğer yandan Kuzey Ege Bölgesi için kuraklık döngülerinin belirlenmesine katkıda bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Kuraklık, Kuraklık parametreleri, Entropi, Kuzey Ege bölgesi

### Abstract

Drought is one of the most important natural disasters. The main aim of the present study is to investigate the applicability of the Apportionment Entropy (AE) as a drought index. For this purpose, the Standard Precipitation Index (SPI) and the AE method as a drought indices were investigated and compared for monthly precipitation data in Northern Aegean Region. In the presented study, 29 gauging stations with long term observations are evaluated in Northern Aegean Region. The results of the study showed that PE method can be used as a drought index and the analysis of drought results contributed to the identification of drought periods for the Northern Aegean Region.

**Keywords:** Drought, Drought parameters, Entropy, Northern aegean region

## 1 Giriş

Kuraklık, canlıların yaşamında olumsuz etkileri olan, ciddi ekolojik problemlerin yaşanmasına sebep olan doğal bir afettir. Kuraklık, yağış yetersizliği, yüksek sıcaklık, yüksek rüzgâr hızı ve düşük nem içeriği gibi iklimsel faktörlerin etkisi ile ortaya çıkar [1]. Kuraklık çok yavaş gelişir. Kuraklık, tarımsal üretimde azalmaya, sonuçta kıtlık, açlık ve ölümlere neden olabildiğinden oldukça önemli sosyal ve ekonomik sorunların yaşanmasına sebep olmaktadır.

Kuraklığın taşıdığı tehlikelere karşı önlemler alabilmek için, kuraklığı ayrıntılı inceleme yöntemleri ile belirlemek ve izlemek gerekmektedir. Araştırmacılar, kuraklık şiddetini belirleyebilmek için farklı yöntemleri (örneğin Palmer, Erinc, Standart Yağış İndeksi (SYİ), De Martonne, Thornthwaite vb. yöntemleri) incelemişler; bu yöntemleri kuraklığı tanımlamanın yanı sıra kuraklık ve hidrolojik/meteorolojik olaylar arasındaki etkileşimleri belirlemek için kullanmışlardır.

Kuraklık analizi için önerilen ölçütler, su bütçesi hesaplamalarına dayanmaktadır. Bu amaç için yağış miktarı girdi, buharlaşma çıktı gibi temel parametreler belirlenir. Hidrolojik modellerin yeniden yapılanması için önerilen ölçütlerde karşılaşılan ikilemler aşağıda ifade edilmektedir:

Çok parametrelili modellerde, birden fazla parametrenin ağırlıklarının hesaplanmasında tahmin hatalarının sebep olduğu belirsizlikler görülür. Model parametrelerinin yeniden belirlenmesi ise, kapsamlı veri kayıtlarının toplanmasını gerektireceğinden genellikle zor ve pahalıdır.

Basit modellerde ise, hidrolojik sürekliliğin bir parçası olan potansiyel evapotranspirasyon, buharlaşma, terleme veya zemin nemini içeren çeşitli fiziksel olayların etkisi ihmal edilmektedir.

SYİ, uzun süreli kuraklığa karşı kısa süreli kuraklık gibi farklı zaman ölçeklerinde karşılaştırılabilir avantajına [2],[3], nispeten basit bir algoritmaya sahiptir [4]-[6]. SYİ bu avantajları nedeniyle, en yaygın kullanılan kuraklık göstergesi niteliğindedir. Farklı ülkelerde, farklı yağış rejimlerinde araştırmalar yürüten çok sayıda araştırmacı, kuraklığı izlemek için SYİ yöntemini kullanmıştır [7]-[12].

Ancak, yukarıda belirtildiği gibi, basit bir model olarak tanımlanan SYİ, sadece yağış değerlerine bağlı olarak tanımlanan bir parametre olduğundan, kuraklık açısından büyük önem taşıyan potansiyel evapotranspirasyon, zemin nemi gibi parametrelerin etkisini ihmal etmektedir.

Kuraklık analizinde, entropi kavramına dayanan paylaştırılmış entropi (PE)'de kullanılabilirliği [12]. Entropi, rastgele karakterdeki hidrolojik süreçlerde gözlem sonucu elde edilen bilgi=giderilen belirsizliğin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Paylaştırılmış entropi değeri ise, gözlenen sürece ait tüm gözlemleri dikkate alarak, gözlemlerin frekansı esasında dayanarak hesaplanan, bu nedenle hidrolojik sürecin zamana ait hafızasını da içeren bir parametredir. Bu nedenle, doğrudan olmasa da dolaylı olarak zemin nemi (yağışlı bir dönem ardından gelen kurak dönem başlangıcı), ya da potansiyel evapotranspirasyon (kurak bir dönem sonrası gelen yağışlı dönem) etkilerini de içermektedir.

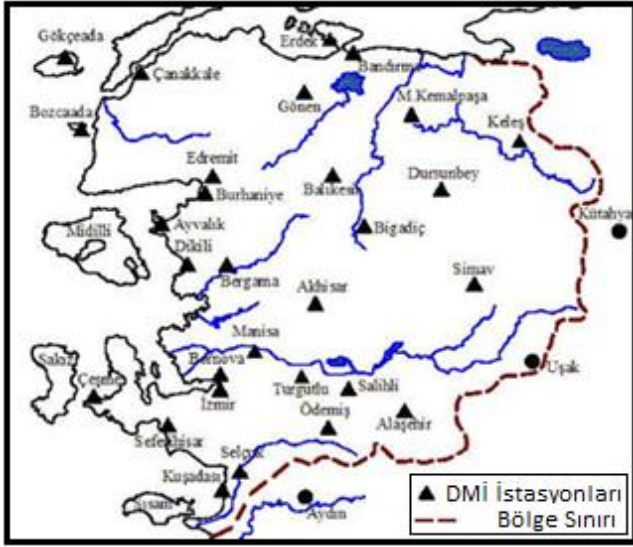
Sunulan çalışmada, Kuzey Ege Bölgesi'nde istasyonlardan uzun süreli yağış verilerine dayanarak kuraklık analizi yapılmış; bu amaçla yaygın olarak kullanılan SYİ ile yeni bir ölçüt olarak paylaştırılmış entropi (PE)'nin değerleri karşılaştırılmıştır.

## 2 Veriler

Sunulan çalışmada, Kuzey Ege Bölgesinde değerlendirilen istasyonların konumları Şekil 1'de verilmiştir. Kuzey Ege

bölgesi içinde, farklı yağış özelliklerine sahip akarsu havzalarında bulunan uzun süreli istasyonlara ait yağış verileri kullanılmıştır. Tablo 1'de sunulmuş olan istasyonlar, Marmara(2), Susurluk (3), Kuzey Ege (4), Gediz (5) ve Küçük Menderes (6) olmak üzere beş farklı havzaya yayılmaktadır.

Kuzey Ege Bölgesi'nin büyük bir kesiminde Akdeniz ikliminin, Kuzey Ege Bölgesi'nin iç kesimlerinde ise Marmara (Geçiş) ikliminin etkili olduğu görülmektedir. Akdeniz iklimi, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır [13].



Şekil 1: Kuzey Ege bölgesi [23].

Kuzey Ege bölgesinin batısında yıllık ortalama yağış 624-691 mm arasında değişmekte iken, bölgenin doğusunda ortalama yağış değerleri 541 ile 623 mm arasında değerlere azalmaktadır. Ortalama yağışlı gün sayısı ise batıya doğru ilerledikçe azalmaktadır. Kuzey Ege sahillerinde yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 52-60 gün arasında değişirken, Kuzey Ege'nin iç bölgelerinde 81-100 yağışlı gün aralığındadır.

Sunulan çalışmada, Kuzey Ege Bölgesindeki yağış gözlem istasyonlarının tümü değerlendirilmiş; ancak kuraklık analizi için uzun süreli gözlemlere sahip olan istasyonlar seçilmiştir.

### 3 Kuraklık şiddeti yöntemi

#### 3.1 Entropi yöntemi

"Entropi" kelimesi, ilk olarak Classius tarafından "transformasyon"dan türetilerek kullanılmıştır. Entropi kavramı klasik termodinamik kaynaklı olup, Boltzmann daha sonra tarafından "malzemenin bir bölümünü oluşturan parçacıkların mikroskobik durumlarının sayısı" olarak nitelendirmiş ve "tüm bu bölümlerin ana makroskopik bedene benzer görüldüğünü" ifade edilmiştir [14],[15].

Bilgi kuramında entropi, bir iletinin gözlenmesi sonucunda süreç hakkında elde edilen "bilgi içeriğini" tanımlamaktadır. Bu bağlamda entropi kavramı iletişim kuramında 1948'de Shannon tarafından tanımlandığı biçimiyle ifade edilmektedir. Shannon'a göre entropi kavramı, birbirinden bağımsız, kesikli ve farklı olasılıklara sahip işaretlerin veya sembollerin oluşturduğu bir bilgi kaynağından iletilen her bir sembol başına düşen bilgi miktarı biçiminde ifade edilmektedir.

Shannon, mesaj iletiminin stokastik bir olay olduğu görüşü ile bir işaret veya sembol dizisini oluşturan her elemanın belirli olasılıklara göre değer aldığını ve her bir değer kendinden

önce gelen bir veya birkaç sembole bağlı olduğunu ifade etmektedir. Bu yaklaşıma göre, herhangi bir zamanda bilgi kaynağının veya iletişim vericisinin çıktısı rastgele bir değişken olarak düşünülmelidir [16].

Bilgi kuramında tanımlandığı biçimiyle entropi, pek çok farklı alanda kullanım olanağı bulmuştur. Su kaynakları mühendisliğinde, rastgele karakterdeki hidrolojik süreçlerin içerdiği belirsizliğin ölçüsü, parametre tayini, havza morfolojisi, hidrolojik süreçler arasında bilgi aktarımı, vb. çok farklı alanlarda kullanılmış olan entropi, halen yeni alanlarda kullanım olanağı bulmaktadır. Entropi kavramının su kaynakları ve hidrolojideki farklı kullanımları çeşitli yayınlarda ayrıntılı olarak verilmiştir [17],[18].

Tablo 1: Kuzey Ege bölgesindeki istasyonların özellikleri.

Havza Adı (Numarası)	Meteoroloji İstasyonları				Havza Alanı (km <sup>2</sup> ) Ortalama Yükselti (m) Yıllık Ort. Yağış (mm)	
	Adı	Numarası	Enlem (°)	Boylam (°) Verilerin Başlangıç Yılı		
Marmara (2)	Erdek	17635	40.24	27.48	1964	24100 46.12 766
	Çanakkale	17112	40.09	26.24	1950	
	Gökçeada	17110	40.11	25.54	1967	
	Gönen	17674	40.06	27.39	1967	
	Balıkesir	17152	39.39	27.52	1950	
Susurluk (3)	Bigadiç	17698	39.24	28.08	1971	22399 426.28 730
	Dursunbey	17700	39.35	28.37	1965	
	Bandırma	17114	40.19	27.59	1950	
	Keleş	17695	39.55	29.04	1966	
	M.K.Paşa	17675	37.52	28.24	1939	
Kuzey Ege (4)	Simav	17748	39.05	28.59	1972	10003 21.48 730
	Ayvalık	17175	39.19	26.42	1964	
	Bergama	17742	39.08	27.11	1963	
	Bozcaada	17111	39.50	26.04	1967	
	Burhaniye	17722	39.30	26.58	1975	
Gediz (5)	Dikili	17180	39.04	26.53	1950	18000 116.61 639
	Edremit	17143	39.34	27.01	1962	
	Akhisar	17184	38.54	27.49	1950	
	Alaşehir	17797	38.21	31.25	1964	
	Manisa	17186	38.37	27.26	1950	
Küçük Menderes (6)	Salihli	17792	40.23	28.08	1965	6907 33.65 740
	Turgutlu	5615	37.57	27.42	1984	
	Bornova	17790	38.28	27.13	1963	
	Çeşme	17221	38.18	26.18	1964	
	İzmir	17220	38.26	27.04	1950	
	Kuşadası	17232	37.52	27.15	1939	
Küçük Menderes (6)	Seferihisar	17820	38.14	26.51	1960	
	Selçuk	17854	38.29	27.22	1967	
	Ödemiş	17822	40.02	27.58	1964	

Rastgele bir değişkenin entropisi, bilgi içeriğini ölçütüdür. Bilgi içeriği için kullanılan, marjinal entropi  $[H(X), H(Y)]$  sürecin gözlenmesi sonucunda giderilen belirsizlik ile eş anlamlıdır. İki

değişkenli durum için X ve Y gibi iki farklı hidrolojik sürece ait ortak bilgi, ortak entropi [H(X,Y)] ile, iki değişken arasındaki koşullu bilgi, koşullu entropi [H(X|Y)], iki değişken arasında aktarılan bilgi ise transinformasyon T(X,Y) ölçütüyle ifade edilmektedir [19].

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log p(x_i) \quad (1)$$

$$H(X, Y) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(x_i, y_j) \log p(x_i, y_j) \quad (2)$$

$$H(X|Y) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(x_i, y_j) \log p(x_i|y_j) \quad (3)$$

$$T(X, Y) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(x_i, y_j) \log \left( \frac{p(x_i, y_j)}{p(x_i)p(y_j)} \right) \quad (4)$$

x ve y, aynı olasılık uzayında tanımlanmış  $x_i$  ( $i= 1, 2, \dots, n$ ) ve  $y_j$  ( $j= 1, 2, \dots, m$ ) değişkenler;  $p(x_i)$  kesikli,  $p(x_i, y_j)$ , noktasal ve  $p(x_i|y_j)$  koşullu olasılıklar olarak tanımlanırlar [20].

### 3.2 Paylaştırılmış entropi (PE) kavramı

Paylaştırılmış Entropi (Apportionment Entropy-PE) kavramı, zaman dizisi niteliğindeki bir hidrolojik sürecin gözlemler bölümlerinin frekanslarına dayanılarak belirlenmek olup, gözlemler sonucu süreç hakkında kazanılan bilgiyi zaman serisi olarak tanımlama olanağı vermektedir. Paylaştırılmış entropi kavramı (PE), günlük [21] ve aylık [22] yağışlar için kullanılmış; kuraklık parametrelerinin belirlenmesinde kullanım olanakları da araştırılmıştır [12],[23].

Yağış dizileri için paylaştırılmış entropi (PE) değeri hesaplanırken, ilk adımda günlük veya aylık yağış miktarları ( $r_i$ ) toplanarak toplam yağış (R) değeri bulunur:

$$R = \sum_{i=1}^{12} r_i \quad (5)$$

Toplam yağış miktarı dikkate alınarak, günlük/aylık yağış miktarının oransal kütlesi ( $r_i/R$ ) biçiminde belirlenecektir. Bu değer, frekans değeri (oluşma olasılığı) olarak tanımlandığında, (1) denklemi ile tanımlanan marjinal entropi ifadesine benzer biçimde, paylaştırılmış entropi (PE) bulunabilir. Dolayısıyla, aylık yağışlar için PE ifadesi 12 aylık yağışlar dikkate alınarak aşağıdaki biçimde yazılacaktır:

$$PE = - \sum_{i=1}^{12} (r_i/R) \log_2(r_i/R) \quad (6)$$

Burada,  $\log_2$ ; 2 tabanına göre logaritmadır. Zaman serisi içinde entropi değerleri,  $r_i$ 'nin sırasından bağımsız olduğundan, PE hesabı yapıldığı gözlem istasyonu (lokasyon-yer) için yağış ve/veya sıcaklığın değişimini ölçmek için de kullanılabilir bir ölçüt olmaktadır.

Aynı istasyonda m yıl süresince gözlenmiş değerler kullanıldığında, uzun süreli PE değerleri gidış grafiği elde etmek mümkün olmaktadır. Uzun dönem için yıllar bazında hesaplanmış bu zaman serisinin ortalaması ( $\overline{PE}$ ):

$$\overline{PE} = \left( \frac{1}{m} \right) \sum_{i=1}^m PE_i \quad (7)$$

İfadesiyle hesaplanacaktır. :Uzun dönem ortalamaları dikkate alındığında,  $\overline{PE}$  değerlerinin ortalamadan değere olan uzaklığına bağlı olarak söz konusu yıl için kuraklık/sulaklık tanımı yapmak mümkün olacaktır.

Uzun dönemde, yıllık toplam yağışların dağılımının normal dağılıma yakınsayacağı bekleneneğinden, kuraklık ölçütü sınıflandırması için söz konusu istasyona ait hesaplanmış PE değerlerinin beklenen değeri kabul edilebilecek uzun dönem ortalaması ( $\overline{PE}$ ) ve paylaştırılmış entropi değerleri için hesaplanan varyans değerleri kullanılmıştır. Kuraklık indeksi sınıflandırması Tablo 2'deki gibi yapılmıştır [23].

Tablo 2: Paylaştırılmış entropinin kuraklık indeksi sınıflandırması [23].

Paylaştırılmış Entropi (PE)	Sınıf
$\geq \overline{PE} + (2\sqrt{Var(PE)})$	Şiddetli Sulak (ŞŞ)
$[\overline{PE} + (2\sqrt{Var(PE)})] - [\overline{PE} + (\sqrt{Var(PE)})]$	Sulak (S)
$[\overline{PE} + (\sqrt{Var(PE)})] - [\overline{PE} + (\sqrt{Var(PE)}/2)]$	Yarı Sulak (YS)
$[\overline{PE} + (\sqrt{Var(PE)}/2)] - [\overline{PE} - (\sqrt{Var(PE)}/2)]$	Normal (N)
$[\overline{PE} - (\sqrt{Var(PE)}/2)] - [\overline{PE} - (\sqrt{Var(PE)})]$	Yarı Kurak (YK)
$[\overline{PE} - (\sqrt{Var(PE)})] - [\overline{PE} - (2\sqrt{Var(PE)})]$	Kurak (K)
$\leq \overline{PE} - (2\sqrt{Var(PE)})$	Şiddetli Kurak (ŞK)

### 3.3 Standart yağış indeksi yöntemi

Kuraklığı tanımlamak amacıyla Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) yöntemi ilk olarak McKee ve diğ. [2] tarafından geliştirilmiştir. SYİ değeri,

$$SYİ = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad (8)$$

şeklinde tanımlanır. Denklemden,  $x_i$  yağış miktarı;  $\mu$  ortalama;  $\sigma$  standart sapmadır [2]. Bu yöntemde göre, kurak ve sulak dönemlerin sınıflandırılma esasları Tablo 3'te sunulmuştur [2],[3],[5],[6],[8].

Tablo 3: SYİ sınıflandırması [2],[3],[5],[6],[8].

SYİ Değerleri	Kuraklık Sınıfı
$\geq 2$	Çok Şiddetli Yağışlı (ÇŞY)
1.50 ~ 1.99	Çok Yağışlı (ÇY)
1.00 ~ 1.49	Orta Şiddetli Yağışlı (OŞY)
0.99 ~ 0	Normal (N)
0 ~ -0.99	Normale Yakın Kuraklık (NYK)
-1.00 ~ -1.49	Orta Şiddetli Kuraklık (OŞK)
-1.50 ~ -1.99	Şiddetli Kuraklık (ŞK)
$\leq -2$	Çok Şiddetli Kuraklık (ÇŞK)

SYİ değerlerinin hesaplanmasında; yağış eksikliğinin farklı su kaynaklarına etkisi dikkate alınarak ölçütlerdeki değişimlerin gözleneceği 3, 6, 12, 24 ve 48 aylık (i) gibi farklı zaman dilimleri belirlenir. Bu zaman dilimleri yağıştaki eksikliğin kullanılabilir

su kaynaklarına olan etkisinin ne kadar sürede hissedilebileceği gibi subjektif bir mantığa göre seçilmiştir.

Dolayısıyla, SYİ değerleri belirlenirken, gözlenen yağış dizisi için alt gruplar halinde yeniden oluşturulan veri setleri için dikkate alınan zaman dilimine bağlı hesaplanan ortalama, standart sapma değerleri kullanılmaktadır. SYİ değerlerinin normalize edilmesi sonucunda, o istasyona ait yağış dizilerinde hem zaman ve hem de alan bazında olan değişkenliklerin dikkate alındığı düşünülmektedir [2],[3],[5],[6],[8].

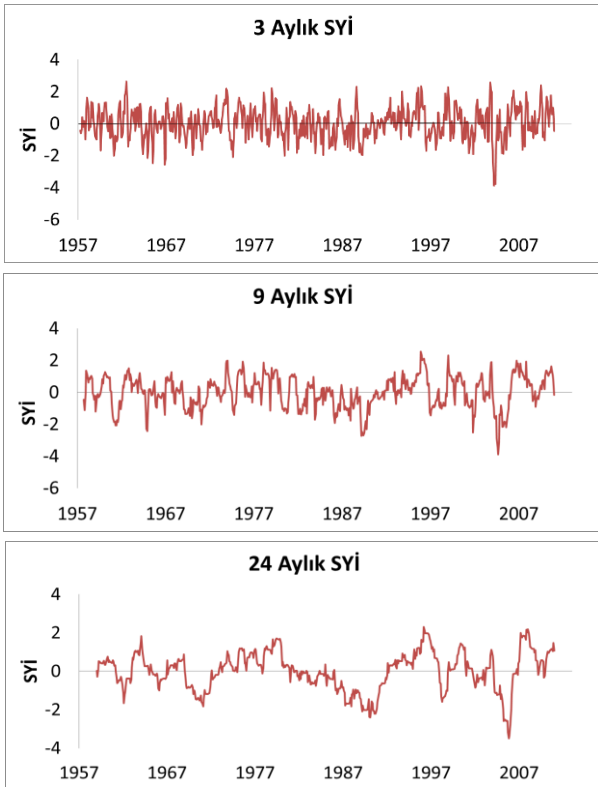
## 4 Bulgular

### 4.1 Standart yağış indeksi bulguları

Çalışmada SYİ hesabında 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman döngüleri dikkate alınmıştır. Yağıştaki azalmanın kuraklık üzerinde etkisinin hangi sürede devam edeceği öngörülemediğinden, farklı zaman döngüleri için analiz gerçekleştirilmiştir.

Sunulan çalışmada, mevsimlik değişim için 3 ve 6 aylık kısa döngü, yıllık değişim için 9 aylık orta döngü; uzun süreli kuraklık ölçütü olarak 12 ve 24 aylık SYİ değerleri incelenmiştir.

Tüm istasyonlar için elde edilen SYİ değerleri, Şekil 2'de İzmir istasyonu 3, 9 ve 24 aylık zaman döngüleri için sunulmuş olan gidiş grafikleri biçiminde elde edilmiştir. Genel olarak, tüm istasyonlar için SYİ değerleri incelendiğinde, gruplandırma değeri arttıkça, bekleneneği gibi kuraklığın tekrarlanma sayısı düşmekte, ancak etki süresi artmaktadır. Örneğin, üç ay gruplandırma döngüsü kullanıldığında kuraklık görülme sıklığı artarken (Şekil 2a), etkisi kısa süreli (5-6 ay) hissedilmektedir. Döngü arttıkça kuraklığın etki süresi (10-11 ay) artmakta (Şekil 2b ve c), ancak beklenildiği gibi görülme sıklığı azalmaktadır.

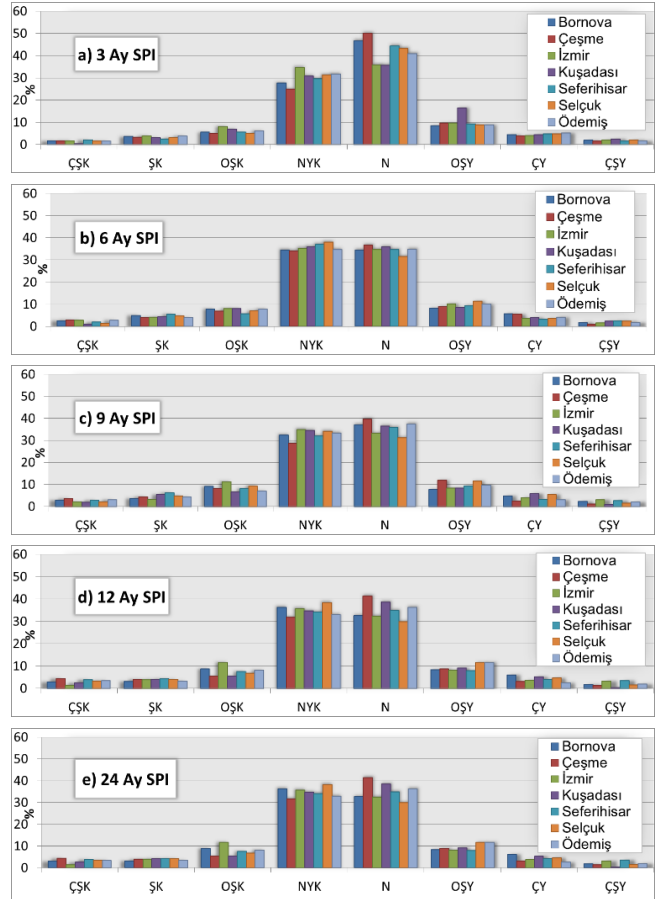


Şekil 2: İzmir istasyonu için 3, 9 ve 24 aylık zaman döngüleri için SYİ gidişleri.

Kuzey Ege Bölgesinde Küçük Menderes için 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman döngülerinde SYİ'nin oransal frekansı Şekil 3a ilâ 3e'de verilmiştir.

Kurak, normal ve sulak dönemler zamanın yüzdesi cinsinden tanımlanarak (Şekil 3) istasyon bazında kıyaslama yapıldığında; SYİ hesabında kullanılan döngünün (3 ilâ 24 ay) yarattığı anlamlı bir fark görülmemiştir. Ancak, kısa döngülerde (3-6 ay) normale yakın ve orta şiddetli kuraklıklar daha çok görülürken (Şekil 3a ve b), SYİ hesabında kullanılan süre arttıkça (12-24 ay), aynı istasyonlarda şiddetli ve çok şiddetli kuraklığın frekansı artmaktadır (Şekil 3c ve d).

Standardize Yağış İndeksi bulgularına göre, Kuzey Ege Bölgesi'ndeki istasyonların kuraklık frekansları %35 ve %68 arasında; sulaklık oranları %12 ve %32 arasında, normal yağış oranları %8 ve %51 arasında değişmiştir. SYİ analiz sonuçlarına göre istasyon bazında kıyaslama yapıldığında, kurak, normal veya sulak dönemlerin oransal dağılımında istatistiksel açıdan anlamlı bir değişiklik görülmemiştir. Zaman döngülerine bağlı olarak, kısa sürede oluşan frekans dağılımlarının süre artışına bağlı olarak basıklaştığı (Şekil 3) görülmektedir.



Şekil 3: Küçük Menderes Havzası için; (a) 3 Aylık, (b) 6 Aylık, (c) 9 Aylık, (d) 12 Aylık ve (e) 24 Aylık zaman döngülerinde SYİ'nin oransal frekansı.

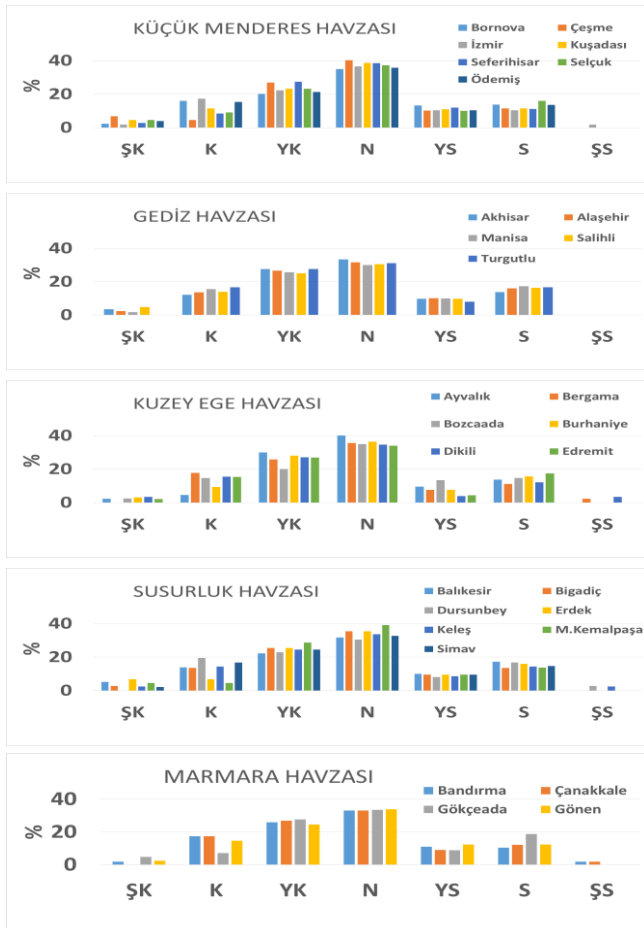
### 4.2 Paylaştırılmış entropi (PE) bulguları

Yağış ve paylaştırılmış entropi (PE) grafikleri benzer eğilimler göstermelerine rağmen, PE değerleri özellikle kurak dönemlerde alınan yağış etkisine daha duyarlı görünmektedir. Benzer şekilde, paylaştırılmış entropi değerleri toplam yağış

miktarı yüksek olmakla birlikte, yağışın yıl içindeki dağılımının çok çarpık olması durumunda SYİ gibi hızlı yükselmemektedir. PE gidışleri incelendiğinde, değerlerin yağışın yıl içinde dağılımına bağlı olarak değıştiği, aynı yağış miktarına sahip yıllar için, yağışın zaman dağılımına bağlı olarak farklı PE değerleri hesaplandığı görölmektedir.

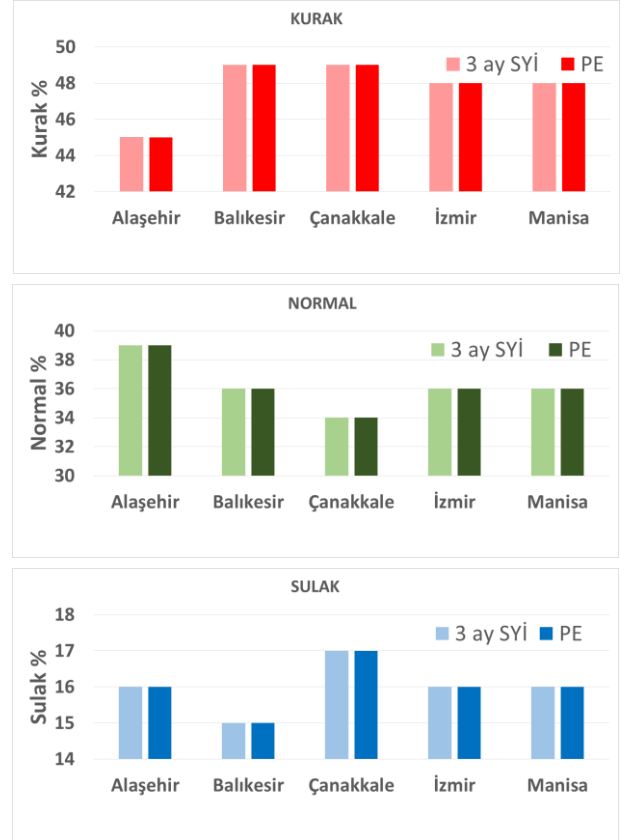
Kuzey Ege bölgesindeki istasyonlar için paylaştırmış entropi değerleri hesaplanmıştır. Paylaştırmış Entropi (PE) değerlerinin, oransal frekansları Şekil 4'te sunulmuştur.

Standardize yağış indeksinde olduğu gibi döngüler içermeyen, sadece zaman serisi olarak incelenen yağış dizisinin, ilgili yıl içindeki dağılımına bağlı olan PE değerleri, kısa dönem için hesaplanan SYİ değerleriyle uyumludur [12],[23]-[25]. Şekil 3 ile Şekil 4 (Küçük Menderes Havzası) aynı istasyonlar için hesaplanmış olan kuraklık indeksleri SYİ ile PE değerlerinin karşılaştırılmasından görülebileceği gibi, SYİ için sınıflandırma aralığındaki farklılıktan kaynaklanan küçük oransal değışimler dışında kısa süreli (3 ay) SYİ değerleriyle, PE değerleri oldukça uyumludur.



Şekil 4: Paylaştırmış Entropi Yöntemine göre hesaplanmış oransal frekanslar.

Kuzey Ege bölgesinde örnek bazı istasyonlar için PE ve 3 aylık SYİ değerlerinin kurak, normal ve sulak dönemler için karşılaştırılması Şekil 5'te verilmiştir. Kıyaslamada, tüm kurak-normal ve sulak dönemler dikkate alınmıştır. Bu sonuçlar, PE'nin kuraklık ölçütü olarak kullanılabilceği hususunda olumlu fikir vermektedir.



Şekil 5: Kuzey Ege Bölgesinde çeşitli istasyonların SYİ ve PE değerlerinin karşılaştırılması.

## 5 Sonuçlar

Kuraklık, yaz veya kış mevsiminde toplam yağışın ortalama değerlerinde bir azalma olarak algılanabilir. Kuzey Ege Bölgesi'nde istasyonlardan sağlanan uzun vadeli gözlem verilerinden hesaplanan SYİ gidışleri (Şekil 2) bölgede 20 yıllık periyotlarla gözlenen kuraklık dönemlerini göstermekte, her dip değeri bir öncekinden şiddetli bir kuraklığa işaret etmektedir. Dolayısıyla, çalışma bir kez daha su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından, kurak-sulak dönemlerin daha ayrıntılı çalışmalarla değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

PE kuraklık ölçütü olarak kullanılabilceğinde, dönemsel kuraklık sürecinde sadece yağışa bağlı kalmak yerine, yağışın zamana bağlı dağılımının kullanılması sonucunda önceki dönemlerden aktarılan hafıza ile zemin nemi/potansiyel evapotranspirasyon da değerlendirilebilecektir. Böylece, kuraklık indeksi olarak PE kullanıldığında, istasyon ölçeğinde döngüsel davranışın tanımlanabileceği öngörülmektedir.

SYİ de olduğu gibi sadece yağış miktarını değil, yağışın zaman dağılımını da dikkate alan PE indeksi sonuçları incelendiğinde, yıllık toplam yağış değerleri ve entropi gidışleri arasındaki ilişkinin azaldığı gözlenmiştir. Paylaştırmış entropi değerleri, yıllık toplam yağış değerlerine SYİ'den daha az bağımlıdır.

Ancak, çalışmada PE yöntemi ile SYİ yöntemi benzerliğinin sadece 3 aylık SYİ değerleri için gözlenebildiği görölmektedir. Bu nedenle, PE yönteminin uzun süreli döngüsel kuraklık hesabında güvenle kullanılabilceğini söylemek mümkün görölmemektedir. Bu konuda, yeni çalışmalar yapılması gerekmektedir.

## 6 Semboller

$H(X)$	: Marjinal entropi,
$H(X, Y)$	: Ortak entropi,
$H(X Y)$	: Koşullu entropi
$T(X, Y)$	: Transinformasyon,
$p(x_i)$	: Ayrık olasılık,
$p(x_i, y_i)$	: Noktasal olasılık,
$p(x_i y_i)$	: Koşullu olasılık,
$x$ ve $y$	: Aynı olasılık uzayında tanımlanmış iki bağımsız değişken,
$R$	: Aylık yağışların yıllık ortalaması
$r_i$	: Bir yılın $i$ . ayına ait ortalama yağışların toplamı,
$PE$	: Paylaştırılmış entropi,
$\overline{PE}$	: Ortalama paylaştırılmış entropi,
$\bar{X}$	: Uzun dönem için ortalama değer,
$\sigma$	: Uzun dönem için standart sapma.

## 7 Kaynaklar

- [1] Sırdaş S, Şen Z. "Spatio-temporal drought analysis in the Trakya region, Turkey". *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 48(5), 809-821, 2003.
- [2] McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. "The relationship of drought frequency and duration to time steps". *Preprints, 8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 17-22 January, 1993.
- [3] McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. "Drought monitoring of climate". *Geographical Reviews*, 38(1), 55-94, 1995.
- [4] Keyantash J, Dracup J. "The quantification of drought: An evaluation of drought indices". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1167-1180, 2002.
- [5] Wu H, Hayes MJ, Weiss A, Hu Q. "An evaluation of the standardized precipitation index, the China-Z index and the statistical Z-score". *International Journal of Climatology*, 21(6), 745-758, 2001.
- [6] Wu H, Hayes MJ, Wilhite DA, Svoboda MD. "The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation". *International Journal of Climatology*, 25(4), 505-520, 2005.
- [7] Vicente-Serrano SM, González-Hidalgo JC, DeLuis M, Raventos J. "Drought patterns in the Mediterranean area: the Valencia region (eastern Spain)". *Climate Research*, 26(1), 5-15, 2004.
- [8] Cancelliere A, DiMauro G, Bonaccorso B, Rossi G. "Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index". *Water Resources Management*, 21(5), 801-819, 2007.
- [9] Razieli T, Saghafian B, Paulo AA, Pereira LS, Bordi I. "Spatial Patterns and Temporal Variability of Drought in Western Iran". *Water Resources Management*, 23(3), 439-455, 2009.
- [10] Liu L, Hong Y, Bednarczyk NC, Yong B, Shafer AM, Riley R, Hocker EJ. "Hydro-Climatological Drought Analyses and Projections Using Meteorological and Hydrological Drought Indices: A Case Study in Blue River Basin, Oklahoma". *Water Resources Management*, 26(1), 2761-2779, 2012.
- [11] Zhang Q, Xiao M, Singh VP, Li J. "Regionalization and spatial changing properties of droughts across the Pearl River basin, China". *Journal of Hydrology*, 472-473, 355-356, 2012.
- [12] Bacanlı UG. "Entropy based assessment and Palmer drought severity index of drought analysis". *Scientific Research and Essays*, 7(44), 3823-3833, 2012.
- [13] Sensoy S. "Türkiye İklimi". 2000 DMİ web Sitesi. <http://www.meteor.gov.tr/2005/genel/iklim/turkiyeiklimi.htm> (2000).
- [14] Wehrl A. "General properties of entropy". *Reviews of Modern Physics*, 50(2), 221-260, 1978.
- [15] Schrader R. "On a quantum version of Shannon's conditional entropy". *Fortschritte der Physik*, 48(5-7), 747-762, 2000.
- [16] Shannon C, Weaver W. "The Mathematical Theory of Communication". The University of Illinois Press, Urbana, Illinois, 1949.
- [17] Singh VP. "The use of entropy in hydrology and water resources". *Hydrological Processes*, 11(6), 587-626, 1997.
- [18] Singh VP. *Entropy Measures, Maximum Entropy Principle and Emerging Applications*. Editors: Karmeshu. The Entropy Theory as a Decision Making Tool in Environmental and Water Resources, 261-297. Berlin, Almanya, Springer-Verlag, 2003.
- [19] Karmeshu Pal NR. *Entropy Measures, Maximum Entropy Principle and Emerging Applications*. Editors: Karmeshu. Uncertainty, entropy and maximum entropy principal-An overview, 1-53. Berlin, Almanya, Springer-Verlag, 2003.
- [20] Baran T, Bacanlı UG. "An entropy approach for diagnostic checking in time series analysis". *Water SA*, 33(4), 487-496, 2007.
- [21] Kawachi T, Maruyama T, Singh VP. "Rainfall entropy for delineation of water resources zones in Japan". *Journal of Hydrology*, 246(1-4), 36-44, 2001.
- [22] Maruyama T, Kawachi T, Singh VP. "Entropy-based assessment and clustering of potential water resources availability". *Journal of Hydrology*, 309(1-4), 104-113, 2005.
- [23] Bacanlı UG, Dikbas F, Baran T. "Entropi yöntemini kullanarak kuraklık parametrelerinin belirlenmesi: Kuzey Ege örneği". TÜBİTAK ÇAYDAG 107Y348 Proje Raporu, Ankara, Türkiye, 174, 2009.
- [24] Bacanlı UG. "Dryness characterization: A climatic water deficit approach in Turkey". *Fresenius Environmental Bulletin*, 20(3), 665-677, 2011.
- [25] Bacanlı UG, Dikbas F, Baran T. "Kuraklık analizinde entropi yöntemi". *VII. Ulusal Hidroloji Kongresi*, Isparta, Türkiye, 26-27 Eylül 2013.