SETSCI conference proceedings
SETSCI Conference Proceedings
9, 329-335, 2019

4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences
November 22-24, 2019, Samsun, Turkey

https://doi.org/10.36287/setsci.4.6.084
2687-5527/ © 2019 The Authors. Published by SETSCI

ISAS WINTER - 2019

Susurluk Havzası Akımlarının Hidrolojik Kuraklık Analizinde Standardize Akım İndeksi ve Paylaştırılmış Entropi Yöntemlerinin Kıyaslanması

Umut Okkan[1+*], ve Hatice Altun [2]

[1,2] *Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim Dalı, 10145, Çağış Kampüsü, Balıkesir*
[*]*Sorumlu Yazar: umutokkan@balikesir.edu.tr*
[+]*Konuşmacı: umutokkan@balikesir.edu.tr*
Sunum/Bildiri Türü: Sözlü / Tam Metin

Özet – Hidrolojik kuraklık su kıtlığını atfeden en önemli doğal afetlerden biri olup evrensel etkisi iklim değişikliği ile beraber giderek artmaktadır. Özellikle iklim modellerinin ve yağış-akış modellerinin ortak kullanılması ile gelecekteki kuraklık şiddetinin tahminlenmesi hidroloji literatüründe popüler konulardan biri olmaya başlamıştır. Bu bağlamda, öncelikle geçmiş dönem gözlenmiş verilerin analizi projeksiyon çalışmalarına temel teşkil etmektedir. Hazırlanan çalışmada Susurluk Havzası'nda doğal akım gözlemlerine sahip 10 adet istasyondan elde edilen 1981-2010 dönemi yıllık ortalama akımlara iki farklı indis vasıtasıyla kuraklık analizi uygulanmıştır. Pratikliği ve yaygın kullanımı bakımından standardize akım indeksi (SAI) yöntemi ve nispeten yeni bir kuraklık analizi aracı olan paylaştırılmış entropi (PE) uygulama kapsamında detaylı bir biçimde karşılaştırılmıştır. SAI ile elde edilen kurak, sulak ve normal iklim özelliklerine sahip dönemlerin oransal dağılımları esas alındığında, PE yaklaşımının uzun dönem hidrolojik kuraklık izleniminde tutarlı bir yaklaşım olmadığı gözlenmiştir. Yine aynı yöntem referans kabul edildiğinde, havza geneline sıklıkla normale yakın şiddetteki kuraklığın hakim olduğu görülmektedir. Ayrıca standardize indis değerlerine yapılan eğilim analizi sonuçları dikkate alındığında, kuraklık şiddetlerindeki eğilim yapıları yakın gelecekte yarı ve şiddetli kurak dönemlerin etkinliklerinin artacağına işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler – Hidrolojik Kuraklık, Standardize Akım İndeksi, Entropi, Susurluk Havzası.

Comparison of Standardized Runoff Index and Apportionment Entropy in Hydrological Drought Analysis of Susurluk Basin Flows

Abstract – Hydrological drought is one of the most essential natural hazards attributing water scarcity and its global impact increases due to the climate change. In particular, the usage of climate models and rainfall-runoff models for projecting the severity of future drought has become a popular issue in the hydrology literature. In this context, the primary analysis of the data monitored in the past period is surely the basis of projection studies. In the study prepared, hydrological drought analysis based upon two different indices have been applied to ten annual mean natural flow data obtained from streamflow gauging stations located at Susurluk Basin for 1981-2010 water year period. In the implementation phase, standardized runoff index (SRI), which was formerly used in terms of its practicality and prevalence, and relatively recent one termed as apportionment entropy (AE) were comprehensively compared. When proportional distributions pertaining to dry, wet and normal climatic characteristics, which were derived from SRI analysis, was considered, it was detected that AE approach was not such a suitable approach in the monitoring of long-term hydrological drought. When the same method was taken as a reference, it was determined that the drought classification being close to almost normal severity was prominent over the basin. Once the results of trend analysis exposed to standardized index values were also taken into account, the trend structures encountered in the drought frequencies have pointed out that activities of both semi-arid and extreme arid periods may increase in the near future.

Keywords- Hydrological Drought, Standardized Runoff Index, Entropy, Susurluk Basin.

I. GİRİŞ

Kuraklık, iklim değişikliği etkisiyle sıklığı ve şiddeti küresel ölçekte giderek artan bir doğal afet olmasına karşın tanımı hala net bir şekilde yapılamamıştır [1]. Buna ilişkin olarak, [2] çalışmasında kuraklığın tam anlamıyla analiz edilememiş önemli doğal afetlerden biri olduğunu ve çeşitli disiplinlere göre tanımının (meteorolojik veya hidrolojik) değişkenlik taşıyabileceğini vurgulamıştır. Genel olarak kabul gören tanımına göre, kuraklık yağışlardaki azalma sonucu, hidrolojik dengenin ve dolayısı ile su bütçesinin olumsuz etkilenmesine sebep olan doğal afet olarak tanımlanabilmektedir.

Tüm bunlarla birlikte, kuraklığın oluşum nedenleri fiziksel coğrafya unsurlarına da bağlı değişkenlik gösterebilmekte ve

bu bağlamda kuraklığı sadece yağış ölçümleri ile ilişkilendirerek analiz etmek yetersiz kalabilmektedir [3].

İlgili literatürde, kuraklığın zaman-mekân özelliklerini belirlemek için çeşitli göstergeler (indisler) önerilmiştir. Sadece yağış verisine bağlı indisler meteorolojik kuraklığın değerlendirilmesinde kullanılırken, akarsu akımları, zemin nemi içeriği ve yeraltusuyu depolaması gibi hidrometrik değişkenlerden "*hidrolojik kuraklık analizi*" kapsamında faydalanılmaktadır [2, 4]. Kuraklığın izlenimi ve analizinde birçok yöntem geliştirilmiş olmasına karşın, kullanım pratikliğine sahip bazı metotlar göze çarpmaktadır. Örneğin, standardize yağış indeksi [5], standardize akım indeksi [1, 6, 7], Palmer kuraklık şiddeti göstergesi [8], Thornthwaite kuraklık göstergesi [9] ve paylaştırılmış entropi [4, 10] gibi yöntemler bunlardan bazılarıdır.

Hazırlanan çalışmada, Susurluk Havzası'nda bulunan akım gözlem istasyonlarında 1981-2010 referans iklim döneminde gözlenen ait akım verilerine dayanarak hidrolojik kuraklık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu maksatla yaygın olarak kullanılan *standardize akım indeksi* (SAİ) ile nispeten yeni bir indis olan *paylaştırılmış entropi* (PE) sonuçları kıyaslanarak yöntem bazlı normal, sulak ve kurak dönem etkinlikleri arasındaki belirsizlikler vurgulanmıştır. Kullanılan veri, esas alınan indislere ait detaylar, bulgular ve sonuçlar sırasıyla aşağıdaki bölümlerde takdim edilmiştir.

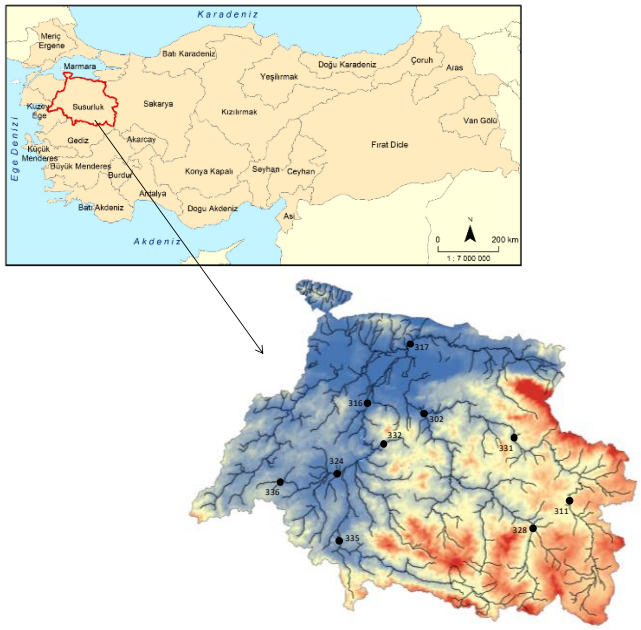
II. VERİLER VE UYGULAMA HAVZASI

Çalışma toplamda 24299 km^2 drenaj alanına sahip Susurluk Havzası'nda bulunan 10 adet akım gözlem istasyonu (AGİ) üzerinde gerçekleştirilmiştir. İstasyonlara ait doğal akımlar DSİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çalışma havzası Türkiye'nin kuzey batısında yer almakta olup, havzanın doğu kesiminde Murat, Gümeş, Yirce ve Uludağ gibi dağlar, güneyinde Simav ve Şaphane dağları, batısında Madra ve Deliçal dağları su ayrım çizgisi, kuzeyinde ise Karadağ ve Mudanya Tepeleri ile Marmara Denizi tarafından sınırlanmıştır. Nilüfer Çayı, Mustafakemalpaşa Çayı, Kille Çayı, Simav Çayı ve Kocaçay havzanın önemli akarsularıdır. Ormanlık ve yarı doğal alanların toplamdaki payı yaklaşık %63 iken havzada tarımsal faaliyetlere tahsis edilen alan toplam drenaj alanının yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır. Havzaya düşen yağışların büyük bir kısmı kış aylarında gözlenmekte olup yıllık yağış ortalaması 662 mm iken yıllık potansiyel evapotranspirasyon 980 mm civarındadır [11]. Havza üzerindeki içmesuyu ve sulama suyu kaynakları ile ilgili detaylı bilgilere ise [11]'de detayları verilen rapordan erişilebilir.

Çalışmada hidrolojik kuraklık analizinde esas alınan AGİ'lere ait istasyon numaraları, drenaj alanları, hangi su kaynağı üzerinde bulunduğu, koordinatları ve 1981-2010 su yılı dönemine ait uzun dönem akım ortalamaları Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de belirtilen uzun dönem ortalama akımlara göre Kocadere, Mustafakemalpaşa ve Simav çayları havzanın su potansiyelin büyük bir çoğunluğunu temsil etmektedir. AGİ'lerin havza üzerindeki konumları ise Şekil 1'deki sayısal yükselti modeli haritasında belirtilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan AGİ'lere ait bilgiler.

AGİ No.	AGİ Adı	Drenaj Alanı (km^2)	Nehri /Deresi/Çayı	Uzun Dönem Akım Ortalaması (m^3/s)
302	Döllük	9629.2	Mustafakemalpaşa	42.86
311	Küçükilet	1621.6	Orhaneli	4.77
316	Yahyaköy	6454.0	Simav	36.68
317	Akçasusurluk	21611.2	Kocadere	103.43
324	Balıklı	1384.0	Atnos	7.85
328	Dereli	1125.6	Emet	5.03
331	Dağgüney	3474.0	Orhaneli	14.32
332	Dereli	260.6	Darıçukuru	2.56
335	Armutlu	1964.9	Simav	10.38
336	Çukurhüseyin	281.2	Üzümlüçayı	2.27



Şekil 1. Çalışmada kullanılan AGİ'lerin havza üzerindeki konumları (göl ve baraj gölleri haritada belirtilmemiştir)

III. KULLANILAN KURAKLIK İNDİSLERİ

A. *Standardize Akım İndeksi (SAİ)*

SAI analizine referans olan standardize yağış indeksi SYI yöntemi [5] çalışmasında farklı zaman dilimlerinde meteorolojik kuraklığı belirlemek için önerilmiştir. Seçilen bir zaman süresinde birimsiz SYI indisinin değeri seçilen zaman aralığındaki yağışın (veya akımın) aritmetik ortalamadan olan farkının aynı zaman aralığındaki standart sapmaya bölümünden ibarettir. Ancak yağış ve akış gibi değişkenler normal dağılımdan ziyade iki parametreli Gamma dağılımına uyum gösterdiğinden yöntemin uygulanmasında bir modifikasyon önerilmektedir. Bu işlem sırası aşağıda özetlenmiştir.

- Gamma olasılık dağılımına ait α ve β parametreleri (şekil ve ölçek parametreleri) maksimum olabilirlik yöntemiyle tahmin edilir.
- Gamma dağılımına ait eklenik dağılım fonksiyonu G(x) hesaplanır.

- Gamma dağılım fonksiyonu x=0 için tanımlı olmadığından yağışsız/akışsız değerlerin gerçekleşme sıklığı olan q hesaba katılarak eklenik dağılım fonksiyonu güncellenir (H(x)=q+(1-q)G(x)). Çalışmada yıllık akımlar kullanıldığından q=0 olarak gözlenmiş ve H(x)=G(x) alınmıştır.
- Ardından G(x) değerleri Denklem 1 ve Denklem 2'de verilen eşitlikler ile yaklaşık olarak varyansı 1, ortalaması 0 olan standart normal değerlere (Z) dönüştürülür [12, 13, 7].

$$Z = SAI = \begin{cases} -\left(t - \dfrac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) & 0 < H(x) \le 0.5 \\ +\left(t - \dfrac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) & 0.5 < H(x) \le 1 \end{cases} \quad (1)$$

$$t = \begin{cases} \sqrt{\ln\left(\dfrac{1}{H(x)^2} \right)} & 0 < H(x) \le 0.5 \\ \sqrt{\ln\left(\dfrac{1}{(1-H(x))^2} \right)} & 0.5 < H(x) \le 1 \end{cases} \quad (2)$$

Burada c_0=2.515517; c_1=0.802853; c_2=0.010328; d_1=1.432788; d_2=0.189269; d_3=0.001308 olarak tanımlanmıştır [13].

Yukarıda listelenen prosedür uygulandıktan sonra, elde edilen Z değerlerine bağlı olarak kuraklık sınıfı hakkında karar verilir. Yöntemde kullanılan kuraklık-sulaklık şiddeti kategorileri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. SAI yönteminde Z'nin üst ve alt limitler arasında ait olduğu kuraklık sınıfları [5, 6].

Üst limit	Alt limit	Sınıfı
∞	2.0	Çok Şiddetli Sulak (S1)
1.99	1.50	Şiddetli Sulak (S2)
1.49	1.0	Orta Şiddetli Sulak (S3)
0.99	0	Normal (N)
0	-0.99	Normale Yakın Kurak (K1)
-1.0	-1.49	Orta Şiddetli Kurak (K2)
-1.50	-1.99	Şiddetli Kurak (K3)
-2.0	-∞	Çok Şiddetli Kurak (K4)

Tablo 3. Paylaştırılmış entropi yönteminde PE hesap değerinin üst ve alt limitler arasında ait olduğu kuraklık sınıfları [4].

Üst limit	Alt limit	Sınıfı
∞	$\overline{PE} + (2\sqrt{Var(PE)})$	Şiddetli sulak (ŞS)
$[\overline{PE} + (2\sqrt{Var(PE)})]$	$[\overline{PE} + (\sqrt{Var(PE)})]$	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)
$\overline{PE} - (2\sqrt{Var(PE)}$	-∞	Şiddetli Kurak (ŞK)

B. *Paylaştırılmış Entropi (PE) Yaklaşımı*

Bilgi kuramı içerisinde *entropi*, bir gözlem sonucunda süreç ile ilgili edinilen bilgi içeriğini temsil etmektedir. Hidroloji ve su kaynakları mühendisliğinde, rastgele karakterdeki süreçlerin içerdiği belirsizlikler, parametrelerin kestirimi, havzanın fiziki coğrafya unsuları vb. gibi alanlarda değerlendirilen entropi yaklaşımı ile ilgili detaylar [4] çalışmasında verilmiştir. *Paylaştırılmış Entropi* (Apportionment Entropy-PE) yaklaşımı ise, zaman dizisi olarak verilen hidrolojik bir değişkenin (yağış, akım vb.) nispi frekanslarına bağlı olarak kuraklık analizi kapsamında [14], [15], [4] ve [10] çalışmalarında uygulanmıştır. [4] çalışmasına göre, yöntem süreç hakkında kazanılan bilgiyi zaman serisi olarak değerlendirme olanağı sunmaktadır. Çalışmada PE yaklaşımını 12 aylık (yıllık) SAI ile karşılaştırabilmek için, her bir su yılı için ortalama akımlar bulunduktan sonra bunların da yıllar arası uzun dönem ortalaması olan R_{ort} hesabına geçilir. Bu değer [4] çalışmasında belirtilen *marjinal entropi* ifadesine benzer şekilde nispi frekans hesabının yapılmasında değerlendirilir. Sonuç olarak, *paylaştırılmış entropi* (*PE*) su dönemi içerisindeki ortalama akım verileri kullanılarak *m* yılı için Denklem 3'teki gibi ifade edilir.

$$PE_m = -\sum_{i=1}^{12} (r_i / R_{ort}) \log_2 (r_i / R_{ort}) \quad (3)$$

Burada, $\log_2$ 2 tabanında alınmış logaritmayı, r_i i numaralı aya ait ortalama akımı temsil etmektedir.

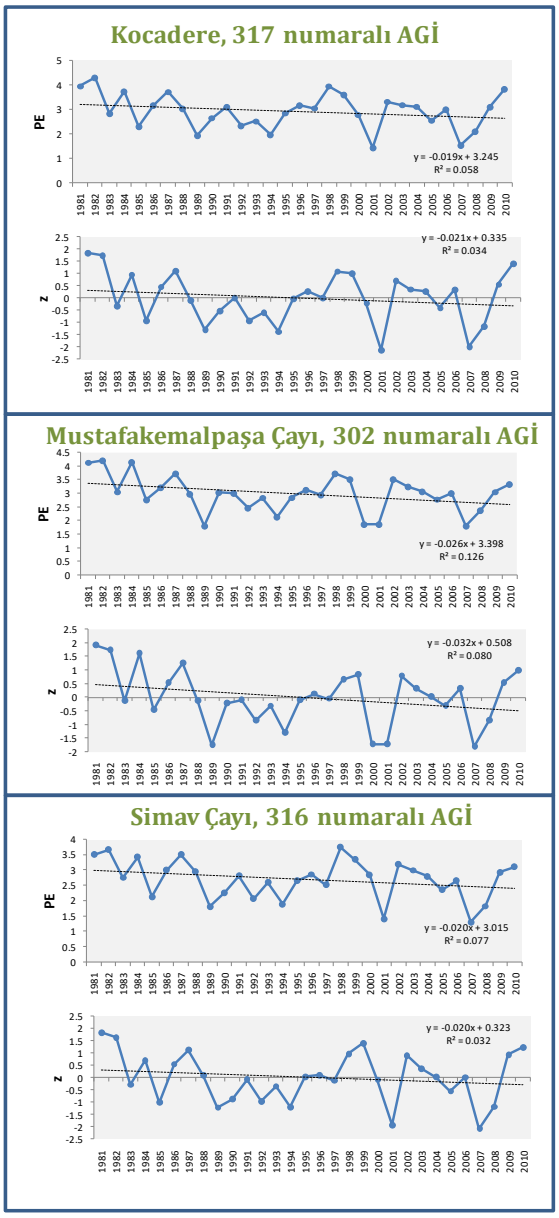
Her bir su yılı için Denklem 3'ün uygulanmasını takiben, hesaplanan her bir yıllık *PE* değerinin uzun dönem ortalama *PE*'ye uzaklığına bağlı olarak kuraklık indeksi sınıflandırılması yapılmaktadır [4, 10]. Yıllık ortalama akımların dağılımının normal dağılıma yakınsayacağı kabul altında, uzun dönem (*N* yıl adedi olmak üzere bu çalışmada *N*=30 yıllık) *PE* değerlerinin ortalaması (beklenen değeri) ve varyansı Denklem 4 ve Denklem 5 ile hesaplandıktan sonra, ilgili kuraklık indeksi sınıflandırması Tablo 3 yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

$$\overline{PE} = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{m=1}^{N} PE_m \quad (4)$$

$$Var(PE) = \left(\frac{1}{N-1}\right) \sum_{m=1}^{N} (PE_m - \overline{PE})^2 \quad (5)$$

IV. BULGULAR

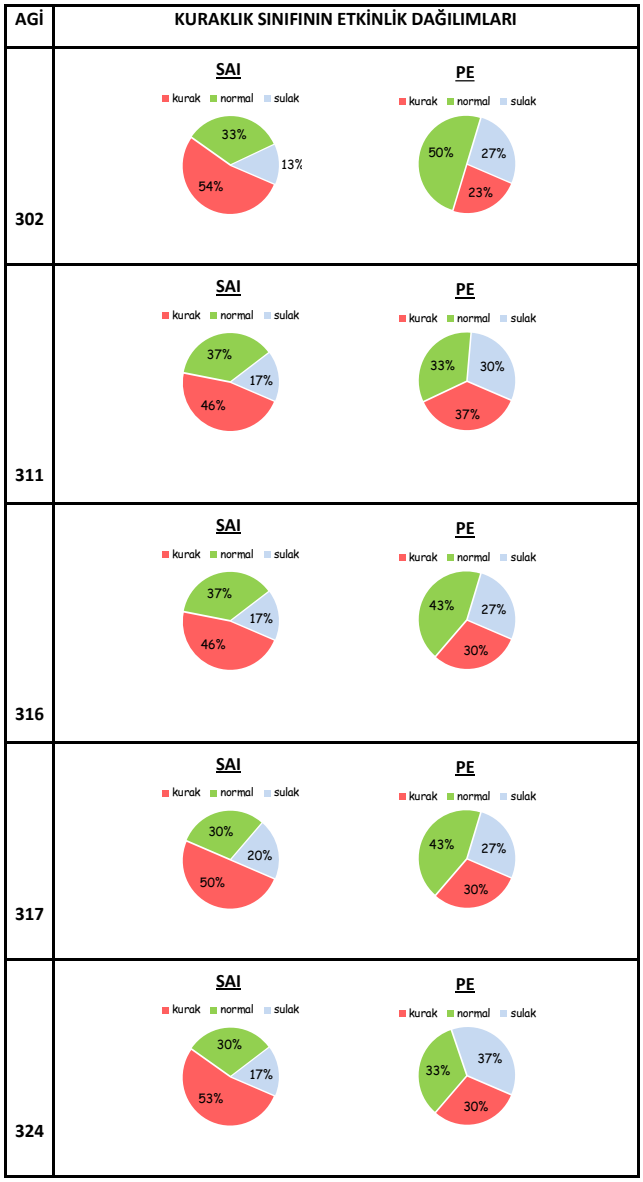
Çalışmada Tablo 1'de belirtilen AGİ'lerde her bir su yılı için ortalama akımlar hesaplandıktan sonra, 1981-2010 referans iklim dönemine bağlı derlenen bu yıllık ortalama akım verileri sırasıyla önceki bölümde detayları açıklanan SAI ve PE yöntemlerine tabi tutulmuştur. Havza üzerinde akım potansiyeli bakımından ağırlığı daha fazla olan Kocadere, Mustafakemalpaşa Çayı ve Simav Çayı üzerinde yer alan 317, 302 ve 316 numaralı AGİ'lere ait SAI (Z değerleri) ve PE değerleri 1981-2010 dönemi boyunca gidiş grafiği olarak Şekil 2'de sunulmuştur. Tablo 2 ve Tablo 3'te görülebildiği üzere Z ve PE değerlerinin azalması ile kuraklık şiddeti artış göstermektedir. Şekil 2'deki istasyon örnekleri için belirtilen doğrusal trend çizgilerinin her bir yöntem altında negatif eğimde oluşu kuraklık şiddetlerinin zamana göre artış yönünde olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 2. Kocadere, Mustafakemalpaşa Çayı ve Simav Çayı üzerinde yer alan 317, 302 ve 316 numaralı AGİ'ler için hesaplanan SAI ve PE değerlerinin yıllara bağlı değişimi.

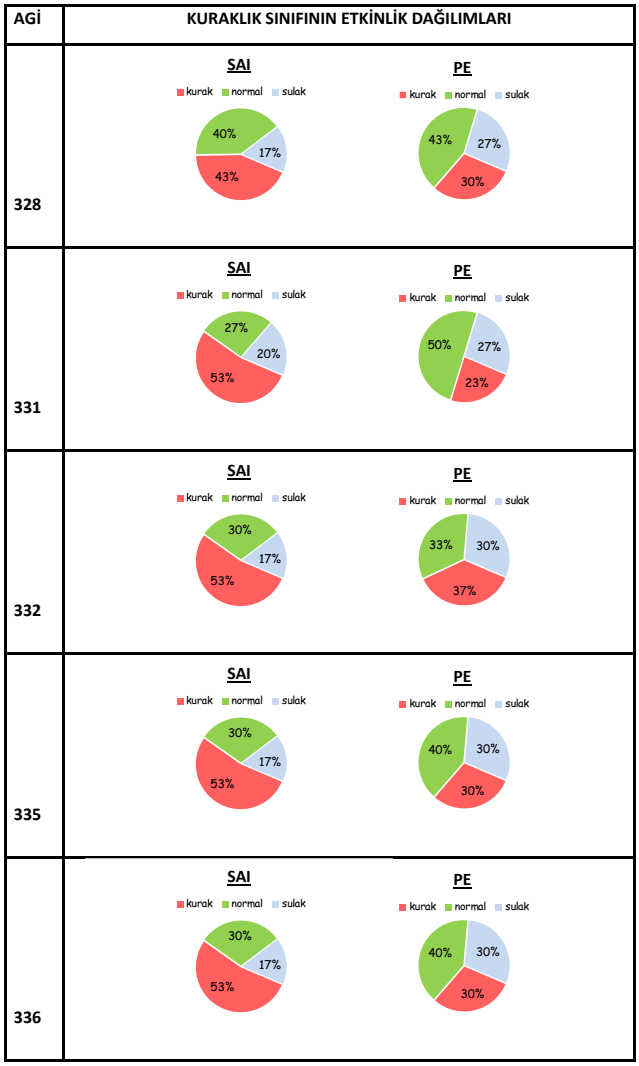
Bu aşamada indisler ile zaman ekseni arasında elde edilen doğrusal regresyon bağıntılarına ilişkin korelasyon katsayılarının ve dolayısı ile kuraklık şiddetindeki zamansal değişimin %90 güven düzeyinde anlamlı olup olmadıkları sınanmıştır. Sınama işlemi *t* trend testi ile gerçekleştirilmiş olup, bu sonuçlara göre, tüm istasyonlarda ve her bir yöntem altında indislerin azalış eğiliminde olması kuraklık şiddetinin de artış eğiliminde olduğunu göstermektedir. Ortak bu eğilim yönüne ilaveten akarsuların çoğunluğunda (Mustafakemalpaşa Çayı, Orhaneli Çayı ve küçük drenaj alanlı Emet ve Darıçukuru Çayları hariç) zamana bağlı kuraklık şiddetindeki değişimlerin istatistiksel açıdan anlamlı düzeyde olmadığı da göze çarpmaktadır. Diğer yandan, PE yönteminin SAI yöntemine kıyasla daha kötümser olduğu zamana bağlı elde edilen korelasyon katsayılarından anlaşılmıştır. 10 AGİ'de ortak gözlenen negatif eğilim çizgisini tetikleyen en önemli unsurun 2001 ve 2007 su yılında gözlenen düşüm akımlar olduğu tespit edilmiştir.

Kuraklık şiddetlerinin zamana göre sınanmasının yanı sıra, Tablo 2 ve Tablo 3'e göre, kurak, sulak ve normal nitelikli peryotların toplam gözlem süresi içindeki etkinlik payları da çalışmada ayrıca irdelenmiştir. Tablo 2 ve Tablo 3'te belirtilen kategoriler nispeten farklı derecelendirilmiş olduğundan SAI'deki S1+S2+S3=PE'deki ŞS+S+YS iken SAI'deki K1+K2+K3+K4= PE'deki YK+K+ŞK olarak kabul edilmiştir. Kuraklık şiddetlerinin farklı kategoriler altında yüzdesel dağılımları Şekil 3'te pasta grafik olarak verilmiştir.

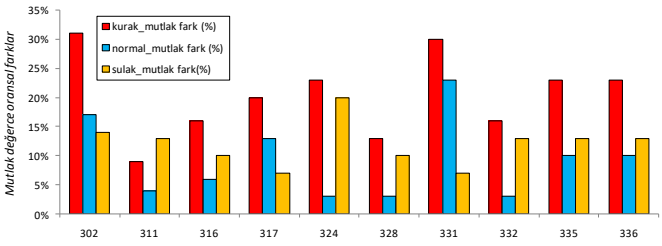


Şekil 3. Havzadaki AGİ'lerde kurak, normal ve sulak dönem etkinliklerinin SAI ve PE yöntemlerine bağlı kıyaslanması

Şekil 3'e göre yıllık zaman ölçeğinde indislerden elde edilen kurak, sulak ve normal dönem paylarının birbirlerinden çok farklı oldukları net bir biçimde görülebilmektedir. SAI ve PE indislerince elde edilen oransal farkları daha rahat görebilmek amacıyla pasta grafikte verilen oranların mutlak farkları Şekil 4'te belirtilmiştir.



Şekil 3 (devamı). Havzadaki AGİ'lerde kurak, normal ve sulak dönem etkinliklerinin SAI ve PE yöntemlerine bağlı kıyaslanması



Şekil 4. SAI ve PE yöntemlerinden elde edilen kurak, normal ve sulak dönem etkinliklerinin mutlak farklarının AGİ'lere bağlı değişimi (yatay eksen istasyon numaralarıdır).

Şekil 4'ten yöntemlerin en çok kurak dönemde farklılık sergilediği görülebilmektedir. Kurak dönem uzunlukları için hesaplanan mutlak farkların istasyonlar arası ortalaması %20 mertebelerinde çıkmıştır. Hatta bu fark 302 ve 331 no.lu AGİ'lerde %30 seviyelerine erişmiştir. Normal ve sulak dönem uzunlukları için hesaplanan mutlak farkların istasyonlar arası ortalaması ise %10 civarındadır. SAİ indeksinin literatürde sıklıkla atfedilen ve esas teşkil eden bir yöntem olduğu düşünüldüğünde, PE yönteminin SAI yönteminin alternatifi olacak niteliğe sahip olmadığı belirgin biçimde görülebilmektedir.

SAI indisi temel alındığında havza genelinde kurak dönemlerin, normal dönemlerin ve sulak dönemlerin 1981-2010 döneminde sırasıyla %50, %32 ve %18 oranlarda etkinliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Söz konusu oranlar AGİ'lerin drenaj alanlarına bağlı olarak ağırlıklı ortalama cinsinden hesaplanmıştır). Ayrıca kurak dönem etkinlik yüzdelerinin istasyonlar arası değişkenlik katsayısının %8, normal ve sulak dönem etkinlik yüzdelerinin istasyonlar arası değişkenliklerinin ise sırasıyla %13 ve %11 civarında seyretmesi havza genelinde klimatolojik rejimin neredeyse eşdeğer olduğuna işaret etmektedir. Çalışmada SAI indisini esas alarak sulak ve kurak dönemler kendi alt kategorileri içerisinde de incelenmiştir. Buna göre havza çok şiddetli sulak (S1) dönem neredeyse yaşamamıştır. Şiddetli sulak (S2) ve orta şiddetli sulak (S3) dönemler ise yaklaşık olarak eşit frekansta seyretmiştir. Diğer yandan, çok şiddetli ve şiddetli kurak (K4 ve K3) dönemlerin havza genelinde etkinliği %4 civarında iken havza genelindeki kuraklığın çoğunlukla normale yakın şiddetteki kuraklıktan (K1) oluştuğu tespit edilmiştir (istasyonlar arası ortalama %33 civarında). Orta şiddette yaşanan kurak dönem uzunluğu (yarı-kurak dönem uzunluğu) ise toplam kurak geçen dönemlerin %10'unu temsil etmektedir. Tüm bu tespitlerle beraber, Şekil 2'de vurgulanan eğilim çizgilerinin iklim değişikliği etkisi ile gelecekte daha da belirginleşeceği öngörüldüğünde, K2, K3 ve K4 tipi kuraklık kategorilerinin havza üzerindeki etkinliklerinin artması kaçınılmaz olacaktır.

V. SONUÇLAR

Gelecekte iklimdeki olası değişikliklerin kuraklık üzerindeki etkilerini ve buna bağlı su kaynaklarının kullanılabilirliğini sorgulamak için geçmiş dönem gözlenmiş hidrolojik kuraklıkların özelliklerini araştırmak oldukça önemli bir temeli teşkil etmektedir. Hazırlanan çalışmada iki farklı indis kullanılarak Susurluk Havzası yıllık ortalama akımlarına hidrolojik kuraklık analizi uygulanmıştır. Literatürde hidrolojik kuraklığın izlenmesinde ve simülasyonlarda sıklıkla kullanılan standart akım indeksi (SAİ) bu çalışmada da referans alınmış ve nispeten yeni bir yaklaşım olan, [4] çalışmasında yağışlar için uyarlanan paylaştırılmış entropi (PE) yaklaşımı ile kıyaslanmıştır. Çeşitli değerlendirmeler neticesinde, SAİ ile PE yaklaşımının bariz bir şekilde birbirlerinden farklı kuraklık kategorilerini işaret ettikleri görülmektedir. SAİ kuraklık sınıflandırılması açısından referans bir yöntem olarak kabul edilirse, PE yaklaşımının Susurluk havzası akımları özelinde tutarlı olmadığı ortadadır. Benzer bir tespit [4] çalışmasında Kuzey Ege Havzası yağışları için yapılmıştır. Araştırmacıların çalışmasında, hesaplanan PE değerleri, yıllık toplam yağış değerlerine standart yöntemden daha az bağımlı bulunmuş fakat buna karşın yıllık (12 aylık) veri kullanan PE yöntemi ile yalnızca 3 aylık veri kullanan referans yöntemin tutarlı düzeyde olduğu belirtilmiştir. Başka havzalardaki akım ve/veya meteorolojik değişkenlerde farklı tepkiler elde edilebilme ihtimali mümkün olsa bile, [4] çalışmasını destekleyen bir görüş olarak, PE yönteminin uzun dönem döngüsel hidrolojik kuraklık analizinde kullanılması için ekstra uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır.

SAI yaklaşımını esas alarak standart bir hidrolojik yorum getirilecek olursa, havza genelinde 1981-2010 döneminin yaklaşık yarısının kurak geçtiği tespit edilirken yalnızca %17 gibi düşük bir oranın sulak karakteristikli geçtiği gözlemlenmiştir. Gelecek çalışmalarda farklı indislerin de

karşılaştırılması sağlanarak, referans yöntem ile uyumlu yaklaşımların sorgulanması planlanmaktadır. Ayrıca akım tahmin modelleri ile iklim senaryoları altında akım projeksiyonlarına geçilmesi ve akabinde türetilen senaryo akımlara hidrolojik kuraklık analizi yapılması ülkemiz su kaynakları araştırmacılarına ve yetkili kurumlarına faydalı olacaktır. Bu kapsamda Gediz ve Küçük Menderes Havzalarında yapılmış çalışmaların [7, 16, 17] bir benzerinin daha detaylı yöntemler ile Susurluk Havzası'nda uygulanması gelecek dönemki çalışmalarımızın konusu olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Shukla, S., & Wood, A. W. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. Geophysical Research Letters,35(2). doi:10.1029/2007gl032487

[2] Şen, Z. (2009). Kuraklık, afet ve modern hesaplama yöntemleri (1. Baskı). İstanbul: Su Vakfı Yayınları.

[3] Hong, X., Guo, S., Zhou, Y., &Xiong, L. (2014). Uncertainties in assessing hydrological drought using streamflow drought index for the upper Yangtze River basin. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment,29(4), 1235-1247. doi:10.1007/s00477-014-0949-5

[4] Bacanlı, Ü G., Baran, T., & Dikbaş, F. (2017). Applicability of apportionment entropy as a drought index. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences,23(3), 232-237. doi:10.5505/pajes.2016.80664

[5] Mckee, T.B., Doesken, N.J. &Kleist, J. (1993) The Relationship of Drought Frequency and Duration Times Scales. American Meteorological Society. 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 Janvier, Anaheim, 179-184.

[6] Trambauer, P., Maskey, S., Werner, M., Pappenberger, F., Beek, L. P., & Uhlenbrook, S. (2014). Identification and simulation of space-time variability of past hydrological drought events in the Limpopo river basin, Southern Africa. Hydrology and Earth System Sciences Discussions,11(3), 2639-2677. doi:10.5194/hessd-11-2639-2014

[7] Okkan, U. & Kırdemir, U. (2016a) Standardize Akım İndeksi SRI ile RCP8.5 Senaryosu Altında Hidrolojik Kuraklık Analizi. Uluslararası Doğal Afetler ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16) , 2-4 Mart 2016, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 472-478.

[8] Palmer, W.C.(1965). Meterological Drought. US Department of Commerce, WeatherBureau, Washington, DC., USA, Researchpaper no.45, 1-58.

[9] Thornthwaite, G.W., (1948). An Approach Toward A Rational Classification of Climate, Geographical Review, 38, 55-94.

[10] Bacanlı Ü.G, Dikbas F & Baran T. (2013). Kuraklık analizinde entropi yöntemi. VII. Ulusal Hidroloji Kongresi, Isparta, Türkiye, 26-27 Eylül 2013.

[11] SYGM (2016). T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, Proje Nihai Raporu (Ek-5). 147sf.

[12] Abramowitz, M. & Stegun, I.A. (1965). Handbook of mathematical functions, with formulas, graphs, and mathematical tables. Dover Publications, Dover.

[13] Liu, L., Hong, Y., Bednarczyk, C. N., Yong, B., Shafer, M. A., Riley, R., & Hocker, J. E. (2012). Hydro-Climatological Drought Analyses and Projections Using Meteorological and Hydrological Drought Indices: A Case Study in Blue River Basin, Oklahoma. Water Resources Management,26(10), 2761-2779. doi:10.1007/s11269-012-0044-y

[14] Kawachi, T., Maruyama, T., & Singh, V. P. (2001). Rainfall entropy for delineation of water resources zones in Japan. Journal of Hydrology,246(1-4), 36-44. doi:10.1016/s0022-1694(01)00355-9

[15] Maruyama, T., Kawachi, T., & Singh, V. P. (2005). Entropy-based assessment and clustering of potential water resources availability. Journal of Hydrology,309(1-4), 104-113. doi:10.1016/j.jhydrol.2004.11.020

[16] Okkan, U. & Kırdemir, U. (2016b) Downscaling of monthly precipitation using CMIP5 climate models operated under RCPs. Meteorological Applications, 23(3), 514-528.

[17] Okkan, U. & Fıstıkoğlu, O. (2013) Standart Yağış İndeksi ve Thornthwaite Yağış Etkinliği Yöntemleri ile Bir Havzanın Gelecek Dönem Kuraklık Sınıflarının Belirlenmesi. 3. Uluslararası Bursa Su Kongresi ve Sergisi, 22-24 Mart 2013, Merinos Atatürk Kongre ve Kültür Merkezi, Bursa, Türkiye, 150-155.