

BÜTÜNLEŞİK KURAKLIK İNDEKSİ İLE AKSARAYDA HİDROMETEOROLOJİK KURAKLIK ANALİZİ

Mehmet Ali HINIS

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray
mhinis@aksaray.edu.tr

(Geliş/Received: 15.10.2012; Kabul/Accepted: 07.03.2013)

ÖZET

Bu çalışmada, yeni bir kuraklık indeksi olarak teklif edilen “Bütünleşik Kuraklık İndeksi” (BKİ) kullanılarak Aksaray ili için kuraklık analizi yapılmıştır. Kuraklık analizi için literatürde teklif edilen pek çok indeks arasında en çok kabul gören “Normalleştirilmiş Yağış İndeksi” (NYİ) metodu ile BKİ metodu karşılaştırılmış ve farkları ortaya konulmuştur. BKİ metodu ile kuraklık analizi için 1969-2000 yılları arasındaki toplam 372 aylık yağış, akarsu debisi, buharlaşma ve sıcaklık verileri kullanılmıştır. Akarsu akım verisi olarak Karasu nehri aylık akım toplamları kullanılmıştır. Sadece aylık yağış verileri ile hesaplanabilen ve yorumlama kolaylığı açısından yaygın olarak kullanılan NYİ metodu ile BKİ metodu arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur. Çoklu zaman dilimleri için hesaplanabilen ve yüzey suyu, yağış gibi parametrelerin uzun dönem değişimleri ile ilişkilendirilen NYİ metodu ile 1950-2008 yılları arasındaki bu değişimlerde çalışmanın ikinci bölümünde incelenmiştir. BKİ sonuçlarında sulak ve kurak dönemler arası geçişlerin daha sık hesaplandığı ve daha şiddetli sulak dönemler bulunduğu görülmüştür. Aylık kuraklık karşılaştırmalarda BKİ ile Karasu akım verisi arasında Şubat ve Ekim aylarında uyum bulunamamış, Nisan, Mayıs aylarında en iyi uyum bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bütünleşik Kuraklık indisi, Normalleştirilmiş Kuraklık indisi, Aksaray,

HYDROMETEOROLOGICAL DROUGHT ANALYSIS IN AKSARAY BY AGGREGATE DROUGHT INDEX

ABSTRACT

A drought analysis is carried out for Aksaray city by utilizing a recently developed drought index namely “Aggregate Drought Index (ADI)” in this study. Among the numerous drought indices in the literature, the one widely used and accepted for drought studies is a Standardized Precipitation Index, (SPI). ADI and SPI are calculated for Aksaray and differences are compared in this study. In order to assess the ADI, 372 monthly values of precipitation, streamflow, evapotranspiration and temperature data are used for the duration of 1969-2000 period. Monthly total volume of Karasu river data near Aksaray is utilized for streamflow data. SPI is on the other hand depends only on precipitation values and it can be interpreted easily. Therefore the attention is brought on the differences in the results of two drought indices. In the second part of the study, SPI analysis is carried out for the period of 1950-2008 for multiple time scales which is associated for long term anomalies of streamflow and precipitation parameters. Frequent upcrossings in the ADI series results of wet and dry seasons were obtained and more pronounced severe wet seasons than SPI series are observed. In monthly comparison of ADI and Karasu flow data, there are better consistencies in the months of April and May and poorest fit in February and October monthly results.

Keywords: Aggregate drought index, Standardized drought index, Aksaray

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kuraklık su kaynakları yönetiminde ve planlanmasında büyük öneme sahip olan ve toplum

hayatını tehdit eden tabii bir afettir. Tarımsal üretimden sosyo-ekonomik yapıya kadar uzanan alanda büyük ekonomik kayıplara, göçlere ve ölümlere sebep olan kuraklığın belirlenmesi ve

hesaplanabilmesi için literatürde pek çok tanım verilmiş, sınıflandırmalar ve indisler teklif edilmiştir. Bunlar arasında kuraklık ile çalışan değişik meslek grupları tarafından üzerinde uzlaşılan en genel tanım için “kuraklık; normal seviyenin veya belirli bir ortalamanın altındaki su kıtlığı” olarak verilebilir. Hidrolojik çevrimi oluşturan unsurların kuraklığın ortaya çıkışı ve yayılması ile olan yakın ilişkisi sebebiyle kuraklık sınıflandırması ve hesaplanması ile ilgili indisler geliştirilmiştir. Yağış azlığı ile ortaya çıkan durum için *Meteorolojik Kuraklık*; zemin nemindeki azalma sonucu bundan etkilenen tarımsal ürünlerdeki azalmaya bağlı olarak ortaya çıkan durum için *Tarımsal Kuraklık*; yağışın akışa geçmesi ile beslenen akarsu, göl gibi yerüstü ve yeraltı suyu kaynaklarındaki su seviyesinin ihtiyacın altına inmesi ile ortaya çıkan durum için *Hidrolojik Kuraklık* ve su kaynaklarındaki eksikliğin sonucu ekonomik mallarda arzın talepten az olması sonucu ortaya çıkan durum için *Sosyoekonomik Kuraklık* tarif edilmiştir [2], [3].

Toplum hayatında pek çok sektörü etkilemesi ve geniş bir alana yayılması özellikleri ile kuraklık diğer doğal afetlere göre daha fazla zarar vermektedir. Bu özelliği ile dünyada dikkatleri üzerine çeken ve takip edilmesi için ulusal ve uluslar arası kurumlarda koordinasyon programları yapılan kuraklığın verdiği zararlar çarpıcıdır. 1988 yılında Amerika’da meydana gelen kuraklık ekonomik olarak 40 Milyar dolar zarar vermiştir. Bu zarar 1989 yılında meydana gelen San Fransisco depreminin verdiği zararın 2-3 katıdır. 2003 yılında Avrupa’da görülen kuraklığın ekonomik zararının en az 8.7 Milyar Euro olduğu rapor edilmiştir. 1997 yılında Çinde meydana gelen şiddetli kuraklığın 227 gün sürdüğü ve bu sürede Sarı Irmak’ta (Yellow River) hiç akım bulunmamasının kayıtlardaki en uzun süre olduğu belirtilmiştir. 2000 yılında Kuzey Çin’de meydana gelen kuraklığın 40 Milyon hektarlık bir alana etkilediği ve bunun sonucunun su kesintileri, çölleşme ve kum fırtınalarını tetiklediği rapor edilmiştir. 2006 yılında Avustralya’da meydana gelen kuraklığın tahıl üretimini %36 oranında azalttığı ve bunun ekonomik olarak yaklaşık 3,5 Milyar Avustralya Doları etkisi olduğu belirtilmiştir [4]. Kuraklık, başlangıcının tespit edilmesindeki güçlük, etki alanının hızla büyüyerek genişlemesi, daha fazla insanı etkilemesi ve yapmış olduğu zararların direk olarak tespitindeki güçlüklerle rağmen diğer doğal afetlere göre daha fazla ekonomik zarar vermesi gibi sebepler ile, dünyada etkili olan 31 çeşit doğal afet arasında tehlike açısından ilk sıraya yerleştirilmiştir [5].

Bu çalışmada Aksaray ili için hidrometeorolojik kuraklık analizi, Bütünleşik Kuraklık İndisi (BKİ) yöntemi ile incelenmiş ve sonuçlar NYİ metodu ve Karasu akım debileri ile karşılaştırılmıştır. NYİ hesaplanması için 1950-2008 yılları arasındaki aylık yağış verileri, BKİ hesaplanmasında ise, 1969-2008 yılları arasındaki aylık yağış, akım debisi, sıcaklık ve

1975-2008 yılları arasındaki Nisan-Ekim dönemine ait buharlaşma verileri kullanılmıştır.

2. VERİ (MATERIALS)

Aksaray 33°-35° doğu meridyenleri ve 38°-39° kuzey paralelleri arasında yer alan, denizden ortalama 980 metre yükseklikte 7,721 km² yüzölçümünün %54.4’ü tarıma elverişli yarı-kurak iklim kuşağında olan bir Orta Anadolu ilidir. Kuraklık indisi hesaplamalarında, 1950-2008 yılları arası aylık yağış toplamları, 1975-2008 yılları arası aylık açık yüzey buharlaşması ve aylık ortalama sıcaklık verileri Aksaray ili meteoroloji müdürlüğünden, 1969-2008 yılları arası Karasu nehri aylık debi toplamları ise DSİ Müdürlüğünden temin edilmiştir.

3. YÖNTEM (METHOD)

Yağış azlığı sebebiyle ortaya çıkan kuraklığı tanımlamada kullanılan Meteorolojik kuraklık sona erse bile nehir, göl, rezervuar gibi yüzeysel sular ve yeraltı sularının seviye düşüşü ile ilişkilendirilen hidrolojik kuraklık devam edebilir. Yağış ve yüzeysel sulardaki seviye arasında mevcut olan periyodik farklılıklar bu kuraklıkların ortaya çıkışı, etki süresi ve sona eriş zamanlarında değişikliklere yol açmaktadır. Bu yüzden NYİ analizinin çoklu zamanlar için hesaplanarak yorumlanması ile değişik su kaynaklarında ortaya çıkan kuraklıklar tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Ancak NYİ metodu dünyada yaygın olarak kullanılmasına rağmen, hangi zaman ölçeği için hangi su kaynağında meydana gelen kuraklığın takip edilmesini sağlayacak çalışmalar henüz bir sonuca ulaşmaktan uzak olduğu kadar bu konuda yapılan çalışmalarda çok fazla değildir. Çoklu zaman dilimleri için hesaplanabilen NYİ göstergeleri ile değişik su kaynaklarında meydana gelen değişimler ilişkilendirilmeye çalışılmış ancak bunlar arasında yüksek uyum elde edilememiştir. Bu amaçla hidrolojik çevrimde yer alan esas unsurları temel alarak hidrometeorolojik kuraklık analizi yapmak üzere BKİ yöntemi geliştirilmiştir [1].

3.1. Bütünleşik Kuraklık İndeksi (BKİ) Yöntemi (Aggregate Drought Index Method)

Keyantash ve Dracup [1] tarafından teklif edilen BKİ yönteminde hidrolojik çevrimdeki 6 parametre esas alınmıştır, bunlar; yağış, buharlaşma, akarsu akım verisi, rezervuar depolama hacmi, zemin nemi ve kar yüküdür. BKİ indeksinin belirlenmesinde esas alınan değişkenler farklı olabilmektedir. Çeşitli çalışmalarda bu verilerin hepsi veya bir kısmı kullanılmıştır. Awass [6], aylık yağış, sıcaklık, akarsu akımı ve normalleştirilmiş faklı bitki indeksini kullanmış, [7] yağış, akım verisi, buharlaşma ve rezervuar depolama hacmini kullanmış, [8] ise yağış, akış, sıcaklık ve kar yükü değerlerini kullanmıştır. Yer altı suyu verilerinin uzun yıllar için bulunamaması, yer altı suyu depolanması/boşalması işleminin zaman aralığının

kuraklık ile ve diğer hidrolojik değişkenler ile senkronize olmaması ve heterojen akiferler arasındaki yer altı suyu akımının iklim değişiklikleri ile ilişkilendirilmesinin zorluğu gibi sebeplerden dolayı, yer altı suyu BKİ hesaplanmasına katılmamıştır.

Hidrolojik çevrimde kuraklık analizi yapılan bölge için göz önüne alınan veriler çok değişkenli istatistiksel analiz metodlarından biri olan Temel Bileşenler Analizi ile bütünleştirilerek Bütünleşik Kuraklık İndisi oluşturulmuştur. Temel Bileşenler Analizi (TBA), eldeki çoklu parametrelere dayanan veri serisinin boyutunu azaltarak yeni ve daha az değişkenler ile veri serisinin ifade edilmesine olanak sağlamaktadır. TBA metodu gözlenmiş veri setini birbirine dik olan eksnelere ayırarak lineer denklemler elde etmektedir. Elde edilen vektörel bilgi setinin korelasyon matrisinden elde edilen özvektörler, gözlenmiş seriyi açıklayan temel bileşenleri oluşturmaktadır. Her bir temel bileşene karşılık gelen özdeğerler, temel bileşenlerin orijinal veri setinde ne kadar bilgiyi temsil ettiğini gösterir. Elde edilen ilk temel bileşen Bütünleşik Kuraklık İndislerini oluşturur. Hesaplamalar her bir ay için ayrı ayrı yapılmış ve daha sonra birleştirilerek zaman serisi oluşturulmuştur.

Temel bileşenleri hesaplamak için göz önüne alınan parametrelerden her bir ay için veri matrisi oluşturulur. Bu matriste her bir sütun bir veriyi (yağış, akım verisi vb.) temsil eder. Sonra her bir sütun kendi ortalamasından çıkarılarak ve standart sapmasına bölünerek standartlaştırılır. Bu işlem kullanılan gözlenmiş değerlerin herhangi birinin sonuçlarda ağırlığının olmaması için yapılır. Daha sonra bu standartlaştırılmış veri setinden oluşan matrisin korelasyon matrisi oluşturulur. Böylece her bir verinin birbiri ile ilişkisi tespit edilir. Hesaplarda her bir ay için farklı olmak üzere 12 adet korelasyon matrisi oluşturulur. Korelasyon matrisi TBA analizine tabii tutularak özvektörler ve özdeğerler bulunur. Hesaplarda korelasyon matrisi kullanıldığı için BKİ hesapları birimden etkilenmemekte ve oluşturulan veri matrisinde kullanılan değişkenler (yağış, akım verisi vb.) kendi birimlerinde kullanılabilir. (1)

$$Z = XE \quad (1)$$

Burada, Z; temel bileşenler matrisi, X; standartlaştırılmış gözlem veri matrisi, E; korelasyon matrisinden elde edilmiş özvektörler matrisidir.

$$BKİ_{ik} = \frac{Z_{ik}}{\sigma} \quad (2)$$

Burada, BKİ_{ik}; i nci yıl, k ncı aya ait BKİ indisi, Z_{ik}; i nci yıl, k ncı aya ait birinci temel bileşen, σ ; bütün yılların k ncı ayına ait birinci temel bileşenin standart sapmasıdır. Elde edilen her bir aya ait olan BKİ verilerinin kronolojik sıralaması yapılarak

hidrometeorolojik kuraklık için zaman serisi elde edilir.

3.2. NYİ Yöntemi (Standardized Precipitation Index Method)

Normalleştirilmiş Yağış İndeksi (NYİ) metodu [2] çoklu zaman dilimlerinde hesaplanarak çeşitli su kaynaklarında meydana gelen yağış azlığına bağlı kuraklıkların tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Hesaplama sadece yağış verilerinin kullanılması ve yorumlanmasındaki kolaylıklar sebebiyle dünyada en çok tercih edilen yöntemlerden birisidir. Yağışlardaki azalma kısa dönemde zemin neminde hissedilebilirken yeraltı suyu, yüzey suyu veya baraj ve gölet gibi su biriktirme tesislerinde daha uzun zamanda hissedilir. Bunun için tarımsal faaliyetler açısından önemli olan kısa ve orta dönem yağış seyrini takip için 3 aylık NYİ sonuçları, daha uzun dönem NYİ değerleri (9-12 aylık NYİ) ise yüzey suyu, hazne seviye alçalmalarında gerçekleşen kuraklıkları tespit için kullanılması tavsiye edilmektedir [9]. NYİ analizinin dezavantajı düşük mevsimsel yağışa sahip olan alanlarda kısa zaman aralıklarında (1-3 ay) yanlış sonuçlara yönlendirebilmesidir [10]. NYİ zaman ölçeklerinin havzalar arasında akarsu akımları ile korelasyonu değişmektedir [11]. Bölgesel akım verilerinin kuraklık analizi, yüzeysel akımın farklılıklarından dolayı sadece SPI analizine bağlı olarak yapılamamaktadır.

NYİ hesaplamasının eksiksiz ve en az 30 yıllık aylık yağış verisi ile yapılması gerekir. NYİ hesabı için istenilen zaman ölçeğindeki yağış toplamının frekans dağılımı, Gamma olasılık dağılımına uydurulur. Gama dağılımı yaygın olarak çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılmakta ise de son yıllarda en uygun dağılım olarak farklı dağılımlar da kullanılmaktadır. Gamma dağılımından elde edilen kümülatif olasılık değerleri, varyansı 1 ve ortalaması sıfır olan normal dağılım Z değişkenine dönüştürülmesi ile NYİ değerleri elde edilir. NYİ hakkında detaylı bilgi [2], [12], [13]'ten elde edilebilir. Bulunan bu değerler McKee ve arkadaşları [2] tarafından teklif edilmiş ve Çizelge 1'de verilen kuraklık sınıflandırılması ile değerlendirilerek incelenen bölgenin kuraklık analizi yapılır. Çizelge 1'de verilen NYİ değerleri hem sulak hem de kurak değerleri içermektedir. Dolayısı ile NYİ analizi ile incelenen bölgedeki hem kurak hem de sulak dönemlerin başlangıç dönemleri ve şiddetleri incelenebilmekte ve bunların göreceli olarak kıyaslanması yapılabilmektedir. Çizelge 1 aynı zamanda BKİ sonuçlarının değerlendirilmesinde de kullanılmıştır.

Çizelge 1. NYİ sınıflandırması [2] (SPI classification)

SYİ değeri	Sınıf
2,00'den fazla	Aşırı sulak
1,50 – 1,99 arası	Çok sulak
1,00 – 1,49 arası	Orta derecede sulak
-0,99 – 0,99 arası	Normale yakın
-1,49 -1,00 arası	Orta derecede kurak
-1,99 -1,50 arası	Çok kurak
-2,00'den az	Aşırı kurak

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu bölümde Aksaray iline ait yağış, akım debisi, sıcaklık ve buharlaşma parametrelerinin aylık toplamları BKİ ve NYİ metotlarına uygulanmış ve sonuçlar verilmiştir.

4.1. BKİ uygulaması sonuçları (ADI Results)

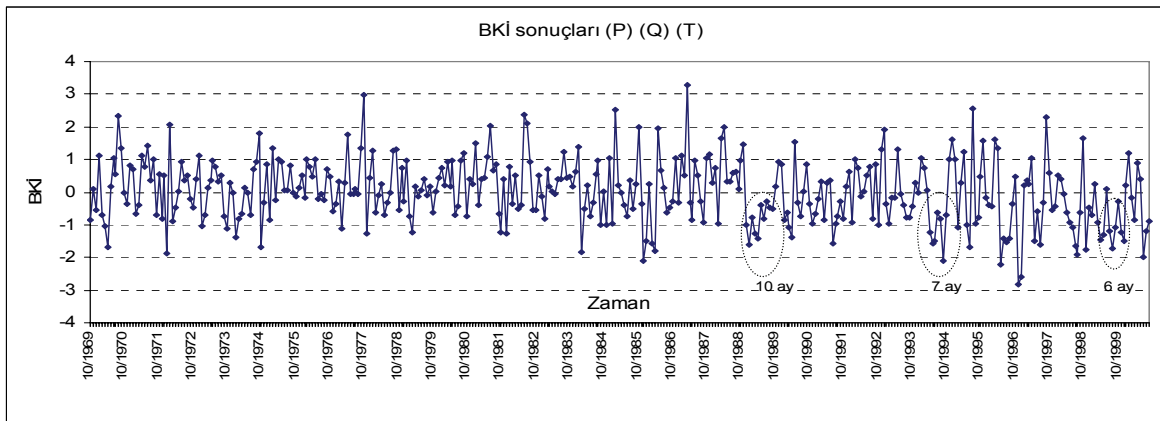
1969-2000 yılları için yağış, akım debisi ve sıcaklık verisi ile yapılan BKİ metodu ile hidrometeorolojik kuraklık incelemesi sonuçları Şekil 1.a'da verilmiştir. 12/1988-9/1989 arası 10 ay, 7/1999-12/1999 arası 6 ay, 3/1998-9/1998 arası 7 ay ve 4/1994-10/1994 arası 7 ay süren kuraklıklar Şekil 1.a da gösterilmiştir. Son yıllarda hidrometeorolojik kuraklık görülme sıklığı ve şiddetinin arttığı görülmektedir. Sıcaklık verisi yerine ölçülmüş olan açık hava buharlaşma verileri kullanılarak hesaplanan BKİ sonuçları 1975-2000 yılları arasındaki Nisan-Ekim dönemleri için bulunmuş ve Nisan-Mayıs-Ağustos-Eylül ayları için sonuçlar karşılaştırılarak Şekil 2'de verilmiştir. Çizelge 2'de akım debisi, yağış ve BKİ arasındaki parametrik olmayan Spearman korelasyon matrisi verilmiştir. Bütün veriler arasında korelasyon %1 seviyesinde anlamlı bulunmuştur. Aylık ortalama sıcaklık verisi diğer parametreler ile negatif korelasyona sahiptir.

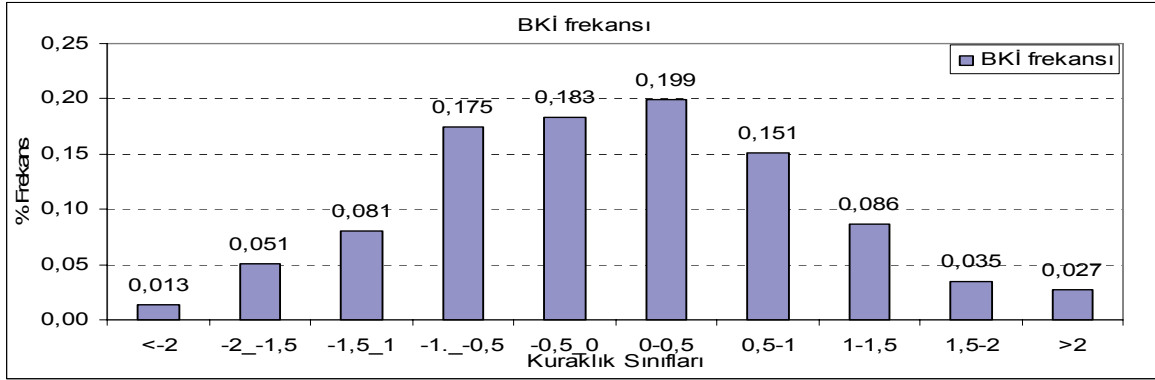
Şekil 1.b'de verilen BKİ histogramı, 1969-2000 yılları arasındaki yağış, akarsu debisi ve sıcaklık verileri ile elde edilen Aksaray'daki hidrometeorolojik kuraklığı göstermektedir. Bu sonuçlarına göre %1.3 oranında aşırı kurak, %5 oranında çok kurak, % 8 oranında orta derecede kuraklık görülmüş olup, pozitif değerler ise sulak olan zamanların oranını göstermektedir. Hidrometeorolojik kuraklık indisi BKİ sonucu kuraklık ve sulaklık görülen toplam ayların yıllara göre dağılımı Şekil 1.c'de verilmiştir. Şekil 1.c.'ye göre; 1989 yılından sonra kuraklık görülen toplam sürelerde artış olmuş ve 3 aydan fazla sulaklık 1997 yılı hariç görülmemiştir.

Çizelge 2. BKİ-Yağış-Sıcaklık ve Akım verisi arasındaki Korelasyon matrisi (Correlation matrix among the ADI-Precipitation-Temperature and streamflow)

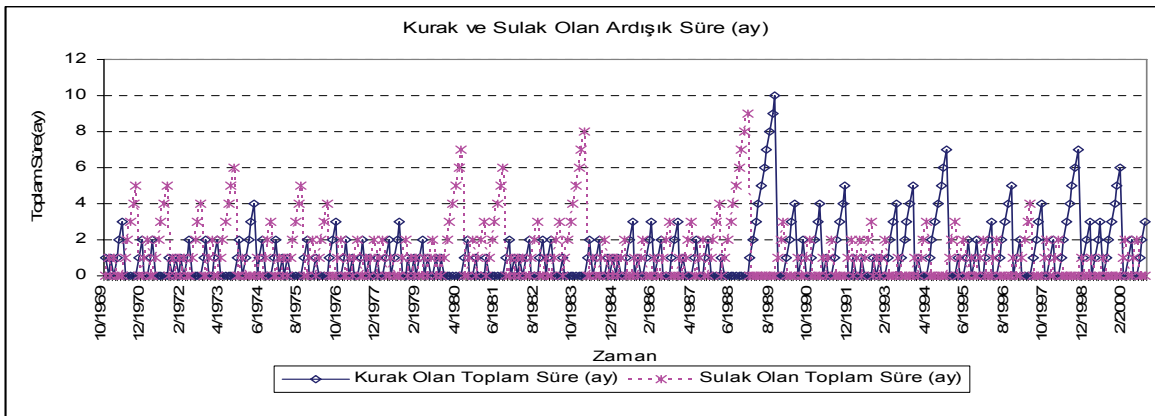
	Karasu	Yağış	BKİ	Sıcaklık
Karasu	1	0,47	0,24	-0,76
Yağış	0,47	1	0,41	-0,53
BKİ	0,24	0,41	1	-0,13
Sıcaklık	-0,76	-0,53	-0,13	1

Her bir ay için Karasu aylık debileri ile yağış (P), akım debisi (Q) ve Sıcaklık (T) ve buharlaşma (E) parametreleri kullanılarak hesaplanmış olan BKİ değerlerinin korelasyon sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. P-Q-T ile hesaplanan BKİ değeri korelasyonu Şubat ve Ekim ayları hariç daima pozitif olmuş ve önemli bulunmuştur. P-Q-E ve P-Q-E-T parametreleri ile Nisan-Ekim dönemleri için hesaplanabilen BKİ değerleri ile Karasu arasındaki korelasyon Ağustos-Eylül ve Ekim ayları için negatif bulunmuştur.

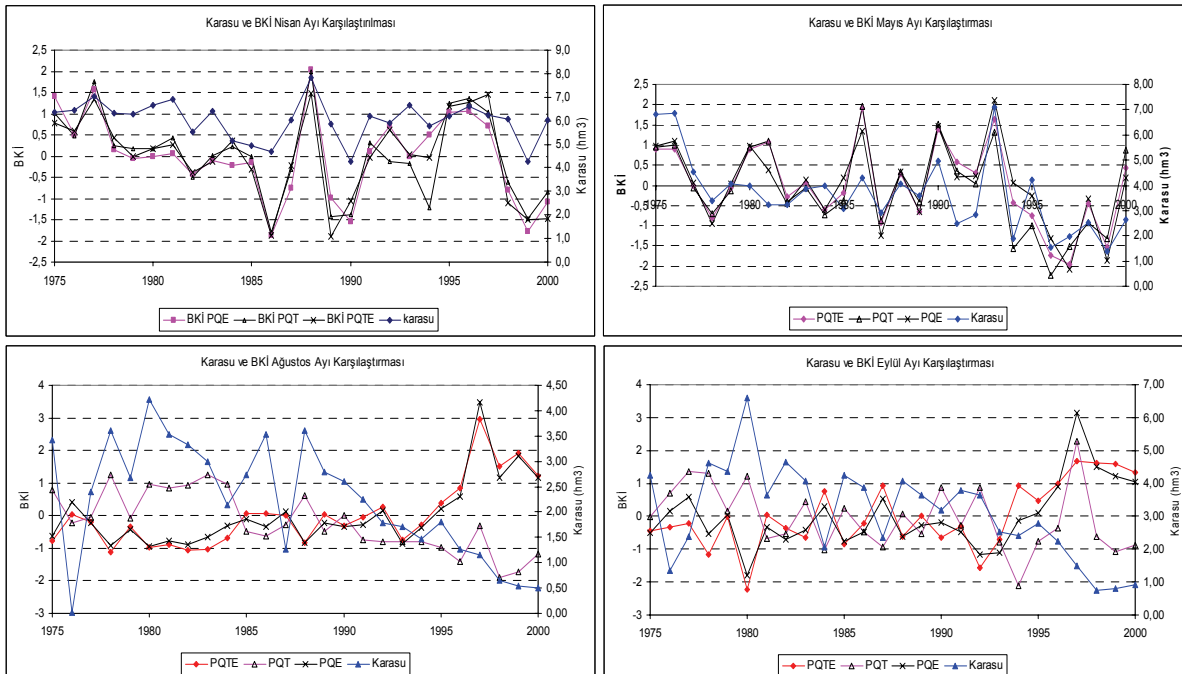
**Şekil 1.a** Aksaray için yağış-debi-sıcaklık verileri kullanılarak elde edilen BKİ zaman serisi (ADI time series obtained by precipitation-streamflow and temperature data of Aksaray)



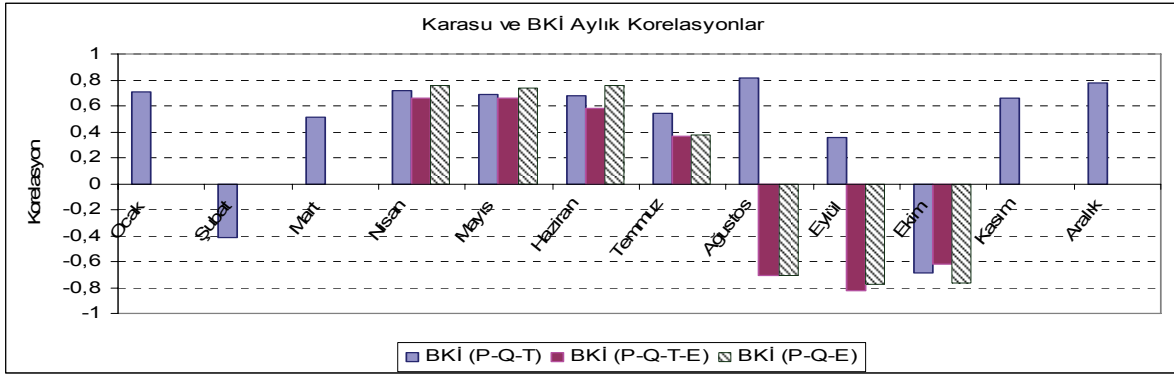
Şekil 1.b. 1969-2000 yılları için yağış, akarsu debisi ve sıcaklık verileri ile hesaplanan BKİ histogramı (ADI histogram obtained by using precipitation, streamflow and temperature monthly data in 1969-2000 years)



Şekil 1.c. BKİ sonucu kuraklık ve sulaklık görülen toplam ayların incelenen süredeki dağılımı. (Distribution of sum of the wet and dry months by means of ADI)



Şekil 2. Bazı aylar için Karasu akımı ve BKİ sonuçları karşılaştırılması (Comparison of Karasu streamflow and ADI for selected months)

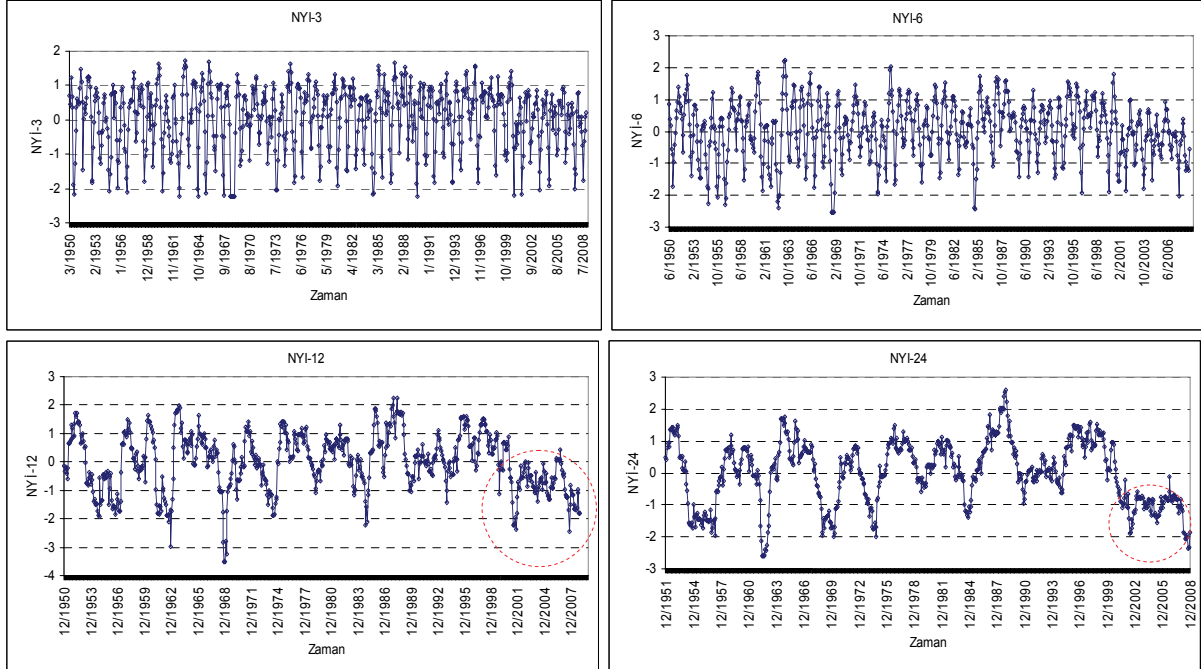


Şekil 3. Farklı parametreler ile hesaplanan aylık BKİ ve Karasu akım debisi korelasyonları (Correlation of ADI and Karasu streamflow values calculated based on the different variables)

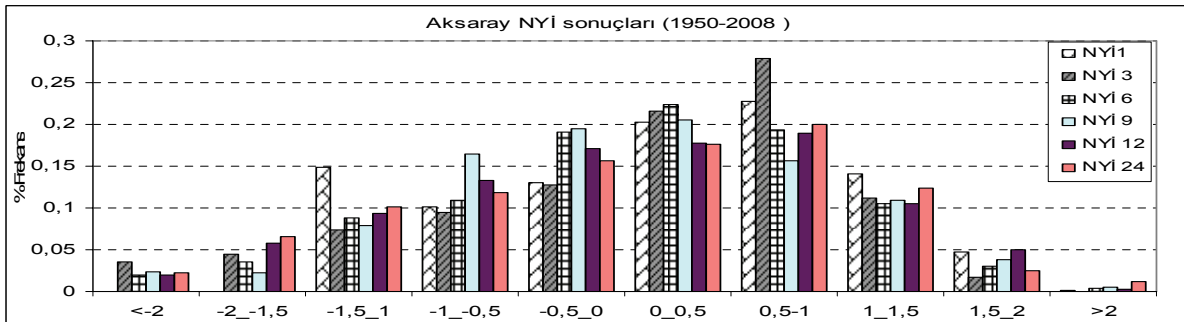
4.2. NYİ metodu sonuçları (SPI Results)

Aksaray için NYİ sonuçları seçilmiş çoklu zaman ölçekleri için Şekil 4'de ve frekans histogramları Şekil 5'te verilmiştir. Çoklu zaman dilimleri için yapılan analizlerde özellikle 2000 yılından sonra kuraklık periyodunda bir artma olduğu

gözlenmektedir. 2000 yılından sonra 12 ay ve üzeri yapılan NYİ analiz sonuçları göstergelerde aşağıya giden bir eğilim olduğunu ortaya koymaktadır. Bu eğilimi göstermek için, 2000-2008 yılları arasında seçilmiş çoklu zamanlarda gidış eğrisi Şekil 6'da ve bunlara ait histogramlar Şekil 7.a ve Şekil 7.b'de verilmiştir.



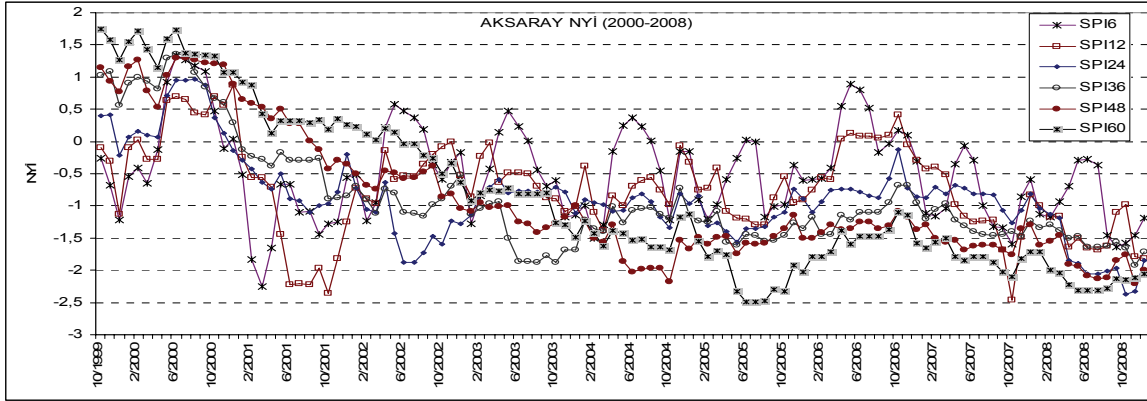
Şekil4. Seçilmiş zaman ölçekleri için NYİ sonuçları (SPI results for selected time scales)



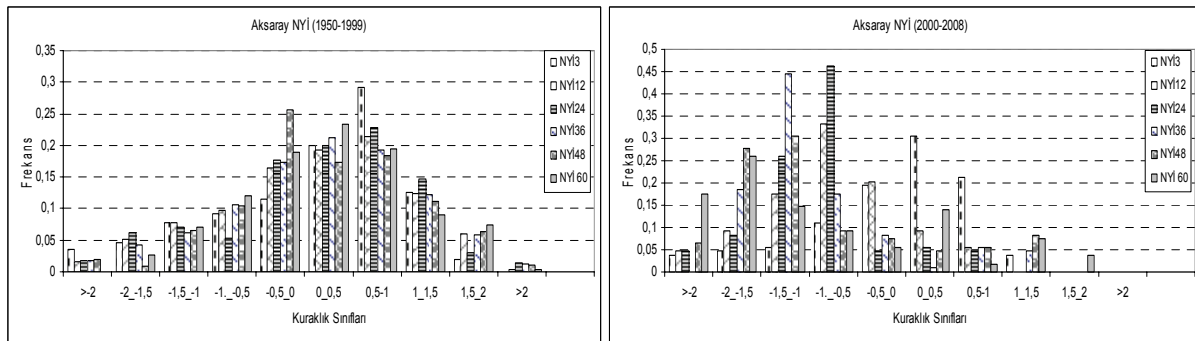
Şekil 5. 1950-2008 yılları arasında çoklu zaman dilimleri için Aksaray NYİ histogramı (Aksaray SPI histogram for multiple time scales during 1950-2008 years)

NYİ1 değerinde çok kurak ve aşırı kurak sınıflanmasında herhangi değer olmamasına rağmen, 1950-2008 yılları arasında bütün zamanların %15'inde orta derece kuraklık görülmektedir. Diğer zamanlar için %3 mertebesinde aşırı kurak ve 12 aylık-24 aylık NYİ göstergelerinde bütün zamanların %5'inde çok kuraklık ve %10'a yakın zamanlarda

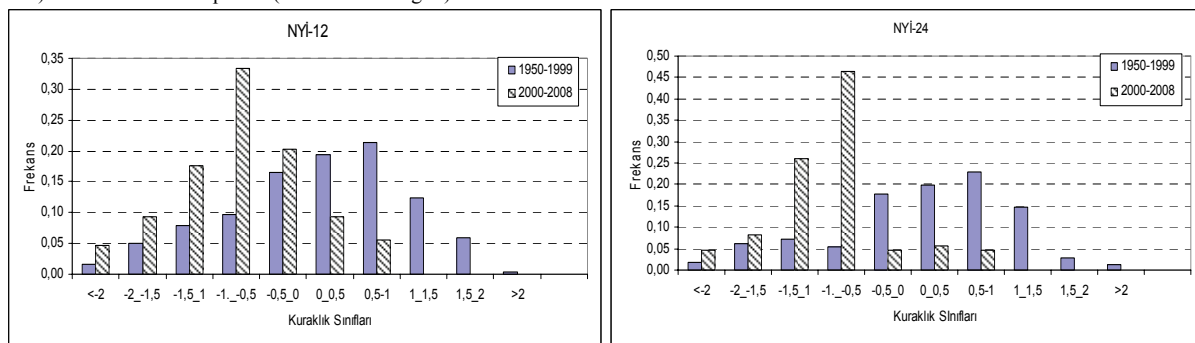
orta derece kuraklık görülmektedir. Şekil 5 ve Şekil 7 karşılaştırıldığında, 24 aylık NYİ değerlerinin 2000-2008 yılları içinde orta derecede kuraklığın %10'dan %25'e çıktığı ve genel olarak normale yakın sulak ve normale yakın kurak ve sulak dönemlerin kurak dönemlere kaydığı görülmektedir.



Şekil 6. 2000-2008 yılları için (6-12-24-48-60 aylık) NYİ zaman serisi (SPI of 6-12-24-48-60 monthly time series for the 2000-2008 period)



Şekil 7.a İlk dönem (1950-1999) (sol) ve ikinci dönem (2000-2008) (sağ) için Aksaray 3-12-24-36-48-60 aylık NYİ histogramları (Aksaray SPI histograms for 3-12-24-36-48-60 monthly totals for the first period (1950-1999 at left) and for the second period (2000-2008 at right))



Şekil 7.b. NYİ-12 ve NYİ-24 için 1950-1999 ve 2000-2008 dönemlerine ait kuraklık karşılaştırılması. (Drought comparison of SPI-12 and SPI-24 for 1950-1999 and 2000-2008)

4.3. NYİ ve BKİ karşılaştırılması (Comparison of SPI and ADI)

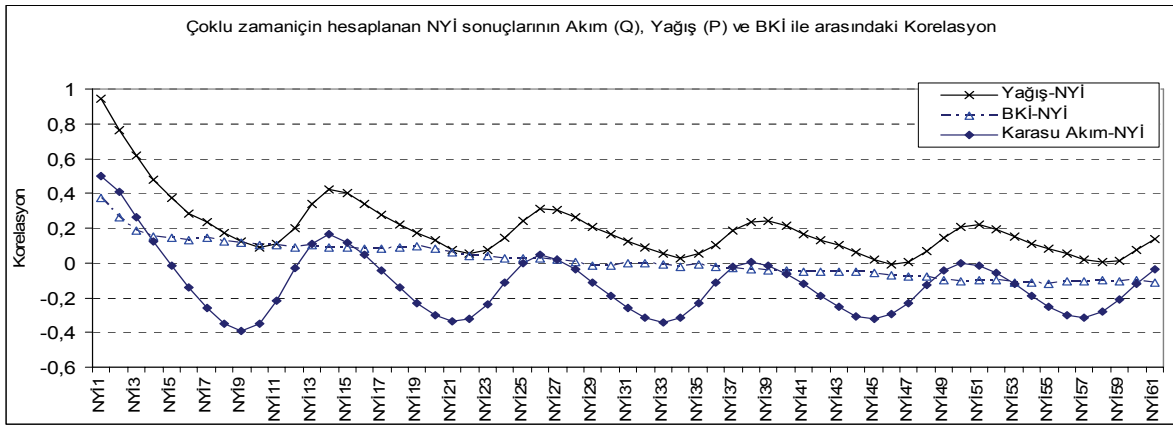
Hidrometeorolojik kuraklık indisi olarak teklif edilen BKİ ile çoklu zaman dilimleri için hesaplanan NYİ değerleri karşılaştırılarak aralarındaki ilişki bu bölümde ortaya konulmuştur. Çoklu zamanlar için hesaplanan NYİ değerleri ile BKİ, yağış ve karasu

akım debisi arasında korelasyon analizi yapılmış ve sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir. Bu şekle göre en yüksek korelasyon 1 aylık yağış toplamı ile hesaplanan NYİ1 ile diğer veriler arasında bulunmuştur. Szalai ve diğ.[11] Macaristan için yapılan çalışmada çoklu zaman dilimleri ile akım verisini karşılaştırmış ve en yüksek ilişkiyi akım verisi ile 2 aylık NYİ (NYİ-2) arasında olduğunu

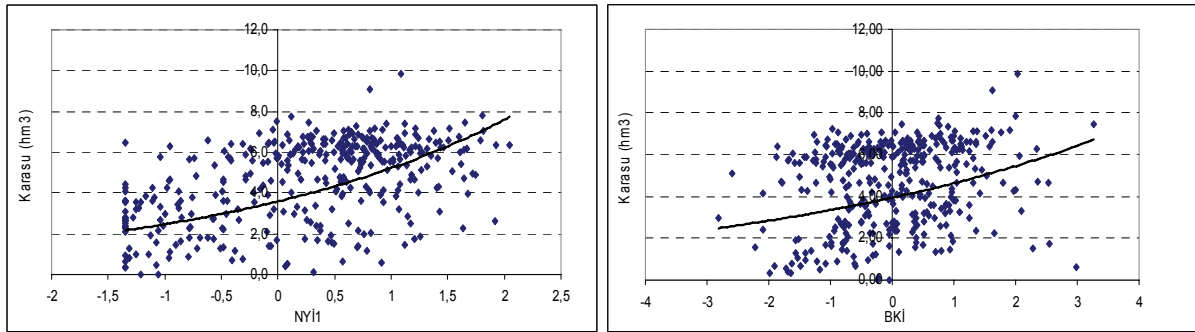
bularak akarsu verisi ile NYİ arasındaki ilişkinin daha farklı zaman dilimlerinde yüksek olmadığını belirtmiştir. Akım verisi ile NYİ arasındaki ilişkiyi en iyi eksponansiyel dağılım ile göstererek çok kurak ve çok sulak zamanlarda daha fazla anlamlı sonuçlar bulmuştur. Benzer karşılaştırma Karasu akım verisi ile NYİ 1 ve BKİ değerleri ile yapılmış ve eksponansiyel dağılım uydurularak bulunan sonuçlar Şekil 9.a'da verilmiştir. Karasu akım verisi ile BKİ arasındaki ilişki incelendiğinde yüksek akım değerleri ve düşük akım verileri olarak iki gruba ayrıldığı gözlenmiştir. Düşük akımlarda ve yüksek akımlarda

Karasu ile BKİ arasındaki bu uyum Şekil 3'te bulunan aylık korelasyon değerleri ile uyumludur.

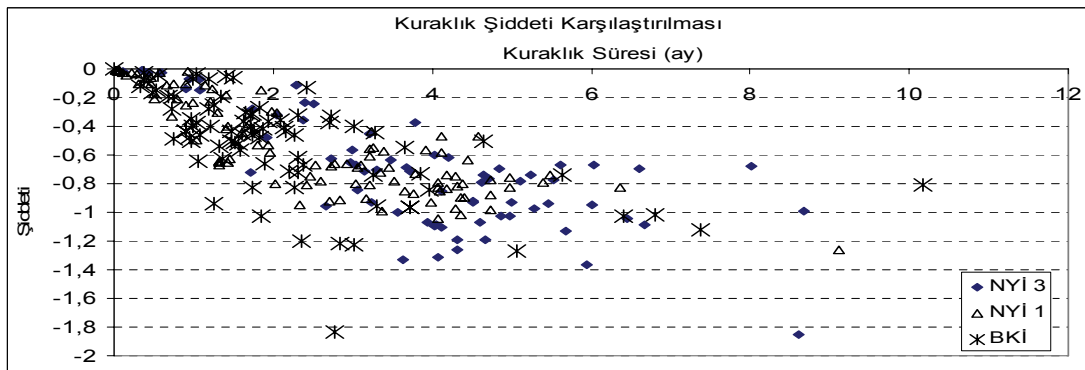
Kuraklık şiddeti, kuraklık indisinin negatif olduğu zamanlardaki indis değerlerinin toplanıp kuraklık görülen zamana bölünmesi ile elde edilmektedir. Buna göre kuraklık süresi ile şiddeti arasındaki ilişki NYİ-1, NYİ-3 ve BKİ için Şekil 9.b.'de verilmiştir. Zemin nemi için önemli olduğu belirtilen NYİ-3 için kuraklık şiddeti ve süresinin NYİ-1'e göre daha fazla olduğu ve hidrometeorolojik kuraklık indisi olan BKİ kısa süreli kuraklıkların daha şiddetli meydana geldiği gözlenmektedir.



Şekil 8. BKİ, Karasu akım verisi (Q) ve Yağış parametrelerinin (P) 1 aydan 61 ay toplamına kadar değişen zamanlar için hesaplanan NYİ değerleri ile korelasyonu. (Comparison of ADI, Karasu streamflow and precipitation values with multiple SPI droughts based on the several monthly totals from 1 month through 61 months totals)



Şekil 9.a Akım verisinin NYİ-1 (sol) ve BKİ (sağ) ile ilişkisi (Relationship of streamflow and SPI-1 at figure left and Streamflow and ADI at figure right)



Şekil 9.b NYİ-1, NYİ-3 ve BKİ için kuraklık süresi ve şiddeti karşılaştırılması. (Comparison of Drought duration and intensities for SPI-1, SPI-3 and ADI)

Çizelge 3.a Aylara göre 1975-2000 yılları arasındaki NYİ ile BKİ (P-Q-T) arasındaki korelasyon matrisi (Monthly Correlation matrix of the SPI and ADI (P-Q-T) for 1975-2000)

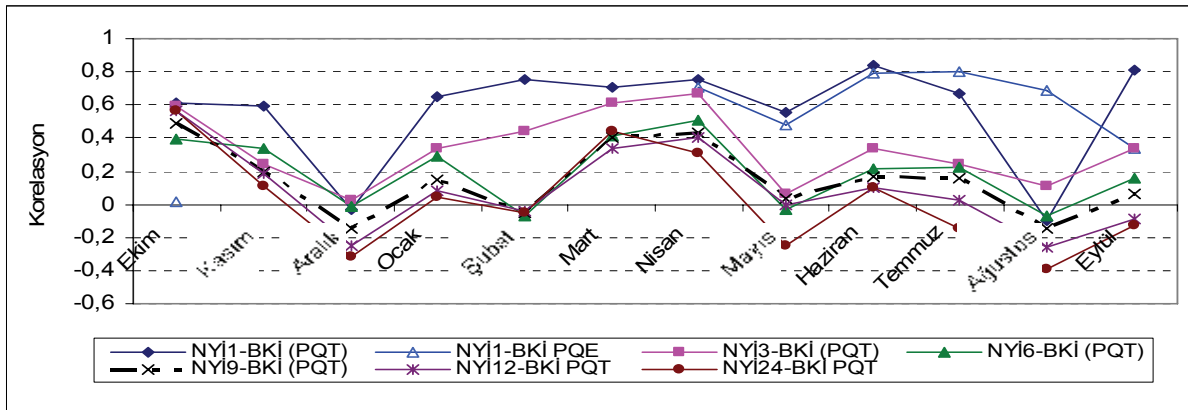
	Eki m	Kası m	Aralı k	Oca k	Şuba t	Mar t	Nisa n	Mayı s	Hazira n	Temmu z	Ağusto s	Eylü l
NYİ1-BKİ (PQT)	0,61	0,59	-0,04	0,65	0,75	0,70	0,75	0,56	0,84	0,67	-0,096	0,81
NYİ3-BKİ (PQT)	0,60	0,24	0,02	0,34	0,44	0,61	0,67	0,07	0,33	0,24	0,106	0,34
NYİ6-BKİ (PQT)	0,40	0,34	-0,01	0,29	-0,07	0,42	0,51	-0,03	0,22	0,23	-0,07	0,16
NYİ9-BKİ (PQT)	0,49	0,19	-0,15	0,15	-0,05	0,40	0,43	0,03	0,16	0,16	-0,15	0,06
NYİ12-BKİ (PQT)	0,56	0,19	-0,25	0,08	-0,04	0,34	0,41	0,003	0,10	0,02	-0,25	-0,09
NYİ24-BKİ (PQT)	0,57	0,11	-0,32	0,04	-0,05	0,44	0,31	-0,25	0,10	-0,14	-0,39	-0,13

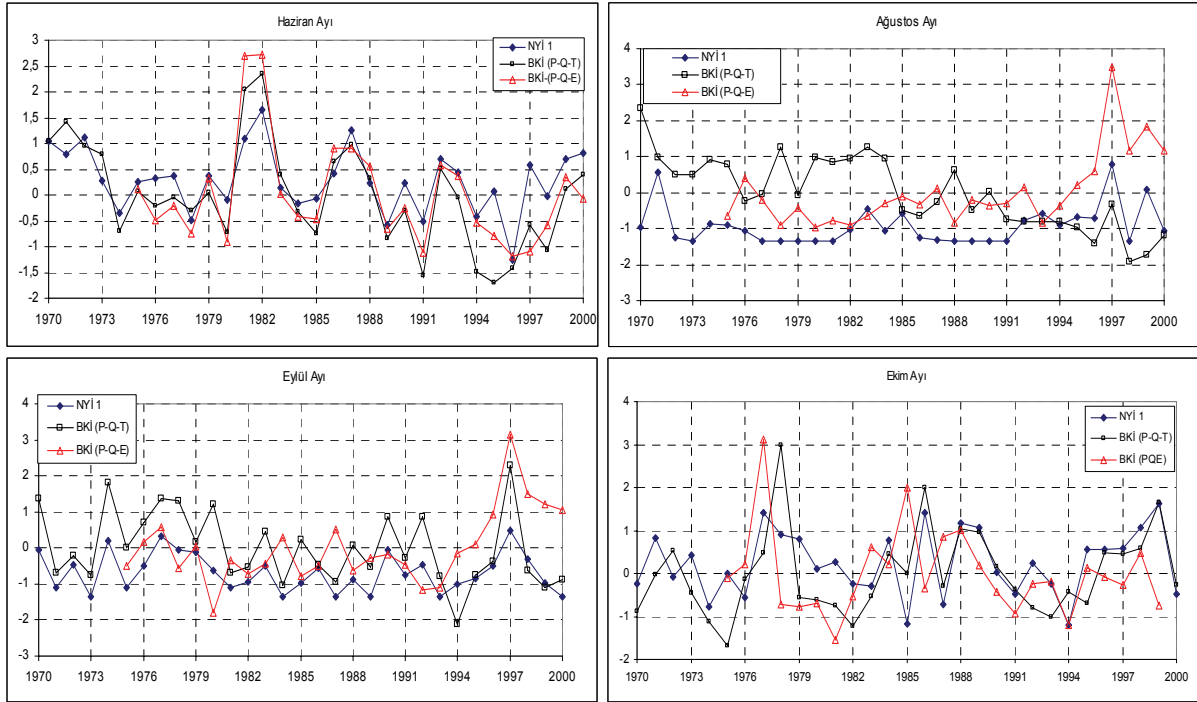
Çizelge 3.b Aylara göre 1975-2000 yılları arasındaki NYİ ile BKİ (P-Q-E) arasındaki korelasyon matrisi (Correlation matrix of the monthly SPI and ADI (P-Q-E) for 1975-2000)

	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
NYİ1-BKİ (PQE)	0,01						0,71	0,48	0,79	0,80	0,69	0,34
NYİ3-BKİ (PQE)	-0,05						0,62	0,08	0,31	0,26	0,25	0,40
NYİ6-BKİ (PQE)	-0,10						0,57	0,03	0,22	0,30	0,11	0,09
NYİ9-BKİ (PQE)	0,13						0,40	0,04	0,27	0,37	0,18	0,17
NYİ12-BKİ (PQE)	0,13						0,34	0,03	0,16	0,14	0,16	0,19
NYİ24-BKİ (PQE)	-0,22						0,26	-0,43	0,15	-0,03	0,25	0,32

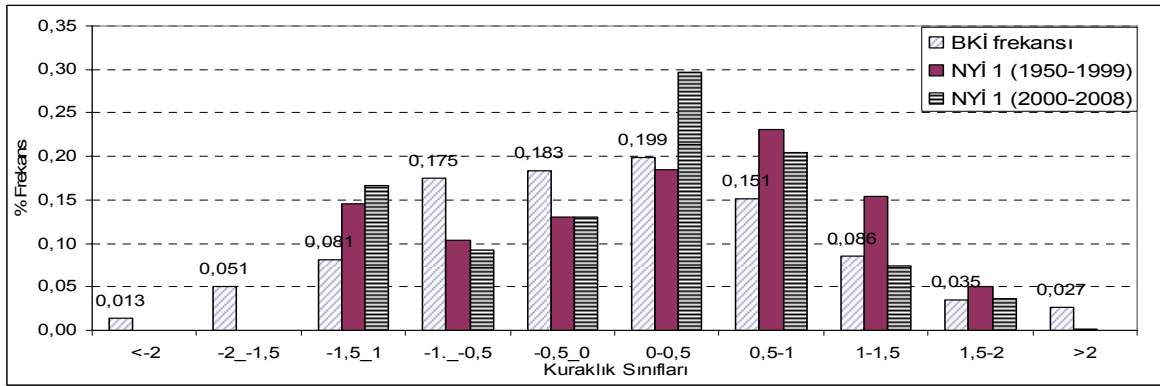
Seçilmiş çoklu zamanlar için hesaplanmış olan (1-3-6-9-12-24 aylık) NYİ ile BKİ (PQT) ve BKİ (PQE) arasındaki aylara göre korelasyon ilişkisi sırasıyla Çizelge 3a ve 3b'de verilmiştir. Bütün değerler için NYİ-1 ile BKİ arasında kuvvetli ilişki bulunmuştur. Yağış-debi-buharlaşma (P-Q-E) parametreleri ile hesaplanan BKİ serisi için Temmuz ve Ağustos aylarında korelasyon yağış, debi, sıcaklık verileri ile hesaplanan BKİ değerinden daha fazla bulunmuştur. Diğer aylar için PQT ile hesaplanan BKİ indisi ile NYİ-1 arasındaki korelasyon daha fazla bulunmuştur. Aralık ayında NYİ ile BKİ arasındaki ilişki minimuma inmiştir ve Haziran ve Eylül aylarında en

yüksek uyumlar bulunmuştur. Çizelge 3a ve Çizelge 3.b verileri Şekil 10'da grafik olarak verilmiştir. Şekil 11'de seçilmiş aylar için NYİ-1 ile BKİ (PQT) ve BKİ (PQE) serilerinin gidiş eğrileri verilmiştir. Şekil 12'de Aksaray için meteorolojik kuraklık (NYİ-1) ve hidrometeorolojik kuraklık (BKİ) sonuçları verilmiştir. Şekil 12 incelendiğinde, Aksaray ilinde hidrometeorolojik açıdan çok kurak ve aşırı kurak dönemler (%5 ve %1.3) gözlenmekte ve meteorolojik kuraklık açısından orta derecede kuraklıkların son dönemde arttığı görülmektedir.

**Şekil 10.** Çeşitli NYİ değerleri ile BKİ arasındaki korelasyonların aylara göre değişimi (Monthly changes of correlation between various monthly totals of SPI and ADI values)



Şekil 11. NYİ ve BKİ sonuçlarının aylara göre zaman serisi (Time series for monthly changes of SPI and ADI results)



Şekil 12. BKİ- NYİ-1(1950-1999) ve NYİ-1 (2000-2008) karşılaştırılması (Comparison of ADI and SPI (1950-1999 and SPI (2000-2008))

5. TARTIŞMA (CONCLUSION)

Bu çalışmada Aksaray ili için literatürde en çok kullanılan NYİ metodu ve yeni teklif edilmiş olan BKİ metodları ile kuraklık analizi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. BKİ metodu ile yapılan hesaplamalarda sadece yağış, akım verisi ve sıcaklık verileri kullanılmış, ölçülebilen zamanlar için açık hava buharlaşmaları sıcaklık yerine kullanılarak kuraklık analiz sonuçları aralarındaki farklar gösterilmiştir. NYİ metodu ile yapılan analizlerde 1 aylık yağış toplamı ile yapılan NYİ-1 sonuçlarının Karasu akım verisi ile daha iyi uyum gösterdiği bulunmuştur. Aynı şekilde BKİ ile NYİ-1 arasındaki ilişki diğer zaman dilimleri için hesaplanan NYİ değerlerine göre daha uyumlu bulunmuştur. 1950-2008 yılları arasında yapılan NYİ analizlerinde son 9 yılda (2000-2008) arasında çoklu zamanlar için hesaplanan kuraklık göstergelerinde artma eğilimi içinde olduğu görülmüştür. Bu zaman diliminde orta

dereceli kuraklıklarda diğer zamanlara göre 2,5 kat daha fazla artma görülmüş ve sulak zamanlardan kurak zamanlara bir kayma saptanmıştır. NYİ-1 ile BKİ ilişkisinin aylara göre incelenmesinde Temmuz ve Ağustos ayları hariç yağış, akım debisi ve sıcaklık ile hesaplanan BKİ değerlerinin daha fazla korelasyona sahip olduğu, bu aylardaki yağış, akım verisi ve buharlaşma ile hesaplanan BKİ değerlerinin NYİ-1 ile daha iyi uyum içinde oldukları görülmüştür. Hidrometeorolojik kuraklık göstergesi olarak teklif edilen BKİ değerleri akım verisi ile karşılaştırıldığında, yüksek akım ve düşük akım verileri için ayrı ayrı BKİ değerlendirildiğinde NYİ-1 değerlerine göre daha iyi uyum içinde oldukları görülmüştür.

SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

- Z Temel bileşenler matrisi
X Standartlaştırılmış gözlem veri matrisi

E Özvektörler matrisidir
 BKİ_{ik} i nci yıl, k nci aya ait BKİ indisi
 σ; Standart sapma

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Keyantash, J. A., Dracup, J. A., “An Aggregate Drought Index: Assessing Drought Severity Based on Fluctuations in the Hydrologic Cycle and Surface Water Storage”, **Water Resources Research**, 40, W09304, 2004.
2. McKee, T.B., Dosken, N.J., Kleist, J., “The relationship of drought frequency and duration to time scales”, **Eight Conference on Applied Climatology**, 17-22 January, Anaheim, California. 179-184, 1993.
3. Dracup, J.A., Lee, K.S., Paulson, E.G., “On the definition of droughts”, **Water Resources Research**, 16, 297-302, 1980.
4. Mishra, A., Singh, A.P., “A review of drought concepts”, **Journal of Hydrology**, 391, 202-216, 2010.
5. Bryat, E.A., **Natural Hazards**, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.
6. Awass, A.A., “**Hydrological Drought Analysis-occurrence, severity, risks: the case of Wabi Shebele River Basin, Ethiopia**”, PhD. Thesis, Universitat Siegen, 2009.
7. Barua, S., Perera, B.J.C., Ng, A.W.M., “A comparative drought assessment of Yarra River Catchment in Victoria, Australia”, **18th World IMACS / MODSIM Congress**, Cairns, Australia 13-17 July 2009.
8. Keskin F., Şorman A.Ü., “Assessment of the dry and wet period severity with hydrometeorological index”, **International Journal of Water Resources and Environmental Engineering**, Cilt 2 (2), 29–39, 2010.
9. Labeledzki, L., “Estimation of Local Drought Frequency in Central Poland Using The Standardized Precipitation Index SPI”, **Irrigation and Drainage**, 56, 67-77, 2007.
10. Fleig, A., Tallaksen, L.M., Hisdal, H., “Drought Indices Suitable to study the linkage to large scale climate drivers in regions with seasonal frost influence”, **Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, November 2006**, IAHS Publ. 308, pp: 169-174. in: Climate variability and change-Hydrological Impacts, ed. Demuth, S., IAHS publications 308, 2006.
11. Szalai, S., Szinell, C., Zoboki, J., **Drought monitoring in Hungary, in: Early warning systems for drought preparedness and drought management** World Meteorological Organization, Lisboa, 2000.
12. Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A., Vanyarkho, O.V., “Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index”, **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, 80(2), 429-438, 1999.
13. Wu, H., Hayes, M.J., Weiss, A., Hu, Q., “An evaluation of the standardized precipitation index, the china-Z index and the statistical Z-score” **Int. Journal of Climatology**, 21, 745-758, 2001.

