

Yeraltı Suyu Seviye Değişiminin Stokastik Modellemesi: Akarçay Afyon Alt Havzası Örneği

Yılmaz İÇAĞA*, Şaban YURTCU¹, Yusuf ULUTÜRK²

^{*1}Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü / FYNKARAHİSAR

²Devlet Su İşleri XVIII-11 Sondaj Şube Müdürlüğü / AFYONKARAHİSAR

Alınış tarihi: 29.09.2006, Kabul: 17.10.2007

Özet: Bu çalışmada, bağımlı değişken yeraltı su seviyesi (YSS) ve bağımsız değişkenler olarak da yağış, akış ve buharlaşmanın kullanıldığı bir stokastik modelle yeraltı suyunun davranışı araştırılmıştır. Çalışmada, yeraltı su seviyesinin çok yüksek olduğu Akarçay Afyon Alt Havzası içerisinde yer alan 1 adet yağış, 1 adet akış ve 1 adet buharlaşma gözlem istasyonu ile 3 adet kuyu su seviyesi gözlem istasyonunun uzun yıllara ait aylık verileri kullanılmıştır. Verilerin öncelikle normal dağılıma uygunluğu kontrol edilmiş, çarpık dağılımlı olanlar Box-Cox transformasyonu ile normal dağılımlı hale getirilmiştir. Ardından korelogram hesabı yapılmış ve kısmi otokorelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Gözlem istasyonları için oluşturulacak olan modeller Akarçay Afyon alt havzasındaki yeraltı suyunun kontrol ve takip edilmesi, gelecekteki olası değişimlerinin izlenmesi açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı Suyu, Modelleme, Otoregresif, Akarçay Havzası

Stochastic Modelling of the Variation of Groundwater Level: Akarçay Afyon Subbasin Sample

Abstract: In this study, groundwater behavior was investigated using a stochastic model which used the variable of groundwater level as dependent and precipitation, flow and evaporation as independent. In the study, the data of precipitation, 1 flour, 1 evaporation and 3 well water level monitoring stations of the Akarçay Afyon Subbasin were used. Firstly the data were checked for normality, and the ones which have skewed distributions were transformed to normal distribution using Box-Cox transformation. Then, correlogram analysis were applied, and partial autocorrelation coefficients were calculated. The settled models of the monitoring stations may be useful to observe, control and probable variation of the groundwater level in the Akarçay Afyon subbasin.

Key Words: Groundwater, Modeling, Autoregressive, Akarçay Basin

Giriş

Yeraltı suyu seviyesindeki değişimin belirlenmesi su kaynaklarının planlanması ve işletilmesi açısından önemlidir. Mevcut veriler genellikle sürecin toplumu tam olarak yansımadığından, daha güvenilir kararlar alabilmek için sürecin modellenmesi gerekmektedir. Modeller, planlama ve tasarım için veri üretmek ya da süreçlerin gelecekteki değerlerinin tahmini için kullanılabilir. Zaman serilerini tanımlayacak doğru model seçimiyle, geleceğe yönelik daha gerçekçi ve güvenilir senaryolar üretip, daha doğru karar vermek mümkün olmaktadır (Bacanlı ve Baran, 2004).

Bir rastgele değişkenin zaman içinde ardı ardına aldığı değerler birbirinden bağımsız değilse, bu değerlerden meydana gelen zaman serisine stokastik süreç denir. Bir stokastik süreci belirlemek için rastgele değişkenin olasılık dağılımından başka serinin ardışık elemanları arasındaki içsel bağımlılığı da belirtmek gerekir (Bayazit, 1981).

Su kaynakları sistemlerinin planlanması, tasarımı ve işletilmesi, genellikle meteorolojik ve hidrolojik (yağış, akış, buharlaşma, yeraltı suyu v.b) seriyi birden ihtiva

ettiği için, çok değişkenli stokastik analiz ve çok değişkenli modelleme önemli bir konudur (Pegram ve James, 1972).

Stokastik modelleme ile ilgili hidroloji alanında ülkemizde bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bir kısmı şunlardır;

Uşul (1994), Çoruh nehri üzerinde 2323 no'lu itasyonun aylık akımlarının stokastik modellenmesi başlıklı çalışmayı yapmıştır (Uşul, 1994).

Sepeçioğlu (1995), akarsularda akımların stokastik özellikleri ve akım serilerinin istatistiksel modellemesi başlıklı çalışmayı yapmıştır (Sepeçioğlu, 1995).

Karabörk (1997), çalışmasında Seyhan havzasında Göksu Nehri üzerindeki 1801 numaralı akım gözlem istasyonunda ölçülen yıllık ve aylık akımların stokastik modellerini kurmuştur. Yapılan analizler sonucu yıllık akımlar için AR (1) ve ARMA (2,1), aylık akımlar için PAR (2) ve PARMA (2,1) şeklinde ifade edilen ve periyodisiteyi de dikkate alan modeller en uygun modeller olarak seçilmiştir (Karabörk, 1997).

İçaga (2001), Akarçay aylık akımlarının modellemesini yapmış bu çalışmada doğrusal otoregresif modeller geliştirmiş hesap yapılan 9 istasyonda otoregresif modellerden AR (0) ve AR (1) modelleri bulmuştur (İçaga, 2001).

Büyük yıldız ve ark. (2006)'da yaptıkları çalışmada, geleceğe yönelik tahminler yapabilmek amacıyla Türkiye'nin önemli büyük havzalarından biri olan Sakarya havzasına ait aylık yağışların periyodik otoregresif modellerini (PAR) belirlemişlerdir (Büyük yıldız ve Berktaş, 2006).

Bu çalışmada, Akarçay havzasında daha önce Tezcan ve ark. (2002) tarafından havzanın hidrojeolojik özelliklerine göre ileri sürülen Afyon alt havzasında yeraltı suyunun takip ve kontrol edilmesi, sentetik seriler üretilmesi ve gelecekteki olası değişimlerinin öngörülebilmesi için stokastik modeller kurulmak istenmiştir. Bu amaçla, alt havzada bulunan kuyu su seviyeleri, yeraltı su seviyeleri olarak hesaba katılmış, ayrıca akım, yağış ve buharlaşma gözlem istasyonlarının verileri kullanılmıştır (Tezcan vd., 2002).

Materyal ve Yöntem

Yeraltı su seviyesi, göl su seviyesi, akarsu debisi, su sıcaklığı gibi herhangi bir rastgele değişkenin zaman içindeki davranışı sürekli rastgele değişkenleri oluşturur. Bu serilerin ardışık davranışlarının istatistik yöntemlerle belirlenmesi stokastik yöntem olarak tanımlanır (Benzeden, 1992).

Stokastik yöntemi tanımlayan matematiksel modeller içinde en çok kullanılan modeller otoregresif modellerdir. Otoregresif modeller gözlem verilerinin ardışık bağımlılığını tanımlamak için sıklıkla kullanılmaktadır (Yevjevich, 1972).

Bu çalışmada ele alınan probleme uygulanan yöntem ve bunu gerçekleştirebilmek için yardımcı testler aşağıda açıklanmıştır.

Box - Cox Transformasyonu

Çarpık dağılımlı serilerin normal dağılımlı hale getirilmesi için Box-Cox dönüşümü uygulanabilmektedir (Yevjevich, 1972). Bu yöntemde çarpıklık katsayısı hesabıyla simetrik olmadığı görülen verilere

$$y_i = \frac{x_i^\lambda}{\lambda} \quad \lambda \neq 0 \quad (1)$$

$$y_i = \log x_i \quad \lambda = 0$$

dönüşümü uygulanır. Burada, y_i : çarpıklığı giderilmiş yeni veri, x_i : orjinal çarpık dağılımlı veri, λ : y_i , verilerini sıfır çarpıklıklı yapacak parametre. λ deneme yanılma yöntemiyle tahmin edilebilmektedir. Box-Cox transformasyonu yalnız pozitif veriler için uygulanmaktadır (Meloun vd., 2005).

Doğrusal Otoregresif Model

Markov modelleri olarak da bilinen doğrusal otoregresif modellerde (AR) herhangi bir verinin önceki veriler ile bağlantısı araştırılır. Modellerin genel ifadesi şöyledir;

$$x_i = \sum_{j=1}^m \alpha_j x_{i-j} + \varepsilon_i \quad (2)$$

Burada x_i : i'nci veri, α_j : modelin parametreleri olan otoregresif katsayılar, ε_i : normal dağılımlı, zamandan bağımsız, ortalaması sıfır, varyansı σ^2 olan rastgele değişken, m: modelin mertebesini göstermektedir. m'nci mertebeli Markov modeli AR (m) ile gösterilir ve ele alınan verinin ondan önceki gözlem verisine bağlı olduğunu ifade eder (Bayazit, 1981). Modelin otoregresif sabitleri otokorelasyon fonksiyonu metodu ile hesaplanabilir (Jones ve Smart, 2005).

$$\rho_k = \sum_{i=1}^d \alpha_i \rho_{k-i} \quad (3)$$

Burada, ρ_k : seriye ait otokorelasyon katsayıları, k: gecikme adımı (lag), d: model derecesi, α_i : otoregresif sabitler olarak tanımlanır. ρ_k değerleri için seriye ait otokorelasyon katsayıları r_k kullanılır.

$$r_k = \frac{A}{B * C} \quad (4)$$

Burada;

$$A = \left[\frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} x_i x_{i+k} - \frac{1}{(N-k)^2} \left(\sum_{i=1}^{N-k} x_i \right) \left(\sum_{i=1}^{N-k} x_{i+k} \right) \right],$$

$$B = \left[\frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} x_i^2 - \frac{1}{(N-k)^2} \left(\sum_{i=1}^{N-k} x_i \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$C = \left[\frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} x_{i+k}^2 - \frac{1}{(N-k)^2} \left(\sum_{i=1}^{N-k} x_{i+k} \right)^2 \right]^{1/2},$$

olmak üzere, r_k : k'nci serisel korelasyon katsayısı, N: seri uzunluğu, x_i : i'nci gözlem değeri, x_{i+k} : i+k'nci gözlem değeri. Literatürde k değerine (gecikme) göre r_k nın değişimini gösteren grafiğe korelogram denmektedir. Hesaplanan r_k değerlerinin anlamlı olup olmadıkları Anderson tolerans limitleriyle sınımlanmaktadır.

$$TL(r_k) = \frac{-1}{N-k} \pm z \frac{\sqrt{N-k-1}}{N-k} \quad (5)$$

Burada, $TL(r_k)$: r_k 'ncı katsayının tolerans limiti, z : standardize normal dağılım tablosundan kritik değer (% 95 anlamlılık seviyesi için $z = 1.645$).

r_k değerlerinin istatistik açıdan anlamlı çıkmaları halinde seride bulunan verilerin arasında k kadar gecikme olan terimlerin birbirlerine bağımlı olduğu anlaşılır (Yevjevich, 1972).

İlk d adet α_i değeri matris formda düzenlenerek Yule Walker eşitlikleriyle hesaplanabilir.

$$\vec{\alpha} = \vec{R}_m \cdot \vec{\delta}_m \quad (6)$$

Burada;

$$\vec{\alpha} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_m \end{bmatrix}, \vec{\delta}_m = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_m \end{bmatrix},$$

$$\vec{R}_m = \begin{bmatrix} 1 & \delta_1 & \delta_2 & \cdots & \delta_{m-1} \\ \delta_1 & 1 & \delta_1 & \cdots & \delta_{m-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \delta_{m-1} & \delta_{m-2} & \delta_{m-3} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Hesaplanan α_i değerlerinin kararlılığı ise;

$$1 - \alpha_1\beta - \alpha_2\beta^2 - \cdots - \alpha_m\beta^m = 0 \quad (7)$$

denkleminin köklerinin β mutlak değerleri 1 den küçük olmak koşuluyla test edilir. Kararlılık;

$$AR(1) \text{ için; } -1 < \alpha_1 < 1 \quad (8)$$

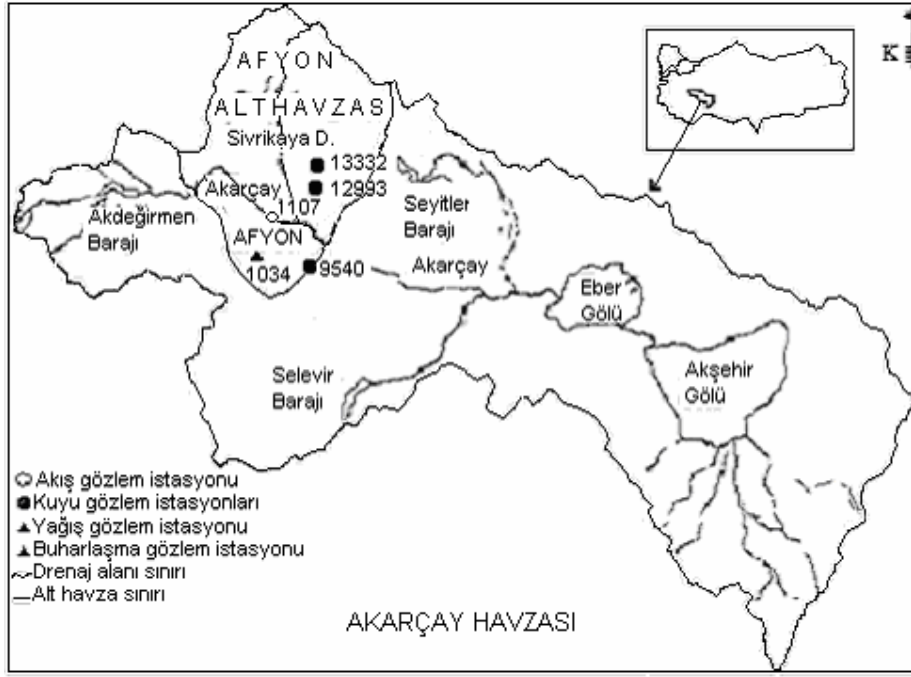
$$AR(2) \text{ için; } \alpha_1 + \alpha_2 < 1, \alpha_2 - \alpha_1 < 1, -1 < \alpha_2 < 1 \quad (9)$$

koşullarıyla test edilebilir (Benzeden, 1992).

Çalışma Alanı

Uzun yıllık ve düzenli kuyu gözlem verilerinin Akarçay havzasının yalnız Afyon alt havzasında (Şekil 1) ölçülmüş olması sebebiyle uygulama bu alt havzada mevcut 3 adet kuyu gözlem istasyonunda gerçekleştirilmiştir. Havzada hidrolojik ve hidrojeolojik kapsamda 1998 yılında Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 18. Bölge Müdürlüğüne Eber - Akşehir Hidroloji Revize Raporu, 1977 yılında Akarçay Havzası Hidrojeolojik Etüt Raporu ve 1998-2002 yılları arasında Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (HÜ-UKAM) tarafından "Revize Hidrojeolojik Etütler Kapsamında Akarçay Havzası Hidrojeolojisi ve Yeraltı Suyu Akım Modeli Projesi" başlıklı çalışma yapılmıştır. Tezcan ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada havza hidrolojik olarak 8 alt havzaya bölünmüş, her bir alt havzanın yüzey ve yeraltı suyu potansiyelleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Çalışmada göl ve akarsuların ova alanında yeraltı suyu sistemi ile ilişkisinin bulunmadığı ifade edilmektedir. Ancak aynı çalışmada Sincanlı ovasının yüzeyden itibaren 100-150m derinlikteki bölge ile Afyon ve çevresinde geçirimsizliğin genel olarak yüksek seviyede olduğu belirtilmektedir. Bu sebeple yeraltı su seviyesinin yüzeysel akış ve diğer meteorolojik parametreler ile arasında ilişki olması beklenilmektedir (Tezcan vd., 2002).

Akarçay havzası coğrafi konum olarak Ege, İç Anadolu ve Akdeniz bölgelerinin kesişim noktalarında yer almakta olup, her üç bölge içerisinde de sınırları bulunmaktadır. Havzanın geniş bir bölümü Ege bölgesinin İç Batı Anadolu bölümündedir. Doğu ve kuzey doğuda yer alan arazinin bir bölümü İç Anadolu Bölgesine uzanır. Havzanın önemli bir kesimi Afyon il sınırları içerisinde olup, doğudan Konya sınırlarına girer. Havza yaklaşık 130 km uzunluğunda, 20 km genişliğinde bir çöküntü havzasıdır. İçbatı Anadolu eşiği üzerinde yer alan güneydoğu - kuzeybatı doğrultulu dağ dizilerinden en doğuda olan Emir ve Türkmen dağları havzayı kuzey doğudan, İlbudak Dağı kuzeybatıdan, Sultandağları güneydoğudan, Ahır ve Kumalar Dağı ise güneybatıdan sınırlamaktadır (Tezcan, 1998). Akarçay havzasının büyük kısmı Neojene ait göl sedimanları, litoral malzeme ve volkanik kayalarla örtülüdür (DSİ, 1977).



Şekil 1. Akarçay Afyon Alt Havzası Gözlem İstasyonları (Yurtcu vd., 2006'dan).

Hesaplarda yeraltı su seviyesi olarak kuyu su seviyeleri, yeraltı suyu beslenmesi olarak yağış, yeraltı su kayıpları olarak buharlaşma ve akış değerleri kullanılmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Kullanılan Veriler.

İstasyon Adı	Veri Türü	İst. No	Gözlem Süresi (yıl)	Gözlem Başlangıcı	Gözlem Sonu	Toplam Veri Adedi
Afyon	Yağış (mm)	1034	68	1929	1997	816
Akarçay	Akım (m ³ /s)	1107	21	1969	1990	252
Afyon	Buharlaştırma(mm)	1034	33	1965	1998	396
Beyyazı	YSS (m)	13332	12	1977	1989	144
Salar	YSS (m)	9540	21	1977	1998	252
Susuz	YSS (m)	12993	19	1977	1998	228

Otoregresif Modelleme ve Değerlendirmeler

Akarçay havzası Afyon alt havzasında bulunan tüm verilerin otoregresif modellemesi yapılmıştır. Otoregresif modelleme için bilgisayar programı geliştirilmiş bu amaçla Excel 2000 kullanılmıştır. İşlem adımı şu şekilde gerçekleştirilmiştir. Verilerin öncelikle normal dağılıma uygunluğu kontrol edilmiş, çarpık dağılımlı olanlar Box-Cox transformasyonu ile normal dağılımlı hale getirilmiştir. Bu dönüşüm için kullanılan λ değerleri

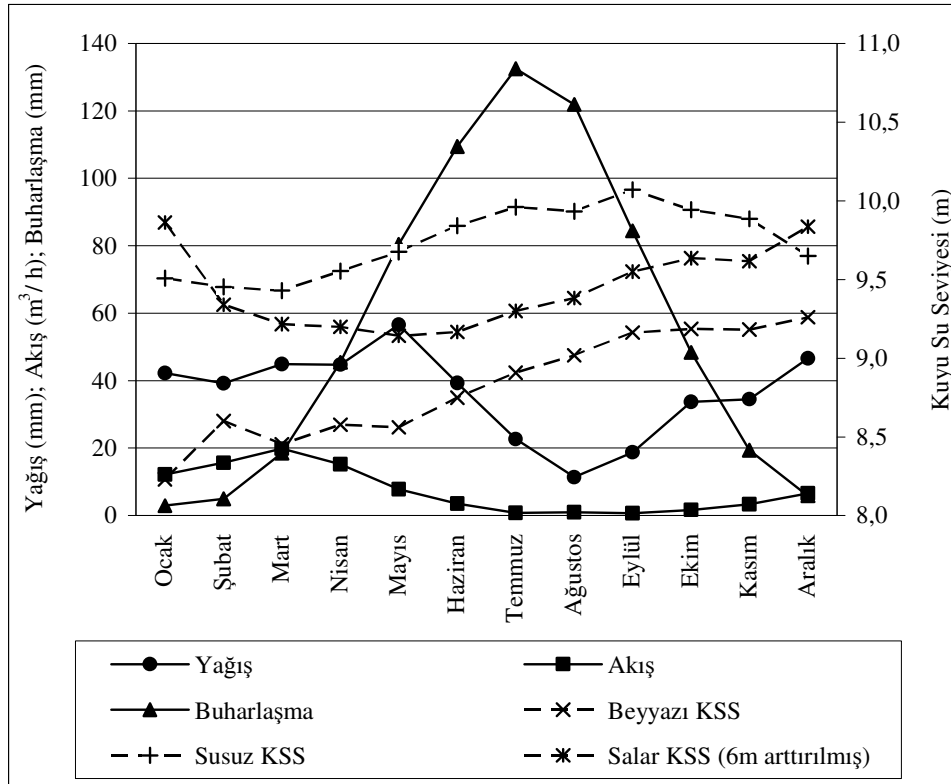
(Çizelge 2)'de verilmiştir. Normal dağılımlı hale getirilen verilerin istatistik parametreleri yeniden hesaplanmıştır. Ardından korelogram hesabı yapılmış, hesaplanan limitleri aşanların adetleri (k) tespit edilerek bunlar için kısmi otokorelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Bu katsayıların % 5 seviyesinde istatistik açıdan anlamlılığı kontrol edilmiş ve kararlı olup olmadıkları test edilmiştir. Tüm modeller kararlı çıkmış ve sonuçlar (Çizelge 2)'de verilmiştir.

Çizelge 2. Otoregresif Hesap Sonuçları ve Seçilen Model

İstasyon Adı	Afyon Yağış	Afyon Akarçay Akış	Afyon Buharlaşma	Beyazı (YSS)	Salar (YSS)	Susuz (YSS)
İstasyon No	1034	1107	1034	13332	9540	12993
λ	0.29	0.23	0.85	0.01	0.02	0.05
N	13	13	13	13	13	13
Ortalama	63.33	16.71	397.96	26.35	14.35	28.57
St.Spm	5.81	6.49	7.27	0.45	2.53	1.32
Çarpıklık	-0.68	-0.67	-0.21	0.13	0.93	0.26
Basıklık	0.78	-0.27	-1.36	0.36	-0.52	-0.70
r_0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
r_1	-0.24	0.07	-0.006	-0.18	0.76	0.78
r_2	-0.11	-0.07	-0.08	0.003	0.57	0.69
r_3	-0.12	0.46	-0.13	0.16	0.42	0.63
r_4	-0.09	-0.03	-0.07	-0.11	0.24	0.57
r_5	0.33	-0.27	-0.03	0.35	0.13	0.52
r_6	-0.34	-0.03	-0.51	-0.22	0.07	0.44
r_7	0.28	-0.33	-0.15	0.21	-0.04	0.35
Seçilen	AR(0)	AR(0)	AR(0)	AR(0)	AR(1)	AR(3)
AR(1) f_1					0.76	
AR(3) f_1						0.62
AR(3) f_2						0.11
AR(3) f_3						0.11

N: veri adedi, λ : Box-Cox transformasyonu katsayısı, r_i : otokorelasyon katsayıları ($i= 1,2,3,\dots$), AR(k) f_j : k gecikme adımı, ($j= 1,2,\dots,k$): otoregresif katsayılar.

Verilerin yıl içi periyotlarını karşılaştırmak amacıyla ortalama değerleri hesaplanarak karşılaştırma grafikleri (Şekil 2)'de verilmiştir.



Şekil 2. Gözlem istasyonları aylık ortalama değerlerinin karşılaştırılması

Sonuçlar

Akarçay havzası Afyon alt havzasında bulunan 6 farklı istasyon verileri için otoregresif modelleme yapılmıştır. İçsel bağımlılık açısından Afyon yağış, Afyon-Akarçay akış, Afyon buharlaşma ve Beyazı kuyu su seviyeleri AR (0) rastgele karakter göstermiştir. Salar kuyu su seviyesi AR (1) ve Susuz kuyu su seviyesi AR (3) anlamlı model vermiştir (Çizelge 2). AR (1), rastgele değişkenin i anındaki değerinin bir önceki (i-1) anındaki değerine lineer olarak bağımlı olduğunu gösterir. Bu iki istasyon için oluşturulan modellerin sentetik değerler üretmek ve gelecekteki olası değişimleri izlemek amacıyla kullanılabileceği düşünülmektedir.

Şekil 2 incelendiğinde;

- Yağış, Mayıs-Ağustos döneminde azalma, Ağustos-Mayıs döneminde ise artış eğilimindedir.
- Akış, Mart-Temmuz döneminde azalma, Temmuz-Mart döneminde artış eğilimindedir.
- Aralık-Mayıs döneminde Susuz ve Beyazı kuyu su seviyeleri ile Afyon yağış yaklaşık olarak aynı davranmaktadır. Mayıs-Ağustos döneminde yağış azalırken Susuz ve Beyazı kuyu su seviyeleri artmıştır. Bu farklılık 3 aylık dönemi kapsamaktadır. Yağışın minimum olduğu Ağustos ayından 1 ay sonra özellikle Susuz kuyu su seviyesi azalmaya başlamış, bu azalma yağış artışına rağmen yaklaşık 3 ay devam etmiştir. Bu durumda, Susuz kuyu su seviyesinin 1 ay gecikmeli olarak yağıştan beslendiği anlaşılmaktadır.
- Salar kuyu su seviyesi Mayıs ayından itibaren artmakta, Ocak-Mayıs arası azalmaktadır. Ağustos ayından itibaren yağış ve akış paralel artış göstermekte, Mayıs ayından Ağustos'a kadar yağış azalırken Salar kuyu su seviyesi artmaktadır. Bu durum Salar kuyu su seviyesinin Akarçay akım ve Afyon yağış gözlemleriyle aynı hareket etmediğini göstermektedir. Susuz ve Beyazı kuyu su seviyelerinin genel olarak benzer hareket ettikleri, Eylül ayında Susuz kuyu su seviyesi azalmaya başlarken Beyazı'da su seviyesi azalmamakta fakat artış eğimi düşmektedir. Salar kuyu su seviyesi Beyazı ve Susuz kuyularının su seviyelerinden farklı davranış göstermektedir. Bu seviye değişimindeki farklılığın Salar'ın menbaında bulunan Selevir barajından ve bölgenin jeolojik yapısından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple, Selevir barajı işletme çalışmaları ile Salar kuyu su seviye değişimlerinin birlikte analiz edilmesi Salar kuyu su seviye değişiminin sebeplerinin belirlenmesine faydalı olacaktır.
- Buharlaşmanın, akım ve yağış ile ters davranış gösterdiği grafiklerden anlaşılmaktadır. Bununla beraber yeraltı su seviyesinin buharlaşmadan bağımsız olduğu grafikten kolaylıkla anlaşılmaktadır.
- Yeraltı sularının özellikle Temmuz-Eylül döneminden itibaren seviyelerinde bir düşüş beklenir. Aralık-Ocak döneminden itibaren tekrar bir yükselme görülür. Bunun sebebi ise yağış neticesi yüzeyden meydana gelen sızmaların ve yeraltı suyu birikimlerinin Temmuz ayına kadar yavaş olarak

devam etmesidir. Beklendiği gibi Susuz kuyu su seviyesi Eylül ayında düşmeye başlamış, Beyazı'da ise kuyu su seviyesindeki artış azalmaya başlamıştır.

- Genel olarak yeraltı suyu sisteminin havzada yüksek bölgeleri oluşturan kayaçlardan ve sızma yoluyla beslendiği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Bacanlı, Ü, G., Baran, T. 2004. Stokastik Modellerde Yıllık Akım Verilerinde Uygunluk Kriterlerinin Değerlendirilmesi. IV Ulusal Hidroloji Kongresi, 23-25 Haziran, İstanbul, Türkiye, 215-225.
- Bayazıt, M. 1981. Hidrolojide İstatistiksel Yöntemler. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.166
- Benzeden, E. 1992. Stochastic Hydrology. Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi, Yayınlanmamış Ders Notları, İzmir. 187.
- Büyükyıldız, M., Berktaş, A. 2006. Sakarya Havzası Aylık Yağışlarının Otoregresif Modellemesi. Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12, 117-126
- DSİ 1977. Akarçay Havzası Hidrojeolojik Etüt Raporu. Devlet Su İşleri Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı suları Daire Başkanlığı, Ankara. 64.
- İçaga, Y. 2001. Akarçay Aylık Akımlarının Modellenmesi. III.Ulusal Hidroloji Kongresi, İzmir, s 637-640.
- Jones, A.L., Smart, P.L. 2005. Spatial and Temporal Changes in the Structure of Groundwater Nitrateconcentration Time Series (1935-1999) as Demonstrated by Autoregressive Modelling. Journal of Hydrology, 310, 201-215.
- Karabörk, M. Ç. 1997. Yıllık ve Aylık Akımların Stokastik Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 90.
- Meloun M., Sanka, M., Memec P., Kritkova S., Kupka, K. 2005. The analysis of soil cores polluted with certain metals using the Box-Cox transformation. Environmental Pollution, 137, 273-280.
- Pegram, G. G. S., James, W. 1972. Multilag Multivariate, Autoregressive Model for the Generation of Operational Hydrology. Water Resources Research, 8, 1074-1076.
- Sepeçioğlu, M. Y. 1995. Akarsularda Akımların Stokastik Özellikleri ve Akım Serilerinin İstatistiksel Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 107.

- Tezcan, L., Meriç, T., Doğdu, N., Akan, B., Atilla, Ö., Kurttaş, T. 2002. Akarçay Havzası Hidrojeolojisi ve Yeraltı suyu Akım Modeli Final Raporu. Hacettepe Üniversitesi UKAM, Ankara. 339.
- Tezcan, L. 1998. Revize Hidrojeolojik Etütler Kapsamında Akarçay Havzası Hidrojeolojisi ve Yeraltı suyu Akım Modeli Projesi Birinci Ara Rapor. Hacettepe Üniversitesi UKAM, Ankara.
- Usul, G. 1994. Çoruh Nehri Üzerinde 2323 no'lu İstasyonun Aylık Akımlarının Stokastik Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 82.
- Yevjevich, V. 1972. Stochastic Processes in Hydrology. Water Resources Publications Fort Collins, Colorado, USA, 255.
- Yurtcu, Ş., Uygunoğlu, T., İçağa, Y. 2006. Yer altı Suyu Akımı İle Diğer Meteorolojik Değişkenler Arasındaki İlişkinin Bulanık Mantıkla Modellenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12, 285-292.