



Makale

Akarçay Havzası Yeraltı Suyu Periyodik Davranışının Modellenmesi

Şaban YURTCU, Yılmaz İÇAĞA

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar

ÖZET

Bu çalışmada bağımlı değişken yeraltı su seviyesi ve bağımsız değişkenler olarak da debi yağış ve buharlaşmanın kullanıldığı bir istatistiksel modelle yeraltı suyunun davranışının belirlenmesi amaçlanmıştır. Uygulama Akarçay havzasında yer alan 5 adet kuyu, 4 adet yağış, 6 adet akış ve 4 adet buharlaşma gözlem istasyonu verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Verilerde yıl içi periyodik davranış olup olmadığını araştırmak amacıyla periyodogram analizi kullanılmış ve yeraltı suyunun davranışında beslenme ve kayıpların etkisini ortaya koyabilmek amacıyla çoklu regresyon analizi ve korelasyon teknikleri uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucu iki adet kuyu suyu seviye değişimi ile diğer meteorolojik değişkenler arasında pozitif ve yüksek düzeyde anlamlı bir ilişkinin olduğu ve tüm değişkenlerin mevsimsel periyoda sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı suyu, Regresyon, Periyodogram, Akarçay

1. GİRİŞ

Doğal olarak filtrelenmiş olan yeraltı suları, yüzey sularının azalması, biriktirme ve iletme giderlerinin artması nedeni ile sulama, içme suyu, kullanım suyu ve sanayi suyu rezervleri olarak her geçen gün önem kazanmaktadır.

Yeraltı suyu konusu günümüzde bir çok mühendislik dallarınca incelenmektedir. Ziraatçılar; tarımsal açıdan suyun iletilmesi, zararlı ıslaklığın engellenmesi ve çorak arazinin faydalı duruma getirilmesi yönünden, madenciler; verimi azaltma, ocaklarda çökme neticesinde kazalara yol açma açısından, inşaatçılar; temellerdeki deformasyon oluşması, kapilarite sebebiyle sıvaya ve betona zararlı etki yapma, tünel ve yollardaki kazıların stabilitesini bozma gibi nedenlerden yeraltı suları ile yakından ilgilenmektedirler.

Yeraltı sularından istenilen şekilde faydalanmak ve zararlarını da en aza indirebilmek için yeraltı suyunun davranışının iyi bilinmesi gerekmektedir. Yeraltı suyunun davranışının bilinebilmesi için, yeraltı suyunun beslenme ve kayıplarının bilinmesi; bunlarla arasındaki ilişkinin ortaya konması gerekmektedir.

Bu çalışmada yeraltı suyu davranışının modellenmesi amacıyla yeraltı su seviyesi gözlem verileri (gözlem kuyusu su seviyeleri) ile yeraltı su seviyesinin değişiminde etken olan yağış, yüzeysel akış ve buharlaşma kayıpları üzerinde periyodogram analizleri yapılmış ve bu değişkenler arasındaki ilişkileri tanımlayabilmek için çok değişkenli regresyon ve korelasyon analizi yapılarak model kurulmaya çalışılmıştır.

2. YÖNTEM

Uygulanan yöntemler ve bunları gerçekleştirebilmek için yardımcı testler aşağıda açıklanmıştır.

2.1. Regresyon Analizi

Hidrolojik olaylarda iki ya da daha çok sayıda değişkenin aynı gözlem sırasında aldıkları değerlerin birbirinden istatistik bakımdan bağımsız olmadığını, dolayısıyla değişkenler arasında bir ilişki olduğu görülür. Değişkenler arasında bir ilişki bulunması bunlardan birinin diğerinden etkilenmesinden kaynaklanır. Literatürde bir ilişki olup olmadığını ortaya çıkarmak ve bir denklemde nasıl ifade edilebileceğini göstermek için yapılan işleme regresyon analizi denir.

Regresyon analizi

1. Basit doğrusal regresyon analizi
2. Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi
3. Doğrusal olmayan (nonlinear) regresyon analizi olmak üzere sınıflandırılmaktadır [1].

Bu çalışmada göl su seviyesine etki eden değişkenleri bir arada ele almak ve bir model oluşturabilmek amacıyla çok değişkenli doğrusal regresyon analizi kullanılmış, değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek için korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. En küçük kareler yöntemi kullanılarak elde edilen bu sonuçların istatistik açıdan anlamlılıkları F testiyle sınanmıştır.

2.1.1. Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon Denklemi

Çok değişkenli doğrusal regresyon analizinde, değişkenler arasındaki ilişkinin biçimini veren regresyon denkleminin genel formu;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (1)$$

şeklinindedir. Burada y , x_1, \dots, x_k gözlenebilen değerler ve β_j , $j = 0, 1, \dots, k$ regresyon katsayıları olarak β_j parametreleri x_j ' lerdeki birim değişim için y ' de olması beklenen değişimi temsil etmektedir. β_j parametreleri bağımsız değişkenin (x_j) kısmi etkisini tanımladığından genellikle kısmi regresyon katsayıları olarak tanımlanmaktadır [2]. Çok değişkenli doğrusal regresyon denkleminin katsayılarını tahmin edebilmek için en küçük kareler metodu kullanılmaktadır [3]. Bu çalışmada regresyon analizi için araştırılan model (Tablo 1) de verilmiştir.

Tablo 1. Regresyon analizi için araştırılan model

Bağımlı değişken (y)		Bağımsız değişken (x_i)
Kuyu suyu seviyesi	=	$\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4$

x_i ; akım, yağış, buharlaşma değişkenleri, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ bilinmeyen parametrelerdir.

Çoklu regresyon fonksiyonunu belirledikten sonra x_i değişkenlerinin y değişkenini açıklamadaki önemlerini ve fonksiyonun uyumunun derecesini ölçmek için çoklu korelasyon analizi yapılmaktadır.

Çok değişkenli korelasyon katsayısı ($R^2_{x_i}$)

$$R^2_{x_i} = \frac{n(\beta_0 \Sigma y + \beta_1 \Sigma x_1 y + \beta_2 \Sigma x_2 y) - (\Sigma y)^2}{[n \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2]} \quad (2)$$

ile hesaplanır. Burada; n; gözlem adedi β_0 , β_1 model sabitleri y, bağımlı değişken x_i , bağımsız değişkenlerdir [4].

2.1.2. Modelin Anlamlılık Testi

β_j model parametreleri olmak üzere modelin test edilmesinde hipotezler şu şekildedir.

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots \beta_k = 0 \quad (3)$$

$$H_1 : \text{en az bir } j \text{ için } \beta_j \neq 0 \quad (4)$$

H_0 ' ın reddedilmesi modeldeki x_1, x_2, \dots, x_n bağımsız değişkenlerinden en az birinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Modelin hesaplanan test istatistiği (Fisher) kritik değerden küçük ise H_0 hipotezi kabul edilmektedir[5].

2.2. Periyodogram Analizi

Çok sayıda hidrolojik veri (yağış, debi, buharlaşma gibi) ortalama veya standart sapma gibi temel istatistiksel parametrelerinde periyodik (mevsimsel) özellikleri yansıtırlar. Bu özellikler bir yıllık dönem içinde oluşan düzenli hareketlerdir ve her yıl gerçekleşir [6]. Gözlem serilerindeki bu periyodik bileşenler Fourier serileri yaklaşımı kullanılarak araştırılabilir. Bu yaklaşımda q_k serisinin periyodik bileşeni olarak kabul edilirse Fourier serisi fonksiyonunun katsayısı şu şekilde hesaplanabilir:

$$\bar{q} = (1/w) \sum_{k=1}^w q_k \quad (5)$$

Burada q_k : $X_{p,k}$ (p: yıl , k: ay) zaman serisinin periyodik parametresidir ve

$$\text{var}(q_k) = (1/w) \sum_{k=1}^w \left(q_k - \bar{q} \right)^2 \quad (6)$$

$$a_q(j) = (2/w) \sum_{k=1}^w q_k \cos(k * 2 * \pi * j/w) \quad (7)$$

$$b_q(j) = (2/w) \sum_{k=1}^w q_k \sin(k * 2 * \pi * j/w) \quad (8)$$

ile hesaplanır. Burada;

k : 1,2,.....,w

j: 1,2,.....,M (Aylık veri için , M = W/2)

w: Temel periyod (12 aylık)

\bar{q} : Ortalama

değerdir [7].

3. UYGULAMA

Uygulama Akarçay havzasında gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Havzada hidrolojik ve hidrojeolojik kapsamda 1998 yılında Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 18. Bölge Müdürlüğünce 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 [8].

Tezcan vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada 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.

3.1. Akarçay Havzası Coğrafi Konum ve Jeolojik Yapısı

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 Dağı ve Kumalar Dağı ise güneybatıdan sınırlamaktadır[9].

Akarçay havzasının büyük kısmı Neojene ait göl sedimanları, litoral malzeme ve volkanik kayalarla örtülüdür [10].



Şekil 1. Akarçay havzası gözlem istasyonları [11].

3.2. Kullanılan Veriler

Çalışma, Akarçay havzasında yer alan 5 adet kuyu suyu seviye gözlem istasyonu, 4 adet yağış gözlem istasyonu, 6 adet akım gözlem istasyonu ve 4 adet buharlaşma gözlem istasyonu verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Akarçay Havzası Gözlem İstasyonları [8].

Kuyu Gözlemi		Yağış Gözlemi		Akım Gözlemi		Buharlaştırma Gözlemi	
İstasyon No	Gözlem Yılı	İst. No	Gözlem Yılı	İst. No	Gözlem Yılı	İst. No	Gözlem Yılı
İstasyon Adı		İst. Adı		İst. Adı		İst. Adı	
12993 (Susuz)	1977- 1998	1034 (Afyon)	1929- 1996	11020 (Nacak D.)	1980- 1996	11012 (Eber)	1974- 1996
19065 (Şuhut)	1976- 1998	11001 (Seyitler)	1964- 1996	11017 (Araplı D.)	1971- 1996	11001 (Seyitler)	1966- 1996
7932 (Sinanpaşa)	1998- 1999	11004 (Selevir)	1966- 1994	11004 (Bolvadin)	1969- 1996	11004 (Selevir)	1966- 1994
18589 (Çay)	1986- 1999	11021 (Çay)	1964- 1996	11019 (Seyitler Giriş)	1966- 1996	7009 (Serban)	1972- 1996
13332 (Beyyazı)	1977- 1999			11013 (Selevir Giriş)	1966- 1998		
				11007 (Balmahmut)			

3.3. Çoklu Regresyon ve Korelasyon Analizi

Yeraltı su seviyesinin değişimini etkileyen yağış ve buharlaştırma verileri ile yeraltı su seviyesinin göstergesi olan akım verileri kullanılmış bu üç değişkenin kuyu suyu seviyesi değişimi ile bağımlılığı ve bağımlılığın yönü araştırılmıştır. Hesaplar SPSS 11.5 istatistiksel paket programı yardımıyla yapılmış sonuçlar Tablo 3’ de verilmiştir.

Tablo 3. Çoklu Regresyon ve Korelasyon Analiz Sonuçları

Kuyu Suyu Seviye (KSS)	Yağış (Y)	Akış (A)	Buharlaştırma (B)	Korelasyon		R	R ²	P
				İkili (r)	Kısmi (r)			
Susuz	Seyitler			-0.66	-0.785	0.923	0.852	0.093
Susuz		Seyitler		-0.223	0.749			
Susuz			Seyitler	0.777	0.72			
Şuhut	Selevir			-0.532	-0.447	0.621	0.386	0.644
Şuhut		Selevir		-0.46	-0.13			
Şuhut			Selevir	0.126	-0.367			
Sinanpaşa	Afyon			-0.63	0.876	0.997	0.995	0.001
Sinanpaşa		Nacak Deresi		-0.667	-0.927			
Sinanpaşa			Serban	0.981	0.995			
Çay	Çay			-0.845	-0.874	0.946	0.895	0.056
Çay		Bolvadin		-0.744	0.524			
Çay			Eber	0.346	-0.795			
Beyyazı	Afyon			-0.857	-0.994	0.998	0.995	0.001
Beyyazı		Araplı Deresi		-0.74	-0.979			
Beyyazı			Serban	0.297	-0.988			

KSS: bağımlı değişken, Y, A, B: bağımsız değişken, r: korelasyon katsayısı, R^2 : determinasyon katsayısı, P: anlamlılık düzeyi ($P < 0.01$ ise anlamlı bir ilişki vardır)[12].

Bağımsız değişkenlerle bağımlı değişken arasındaki ikili ve kısmi korelasyonlar incelendiğinde;

- Susuz (KSS) ile Seyitler (Y) arasında negatif ve orta düzeyde bir ilişkinin ($r = -0.66$) olduğu, ancak diğer değişkenler kontrol edildiğinde iki değişken arasındaki korelasyonun negatif ve yüksek düzeyde ($r = -0.785$) olduğu görülmektedir.
- Susuz (KSS) ile Seyitler (A) arasında negatif ve düşük düzeyde bir ilişkinin ($r = -0.223$) olduğu, ancak diğer değişkenler kontrol edildiğinde iki değişken arasındaki korelasyonun pozitif ve yüksek düzeyde ($r = 0.749$) olduğu görülmektedir.
- Susuz (KSS) ile Seyitler (B) arasında pozitif ve yüksek düzeyde bir ilişkinin ($r = 0.777$) olduğu, ancak diğer değişkenler kontrol edildiğinde iki değişken arasındaki korelasyonun pozitif ve yüksek düzeyde ($r = 0.720$) olduğu görülmektedir.
- Seyitler (Y), Seyitler (A), Seyitler (B) değişkenleri birlikte Susuz (KSS) ile yüksek düzeyde ve anlamsız bir ilişki vermektedir ($R = 0.923$, $R^2 = 0.852$, $P > 0.01$)
- Selevir (Y), Selevir (A), Selevir (B) değişkenleri birlikte Şuhut (KSS) ile orta düzeyde ve anlamsız bir ilişki vermektedir ($R = 0.621$, $R^2 = 0.386$, $P > 0.01$).
- Çay (Y), Bolvadin (A), Eber (B) değişkenleri birlikte Çay (KSS) ile yüksek düzeyde ve anlamsız bir ilişki vermektedir ($R = 0.946$, $R^2 = 0.895$, $P > 0.01$).
- Afyon (Y), Nacak Deresi (A), Serban (B) değişkenleri birlikte Sinanpaşa (KSS) ile yüksek düzeyde ve anlamlı bir ilişki vermektedir ($R = 0.997$, $R^2 = 0.995$, $P < 0.01$). Adı geçen üç değişken birlikte Sinanpaşa kuyu suyu seviyesindeki toplam varyansın yaklaşık % 99' unu açıklamaktadır.
- Afyon (Y), Araplı Deresi (A), Serban (B) değişkenleri birlikte Beyazı (KSS) ile yüksek düzeyde ve anlamlı bir ilişki vermektedir ($R = 0.998$, $R^2 = 0.995$, $P < 0.01$). Adı geçen üç değişken birlikte Beyazı kuyu suyu seviyesindeki toplam varyansın yaklaşık % 99' unu açıklamaktadır.

3.4. Periyodogram Analizi

Verilerin hesaplanan aylık ortalama değerleri kullanılarak yıl içinde oluşan periyodik davranışları ortaya konmaya çalışılmıştır. Hesaplamalar Quick Basic bilgisayar programında yapılmış ve sonuçlar Tablo 4' de verilmiştir.

4. SONUÇLAR

Yağış, yüzeysel akış ve buharlaşmanın yeraltı suyu seviye değişimine yaptıkları etkiler uygulanan yöntemlerle belirlenmeye çalışılmıştır.

Kuyu, Akım, Yağış ve Buharlaşma gözlemleriyle yapılan çok değişkenli doğrusal regresyon analizlerinde iki bölge anlamlı model vermiş, üç bölge anlamlı model vermemiştir Sinanpaşa (KSS) ile Beyazı (KSS)' ne etki eden hidrometeorolojik değişkenler yüksek düzeyde ve anlamlı bir ilişki vermiş olup toplam varyansın % 99' unu açıklamaktadır. Susuz (KSS), Şuhut (KSS) ve Çay (KSS) anlamlı model vermemiştir. Şuhut (KSS) ile Selevir (A)-Selevir (Y)-Selevir (B)' nin anlamlı model vermemesinin kuyunun Selevir barajının mansabında kalması, akım gözleminin membada kalması ve barajın yeraltı suyu hareketini etkilemesi dolayısıyla oluştuğu düşünülmektedir.

Regresyon analizlerinin hepsi bir arada değerlendirildiğinde ise baraj gibi insan müdahalesinin olması ve kuyu ile diğer değişkenlerin gözlem yerlerinin çok farklı olmaması halinde genel olarak anlamlı model verdikleri görülmektedir.

Elde edilen regresyon modelini doğru yorumlayabilmek için kullanılan verilerin periyodik bileşenleri hesaplanmıştır. Verilerde yıl içi periyodik davranış olup olmadığını araştırmak amacıyla yapılan periyodogram analizi sonuçlarına göre (Tablo 4), Seyitler (11001), Selevir (11004) yağış gözlem istasyon

verilerinde (2); Afyon (1034), Çay (11021) yağış gözlem istasyonu verilerinde (1) periyot bulunmuştur. Yıl içinde iki periyot dört ayda birlik değişimi diğer ifadeyle mevsimsel değişimi göstermektedir. Buharlaşma verilerinin periyodogram analizinde çok belirgin olmamakla beraber 3 periyodik bileşen olduğu söylenebilir. Akım ve Kuyu su seviyesi verilerinde ise genel olarak 1 periyodik bileşen gözlenmiştir. Periyodik bileşenin iki olması dört aylık (mevsimlik), üç olması ise üç aylık periyodu göstermektedir. Üç periyodik bileşen çıkan istasyonlarda aynı zamanda kuvvetli altı aylık periyot (1 periyot) olduğu sonuçlardan görülmektedir. Nacak deresinde 2 periyot olmasına rağmen bu istasyonun mansabında kalan Balmahmut ve Araplı deresi akım gözlem istasyonlarında 1 periyodik bileşen çıkması bu iki mansap istasyonunun akarsuyun diğer kolundan etkilendiği düşünülmektedir. Verilerdeki periyodik bileşenler bir arada değerlendirildiğinde genel olarak mevsimsel periyodun olduğu görülmüştür.

Tablo 4. Gözlem Verileri İçin Periyodogram Analiz Sonuçları

Değişken	İstasyon No	Temel Periyod	Ortalama	Varyans	Kareler Toplamı	Periyod Sayısı
Kuyu Su Seviye	12993	12	10.91	0.109	1.327	2
	19065	12	4.89	0.634	8.532	1
	7932	12	15.186	4.786	57.51	1
	18589	12	28.23	4.517	62.106	1
	13332	12	8.740	0.115	1.440	1
Yağış	1034	12	36225	158894	1912.19	1
	11001	12	29608	115891	1393.66	2
	11004	12	29339	108026	1316.81	2
	11021	12	26292	276269	3581.25	1
Akım	11020	12	18.95	396.39	8207.75	2
	11017	12	22.95	564.47	10715.9	1
	11004	12	33.33	727.68	14807.16	1
	11019	12	23.729	578.807	10559.6	1
	11013	12	4.203	18.371	220.945	1
	11007	12	24.5	507.83	11470.3	1
Buharlaşma	11012	12	159.792	47957.9	859625	3
	11001	12	167.91	38672.4	699269	2
	11004	12	180.7	43799.8	786820.2	2
	7009	12	151.2	42094.5	759322	3

KAYNAKLAR

1. Bayazıt, M., Ogün, B., Mühendisler İçin İstatistik, 2. Basım, Birsen Yayınevi, İstanbul, 211, (1994).
2. Ünver, Ö., Gamgam, H., Uygulamalı İstatistik Yöntemler, 3 Basım, Siyasal Kitabevi, Ankara, 413, (1999).
3. Sieber, A., Uhlenbrook, S., Sensitivity analyses of a distributed catchment model to verify the model structure, Journal of Hydrology, 310, 216-235, (2005).
4. Alabo, K.B., İstatistik Analiz Metotları. 5. Basım, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 570, (1998).

5. Hines, W.W., Montgomery, D.C., Probability and Statistics In Engineering and Management Science, Third Edition, John Wiley and Sons, Singapore, 499, (1990).
6. Akdeniz, F., Olasılık ve İstatistik. 1. Basım, Baki Kitabevi, Adana, 545. (1998).
7. İçağa, Y., Analysis Of Trends In Water Quality Using Nonparametric Methods, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi FBE, 31, (1994).
8. Tezcan, L., Meriç T., Dođdu N., Akan B., Atilla Ö., Kurttař T., Akarçay Havzası Hidrojeolojisi ve Yeraltı suyu Akım Modeli Final Raporu, Hacettepe Üniversitesi UKAM, 339, (2002).
9. Tezcan, L., Revize Hidrojeolojik Etütler Kapsamında Akarçay Havzası Hidrojeolojisi ve Yeraltı suyu Akım Modeli Projesi Birinci Ara Rapor, Hacettepe Üniversitesi UKAM, 73, (1998).
10. DSİ, Akarçay Havzası Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı suları Daire Başkanlığı, İşletme Müdürlüğü Matbaası, 63, Ankara, (1977).
11. Yurtcu, ř., Kil Zeminlerde Yeraltı suyu Davranışının Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi FBE, 87, (2001).
12. Büyüköztürk, ř., Sosyal Bilimler İçin Veri Analizi El Kitabı, 4. Basım, Pegem Yayıncılık, Ankara, 194, (2002).