

## BÜYÜK MENDERES HAVZASINDA YILLIK TOPLAM YAĞIŞLARIN ZAMANSAL DEĞİŞİMLERİ

*Ercan YEŞİLIRMAK<sup>1</sup>, Selin AKÇAY<sup>1</sup>, Necdet DAĞDELEN<sup>1</sup>*

### ÖZET

Bu çalışmada, Büyük Menderes havzasında gerek DMİ (Devlet İşleri Genel Müdürlüğü) gerekse de DSİ (Devlet Su İşleri) tarafından işletilen onaltı istasyonda kaydedilen uzun dönemli yıllık toplam yağış serilerinin zamansal değişimleri Mann-Kendall testi ile sınanmıştır. Zamansal eğilimlerin eğimleri ise Sen'in eğim testi ile belirlenmiştir. Seri korelasyon içeren zaman serilerine TFPW (Trend-Free Prewhitening) yöntemi uygulanmış; eğilimlerin yönlerinin istasyonlar arasındaki homojenliği ise Van Belle ve Hughes testi kullanılarak araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, iki istasyonda artan yönde, diğer istasyonlarda ise azalan yönde eğilim olduğu saptanmıştır. Sadece bir istasyondaki azalan yöndeki eğilimin %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur. DSİ istasyonlarındaki yağış eğilimlerinin, DMİ istasyonları ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. İstasyonlardaki azalan yöndeki eğilimlerin havza bazında homojen olduğu saptanmıştır. İklim değişikliği sonucunda yağışlardaki azalmaya bağlı olarak temiz su kaynaklarındaki daralmanın yanında, kentsel, endüstriyel ve tarımsal su talebindeki artışın, temiz su kaynakları üzerindeki baskıyı arttırması beklenmektedir. Beklenen su kıtlığı ile mücadelede arttırılmış atıksuların, özellikle tarımsal sulamada yeniden kullanılması önemli bir fırsat yaratabilir. Böylece, su kullanıcıları arasındaki rekabet hafifletilerek, endüstriyel ve kentsel tüketim için daha fazla temiz su ayrılabilir.

**Anahtar Sözcükler:** Yağış, eğilim, Büyük Menderes Havzası, iklim değişimi, atıksuların yeniden kullanımı

### Temporal Change of Annual Rainfall in Büyük Menderes Basin

#### ABSTRACT

In this study, it was aimed to investigate long-term trends of annual precipitation data recorded in sixteen stations operated by DMİ (Turkish State Meteorological Service) and DSİ (State Hydraulics Works) in Büyük Menderes Basin (Turkey) using Mann-Kendall test with TFPW (Trend-Free Prewhitening) procedure that eliminates the serial correlation for time series containing serial correlation. The slopes of trends were determined by Sen's Slope Estimator. Homogeneity of trends among stations was tested using Van Belle and Hughes test. The results showed that total annual rainfall increased at only two stations, while decreased at other stations. However, the trend at only one station is statistically significant at 5% level. Temporal patterns of DSİ-stations were found to be consistent with those of DMİ-stations. Decreasing trends among the stations was found to be homogeneous. It is expected that demand on fresh water resources will increase due to decreasing rainfall as a consequence of climate change, together with domestic, industrial and agricultural water use. To cope with the expected water scarcity in the basin, reuse of treated wastewaters, especially in agriculture, may provide an important opportunity. Hence, this may alleviate the competition among water users, and fresh water resources can be allocated to domestic and industrial use.

**Key Words:** Rainfall, trend, Büyük Menderes Basin, climate change, reuse of treated wastewaters

### GİRİŞ

Sera gazlarının antropojenik kaynaklardan emisyonu sonucu, 19. yüzyılın sonlarında veya 20. yüzyılın başlarından itibaren ortaya çıkan küresel ısınma ve iklim değişikliği, son yirmi yılın önemli çevre sorunlarından biri olmuştur (Zhao ve ark., 2010; Kumar ve Jain, 2010). Yapılan araştırmalar sonucunda, küresel ortalama sıcaklığın 1906-2005 arasında  $0.74 \pm 0.18^\circ\text{C}$  yükseldiği saptanmıştır (IPCC, 2007). Sıcaklıkla birlikte, yağışın iklim değişiminden en çok etkilenecek iklim parametrelerinden biri olduğu ortaya konmuştur (Nicholls ve ark., 1996). Küresel ısınmayla eşzamanlı olarak, 1901-2005 arasında, yıllık toplam yağışların Kuzey ve Güney Amerika'da, Avrasya kıtasında ve Avustralya'da arttığı; Afrika'nın Batısında, Sahel'de, Güney Amerika'nın batı kıyılarında ve Akdeniz havzasında ise azaldığı gözlemlenmiştir (Homar ve ark., 2010).

Küresel sıcaklık artışının, atmosferik

sirkülasyonda değişime, hidrolojik döngünün hızlanmasına ve atmosferin nem tutma kapasitesinin yükselmesine neden olması beklenmektedir (Zhao ve ark., 2010). Toplam yağış miktarındaki değişimle birlikte yağışın frekansındaki ve şiddetindeki değişimler yüzey akışın zamanını ve büyüklüğünü, taşkınların ve kuraklıkların şiddetini etkileyecektir (Immerzeel, 2008). IPCC (2007)'ye göre, tarımın, iklim değişikliğinden en çok etkilenecek sektörlerden biri olacağı tahmin edilmektedir. Daha çok veya daha az yağış, veya yağışın dağılımındaki değişimler yüzey akışın, toprak neminin ve yer altı su rezervlerinin zamansal ve mekansal değişimini etkileyebilecektir (Kumar ve Jain, 2010). Bunun yanında, yağış düzeylerindeki değişiklikler, su depolama yapılarının planlanması, inşası ve işletmesi ile su kaynaklarının yönetiminde önemli değişiklikler meydana getirecek ve yeni düzenlemeleri zorunlu kılacaktır. Değişen iklim koşullarına uyum çerçevesinde, su kaynakları

<sup>1</sup> Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, AYDIN

için yeni yönetim stratejilerinin geliştirilmesi gerekecektir.

Çoğu iklim değişikliği çalışmalarının bugüne kadar küresel, bölgesel veya ülke ölçeğinde yapılmış olması iklim değişikliğinin akarsu havzaları üzerindeki potansiyel etkilerini gizleyebilmektedir. Dolayısıyla, iklim değişikliğinin belirli bir havzadaki su kaynakları üzerindeki etkilerini tanımlamak, bu olası etkilerin yönetilebilmesi amacıyla havza veya sulama şebekesi bazında ne tür önlemlerin alınabileceğini belirlemek giderek büyük önem kazanmaktadır (Chapponiere ve Smakhtin, 2006). Bu nedenle, meydana gelebilecek riskleri azaltmak amacıyla, iklim değişikliğinin havza ölçeğinde hidrolojik döngü ve su kaynakları üzerindeki etkileri son yıllarda daha fazla araştırma konusu olmuştur (Zhao ve ark., 2010). Carbajal ve ark. (1993) Şili'deki Aconcagua akarsuyu havasındaki yıllık toplam yağışların zamansal değişimlerini incelemiş ve değişim olmadığını saptamıştır. Burford ve ark. (2009) Kanada'nın Quesnel akarsuyu havzasında yağışların 1926-2003 yılları arasında %18 arttığını belirlemiştir. Chen ve ark. (2007), Çin'in Hanjiang havzasında yağış verilerinin uzun dönemli eğilimlerini incelemişler ve havzanın çoğunda yağışların önemli bir değişime sahip olmadığını saptamışlardır. Liu ve ark. (2008) Çin'in Yellow River havzası için yaptıkları çalışmada, 1960-2006 yılları arasında istasyonların çoğunluğunda yağışların azaldığını gözlemlemişlerdir.

Tüm Türkiye'yi kapsayan araştırmalarda, yıllık toplam yağışların, bazı bölgelerde artış olmasına rağmen, genelde azalma eğiliminde olduğu görülmüştür (Türkeş, 1996; Türkeş ve ark., 2009; Partal ve Kahya, 2006; Özfıdaner, 2007). Bunun yanında, havza bazında veya daha küçük mekansal ölçekte yapılmış çalışmalar da bulunmaktadır. Kukul ve ark. (2007), Gediz Havzasında yağışların 1980'li yılların başından itibaren azalmaya başladığını belirlemişlerdir. Oğuz ve ark. (2008), Tokat ili Kozova yöresinde yıllık yağış ortalamasına ait yağış gidişlerinin değişmediğini, ancak kış yağışlarındaki azalma eğiliminin önemli olduğunu bulmuşlardır. Yıldırım ve ark. (2004), Gediz havzasında yer alan Akhisar istasyonunda kış mevsimi dışındaki diğer mevsimlerde yağışlarda bir değişim olmadığını belirlemişlerdir. Durdu (2010), Aydın, Denizli, Afyon ve Uşak istasyonlarında 1963-2007 yılları arasında yıllık toplam yağışlarda azalma eğilimi olduğunu fakat bu eğilimin istatistiksel olarak önemli olmadığını saptamıştır. Özkul (2009), Büyük Menderes Havzasında yıllık toplam yağışların Aydın'da 1929-1999 arasında, Yatağan'da 1975-2000 arasında ve Denizli'de 1947-1994 arasında azaldığını fakat bu azalmaların %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli olmadığını belirlemiştir. Bulut ve ark. (2006), Şanlıurfa ve Adıyaman istasyonlarında 1972-2003 yılları arasında yıllık toplam yağışlarda bir değişim olmadığını saptamışlardır.

Büyük Menderes havzasını kapsayan önceki çalışmalarda, genellikle Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) tarafından işletilen istasyonlardan bazıları, örneğin, Aydın, Denizli, Afyon, Uşak veya Yatağan kullanılmıştır. Havzada yer alan diğer DMİ istasyonları ile Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından işletilen istasyonlara ait yağış serileri incelenmemiştir. Ayrıca, önceki çalışmalarda seri korelasyonun eğilim üzerindeki ve/veya eğimin seri korelasyon üzerindeki etkisi dikkate alınmamıştır. Bu çalışmada, Büyük Menderes havzasında yer alan, gerek DMİ gerekse de DSİ tarafından işletilen tüm istasyonlara ait yıllık toplam yağış serilerinin uzun dönemli zamansal eğilimleri, hem seri korelasyon eğilim üzerindeki hem de eğimin seri korelasyon üzerindeki etkisini dikkate alan Trend-Free Prewhitening (TFPW) süreci kullanılarak araştırılmış ve elde edilen sonuçlar iklim değişikliği bağlamında irdelenmiştir.

## MATERYAL ve METOT

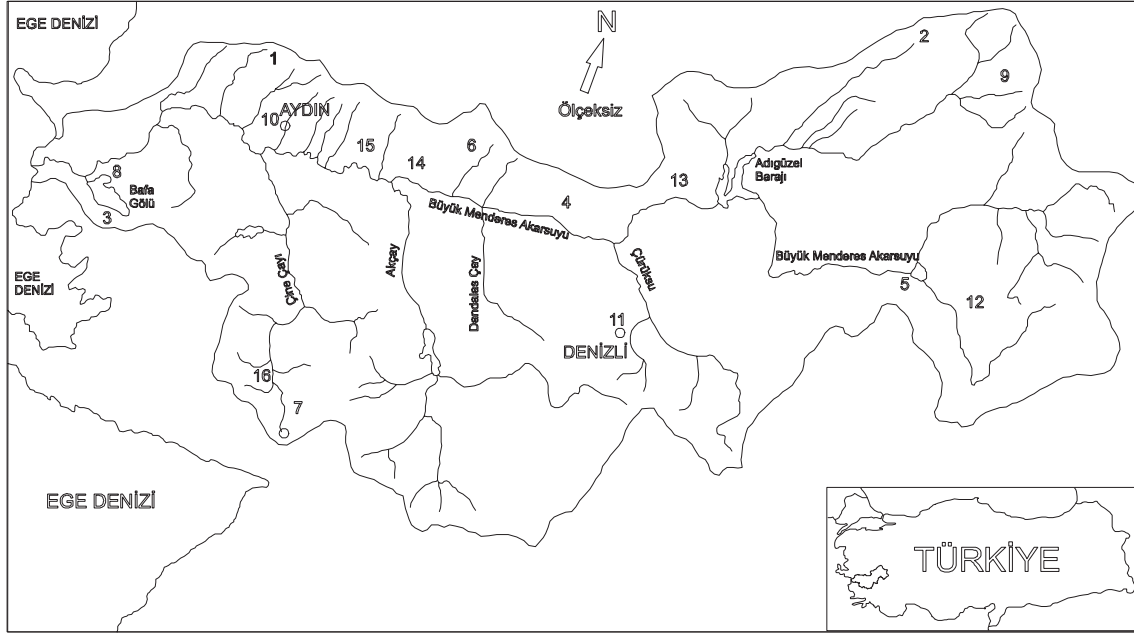
### Çalışma Alanı

Drenaj alanı 24,873 km<sup>2</sup> olan Büyük Menderes havzası 37° 12' - 38° 40' kuzey enlemleri ile 27° 15' - 30° 15' doğu boylamları arasında olup ülkemizin batısında yer almaktadır (Şekil 1). Havzanın kuzeyinde Küçük Menderes ve Gediz havzaları, kuzey doğusunda Sakarya havzası, doğusunda Afyon suları kapalı havzası, güney doğusunda Burdur Gölü kapalı havzası ile Orta Akdeniz suları havzası, güneyinde Batı Akdeniz suları havzası ve batısında ise Ege Denizi yer almaktadır (Yeşilirmak, 2006).

Büyük Menderes havzasının güneyi ve batısı kışları ılık ve yağışlı, yazları sıcak ve kurak geçen Akdeniz iklimi; kuzeyi ise kışları soğuk ve yağışlı yazları sıcak ve kurak geçen karasal iklim özelliği göstermektedir. Havzanın uzun yıllar yağış ortalaması 635 mm'dir. Ortalama yıllık yağış havzanın doğusunda 350 mm'ye kadar düşmesine rağmen, kıyı kesimlerine doğru artmakta, özellikle güneydeki dağlık kesimde 1000 mm'yi aşmaktadır (Yeşilirmak ve ark., 2009).

### Veriler

Bu çalışmada, Yeşilirmak ve ark. (2009) tarafından kalite kontrol sürecinden ve türdeşlik sınavmasından geçirilerek yeterince türdeş olduğu saptanan 16 istasyona ait yıllık toplam yağış serisi kullanılmıştır. Bu yağış serileri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) ile Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından kaydedilen verilerdir. Bu istasyonların adları ve ait oldukları kurumlar Çizelge 1'de verilmiş olup havza içindeki konumları Şekil 1'de gösterilmiştir. Bazı istasyonlarda bazı yıllara ait yağış verilerinin eksik olduğu saptanmıştır. Eksik veriler, eksik veriye sahip istasyonla yüksek korelasyona sahip komşu bir



Şekil 1. Yağış istasyonlarının Büyük Menderes Havzasındaki konumları

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan yağış serileri, eğilimden ayıklanmış yağış serilerinin 1-aralıklı seri korelasyon katsayıları ve eğilim analizi sonuçları

No	İstasyon	Veri Aralığı	Verilerin Kaynağı	1-aralıklı seri korelasyon katsayısı	Mann-Kendall Z	Eğim mm/yıl
1	Somak	1970 – 2005	DSİ	0.307	-0.56	-1.584
2	A. Karacahisar	1964 – 2005	DSİ	0.090	0.52	0.975
3	Bafa (Çamiçi)	1967 – 2005	DSİ	0.286	0.80	2.271
4	Burhaniye	1963 – 1999	DSİ	-0.030	-1.83	-2.901
5	Işıklı Gölü	1963 – 2005	DSİ	0.012	-1.87	-1.570
6	Kayran	1971 – 2005	DSİ	0.275	-1.36	-2.150
7	Kozağaç (Muğla)	1962 – 2003	DSİ	0.121	-1.27	-5.150
8	Sarikemer	1968 – 2001	DSİ	0.275	-1.25	-4.565
9	Serban	1967 – 2000	DSİ	0.348*	-0.91	-1.573
10	Aydın	1960 – 2007	DMİ	0.204	-0.41	-0.649
11	Denizli	1960 – 2007	DMİ	-0.051	-0.76	-1.080
12	Dinar	1960 – 2006	DMİ	0.120	-1.14	-0.900
13	Güney	1960 – 2007	DMİ	0.373*	-2.04*	-2.479
14	Nazilli	1960 – 2007	DMİ	0.100	-0.58	-0.660
15	Sultanhisar	1961 – 2007	DMİ	0.195	-0.99	-1.543
16	Yatağan	1961 – 2006	DMİ	0.160	-0.49	-0.690

\* %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli.

istasyon arasındaki regresyon ilişkisi kullanılarak tamamlanmıştır (Vuille ve ark., 2000).

### Metot

Bu çalışmada, yıllık toplam yağış serilerindeki eğilimlerin yönü ve istatistiksel önem düzeyleri parametrik-olmayan Mann-Kendall testi kullanılarak belirlenmiştir. Değişim miktarları (eğim) ise Sen'in Eğim testi ile saptanmıştır. Mann-Kendall yönteminin uygulanabilmesi için, veriler arasında korelasyon olmaması gerekir. Eğer verilerde pozitif seri korelasyon varsa, Mann-Kendall yöntemi eğilimi olduğundan fazla tahmin eder. Bunun yanında, zaman

serisi AR(1) süreci içermiyor fakat bir eğilime sahip ise, bu eğilim nedeniyle zaman serisinde istatistiksel olarak önemli seri korelasyon olma olasılığı vardır. Bu nedenle, eğilim ile birlikte seri korelasyon etkisini dikkate alan, Yue ve ark. (2002) tarafından önerilen TFPW (Trend-Free Prewhitening) yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada izlenen süreç Şekil 2'de bir akış şeması üzerinde gösterilmiş olup aşağıda kısaca açıklanmıştır:

1. **Detrending:** Veri serisinin eğimi Sen'in eğim testi ile bulunur ve bu eğim orijinal seriden çıkarılır. Böylece, veri serisi eğilimden ayklanır.
2. Eğilimden ayıklanmış (detrended) serinin 1-

aralıklı ( $r_1$ ) seri korelasyon katsayısı hesaplanır.

3. Hesaplanan  $r_1$ , %5 düzeyinde önemli değilse, Mann-Kendall testi orijinal veri serisine uygulanır.
4. **Prewhitening:** Eğer hesaplanan  $r_1$ , %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli ise, eğilimi ayıklanmış seriden AR(1) süreci çıkarılır. Ardından, elde edilen kalıntılarla birinci adımda elde edilen eğim birleştirilir. Böylece, elde edilen yeni seri eğilim içermekte fakat seri korelasyon içermemektedir. Sonra, bu seriye Mann-Kendall testi uygulanarak eğilimin önem düzeyi belirlenir.

**Mann-Kendall testi:** Mann-Kendall testi parametrik olmayan bir test olup hidrolojide ve klimatolojide yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu testte zamana göre sıralanmış gözlemleri hipotezine göre zamandan bağımsız ve benzer dağılmış tesadüfi değişkenlerdir. hipotezine göre ise seride bir eğilim

vardır. Mann-Kendall test istatistiği aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır (Tonkaz ve Çetin, 2007; Topaloğlu, 2006):

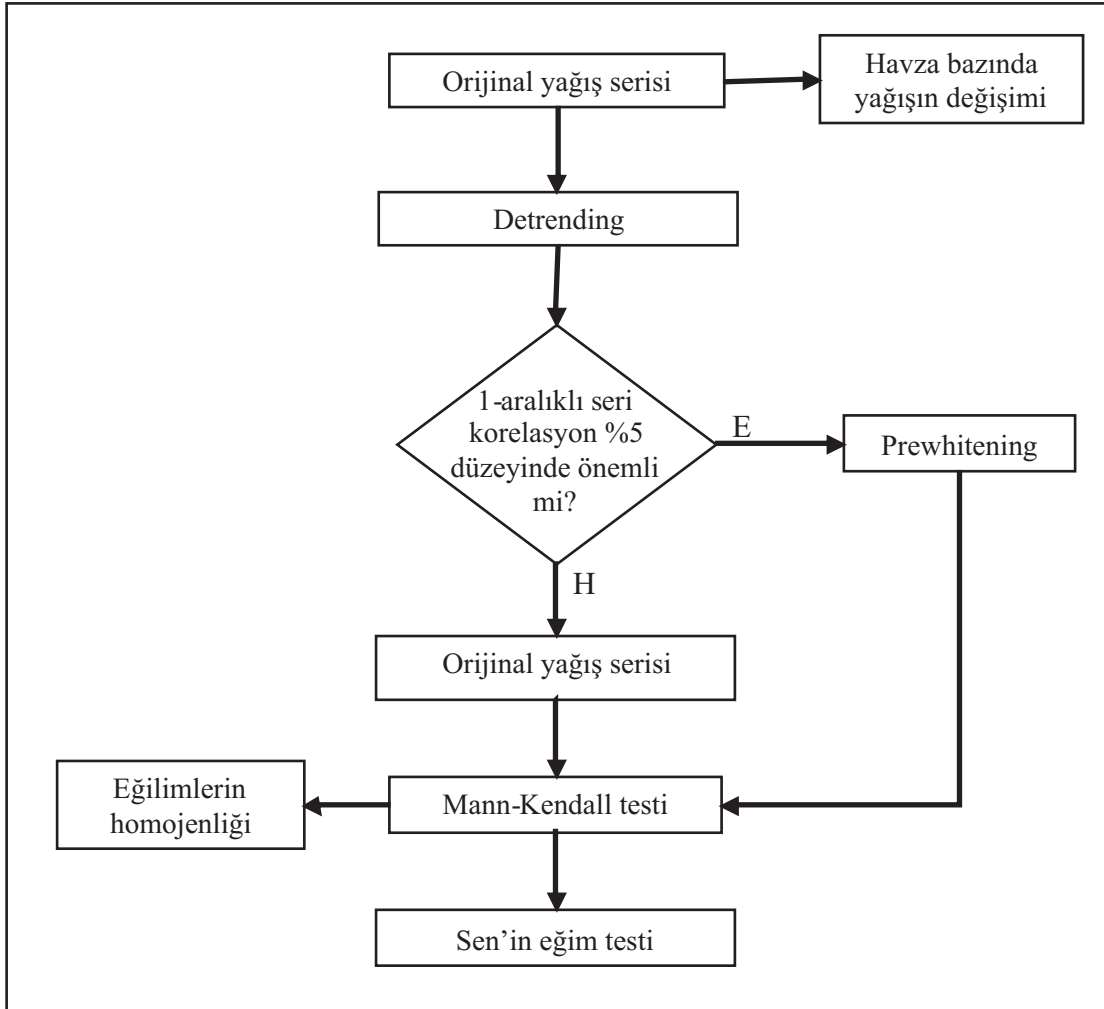
$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

Burada

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x_j - x_k > 0 \text{ ise} \\ 0, & \text{eğer } x_j - x_k = 0 \text{ ise} \\ -1, & \text{eğer } x_j - x_k < 0 \text{ ise} \end{cases}$$

On'dan daha büyük veri kümeleri için, test istatistiği  $S$ 'nin dağılımı için normal dağılım kullanılabilir ve bu durumda  $S$ 'nin varyansı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$



Şekil 2. Bu çalışmada izlenen metodolojik süreç.

Burada  $q$  veri kümesi içinde birbirine eşit değerlerin oluşturduğu grupların sayısı ve  $t_p$  de  $p$ 'inci gruptaki veri sayısıdır.  $S$  ve  $VAR(S)$  hesaplandıktan sonra, standart normal değişken hesaplanır:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}, & \text{eğer } S > 0 \text{ ise} \\ 0, & \text{eğer } S = 0 \text{ ise} \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}}, & \text{eğer } S < 0 \text{ ise} \end{cases}$$

$Z$ 'nin negatif değerleri azalan yönde, pozitif değerleri ise artan yönde bir eğilim olduğunu gösterir.  $\alpha$  önem düzeyinde (iki-yönlü test) azalan veya artan yönde bir eğilim olup olmadığına, hesaplanan  $Z$  değerinin kritik  $Z$  değeri ile karşılaştırılmasıyla karar verilir. Eğer,  $Z$ 'nin mutlak değeri, standart normal dağılım tablosundan elde edilen  $Z_{1-\alpha/2}$ 'den büyük ise,  $H_0$  reddedilir.

**Sen'in eğim testi:** Sen'in eğim testi, eğilimin büyüklüğünü (yani, eğimini) belirlemede kullanılan parametrik olmayan bir yöntemdir (Partal ve Kahya, 2006). Bu yöntemde eğilimin miktarı,  $\beta$ , veri kümesi içindeki olası tüm ikili çiftlerin medyanıdır:

$$\beta = \text{Medyan} \left( \frac{x_j - x_k}{j - k} \right), \quad \forall j > k$$

**Eğilimlerin homojenliği:** Eğilimlerin yönleri belirli bir bölgede veya havzada istasyonlar arasında farklılık gösterebilir. Eğilimlerin yönlerinin istasyonlar arasında homojen olup olmadığını belirlemede Van Belle ve Hughes (1984) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır (Kahya ve Kalaycı, 2004). Bu amaca yönelik olarak aşağıdaki istatistik hesaplanır:

$$\chi_{\text{homojen}}^2 = \chi_{\text{toplaml}}^2 - \chi_{\text{trend}}^2 = \sum_{j=1}^m Z_j^2 - m(\bar{Z})^2$$

burada,  $m$  toplam istasyon sayısıdır.  $Z_j$  ise,  $j$  istasyonu için Mann-Kendall testinde hesaplanan test istatistiğidir.  $\bar{Z}$  değeri ise aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\bar{Z} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m Z_j$$

Belirli bir  $\alpha$  önem düzeyinde ve  $m-1$  serbestlik derecesinde (SD) eğer hesaplanan  $\chi_{\text{homojen}}$  değeri,  $\chi_{\text{kritik}}$  değerinden büyük ise eğilimlerin yönünün homojen olduğunu varsayan sıfır hipotezi ( $H_0$ ) reddedilir.

**Havza bazında yağışın değişimi:** Havza basında yıllık toplam yağışların yıllar arasındaki değişimini ortaya koyabilmek için aşağıdaki süreç izlenmiştir (Türkeş, 1996). Önce, her istasyon için normalleştirilmiş yıllık yağış anomali serisi elde edilir:

$$A_{sy} = (R_{sy} - \bar{R}_s) \sigma_s$$

burada,  $R_{sy}$ ,  $s$  istasyonunun  $y$  yılındaki yağışı;  $R_s$  ve  $\sigma_s$ , sırasıyla, aynı istasyondaki yıllık yağışların ortalaması ve standart sapmasıdır. Ardından, havza için alansal-ortalama normalleştirilmiş yıllık yağış anomalisi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$A_{ry} = (1 / N_s) \sum_{s=1}^{N_s} A_{sy}$$

Burada,  $N_s$ ,  $y$  yılında yağış gözlemi olan istasyonların sayısıdır.

## BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmada kullanılan 16 istasyona ait orijinal yıllık toplam yağış serisinin eğilimlerinin değişim miktarları (eğimleri) Sen'in Eğim yöntemi ile ayıklandıktan sonra, eğimden ayıklanmış (detrended) serilerinin 1-aralıklı seri korelasyon katsayıları Çizelge 1'de verilmiştir. Buna göre, incelenen 16 seriden sadece iki istasyona ait 1-aralıklı seri korelasyon katsayısının %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Bu istasyonlar, Serban ( $r_s=0.348$ ) ve Güney ( $r_s=0.373$ )'dır. Bu istasyonlara ait serilerdeki 1-aralıklı seri korelasyon ayıklanmış, ardından daha önce elde edilen eğim serilere eklenerek yeni seriler elde edilmiştir. Bu iki istasyondaki yeni serilere, 1-aralıklı seri korelasyon katsayısı %5 düzeyinde istatistiksel önemli olmayan diğer serilerle birlikte eğilim analizi uygulanmıştır.

Onaltı istasyonda kaydedilen yıllık toplam yağış serilerine Mann-Kendall testi kullanılarak uygulanan eğilim analizi sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca, yıllık yağış zaman serileri, 5-yıllık hareketli ortalama ve eğilim çizgileri ile birlikte grafiksel olarak Şekil 3'de sunulmuştur. Mann-Kendall testi sonucuna göre, onaltı istasyondan sadece ikisinde, A. Karacahisar ve Bafa (Çamıçı)'da, artan yönde eğilimler tespit edilmiştir. Fakat, bu eğilimler %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli değildir. Diğer ondört istasyona ait yıllık toplam yağış serilerinde ise azalma saptanmış olmasına rağmen, sadece Güney istasyonuna ait yıllık toplam yağış serisindeki azalan yöndeki eğilim %5 istatistiksel olarak önemlidir. Güney istasyonunda yıllık toplam yağışlar 1960-2007 yılları arasında 2.479 mm/yıl azalmıştır.

Çizelge 1'de verilen eğimler incelendiğinde, artan yöndeki eğilime sahip A. Karacahisar ve Bafa (Çamıçı)'da yıllık toplam yağışlardaki artış, sırasıyla,



0.975 mm/yıl ve 2.271 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Azalan yöndeki eğilimler için ise, en yüksek eğim 5.150 mm/yıl ile Kozçağaç (Muğla)'da, en düşük eğim ise 0.649 mm/yıl ile Aydın'da gerçekleşmiştir.

Bir havzada veya bir bölgede çok sayıda istasyona ait veri söz konusu olduğunda, bölge veya havza bazında yani bölgeyi/havzayı temsil eden genel bir eğilimin olup olmadığını saptamak yararlı olabilir (Gilbert, 1987). Bu çalışmada, Büyük Menderes havzasında yıllık toplam yağış serileri için gerek Mann-Kendall testi sonuçları (Çizelge 1) gerekse de zaman serisi grafikleri (Şekil 3) 16 istasyondan 14'ünde azalan yönde bir eğilim olduğunu göstermektedir. Başka bir anlatımla, istatistiksel olarak önemli olmasa da havza bazında yıllık toplam yağışların 1960'lı yılların başından günümüze kadar doğrusal olarak azaldığı söylenebilir. Van Belle ve Hughes testi bu kararın verilmesinde kullanılabilecek objektif bir yöntemdir. Uygulanan Van Belle ve Hughes testi sonucunda  $\chi_{\text{homojen}}=9.19$  olarak hesaplanmıştır.  $\alpha=0.5$  önem düzeyi ve  $SD=15$  için  $\chi^2$  dağılımındaki kritik değer 25.00'dır.  $\chi_{\text{homojen}}$ , kritik değerden küçük olduğu için, sıfır hipotezi reddedilemez. Bunun sonucunda, havzada yer alan istasyonlardaki azalan yöndeki eğilimlerin homojen olduğu, başka bir ifadeyle, yıllık toplam yağışların havza genelinde azaldığı söylenebilir.

Alansal-ortalama normalleştirilmiş anomali serisi, yıllık toplam yağışların havza bazındaki eğilimini ortaya çıkarmak amacıyla kullanılabilecek bir diğer araçtır. Bu amaca yönelik olarak oluşturulan alansal-ortalama normalleştirilmiş yıllık yağış anomalisi serisi, eğilim çizgisi ve 5-yıllık hareketli ortalama eğrisi ile birlikte Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde, yıllık toplam yağışların havza bazında 1960'ların başından itibaren azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu azalma eğiliminin Mann-Kendall testi sonucunda %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli olmadığı saptanmıştır. Bunun yanında, 5-yıllık hareketli ortalama eğrisi, havzada belirli süreler içerisinde kurak ve yağışlı dönemlerin olduğunu göstermektedir. 1960'lı yılların başından 1973'e kadar, 1978 ile 1986 ve 1997 ile 2007 arasında yağışlı; 1973 1978 ve 1986 1997 arasında da kurak dönemler yaşanmıştır.

Daha önce yapılan benzer çalışmalarda, Büyük Menderes havzasındaki DMİ tarafından işletilen birkaç istasyona ait yağış serilerinin (Aydın, Denizli, Dinar veya Yatağan) kullanıldığı dikkati çekmektedir. Havzadaki diğer bazı DMİ istasyonlarına ait yağış serileri (örneğin, Nazilli, Sultanhisar, Güney) ile DSİ tarafından işletilen istasyonlara ait yağış serileri incelenmemiştir. Bu çalışmada, DMİ tarafından işletilen Nazilli, Sultanhisar ve Güney istasyonları ile DSİ tarafından işletilen Somak, A. Karacahisar, Bafa (Çamiçi), Burhaniye, Işıklı Gölü, Kayran, Kozçağaç (Muğla), Sarıkemer ve Serban istasyonlarına ait yıllık toplam yağış serilerinin eğilimleri de incelenmiştir. Araştırma sonucunda, DSİ tarafından iletilen 9

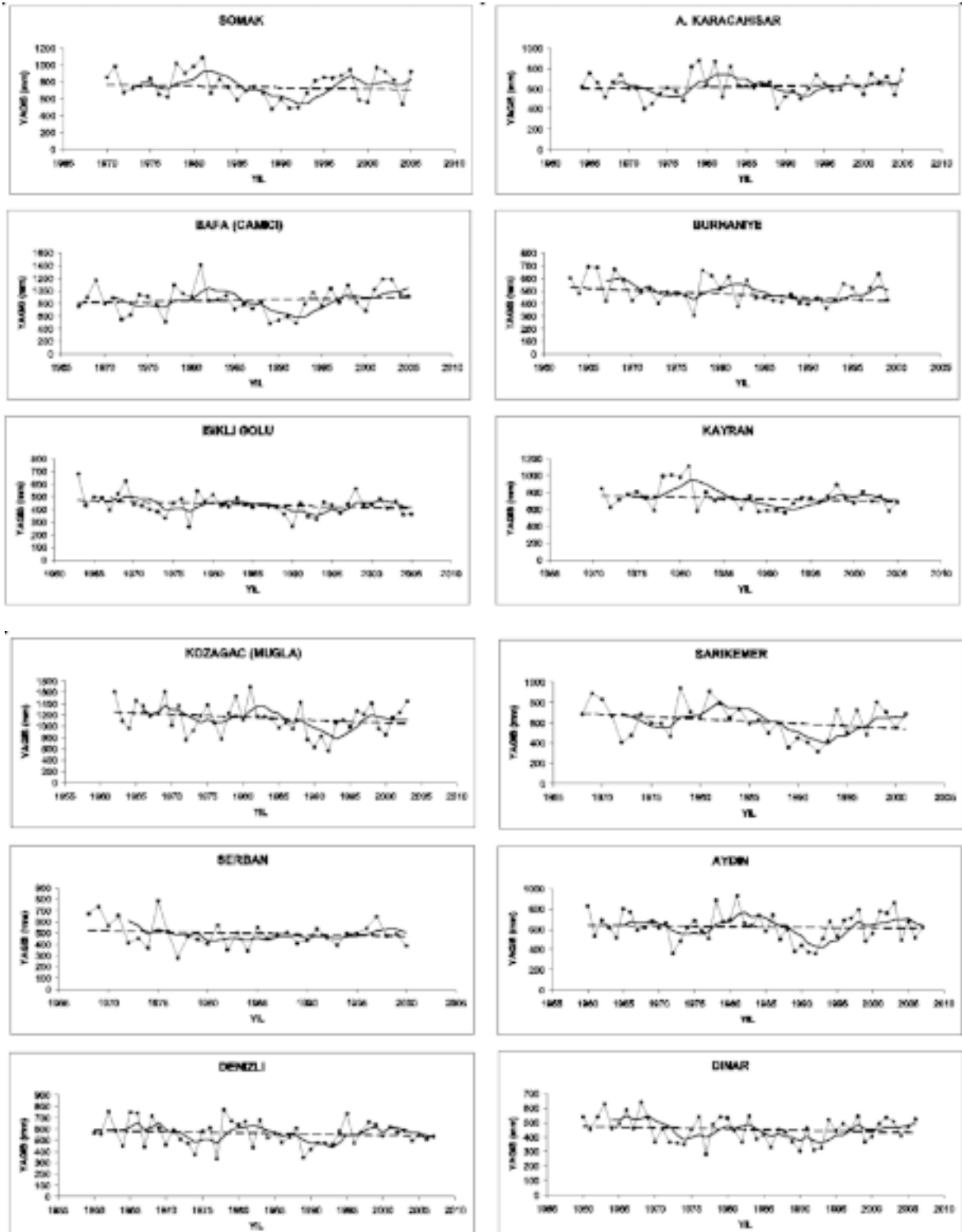
istasyondan 2'sinde (A. Karacahisar ve Bafa) artan yönde, diğer 7 istasyonda ise azalan yönde eğilimler saptanmıştır. Fakat, tüm eğilimler %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Diğer taraftan, incelenen 7 DMİ istasyonunda da azalan yönde eğilimler olduğu saptanmıştır. Bu eğilimlerden sadece Güney istasyonundaki azalan yöndeki eğilim %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemlidir. Dolayısıyla, DSİ istasyonlarındaki yıllık toplam yağışlardaki zamansal değişimlerin, DMİ istasyonlarındaki değişim ile hemen hemen paralel olduğu söylenebilir. Ayrıca, Van Belle ve Hughes testi sonucunda, havzada bazında azalan yöndeki eğilimin istasyonlar arasında homojen olduğu saptanmıştır. Bunun yanında, havza için oluşturulan alansal-ortalama normalleştirilmiş yıllık yağış anomalisi serisi 1960'lı yılların başından günümüze kadar geçen sürede yıllık toplam yağışlarda, %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli olmayan bir azalma olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmada elde edilen bulgular, önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında, sonuçların oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Tüm çalışmalar havza genelinde, yıllık toplam yağışlarda 20. yüzyılın ikinci yarısında bir azalma meydana geldiğini göstermektedir.

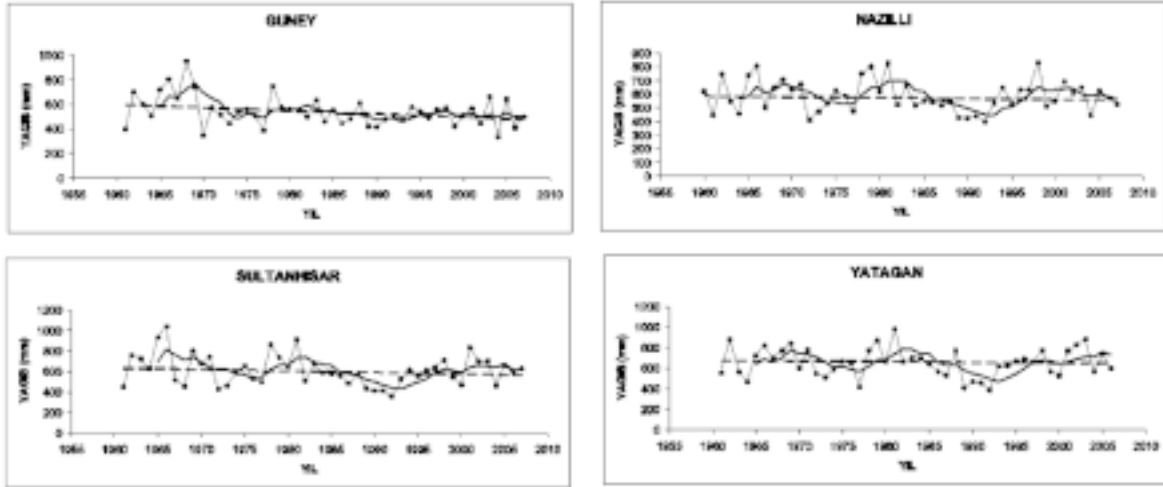
Özkul (2009), Pearson  $r$  ve Spearman  $\rho$  yöntemlerini kullandığı çalışmada, yıllık toplam yağışların Aydın'da 1929-1999, Yatağan'da 1975-2000 ve Denizli'de 1947-1994 yılları arasında azaldığını, fakat bu azalma eğiliminin %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli olmadığını saptamıştır.

Durdu (2010), Büyük Menderes Havzasında Aydın, Denizli, Afyon ve Uşak istasyonlarında 1963-2007 yılları arasında kaydedilen yıllık toplam yağış serilerinin eğilimlerini t-testi ve Mann-Kendall testi ile incelediği çalışmada yağışların söz konusu dönem içerisinde azaldığını, fakat bu azalma eğiliminin %5 düzeyinde önemli olmadığını saptamıştır. Durdu (2010) tarafından kullanılan verilen zaman aralığı (1963-2007) bu çalışmada kullanılan veri aralığıyla (1960-2007) oldukça örtüşmektedir. Ayrıca, Durdu (2010), Mann-Kendall testini uygulamadan önce, eğimin seri korelasyon üzerindeki etkisini dikkate almaksızın prewhitening süreci uygulamıştır. Fakat, elde ettiği bulgular bu araştırmanın sonuçlarıyla uyumludur. Her iki çalışmada da söz konusu istasyonlarda yıllık toplam yağışın 1960'ların başından 2007 yılına kadar geçen sürede azaldığı, fakat azalmanın %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli olmadığı bulunmuştur.

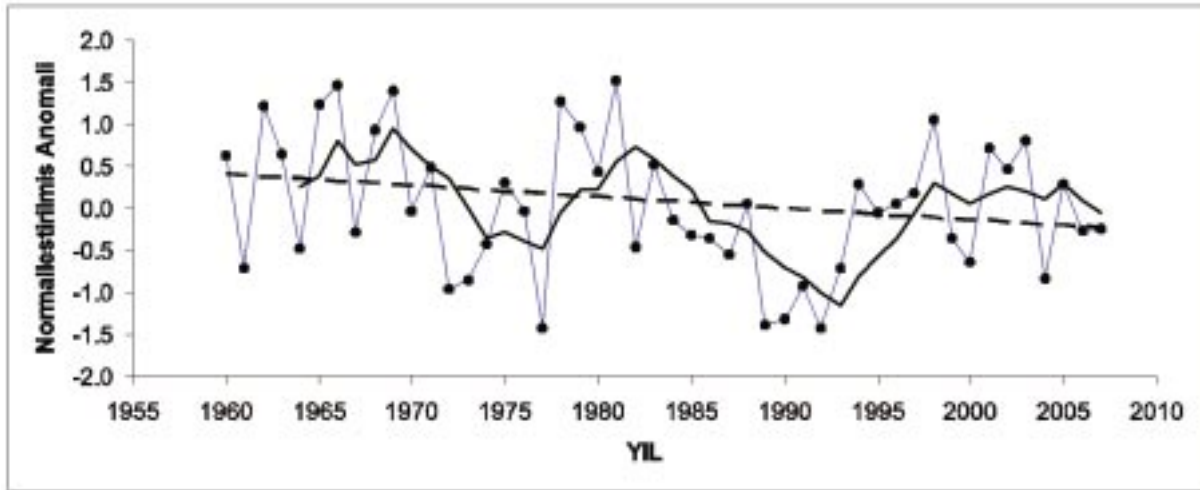
Fakat bunun yanında, önceki çalışmalarda bazı istasyonlar için farklı sonuçların elde edildiği görülmektedir. Türkeş ve ark. (2009), salt Mann-Kendall yöntemini kullandıkları çalışmalarında, istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte, yıllık toplam yağışların 1930-2002 yılları arasında Denizli'de arttığını saptamıştır. Türkeş ve ark. (2009) gerek seri korelasyonun eğilim üzerindeki gerekse de eğimin seri korelasyon üzerindeki etkilerini dikkate



Şekil3. İstasyonlardaki yıllık toplam yağış serileri (ince çizgi), eğilim (kesikli çizgi) ve 5-yıllık hareketli ortalama (kalın çizgi).



Şekil 3 (devamı). İstasyonlardaki yıllık toplam yağış serileri (ince çizgi), eğilim (kesikli çizgi) ve 5-yıllık hareketli ortalama (kalın çizgi).



Şekil 4. Büyük Menderes Havzası alansal ortalama normalleştirilmiş yıllık yağış anomalisi serisi (ince çizgi), eğilim (kesikli çizgi) ve 5-yıllık hareketli ortalama (kalın çizgi).

almamışlardır. Yöntem yanında, kullandıkları verilerin kayıt aralığı (1930-2002), bu çalışmada kullanılan veri kayıt aralığından (1960-2007) da farklıdır. Bir diğer farklı sonuç, Partal ve Kahya (2006) tarafından Aydın istasyonu için elde edilmiştir. Bu çalışmada Aydın istasyonunda, yıllık toplam yağışların 1960-2007 yılları arasında azalma eğiliminde olduğu fakat bu azalmanın %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli olmadığı saptanmasına rağmen, Partal ve Kahya (2006), 1929-1993 yılları arasında %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli azalma olduğunu ve azalma miktarının 0.175 mm/yıl olduğunu bulmuşlardır. Araştırmacılar, eğilim analizinde seri korelasyon etkisini dikkate almalarına rağmen eğimin seri korelasyon üzerindeki etkisini dikkate almamışlardır. Metodolojik farkın yanında, bu çalışmada 1960 ile 2007 arasında kaydedilen yağış verileri kullanılmış olmasına rağmen, Partal ve Kahya

(2006) 1929-1993 arasında kaydedilen verileri kullanmışlardır.

## SONUÇ

Sonuç olarak, Büyük Menderes Havzasında yer alıp önceki çalışmalarda incelenmeyen DSİ istasyonlarının çoğunluğunda (9 istasyondan 7'sinde), DMİ istasyonlarındakine benzer şekilde, yıllık toplam yağışlarda 1960'lı yıllardan günümüze kadar geçen sürede (%5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli olmayan) bir azalma eğilimi olduğu saptanmıştır. Ayrıca, bu çalışmada elde edilen bulguların genel olarak önceki çalışmalarla oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Tüm çalışmalarda, genelde, %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli olmasa da, havza genelinde yıllık toplam yağışların 20. yüzyılın ikinci yarısında azaldığı belirlenmiştir. Fakat, çalışmalar



arasında bazı istasyonlar için saptanan farklı sonuçlar, eğilimlerin yönlerini belirlemede kullanılan yöntemlerin ve/veya kullanılan verilerin kayıt aralıklarının farklı olmasına bağlanabilir.

Yağışlardaki azalma eğiliminin devam etmesi durumunda, 21. yüzyıl içerisinde Büyük Menderes Havzasında su arzının azalacağı açıktır. Özkul (2009), farklı iklim değişikliği senaryolarının Büyük Menderes Havzasındaki su kaynaklarına etkilerini incelediği çalışmada, havzadaki yüzey sularının 2030 yılında %20 civarında azalacağını tahmin etmiştir. Bunun yanında, nüfus artışı sonucunda kentsel, sanayileşme sonucunda endüstriyel ve daha fazla arazinin sulamaya açılması ve iklim değişikliği sonucunda tarımsal su gereksinimindeki artışlarla suya talebin artması da kaçınılmazdır. 21. yüzyılda beklenen iklim değişikliği sonucunda meydana gelebilecek su kıtlığı ile mücadele edebilmek için bir takım önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu önlemler arasında, etkin arazi yönetim programlarının kullanılması, su dağıtım sistemlerinde yeni teknolojilerin teşvik edilmesi ve su kullanıcıları arasında rasyonel bir su talep yönetiminin oluşturulması sayılabilir (Özkul, 2009). Bunların yanında, artırılmış atıksuların tarımsal sulama amaçlı olarak yeniden kullanımı bu açıdan önemli bir fırsat yaratabilir (Kukul ve ark., 2008). Bu sayede, tarımsal su talebinin kısmen de olsa artırılmış atıksularla sağlanmasıyla temiz su kaynakları üzerindeki rekabet bakışı hafifletilerek, temiz su kaynakları katma değeri daha yüksek olan endüstriyel ve kentsel tüketim için kullanılabilir (Kukul ve ark., 2008).

## KAYNAKLAR

- Bulut, H., B. Yeşilata, M.İ. Yeşilnacar. 2006. Atatürk baraj gölünün bölge iklimi üzerine etkisinin trend analizi ile tespiti. GAP 5. Mühendislik Kongresi Bildirileri s. 79-86, 26-28 Nisan 2006, Şanlıurfa.
- Burford, J.E., S.J. Dery, R.D. Holmes. 2009. Some aspects of the hydroclimatology of the Quesnel River Basin, British Columbia, Canada. *Hydrological Processes*, 23: 1529-1536.
- Carbajal, L.R., F. Pellicciotti, P. Molnar. 1993. Analysis of hydroclimatic trends in the Aconcagua River Basin, Central Chile. Institute of Environmental Engineering, ETHZ, Zurich.
- Chaponniere, A., V. Smakhtin. 2006. A Review of climate change scenarios and preliminary rainfall trend analysis in the Oum Er Rbia Basin, Morocco. IWMI, Working Paper 110, Drought Series: Paper 8, Colombo, Sri Lanka.
- Chen, H., S. Guo, C.Y. Xu, V.P. Singh. 2007. Historical temporal trends of hydro-climatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin. *Journal of Hydrology*, 344: 171-184.
- Durdu, Ö.F. 2010. Effects of climate change on water resources of the Büyük Menderes river basin, western Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34: 319-332.
- Gilbert, R.O. 1987. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Homar, V., C. Ramis, R. Romero, S. Alonso. 2010. Recent trends in temperature and precipitation over the Balearic Islands (Spain). *Climatic Change*, 98: 199-211.
- Immerzeel, W. 2008. Historical trends and future predictions of climate variability in the Brahmaputra basin. *International Journal of Climatology*, 28: 243-254.
- IPCC, 2007. *Climate change 2007: The physical science basis*. In: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, eds). Cambridge University Press, 996 pp., Cambridge, UK.
- Kahya, E., S. Kalaycı. 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology*, 289: 128-144.
- Kukul, Y.S., S. Anaç, E. Yeşilirmak, J.M. Moraes. 2007. Trends of precipitation and streamflow in Gediz river basin, Western Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 16: 477-488.
- Kukul, Y.S., S. Anaç, E. Yeşilirmak. 2008. Türkiye'de atıksu artımı ve tarımsal sulamada kullanım potansiyeli. *Su Tüketimi Arıtma Yeniden Kullanım Sempozyumu Bildirileri*, s. 377-383, Bursa.
- Kumar, V., S.K. Jain. 2010. Trends in seasonal and annual rainfall and rainy days in Kashmir Valley in the last century. *Quaternary International*, 212: 64-69.
- Liu, Q., Z. Yang, B. Cui. 2008. Spatial and temporal variability of annual precipitation during 1961-2006 in Yellow River Basin, China. *Journal of Hydrology*, 361: 330-338.
- Nicholls, N., G.V. Gruza, J. Jouzel, T.R. Karl, L.A. Ogallo, D.E. Parker. 1996. Observed climate variability and change. In: *Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell, eds.) Cambridge University Press, pp. 133-192, Cambridge, UK.
- Oğuz, İ., T. Öztekin, Ö. Akar. 2008. Tokat Kazova'daki uzun yıllık yağış ve sıcaklık gidişlerinin kuraklık açısından irdelemesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25: 71-79.
- Özfidaner, M. 2007. Türkiye Yağış Verilerinin Trend Analizi ve Nehir Akımları Üzerine Etkisi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış), 73 s., Adana.
- Özkul, S. 2009. Assessment of climate change effects in Aegean river basins: the case of Gediz and Buyuk Menderes Basins. *Climatic Change*, 97: 253283.
- Partal, T., E. Kahya. 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*, 20: 2011-2026.
- Tonkaz, T., M. Çetin. 2007. Effects of urbanization and land-use type on monthly extreme temperatures in a developing semi-arid region, Turkey. *Journal of Arid Environments*, 68: 143158.
- Topaloğlu, F. 2006. Trend detection of streamflow variables in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 15: 644-653.
- Türkeş, M. 1996. Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 16: 1057-1076.

- Türkeş, M., T. Koç, F. Sariş. 2009. Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey. *International Journal of Climatology*, 29: 1056-1074.
- Van Belle, G., J.P. Hughes. 1984. Nonparametric tests for trend in water quality. *Water Resources Research*, 20: 127-136.
- Vuille, M., R.S. Bradley, F. Keimig. 2000. Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to tropical Pacific and Atlantic sea surface temperature anomalies. *Journal of Climate*, 13: 2520-2535.
- Yeşilırmak, E. 2006. Büyük Menderes Akarsuyu Bazı Su Kalitesi Parametrelerinin Zaman ve Mekan Boyutundaki Değişiminin İstatistiksel Analizi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmamış), 293 s., İzmir.
- Yeşilırmak, E., S. Akçay, N. Dağdelen, T. Gürbüz, F. Sezgin. 2009. Quality control and homogeneity of annual precipitation data in Büyük Menderes Basin, Western Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18: 1748-1757.
- Yıldırım, Y.E., M. Türkeş, M. Tekiner. 2004. Time-series analysis of long-term variations in stream-flow data of some stream-flow stations over the Gediz Basin and in precipitation of the Akhisar station. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 7: 17-24.
- Yue, S., P. Pilon, B. Phinney, G. Cavadias. 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes*, 16: 1807-1829.
- Zhao, G., G. Hörmann, N. Fohrer, Z. Zhang, J. Zhai. 2010. Streamflow trends and climate variability impacts in Poyang Lake Basin, China. *Water Resources Management*, 24: 689-706.

*Geliş Tarihi* : 15.02.2011

*Kabul Tarihi* : 05.04.2011

Copyright of Journal of Adnan Menderes University, Agricultural Faculty is the property of Adnan Menderes University and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.