

## Doğrusal olmayan çekilme eğrisi analizi ile karstik bölge akarsularında taban akışının ayrılması

Ebru ERİŞ<sup>\*1</sup>, Hartmut Wittenberg<sup>2</sup>, Hafzullah AKSOY<sup>3</sup>, Bülent SELEK<sup>4</sup>, Hakan AKSU<sup>4</sup>,  
B. Ragıp YURTSEVEN<sup>4</sup>, Yücel KAYA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir

<sup>2</sup> Leuphana Universität Lüneburg, Fakultät für Nachhaltigkeit, Lüneburg

<sup>3</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

<sup>4</sup> DSİ Genel Müdürlüğü, Etüt, Planlama ve Tahsisler Daire Başkanlığı, Ankara

Makale Gönderme Tarihi: 08.10.2015

Makale Kabul Tarihi: 15.06.2016

### Öz

Akarsu kesitindeki toplam akış, dolaysız akış ve dolaylı akış (taban akışı) olmak üzere iki ana bileşene sahiptir. Taban akışı yağışsız kurak dönemlerde akarsuyu besleyen yeraltı suyu akımıdır. Taban akışının doğru tahmin edilmesi su mühendisliğinin birçok dalını ilgilendiren önemli bir konudur. Türkiye'deki akarsu havzalarının üçte biri karstik yapıya sahiptir. Bu bölgelerdeki taban akışı karstik akifer boyunca yol alan dolaylı akım bileşenidir. Mevcut su kaynaklarının önemli bir kısmının bu akarsu havzaları üzerinde bulunduğu dikkate alındığında, özellikle karstik pınar boşalmalarının önem taşıdığı akarsu havzalarında yapılacak planlamalarda taban akışının doğru olarak belirlenmesinin önemi anlaşılabilir. Bu çalışmada karstik yapıya sahip Akdeniz Bölgesindeki akarsulara doğrusal olmayan taban akışı yöntemi uygulanmıştır. Bu amaçla Manavgat Nehri ve Köprüçay üzerinde bulunan Sinanhoca, Şahapköprü ve Bolasan istasyonlarının günlük akım verileri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan taban akışı yöntemi havza depolama hacmi ( $S$ ) ile debi ( $Q$ ) arasında  $S = aQ^b$  şeklinde verilen doğrusal olmayan hazne teorisini kullanmakta; günlük akım verilerini kullanarak çekilme eğrisinin parametrelerini akımın periyodikliğine bağlı olarak hesaplamaktadır. Çalışmanın temel amacı söz konusu yöntemle taban akışı ve buna bağlı olarak karst katkı miktarı ve mevsimsel değişimlerini elde etmektir. Çalışmada doğrusal olmayan taban akışı yöntemi kullanılarak çekilme parametreleri bulunduktan sonra her bir istasyon için taban akışı miktarları hesaplanmıştır. Taban akışının toplam akışa oranı özellikle Sinanhoca akım gözlem istasyonunda %88'e kadar ulaşmıştır. Bu oran Şahapköprü ve Bolasan istasyonları için %73 ve %68 olarak tayin edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Taban akışı, doğrusal olmayan taban akışı ayırma yöntemi, çekilme eğrisi analizi, Akdeniz Bölgesi.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Ebru ERİŞ. [ebru.eris@ege.edu.tr](mailto:ebru.eris@ege.edu.tr); Tel: (232) 311 50 41

## Giriş

Akarsudaki toplam akışı dolaysız (doğrudan) ve dolaylı (taban akışı) olmak üzere iki ana bileşene ayırmak mümkündür. Yağışsız kurak dönemlerde akarsuyu besleyen en önemli kaynak taban akışı olduğundan, özellikle kurak dönemlerde taban akışı önem kazanır. Taban akışının tahmini, hidroloji ve su kaynaklarını ilgilendiren pek çok konuyla doğrudan ilişkilidir. Bu amaçla yapılan yağış-akış modelleri, hidrograf analizi, düşük akım istatistikleri, havza depolama kapasitesi tahmini gibi hidrolojik ve su kaynakları ile ilgili çalışmalarda taban akışının belirlenmesi gereklidir. Kurak dönemlerdeki taban akışı akarsudaki canlılar için de yaşam kaynağı niteliindedir.

Taban akışının tahmini için kullanılan değişik yöntemler vardır. Bunlardan teknolojik izleme yöntemleri masraflıdır. Taban akışını ayırmada kimyasal izleyiciler ve saha çalışma ve gözlemleri gibi yöntemler geniş havzalarda uygulanamamaktadır. Bu yüzden hidrograf analizine dayanan taban akışı ayırma yöntemleri geliştirilmiştir. Dünyada olduğu gibi Türkiye’de de henüz genel kabul görmüş bir taban akışı ayırma yöntemi bulunmadığından uygulamada basit ancak son derece öznel grafik yöntemlerle yetinilmektedir. Bu yöntemlerin her biri diğerinden farklı sonuçlar verebilmektedir.

Grafik basit yaklaşımların yanında konu ile ilgili analitik veya sayısal modeller de geliştirilmiştir. Örneğin; yeraltı suyu biriktirme sisteminin doğrusal bir hazne olduğu kabulü üzerine kurulmuş çok sayıda yöntemle birlikte doğrusal olmayan hazne kabulüne dayanan yöntemler de bulunmaktadır. Doğrusal olmayan hazne kabulüne dayanan yöntemlerin Türkiye’de de uygulamaları mevcuttur (Wittenberg ve Aksoy, 2010; Aksoy ve Wittenberg, 2011, 2015).

Öte yandan, Türkiye akarsu havzalarının üçte birinin karstik bölgelerde bulunduğu bilinmektedir (Benzeden vd., 1993). Mevcut su kaynaklarının önemli bir kısmının bu akarsu

havzaları üzerinde bulunduğu dikkate alındığında, özellikle karstik pınar boşalmalarının önem taşıdığı akarsu havzalarında yapılacak planlamalarda taban akışının doğru olarak belirlenmesinin önemi anlaşılabilir. Bu çalışma için de seçilen ve karstik yapıya sahip bölgelerimizden biri olan Akdeniz Bölgesi akarsularında çekilme eğrisi parametrelerinin, yeraltı suyu miktarının bulunması için çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Ünal, 1981; Baran ve Harmancıoğlu, 1993; Saphioğlu, 2005; Koç, 2008).

Bu çalışmada, doğrusal olmayan taban akışı yöntemi ilk kez karstik yapıya sahip olan Akdeniz Bölgesindeki akarsulara uygulanmıştır. Çalışmanın temel amacı söz konusu yöntemle taban akışı ve buna bağlı olarak karst katkı miktarı ve mevsimsel değişimlerini elde etmektir.

## Yöntem

Taban akışının incelenmesi Boussinesq (1904), Maillet (1905) ve Horton (1933)’a kadar geriye giden teorik ve ampirik çalışmalara konu olmuştur.

Akarsu kesitinde gözlenen toplam akış, pratik amaçlar için dolaysız akış (doğrudan akış) ve dolaylı akış (taban akışı) olmak üzere iki ana bileşene ayrılabilir. Taban akışının toplam akıştan ayrılması için izlemeye dayalı ya da izlemeye dayalı olmayan teknikler (Gonzales vd., 2009) kullanılsa da, izotop akım izleme gibi teknolojik teknikler henüz çok sınırlı bir kullanıma sahiptir. Bu nedenle yapılan çalışmaların çoğu izlemeye dayalı olmayan hidrograf analizi gibi yöntemler ile taban akışının toplam akıştan ayrılması konusuna odaklanmıştır. Buna rağmen, henüz genel geçerliliği ortaya konmuş bir taban akışı ayırma yöntemi önerilememektedir. Uygulamada, genellikle grafik yöntemler ve filtreleme teknikleri ile yetinilmekte, ancak bu yöntemlerin her biri diğerlerinden farklı sonuçlar vermektedir. Konuyla ilgili bu yöntemlerin yanı sıra analitik yöntemler de geliştirilmiştir.

Havzadaki biriktirme sisteminin doğrusal bir hazne olduğu kabulü üzerine kurulmuş çok sayıda yöntemin yanı sıra, söz konusu sistemin doğrusal olmayan yapısını dikkate alarak taban akışını toplam akıştan ayıran bir yöntem de mevcuttur. Wittenberg (1999) tarafından geliştirilen ve Wittenberg ve Sivapalan (1999), Wittenberg (2003), Wittenberg ve Aksoy (2010), Aksoy ve Wittenberg (2011, 2015) tarafından da kullanılan yöntemin esası aşağıda verilmektedir.

Doğrusal olmayan hazne teorisinde (Tison, 1953), depolama hacmi ( $S$ ); debi ( $Q$ ) ile,

$$S = aQ^b \quad (1)$$

şeklinde ilişkilendirilmiştir. Hazneye girdi olmadığında (havzaya yağış düşmediğinde) süreklilik denklemi

$$\frac{dS}{dt} = -Q \quad (2)$$

şeklinde. (1) ve (2) eşitliklerinin birleştirilmesi ile elde edilen diferansiyel denklemin  $Q_0$  başlangıç koşulu göz önünde bulundurularak yapılan çözümü

$$Q_t = Q_0 \left[ 1 + \frac{(1-b)Q_0^{1-b}}{ab} t \right]^{\frac{1}{b-1}} \quad (3)$$

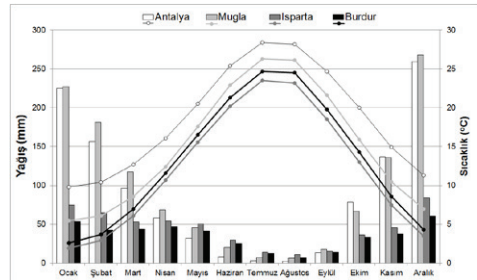
olarak bulunur. (3) eşitliğinde geçen  $a$  ve  $b$  parametreleri gözlenen günlük akım verileri kullanılarak düzenlenir (kalibre edilir). Yapılan çok sayıda uygulama sonrasında  $b = 0.5$  alınabileceği sonucuna ulaşılmış, serbest yüzeyli akiferler için  $b = 0.5$ 'in standart bir üs olarak kullanılabilirliği,  $a$ 'nın ise zeminin boşluk oranı, hidrolik iletkenlik ve diğer morfometrik özellikleri ile ilgili bir parametre olabileceği düşünülmüştür. Nitekim bu çalışmada da  $b$  parametresi sabit kabul edilerek her bir ay için  $a$  parametreleri belirlenmiştir. Bu işlem sırasında hesaplanan ve gözlenen çekilme eğrileri arasındaki benzerliğin kriteri olarak varyasyon katsayısı kullanılmıştır. Varyasyon katsayısı

$$CV = \frac{1}{Q_{gözlem}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{i,gözlem} - Q_{i,tahmin})^2}{N-1}} \quad (4)$$

ile hesaplanmıştır. Burada  $Q_{gözlem}$ ,  $Q_{tahmin}$  sırasıyla gözlenen ve tahmin edilen akım değerlerini;  $N$  çekilme eğrisindeki gün sayısını göstermektedir. Çekilme parametreleri belirlendikten sonra her bir istasyon için taban akışı BNLP adı verilen bir FORTRAN programı (Wittenberg, 1999) ile toplam akıştan ayrılmıştır.

## Çalışma Bölgesi ve Veri

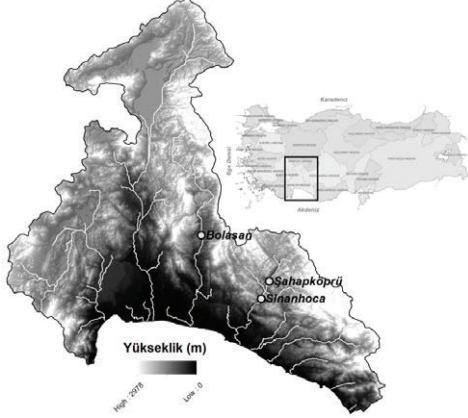
Çalışma bölgesi karstik yapıya sahip Akdeniz Bölgesidir. Kışın ılık ve yağışlı; yazın kurak ve sıcak iklime sahip Akdeniz Bölgesinde nadiren kar yağışı görülmektedir. Şekil 1'den anlaşılacağı üzere bölgenin iç kesimi kıyı kesimlerine göre daha az yağış almaktadır. Antalya, Muğla, Isparta ve Burdur verilerine dayanarak bölgenin yıllık toplam yağış ortalaması yaklaşık 420 mm ile 1160 mm arasında değişmektedir. Bölgenin sıcaklık ortalaması ise 15 °C dir.



Şekil 1. Çalışma bölgesine ait uzun yıllar (1954-2013) yıllık toplam yağış ve sıcaklık ortalaması

Taban akışının belirlenmesinde bölgedeki üç Akım Gözlem İstasyonuna (AGİ) ait günlük akım verileri kullanılmıştır. İstasyonların konumları Şekil 2'de ve istasyonlara ait genel özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Bu

istasyonların ikisi Manavgat Nehri, diğeri ise Köprüçay üzerinde bulunmaktadır.



Şekil 2. Çalışma bölgesi ve AGI'lerin konumları

Manavgat Nehri ortalama akımının, yaklaşık üçte ikisinin karstik pınarlardan geldiği, nehir üzerinde bulunan Oymapınar Baraj gölü altında kalan Dumanlı pınarının ortalama akımının 50 m<sup>3</sup>/s olduğu, Dumanlı dışında kalan ve debileri 1-10 m<sup>3</sup>/s arasında değişen 40 kadar pınarın nehri beslediği bilinmektedir (Öziş ve Keloğlu, 1979; Karanjac ve Günay, 1980). Köprüçay üzerinde ise Bolasan AGI'sinin mansabında kalan Olukköprü kaynağı başta olmak üzere irili ufaklı pek çok karstik kaynak mevcuttur (Değirmenci, 1989). Çekilme eğrilerinin belirlenmesinde günlük akım verilerinin yanı

sıra civardaki yağış gözlem istasyonlarının günlük yağış verileri de kullanılmıştır.

## Uygulama

Taban akışını ayırmada kullanılan yöntem, doğrusal olmayan hazne teorisini kullanmakta; günlük akım verilerinden elde edilen çekilme eğrisinin parametrelerini akımın periyodikliğine bağlı olarak hesaplamaktadır. Buna göre çalışma bölgesine ait günlük akım verileri kullanılarak her bir aya ait çekilme eğrileri belirlenmiştir. Çekilme eğrileri seçiminde yağışsız dönemler göz önüne alınmıştır. Bu nedenle akım gözlem istasyonlarına ait hidrograflar civardaki yağış istasyonlarının günlük yağış verileri ile karşılaştırılmıştır. Çekilme eğrisinin en az 5 gün boyunca devam etmesi öngörülmüştür. Bir sonraki aya (aylara) uzayan çekilme eğrileri çekilmenin başladığı aya ait sayılmış, böylece her bir ayı temsil edecek nitelikte çekilme eğrileri belirlenmiştir.

Çekilme eğrileri belirlendikten sonra çekilme parametresi  $b = 0.5$  sabit alınarak, her bir çekilme eğrisi için  $a$  parametresi kalibre edilmiştir. Varyasyon katsayısı %10'dan büyük olmayacak şekilde kalibrasyon yapılmıştır. Buna göre her bir ay için hesaplanan  $a$  değerleri, kullanılan çekilme eğrisi sayısı ve aylık ortalama akımlar ile birlikte Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan akım gözlem istasyonlarına ait genel özellikler

| İstasyon No                               | E09A012                    | E09A019               | E09A020                     |
|---|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| İstasyon Adı                              | Sinanhoca<br>(Manavgat N.) | Bolasan<br>(Köprüçay) | Şahapköprü<br>(Manavgat N.) |
| Enlem                                     | 31°36'31" D                | 31°11'23" D           | 31°39'29" D                 |
| Boylam                                    | 36°58'46" K                | 37°18'15" K           | 37°42'28" K                 |
| Drenaj Alanı (km <sup>2</sup> )           | 625.6                      | 1538.4                | 438                         |
| Yükseklik (m)                             | 245                        | 435                   | 432                         |
| Gözlem Süresi                             | 10.1963-09.2013            | 10.1984-09.2009       | 10.1991-09.2012             |
| Ort. Akım (m <sup>3</sup> /s)             | 70.5                       | 22.9                  | 19.3                        |
| Kuru Gün Sayısı<br>(Gözlem Süresi İçinde) | 608                        | 332                   | 566                         |

Çekilme parametresi  $a$ 'nın ortalama akımın yüksek olduğu ilkbahar ve yaz aylarında daha

büyük değerler aldığı görülmektedir. Sonbahar ve kış mevsiminin başında ise bu değer

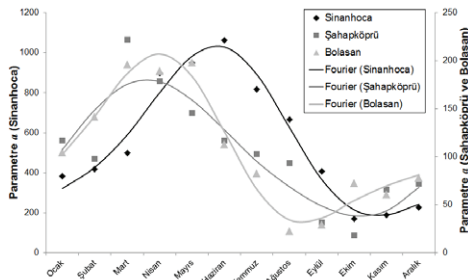
düşmektedir. Önceki uygulamalarda da olduğu gibi (Wittenberg, 2003; Aksoy ve Wittenberg, 2011) çekilmenin mevsimsellik gösterdiği anlaşılmaktadır. Çalışma bölgesi için bulunan  $a$  parametresinin de mevsimsellik gösterdiği söylenebilir. Nitekim  $a$  parametresi için yapılan

harmonik analizde, iki parametrelili Fourier serisinin varyansının; Sinanhoca, Şahapköprü ve Bolasan için sırasıyla  $a$  parametresindeki varyansı %97, %81 ve %96 oranında açıkladığı görülmüştür.

Tablo 2. Çekilme eğrisi parametresi  $a$  değerleri ve kullanılan Çekilme Eğrisi Sayısı (ÇES)

| Ay        | Sinanhoca                             |                           |     | Şahapköprü                    |                                       |                           | Bolasan |                               |                                       |                           |     |                               |
|-----------|---------------------------------------|---------------------------|-----|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----|-------------------------------|
|           | $a$ (m <sup>3</sup> s) <sup>0.5</sup> | $a$ (mm d) <sup>0.5</sup> | ÇES | Ort. Akım (m <sup>3</sup> /s) | $a$ (m <sup>3</sup> s) <sup>0.5</sup> | $a$ (mm d) <sup>0.5</sup> | ÇES     | Ort. Akım (m <sup>3</sup> /s) | $a$ (m <sup>3</sup> s) <sup>0.5</sup> | $a$ (mm d) <sup>0.5</sup> | ÇES | Ort. Akım (m <sup>3</sup> /s) |
| Ocak      | 382.6                                 | 142                       | 26  | 13.7                          | 117.1                                 | 52.0                      | 12      | 2.3                           | 104.8                                 | 24.8                      | 12  | 3.9                           |
| Şubat     | 418.0                                 | 155                       | 15  | 36.3                          | 97.6                                  | 43.3                      | 7       | 14.3                          | 141.5                                 | 33.5                      | 7   | 17.5                          |
| Mart      | 498.1                                 | 185                       | 5   | 101.1                         | 222.0                                 | 98.6                      | 6       | 34.9                          | 196.2                                 | 46.5                      | 8   | 38.3                          |
| Nisan     | 897.1                                 | 333                       | 7   | 114.0                         | 178.6                                 | 79.3                      | 5       | 31.7                          | 189.5                                 | 44.9                      | 3   | 36.8                          |
| Mayıs     | 949.3                                 | 353                       | 6   | 109.4                         | 145.7                                 | 64.7                      | 12      | 35.7                          | 198.6                                 | 47.1                      | 10  | 48.7                          |
| Haziran   | 1061.4                                | 394                       | 21  | 110.7                         | 116.9                                 | 51.9                      | 10      | 35.7                          | 113.2                                 | 26.8                      | 19  | 41.5                          |
| Temmuz    | 817.8                                 | 304                       | 21  | 118.6                         | 102.8                                 | 45.7                      | 11      | 40.1                          | 82.8                                  | 19.6                      | 13  | 42.5                          |
| Ağustos   | 665.6                                 | 247                       | 11  | 96.6                          | 93.1                                  | 41.3                      | 5       | 23.8                          | 22.4                                  | 5.3                       | 10  | 27.7                          |
| Eylül     | 408.5                                 | 152                       | 17  | 63.4                          | 31.3                                  | 13.9                      | 9       | 8.5                           | 29.5                                  | 7.0                       | 9   | 11.3                          |
| Ekim      | 169.9                                 | 63.1                      | 10  | 41.2                          | 18.2                                  | 8.1                       | 3       | 3.0                           | 72.4                                  | 17.1                      | 5   | 3.7                           |
| Kasım     | 187.7                                 | 69.7                      | 22  | 25.9                          | 66.0                                  | 29.3                      | 5       | 1.3                           | 60.9                                  | 14.4                      | 8   | 1.2                           |
| Aralık    | 226.1                                 | 84.0                      | 29  | 15.5                          | 72.1                                  | 32.0                      | 9       | 0.6                           | 78.2                                  | 18.5                      | 11  | 1.3                           |
| Ort. $a$  | 556.8                                 | 207                       |     |                               | 105.1                                 | 46.7                      |         |                               | 107.5                                 | 25.5                      |     |                               |
| Top. ÇES  |                                       |                           | 190 |                               |                                       |                           | 94      |                               |                                       |                           | 115 |                               |
| Ort. Akım |                                       |                           |     | 70.5                          |                                       |                           |         | 19.3                          |                                       |                           |     | 22.9                          |

Çekilme parametresi  $a$  değerlerinin aylara göre değişimi ve bu değerler için yapılmış Fourier analizi sonuçları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Çekilme parametresi  $a$ 'ya ait mevsimsel değişim ve harmonik analiz sonuçları

Sinanhoca için uydurulan eğrinin tepesi noktasının Şahapköprü ve Bolasan için

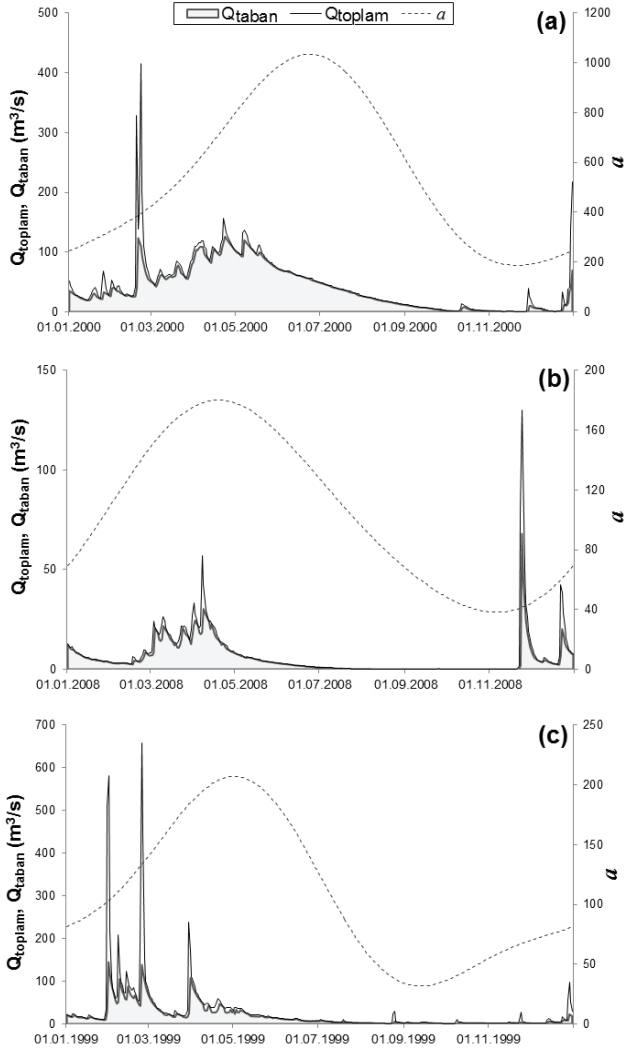
uydurulan eğrilere göre yaz aylarına doğru kaydığı çok net bir şekilde görülmektedir. Bu kayma belli bir gecikmeyle muhtemel karstik yapı üzerinden Sinanhoca'ya ulaşan su transferine işaret etmektedir.

Çekilme parametrelerinden  $b = 0.5$  sabit alınarak ve  $a$ 'ya uydurulan Fourier serisi kullanılarak yukarıda söz edilen BNLP adlı FORTRAN programı yardımıyla taban akışı her bir istasyon için ayrılmıştır. Sinanhoca, Şahapköprü ve Bolasan havzaları için toplam akış, taban akışı ile birlikte çekilme parametresinin değişimi Şekil 4'te sunulmuştur.

Havzalara ait toplam akış hidrografları incelendiğinde, söz gelimi Temmuz ayında Şahapköprü ve Bolasan AGİ'lerinde akım çok düşük değerlerde seyrederken, aynı ay Sinanhoca AGİ'sinde yaklaşık 50 m<sup>3</sup>/s'lik bir

debi görülmektedir. Bu sonuç yukarıda  $a$  parametresinde görülen mevsimsel değişimle (kayma) örtüşmektedir. Bu üç AGİ'ye ait 1992-2008 ortak gözlem dönemi göz önüne alınarak aylık toplam akış, taban akışı ve doğrudan akım değerleri hesaplanmış ve Tablo 3'te sunulmuştur. Tablo 3'ten görüldüğü üzere taban

akışı toplam akışın büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Taban akışının toplam akışa oranı özellikle Sinanhoca AGİ'sinde %88'e kadar ulaşmıştır. Bu oran Şahapköprü ve Bolasan istasyonları için %73 ve %68 olarak tayin edilmiştir.



Şekil 4. AGİ'lere ait örnek günlük akım ve taban akışı değerleri ve çekilme parametresinin (a) değişimi; (a) Sinanhoca, (b) Şahapköprü ve (c) Bolasan

Tablo 3. AGİ'ler için aylık toplam ve doğrudan akış ile taban akışı değerleri

| İstasyon<br>Alan (km <sup>2</sup> )          | Sinanhoca (Manavgat N.)<br>625.6                  |   |  | Şahapköprü (Manavgat N.)<br>438                   |   |  | Bolasan (Köprüçay)<br>1538.4                      |   |  |
|--|---|---|--|---|---|--|---|---|--|
|  | $V_{toplam}$<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | $V_{doğrudan}$<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | $V_{taban}$<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | $V_{toplam}$<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | $V_{doğrudan}$<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | $V_{taban}$<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | $V_{toplam}$<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | $V_{doğrudan}$<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) | $V_{taban}$<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) |
| Ocak   | 232   | 42  | 190  | 69  | 22  | 47   | 101   | 35  | 65   |
| Şubat  | 239   | 47  | 192  | 77  | 30  | 48   | 116   | 44  | 72   |
| Mart   | 260   | 30  | 230  | 88  | 24  | 64   | 107   | 31  | 76   |
| Nisan  | 302   | 24  | 278  | 99  | 20  | 78   | 113   | 32  | 81   |
| Mayıs  | 241   | 10  | 231  | 59  | 7   | 52   | 74  | 16  | 58   |
| Haziran                                      | 143   | 2   | 140  | 19  | 1   | 18   | 28  | 3   | 25   |
| Temmuz                                       | 93  | 2   | 91   | 7   | 0   | 7  | 10  | 1   | 9  |
| Ağustos                                      | 52  | 1   | 51   | 3   | 0   | 3  | 4   | 1   | 3  |
| Eylül  | 26  | 1   | 25   | 1   | 0   | 1  | 4   | 1   | 3  |
| Ekim   | 24  | 7   | 17   | 5   | 3   | 2  | 12  | 7   | 5  |
| Kasım  | 111   | 29  | 82   | 42  | 16  | 26   | 44  | 20  | 24   |
| Aralık                                       | 242   | 49  | 193  | 85  | 27  | 58   | 109   | 41  | 68   |
| Toplam<br>(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )  | 1964  | 244   | 1720   | 554   | 151   | 404  | 723   | 233   | 490  |
| Toplam hacme<br>oran (%)                     |   | 12  | 88   |   | 27  | 73   |   | 32  | 68   |
| Ort. Akım (m <sup>3</sup> /s)<br>(1992-2008) | 62.3  | 7.7   | 54.5   | 17.6  | 4.8   | 12.8   | 22.9  | 7.4   | 15.5   |

Öziş ve Keloğlu (1979) Manavgat havzası için yaptıkları çalışmada, Manavgat nehri akımının %80-85'inin karst yeraltı suyu tarafından sağlandığını belirtmektedir. Baran vd. (1987) Türkiye'de karst pınar katkıları üzerine yaptıkları çalışmada ise Sinanhoca, Şahapköprü ve Bolasan AGİ'leri için pınar katkısının 65, 18 ve 22 m<sup>3</sup>/s olduğunu bulmuşlardır. Bu değerler çalışmada göz önüne alınan gözlem süresindeki toplam akımın (yüzeysel ve taban akışı birlikte) sırasıyla yaklaşık %80, %70 ve %77'sine tekabül etmektedir. Bu çalışmada doğrusal olmayan taban akışı ayırma yöntemi kullanılarak bu değerler (1992-2008 yılları arası) sırasıyla yaklaşık olarak %88, %73 ve %68 olarak hesaplanmıştır. Bu yönüyle yöntemin karstik bölgelerde kullanılabilirliğinden bahsetmek mümkündür.

Bolasan drenaj alanı Sinanhoca drenaj alanının iki katından daha fazla olmasına rağmen, taban akışı Sinanhoca'dan daha küçük kalmıştır. Öte yandan Bolasan drenaj alanı Şahapköprü drenaj alanından yaklaşık 3.6 kat büyük olmasına rağmen taban akışları yaklaşık aynı miktardadır. Ayrıca Şekil 3'te çekilme parametresinde görülen mevsimsel kayma ve Şekil 4'te toplam akış hidrograflarındaki karşılaştırmalar, karstik

yapıya sahip bölgede Manavgat havzasına doğru bölgenin kuzeyinden ve Bolasan havzasından (kuzeybatı) yeraltı suyu transferi olduğunu ve bu transferin özellikle Şahapköprü ve Sinanhoca AGİ'leri arasında kalan kısımdan (Eynif ve Gembos polyeleri) nehre katıldığını düşündürmektedir.

Basit bir hesaplama Sinanhoca havza alanının Şahapköprü havza alanından 1.43 kat büyük olduğu göz önüne alınırsa, Sinanhoca ortalama taban akışının da Şahapköprü taban akışının 1.43 katı büyük yani 576\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> olabileceği söylenebilir. Ancak Sinanhoca taban akışının 1720\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>'e ulaşması aradaki 1151\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>'lük farkın komşu havzalardan transfer edildiğini göstermektedir. Burada ayrıntısına girilmemekle beraber yapılan hesaplamalar sonucu, Manavgat Nehrinin özellikle kuzey ve kuzeybatısından geldiği düşünülen yeraltı suyunun gecikme süresinin yaklaşık 1.4 ay olduğu söylenebilir (Eris ve Wittenberg, 2015).

## Sonuçlar

Bu çalışmada, daha önce gerek ülkemizdeki havzalarda gerekse diğer ülke havzalarında tecrübe edilmiş doğrusal olmayan çekilme eğrisi



yöntemi, taban akışını toplam akıştan ayırmada kullanılmıştır. Yöntem, Dünya yüzeyinin yaklaşık onda birini, Türkiye'nin yaklaşık üçte birini kaplayan karstik bölge havzalarına uygulanmıştır. Çalışma bölgesi olarak 1970'li yıllardan beri özellikle Oymapınar Barajının yapımıyla birlikte pek çok çalışmaya konu olan Akdeniz Bölgesi karstik akarsuları seçilmiştir. Doğrusal olmayan çekilme eğrisi yöntemi ilk kez bu çalışma ile karstik bölge akarsularına uygulanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda toplam taban akışı miktarında önceki çalışmaların sonuçlarından çok uzak kalmamakla birlikte daha güncel verilerle yeni sonuçlara ulaşılmış ve yöntemin uygulanabilirliği sınanmıştır. Çekilme parametresinin mevsimsel değişiminin elde edilmesiyle her bir ay için ayrı taban akışı ve yüzeysel akış miktarları hesaplanmıştır. Uygulama sonuçlarına göre Sinanhoca havzasının karstik yapısı nedeniyle özellikle kuzeyden ve kuzeybatıdan beslendiği düşünülmektedir. Sinanhoca yeraltı suyu havzası alanının, Şahapköprü ve kuzeyi ile Bolasan havzasının bir kısmını kapsayacak şekilde, yerüstü drenaj alanından yaklaşık üç kat daha büyük olduğu tahmin edilmektedir. Söz konusu su transferinin tam olarak nereden geldiğinin detaylı olarak araştırılması başka bir çalışma konusu olarak değerlendirilebilir.

## Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK'ın 2219-Yurt Dışı Doktora Sonrası Araştırma Burs Programı tarafından desteklenmiş ve Türkiye Ulusal Hidroloji Komisyonu (TUHK) İstatistiksel Hidroloji Çalışma Grubu faaliyetleri kapsamında yapılmıştır.

## Kaynaklar

- Aksoy, H. ve Wittenberg, H., (2011). Nonlinear baseflow recession analysis in watersheds with intermittent streamflow, *Hydrological Sciences Journal*, **56**, 2, 226-237.
- Aksoy, H. ve Wittenberg, H., (2015). Baseflow recession analysis for flood-prone black sea watersheds in Turkey, *CLEAN – Soil, Air, Water*, **43**, 6, 857-866.

- Baran, T. ve Harmancıoğlu, N. B., (1993). *Assessment of mathematical models with exponential functions describing karstic spring discharges* in LaMoreaux, P.E., Assaad, A. I., McCorley, A., eds, Hydrogeological Processes in Karst Terrains (UKAM, IAHS & IAH, International Symposium and Field Seminar on Hydrogeologic Processes in Karst Terrains, Antalya, Turkey), IAHS Publ. No. 207, 231-241.
- Baran, T., Harmancıoğlu, N. ve Öziş, Ü., (1987). Türkiye'nin Akarsularında Karst Pınar Katkıları, *Bildiriler, Türkiye İnşaat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi*, 299-311, Ankara.
- Benzedem, E., Olcay, M. S. ve Bağalı, K. (1993). *Flood Frequency Analysis in Karst River Basins*, in LaMoreaux, P.E., Assaad, A. I., McCorley, A., eds, Hydrogeological Processes in Karst Terrains (UKAM, IAHS & IAH, International Symposium and Field Seminar on Hydrogeologic Processes in Karst Terrains, Antalya, Turkey), IAHS Publ. No. 207, 187-202.
- Boussinesq, J., (1904). Recherches theoretiques sur l'écoulement des nappes d'eau infiltrées dans le sol et sur le débit des sources, *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées*, **10**, 5, 5-78.
- Değirmenci, M., (1989). Köprüçay Havzası ve Dolayının (Antalya) Karst Hidrojeolojisi İncelemesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Eriş, E. ve Wittenberg, W. (2015). Estimation of baseflow and water transfer in karst catchments in Mediterranean Turkey by nonlinear recession analysis, *Journal of Hydrology*, **530**, 500-507.
- Gonzales, A. L., Nonner, J., Heijkers, J. ve Uhlenbrook, S., (2009). Comparison of different base flow separation methods in a lowland Catchment, *Hydrology and Earth System Sciences*, **13**, 2055-2068.
- Horton, R. E., (1933). The role of infiltration in the hydrologic cycle, *EOS Trans. AGU*, **14**, 446-460.
- Karanjac, J. ve Günay, G. (1980). Dumanlı Spring, Turkey-The Largest Karstic Spring in the World?, *Journal of Hydrology*, **45**, 219-231.
- Koç, A. C., (2008). Evaluation of karstic aquifers contribution to streams by the statistical analysis of recession curves, *Journal of Earth System Science*, **117**, 1, 59-67.
- Maillet, E. (1905). *Essai d'hydraulique souterraine et fluviale*, Librairie scientifique, Hermann, Paris.
- Öziş, Ü. ve Keloğlu, N., (1979). Stochastic Analysis of Manavgat Flows, Antalya, *Proceedings, International Seminar on Karst Hydrogeology*, 305-315, Ankara.



- Saplıoğlu, K., (2005). Akarsu Çekilmelerine Etkiyen Parametrelerin Belirlenmesi ve Çekilmenin Modellenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Tison, L. J., (1953). *Cours d'hydraulique, I: Cours d'eau movement permanent: filtration*, Gand.
- Ünal, E., (1981). Karst bölgelerindeki baraj haznelerinin yeraltı biriktirme hacminin Oymapınar örneğinde alçalma hidrografi yöntemiyle incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İzmir.
- Wittenberg, H., (1999). Baseflow recession and recharge as nonlinear storage processes, *Hydrological Processes*, **13**, 715–726.
- Wittenberg H., (2003). Effects of season and man-made changes on baseflow and flow recession: case studies, *Hydrological Processes*, **17**, 2113-2123,
- Wittenberg, H. ve Aksoy, H., (2010). Groundwater intrusion into leaky sewer systems, *Water Science and Technology*, **62**, 1, 92-98.
- Wittenberg, H. ve Sivapalan, M., (1999). Watershed groundwater balance estimation using streamflow recession analysis and baseflow separation, *Journal of Hydrology*, **219**, 20-33.

## Baseflow separation by nonlinear recession analysis in karstic watersheds

### Extended abstract

Total streamflow has two main components, i.e. direct flow and indirect flow (baseflow). Baseflow is mainly groundwater outflow which feeds rivers also during rainless periods. A proper estimation of baseflow is important for many issues of water engineering. In Turkey, more than one third of the river basins have karstic structures. Here baseflow is the slower flow component which has passed through the karstic aquifer. Considering that a significant part of available water resources is located in these karstic regions, the estimation of baseflow volumes is essential in water resources planning.

In this study, nonlinear baseflow recession analysis is used to separate baseflow from time series of daily values of total flow in karst watersheds in the Mediterranean Region of Turkey. The objective of this paper is to assess karstic baseflow and related groundwater / karst water recharge and their seasonal variation.

For this purpose, Sinanhoca, Şahapköprü and Bolasan streamflow gauging stations on Manavgat and Köprüçay Rivers are selected. Flow recessions were found corresponding to the nonlinear storage-baseflow relationship  $S=a \cdot Q^b$ . To simplify comparison of calibration results and the application for baseflow separation, the exponent  $b$  is fixed at the standard value of 0.5 for unconfined aquifers and only the value of  $a$  is calibrated.

As a result, the seasonal variation for the parameter  $a$  was clearly comprehended. At all gauging stations, wet period recessions revealed higher values of  $a$  than dry period recessions. Besides, peak values of  $a$  for Sinanhoca station are shifted comparing to that for Şahapköprü and Bolasan stations. This shifting probably implies the delayed water transfer to Sinanhoca from neighboring catchments through the karstic media.

The nonlinear reservoir algorithm was applied for the separation of baseflow from the time series of total daily flow. Results have showed that baseflow constitutes a significant part of total streamflow for all gauging stations such that the ratio of baseflow

to total flow has reached 88% at Sinanhoca SGS. This ratio is found to be 73% and 68% for Şahapköprü and Bolasan, respectively. The high baseflow volume at Sinanhoca confirms the hypothesis of karst baseflow transfer from outside.

**Keywords:** Baseflow, nonlinear reservoir separation method, recession analysis, Mediterranean Region of Turkey.