

BOĞSAK KARST KAYNAĞI (MERSİN-TAŞUCU) ÖRNEĞİNDE BİR KARST KAYNAĞI VE AKİFERİNİN JEOHİDROLOJİK ANALİZİ Geohydrological analysis of a karst spring and its aquifer on the example of Boğsak karst spring (Mersin-Taşucu)

Turgut ÖZTAŞ İTÜ Maden Fak. Jeol.Müh. Böl., İSTANBUL

ÖZ: Mersin iline bağlı Taşucu bucağının 10 km. batısındaki Boğsak köyü girişinde yer alan Boğsak kaynağı, bazı yıllardaki yaklaşık 10 m³/sn'lik boşalımı ve 11 ay boyunca süregiden aşırı tuzlu niteliği ile bilimsel açıdan son derece ilginç bir karst kaynağıdır.

Boğsak karst kaynağı; bir tek yeraltı drenaj alanından değil, değişik kotlarda yer alan ve statik yeraltı su düzeyleri aşıldığında sularını sadece bir noktadan olmak üzere komşu drenaj alanlarından sadece birine boşaltan bir çok kapalı yeraltı drenaj alanından (çanak) oluşan ve yerel geçirimsiz seviyeler içeren bir karst akiferinin suyunu drene etmektedir.

Kaynak debisinin azalma dönemindeki regresyon analizi, klâsik yöntem çerçevesinde fakat daha farklı bir yol izlenerek yapılmış ve önerilen yolun daha güvenli olduğu sayısal olarak kanıtlanmıştır. Kaynağın debi-zaman ilişkisini yansıtan eşitlikten hareketle, birinci aşamada karst akiferin hidrolik katsayılarını ifade eden iletimlilik, depolama ve geçirimlilik katsayıları güvenli yönde kalarak sınır değerleriyle hesaplanmış, ikinci aşamada ise bölgesel meteorolojik su bilançosuna dayanılarak Boğsak karst kaynağı akiferinin olası yayılım alanının alt ve üst sınır değerleri belirlenmiştir. Tüm hidrolik parametrelerin ve akifer boyutlarının gözönüne alınmasıyla Boğsak karst kaynağı akiferinin su potansiyeli ile statik ve dinamik rezervi bulunmuştur.

1/10.000 ölçekli ayrıntılı genel jeoloji ve karst jeolojisi çalışmalarının meteorolojik ve hidrolojik analizler ile laboratuvar deneylerinden sağlanan verilerle sentezini baz alan bu çalışma sonunda Boğsak karst kaynağı ve akiferinin temel hidrolik karakteri ortaya çıkarılmıştır.

ABSTRACT: The Boğsak karst spring is at the entrance Boğsak village, at 10 km. distance on W of Taşucu subprovince. It has 10 m³/s discharge in some years and a strong salinization is effective on 11 months in per year.

An aquifer model possessing many closed underground drainage areas (bowls) taking place at different elevations, which is proposed drains their water to only one neighbouring underground drainage area from only one point, when the groundwater level of the static reservoir exceeded. This new aquifer model, which explains both the discharge of the Boğsak karst spring and the process of the saltation, will open new sights in to karstic hydrogeology and the general hydrogeologic studies.

It is concluded that trying to prevent the encroachment of seawater to the spring will be unsuccessful and uneconomic in general. Therefore, leaving the spring in its own flow condition is useful only in January and February, when it has maximum discharges and discharging the fresh water by a possible production well located at 1 km distance on SW of the spring with 250-300 m. depth is probably the most economical and realistic solution.

The deficiencies of the classical way in the analysis of discharge of a karst spring depending on the time in decreasing period of spring discharge are explained numerically such as shown in the example of the Boğsak karst spring. One of the most important deficiencies in violating assumptions regarding the relations described in the discharge equations. The proposed approach and the classical approach are applied to the discharge in decreasing period. Comparison of the results shows the validity of the approach proposed in this study. Based on all data determined above, the total, static and dynamic reserves of the groundwater in aquifer have been calculated from the hydraulic parameters and the dimensional properties of the aquifer.

GİRİŞ

Mersin ili Taşucu bucağının 10 km. batısındaki Boğsak köyü girişinde ve kıyıya 120 m. dik mesafede yer alan Boğsak karst kaynağı, bazı yıllardaki yaklaşık 10 m³/sn'lik boşalımı ve 11 ay boyunca süregiden aşırı tuzlu niteliği ile bilimsel ve ekonomik açıdan büyük önem taşır (Foto 1, 2, 3). Tuzluluk nedeninin ve kaynaktan sürekli yararlanabilme imkânının araştırıldığı bir çalışma, bu yazının konusunu oluşturan kaynağın ve akiferinin jeohidrolojik özelliklerinin sayısal olarak belirlenmesi birinci derecede önem taşıyacaktır (Öztaş, 1989).

BOĞSAK KARST KAYNAĞI VE AKİFERİNİN HİDROJEOLJİK YAPISI

250 m. uzunluğunda küçük bir dere ile Boğsak körfezine boşalan Boğsak kaynağı, Üst Permian'ın üst istifini oluşturan dolomit-rekristalize kireçtaşı aralanmasının alt seviyelerinden çıkar (Çizelge 1). Hidrojeolojik açıdan yerel geçirimli-düşük erimli kaya ortam (Gç_D) oluşturan bu istifin altında yine Üst Permian yaşlı olan ve alt istifi oluşturan kumlu kireçtaşı-fosilli kireçtaşı aralanması yer alır. 90 m. dolayında kalınlığı olan ve KD'ya eğimli bir normal fay ile kesilmiş bulunan bu istif, bir yerel geçirimsiz-

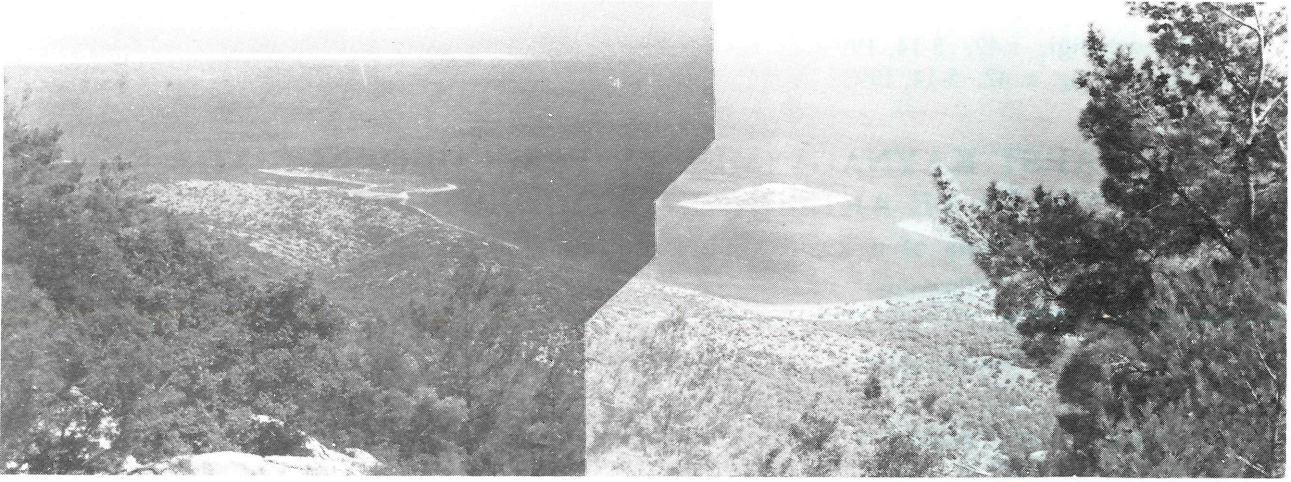


Foto 1. Boğsak karst kaynağı ve yakın dolayı (Sol üstte Silifke deltası)
Photo 1. Boğsak karst spring and new surrounding (Silifke delta at left top.)

orta erimeli kaya ortam ($G_{\text{Ç}_0}$) oluşturur. Ortamın daha alt seviyelerine inildikçe, önce yine yerel geçirimsiz-orta erimeli kaya ortam ($G_{\text{Ç}_0}$) niteliği taşıyan yaklaşık 70 m. kalınlığındaki Üst Devoniyen yaşlı kumlu fosilli kireçtaşı-kumtaşı ardalanmasına, sonra da tamamen geçirimsiz erimsiz kaya ortam (G_z) niteliği gösteren Alt Silüriyen yaşlı killi şistlere geçilir. Bu nedenle, özelde Kaynak yerinde, genelde de tüm inceleme alanında, sözkonusu kireçtaşı ve dolomitler içinde dolaşan karst yeraltısuyu Alt Silüriye'de tutulmakta ve hatta yer yer Üst Devoniyen'in kumtaşı tabakalarının zon oluşturduğu üst ve orta seviyelerinden aşağılara inmemektedir. Diğer bir ifadeyle, bu geçirimsiz seviyeler (G_z), Boğsak karst kaynağı akifer (I_{er}) inin taban

(I_{er})ını oluşturmaktadır (Öztaş, 1989).

Yapısal ve litolojik özellikleri gözönüne alındığında bir karst akiferi oluşturmaya elverişli olan yaklaşık 160 m. kalınlıktaki bu ortamda, Üst Devoniyen'in, yerel geçirimsiz seviyeler ile kısmen veya tamamen dolgulu olan süreksizlikler içermesi nedeniyle, Boğsak karst kaynağı akiferinin en alt 70 m.'sini oluşturan kesim içinde verimli bir yeraltısuyu depolanması beklenilmemelidir. Bu alt akifer bölgesini, genelde karst yeraltısuyu dolaşımının hemen hemen hiç olmadığı bir pasif yeraltısuyu deposu olarak düşünmek daha gerçekçi olacaktır.

Akifer ortamı oluşturan kireçtaşlarını dolomit ve geçirimsiz seviye dokanaklarında, süreksizlikler boyunca

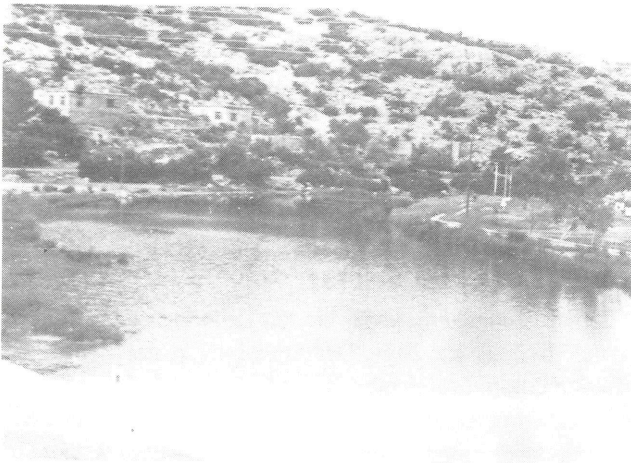


Foto 2. Boğsak karst kaynağına mansaptan bakış.
Photo 2. View of Boğsak karst spring at flow bed.

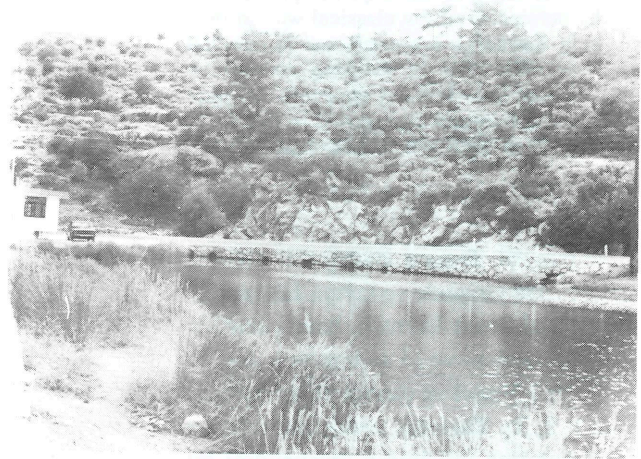


Foto 3. Boğsak karst kaynağından menba yönünde bakış.
Photo 3. View of Boğsak karst spring at flow direction.

PALEOZOİK		MESOZOİK		SENOZOİK		Üssistem	Hidrojeoloji Ortamı	Kalınlık(m)
Devoniyen	Karbonifer	Permiyen	Jura	Kretase	Neojen	Sistem	Simgesi	Kalınlık(m)
Alt	Alt	Üst		Üst	Miyosen	Seri		
Alt	Alt	Üst		Alt		Kat		
							G _ç	15
							G _{ç_o}	145
							G _{ç_d}	15
							G _{ç_o}	100
							G _{ç_d}	50
							G _z	15
							G _{ç_d}	45
							G _{ç_o}	60
							G _{ç_d}	10
							G _{ç_o}	20
							G _z	10
							G _{ç_o}	70
							G _z	5
							G _{ç_o}	40
							G _z	5
							G _{ç_o}	20
							G _z	5
							G _z	5

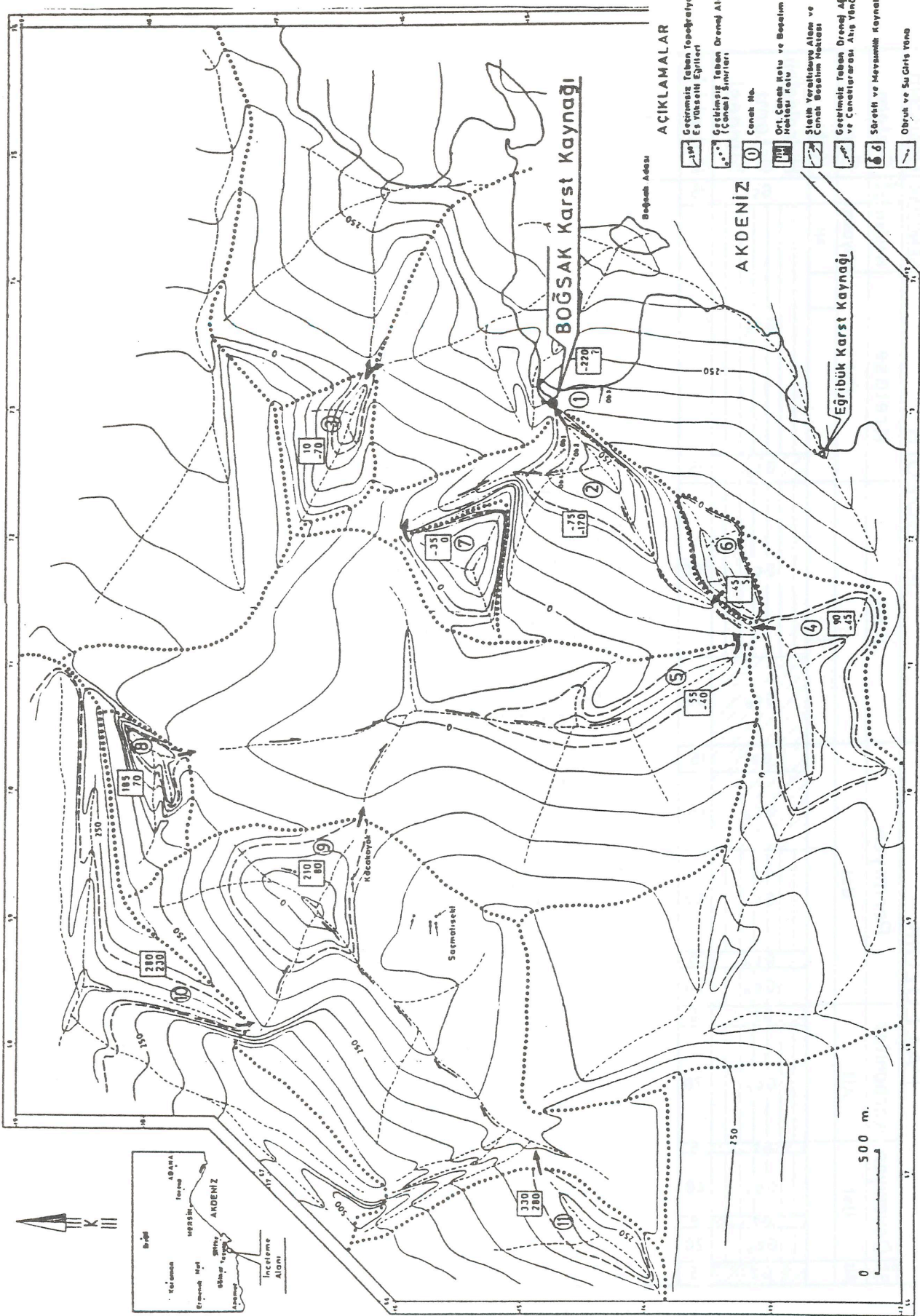
Hidrojeoloji Ortamları ve Karst Özellikleri

G_ç : Geçirimli-Erimeli Taneli Ortam
G_{ç_o} : Yerel Geçirimsiz -Orta Erimeli Kaya Ortam
G_{ç_d} : Yerel Geçirimli - Düşük Erimeli Kaya Ortam
G_z : Geçirimsiz - Erimesiz Kaya Ortam

Hidrojeolojik Ortamlar		G _{ç_d}	G _{ç_o}
Ortam Özellikleri			
Kimyasal Bilesim,%	CaCO ₃	24.0	94.0
	CaMg(CO ₃) ₂	75.5	2.5
	Erimezler	0.5	3.5
Eriyebilirlik Ölçeği		20	45
Bağıt Eriyebilirlik Sıralaması		Düşük	Orta
Boşluktuluk %	Tabakalaşmaya Paralel	8	15
	Tabakalaşmaya Dik	5	11
Süreksizlik Sıklığı,%	Tabakalaşmaya Paralel	2	4
	Tabakalaşmaya Dik	1	2
Süreksizlik Aralığı,m		0.60	0.35
Karst Yapıları		Dolomit Yüzey Karstı, Kireçtaşı Dokanaklarında Obruklu.	Değişik Karren Tipleri, Dolomit Dokanaklarında ve Dolinler içinde Obruklu, Dolinli.
Litoloji		Dolomit Dolomitleşmiş Kireçtaşı	Kireçtaşı

Çizelge 1. İnceleme alanının genelleştirilmiş karst hidrojeolojisi kesiti.

Table 1. Generalized hydrogeological section of karstic media at studied area.



Harita 1. Boğsak karst kaynağı dolayının yeraltı drenaj sistemi haritası.
 Map 1. Map of underground drainage system at vicinity of Boğsak karst spring.

çizgisel karstlaşma boşlukları ve mağaralar görülmüştür. Öncelikle KB-GD doğrultulu genç oblik faylar ile oblik ve enine çatlaklar boyunca başlayan karstlaşmanın daha derinlerdeki gelişimi, bölgesel karstlaşma özelliğinin bir sonucu olarak, KD-GB uzanımlı yaşlı oblik ve boyuna faylar ile boyuna çatlaklar ve tabaka doğrultuları boyunca süregider. Karstlaşmanın gelişim gösterdiği bu doğrultular, doğaldır ki aynı zamanda karst yeraltısuyu dolaşımının da esas doğrultularıdır.

Boğsak karst kaynağı akiferinin boyut ve yayılımını belirlemek amacıyla, akifer tabanını oluşturan geçirimsiz-erimesiz kaya ortamın, hidrojeolojik kesitlerden hareketle geçirimsiz taban topoğrafyası haritası hazırlanmıştır. Bu haritada; Boğsak karst kaynağı akiferinin tüm inceleme alanında süreklilik göstermekle birlikte tek ve sürekli bir yeraltı drenaj alanından oluşmadığı, fakat değişik kotlarda yer alan ve belirli bir seviyeye kadar yeraltısuyu ile her zaman doygun bulunan, bu seviye aşıldığında da suyunu yalnız bir noktadan ve komşu drenaj alanlarından sadece birisine boşaltan birçok kapalı yeraltı drenaj alanından (çanak) meydana geldiği ortaya çıkarılmıştır (Harita 1). Görüldüğü gibi, inceleme alanının KB ve B'sindeki 10 ve 11 No'lu çanaklardan başlayan yeraltısuyu akışı 2 No'lu çanakta toplanmakta ve buradan da Boğsak karst kaynağı boşalım noktasından 1 No'lu çanağa geçmektedir.

Boğsak karst kaynağının oluşumuna açıklık getiren bu karst akiferi modelini ve yeraltısuyu akış yönlerini inceleme alanı genelinde destekleyen bazı önemli veriler şunlardır:

a) Geçirimsiz taban topoğrafyası haritasına bakıldığında, başlangıçta KB'dan GD'ya yönelmiş olan karst yeraltısuyu akışının, derinlere inildikçe KD'ya doğru yön değiştirmesi, bölgesel karstlaşma ve karst gelişim modeli ile son derece büyük bir uyum içindedir.

b) Kocakoyak obrukları, Saçmalıseki obruklarından sonra sulu hale gelmekte ve Saçmalıseki obruklarının suyunu kaybetmesinden sonra bile uzun süre sulu kalmaktadır.

c) Boğsak vadisindeki obruklardan önce Ob4 obruğu sulu hale gelmekte ve bunu Ob1, Ob2 obrukları izlemektedir. Obruklar hemen hemen aynı zamanda susuz hale gelmektedir. Bu durum, öncelikle 7 No'lu çanaktan su geliriyle doğrudan ilgilidir.

ç) Şiddetli yağışlar sonrasında Eğribük karst kaynağında da akış görülmesi, 4 No'lu çanaktaki statik yeraltısuyu düzeyinin ani yükselimiyle, bu çanağın aynı zamanda GD'dan 1 No'lu çanağa yeraltısuyu geçirmesiyle ilgilidir.

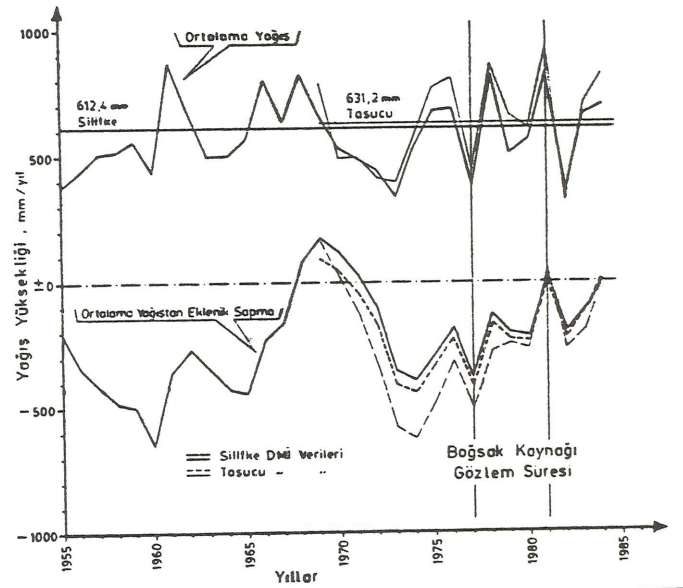
d) Yağışlar sonrasında Boğsak kaynağı debisinde görülen ani artış, yakın çanaklardan çabuk su gelişiminin

neticesidir. Debide önce azalma sonra yeniden artma oluşu uzak çanaklardan toplanarak gelen su miktarını gösterir. Nihayetinde az debiyle uzun süre akış ise öncelikle yüksek kotlu çanaklarda ve giderek düşük kotlu çanaklarda ortaya çıkan dinamik yeraltısuyu miktar ve hareket hızındaki azalmanın doğal bir sonucudur.

BOĞSAK KARST KAYNAĞI BOŞALIMININ KARAKTERİ

Boğsak kaynağı debi değerlerinin kaydedildiği Şubat 1977-Aralık 1981 tarihleri arasında en düşük debi değeri 0,048 m³/sn ile Ekim 1981'e en yüksek debi değeri ise 9, 871 m³/sn ile Ocak 1978'e aittir. Ortalama yıllık debi 1, 05 m³/sn'dir. 1977-1981 yıllarını kapsayan ölçüm dönemi, uzun yıllar ortalamasının altında kalan 16 yıllık bir kurak dönemin yağışlı yıllarına rastlamaktadır (Şekil 1). Yıllık debi değişimleri birbirine son derece benzer bir gidiş göstermektedir (Şekil 2).

Kaynak debisinin aylık değişim grafiğine göre, Aralık ayında artmaya başlayan debi Ocak ayında en yüksek değerine ulaştıktan sonra Ağustos ayına kadar hızla azalmaktadır. Eylül-Kasım döneminde daha yavaş azalım gösteren debi, Ekim-Kasım aylarındaki en düşük değerde hemen hemen sabit kalmaktadır (Şekil 3).



Şekil 1. Taşucu ve Silifke devlet meteoroloji istasyonları verilerine göre ortalama yağışın ve ortalama yağıştan eklenik sapmanın yıllık değişimi.

Figure 1. Annual change of average precipitation and cumulative deviation from mean precipitation due to data of Taşucu and Silifke meteorological stations.

Pratik olarak yağış düşmeyen Temmuz-Eylül dönemini izleyen Ekim-Kasım ayı yağışlarının, kurak yaz ayları sonrasındaki ilk yağışlar olması nedeniyle, sadece karst ortamının kısmen suya doygunluğu sağlanmakta ve dolayısıyla yeraltı akışı oluşturabilecek miktarda bir yağış suyu akifere ulaşmamaktadır. Aralık ayındaki yağışlar, karst ortamdaki mevcut su doygunluğunun azlığı ve karst yeraltı suyu düzeyi kotunun düşük oluşu nedeniyle, kaynak debisini beklenenin altında etkilemektedir. Ayrıca grafiklerden görüldüğü gibi, debi ve akışın zamana göre incelenerek aralarındaki ilişkinin araştırılması, özellikle elde seyrek aralarla yapılmış debi ölçümleri bulunması halinde, genellikle şimdiye kadar alışlagelen debi-yağış incelemesine göre daha yararlı ve daha gerçekçi sonuç vermektedir.

Ocak-Kasım dönemi için kaynak debisinin sürekli azalma içinde olduğu grafiklerden görülmekle birlikte, ilgili analiz yöntemlerinin uygulama varsayımlarının bu azalma dönemi için geçerliliğinin kontrol edilmesi zorunludur. Ocak ve Şubat aylarındaki aşırı yağışlar, Temmuz ve Ağustos aylarındaki aşırı buharlaşma, sulama amacıyla su çekimi ve turizmde kaynaklanan geçici büyük nüfus artışına bağlı fazladan su tüketimi gibi nedenler, kaynak debisinin "ek besleme ve boşalma olmadan azalması" temel varsayımına aykırı olduğu için, hesaplamalarda bu aylar gözönüne alınmamış ve karst ortamının sadece kendi özelliklerine bağlı olarak doğal boşalmanın matematik ifadesi belirlenmiştir. Debi değerleri olarak, aylık ağırlıklı istatistik ortalama değerler kullanılmıştır. Öngörülen bu yol ve eskiden olduğu gibi varsayımlara uygunluk irdelemesi yapmaksızın mevcut debi ölçümlerinin tümünün her ay için doğrudan kullanıldığı klâsik yol ayrı ayrı izlenerek boğsak karst kaynağı debisi-

nin azalma dönemindeki istatistik-matematik bağıntısı hesaplanmış ve bu bağıntının aşağıdaki TISON eşitliğine uyduğu saptanmıştır (Çizelge 2).

$$Q_t = \frac{2,10}{(1+0,0084.t)^2} \dots\dots\dots (1)$$

Bu çalışmada öngörülen ve klâsik yol izlenilerek yapılan hesaplamalar, elde edilen sonuçların korelasyon katsayılarından ve standart sapmalarından görüleceği gibi, öngörülen hesaplama yolu lehinedir (Çizelge 2).

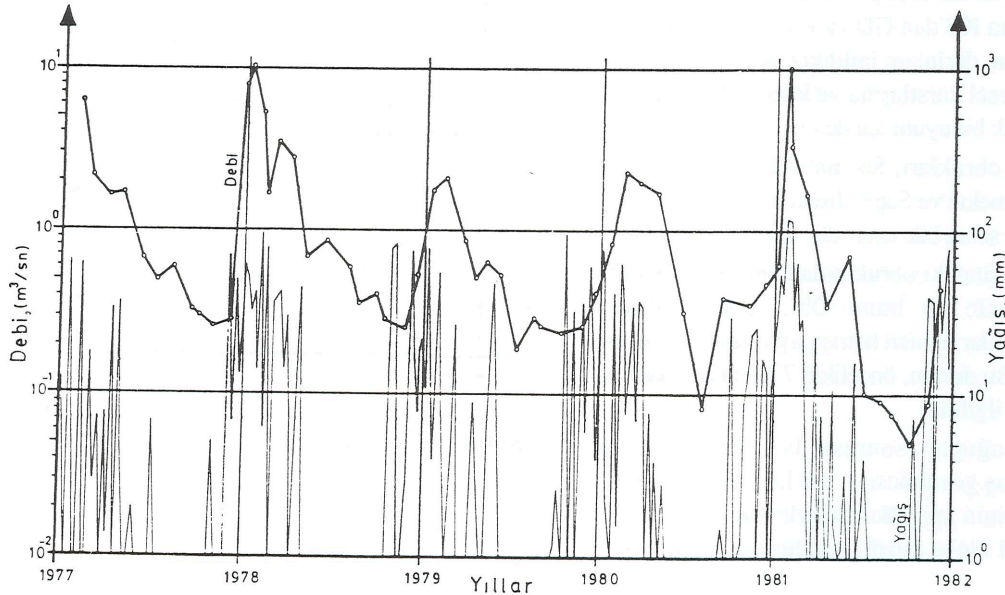
Elde edilen eşitlik türü, karst kaynaklarının azalma dönemindeki boşalım eğrilerinin logaritmik doğrusal olmaktan çok, azalma dönemi başlangıcında önce doğrusal, fakat sonra zaman eksenine giderek asimptotik bir yaklaşım içinde eğrisellik kazandıkları yolundaki genel görüşü de sayısal olarak ayrıca desteklemektedir.

BOĞSAK KARST KAYNAĞI AKİFERİNİN KARAKTERİ

Boğsak karst kaynağı akiferinin karakterini belirlemek üzere gerçekleştirilen çalışmaların birinci aşamasında karst akiferin iletimlilik (T, Transmissibilite) ve depolama (S) katsayıları hesaplanmış, ikinci aşamada ise akiferin boyutsal büyüklükleri ile su potansiyeli ve genel yeraltı suyu özellikleri açığa çıkarılmıştır.

Birinci Aşama Çalışmaları

Theis ve Jacob yöntemlerinin Mijatovic tarafından geliştirilen ve karst kaynaklarının azalma dönemindeki debi-zaman ilişkisine uyarlanan bağıntularla, sözkonusu ilişkiyi yansıtan Tison bağıntısının ve aşağıdaki diğer



Şekil 2. Boğsak karst kaynağı debisinin ve bölgesel yağışın zamana göre değişim grafiği
Figure 2. Change in time of discharge of Boğsak karst spring and regional precipitation.

eşitliklerin kullanılması sonucu, karst akiferin iletimlilik (T) ve depolama (S) katsayıları hesaplanmıştır (Mijatovic, 1975; Karanjac, 1977; Birsoy, 1982).

$$V_t = \frac{Q_t}{\alpha} \cdot 86400 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta r_t = \frac{V_t}{A} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\Delta R = \Delta r_0 - \Delta r_t \quad \dots\dots\dots (4)$$

Q_t : Karst kaynağının herhangi bir "t" anındaki azalma dönemi bağıntısına göre hesaplanan boşalım değeri, m³/sn.

α : Boşalım katsayısı, gün⁻¹

V_t : Karst akiferinde "t" anında depolanmış yeraltısuyu hacmi (dinamik rezerv, aktif hacim), m³.

Δr_0 : Karst akiferinde "0" anında (azalma dönemi başlangıcında) depolanmış yeraltısuyu yüksekliği (depolama indisi), m.

Δr_t : Kart akiferinde "t" anında depolanmış yeraltısuyu yüksekliği (depolama indisi),m.

ΔR : Karst kaynağının azalma döneminde başlangıç ile herhangi bir "t" anı arasında oluşan dinamik rezerv değişimi yüksekliği, m.

A : Karst akiferin yayılım alanı, km².

İnceleme alanının tüm yeraltı drenaj alanını içermemesi ve KB'dan açık bulunması nedeniyle, "A" değeri sayısal olarak değil, simgesel olarak eşitliklerde yer almıştır. Sözü edilen tüm bağıntılar 30 Şubat-30 Kasım arasındaki azalma dönemi gözönünde bulundurularak bir çizelge şekline getirilmiş ve buradan hareketle öncelikle $\Delta R: f(\log t)$ grafiği hazırlanmıştır. Grafikten sağlanan ΔR ve t_0 değerleri Mijatovic'in aşağıdaki uyarılma bağıntılarına konularak T ve S hesaplanmıştır.

$$T = 0,55 \frac{Q_{ort}}{\Delta R} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$S = 2,25 \frac{T \cdot t_0}{x^2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

T : Karst akiferin iletimlilik katsayısı, m³/sn/m.

Q_{ort} : Karst kaynağının ortalama yıllık debisi, m³/sn.

ΔR : Rezerv değişim yüksekliği farkı, (A⁻¹) m.

S : Karst akiferin depolama katsayısı, boyutsuz

t_0 : $\Delta R_0=0$ için grafikten okunan $t=t_0$ değeri, gün

x : En uzak beslenme noktasının, karst kaynağına olan yeraltı drenaj hattı boyunca veya doğrudan harita üzerinden ölçülen yatay uzaklığı, m.

Eşitliklerdeki Q_{ort} değeri, 1977-1981 yılları arasındaki debi değerlerinin güvenli aylık istatistik ortalamalarından hareketle hesaplanan alt ve üst sınır değerleri ifade etmektedir. Boğsak karst kaynağının min. ve max. yıllık ortalama debileri, sırasıyla 0,75 m³/sn. ve 1,55 m³/sn'dir. Bu veriler ışığında "5" eşitliği,

$$T_{min} = (0,027.A) m^3/sn/m;$$

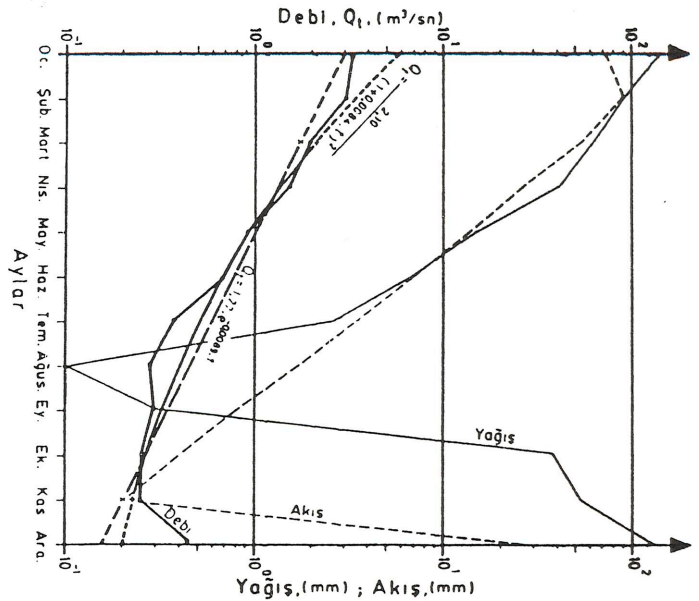
$$Q_{min} = 0,75 m^3/sn \text{ için} \dots\dots\dots (7)$$

$$T_{max} = (0,056.A) m^3/sn/m;$$

$$Q_{max} = 1,55 m^3/sn \text{ için} \dots\dots\dots (8)$$

şeklinde hesaplanan karst akifere ait iletimlilik katsayısı değerlerinin alt ve üst sınırlarını ifade edecektir.

Karst akiferin depolama katsayısını (S) hesaplamak için "6" eşitliği, T_{min} ve T_{max} değerleri için ayrı ayrı kullanılmıştır. Sonuçta, S_{min} ve S_{max} şeklinde ifade edilen ve karst akifere ait depolama katsayısının alt ve üst sınırlarını gösteren aşağıdaki büyüklükler elde edilmiştir.



Şekil 3. Boğsak Karst kaynağı debisinin, yağış ve akışın aylık ortalama değerlerinin Değişim grafikleri ve debisinin azalma dönemine ait doğrusal olan Mailliet ve olmayan Tison eğrileri.

Figure 3. Mean monthly graphics of discharge of Boğsak karst spring, precipitation and runoff, also Mailliet curve in linear and Tison curve in nonlinear.

$$S_{min} = 0,049 \frac{A}{x^2}; T_{min} \text{ için} \dots \dots \dots (9)$$

$$S_{max} = 0,101 \frac{A}{x^2}; T_{max} \text{ için} \dots \dots \dots (10)$$

İletimlilik ve depolama katsayılarına ait ifadelerde yer alan "A" ve "x" değerleri, sırasıyla "km²" ve "km" olarak alınacaktır.

İkinci Aşama Çalışmaları:

İletimlilik ve depolama katsayısı ifadelerinde yer alan ve karst akiferin yayılım alanını gösteren "A" simgesinin sayısal değeri, bölgesel buharlaşma kayıplarının yağıştan olan farkını işaret eden ve su bilançosunda sadece "akış" olarak adlandırılan, gerçekte ise yüzey-yüzeyaltı-yeraltı akışları toplamından oluşan sayısal değer kullanılarak belirlenmiştir. Sözkonusu "akış" değeri, 1977-1981 dönemi için 296,2 mm/yıl'dır.

Güvenli yönde kalınarak yüzey-yüzeyaltı akışının hiç oluşmadığı ve 296,2 mm/yıllık ortalama su yüksekliğinin tümüyle yeraltına geçerek karst akiferi beslediği ve tümüyle Boğsak karst kaynağı olarak boşaldığı varsayılırsa, karst akiferin yayılım alanından boşalabilecek en fazla su miktarını ifade eden bu değer, 296,2 mm/yıllık su yüksekliği ile karst akiferin yayılım alanının çarpılması sonunda elde edileceği görülür. Boğsak karst kaynağının en

Sistemler	Uygulanan Bağıntılar	Azalma döneminde "Debi - Zaman" Bağıntısı	Standart Sapma Sd	Korelasyon Katsayısı r _c
Öngörülen Debi değerlerinin %95 güvenli aylık istatistik ortalamalarından hareketle varsayımlara uygun olan zaman dilimlerinin seçilmesi.	TISON	$Q_t = \frac{2,10}{(1+0,0084.t)^2}$	±0,11	+0,991
	MAILLET	$Q_t = 1,77.e^{-0,0089.t}$	±0,14	-0,984
Klasik Debi değerlerinin ölçüm tarihlerinin doğrudan kullanılması.	TISON	$Q_t = \frac{2,70}{(1+0,011.t)^2}$	±0,57	+0,722
	MAILLET	$Q_t = 2,01.e^{-0,0092.t}$	±0,54	-0,761

Çizelge 2. Boğsak karst kaynağı debisinin azalma dönemindeki "debi-zaman" ilişkisinin klasik ve öngörülen sistemlere göre hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması

Table 2. Comparison of the calculated values due to classical and proposed systems of the relationship between discharge and time in regression period of the discharge of Boğsak karst spring.

		$Q_{min}=0,75 \text{ m}^3/\text{sn}$ $A_{min}=80 \text{ km}^2$		$Q_{max}=1,55 \text{ m}^3/\text{sn}$ $A_{max}=165 \text{ km}^2$	
Hidrolik Katsayılar		$x_d=24 \text{ km}$	$x_y=15 \text{ km}$	$x_d=50 \text{ km}$	$x_y=30 \text{ km}$
$Q_{min}=0,75$	$S_{min}=0,049 \frac{A_{min}}{x^2}$ (%)	0,68	1,74	-	
	$T_{min}=0,027 \cdot A_{min}$ (m ³ /sn/m)	2,16			
$Q_{max}=1,55$	$S_{max}=0,101 \frac{A_{max}}{x^2}$ (%)	-		0,67	1,85
	$T_{max}=0,056 \cdot A_{max}$ (m ³ /sn/m)	-		9,24	

Çizelge 3. Boğsak karst kaynağı akiferine ait hidrolik katsayıların, buharlaşmadan artakalan yağış fazlasının tümüyle yeraltına sızdığı varsayımına göre hesaplanan en küçük olası değerleri

Table 3. The smallest possible value for hydraulic coefficients belonging to aquifer of Boğsak karst spring with the acception of complete percolation into underground of precipitation remained from evaporation.

yüksek (Q_{max}) ve en düşük (Q_{min}) ortalama yıllık debilerinin, yukarıda açıklanan şekilde bulunacak olan yıllık boşalım miktarına oranı ise, Boğsak karst kaynağı akiferinin en büyük ve en küçük olası yayılım alanlarının güvenli yönde bir ifadesi olacaktır. Çünkü, su bilançosundan sağlanan "akış" değerinin %100'ünün bu hesaplamada yeraltına sızdığı varsayılmıştır. Eğer "akış"ın %50'sinin yeraltına sızdığı kabul edilseydi, aşağıdaki yayılım alanı değerlerinin 2 kez büyütülmesi gerekirdi.

$$A_{max} = 165 \text{ km}^2$$

$$A_{min} = 80 \text{ km}^2$$

Boğsak karst akiferi yayılım alanının en küçük ve en güvenli yönde hesaplanan bu olası değerlerinin bile, 9,8 km²'lik "Boğsak deresi sistemi ana drenaj alanı"ndan ve inceleme alanı içinde sadece 33 km²'lik D bölümü bulunan Boğsak kaynağının basamaklı çanaklar şeklinde karst akiferinin yeraltı drenaj alanından çok daha büyük olduğu açıkça görülür.

Depolama katsayısının hesaplanabilmesi için gerekli olan "x" parametresi, inceleme alanı için geçerli oransal ilişkiden hareketle hesaplanmış ve yeraltı drenaj hattı boyunca olan uzaklığı "x_d", doğrudan harita üzerinden ölçülen yatay uzaklığı ise "x_y" olarak ifade edilmiştir. Buna göre;

$$\left. \begin{array}{l} x_d = 50 \text{ km} \\ x_y = 30 \text{ km} \end{array} \right\} A_{\max} = 165 \text{ km}^2 \text{ için}$$

$$\left. \begin{array}{l} x_d = 24 \text{ km} \\ x_y = 15 \text{ km} \end{array} \right\} A_{\min} = 80 \text{ km}^2 \text{ için}$$

olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen Q_{\min} , A_{\min} , A_{\max} ile yayılım alanı büyüklüğüne bağlı olan x_d ve x_y değerleri, iletimlilik ve depolama katsayılarını veren 7, 8, 9, 10 eşitliklerinde yerine konarak sonuçlar bir çizelge şeklinde gösterilmiştir (Çizelge 3). Çizelgedeki sayısal büyüklüklerin, su bilançosundaki "akış"ın %100'ünün yeraltına sızdığı varsayımıyla yapıldığı unutulmamalıdır. Halbuki karstik serbest akiferler için yaygın bir görüş içinde %70-90 dolayında değişen "akış"a göre "sızma" yüzdesi, genelde yarı basınçlı karstik akifer niteliğindeki Boğsak karst kaynağı akiferi için doğal olarak daha da düşük olduğundan, bilanço akışının sadece %50'sinin yeraltına sızdığı varsayılarak yapılacak yeni bir hesaplama, tabii ki bu çizelgedekilerden daha farklı sayısal değerler üretecektir. Bu durumda; "A", " x_d ", " x_y " ve "T" değerleri 2 kez büyürken, "S" değeri 2 kez küçülecektir.

Boğsak karst kaynağı akiferinin hidrolik parametrelerinin ve yayılım alanının güvenli yönde hesaplanan değerlerinden hareketle, karst akiferin su potansiyeli ve bunun ne kadarının statik rezerv, ne kadarının da dinamik rezerv oluşturduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu amaçla aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$R_t = A \cdot e \cdot S \dots \dots \dots (11)$$

$$R_t = R_d + R_s \dots \dots \dots (12)$$

- R_t : Akiferin toplam su potansiyeli (rezervi), m^3
A : Akiferin yayılım alanı, m^2
S : Akiferin depolama katsayısı, boyutsuz
e : Akifer kalınlığı, m
 R_d : Dinamik rezerv, m^3
 R_s : Statik rezerv, m^3

Sızma = %100 Akış Durumunda Akiferin Su Potansiyeli		$Q_{\min} = 0,75 \text{ m}^3/\text{sn}$ $A_{\min} = 80 \text{ km}^2$		$Q_{\max} = 1,55 \text{ m}^3/\text{sn}$ $A_{\max} = 165 \text{ km}^2$	
		$S_{\min} = 0,0068$ $x_d = 24 \text{ km}$	$S_{\min} = 0,0174$ $x_y = 15 \text{ km}$	$S_{\max} = 0,0067$ $x_d = 50 \text{ km}$	$S_{\max} = 0,0185$ $x_y = 30 \text{ km}$
Statik Rezerv ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	$R_{s,\min}$	4	10	8	22
	$R_{s,\max}$	-	-	-	-
Dinamik Rezerv ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	$R_{d,\min}$	83	213	169	466
	$R_{d,\max}$	-	-	-	-
Toplam Rezerv (Su Potansiyeli) ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	$R_{t,\min}$	87	223	-	-
	$R_{t,\max}$	-	-	177	488

Çizelge 4. Boğsak karst kaynağı akiferinin su potansiyeli, dinamik ve statik su rezervi.

Table 4. Groundwater potential and the dynamic and static groundwater reserves of the aquifer of Boğsak karst spring.

Akifer Özellikleri		Akiferin Tümine ait Değerler	Akiferin İnceleme Alanı İçinde Kalan Bölümüne ait Değerler
Boyutsal Özellikler	Yayılım Alanı, A (km^2)	80-165	33
	Kalınlık, e (m)	160	
	Yeraltı drenaj hattı boyunca olan max. uzaklık, x_d (km)	24-50	10
	Max. yatay uzaklık, x_y (km)	15-30	6
Hidrolik Katsayılar	İletimlilik (Transmissibilite), T ($\text{m}^3/\text{gün}/\text{m} \cdot 10^5$)	1,9-8,0	
	Geçirimsizlik (Permeabilite), K ($\text{m}^3/\text{gün}/\text{m}^2 \cdot 10^3$)	1,2-5,0	
	Depolama, S (boyutsuz) $\cdot 10^{-2}$	0,7-1,9	
Su Potansiyeli	Toplam Rezerv, R_t ($\text{m}^3 \cdot 10^6$)	87-488	36-98
	Dinamik Rezerv, R_d ($\text{m}^3 \cdot 10^6$)	83-466	34-93
	Statik Rezerv, R_s ($\text{m}^3 \cdot 10^6$)	4-22	2-5
Yeraltısu Özellikleri	Hidrolik Eğim, i (boyutsuz)	0,055	
	Akım Hızı, v (m/gün)	65-275	
	Boşalım Miktarı, Q (m^3/sn)	0,75-1,55	
	Boşalım Katsayısı, α (-gün $^{-1}$)	0,0084	
	Beslenmesiz Boşalım Süresi, t (yıl)	3-9	

Çizelge 5. Boğsak karst kaynağı ve akiferine ait karakteristik özellikler ve sayısal değerleri.

Table 5. Characteristical properties and numerical values belonging to Boğsak Karst spring and its aquifer.

Boğsak karst kaynağının basamaklı çanaklar şeklindeki karst akiferinde, çanaklar içinde her zaman mevcut olan ve diğer çanaklara boşalamayan yeraltısu miktarı (statik rezerv), önce inceleme alanı genelinde, sonra tüm karst akiferi kapsayan olası yayılım alanları için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 4). Bu çizelgeye göre Boğsak karst kaynağı akiferinin toplam yeraltısu rezervinin %95'i dinamik rezerv, %5'i statik rezerv şeklindedir.

Karst yeraltı suyunun hidrolik eğiminin, statik rezerv alanlarında Boğsak vadisi yeraltısuunun ortalama hidrolik eğimine, bu alanlar dışında da yeraltı drenaj hattı boyunca uzanan geçirimsiz taban eğimine uyduğu varsayılarak, 11 No'lu çanağın boşalım noktası ile Boğsak karst kaynağı arasında yer alan ana drenaj hattı boyunca, inceleme alanı genelindeki karst yeraltısuunu hidrolik eğimi %5,5 olarak belirlenmiştir.

Akifer kalınlığının ortalama değeri olan 160 m. ve iletimlilik katsayısının en büyük ve en küçük değerleri gözönünde tutularak, %100 sızma durumu için hesaplanan geçirimsizlik katsayısı (permeabilite, K) ve karst yeraltısuunu hızı değerleri aşağıda gösterilmiştir.

$$K_{\max} = 5,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{sn}/\text{m}^2$$

$$K_{\min} = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{sn}/\text{m}^2$$

$$V_{\max} = 275 \text{ m/gün}$$

$$V_{\min} = 65 \text{ m/gün}$$

Bilanço akışının %100'ünün yeraltına sızdığı varsayımıyla varılan bu sonuçlar, akışın %50'sinin yeraltına sızdığı varsayımıyla yeniden yapılacak hesaplamalarda, doğaldır ki 2 kez daha büyük değerlere ulaşacaktır. Boğsak karst kaynağı akiferine ait tüm karakteristik özellikler ve akışın %100'ünün yeraltına sızdığı varsayımına göre hesaplanan olası değerler bir çizelgede toplu olarak sunulmuştur (Çizelge 5)

SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen en önemli sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1. Bir karst kaynağı analizinin, ancak akifer özelliklerinin ve meteorolojik durumun tanımlanmasıyla anlam kazanabileceği ve analiz öncesi yapılacak veri ayıklama işleminin önemi sayısal olarak gösterilmiştir.
2. Basamaklı çanaklardan oluşan yeni bir akifer ortam modeli geliştirilmiş ve bu model çerçevesinde şekillenen farklı düşünce yaklaşımının kaynak analizi üzerindeki etkisi irdelenmiştir.
3. Kaynak analizinin, akifer özelliklerinin ve meteorolojik durumun birlikte değerlendirilmesiyle, kaynak ve akiferinin jeohidrolojik büyüklükleri sayısal olarak saptanmıştır.

KATKI BELİRTME

Tezimin en ağırlıklı bölümlerinden birisini oluşturan bu yazı ile birlikte, tezimin hazırlanması sırasında tüm çalışmalarımı büyük bir titizlikle izleyen, değerli yardım ve önerilerini esirgemeyen tez yöneticim Muhterem Hocam Sayın Prof. Dr. Kemal Erguvanlı'yı en derin şükranlarımla ve rahmetle anarım. Araziden laboratuvara uzanan bütün çalışmalarımın yakın ilgisini gördüğüm kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Erdoğan Yüzer'e yürekten teşekkürlerimi sunarım.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Bayazit, M. 1981, Hidrolojide İstatistiksel Yöntemler, İTÜ Yayını, No. 1197, 224 s., İstanbul.
- Bayazit, M., Avcı, İ., Şen, Z. 1978, Hidroloji Uygulamaları, İTÜ Yayını, No. 1111, 280 s., İstanbul.
- Birsoy, Y.K. 1982, Karstik Kaynak Boşalımı Sorunlarına Bileşik Hazne Modeli ile Yaklaşım, EÜ Yerbilimleri Fak., 63 s., İzmir.
- Chow, V.T., Yevdjevich, V.M., Dandy, D.R., Matalas, N.C. 1964, Statistical and Probability Analysis of Hydrologic Data, Handbook of Applied Hydrology, Section 8, pp. 8.1-8.97, McGraw-Hill Book Comp., USA.
- Eroskay, S.O. 1980, Karst Kaynaklarının Geliştirilmesi, İ.Ü. Coğrafya Enst. Derg., s. 215-234, İstanbul.
- Karanjac, J. 1977, Recession Hydrograph Analysis in Karst Aqueifers, Karst Hydrogeology Symposium-Proceedings (ed. Günay, G., Karanjac, J. 1978), DSİ-UNDP Project, TUR 77/015, Tech. Report No.a 27, pp. 65-85, Ankara.
- Mijatovic, B. (Çev. Korkmaz, N.) 1975, Karstik Akiferlerde Boşalım Eğrisiyle Depolama Katsayısı ve Transmissibilite Tayini, DSİ Gn. Md. Yayını, 10 s., Ankara.
- Öziş, Ü. 1979, Türkiye'de Karst Hidrolojisi Çalışmalarına Toplu Bakış, Birinci Ulusal Hidroloji Kongresi, İTÜ İnşaat Fak., s. 49-63, İstanbul.
- Öziş, Ü., Ünal, E., Harmancıoğlu, N., Benzedem, E. 1981, Underground Storage Capacity of Dams in Karst Regions-Estimated Through Recession Hydrographs, Bull. of the Int. Assoc. of Eng. Geol., No. 24, pp. 75-79, Germany.
- Öztaş, T. 1983, Yeralında Su Toplanması Denetleyen Etmenler ve Hidrojeolojik Ortamlar, Kuyu Dergisi, S. 6, s. 4-5, İstanbul.
- Öztaş, T. 1989, Mersin-Taşucu-Boğsak Kaynağı ve Dolayının Karst Hidrojeolojisi (İTÜ Doktora Tezi)-140. s., İstanbul.
- Şahinci, A. 1976, Göksu ve Göldeğirmeni Kaynaklarının İncelenmesi (Doçentlik Tezi), E.Ü. Fen Fak. Jeoloji Kürsüsü, 75. s., İzmir.
- Ünal, E. 1981, Karst Bölgelerdeki Baraj Hazmelerinin Yeraltı Biriktirme Hacminin Oymapınar Örneğinde Alçalma Hidrografi Yöntemiyle İncelenmesi, E.Ü. İnşaat Fak. Hidroloji ve Su Yapıları Yüksek Lisans Tezi, No. 13, 68 s., İzmir.