

MİLAS (MUĞLA) HAVZASININ TUZLU KARST KAYNAKLARININ HİDROJEOLOJİK DOLAŞIM MODELİNE BİR YAKLAŞIM

AN APPROACH TO THE HYDROGEOLOGICAL CIRCULATION MODEL OF THE SALTY KARSTIC SPRINGS IN THE MILAS (MUGLA) BASIN

İpek F. BARUT*, Okay GÜRPINAR**

* İ.Ü. Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, 34116 Vefa/İSTANBUL

** İ.Ü. Mühendislik Fak. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34850 Avcılar/İSTANBUL

ÖZ: Milas-Ekinambarı ve Savran karst kaynaklarından boşalan sularda yüksek tuzluluk değerleri (%o S=0,5-36,2) belirlenmiştir. Tuzlanmaya neden olan parametrelerin saptanması için bu kaynakların beslenme alanlarını içeren bölgelerin ayrıntılı bir hidrojeolojik değerlendirmesi yapılmıştır. Bölgenin hidrojeolojisinin şekillenmesinde otokton ve allokton kayaların istiflenmesi, jeolojik ve hidrojeolojik evrim ile geçirimsiz sınırlar etkili olmuştur. Karstik kireçtaşlarının yayıldığı alanlarda, yüzeysel yağış alanı ile yeraltısularının beslenme alanı farklılık göstermektedir. Bu sonuçlar gözönüne alındığında, Savranköy ve Ekinambarı kaynakları için, karst sistemlerindeki yeraltısuyu hareketinin basıncı ile azalan ya da artan oranlarda gerçekleşen bir denizsuyu girişiminin varlığından sözedilebilir.

Anahtar Kelimeler: Denizsuyu karışımı, hidrojeoloji, Milas (Muğla), tuzlu karst kaynaklar.

ABSTRACT: A high level of salt (S= 0,5-36,2 ‰) is observed at Milas Ekinambarı and Savran karstic springs. The reasons of high salinity are studied in detail by the hydrogeological investigations. The hydrogeology is determined by the stratigraphy of autochthonous and allochthonous units, by the geological evolution and by the location of impermeable boundaries. At parts of the study area where karstic units are on the surface the surficial water divides and the recharge boundaries of groundwater are different. In the light of the obtained results it could be concluded that seawater, amount of which is controlled by the increasing or decreasing pressure of groundwater flow, penetrates in to the karstic system and results in high salinities.

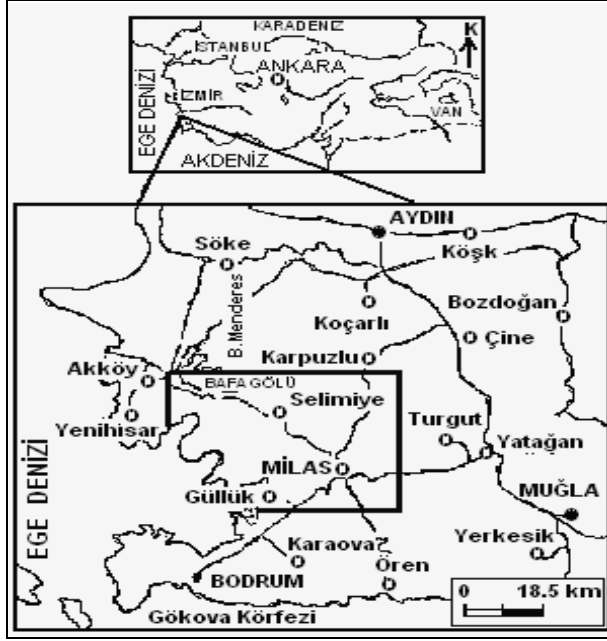
Key Words: Seawater mixing, Hydrogeology, Milas (Muğla), salty karstic springs.

GİRİŞ

Antik çağlarda Karia ülkesinin Mylasa'sından Menteşe Beyliği'nin Menteşe-eli, Osmanlıların Menteşe Sancağı ve Türkiye Cumhuriyeti'nin Milas'ına kadar uzanan süreç içinde bu topraklarda yaşamış tüm uygarlıklardan birçok eser kalmıştır. Mylasa, Batı Karia'nın en büyük önemli dîni ve ticari merkezi idi. Şehir bugünkü ilçe merkezinin bulunduğu yere kurulmuştu. Muhal denizi (Hocat gölü) kıyısında Sakızlık mevkiinde Mylasa'nın limanı Passala bulunuyordu. İnceleme alanı Batı Ege bölgesinde Mandalya körfezinin K'yi ile KD-D'sunu kapsamaktadır (Şekil 1). Muğla-Milas havzasının kuzey ve doğusu

dağlarla, batısı denizle çevrilidir. Milas Ekinambarı ve Savranköy havzası; kuzeyde Bafa gölü; doğusunda Kayabaşı, Sakarkaya, Develiler, Kavakbeleni, Damarası ve Kozağaç (Yatağan); güneyde Gökbel, Camıyanı, Gökçeler ve Güllük yerleşim merkezlerini kapsar.

Konumu D-B ve KB-GD uzanımlıdır ve 27°30"-28°06" D boylamları ile 37°04"-37°32" K enlemleri arasında yer almaktadır. Kapladığı alan 1221 km²'dir. İnceleme alanı olarak karstik kireçtaşlarının geçirimsiz kayalarla sınırlandığı bölge esas alınmıştır. Bu çalışmada, karst akiferlerinin su bilançoları ile Milas havzasında yer alan tuzlu karstik kaynakların özellikleri dikkate alınarak, hidrojeolojik dolaşım modeline bir yaklaşımda bulunulmuştur.



Şekil 1. İnceleme alanının bulduru haritası.

Figure 1. Location map of investigated area.

Milas havzasında Ekinambarı-Savranköy tuzlu karst kaynakları ile çok sayıda tatlı su kaynakları

bulunmaktadır. Eski incelemelerde (Çağlar, 1947; Akarca ve Akarca, 1954; Müller, 1956; Yenal, 1960) Milas içmeleri olarak yer alan Asin (Kıyıkışlacık-Kurini-İassos), Labranda, Sepetçiler ve Bahçeburun içmeleri ile Bahçeburun çamurlarının sağlık amaçlı geleneksel kullanımları günümüze değin sürmüştür.

İnceleme alanında çok sayıda bulunan kaynak ve kuyulardan hidrojeolojik yapının açıklanmasında temsilci olabilecek su noktaları seçilmiştir (11 kaynak, 2 kuyu). Mart/1996, Ekim/1996, Ekim/1997, Şubat/1998, Mayıs/1998, Ağustos/1998, Kasım/1998 dönemlerinde inceleme alanı için temsilci seçilen kaynak ve kuyularda ilk hidrojeoloji değerlendirmeleri ile mevsimlik değişimlerin incelenmesi amacıyla 3 aylık dönemlerde akım ölçümleri (l/s), Elektriksel iletkenlik (EC), Toplam mineralizasyon, Tuzluluk (%o S), Hidrojen iyon konsantrasyonu (pH) ve Sıcaklık (°C) parametreleri ölçülmüştür (Tablo 1). Havzanın hidrojeolojisi için önemli olan karst akiferi su bilançosunun gerçeğe yakın olarak değerlendirilebilmesi için bölgede Devlet Su İşleri'nin 5, Devlet Meteoroloji İşleri'nin 13 istasyonunun verileri değerlendirilmiştir. Kaynaklarda akım ölçümleri arazi çalışması sırasında l/s olarak ölçülmüştür. Bölgedeki akarsular ve kaynaklarla ilgili akım ölçüm değerlerinde DSI'nin çalışmalarından yararlanılmıştır.

Tablo 1. İnceleme alanı su örneklerinde yerinde yapılan ölçümler (T: Sıcaklık, EC: Elektrik Kondüktivite, S: Tuzluluk, pH: Hidrojen iyon konsantrasyonu, -: Ölçüm yapılmamıştır).

Table 1. The measurements at the water sampling points in the investigated area (T: Temperature, EC: Electric Conductivity, S: Salinity, pH: Hydrogen ion concentration, -: No measurement).

KAYNAKLAR	1. ARAZİ ÇALIŞMASI (EKİM/1997)				2. ARAZİ ÇALIŞMASI (ŞUBAT/1999)				3. ARAZİ ÇALIŞMASI (MAYIS/1998)				4. ARAZİ ÇALIŞMASI (AĞUSTOS/1998)				5. ARAZİ ÇALIŞMASI (KASIM/1998)			
	T °C	EC x10 ⁶	S (%o)	pH	°C	EC x10 ⁶	%o S	pH	°C	EC x10 ⁶	%o S	pH	°C	EC x10 ⁶	%o S	pH	°C	EC x10 ⁶	%o S	pH
Ekinambarı	19	1250		7,4	18	1095	0,6	7,5	24	1380	0,7	7	24	1327	7,7	7	20	1301	7,5	7,5
Savranköy	20	1350	15	7,5	21	1304	1,5	7	24	1386	10	7	24	1328	20,6	7	20	1310	19	7,5
Sepetçiler	-	-	-	-	-	-	-	-	24	1300	15	7,5	-	-	-	-	20	341	21,3	7,5
Suçıktı	17	950	0,5	7	16,5	95	0	6,9	14	925	0	6,5	15	934	0,5	6,8	17	1063	0,5	6,8
Yaşyer	19	1500	12	7,8	20	1130	0,6	7,5	18	2908	1,1	7,5	19	3450	21,7	7,8	Kaynak kurumuş idi.			
Avsar (Gümbüldek)	17	980	10	7,9	20	1075	0,5	7,5	18	909	0,4	7,23	17	1167	6,7	7,3	17	1569	9,2	7
Ovakışlacık	18	300	1	7	22	160	0,1	7,1	19	183,9	0,1	6,7	19	669	3,7	7	18	266	1,4	6,8
Labranda	15	220	0	7	17	200	0	6,8	18	380	0,1	6,9	17	745	0,4	7	16	520	0	7
Kıyıkışlacık (Akarca)	17,2	5270	25	7	22	5360	2,9	7,5	16,3	4460	2,4	8	17	5170	34,2	7,5	19	5640	36,2	6,5
Beçin	18	1160	0,9	7,3	19,3	1086	0,3	7	21	1321	0,1	7,1	20	1412	0,7	7	18,5	1251	0,7	6,5
Yaykın	16	1300	21	7,5	16,9	2190	17,5	7,3	19,1	2537	19	7,1	19	3750	29	7,8	17,3	5283	23,7	7,7
Akyol	17,8	2025	16	7,3	20	1500	3,9	7,1	22	1720	7,5	7	19,2	1835	19,5	7,5	16,9	2100	15	7,5
Beşoluk	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	1000	0,5	7,8	18	958	0,5	6,9
Çınarkaynak (Güvercinlik)	-	-	-	-	17,9	167	0,5	7,9	19,5	99	0,9	8	-	-	-	-	21	271	1,4	8,4
Bahçeburun	-	-	-	-	19,4	179	0,75	7,5	-	-	-	-	-	-	-	-	17,4	274	1,4	7,8
Yusuçca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,9	838	0,4	7,1
SEK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	966	0,5	8,3	20	971	0,5	8
Karacağaç	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	1360	0,7	6,7
Güvercinlik kayusu	18,5	211	0,5	7,1	17,5	183	0,1	6,5	19	226	0,1	8,3	19,3	389	0,9	7,9	18	233	1,2	7

HİDROJEOLJİK DEĞERLENDİRME

Hidrolojik Verilerin Değerlendirilmesi

Drenaj Alanı;

Havza sınırları ve drenaj modeli Şekil 2'de görülmektedir. Havzada A, B, C, D, E, F olarak adlandırılmış farklı drenaj alanlarının yan yana buldukları belirlenmiştir. Milas havzası Aşağı Büyük Menderes havzasının güney bölümünde yer almaktadır. Milas, Selimiye, Ekinambarı, Avşar, Yaşyer, Akyol ve Ağaçalıhöyük ovaları bulunmaktadır. Bölgede dereler, KB-GD ve D-B yönlü akar. Buna paralel açılan vadiler de yine KB-GD ve D-B yönlü açılmıştır. Havzanın akarsuları Sarıçay, Hamzabey deresi, Derince, Ballık ve Kayaderesi, Büyük Menderes'in kollarıdır. Havzada karstik modelin oluşumunu yağış, kireçtaşı kayaçlarının yayılımı, yapısal ve litolojik unsurlar ile zaman etkilemiştir. Hem geçirimsiz temel kayaçlarında hem de Neojen örtü çökellerinin yaygın olduğu havzanın KD'sunda ince dokulu dentritik drenaj tipi yaygındır. Yerel olarak kireçtaşı alanlarında ise karst şekilleriyle gelişmiş drenaj örneği farklılık göstermektedir. Vadiler sığ ve geniş yayımlı gelişmişlerdir.

Havzadaki geçirimli birimlerin alanı (kireçtaşları ve Neojen örtü) 528,87 km², geçirimsiz birimlerin alanı 505,63 km², alüvyon alanı ise 186,5 km² olarak hesaplanmıştır. Karstlaşma ile akarsu ağı arasındaki ilişkileri açıklamak için akarsu yoğunluğu ve dokusu sayısal yöntemle araştırılmıştır. Drenaj yoğunluğu, ($Dd = \Sigma l / Ad$) bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Burada Σl =havzadaki toplam akarsu uzunluğu (m); Ad ise drenaj alanıdır (m²). Yetersiz drenajlı havzalarda $Dd=0,6$ 'den az, iyi drenajlı havzalarda 3'den fazladır (De Wiest, 1965). İnceleme alanında; Toplam yağış alanı = 1221 km², Toplam akarsu uzunluğu $\Sigma L=1329,25$ km, Akarsu yoğunluğu $AY = 1,09$ Akarsu dokusu $AD = 0,49$, $AY/AD = 2,22$ dir.

İnceleme alanı için hesaplanan Dd (1,09), orta derecede iyi sayılabilecek drenaj yoğunluğu (De Wiest, 1965) olarak sınıflandırılabilir. Bu değer karstik kireçtaşları ile kaplı alana göre yüksektir. İnceleme alanında akarsu ağının yoğunluk ve doku değerleri yerüstü sellenmesi ile birlikte değerlendirildiğinde, karstik kireçtaşı dağılımının görüldüğü yerlerde az, temel kayaçları şist ve gnays dağılımında ise çok gelişmiştir.

Buharlaştırma-Terleme;

İnceleme alanı ve çevresinde DSİ'nin yağış gözlem istasyonları ile DMİ'nin meteoroloji gözlem istasyonları yer alır. Drenaj alanında Milas (DMİ) ve Güllük (DMİ) istasyonlarının meteorolojik verileri kullanılarak Thornthwaite yöntemi ile potansiyel buharlaştırma-terleme değerleri hesaplanmıştır (Tablo 2).

Yağış değeri E_{tp} 'den Mart ayı sonlarına kadar yüksektir (Şekil 3). Yapılan hesaplamalara göre Güllük'te 614,86 mm/yıl olan toplam yağışın 322,18

mm/yıl'ı buharlaştırma-terleme olarak atmosfere döner ve 259,6 mm/yıl'ı akışa geçer. Su fazlası, akışın % 47,6'sıdır.

Thornthwaite yöntemine göre E_{tp} hesaplanmasında Milas ve Güllük istasyonlarının buldukları yüksekliğin birbirine yakın değerlerde olması nedeniyle yağış verilerinin ortalaması alındığında yağış 665,83 mm/yıl, ortalama $E_{tp}=842,73$ mm/yıl'dır (Tablo 3). Su fazlası yağışın % 49'una denktir. E_{tg} değerinin (338,76 mm/yıl) yağışa oranı % 50,9'dur. Yağışın (665,83 mm/yıl) 288,27 mm/yıl'ı akışa geçtiği hesaplanmıştır.

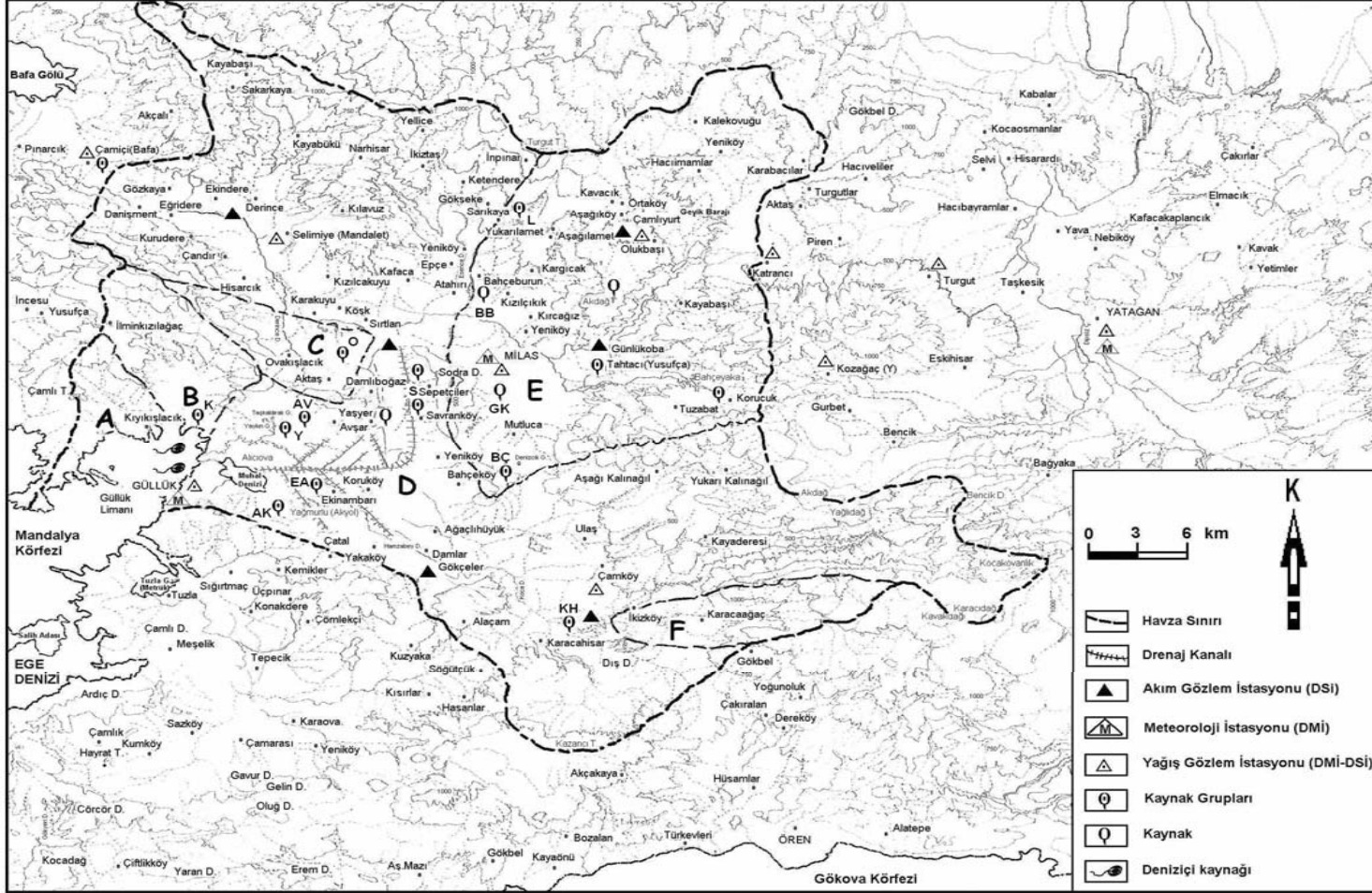
Akım Verileri;

İnceleme alanında Milas, Selimiye, Ekinambarı drenaj alanlarında üç önemli akarsu bulunur. Bunlar Sarıçay, Derince ve Hamzabey dereleridir. Sarıçay'da yaz aylarında akım görülmez. Ancak Geyik barajından Temmuz-Eylül döneminde Sarıçay'a drenaj kanalı ile su verilerek sürekli yüzeysel akış sağlanır. Milas'ın GD'sunun drenaj alanındaki akışı toplar. Geçmişte Savranköy-Damlıboğaz arasında akan Sarıçay, günümüzde DSİ drenaj kanalına alınmış ve K-G doğrultusunda Damlıboğaz-Yaşyer köylerinden geçerek Muhal denizi olarak isimlendirilen lagün gölüne bağlanmıştır.

*Derince*de yağışlı dönemlerde akış görülür. Selimiye ovasında Taşkesiği ile Karaağaç derelerinin ve yan kollarının sularını toplayarak KB'dan GD'ya doğru akar. Ovakişlacık köyü güneyinde DSİ'nin drenaj kanalları ile Aktaş mevki'nde yağışlı aylarda oluşan göl, burada yeralan düdenlere yönlendirilmiştir. *Hamzabey* deresinde, sürekli akış görülür. Diğer aylardaki akımları sağlayan Suçıkçı kaynaklarının suyunu da alır ve Ekinambarı ovasında akışını sürdürür. KB'da Ekinambarı köyüne doğru akar ve devamında denize ulaşır. İnceleme alanındaki akarsuların yıllık toplam akımı $198,48 \times 10^6$ m³/yıl civarındadır.

DSİ bölgede çeşitli dönemlerde düzenli ya da düzensiz olarak, Sarıçay, Hamzabey ve Derince dere ile Geyik barajında ve bu akarsuların kollarında akım gözlem istasyonları (AGİ) kurmuş ve ölçümler yapmıştır (Tablo 4; Şekil 2). Akım ve yağış ilişkisinin değerlendirilmesinde, verilere ulaşılan 1980-1985 arası su yılları dikkate alınmıştır. Geyik barajı için Milas YGİ'nin, Gökçeler AGİ için Çamköy YGİ'nin, Kocakavak AGİ için Milas YGİ, Karadam AGİ için Çamköy YGİ'nin aritmetik ortalaması yağış verileri olarak değerlendirilmiştir.

Yıllık ortalama akım; Yağışın bir kısmı, yüzey akışları ile denize geri döner. Baz akım, yeraltısuları akışı olarak farklı tanımlanır. Baz akım genellikle yağışsız periyod sırasında gözlenmiştir. Akım değerleri DSİ AGİ'da (Hamzabey-Gökçeler, Değirmendere-Karadam, Sarıçay-Geyik ile Kocakavak istasyonlarında) 1979-1986 periyodunda alınmıştır.



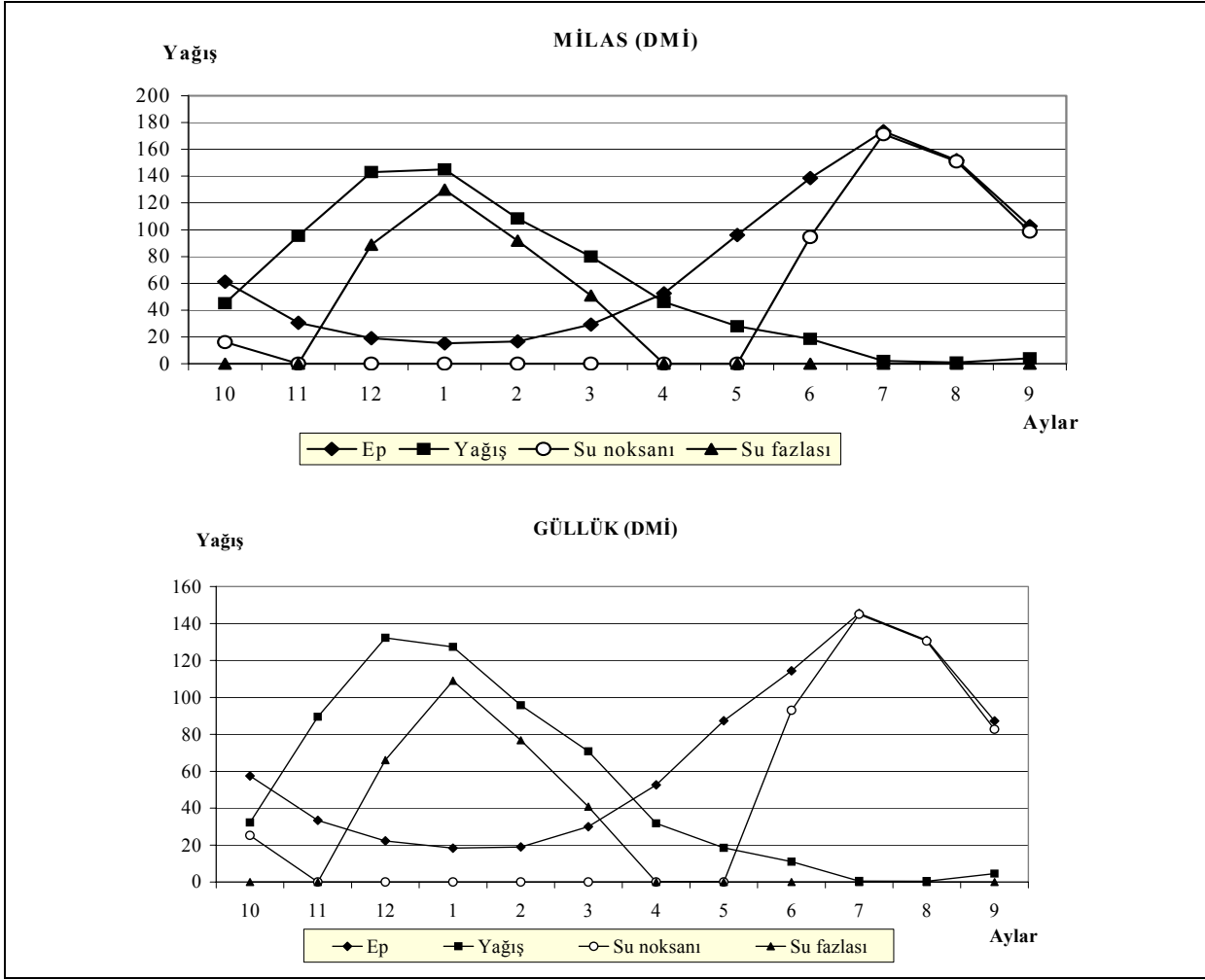
Şekil 2. İnceleme alanının hidroloji haritası.
Figure 2. The hydrological map of investigated area.

Tablo 2. Thornthwaite yöntemi ile Milas (DMİ) ve Güllük (DMİ) verilerine göre deneştirmeli su bilançosu.
Table 2. The correlative water budget by Thornthwaite method according to Milas (DMİ) and Güllük (DMİ) data.

		Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Σ
T (°C)	Milas	17,3	12,6	9,8	8,4	9	11	14,8	19,6	24	27	26	22,4	
	Güllük	15,8	12,2	9,6	8,3	8,6	10,1	13,8	17,8	21	24,2	23,6	19,8	
Sıcaklık indisi	Milas	6,54	4,05	2,76	2,19	2,43	3,29	5,17	7,91	10,74	12,84	12,13	9,68	79,73
	Güllük	5,70	3,85	2,68	2,15	2,27	2,89	4,65	6,83	8,78	10,88	10,47	8,03	69,18
Ep	Milas	61,19	30,58	19,13	15,09	16,65	29,14	52,63	96	138,55	173,46	151,86	102,67	886,95
	Güllük	57,46	33,42	22,32	18,36	18,97	30,02	52,58	87,30	114,38	145,54	130,91	87,25	798,51
Yağış	Milas	45,13	95,5	143	145	108,5	80	46,16	28,01	18,5	2,1	0,88	4	716,8
	Güllük	32,2	89,5	132,3	127,38	95,78	70,81	31,73	18,48	11,05	0,58	0,46	4,59	614,86
Yağış-Ep	Milas	16,06	64,92	123,87	129,91	91,85	50,86	-6,47	-67,99	-120,05	-171,36	-150,98	-98,67	
	Güllük	-25,26	56,08	109,98	109,02	76,81	40,79	-20,85	-68,82	-103,33	-144,96	-130,45	-82,66	
Rezerv su	Milas	0	64,92	100	100	100	100	93,53	25,54	0	0	0	0	
	Güllük	0	56,08	100	100	100	100	79,15	10,33	0	0	0	0	
Rezerv deę.	Milas	0	64,92	35,08	0	0	0	-6,47	-67,99	0	0	0	0	
	Güllük	0	56,08	43,92	0	0	0	-20,85	-68,82	0	0	0	0	
Etg	Milas	45,13	30,58	19,13	15,09	16,65	29,14	52,63	96	44,04	2,1	0,88	4	355,37
	Güllük	32,2	33,42	22,32	18,36	18,97	30,02	52,58	87,30	21,38	0,58	0,46	4,59	322,18
Su noksanı	Milas	16,06	0	0	0	0	0	0	0	94,51	171,36	150,98	98,67	531,58
	Güllük	25,25	0	0	0	0	0	0	0	93	144,96	130,45	82,66	476,33
Su fazlası	Milas	0	0	88,79	129,91	91,85	50,86	0	0	0	0	0	0	361,41
	Güllük	0	0	66,06	109,02	76,81	40,79	0	0	0	0	0	0	292,68
Akış	Milas	0,51	0,26	44,53	64,96	78,41	64,64	32,32	16,16	8,08	4,04	2,02	1,01	316,94
	Güllük	0,42	0,21	33,14	54,51	65,66	53,23	26,62	13,31	6,66	3,33	1,67	0,84	259,6
Akışın yağışa göre açığı	Milas	44,62	95,24	98,47	80,04	30,09	15,36	13,84	11,85	10,42	-1,94	-1,14	2,99	399,84
	Güllük	31,78	89,29	99,16	72,87	30,12	17,58	5,11	5,17	4,39	-2,75	-1,21	3,75	355,26
G	Milas	0,97	0,85	0,83	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	
	Güllük	0,97	0,85	0,83	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	

Tablo 3. Milas ve Güllük istasyonları için Thornthwaite yöntemi ile hesaplanan su bilançosu değerlerinin ortalamaları.
Table 3. Mean values of water budget calculated by the Thornthwaite method for Milas (DMİ) and Güllük (DMİ) stations.

		Milas	Güllük	Ortalama
Kot m		53	10	
Ep	mm/yıl	886,95	798,51	842,73
Yağış	mm/yıl	716,8	614,86	665,83
Etg	mm/yıl	355,37	322,18	338,76
Su noksanı	mm/yıl	531,58	476,33	503,96
Su fazlası	mm/yıl	361,41	292,68	327,05
Akış	mm/yıl	316,94	259,6	288,27
Akışın yağışa göre açığı	mm/yıl	399,84	355,26	377,55



Şekil 3. Thornthwaite yöntemiyle Milas (DMİ) ve Güllük (DMİ)'nin aylara göre yağış ve Etp değişim grafiği.

Figure 3. Monthly variation of precipitation and potential evapotranspiration of Milas (DMİ)'s and Güllük (DMİ) stations by Thornthwaite method.

Hidrograf elemanların ayrılması ile yüzey akışı (boşalım) ve baz akımı hesaplanmıştır. Toplam akım, Sarıçay 392,8 mm/yıl, Hamzabey deresi 310,1 mm/yıl, Değirmendere 209,48 mm/yıl ölçülmüştür. Thornthwaite su bilançosu tablosundan yüzeyel akış 228 mm/yıl hesaplanmıştır (Tablo 2). Bu, toplam yağışın %35'ine karşılık gelir.

Baz Akımın Belirlenmesi; Akarsu yatağına düşen yağış ile birlikte yüzeyel akış, yeraltı akışı ve baz akımı birlikte değerlendirildiğinde, akarsuların akış rejimi açıklanır (Dumlu ve Kaya, 1976). Akım verileri değerlendirildiğinde, akarsuların baz akımı ile açıklanan akış rejimi belirlenmesinde yağış-akış ilişkisi önem taşımaktadır.

Tablo 4. İnceleme alanı içinde değerlendirmeye alınan akım gözlem istasyonlarının (AGİ) özellikleri.

Table 4. The characteristics of stations of the stream observations (AGİ) in the investigated area.

İşleten Kuruluş	İstasyon No.	Akarsu	AGİ	Yağış alanı (km ²)	Kot (m)	Gözlem Periyodu
DSİ	8-019	Sarıçay	Kocakavak	145	66	1963/1965-85
DSİ	8-086	Sarıçay	Geyik barajı	87	440	1980-1988
DSİ	8-060	Hamzabey	Gökçeler	245	45	1968-75/1977-88
DSİ	8-087	Değirmendere	Karadam	141	115	1979-1986

Akarsuların baz akımı incelendiğinde %43-55 arasında değiştiği hesaplanmıştır (Tablo 5). Ancak çift eklenik ile bu dönemin yağışlı periyod içinde olduğu bulunmuştur. Sarıçay'ın değerleri incelendiğinde, toplam olması gereken akışın %45'inin buharlaştığı, %55'inin akışa geçtiği hesaplanmıştır. Bu akışa geçen miktarın %19,15'i baz akım, %25,79'u yüzeysel akış olarak gerçekleşmiştir. Hamzabey deresi değerlerinde buharlaşma oranı %70,9 hesaplanmıştır. Yüzeysel akışa geçen %29,1'in içinde baz akım oranı %16,1 bulunmuştur. Değirmendere için hesaplanan buharlaşma %77,9 ve yüzeysel akış %22,1'dir. Değirmendere havzanın güney ve GD kesiminden akışı toplan ve KB'ya yönelerek Gökçeler köyünün kuzeyinde Hamzabey deresi ile birleşir. Bu nedenle, havzanın ana akarsularından Hamzabey deresini besleyen akarsu olduğundan Değirmendere verileri de dikkate alınmıştır.

Süzülme;

Selimiye-Ekinambarı-Milas havzasında akiferi oluşturan Milas kireçtaşlarından olan beslenme için süzülme oranı, karstlaşma ve bitki örtüsü dikkate alındığında, havzanın doğusundaki kireçtaşları için %60, batısındaki kireçtaşları için %40 alınabilir. Doğu kesimlerde ortalama yükselti 900 m, batıda ise 661 m kabul edildiğinde, yağış değeri doğuda 1080 mm/yıl, batıda 1000 mm/yıl olur. Hidrojeolojik çalışmalarda süzülmenin hesaplanması, yeraltı suyu potansiyeli hakkında bilgi vermektedir. Sondajlarla müdahale edilmemiş havzalarda doymuş bölge ya da bölgelerdeki akım kollarından eşdeğerdir. Baz akım oranı bilindiğinde, bu net infiltrasyon oranına eşit olacaktır (Dumlu ve Kaya, 1976).

Tablo 5. İnceleme alanındaki akarsuların 1979-1986 (hidroloji yılları)periyodunda yağış, akım, yüzeysel akışı ve baz akımı değerleri.

Table 5. The values of base flow, overland flow, stream and precipitation of streams at the investigated area in 1979-1986 (hydrological years) period.

Hidrolojik yıl	Yağış (mm)	Akım (mm)	Yüzeysel akış (mm)	Baz akım (mm)		Ortalama akım (m ³ /s)
SARIÇAY-Kocakavak						
1979-80	899,5	348,3	178,6	169,7		1,59
1980-81	931,9	515,2	330,5	184,7		2,36
1981-82	940,5	504,4	281	223,4		2,3
1982-83	719	182,6	66,5	116,1		0,86
1983-84	1052,5	535	311,7	223,3		2,45
1984-85	725,6	226,9	137,6	89,3		1,05
<i>Ortalama(1980-1985)</i>	<i>873,9</i>	<i>392,8</i>	<i>225,46</i>	<i>167,36</i>	<i>43 %</i>	<i>1,80</i>
SARIÇAY-Geyik						
1982-83	719	332,8	109,4	223,4		0,94
1983-84	1052,5	711	361,2	349,8		1,97
1984-85	725,6	336,7	217,7	119		0,93
1985-86	637	274,6	185,3	89,3		0,78
<i>Ortalama(1982-1986)</i>	<i>783,53</i>	<i>413,78</i>	<i>218,4</i>	<i>195,38</i>	<i>47 %</i>	<i>1,16</i>
HAMZABEY-Gökçeler						
1979-80	904,7	166,7	87,4	79,3		1,29
1980-81	1071,1	422,5	184,6	237,9		3,29
1981-82	1083,4	238,8	106,7	132,1		1,84
1983-84	1052,3	269	126,3	142,7		2,05
<i>Ortalama(1980-1985)</i>	<i>1068,93</i>	<i>310,1</i>	<i>139,2</i>	<i>170,9</i>	<i>55 %</i>	<i>2,39</i>
DEĞİRMENDERE-Karadam						
1980-81	1071,1	181,1	126	55,1		1,81
1981-82	1083,4	351,7	177,2	174,5		1,36
1982-83	900,8	146,5	73	73,5		0,68
1983-84	1052,3	271,9	161,7	110,2		1,22
1984-85	645,2	96,2	50,2	46		0,44
<i>Ortalama(1980-1985)</i>	<i>950,56</i>	<i>209,48</i>	<i>117,62</i>	<i>91,86</i>	<i>44 %</i>	<i>1,10</i>

Kaynakların Boşalımı;

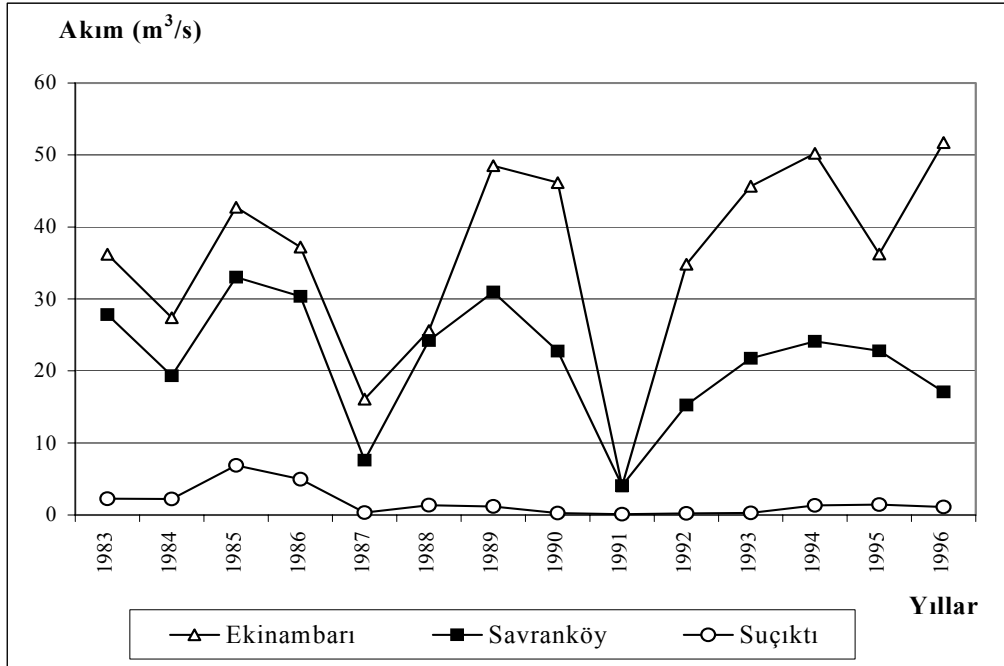
İnceleme alanındaki yüksek akımlı kaynaklar incelendiğinde *Suçıktı kaynaklarının* akım değerlerine göre boşalım katsayısı = $1,02 \times 10^{-2} - 1,48 \times 10^{-2} \text{ gün}^{-1}$, aktif rezervuar hacmi = 681–1152 m³/yıl arasında hesaplanmıştır (Önhon ve diğ., 1998). Yıllık ortalama rezervuar hacmi 696,2 m³/yıl, ortalama boşalım 0,221 l/s dir. İnceleme alanında yer alan kaynakların ortalama akım ölçüm değerleri, 1980-1990 yılları arasında DSİ ölçümlerinden yararlanılarak saptanmıştır. İlgili değerler, Ekinambarı kaynakları için 5385 l/s, Savranköy kaynakları için 4215 l/s, Avşar (Gümbüldek) kaynakları için 1000 l/s, Suçıktı kaynakları (Karacahisar) için 400 l/s'dir. Akyol kaynaklarında ölçüm yapılmamıştır. Ekinambarı, Savranköy ve Suçıktı kaynaklarının yıllık toplam akım gözlemleri (1983-1996) değişimi incelendiğinde 1983-1986, 1988-1990, 1992-1996 dönemlerinde birbirleriyle uyumlu bir artış izlenmiştir (Şekil 4) (Barut, 2001).

Ekinambarı kaynakları grubu, denize yaklaşık 10 km uzaklıkta alüvyonda yer alır. Kot'u 46 m olan

tepenin eteğinde çeşitli noktalardan, farklı debi ve sıcaklıklarda, allokton kireçtaşlarının kırık sistemlerinden çıkar. Yağışlı mevsimlerin sonlarında bazı boşalım noktalarında yaklaşık 20 cm yükselti ile akar.

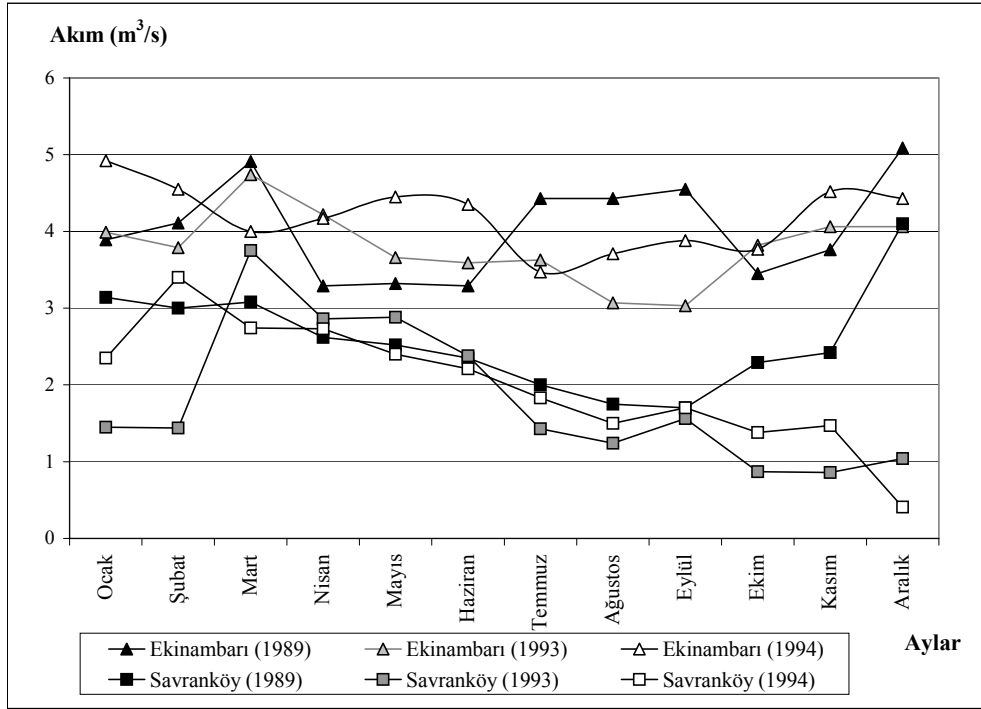
Savranköy kaynakları grubu, Soda Dağı batı yamaçlarında Sepetçiler (İçme)-Savranköy-Pilav Tepe hattı boyunca Milas kireçtaşları-alüvyon dokanağından çeşitli noktalarda, farklı debilerle çıkar. Yağışlı mevsim sonlarında kaynaklar Pilav Tepe kuzeyinde DSİ drenaj kanalında toplanır ve Hamzabey Deresi ile birleşir.

İnceleme alanında yer alan kaynaklar içinde yüksek akım değerleri ölçülmüş olan Ekinambarı ve Savranköy kaynaklarının aylık ortalama akım değerleri incelendiğinde, aylara göre akım değerleri arasındaki fark azdır (Şekil 5). Bu kaynaklardaki akımın sürekliliği, yeraltısularının çoğunlukla akiferde karstlaşmanın kontrolünde toplanan birikimli yağışlarla açıklanabilir. Özellikle Ocak, Şubat ve Mart aylarındaki yağış artışları kaynakların verdilerindeki artışlarla sonuçlanmıştır.



Şekil 4. Kaynakların yıllık toplam akım gözlem sonuçları değişimi.

Figure 4. Annual variations of total stream of springs.



Şekil 5. Kaynakların 1989,1993 ve 1994 yıllarında aylara göre akım değerlerinin değişimi.
Figure 5. Monthly variations of stream of springs in 1989, 1993, 1994.

Arazi çalışmaları (Mart/1996, Ekim/1996, Ekim/1997, Şubat/1998, Mayıs/1998, Ağustos/1998, Kasım/1998 dönemlerinde) sırasında, yaz aylarında bazı kaynaklarda azalma görülmüş (Kıyıkışlacık kaynakları), bazı kaynaklarda ise hiç akım gözlenmemiştir (Yaykın ve Akyol kaynakları). Yazın, kurak dönemde Ekinambarı ve Suçıktı kaynaklarının az etkilendiği gözlenmiştir. Hesaplama dönemi seçiminde ölçümlerin kayıt uzunluğu ve bilanço hesaplamalarında kullanılacak yağış verilerinin sağlanabildiği dönem (1980-1986) dikkate alınmıştır.

Hidrolojik Bilançonun Değerlendirilmesi

Karst havzalarında hidrolojik bilanço hesaplanmasında en yaygın kullanılan yöntem, yağış-buharlaştırma-akış ilişkisiyle tanımlanır. Ancak karst havzalarda yüzey ve yeraltı drenaj koşulları çoğunlukla birbiriyle çakışmayabilir. Bu; hidrolojik sınır koşullarına bağlı olarak havzanın, komşu havzaları beslemesi ya da komşu havzalardan beslenmesiyle açıklanabilir. Bilançonun dengelenmesinde komşu havzalarla etkileşimde akım değeri önem taşımaktadır. Komşu havzalardan yeraltı karst kanalları gibi oluşumlarla artma ya da eksilme olabilir. Havzanın hidrolojik bilançosu Tablo 6'da görülmektedir.

Tablo 6. Havzanın hidrolojik bilançosu.
Table 6. The hydrological budget of basin.

Beslenme *10 ⁶ m. ³ /yıl	Boşalım *10 ⁶ m. ³ /yıl
Yağış1255	Buharlaştırma-Terleme ve Çekim640
Komşu havzadan içe akış.....80	Kaynak boşalımları342,1
	Yüzeysel akış307,5
	Diğer(deniz içi kaynakların boşalımı)?
TOPLAM1335	TOPLAM1290

Milas ve çevresinin hidrojeolojik değerlendirmesinde geçirimli ve karstik kayaların drenaj alanı içindeki dağılımı ile birlikte drenaj alanı dışındaki dağılımları ve jeolojik ilişkileri de dikkate alınmıştır. 1/100 000 ölçekli hidrojeoloji haritasında drenaj alanı içinde ve dışındaki alansal dağılım hesaplanmıştır (Barut, 2001).

Bu hesaplama ile havza dışındaki geçirimli ve karstik kayaların alanı yaklaşık 150 km² bulunmuştur. Buradan havzaya beslenme olacağı dikkate alındığında, havza çevresi için de söz konusu olan ortalama yağışın %50'si yeraltısularının akış yönü boyunca bu alandan havzaya katılacaktır. Bunun sonucunda komşu havzalardan beslenme (içe akış) 80 x 10⁶ m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

İnceleme alanı için yapılan Etg hesaplamalarında Thornthwaite yönteminde uzun yıllar yağış-sıcaklık ortalamasında yağışın %51'i buharlaşma, beslenme olarak su fazlası da yağışın %49'u, akışın %47'si olarak hesaplanmıştır. Havza geneli dikkate alındığında yağışın %50-55'i arasında buharlaşma-terleme ve çekim, %45-50'si arasında akış gerçekleşir. Bu akışın %50'si süzülme ile baz akışa geçerken, %50'si de yüzeysel akış olur. Hidrolojik bilanço hesaplamaları değerlendirildiğinde beslenmede yağışın %3,6'sı (45x10⁶ m³/yıl) gibi bir su fazlası belirlenmiştir (Barut, 2001).

($Q_{\text{beslenme}} = Q_{\text{boşalım}} \pm \Delta Q$) eşitliği, ($P = E_{\text{tp}} + Q \pm \Delta Q$) eşitliğine dönüştürüldüğünde, $\pm \Delta Q =$ depolamadaki değişim dışarıya yönelik bir kaçak değil, komşu havzalardan olan beslenme girdisi olarak açıklanabilir. Arazi çalışması sırasında, Mandalya körfezi kuzeyinde Kıyıkışlacık önlerinden Dalyan açıklarına kadar kıyıda ve kıyıdan 1-5 m arası uzaklıklarda deniziçi kaynakları gözlemlenmiştir. Bu durumda, depolamadaki değişime ($\pm \Delta Q$), deniziçi kaynakların boşalımı da eklenmelidir (Barut, 2001).

Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alanı ve çevresi Menderes masifinin G ve GB'sında yer almaktadır. İnceleme alanı kayaları, bölge için tanımlanmış 3 stratigrafik istif ile açıklanmıştır. Menderes masifi kayaları "*Otokton İstif*", sürüklenimle yerleşmiş bulunan Likya Napları kayaları "*Allokton İstif*" ile her iki kayaç grubunu örten genç çökellerden oluşmuş "*Neo-Otokton İstif*" olarak tanımlanmıştır (Graciansky, 1965; 1972) (Tablo 7). *Otokton istif* çeşitli gnays ve migmatitlerin oluşturduğu çekirdek ile çeşitli şist ve Permiyen-Paleosen kireçtaşı çökellerinden oluşmuş örtü istiflerinden, *allokton istif* ise Paleozoyik-Mezozoyik çökellerden oluşmuştur. Toros Kuşağı ismiyle de anılmaktadır. Bu allokton istif, otokton Menderes masifinin üzerine ekaylı bir yapı ile yürümüştür (Akat vd., 1975). Bölgede bazı yerlerde otokton ve allokton istife ait birimler birbirine benzer özelliktedir. Ancak bölgede otokton ile allokton istifi

ayırıcı kılavuz seviye olarak Milas-Muğla çevresindeki Geç Paleosen kırmızı kireçtaşları kabul edilmiştir (Akat vd., 1975).

Gökova bölgesindeki yapısal oluşumlar, farklı ve sürekli tektonizmanın kontrolünde gelişmiştir. İki farklı (Muğla-Yatağan ve Milas-Ören) rift sistemi, KB-GD doğrultulu Orta-Geç Miyosen çökellerinden oluşmuş 1. rift sistemi, D-B doğrultulu ve Pliyo-Kuvaterner kayalar ile kaplanmış 2. rift sistemi bulunmaktadır. Yapısal ve Paleomagnetik verilerle 1. sistemin kökeninin K-G yönelimli olduğu ve günümüz doğrultusunu Geç Miyosen öncesinde kütlelerin saat yönünün tersinde dönmesiyle kazandığı Görür vd. (1995) tarafından belirtilmiştir. Milas Havzası'nın beslenme alanının belirlenmesi için otokton ve allokton istiftaki kayalar geçirimsiz (bariyer), karstik, yerel geçirimli kayalar ve karstik olmayan geçirimli örtü olarak ayrılmış ve incelenmiştir (Tablo 7; Şekil 6).

Geçirimsiz Kayaçlar, Gnays ve Mikrognayslar, Şistler ve Kuvarsitler, Tektonik Melanj, Güllük Formasyonu, Ofiyolit.

Karstik Kayaçlar, Milas Formasyonu, Allokton Kireçtaşları, Gökova Formasyonu, Çirkan Formasyonu.

Yerel Geçirimli Kayaçlar, Kalmağıl Formasyonu, Yatağan Formasyonu.

Karstik Olmayan Geçirimli Örtü, Alüvyon ve Yamaç Molozu.

Karstlaşma ve Karst Morfolojisi

İnceleme alanı, Türkiye'nin en önemli ve en geniş karst bölgesini oluşturan Toros karst kuşağında yer almaktadır. Bu kuşakta yer alan karstik alanların sadece güncel görünümü değil, aynı zamanda bölgenin jeolojik geçmişini de gözönünde tutan ve rejyonal karstlaşma derecesini belirten tektonetik karstlaşma tipine göre "orojenik karst" hâkimdir (Eroskay vd., 1992). *Orogenik karst*, bir karst alanının morfolojik ve hidrojeolojik özelliklerinin, orojenik yapıların boyutlarına bağlı olarak belirlendiği karst tipidir. İnceleme alanında hidrojeolojik ortamların sınırları, bölgede meydana gelen tektonik aktiviteler sonucunda meydana gelen yapısal formlar ile orojenik karsttan etkilenmiştir.

İnceleme alanında, otokton ve allokton kayaların genellikle kireçtaşlarından oluşması karstlaşmayı önemli ölçüde etkilemiştir. Karstik yapılar, iklimin de etkisiyle hızla gelişmiştir. Karstlaşmayı etkileyen *birincil etmenler* jeolojik (eriyebilir kayalar, süreksizlik düzlemleri arasındaki ilişki) ve hidrojeolojik (geçirimsizlik, boşluk oranı, yerüstü-yeraltı drenaj özelliği) özelliklere, inceleme alanında yaygın bir şekilde rastlanır. İlkel karst ortamını tanımlayan bu özellikler, fiziksel ve mekanik (fiziksel ayrışma, aşınma, taşınma v.b.) ve kimyasal (çözünme, erime, yeniden kristallenme v.b.) işlevlerinin sürekli denetimi altında

Tablo 7. İnceleme alanında otokton ve allokton kayaların hidrojeolojik özellikleri.**Table 7.** The hydrogeological characteristics of autochthonous and allochthonous rocks at the investigated area.

OTOKTON İSTİFİN HİDROJEOLJİK ÖZELLİKLERİ		ALLOKTON İSTİFİN HİDROJEOLJİK ÖZELLİKLERİ	
Alüvyon(Qal) ve Yamaç Molozu(Qym)- <i>Karstik Olmayan Geçirimli Örtü</i>			
Yatağan Formasyonu --Yerel Geçirimli Çırkan Formasyonu--Geçirimli-Çok Karstik Kumlu çakıllı düzeyleri geçirimli Volkanik tüf katkılı pembe kireçtaşı Killi marnlı kömürlü düzeyleri geçirimsiz			
Kalınlaşım Formasyonu	<i>Az Geçirimli-Yerel Karstik</i> Kırmızı kireçtaşları, çörtlü, mikritik kireçtaşı düzeyleri karstik geçirimli Şeyl, marn, silttaşı düzeyleri geçirimsiz	Ofiyolit	<i>Geçirimsiz Bariyer</i> Serpantin, peridotit
Milas Formasyonu	<i>Geçirimli-Çok karstik</i> Kireçtaşı ve dolomit düzeyleri, Kireçtaşı ve mermer düzeyleri	Gökova Formasyonu	<i>Geçirimli-Karstik</i> Dolomit, dolomitik Kireçtaşları ve mermer düzeyleri içerir.
Mermer Üyesi	Kuarsitlerin mermer üyesinin şistlerle geçişli olduğu alanların yerel karstik özellikleri var.	Allokton Kireçtaşları	<i>Geçirimli-Karstik</i> Karstik Kireçtaşları
Şist ve Kuvarsitler	<i>Geçirimsiz Temel</i> Killişist,mikaşist, kalkışist.	Güllük Formasyonu	<i>Geçirimsiz</i> Konglomera, kumtaşı,şeyl az metamorfik kireçtaşları
Gnays ve Mikrognayslar	<i>Geçirimsiz Temel</i>	Tektonik Melanj	<i>Geçirimsiz Temel</i> Yer yer ofiyolit ile karışır .

bölgesel karstı belirlemiştir. Karstlaşmanın başlangıcından bugüne kadar geçen süre içinde bölgesel *ikincil etmenlere* (iklim ve meteoroloji, bitki örtüsü, jeomorfoloji v.b.) bağlı olarak güncel karst ortamını oluşturan değişik tür ve boyutlu karst yapıları ortaya çıkmıştır.

Litolojik olarak karstlaşma olayının gerçekleştiği çökeltiler, inceleme alanındaki dolomitler, kireçtaşları ve kireçtaşı çimentolu konglomeralardır. Bunlardan Üst Triyas-Jura dolomitleri, Jura-Kretase kireçtaşları bölgede geniş yer kaplar. Boşluk ve geçirimsizlik oranları açısından bu karstik kayalar, tektonizma şiddeti ve yaşlarına göre farklıdır.

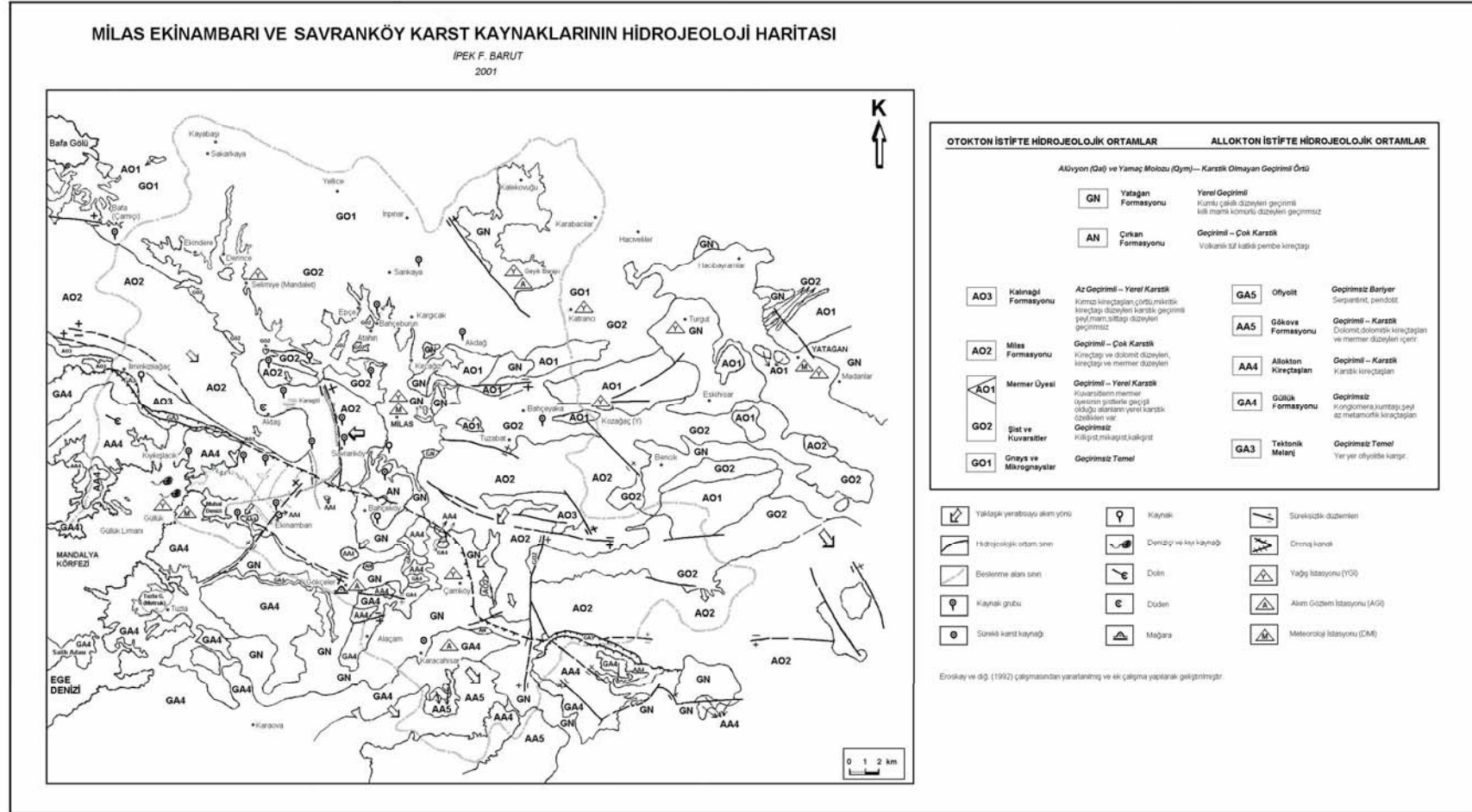
Özellikle tektonik dokanaları ana süreksizlik zonlarına yakın olan kesimlerde kaya ortamı oldukça kırıklı ve parçalanmış durumdadır. Bu kesimlerde suyun dolaşımı daha kolaylaşır. İnceleme alanındaki en önemli karst dolaşım sistemleri, bu zonlar boyunca gelişmiştir (Eroskay vd., 1992). Bölgede karst sistemlerinin gelişimini; kireçtaşlarında suyun hareketini, stratigrafi özellikleri, konumu, geometrisi, yapısı, topoğrafyası, jeoloji ve hidrojeoloji evrimi, sınır koşulları ve diğer unsurlar etkilemektedir.

Karbonat kayalarının ilksel ve ikincil gözenekliliği, suların eritme kapasitesi, iklim koşulları, örtü birimleri ve bitki örtüsü karstlaşmanın oluşumunda etkili olan önemli unsurlardır. Topoğrafya ile

yeraltı suları arasında dinamik bir denge söz konusudur (Yevjevich, 1976).

İklimsel özellikler, suyun kireçtaşlarını eritme kapasitesini doğrudan etkilemiştir. İnceleme alanı Güney Ege-Akdeniz geçiş kuşağındadır. Kuvaterner'de serin ve nemli geçen iklimler, günümüzde ılık, nemli ve yağmurlu hatta yüksek kesimlerde kar yağışlı özelliktedir (Erol, 1997). Bu iklim koşulları, karstik şekillerin oluşumunu artırıcı yönde etkilemiştir. Kireçtaşlarında suların etkisi, kimyasal olarak açıklanabilir. İnceleme alanında yer alan kireçtaşlarından kalker (CaCO_3) ve dolomitler ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) suların kimyasal özelliklerinin (CO_2 , SO_4 gibi) etkisiyle eriyerek kimyasal ayrışma meydana gelir. Belirli sıcaklıkta, suyun içerdiği CO_2 (g/l) değeri bu ayrışmayı hızlandırır.

İnceleme alanında yer alan kireçtaşlarını etkilemiş tektonik unsurlar, suların bu bölgedeki etkisini artırmış ve karstik şekillerin gelişmesini olumlu yönde etkilemiştir. Yeraltı sularının derinliğe bağlı hareketini, güncel dolaşım sistemindeki paleokarstın geçirimli kayalardaki hareketi etkilemektedir. İnceleme alanı ve çevresinde *paleokarstik* ve *neokarstik* yapılar gözlenmiştir.



Şekil 6. İnceleme alanının hidrojeoloji haritası.
Figure 6. The hydrogeological map of investigated area.

Bir karst bölgesinde beslenme alanının boşalım alanıyla ilişkisi, yanal yönde gelişmiş karstik şekilleriyle boşlukların yapısını geniş ölçüde belirler. Bu da; yapıların boyutları ve yoğunluğu, beslenme alanındaki koşullar, beslenme alanına giren suyun hacmi, karstik kayaların eriyebilme özelliği ve sürekli akarsularla doğrudan ilişkilidir (Darkot ve Erinç, 1954).

İnceleme alanı içinde yer alan **polyeler**: *Ovakışlacık Ovası*nın oluşumunu jeolojik ve yapısal unsurlar denetlemiştir. Ortalama yükseltisi 300-400 m arasında yamaçlarla çevrilidir. *Yaşyer ovası*, Milas formasyonun kireçtaşları içinde Sarıçay'ın kolları ve Sodra Dağı'nın yamacındaki birbirine paralel gelişmiş dere yatakları ile K-G doğrultulu fayın denetlediği bir ova'dır. Ovanın doğu kesimlerindeki Sepetçiler (İçme) ve Savran kaynaklarının boşalım alanlarında yer yer bataklıklar bulunmaktadır. *Çiftlik ovası*, Drenaj alanının doğu sınırında yer almaktadır.

Denizcik gölü, inceleme alanındaki en önemli **uvaladır**. Neojen Çırkan formasyonu'nun karstik kireçtaşları içinde yer alır. Yüzeysel su birikintisiyle sayısız dolinlerin oluşturduğu, çok delikli bir görünümündedir. Bu dolinler belirli hatlar boyunca uzanarak yeraltı ve yerüstü sularının aşındırma ve eritme etkisiyle çökerek uvalayı meydana getirmiştir. Arazi çalışmasının devam ettiği bir yıllık süreçte su

düzeyinde mevsimsel değişim gözlenmiştir. Kurak dönemdeki su düzeyi yağışlı döneme göre yarıya inmiştir (Fotoğraf 1).

İnceleme alanında yer alan **dolinler**: Kıyıkışlacık batısında *Altıgöller* ve çevresinde karstik çukurlar bulunmaktadır. Burada kireçtaşlarında yaklaşık 100 m yükseltideki düzleşmiş aşınım düzeyi üzerinde birden fazla yayvan karstik çukurlar oluşmuştur. Tabanında killi malzeme bulunan dolinlerde göller vardır. Altıgöller çevresinde gelişmemiş karstik çukurlar da gözlemlenmiştir. Havzanın doğu sınırında yer alan Bencik Dağı (1396 m) 'nın yassı biçimli doruk sırtlarında erime dolinleri yer alır. Derinliği 10 m, çapı 50-100 m arasında ve dizilişleri ile kenarları düzensizdir. Kireçtaşlarının erimesiyle oluşmuş karstik depresyonlardır. İnceleme alanında 1200 m'den yüksek yerlerde oluşmuş karstik yapıların daha gelişmiş olmasında, litolojinin ve tektonik etkilerin yanı sıra yer aldığı yükseltinin sıcaklık derecesi ile yağış miktarının, yüzeyde yaptığı etkileri önem taşımaktadır. 1200 m'nin altındaki kesimlerde süreksizlik düzlemlerinin gözlemlenmiş olması dipten erimelerle karstlaşma alanlarının geliştiğini düşündürmektedir.



Fotoğraf 1. Denizcik Gölü.
Photograph 1. Denizcik Lake.

İnceleme alanında kireçtaşlarının yüzeyinde çok sayıda ve değişik boyutlarda **erime olukları (karenler)** gözlemlenmiştir. Milas formasyonu kireçtaşları ve Çırkan formasyonu içinde sayısal olarak en fazladır. Erime oluklarının sayısal olarak en çok bulunduğu kesimler karstlaşmanın yoğunlaştığı çökellerdir. Bölgesel süreksizlik düzlemlerinin gelişmesi de bu oluşumları hızlandırır. Arazi çalışması sırasında

Sepetçiler kuzeyindeki DSİ taş ocağında ve Avşar'daki taş ocaklarında Milas formasyonu içinde değişik boyutlarda (0,30-1 m) düşey erime olukları gözlenmiştir.

Yeraltı sularının akım yönünde gelişmiş **düden**, Ovakışlacık-Aktaş arasında ve Karagöl'de özellikle yağışlı dönemlerde rastlanır. Ovakışlacık önünden kuzeyden dere yataklarıyla gelen sular, yüzeyden akışa

devam edebileceği koşullar bulunmadığından, Milas karstik kireçtaşlarında bu düden oluşmuştur. Arazi çalışması sırasında yağışlı dönemlerde *Gürlek*'te bu suların yüzeyden kaybolduğu gözlemlenmiştir.

Arazi çalışması sırasında inceleme alanının doğusu ve güneyinde sayısız *mağaranın* bulunduğu gözlemlenmiştir. İnceleme alanı içinde *Gökçeler (İncirliin) mağarası* bulunmaktadır. Gökçeler köyü yakınlarında kanyon görünümü derin vadi içinde yer alan Değirmenderesi'nin sol yamacındadır. Yatağan formasyonu içinde gelişmiştir. Gökçeler mağarasının toplam uzunluğu 345 m'dir. Gelişimini kısmen tamamlamış fosil bir mağaradır (MTA, 1995). Özellikle sarkıt, dicit ve sütunlar büyük kalınlık ve yüksekliktedir. Mağarada taban eğimine bağlı olarak basamaklar gelişmiş ve damlataş havuzları (1-4 m) oluşmuştur.

İnceleme alanındaki *kaynakların* birçoğu karstik formasyonlardan beslenmektedir. Bu kaynakların beslenme alanları ve çıktığı formasyonlar karstiktir. Bölgede bulunan çok sayıda kaynakların yerleşimi (Şekil 2) gösterilmiştir. Bu kaynaklardan çalışmamızda dikkate aldığımız kaynakların hidrolojik özellikleri (Tablo 8)'de verilmiştir. Havzada yer alan kaynakların boşalım kotları 0-150 m arasında değişmektedir. Kaynaklar, alüvyon, kireçtaşları ve şistlerden çıkmaktadır. Kalkışist kaynaklarının debileri 4-6 l/s arasında değişmekte olup, karstik kireçtaşı eklemlerinden çıkan kaynakların debileri ise 10 l/s civarındadır. Çalışmamızda kaynaklar gruplandırılarak incelenmiştir. Bu kaynak gruplarının çıkış sistemleri (Şekil 7)'de modellenmiştir.

1. Kıyıkışlacık Kaynakları (K); Kıyıkışlacık kuzeyinde, deniz düzeyinde ve denize 0-10 m arası uzaklıkta yer alan kaynaklardır. Alloktan kireçtaşlarından ve alüvyondan çıkan kaynakların debileri 5 l/s civarındadır. Kaynakların beslenme alanı, alloktan kireçtaşları ile kaynakların kuzeyinde yüzeylenmiş geniş yayımlı otokton kireçtaşlarından olmaktadır.

2. Ovakişlacık Kaynakları (O); Milas'ın KB'sında Ovakişlacık köyü doğusunda bulunan kaynakların yükseltisi 20 m'dir. Milas formasyonunun karstik kireçtaşının eklemlerinden çıkmaktadır. Yağışın olmadığı dönemlerde; aşırı çekimin etkisiyle su düzeyinde 4-5 m'lik bir azalma meydana gelir ve kaynağın kurduğu gözlenmektedir. Kaynaklardaki tuzluluk değerleri de bu dönemlerde artar. Kaynakların beslenmesi Milas karstik kireçtaşları ve alüvyondandır.

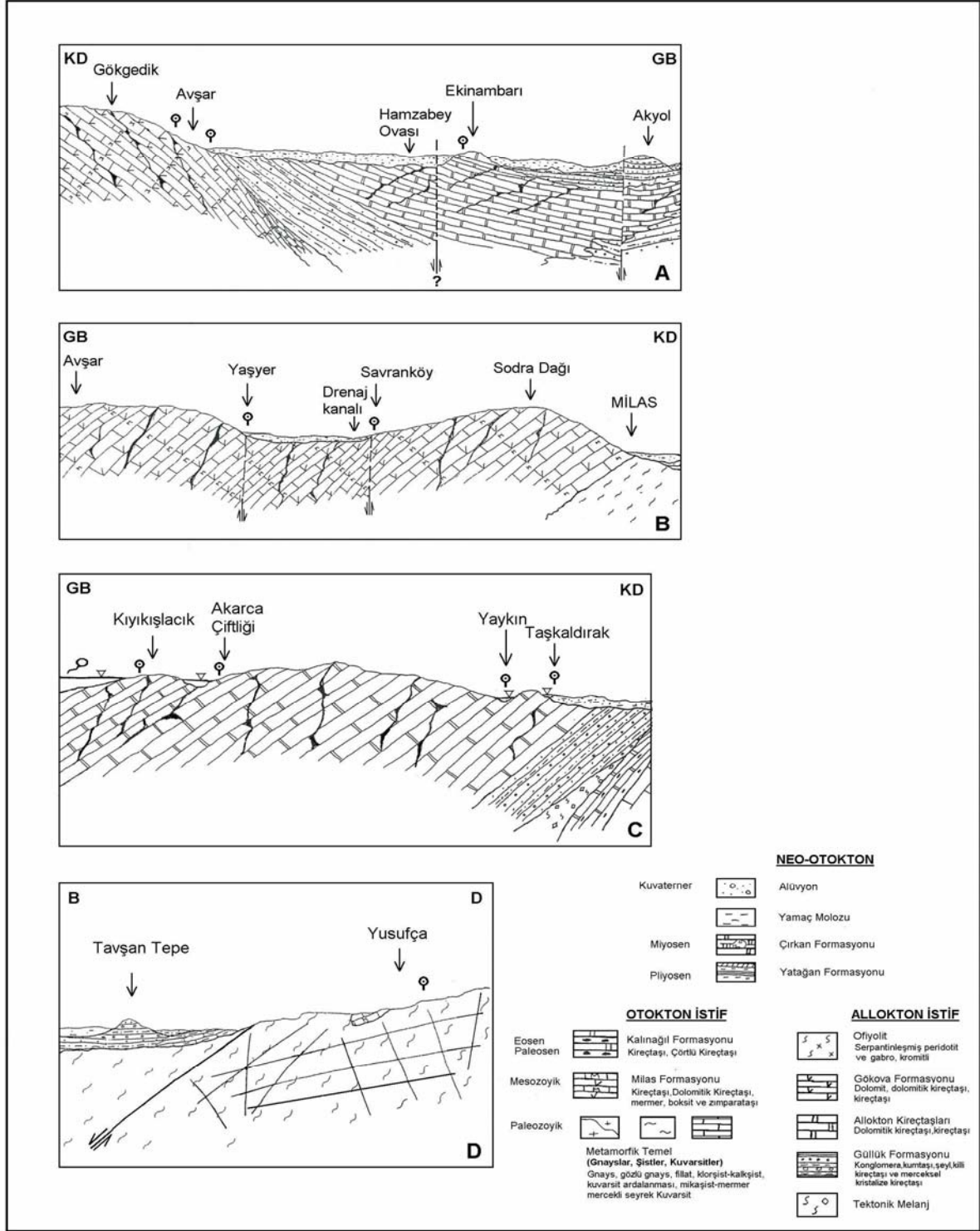
3. Labranda Kaynakları (L); Havzada gnays ve şistlerden çıkan kaynaklar Labranda kaynakları ismi altında incelenmiştir. Havzada gnays ve şist grubu kaynaklar 60-800 m arası yükseltilerden çıkmaktadır.

Milas'ın kuzeyinde Akçeşmeüstü tepede şistlerle geçişli bulunan Mesozoyik kireçtaşlarından çıkan debisi 4-6 l/s arasında olan kaynaklar bulunmaktadır. Kırcağız köyünde arazi çalışması sırasında birbirine 100-250 m uzaklıkta, debisi 2-4 l/s arasında değişen kaynak grubu gözlenmiştir. Eski incelemelerde (Akarca ve Akarca, 1954; Müller, 1956) şifalısu olarak değerlendirilmiştir. Bahçeburun kaynakları (**BB**) ile Sarıkaya köyü doğusunda Alkaya ve Değirmencik kaynakları olarak geçen, günümüzdeki Labranda kaynakları (**L**) ve Milas'ta Gümüşkesen kaynakları (**GK**) bulunmaktadır. Kaynakların debileri 2-4 l/s arasında değişir. Kaynakların beslenmesi, meteorik suların süresizlik düzeylerinden sızma ve süzülmelerinden olmaktadır.

4. Savranköy Kaynakları (S); Sodra Dağı'nın batısında Sepetçiler (İçmeköy)-Savranköy'den geçen K-G doğrultulu olası fay kaynaklarıdır. Kaynaklar Milas formasyonunun karstik kireçtaşlarından ve alüvyon-kireçtaşı dokanaklarından çıkmaktadır. Yaşyer kaynakları (**Y**) da alüvyon-kireçtaşı dokanağından çıkmaktadır. Kaynakların yükselteleri 0-10 m, toplam ortalama debileri 4-5 l/s (DSİ Teknik Rapor, 1996) arasındadır. Kaynakların beslenmesi, Sodra Dağı'nda Milas kireçtaşları ile ovada alüvyondandır. Menderes masifinin çekirdeği her ne kadar geçirimsiz kayaçlar olsa da, gelişmiş kırık sistemleri ve kendisini kuşatan geçirimsiz birimler, etkin tektonizma nedeni ile Savranköy kaynaklarına doğru yeraltısuyu hareketi olabileceğini desteklemektedir (Fotoğraf 2).

5. Beçin Kaynakları (BÇ); Milas'ın güneyinde Beçin Kalesi içinde ve Denizcik Gölü kuzeyinde 200 m yükseltide karstik kireçtaşı ile kırıntılı Neojen çökellerin dokanağından çıkan kaynaklardır. Denizcik uvalasında su düzeyi, yaz aylarında 8-10 m'ye düşerken, kış aylarında oldukça yükselerek bulanıklaşır. Kaynaktan Şubat ayında su örnekleri alındığı sırada suyun çamurlu aktığı gözlenmiştir. Karstik kireçtaşının orta kesimlerinde yer alan Denizcik uvalasından beslenen kaynaklarda kış aylarında debi artmaktadır. Tipik mesa kaynaklarıdır.

6. Karacahisar Kaynakları (KH); Milas'ın güneyinde Karacahisar'da bulunan kaynakların yükseltisi 150-200 m'dir. Kaynaklar alloktan istifin kireçtaşları ile Neojen çökellerin dokanağından çıkmaktadır. Suçıktı kaynağı'nın yanında açılan Belediye kuyusundan 10 köye su dağıtılmaktadır. Kaynaklar Kocakovanlık Dere yatağından çıkmaktadır. Kaynakların debisi 10-12 l/s arasındadır. Kaynakların beslenme alanının K-KD'da Mesozoyik yaşlı Milas karstik kireçtaşları, alloktan kireçtaşları ve Neojen örtü çökellerden olduğu söylenebilir.



Şekil 7. Kaynak gruplarının çıkış sistemlerinin modeli.

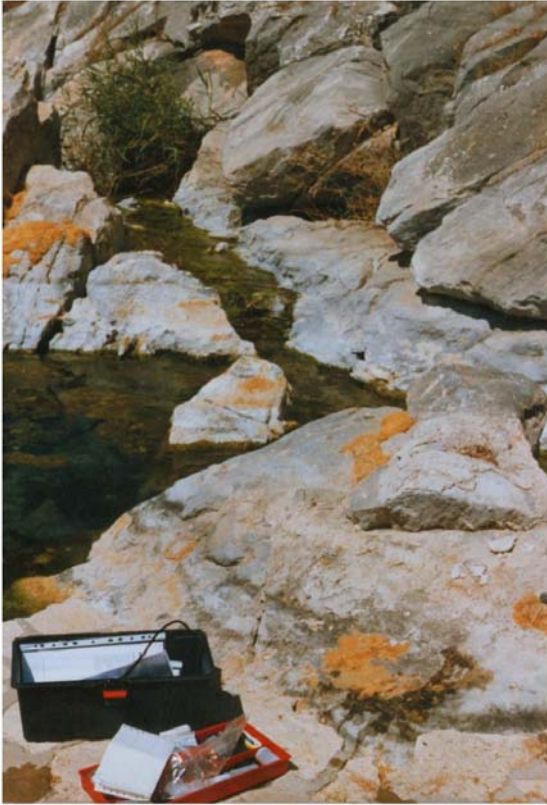
(A) Ekinambarı kaynakları, (B) Savranköy kaynakları, (C) Kıyıkışlacık kaynakları, (D) Labranda kaynakları.

Figure 7. The model of runoff systems of spring groups.

(A) Ekinambarı springs, (B) Savranköy springs, (C) Kıyıkışlacık springs, (D) Labranda springs.

Tablo 8. İnceleme alanında temsili seçilen kaynak gruplarının hidrolojik özellikleri.
Table 8. The hydrological characteristics of spring groups at the investigated area.

<i>Kaynaklar</i>	<i>Kot (m)</i>	<i>Boşalım (l/s)-DSİ</i>	<i>T (°C)</i>	<i>EC (micros/cm)</i>	<i>%o S</i>	<i>pH</i>	<i>Tipi Soğuk yeraltıları</i>
<i>Ekinambarı</i>	10-50	6-10	17	7500-14 000	7,5	7,5	Na, Cl, (HCO ₃)
<i>Savranköy</i>	10	4-5	19	15 000	10-19	7,8	Na, Cl, (HCO ₃)
<i>Sepetçiler</i>	20	3	18	18 000	15	7,5	Na, Cl, (HCO ₃)
<i>Suçıktı</i>	95	10-12	15	600	0,5	7,2	Mg, (HCO ₃)
<i>Akarca (Kıyıkışlacık)</i>	10	1-5	17	7000-14 000	25	8	Ca, Cl, (SO ₄)
<i>Akyol</i>	20	1-5	17,5	9000-10 000	15	7,5	Na, Cl, (HCO ₃)
<i>Avşar (Gümbüldek)</i>	10	0,5-1	18	7000-14 000	10	7,8	Na, Cl, (HCO ₃)
<i>Yaykın</i>	~ 0	1,5	19	20 000	23	8	Ca, Cl, (SO ₄)
<i>Ovakışlacık</i>	20	2,5	16	1000	1,5-3,5	7,5	Na, Cl, (HCO ₃)
<i>Yaşyer</i>	20	1	18	5000	12	7,8	Ca, Cl, (SO ₄)
<i>Beçin</i>	200	0,5-1	16,5	3500	0,9	7	Mg, (HCO ₃)
<i>Labranda</i>	1000	2-4	15	500	0	7,1	Mg, (HCO ₃)



Fotoğraf 2. Karstik kireçtaşlarının eklem düzlemlerinden çıkan Savranköy Kaynağı.
Photograph 2. Savranköy spring which discharge from joints of karstic limestones.



Fotoğraf 3. Ekinambarı Köyü'nün doğusundaki allohton kireçtaşlarından çıkan Ekinambarı Kaynağı.
Photograph 3. Ekinambarı spring which discharges from allocthonous limestones at east of Ekinambari Village.

7. Avşar Kaynakları (AV); Avşar köyü batısında, otokton istifte Kalınağıl formasyonunun karstik kireçtaşları ile alüvyon dokanağından çıkan kaynaklar deniz düzeyine yakın yükseltide bulunmaktadır. Yaz aylarında hemen hemen kuruyan ve bataklık, sazlık görünümündeki kaynakların kışın debileri artarak topoğrafyaya paralel dere yatağı oluşturmaktadır. Kaynaklar Kalınağıl formasyonunun altında yer alan Milas kireçtaşlarından beslenmektedir.

8. Yaygın Kaynaklar (Y); Kaynaklar Avşar ovası batısında Yaygın ve Taşkaldırak göllerinin kuzeyinden alloktan kireçtaşlarından çıkmaktadır. Yükseltisi deniz düzeyine yakındır. Kış aylarında gölet olan kaynaklarda balık yetişmektedir. Yazları debisi azalır ve çevresinde sazlık ve bataklık oluşmaktadır. Beslenme alanı alloktan kireçtaşlarıdır.

9. Ekinambarı Kaynakları (EA); Kaynaklar Ekinambarı köyü içinde alloktan kireçtaşlarının karstik düzeylerinden çıkmaktadır. Yükseltisi deniz düzeyine yakındır. Havza içinde debisi en yüksek kaynak grubudur. Kaynakların alüvyon örtü altında muhtemelen bir fay düzleminin kontrolünde olduğu söylenebilir. DSİ verilerine göre debisi 6-10 l/s'dir. Yeraltısularının geliş yönü dikkate alındığında beslenme alanının kuzeyde Milas formasyonu kireçtaşlarından ve KB'da alloktan kireçtaşlarındandır. Otokton kireçtaşlarındaki yeraltısuyu, Güllük formasyonu içindeki kireçtaşlarını ve Neojen yaşlı birimleri yanıl olarak beslemektedir. Milas havzası içerisindeki paleokarstik alanda denizsuyu ile karışarak boşalan kaynaklardır (Fotoğraf 3).

10. Akyol Kaynakları (AK); Milas-Bodrum yolunda Akyol köyü KB'sında yer alan kaynaklardır. Alüvyondan sulama kanalı yanında, alloktan kireçtaşları ile alüvyon dokanağından çıkmaktadır. Kaynaklar Yakaköy'den geçen KB-GD doğrultulu fayın denetlediği düzlem boyunca çıkmaktadır. K39 kaynağında balık üretimi yapılmaktadır. Kaynakların debisinde ve tuzluluk değerlerinde yaz-kış farklılığı gözlenmiş ve çevresi sazlık, bataklık görünümündedir. Kaynakların debisi 5-10 l/s arasındadır. Beslenme alanı, kuzeyde Selimiye ovasındaki alüvyon, Ovakışlacık ovasında yer alan Karagöl'de ve ovanın güneyindeki düdenler ile Mesozoyik kireçtaşlarındandır.

YERALTISUYU DİNAMİĞİ

İnceleme alanı içinde yeraltısuyu dinamiğini litoloji ile yapısal unsurlar kontrol etmektedir. Bölgede yeraltısuyu seviyesinin değişimini etkileyen doğal ve doğal olmayan nedenler etkilidir. Bunlar yağış, evapotranspirasyon, yüzeysel akış, yeraltısuyu çekimi ile sulama amaçlı Geyik barajından belirli dönemlerde Sarıçay'a su verilmesidir. Bu değişimlerin incelenmesi amacıyla, kuyuların statik su düzeyi ölçümleri yapılmış ve kuyu verileri analiz edilmiştir.

Bölgede ilk kuyular 1964 yılında açılmıştır. DSİ, Milas kireçtaşlarının hidrolojik özelliklerini belirlemek amacıyla, 1983 yılında araştırma ve içme kuyuları, 1991 yılından itibaren de karst hidrojeolojisi araştırmaları için otokton ve alloktan kireçtaşlarında sondaj kuyuları açmıştır. DSİ, YSE, Köy Hizmetleri'nin açtığı kuyularda yapılmış ölçümlerde; statik su düzeyi (m)= 0,09 -99; düşüm (m)= 0,35 -64,32 arasında değişir. Nisan/1979 ölçümleri dikkate alındığında statik su düzeyi (m)= 1,85 -12,35; düşüm (m) = 0,74 -64,32 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Havzanın güneyine inildikçe Neojen örtü çökellerinde açılan Çamköy-Ikizköy'deki kuyularda alüvyonda sürekli bir aşınım ve çökeltme oluşumu nedeniyle, kuyuların *iletkenlik katsayısı* 130 - 5500 m³/gün/m gibi geniş bir dağılım gösterir. Otokton Milas kireçtaşlarında *iletkenlik katsayısı* 200-5275 m³/gün/m arasındadır (Önhon vd., 1998). Kuyuların yer aldığı etkin kırık sistemlerinin geliştiği ve karstlaşmanın etkin olduğu alanlarda iletkenlik değeri yükselmiştir (Tablo 9). Tektonizma ile etkin kırık sistemlerinin geliştiği ve karstlaşmanın yoğun olduğu alloktan kireçtaşlarında farklı iletkenlik katsayıları bulunmuştur. Çamköy kuyusunda bu değer 395 m³/gün/m hesaplanmıştır (Önhon ve diğ.,1998). Kuyu ölçümlerinden anlaşılmıştır ki Yaşyer ovası ile Milas'ın GD'sunda Kaymakkavağı mevkiindeki alüvyon kuyularından yaz aylarında sürekli çekim yapılması su düzeyinin düşmesine neden olmaktadır.

Tablo 9. Farklı litolojilerde açılmış sondaj kuyularının iletkenlik katsayıları (Önhon ve diğ.,1998).

Table 9. The conductivity coefficients of drill wells in different lithologies.

	İletkenlik katsayısı m ³ /gün/m
Alüvyon ve Neojen Örtü	130 – 5500
Alloktan Kireçtaşı (DSİ-45232)	Farklı değerler (395)
Otokton Kireçtaşı	200-5275

HİDROJEOLJİK DOLAŞIM MODELİ

Bölgede yeraltısuyu belirli lokasyonlardan yüksek debili karstik kaynaklar olarak boşalır. Otokton ve allokton istifin konumu ve yayılımı nedeniyle yeraltısuyu beslenimi, yağışlardan süzülme ile olur. Yeraltısuyu hareketini geçirimsiz karbonatlı kayaları sınırlayan geçirimsiz otokton ve allokton istif ile tektonizma kontrol eder. Havzanın kuzeyinde şistler içinde merccekler halinde bulunan mermerler, yağışların süzüldüğü beslenme alanlarıdır. Boşalım ise küçük debili kaynaklarla, şist ve gnaysların çeşitli lokasyonlarından olur.

İnceleme alanında başlıca akiferi oluşturan Milas kireçtaşları havzanın batısında, ortasında ve havza dışında doğuda geniş alanlar kaplar. Milas kireçtaşları Yaşyer ovasında Yaşyer köyünden başlar, KB'da Akbüük'e kadar uzanır. Güneyde otokton Kalınağıl formasyonu ile allokton Güllük formasyonu ve tektonik melanj ile sınırlanmıştır. Belirli zonlardan süreksizlik düzlemleriyle kesilen bu geçirimsiz kayalardan kaynaklar boşalır.

Sepetçiler (İçme), Savranköy, Avşar, Akyol, Suçıktı kaynak gruplarından boşalımı bu şekilde açıklanabilir. Havzanın kuzeyinde Selimiye ovasından alüvyon ile Ovakişlacık ovasında Karagöl'de düdenlerden giren suların bu Mesozoyik kireçtaşlarını sınırlı da olsa beslemesi dikkate alınmalıdır (Şekil 6).

Havzanın doğusundaki Milas kireçtaşları havzanın dışında, daha doğuya ve GD'ya devam eder. Bölgenin tektonizma ve litolojik özelliklerinden dolayı lokal olarak gnays ve şistlerin içinde ve Neojen örtü çökelleri altında da (?) yayılım gösterir. İnceleme alanının doğusundaki Milas kireçtaşlarının karstik oluşumlar içermesi nedeniyle ve sınırlı da olsa yağışın akışa geçmesini sağlayan bitki örtüsü ile yağışın yüksek oranda süzülmesini sağlar. Doğuda, Paleozoyik şistler ile güneyde allokton geçirimsiz formasyonlar, Güllük formasyonu ve tektonik melanj ile sınırlanır. Kuzeyden; Menderes masifinin temel kayaları ile, batıda tektonizma etkinliği ile Pliyokuvaterner örtü çökelleri ve alüvyon ile sınırlanmıştır. Dolayısıyla, Milas havzası ile Milas kireçtaşlarındaki polye sistemleri arasında bir yeraltısuyu bölümü olduğu açıklaması yapılabilir.

Bir kısmı havza alanı dışında kalan Marçalıdağ-Karacıdağ-Kavakdağı-Mapçaldağ-Sandaldağı ve Bozdağ'ın oluşturduğu yüksek drenaj alanına ek olarak havza içinde KB'ya doğru Kocadağ-Ortadağ-Bozdağ-Sodra Dağı'nın oluşturduğu drenaj alanı söz konusudur. Bu drenaj alanını meydana getiren kireçtaşları Milas ve Savranköy'de K-G doğrululu grabenlerle kesilmiştir. Milas kireçtaşlarının Bozdağ'dan olan beslenmesinin bir kısmı KB yönünde hareket ederek Kaymakkavağı mevkiinden Milas ovasına ve batıda Savran kaynaklarına ulaşabileceği yorumu yapılabilir. Ancak Sodra Dağı-Bozdağ arası yaklaşık 3 km dir. Sondaj kuyusu verilerinden K-G doğrultulu olan bu paleojeolojik çukurluk 400-600 m arası derinlikte, Neojen örtü çökelleri ile oluşmuştur. Bu örtü çökelleri dikkate alındığında Bozdağ'dan olan yeraltısuyu

akımının, Milas ovasının doğu kesimlerinde sınırlanabileceği söylenebilir.

Bölgede araştırma yapan kamu kuruluşlarının teknik çalışmalarının sınırlı olması bu alanda gerçek derinliklerin saptanmasında yetersiz kalmıştır. Ancak Sepetçiler (İçme) ve Savranköy kaynaklarının boşalımı dikkate alındığında, neo-otokton istif altında dağılım gösteren Milas kireçtaşlarının birbirleriyle bağlantılı olması ile (yüksek boşalimler) açıklanabilir. Bunun sonucunda, Milas kireçtaşlarında yeraltısuyu hareketi doğudan batıya doğrudur. *Savranköy kaynaklarının modeli bu şekilde açıklanabilir.*

İnceleme alanında diğer önemli akifer allokton kireçtaşlarıdır. KB-GD yönünde dağılım gösterir. GD'ya doğru yayılımında yoğun karstik oluşumlar içeren kireçtaşlarından yağışın süzülmesiyle beslenmesi olasıdır. Havzanın jeoloji incelemesine göre tabanında geçirimsiz ofiyolitler bulunmasına rağmen düşey faylar ile Milas kireçtaşları ile yer yer dokanak halindedir. Allokton kireçtaşlarında yeraltısuyunun hareketini KB-GD yönlü kırık ve eklem sistemlerinin kontrol ettiği söylenebilir. *Akyol kaynak grubunun beslenmesi de benzer şekilde açıklanabilir.* Her ne kadar Yatağan formasyonu yaygın olarak kireçtaşı düzeyleri içerse de yeraltısuyu bakımından yetersizdir. Bu nedenle Akyol kaynak grubunun, allokton kireçtaşlarından beslendiği yorumlanabilir.

Havza içinde yüksek debili, Ekinambarı kaynakları grubunun boşaldığı allokton kireçtaşlarının yayılımları burada azdır. Bu nedenle bu kaynakların beslenme modeli açıklanırken yağıştan süzülme sonucunda yeraltısuları akiferinde allokton kireçtaşları ve Milas kireçtaşlarının bağlantılı olduğu yorumu yapılabilir. Yaygın, Taşkaldırak ve Kıyıkışlacık kaynakları grubu yerel yapı ile bağlantılı allokton kireçtaşlarından boşalır. Beslenme alanı allokton kireçtaşlarındandır. Ancak yeraltısuyu hareketi KB-GD yönlü bindirme kuşağı ile otokton ve allokton geçirimsiz kayaların kontrolünde gelişmiştir.

DENİZSUYU KATKI ORANININ BELİRLENMESİ VE TUZLANMA

Kaynaklara olan deniz suyu katkısının belirlenmesi için yağış, denizsuyu ve ilgili noktalara ait örneklerin Cl içeriğinden yararlanılmıştır. *Kıyı havzalarına yakın tatlısulardaki Cl içeriği*, denizsuyu saçılımı (seaspray) sonucunda yağış suyuna geçen Cl ile; denizsuyu saçılması sırasında su damlacıklarının buharlaşması sonucunda oluşan Cl içeriği yüksek toz partiküllerinin (aerosol), rüzgârla kara üstüne taşınarak yağmur ile yağması (dry fall out) ve toprak yüzeyi üzerinde biriken bu tozların yağışsuyu ile eriyerek yeraltısuyuna karışması ile; Cl içeren minerallerin (NaCl, KCl evaporitler v.b.gibi volkanik kökenli mineraller) çözünmesi ile magmadan gelebilecek (Cl₂) gaz kaçışları ile ve denizsuyu'ndan olabilir (Hem, 1965; Kesler, 1994).

Fosil sudan kaynaklanan Cl artışı ancak uzun süre yeraltında kalan ve büyük dolaşım uzunluğunda (yaklaşık 100 km ve üzerinde) olan akiferlerde ortaya çıkar (Appelo, and Postma, 1994). Tuzluluğu oluşturan Cl iyonu yanısıra I, Br, Mg, SO₄ iyonlarının da yüksek değerlerde bulunması gereklidir. Tuzluluğun denizden geldiğini desteklemek için bu göstergelerin birlikte değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Yeraltı suları iyonlarının oranı, deniz suyundaki iyonların oranlarına yakın ise tuzluluğun deniz suyundan geldiği yorumu yapılabilir.

İnceleme alanında kıyı kaynaklarına olan deniz suyu katkı oranının belirlenmesi amacıyla bir değerlendirme tekniği uygulanmıştır. Burada temsilci deniz suyu örneği olarak, tatlısu karışımının olmadığı dikkate alınarak ve güncel yağışın etkisindeki Güllük

deniz suyu örneği kullanılmıştır. Temsilci tatlısu Cl içeriğinin doğru belirlenebilmesi için deniz suyu katkı oranlarının doğru hesaplanması da önem taşımaktadır. Tablo 10'da görüldüğü gibi deniz suyu katkısının hesaplanmasında tatlı yeraltı suyu Cl derişimi olarak, sığ dolaşimli ve büyük oranda yıllık yağışlarla beslenen kaynakların (Toprak, Labranda, YLİ ambar, Beşoluk) ortalama Cl derişimi (5 arazi çalışmasının ortalaması: 0,775 mmol/l) ile deniz suyu Cl içeriği (540 mmol/l) olarak alınmıştır. Deniz suyu katkısı (%)= $\frac{Cl_{\text{örnek}} - Cl_{\text{tatlısu}}}{Cl_{\text{deniz}} - Cl_{\text{tatlısu}}}$ (mmol/l) eşitliği ile su örneklerinin Cl içerikleri ile hesaplanmış ve deniz suyu katkısı oranı değerleri belirlenmiştir (Appelo and Postma, 1994). Görüldüğü gibi örneklerdeki ortalama değer % 1-49 arasındadır (Tablo 10).

Tablo 10. İnceleme alanında yerel kaynak ve kuyularda deniz suyu katkı oranları ortalaması.

Table 10. Mean percentages of seawater contribution at springs and drill wells in the investigated area.

Kaynaklar ve Kuyular	Kot (m.)	Deniz suyu katkı oranı (%)
Ekinambarı	10-50	13
Savranköy	10-40	35
Sepetçiler (İçme)	20-50	37
Ovakışlacık	20	2
Yaşyer	20	31
Avşar	10-20	13
Kıyıkışlacık (Asin-Kurin-Iassos)	10	49
Güvercinlik kuyusu	10	1

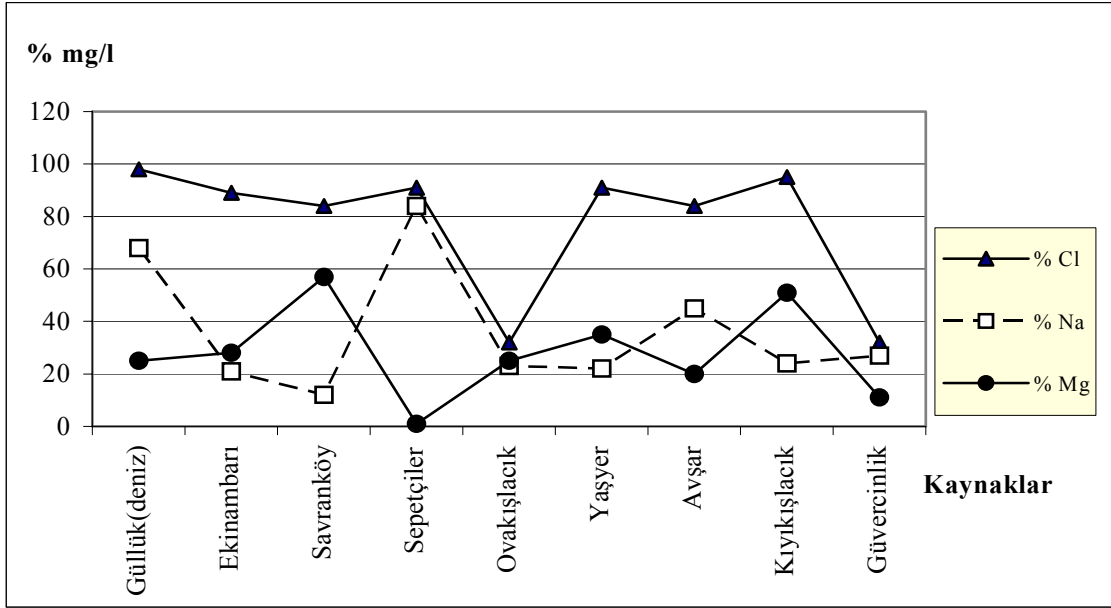
Tablo 11'de deniz suyu ile kaynak ve kuyuların Cl, Na ve Mg (%) oranları karşılaştırıldığında Güvercinlik ve Ovakışlacık kaynakları dışında tüm kaynaklar deniz suyu ile benzer özelliktedir. Şekil 8'de görüldüğü gibi Sepetçiler ve Avşar kaynaklarının Na oranı; Ekinambarı, Savranköy, Ovakışlacık ve Yaşyer

kaynaklarının Mg oranları; tüm kaynakların Cl oranları deniz suyuna yakın özelliktedir. Bu nedenle, çıktıkları kot (m) her ne kadar deniz düzeyinden yukarıda olsa da, kaynakların deniz suyu özelliğine yakın yeraltı suları oldukları sonucu, bunların deniz suyu karışımından etkilendikleri şeklinde yorumlanmıştır.

Tablo 11. İnceleme alanında deniz suyu katkısı oranları hesaplanmış olan kaynak ve kuyuların Cl,Na,Mg oranlarının, deniz suyu Cl,Na,Mg oranı ile karşılaştırması.

Table 11. Cl, Na, Mg content of seawater compared with those of spring and drill wells where percentage of seawater contribution is calculated.

Su noktaları	% Cl	% Na	% Mg
Güllük (deniz)	98	68	25
Ekinambarı	89	21	28
Savranköy	84	12	57
Sepetçiler	91	84	1
Ovakışlacık	32	23	25
Yaşyer	91	22	35
Avşar	84	45	20
Kıyıkışlacık	95	24	51
Güvercinlik	32	27	11



Şekil 8. İnceleme alanında denizsuyu, kaynak ve kuyuların Cl, Na, Mg oranlarının değişimi.
Figure 8. Variation of Cl, Na, Mg ratios of seawater, springs and drill wells at the investigated area.

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Orojenik karsttan etkilenen Milas Havzası'nda otokton ve allokton kayaçların genellikle kireçtaşlarından oluşması karstlaşmayı olumlu yönde etkilemektedir. Bu oluşuma iklimin etkisi de hız kazandırmıştır. Havzanın genel beslenme alanı, karstlaşma ve bitki örtüsü dikkate alındığında havzanın doğusundaki kireçtaşları için süzülme oranı %60, batısındaki kireçtaşları için %40 kabul edilmiştir. Bu durumda, baz akım oranı bilindiğinden net infiltrasyon (süzülme) oranına eşit olduğu değerlendirilmiştir.

Hidrojeolojik değerlendirmeler sonucunda, hidrolojik bilanço hesaplamaları yağış-buharlaşma-akış ilişkisiyle tanımlanmıştır. Uzun yıllar yağış-sıcaklık ortalamaları alındığında, yağışın %51'i buharlaşma, %49'u da beslenme olarak (su fazlası) gerçekleştiği hesaplanmıştır. Havza genelinde; yağışın %50-55 arasında buharlaşma-terleme ve çekim olarak, %45-50'si akış, bu akışın ise %50'si süzülme ile baz akışa geçerken, %50'si de yüzeysel akışa geçer. Beslenmede ise yağışın %3,6'sı ($45 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$) gibi bir su fazlası belirlenmiştir. Havzanın hidrolojik bilanço değerlendirmesinde beslenme ($1335 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$) ile boşalım ($1290 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$) hesaplamalarında ($\pm\Delta Q$) depolamadaki değişim, dışarıya yönelik bir kaçak olarak değil, komşu havzalardan olan beslenme girdisi olarak açıklanabilir. Bu depolamadaki değişime denizici kaynaklarının boşalımı da eklenmiştir.

Kuyuların yoğun olduğu Yaşyer, Hamzabey, Avşar ovalarında özellikle mevsime göre değişen

tuzlanma gözlenmiştir. Ancak havza içinde tuzlanmayan kuyulara da rastlanılmıştır. Kuyuların bazısında tuzlanma, bazısında tuzlanmama olması denizden uzaklıkla açıklanamayacaktır. Çünkü Hamzabey ovasının kuzeyinde Yaşyer ovasında, ovanın doğusuna gidildikçe denizden uzaklaştıkça tuzluluk artmaktadır.

Milas havzasındaki alüvyon akiferi, karstik sistemden bağımsızdır (Önhon ve diğ.,1998). Ancak özellikle Yaşyer ovasının batısındaki ve doğusundaki Sodra Dağı'nda mostra veren Milas kireçtaşlarından alüvyona beslenme söz konusudur. Karst akiferleri 3 ayrı sistem içinde düşünülebilir. Batıda Yaşyer köyünden başlayarak Akbuk'e kadar uzanan Milas kireçtaşları; inceleme alanı doğusundaki kuvarsitler; inceleme alanı dışında, doğuda Milas kireçtaşlarına olan beslenimden dolayı, yeraltısuyu hareketi batıya ve kuzeybatıya doğrudur. Bu demektir ki; Ekinambarı, Akyol, Avşar (Gümbüldek) ve Kıyıkışlacık (Akarca) kaynaklarına doğru yeraltısuyu hareketi gerçekleşmektedir.

Çalışmamızda deniz düzeyi yükselmesi dikkate alınmıştır. Çünkü inceleme alanında kaynak ve kuyulardaki tuzlanmanın, Neojen örtü çökellerinde güncel denizsuyu ile bağlantılı olamayacağı değerlendirilirse da (Eroskay ve diğ.,1992), derinlere doğru kireçtaşlarının karstik düzeylerinde denizsuyu ile doygunluğu önemli bir bulgudur. DSI'nin Ovakişlacık araştırma kuyusu verilerinde, alt düzeylerdeki denizsuyu etkisi bu görüşü desteklemektedir. Yüzeydeki kesimlerde, karstik olmayan az geçirimli ve/veya geçirimsiz düzeyleri olan

kireçtaşları ile Neojen örtü çökelleri kaynak boşalmalarının basınçlı olarak geliştiğini açıklamaktadır. Yeraltı suları tuzluluk oranında, beslenmenin niteliği, niceliği, yeraltı sularının tuzlu yeraltı ortamlarındaki dolaşımı, özellikle kaynak ve kuyuların çıktıkları tuzlu bölgelerdeki konumları ile doğrudan ilişkilidir.

Okyanus düzeyinin son glasiyal-östatik kökenli yükselme hareketleri sonucunda, Ege'nin sular altında kalması ile oluşan Ege Denizi'nin bugünkü jeomorfolojik görünümünün esasını, yerkabuğunun bu bölgede karşılaştığı çok yeni tansiyon gerilmelerle yatay ve düşey yer değiştirmeler oluşturmuştur (Erinç ve Yücel,1978). Yapılan son araştırmalarda (Erol,1991) Anadolu kıyılarında son 4000-5000 yıldır deniz düzeyinde sürekli bir yükselme söz konusudur. Bu yükselme, günümüzde toplam 3-4 m'yi bulmuştur. Ancak deniz düzeyindeki bu yükselmeye karşılık tektonik hareketler etkisiyle karanın yükselmesi de devam etmektedir. Böylelikle birbirini dengeleyen her iki hareket ve iklim değişiminin de etkisiyle deniz düzeyinin yükselmesinde yerkabuğu hareketleri de önemli bir etken olmuştur. Deniz düzeyinin yükselmesi $a=0,03097\pm 0,00989$ cm/ay olarak hesaplanmıştır (Hekimoğlu vd.,1996). Burada, 4,8 mm/yıl trendinin (Gürdal,1998) ortalama olarak verilen 0,5-3,0 mm/yıl (Pirazzoli,1996) ile uyumluluğu birlikte değerlendirilebilir.

Değişik yönlerdeki deniziçi sirkülasyonu, deniziçi kaynaklarının varlığını desteklemektedir. Deniziçi kaynaklarının buldukları noktalar dikkate alındığında, fay çizgiselliği boyunca denizsuyu girişimini destekleyecek bir modelde oldukları yorumlanabilir. Sonuç olarak; denizsuyu karışım oranları hesaplanmış kaynaklar için, her ne kadar çıkış kotları deniz düzeyinden yüksek olsalar da kaynakların süreksizlik düzlemleri boyunca denizsuyu karışımını destekleyecek bir modelde olduklarını söyleyebiliriz.

Tuzluluğun yüksek olduğu kaynak ve kuyularda mevsimsel değişim dikkate alındığında, tuzlanma modelinin jeolojik yapının kontrolünde olduğu açıklaması yapılabilir. Ancak inceleme alanındaki karstik kaynakların oluşumunda; fayların denetlediği Yatağan formasyonunun geçirimsiz ve geçirimli düzeyleri ile alüvyondan boşalmalar bunu desteklemektedir.

SUMMARY

This study aims to figure out the reason of salty karstic spring waters in Milas Ekinambarı and Savranköy karstic springs using geological and hydrogeological maps and, hydrochemical and isotopic data. The study area is called as *Milas Basin* and is situated within the province of Muğla at 37°04'-37°32' northern latitudes and 27°30'-28°06' eastern longitudes. Other important karstic springs in the study area are

Kıyıkışlacık, Gümbüldek, Akyol, Suçıktı and Ovakişlacık.

Hydrologic budget calculations showed, that an additional inflow of $80 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ from the neighboring area takes place and is added to the actual inflow of the study area. For the entire basin an evaporation value of $640 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$, which is taken as 51% of the annual bulk precipitation, is considered. Whereas 50% of total water flow, which is 45 to 50 % of the bulk precipitation, forms by infiltration the base flow, the other 50% forms the surface flow. During field studies, some off-shore springs close to the Kıyıkışlacık and Dalyan coast, have been observed. Therefore, recharge through these offshore springs is estimated and is considered as changes in water storage ($\pm \Delta Q$) during budget calculations.

The areal extend of different hydrogeological units and their geometry resulted in a groundwater recharge directly from infiltration of precipitation and from the infiltration of runoff in polje-areas. Directions of groundwater flow is controlled by tectonics. Inflow from the east through the autochthonous and allochthonous units moves to the west and northwest towards the Ekinambarı and Savranköy springs. Recharge in the west through the carbonates and alluvium flows towards the springs in the southeastern part of the study area.

It could be determined, that impermeable units of allochthonous sequence act as a barrier and salty sea-water intrusion through the structural discontinuities was the reason for salty springs.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından (T264-970626) desteklenmiştir. Yazarlar, değerli katkılarından dolayı Erol ÖNHON (DSİ Genel Müdürlüğü) ve Prof.Dr. Engin MERİÇ'e (İstanbul Üniversitesi) teşekkür ederler.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Akarca, T. ve Akarca, A., 1954**, Milas Coğrafyası, Tarihi Ve Arkeolojisi, İstanbul Matbaası, 196 s., İstanbul.
- Akat, U. ve diğerleri, 1975**, Menderes Masifi Güneyi GB Toros Kuşağı İlişkisi, (Ön Rapor), MTA Raporu, No. 5488, 58s., Ankara.
- Appelo, C.A.J. and Postma, D., 1994**, Geochemistry, Groundwater and Pollution, A.A. Balkema /Rotterdam/Brookfield, 2nd Ed., Netherlands, 535pp.
- Barut, İ.F., 2001**, Milas-Ekinambarı ve Savran Tuzlu Kaynaklarının Hidrokimyasal Araştırması, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, (Yayınlanmamış), 189s., İstanbul.

- Çağlar, K.Ö., 1947**, Türkiye Maden Suları ve Kaplıcaları, MTA Yayını, Seri B, No.11, Fasikül 1, Ankara.
- Darkot, B. ve Erinç, S., 1954**, GB Anadolu'da Coğrafi Müşahadeler, İ.Ü.Coğ.Ens. Dergisi, No.5/6, C.3, 180-196.
- De Wiest,R.J.M., 1965**, Geohydrology, John Wiley and Sons Inc., U.S.A., 366p.
- DSİ Teknik Rapor, 1996**, Ekinambarı ve Savranköy Kaynakları Raporu, DSİ Raporu, (Yayınlanmamış).
- Dumlu, O. ve Kaya, A., 1976**, Akarsuların baz akımlarından istifade edilerek yeraltı suları bilançolarının hazırlanması, DSİ Teknik Bülteni Sayı 39, 36-45.
- Erinç, S. ve Yücel, T., 1978**, Ege Denizi, Türkiye İle Komşu Ege Adaları, Türk Kültürünü Araştırma Enstitüsü Yayını 50, Seri 7, S.A3, Ankara.
- Erol, O., 1991**, Türkiye kıyılarında deniz düzeyi değişimleri ve bir çevre sorunu olarak İstanbul için önemi, Uluslararası Çevre Sorunları Sempozyumu Tebliğleri, İstanbul.
- Erol, O. Yılmaz,Y., 1997**, Background To Mid Holocene Climatic Change In Anatolia And Adjacent Regions, Nato Ası Series Vol. 149.
- Eroskay, S.O, Gürpınar, O., Gözübol, A.M., Şenyuva, T., 1992**, Muğla-Gökova ile Milas-Savran ve Ekinambarı Karst Kaynaklarının Jeolojik ve Hidrojeolojik İncelemesi, Sonuç Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü (Yayınlanmamış), Ankara.
- Graciansky, P.C., 1965**, Menderes Masifi güney kıyısı boyunca görülen metamorfizma hakkında açıklamalar, MTA Dergisi, S.64.
- Graciansky, P.C., 1972**, Recherches Geologiques Dans Le Taurus Lycien, Fac.Sci.Universite Paris-Sud (Orsay), Vol.896, 762p.
- Görüür, N., Şengör A.M.C., Sakınc, M., Tüysüz, O., Akkök, R., Yiğitbaş, E., Oktay, F., Barka, A., Sarica, N., Ecevitöglu, B., Demirbaş, E., Ersoy, S., Algan, O., Güneysu, C., and Aykol, A., 1995**, Rift Formation in The Gökova Region, SW Anatolia: Implications For The Opening Of The Aegean Sea, Geol. Mag. 132 (6), 637-650.
- Gürdal, M., A., 1998**, Deniz Seviyesi Ölçümleri ve Harita Genel Komutanlığınca İşletilen Mareograf İstasyonları, Harita Genel Komutanlığı Harita Dergisi, S.119,1-14.
- Hekimoğlu, Ş., Gürdal, M., A. 1996**, Türkiye Ulusal Düşey Datum Belirleme Projesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Yayın No. 16, İstanbul.
- Hem, J.D., 1965**, Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, 2nd Edition, Geological Survey Water-Supply Paper 1473, US Government Printing Office, Washington, pp.269.
- Kesler, E.S., 1994**, Mineral Resources, Economics and the Environment, Mc Millan College Publishing Com Inc.New York, pp.399.
- MTA, 1995**, Milas Gökçeler Mağarası, MTA Raporu, (Yayınlanmamış).
- Müller, G., 1956**, Güney Ege Bölgesindeki Termal Kaynakların Islahına Ait Rapor, MTA Raporu, (Yayınlanmamış).
- Önhon, E. ve diğerleri, 1998**, Selimiye-Milas-Ekinambarı Karst Havzası Hidrojeolojik Etüdü, DSİ Raporu, (Yayınlanmamış), DSİ 21.Bölge Müdürlüğü Aydın.
- Pirazzoli, P.A., 1996**, Sea-Level Changes: The Last 20 000 Years. John Wiley and Sons. Chichester-New York-Brisban-Toronto-Singapore.
- Yenal, O.,1960**, Hidroloji, Genel Eksperimental Klinik Terapötik, Akgün Matbaası, 225 s., İstanbul.
- Yevjevich, V., 1976**, Karst Hydrology and Water Resources, Vol 1-2.Water Res.Pub.Fort Collins, Colorado 80522, USA.

Yayına Geliş – Received : 25.08.2004

Yayına Kabul - Accepted : 16.12.2004