

DENİZALTI KAYNAKLARININ UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ İLE BELİRLENMESİ: GÖKOVA KÖRFEZİ ÖRNEĞİ

KURTTAŞ, T*, GÜNAY, G* ve GEMALMAZ, A.**

* Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM)
06532, Beytepe ANKARA

** T.C. Başbakanlık, Devlet İstatistik Enstitüsü

ÖZET

Türkiye'nin önemli tarım ve turizm merkezlerinden biri olan Gökova Körfezi ve çevresinde yoğun bir endüstriyel-tarımsal gelişme ve buna paralel olarak da hızlı bir nüfus artışı yaşanmaktadır. Söz konusu gelişmelerle birlikte içme, kullanma ve sulama suyu ihtiyacı da artmaktadır. Bölgede su gereksiniminin karşılanabileceği olası kaynakların belirlenmesi amacı ile Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) tarafından yürütülen üç yıl süreli bölgesel çalışma kapsamında, Gökova bölgesini kapsayan Landsat 5-TM (Thematic Mapper) bandları kullanılarak bölgenin çizgisellik haritası hazırlanmış ve sahada kontrol edilmiştir. Bu görüntüler ile beraber sayısallaştırılmış veriler kullanılarak çizgisel unsurlar, düdenler ve formasyonlar içindeki dağılımları ile ilgili olarak istatistiksel veriler elde edilmiştir. Ayrıca Ağustos-1986 ve Haziran-1984 aylarına ait Landsat 5-TM bandları kullanılarak çizgisel unsurlar belirlenmiş ve (thermal infrared-6) ısı kızılotesi bandı kullanılarak, Gökova Körfezi içinde kıyıya yakın olan denizaltı boşalmalarının konumları belirlenmiştir. Uydu görüntülerinden belirlenen olası denizaltı kaynaklarının yerinde kontrol edilmesi amacıyla Nisan 1996 tarihinde bir saha çalışması yapılmıştır. Bu noktalara ulaşılması amacıyla, koordinatları belirlenen noktalar Trimble Pathfinder Plus GPS (Global Positioning System) ünitesine yüklenmiş ve tekne ile bu noktalarda derinlik boyunca çeşitli fiziksel/kimyasal parametreler ölçülmüştür. Bu ölçümler HYDROLAB Çok Parametrelili Su Kalitesi Sonda Cihazı (Multiparameter Water Quality Monitoring Instruments) ile yapılmıştır. Bu sonda ile derinliğe bağlı olarak Sıcaklık (°C), İletkenlik EC (mS/cm), pH, TDS (mg/l), Çözünmüş Oksijen (% veya mg/l), Redox Potansiyeli (mV), Bulanıklık (Nessler Bulanıklık Birimi, NTU) parametreleri aynı anda yerinde ölçülmüştür. Varlıkları kanıtlanan denizaltı kaynakları ile denize $627 \cdot 10^6$ m³/yıl 'lık bir boşalmanın olduğu hidrolojik bütçe hesaplamaları ile belirlenmiştir (20 m³/s).

1. GİRİŞ

Türkiye'nin önemli tarım ve turizm merkezlerinden biri olan çalışma alanında yoğun bir endüstriyel-tarımsal gelişme ve buna paralel olarak da hızlı bir nüfus artışı yaşanmaktadır. Ayrıca ulaşım olanaklarının artmasına bağlı olarak bu sektörlerin yanında madencilik ve sanayi kesiminde de gelişmeler olmuştur. Söz konusu gelişmelerle birlikte artan içme, kullanma ve sulama suyu ihtiyacı, bugüne kadar yüzey ve yeraltısularından çeşitli yöntemlerle sağlanmıştır. Ancak karstik ortamların yeraltısuyu iletimi açısından anizotrop ve heterojen olması, yeraltısuyunun miktar ve kalite açısından zaman ve yer içinde büyük değişimler göstermesine neden olmaktadır. Bölgede su gereksiniminin karşılanabileceği olası kaynakların belirlenmesi amacı ile Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) tarafından üç yıl süreli bölgesel bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, Gökova bölgesini kapsayan alanda uzaktan algılama çalışmaları yapılarak denizaltı kaynaklarının varlığı araştırılmış ve saha çalışması ile kanıtlanmıştır.

bulmaktadır. Havzada ortalama yükselti 667 m dir. Toplam alanın %60 dan fazlasında yüzey eğimi 0-11 derece arasındadır.

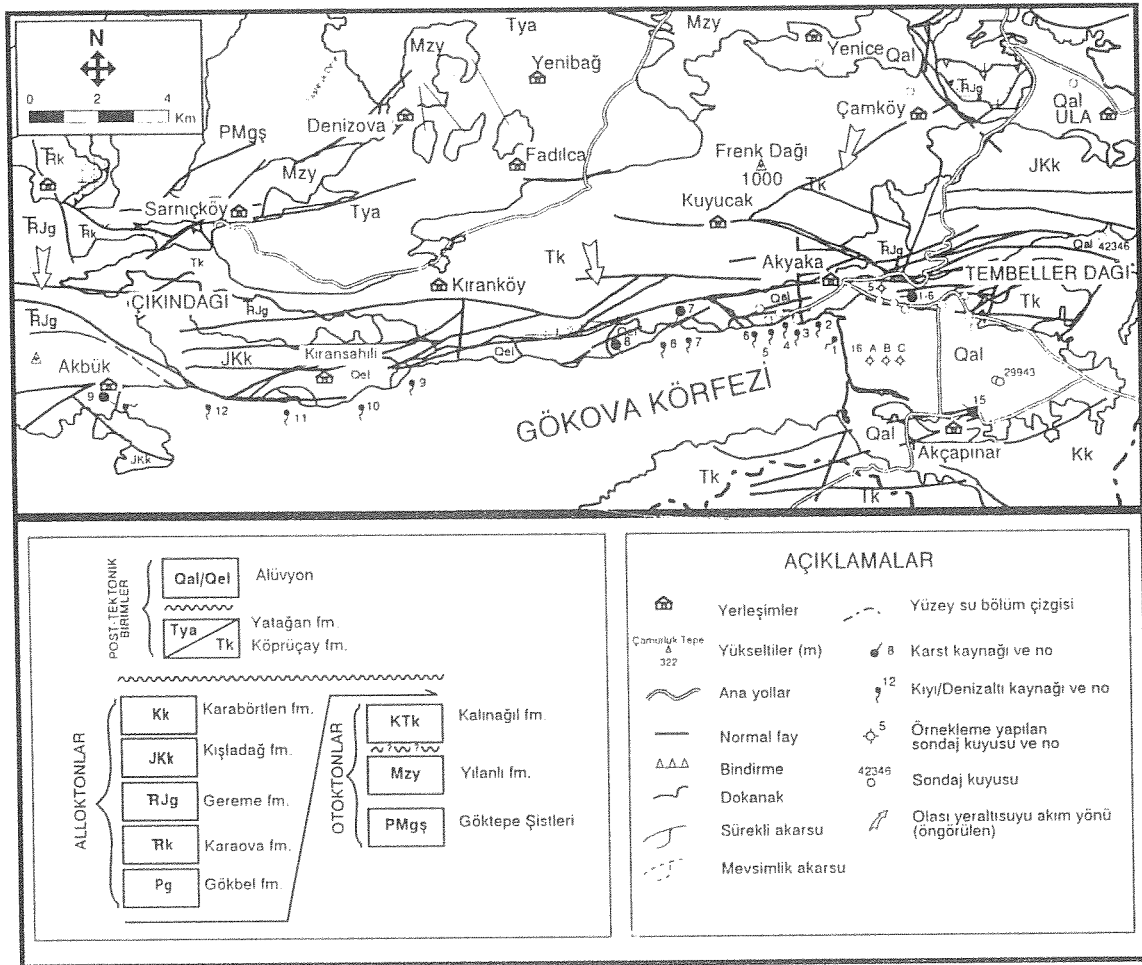
Topoğrafyanın düz olduğu bölgeler, özellikle derelerin azmak şeklinde denize döküldüğü alanlar ile Muğla ve Yerkesik gibi çöküntü havzalarının alüvyon ile dolması sonucu şekillenmiş oldukça verimli tarım arazilerini oluşturmaktadır.

Bölgede drenaj ağı özellikle karstik birimlerin bulunduğu alanlarda fazla gelişmemiştir. Diğer alanlarda ise akarsular mevsimlik karakterdedir. Ancak, Çaydere vadisi boyunca, Gökova karstik kaynakları boşalmalarının toplanması sonucu tümüyle kaynak sularından oluşan Azmak deresi ile Akçapınar köyü içinden geçen Akçapınar deresi sürekli yüzey sularıdır.

Bölgede yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçen tipik bir Akdeniz iklimi hüküm sürmektedir. Kıyı şeridindeki ani yükselmelere bağlı mikro-klima özellikleri de görülmektedir. Çalışma alanına en yakın istasyon olan Muğla Meteoroloji istasyonunda 1931-1991 yılları arasında ortalama yıllık toplam yağış miktarı 1185 mm dir. Kasım, aralık, ocak, şubat ve mart aylarında düşen ortalama aylık yağış (193 mm) yıllık toplam yağışın % 82 sidir. Muğla DMI verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 14.8 °C ve 1949-1990 yılları arasında ölçülen ortalama aylık nemlilik oranı % 62 dir.

4. KAYAÇLARIN HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanında Menderes Metamorfitlelerini oluşturan otoktonlar, Elmalı Naplarını oluşturan allohton birimler ve bunları örten genç çökeltiler (yeni-otoktonlar) yüzeylenmektedir (Şekil 2). Kayaçların hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesinde



Şekil 2. Çalışma alanı hidrojeoloji haritası

Eroskay vd. (1992) çalışması ile birlikte, su kimyası analiz sonuçları, izotop verilerinin değerlendirilmeleri ve arazi gözlemleri yardımcı olmuştur. Kayaçların jeolojik konumları ile litolojik durumları gözönüne alınarak pratik anlamda geçirimli olup olmadığı belirtilmiştir.

4.1. OTOKTON BİRİMLERİN HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanında yüzeyleyen otokton birimler, alttan üste doğru, Göktepe şistleri, Yılanlı formasyonu ve Kalınağıl formasyonu 'dur. Başlıca killiştir, mikaşist, kloritşist, fillat, kuvarsit, kalkışist ve mermer mercleklerinden oluşan Göktepe şistleri pratik olarak geçirimsizdir ve hemen hemen her yerde hidrojeolojik bariyer işlevine sahiptir.

Göktepe şistlerinin üzerinde yer alan Yılanlı formasyonu inceleme alanında akifer özelliği gösteren en önemli birimdir. Rekrystalize kireçtaşı, dolomit ve mermerlerden oluşmaktadır. Muğla havzasında olduğu gibi, formasyon 30-40 km devam eden ve 500-600m atıma sahip genç faylarla kesilmiştir (DSİ,1992). Bu genç fayların etkisi ile çok sayıda erime hunileri (düden), polye oluşumları gerçekleşmiştir. İnceleme alanındaki pek çok kaynak bu birimden çıkmakta ve/veya beslenmektedir. Faylanma nedeniyle oldukça ezilmiş, paralanmış ve buna bağlı olarak ikincil gözenekliliği olan bu birim hidrojeolojik açıdan geçirimli kabul edilmiştir.

Otokton istifin en üstünde yer alan Kalınağıl formasyonu tabanında yer alan breşik yapıdaki kireçtaşı, kırmızı renkli, çörtlü, mikritik kireçtaşları ile hidrojeolojik açıdan geçirimli; üst seviyelerinde bulunan şeyl, marn, silttaşı ve olistrostromal oluşumlar ile de geçirimsiz özellik göstermektedir. Bu nedenlerle Kalınağıl formasyonu hidrojeolojik açıdan yerel karstik-az geçirimli olarak kabul edilmiştir.

4.2. ALLOKTON BİRİMLERİN HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Allokton birimleri oluşturan formasyonlar, alttan üste doğru, Gökbel, Karaova, Gereme, Kışladağ ve Karabörtlen formasyonlarıdır. Allokton istifin en alt seviyesini oluşturan, dolomit ve dolomitik kireçtaşından oluşan Gökbel formasyonu sınırlı alanlarda yüzeylemektedir. Yayılım alanının darlığı nedeniyle önemli bir beslenme bölgesi oluşturmamakla beraber; hidrojeolojik açıdan geçirimli bir birimdir.

Gökbel formasyonunun üstündeki Karaova formasyonu, tabanda killi kireçtaşı ve üste doğru kumtaşı, çakıtaşı, silttaşı, şeyl, marn ve çamurtaşı aralanımından oluşan litolojik yapısı nedeniyle geçirimsiz bir özellik göstermektedir.

Allokton istifteki akifer özelliği gösteren en önemli birim Gereme formasyonu' dur. Birim faylar ve kırık sistemleriyle çok fazla kesilmiş ve yer yer paralanmış, oldukça karstlaşmış dolomitik kireçtaşı, rekrystalize kireçtaşı ve mermerlerden oluşmaktadır. İnceleme alanındaki yüksek verdili kaynak boşalımları bu formasyonda yer almaktadır. Alttan Menderes masifine ait Yılanlı formasyonu ile temas halindedir. Hidrojeolojik açıdan geçirimli bir birimdir.

Kışladağ formasyonu tabanda radyolarit ve çört bantlı mikritik kireçtaşı ile başlayan birim pratik anlamda geçirimsiz olmakla beraber, karbonat çimentolu breşik seviyeler ve mikritik kireçtaşları içerdiği yerlerde geçirimli özellik göstermektedir.

Allokton istifin en üst seviyesini oluşturan Karabörtlen formasyonu da hidrojeolojik açıdan bariyer özelliği göstermektedir. Söz konusu birim, genellikle kumtaşı, silttaşı, şeyl, marn aralanmasından oluşmaktadır ve pratik açıdan geçirimsizdir.

Allokton ve otokton istiflerin üzerini örten Kertmeç Melanjı ve Fethiye Peridotitleri de geçirimsiz birimlerdir. Dunit, harzburgit, piroksenitlerden oluşan Fethiye Peridotitleri ve Peridotitlerin yerleşmesine bağlı olarak oluşan Kertmeç Melanjı altta bulunan birimlerden parçalar, kumtaşı, silttaşı, kilttaşı ve olistrostromal seviyeleri içermektedir.

4.3. NEOOTOKTON BİRİMLERİN HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Neootokton birimlerin en alt seviyesini oluşturan Yatağan formasyonunun silttaşı, marn, kilttaşı ve kömür seviyeleri içeren bölümleri geçirimsiz; kireçtaşı, kumtaşı, konglomeralı seviyeleri ise geçirimli bir özellik gösterir.

Köprüçay formasyonu'na ait karbonat çimentolu kireçtaşı çakıllarından oluşan konglomeralarda, alloktan birimlerin bölgeye yerleşmesi sırasında ve Kuvaternerde gelişen faylanmalara bağlı olarak gelişen ikincil gözeneklilik ve bunun sonucu olarak gelişen karstlaşma yaygındır ve hidrojeolojik açıdan geçirimli bir birimdir.

Karstik çöküntüleri ve akarsu vadilerini dolduran alüvyonlar genellikle geçirimli bir özellik göstermektedir. Akçapınar'ın batısındaki GK-16 A, B, C nolu kuyuların bulunduğu ovada alüvyonun üst seviyeleri kil içerdiğinden yerel olarak geçirimsiz özellik göstermektedir. Yamaç molozları birçok yerde karbonat çimentoludur ve içerisinde karstlaşma da görülmektedir. Hidrojeolojik açıdan alüvyon ve yamaç molozları geçirimli olarak kabul edilmiştir.

5. UZAKTAN ALGILAMA DEĞERLENDİRMELERİ

Uzaktan algılama çalışmaları UKAM ve Devlet İstatistik Enstitüsü Uzaktan Algılama Laboratuvarlarında yapılmıştır. İnceleme alanındaki çizgisel unsurların ve olası denizaltı kaynaklarının yerlerinin belirlenmesi amacıyla LANDSAT 5-TM (Thematic Mapper) görüntüleri kullanılmıştır. Bölgenin ayrıntılı uzaktan algılama çalışması Gemalmaz (1994) tarafından yapılmıştır. Çizgisel unsurların belirlenmesi amacıyla LANDSAT-5TM görüntüsünün 471-RGB (Red Green Blue) band kombinasyonu kullanılmıştır. Bu görüntüden belirlenen çizgisel unsurlar Şekil 3' de verilmiştir.

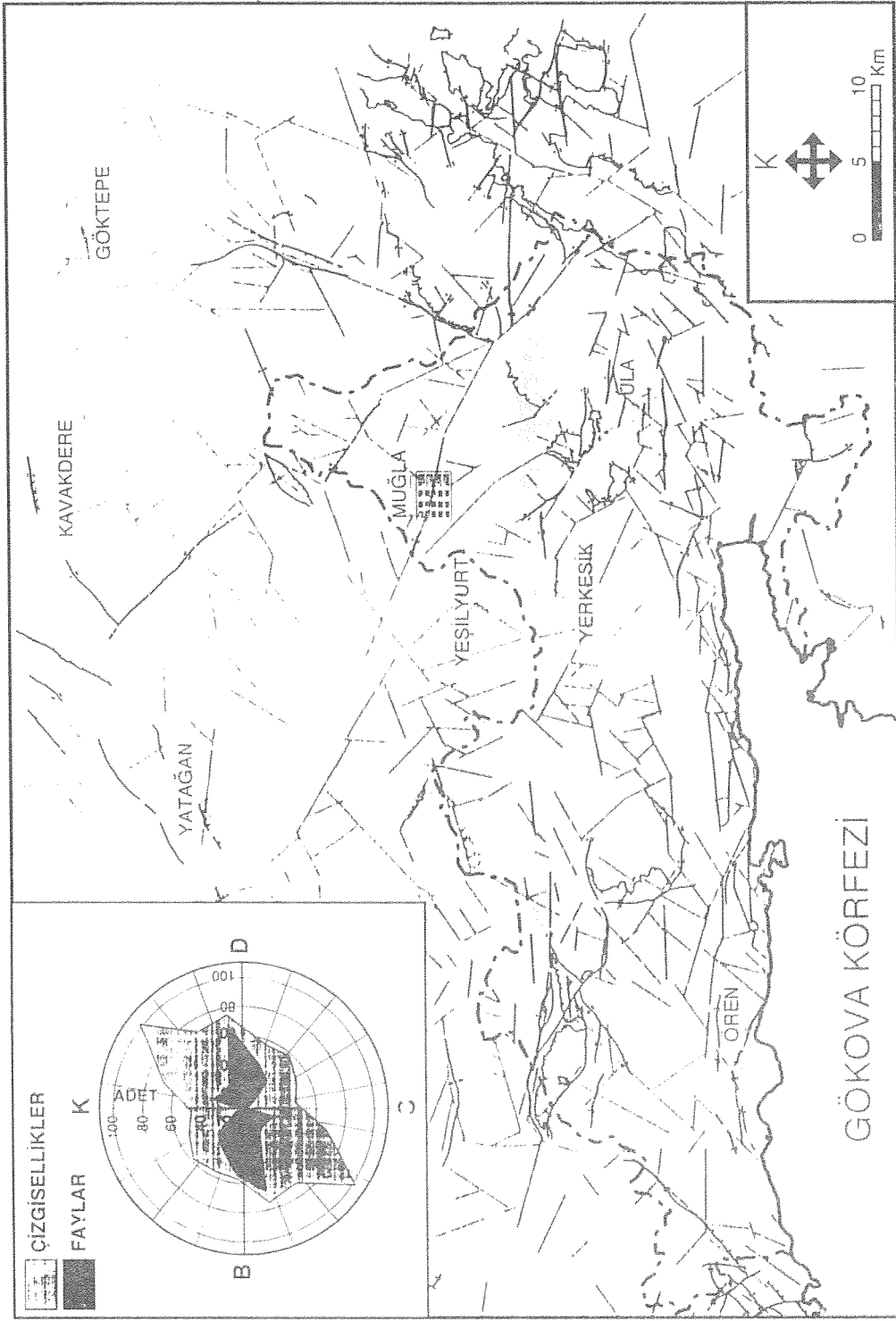
Çizgisel unsurların belirlenmesinde yapısal ve topoğrafik süreksizlikler, aynı doğrultuya sahip çöküntü yapıları ve kaynaklar, nehirlerin yataklarındaki ani yön değişimleri belirleyici unsurlar olarak kabul edilmiştir. Ayrıca bitki örtüsündeki süreksizlikler, aşınmaya karşı dirençleri farklı olan birimlerin yan yana bulunmaları, derin uçurum ve kanyonlar ve sekiler de süreksizliklerin belirlenmesinde yardımcı unsurlar olarak kullanılmıştır.

Ayrıca jeolojik haritadaki tektonik unsurlar ve karstik yapılar ile uydu görüntüsünden belirlenen çizgisellikler Şekil 3 'de karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi Gökova Körfezi'nin kuzey kıyısı boyunca ve drenaj alanının batısında, tektonik unsurlarla çizgisellikler aynı şekilde yönelme göstermektedir.

Uydu görüntülerinden belirlenen süreksizliklerin ve jeolojik haritadaki tektonik unsurların doğrultu dağılımları, 20 derece aralıklarla incelenmiştir. Çizgisel unsurların K30-50°E yönünde tektonik unsurların ise K80-90°E ve K30-50B yönlerinde en yüksek yoğunluğa sahip olduğu görülmüştür (Şekil 3). Çizgisel unsurların Gökova Körfezi kuzey sahilinde, Akbük ve Ören kuzeyinde, Muğla Ovası ve çevresinde, doğuda Namnam Çayı drenaj alanında, Ören kuzeyinde yoğunlaştıkları gözlenmektedir. Benzer şekilde karstik ovalar ve erime hunileri da bölgede yaygın olarak bulunmaktadır. Erime hunilerinin dizilimleri ve ovaların ana eksenleri ana çizgisel unsurlara paralel uzanımlıdır. Bu durum tektonizmanın karstlaşmayı denetlemesine güzel bir örnek oluşturmaktadır. Faylarda ve çizgiselliklerde görülen yönelmeler yeraltısuyunun olası hareket doğrultusunun KD-GB ve KB-GD olabileceğine işaret etmektedir.

Uzaktan algılama çalışmaları kapsamında LANDSAT5-TM uydusunun (Haziran 1984 ve Ağustos 1986) ısı kızıltötesi (6.band/10.4-12.50m) bandları kontrast zenginleşmesi (contrast enhancements) yapılarak olası denizaltı kaynakları ile denize boşalım zonlarının konumları belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 4). Akyaka Köyü ile Akbük arasında Haziran 1984 ve Ağustos 1986 tarihli görüntülerde 16 'şar adet ısı anomalisi belirlenmiştir (Çizelge 1). Her iki görüntüde 12 adet noktada ortak ısı anomalileri görülmektedir. Ortak olarak gözlenmeyen anomaliler numaralandırılmamıştır. Bu noktalardaki deniz derinliği ise, T.C. Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Seyir ve Oşinografi Dairesi tarafından hazırlanmış olan 1/100.000 ölçekli batimetri haritasından belirlenmiştir (DKK, 1976).

Bu dönem, bulutsuzluk, ısı kontrastı gibi faktörler dikkate alınarak seçilmiştir. Görüntülerden anlaşılacağı gibi, deniz üzerinde açık tonlu bölgeler, koyu tonlu bölgelere göre ısı daha düşük olan yerleri göstermektedir. Özellikle Azmak deresinin denize boşaldığı noktada bu ısı farklılığı açık bir şekilde görünmektedir. Her iki



Şekil 3. Ağustos-1986 LANDSAT5-TM görüntüsünden belirlenen çizgisel unsurlar

Mevcut görüntü sayısının iki adet olması nedeniyle ortak olmayan noktaların doğruluklarının belirlenmesi mümkün olmamıştır.

Çizelge 1. Termal band görüntülerinden belirlenen anomalilerin koordinatları

Görüntülerde ortak anomali veren bölgelerin (Universal Transverse Mercator) Koordinatları		
No	(Boylam) X	(Enlem) Y
1	617840	4101200
2	617540	4101410
3	617060	4101230
4	616640	4101500
5	616220	4101230
6	615770	4101200
7	614000	4101080
8	613460	4101200
9	606140	4099910
10	604400	4099100
11	602570	4099010
12	600620	4098980
Ağustos Görüntüsünde ortak anomali vermeyen noktalar (D dan B ya)		
	615260	4101020
	609170	4100120
	601820	4099010
	601160	4099010
	598550	4098950
Haziran Görüntüsünde ortak anomali vermeyen noktalar (D dan B ya)		
	611180	4100210
	609410	4099880
	608210	4100060
	597860	4098920

Çizgisellik haritasından ve Şekil 4 'den görüldüğü gibi olası denizaltı kaynaklarının bulunduğu noktalar çizgisel unsurlarla uyum içerisinde bulunmaktadır. Isı anomalilerinden en büyüğü (1 numaralı boşalım), Azmak deresi ile Akçapınar Deresi'nin denize boşaldığı noktalar arasında görülmektedir. Deniz derinliğinin 13 metreye kadar ulaştığı bu bölgedeki boşalımın varlığı Gökova Limanı'ndan alınan deniz suyu örneğinin analizleri sonucunda da kanıtlanmıştır. Marmaris ve Ören'den alınan deniz suyu örneklerinin EC 'leri ve tuzlulukları sırasıyla 45980-50000> mS/cm ve ‰ 29-32.50 iken Gökova Körfezi'nden alınan örneklerde ortalama olarak 37650 mS/cm ve ‰ 17.68 olarak ölçülmüştür. Bu durum, deniz suyunda birim hacmin %30'u oranında tatlısu katkısı olduğuna işaret etmektedir.

2 nolu anomali Akyaka 'daki Orman Kampının bulunduğu yerde deniz derinliğinin ortalama olarak 7m olduğu bir alanda bulunmaktadır. 3 nolu anomali kıyıda 100m açığa bulunmaktadır. 4 nolu kapanım İskele bölgesinde GK-7 nolu kaynağın denize ulaştığı yerde ve olası diğer boşalmaların etkisi ile oluştuğu düşünülmektedir. Bu anomalinin görüldüğü alanda derinlik 5 metre civarındadır. Bu noktaya yakın olan çizgisel unsurların doğrultuları KD-GB ve D-B yönündedir. 5-6 nolu anomaliler ise, İskele koyunun batısında GK-8 Çınaraltı Kaynağı'nın boşaldığı kıyıda 100 m açığa derinliğinin 8m civarında olduğu bir bölgede yer alır. Bu alanda KD-GB uzanımlı faylar ve aynı ve dik yönlü çizgisel unsurlar bulunmaktadır.

7 ve 8 nolu ısı anomalileri deniz derinliğinin ortalama olarak 15 m olduğu bir bölgededir. Burada da KD-GB uzanımlı faylar ve çizgisellikler yer almaktadır. Bu çizgisel unsurlar, genel olarak normal atımlı faylar ve bu faylar boyunca gelişen vadi, dere yatağı gibi jeomorfolojik unsurlardır.

Ayrıca Gökova Körfezi'nin kuzeyinden batıya doğru gidildikçe her iki bandta da görülen değişik alansal büyüklükte, çap ve yoğunlukta ısı anomalileri izlenmektedir. 8 nolu anomalinin batısında

deniz derinliğinin 10-19 m arasında değiştiği bölgede, kıydan 30 metre açıkta ve faylar ile çizgisel unsurların kesiştiği bölgede 9 nolu anomali yer almaktadır. Bu anomalinin hemen GB sında ise yine fay ve çizgisel unsurun kesiştiği noktada kıydan 60 m açıkta, 10-13 m derinliğin bulunduğu yerde 10 ve 11 nolu anomali yer almaktadır. Çizgisel unsurların konumuna ve uzanımına bakıldığında bu iki noktanın aynı fay hattı boyunca gerçekleşen boşalmalar olduğu anlaşılmaktadır. Son olarak 12 nolu alan deniz derinliğinin 22 m olduğu, kıydan 100m açığa kadar yayılan bir bölgeyi kapsamaktadır.

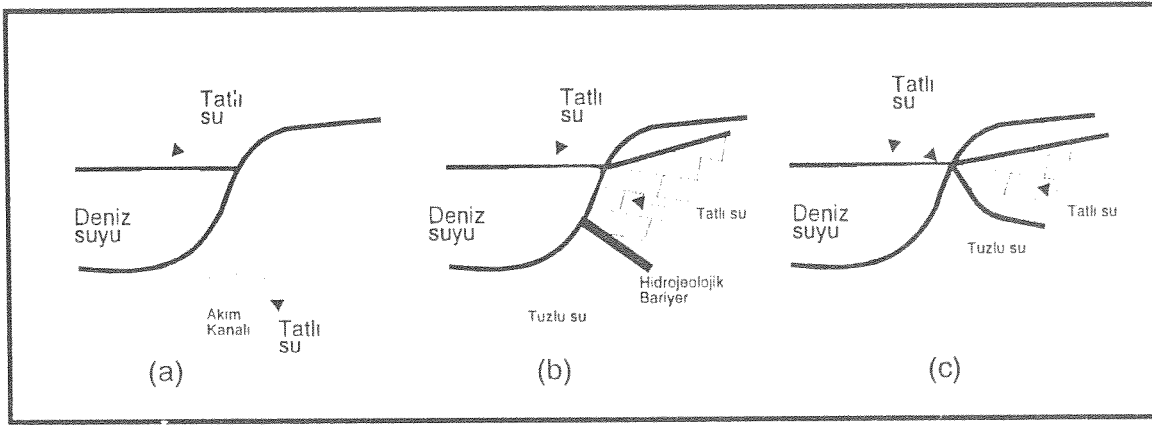
Uydu görüntülerinden belirlenen olası denizaltı kaynaklarının yerinde kontrol edilmesi amacıyla Nisan 1996 tarihinde bir saha çalışması yapılmıştır. Bu noktalara ulaşılması amacıyla, yukarıda koordinatları verilen noktalar Trimble Pathfinder Plus GPS (Global Positioning System) ünitesine yüklenmiş ve tekne ile bu noktalarda derinlik boyunca çeşitli fiziksel/kimyasal parametreler ölçülmüştür. Bu ölçümler HYDROLAB Çok Parametrelili Su Kalitesi Sonda Cihazı (Multiparameter Water Quality Monitoring Instruments) ile yapılmıştır. Bu sonda ile derinliğe bağlı olarak Sıcaklık (°C), İletkenlik EC (mS/cm), pH, TDS (mg/l), Çözünmüş Oksijen (% veya mg/l), Redox Potansiyeli (mV), Bulanıklık (Nessler Bulanıklık Birimi, NTU) parametreleri aynı anda yerinde ölçülmüştür. Ölçümler sırasında, GPS aleti hava koşulları, topoğrafya ve o andaki görebildiği uydu sayısına bağlı olarak bulunan konumun belirlenmesinde bazı hatalara yol açmaktadır. Ölçümlerin yapıldığı noktalar ile görüntülerden belirlenen noktalar arasındaki konum olarak sapmalar Çizelge 2. de verilmiştir.

Çizelgede belirtildiği gibi hava şartlarının elverişsiz olması nedeniyle 2 ve 11 nolu noktaya ulaşılammıştır. Bunun yerine 1 nolu Azmak çıkışından 3 değişik noktada ve Haziran 1984 görüntüsünde belirlenen GK-9 Akbük kaynağının denize boşaldığı bölgede ölçüm yapılmıştır.

Çizelge 2. Denizaltı tatlısu boşalmalarının uydu görüntüsündeki noktalardan sapmaları

Görüntü Koordinatları (UTM)			GPS Koordinatları			EN FAZLA
Nokta No	Boylam X	Enlem Y	Nokta No	Boylam X	Enlem Y	SAPMA ve YÖNÜ
1	617840	4101200	1 Akçapınar	618296	4099616	1648m KB
			1	617917	4100239	964m KB
			1 Azmak	618089	4101291	265m GB
2	617540	4101410	2	Ölçülemedi		
3	617060	4101230	3	617399	4101334	354m GB
4	616640	4101500	4	616607	4101366	138m KD
5	616220	4101230	5	616090	4101100	183m KD
6	615770	4101200	6	615583	4101022	258m KD
7	614000	4101080	7	613978	4100950	131m KD
8	613460	4101200	8	613407	4101105	108m KD
9	606140	4099910	9	606395	4099930	255m GB
10	604400	4099100	10	604507	4099198	145m GB
11	602570	4099010	11	Ölçülemedi		
12	600620	4098980	12	602824	4098662	2226m KB
13	597860	4098920	13	597755	4098952	109m GD

Çizelge 3 de verilen parametreler incelendiğinde tatlı su çıkışı olan noktalardaki (1, 4, 6, 13 nolu noktalar) ölçümlerde deniz suyu ile tatlı suyun karakterleri arasındaki farklılıklar görülmektedir. Tatlısu çıkışı olan noktalardaki deniz suyunun sıcaklık, pH, EC, TDS, DO, Eh, ve bulanıklık değerleri düşmektedir. Derinlik arttıkça deniz suyu kendi karakteristik değerine dönüş eğilimi göstermektedir. Dikkate değer bir diğer sonuç ise tatlısu çıkışlarının belirlenmesinde yüzeyde yapılan ölçümlerin doğru sonuçlar vermesidir. Tatlısuyun yoğunluk farkından dolayı yüzeye çıkması bunun nedeni olarak görülmektedir. Tatlısu çıkış biçimleri için Şekil 5' de verilen muhtemel ilişkiler söz konusudur.



Şekil 5. Tatlı su boşalmalarının deniz içindeki yayılım biçimleri(Kurttaş, 1997'den)

Cizelge 3. Nisan 1996 tarihinde yapılan deniz suyu ölçümlerinin sonuçları

NOKTA NO	KOORDİNAT		Zaman ssdss	Derin (m)	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	Eh (mV)	Bula (NTU)	Katkı* (%)
	X	Y										
1	618089	4101291	184205	Y	15.89	7.52	6343	4060	6.18	-88	5.8	88.2
Azmak												
1	617917	4100239	182333	Y	16.43	8.18	36930	23600	7.63	-114	7.4	26.4
Akçarpnar-Azmağ Arası			182236	3	17.18	8.36	50330	32200	7.48	-120	8.9	-
1	618296	4099616	180747	Y	16.43	8.00	4350	2780	8.02	-136	13.1	92.2
Akçarpnar Azmağ												
3	617399	4101334	173726	Y	17.04	8.24	43926	28100	7.45	-102	9.8	12.3
Orman Kampı			173622	1	16.82	8.35	48795	31200	7.61	-109	10.1	2.4
			173526	2	17.06	8.35	49734	31800	7.55	-116	9.9	0.5
4	616607	4101366	172433	Y	16.63	8.18	38119	24400	7.69	-122	9.4	24.0
Deniz Restaurant II												
5	616090	4101100	170945	Y	16.63	8.20	41949	26800	7.64	-114	9.5	16.3
			171302	1.5	16.80	8.37	49795	31900	7.63	-97	8.6	0.4
			171210	3	16.87	8.38	50008	32000	7.66	-100	8.5	-
			171114	6	16.76	8.38	50556	32400	7.65	-104	8.8	-
6	615583	4101022	170000	Y	16.54	8.20	42118	27000	7.48	-107	9.8	15.9
Çınaraltı			165829	3	16.68	8.34	49955	32000	7.59	-117	11.8	0.1
7	613978	4100950	164306	Y	16.66	8.38	50713	32500	7.65	-113	7.9	-
			164219	5	16.32	8.39	51676	33100	7.68	-119	8.8	-
8	613407	4101105	163307	Y	16.80	8.37	50210	32100	7.64	-105	8.3	-
			163213	3	16.64	8.38	51164	32700	7.76	-109	7.1	-
			163119	6	16.31	8.38	51664	33100	7.74	-115	8.8	-
9	606395	4099930	153827	Y	16.61	8.39	50802	32500	7.75	-104	7.7	-
			153740	3	16.41	8.39	51195	32800	7.77	-108	7.6	-
			153655	5	16.25	8.38	51311	32800	7.77	-113	8.0	-
			153558	10	16.07	8.38	51667	33100	7.74	-121	9.8	-
10	604507	4099198	151918	Y	16.28	8.38	50774	32500	7.73	-103	8.3	-
			151825	3	16.19	8.38	51174	32800	7.73	-108	9.0	-
			151740	5	16.23	8.38	51240	32800	7.74	-113	10.1	-
12	602824	4098662	150129	Y	16.21	8.30	49102	31400	7.68	-92	6.3	1.8
			150041	3	16.18	8.31	49283	31500	7.68	-96	3.1	1.4
			145925	5	16.15	8.38	51312	32800	7.73	-102	6.1	-
			145822	10	16.15	8.37	51494	33000	7.72	-108	6.9	-
13	597755	4098952	141442	Y	15.99	8.29	46930	30000	7.68	-74	2.0	6.2
			141321	1	15.91	8.30	47442	30400	7.65	-76	2.6	5.2
			141217	3	15.78	8.31	49918	31900	7.63	-77	2.1	0.2
Akbük Azmağ Çıkışı			141054	5	15.99	8.33	50706	32500	7.58	-80	1.5	-
			140913	10	16.00	8.38	51462	32900	7.71	-84	0.8	-
			140754	15	16.07	8.38	51502	33000	7.78	-87	0.7	-

Y: Deniz yüzeyinden alınmıştır

*: Bu örnekteki noktasal olarak tatlı su katkısını belirtmektedir

Genel olarak yoğunluk farkından dolayı tatlısu yüzeye çıkma eğilimindedir. Şekil 5 (a) da deniz tabanındaki bir karstik kanaldan olan tatlısu çıkışını, (b) hidrojeolojik bariyer nedeniyle deniz tabanından çıkan tatlı suyun olası hareketini, (c) ise deniz seviyesine yakın veya deniz seviyesinin çok az üstündeki tatlısu çıkışlarını göstermektedir. Hangi çıkış mekanizması olursa olsun, sonuç olarak tatlısu çıkış noktalarının belirlenmesindeki en kolay yöntem yüzeyde yapılacak olan ölçümler olarak görünmektedir. Ancak hava koşullarına bağlı olarak oluşabilecek akıntılar tatlısuyun çok daha hızlı dağılmasına neden olabilmektedir. Nitekim saha çalışmasının gerçekleştiği Nisan-1996 tarihinde hava koşullarının kötü olmasından ötürü bazı anomalilerin varlığı kanıtlanamamıştır.

Çizelge 3 'de verilen, deniz suyunda tatlısu katkıları Appello and Postma (1992) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Karışım } m(\%) = \frac{EC_D - EC_A}{EC_D - EC_K} * 100 \quad (1)$$

Burada,

EC_D : Deniz suyunun EC değeri (50000 mS/cm)

EC_A : Deniz suyundan etkilenmemiş tatlı yeraltısuyunun EC değeri (500 mS/cm)

EC_K : Anomalide ölçülen EC değeri (mS/cm)

Çizelge 3 de deniz suyunda ölçülen EC değeri 50000 mS/cm nin üzerinde olan noktalarda tatlısu katkısının olmadığı kabul edilmiştir. Bu durumda 1, 3, 4, 5, 6, 12, 13 nolu noktalarda deniz suyu içindeki tatlısu oranlarının %1 ile 92 arasında değiştiği belirlenmiştir. Sadece 7, 8, 9, 10 nolu noktalarda bu katkı görünmemektedir. Ölçülen diğer parametrelerde de bu noktalarda tatlısu katkısını gösterecek herhangi bir bulguya rastlanamamıştır.

Azmac deresinin denize boşaldığı bölgede (1 nolu anomali) yapılan ölçümler tatlısu katkısının %26.4 ile %92.2 arasında değiştiğini göstermektedir. Aynı şekilde Akbük azmağı çıkışında, denizde yapılan ölçümlerde bu katkı %6.2 olarak hesaplanmıştır. Akyaka içindeki Orman kampının kıyından yaklaşık 50m açıktaki yapılan ölçümler sonucunda tatlısu katkısının %12 civarında olduğu belirlenmiştir. Bu bölgede tatlısu katkısından dolayı oluşan akıntılar ve yoğunluk, yağimsı doku ile gözle de görülebilmektedir. GK-7 Deniz Restaurant II kaynağı açığında denizde yapılan ölçümde de %24 lük tatlısu katkısı hesaplanmıştır. Diğer tatlısu boşalmaları GK-8 Çınaraltı kaynağına yakın olan 4 ve 5 nolu anomalilerin bulunduğu bölgede ve Akbük 'ün doğusundaki 12 nolu noktadır. Bu noktalardaki tatlısu katkıları sırası ile %16.3, %15.9 ve %1.8 dir.

Tatlısu katkılarının olduğu bölgelerde EC dışındaki ölçülen bazı parametrelerde de farklılıklar gözlenmektedir. Örneğin çözünmüş oksijen değerleri karışım zonundan deniz suyuna doğru gidildikçe artmaktadır. Öte yandan, genel olarak 8.38 civarındaki deniz suyunun pH değeri, tatlısu katkılarının olduğu yerlerde azalmaktadır.

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Uydu görüntülerinden belirlenen süreksizliklerin ve jeolojik haritadaki tektonik unsurların doğrultu dağılımları, 20 derece aralıklarla belirlenmiştir. Çizgisel unsurların K30-50°E yönünde, tektonik unsurların ise K80-90°E ve K30-50°B yönlerinde en yüksek yoğunluğa sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Yüzeysel karst yapıları (erime hunileri ve uvalalar) Ören kuzeyi ile Akbük kuzeyi arasında kalan alan ile Muğla GB-KD su ile bindirme zonu boyunca sayısal olarak yoğunlaşmaktadır. Bunların dizilimleri genel olarak KD-GB ve KB-GD doğrultusunda olup; %62 den fazlası 1000m kotunun üstündedir. Faylarda ve çizgiselliklerde görülen yönlenmeler de benzer şekilde yeraltısuyunun olası hareket yönlerinin KD-GB ve KB-GD yönlerinde olması gerektiğini göstermektedir.

Uzaktan algılama çalışmaları kapsamında Haziran 1984 ve Ağustos 1986 LANDSAT5-TM uydu görüntülerinden belirlenen olası denizaltı kaynakları ve denize boşalım zonları sahada kontrol edilmiş ve yerinde ölçülen hidrojeokimyasal parametreler ile varlıkları kanıtlanmıştır; Azmac deresinin denize boşaldığı bölgedeki kaynaklarda tatlı su katkısı %26.4 ile %92.2 arasında değişmektedir. Aynı şekilde, Akbük azmağı çıkışında, denizde yapılan ölçümlerde bu katkı %6.2 olarak hesaplanmıştır. Akyaka içindeki Orman kampının 50m açıktaki yapılan ölçümler sonucunda tatlı su katkısının %12

civarında olduğu belirlenmiştir. GK-7 Deniz Restaurant II kaynağının deniz tarafında yapılan ölçümde de %24 lük tatlisu katkısı hesaplanmıştır. Diğer tatlı su boşalmaları GK-8 Çınaraltı kaynağına yakın bölgede ve Akbük 'ün doğusundadır. Bu noktadaki tatlisu katkıları sırası ile %16.3, ve %1.8 hesaplanmıştır. Bütçe hesaplamaları sonucu yağışın yaklaşık % 37 si ne karşılık gelen $627 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'lık bir su hacmi ($20 \text{ m}^3/\text{s}$) denize boşalmaktadır. Bu değer havza içindeki bütün kaynakların toplam verdisinin yaklaşık 1.5 katına karşılık gelmektedir (Kurttaş, 1997). Azmak kaynak grubunda kaynak geliştirilmesi sonucunda bölgede şu anda ve gelecekteki su gereksiniminin karşılanabileceği düşünülmektedir. Ancak deniz suyu girişiminden etkilenmemiş, diğer bir deyimle tuzlanmamış suyun alınabilmesi için daha yüksek kotlarda kuyu açmak veya denize yakın ve kıyıya paralel bir drenaj ile tuzlanma etkisini azaltarak tatlı su almak mümkün görülmektedir. Bu amaçla Akyaka batısındaki Çaydere içinde açılacak derin kuyular ile tatlisu almak olası görülmektedir.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Akat, U., Öztürk, Z., Öztürk, E. M., Çağlayan, A., 1975, Menderes Masifi Güneyi SW Toros Kuşağı İlişkisi (Ön Rapor), MTA Enstitüsü Jeoloji Şubesi, MTA Rapor no 5488, 58s., Ankara.
- Appelo, C.A.J. and Postma, D., 1992, Geochemistry, Groundwater and Pollution Free University, Lecture notes, Amsterdam (unpublished).
- D.K.K., 1976, 1/100.000 Ölçekli Marmaris Batimetri Haritası, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı, İstanbul
- DSİ, 1992, Muğla Gökova ve İskele Kaynakları Geliştirilmesi Karst Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi, Ankara.
- Eroskay, O., Gözübol, A.M., Gürpınar, O., Şenyuva, T., 1992, Muğla Gökova ile Milas-Savran ve Ekinambarı Karst Kaynaklarının Jeolojik ve Hidrojeolojik İncelemesi, Sonuç Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Gemalmaz., A. 1994, Gökova Karst Kaynakları Sisteminin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemi Teknikleri ile Değerlendirilmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s., Ankara (basılmamış).
- Kurttaş, T., 1997, Gökova (Muğla) Karst Kaynaklarının Çevresel İzotop İncelemesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 250s., Ankara (basılmamış).
- Meşhur, M ve Yoldemir, O., 1983, Köyceğiz(Muğla) Datça (Muğla)-Yatağan (Muğla) Kale (Denizli) Arasında Kalan Alanın Jeolojisi ve Petrol Olanakları, TPAO Arama Grubu Başkanlığı, Arşiv no1847.
- Meşhur, M., Yoldemir, O., Akpınar, M., Öztaş, Y., Alkan, H., 1995, Batı Toroslar'ın Jeolojisi ve Petrol Olanakları, TPAO Arama Grubu Başkanlığı (Basılmamış).