

Mehmet EKMEKÇİ

Hacettepe Üniversitesi, Hidrojeoloji Mühendisliği Ana bilim Dah, 06532, Beytepe - ANKARA

Karstik alanlarda baraj yeri hidrojeolojisi çalışmalarında morfolojik indikatörlerin pratik yararları

Karst hidrojeolojisi çalışmalarında morfolojik analizlerin önemi, karstik akiferlerin beslenme rejimlerinin tamamıyla beslenme alanında hakim olan morfolojik yapılara bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle, uzaktan algılama tekniklerinden yararlanılarak karstik yapıların türü, morfolojisi konumu, yoğunluğu ve dağılımı ile ilgili olarak yapılan morfolojik analizlere dayanarak belirli bir doğrulukla, karstlaşma süreçlerinde etkili olan etmenler ortaya konabilmekte ve buradan karstlaşma evrimi konusunda sağlıklı yorumlamalar yapılabilmektedir. Bu tür bilgilerin pratik yararları, karstik alanlarda inşaatı planlanan baraj gibi hidroteknik yapıların hidrojeolojik yapılabilirliklerinin ortaya, konmasında önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, morfolojik indikatörlerden yararlanılarak karstlaşma evriminin açıklanması yaklaşımı incelendikten sonra bu yaklaşımın pratik yararı Türkiye'de inşaatı süren bir baraj yerinde karstlaşma tabanının belirlendiği bir örnekle gösterilmiştir.

Giriş

Karstik alanlarda planlanan mühendislik projelerinde karşılaşılan risk, karstlaşma derecesi ve geometrisine ilişkin sağlıklı değerlendirmelerle en aza indirilebilmektedir. Mühendislik yapılarının projelendirilmelerinde dikkate alınması gereken en önemli parametrelerden birisi,, "karstlaşma.

tabam' olarak adlandırılan ve karşılaşmanın durduğu seviyedir. Rezervuar alanından meydana gelebilecek kaçaklar yanında,, baraj yerinden mansaba doğru oluşabilecek kaçaklar karstik alanlarda baraj inşaatlarında, sık karşılaşılan sorunların başında, gelmektedir. Bu tür so kaçaklarının önlenmesi için planlanan geçirimsizlik, perdelerinin, tasarımı ise karstlaşma tabanının geometrisine ilişkin, sağlıklı bilgileri, gerektirmektedir. Karstlaşmanın son. bulunduğu bu seviye, karstlaşabilen karbonatlı kayalar arasında görece olarak geçirimsiz, olan litolojik. bir katman, olabildiği gibi, geçirimsiz bir birim, de: olabilmektedir. Karstlaşma tabanı geometrisinin tam olarak ortaya konabilmesi çok. sayıda araştırma sondajı ve bu sondaj kuyularında basınçlı su testleri gibi büyük deneyim» zaman ve maliyet gerektiren yöntemlerle olanaklıdır. Oysa, başta hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri olmak üzere uzaktan algılama tekniklerinin kullanılması söz konusu maliyet önemli oranda düşürülebilmektedir. Yüzey drenaj özellikleri ile karstik yapılar arasındaki ilişkiler, karstlaşma evrimi, açısından yorumlanabilmektedir. Bu tür ilişkilendirmelerin yorumlanabilmesi için herşeyden önce morfolojik yapıların karstlaşma süreçlerindeki yerinin,, dolayısıyla morfolojik analizlerin karst çalışmalarındaki öneminin bilinmesi gerekmektedir.

Karstlaşma

Karst teriminin 19. yüzyılın sonlarında ortaya çıktığı dönemlerde yüklenmiş olduğu anlam ile bugün taşıdığı anlam arasında önemli farklar bulunmaktadır. Karst terimi,, morfolojik, anlamdan, bugün kullanıldığı hidrojeolojik anlama doğru evrimleşmiştir. Bugünkü anlamıyla karstik bir alan, kendine özgü, hidrolojisi ve morfolojisi ile karstik olmayan alanlardan ayrılmaktadır. Bu özel hidroloji ve morfoloji karstik alanlardaki jeolojik, koşulların hidrolojik çevrimin etkisiyle gelişen faidrokimyasal erozyonun sonucunda oluşmaktadır. Jeolojik koşullar' litosteatigrafi ve tektonik.

tarafından denetlenmektedir. Eyaporiüer ve karbonatlı kayaçları gibi doğal sulan etkisiyle çözünöföen kayaçlar karstlaşabilen kayaçlardır. Ancak, 'yüksek çözünörlüğe sahip olmak karstlaşma için yeterli değildir, karstlaşmayı sağlayan diğör etken tektonizmanın etkisiyle gelişen, ikincil gözenekliliktir. Çözünörlüğü ve birincil gözenekliliğı yüksek kayaçların bulunduğu alanlarda karstlaşma. İleri derecede gelişmez. Bu tür alanlarda kimyasal, karozyon her noktada eşit oranlarda meydana geleceğinden tercihli, akım yollarının oluşması çok daha düşük bir olasılıktır. Karstlaşma, tercihli akım yollarının gelişmesini sağlayan anizotropiyi oluşturan ikincil gözenekliliğın iyi derecede gelişmesine bağlıdır., ikincil gözenekliliğı oluşturan kırık ve çatlaklar, doğal sulan etkisiyle genişlemeye başlar ve giderek tercihli yeraltı akım yollarını., erime kanalları ve mağaralar ve yeraltı nehirlerini oluştururlar. Bu şekilde yüzey solan, hızlı bir şekilde yeraltına doğru süzölür ve- hidrolojik havzada yüzey drenajından çok yeraltı drenajı baskın duruma geçer. Buradan anlaşılabilceğı gibi, yüzey ve yeraltı karst morfoloji yapılan, karstik havzalarda hidrolojik, rejimi denetlenmektedir. Yeraltı drenajının, baskın hale gelmesi, havzanın, kurak bir görünüm kazanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, kuraklık, karstik havzaların özellikleri arasındadır.

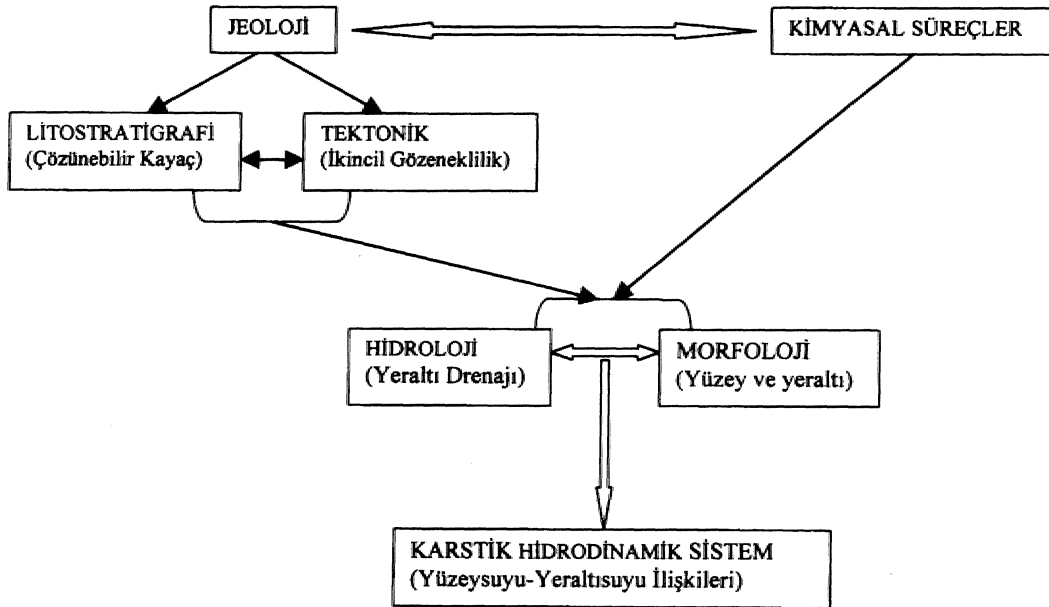
Şekil r de verilen, şema, morfolojinin karstlaşma süreçleri içindeki yerini göstermektedir. Bu aşamadan sonra, karstlaşma süreçlerinde etkili, olan. faktörlerin daha. iyi anlaşılabilmesi için. karstik alanlar ile karstik olmayan, alanların hidrojeolojik açıdan faridannın kısaca ortaya, konması büyük yararlar sağlayacaktır. Görölüğü gibi karst terimi, morfolojik, anlamını aşmış, hidrojeolojik bir anlam taşımış-

tır. Bu nedenle» 'karstik. alanın, akiferi ile birlikte tanımlanması gerekmektedir., Karstik bir akifer., akımın büyük bir kısmının., kimyasal, çözünme sonucunda genişlemiş eklemeler., faylar, katmanlanma dillemleri., gözenekler., boşluklar, kanallar ve mağaralarda oluştuğı akifer olarak, tanımlanmaktadır. Bir karstik akiferi., 'karstik olmayan akiferlerden ayıran özellikleri Çizelge I'de verilmiştir. Görölüğü gibi» bu özelliklerden etkin gözeneklilik., anizotropi, heterojenlik, beslenme rejimi» gibi özellikler- doğrudan, akım türü, akım. hızı, depolama gibi özellikler' ise dolaylı olarak morfolojik, yapı. ile ilişkilidir.,

Morfolojik indikatörlerin karstlaşma evriminin belirlenmesindeki yeri

Karstik bir alanın en. belirgin özelliklerinin başında, drenaj türü gelmektedir., iyi gelişmiş, karstik bir sistemde drenaj, yeraltında gelişmiş yapılar yoluyla gerçekleşir.. Yüzey drenajı hemen hemen hiç bulunmaz. Yüzeydeki küçük kapalı havzalar oluşturan çökme yapılan yeraltı drenajının göstergesidirler.. Buna 'karşın, yüzey drenajı da, iyi gelişmemiş -veya. karstik olmayan sistemlerin göstergeleridir., Dolayısıyla, havzanın drenajının hangi tür yapılarla (yüzey, yeraltı, veya herikisinin karışımı) sağlandığı havzadaki, karstlaşma derecesiyle ilişkilendirilebilir. Ancak., yüzey 'drenajı., karstlaşmanın başlangıç evresinde baskın drenaj türü olabildiğı, gibi, karstlaşmanın son evresinde de. baskın hale gelebilmektedir.

Övjiç (1918), dolin ve uvalaların evrimi ile ilgili olarak verdiği modelde., karstlaşmanın derinlere doğru, geliştiğini ve bu. gelişmenin karstlaşmanın duracağı bir seviyeye kadar



Şekil 1. Karstlaşmada etkili olan faktörler ve birbirleri ile olan ilişkileri

Çizelge I, Farklı türdeki akiferlerin gösterdiği özellikler (Smart and Hobbes, 1986'dan uyarlanmıştır),.

Özellik	Taneli	Akifer	Kıvrıklı-Çatlaklı	Akifer	Karstik Akifer
Etkin Gözeneklilik izotropi		Başlıca Birincil Genelde izotrop	• Başlıca ikincil Izotrop-çoğunlukla orta derecede anizotrop		Başlıca Üçüncül Yüksek derece anizotrop
Homojenlik Akım.		Genelde homojen Yavaş ve laminer	Görece daha heterojen Hızlıca ve türbülanslı olmaya yatkın		Tamamen heterojen Çok hızlı ve türbülanslı
Akımın oyduğu, yasa Depolama		Genelde Darcy Doygun Bölgede	Darcy çoğu. durumda geçersiz Doygun Bölgede		Darcy geçersiz Doygun ve Doygun olmayan Bölgelerde
Beslenme		Alansal, (yaygın)	Genelde alansal» yerel olarak noktasal		Tümüyle alansaldan tümüyle noktasala kadar ¹
Yükün, zamanla değişimi Su kalitesinin zamanla değişimi		Minimum Minimum	Orta derecede Minimum-orta derecede		Yüksek Orta derecede-yüksek

sürebileceğim, ileri sormuştur (Ford and Williams» 1989). Dinar karstı için öne sürdüğü model Şekil 2'de gösterilmiştir, Modele göre birinci aşama, karbonatlı kayaçların kaim bir¹ istif oluşturduğu ve geçirimsiz kayaçların derinde' bulunduğu koşulları temsil etmektedir. Bununla birlikte, karşılaşma henüz gelişmemiş ve havza yüzey drenajına sahiptir. Alanda yüzeysel karstik yapılar bulunmamaktadır. BE aşamada karstlaşma çok zayıftır (Şekil 2a.).

Bundan sonraki aşamalarda kimyasal ve fiziksel süreç geçirimsizliğin derinlere doğru artmasına neden olmaktadır. Karstlaşma olarak adlandırılan bu süreçler, tabanda bulunan geçirimsiz, birimler karşılaşılana kadar devam eder, Bu aşamalar sırasında, yüzeyde, dolin, uvala gibi kapalı çökme yapıları oluşur ve yüzey drenajı, yerini yeraltı drenajına bırakır (Şekil b» c). Bu aşamalar, karstın iyi geliştiği olduğu, olgun karst aşamalarıdır. Şekil 2 d'de gösterilen, son. aşama ise karşılaşmanın temel geçirimsiz litolojiye kadar ilerleyip daha fazla derine inemediği, böylece yeraltı drenajının yavaşlayıp yerini yeniden yüzey drenajına bıraktığı son evreyi temsil etmektedir., Bu aşamada,, karstlaşma sona ermiştir.

Bu aşama öncesinde, yüzeyde bulunan ve yeraltı drenajının, girdi yapılarını oluşturan, morfolojik yapılar,, yavaş yavaş yüzey drenajı unsurları (akarsu kolları» dereler) tarafından kapılarak açık vadilere dönüşmektedirler. Yağışlı dönemlerde göl halinde,, kurak dönemlerde ise dağlar arasında kuru düzlükler oluşturan dolin ve uvalalar, yeraltı drenajının yavaşladığı son aşama öncesinde sürekli göl ve bataklıklar haline dönüşmektedirler., Ancak, bu tür yapıların» yerel karstlaşma. tabanı olarak adlandırılacak yerel geçirimsiz, birimlerin varlığı ile de oluşabileceği dikkate alınmalı., araştırmalar buna göre yönlendirilmelidir.

Uzaktan, algılama, teknikleri ile gerek su içeren kapalı çökme yapıları, gerekse akarsu, kollar ve dereler' tarafından

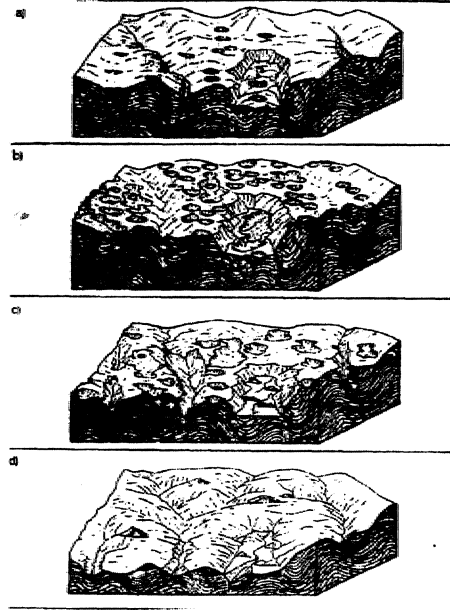
kapılmış veya kapılmak üzere olan çökme yapıları, kolaylıkla, ayırdedilebilmektedir.

Pabuçdere (Kırklareli) Havzası örneği

Baraj yeri seçiminde genellikle, vadi geometrisi, kayaç dayanımı ve kayaçların geçirimsizliği gibi parametreler dikkate alınmaktadır., Karbonatlı kayaçların oluşturduğu alanlarda vadiler genellikle dar ve dik yamaçlı olup iyi bir dayanıma sahiptirler. Ancak, birincil gözeneklilikleri düşük olsa da yüksek ikincil gözeneklilik, karstlaşma süreçlerini, hızlandırdığından, bu tür ortamlarda her zaman, kaçak riski mevcuttur. Kaçak riskinin analizi, karstlaşma tabanının belirlenmesi ile başlar¹. Çünkü, kaçak, bir yüzey suyu-yexaltı suyu ilişkisi şeklinde değerlendirilmelidir., Bu ilişkiyi, ise karstik ortamlarda karst yapıları olarak tanımlanan yüzeydeki morfolojik yapılar (dolin, düden, uvala. vbg) ile yeraltı morfolojik yapılar (mağaralar, erime kanalları, yeraltı nehirleri vbg) sağlar,

Bu kapsamda, karstik alanlarda planlanan barajların hidrojeolojik açıdan yapılabirliklerine- ilişkin çalışmalarında, morfolojik indikatörlerden nasıl yararlanılabileceği, Kırklareli iline bağlı Kırıkköy'de inşaatı sürmekte olan Pabuçdere Barajı örneği. verilerek gösterilmeye çalışılmıştır (Şekil 3). Pabuçdere barajının inşaat edildiği Pabuçdere havzası yaklaşık 10 km²'lik bir¹ alana sahip küçük bir havzadır.,

Şekil 4'de görüldüğü gibi,, çalışma alanı genel olarak Orta-Üst Eosen, yaşlı kireçtaşı ile kaplıdır (Kasar., 1987). Kireçtaşları, kuzeyde ve güneyde,, Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı geçirimsiz metamorfik temel kayalar ile sınırlanmıştır. Düden, dolin, mağara gibi karstik yapılar, alanda yaygın olarak gözlenmektedir., Karstik kireçtaşlarının kalınlığı, altta, yeraltı metamorfik birimlerin paleotopografyasını bağlı olarak 40 m ile 400 m. arasında, değiş-



Şekil 2. Karstlaşma evriminin morfolojik modeli (Cvijic, 1918; Ford and Williams, 1939)..

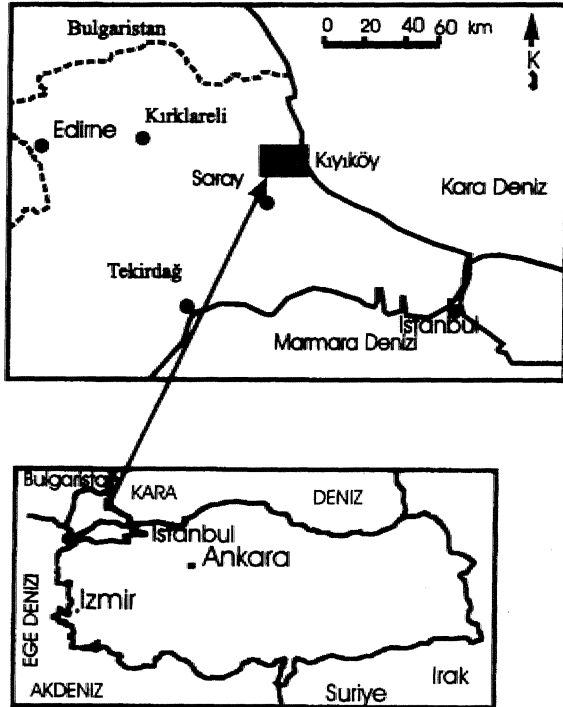
1. Aşama: Yüzeysel drenaj baskın, yüzeysel karst morfolojisi gelişmemiş, karstlaşma tabanı derin..
2. Aşama: Yeraltı drenajına geçiş, yüzeysel karst morfolojisi gelişmiş, karstlaşma tabanı derin..
3. Aşama: Yeraltı drenajı baskın, yüzeysel morfolojisi olgun, karstlaşma tabanı sıkışmakta,
4. Aşama: Yüzeysel drenajı baskın, yüzeysel morfolojisi erozyonla kaybolmuş, karstlaşma tabanı sıkış..

mektedir. Âlânda yapılan, jeoelektrik çalışmalar, Pabuç-
deire'nin üzerinde aktığı kireçtaşlarının» 20 m yükseltisinde
planlanan baraj yerinde 250 m*ye kadar ulaştığını göster-
miştir (ÜKAM, 1996).. Kireçtaşlarının kalınlığı» metamor-

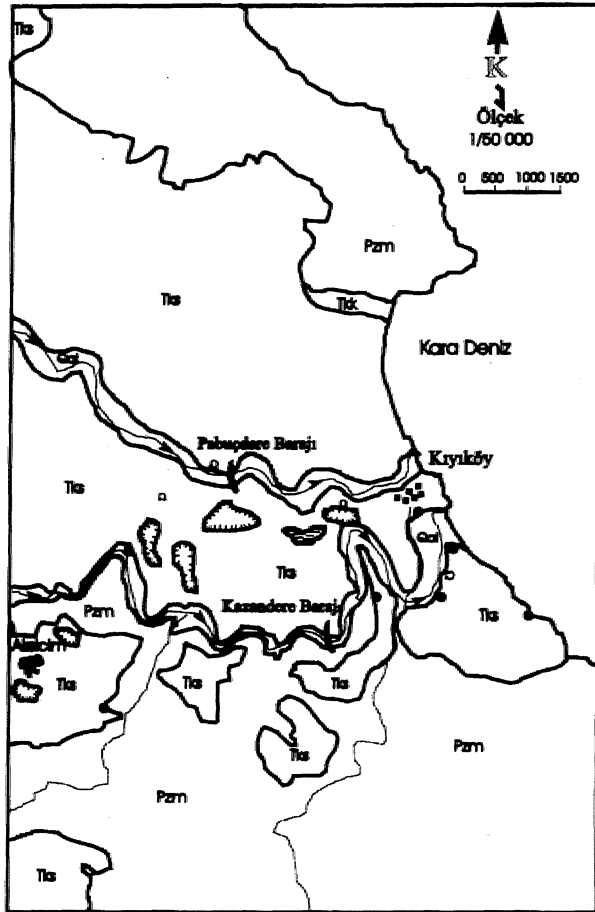
fik kayaların yüzeylendikleri alanlara doğru gidildikçe
azalmaktadır.

Düden ve dolinler, çalışma, alanında yaygın olarak göz-
lenen karstik yapılarıdır. Buna karşın» havzanın drenajının
büyük oranda, yüzeysel drenajı ile sağlandığı görülmektedir.
Havzada, farklı litolojik birimleri boşaltan, çeşitli debilere
sahip 21 adet kaynak bulunmaktadır. Havzadaki en büyük
dehili kaynak, (640 l/s) 110 m. yftksel.tisin.de boşalmaktadır.
Hidrolojik, analizler, su bütçesinin dengede olduğunu gös-
termiştir (Babayiğit, 1.997). Bu sonuç, beslenmenin, hav-
zada meydana gelen yüzeysel akış ve kaynaklardan olan
boşalma eşit olduğunu, dolayısıyla, deniz, kıyısına yakın
olan bu alanda, denize doğru boşalmanın, olmadığı, veya
önemsiz, derecede olduğu, şeklinde değerlendirilebilir.

Hava fotoğrafları kullanılarak yapılan, değerlendirmeler,,
havzada belirlenen dolinlerin büyük bir bölümünün
bir yüzeysuyu tarafından kapıldığı ve- kapılmak üzere
olduğunu göstermiştir' (Şekil. 5), Bu durum, yüzeysel
drenajın, havzada, yeniden baskın, hale geldiğinin bir göster-
gesi olarak değerlendirilmiştir;. Sürekli su. altında bulunan,
dolinlerin. varlığı diğer bir gösterge olmuştur.. Yeraltı
drenajının yavaşlaması veya tamamen durması» bu karstik
yapıların, göl ve bataklık görünümüne dönüşmesine neden
olmuştur.. Hava fotoğrafları üzerinde yapılan ba. morfolojik.
değerlendirmeler, çalışma, alanında, geçirimsiz, metamorfik.
birimlerin derinde olmalarına karşın karşılaşma tabanının.



Şekil 3. Çalışma alanının bulduru haritası



Ukam (1996)'dan uyarlanmıştır.

Açıklamalar

	Kuvaterner Alüvyon Geçirimli
	Eosen Kireçtaşı Geçirimli-Karstik
	Paleosen-Detritikler Geçirimsiz
	Paleozoyik-Metamorfikler Geçirimsiz

	Karsik çöküntüler
	Göl veya bataklık
	Kaynak
	Mağara
	Baraj yeri

Şekil 4. Çalışma alanının basitleştirilmiş hidrojeoloji haritası,

siğ olduğu sonucuna götürmüştür. Cvijic (1918)'in verdiği modele göre, çalışma alanında karşılaşma son. evrelerine yakın bir dönemde olmalıdır.

Söz konusu değerlendirme ve yorumlamaların doğrulanması, amacıyla arazide jeofizik ve sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Uzaktan algılama tekniklerinden, sonraki aşama olarak jeoelektrik yöntemlerle yapılan, çalışmalar, karstik çöküntülerin bulunduğu noktalarda kireçtaşı kalınlığının belirlenmesine yönelik olmuştur. Yapılan değerlendirmeler, özellikle sürekli su .altoda kalan karstik çöküntülerin bulunduğu alanlarda metamorfik temelin yüzeye, çok yakın (9 m) olduğunu göstermiştir (UKAM, 1996).

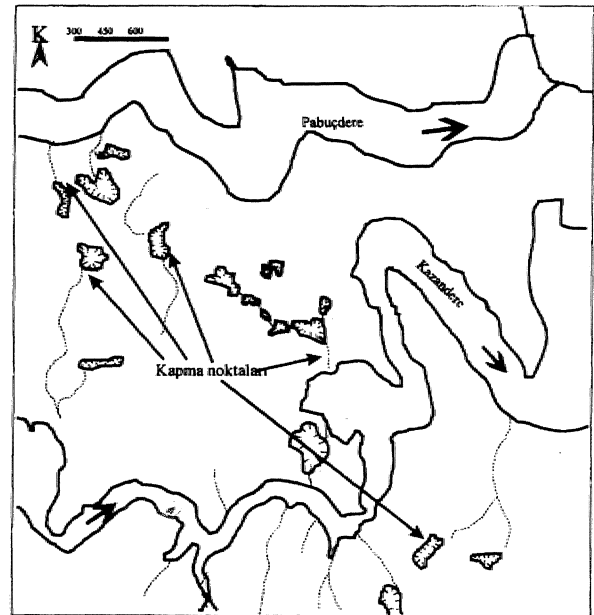
Öte yandan» havzada, yüzeysel drenajın, başlan hale gelecek,, yeraltı drenajına girdi sağlayan dolinlerin akarsu kol-

lan tarafından kapılarak vadilerin bir parçası durumuna geldiği belirlenmiştir (bkz. Şekil 5). Yapılan jeofizik çalışmaları dolinlerin akarsular tarafından kapıldıkları, bu kesimlerde kireçtaşı kalınlığının 50 m'yi geçmediğini göstermiştir. Bu durum havzada karşılaşma tabanının sığlaştığı şeklinde yorumlanmıştır. Nitekim, havzadaki karst kaynaklarının deniz seviyesinden belirli bir yükseltiden itibaren görülmesi (10 m), etkin karstlaşma derinliğinin bu seviyede^ durduğu şeklinde- değerlendirilebilir.

Morfolojik gözlemler ile Jeofizik ölçümler,, çalışmaların bir sonraki, aşaması olan sondaj çalışmaları ile denetlenmiştir. Amaca, yönelik olarak seçilen lokasyonlarda. açılan sondajlarda, karstlaşma derecesinin belirlenmesi amacıyla basınçlı su testleri de yapılmıştır. Sondaj çalışmaları, jeofizik yöntemlere dayanarak yapılan değerlendirmeleri doğrulamıştır. Sondajı kuyularında yapılan basınçlı su testleri, geçirimsizliğin, yüzeye yakın kesimlerde yüksek olduğunu, derinlere doğru gidildikçe kireçtaşının geçirimsizleştiğini (hidrolik iletkenlik = 10^{-8} m/s mertebesinde) göstermiştir.

Morfolojik analizlerinfaı pratik yararları.

Pabuçdere baraj yerinin deniz seviyesinden sadece 20 m, yüksek olması ve. bu. kesitte kireçtaşının 250 metre dolayında bir kalınlığa sahip olması planlamada çeşitli kaygılara neden olmuştur., Havzada, çok sayıda dolin ve dilden, bulunması, ilk bakışta yoğun bir karstlaşmanın varlığını, göstermektedir, .Kireçtaşının kalın olması, geçir-



Şekil 5. Karstik çöküntülerin akarsu kolları tarafından kapılması.

imsizlik. perdesinin inmesi gereken derinliğin belirlenmesinde güçlükler neden olmuştur. Bu tür kararların alınabilmesi yüksek maliyet gerektiren yoğun bir sondaj çalışmasını gerektirmektedir. Karsüaşma tabanının belirlenmesi, geçirimsizlik perdesinin, tasarımı açısından" temel bilgileri, sağlamaktadır.

Görüldüğü gibi, karelik alanlarda mühendislik yapılarının projelendirilmesinde karşılaşılan soranların aşılabilmesi, özellikle yüzeysuyu ile yeraltısuyu arasındaki ilişkilerin, ayrıntılı bir şekilde incelenmesini gerektirmektedir. Karstlaşma tabanına ilişkin bilgiler bu tür çalışmalarda büyük öneme sahiptir. Arazi çalışmalarından önce, uzaktan, algılama teknikleri ile havzadaki morfolojik yapıların değerlendirilmesi,, nem zaman, hem de maliyet, açısından büyük yararlar sağlamaktadır. Pabuçdere baraja, örneğinde olduğu, gibi bu tür çalışmalar,, özellikle büyük maliyet gerektiren sondaj çalışmalarına dayalı geçirimsizlik perdesinin tasarımında daha az sondaj ile sonuca Yarmayı sağlayabilmektedir.

Morfolojik analizlerden sonra,, karşılaşmanın hangi aşamada, olduğu belirlenmiş, buna göre seçilen kesitlerde jeofizik, çalışmaları yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelerin doğruluğu, seçilen lokasyonlarda açılan sondaj kuyular ile denetlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler, alanda karstlaşma tabanının deniz seviyesinin yaklaşık 10 metre üzerinde kaldığını, dolayısıyla baraj yerinde önemli miktarlarda, su kaçağı meydana, gelmeyeceği sonucuna varılmıştır. Bu sonuca dayanarak, geçirimsizlik perdesi için, verilen sondajı programında sondaj kuyusu sayısı ve derin-

liği,, maliyeti önemli oranda düşürecek şekilde: azaltılmıştır.,

Katkı belirtme ve teşekkür

Bu çalışma, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Su ve Kanalizasyon Genel Müdürlüğü (İSKİ) adına yapılan araştırmaların bir parçası olarak Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst. Su Kaynakları Araştırma Merkezi. (UKAM) tarafından yürütülmüştür. Yazar, jeofizik çalışmalarını büyük bir özveri ile yürüten Mustafa Şişman'a teşekkür eder.,

Değinilen Belgeler

- Babayiğit, H. G., 1997, Kıyıköy (Kırklareli) Havzası ve Yakın Dolayının Karst Hidrojeolojisi İncelemesi» Yüksek. Müh. Tezi. H.Ü. Fen Bilimleri. Enstitüsü, Ankara,, 164 s»
- Fold, D. C. and Williams» H. W., 1989, Karst Geomorphology and Hydrology,, Unwin Hyman,, London, 601 s.
- Kasar,, S., 1987, Edirne'-Kırklareli-Saray (Kuzey Trakya) Bölgesinin Jeolojisi,, Türkiye 7. Petrol. Kongresi Bildirileri, Ankara, 281-297 s.
- Smart, P. L. and Hobbes, S., L» 1986,, Characterization of Carbonate Aquifers» A Conceptual Base,, Proc. F Environmental Problems in Karst. Tenanes and Their Solutions. Conference» Kentucky, 13.
- Ukam, 1996» Kırklareli (Kıyıköy)' Pabuçdere Barajı (Birinci Aşama), Karst. Hidrojeolojisi İncelemesi» Final Raporu» H.Ü. UKAM-İSKİ Genel Müdürlüğü, Ankara, 76 s, .