

# KARSTİK ORTAMLARDA COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ TEKNİKLERİNDEN YARARLANILARAK YERALTISUYU AKIMININ MODELLEMESİ

*B.Teoman MERİÇ, Levent TEZCAN*

*Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM)  
06532 Beytepe-Ankara*

## ÖZET

Karst akifer sistemlerinin akım dinamiği, yapının heterojen ve anizotrop özellikleri sebebiyle granüler (taneli) akifer sistemlerinden büyük farklılıklar göstermektedir. Karst akifer sisteminin bu karmaşık yapısını gözönüne alan, topoğrafya tabanlı üç boyutlu bir yeraltısuyu akım modeli için gerekli olan konumsal ve tanımsal verilerin hazırlanması, alansal dağılımlarının belirlenmesi; sistemin fiziksel yapısının modele aktarılmasında büyük önem taşımaktadır. Hidrojeolojik sistemlerde, modelin kabul ettiği varsayımlar kadar, coğrafik verilerin hassas ve belirli bir düzen içinde modele aktarılması ve modelin kalibrasyon (ayarlar) ve verifikasyon (sağlama) aşamalarında kolaylıkla kontrol edilebilmesi de modelin başarısında büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple bu işlemler için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) (Geographic Information System-GIS) tekniklerinden faydalanılmıştır.

Modelin girdisi olan coğrafya tabanlı veriler (topoğrafya, morfoloji, drenaj ağı, eğim, yönelim, litoloji, yapısal jeoloji elemanları) ile zamanın fonksiyonu olan hidrolojik veriler (yağış, buharlaşma, akım) CBS katmanı şeklinde derlenmiş, hesaplanmış ya da türetilmiştir. Topoğrafik haritalar, Landsat TM uydu görüntüleri, hava fotoğrafları, jeoloji-hidrojeoloji haritaları, stratigrafik kesitler, akım, yağış, sıcaklık ve buharlaşma kayıtları gibi çok geniş bir kaynak gruplarından elde edilen bu veriler bilgisayar ortamına aktarılmış ve yardımcı bilgisayar programları aracılığı ile modelin kullandığı formatta düzenlenmiştir.

Bu kapsamda Antalya traverten platosu karst kaynakları hidrojeolojik sistemi uygulama alanı olarak seçilerek geliştirilen yeraltısuyu akım modeli uygulanmıştır.

## 1.GİRİŞ

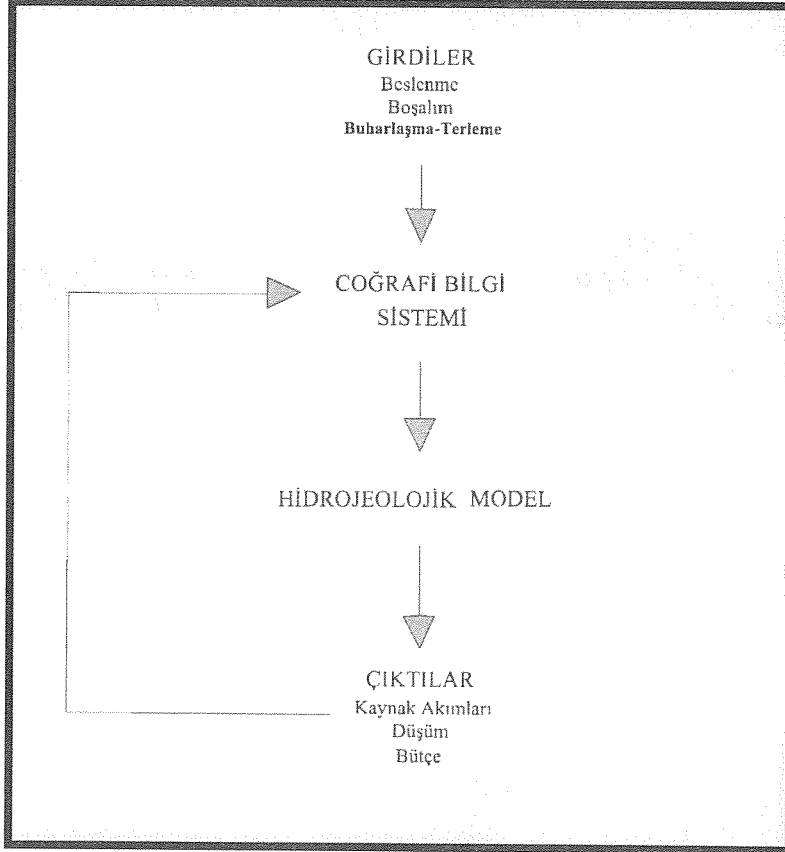
Karmaşık hidrojeolojik sistemlerinin analizinde sayısal yeraltısuyu akım modellerinin kullanımı ile sistemin daha ayrıntılı bir biçimde tanımlanması mümkün olmaktadır. Bunun sonucu olarak model alanının her noktası için zamanın ve konumun fonksiyonu olan çok sayıda ölçülmüş ve türetilmiş veri ortaya çıkmaktadır. Bu verilerin organizasyonu ve değerlendirilmesi oldukça uzun zaman ve çaba gerektirmektedir. Bu durum göz önünde tutularak, karmaşık ve büyük ölçekli hidrojeolojik sistemlerin analizinde kullanılmak üzere Meriç (1997) tarafından coğrafya tabanlı üç boyutlu yeraltısuyu akım modeli geliştirilmiştir. Modelde gereksinim duyulan grafik (konumsal) ve grafik olmayan (tanımsal) verilerin hazırlanması, alansal dağılımların belirlenmesi, model ayarlaması (kalibrasyon) ve sağlanması (verifikasyon) sırasında Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS; Geographic Information System:GIS) tekniklerinden faydalanılmıştır.

## 2.HİDROJEOLOJİK MODEL VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ ETKİLEŞİMİ

Hidrojeolojik modeller akifer sistemi ile ilgili çok sayıda zamanın ve konumun fonksiyonu olan veriye ihtiyaç duymaktadır. Bu verilerin hazırlanması, gerektiğinde alansal dağılımların belirlenmesi, modele uyumlu bir şekilde aktarılması, kalibrasyon sırasında kolaylıkla değiştirilebilmesi uygulamada karşılaşılan en önemli problemler arasındadır. CBS, modelleme çalışmalarındaki bu sorunların çözümü için kullanılabilir etkin bir yöntemdir. CBS donanımı ve yazılımı ile coğrafi verilerin, coğrafya referans alınarak tasarım, depolama, güncelleme ve analiz yolu ile bilgilerin organize edilmiş bir şekilde bir arada toplanma ve belli özelliklerine göre sınıflama olanağını vermektedir.

Hidrojeolojik bir sisteminin geometrik ve hidrolik özelliklerinin oluşturulan bir veri bankasında depolanması ve bu veri bankası ile model programı arasında kurulacak ilişki ile hidrojeolojik modeller daha kullanışlı bir hale getirilecektir. CBS'nin üç boyutlu verileri işleyebilme özelliği, akifer sisteminin daha ayrıntılı tanımlanmasına olanak sağlayacağı için modelin kalitesini arttıracaktır. Ayrıca bu sistem sahip olduğu yüksek grafik özellikler sayesinde çok iyi bir gösterim olanağı vermektedir.

CBS ve Model arasındaki ilişki sadece coğrafya tabanlı verilerin hazırlanması, güncelleştirilmesi ve gerektiğinde değiştirilmesini içermektedir (Şekil 1). CBS, hidrojeolojik sistemin gerçeğe uygun bir şekilde modele yansıtılabilmesi için kullanılan bir araçtır ve modele katkısı sistemi daha ayrıntılı şekilde temsil edebilme yeteneğini arttırmakla sınırlıdır.



Şekil 1. Model ve CBS arasındaki ilişki

### 3.YERALTISUYU AKIM MODELİ

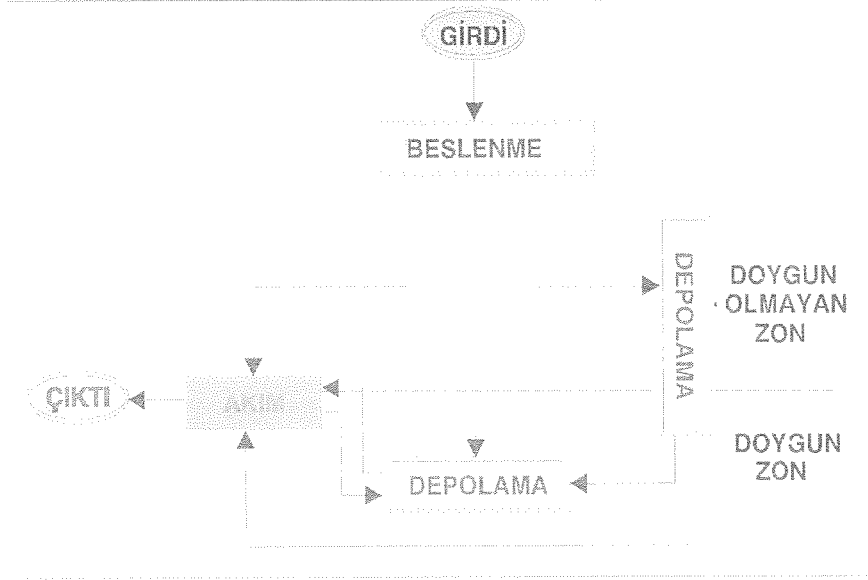
Yeraltısuyu akım modelleri ile hidrojeolojik sistem analizleri gün geçtikçe yaygınlık kazanmakta ve birçok hidrojeolojik probleminin çözümünde etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Modelin geçerliliği ortamın temsili için kullanılan varsayımların ve ayrıntıların gerçek sistemin özelliklerini yansıtmasına bağlıdır. Sisteme ait verilerin bolluğu, kalitesi ve temsil ediciliği model sonuçlarının ayrıntılı, kaliteli ve açıklayıcı olmasının ön koşuludur. Ayrıca sistemin heterojen ve anizotrop özellikte olması durumunda kullanılan verilerin bolluğu, kalitesi ve temsil ediciliği iki kat önem taşımaktadır. Bu çeşit bir sistemde tahmini veya ortalama değerler kullanılarak yapılacak hidrojeolojik modelleme çalışmasının güvenilirliği düşecektir.

#### 3.1.KARSTİK AKİFER SİSTEMLERİNDE YERALTISUYU AKIM MODELİ

Granüler akifer sistemleri için geliştirilmiş akım modelleri sürekli ortam ilkesi üzerine kurulmuş olup akım alanının her kesiminde enerjinin, kütle ve momentumun korunumuna dayalı akım eşitlikleri ile ifade edilirler. Buna karşılık karst akiferleri için akım alanının sürekliliğinden bahsetmek mümkün değildir. Karst akifer sistemleri heterojen ve karmaşık bir yapıya sahip, geometrik

yayılımı tanımlanamayan akım alanlarından oluştuğu için bu tür hidrojeolojik sistemlerin modellenmesinde sürekli ortam modellerinin kullanılması mümkün değildir. Bu sebeple karstik sistemlerin modellenmesinde beslenme-boşalım ilişkisine dayalı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Örneğin akifere ait girdi-çıkıtı değişkenlerinin (yağış- akım, buharlaşma, vb.) ölçülerek bu değişkenler arasında ilişkiler aranması esaslarına dayanan kara kutu yaklaşımı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Bezes, 1976; Drouge and Guilbot, 1982; Arıkan, 1988; Arıkan and Tezcan, 1989).

Karst akifer sisteminin anlaşılması, sistemin beslenme, akım ve depolama özelliklerinin belirlenmesi ile gerçekleşir. Tipik bir karst akifer sistemi için basit bir girdi-çıkıtı modeli Şekil 2'de verilmiştir.

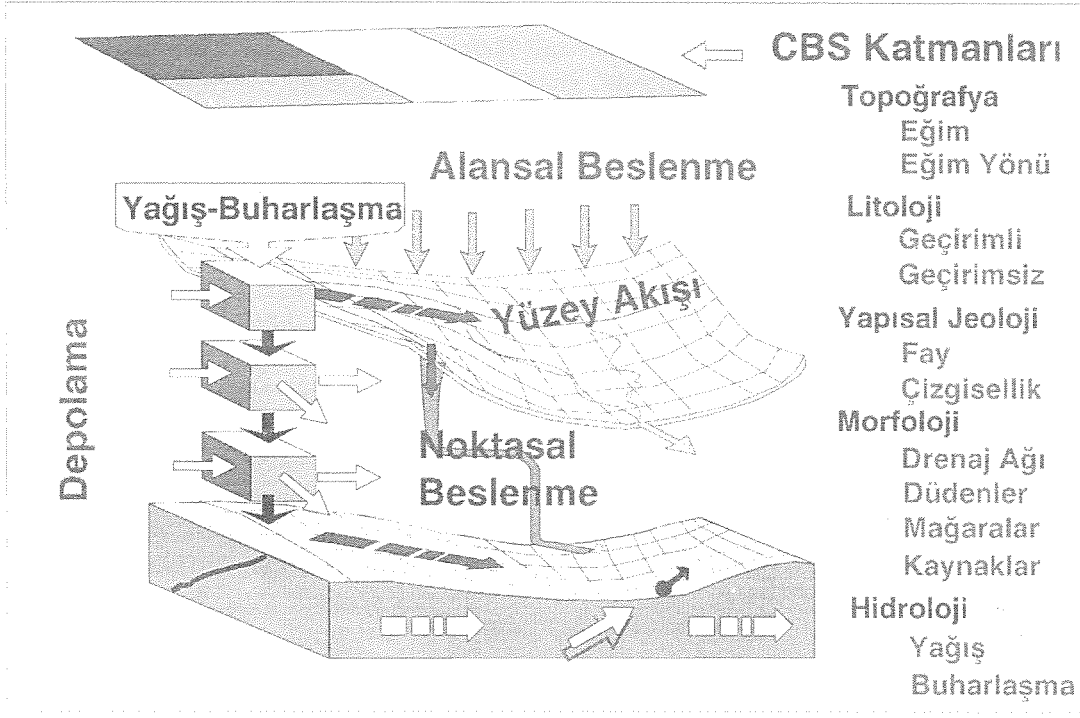


Şekil 2. Karst akiferleri için basit bir girdi-çıkıtı modeli (Smart and Hobbs ,1986)

Karst akifer sisteminin beslenme, depolama ve akım özellikleri son derece alansal heterojenlik gösterirken zamana bağlı olarak da önemli değişiklikler gösterirler. Sistemin beslenme mekanizması, noktasal beslenme ile alansal beslenme gibi iki uç arasında olabilir. Akım, yaygın ve yerel dolaşım sistemlerine göre gerçekleşirken, akım alanı içerisinde depolama çok yüksek ya da çok düşük olabilir. Buna göre karst akifer sistemi bazı kesimlerinde suyu depolayan ve ileten bazı kesimlerinde ise sadece ileten özelliklere sahiptir. Sistemin bazı kesimlerinde ise yeraltısuyu hiç bulunmaz. Bu yapısı ile sürekli ortam koşullarına uymayan karst akiferlerinde kütle, enerjinin ve momentumun korunumuna dayanarak türetilen ve hidrolik yükün konumun ve zamanın bir fonksiyonu olarak kullanıldığı yeraltısu akım eşitliklerin uygulanması mümkün değildir. Bu nedenle, hidrolik yük dağılımı ilkesi yerine, alt sistemler ile temsil edilen rezervuarlardaki hacim dağılımı ilkesine dayanan bir model yaklaşımı Meriç (1997) tarafından geliştirilmiştir. Söz konusu modelde CBS gerek modelin ihtiyaç duyduğu hassas verilerin hazırlanması gerekse gerekli değişimlerin yapılabilmesinde büyük avantajlar sağlamıştır.

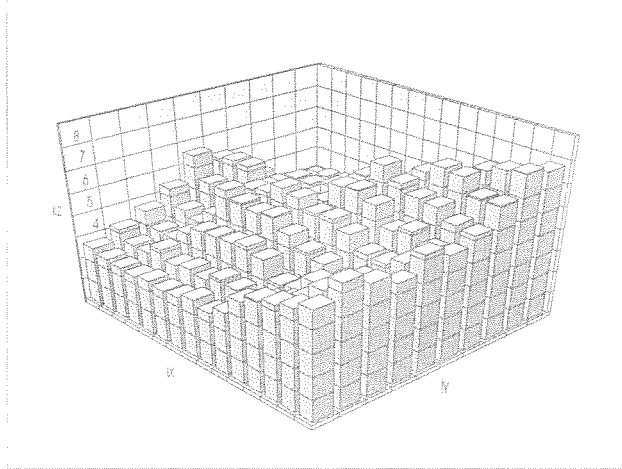
### 3.1.1.MODEL YAPISI

Meriç (1997) tarafından geliştirilen karst akifer sisteminin süreksizliği ile beslenme, boşalım ve depolama özelliklerinin heterojen yapısını gözönüne alan topografya tabanlı üç boyutlu yeraltısu akım modelinin genel yapısı Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Modelin genel yapısının şematik gösterimi  
(Beven vd., 1980'den uyarlanmıştır.)

Topoğrafya tabanlı olarak geliştirilen model alanında her özellik ve değişken, coğrafi koordinatların ve gerekirse zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Akifer sistemi (Dx, Dy, Dz) boyutlarında üç boyutlu kübik hücelere ayrılmıştır. Buna bağlı olarak sistem (x,y,z) koordinat sisteminden (sıra (ix), sütun (jy), katman (kz)) sistemine dönüştürülmüştür (Şekil 4).



Şekil 4. Hücre dağılımı ve hücre kalınlıklarının topoğrafyaya göre değişimi

Herhangi bir hücrenin hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla her hücreye bir kod (GeoCode) verilmiştir. Litoloji ve hidrojeoloji özelliklerine göre sayısallaştırma sırasında verilen bu kod (-) değerler aldığı hücre geçirimsiz, (+) değerler aldığı hücre aktif bir akifer alanı, (0) değerini aldığı hücre ise sabit su seviyesi (deniz, göl, vs.) olarak değerlendirilmektedir. Farklı hidrojeolojik özelliklere sahip birimler farklı (+) kodlar ile temsil edilmektedirler.

Her hücre için her zaman adımında düşey ve yatay yönlü beslenme gerçekleşebilmektedir. En üst kotta bulunan hücreler için düşey yönde beslenme etkin yağıştan süzülme ile gerçekleşmektedir. Bu amaçla, yağış gözlem istasyonlarında gözlenen yağış değerleri (Prec(t)) ile buharlaşma gözlem istasyonlarında gözlenen buharlaşma (Evp(t)) değerleri ara-kestirim ile her hücreye dağıtılmaktadır.

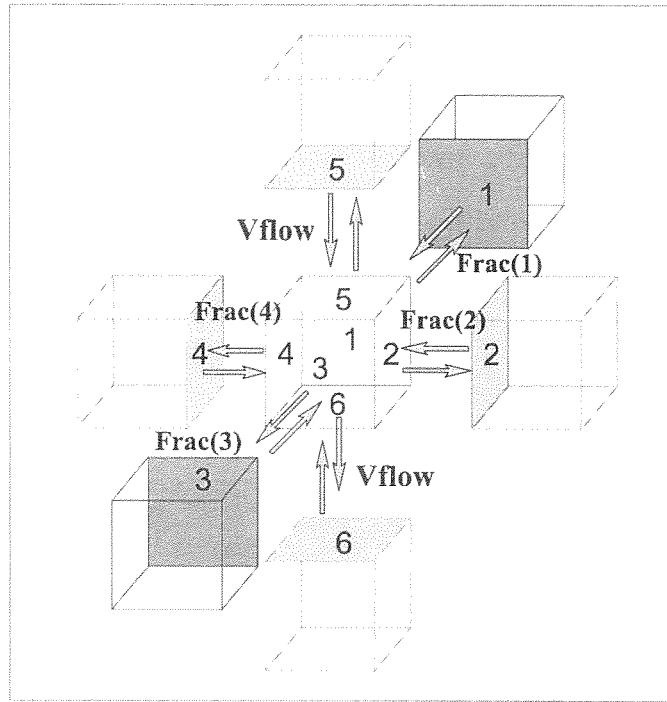
Herhangi bir hücre içerisine beslenme ile gelen suyun ilk olarak düşey yönde hareket ettiği varsayılmıştır. Ancak, karstlaşmanın ve buna bağlı olarak düşey yönlü hareketin miktarının (Vflow) derinlik ile ters orantılı olduğu varsayılmıştır. Herhangi bir hücrede bir düden, çöküntü, vb. noktasal beslenme sağlayacak karstik bir unsur var ise yüzeysel depolamanın tamamı süzülmemektedir.

Yüzeysel akış topoğrafya tarafından kontrol edilmektedir. Yüzeysel akış yönü topoğrafik yönelime bağlıdır. En büyük eğim değerinin gözlemlendiği yön olarak tanımlanabilecek yönelim (aspect) kuzeyden itibaren saat yönünde hesaplanan açı şeklinde tanımlanmıştır.

Beslenme ile hidrojeolojik sisteme giren su düşey ve yatay yönde akışa geçmektedir. Hücreler arası yeraltısuyu akımı hidrolik yük gradyanı yerine hücreler arası hacim gradyanına bağlı olarak kontrol edilmektedir. Buna bağlı olarak akım değerinin büyüklüğü hücre içerisindeki yeraltısuyu depolama miktarına bağlıdır. Akım alanındaki herhangi bir hücreden komşu 6 hücreye akım olabilir.

Hücreler arası akım, Tezcan (1993) tarafından önerilen akım öteleme eşitliği kullanılarak belirlenmektedir. x-y düzleminde meydana gelen akımın komşu hücrelere dağılımı ise hücreler arasındaki hacimsel gradyana bağlıdır. Buna göre her hücre için her zaman adımı komşu hücreler ile o hücre arasındaki hacimsel gradyana bağlı olarak bir paylaşım katsayısı (Frac) belirlenmektedir (Şekil 5).

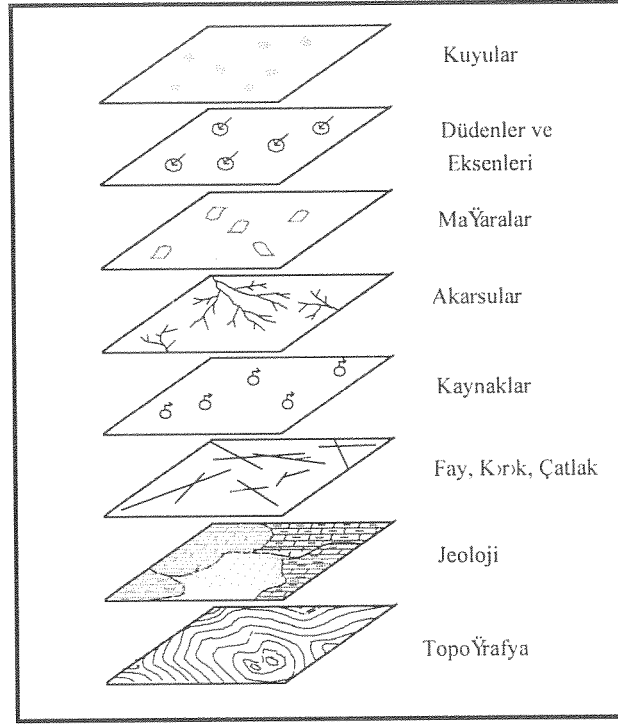
Karst akiferinin boşalım noktasını oluşturan kaynaklar en üst kotta yer alan hücreler aracılığı ile benzeştirilmektedir. Bu hücrelere gelen akımın tamamı kaynak şeklinde yüzeylemekte ve kaynaktan çıkan su o hücreden itibaren yüzeysel depolamaya katılıp yüzeysel akışa geçmektedir.



Şekil 5. Hücreler arası yeraltısuyu akımının şematik gösterimi

### 3.1.2.MODEL GİRDİ VE PARAMETRELERİ

Oluşturulan akım modeli topoğrafya tabanlı olduğundan model girdilerinin önemli bir kısmı topoğrafyaya dayanmaktadır. Model tarafından kullanılan başlıca coğrafi veriler topoğrafik kot, eğim ve yönelim değerleri, jeolojik kodlar, hücre boyutları, kaynak, düden, çizgisellik, yağış ve buharlaşma gözlem istasyonları koordinatlarıdır. Buna ek olarak günlük yağış ve buharlaşma değerleri zamana bağlı verileri oluşturmaktadır. Tüm bu veriler bir Coğrafi Bilgi Sistemi katmanı şeklinde oluşturulmuştur (Şekil 6).



Şekil 6. Sayısallaştırılan unsurların CBS katmanı şeklinde gösterimi

Model parametreleri ise her bir litoloji için süzülme katsayısı ile her hücre için boşluk hacmi ve boşalım katsayısı (beslenme olmaması durumunda hücredeki yeraltısuyunun tamamen boşalması için gerekli süre) değerleridir. Model kalibrasyonu bu değerlerin ayarlanması ile sağlanmaktadır.

#### 4.ÖRNEK ÇALIŞMA: ANTALYA TRAVERTEN PLATOSU KARSTİK KAYNAKLARI HİDROJEOLJİK SİSTEMİ

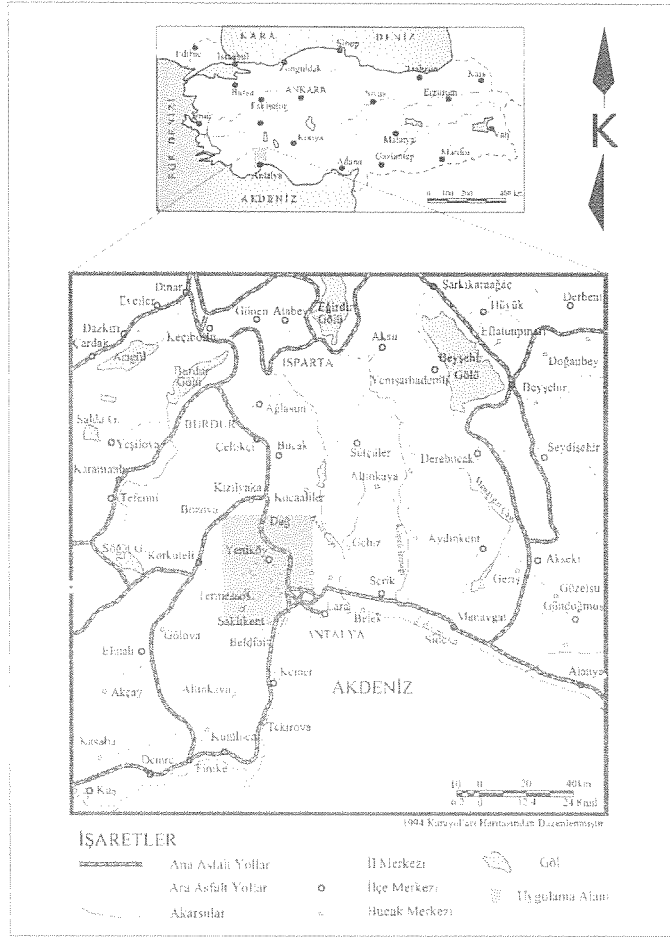
##### 4.1. Uygulama alanının genel tanıtımı

Önceki bölümde ana hatları ile anlatılan yeraltısuyu akım modeli, 630 km<sup>2</sup>'lik Antalya Traverten Platosu ve platoyu kuzeyden ve batıdan çevreleyen Beydağları otoktonunun bir kısmından oluşan toplam 1866 km<sup>2</sup>'lik bir alan için uygulanmıştır (Şekil 7).

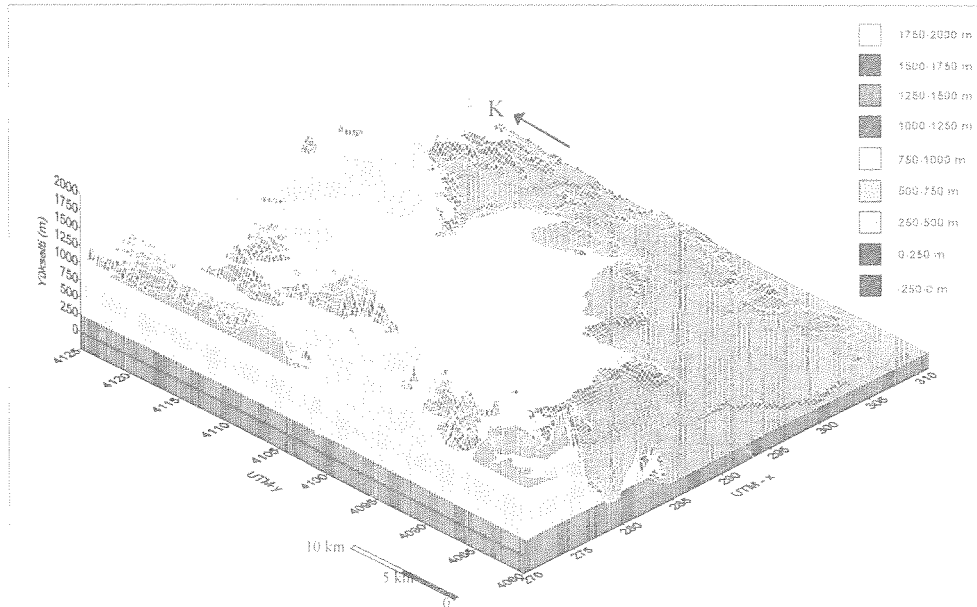
##### 4.2. Hücre dağılımı ve sınır şartları

İnceleme alanı, 250 m x 250 m boyutlu 165x181 adet hücreye ayırılmıştır. Düşey yönde hücre sayısı topoğrafyaya bağlı olarak değişiklik göstermekte olup -250 m ile 1960 m kotları arasında 250 m kalınlığında maksimum 9 hücre bulunmaktadır (Şekil.8).

Modelin benzeşim süresi için 1960-95 yılları arası seçilmiş ve günlük bazda çalışılmıştır.



Şekil 7. Uygulama alanı yer bulduru haritası

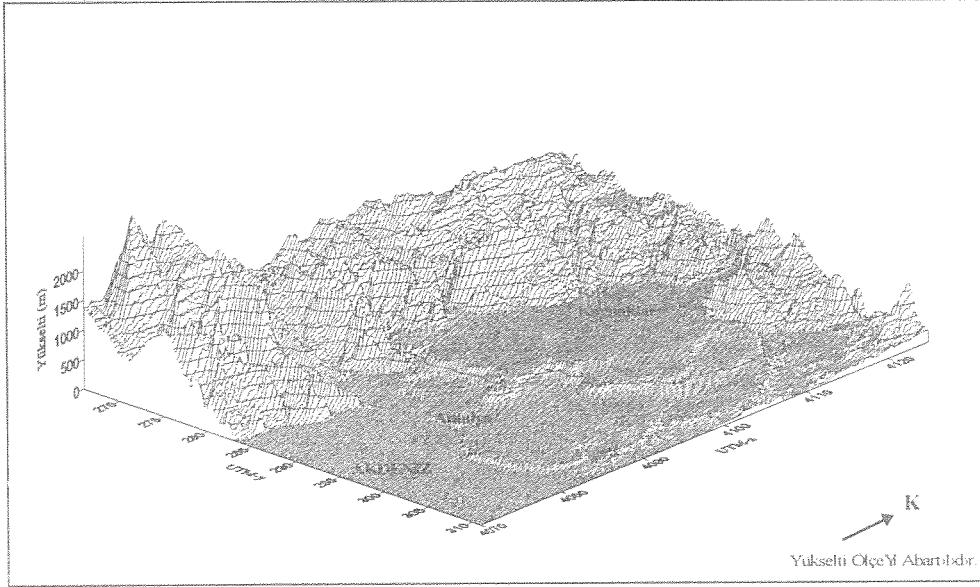


Şekil 8. Model hücrelerinin uygulama alanında 3 boyutlu dağılımı

Model topoğrafya tabanlı olduğu için inceleme alanını kapsayan 1/25.000 ölçekli 16 topoğrafik harita sayısallaştırılmış ve alanın Sayısal Yükselti Modeli (SYM) oluşturulmuştur (Şekil 9). Sayısal yükselti modelinden inceleme alanının eğim ve yönelim (aspect) haritaları elde edilmiştir.

Model alanında toplam 21 adet litolojik birim yüzeylenmekte, Antalya körfezinde ise sabit su seviyesi sınırı bulunmaktadır. Bu litolojik birimler ve deniz, 1-22 arasında değişen kodlar (GeoCode) ile numaralandırılmış (Çizelge 1) ve hücelere dağıtılmıştır. Geçirimsiz birimlere negatif kod verilmiştir. Topoğrafik yüzeyin altında bulunan hücelerin litolojik özelliklerinin ve kodlarının belirlenmesi amacıyla her litoloji için stratigrafi tip kesitlerinden ortalama kalınlık değerleri belirlenmiş ve model içerisinde topoğrafik yükseltiye göre her litolojinin altında bulunan birimler saptanarak kodlanmıştır.

Akım yönlerinde etkili olduğu varsayılan çizgisel unsurlar sayısallaştırılmış ve bunların yön dağılımları belirlenmiştir. Beslenmenin noktasal olarak gerçekleştiği düdenlerin dağılımı ve yeraltısuyunun topoğrafyaya açıldığı kaynak lokasyonlarında belirlenerek tüm bu özellikler CBS katmanı olarak işlenmiştir.



Şekil 9. Uygulama alanı sayısal yükselti modeli (SYM)

Çizelge 1. Uygulama alanında yer alan litolojik birimlerin kodları

Jeoloji Kodları				
	Beydağları Grup			
	Alüvyon	21		
Kuvaterner		20		
		19		
	Traverten	18		
Pliyosen	Karaseki - Gebiz formasyonu	17		
Üst Miyosen	Aksu formasyonu	16		
Alt Miyosen	Karabayır formasyonu	-15		
Paleosen-Oligosen	Garıpçe formasyonu	-14		
Paleosen-Eosen	Çamlidere Olistostromu	-13		
Üst Kretase	Aladağ formasyonu	12		
Jura-Kretase	Beydağ kireçtaşı	11		
Triyas-Kretase	Kargı grup	10		
Triyas-Jura	Kuyubaşı dolomiti	9		
			Antalya Napları	
			Üst Nap (Tahuhadağ Birimi)	
			Peridodit	-8
			Tahtalı grup	7
			Orta Nap (Alakırçay Birimi)	
			Ispartaçay formasyonu	-6
			Alt Nap (Cataltepe Birimi)	
			Dereköy formasyonu	-5
			Yeniceboğaz formasyonu	4
			Tilkigedigi formasyonu	-3
			Serpantin	-2
			Elmalı Napları	
			Domuzgedigi grup	1

#### 4.3.BESLENME

Model alanında beslenme, yağıştan ve model sınırlarından içe akış şekliyle gerçekleşmektedir. Yağıştan beslenme değeri, inceleme alanında yer alan yağış gözlem istasyonlarında



benzeşim süresi boyunca her gün için gözlenen değerlerin ara-kestirim yolu ile her hücreye dağıtılması ile belirlenmiştir. Yağıştan süzülme yolu ile beslenme noktasal ya da alansal olarak benzeştirilmiştir. Düden vb. yapıların saptandığı hücreler üzerine düşen yağış değerinin tamamı, yüzeysel akışa geçmeden akifere aktarılmış, geçirimli birimlerle kaplı diğer hücrelerde ise süzülme ve yüzeysel akış yolu ile beslenme gerçekleştirilmiştir. Uygulama alanında yüzeyleyen geçirimsiz birimlerden ise doğrudan süzülme ile beslenme gerçekleşmemekte, bu birimlerin üzerine düşen yağış topoğrafik eğime bağlı olarak yüzeysel akışa geçmektedir. Bu sular geçirimli birimler üzerine ulaştığında ise noktasal yada alansal beslenme gerçekleştirilmiştir.

#### 4.4. MODEL PARAMETRELERİ VE KALİBRASYON

İnceleme alanında yeraltı suyu akımına ve depolamasına izin veren hidrojeolojik birimler için porozite ve iletkenlik katsayıları kalibrasyon ile belirlenmiştir.

Kalibrasyon aşamasında, hücrelerin boşalım katsayıları ayarlanmıştır. Bu amaçla model alanında en önemli akiferleri oluşturan Beydağları kireçtaşı, Antalya Travertenleri ile Tahtalıdağ kireçtaşı ile kaplı alanlar dikkate alınmıştır.

En alt seviyeden (-250 m - 0 m) en üst seviyeye kadar (1500 m -1750 m) düşey yönde her hücre için ilgili zaman adımında günlük rezervuar hacmi ile hücreden meydana gelen günlük boşalım miktarları hesaplanmıştır. Genel akım yönü ise Beydağları kireçtaşından Kırkgöz kaynaklarına doğru, Kırkgöz kaynaklarından daha düşük kotlarda ise Düdenbaşı ve daha az miktarda Antalya'nın batısında bulunan traverten kaynaklarına doğru gerçekleşmektedir.

Antalya traverten platosu karstik kaynakları için hesaplanan hidrograflar ile gözlenen hidrografların karşılaştırması yapılmıştır. Karşılaştırma sonucu ortalama akım değerleri ve yıllık beslenme-boşalım devreleri için iyi bir çakışma sağlanmış ancak pik akımların belirlenmesi mümkün olmamıştır. Ancak, model alanının tüm hidrojeolojik sistemi kapsamaması, hücre boyutlarının (250 m) özellikle traverten platosu ve önemli kaynakların yayılım gösterdiği bölgelerde (0-300 m) topoğrafik farklılıkları açıklama açısından kaba kaldığı ve yeraltı jeolojisinin ayrıntılı bir şekilde yansıtılmadığı model uygulamasında gerçek fiziksel yapının açıklamasında eksikliklere neden olmuştur. Daha hassas bir grid boyutu ve yeraltı jeolojisinin daha ayrıntılı bir şekilde yansıtıldığı bir modelin daha iyi sonuçlar vereceği şüphesizdir.

Antalya traverten platosu karstik kaynakları için 1965-1995 yılları arasında belirlenen toplam beslenme 54.5 m<sup>3</sup>/s, boşalım 41.3 m<sup>3</sup>/s, depolamadaki değişim ise 13.1 m<sup>3</sup>/s olarak hesaplanmıştır. Bu değerler 1965-95 yılları arasındaki ortalama değişimi ifade etmekte olup, model tarafından her zaman aralığı için bütçe oluşturulması mümkündür.

Yapılan su bütçesi ile sistemden toplam boşalmanın ortalama 15 m<sup>3</sup>/s'si Kırkgöz kaynakları, 17 m<sup>3</sup>/s'si Düdenbaşı kaynakları ile, yaklaşık 4 m<sup>3</sup>/s'si ise traverten kaynakları tarafından boşalmaktadır. Bunun dışında kalan 5.3 m<sup>3</sup>/s ise sahil ya da denizaltı kaynağı şeklinde boşalmaktadır.

#### 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Büyük ölçekli hidrojeolojik sistemlerde hidrolik yük dağılımının ve yeraltı suyu akım özelliklerinin, akım alanının geometrisinin ve dinamik parametrelerin tanımlanması genellikle mümkün olmamaktadır. Ülkemizin önemli bir kısmında çok büyük verimli kaynaklar ile boşalan büyük ölçekli karst sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemlerde bölgesel yeraltı suyu dolaşımının açıklanması, beslenme bölgesinin belirlenmesi ve su bütçesinin hesaplanmasında önemli güçlükler ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle bu tür büyük ölçekli akifer sistemlerinde uygulanmak üzere CBS tabanlı 3 boyutlu bir yeraltı suyu akım modeli geliştirilmiştir (Meriç, 1997). Geliştirilen bu modelin girdisi olan coğrafya tabanlı veriler (topoğrafya, morfoloji, drenaj ağı, eğim, yönelim, litoloji, yapısal jeoloji elemanları) ile zamanın fonksiyonu olan hidrojeolojik veriler (yağış, buharlaşma, akım) CBS katmanı şeklinde derlenmiş, hesaplanmış ya da türetilmiştir. Gerek model verilerin hazırlanması gerekse modelin kalibrasyon ve verifikasyon aşamalarında verilerin kolaylıkla değiştirilmesinde CBS büyük avantajlar sağlamaktadır.

Geliştirilen model Antalya traverten platosu karstik kaynakları hidrojeolojik sistemine uygulanmıştır. Tahmin modelinden çok sistemin özelliklerini açıklamak amacıyla yapılan bu çalışma sonucu karstik kaynakların gözlenen ve model tarafından hesaplanan akım değerleri arasında ortalama akımlar arasında iyi bir ilişki yakalanmış fakat pik değerlerinin elde edilmesi mümkün olmamıştır.

Söz konusu uygulama, geliştirilen modelin coğrafi veriler ile kullanılarak karstik bir sistemin işleyiş mekanizmasının açıklanmasında kullanılabileceğini göstermek için gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Antalya traverten platosu karst sisteminin beslenme alanının bir kısmına ait veriler kullanılmıştır. Uygulama alanında yeraltı jeolojisini tanımlamak için kullanılan veriler yüzey jeolojisi ve stratigrafik tip kesitlerden elde edilmiştir. Bunun yanısıra hücre kalınlığı (250 m), önemli yeraltısuyu kaynakların yoğunlaştığı yükseltiler için (0-300 m arası) kaba kalmıştır. Bu nedenle modelin daha sık bir grid ağı (50 m) ile çalıştırılması ile daha iyi sonuçlar elde etmek mümkün olacaktır. Sistemin daha ayrıntılı bir şekilde modellenmesi için kaynak boşalımının yoğunlaştığı bölgelerde, kuyu logları ve jeofizik etütler ile belirlenen yeraltı jeolojisinin dikkate alınması, yeraltı jeolojisinin oluşturulması sırasında sedimanter kayaçların eğim ve doğrultu özelliklerinin ve karst morfolojisinin daha ayrıntılı bir şekilde dikkate alınması ile modelin sistemi daha iyi yansıtması mümkündür.

## 6.KAYNAKLAR

- Arıkan, A., and Tezcan, L., 1989, Hydrological Mathematical Models, Lecture Notes of Interregional Seminar On Land And Water Resources Development, International Karst Water Resources Research and Application Center. Ankara, 34.
- Arıkan, A., 1988, MODALP, A Deterministic Rainfall-Runoff Model For Large Karstic Areas, Hydrological Sciences Journal,33 pp. 401-414., 35, 47
- Beven, K.J., Warren, R. and Zaoui, J., 1980, SHE: Towards A Methodology For Physically-Based Distributed Forecasting in Hydrology, Hydrological Forecasting, Proc. Symposium International Association of Hydrological Sciences, Oxford. IAHS Publ. No.129, pp. 133-137
- Bezes, J., 1976, Contribution a la Modelisation de Systemes Aquiferes Kartiques, Etablissement du modelle Bemar, Son Application a Quatre Systemes Karstiques du Midi de la France, C.E.R.G.A., Montpellier, France., 34, 47.
- Drouge, C., Guilbot, A., 1982, Results of Studies Carried On The Reference Basin Saugras, Application of Results From Represantive and Experimental Basins, France, UNESCO, p.205-223.
- Meriç, B.T., 1997, Yeraltısuyu Akım Modellemesinde Coğrafi Bilgi Sisteminin Kullanımı, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Mühendislik Tezi, Beytepe, Ankara, 100 s.
- Smart, P.L., and Hobbs, S.L., 1986, Characterization of Carbonate Aquifer, A Conceptual Base, In Proceedings of the Environmental Problems in Karst Terraines and Their Solutions Conference, Bowling Green, Kentucky, 13.
- Tezcan, L., 1993, Karst Akifer Sistemlerinin Tritiyum İzotopu Yardımıyla Matematiksel Modellemesi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Beytepe, Ankara, 125 s.