



Yeraltısuyu besleniminin eğri numarası (SCS-CN) yöntemi ile hesaplanması: Çakıloba-Karadoruk akifer sisteminde (Beypazarı-Ankara) örnek uygulama

Estimation of groundwater recharge using the curve number method (SCS-CN): A study of the Çakıloba-Karadoruk aquifer system (Beypazarı-Ankara)

AHMET APAYDIN

DSİ V. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir Yolu 8. km, 06520 ANKARA

Geliş (received) : 16 Şubat (February) 2007

Kabul (accepted) : 28 Kasım (November) 2007

ÖZ

ABD Toprak Koruma Kurumu tarafından geliştirilen Eğri Numarası (SCS-CN) yöntemi, yağış-akış-kayıp ilişkisinin analizinde kullanılmaktadır. Yöntemden, süzülme ve toprağın arazi kapasitesi değerleri kullanılarak yeraltısuyu besleniminin tahmininde yararlanılması mümkündür. Bu çalışmada, Ankara'nın Beypazarı ilçesindeki Miyosen yaşlı çörtlü-tüflü kireçtaşlarından oluşan akiferin yağıştan beslenimi, Eğri Numarası (CN) yöntemi ve toprak örneklerinde laboratuvarında yapılan deneylerden elde edilen arazi kapasitesi değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Sunulan çalışmada; yöntem tanıtıldıktan sonra, elde edilen sonuçlar ve yöntemin üstünlükleri ve zayıf yönleri tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlar, yarıkurak bir bölgede bulunan çalışma alanında yeraltısuyu besleniminin düzensiz olduğunu ve beslenimde yağışın miktarından çok yağış şekli, şiddeti ve yıl içindeki dağılımının etkin olduğunu göstermektedir. Çalışılan akifer, basınçlı bir sistem olup, sadece yüzeylendiği alanlardan yağıştan süzülme ile beslenmektedir. Akiferin boşalımı ise, kaynaklarla ve kuyulardan çekimle olmaktadır. Ancak, çekimler nedeniyle kaynaklar kurumuş durumdadır. Sistemdeki yeraltısuyu dolaşımı çok yavaş olduğundan, akifere olan beslenim ile akiferin tepkisi arasında çok büyük bir zaman ötelenmesi olmakta ve güncel veya yakın geçmişe ait yağışlarla bugünkü yeraltısuyu davranışı arasında sağlıklı bir ilişki kurulamamaktadır. Dolayısıyla akiferin bu özellikleri beslenim hesabı için kullanılacak yöntemleri sınırlamaktadır. Yapılan çalışma sonucunda, 32.5 km² yüzey alanına sahip akiferin yeraltısuyu beslenimi ortalama olarak (1986-2000) 4.9x10⁶ m³/yıl hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arazi kapasitesi, beslenim, Çakıloba-Karadoruk, eğri numarası, süzülme.

The Curve Number Method, developed by the US Soil Conservation Service (SCS), is used to analyse the relation between the rainfall, runoff and loss of a storm rainfall. If the infiltration and field capacity of the soil are known, the method can be used to estimate the groundwater recharge. In this study, recharge from precipitation of a Miocene-aged cherty and tuffy limestone aquifer located in Beypazarı (Ankara) was estimated by the SCS-CN method and field capacity of the soil zone. This paper explains the method and its application in the study area, and discusses the results and the approach. The results indicated that, groundwater recharge is irregular in the study area, that is located in a semi-arid region, and that it mainly depends on type, intensity and seasonal distribution of precipitation rather than on the total amount. The aquifer studied is a confined and closed system, and it is recharged from the surface by infiltration of precipitation. The discharge occurs through springs and abstraction from boreholes. However, the springs have dried out due to overexploitation. Because of a very slow groundwater velocity, there is a long time-lag between the input (precipitation) and response of the system, so analysis of the relation between precipitation and recent groundwater behaviour is not stra-

ightforward. This, on the other hand, limits the number of methods applicable to estimate the recharge. In this study, the mean annual (1986-2000) groundwater recharge from the 32.5 km² aquifer area was calculated to be about 4.9x10⁶ m³/year.

Key Words: Field capacity, recharge, Çakıloba-Karadoruk, curve number, infiltration.

GİRİŞ

Hidrojeolojik çalışmaların çoğunlukla en zor bölümünü oluşturan yeraltısuyu beslenimi ve bilanço çalışmalarıdır. Özellikle boşalımı ölçülemeyen ve çekimler nedeniyle doğal dengesi bozulmuş olan basınçlı sistemlerde bu işlem daha da karmaşıktır. Bu çalışmaya konu olan ve Ankara-Beypazarı'nda bulunan akifer, basınçlı bir sistem olup, sadece yüzeylendiği alanlardan yağıştan süzülme ile beslenmektedir. Akiferin boşalımı ise, kaynaklarla ve kuyulardan çekimle olmaktadır. Ancak kaynakların büyük bir bölümü çekimler nedeniyle 2000 yılında kurumuştur. Sistemdeki yeraltısuyu dolaşımı çok yavaş olduğundan, akifere olan beslenim ile akiferin tepkisi arasında çok büyük bir zaman ötelenmesi olmaktadır (Apaydın, 2004b) ve güncel veya yakın geçmişe ait yağışlarla bugünkü yeraltısuyu davranışı arasında sağlıklı bir ilişki kurulamamaktadır. Dolayısıyla akiferin bu özellikleri beslenim hesabı için seçilebilecek yöntemlerin sayısını sınırlamaktadır. Sonuçta, Ankara'nın Beypazarı ilçesindeki çalışma alanındaki Miyosen yaşlı çörtlü-tüflü kireçtaşlarından oluşan akifer sisteminin yağıştan beslenimi SCS-CN yaklaşımı uygulanarak ve arazi kapasitesi değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Yaklaşık olarak 80 km² büyüklüğündeki alan içinde 32.5 km² yüzey alanına sahip akifer sistemine olan beslenimin hesabında 1986-2000 yılları arasındaki 15 yıllık yağış verileri, yeraltısuyu besleniminde belirleyici olan arazi kapasitesi olarak da, araziden alınan temsil edici toprak örneklerinde laboratuvarda yapılan analizlerden elde edilen veriler kullanılmıştır. Yöntemle ilgili ayrıntılı bilgi Apaydın (2004a ve 2004b) tarafından verilmiştir.

Bilindiği gibi, yeryüzüne düşen yağışın bir kısmı bitkilerin yapraklarında tutulmakta, bir kısmı doğrudan yüzeysel akışa geçmekte, bir kısmı da toprak zonuna süzülmedir. Toprak zonunda tutulan suyun bir kısmı buharlaşma veya bitkiler tarafından terleme yoluyla atmosfere geri dönmekte, bir kısmı da derinlere doğru süzülerek önce vadoz zona, oradan da doymuş zona ulaşarak yeraltısuyunu oluşturmaktadır. Olduk-

ça karmaşık bir süreç olan yeraltısuyu besleniminde meteorolojik-iklimsel etkenlerle birlikte vadoz zon ve özellikle üstteki toprak zonunun özellikleri (kalınlığı, yapısı-dokusu, nem içeriği, gözenekliliği ve geçirimsizliği) belirleyicidir. Bunların yanı sıra, arazi örtüsü (bitki türü, yoğunluğu), arazi kullanımı ve işleme durumu (nadas, teraslama gibi) ile topoğrafik eğim de beslenimi denetleyen diğer parametrelerdir.

İncelenen havzadaki toprak yapısı, kalınlığı, süzülme kapasitesi, bitki örtüsü ve arazi kullanımının belirlenmesi ve haritalanması arazi çalışmalarıyla ve uydu görüntülerinin yardımıyla mümkündür. Benzer şekilde, toprağın gözenekliliği ve geçirimsizliği ile tane boyu dağılımı arazi ve laboratuvar deneyleriyle, toprağın nem içeriği ise arazide ölçümlerle belirlenmekte veya önceki 5 günlük yağış miktarı dikkate alınarak belirlenebilmektedir. Bu çalışmalardan elde edilen verilerin Eğri Numarası (SCS-CN) yöntemi ve arazi kapasitesi verileri ile birlikte değerlendirilmesi sonucunda, hidrolojik bütçenin en önemli girdisi olan yağıştan yüzeysel akışa geçen, toprak zonuna süzülen, toprak tarafından tutulan, toprak zonundan doymuş zona süzülen su miktarı hesaplanabilmektedir. Yöntemin uygulanması; arazide infiltrasyon testleri yapılarak hidrolojik toprak gruplarının belirlenmesi, arazi örtüsü, arazi kullanımı ve toprağın işleme durumunun belirlenmesi, bu özelliklere göre toprak grupları ve arazi örtüsü haritasının hazırlanması, farklı nem koşulları için eğri numaraları CN_I, CN_{II} ve CN_{III} değerlerinin belirlenmesi, CN değerlerine göre yüzeysel akış ve süzülme (potansiyel beslenim) miktarlarının hesaplanması, toprak özelliklerine göre laboratuvarda arazi kapasitesinin (F_c) belirlenmesi, her hidrolojik bölge için ayrı ayrı yüzeysel akış (Q), süzülme (R_{top}) ve beslenim (R_{net}) değerlerinin hesaplanması aşamalarını içermektedir.

SCS-CN yöntemi sadece yağışlardan doğrudan süzülme ve yüzeysel akışı modellemekte, örneğin akifere akarsudan veya havza dışından beslenimi hesaba katmamaktadır. Yöntemin uygu-

lanması ile ilgili varsayım ve belirsizliklerin bulunmasına ve bir dizi karmaşık arazi ve laboratuvar çalışmasına gerek olmasına karşın, günlük ölçekte yağışlara ve deneysel verilere dayanması nedeniyle sınırlamaları aşmamak koşuluyla uygulanması halinde sağlıklı sonuçlar elde edilmesi mümkündür. Bu çalışmanın amaçlarından biri de ülkemizde yaygın olarak uygulanmayan bu yöntemi tanıtmaktır.

EĞRİ NUMARASI (SCS-CN) YÖNTEMİ

ABD Toprak Koruma Kurumu (U.S. Soil Conservation Service, SCS) tarafından yağış-akış-kayıp ilişkisini analiz etmek üzere 1972 yılında Eğri Numarası (Curve Number-CN) adıyla bir yöntem geliştirilmiştir. SCS-CN olarak adlandırılan bu yöntem, özellikle küçük ölçekli havzalarda akım ölçümleriyle test edilmiş ve yöntemin geçerliliği çok sayıda çalışma ile ortaya konmuştur.

Bu yöntemde göre, yağış anında ve sonrasında toprak tarafından tutulan su, yağışın ve toprak CN'nin fonksiyonudur. CN değeri toprak türü (hidrolojik toprak grubu), arazi örtüsü ve arazinin kullanımı (teraslama vb.), hidrolojik koşullar ve toprağın önceki nem koşullarına bağlı olarak 0-100 arasında değişir. Ancak çoğunlukla 55-95 arasında değişmektedir (Hawkins, 1998). Bilindiği gibi yağış başladığında hemen yüzeysel akış oluşmaz. Akış oluşana kadar bir miktar su toprak ve bitkiler tarafından tutulur. Toprak ne kadar kuru ise, akış oluşmadan önceki tutulma o kadar fazla olur. Dolayısıyla toprağın yağış başladığındaki nem içeriği, süzülme ve yüzeysel akış mekanizmasında son derece önemlidir. Yağışla birlikte toprağın nem içeriği arttıkça süzülme hızı azalır ve en sonunda sabit bir değere ulaşır. Bu değer, toprağın en düşük süzülme kapasitesidir.

SCS-CN yöntemine göre, yağış sonrası doğrudan yüzeysel akışa geçen su miktarı (Q), yağış miktarından (P) düşüktür veya hiç kayıp (tutulma+süzülme) yoksa yağışa eşittir. Benzer şekilde, akış başladıktan sonra toprakta tutulan su miktarı (F_a), potansiyel en fazla tutulmadan (S) küçüktür veya ona eşittir (Şekil 1). Yağış başladığında akış başlamadan önce zeminde bir miktar su tutulduğuna (I_a) göre, potansiyel akım ($P - I_a$) olmaktadır. P toplam yağış ve P_e yağış fazlası olmak üzere, SCS kuramı aşağıdaki eşitliğe dayanmaktadır.

$$F_a/S = P_e/(P-I_a) \quad (1)$$

Süreklilik ilkesine göre 1 no.lu eşitlik,

$$P = P_e + I_a + F_a \quad (2)$$

şeklini almaktadır. P_e aynı zamanda akış (Q) olduğuna göre, SCS akım eşitliği,

$$Q = (P-I_a)^2 / ((P-I_a) + S) \quad P > I_a \text{ ise} \quad (3)$$

$$Q = 0 \quad P \leq I_a \text{ ise} \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir. I_a ; akışın başlamasından önceki kayıpların tümü olup, bitki dalları ve yapraklarında tutulan, gölcüklerde depolanan, toprak yüzeyinden doğrudan buharlaşan ve toprağa süzülen suyun toplamını ifade etmektedir. I_a birçok parametreye bağlı olduğundan oldukça değişken olup, değeri 0.095-0.38 arasındadır (SCS, 1987). Ancak küçük havzalarda yapılan çalışmalardan elde edilen verilere göre,

$$I_a = 0.2S \quad (5)$$

eşitliği önerilmiştir. Bu durumda 3 no.lu eşitlik,

$$Q = (P-0.2S)^2 / (P+0.8S) \quad (6)$$

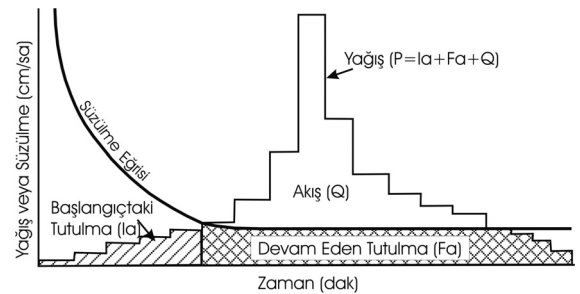
şeklinde yazılabilir. Burada S, toprak ve üzerinde bulunan örtüye bağlı olup,

$$S = 1000/CN-10 \text{ (inç) veya}$$

$$S = 25.4 * (1000/CN-10) \text{ (mm)} \quad (7)$$

eşitliği ile tanımlanır. Bu yöntemde en önemli husus eğri numarasının (CN) belirlenmesidir. SCS (1972), çeşitli koşullara göre farklı CN değerleri önermiştir.

SCS, toprakları A, B, C, D olmak üzere dört hidrolojik gruba ayırmıştır. Bu sınıflamada temel ölçüt "süzülme"dir. Kum-çakıl bileşimli olan A grubu toprakları en yüksek, kil, kumlu kil, silt bile-



Şekil 1. Süzülme-tutulma ve yağış fazlası (Chow vd., 1988; Apaydın, 2004a ve 2004b'den).
Figure 1. Infiltration-abstracton and excess flow of a storm rainfall (after Chow et al., 1988; Apaydın, 2004a and 2004 b).

şimli olan D grubu toprakları ise, en düşük süzülme kapasitesine sahip topraklardır. Yöntem, ekilen-dikilen bitki özellikleri, nadas, orman, sert zemin (binalar, yollar) gibi çeşitli örtü özelliklerini de dikkate almaktadır. Çünkü bu özellikler, yüzeysel akışı ve dolayısıyla süzülme doğrudan etkilemektedir. Sert zemin veya çıplak alanlarda yüzeysel akış fazla, süzülme ise düşüktür (CN büyük). Sık ormanla kaplı alanlarda ise, özellikle ağaç yapraklarında tutulan yağış nedeniyle yüzeysel akışa geçen su miktarı, aynı bölgede ağaçsız veya seyrek ağaçlarla kaplı alanlara göre daha az olup, CN değeri daha küçüktür. Aynı toprak özellikleri ve aynı hidrolojik koşullarda, teraslanmış arazide CN değeri teraslanmamış araziye göre daha küçüktür. Dolayısıyla süzülme daha fazla, yüzeysel akış daha azdır.

Süzülme ve yüzeysel akış potansiyelinin belirlenmesinde yukarıda açıklanan özelliklere ek olarak, zeminin yağış başladığındaki nem içeriği de belirleyici rol oynamaktadır. SCS (1972), toprağın yağışın başladığı andaki nem durumuna (antecedent moisture condition-AMC) göre üç ayrı koşul (kuru, normal ve nemli) dikkate alarak bu koşullara göre üç farklı CN (AMC I, AMC II ve AMC III) değeri önermiştir. AMC I, solma noktasındaki (wilting point) nem içeriğini, AMC III arazi kapasitesini (field capacity), AMC II ise ortalama nem içeriğini ifade etmektedir (Neitsch vd., 2001). Kuru, normal ve nemli koşullardan hangisinin geçerli olduğuna, yağışın başlamasından önceki son 5 günlük toplam yağış miktarı dikkate alınarak karar verilmektedir. Dolayısıyla yöntemin uygulanması için günlük yağış değerlerine ihtiyaç bulunmaktadır. Son 5 günlük toplam yağış (P) mm cinsinden olmak üzere CN durumu Çizelge 1'deki koşullara göre belirlenmektedir.

Türkiye koşullarında çeşitli toprak türleri için CN'lerin belirlenmesi amacıyla Özer (1990) pratik çözümler önermiştir. Özer (1990)'in, hidrolojik toprak gruplarını belirlemek amacıyla, toprak

Çizelge 1. Toprağın nem içeriğine göre CN koşulları (SCS, 1972).

Table 1. CN conditions according to the various water contents of the soil.

Kışın	Büyüme döneminde	CNN
P < 12.7	P > 35.6	CN _I (kuru)
12.7 < P < 27.9	35.6 < P < 53.3	CN _{II} (normal)
P < 27.9	P > 53.3	CN _{III} (nemli)

haritalarını dikkate alarak yapmış olduğu düzenleme, SCS (1972)'ninki ile birlikte Apaydın (2004 a ve 2004b) tarafından verilmiştir.

Yukarıda değinildiği gibi, toprağın nem içeriğine göre toprak eğri numarasında farklılıklar görülmektedir. Bu durumda, CN'ler aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir (SCS, 1972; Chow vd., 1988).

$$CN (KURU) = (4.2 * CN_{normal}) / (10 - 0.058 * CN_{normal}) \quad (8)$$

$$CN (NEMLİ) = (23 * CN_{normal}) / (10 + 0.13 * CN_{normal}) \quad (9)$$

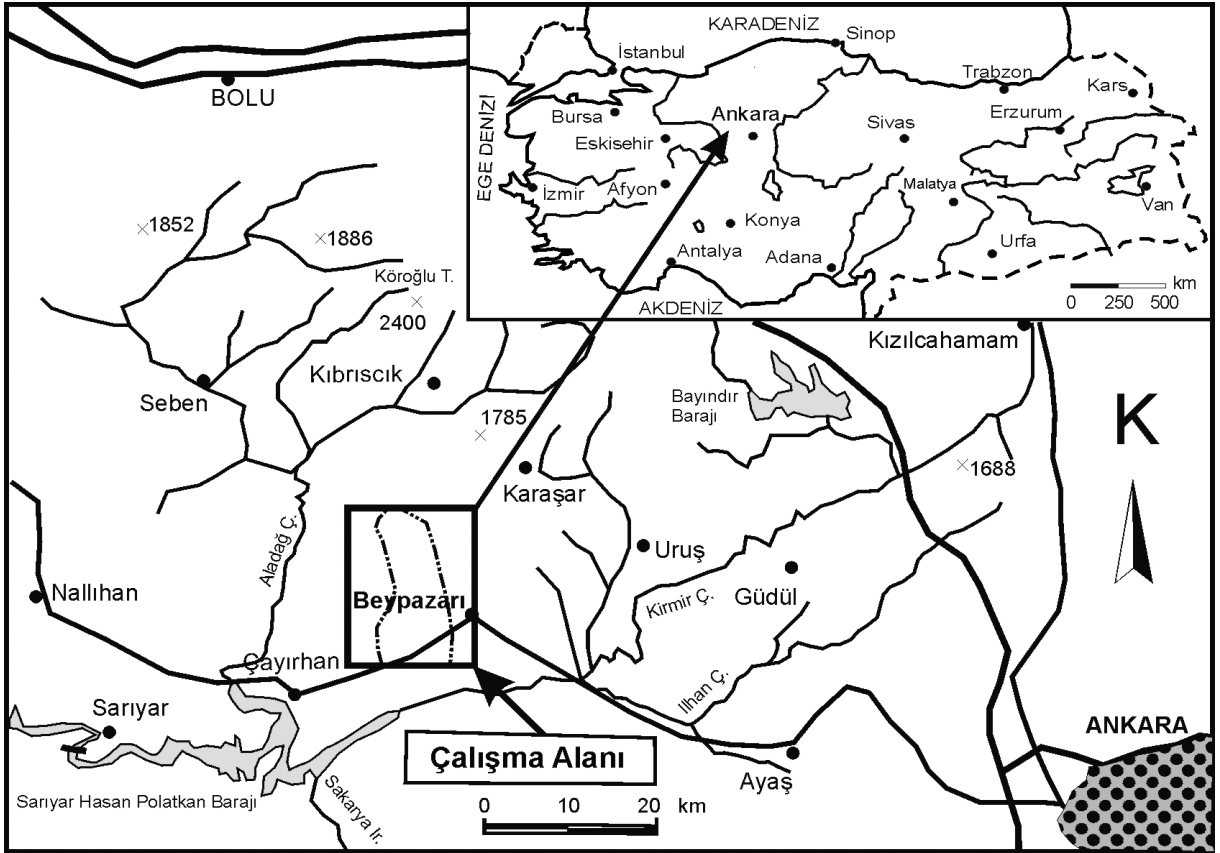
SCS-CN Yöntemi uygulanarak yağış-yüzeysel akış-süzülme analizleri ve yeraltıyü beslenme hesabı aşağıdaki adımlar izlenerek yapılabilir:

- Arazide süzülme testleri yapılarak toprak gruplarının (A, B, C, D) belirlenmesi
- Arazi kullanım haritaları, uydu görüntüleri, arazi çalışmaları ile arazi örtüsü, arazi kullanımı ve toprağın işlenme durumunun belirlenmesi
- Yukarıdaki özelliklere göre hidrolojik toprak grupları ve arazi örtüsü haritasının hazırlanması,
- SCS (1972) veya Özer (1990)'e göre her toprak grubu için CN_I, CN_{II} ve CN_{III} değerlerinin belirlenmesi,
- Günlük yağış değerlerinden toprağın nem içeriğine göre (o günkü yağıştan önceki 5 günlük eklenik yağış miktarına göre) hangi dönemlerde hangi CN koşulunun geçerli olacağı belirlenerek, her bölge için CN değerlerine göre yüzeysel akış ve süzülme (potansiyel beslenme) miktarlarının hesaplanması,
- Literatürden veya laboratuvar deneyleri ile toprağın arazi kapasitesinin (F_c) belirlenmesi,
- Akiferi örten her toprak grubu için yüzeysel akış (Q), süzülme (R_{top}) ve beslenme (R_{net}) değerlerinin hesaplanması,
- Akifere olan toplam beslenimin hesaplanması.

ÇAKILOBA-KARADORUK AKİFER SİSTEMİNDE YAĞIŞ-AKIŞ-SÜZÜLME-BESLENİM ANALİZLERİ

Genel Hidrojeolojik Yapı ve Akiferin Beslenme Kaynakları

Çalışma alanı, Beypazarı-Çayırhan Miyosen Havzası'nda yer alır (Şekil 2) ve hidrolojik havza



Şekil 2. Çalışma alanı yer bulduru haritası.
Figure 2. Location map of the study area.

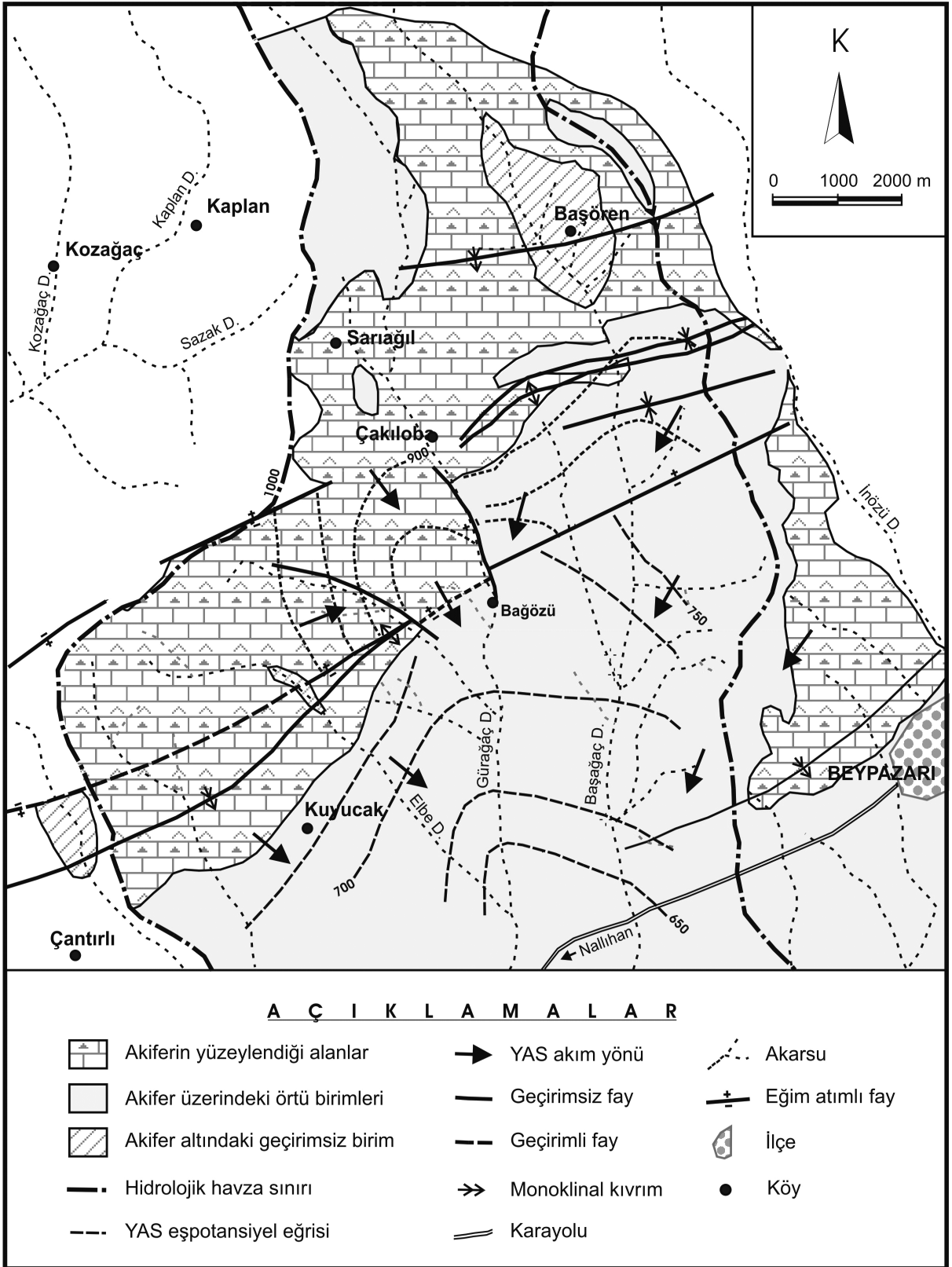
büyüklüğü 74 km²'dir. Ancak çalışma, havza dışında bulunan 6 km²'lik akifer alanıyla birlikte 80 km²'lik bir bölgeyi kapsamaktadır. Akifer sistemi, alttan üste doğru Karadoruk, Sarıağıl ve Çakılıba formasyonlarından oluşmaktadır (Özgür, 1986; Özgür ve Tamgaç, 1986). Çörtlü ve tüflü kireçtaşlarından oluşan Karadoruk ve Çakılıba formasyonları bol kırıklı-çatlaklı olduğundan geçirimlidirler. İki formasyonun arasında yer alan ve çört bantları içeren kiltası ve tüfitlerden oluşan Sarıağıl formasyonu ise yarı geçirimlidir. Akiferin kalınlığı ortalama 100-120 m'dir. Akifer sistemi, yüzeylendiği nispeten yüksek bölgelerde serbest, üzerinde geçirimsiz Zaviye formasyonunun (kiltası-marn ağırlıklı) bulunduğu alçak bölgelerde basınçlı özelliktedir. Sistem, alttan Hırka formasyonuna ait geçirimsiz kiltası-şeyl zonu ile sınırlanmaktadır. Hırka formasyonunun altında ise, kumtaşı-kiltası-çakılıtaşı ardalımalı Boyalı formasyonu bulunmaktadır.

Altta Karadoruk formasyonu, sadece vadilerin dik yamaçlarında çok dar alanlarda yüzeylendi-

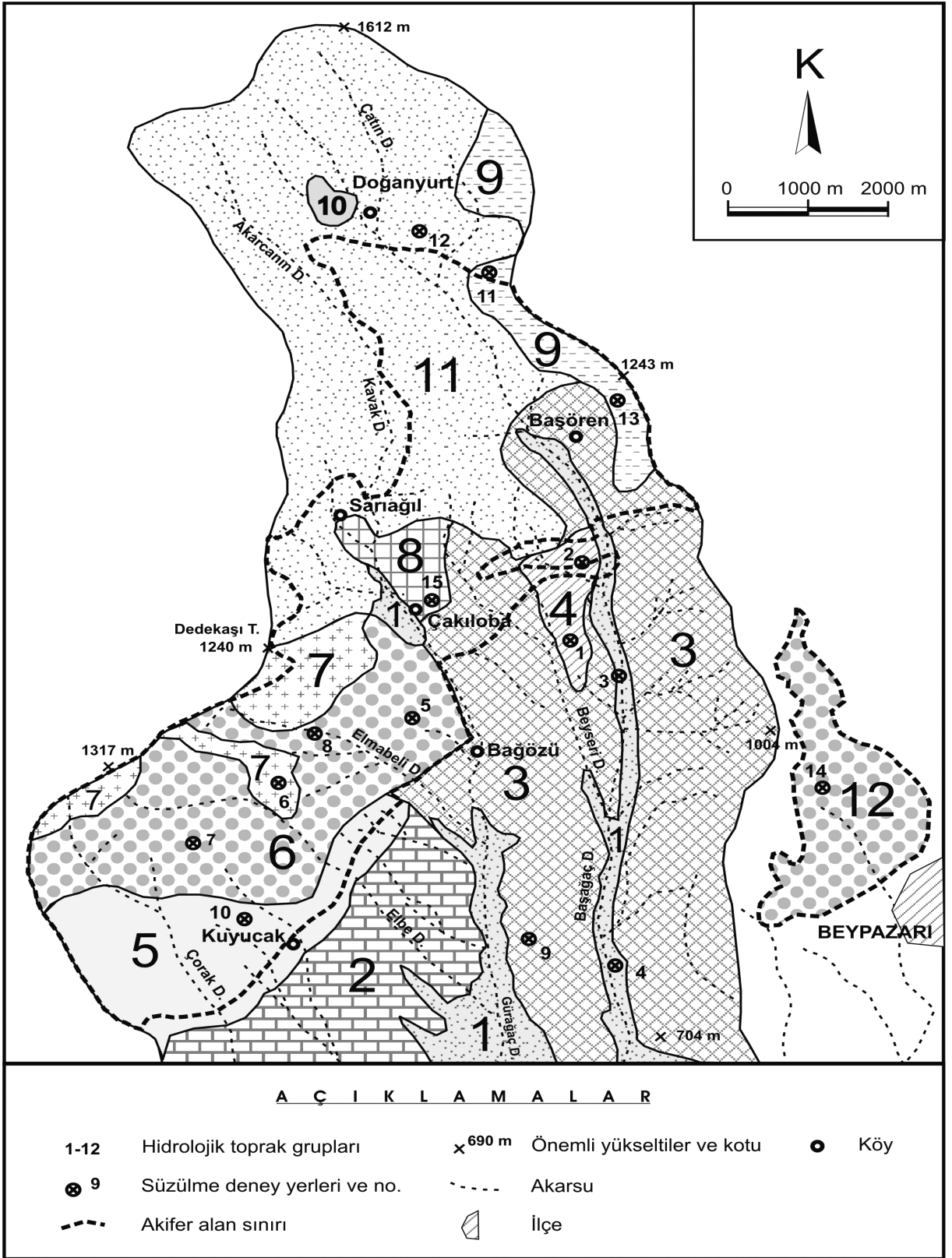
ğinden yağıştan doğrudan beslenimi mümkün değildir. Dolayısıyla sistem, sadece Çakılıba ve Sarıağıl biriminin yüzeylendiği alanlardan yağışlardan süzülme ile beslenmektedir. Çalışma alanına ait sadeleştirilmiş hidrojeoloji haritası Şekil 3'te verilmiştir.

Toprak Grupları, Arazi Örtüsü, Arazi Kullanımı ve Toprağın Nem İçeriğinin Belirlenmesi

Çalışma alanındaki toprak gruplarının ve arazi kullanımının belirlenmesinde Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış olan toprak haritalarından yararlanılmıştır. Bu haritalar saha çalışmaları, hava fotoğrafları ve topoğrafik haritalar yardımıyla güncel koşullara göre gözden geçirilerek toprak grupları ve arazi örtüsü haritası hazırlanmıştır. Çalışma alanındaki değişik toprakların süzülme kapasitelerinin belirlenmesi amacıyla arazide süzülme deneyleri yapılmıştır. Süzülme deneyi noktaları hidrolojik toprak grupları haritasında gösterilmiştir (Şekil 4). Uzun süredir yağış kaydedil-



Şekil 3. Çalışma alanının hidrojeoloji haritası (Apaydın, 2004a ve 2004b'den yalınlaştırılmıştır).
Figure 3. Hydrogeological map of the study area (simplified from Apaydın, 2004a and 2004 b).

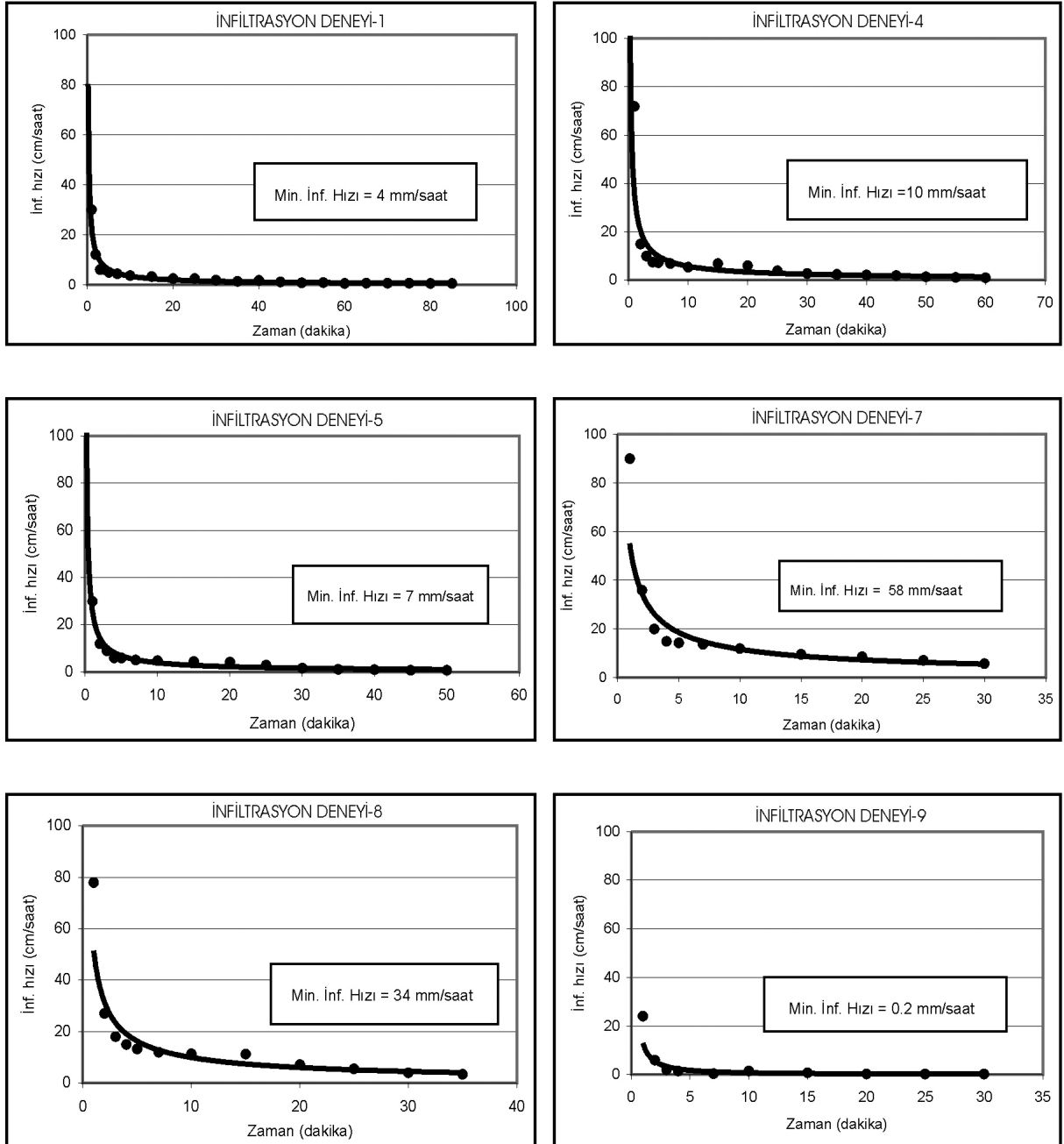


Şekil 4. Çalışma alanının hidrolojik toprak grupları haritası ve süzülme deney yerleri.
Figure 4. Hydrogeological soil group map and locations of the infiltration tests.

meyen kurak bir zamanda (Kasım, 2003) toprağın tamamen kuru olduğu koşullarda çift halkalı infiltrometrelerle yapılan süzülme deneylerine ait bilgiler Çizelge 2'de, ana toprak gruplarına ait süzülme grafikleri ise Şekil 5'te verilmiştir.

Süzülme Deneylerinin değerlendirilmesiyle, çalışma alanındaki ana toprak gruplarının en dü-

şük süzülme kapasitesi dikkate alınarak, Özer (1990)'e göre hidrolojik toprak grupları belirlenmiştir. Toprak grubu, arazi örtüsü, arazi kullanımı ve işleme durumlarına göre kuru, normal ve nemli koşullarda CN değerleri (CN_I, CN_{II}, CN_{III}) belirlenmiştir (Çizelge 3). Ayrıca, bölgelerin süzülme deneylerine göre aldığı I_a değerleri Çizelge 4'de verilmiştir.



Şekil 5. Arazide yapılan süzülme deneylerinden elde edilen grafiklerden bazıları.
Figure 5. Some of the graphics obtained from the infiltration tests.

Çizelge 2. Süzülme deneylerine ait bilgiler.
Table 2. Information about infiltration tests.

Deney No.	Hidrolojik bölge	Formasyon adı	Toprak kalınlığı (m)	En düşük süzülme hızı (mm/saat)
1	4	Zaviye	0.5-1	1.8
2	4	Zaviye	0.5	4.2
3	1	Alüvyon	>1	38
4	1	Alüvyon	>1	10
5	6	Çakıloba	0.5-1	7.2
6	7	Çakıloba	0.5-1	17
7	6	Çakıloba	0.5-1	58
8	6	Sarıağıl	0.5-1	34
9	3	Zaviye	<0.2	2
10	5	Çakıloba	0.5-1	10
11	9	Çakıloba	0.5-1	15
12	11	Çakıloba	>1	15
13	9	Boyalı	0.5-1	5
14	12	Hırka	0.5-1	2
15	8	Çakıloba	0.5-1	17

Çizelge 3. Çalışma alanındaki toprak gruplarının nemlilik koşullarına göre alabilecekleri CN değerleri.

Table 3. CN values of the soil groups under various water content conditions.

No.	Toprak	Arazinin kullanım durumu	CN _I	CN _{II}	CN _{III}
1	A	Sulu Tarım	46	67	82
2	C	Mera-Kuru Tarım	69	84	92
3	D	Mera	83	92	96
4	C	Mera (Taşlı)	60	79	90
5	A	Mera	29	49	69
6	A	Fundalık	26	45	65
7	A	Orman	26	45	65
8	A	Kuru Tarım	37	58	76
9	B	Orman	39	60	78
10	A	Mera (Taşlı)	26	45	65
11	A	Kuru Tarım	26	45	65
12	A	Fundalık	26	45	65

Günlük Yağışların Analiziyle Akış, Süzülme ve Beslenimin Hesaplanması

Yapılan analizlerde Beypazarı DMİ istasyonuna ait günlük yağış verileri (1986-2000 su yılları) kullanılmıştır. İncelemeye 1986 su yılı başından (1 Ekim 1985 itibarıyla) başlanmıştır. Yönteme göre, herhangi bir günde kaydedilen veya birbirini izleyen günlerdeki eklenik yağış miktarı, $P > I_a$

Çizelge 4. Çalışma alanında hidrolojik toprak grupları- arazi örtüsü ve arazi kullanımına göre haritalanan bölgelerin I_a değerleri.

Figure 4. I_a values of the hydrologic soil zones affected by the SCS soil groups, land cover and land use.

Bölge No	Toprak grubu	I_a kuru (mm)	I_a normal (mm)	I_a nemli (mm)
1	A	40	17	7.4
2	C	25	11	4.8
3	D	11	4.9	2.3
4	C	26	10.6	4.4
5	A	28	12	5.1
6	A	66	28	12.5
7	A	75	32	14.2
8	A	40	17	7.4
9	B	40	17	7.4
10	A	75	32	14.2
11	A	75	32	14.2
12	A	66	28	12.5

olduğunda, o günden önceki son 5 günlük eklenik toplam yağış miktarına (P_{AMC}) bakılır. Yöntem, bitkilerin büyüme (vejetasyon) mevsimi dışında, $P_{AMC} < 12.7$ mm ise CN_{kuru} , $12.7 < P_{AMC} < 27.9$ mm ise CN_{normal} , $P_{AMC} > 27.9$ mm olduğunda ise CN_{nemli} değerlerine göre hesaplanan I_a veya S_{max} değerlerinin, büyüme mevsiminde de $P_{AMC} < 35.6$ mm ise CN_{kuru} , $35.6 < P_{AMC} < 53.6$ mm ise CN_{normal} , $P_{AMC} > 53.6$ mm olduğunda ise CN_{nemli} değerlerine göre hesaplanan I_a veya S_{max} değerlerinin kullanılmasını önermektedir. Çalışma alanında toprak zounundan buharlaşma ve bitkilerden terlemenin ihmal edilecek kadar düşük olduğu 1 Aralık-31 Mart arasında buharlaşma-terleme olmadığı kabul edilmiştir. Günlük meteorolojik-iklimsel veriler incelendiğinde, bu dönemde sıcaklığın düşük, nispi nemin yüksek, yağışların nispeten sık olduğu görülmektedir. Bu nedenle, Ekim-Kasım ayları ve Aralık ayı başındaki yağışlarla yeterli nem içeriğine (arazi kapasitesi) ulaşan toprakta kış dönemi boyunca yağışsız geçen günlerde nem eksilmediği kabul edilmiştir (CN_{nemli} değerleri kullanılmıştır). Çalışma alanında büyüme dönemi olarak 1 Nisan - 30 Eylül dönemi kabul edilmiştir. 1 Nisan - 30 Kasım arasındaki dönemde $P > I_a$ koşulu sağlandığında, birbirini izleyen günlerde eklenik yağış miktarı o koşulda öngörülen P_{AMC} miktarından fazla ise, yüzeysel akış ve süzülme değerleri yağışın P_{AMC} kadarlık kısmı CN_{kuru} , geri kalan kısmı ise CN_{normal} ve bundan da artan yağış varsa CN_{nemli} değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda yağışın akışa geçmeyen kısmının tamamının zemine süzülmesi kabul edilmiştir. Başka bir ifadeyle, yağış süresince buharlaşma-terleme ihmal edilmiştir. Ancak 1 Nisan-30 Kasım arasında yağış kesildikten sonra 5 gün ve daha fazla süre yağış gerçekleşmemişse, yöntemin kabul ettiği gibi, toprakta kalan suyun buharlaşma-terleme ile azaldığı (toprağın nem içeriğinin solma noktasına kadar azaldığı) kabul edilmiştir. Dolayısıyla, bir sonraki yağışın analizine $I_{a, kurulu}$ değerleri kullanılarak başlanmıştır.

Yağış süresince toprağa süzülen suyun tamamı doygun zona ulaşmamakta; toprak, belirli bir miktar nemi bünyesinde (arazi kapasitesi, F_c) tutmaktadır. Bu suyun büyük bir kısmı daha sonra bitkiler tarafından kullanılmakta veya buharlaşma ile atmosfere geri dönmektedir. Bu nedenle, yeraltı suyu besleniminin (R_{net}) hesabında, toplam süzülme (potansiyel beslenme) miktarından arazi kapasitesinin çıkarılması gerekmektedir. Çalışma alanındaki toprak türlerinin arazi kapasitesi literatür verilerine ve araziden alınan toprak örneklerinde laboratuvarda yapılan arazi kapasitesi deneylerine göre belirlenmiştir (Çizelge 5). Değerlendirmelerde, havzanın meteorolojik-iklimsel koşulları dikkate alınarak Aralık-Mart döneminde toprağın arazi kapasitesindeki nemini koruduğu, diğer zamanlarda ise yağış miktarı ve sıklığına bağlı olarak, bu-

Çizelge 5. Çalışma alanındaki hidrolojik toprak gruplarının arazi kapasitesi (F_c) değerleri.
Table 5. Field capacity (F_c) values of the hydrologic soil zones.

Bölge No.	Bünye	Porozite (n)	F_c (mm)
1	SCL-CL	47	130
2	CL	46	122
3	CL-C	65	122
4	CL-C	66	130
5	C	60	138
6	C	66	138
7	C	59	155
8	C	57	138
9	SCL	55	138
10	CL	60	138
11	CL	60	138
12	C	66	138

* Drenaj alanının dışında olan 12 no.lu bölge, havza içindeki akifer sistemini beslediğinden, bu alandan olan beslenme de hesaba katılmıştır. C: Kil, L: tın (silt), S: Kum

harlaşma-terleme ile kaybettiği kabul edilmiştir. Buna göre, buharlaşmanın ihmal edildiği dönemde (1 Aralık-31 Mart) net beslenme (R_{net})

($P \leq I_a$ ise $Q = 0$, $R_{net} = 0$ olduğundan;

$P > I_a$ olması koşuluyla,

$$R_{net} = P - Q, \quad (10)$$

1 Nisan-30 Kasım arasında ise yine aynı koşulla;

$$R_{net} = P - Q - F_c \quad (11)$$

olmaktadır.

Yukarıda açıklandığı şekilde, basit bir bilgisayar programı yardımıyla 1986-2000 yılları arasındaki 15 yıllık dönem için yapılan hesaplamalara göre, alanı 74 km² olan havzada yıllık ortalama yüzeysel akış 170 mm elde edilmiştir. Bu miktar, bu dönemde havzaya düşen ortalama yağışın (555 mm) % 30'una karşılık gelmektedir. Havza ölçeğinde yeraltı suyu beslenimi ise 54 mm hesaplanmıştır. Bu miktar, havzaya düşen ortalama yağışın yaklaşık % 10'udur. Yıllık toplam yağışın 331 mm'si ise (% 60), buharlaşma-terleme ile kaybolmaktadır.

74 km² büyüklüğündeki havza içindeki 26.5 km² ve havza dışında kalan ancak sistemi besleyen 6 km²'lik akifer alanı (toplam 32.5 km²) dikkate alınarak yapılan değerlendirmede, farklı kotlarda yayılım gösteren akifer üzerine düşen alan ağırlıklı ortalama yağışın (535 mm) 138 mm'sinin yeraltı suyunu beslediği sonucuna varılmıştır. Başka bir ifadeyle, akiferin yüzeylettiği bölgelerde yıllık yağışın % 25'i yeraltı suyunu beslemektedir. Havza dışından (12 no.lu bölge) olan yaklaşık 1x10⁶ m³/yılılık miktarla birlikte toplam yeraltı suyu beslenimi hacim olarak 4.9x10⁶ m³/yıl olmaktadır (Çizelge 6). Hesaplanmanın yapıldığı 1986-2000 yılı arasındaki 15 yıllık verilere göre, maksimum beslenme 6.83 m³/yıl (1996), minimum beslenme 2.93 m³/yıl (1990) olarak hesaplanmıştır. Yarıkurak bir bölgede bulunan akifer sistemine olan beslenimde yıldan yıla büyük farklar bulunduğu görülmektedir (Şekil 6).

SCS-CN Yöntemi Uygulanarak Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

SCS-CN yönteminin uygulanmasında bazı belirsizlikler ve sınırlamalar olması nedeniyle, Çakıloba-Karadoruk akiferinde yöntemin uygulan-

Çizelge 6. Hidrolojik bölgelerden akifere gerçekleşen beslenme miktarları.

Table 6. Groundwater recharges computed for each hydrologic soil zone.

Bölge No.	Akifer alanı (km ²)	Beslenme	
		(mm)	(m ³ /yıl)
5	4.50	90.60	407 713
6	8.42	149.72	1 260 642
7	2.61	166.69	435 061
9	1.50	121.90	182 850
11	9.47	169.45	1 604 692
12	6.00	170.00	1 020 000
Toplam	32.50		4 910 958

ması ile elde edilen sonuçlar, klasik bilanço yaklaşımı ve benzer havzalarda ölçülen akım değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda, çalışma alanında buharlaşma-terleme miktarı (Etg), amacıyla TURC yöntemi ile de tahmin edilmeye çalışılmıştır. Hesaplama, 1966-1995 yılları arasındaki 30 yıllık ortalama yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır. Yöntemde önerilen,

$$Etg = P / [(0.9) + (P^2 / L^2)]^{1/2} \quad (12)$$

eşitliğinde;

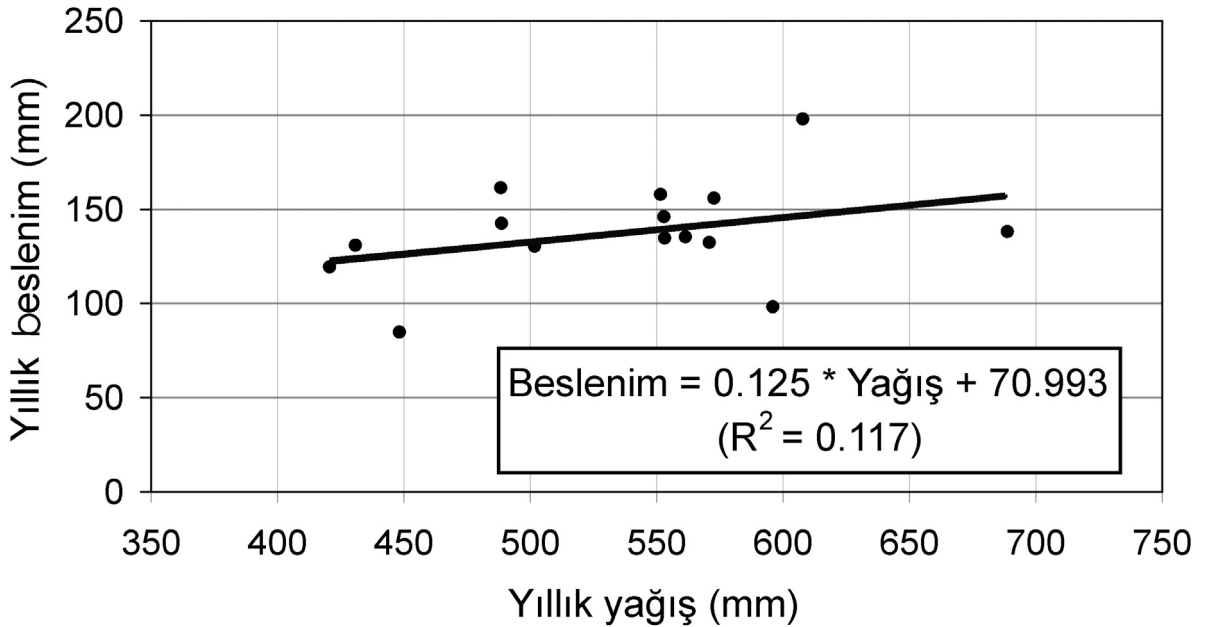
Etg : Gerçek buharlaşma-terleme (mm/yıl)

P : Yıllık toplam yağış (mm/yıl)

L = 300+25 t+0.05t³ eşitliği ile t'ye bağlı bir faktör

t : Yıllık ortalama sıcaklıktır (°C)

Çalışma alanındaki ortalama alansal yağış 555 mm; ortalama sıcaklık ise, 9.6 °C'dir. Bu değerler TURC eşitliğinde yerlerine konduğunda; L=584.23 olup, Etg 300 mm hesaplanmıştır. Buna göre, havzaya düşen 555 mm yıllık yağışın yaklaşık 300 mm'si (% 54) buharlaşma-terleme ile kaybolmaktadır. Geri kalan 255 mm yağış yüzeysel akış, yüzeyaltı akışı ve yeraltısuyu beslenimini oluşturmaktadır. TURC eşitliği kullanılarak hesaplanan buharlaşma-terleme miktarı (300 mm) ile SCS-CN yöntemi uygulanarak hesaplanan buharlaşma-terleme miktarı (331 mm) arasında %10'luk bir fark bulunmaktadır. TURC eşitliği sadece yağış ve sıcaklık değerleri kullanılarak buharlaşma-terlemeye genel bir yaklaşımı ifade etse de, SCS-CN yöntemi ile hesaplanan miktardan düşük olması doğaldır. Çünkü; SCS-CN yöntemindeki miktar, ağaç yaprakları ve dallarında tutulan yağış ile yüzeyde gölcükler halinde biriken suları da kapsamakta; başka bir ifadeyle yüzeysel akışa geçmeyen ve yeraltısuyu beslemeyen kayıpların tamamını ifade etmektedir.



Şekil 6. Yıllık toplam yağış-yeraltısuyu beslenimi ilişkisi.

Figure 6. Relationship between total annual precipitation and groundwater recharge.

Çalışma alanında akım ölçümleri yapılamadığından, SCS-CN yöntemi ile hesaplanan ve toplam yağışın % 30'una karşılık gelen yüzeysel akış (170 mm) miktarı, akım ölçümleri yapılan ve çalışma alanının özelliklerine yakın olan çevre havzaların akımlarıyla karşılaştırılmıştır. Çevre havzalardan İlhan, Kırmir, Aladağ ve Süvari çayı havzalarında alan ağırlıklı ortalama akım % 27'dir (Apaydın, 2004a, 2004b). Dolayısıyla, SCS-CN yöntemi ile hesaplanan yüzeysel akış miktarının kayıtlardan hesaplanan çevre havza akımları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

SCS-CN yönteminin küçük havzalarda sağlıklı sonuçlar verdiği saptanmış olmasına rağmen, uygulanmasında bazı sınırlamalar bulunmaktadır. Bu sınırlamalar ve Çakıloba-Karadoruk akiferinde yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar aşağıda tartışılmıştır.

Öncelikle, yöntemin uygulanması için havzayı temsil eden günlük yağış kayıtlarına gereksinim vardır. SCS-CN yöntemi yağışlardan kayıpları ve yüzeysel akışı modellediğinden, örneğin akifere akarsudan veya havza dışından beslenimin bu yöntemden yararlanılarak hesaplanması mümkün değildir. Yöntem ayrıca kar yağışı ve kar erimesini dikkate almamaktadır. Bu çalışmada, kar yağışı katkısı yağmur olarak işleme konmuştur.

Yöntemin en önemli varsayımı, yağış-akış arası zaman farkını dikkate almamasıdır. Bu nedenle yöntem küçük havzalarda uygulanmaktadır.

Bitki büyüme dönemi ile kış dönemi sınırlarını belirlemek oldukça zordur. Bu sınır bölgeden bölgeye değiştiği gibi, bitki türüne göre ve hatta yıldan yıla değişmektedir. Bu nedenle, bu sınırı iyi belirlemek için o yörenin bitki türlerinin mevsimsel gelişimi ile iklimsel-meteorolojik koşullarının iyi bilinmesi gerekmektedir.

Yöntemin uygulanması ile sağlıklı sonuçlar elde edilebilmesi için, toprak türü ile arazi örtüsü ve kullanımına en uygun CN değerinin belirlenmesi son derece önemlidir. Bunun için çalışılan arazinin çok iyi bilinmesinin yanı sıra, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri yardımıyla coğrafik bilgi sistemi uygulamalarından yararlanılması gerekmektedir. Beslenmeyi etkileyen parametrelerin alansal olarak çok değiştiği havzalarda, daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilmesi için

süzülme deneylerinin ve arazi kapasitesi tayini için örneklemenin sık aralıklarla yapılması gerekmektedir.

Yarıkurak bir bölgede bulunan akifer sistemine olan yıllık beslenimler (ortalama 4.9×10^6 m³/yıl) düzensiz ve ortalamadan sapma fazladır. Ancak asıl dikkat çekici nokta, yıllık yeraltısu beslenimi ile yıllık toplam yağış arasında güçlü bir ilişkinin bulunmamasıdır. Özellikle kurak-yarıkurak bölgelerde yeraltısu beslenimi yıllık veya mevsimlik yağışlarla olsa dahi, yıllık-mevsimlik toplam yağış ile yeraltısu beslenimi arasındaki ilişkinin zayıf olması doğaldır. Çünkü bu tür bölgelerde, bazı yıllarda toprağın nem içeriğinin çok düşük olduğu yaz aylarında gerçekleşen sağanak halindeki yağışların yeraltısuya katkısı olamamaktadır. Ayrıca kurak geçen yaz aylarından sonra sonbahar yağışları yeraltısuya pek katkı sağlamamakta ve çoğu yıllar toprak nemi arazi kapasitesine ulaşmamaktadır. Daha da önemlisi, miktarı fazla olsa bile, buharlaşma-terleme koşullarının nispeten sağlandığı bahar veya kış aylarında uzun aralıklarla yağın yağışlarının yeraltısuunu beslemesi güçleşmektedir. Çünkü uzun süren yağışsız dönemde toprakta su açığı oluşmakta, bir sonraki yağışın büyük bir kısmı öncelikle bu açığı kapamak durumunda kalmaktadır. Özetle, yeraltısuunun yağıştan besleniminde genellikle miktardan çok yağış şekli, yağış şiddeti ve özellikle yağışın yıl içindeki dağılımı (etkili yağış) belirleyicidir.

SCS-CN yöntemi ile yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar, klasik bütçe yaklaşımıyla TURC eşitliği kullanılarak hesaplanan sonuçlar ve akım ölçümleri yapılan çevre havzaların akım değerleri ile uyumlu çıkmıştır. Bu sonuç; yöntemin çalışılan havzada uygulamasının bir ölçüde test edilmesi anlamına gelmektedir. Ancak hidrolojik-hidrojeolojik bilanço hesaplamalarında; mümkün olduğunca ölçüme dayanan verilerin kullanılarak belirsizliklerin ve varsayımların ortadan kaldırılması, en önemlisi de birden çok yöntemin uygulanması ile sonuçların birlikte yorumlanması, daha sağlıklı ve gerçekçi sonuçların elde edilmesi açısından önem taşımaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu makale, yazarın Hacettepe Üniversitesi Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalında tamamladığı Doktora Tezinde yaptığı hidrojeolojik bilanço çalışmalarından hazırlanmıştır.

Yazar, tez danışmanı Mehmet EKMEKÇİ'ye, arazide yapılan süzülme deneyleri için malzeme desteği sağlayan Ziraat Yüksek Mühendisi Şahin Kumbaroğlu'na (DSİ Etüt ve Plan Dairesi), süzülme deneylerinin yapılmasında yardımcı olan Sibel Demirci Aktaş, Seyit Ali Çimen ve Ali Yenici'ye (DSİ V. Bölge Müdürlüğü) teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Apaydın, A., 2004a. Çakılıba-Karadoruk akifer sisteminin (Beypazarı Batısı-Ankara) beslenme koşullarının araştırılması. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).
- Apaydın, A., 2004b. SCS-CN yöntemi ve arazi kapasitesi değerleri kullanılarak yağıştan süzülme ve yeraltısuyu besleniminin tahmini. DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı, Yeraltısuları Semineri Ek Bildiriler Kitabı, DSİ, Ankara.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W., 1988. Applied Hydrology. McGraw Hill Book Company, New York.
- Hawkins, Ré.H., 1998. Local sources for runoff curve numbers. 11th Proceedings of the Annual Symposium of the Arizona Hydrological Society, Tuscon, pp. 23-26.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., and Williams, J.R., 2001. Soil and water assessment tool theoretical documentation. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, Temple, Texas, pp. 93-115,
- Özer, Z., 1990. Su yapılarının projelendirilmesinde hidrolojik ve hidrolik esaslar. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Havza Islahı ve Göletler Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Özgür, C. ve Tamgaç, Ö.F., 1986, Ankara Beypazarı Soda (Trona) Yatağının Hidrojeoloji İncelemesi, MTA Derleme Rapor No: 8101, Ankara (yayımlanmamış).
- Özgür, C., 1986, Ankara-Beypazarı Soda (Trona) Sahası Hidrojeoloji İncelemesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi (yayımlanmamış).
- SCS, 1972. National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology. U.S. Department of Agriculture, Washington.
- SCS, 1987. National Engineering Handbook NEH- Section 4: Hydrology. Chapter 4, Soil Conservation Service, USDA, Washington.

BOŞ SAYFA