



Akarçay (Afyon) Havzası yeraltısuyu kaynakları yönetim stratejisi

Akarçay (Afyon) Basin groundwater resources management strategy

B.Teoman MERİÇ

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

ÖZ

Son yıllarda Akarçay Havzası'ndaki ekonomik ve sosyal gelişime koşut olarak, uygun kalite ve miktardaki su gereksinimini karşılamak için yeraltısuyu kullanımı sürekli artmaktadır. Bu çalışmada, Akarçay Havzası'nda yeraltısuyu kaynak potansiyelinin günümüzde ve gelecekteki gereksinimler doğrultusunda sürdürülebilir kullanımı ve bu potansiyelden en yüksek yarar sağlayacak şekilde tahsisatı için bir su kaynakları yönetiminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla; havza için kullanılabilir yeraltısuyu potansiyelinin belirlenmesinde klasik emniyetli verim yaklaşımı yerine, sürdürülebilirlik yaklaşımı ile aktif su kullanımı sonunda hidrolojik sistemde istenmeyen etkiler yaratmadan, uzun dönemlerdeki gereksinimleri karşılayabilecek bir dinamik potansiyel değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Havza için sürdürülebilir potansiyelin hesaplanmasında, beslenmenin zamana ve konuma göre değişimleri göz önüne alınmış, sekiz alt havza için hesaplanan beslenme değerlerinin belirli tekrarlamaya sürelerindeki oluşma olasılıkları değerlendirilmiştir. 2000-2015 yılları arasındaki beslenme değerlerinin tahmini için yapay seriler Thomas-Fiering Modeli kullanılarak oluşturulmuştur. Yönetim stratejisi içinde su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin yanında, havza içinde en yüksek kazancın sağlanacağı kullanım önceliklerinin gözönüne alındığı bir tahsisat politikası uygulanmıştır. Akarçay Havzası için belirlenen tarımsal sulama senaryoları ve yapay beslenme koşulları dikkate alınarak önerilen on farklı yeraltısuyu işletimin uygulanması sonucu, 2000-2015 yılları arasında hidrolojik sistemde ortaya çıkacak durumun benzeşimi için MODFLOW yeraltısuyu akım modeli kullanılmıştır. Bu benzeşim sonucunda her alt havza için olası hidrolik yük değişimleri ve havza genelinde olası rezerv değişimleri belirlenmiştir. Tüm bu değerlendirmeler sonucunda, Akarçay Havzası'nda yeraltısuyu kullanımının doğal hidrolik denge koşullarını bozmayacak şekilde düzenlenmesi için 120 hm³/yıl değerinin sürdürülebilir verim değeri olarak kabul edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akarçay Havzası, Afyon, su kaynakları, sürdürülebilirlik, tahsisat, yönetim.

ABSTRACT

The ever increasing demand for larger quantities of good quality water requires more intermine groundwater exploitation in Akarçay Basin as provoked by the rapid socio-economic development in the region. The major objective of this study is to develop a water allocation policy on the basis of sustainable management of the groundwater resources potential that maximizes its use considering the current and future demands. In this context, instead of the conventional safe yield approach, a dynamic potential was defined as a basis for computation of the groundwater potential. That might be available for use in the long term without any adverse impact on the hydrological system. The temporal and spatial variability of the recharge is considered in estimation of the sustainable groundwater potential, and the occurrence probability of the estimated recharge for given return periods was analyzed for 8 sub-basins. The recharge values for the years 2000 to 2015 were extrapolated by Thomas-Fiering Model. In addition to the sustainability, a water allocation policy is developed on the basis of priority for achievement. The highest priority is assigned to the zone of the maximum profit achievements in the basin. Ten different groundwater exploitation schemes were suggested for different irrigation scenarios and recharge conditions which were later tested by MODFLOW groundwater flow model that simulated the hydrologic system's response between 2000 and 2015 years. Consequently, the variation in the hydraulic heads for each sub-basin and the corresponding potential variations for the basin were assessed depending on the simulation results. It is concluded that, the

sustainable yield should be taken as 120 hm³/year in order to maximize the use of the groundwater potential without deteriorate the natural hydraulic balance in the Akarçay Basin.

Keywords: Akarçay Basin, Afyon, water resources, sustainability, allocation, management.

GİRİŞ

Akarçay Havzası'nda son yıllar içindeki sanayi ve tarımsal faaliyetlerin hızlı gelişimine koşut olarak nüfusta da önemli bir artış gözlenmektedir. Bu gelişim doğrultusunda havza içinde değişik konum ve zamanda gereksinim duyulan miktar ve kalitedeki su talepleri de gün geçtikçe artmaktadır. Havzada yüzey suyu kaynaklarının kuraklık ve çeşitli kirlilik sorunları nedeniyle çok sınırlı kullanılması, bu ihtiyacın yoğunlukla yeraltısuyundan karşılanması gerekliliğini doğurmaktadır. Söz konusu kapsam gözetilerek bu çalışmada; Akarçay Havzası'nda yeraltısuyu potansiyelinin günümüzde ve gelecekteki etkin kullanılabilir miktarının belirlenerek, havza gereksinimleri doğrultusunda bu potansiyelin en yüksek yararı sağlayacak şekilde tahsisatı için bir su kaynak yönetiminin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Akarçay Havzası için kullanılabilir verim hesaplamasında, genellikle su kullanımının çok az olduğu ve/veya hiç olmadığı işletme öncesi, sistemin statik özelliklere sahip olduğu uzun dönemlerdeki ortalama beslenmenin esas alındığı klasik emniyetli verim değeri yerine, havza ihtiyaçları doğrultusunda sürdürülebilir verim değerinin belirlenmesi ve yeraltısuyu yönetiminin dinamik bir yapı kazanması hedeflenmiştir. Bu nedenle sürdürülebilir verim değeri; yeraltısuyu besleniminin zaman ve konuma göre değişimlerini göz önüne alan, yapılacak yeraltısuyu işletimi ile hidrolojik sisteme zarar vermeyecek veya çok zorunlu durumlarda sisteme vereceği zararı sınırlayacak bir miktar olarak tanımlanmıştır. Aynı zamanda bu miktar günümüz ve gelecek havza koşullarını ve çevresel ihtiyaçları da karşılayabilmektedir.

Akarçay Havzası yeraltısuyu kaynakları yönetimi, sistemin sürdürülebilirliğinin yanı sıra, su potansiyelinin havza içinde su kalitesi açısından uygunluğunun değerlendirilmesi ve havza kaynaklarından en yüksek yararın sağlanacağı bir tahsisat stratejisi ile kullanılmasını hedeflemektedir. Bu strateji, havza içinde günümüzde ve gelecekteki kullanımları da göz önüne alarak,

2000-2015 yılları arasında hidrolik sistemde ortaya çıkabilecek durum benzeşimlerini ayrıntılı olarak değerlendirmiştir. Bu değerlendirmeler ışığında havza için uygun sürdürülebilir verim değeri belirlenmiştir. Akarçay Havzası için geliştirilen bu yönetimin genel özellikleri ile su kaynaklarına ait projelerde karar vericiler için planlama, tasarım ve işletim aşamalarında yol gösterici olması amaçlanmıştır.

AKARÇAY HAVZASI'NIN GENEL HİDROJEOLOJİSİ

Çalışma Alanının Tanıtımı

Akarçay Havzası; İç Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgeleri arasında yer alan, 30⁰-32⁰ doğu boylamları (240000-400000 UTM) ile 38⁰-39⁰ kuzey enlemleri (4210000-4330000 UTM) arasında 7340 km²'lik drenaj alanına sahip bir çöküntü havzasıdır. Drenaj alanın yaklaşık 2985 km²'sini ova alanı oluşturmaktadır. Akarçay Havzası'nı; batıda Sincanlı Ovası, kuzeyde Afyon ve Bolvadin Ovaları, iç kısımda Çobanlar ve Çay Ovaları, güneyde Şuhut Ovası, doğuda Eber ve Akşehir Ovaları oluşturmaktadır (Şekil 1).

Havza Yeraltısuyu Kaynakları

Akarçay Havzası'nda yeraltısuyu işletmesine uygun akifer birimleri, Neojen yaşlı çökellerin kumlu çakıllı seviyeleri ile volkanik kayalardan oluşmaktadır. Bu birimlerden Miyosen ve Pliyosen yaşlı kayaların kumlu ve çakıllı seviyeleri ile alüvyon yelpazeleri havzanın boşalım bölgesini oluşturan ova alanında yeraltısuyu işletimine en uygun alanları oluşturmaktadır. Bu seviyeleri üstten sınırlandıran geçirimsiz özellikteki Neojen marnları ile Kuvaterner killeri, ova alanında akiferlerin basınçlı bir karakter kazanmalarına neden olmuştur. Afyon – Akşehir arasında kalan bölgede ova alanı killi birimler ile örtülü iken, Şuhut Ovasında diğer ovaların aksine Kuvaterner yaşlı çökeller daha geçirimli bir yapıya sahiptir. Bu nedenle Şuhut Ovasında serbest akifer koşulu bulunmaktadır. Sincanlı Ovasında ise, batı kesimlerinde geçirimli Neojen çökelleri

ğişimi söz konusu olursa, tarımsal ve sanayi amaçlı su tahsisatında yeniden düzenlemeye gidilecek, gerekirse havza içindeki bazı işletmelerde kısıtlamalar yapılabilecektir. Havzada tarımsal amaçlı suyun tahsisatı için tarımsal faaliyet veriminin artırılması amaçlı, temeli verim alınabilir özellikte olan arazilerin diğer arazilere oranla daha fazla su alma ilkesi olan bir tahsisat politikası geliştirilmiştir.

Günümüzdeki ve Gelecekteki Yeraltısuyu Kullanımı

Akarçay Havzası'nda kullanım amacına göre mevcut su gereksinimleri, su kullanım önceliğine göre kabul edilen sırayla; içme ve kullanma, hayvancılık ve doğal yaşamın devamı, tarımsal ve sanayi amaçlı su gereksinimleri olarak, havzadaki tüm yerleşim yerleri için ayrı olarak belirlenmiştir. İstatistiki bilgilerine ulaşılan en küçük yerleşim yeri olarak köy esas alınmış ve havza sınırları dahilinde kalan tüm yerleşim birimlerinin günümüzdeki su kullanımları Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE) 2000 yılı (DİE, 2001) verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Yönetimin 2000-2015 yılları arasında planlanması nedeniyle, havza içme ve kullanma su gereksinimlerinin hesaplanmasında esas alınan nüfus değerlerinin 2000-2015 yılları arasında yıllık nüfus projeksiyonları için DİE'nin nüfus verilerinde kullandığı sayımlar arası yıllık nüfus artış hızı bağıntısı ile 1990 ve 2000 yılı istatistiki verileri kullanılmıştır. Havza içinde hayvancılık faaliyetleri ve sanayi kuruluş sayılarının doğrudan bu faaliyetler üzerine yapılacak olan yatırımlar ile orantılı olması nedeniyle geçmiş yıllardaki hayvan türü ve sayıları arasında bir ilişki bulunamamış, nüfus projeksiyonunda kullanılan nüfus artış hızları kullanılmıştır. Tarımsal amaçlı yeraltısuyu kullanımı hesaplanmalarında Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından açılan ve aktif olan sulama kooperatif ve şahıs kuyuları elektrik tüketim kayıtları dikkate alınmış ve yıllık tüketimin ortalama 50 hm³/yıl olduğu hesaplanmıştır. Yönetim modeli içinde gerek günümüzdeki, gerekse gelecekteki tarımsal amaçlı yeraltısuyu kullanım miktarının belirlenmesi için kullanılan diğer bir yöntem de, Akarçay Havzası'nda son yıllar içinde aktif olarak yetiştirilen her bitki cinsinin (şeker pancarı, hububat, patates, mısır, meyva-elma ve bağ) sulama suyu gereksiniminin ve aktif ekilen alanların belirlenmesi yöntemleridir. Bu amaçla, Meriç (2003) tarafından alt havza sınırları dahilinde DSİ'nin

havza gelişim planlarında kullandığı ve ülkemizde yaygın kullanıma sahip olan Blaney-Criddle (Blaney ve Criddle, 1950) yöntemi ile aktif ekilen bitkiler için sulama suyu gereksinimi belirlenmiştir. Aktif tarım yapılan arazilerin bitki türlerine göre belirlenmesi için ise Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan arazi kullanım haritaları ve Landsat TM uydu görüntüsünde bitki özelliklerini ortaya çıkaracak bant kombinasyonu (Bant4-Bant3/Bant4+Bant3 NDVI-Normalized Difference Vegetation Index) kullanılmıştır.

Akarçay Havzası'nda sulama yapılan mevcut alanların havza içi dağılımlarının belirlenebilmesine rağmen, bu alanlar içinde yetiştirilen bitkilerin tüm tarım faaliyetleri içindeki oranları hakkında bilgiye sahip olunamamıştır. Bu nedenle, sulama alanı içinde bitkinin doku olarak tek olduğu kabul edilerek, söz konusu sulama alanları için potansiyel bitki su gereksinimleri hesaplanmış ve değişik bitki türleri ile tarımsal su gereksinimi senaryoları gerçekleştirilmiştir (Meriç, 2003).

Akarçay Havzası İşletilebilir Yeraltısuyu Potansiyeli

Bir havzada kullanılabilir yeraltısuyu potansiyelinin tanımlanmasında; emniyetli verim, havza verimi, sürdürülebilir verim gibi değişik kavramlar kullanılmaktadır. Bu kavramlar, genellikle havzanın yeraltısuyu rezervinde bir değişiklik yaratmadan her yıl beslenme ile yenilenen su miktarının kullanılabilir kısmını ifade etmektedir. Bu bakış açısı ile rezervde bir değişiklik olmayacağı için, sürdürülebilirlik ilkesine uygun görülen bu kavramların belirlenmesi ise çok farklı şekillerde gerçekleşmektedir. Ülkemizde havza verimi, ya da emniyetli verim değeri yıllık ortalama beslenme miktarının %70-80'i olarak ifade edilmektedir. Bununla birlikte; beslenmenin gerek yıldan yıla değişiminin, gerekse konumsal değişiminin göz önüne alınmadığı bu yaklaşımda rezervde değişiklik olmaması mümkün değildir. Bu nedenle, Akarçay Havzası için kullanılabilir verim değeri belirlenmesinde, temel olarak uzun yıllar yağış ortalamaları ile belirlenen bir beslenme değeri yerine, yeraltısuyu beslenmesinde meydana gelen konumsal ve zamansal değişimleri ile planlanan talepleri karşılayacak beslenme miktarlarının gerçekleşme olasılıkları göz önüne alınmıştır. Bu değerlerin yeraltısuyu geliştirme işlemleri ile hidrolojik sisteme zarar vermeyen veya çok zorunlu durumlarda sisteme

vereceği zararı kısıtlayan bir miktar olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu sayede günümüz ve gelecekteki havza koşulları ile çevresel gereksinimlerin karşılanmasının yanı sıra, sistemde istenmeyen etkiler yaratmayacak bir sürdürülebilir verim elde edilmiştir.

Akarçay havzası yeraltısuyu beslenimi : Havza genelinde beslenmenin zamana ve konuma göre değişimleri Tezcan vd. (2002) tarafından oluşturulan “abcd” yüzey su bütçesi modeli (Thomas, 1981) sonuçlarının kullanılması ile elde edilmiştir. Çizelge 1’de her bir alt havza için 1965-98 yılları arasında hesaplanmış ortalama, en küçük ve en büyük beslenme değerleri sunulmuştur.

“abcd” modeli ile sadece yağışın yeraltına süzülen kısmı belirlenmekte, bu miktarın yeraltısuyuna ulaştıktan sonra akış aşağı havzalara katkısı belirlenmemektedir. Akarçay Havzası’na ait bu alt havzalarda batıdan doğuya doğru bir yeraltısuyu akımı gerçekleşmekte ve her bir alt havza akış aşağısında bulunan havzayı beslemektedir. Beslenme değerinin bu alt havzalardaki mik-

Çizelge 1. Akarçay alt havzaları için “abcd” modeli ile hesaplanan 1965-1998 arası yıllık yeraltısuyu beslenme değerleri (hm³) (Tezcan vd., 2002’den).

Table 1. Annual groundwater recharge values calculated by “abcd” model between the years 1965-1998 for the Akarçay sub-basins (hm³) (after Tezcan et. al., 2002).

Alt havza	Yeraltısuyu beslenimi (hm ³)		
	Ortalama	En küçük	En büyük
Afyon	8.0	1.4	27.0
Akşehir	38.9	9.0	97.9
Bolvadin	10.1	0.2	35.1
Çay	9.0	0.9	24.2
Çobanlar	21.6	3.6	53.8
Eber	8.1	1.6	21.8
Sincanlı	50.9	2.7	190.1
Şuhut	27.0	1.9	77.0

Çizelge 2. Akarçay Havzası’nın 5-10-15-20-25-50 yıllık tekrarlamaya süreleri içerisinde alabileceği en büyük ve en küçük beslenme değerleri (hm³).

Table 2. Maximum and minimum recharge values in 5-10-15-20-25-50 years reoccurrence intervals for the Akarçay Basin (hm³).

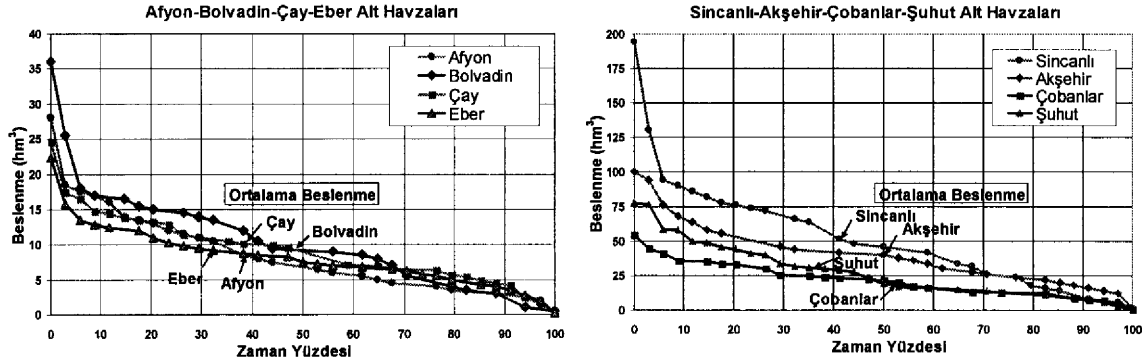
Tekrarlamaya süresi	5 yıl	10 yıl	15 yıl	20 yıl	25 yıl	50 yıl
En küçük	77.09	50.90	40.91	35.34	31.69	23.03
En büyük	260.58	324.87	358.11	380.13	396.42	443.35

tarları kullanılarak belirlenecek bir emniyetli verim değeri bu nedenle hatalı sonuçlar verecektir.

Beslenme değerlerinin olasılık dağılımı : Akarçay Havzası içinde çeşitli tekrarlamaya sürelerinde oluşabilecek beslenme değerlerinin belirlenmesi amacıyla 8 alt havzanın yıllık beslenme serileri incelenmiştir. Tüm serilerin dağılım fonksiyonuna uygunluğunun belirlenebilmesi için χ^2 (ki kare) testi uygulanmıştır. Söz konusu beslenme değerlerinin normal, log-normal, Pearson-III dağılım fonksiyonlarına uymadığı, ancak Log-Pearson-III dağılımına uygunluk gösterdiği belirlenmiştir. Bu kapsamda Log-Pearson-III dağılım fonksiyonu kullanılarak Akarçay Havzası için 5-10-15-20-25 ve 50 yıllık periyotlarda gelebilecek en küçük ve en büyük beslenme değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 2).

Beslenme-zaman dağılımı : Her alt havzaya ait beslenme değerlerinin gerçekleşme sıklıklarının değerlendirilmesi amacıyla, 1965-1998 yılları arasındaki 34 yıllık beslenme değerlerinin frekans dağılımları incelenerek, beslenme-zaman eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğriler herhangi bir beslenme değeri, ya da daha büyük bir değer ile karşılaşılan zamanın 1965-98 yılları arasında 34 yıllık zaman içerisindeki yüzdesini ifade etmektedir. Emniyetli verim olarak seçilecek miktar, ya da bundan büyük bir değerle karşılaşma olasılığını yansıtmaları için oldukça kullanışlı olan bu eğrilerden, beslenme değerleri birbirine yakınlık gösteren Afyon-Bolvadin-Çay-Eber Alt Havzaları ve Sincanlı-Akşehir-Şuhut ve Çobanlar Alt Havzaları için Şekil 2’de gösterilmiştir.

İncelenen tüm alt havzalarda genel bir değerlendirme ile ortalama değerlerin tüm serideki beslenme oluşum oranlarını yeterli olarak temsil etmediği, ortalamadan düşük olan değerlerin genel olarak %50’den daha sık ortaya çıktığı görülmektedir. Bu kapsamda ortalama değer



Şekil 2. Akarçay alt havzaları için beslenme-zaman eğrileri.
Figure 2. Flow-duration curves for the Akarçay sub-basins.

kullanılarak elde edilen emniyetli verim değerlerinin tamamı kullanıldığında, aynı dönem içerisinde çekilen miktarın beslenme ile yenilenemeyeceği görülmektedir.

Havza içinde karşılaşma olasılıklarına göre, 34 yıllık dönemin %50'sinde ve %70'inde gözlenen beslenme değerleri her alt havza için ayrı ayrı ve tüm havza için belirlenerek Çizelge 3'de sunulmuştur. Gerçekleştirilen tüm beslenme değerlendirmeleri ile gerek 34 yıllık dönemin %50'sinde, gerekse %70'inde gözlenen beslenme değerleri Akarçay Havzası için emniyetli yeraltısuyu potansiyel senaryoları olarak belirlenmiştir.

Beslenme zaman serisinin uzatılması: Akarçay Havzası için "abcd" yüzey su modeli ile hesaplanan beslenme değerleri 1965-1998 yılları ara-

Çizelge 3. Akarçay alt havzaları için beslenme-zaman eğrileri ile belirlenen emniyetli beslenme değerleri ($hm^3/yıl$).

Table 3. Safe recharge values determined by flow-duration curves for the Akarçay sub-basins ($hm^3/year$).

Alt havza	Ortalama beslenme ($hm^3/yıl$)	%50 Beslenme değeri ($hm^3/yıl$)	%70 Beslenme değeri ($hm^3/yıl$)
Afyon	8.00	6.75	4.75
Akşehir	38.90	40.00	29.75
Bolvadin	10.10	9.25	6.75
Çay	9.00	9.00	7.00
Çobanlar	21.60	21.75	16.50
Eber	8.10	7.50	7.25
Sincanlı	50.90	46.00	29.50
Şuhut	27.00	19.00	17.50
Tüm Havza	173.60	159.25	119.00

sındaki zaman dilimini içermektedir. Havza içinde 2000-2015 yılları için sürdürülebilir verim miktarlarının değerlendirilmesi amacıyla beslenme verileri 2015 yılı sonuna kadar uzatılmıştır. Bu amaçla, kısa süreli hidrolojik zaman serileri kullanılarak bu veriler ile aynı olasılık dağılımına sahip yapay değerlerin elde edilmesi amacıyla oldukça yaygın bir biçimde kullanılan Thomas - Fiering (Maass et al.,1962) yaklaşımından yararlanılmıştır. Bu yaklaşım, ardarda gelen değerler arasında içsel bir ilişki bulunduğu ve her değerın öncekilerden tahmin edilebileceği varsayımına dayanmaktadır. Serinin olasılık dağılımı, eğilim ve periyodik yapısını gözetken bu yaklaşım ile elde edilen seri ile aynı istatistik özellikleri gösteren değerler üretmek mümkündür. Bu yaklaşım doğrultusunda 1965-1998 yılları arasındaki her alt havza için "abcd" modeli ile hesaplanan 408 aylık beslenme değerleri kullanılmış ve 2015 yılı sonuna kadar aylık ölçekte yapay beslenme verisi üretilmiştir. Çizelge 4'de her alt havza için üretilen aylık değerlerden elde edilen toplam yıllık beslenme değerleri görülmektedir.

Akarçay Havzası Yeraltısuyu Tahsisatı

Akarçay Havzası için geliştirilen bu yönetim çalışmasında su tahsisatında öncelik canlı gereksinimlerinin karşılanmasında bulunmakta, bu gereksinim karşılandıktan sonra tarımsal amaçlı su tahsisatı işlemine geçilmektedir. Bu amaçla bir önceki bölümde açıklandığı şekilde, öncelikle ilgili projeksiyonlar ile hesaplanan canlı su gereksinimi mevcut potansiyelden karşılanmıştır. Havza su kaynaklarının kullanımında bu gereksinimin her durumda karşılanması gerektiği göz önünde tutulmuş olup, gerekli durumlarda diğer kullanımlarda kısıtlamalara gidilmesi planlanmıştır.

Çizelge 4. Akarçay alt havzaları için Thomas-Fiering modeliyle hesaplanan toplam yıllık beslenme değerleri (hm³).
Table 4. Total annual recharge values calculated by Thomas-Fiering model for the Akarçay sub-basins (hm³).

	Afyon	Akşehir	Bolvadin	Çay	Çobanlar	Eber	Sincanlı	Şuhut	Tüm havza
1999	7.90	48.78	8.77	11.56	22.92	10.67	52.88	31.51	194.98
2000	4.65	40.53	9.62	7.65	27.53	6.69	39.91	19.43	156.00
2001	11.60	34.23	7.65	7.05	23.32	10.27	45.80	29.44	169.35
2002	9.02	30.41	8.42	8.48	22.19	9.15	54.54	24.49	166.71
2003	4.53	42.25	9.64	8.57	24.07	8.54	49.28	39.38	186.27
2004	6.67	35.70	13.36	11.34	17.72	8.25	60.61	24.70	178.36
2005	9.84	35.54	10.54	11.33	18.36	8.46	53.79	21.37	169.22
2006	17.85	42.50	12.52	13.97	18.58	10.33	47.65	33.73	197.12
2007	9.92	33.64	13.02	9.03	12.23	6.91	37.48	21.15	143.38
2008	4.93	23.35	7.07	6.70	17.74	7.03	23.90	33.71	124.43
2009	7.65	40.97	11.44	7.09	16.16	5.53	56.93	27.82	173.60
2010	6.61	39.11	9.28	8.53	24.93	8.29	73.28	20.53	190.57
2011	6.21	30.42	10.77	6.81	21.20	7.50	69.26	15.31	167.49
2012	5.47	42.65	9.76	8.84	12.87	6.91	63.83	28.64	178.97
2013	9.24	39.81	11.40	6.71	21.12	6.58	48.11	19.91	162.88
2014	6.82	31.09	6.97	10.97	21.36	7.71	55.96	18.23	159.11
2015	7.47	42.12	11.95	9.53	25.15	7.79	34.81	39.90	178.71

Çizelge 5'de her bir alt havzada, mevcut tarımsal kullanıma ek olarak, belirlenen canlı su gereksiniminin karşılanması için gerekli su miktarları yıllara göre verilmiştir. Bu çizelgede verilen değerlerin belirlenmesinde; tarımsal faaliyetlerin aynı şekilde devam ettiği ve canlı nüfusunda artış hızının 2015 yılına kadar aynı olduğu varsayılmıştır. Buna göre, 2015 yılına kadar 83.16 hm³/yıl'lık bir tahsisatın yapılması zorunlu görülmektedir. Bu tahsisat kapsamında havza içinde 2000 yılı için tarımsal amaçlı kullanılan su miktarının da yaşamın devamı için zorunlu bir kulla-

Çizelge 5. Canlı su gereksinimi için tahsis edilmesi zorunlu miktarların 2000-2005-2010-2015 yıllarındaki değişimi.

Table 5. Variation of mandatory portions of domestic water requirement in 2000-2005-2010-2015 years.

Alt havza	Su gereksinimi (hm ³)			
	2000	2005*	2010*	2015*
Afyon	16.42	17.53	18.65	19.76
Akşehir	16.74	17.23	17.70	18.18
Bolvadin	7.68	7.97	8.25	8.52
Çay	5.66	5.79	5.96	6.09
Çobanlar	7.05	7.33	7.59	7.89
Eber	8.68	8.84	9.01	9.18
Sincanlı	5.53	5.62	5.69	5.77
Şuhut	7.44	7.54	7.65	7.77
Tüm havza	75.19	77.86	80.50	83.16

* Tarımsal su gereksinimi için 2000 yılı tarımsal su kullanımının diğer yıllarda aynen devam ettiği varsayılmıştır.

nım olduğu kabul edilmiş ve canlı gereksinimi için tahsis edilmesi gerekli su miktarına eklenmiştir.

Havzada tarımsal amaçlı suyun tahsisatı için tarımsal faaliyet veriminin artırılması ve havza içindeki tüm yerleşim birimlerinin sudan gerekli payı alabilmeleri hedeflenmiştir. Geliştirilen tahsisat sisteminin temeli verim alınabilir özellikte olan arazilerin diğer arazilere oranla daha fazla su alma ilkesidir. Bu amaçla alanda, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün esas aldığı toprak sınıflaması (Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 1994) kullanılmıştır. Kullanılan sınıfların özelliklerine göre I. ve II. Sınıf araziler toprak özellikleri açısından tarıma en uygun sınıflar olup sulama yapılabilecek alanlardır. Bunun yanında III. ve IV. Sınıf araziler eğer sulama yapılırsa az da olsa verim alınabilecek nitelikte olan alanlardır. Bu nedenle, tahsisat işlemlerinde bu ilk dört sınıf göz önüne alınmış diğer sınıflar sulama gerçekleştirilse dahi verim alınmayacağı için değerlendirilmeye alınmamıştır.

Geliştirilen tahsisat stratejisi verim alınabilecek özellikteki ilk dört sınıf arazinin toplam tarım yapılabilecek arazi içindeki oranına göre pay alması şeklindeki genel ilkesine dayanmaktadır. Ancak, üst sınıf arazilerin tarıma daha uygun özelliklere sahip olması, bu alanların alacakları su ile diğer sınıflara göre daha fazla verim sağlayabilmeleri sonucunu doğuracağından; ilk dört sınıf içerisinde üst sınıfların daha fazla su alma-

su verimliliğini daha da arttıracaktır. Bu amaçla, öncelikle her üst sınıf arazisinin toplam alana oranı kadar su alacak; bu tahsisata ek olarak da, kendi sınıfından toprak özellikleri açısından daha zayıf olan alt sınıflardan, bu sınıfların toplam alan içindeki oranı kadar ek bir pay daha alması sistemin tahsisat stratejisini oluşturmaktadır (Meriç, 2003).

Tanımlanan dört sınıf için tahsisat eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$V_I = \left(\frac{A_I}{A_T} + \frac{A_I \cdot (A_{II} + A_{III} + A_{IV})}{A_T^2} \right) \cdot V_T \quad (1)$$

Burada;

V_I : Birinci sınıf araziye tarımsal kullanım için tahsis edilen kullanılabilir potansiyelden ayrılacak su miktarı (l/s)

A_I : Birinci sınıf arazi alanı (m^2)

A_{II} , A_{III} , A_{IV} : İkinci, üçüncü ve dördüncü sınıf arazi alanları (m^2)

A_T : Toplam alan (m^2)

V_T : Tarımsal sulama için emniyetli verimden ayrılan toplam su miktarı (l/s) olup,

$$V_{II} = \left(\frac{A_{II}}{A_T} + \frac{A_{II} \cdot (-A_I + A_{III} + A_{IV})}{A_T^2} \right) \cdot V_T \quad (2)$$

$$V_{III} = \left(\frac{A_{III}}{A_T} + \frac{A_{III} \cdot (-A_I - A_{II} + A_{IV})}{A_T^2} \right) \cdot V_T \quad (3)$$

$$V_{IV} = \left(\frac{A_{IV}}{A_T} + \frac{A_{IV} \cdot (A_I + A_{II} + A_{III})}{A_T^2} \right) \cdot V_T \quad (4)$$

şeklinde kullanılmıştır.

Akarçay Havzası'nda tarımsal amaçlı suyun tahsisatı için geliştirilen bu sistem esas alınarak, tüm havza alanında ilk dört sınıf arazi için tarımsal sulamaya ayrılan potansiyelin tahsisat oranları hesaplanmıştır. Akarçay Havzası için tarımsal faaliyetlere uygun bu dört alanın toplam havza içindeki oranları ve bu alanların tarımsal sulama potansiyelinden alacağı oranlar Çizelge 6'da sunulmuştur. Genel olarak sınıfların tarım yapılan alana oranlarına göre ilk sınıf arazilerin çok fazla su aldıkları düşünülse de, mevcut sulama durumunda sulu tarım yapılan araziler I. ve II.Sınıf ağırlıklıdır. III. ve IV.Sınıf arazilerde ge-

nel olarak kuru tarım ve çok az sulu tarım yapılmaktadır.

Havza alanı içerisinde belirlenen genel sınıf tahsisatlarının alt yönetim bölgelerine taşınmasında ise köy alanları kullanılmıştır. Gerçekleştirilen çalışma su kaynakları dağılımını havza genelinde ele alırken, mevcut sistemde sulama alanlarının köy sınırlarında işletim gösteren sulama kooperatifleri ile kontrol edilmesinden ve aynı zamanda havza içi tarımsal su taleplerinin de köy sınırları dahilinde oluşmasından dolayı tarımsal su tahsisatında köy sınırlarının kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Ülkemiz idari sınırları dahilinde henüz bir köy idari sınır haritası bulunmaması nedeniyle, köy alanları Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) teknikleriyle köy yerleşim merkezleri kullanılarak belirlenmiştir (Meriç, 2003).

Havza genelinde kullanılabilir verimden tarımsal sulamaya ayrılan kısmın alt yönetim bölgelerine tahsisatı için ise,

$$V_i = (V_{i1} + V_{i2} + V_{i3} + V_{i4}) \quad (5)$$

$$V_{i1} = V_i \frac{A_{i1}}{A_i} \quad V_{i2} = V_{ii} \frac{A_{i2}}{A_{ii}} \quad V_{i3} = V_{iii} \frac{A_{i3}}{A_{iii}} \quad V_{i4} = V_{iv} \frac{A_{i4}}{A_{iv}} \quad (6)$$

eşitlikleri kullanılmıştır.

Burada;

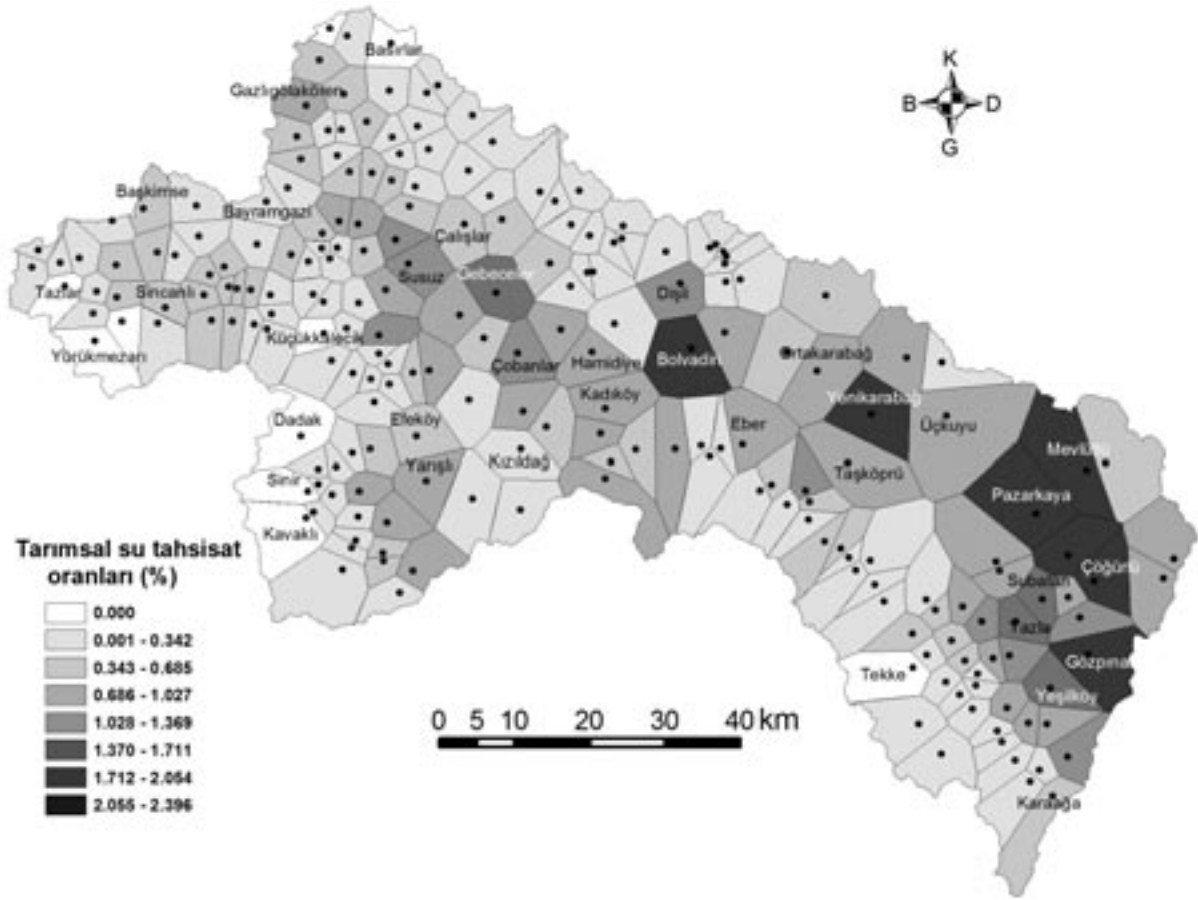
V_i : Alt yönetim alanı için tarımsal sulamaya ayrılan potansiyelden tahsis edilecek miktar (l/s)

V_{i1} : Alt yönetim alanındaki I.Sınıf araziye tahsis edilen miktar (l/s)

A_{i1} : Alt yönetim alanındaki I.Sınıf arazi alanı (m^2)

A_i : Havzadaki toplam I.Sınıf arazi alanı (m^2) olarak tanımlanmıştır.

Eşitlik 5 kullanılarak Akarçay Havzası'ndaki alt yönetim bölgelerinin tarımsal su potansiyelinden alacakları oranlar belirlenmiştir (Şekil 3). Alt yönetim bölgeleri olarak seçilen köy alanlarına yapılan tahsisat sonucu, her köy için sınırları dahilindeki sulama yapılabilecek nitelikteki tarım alanlarına tahsis edilecek yeraltısuyu miktarları belirlenecektir. Bu sayede mevcut durum içinde önce talep edenin tahsisata sahip olması, daha sonraki taleplerin ise belirlenen potansiyel ile sınırlandırılması ve belirli bir kullanımdan sonra potansiyel için hiçbir tahsisatın yapılmaması gibi bir sorun da kendiliğinden çözülmüş olacaktır.



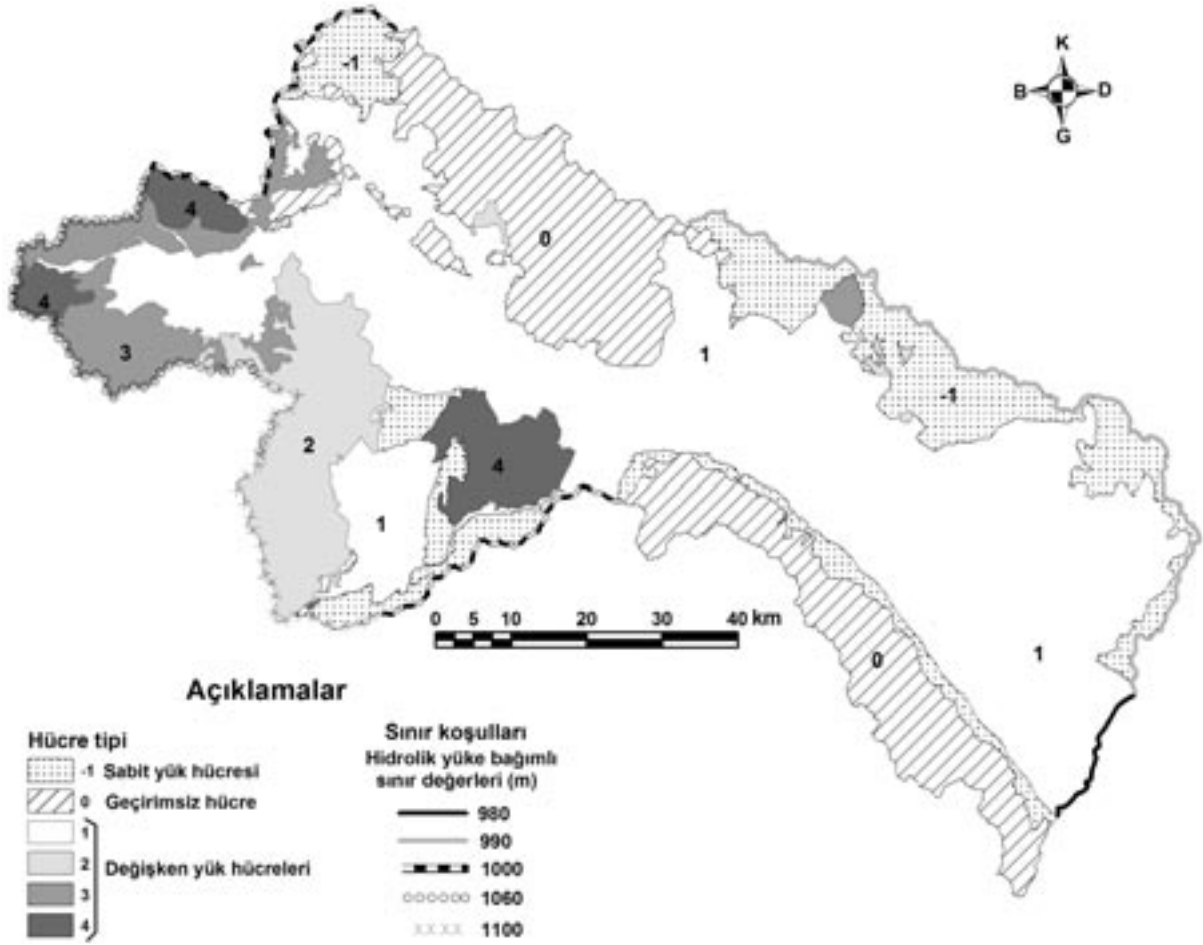
Şekil 3. Akarçay Havzası alt yönetim bölgeleri için toplam tarımsal su potansiyelinden tahsis edilecek oran.
Figure 3. Allocation ratio from total agricultural water potential for sub-management regions of the Akarçay Basin.

Yeraltısu Kullanımının Akifer Sistemine Etkileri

Havzada yeraltısu kullanımı konusunda meydana gelecek olası etkilerin belirlenmesi amacıyla değişik seçeneklerin etkisi Tezcan vd. (2002) tarafından oluşturulan yeraltısu akım modeli ile araştırılmıştır. MODFLOW (McDonald and Harbaugh, 1988) matematiksel model programı kullanılarak oluşturulan bu model ile 1965 – 2000 yılları arasında Akarçay Havzası hidrojeolojik sistemi benzeştirilmiştir. Yeraltısu kullanımının olmadığı 1965 yılından itibaren başlanarak ve zaman içerisinde açılan kuyuların ve beslenmedeki değişimlerin etkisi de göz önüne bulundurularak 2000 yılı sonuna kadar hidrolik yük dağılımı elde edilmiştir. Akarçay Havzası yeraltısu akım modeli tüm havzayı kapsamakta olup, (250 x 250) m boyutlarında, 317 satır ve 638 kolondan oluşan toplam 202246 adet sonlu farklar hücresinden ve tek katmandan oluşmak-

tadır. Model hücre tiplerinin havza içindeki dağılımları, birimlerin genel hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak ve Şekil 4’de sunulduğu gibi, geçirimsiz, sabit yük ve değişken yük hücreleri olarak belirlenmiştir. Alanın kuzeyinde geniş alanlar kaplayan Paleozoyik yaşlı birimler ve güneydoğudaki Sultandağları’nın büyük kısmını kaplayan Ordovisyen yaşlı şistler geçirimsiz hücre olarak tanımlanmıştır. Havza içerisindeki diğer tüm birimler, değişik hidrolik iletkenlik değerlerine sahip değişken yük hücreleri ile ifade edilmiştir.

Model aracılığı ile hesaplanan 2000 yılı hidrolik yük değerleri başlangıç olarak alınarak, değişik yeraltısu kullanımlarının 2000-2015 yılları arasında etkisi ortaya konmuştur. Bu amaçla 2000-2015 yılları arasında Thomas-Fiering Modeli ile belirlenen sentetik beslenme değerleri esas alınarak model altı aylık dönemlerden oluşan 30 adet periyotta yeniden çalıştırılmıştır.



Şekil 4. Akarçay Havzası model alanı içerisindeki hücre özellikleri ve sınır koşulları.
Figure 4. Boundary conditions and cell properties of the Akarçay Basin's model area.

Beslenme için ilk olarak şu ana kadarki beslenme ile aynı istatistiklere sahip beslenme değerleri kullanılmıştır. Daha sonra rassal olarak elde edilen ve yine aynı istatistiklere sahip ikinci bir serinin %50'si kadar bir beslenme gerçekleştiğinde hidrolik yük dağılımı üzerindeki etkiler ortaya konmaya çalışılmıştır.

Söz konusu 15 yıllık dönem boyunca mevcut sulama kuyularının (636 adet) ve özel şahıs kuyularının (1000 adet) çalışmaya aynı şekilde devam edeceği düşünülmüştür. Bu kuyular, her yıl yaz aylarında sulama amaçlı olarak 6 aylık bir dönem boyunca çalışmakta, yağışlı dönemlerde ise kullanılmamaktadır. Bu kuyulara ek olarak havzada her bir yerleşim merkezinin 2000-2015 yılları arasında içme ve canlı su ihtiyacını yeraltı suyundan karşılayacağı varsayılmıştır. Bu amaçla model alanı içerisinde kalan her yerleşim

merkezinin su ihtiyacı, yerleşim merkezlerine açılan kuyular aracılığı ile sağlanmıştır. Bu şekilde modele 256 adet yeni kuyu eklenmiştir. Bu kuyuların çekim debileri, her yıl artan nüfusun su ihtiyacını karşılayacak şekilde önceki bölümde verilen projeksiyonlar esas alınarak 6 aylık dönemler boyunca belirlenmiştir. Bu kuyuların 6 aylık dönem boyunca aynı debi ile çalıştığı varsayılmış, bir sonraki 6 aylık dönemde ise artan ihtiyaca göre debisinde artış yapılmıştır. Geçirimsiz hücrelerde bulunan kuyular ise en yakın değişken yük hücre lokasyonlarında benzeştirilmiştir.

Bu koşullar altında model çalıştığıında 30 periyotta Akarçay Havzası 8 alt havzasındaki yeraltı suyu işletiminin en yoğun olduğu alanlar seçilerek hidrolik yük değişimleri elde edilmiştir. Bu sayede genel bir yük değişimi yerine alt havzalarda en fazla düşümün değerlendirilmesi amaç-

lanmıştır. Bu değerlendirmelere örnek olarak Afyon ve Akşehir Alt Havzalarındaki değişim Şekil 5'de sunulmuştur. Genel olarak tüm havzalarda sentetik beslenme değerlerinin kullanılması sonucunda hidrolik yüklerde bir yükselmenin olduğunu görülmesine rağmen Akşehir ve Sincanlı Alt Havzalarında ise 2000-2015 yılları arasında 1-2 m arasında bir azalma görülmüştür. Diğer alt havzalarda ise hidrolik yüklerde 1-3 m arası yükselimler gözlenmiştir. Su kullanım koşulları değiştirilmeden sentetik beslenme serisi ile aynı istatistiklere sahip ikinci bir serinin %50'si kadar bir beslenme gerçekleştiğinde tüm alt havzalarda 2000-2015 yılları arasında hidrolik yüklerde çok fazla olmasa da genel bir düşüm gözlenmiştir.

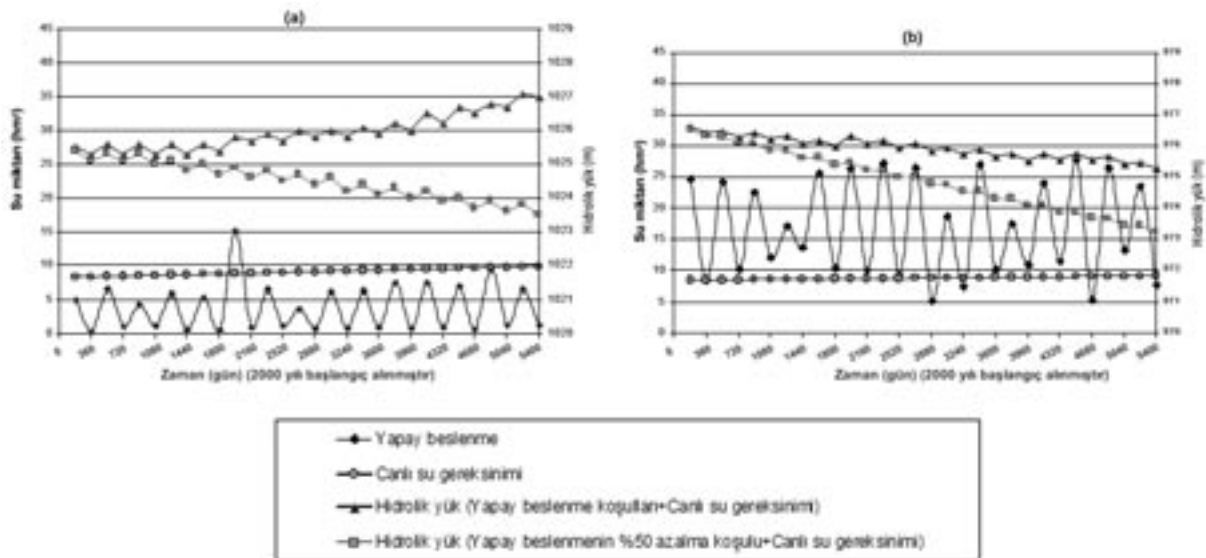
Tarımsal su ihtiyacını karşılamak üzere başlangıçta yeni kuyu açılmadan model çalıştırılmış daha sonra ise emniyetli verim çerçevesinde elde edilen veriler ışığında, bir önceki bölümde açıklanan tahsisat yaklaşımı ile her yerleşim merkezine Çizelge 6'da verilen arazi sınıfı tahsisat oranlarında verilebilecek su miktarları Eşitlik 7 ile hesaplanmıştır. Söz konusu ihtiyacı sağlamak üzere yerleşim merkezi sınırları içerisinde kalan her arazi sınıfını temsil eden poligonların ağırlık merkezlerine bir kuyu açılmıştır. Bu şekilde toplam 1643 kuyu çekim debileri belirlenmiştir.

Çizelge 6. Akarçay Havzası için sulamaya uygun arazi sınıfları dağılımı ve tarımsal sulama potansiyeli tahsisat oranları.

Table 6. Distribution of soil classes suitable for irrigation and allocation ratio of agricultural water potential for the Akarçay Basin.

Sınıf	Havza içindeki toplam tarım alanına oranı	Tarımsal sulama potansiyeli tahsisat oranı
I	0.281	0.484
II	0.268	0.314
III	0.259	0.166
IV	0.191	0.037

2000-2015 yılları arasında tarımsal amaçlı tahsis edilecek su miktarının belirlenmesi için ilk olarak beslenme – süre eğrilerinde havza bütününde %50 zamana karşılık gelen 159.2 hm³/yıl toplam beslenme değeri göz önüne alınmıştır. 2000 yılından 2015 yılına değin bu değer 75 ile 83 hm³/yıl'lık kısmi canlı su gereksinimi için kullanılacağından, tarımsal sulamaya toplam 80 hm³/yıl ayrılacağı belirlenmiştir. Bu tarımsal tahsisat için, sulama alanının büyüklüğüne ve arazi sınıfına bağlı olarak 1 ile 40 l/s arasında değişen çekim debileri hesaplanmıştır. Bu koşullar altında model; yapay beslenme koşulları ve aynı beslenme koşullarının % 50'sinin oluşması durumları için çalıştırılarak yük dağılımı elde edilmiştir. Bu değerlendirmeye ek olarak



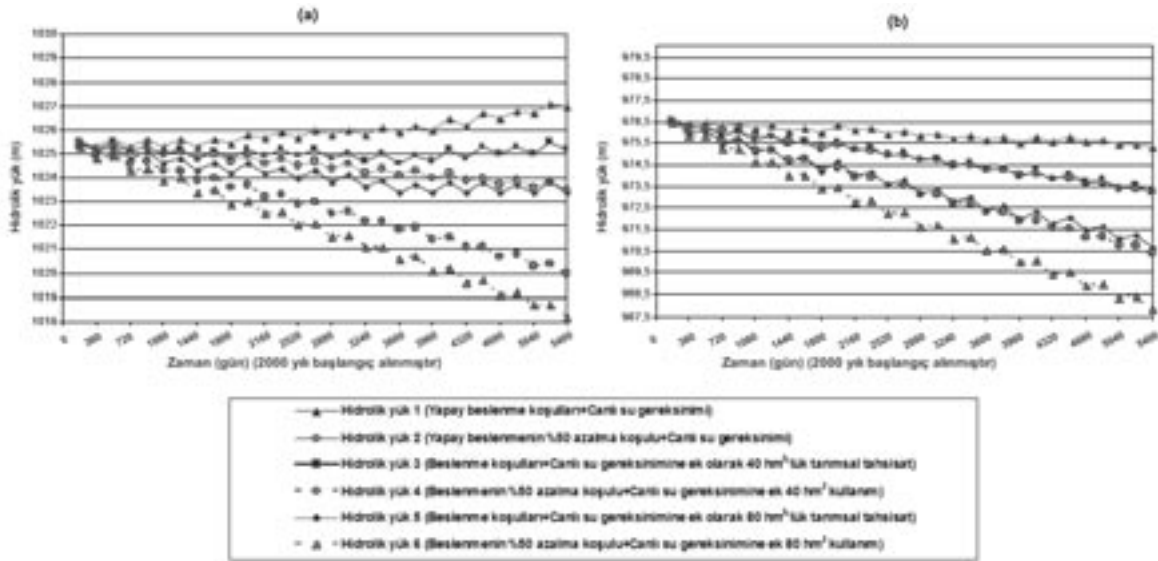
Şekil 5. (a) Afyon ve (b) Akşehir alt havzaları için 2000-2015 yılları arası yapay beslenme koşullarında sadece canlı su gereksiniminin karşılanması ile ortaya çıkacak hidrolik yük değişimleri.

Figure 5. Variation of hydraulic heads in case of only use domestic water requirement in synthetic recharge conditions between 2000-2015 years for the (a) Afyon and (b) Akşehir sub-basins.

beslenmenin tüm zamanın %70'ini aştığı 120 hm³/yıl değeri esas alınarak, tüm havzaya tarımsal tahsisat için 40 hm³/yıl ayrılmış ve model tekrar yapay beslenme değerleri ve beslenmenin %50 azalması koşulunda çalıştırılmıştır. Her iki senaryo sonucunda gözlenen hidrolik yük değişimleri her alt havza için ayrı ayrı elde edilmiştir. Bu değerlendirmelere örnek olarak Afyon ve Akşehir Alt Havzalarındaki değişim Şekil 6'da sunulmuştur. Bu değişimlerin gözlemlendiği bölgeler seçilirken alt havzadaki yeraltısu işletiminin en yoğun olduğu alanlar göz önünde bulundurularak, kuyulara yakın noktasal değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Bu sayede genel bir yük değişimi yerine alt havzalarda en fazla düşümün değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

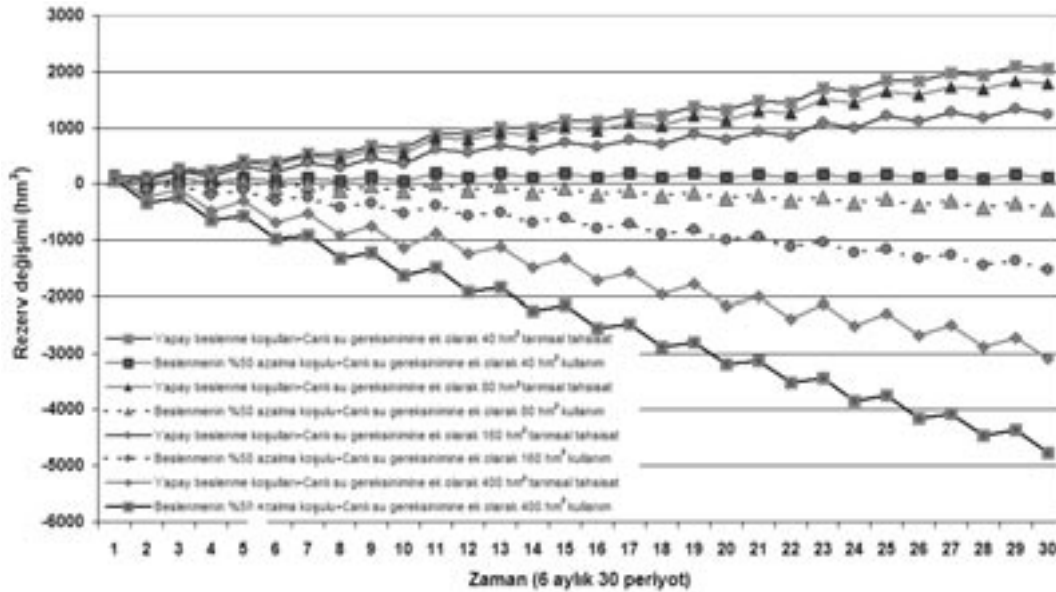
Akşehir ve Sincanlı Alt Havzaları dışında 2000-2015 yılları arasında her iki tarımsal tahsisat senaryosunda beslenme değerinin %50'sinin oluşması durumu haricinde bir düşüm gözlenmemektedir. Akşehir ve Sincanlı Alt Havzalarında ise, tarımsal tahsisat ve beslenme koşullarına göre 1-8 m arasında düşümler gözlenmektedir. Beslenme değerinin %50'sinin oluşması durumunda; bu alt havzalarda 40 hm³/yıl tarımsal tahsisatında 3-3.5 m, 80 hm³/yıl tarımsal tahsisatta ise 7-8 m arasında düşüşler görülmektedir.

Bu değerlendirmelere ek olarak içindeki tüm I.Sınıf arazilere "şeker pancarı" ekilmesi için gerekli olan 400 hm³/yıl değeri ve "beslenme-zaman" eğrilerinde havza bütününde %50 zamana karşılık gelen 159.2 hm³/yıl toplam beslenme değerinin tüm havza için tarımsal tahsisata ayrılması durumunda ortaya çıkacak durumların benzeşimi gerçekleştirilmiştir. Önceki senaryolarda olduğu gibi, Thomas-Fiering Modeli ile belirlenen yapay beslenme değerleri ve aynı istatistikî özelliği gösteren rastlantısal olarak belirlenmiş ikinci beslenme serisinin %50'si kadar bir beslenme olması koşullarında meydana gelen değişimler değerlendirilmiştir. Bu bölümde ayrıntılı anlatılan 40, 80, 160 ve 400 hm³/yıllık tarımsal tahsisat ve beslenme senaryolarının havza genelinde 2000-2015 yılları arasında yaratacağı etkilerin benzeşimi için geliştirilen yeraltısu modeli yardımıyla bir rezerv değişimi değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 7'deki grafikte ayrıntılı sunulduğu gibi, genel olarak Akarçay Havzası, 2000-2015 yılları için hesaplanan yapay beslenme koşullarının devam etmesi durumunda 40-80-160 hm³/yıllık tarımsal tahsisatı karşılayabilmektedir. Ancak, beslenme koşullarının %50 azalması sonucunda havza genelinde rezerv değişimleri artmaktadır. Özellikle 400 hm³/yıllık tarımsal tahsisat ile havza genelinde 2015 yılı sonunda 5000 hm³ gibi büyük bir re-



Şekil 6. (a) Afyon ve (b) Akşehir alt havzaları için tarımsal tahsisat için belirlenen senaryolarına göre 2000-2015 yılları arasında ortaya çıkacak hidrolik yük değişimleri.

Figure 6. Variation of hydraulic heads in case of designated agricultural scenarios between 2000-2015 years for the (a) Afyon and (b) Akşehir sub-basins.



Şekil 7. Akarçay Havzası'nda 2000-2015 yılları arasında 40, 80, 160 ve 400 $\text{hm}^3/\text{yıl}$ tarımsal tahsisat değerlerinin yeraltısuyu rezervi üzerindeki etkisi.

Figure 7. The influence of the agricultural water allocation of 40, 80, 160 ve 400 hm^3/year to the groundwater reserve in the Akarçay Basin between 2000 and 2015 years.

zerv değişiminin gerçekleşebileceği görülmektedir. Beslenme koşullarının % 50 azalması durumunda, 40-80 $\text{hm}^3/\text{yılılık}$ tarımsal tahsisat eğrileri ayrıntılı incelendiğinde havza için kritik verim noktası yorumlanabilir. 40 $\text{hm}^3/\text{yılılık}$ tarımsal tahsisat durumundaki eğri sıfırın üzerinde paralel şekilde devam ederken, 80 $\text{hm}^3/\text{yılılık}$ tarımsal tahsisat ise sıfırın altında paralel bir eğilim göstermektedir (bkz. Şekil 7).

Akarçay Havzası'nda 2015 yılı sonunda canlı gereksinimine ek olarak, beslenmenin %50 azalması durumunda 40 hm^3 ve 400 $\text{hm}^3/\text{lük}$ tarımsal su kullanımı sonucu elde edilen alansal düşüm dağılımları ise Şekil 8 ve Şekil 9'da sunulmuştur. Bu şekillerden görüldüğü üzere en fazla düşüm işletmenin yoğun olarak gerçekleştiği ve kuyuların yoğunlaştığı ova alanlarında olurken, alt havzalar arasında ve çevresindeki yüksek dağlık kesimlerde ayrıca Eber-Akşehir göllerinin kapladığı alanlarda herhangi bir çekim olmadığı için düşüm de gerçekleşmemektedir.

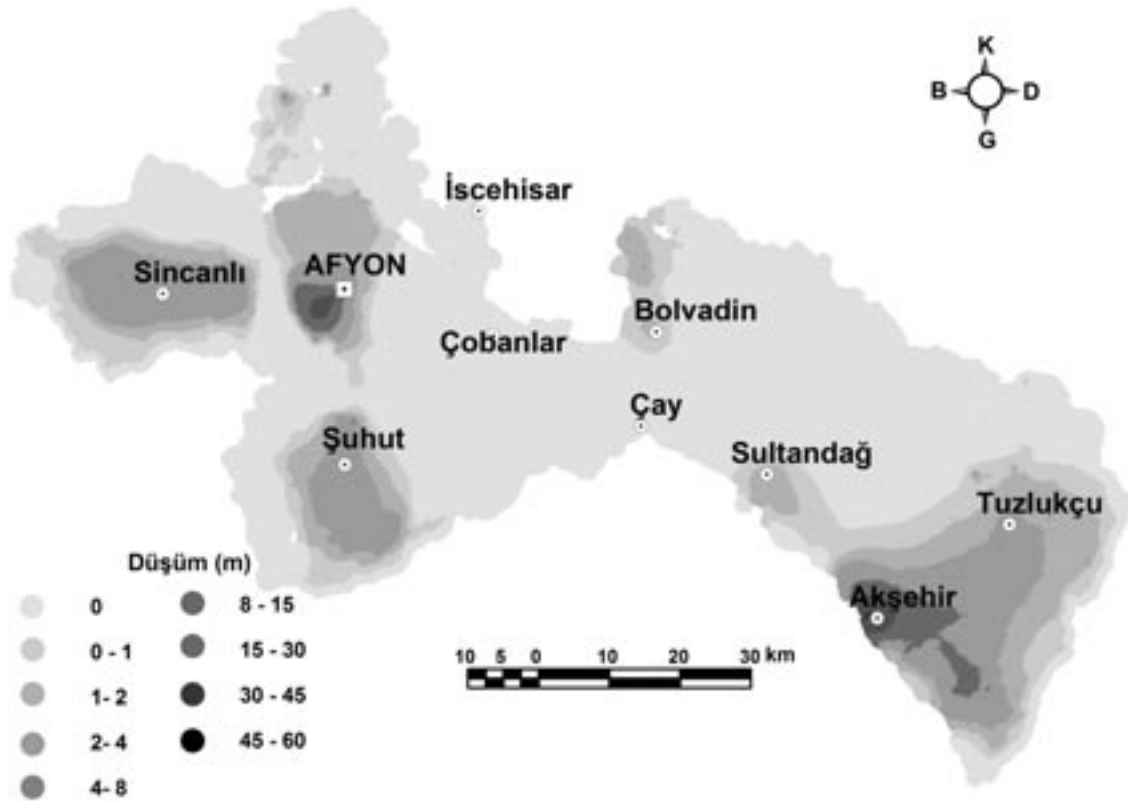
SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Akarçay Havzası su gereksinimleri doğrultusunda gün geçtikçe artan yoğunlukta yeraltısuyu kullanım taleplerinin değerlendiril-

rilebilmesi amacıyla, kaynak potansiyelinin günümüzde ve gelecekteki sürdürülebilir miktarının belirlenerek, bu potansiyelin havza gereksinimleri doğrultusunda en fazla faydayı sağlayacak şekilde tahsisatı için bir yeraltısuyu kaynak yönetimi geliştirilmiştir.

Havza yeraltısuyu kullanımı için belirlenen potansiyelin dağıtımını amacıyla öncelikle canlı yaşamının devamı için zorunlu ihtiyaç olarak tanımlanan içme, kullanma ve hayvancılık amaçlı gereksinimlerin, daha sonra ise tarımsal ve sanayi su gereksinimlerinin karşılanması stratejisi kullanılmıştır. Tarımsal su tahsisatı için Akarçay Havzası'nda tarım faaliyetlerinden en fazla yararın sağlanmasına yönelik olarak, bir su tahsisat stratejisi geliştirilmiştir. Akarçay Havzası içinde zaman ve konuma göre değişim gösteren bu gereksinimlerin karşılanması durumunda 2000-2015 yılları arasında ortaya çıkabilecek hidrolojik durum benzeşimi için MODFLOW yeraltısuyu akım modeli kullanılmış, her alt havza için hidrolik yük değişimleri yanında havza genelinde meydana gelecek rezerv değişimleri ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

Model sonuçları kapsamında havzada hesaplanan beslenme koşulları altında 2000-2015 yılları



Şekil 8. Akarçay Havzası için 2015 yılında %50 beslenme ve 40 hm³ tarımsal tahsisat koşullarındaki düşüm dağılımı.

Figure 8. The distribution under the conditions of the agricultural water allocation of 40 hm³ and 50% recharge for the Akarçay Basin at 2015 year.

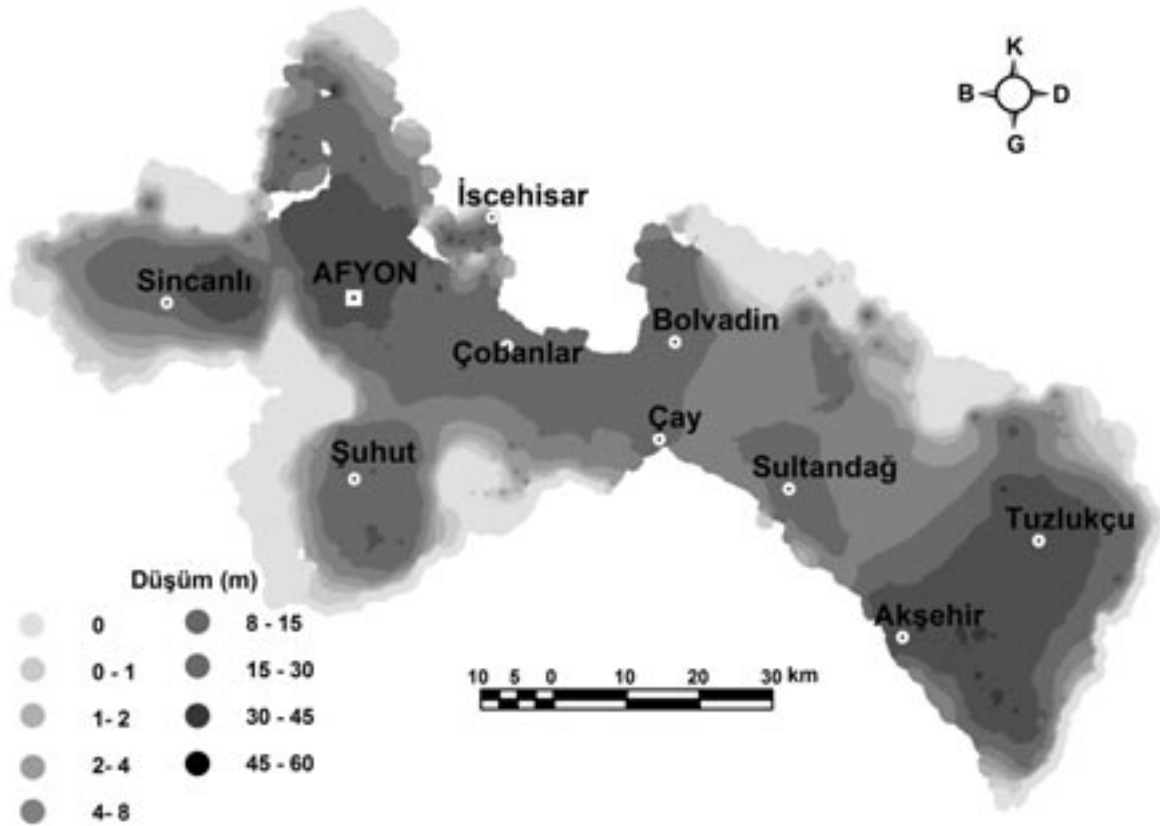
rı arasında beslenmenin tüm zamanın %70'inin aşıldığı 120 hm³/yıl değerinin, yapılan tüm değerlendirmeler ışığında Akarçay Havzası için sürdürülebilir verim değeri olarak kabul edilebileceği sonucuna varılmıştır. Ancak dikkat edilmesi gereken husus, bu değer sabit bir değer olarak kabul edilmemesi ve sistem içinde elde edilen veriler ile sürekli yenilenerek bir dinamik yapı kazanması gerektiğidir. Bu sistemin sürdürülebilir özelliğinin devamlılığı için zorunludur.

Havza bazında gerçekleştirilen su kaynakları yönetim çalışmalarında kullanılabilir verim değeri hesaplamalarının; hidrolojik sistemin dinamik yapısını göz önünde bulundurması ve sistemde istenmeyen etkiler yaratılmadan emniyetli şekilde işletilmesi, kaynağın sürdürülebilirliği açısından çok önemlidir. Bu kapsamda klasik emniyetli verim hesaplamaları yerine hidrolojik sistem bileşenlerini zaman ve konumun bir fonksiyonu olarak değerlendiren ve su kaynağının miktar kadar, kalite açısından da korunmasını

sağlayan sürdürülebilir verim değeri belirlenmelidir. Söz konusu sürdürülebilir verim değerinin belirlenmesi işlemleri sırasında çeşitli matematiksel modelleme uygulamaları, ayrıntılı istatistiksel çalışmalar gibi sayısal değerlendirmeler etkin bir araç olarak hidrolojik sistemin davranışlarını ortaya koyması açısından kullanılmalıdır. Sürdürülebilir verim değerinin belirlenmesinde göz ardı edilmeyecek önemli bir husus da çevresel gereksinimlerin her koşulda göz önüne alınması gerektiğidir. Kullanılabilir verim değeri belirlenirken; su kaynak sisteminden en fazla yararın sağlanması amacının yanında ekosistem içindeki diğer sistemlerin işleyişinde değişimlere neden olunmamasına özen gösterilmelidir.

KATKI BELİRTME

Yazarın doktora tezinin bir bölümünü içeren bu çalışmada, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi, 02.T10.604.001 no'lu proje



Şekil 9. Akarçay Havzası için 2015 yılında %50 beslenme ve 400 hm³ tarımsal tahsisat koşullarındaki düşüm dağılımı.

Figure 9. The distribution under the conditions of the agricultural water allocation of 400 hm³ and 50% recharge for the Akarçay Basin at 2015 year.

kapsamında maddi destek sağlamıştır. Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) ile Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü arasında yürütülen "Akarçay Havzası Hidrojeolojisi ve Yeraltısuyu Akım Modeli" projesi kapsamında jeolojik ve hidrojeolojik verilerin toplanması, bilgisayar ortamına aktarılması, ulaşım, konaklama ve arazi çalışmaları sırasında her iki kurumdan destek sağlanmıştır. Yazarın tez danışmanı Yrd. Doç. Dr. Levent TEZCAN çalışmanın her aşamasında yardımcı ve yol gösterici olmuştur. Yazar, değerli görüş ve katkılarından dolayı, Yerbilimleri Dergisi hakemlerine ve Doç. Dr. Mehmet EKMEKÇİ'ye teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Blaney, H.F., and Criddle, W.D., 1950. Determining water requirements in irrigated areas from

climotological and irrigation data. USDA Soil Conservation Service, SCS-TP96, 44 pp.

D.İ.E., 2001. Türkiye İstatistik Yıllığı 2000, Yayın No: 2466, Devlet İstatistik Enstitüsü Matbaası, Ankara, 742 s.

Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 1994. Afyon ili arazi varlığı. T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 120 s.

Maass, A., Hufschmidt M., Dorfman, R., Thomas, H., Marglin, S., Fair G., 1962. The design of water resources systems. Chapter 12: Mathematical Synthesis of Streamflow Sequences for the Analysis of River Basins by Simulation, Harvard University Press, Cambridge, 467 pp.

McDonald, M.G., and Harbaugh, A.W., 1988. A Modular Three Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model. U.S. Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations, Book 6, 586 pp.

Meriç, B.T., 2003. Akarçay (Afyon) Havzası su kaynakları yönetim modeli. Doktora Tezi, Ha-

- cettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 127 s (yayımlanmamış).
- Tezcan, L., Meriç B.T., Doğdu, N., Akan, B., Atilla, A.Ö. ve Kurtaş, T., 2002. Akarçay Havzası hidrojeolojisi ve akım modeli final raporu. Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM)-Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü, 339 s (yayımlanmamış).
- Thomas, H.A., 1981. Improved methods for national water assessment. Report Contract No: WR15249270, U.S. Water Resources Council, Washington.
- T.S.E., 1997. Türk Standardı. İçme ve Kullanma Suları, TS 266. Ankara, 25 s.