

KÜÇÜK MENDERES HAVZASI SU KAYNAKLARI ÜZERİNDE BARAJLARIN ETKİSİ

IMPACT OF DAMS ON WATER RESOURCES OF KÜÇÜK MENDERES BASIN AND INTEGRATED WATER MANAGEMENT

Dr. Öğretim Üyesi Davut Yılmaz

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü, Etlik-Keçiören Ankara.

yilmazdavut1967@gmail.com, 05326843996

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9981-7875>

İbrahim Kocabaş

Jeoloji Mühendisi (DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yas Dairesi Başkanlığı Emekli Şube Müdürü)

ibkoca@gmail.com, 05325516257

ÖZ

Küçük Menderes havzasındaki verimli topraklar ve uygun iklim şartları, yılda birden fazla ürün ekimini mümkün kılmaktadır. Bu durum sulama suyuna olan ihtiyacı ve talebi artırmaktadır. Diğer yandan iklim değişikliği nedeniyle artan sıcaklıklar ve azalan yağışlar, havzadaki akışların 1983 öncesine göre %30 azalmasına yol açmıştır. Havzada Beydağ Barajı'nın tamamlandığı 2007 yılına kadar, sulama suyu ihtiyacının neredeyse tamamı yer altı suyu (YAS) kuyularından pompajla karşılanmaktaydı. Havzada inşa edilen barajların havzaya olan etkilerini incelemek amacıyla havzanın bütününe yayılmış olan 7 baraja ait güncel hidrolojik veriler kullanılarak havzanın tamamındaki akışa geçen su hesaplanmıştır. Bu akım ile havzanın çıkışındaki akım gözlem istasyonu verileri kullanılarak yer altı suyunun beslenme miktarı ve akış-süzülme katsayısı hesap edilmiştir. Başta Beydağ barajı olmak üzere inşa edilen 7 barajın havzaya ilave su katkısı ve barajların yer altı suyu beslenimine etkisi belirlenmiştir. Barajların inşasıyla birlikte Ege Denizi'ne boşalan 44 hm³ suyun havzada kalmasını sağlanmış olsa da YAS besleniminin yaklaşık 80 hm³ azaldığı, Ödemiş-Tire alt havzasında barajlardan sulama yapan çiftçilerin hektar başına su haklarının barajlardan önceki duruma göre 3 kat arttığı, ancak aynı havzada YAS'na bağlı olarak sulama yapan çiftçilerin ise emniyetli rezervden alacağı suyun ise %39 oranında azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Azalan yağışların akiferin beslenimini önemli ölçüde etkilemediği, bununla birlikte barajların inşasıyla azalan YAS beslenimini artırmak maksadıyla uygun yerlere YAS besleme sistemleri inşası gerekmektedir. Bunun yanında uygun yerlere YAS barajları inşa edilerek havzalar arası su dengesi sağlanabilir ve yer altından denize boşalmaların önüne geçilebilir. 2016 Yılı itibarıyla, YAS'tan su kullanımı emniyetli rezervin 3 katına ulaşmıştır. Gerek YAS besleme sistemleri gerekse yer altı barajları ile denize olan YAS ve yüzey suları boşalımı tamamen önlenirse bile, bugünkü su kullanımı sürdürülebilir değildir. Yer altı ve yer üstü sularının birlikte yönetimi ve alana göre su tahsisatının yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Baraj, yer altı barajı, akifer beslenimi.

ABSTRACT

Fertile soils in the Küçük Menderes Basin and suitable climatic conditions make it possible to plant more than one crop per year. This increases the need and demand for irrigation water. On the other hand, increasing temperatures and decreasing precipitation due to climate change resulted in a 30% reduction in flows in the basin compared to pre-1983. Almost all the irrigation water need was met by pumping from groundwater wells before Beydağ Dam was completed in the basin in 2007. In order to examine the effects of the dams built on the basin, the flow in the entire basin was calculated using the up-to-date hydrological data of 7 dams spread throughout the basin. With this flow, the amount of groundwater recharge and the flow-infiltration coefficient were calculated using the flow monitoring station data at the outlet of the basin. The additional water contribution of 7 dams built, especially the Beydağ dam, to the basin and the impact of dams on groundwater recharge were determined. Although the 44 hm³ water yearly discharged into the Aegean Sea was kept in the basin by the construction of Beydağ and 6 other dams in the basin, it also caused a reduction of approximately 80 hm³ in aquifer recharge. While the water rights per hectare of farmers who irrigate from dams increase 3 times compared to the situation before the dams, farmers who do irrigation by pumping from the ground water resources will get 39% less water from the safe ground water reserves. Although discharges to the sea in the basin decrease with the effect of decreasing rainfall because of climate changes, it has been determined that reduced precipitation has not yet significantly affected the aquifer recharge. Groundwater recharge systems should be built in suitable places to restore the groundwater supply since groundwater recharge were badly affected by newly built 7 dams. In addition, constructing underground dams in suitable places may be utilized to balance water in between subbasins and to prevent underground discharge into the sea. As of 2016, the use of groundwater has reached 3 times the safe reserve. Even if groundwater and surface water discharge to the sea is completely prevented by groundwater recharge systems and underground dams, current water use is not sustainable. It is necessary to manage groundwater and surface waters together and allocate water according to the area.

Keywords: Dams, underground dams, aquifer recharge, water managment.

GİRİŞ

Küresel iklim değışiklikleri nedeniyle, sıcaklıklar artmakta ve yağışlar azalmaktadır. Artan nüfus; içme suyu, endüstri suyu ve tarımsal amaçlı su ihtiyaçlarını arttırmaktadır. Artan su ihtiyaçları nedeniyle su kaynakları, havza temelinde bilimsel ve teknik ilkelere uygun planlanarak etkili ve sürdürülebilir şekilde kullanılmalıdır.

Yer üstü ve yer altı su kaynaklarının birlikte yönetimi, artan su ihtiyaçları nedeniyle daha fazla önem kazanmaktadır. Küresel ısınma sonucunda sıcaklıkların artması ve yağışların azalması, su kaynaklarında ciddi azalmalara neden olmaktadır. Tarıma elverişli havzalarda artan nüfus nedeniyle sulama suyu talebi ve içme-kullanma suyuna olan ihtiyaç da artmaktadır. Artan su ihtiyacını karşılamak için barajlar projelendirmekte ve inşa edilmektedir. Barajların projelendirilmesinde yer altı su beslenimine etkisi dikkate alınmadığı için yapılan barajlar akiferlerin beslenimini azaltmakta ve baraj göllerinde depolanan su buharlaşma kayıplarını artırmaktadır.

Çiftçiler tarafından sulama suyu ve belediyeler tarafından içme-kullanma suyu ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla sondaj kuyusu açılmaktadır. Artan ihtiyaçlar nedeniyle beslenimdeki azalmanın aksine akiferlerden çekimler artmakta, yer altı su seviyelerinde hızlı düşüşler yaşanmaktadır (JICA, 1996; DSİ, 2016; Kazanasmaz, 2014). Mevcut yer altı su kuyuları, akiferde düşen su seviyeleri nedeniyle askıda kalmakta buna bağlı olarak kuyular işe yaramadığı için işlevsiz kalmaktadır. Bu durum su sondaj kuyularının derinleştirilerek yeniden açılmalarını zorunlu hale getirmektedir. Düşen yer altı su seviyeleri ve artan derinlikler ise, pompaj maliyetlerini arttırmaktadır. Bunun yanında, olağanüstü durumlar için stratejik bir rezerv olan akiferlerdeki depolanmış yer altı su kaynakları ise hızla tüketilmektedir.

Küçük Menderes Havzası, Batı Anadolu’da yer alan doğu batı doğrultusunda uzanan yapısal kontrollü bir grabendir. Havzanın kuzeyinde Bozdağlar (2158 m) ve güneyinde Aydın dağları (1831 m) yer almaktadır. Küçük Menderes nehri ve bu nehri besleyen yan kolların dağlardan taşıdıkları sedimentlerin grabende birikmesi sonucu genişçe bir alüvyonal düzlük oluşturmuştur (Muslu, 2005). Ovayı geçen Küçük Menderes nehri yaklaşık 110 km uzunlukta olup, 3.255 km²’lik beslenme alanına sahiptir.

Küçük Menderes Havzası sulama projelerini planlamak amacıyla ilk çalışma Havza Master Planı çerçevesinde 1982 yılında DSİ tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, Küçük Menderes Nehrini besleyen yan kollar üzerinde 12 adet baraj yeri belirlenmiştir. Önerilen bu projeler havzadaki yerleşim yerlerinin içme-kullanma su ihtiyaçları da dikkate alınarak JICA (1996) tarafından değerlendirilmiştir. Bu amaca yönelik olarak yapılan çalışmalarda havzanın yer altı suyu besleniminin 160 hm³/yıl ve yüzey suyu potansiyelinin ortalama 390 hm³/yıl olduğu tespit edilmiştir. Bu çerçevede, Beydağ, Aktaş, Burgaz ve Ergenli Barajlarının yapımının uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Havzanın yer altı suyu ve yüzey suyu potansiyeli dikkate alınarak 10.340 hektarı yer altı suyundan 26.670 hektarı yüzey suyundan olmak üzere toplam 31.010 hektarlık alanın sulanabileceği sonucuna varılmıştır.

DSİ ile ODTÜ arasında imzalanan “Revize Hidrojeolojik Etütler Kapsamında Küçük Menderes Havzası Yeraltısularının İncelenmesi ve Yönetimi” başlıklı projeye (2000); havzanın hidrolojik verileri değerlendirildi, jeolojisi incelendi, çeşitli kurumlar tarafından açılan kuyulara ilişkin verileri toplandı, hidrojeolojik jeolojik çalışmaları yapıldı, çeşitli kurumlar tarafından açılan kuyulara ilişkin veriler toplandı, havzadaki akarsuların ve yer altı sularının kalitesi ve kirliliğine ilişkin çalışmalar yürütüldü ve yer altı suları akım modellemesi yapılarak yer altı suları yönetim planı sunuldu. Bu çalışmada havzanın yer altı suyu besleniminin 179,2 hm³/yıl olarak belirlenmiş ve yer altı suyu rezervlerinin yılda 30,5 hm³ azaldığı tespit edilmiştir.

DSİ (2016) Küçük Menderes Havzası Master Plan Nihai Raporuna göre yer altı sularının yıllık beslenimi 361,5 hm³'tür. Ancak yer altı suyundan çekilen 810,58 hm³ su nedeniyle yer altı suları her yıl 449,08 hm³ azalmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, sulanabilir 132.500 ha verimli arazilere sahip olan Küçük Menderes Havzası'nın su kaynaklarının iklim değişikliğiyle beraber zaman içinde değişimini irdelemek ve su kaynaklarının bütüncül yönetimine ilişkin öneriler sunmaktır. Bu çalışma kapsamında; Küçük Menderes Havzası'nda akiferlerin beslenimi, yer altı barajları, yer altı ve yer üstü su kaynaklarının birlikte yönetimi ile ilgili mevcut eski çalışmalar, raporlar havza su kaynaklarının bütüncül yönetimi bakış açısıyla incelenmiş ve Küçük Menderes Havzası su yönetiminin nasıl yapılması konusunda bir dizi önerilerde bulunulmuştur.

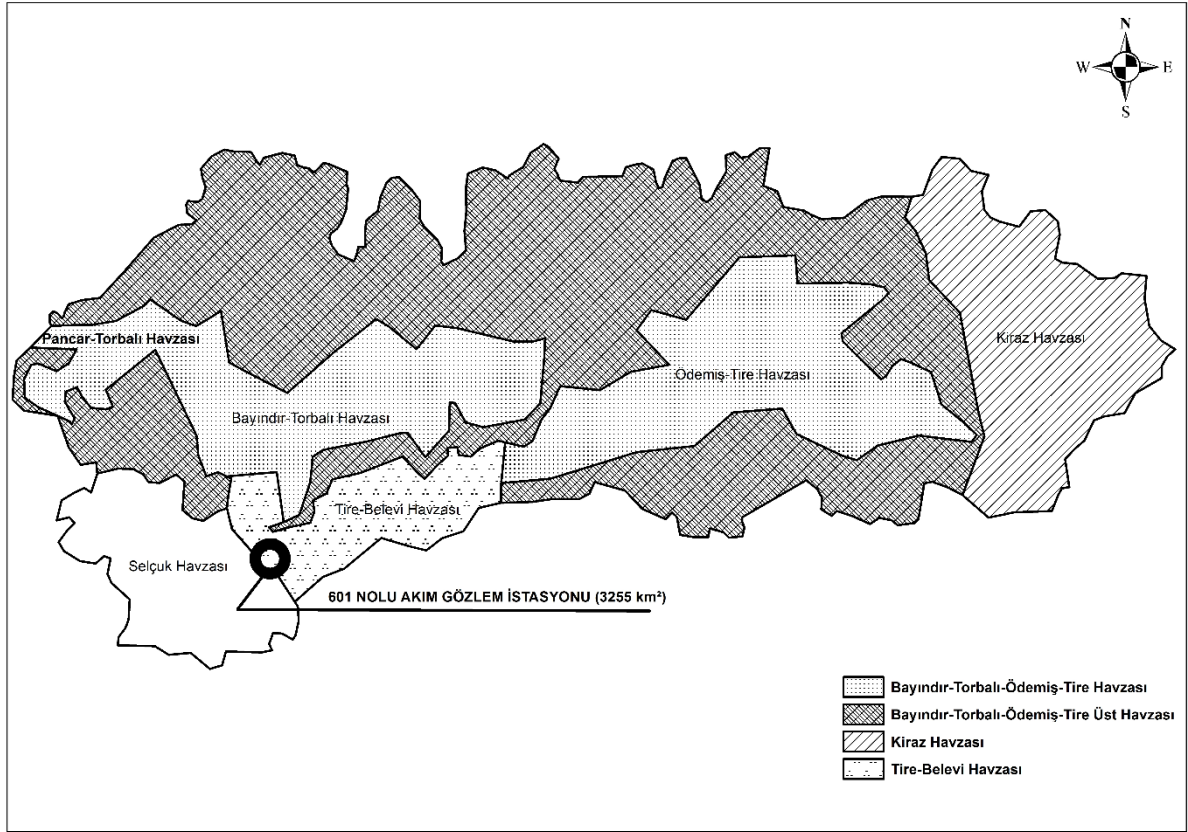
Bu amaçla havzadaki su kaynaklarının 1996 öncesi baz alınarak artan sıcaklıklar ve azalan yağışlarla beraber değişimi incelenmiş ve yer altı su kuyusu sayılarının artışıyla yer altı su seviyelerindeki değişimler incelenmiştir.

Küçük Menderes havzası içinde yapılan barajların havzaya ilave su katkısı incelenmiş, başta havzada yapılan ilk baraj olan ve en büyük depolama kapasitesine sahip Beydağ barajı olmak üzere, barajların yer altı suyu (YAS) beslenimine olan etkileri ortaya konulmuş, Beydağ barajına gelen suyun sulayabileceği alandan daha büyük sulama alanının inşa edilmesinin ortaya çıkardığı sorunlar ve zincirleme etkileri analiz edilmiştir. Havzada azalan yağışlar nedeniyle düşen akışların barajlar inşa edilmeden önce YAS beslenimine etkisi olup olmadığı da hesaplanmaya çalışılmıştır.

Yer altı barajı adı altında hali hazırda yapılan uygulamaların havzada YAS'tan sulama yapan diğer çiftçilere olan olası etkileri araştırılmış, yer altı barajları için uygun yerler saptanmaya çalışılmış, yer altı suyu besleme sistemlerine olan ihtiyacın gerekçeleri ortaya konulmuştur. Yapılan bu çalışmalar sonucu olarak da havzadaki bütüncül su yönetimin nasıl yapılması gerektiğine dair öneriler sunulmuştur.

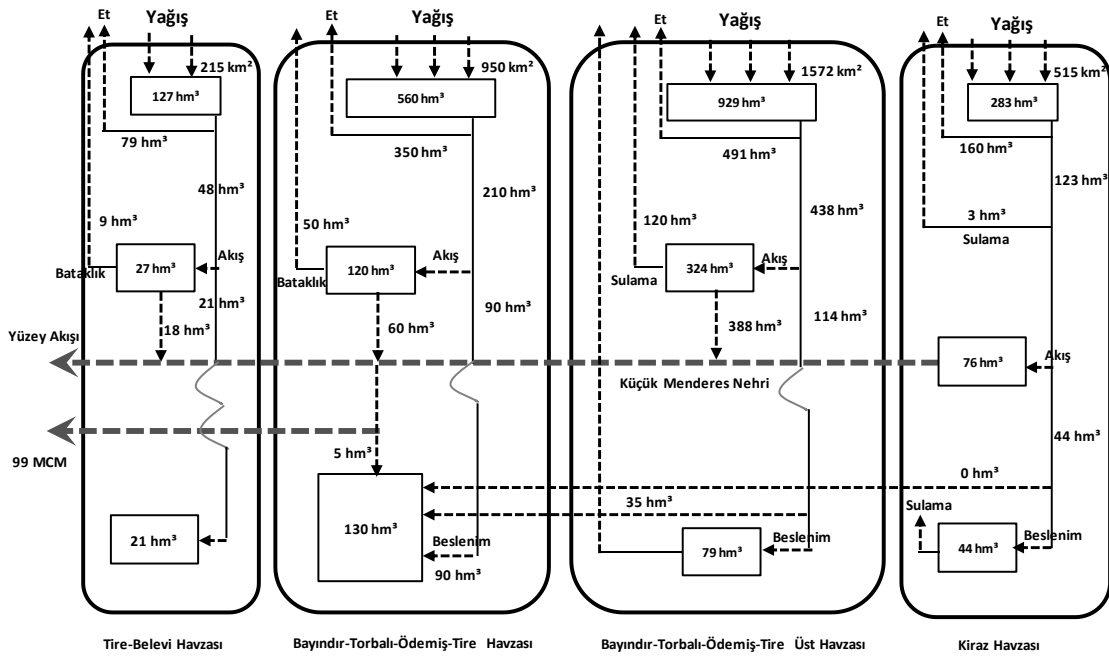
KÜÇÜK MENDERES HAVZASI VE ALT HAVZALARINDAKİ SU BÜTÇESİ, SU KAYNAKLARI VE SU KUYULARINDA YER ALTI SUYU SEVİYESİNİN ZAMAN İÇERİSİNDEKİ DEĞİŞİMİ

Küçük Menderes Havzası'nda, Yer Altı Suyu (YAS) ve Yer Üstü Suyu (YÜS) kaynakları birlikte değerlendirilerek Beydağ, Ergenli, Aktaş, Burgaz Uladı Barajları sulama amaçlı olarak, Kiraz, Ödemiş (Rahmanlar) Barajları ise taşkın koruma amaçlı olarak planlanmış ve bu barajların inşaatı tamamlanmıştır. 1974-1993 yılları yağış verilerine (JICA, 1996) göre, 3255 km² havzaya yılda 1.899 milyon m³ yağış düşmektedir. Bunun da 1.080 milyon m³ 'ü akışa geçmeden buharlaşmaktadır. Kalan suyun, 123 hm³'ü Kiraz, 648 hm³'ü Bayındır-Torbalı-Ödemiş-Tire, 48 hm³'ü Tire-Belevi alt havzalarında olmak üzere, toplam 819 hm³'lük bölümü ise akışa geçmektedir. Akışa geçen suyun da 44 hm³'ü Kiraz, 209 hm³'ü Bayındır-Torbalı-Ödemiş-Tire, 21 hm³'ü Tire-Belevi alt havzalarında olmak üzere, toplam 274 hm³'ü akiferleri beslemekte, 59 hm³'ü havza çıkışına yakın bataklıklardan buharlaşmakta, 362 milyon metreküpü yüzey akışı, 99 hm³'ü yer altı suyu akışı olmak üzere, toplam 461 milyon metreküplük bölümü ise havza dışına akarak Ege Denizi'ne dökülmektedir (Şekil 1 ve 2).



Şekil 1. Küçük Menderes Havzası yeraltı suyu beslenme zonları (JICA, 1996).

Figure 1. Groundwater recharge zones of Küçük Menderes Basin (JICA, 1996).

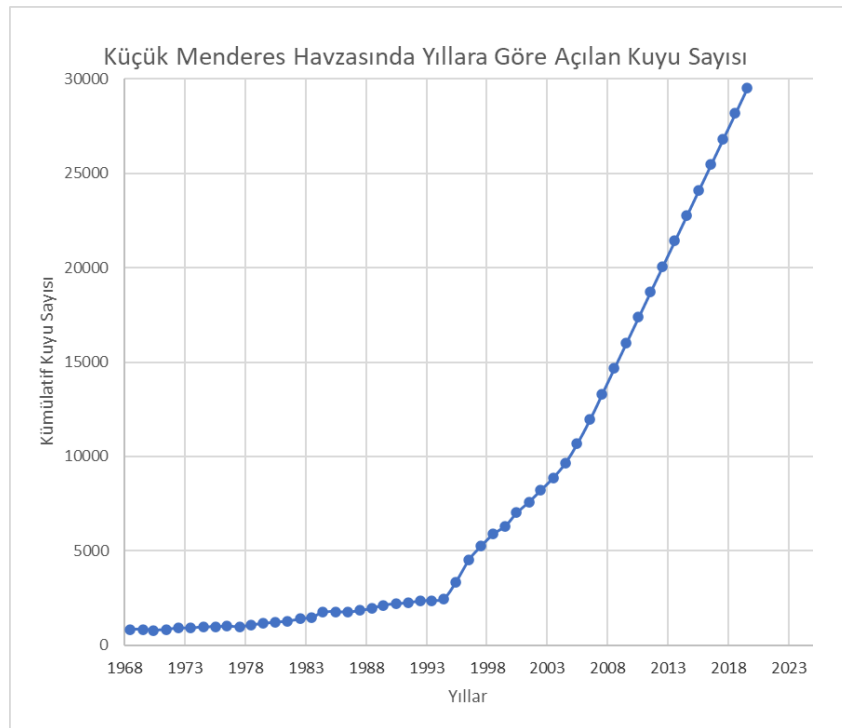


Şekil 2. Küçük Menderes Havzası'nda su bütçesi (JICA, 1996).

Figure 2. Water budget of Küçük Menderes Basin (JICA, 1996).

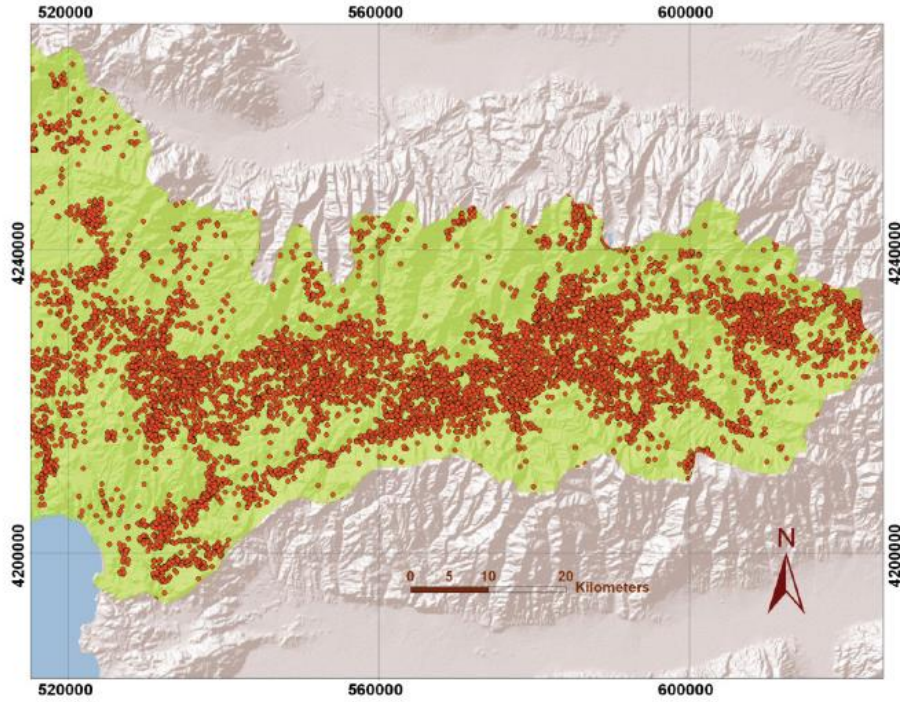
Havzada açılan YAS kuyularından çekilen YAS miktarı, 1982 yılından itibaren her yıl 10 milyon m³ artarak 1993 yılında 250 milyon m³'e ulaşmış ve akiferin doğal beslenme miktarını aşmıştır (JICA, 1996). Başka bir ifade ile Küçük Menderes Havzası'nda akiferden çekilen su miktarı akiferi besleyen su miktarından fazla olduğu için aşırı çekim nedeniyle özellikle Ödemiş civarında YAS seviyelerinde ortalama 15 metre seviye düşümleri ölçülmüştür.

Küçük Menderes Havzası'nda akiferden çekimler beslenimden fazla olmasına rağmen, YAS sulamaları artarak devam etmiştir. 1993-2008 arası dönemde ovada açılan YAS kuyusunun yaklaşık 9.600 adet artarak 12.000'e ulaştığı belirlenmiştir (Kazanasmaz, 2014). YAS kuyusu sayısının 9.600 artarak 12.000'e ulaştığı 1993-2008 döneminde YAS seviyelerinin ortalama yaklaşık 15 m daha düştüğü ölçülmüştür. DSİ Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre, kuyu sayısı 2012 sonunda 19.700'e ulaşmıştır (DSİ, 2012 ve 2013). Kuyu sayısı 2012 yılından sonra her yıl ortalama 1350 civarı artarak 2020 yılı itibariyle 29.500'ün üzerine çıkmıştır (Şekil 3). Yağbasan (2016) kuyu sayısının kayıtlı olmayanlarla birlikte 40.000 civarında olduğunu belirtmektedir. Ancak açılan bu kuyuların bir bölümü düşen yer altı suyu seviyeleri nedeniyle işletilemeyen kuyuların yerine açılan kuyular olduğu değerlendirilmektedir. 2015 sonu itibariyle açılmış olan kuyuların dağılımı Şekil 4'te gösterilmiştir (Murathan, 2015). YAS seviyelerindeki düşüşler 2009-2013 arası yağışlı dönemde yavaşlamış olsa da devam etmiş ve 2015 yılı sonunda ortalama 10 m daha düşmüştür (Şahin vd., 2018; 2020).



Şekil 3. Küçük Menderes Havzası'nda yıllara göre açılan kuyu sayıları (DSİ, 2013, 2020).

Figure 3. The number of wells drilled in Küçük Menderes Basin by years. (DSİ, 2013, 2020).



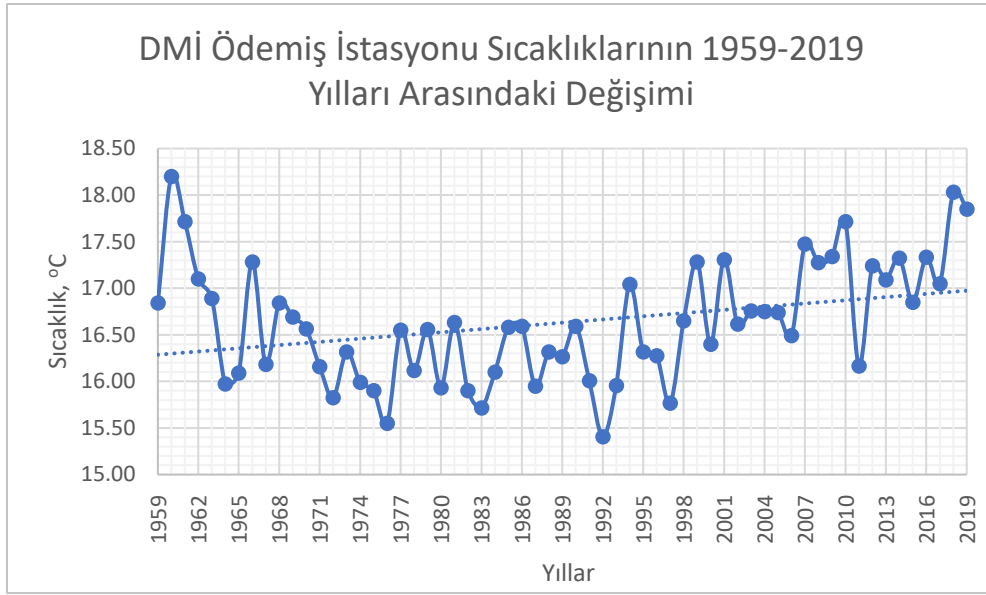
Şekil 4. Küçük Menderes Havzası'ndaki açılmış olan kuyular (Murathan, 2015).

Figure 4. The wells drilled in Küçük Menderes Basin (Murathan, 2015).

SICAKLIKLARDAKİ ARTIŞLAR, YAĞIŞLARDAKİ AZALIŞLAR VE AKIMLARDAKİ DÜŞÜŞLER

Küresel ısınma nedeniyle, sıcaklıklarda da artışlar vardır. Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Ödemiş istasyonunda, 1959-1993 yılları arasında yıllık ortalama sıcaklık değeri 16,38 derece iken aynı istasyonda 1994-2019 yılları arasındaki dönem için ortalama sıcaklık değeri 0,59 derecelik artışla, 16,97 derece olarak ölçülmüştür (Şekil 5a). Sıcaklık değerlerindeki artışlar, yağışların daha yere düşmeden azalmasına yol açtığı gibi, artan sıcaklık değerleri nedeniyle buharlaşma kayıpları da artmaktadır. Bir başka ifadeyle, sıcaklıkların artması nedeniyle yalnızca yağışlar azalmamakta, fakat buharlaşmalar da artmaktadır.

DMİ Ödemiş Yağış İstasyonuna ait 1959-2019 arasındaki yağış verileri (Şekil 5b) incelendiğinde; JICA'nın (1996) çalışmasına kadar kullanılan yağışların yıllık ortalaması 602 mm iken 1993-2019 döneminde yağışların ortalaması %3,7'lik azalma ile 580 mm'ye düşmektedir. Benzer tespit aynı istasyona ait veriler kullanılarak Ödemiş Rahmanlar Projesi Rahmanlar Barajı ve Sulaması Fizibilite Raporu çalışmasında da (DSİ, 2009) yapılmıştır. Bahse konu rapora göre havzadaki yağışların ortalaması 622 mm olduğu halde, 1997'den sonraki dönemde yağışların ortalama göre yaklaşık %9-17 oranında azalarak 567-514 mm seviyesine düşmektedir. Yağışlardaki azalmayı saptamak amacıyla yapılacak karşılaştırma, JICA'nın (1996) çalışmasında kullanılan 1959-1993 dönemi ve 1994 sonrası dönemini kapsayan verilere göre değil de 1997 öncesi ve sonrası döneme göre yapılırsa yağışlardaki azalma çok daha belirgin hale gelmektedir. Karşılaştırma ister 1993 öncesi ve 1993 sonrası olarak ister 1997 öncesi ve 1997 sonrası olarak yapılsın, yağışlarda son 20-30 yılda belirgin azalma görülmektedir.



Şekil 5a. DMİ Ödemiş Yağış İstasyonu 1959-2019 arasında sıcaklık değerlerinin değişimi.

Figure 5a. The change of annual temperature between 1959-2019 of DMİ Ödemiş Weather Station.



Şekil 5b. DMİ Ödemiş Yağış İstasyonu 1959-2019 arasında yağış değerlerinin değişimi.

Figure 5b. The change of annual rainfall between 1959-2019 of DMİ Ödemiş Weather Station.

BEYDAĞ BARAJINA GELEN SU MİKTARI VE SULAMA SUYU İHTİYACI

Beydağ Barajı, havzanın en önemli depolamalarından ve ilk önce inşa edilen projelerinden birisidir. Beydağ baraj yerinde 45 m kalınlığına ulaşan alüvyon kazılarak baraj temeli şistler üzerinde inşa edilmiştir. Baraj ana kaya üzerinde inşa edildiği için baraj gölünde toplanan su, havzanın baraj yerinin membasındaki bölgesinin yüzey suları ve yer altı sularının toplamından

oluşmaktadır. Baraja gelen akımların zaman içinde doğal olarak nasıl değiştiğinin incelenmesi, baraja giriş akımlarının nasıl etkileneceğinin belirlenmesi ve membasında inşa edilen barajların Beydağ Barajına etkilerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Böylece başta Beydağ barajı olmak üzere, inşaatı yapılan barajların havzadaki akifere olumlu ve olumsuz etkileri ortaya çıkarılabilir. Mevcut havza su yönetiminin yol açtığı sıkıntıları aşacak iyileştirici önlemler ve yeni havza su yönetimi politikaları da belirlenebilir.

Ödemiş İlçesinde inşa edilen Beydağ Barajına gelen su miktarı, JICA (1996) raporunda Beydağ İstasyonuna ait 1964-1993 dönemini kapsayan "Akım Gözlem Yıllıkları" akım verilerinden yararlanarak 76 hm³ olarak hesap edilmiştir. Baraja gelen su miktarı, aynı istasyonun 1999 yılına kadar kaydedilmiş ve kıymetlendirilmiş değerleri hesaba katıldığında da %13'lük azalmayla 66 hm³ 'e düşmektedir. JICA'nın (1996) çalışmasına göre ancak net 10.200 hektar (Brüt 12.050 hektar) alanın Beydağ Barajında depolanan su ile sulanabileceği net 5.200 hektar (Brüt 6.150 hektar) alanın da YAS'tan sulanabileceği belirlenmiştir.

Beydağ Baraj yerindeki akımların azalmasının önemli nedenlerinden biri olarak çok sayıda YAS kuyusunun açılması ve bu nedenle statik su seviyesinin düşmesi gösterilmektedir. Beydağ Baraj yerinde bulunan 45 metrelik alüvyonun kazılması ve barajın ana kayaya oturtulmasıyla membadan mansaba doğru YAS akımının kesileceği ve dolayısıyla statik su seviyesinin yükseleceği iddia edilmiş ve en nihayetinde bu düzeltici etkilerin vuku bulmasıyla da akımların normal hale geleceği yani planlamasında öngörülen değerleri yakalayacağı savunulmuştur (DSİ, 2008). Yukarıda yazılı gerekçelerle planlamaya göre 10.200 hektarı barajdan, 5.200 hektarı YAS'tan olmak üzere toplam net 15.400 hektar olan sulama alanı, akımlardaki azalış dikkate alınmadan barajdan sulanabilecek net alan 7404 hektarlık artışla 17.604 hektara çıkarılmıştır.

Küçük Menderes Havzası Master Planı kapsamında yapılan çalışmalarda 1980-2014 yılları arasındaki akımlar kullanılarak Beydağ Baraj yerine gelen ortalama akım 50,64 hm³ olarak belirlenmiştir (DSİ, 2016). Baraj giriş akımlarındaki bu azalma hem yağışlardan hem de sıcaklık artışı nedeniyle yağış akış katsayısındaki azalmayla birlikte akışlardaki düşüşten kaynaklanmaktadır. Bu iki nedenden kaynaklanan azalma, JICA (1996) çalışmasına göre, akımlarda yaklaşık %30 düşüşe neden olmuştur. Bu düşüş İspanya'da Ebro Havzası'nda yaşanan %27'lik azalmayla paralellik göstermektedir (Stefano, 2014).

Diğer taraftan, Master Plan'da (DSİ, 2016) hesap edilen giriş akımlarında Beydağ Barajı membasında Kiraz alt havzasında 2016 sonrasında tamamlanan Haliller ve Çatak Göletleriyle kullanılacak suyun etkisi dikkate alınmamıştır. Çatak Göleti sulama alanı 211 hektar ve Haliller Göleti sulama alanı 288 hektar olmak üzere bu iki gölet ile sulamaya açılan alan 499 hektardır (DSİ, 2020). Bu iki gölet dikkate alındığında, gelecek su miktarında yaklaşık 3 milyon metreküp daha bir azalma beklenmektedir.

Bunun yanında, artan içme suyu ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik olarak yapılan su tahsisatları ile bu amaca yönelik olarak İZSU tarafından açılan kuyular da tarımsal amaçlı sulama suyunun azalmasına yol açmıştır. İçme suyu amacıyla Beydağ ve Kiraz İlçelerinde sadece 2019 yılında 12 adet su kuyusunun açılmış olması (İZSU, 2019) işin ciddiyetini gösteren önemli bir husus olarak değerlendirilmektedir. Bütün bunların etkisi dikkate alındığında buharlaşma kayıplarından sonra barajdan kullanılabilecek net su miktarı DSİ (2015) tarafından belirlenen 46 hm³'ün de altında kalacak ve yaklaşık 43 hm³ olacaktır.

Bu hatırlatmalardan sonra, öncelikle baraj gövde aksında baraj inşa edilmeden önce alüvyondan sızan su miktarı belirlenecektir.

Baraj Aksında Alüvyondan Sızan Suyun Miktarının Tayin Edilmesi

Tezcan ve Toklu (2005), Beydağ baraj yerindeki alüvyonların hidrolik iletkenlik katsayısını 0.62×10^{-2} ile 0.71×10^{-2} m/dakika arasında vermektedir. Beydağ baraj yerinde alüvyonun genişliği yaklaşık 500m ve derinliği ise maksimum 30-45 m'ye ulaşmaktadır (Yılmaz vd., 2007). Alternatif baraj tipleri çalışması sırasında Beydağ baraj yeri aksında alüvyon alanı yaklaşık 15.000 m^2 olarak hesaplanmıştır.

Beydağ baraj yerinin olduğu bölgede nehir yatağı eğimi, %0,5-0,6 civarındadır. Hidrolik eğim nehir yatağı eğimine paralel olarak alınabilir. Bu durumda Darcy Eşitliği (1) kullanılarak alüvyondan geçen su hesabı yapılabilir.

$$Q=A.k.i \quad (1)$$

Burada; Q: Akış m^3/sn , A: Akıma dik alan m^2 , k: alüvyonun permeabilite katsayısı m/sn , i: hidrolik eğimdir.

Yukarıdaki eşitlikte maksimum eğim ve maksimum permeabilite katsayısı kullanılarak sızacak yer altı suyu miktarının en fazla 11 lt/sn olarak hesap edilmektedir. Bu akımın yıllık karşılığı $0,35 \text{ hm}^3$ olarak hesap edilebilir. Bu miktar Beydağ Barajına gelecek su toplamı içerisinde ihmal edilebilir bir büyüklüktür. Bu nedenle alüvyondan tam kesitte YAS akımı olsa dahi bu durumun Beydağ barajı giriş akımlarını dikkate alınacak derecede değiştirmeyeceği sonucu açıktır denilebilir.

Beydağ Barajı Giriş Akımları ve Sulama Suyu İhtiyaçları

Beydağ Barajı sulama alanı JICA'nın (1996) çalışmasında 18.200 hektar olarak yer alsa da bu miktar açık kanal sulama sistemine göre brüt alanı temsil etmekte olup net sulama alanı 15.400 hektardır. Sulama sistemi 2008 yılında borulu sisteme çevrilmiş ve sulama alanı net 17.604 hektara çıkarılmıştır (DSİ, 2016; Şahin ve diğerleri, 2018; 2020). Bu durumda sulama alanı yaklaşık %14 oranında artırılmıştır. Burada açık sulama sistemindeki su kayıplarının borulu sistemde olmadığı, dolayısıyla daha fazla alanın aynı su ile sulanabileceği kabulü yapılırsa dahi, yan derelerden yapılan derivasyonlar ile suyun yeraltında değil de Beydağ Barajında depolanması, ilave iletim ve buharlaşma kaybına yol açmaktadır. Bu kayıpların borulu sistemle yapılan su tasarrufun önemli bir kısmını götürdüğünü değerlendirmekteyiz.

Çizelge 1. Küçük Menderes Havzası Sulama Projeleri (DSİ, 2016; Şahin ve diğerleri, 2018; 2020)

Table 1. Irrigation projects in Küçük Menderes Basin (DSİ, 2016; Şahin and others, 2018; 2020)

Sulama Adı	Brüt Alan (Hektar)	Net Alan (Hektar)	Sulama Suyu İhtiyacı (m ³ /Hektar)
Beydağ Barajı Sulaması	19650	17604	8872
Burgaz Barajı Sulaması	3568	3115	5456
Uladı Barajı Sulaması	2680	2340	5927
Ergenli Barajı Sulaması	3047	2660	6186
Rahmanlar Barajı Sulaması	1494	1345	4821
Ödemiş Aktaş Barajı Sulaması	1538	1384	5811
Bademli Barajı Sulaması	1048	915	6016
Toplam	33025	29363	

Beydağ barajına gelmesi beklenen su miktarı 1980-2014 yılı akım verileri kullanılarak DSİ Havza Planlamasında (2016) 50,64 hm³ olarak hesaplanmıştır. Bu miktar 1959-1993 dönemi verilerini kullanarak projelendirme yapan JICA (1996) çalışmasında beklenen su gelirlerine göre, yaklaşık 25 hm³'lük bir azalmayı göstermektedir. Baraja gelmesi beklenen su miktarında 1/3'lük bu azalmaya rağmen Beydağ barajından yapılacak sulama alanının 17.604 hektara çıkarılması sulama suyu sıkıntısı yaşanmasının kaçınılmaz olduğunu göstermektedir. Bunun yanında, JICA (1996) çalışmasında hektar başına su ihtiyacı 6.150 m³ olduğu halde bu miktar Havza Planlamasında (2016) 5.216 m³'e düşürülmüştür. Su ihtiyacındaki bu azaltılmış değere rağmen, Beydağ barajı sulama alanında 48 hm³'lük su açığı ortaya çıkmaktadır. Bu açığı kapatmak üzere, DSİ Genel Müdürlüğü Tasavra Derivasyonu ile 12 hm³/yıl, Bademli Barajı ile 19,5 hm³/yıl, Eğridere-Yenişehir Derivasyonu ile 14 hm³/yıl ve diğer Uzunoluk-Abuhayat-Kanlı Regülatörleri ile 2,5 hm³/yıl olmak üzere toplam 48 hm³/yıl suyu mansaptan Beydağ Barajına peyderpey yapılan projeler ile aktarmaktadır (DSİ, 2015).

Ancak yapılması planlanan 48 hm³'lük su derivasyonu da sorunu çözemeyecektir. Çünkü sulama alanının pek çok yerinde ikinci ve hatta üçüncü ürün ekilmektedir. Bu nedenle Beydağ Barajından sulanan alanların hektar başına sulama suyu ihtiyacı 8.872 m³ olarak belirlenmiştir (Çizelge 1; DSİ, 2016; Şahin ve diğerleri, 2018; 2). Bu durumda Beydağ barajı sulama projesindeki su açığı derivasyonların yapılmasına rağmen yaklaşık 64 hm³/yıl olacaktır.

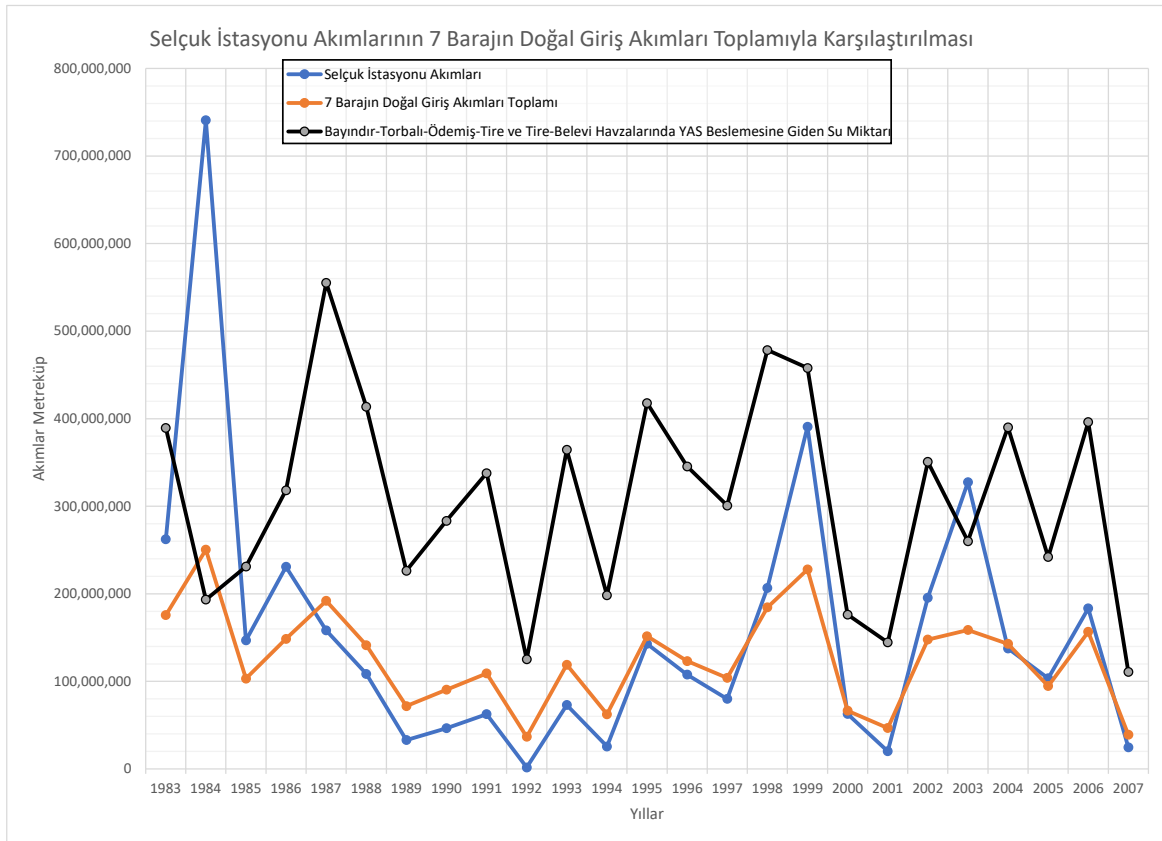
Yukarıda açıklanan nedenlerle, Beydağ Barajına yapılan derivasyonlardan sonra dahi su sıkıntısının devam edeceği açıktır. Bugün barajdan sulama içindeki alanlarda eksik kalan sulama suyu açılan su sondaj kuyuları ile akiferden karşılanmaktadır. Yukarıda açıklanan uygulamalara devam edilmesi durumunda sulama suyunu barajdan almayan yalnız YAS'tan alan Ödemiş-Tire alt havzasındaki çiftçilerin sulama suyu sıkıntısı daha da artacaktır. Ancak

bilimsel ve teknik tespitlerden sonra sorunun çözümünün mümkün olduğu değerlendirilmektedir. Bu bağlamda aşağıda yapılan tespitlerden sonra sorunun çözümüne yönelik öneriler de yapılacaktır.

HAVZADA İNŞA EDİLEN BARAJLARIN YAS BESLENİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Havzada akışların azalmasında; sıcaklıkların artması, yağışların azalması, buharlaşma artışı yanı sıra, açılan yeni kuyularla artan YAS kullanımının artmış olması başka önemli bir neden olarak görülmektedir. YAS kuyu sayısının 1995 yılından itibaren her yıl ortalama 900 artarak 2006 yılında 12.000'e ulaşmasının (Şekil 3) etkisiyle nehir akımlarında önemli azalmalar olmuştur. Çünkü açılan kuyular YAS seviyesini düşürmüş, düşen YAS seviyeleri nedeniyle YAS'tan nehir akımları beslenememiş, hatta tam tersine YAS seviyeleri nedeniyle gerek nehirlerden gerekse zemin yüzeyinden yer altı suyuna doğru infiltrasyon artmış bu da nehir akımlarını düşürmüştür. Diğer taraftan, 1982 yılından itibaren azalan yağışlar (Şekil 6), 1995 sonrasında nispeten artmış olsa dahi bu artış, nehir akımlarındaki azalmayı telafi edememiştir. Havza akımlarındaki azalma, Küçük Menderes Havzası'nda Küçük Menderes Nehrinin denize döküldüğü noktaya yakın olarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından tesis edilmiş 601 nolu Selçuk Akım İstasyonu verileriyle de doğrulanmaktadır.

Selçuk Akım İstasyonu verilerine göre 1983 öncesinde 362 hm³ olan ortalama akım, Şekil 6'dan görüldüğü gibi, 1983-2008 arasında 207 hm³ azalarak 155 milyon metreküpe düşmüştür. Bu sonuç havzada, Beydağ Barajı ile başlayarak 2007 sonrasında inşa edilen Barajların denize olan boşalımı engelleyerek havzaya ilave sulama suyunu sağlayacağı (DSİ, 2013) gerekçesinin yeniden gözden geçirilmesini ve değerlendirilmesini gerektirmektedir.



Şekil 6. Küçük Menderes Havzası'ndan denize boşalımların havza beslenimi ile ilişkisi.

Figure 6. The relation between the coastal discharge rate and the recharge rate of Küçük Menderes Basin.

Havzada yapılan Beydağ, Aktaş, Bademli, Ödemiş Rahmanlar, Ergenli, Uladı ve Burgaz Barajlarının su toplama alanı toplamı, Küçük Menderes Havzası'nın yaklaşık %27'sine karşılık gelmekte olup 862 km²'dir. Bu 7 barajın su toplama alanı, Küçük Menderes Havzası'nın %90'ını oluşturan Kiraz, Ödemiş-Tire ve Bayındır-Torbalı alt havzalarında yer almaktadır. Bu nedenle bu 7 baraja gelen akım baz alınarak ve Selçuk Akım İstasyonu su toplama alanının bu 7 barajın toplama alanı büyüklüğüne oranı kullanılarak havzanın tamamına gelen akım hesap edilebilir (Çizelge 2)

Çizelge 2. Havzadaki Akımın ve YAS Beslenim Miktarının Belirlenmesi

Table 2. Determination of Total Flow and Groundwater Recharge in the Basin.

	Beydağ Barajı	Aktaş Barajı	Bademli Barajı	Ödemiş Rahmanlar Barajı	Ergenli Barajı	Uladı Barajı	Burgaz Burgaz	Toplam	Selçuk İstasyonu Akımları	Selçuk Akım İstasyonu su toplama alanının barajların toplam yağış alanına oranı büyüklüğü kullanılarak havzadaki toplam akımın hesaplanması, hm ³	Yer altı suyunu besleyen akım miktarı, hm ³
Yağış Alanı, km ²	444	58,7	38,86	65,2	98	66	91	861,76	3255,2		
DSİ Master Plan Raporuna göre 1983-2007 arası baraj yeri yıllık doğal akımları	hm ³	hm ³	hm ³	hm ³	hm ³	hm ³	hm ³	hm ³	hm ³		
1983	69,45	1,61	30,15	25,78	13,29	19,21	16,20	175,69	262,31	663,65	386,34
1984	77,90	8,32	40,52	34,72	17,41	25,00	46,59	250,46	740,84	946,08	190,25
1985	38,96	2,49	15,79	13,40	7,60	11,22	13,77	103,23	146,85	389,94	228,09
1986	51,78	1,56	23,43	19,98	10,63	15,47	25,67	148,52	230,89	561,02	315,13
1987	63,76	1,26	36,45	31,21	15,79	22,73	20,82	192,02	158,24	725,33	552,10
1988	30,02	2,53	33,02	28,25	14,43	20,81	12,34	141,40	108,53	534,12	410,59
1989	20,95	0,84	14,04	11,88	6,90	10,24	6,96	71,81	32,98	271,25	223,28
1990	37,77	0,55	14,38	9,12	7,44	9,91	11,33	90,50	46,52	341,85	280,34
1991	41,93	2,18	18,28	15,54	8,58	12,60	10,03	109,14	62,51	412,26	334,75
1992	6,51	0,77	6,64	5,50	3,96	6,12	7,26	36,76	1,70	138,86	122,16
1993	40,17	3,02	21,09	17,96	9,70	14,17	12,86	118,97	73,01	449,40	361,39
1994	20,93	2,41	10,47	8,80	5,48	8,25	6,12	62,46	25,72	235,94	195,21
1995	53,88	2,74	26,39	22,54	11,80	17,12	17,13	151,60	142,90	572,65	414,75
1996	46,08	2,90	20,12	17,13	9,32	13,63	13,98	123,16	107,73	465,22	342,49
1997	51,27	1,84	12,66	10,70	6,35	9,47	11,70	103,99	80,03	392,81	297,78
1998	78,70	2,34	29,95	25,61	13,22	19,11	15,61	184,54	206,75	697,08	475,33
1999	79,95	3,28	38,20	32,72	16,49	23,70	33,49	227,83	390,76	860,60	454,84
2000	25,64	1,10	8,07	8,49	5,34	8,05	9,78	66,47	62,80	251,08	173,28
2001	14,18	1,55	8,22	4,11	5,11	6,47	7,14	46,78	20,23	176,71	141,48
2002	50,89	1,76	23,76	23,37	12,53	13,91	21,56	147,78	195,56	558,22	347,66
2003	55,53	2,95	25,91	22,12	14,13	20,30	17,74	158,68	327,46	599,40	256,94
2004	47,66	2,85	23,54	17,67	10,00	18,16	23,00	142,88	137,59	539,71	387,12
2005	29,94	3,32	16,60	10,53	5,16	11,22	17,86	94,63	103,49	357,45	238,96
2006	55,29	1,67	30,81	21,70	13,35	15,54	18,22	156,58	183,40	591,46	393,06
2007	15,38	1,24	3,13	4,63	2,41	5,55	6,73	39,07	24,78	147,58	107,80
Ortalama Akım	43,57	2,23	21,14	17,55	9,76	14,10	15,89	124,24	153,95	475,19	306,24

İnşa edilen barajların 1983-2007 dönemindeki doğal giriş akımlarının ortalaması yaklaşık 124 hm³'tür (DSİ, 2016). Alana göre yağış oranı hesaplandığında, havzanın tamamından gelmesi beklenen akım ise yaklaşık 475 hm³ olarak hesaplanmaktadır. Bu miktardan Selçuk İstasyonu'nda ölçülen denize olan boşalım ile nehir yatağından çekilen ancak akım ölçümlerinde kaydedilmeyen miktarlar düşüldüğünde (Şekil 2, toplam 15 hm³), yaklaşık 306 hm³'lük bölümün yer altına sızarak akiferleri ve sulak alanları beslediği sonucuna varılmaktadır. Çizelge 2'de yapılan bu hesaplama EİE Selçuk İstasyonu Akım verileriyle birlikte Şekil 6'da gösterilmiştir.

Bu miktar DSİ (2016) tarafından verilen yer altı suyu beslenim büyüklüğü olan 361,5 hm³ (Çizelge 3) değerinden yaklaşık 55 hm³ daha azdır. Akiferlerin beslenim miktarları 1996 yılında JICA tarafından yapılan çalışmada (Şekil 2) Kiraz, Bayındır-Torbalı-Ödemiş-Tire Üst, Bayındır-Torbalı-Ödemiş-Tire ve Tire-Belevi alt havzalarında sırasıyla 44 hm³, 114 hm³, 95 hm³, 21 hm³ olmak üzere toplam 274 hm³ olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında JICA'nın (1996) çalışmasında, Bayındır-Torbalı-Ödemiş-Tire ve Tire-Belevi alt havzalarında yer altı su seviyesini yükselmesine bağlı olarak bataklığa dönüşen alanlardan buharlaştığı tespit edilen toplam 59 hm³'lük suyun büyük bölümünün yer altı su seviyesinin düşmesine bağlı olarak yer altına sızarak YAS'ı besleyeceği ve buharlaşma kayıplarının azalacağı açıktır. Bu durumda havzanın diğer bölümlerinde yer altı su seviyesini düşmesine bağlı meydana gelen akış/sızma

oranlarındaki artışlar hariç besleyeceği ve bu miktarın 59 hm³'e varabileceği sonucuna ulaşılabilir. Bu durumda DSİ'nin belirlediği 361 hm³ yer altı suyu beslenme miktarının makul bir değer olduğu sonucuna varılabilir. Bu sonuçlara göre yağışların azalmasına rağmen yer altı suyu seviyesindeki düşümlere bağlı olarak buharlaşma kayıpları ile denize boşalmaların azalması neticesinde JICA'nın (1996) tespit ettiği yer altı suyu beslenme miktarına göre (274 hm³) yer altı suyu beslenme miktarlarında dikkate değer bir artmanın olabileceği sonucuna varılabilir. Bu tespit, barajlar inşa edilmeden önce, değişen iklim şartlarının beraberinde getirdiği sıcaklardaki artış ve yağışlardaki azalmanın havzadaki su kaynaklarında bir azalma yaratmakla birlikte 2007 yılı sonu itibarıyla akiferlerin ve sulak alanların beslenimi açısından çok olumsuz bir durum oluşturmadığını ortaya koyması açısından çok önemlidir. Bu tespit, Yağbasan (2016) yapılan çalışmada yer altı suyu besleniminin %15 azaldığına dair sonucu teyit etmemektedir. Havzanın su yönetimi politikalarında bu inceleme yazısındaki teknik tespit ve önerilere uygun olarak yapılacak değişikliklerle havza su kaynaklarının verimli ve sürdürülebilir kullanımı sağlanabilir.

Küçük Menderes Havzası'nda 1983-2007 döneminde ortalama 475 hm³ olan akımların 306 hm³'lük bölümün baraj su toplama havzalarının dışındaki alanlarda yer altına sızarak akiferleri ve sulak alanları beslediği dikkate alındığında sızma/akım oranını yaklaşık 0,65 olarak hesaplanmıştır. Buradan hareketle; 1983-2007 arası verilerle Beydağ, Aktaş, Bademli, Ödemiş Rahmanlar Barajları ile depolanacak ve Tasavra derivasyonu ile Beydağ Barajına aktarılacak 97,5 hm³ sudan sonra yer altı suyu beslenimi yaklaşık 63 hm³ azalacaktır. Ödemiş-Tire alt havzasında yer altı suyu beslenimi 104 milyon metreküp, emniyetli yer altı suyu rezervi ise 83 hm³ olarak belirlenmiştir (Çizelge 3; DSİ, 2016; JICA, 1996; Şahin ve diğerleri, 2018 ; 2020). Ödemiş-Tire alt havzasında barajların inşa edilmesinden sonra yer altı suyu beslenimi 41 hm³'e düşmekte, emniyetli rezerv ise yaklaşık 32,5 hm³ olarak hesaplanmaktadır. Havzadan denize boşalacak akışların, inşa edilen barajlarla önünün kesilmesi sonucunda havzadaki su potansiyeli brüt olarak 34 hm³ artmakla birlikte baraj göllerinde olabilecek toplam 7 hm³'ün (DSİ, 2016) buharlaşma kaybının bu miktardan düşülmesi sonucu Ödemiş-Tire havzasında barajların yapacağı net katkı 27 hm³ olarak hesaplanmaktadır.

Çizelge 3. Küçük Menderes Havzası ve Alt Havzaları YAS Potansiyelleri ve Fiili Tüketimler (DSİ, 2016; Şahin vd., 2020).

Table 3. Groundwater potentials and actual uses of Küçük Menderes Basin and subbasins. (DSİ, 2016; Şahin vd., 2020).

Alt Havza No ve Adı	Akifer Adı	YAS Beslenimi	Yıllık Emniyetli YAS Verimi	Toplam Fiili Tüketim
		hm ³ /yıl	hm ³ /yıl	hm ³ /yıl
	Kiraz	30	24	37,16
	Ödemiş Tire	104	83	283,19
06-01 Küçük Menderes	Bayındır Torbalı	177	141,5	449,06
	Selçuk	50,5	40,5	41,17
	Toplam	361,5	289	810,58

1993 verilerine göre (JICA, 1996) Ödemiş-Tire alt havzasında yer alan 51.000 hektar arazi akiferden pompajla çekilen yer altı suyu ile sulanmaktadır. Beydağ barajına gelen doğal akımlara, Tasavra Derivasyonu ve Bademli barajından aktarılacak 31,5 hm³ suyu eklendiğinde Beydağ barajında depolanacak toplam su miktarı 75,5 hm³ olarak hesap edilmektedir. Hektar başına su kullanımını toplam su miktarına (5216 m³) bölündüğünde 14.500 hektar tek ürün ekimi koşuluyla YAS'tan çekim yapılmaksızın ancak yaklaşık 14.500 hektar alanın Beydağ baraj gölünden sulanabileceği hesaplanmıştır. Beydağ barajı sulama alanı ve sulama suyu ihtiyacı hesaplarını baz alındığında, Beydağ, Aktaş, Bademli ve Ödemiş Rahmanlar Barajları ile yaklaşık 18.550 hektar alan sulanabilecektir. Bu durumda Ödemiş-Tire havzasının Beydağ ve diğer barajların sulaması dışında kalan 32.450 hektarın sulama suyu ihtiyacının zorunlu olarak yer altı suyundan karşılanması gerekmektedir.

Bu durumda yer altı suyundan sulama yapan çiftçilere hektar başına emniyetli rezervden yaklaşık 1002 metreküp su hakkı kalmaktadır. Bu miktar barajlar inşa edilmeden önceki 1627 m³'lük miktarın yaklaşık %61'ine karşılık gelmektedir (Çizelge 4a ve 4b). Bu durumda, Ödemiş-Tire alt havzasında 51.000 hektarlık toplam sulama alanının yaklaşık 1/3'ünde 18.550 hektarda barajlardan sulama yapan çiftçilerin sulamadan önceki duruma göre hektar başına su hakları yaklaşık 3 kat artarken, aynı havzada 32.450 hektarlık alanda yalnızca yer altı suyuna bağlı olarak sulama yapan çiftçilerin ise emniyetli rezervden alabileceği su hakkı ise yaklaşık %39 azalmaktadır. Diğer taraftan, yılda birden fazla ürün ekilmesi nedeniyle artan su ihtiyacını karşılamak üzere Beydağ Barajı sulama alanındaki çiftçilerin hem barajdan su kullanılması hem de YAS'tan su çekmesi durumunda Çizelge 3'deki su kullanımları göz önünde bulundurulduğunda YAS'tan sulama yapan çiftçilere neredeyse hiç su kalmamaktadır.

Ödemiş-Tire alt havzası için yapılan bu karşılaştırma, Bayındır-Torbalı havzası için de yapılabilir. Barajların inşa edilmesinden sonra su ihtiyaçlarını YAS'tan karşılayan çiftçilere düşen emniyetli rezerv yaklaşık %6 oranında azalmaktadır (Çizelge 4a ve 4b). Bu tespitlerden sonra, sorunun su yönetimiyle beraber yer altı barajları ile yer altı suyu besleme sistemlerinin doğru lokasyonlarda yapımı ile çözülüp çözilemeyeceği incelenecek bulunan çözüm yöntemleri önerilecektir.

Çizelge 4a. JICA 1996 Çalışmasındaki sulanan alana göre barajlar inşa edilmeden önce hektara düşen emniyetli YAS rezervi

Table 4a. Safe groundwater reserves per hectar before the construction of the dams of JICA 1996.

Alt Havza	JICA 1996 Çalışmasına göre havzada su tüketimi hm ³	Yaklaşık Sulanan Alan Hektar	1996 Yılı itibariyle tahmini yuvarlatılmış kuyu sayısı	Emniyetli su rezervi (DSI 2016 Planlamasındaki rezervler dikkate alınmıştır) hm ³	Barajlar inşa edilmeden önce sulanan alanlarda hektara düşen emniyetli YAS rezervi (1996 JICA çalışmasındaki sulanan alana göre) m ³
Kiraz	47	7400	330	35.2	4757
Ödemiş Tire	140	51000	2270	83	1627
Bayındır Torbalı	110	39000	1730	141.5	3628
Selçuk	41	6000	270	40.5	6750
Toplam	338	103400	4600	300.2	

Çizelge 4b. Barajların İnşasıyla Birlikte Hektara Düşen Emniyetli YAS Su Reserinin Hesaplanması

Table 4b. Safe groundwater reserve per hectar values of irrigation zones after 2016.

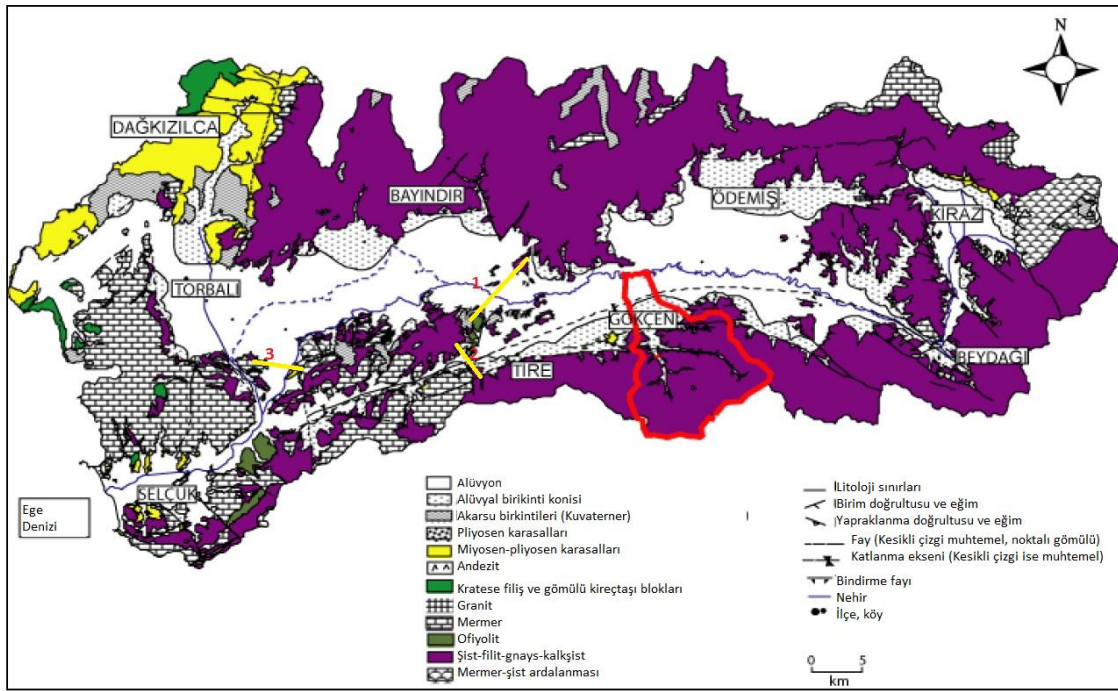
Alt Havza	2016 Havza Planlamasına göre havzada su tüketimi hm ³	Yaklaşık Sulanan Alan Hektar	Emniyetli su rezervi (DSI 2016 Planlama rezervleri dikkate alınmıştır) hm ³	Barajlar inşa edilmeden önce sulanan alanlarda hektara düşen emniyetli YAS rezervi (2016 DSİ Planlaması sulanan alana göre) m ³	Barajlar inşa edildikten sonra emniyetli YAS rezervi hm ³	Barajlar inşa edildikten sonra YAS tan sulanan alanlarda hektara düşen emniyetli YAS rezervi (2016 DSİ Planlaması sulanan alana göre) m ³
Kiraz	37.16	6000	24	4800	21	4200
Ödemiş Tire	283.19	51000 -18550	83	1627	32.5	1002
Bayındır Torbalı	449.06	68500 -9295	141.5	2066	115.3	1947
Selçuk	41.17	6000	40.5	6750	40.5	6750
Toplam	810.58	131500 -27845	289		209.3	

Beydağ Barajı gövde ve rezervuar alanlarının Kiraz alt havzasında kalması nedeniyle Kiraz havzası 1400 hektar azalmıştır. Buna paralel biçimde YAS rezerv miktarı da azalmıştır.

Önünde (-) işareti olan büyüklükler barajlardan sulanan alanları göstermektedir.

YER ALTI BARAJLARI VE YER ALTI SUYU BESLEME SİSTEMLERİ

Bugün bölgede yer altı suyu besleme alanları ve bu alanların etrafında geçirimsizlik perdesi yapılmak suretiyle, YAS barajı olarak isimlendirilen uygulamalar yapılmaktadır. Bu uygulamayla düşen YAS seviyelerinin Şekil 7’de kırmızı ile işaretli bölgede yapay besleme ile yükseltilmesi ve inşa edilecek seddelerle de diğer bölgelerden ayrılarak (Şekil 8) yer altı suyunun havzanın sınırlanmış akiferi içerisinde depolanması amaçlanmaktadır. YAS barajı olarak isimlendirilen su yapılarının sınırları içerisinde kalan çiftçilerin YAS’tan alacakları pay artırılırken, diğer çiftçilerin YAS kaynağı ise azaltılmaktadır. Çünkü bahse konu YAS Barajının inşa edildiği bölgedeki yüzey suları sınırları, YAS barajı ile belirlenmiş bölgede birikecek ve Ödemiş-Tire alt havzasını veya Küçük Menderes Havzası’nın tamamını besleyemeyecektir.



Şekil 7. Bu çalışmada önerilen üç yeraltı barajının yaklaşık aks yerleri (Sarı çizgi ile gösterilmiştir). DSİ tarafından önerilen YAS besleme ve yeraltı baraj yeri (Kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Yazıcıgil vd., 2000; Peksezer, A., 2010).

Figure 7. Approximate axle locations for the three underground dams suggested in this study. Suggested groundwater recharge and underground dam location by DSİ (Shown in red line. Yazıcıgil vd., 2000; Peksezer, A.,2010).



Şekil 8. Şekil 7’de kırmızı ile çevrilmiş olarak gösterilen bölgede yapılan yas beslemesi alanı ile 5 hm³ yeraltı depolamasının yapıldığı yer altı barajı bölgesi (DSİ, 2019).

Figure 8. Groundwater recharge area which is indicated as red bordered area in Figure 7 and the 5 hm³ groundwater storage dam (DSİ,2019).

Yukarıda açıklanan hesapta, barajlar inşa edilmeden önce, yağış ve akışlarda azalma olmasına rağmen yer üstü sularının havzadaki akiferlere yaptığı beslenim miktarının önemli ölçüde değişmediği gösterilmiştir. Havzanın YAS besleniminin yaklaşık 210 hm³ ün altına düşmediği ve Selçuk istasyonunun bulunduğu bölgeden Ege Denizi’ne yüzey suyu akışının olduğu sürece havza dışına YAS akışının da olması beklenmektedir.

Havzadaki barajlar su tutmadan önce 2007 yılı itibariyle yer altı suyu akışı olarak havza dışına akan yaklaşık 99 hm³ daha su bulunmaktadır. Barajların inşa edilmesiyle birlikte yüzey akışlarında ve yeraltı suyu beslenim miktarlarında ciddi azalmalar olacaktır. Bu nedenle havza dışına akan hem yer üstü hem de yeraltı suyu akımında azalma beklenmektedir.

Havzadaki çiftçilerin su ihtiyaçlarını kaynaklara göre orantılı, etkin ve adil karşılayabilmek için, öncelikli hedefin yer altı suyu beslenimini artırarak denize olan yüzey suyu boşalımı azaltmak ve aynı zamanda denize akan yer altı suyu akışını kontrollü bir şekilde azaltmak olması gerektiği düşünülmektedir. Bu şekilde barajlar nedeniyle azalan yer altı suyu beslenimi artırılabilir ve YAS’tan sulama yapan çiftçilere daha fazla rezerv sağlanabilecektir. Yer altı suyunun alt havzalar arası akımını azaltmanın havza dışına akan su miktarını dengeli bir şekilde azaltacağı beklenmektedir. Havzalar arası akışın azaltılmasına yönelik olarak Şekil 7’de gösterilen 3 hattın ikisinde yer altı barajlarının yapımı, bir hatta ise çalışılması önerilmektedir.

Önerilen yeraltı baraj yerlerinde, yeraltı barajlarının yapılmasına ayrıntılı jeolojik ve hidrojeolojik etütlerden sonra karar verilmelidir. Yapılacak etütlerden elde edilen verilere göre alüvyonun derinliği ve genişliği gözetilerek teknik olarak yapılabilecek perdenin derinliği dikkate alınarak yer altı barajının yeri kesinleştirilmelidir. Muratlı barajında geçirimsizliği sağlamak üzere yapılan beton perdenin derinliği 80 m’ye varmaktadır. Bu teknik olarak yapılabilecek derinliği göstermesi bakımından iyi bir örnektir. Bunun yanında gelen yer altı suyu miktarına bağlı olarak yer altı barajının kret kotu, suyun yüzeylenmeden veya YASS (yer

altı su seviyesi) belli bir seviyeyi aşıp civardaki yapıları etkilemeden deşarjı sağlayacak derinlikte seçilmelidir.

Birinci önerilen yer (Şekil 7’de sarı ile işaretlenmiş 1 numaralı aks yeri), Ödemiş-Tire havzasını Bayındır Torbalı havzasından ayıran boğazdır. Yazıcıgil ve diğerleri (2000) çalışmasında değişik yıllar için YAS eş yükselti ve suya doymun kalınlık haritaları verilmiştir. Diğer taraftan havzanın taban kotu ile ilgili yapılan çalışmaların çok hassas olmadığına işaret edilmiştir. Bu boğazda 10 hm³’lük bir akımın olduğu belirtilmektedir (JICA, 1996). YAS seviyesinin düşüşüne bağılı olarak bu akımın azalmış olma olasılığı bulunmakla birlikte hala bu boğazdan dikkate değer akış olabilir. Ödemiş-Tire alt havzasında yapılan 4 barajın yapım, kontrollük, kamulaştırma ve yatırım dönemi faizleriyle birlikte toplam maliyetleri ve havzaya sağladığı ilave suyun yalnızca 27 hm³ olduğu dikkate alındığında, önerilen bu yer altı barajının yapımının haklı gerekçesi ortaya çıkacaktır. Diğer taraftan ekli Çizelge 4b’de görüldüğü gibi barajların yapılmasıyla beraber Ödemiş-Tire alt havzasındaki YAS beslenimi %38 azalırken, Bayındır-Torbalı alt havzasında ise yaklaşık %6 oranında azalmaktadır. Daha açık ifadeyle, Ödemiş-Tire alt havzası YAS beslenimi barajların yapımından çok daha fazla etkilenmektedir. Bunun yanında mansapta yer alan Bayındır-Torbalı alt havzasından havza dışına doğru su akımı olduğundan ve bu akımı da kontrol altına almak için bir başka yer altı barajı (Şekil 7’de sarı ile işaretlenmiş 3 numaralı aks yeri) yapılabileceğinden Ödemiş-Tire alt havzasından Bayındır-Torbalı alt havzasına yer altı suyu akımının kesilmesi Bayındır-Torbalı alt havzasındaki durumu çok fazla etkilemeyeceği değerlendirilmektedir. Bu nedenlerle, bu iki havza arasında akımın önlenmesi, Ödemiş-Tire alt havzasındaki yer altı suyu beslenmesini biraz daha iyileştirecektir.

Özellikle Ödemiş-Tire alt havzasında yapılan barajlar nedeniyle akiferin beslenmesi çok olumsuz etkilendiğinden Şekil 7’de kırmızı ile gösterilen bölgenin dışında da yer altı suyu besleme yapıları inşa edilmelidir. Yer altı suyu besleme yapılarının gerekliliğini artıran bir diğer husus da Küçük Menderes nehir yatağında yapılan düzenleme nedeniyle yatak boyunun ve dolayısıyla sızma boyunun azaltılmasıdır.

İkinci önerilen yer, Bayındır Torbalı havzası çıkışına doğru olan bölgedir (Şekil 7’de 3 numaralı aks olarak işaretlenmiş yer). Bu bölümde yer altı suyu yüzeye yaklaşmaktadır. Bu bölgede 1960’lı yıllara kadar bataklık bir alan olduğu bilinmektedir (Vardar, 2013). Zaten bölgedeki köyün isminin de Göllüce olması o bölgede daha önce bir su birikintisinin olduğunu göstermektedir. 1960’lı yılların ortasına kadar denize dökülen ölçülmüş ortalama akımların bugünkü ortalama değerin yaklaşık 3 katı olması, akımlardaki azalışa paralel biçimde bu bataklığın kurumuş olmasını gösterebileceği gibi o yıllarda pek çok yerde yapılan bataklık kurutma çalışmaları çerçevesinde yapılan drenaj çalışmalarıyla da bu göl kurutulmuş olabilir. Söz konusu alanın daha önce bataklık veya göl olması, bölgenin geçirimsizliğini gösteren bir delil olması açısından seçilen baraj ekseninin yer altı barajı için uygun bir yer olabileceğine işaret etmektedir.

Önerilen bölgede, Göllüce köyünün kuzeyine doğru gidildikçe hem alüvyon kalınlığı hem de genişliği artmaktadır (Vardar, 2013). Burada da yapılacak bir yer altı barajı ile suyun havza dışına kontrolsüz akışının önüne geçilebileceği değerlendirilmektedir. Yağışlı geçen 1999 yılında Nisan ayı verilerine göre hazırlanan yer altı suyu eş yükselti haritası incelendiğinde, Bayındır Torbalı havzası çıkışına doğru olan yerde yer altı suyu derinliğinin 10 metrenin altına düşerek yüzeye çok yaklaşmış olduğu görülmektedir (Yazıcıgil vd., 2000). Bu nedenle, bu bölgede tasarlanacak yeraltı barajının aks yeri, vadinin en dar yerinde seçilmemelidir. Geçirimsizlik barajının göreceli olarak daha geniş ve daha derin vadide yapılması yer altı suyunun akiferde daha büyük bir hacminde depolanmasını sağlayacaktır. Böylece önerilen aksın mansabında yüzeyde göllenme azaltılacaktır.

Üçüncü olarak araştırılması istenen yer (Şekil 7’de 2 numaralı aks olarak işaretlenmiş yer), her ne kadar Ödemiş-Tire havzasından Tire Belevi havzasına doğru akım olmadığı tespiti yapılmışsa da (Yazıcıgil ve diğerleri, 2000) bu tespitin doğruluğu yeniden incelenmelidir. Burada su akımının tespit edilmesi durumunda Tire-Belevi havzasına doğru geçilen dar boğazda geçirimsiz birimleri birbirine bağlayacak şekilde alüvyon içerisinde yer altı barajı yapılabilir.

Önemli hususlardan bir diğeri de yer altı suyu besleme sistemleridir. Barajların ve bu barajlara yan kollardan su aktaran derivasyon sistemlerinin yapımıyla birlikte yer altı suyunun beslenimi önemli ölçüde azalmıştır. Barajların inşasından önce yağışlardaki azalmaya rağmen denize ortalama 155 hm³ su akımı vardır. Havzada yapılan barajlarla depolanan toplam ortalama 126 hm³ suyun normal şartlarda 82 hm³’ünün YAS’ı beslemesi, 44 hm³’ünün de Ege Denizi’ne boşalması beklenmektedir. Bu nedenle barajların inşa edilmesinden sonra da Küçük Menderes Havzası’nın tamamından 111 hm³ su denize boşalabilecektir. Bu durum hala 111 hm³’lük bir akımın YAS beslenimi için kullanılabileceğini göstermektedir.

Küçük Menderes yatağında yapılan yatak düzenlemesi sonucu yatak boyu kısalmıştır. Bu kısalma nehir yatağından yer altı suyuna yapılan beslenimleri azaltmaktadır. Bunu telafi etmek için yatak içerisinde sızma boyunu artıracak uygulamalar yapılabilir (Patel ve Shah, 2009). Diğer taraftan JICA’nın (1996) öngördüğü gibi bazı yerlerde sızmayı artıracak sızma hendekleri de yapılmalıdır.

Ancak tekrar vurgulama gerekir ki; yer altı suyu besleme sistemleri, yer altı barajlarıyla ilgili çalışmalar kesinlikle YAS ve yer üstü suları (YÜS) su bütçesi ve su yönetimiyle beraber değerlendirilmelidir. Akiferlerin beslenmesi yapılan ve yapılması planlanan derivasyonlarla daha fazla azaltılmamalıdır.

Özet olarak havza dışına akan yer üstü ve yer altı suyu akımlarını azaltacak projeler üzerinde çalışılmalı, yer altı suyuna infiltrasyonu artıracak şekilde besleme yapıları yapılmalı ancak su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için akiferden çekilen su miktarı, beslenimden kesinlikle daha fazla olmamalıdır. Bu çalışmalar yapılırken bataklık alanlar ve bu alanlardaki canlı hayatı gözetilmelidir.

SU TAHSİSİ VE SU YÖNETİMİ

Küçük Menderes Havzası’nda sulanabilir alan, 132.500 hektardır (Şahin vd., 2020). Sulamada kullanılan yer altı suyu miktarı rezervlerin yaklaşık 2,8 katına varmıştır. Sürdürülebilir olmayan bu durumun iyileştirmesine yönelik olarak 3 aksta yer altı barajı ve yer altı suyu besleme sistemleri bu çalışmada önerilmiştir. Ancak değişen iklim koşullarından dolayı azalan akımlar ve artan kullanımlar nedenleriyle havza dışına akan suyun tamamı kesilse bile havzadaki su sorununun çözülmesi mümkün değildir. Suyu tasarruflu kullanan sulama sistemleri yanında, İspanya’da Ebro Havzası’nda (Stefano, 2014) veya dünyanın diğer ülkelerinde olduğu gibi su kotası uygulaması ile su kullanımına bir sınır getirilerek akiferdeki yer altı su seviyesinin yükselmesi sağlanmalıdır.

Su kotası ile, rezervler dikkate alınarak sulanabilir tarım arazilerine su tahsisi yapılmalıdır. Bu tahsis yüzey sularını da kapsamalıdır. Yüzey sulaması yapan çiftçiler pompaj bedeli de ödemediklerinden YAS’tan sulama yapanlara göre daha avantajlıdır. Bu nedenle yüzey sulaması yapan çiftçilerin YAS’tan su kullanımına izin verilmemelidir. Bazı şehirlerin içme suyu sayaçlarında uyguladıkları ön yüklemeli su kartı sistemi, YAS kuyu başlarına yerleştirilecek sayaçlarla sulama suyu için de uygulanabilir. Kota dolduğunda sulama suyu çekimi otomatik kesilmelidir. Belirlenen kotalara göre yer altı suyunun istenilen seviyelere

yükselmemesi halinde kotalar yeniden ayarlanabilir olmalıdır. Bu nedenle her yıl için ayrı olarak belirlenmelidir.

Su kullanımına kota getirilmesiyle suyun daha verimli kullanılacağı açıktır. Bunun yanında alt havzalar içerisinde YAS'tan sulama yapan çiftçilere su kotası hakkını diğer çiftçilere devretme yetkisi verilebilir. Böylece ekim yapmayan çiftçiler bu devir yetkisiyle su tahsisini kısmen kullanmadığında ihtiyacı olana devredebilecektir. Kullanabileceği su miktarını bilen çiftçi ürün planlaması yapabilecektir. Böylece ekim yapmak isteyen çiftçi ihtiyacı kadar su kullanacak, su sıkıntısı yaşamayacak ve yükselen YAS seviyesi nedeniyle düşük pompaj maliyetli YAS'na ulaşabilecektir.

Değişen iklim koşulları uzun kurak periyotların yaşanmasına yol açtığı gibi artan sıcaklıklarda buharlaşma kayıplarını artırmaktadır. Bu durum tarımsal üretimin sürdürülebilirliği açısından yer altı suyu rezervlerinin değerini daha da artırmıştır. Geniş halk kitlelerinin makul fiyatlarla tarımsal ürünlere ulaşabilmesi, bu ürünlerin talebi karşılayacak nicelikte ve nitelikte üretilmesine bağlıdır. Talebi karşılayacak üretim, çiftçilerin, ihtiyaç duyduğu başta suyun ve diğer girdilerin sağlandığı ve etkin üretim planlamasının yapıldığı tarım sisteminin kurulmasına bağlıdır. Ülkemizde gıda güvenliğinin sağlanması için su yönetimi politikaları bilimsel teknik verilere göre gözden geçirilmeli ve yeniden düzenlenmelidir.

SONUÇLAR

- 1) İklim değişikliğine bağlı olarak sıcaklıklardaki artış ve yağışlardaki düşüşler, akışlarda büyük azalışlara yol açmıştır. Yağışların azalması, Beydağ Barajına gelecek su miktarını yaklaşık %30 oranında azaltmasına rağmen denize boşalmanın azalması, yer altı suyu seviye yüksekliği nedeniyle bataklığa dönüşen alanlardan meydana gelen buharlaşma kayıplarının azalması ve düşen YAS seviyeleri nedeniyle akış-sızma oranlarının artması nedenleriyle havzadaki akiferin beslenimini önemli ölçüde değiştirmemiştir. Havza dışına boşalan yüzey akışı 1983 öncesine göre 1983-2007 döneminde 200 hm³ den fazla azalarak 155 hm³'e düşmüştür.
- 2) Beydağ barajından sulanacak sulama alanı projelendirilirken, Beydağ barajına gelecek su miktarındaki %30 oranında azalma dikkate alınmamıştır. Bunun yanında baraj ekseninde baraj inşa edilmeden önceki alüvyon içinden sızan su miktarındaki hatalı değerlendirme neticesinde; sulama alanı artırılmış ve Beydağ barajı sulama alanı baraja gelen suyun sulayabileceği alandan yaklaşık iki kat büyük belirlenmiştir. Bu durum, baraja mansaptan su aktarımını zorunlu hale getirmiştir. Diğer taraftan, Beydağ barajının inşasından sonra barajın membasında Kiraz havzasında inşa edilen iki baraj, Beydağ Barajına gelen suyu azaltarak Beydağ barajına yapılan yatırımı olumsuz yönde etkilemiştir.
- 3) Beydağ barajında oluşan su açığını kapatmak amacıyla mansaptan yapılan su aktarımı, barajın mansabındaki yer altı suyu rezervlerini olumsuz etkilemiştir. Ödemiş-Tire havza sınırları içinde yapılan diğer 3 barajla birlikte YAS rezervlerinin beslenmesi yaklaşık 63 hm³ azalmıştır. Bu durum Ödemiş-Tire alt havzasının 2/3'ünde yaklaşık 32.450 Hektarda yer altı suyundan sulama yapan çiftçilerin kullanabileceği suyu, barajlar inşa edilmeden önceki duruma göre %39 oranında azaltmıştır.
- 4) Akiferin besleniminin azalması ve aşırı çekimler yer altı suyu seviyesini artan hızla düşürmektedir. Bu nedenle bazı bölgelerde yeraltı barajı adı altında uygulamalar yapılmaktadır. Bu uygulamalar bazı bölgelerde YAS besleme sistemleri yapılması ve besleme yapılan alanın çevresinin geçirimsizlik perdesi ile çevrilerek bir yer altı depolaması inşası şeklinde gerçekleştirilmektedir. Bu durum alt havza içinde sınırlı bir bölgede YAS seviyesinin yükselmesini sağlamaktadır. Ancak havzanın geri kalan kısmında yer altı

suyunun beslenimini daha da azaltacağı için YAS'tan sulama yapan çiftçilerin aleyhine gelişen durumu daha da kötüleştirecektir.

- 5) Ödemiş-Tire alt havzasında yapılan dört baraj denize boşalacak 34 hm³ suyun havzada kalmasını sağlamıştır. Baraj göllerindeki buharlaşma kayıplarından sonra net su kazanımı 27 hm³ civarındadır.
- 6) Barajlar inşa edildikten sonra dahi denize olan 111 hm³'lük boşalım, barajların inşa edilmesi ve yatak düzenlemesiyle birlikte yer altı suyunun beslenimindeki azalmalar yeraltı suyu besleme yapılarına olan ihtiyacı arttırmıştır. Bu amaçla uygun yerlerde yeraltı suyu besleme sistemleri inşa edilmelidir. Beydağ Barajı başta olmak üzere barajlara su derivasyonu durdurulmalı ve yan derelerin yer altı sularını beslemesine devam etmesi sağlanmalıdır.
- 7) Havza dışına akan yaklaşık 99 hm³ yer altı suyu bulunmaktadır. Alt havzalar arasında YAS rezervlerinin daha dengeli sağlanması ve havza dışına boşalan yer altı suyu akımlarının azaltılmasına yönelik olarak uygun yerlerde yeraltı barajları yapılabilir. Diğer taraftan bu çalışmalar yapılırken bataklık alanlar ve bu alanlardaki yaban hayatı gözetilmelidir.
- 8) Yer altı suları (YAS) ve yerüstü (YÜS) suları birlikte yönetilmelidir. Tüm yer altı su kuyuları ruhsatlandırılmalı ve alana göre su tahsisi yapılmalı yani su kotası uygulanmalıdır. YÜS sulaması yapan çiftçilerin YAS'tan su çekemeyecek şekilde düzenleme yapılması gereklidir.
- 9) Su kotası hakkı devredilebilir olmalıdır. Su kotası uygulanması kartlı sayaçlar ile yapılmalıdır. Kota hakkı dolduğunda su otomatik olarak kesilmelidir. Beydağ barajının membasında yeni barajların inşası durdurulmalı, var olan barajlardan su kullananlara da kota uygulanmalıdır. YAS seviyesi izlenmeli, seviye değişimlerine bağlı olarak su kotaları her yıl yeniden belirlenmelidir.

KAYNAKLAR

DSİ (Muhtelif yıllar). Akım Yıllıkları.

EİE (Muhtelif yıllar). Akım Yıllıkları.

DSİ (1982). Küçük Menderes Havzası Master Planı Raporu.

DSİ (2008). Ödemiş Beydağ Sulamasının 3996 sayılı "Bazı Yatırım ve Hizmetlerin Yap-İşlet-Devret Modeli Çerçevesinde Yaptırılması Hakkındaki Kanun" uyarınca gerçekleştirilmesine yönelik çalışmalar kapsamında Yüksek Planlama Kuruluna Eylül 2008'de yapılan sunumlar.

DSİ (2009). Ödemiş Rahmanlar Projesi Rahmanlar Barajı ve Sulaması Fizibilite Raporu

DSİ (2012). DSİ 2. Bölge Müdürlüğü 2013 Yatırım Programına Teklif Edilen Küçük Menderes Havzası Barajları Kalkınma Bakanlığı Bilgilendirme Toplantısı Sunumu (02.10.2012).

DSİ (2013). DSİ 2. Bölge Müdürlüğü 2013 Yatırım Programına Teklif Edilen Küçük Menderes Havzası Barajları Kalkınma Bakanlığı Bilgilendirme Toplantısı Sunumu (11.07.2013).

DSİ (2016). 'Küçük Menderes Havzası Master Plan Nihai Raporu' Ankara: DSİ Genel Müdürlüğü, Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı.

DSİ (2019). Yer altı beslemesi ve yeraltı barajları basın bilgilendirmesi (<https://supolitikalaridernegi.org/2019/05/06/turkiyenin-ilk-suni-yeraltisuyu-besleme-tesisinde-calismalar-devam-ediyor/>, 3 Kasım 2020 tarihinde ulaşılmıştır. Aynı haber dsi.gov.tr sitesinde yayımlanmış olup ilgili bilgiye 19.03.2019 tarihinde ulaşılmıştır).

DSİ (2020). İzmir 2. Bölge Müdürlüğü İşletmedeki Sulama Tesisleri (<http://bolge02.dsi.gov.tr/isletmedekitesisler/sulama-tesisleri>, 13.10.2020 tarihinde ulaşılmıştır).

İZSU (2019). İçmesuyu amaçlı açılan kuyular ve yatırım tutarları (<https://www.izsu.gov.tr/tr/HaberDetay/14017?AspxAutoDetectCookieSupport=1> 14 Ekim 2020 tarihinde ulaşılmıştır).

JICA (1996) Küçük Menderes Havzası Sulama Projeleri Çalışması, 3 Cilt.

Kazanasmaz, E. (2014) Kentimiz ve çevresinin yeraltı suyu kaynakları, yeraltı suyu kirleticiler etkenler ve su kıtlığı riski. TMMOB İzmir Kent Sempozyumu sayfa: 323-332.

Murathan, A., (2015).İzmir Kenti Sürdürülebilir Yeraltısuyu Yönetimi Sorunlar ve Çözüm Önerileri Raporu: Tmmob Jeoloji Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir.

Muslu, G., (2005). Küçük Menderes Havzası'nın Beşeri ve İktisadi Coğrafyası, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 469s.

Patel, A. S. and Shah, D. L. (2009). Water Management, Conservation, Harvesting and Artificial Recharge. New Age International Pvt Ltd Publishers.

Şahin, Y., Baba, A., Tayfur G., (2020, Küçük Menderes Havzasındaki Barajlar ve Tarımsal Gelişmeye Olan Katkıları, İklim Değişikliği ve Çevre, 5, (2) 16–23.

Stefano, L. (2014). The Ebro Basin An example of the evolution of polycentric governance arrangements. Basins Under Pressure: The Ebro Basin Edited by Edoardo Borgomeo. Global Water Forum.

Tezcan, L. ve Toklu, M. (2005). Beydağ Barajı temel kazı çukuruna gelecek sızıntı suyu hesabının Modflow modellemesi yapılarak hesap edilmesi (Yayımlanmamış rapor).

Şahin, Y., Baba, A. Ve Tayfur, G. (2018). Küçük Menderes Havzası Su Kaynaklarının Sürdürülebilirliği. DÜMF Mühendislik Dergisi 9:2, 955-962.

Peksezer, A. (2010). Artificial Recharge of Groundwater in the Küçük Menderes River Basin, Jeoloji Müh. Bölümü, Master Tezi, ODTÜ.

Vardar, S., (2013). Küçük Menderes Havzası Doğu Bölümünün Fiziki Coğrafyası, Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Yayımlanmamış Doktora Tezi, İzmir.doi:10.1126/science.1132027

Yağbasan, Ö., (2016). Impacts of climate change on groundwater recharge in Kucuk Menderes River Basin in Western Turkey. GEODINAMICA ACTA , vol.28, no.3, 209-222.

Yazıcıgil, H., Doyuran, V., Karahanoğlu, N., Yanmaz, M., Çamur, Z., Toprak, V., Rojay, B., Yılmaz K.K., Şakıyan, J., Süzen, L., Yeşilnacar, E., Gündoğdu, A., Pusatlı, T., and Tuzcu, B., (2000). "Investigation and Management of Groundwater Resources in Küçük Menderes River Basin under the scope of Revised Hydrogeological Studies", Final Report: Vol. I: Main Report, Vol. II: Meteorology and Hydrology, Vol. III: Geology, Vol. IV: Groundwater Database, Vol. V: Hydrogeology, Vol. VI: Groundwater Chemistry, Quality and Contamination, Vol. VII: Groundwater Flow Model Project, Project no: 98-03-09-01-01. Middle East Technical University, Ankara.

Yılmaz. D., Babuccu. F., Batmaz. S. and Kavruk. F. (2007). "Liquefaction analysis and soil improvement in Beydag dam." Geotech. Geol. Eng., 26: 211-224.